

KRISS-98-040-IR

방재기술연구센터 운영사업

Failure Prevention Research Center Project

연구기관
재단법인 한국표준과학연구원

과학기술처

이 페이지는

여백입니다

제 출 문

과학기술처장관 귀하

본 보고서를 "방재기술연구센터 사업"의 1997년도 보고서로 제출합니다.

1997. 12.

주관연구기관명 : 한국표준과학연구원

총괄연구책임자 : 문 한 규

분야책임자 : 임 순 재 (상시감시 시범사업)
이 승 석 (안전진단 신뢰성관리)
이 완 규 (방재기술정보)
이 해 무 (검사기준 표준화)
윤 동 진 (기반기술 개발)

참 여 연 구 원 : 권일범, 김동진, 김병극, 김상규, 김성란
김시천, 김엄기, 김영길, 김영주, 김용일,
김은순, 김인곤, 김정구, 김종집, 김치엽,
남승훈, 남현수, 문치환, 박성길, 박승범,
박익근, 박종서, 박찬복, 박휘립, 배문섭,
배현덕, 백운봉, 서창민, 송성진, 심상률,
안봉영, 오연균, 이상봉, 윤기봉, 윤정방,
윤정배, 이두희, 이상호, 이용봉, 이정수,
이종원, 이준현, 이학수, 이형일, 임현준,
장순석, 정동주, 정 만, 정세희, 정완섭,
정재동, 조완식, 진성일, 최덕희, 최만용,
최재우, 허용학

이 페이지는

여백입니다

요 약 문

I. 연구 제목

방재기술연구센터 운영사업

II. 사업의 목적 및 필요성

과학기술처는 재해별로 담당 연구기관을 지정하여 악기상재해는 기상연구소, 지진재해는 한국자원연구소, 해상재해는 한국기계연구원 그리고 시설재해는 한국표준과학연구원에서 중점적으로 다루도록 했으며 특히 방재기술연구센터는 한국표준과학연구원에 있는 여러분야의 측정기술 연구자원을 활용하여 시설물의 안전관리를 위한 측정기술을 개발하는 것을 주요업무로 삼고 있다.

우리나라에는 시설물 안전관리분야의 전문가들이 한국표준과학연구원 뿐 아니라 산·학·연 여러기관에 분산되어 있으며 건설부 연구개발사업, 과학재단 연구개발사업, 과학기술처 특정연구사업인 방재기술연구개발사업 등에 참여하고 있다. 본 사업의 목적은 이러한 연구개발사업들에서 개발된 시설물 안전관리를 위한 핵심기술들이 사장되지 않고 현장에서 효율적으로 활용될 수 있도록 실용화를 지원하는 것이다.

본 사업의 목적을 달성하기 위하여 상시감시 시범사업, 안전진단 신뢰성 관리, 방재기술정보, 검사기준 표준화, 기반기술개발의 5개 분야로 나누어 수행하고 있으며 각 분야에 대한 필요성은 다음과 같다.

가. 상시감시 시범사업

교량, 댐, 터널 등 국가기반시설물의 붕괴방지를 위해서는 철저한 건설시공도 중요하지만 이들 시설물의 적절한 유지관리가 더욱 중요하다. 유지관리에 있어 경제성, 효율성, 국가적 차원의 관리 등을 고려할 때, 시설물의 온라인 네트워크를 활용한 상시감시기술이 절대적으로 필요하다. 외국에서는 상시감시시스템의 적용이 활발한 편이지만, 아직 국내에서는 내놓을만한 시스템이 없으며, 향후 국내 주요 시설물에 채택적용시 예상되는 막대한 외화유출을 막기 위해서는 상시감시시스템의 기술확보가 중요하다. 본 센터에서는 상시감시 모델시스템을 설치 운영하면서 계측의 신뢰성 확보, 외국 시스템의 문제점 파악, 국산화 개발시 고려사항 등을 도출하려한다.

나. 안전진단 신뢰성 관리

시설물의 안전진단을 목적으로 사용되는 측정장비의 정밀정확도를 향상시켜 안전진단의 신뢰도를 증진시키는 것은 재난방지의 측면에서 매우 중요하다. 따라서 안전진단과 관련이 있는 모든 산·학·연에서 보유 활용중인 각종 정밀안전진단 장비중에서 사용빈도수가 높은 장비의 정밀정확도 수준을 유지하기 위하여 교정검사체계를 신속히 갖추어야 한다. 한편 장비의 신뢰성 향상과 함께 결과해석 능력의 향상과 새로운 기술의 보급을 위한 교육훈련이 필요하다.

다. 방재기술정보

시설물 및 산업설비에 대해 상태감시, 정밀안전진단, 수명평가 등 방재기술을 적용하고 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 대상물에 대한 재료물성 데이터, 구조물의 상태, 열화/손상사례가 필요하다. 이들 기술데이터들은 국내에는 별로 확보되어 있지 못하기 때문에 주로 외국의 데이터 또는 사례를

참조하는 경우가 대부분이다. 그러나 이들 데이터는 우리나라의 실정에 맞지 않는 경우도 많고 없는 부분도 있기 때문에 우리의 자체적인 데이터의 확보가 절실히 요구되고 있다. 따라서 이들 기술정보를 체계적으로 수집하여 데이터베이스화 하고, 용이하게 보급, 활용할 수 있는 정보시스템을 구축하려 한다.

라. 검사기준 표준화

설비의 안전한 운용을 위해서는 설계·제작에 필요한 기준, 사용하고 있는 설비의 검사 및 관리 기준 그리고 사고를 미연에 방지할 수 있도록 하는 안전작업 기준 등이 필요하다. 그 중에서도 특히 설비 검사 기술기준은 산업계가 이를 적용하도록 정부는 법적·제도적 보완을 추진하고, 업계는 스스로 필요한 기술기준을 선택/적용하여 자율적으로 검사를 실시함으로써 설비의 안전성을 확보하고 사고 등의 방지에 노력해야 한다. 그러나, 현재 국내에서 참고하는 기술기준은 모두 국외 기준이므로, 국내 실정과 맞지 않을 뿐만 아니라 또한 이를 국내 법령에 포함시킬 수도 없으므로 국내의 검사기준을 제정·보급할 필요가 있다. 그러나, 관련 설비의 대형화, 복잡·다양화에 따라, 기존 자율검사 또는 법적 검사에 사용할 수 있는 기술적으로 타당한 전문기술기준이 필요한데, 각 업체마다 이런 기술 기준을 개발할 수는 없는 것이다. 이러한 기술은 법적인 면만을 고려하여서는 기준제정이 불가능하므로, 관련 법령에 대한 지식 외에도 설비의 파손방지기술, 검사기술 및 수명평가 기술 등을 갖고 있는 기술적 전문기관에서, 국외의 기준 및 국내 파손사례, 업계의 필요성을 전부 고려하여 초안을 제정하고, 이를 관련 산업계의 검토를 거쳐 확정된 후, 기술기준화 하여 업계에 보급하여야 한다.

마. 기반기술 개발

시설물의 안전관리를 위한 핵심기술들을 현장에서 사용 할 수 있도록 체계화/실용화하기 위해서는 신뢰성있는 복합기술과 보충기술의 개발이 필요하다.

또한 안전관리 및 시설물 유지관리 기술의 수준을 현장에서 접근성이 좋도록 한차원 높이기 위해서는 새로운 측정방법 및 평가방법을 모색하는 기반기술의 개발도 필요하다.

III. 사업의 내용 및 범위

본 사업은 무기한 계속사업으로 첫째인 1996년도에 현황분석, 실태조사 등을 통하여 정한 사업방향에 따라 1997년도에는 5개 사업분야를 정하고 각 분야별로 시급한 과제를 선정하여 다음과 같은 내용으로 수행하였다.

가. 상시감시 시범사업

- 원격 상시감시용 프로그램 개발
- 상시감시 대상교량의 정밀안전진단 실시
- 상시감시데이터 수집 및 분석
- 콘크리트 상판 및 보의 모의부재 피로실험
- 댐 유지관리현황 조사연구
- 터널 유지관리현황 조사연구

나. 안전진단 신뢰성 관리

다음과 같은 분야의 검교정 체계를 확립하였으며 안전진단과 관련된 분야에 종사하는 인력을 대상으로 교육훈련을 실시하였다.

- 반발경도법을 이용한 콘크리트의 강도 측정

- 관입저항법을 사용한 콘크리트의 강도 측정
- 초음파를 이용한 콘크리트의 두께 및 결함 측정
- 충격파를 이용한 콘크리트의 두께 및 결함 측정
- 철근탐지기를 이용한 철근위치 및 피복두께 측정
- 전위차법을 이용한 콘크리트내의 철근 부식 측정

다. 방재기술정보

- 재료물성데이터, 시설물 파손사례 등 기술정보의 수집, 생산
- 기술정보 데이터베이스의 관리, 보급, 정보응용을 위한 방재정보 시스템의 개발
- 방재관련기관간의 정보의 통합데이터베이스시스템 구축기술의 개발을 위한 기초연구
- 인터넷을 이용한 해외의 방재정보자료 조사, 수집
- 해외의 방재정보기술의 조사·분석

라. 검사기준 표준화

석유화학분야에 사용되는 주요 압력용기인 반응기(reactor)에 대하여

- 검사 기술기준(code) 개발
- 진단 및 수명평가 프로그램 개발
- 유지관리 기술지침 작성

마. 기반기술 개발

○ 자체수행과제

(상태감시분야)

- 광섬유를 이용한 다채널 센서 신호처리기술 개발
- 콘크리트수분 측정장치 개발
- 구조물의 공진피로 및 내구성 측정기술 개발
- 시설물계측시스템 체계화를 위한 전송망시스템 개발

(정밀진단분야)

- 콘크리트 강도/결함 및 철근탐지를 위한 비파괴 시험법 개발
- 철강의 강도예측을 위한 비파괴 평가기술 개발
- 시각시스템을 이용한 구조물의 표면결함탐상 연구
- 마이크로파 영상화를 이용한 비파괴 측정기술 개발

(수명평가분야)

- 전기저항법을 이용한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발
- 극저온 구조재료의 역학적특성 연구
- 콘크리트 철근 부식의 현장 측정기술 연구

○ 위탁수행과제

(상태감시분야)

- 광강도 형태의 광섬유센서를 이용한 강구조물의 균열 모니터링
- 광산안전감시 및 인명위치 탐지기술 타당성 연구
- 휴대형 진동신호(변위, 속도, 가속도)분석기 개발
- 금강철교 상시계측 데이터 해석 및 구조연구

(정밀진단분야)

- 콘크리트 구조물의 노화도평가를 위한 기포분포상태 측정기술 개발
- 강교량의 취약부선정을 위한 해석 프로그램 개발
- 강교량부재의 균열진전과정 해석프로그램 개발
- 초음파 및 음향방출을 이용한 콘크리트부재의 균열검출에 관한 연구
- 강구조물의 용접결함에 대한 지능형 초음파 신호분류기술 개발

(수명평가분야)

- TiAlN으로 세라믹 코팅된 터빈로터강의 고온피로강도에 관한 연구
- 파단면 프랙탈 해석에 의한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발
- 계면균열 선단에서의 구속상태에 관한 연구
- Small Punch 시험에 의한 고온설비부재의 경년손상 평가
- 후방산란 초음파를 이용한 재료의 열화손상 평가
- 황화물 환경에서의 오스테나이트 스테인레스강의 용접부 응력부식 균열에 관한 연구

IV. 사업의 결과 및 활용계획

가. 상시감시 시범사업

현재 국내에 도입되고 있는 상시감시시스템의 정밀정확도 유지, 현장교정 등의 문제점을 파악하고 나아가 향후 예상되는 외산시스템의 급격한 도입에 대처하기 위한 방안으로 국산화 기술개발을 위한 적정 시스템을 도출하기 위하여 상시감시 시범사업의 일환으로 교량 상시감시시스템을 설치하여 운영하고 있다. 사업 2차년도에는 대상 교량의 정밀안전진단을 실시하였고 windows 운영체제에서 실행되는 원격 상시감시용 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램을 이용하여 상시감시 데이터를 수집 분석하였는데 예견됐

던 현장 교정, 온도보상 등의 문제점이 도출되었다. 또 상시감시 데이터의 신뢰성을 확보하고 나아가 상시감시시스템의 최종 기능으로 추가될 수명에 측기능을 고려하여 교량 상판 및 보의 피로실험을 실시하였다. 피로실험을 통하여 장기 데이터의 온도보상 문제 등이 도출되었으며 콘크리트 부재의 균열진전과 관련하여 새로운 계측방법이 구상되었다. 또한 선진국에서 현재 진행중인 새로운 측정기술도 파악되었다. 상시감시 기술의 확대응용을 위한 사전조사 연구로서 댐과 터널의 유지관리 현황을 조사하였다.

이상의 연구내용에서 도출된 문제점들을 사업 3차년도에 해결하고자 한다. 상시감시시스템의 문제점 즉 현장 교정과 실시간 온도보상 등 상시감시 데이터에 대한 신뢰성 확보문제를 해결하고 균열진전에 관한 새로운 방식의 센서 및 신호처리기술을 개발할 계획이다.

나. 안전진단 신뢰성관리

1차년도에 계획된 대로 아래와 같은 분야의 교정검사 체계를 확립하였고 안전진단과 관련된 분야에 종사하는 인력을 대상으로 "구조물의 부식측정 및 부식방지 기술" "구조물의 진단,계측 기술"에 대한 교육훈련을 실시하였다.

- 반발경도법을 이용한 콘크리트의 강도 측정
- 관입저항법을 사용한 콘크리트의 강도 측정
- 초음파를 이용한 콘크리트의 두께 및 결함 측정
- 충격파를 이용한 콘크리트의 두께 및 결함 측정
- 철근탐지기를 이용한 철근위치 및 피복두께 측정
- 전위차법을 이용한 콘크리트내의 철근 부식 측정

국내의 안전진단장비 보유업체중에서는 보유중인 장비의 완전한 사용방법 및 측정의 원리 등에 대한 이해가 부족하다. 그러므로 이들 업체에는 교정 검사 뿐 아니라 시험법에 대한 기본원리와 장비의 올바른 사용방법, 결과해

석 방법, 그리고 새로운 기술에 대한 정보 등에 대한 교육과정도 지속적으로 제공할 수 있는 방향이 고려되어야 한다. 그리고 또 다른 문제점으로는 작동원리에 비하여 외국으로부터 수입되어 판매되고 있는 장비의 가격이 매우 높다는 점을 고려하여 국내의 계측기 제작업체에서 이들 장비중 제작이 가능한 장비들을 개발하여 판매할 수 있도록 기술적인 지원도 이 과제의 수행목표중에 포함되어야 할 것이다. 국내에서 제작된 장비의 신뢰성은 확립된 교정절차에 의한 지속적인 관리로부터 확보될 수 있다.

다. 방재기술정보

방재기술연구개발에 필요한 기초데이터, 방재관련 자료 등 기술정보를 수집, 확보하고 이들을 효율적으로 활용·보급하기 위한 기술정보데이터베이스 및 방재정보시스템의 구축을 다음과 같이 수행하였다.

- 정유설비에서 주로 사용되는 탄소강, 저합금강, 스텐레스강, 주철, 구리, 알루미늄합금, 니켈합금 및 타이타늄의 부식특성에 관한 데이터의 조사/수집
- 국내외의 교량, 터널, 댐의 파손, 파괴사례 62건에 대해 조사
- 기술정보데이터베이스를 관리하고, 데이터의 처리, 분석, 네트워크를 통한 정보의 교환, 서비스를 위한 방재정보시스템의 개발
- 네트워크를 통한 분산환경하의 이기종 데이터베이스의 통합기술개발을 위한 기초연구로서 멀티데이터베이스기술에 대한 연구의 수행
- 미국, 유럽, 일본의 최근의 방재관련 기관의 자료를 수집하고, 인터넷상의 방재관련 정보를 수집하여 해외의 방재정보기술 및 방재정보시스템 구축동향의 분석

2차년도에 데이터베이스를 구축하기 위한 기본 시스템환경은 개발되었기 때문에 3차년도 부터는 본격적인 데이터베이스를 구축하고 활용체계를 확립할 것이다. 또한 수집/생산하는 물성데이터를 시설물에 포함되는 철근, 콘

크리트에 까지 확장하고, 금속재료도 피로, 크립으로 확대하고, 구조물의 정적, 동적거동의 기초데이터를 수집.생산하여 상태감시, 안전진단 등의 현장에서 실용화 될 수 있는 수준의 기술정보데이터베이스의 구축을 추진하고자 한다. 특히 국내.외 방재관련기관과의 적극적인 정보의 교환, 협력을 추진하여 체계적인 정보의 확보와 보급을 추진해 나가고자 한다.

라. 검사기준 표준화

반응기(reactor)의 검사 기술기준 및 유지관리 기술지침을 국내 실정에 맞게 작성하였다. 또한 기준 내에서 요구하는 해석을 수행하는 데에 편리하도록 수명해석용 프로그램을 따로 작성하여 기술기준과 함께 사용할 수 있도록 하였다. 초안이 작성된 후에 기술기준 및 기술지침의 기술적, 법적 심의는 한국가스안전공사의 주관으로 국내 관련 산업계의 설비 진단 전문가그룹의 자문을 받아 실시하였다. 심의에 참여하는 전문가는 한국가스안전공사, 국내 기업의 설비진단기술 책임자들로 구성되어 있다.

본 사업을 통해 개발될 기술기준은 고압가스관리법 등 관련법의 요건을 충족하는 기술기준으로 제정되며, 이 기준들은 반응기와 관련된 안전성 검사 및 수명 검사 절차 등의 세부 사항을 포함하도록 제정하여 향후 관련 업계에 보급하도록 할 예정이다.

마. 기반기술 개발

사업의 내용 및 범위에서 열거한 11개의 자체수행과제와 16개의 위탁수행과제를 통하여 개발된 기반기술들은 상태감시, 정밀진단, 수명평가 등 안전관리 핵심기술들의 개발에 응용될 요소기술들이며 안전진단 신뢰성관리 및 방재기술정보 데이터베이스의 구축에도 활용된다.

SUMMARY

I. Title

Failure Prevention Research Center Project

II. Objectives and Significance

A series of large scale structural accidents, occurred in 1994 and 1995 in Korea, prompted the Ministry of Science and Technology to establish the Failure Prevention Research Center at Korea Research Institute of Standards and Science in October 1995. The objective of the Center is to develop and disseminate safety management techniques for civil infrastructures and industrial facilities. This project, which started in 1966 as a continuous institute project, is to help fulfil the objective of the center, especially, to develop on-site application techniques and solve on-site problems. The project is being carried out in five fields; model system for structural monitoring, reliability management of safety inspection, technical informations for structural failure prevention, development of inspection codes, and development of infra-technology.

The significance of each field is as follows:

A. Model system for structural monitoring

Although the real-time on-line structural condition monitoring technology is very promising for the effective safety management of large civil infrastructures such as bridge, tunnel, dam etc., which are threatening the public safety, the techniques are not fully developed even in the advanced

countries, where the monitoring systems have already been applied to some real structures. Similar monitoring systems were recently installed on several bridge structures in Korea, but they are not functioning properly because of lack of experience in this technology. Therefore, it is necessary for the center to construct model systems for structural condition monitoring, find & solve problems in existing techniques and enhance the reliability of the systems.

B. Reliability management of safety inspection

There are over a hundred and fifty safety diagnosis organizations designated by the Ministry of Construction and Transportation in Korea. However, most of them do not have enough inspection equipments and also do not maintain them properly to keep the accuracy. Therefore, the center should establish the calibration system for the inspection equipments and also provide training programs for the proper maintenance and use of the equipments.

C. Technical informations for failure prevention

We may borrow and use foreign test methods and inspection procedures. But we can not use data obtained from foreign materials and foreign structures for the monitoring, inspection and assessment of our materials and our structures. The center has to produce, analyze and evaluate materials data and structural data to have our own standard data, and also construct databases for the structural failure prevention technology.

D. Development of inspection codes

For the time being, the center will focus on the development of inspection codes for petrochemical facilities such as pressure vessel, storage tank, heater, etc., because they are the most dangerous industrial facilities. There are laws and regulations which require inspection of important plant facilities. However, there are not technical codes which can be used for the inspections. Therefore, the Center has to develop inspection codes and prepare drafts, which will be reviewed by corresponding technical committees and proclaimed as standard inspection codes.

E. Development of infra-technology

As written above, the main objective of this project is to utilize existing core techniques for the safety management of structures and develop on-site application techniques. Therefore, we have to develop a lot of missing techniques connecting one core technique to another. We also need to develop new measurement and evaluation techniques which will enhance the level of safety management technology.

III. Contents and Scope

In 1996, the first year of the project, the project direction was determined through the investigation and analysis of the current status of the related technical fields. In 1997, the project was carried out in thus determined five fields as follows :

A. Model system for structural monitoring

- o Development of remote monitoring program for personal computer
- o In-depth inspection of Hongdo bridge
- o Fatigue experiment of bridge components
- o Investigation of maintenance status of dams and tunnels

B. Reliability management of safety inspection

The calibration procedures for the following areas were established and the training courses were provided for people working in the related fields.

- o Concrete strength measurement by rebound hammer
- o Concrete strength measurement by pin penetration resistance
- o Concrete thickness and crack measurement by ultrasonics
- o Concrete thickness and crack measurement by impact echo
- o Measurement of rebar position and cover depth by electromagnetic method
- o Corrosion measurement of rebar by half potential

C. Technical informations for structural failure prevention

- o Collection and production of materials properties data and failure case histories of public infrastructures
- o Development of information processing system for structural failure prevention
- o Study for the development of unified database system
- o Survey of the disaster prevention information technology in foreign countries

D. Development of inspection codes

- o Development of inspection codes and maintenance practices for reactors used in petrochemical plants
- o Development of diagnosis and life assessment programs to be used along with the above codes and practices

E. Development of infra-technology

- o Projects carried out at the center

(Condition monitoring)

- Signal processing techniques for multi-channel optical fiber sensors
- Measurement of moisture in concrete
- Measurement of resonant vibration fatigue and durability of large structures
- Signal transmission network system for on-line structural condition monitoring

(Safety inspection)

- Nondestructive evaluation of strength/defects of concrete and reinforcement
- Estimation of strength of steel by nondestructive test
- Visual system for detection of structural surface defects

(Life assessment)

- Evaluation of degradation of turbine rotor steel by electrical resistivity measurement
- Mechanical properties of cryogenic structural materials
- On-site corrosion rate measurement of concrete Reinforcement

o Projects carried out on consignment

(Condition monitoring)

- Crack monitoring for steel structures using intensity-based optical fiber sensor
- Feasibility study on safety monitoring of mines and localization of buried victims
- Portable vibration signal analyzer
- Structural study and data analysis for Kumkang bridge monitoring system

(Safety inspection)

- Image analysis of void distribution in hardened concrete
- Computer program for selection of critical members in steel bridges
- Computer program for crack propagation analysis of steel bridge members
- Crack detection in concrete structure using ultrasonics and acoustic emission
- Intelligent classification of ultrasonic signal from welding defects in steel structure

(Life assessment)

- High-temperature fatigue strength of ceramic coated Cr-Mo-V steel
- Degradation evaluation of turbine rotor steel by fractal analysis of fracture surface
- Constraint condition at interfacial crack tip
- Degradation evaluation of high temperature components by small punch test
- Evaluation of materials degradation and damage by ultrasonic

back-scatter technique

- Stress corrosion cracking of austenitic stainless steel weldments in sulfur-bearing solutions

IV. Results and Applications

The list of the project results would be almost the same as the list of the project contents written above and so, is not repeated here. The most of the 1997 goals of the project were achieved and the results will be used for carrying out the continued project in 1998. The results of the research projects for developing infra-technology will be helpful in establishing the structural safety monitoring system, the reliability management system for safety inspection and also the information system for the structural failure prevention technology.

CONTENTS

Chapter 1. General Overview	1
Section 1. Background of the Project	1
Section 2. Objectives of the Project	2
Section 3. Organization of Project Fields and Significance	3
Section 4. '97 Goals and Contents of the Project	6
Section 5. Organization of the Report	10
Chapter 2. Model System for Structural Monitoring	11
Section 1. Introduction	11
Section 2. Monitoring System for Hongdo Bridge	14
Section 3. Fatigue Experiment of Bridge Components	53
Section 4. Maintenance Status of Dams	73
Section 5. Maintenance Status of Tunnels	108
Section 6. Conclusion	119
References	120
Chapter 3. Reliability Management of Safety Inspection	125
Section 1. Introduction	125
Section 2. Establishment of Calibration System for Safety Inspection Equipments	136
Section 3. Training of Safety Inspectors	297
Section 4. Conclusion	302
Chapter 4. Technical Informations for Structural Failure Prevention	305

Section 1. Introduction	305
Section 2. Collection and Production of materials Properties Data	311
Section 3. Collection of Failure Case Histories of Public Infrastructures	372
Section 4. Development of Information Processing System for Structural Failure Prevention	387
Section 5. Study for the Development of Unified Database System	421
Section 6. Survey of the Disaster Prevention Information Technology in Foreign Countries	436
Section 7. Conclusion	462
References	465
Appendix A. Internet Site for Disaster Prevention Informations	467
Appendix B. List of Collected Failure Prevention Informations	478
Appendix C. List of Failure Prevention Research Projects	485
Appendix D. List of Safety Inspection Companies in Korea	491
Chapter 5. Development of Inspection codes	499
Section 1. Introduction	499
Section 2. Inspection Codes and Maintenance Practices for Reactors ...	504
Section 3. Development of Diagnosis and Life Assessment Program ...	510
Section 4. Direction of Further Development	540
References	548
Chapter 6 Development of Infra-technology	551
Section 1. Introduction	551
Section 2. Signal Processing Techniques for Multi-Channel Optical Fiber Sensors	554

Section 3. Measurement of Moisture in Concrete	558
Section 4. Measurement of Resonant Vibration Fatigue and Durability of Large Structures	562
Section 5. Signal Transmission Network System for On-Line Structural Condition Monitoring	568
Section 6. Nondestructive Evaluation of Strength/Defects of Concrete and Reinforcement	572
Section 7. Estimation of Strength of Steel by Nondestructive Test ...	577
Section 8. Visual System for Detection of Structural Surface Defects	581
Section 9. Nondestructive Evaluation of Structures by Microwave Imaging	585
Section 10. Evaluation of Degradation of Turbine Rotor Steel by Electrical Resistivity Measurement	588
Section 11. Mechanical Properties of Cryogenic Structural Materials ...	591
Section 12. On-Site Corrosion Rate Measurement of Concrete Reinforcement	594
Section 13. Crack Monitoring for Steel Structures using Intensity-Based Optical Fiber Sensor	596
Section 14. Feasibility Study on Safety Monitoring of Mines and Localization of Buried Victims	600
Section 15. Portable Vibration Signal Analyzer	602
Section 16. Structural Study and Data Analysis for Kumkang Bridge Monitoring system	606
Section 17. Image Analysis of Void Distribution in Hardened Concrete	609

Section 18. Computer Program for Selection of Critical Members in Steel Bridges	612
Section 19. Computer Program for Crack Propagation Analysis of Steel Bridge Members	617
Section 20. Crack Detection in Concrete Structure using ultrasonics and Acoustic Emission	621
Section 21. Intelligent Classification of Ultrasonic Signal from Welding Defects in Steel Structure	625
Section 22. High-Temperature Fatigue Strength of Ceramic Coated Cr-Mo-V Steel	628
Section 23. Degradation Evaluation of Turbine Rotor Seel by Fractal Analysis of Fracture Surface	633
Section 24. Constraint Condition at Interfacial Crack Tip	636
Section 25. Degradation Evaluation of High Temperature Components by Small Punch Test	640
Section 26. Evaluation of Materials Degradation and Damage by Ultrasonic Back-Scatter Technique	643
Section 27. Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steel Weldments in Sulfur-Bearing Solutions	647
Section 28. Conclusion	649

목 차

제 1 장 개 관	1
제 1 절 사업의 배경	1
제 2 절 사업의 목적	2
제 3 절 사업의 구성 및 필요성	3
제 4 절 '97년도 사업의 목표 및 내용	6
제 5 절 보고서의 구성	10
제 2 장 상시감시 시범사업	11
제 1 절 서 론	11
제 2 절 홍도육교 상시감시시스템	14
제 3 절 교량 상판 및 보의 피로실험	53
제 4 절 댐 유지관리 방안	73
제 5 절 터널 유지관리 방안	108
제 6 절 결 론	119
참고문헌	120
제 3 장 안전진단 신뢰성관리	125
제 1 절 서 론	125
제 2 절 정밀진단장비의 교정능력 확립	136
제 3 절 안전진단 관련인력 교육훈련	297
제 4 절 결 론	302
제 4 장 방재기술정보	305
제 1 절 서 론	305

제 2 절	재료물성데이터 조사	311
제 3 절	공공 시설물 파손사례 조사	372
제 4 절	방재정보시스템 개발	387
제 5 절	방재정보 통합데이터베이스 개발	421
제 6 절	해외방재정보 기술동향 조사	436
제 7 절	결 론	462
참고문헌	465
부 록 A	재난종류별 Internet Site 정보	467
부 록 B	수집자료 목록	478
부 록 C	시설방재관련 연구과제 목록	485
부 록 D	국내 안전진단기관 일람표	491
제 5 장	검사기준 표준화	499
제 1 절	서 론	499
제 2 절	반응기 검사기준 및 유지관리 기술 지침 (안)	504
제 3 절	진단 및 수명평가 프로그램 개발	510
제 4 절	향후 추진방향 및 개선점	540
참고문헌	548
제 6 장	기반기술 개발	551
제 1 절	서 론	551
제 2 절	광섬유를 이용한 다채널 센서 신호처리기술 개발	554
제 3 절	콘크리트수분 측정장치 개발	558
제 4 절	구조물의 공진피로 및 내구성 측정기술 개발	562
제 5 절	시설물 계측시스템 체계화를 위한 전송망시스템 개발	568
제 6 절	콘크리트 강도/결합 및 철근탐지를 위한 비파괴 시험법 개발	572

제 7 절	철강의 강도예측을 위한 비파괴 평가기술 개발	577
제 8 절	시각시스템을 이용한 구조물의 표면결함탐상 연구	581
제 9 절	마이크로파 영상화를 이용한 비파괴 측정기술 개발	585
제10절	전기저항법을 이용한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발	588
제11절	극저온 구조재료의 역학적 특성연구	591
제12절	콘크리트 철근 부식의 현장 측정기술 연구	594
제13절	광강도형 형태의 광섬유센서를 이용한 강구조물의 균열 모니터링	596
제14절	광산안전감시 및 인명위치 탐지기술 타당성 연구	600
제15절	휴대형 진동(가속도, 속도, 변위)분석기 기술 개발	602
제16절	금강철교 상시계측 데이터 해석 및 구조연구	606
제17절	콘크리트 구조물의 노화도평가를 위한 기포분포상태 측정기술 개발	609
제18절	강교량의 취약부선정을 위한 해석 프로그램 개발	612
제19절	강교량부재의 균열진전과정 해석 프로그램 개발	617
제20절	초음파 및 음향방출을 이용한 콘크리트부재의 균열검출에 관한 연구	621
제21절	강구조물의 용접결함에 대한 지능형 초음파 신호분류기술 개발 ...	625
제22절	TiAlN으로 세라믹 코팅된 터빈로터강의 고온피로강도에 관한 연구	628
제23절	파단면 프랙탈 해석에 의한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발	633
제24절	계면균열 선단에서의 구속상태에 관한 연구	636
제25절	Small Punch(SP)시험에 의한 고온설비부재의 경년손상 평가	640
제26절	후방산란 초음파를 이용한 재료의 열화손상 평가	643
제27절	황화물 환경에서의 오스테나이트 스테인레스강의 용접부 응력부식 균열에 관한 연구	647
제28절	결 론	649

제 1 장 개 관

제 1 절 사업의 배경

최근에 빈번하게 발생하고 있는 대형 구조물의 붕괴사고로 우리 국민의 안전의식이 높아지고 있는 것은 불행중 다행이다. 우리나라는 그 동안 급속한 산업화과정에서 교량, 터널, 댐 등 국가기반시설물의 건설에는 비교적 많은 투자를 해 왔으나 건설된 시설물을 안전하게 유지관리하는 것은 너무 소홀히 했다는 자성의 소리가 각 계에서 나오고 있는 것이다.

철 구조물은 물론, 수명이 반영구적이라고 하는 콘크리트 구조물도 시간이 경과함에 따라 여러 가지 자연적 및 인위적 환경의 작용으로 염해, 중성화, 알칼리플래반응, 산성비 등에 의한 콘크리트의 열화와 함께 철근부식 및 철근/콘크리트 부착파괴 등 손상으로 인해서 구조물의 안전성 및 수명이 크게 저하된다. 그러나 열화·손상의 대부분은 외부육안검사로 검출할 수 없는 구조물의 내부에서 일어나기 때문에 구조물의 안전을 효과적으로 유지관리하기 위하여는 이러한 내부결함을 탐지, 평가 및 제어하기 위한 높은 수준의 기술이 필요한데 이러한 기술은 장기간에 걸쳐 개발되고 축적되어야 하는 것이다.

한국표준과학연구원에서는 설립 초창기인 1980년대 초에 재료파손기구, 비파괴평가기술 등 방재기술분야의 기초연구를 출연연구사업으로 시작하여 1986년부터는 “파손방지 측정기술 개발”, “고온설비 파손방지기술 개발”등 응용연구를 국책연구사업으로 수행하였고 1990년부터는 한국전력공사 기술연구원의 수탁연구를 통하여 이들을 발전설비에 적용하는 기술을 개발하여 그 결과로 1993년부터는 국내에서 가동중인 화력발전소들의 터빈, 보일러 등 고온설비의 정밀진단 및 수명평가사업을 수행하고 있다.

한편 과학기술처는 교량붕괴, 가스폭발 등 대형사고의 재발을 방지하기 위하여 건설구조물 및 산업설비의 안전관리 기술 개발을 총괄적으로 주도할 연구기구의 설치 필요성을 제기하게 되었고 한국표준과학연구원의 기술개발 경험과

기술축적을 인정하여 1995년 10월 본 연구원에 방재기술연구센터를 설립하였고 1996년부터 본 사업을 기관고유사업으로 수행하게 되었다.

제 2 절 사업의 목적

방재기술이란 재해(재난으로 인한 집단적 대형 피해)를 최소화하는 기술들을 통칭하는 말로서 연구의 대상이 되는 분야와 범위가 상당히 넓다. 우선 재해는 자연재해(태풍, 지진 등 자연현상에 의한 재해), 인위재해(건설, 생산 등 인간활동에 의한 재해), 환경재해(이상기온, 오염 등 자연현상과 인간활동의 상호작용에 의한 재해) 등으로 나뉘어 지고 방재기술도 예방기술(예보, 예측, 감시, 경보, 보수기술 등)과 사후처리기술(피난, 구호, 복구기술 등)로 나뉘어지면서 관련 연구분야도 정보·전자·통신, 기계설비, 건설, 교통, 환경·지구과학, 생명과학 등 매우 다양하기 때문에 한 기관에서 한 사업으로 모든 방재기술을 다루는 것은 효율적이지 못할 뿐 아니라 불가능한 일이다.

따라서 과학기술처는 재해별로 담당 연구기관을 지정하여 악기상재해는 기상연구소, 지진재해는 한국자원연구소, 해상재해는 한국기계연구원 그리고 시설재해는 한국표준과학연구원에서 중점적으로 다루도록 하였으며 방재기술연구센터의 설립목적도 "국가 기반시설물 및 주요 산업설비에 일어나는 대형 파손사고를 예방하기 위한 핵심기술을 개발·보급함으로써 국민의 생명과 국가의 재산을 보전함"으로 되어있다. 특히 방재기술연구센터는 한국표준과학연구원에 있는 여러분야의 측정기술 연구자원을 활용하여 시설물의 안전관리를 위한 측정기술을 개발하는 것을 주요업무로 삼고 있다.

우리나라에는 시설물 안전관리분야의 전문가들이 한국표준과학연구원 뿐 아니라 산·학·연 여러기관에 분산되어 있으며 건설부 연구개발사업, 과학재단 연구개발사업, 과학기술처 특정연구사업인 방재기술연구개발사업 등에 참여하

고 있다. 본 사업의 목적은 이러한 연구개발사업들에서 개발된 시설물 안전관리를 위한 핵심기술들이 사장되지 않고 현장에서 효율적으로 활용될 수 있도록 실용화를 지원하는 것이다.

제 3 절 사업분야의 구성 및 필요성

본 사업의 목적을 달성하기 위하여 '97년도에는 상시감시 시범사업, 안전진단 신뢰성관리, 방재기술정보, 검사기준 표준화 및 기반기술 개발의 5개 분야로 나누어 수행하였으며 각 분야에 대한 필요성은 다음과 같다.

가. 상시감시 시범사업

교량, 댐, 터널 등 국가기반시설물의 붕괴방지를 위해서는 철저한 건설시공도 중요하지만 이들 시설물의 적절한 유지관리가 더욱 중요하다. 유지관리에 있어 경제성, 효율성, 국가적 차원의 관리 등을 고려할 때, 시설물의 온라인 네트워크를 활용한 상시감시기술이 절대적으로 필요하다. 외국에서는 상시감시시스템의 적용이 활발한 편이지만, 아직 국내에서는 국제 수준의 시스템이 없으며, 향후 국내 주요 시설물에 채택적용시 예상되는 막대한 외화유출을 막기 위해서는 상시감시시스템의 기술확보가 중요하다. 본 센터에서는 상시감시 모델시스템을 설치 운영하면서 계측의 신뢰성을 확보하고, 외국 시스템의 문제점을 분석하며, 국산화 개발시 고려되어야 할 사항을 도출하는 것이 필요하다.

나. 안전진단 신뢰성 관리

현재 건설교통부에 안전진단전문기관으로 등록된 기관은 150여개에 이르는데 그중에 비파괴검사기기를 비롯한 진단장비를 웬만큼 갖춘 기관은 40여

개 기관 정도이고 그나마 보유장비의 정확도 유지를 위한 교정체계가 갖추어져 있지 않다. '95년 "강교제작·설치 공사시공 및 유지 관리 실태"에 관한 감사원 자료에 의하면 적정한 품질관리를 위하여 계측기기 관리에 관한 기준이 필요하다고 지적되고 있으며 미국 NIST의 BFRL(Building and Fire Research Laboratory)에서는 최근에 FHWA의 지원을 받아 아스팔트의 품질 평가 신뢰도 향상을 위해서 Marshall hammer system의 가동중이다. 이는 검사기기의 정밀 정확도를 향상시켜 안전진단의 신뢰도를 증진 시키고자 하는 것이다. 또한 국내에는 건축구조기술사가 300여명에 불과하고 이들이 관공서, 대학, 연구소, 기업 등에 분산되어 있어 현장에서 일하는 안전진단 전문가의 수가 절대적으로 부족하며 진단절차와 평가기준이 통일되어 있지 않아 진단결과의 신뢰성에 문제가 많다. 따라서 안전진단장비의 정확도와 관련인력의 숙련도에 대한 신뢰성을 관리하기 위한 국가적인 체계를 구축해야 한다.

다. 방재기술정보

상시감시시스템에서 구조물의 정상상태와 이상상태를 구별하거나 정밀진단을 실시할 때 구조물의 안전성을 평가하기 위해서는 반드시 재료의 물성, 구조물의 상태, 열화/손상사례에 대한 데이터가 있어야 그것들과 비교하여 현재의 상태를 평가하게 되며 이러한 데이터가 많을수록 평가결과의 신뢰성이 높아진다. 그런데 이들 데이터들은 국내에는 별로 확보되어 있지 않기 때문에 주로 외국의 데이터 또는 사례를 참조하는 경우가 대부분이다. 그러나 외국의 데이터들은 우리나라의 실정에 맞지 않는 경우가 많고 없는 부분도 있기 때문에 우리 자체적인 데이터의 확보가 절실히 요구되고 있다. 그런데 이들 데이터들은 장기간에 걸친 많은 실험을 통해서 생산되기 때문에 지속적인 연구가 필요하다. 또한 다양하고 방대한 정보의 효율적인 저장, 관리, 가공생산 및 보급을 위해서는 데이터베이스화 및 관리시스템의 개발이

필수적이기 때문에 이에 관한 연구개발의 중요성은 매우 크다.

라. 검사기준 표준화

중화학 분야의 사고와 관련한 주요 설비요소에 대해 정부는 기술기준을 제정하여 산업계에서 적용하도록 법적·제도적 보완을 추진해야 하며, 산업계는 스스로 필요한 기술기준을 선택/적용하여 자율적으로 검사를 실시함으로써 설비의 안전성을 확보하여야 한다. 그러나, 현재 국내에서 참고하는 기술기준은 모두 국외 기준이므로, 국내 실정과 맞지 않고, 또한 이를 국내 법령에 포함할 수도 없으므로 국내의 검사기준을 제정·보급하여야 한다. 그러나, 관련 설비의 대형화, 복잡·다양화에 따라, 기존 자율검사 또는 법적검사에 사용할 수 있는 기술적으로 타당한 전문기술기준이 필요한데, 각 업체마다 이런 기술 기준을 개발할 수는 없는 것이다. 이러한 기술은 법적인 면만을 고려하여서는 기준제정이 불가능하므로, 관련 법령에 대한 지식외에도 설비의 파손방지기술, 검사기술 및 수명평가 기술 등을 갖고 있는 기술적 전문기관에서, 국외의 기준 및 국내 파손사례, 업계의 필요성을 전부 고려하여 초안을 제정하고, 이를 관련 산업계의 검토를 거쳐 표준화된 검사절차/기준으로 확정된 후, 기술수준화하여 업계에 보급하여야 한다.

마. 기반기술 개발

본 사업의 주목적은 특정연구개발사업 등에서 개발된 시설물 안전관리를 위한 핵심기술들이 현장에서 효율적으로 활용될 수 있도록 실용화를 지원하는 것이지만 현재 수행중에 있는 특정연구개발사업인 방재기술개발사업은 자연재해를 비롯하여 연구대상분야는 대단히 넓고 연구비는 대단히 적어서 시설방재분야의 연구는 극히 단편적으로 수행되고 있다. 따라서 이러한 단편적인 기술들을 체계화/실용화하기 위해서는 기술과 기술을 이어주는 복합

화기술과 빠진부분을 채우는 보충기술의 개발이 필요하다. 또한 시설물 안전관리기술의 수준을 한차원 높이기 위해서는 새로운 측정방법 및 평가방법을 모색하는 기반기술의 개발도 필요하다.

제 4 절 '97년도 사업의 목표 및 내용

1996년도는 사업수행의 첫 해로서 주로 시설물 안전관리기술에 관한 국내의 현황분석, 우리나라 국가 기간시설물의 유지관리에 관한 실태조사 등을 통하여 사업방향을 정하고 사업계획을 수립하는 해이었으며 1997년도는 이렇게 수립된 계획에 따라 본격적으로 사업에 착수하는 해로서 분야별로 내실있는 결과를 내는 것을 목표로 하여 다음과 같은 내용으로 수행하였다.

가. 상시감시 시범사업

국가 주요 시설물의 상시감시 기술을 개발 촉진하기 위해서, windows 운영체제에서 실행되는 홍도육교 교량의 원격 상시감시용 프로그램을 개발하였으며, 상시감시 데이터의 신뢰성을 조사하기 위하여 교량 상판 및 보의 모형부재에 대한 피로실험을 수행하였으며, 홍도육교 교량의 상시감시 데이터를 분석하여 상시감시시스템의 현존문제를 도출하였으며, PC 사용자들을 위한 데이터베이스 구축을 위한 기본연구를 실시하였다. 상시감시기술의 확대보급을 위한 사전조사연구로서 댐 및 터널의 국내외 유지관리 현황을 조사하였다.

나. 안전진단 신뢰성 관리

산업현장에서 주로 사용되고 있는 주요 장비들 중 작년도에 계획된대로

반발경도법 및 관입저항법을 이용한 콘크리트 강도분야에 사용되는 반발해머와 침투저항측정기, 초음파법 및 충격파법을 이용한 콘크리트 두께 및 결함분야에 사용되는 콘크리트용 초음파 시험기와 충격탄성파장치, 전자기법을 이용한 콘크리트내의 철근탐지 분야에 사용되는 철근탐지기, 전위차법을 이용한 콘크리트내 보강재의 부식측정에 사용되는 반쪽전위측정장치들에 관한 장비의 원리, 사용방법, 그리고 관련된 표준절차에 대한 전반적인 사항을 검토하고 실제 장비들을 사용하여 측정된 기본 결과들을 분석하여 이들 장비들에 대한 교정검사 체계를 확립하였다. 그리고 안전진단과 관련된 분야에 있는 인력을 대상으로 콘크리트 구조물의 진단 방법과 새로운 기술에 대한 교육훈련을 실시하였다.

다. 방재기술정보

방재기술정보 데이터베이스의 구축을 위해 필요한 재료물성데이터 및 시설물파손사례에 대해 조사하였다. 재료물성데이터는 정유설비에서 사용되는 저합금내열강에 대한 부식특성을 조사, 수집하였고, 파손사례는 국내,외의 교량, 터널, 댐의 파손사례 62건에 대해 수집하였다. 아울러 해외의 방재관련기관에 대한 인터넷site를 조사하고 170개 site에 대해 정리하였다.

기술정보데이터베이스의 관리, 정보의 활용, 보급, 정보응용을 위한 종합방재정보시스템을 개발하였다. 이 시스템은 문서, 수치데이터, 이미지데이터의 저장, 검색, 처리가 가능하며, 모든 정보의 접근은 WEB을 통해 이루어지도록 개발되었다. 또 분산 환경하의 이기종 데이터베이스의 통합시스템개발을 위한 연구를 수행하고 2개의 이기종 데이터베이스를 통합하는 시스템을 구성하였다.

라. 검사기준 표준화

석유화학 분야에 사용되는 주요 압력용기인, 반응기(reactor)의 검사 기술 기준 및 유지관리 기술지침을 국내 실정에 맞게 작성하였다. 반응기 검사기준은 미국석유협회 API (American Petroleum Institute)의 압력용기 검사기준 (Pressure Vessel Inspection Code)인 API 510 "Pressure Vessel Inspection Code : Maintenance Inspection, Rating, Repair and Alteration" 및 API RP 572 "Inspection of Pressure Vessels" 기준과 일본 통산산업성에서 제정한 특수반응기 정밀검사 지침서를 참고하고, 최근 한국가스안전공사에서 수행한 "압력용기 수명진단 메뉴얼 개발"연구 및 "반응기 결함 안전성 진단기술 개발" 연구 결과를 참고하여 작성하였다. 또한 기준 내에서 요구하는 해석을 수행하는 데에 편리하도록 수명해석용 프로그램을 따로 작성하여 기술기준과 함께 사용할 수 있도록 하였다. 초안이 작성된 후에 기술 기준 및 기술지침의 기술적, 법적 심의는 한국가스안전공사의 주관으로 국내 관련 산업계의 설비 진단 전문가그룹의 자문을 받아 실시(현재 1차 심의 완료 및 2차 심의 준비 중)하였다. 심의에 참여하는 전문가는 한국가스안전공사, 국내 기업의 설비진단기술 책임자들로 구성되어 있다.

본 연구를 통해 개발될 기술기준은 고압가스관리법 등 관련법의 요건을 충족하는 기술기준으로 제정되며, 이 기준들은 반응기와 관련된 안전성 검사 및 수명 검사 절차 등의 세부 사항을 포함하도록 제정하여 향후 관련 업계에 보급하도록 할 예정이다.

마. 기반기술 개발

시설물의 안전관리를 위한 핵심기술인 상태감시기술, 정밀진단기술 및 수명평가기술의 개발에 필요한 기반기술을 개발하기 위하여 내외부 전문가들이 참석한 workshop을 통하여 연구주제를 도출하고, 평가위원회에서 연구과

제를 선정하여 다음과 같이 자체수행 11개 과제와 위탁수행 15개 과제를 수행하였다.

○ 자체수행과제

(상태감시분야)

- 광섬유를 이용한 다채널 센서 신호처리기술 개발
- 콘크리트수분 측정장치 개발
- 구조물의 공진파로 및 내구성 측정기술 개발
- 시설물계측시스템 체계화를 위한 전송망시스템 개발

(정밀진단분야)

- 콘크리트 강도/결함 및 철근탐지를 위한 비파괴 시험법 개발
- 철강의 강도예측을 위한 비파괴 평가기술 개발
- 시각시스템을 이용한 구조물의 표면결함탐상 연구
- 마이크로파 영상화를 이용한 비파괴 측정기술 개발

(수명평가분야)

- 전기저항법을 이용한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발
- 극저온 구조재료의 역학적특성 연구
- 콘크리트 철근 부식의 현장 측정기술 연구

○ 위탁수행과제

(상태감시분야)

- 광강도 형태의 광섬유센서를 이용한 강구조물의 균열 모니터링
- 광산안전감시 및 인명위치 탐지기술 타당성 연구
- 휴대형 진동신호(변위, 속도, 가속도)분석기 개발
- 금강철교 상시계측 데이터 해석 및 구조연구

(정밀진단분야)

- 콘크리트 구조물의 노화도평가를 위한 기포분포상태 측정기술 개발
- 강교량의 취약부선정을 위한 해석 프로그램 개발
- 강교량부재의 균열진전과정 해석프로그램 개발
- 초음파 및 음향방출을 이용한 콘크리트부재의 균열검출에 관한 연구
- 강구조물의 용접결함에 대한 지능형 초음파 신호분류기술 개발

(수명평가분야)

- TiAlN으로 세라믹 코팅된 터빈로터강의 고온피로강도에 관한 연구
- 파단면 프랙탈 해석에 의한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발
- 계면균열 선단에서의 구속상태에 관한 연구
- Small Punch 시험에 의한 고온설비부재의 경년손상 평가
- 후방산란 초음파를 이용한 재료의 열화손상 평가
- 황화물 환경에서의 오스테나이트 스테인레스강의 용접부 응력부식 균열에 관한 연구

제 5 절 보고서의 구성

본 사업은 1996년도에 시작된 계속사업으로 본 보고서에는 2차년도인 1997년도에 수행한 결과를 수록하였다. 제 1장에서 본 사업의 개괄 그리고 제 2장부터 제 6장까지에서 본 사업의 5개 분야를 각각 다루었으며 기반기술개발분야의 자체수행과제와 위탁수행과제의 내용은 별책으로 인쇄하고 본 보고서에는 요약문만을 수록하였다.

제 2 장 상시감시 시범사업

제 1 절 서 론

1. 사업의 배경

근래 우리나라에서는 국가 경제 규모의 급팽창과 함께 국가 경제활동에 없어서는 안될 사회간접자본이 양적으로 급격히 팽창하였다. 특히 교량, 댐, 터널, 대형 건축물 등 주요 시설물이 많이 건설되었는데, 시공 당시 경제성에 너무 치우친 나머지 부실공사가 있었으며, 사후 유지관리가 예산상의 어려움으로 부적절하게 이루어진 점이 없질 않았다. 이러한 상황에서 발생한 삼풍백화점과 성수대교의 사고는 공공의 안녕과 안전에 많은 관심을 갖게 하였으며, 이분야에 과학기술의 참여가 요청되었다.

한국표준과학연구원에서는 측정기술을 통한 공공안녕과 국가 경쟁력 향상에 이바지하고자 방재기술연구센터를 설립하여 몇몇 연구사업을 시작하였는데, 그 사업 중 하나가 안전관리 시범사업이며, 이 시범사업은 국가 주요 시설물 및 산업설비의 안전운용에 절대적으로 필요한 상태감시(condition monitoring)기술에 관한 연구·개발하는 것을 주 내용으로 하고 있다. 1996년부터 3개년간 상태감시기술의 연구는 국내 관련산업의 기술파급효과와 국가 기술자립을 고려하여, 교량 안전 운용에 필요한 교량 상시감시사업을 수행하게 되었다. 1996년도에는 사업 1차년도로서 상시감시 대상으로 대전광역시 동구 홍도동에 소재한 길이 660m의 홍도육교(1983년도 완공)를 대상으로 선정하여 교량 안전상태감시에 필요한 상시감시시스템을 설계하여 설치하였다. 홍도육교 현장에 콘테이너로 제작된 측정소를 설치하고 나서, 그 안에 상시감시시스템을 위치하였다. 홍도육교 상시감시시스템은 ① 온도센

서, 경사계, 가속도계, 풍향계, 풍속계, 변위계, 서보가속도계, 변형률계, 진동 현 응력계, 균열계 등 10종 64개의 센서, ② 각 센서에 맞는 신호증폭기, ③ 12 bit의 분해능의 아날로그-디지털 변환기를 갖는 데이터수집 기능의 퍼스널 컴퓨터로 이루어져 있다.

또한, 1996년도에는 상시감시할 위치를 선정하고 교량 상태를 파악하기 위하여, 대전광역시의 협조를 얻어 전문업체로 하여금 교량 정밀안전진단을 실시하도록 하였다.

2. 사업 내용

본 사업 제 2차년도인 1997년도에는 과제 1차년도에 설치된 홍도육교 상시감시시스템을 원격운용하기 위해서, 한국표준과학연구원 방재기술연구센터에 상황실을 설치하였으며, 상황실에서 홍도육교 안전상태를 상시감시할 수 있도록 하는 원격감시시스템을 구축하였다. 원격시스템은 홍도육교측정소에 설치된 현장 데이터 수집 시스템과 연구원내 설치된 상황실의 퍼스널 컴퓨터로 구성되며, 양자간에 모뎀에 의하여 연결되도록 하였다. 과제 1차년도에 설치된 측정소 현장의 데이터 수집 프로그램은 DOS 체제하에서 작동하는 것이었다. 이는 당시 국내에 설치·운용중인 대부분의 상시감시시스템들이 시설물 현장에서만 운용되기 때문이며, 향후 예상되는 전산 네트워크와의 연계성이 고려되어 있질 않은 것도 한 이유이다. 그러나 본 사업에서는 내무부에서 추진하고 있는 “국가 안전관리 정보시스템”과의 연계성을 고려하고, 데이터베이스 구축과 연계된 원격 상시감시시스템으로서의 활용을 고려하여, 과제 2차년도에서는 네트워크 환경으로 데이터 처리가 쉬운 운영 시스템 windows아래에서 활용될 상시감시시스템 프로그램을 개발하였다.

또, 상시감시시스템에서 활용되고 있는 센서들이 콘크리트 구조물의 이상 상황을 감시하기에 적합한가를 알아보고, 향후 시설물의 수명예측에 필요한

구조물 부재의 수명데이터 생산과 직접 연결성을 조사하기 위하여 콘크리트 부재의 피로실험을 수행하였다. 부재로는 콘크리트 교량에 이용되는 것을 상정하여 철근 콘크리트 상판과 보를 대상으로 하였으며, 실험은 가력장치가 없어 한국기계연구원에 위탁하여 수행하였다. 피로실험과정에서의 측정 은 한국표준과학연구원 방재기술연구팀에서 수행하였다.

또한, 교량 상시감시 시범사업의 대상체 상태를 알아보기 위하여, 충남대학교에 위탁연구를 주어 홍도육교 정밀안전진단을 실시하였다.

한편, 국내 주요 시설물의 상시감시기술의 관심이 많아지고, 채택 가능성이 높아짐에 따라 예상되는 외화절약차원에서 상시감시대상의 범위를 확장하고자, 터널 및 댐의 유지관리 현황조사를 각각 충남대학교와 동국대학교에 위탁연구로 수행하였다.

명년도인 과제 제 3차년도에서는 홍도육교 상시감시시스템에 데이터 보정 및 해석기능을 추가할 예정이며, 선진국에서 활용되고 있는 새로운 상시감시기술의 국내 도입을 위한 사전연구를 수행할 예정이다. 현재 검토되고 있는 새로운 상시감시기술은 댐, 경사면, 교량, 터널, 건축물 같은 대형 구조물의 안전상태를 국부적이 아닌 전체 형상으로서 감시할 수 있는 기술로써 열화상기술(thermography), GPS와 레이저를 이용한 시설물 절대 거동파악기술 등을 검토하고 있다. 병행하여 국내 시설물의 원격 상시감시에 적합한 상시감시시스템의 국산화 모델개발을 수행할 계획이다. 여기에는 기존 상시감시시스템의 문제점들이 조사 분석될 것이다.

제 2 절 홍도육교 상시감시시스템

1. 일반 상시감시시스템의 구성과 기능

실시간 상시감시 기능이란 교량, 댐, 터널, 대형 구조물 등 시설물의 안전 운용을 위하여 시설물의 주요부분에 적절한 센서(sensor, 감지기)를 부착하고, 이들 센서로부터 나오는 신호를 24시간 실시간으로 감지하여 시설물의 안전상태를 감시하는 것을 말한다. 이러한 기능은 통상 시설물 현장과는 어느 정도의 거리가 떨어진 상황실에서 이루어진다. 즉, 상시감시가 필요한 현장에 측정기기들을 설치하고, 구조물의 현 상태를 원 거리에 있는 주 컴퓨터에 측정 데이터를 전달하면, 주 컴퓨터는 측정데이터를 감시 혹은 분석하여 측정된 데이터가 구조물의 안정범위(설계 한계치)를 넘어서는가를 판단하게 된다. 상시감시시스템은 안정범위를 넘어서는 경우 위험 상황을 경보할 수 있는 기능을 갖고 있어야 하며, 경우에 따라서는 자동(교통)통제시스템을 작동시킬 수 있어야 한다. 전송된 데이터는 필요에 따라 여러형태의 그래프로 처리되거나 파일 형태로 관리될 수 있어야 하며, 향후 연계되는 또 다른 시스템과의 데이터 호환성을 고려하여 처리되어야 한다.

본 사업에서는 교량 현장인 홍도육교 측정소와 한국표준과학연구원내 상황(감시)실에 각각 상시감시 데이터 수집용 퍼스널 컴퓨터와 감시/분석용 퍼스널 컴퓨터를 두고, 양쪽 컴퓨터를 모뎀과 전화선을 이용하여 연결·구성하였다. 홍도육교 측정소에 있는 퍼스널 컴퓨터는 구조물에 장착된 각종 센서들에 의해 측정된 신호를 컴퓨터 내부에 설치된 인터페이스 카드(data acquisition board)를 통하여 수치 데이터로 전환하고, 이 전환된 데이터를 전용회선 모뎀이나 일반 전화회선 모뎀을 이용하여 원거리에 있는 연구원내 상황실 퍼스널 컴퓨터로 데이터를 전송하는 기능을 갖는다.

2. 원격 상시감시시스템의 기능 및 설계

본 사업에서는 홍도육교 측정소에 있는 퍼스널 컴퓨터를 클라이언트(client)라 하고, 상황실에 있는 컴퓨터를 서버(server)라고 하여, 기본 네트워크를 구성하였다. 클라이언트는 자체 컴퓨터를 관리/제어하게 되고, 수집된 데이터를 서버에 전송하면서 동시에 클라이언트 자체 기록매체에 데이터를 일자별로 저장한다. 서버는 클라이언트에 저장된 데이터를 비정기적으로 파일형태로 받아 서버에 부착된 광디스크에 저장하며, 타 사용자와의 데이터 공유를 하게 된다. 일반 데이터 해석자나 서버는 상용의 다른 해석 프로그램을 이용하여 여러형태의 그래프로 처리하든가 혹은 감시할 수 있다. 또한 현장 외의 임의의 장소에서 원격 상시감시를 위하여 클라이언트나 서버에 접속할 수도 있는 기능을 갖도록 설계하였다.

즉, 본 사업에서의 클라이언트 시스템(교량 현장)은 실시간 상시감시를 위해서 구조물의 거동을 파악하는 여러개의 센서를 부착하고, 각각의 센서에서 나오는 미세한 전압을 증폭·수집하여 컴퓨터용 수치 데이터로 변환, 보조기억 장치에 저장한다. 또 측정된 데이터는 실시간 상시감시를 위하여 서버에게 전송 되는데 전용회선 모뎀을 이용하게 된다. 클라이언트 시스템에는 일반 전화회선 모뎀이 준비되어 있는데, 이는 제 3의 장소에서 상시감시가 가능하도록 배치한 것이다. 데이터 수집은 정규적으로 수집·저장하는 기능이 있으며, 또한 임의 설정값(threshold)을 초과하는 경우 강제적인 저장기능을 갖도록 설계하였다. 이는 소위 상태감시기술에서 event trigger 기술인데 교량의 경우, 설계 허용범위를 초과하는 하중이 생겼을 때 그 피해 정도를 저장하여 추후 시설물 안정상태 평가에 이용하도록 하는 것이다. 이 경우 서버에게 이를 통보하여 감시원이 적절한 조치를 취할 수 있도록 경보를 줄 수 있다.

한편, 서버 시스템(한국표준과학연구원)의 실시간 상시감시를 위해서 클라

이언트 시스템에서 받은 데이터를 분석·관리 하며, 클라이언트 시스템의 정상적인 운영을 위해 실시간 제어 신호를 보내준다. 클라이언트 시스템으로부터 받은 데이터들은 여러형태의 그래프나 도표로 보여질수 있는데 이는 상용의 프로그램(예로써 DasyLab이나 Exel 등)과의 연결될 수 있다. DasyLab 프로그램과의 연결은 Window95에서 지원되는 데이터 교환 protocol의 한 형식인 DDE(Dynamic Data Exchange)방식을 사용하도록 설계하였다. MicroSoft Window95의 기능중 DDE 기능은 응용 프로그램과 또 다른 응용 프로그램과의 통신을 목적으로 만들어진 기능이다. Window95가 매개체가 되어 상호 응용프로그램 간의 데이터 통신을 제어하는데 DasyLab 프로그램이 이를 지원하고 있다. 먼저 서버 시스템의 main 프로그램이 클라이언트 시스템(구조물)으로 부터 측정 데이터를 전송받아 이를 Window95 DDE 형식의 데이터로 전환하여 이를 DasyLab 프로그램으로 전달한다. 측정 데이터를 전달 받은 DasyLab 프로그램은 운영자가 미리 작성해 놓은 여러형태의 그래프나 도표로 데이터를 전달하여 운영자가 볼 수 있도록 모니터에 나타내준다. DasyLab 프로그램은 측정 데이터의 모니터링과 함께 저장도 할수 있으며, 필요한 경우 프린터로 그래프나 도표를 출력할수 있다.

또, 클라이언트 시스템에서 전송되어 오는 데이터 중 비정상적인 수치값이 전송되어 오면 이를 운영자에게 알리는 경고를 내보내는 기능도 있어야 한다. 서버 시스템은 정기적으로 데이터를 저장·관리하여 보다 많은 자료를 효율적으로 처리할 수 있도록 하였다.

또한, 휴대용 상시감시시스템은 운영자가 서버 시스템이 위치한 한국표준 과학연구원이 아닌 다른 장소에서 클라이언트 시스템(구조물측)과의 접속을 위하여 설계된 상시감시시스템이다. 휴대용 상시감시 시스템은 서버 시스템에서 갖는 기능중 일부는 사용할 수 없는데 그 이유는 일반전화 회선을 이용한 시스템이라 데이터 전송속도가 빠르지 않기 때문이다. 이상의 시스템

을 정리한 것이 표 2-2-1이다.

클라이언트 시스템에서 생성된 측정 데이터는 내부 하드디스크에 저장되나 기억 장치의 저장용량에 한계가 있어, 이를 서버시스템에 전송하여 저장한다. 클라이언트 시스템의 데이터 파일 생성은 사용자 정의에 따라 초(sec) 단위로 생성 및 저장 될 수 있는데, 이를 날짜별로 묶어 관리하게 된다. 클라이언트 시스템에서는 최저 7 일에서 최고 1 개월 분량의 측정 데이터를 보관·관리 한다. 클라이언트에서 관리하는 데이터들은 다시 사용자 정의에 따라 서버 시스템(표준과학연구원)으로 전송되어지는데, 날짜별로 저장된 데이터를 서버 시스템의 사용 빈도가 낮은 오전 0 시에서 2 시 사이에 전송되어 진다. 서버 시스템은 클라이언트에서 전송되어 오는 측정 데이터를 비정기적으로 보조기억 장치중 하나인 광 디스크에 저장하도록 하였다.

Table 2-2-1. Specification of the remote monitoring system

	client system (교량현장)	server system (표준연구원)	mobile system
system O/S	한글 Window95	한글 Window95	한글 Window95
C P U	Pentium 75MHz 이상	Pentium 75MHz 이상	Pentium 75MHz 이상
memory	RAM 16MB 이상	RAM 16MB 이상	RAM 16MB 이상
hard disk	HDD 1 GB 이상	HDD 2.1 GB 이상 Backup용 광디스크	HDD 540 MB 이상
modem	전용회선용 일반전화회선용	전용회선용	전화회선용
device	Data Acquisition Board		
function	- data acquisition - data transfer - data handling	- client control - data backup - monitoring(by DDE) - data handling	- same as server

광 디스크에 저장된 측정 데이터 들은 한국표준연구원이나 다른 기관과의 공유를 위하여, 여러 형태의 데이터로 저장되어진다. 기본적으로는 text 문서 형태를 사용하며, MicroSoft Excel 사용자 및 Lotus 사용자를 위한 Cell 단위의 데이터 형식으로도 저장된다. 또한 체계적인 데이터 관리를 위해 데이터베이스 파일(DBF) 형식도 지원할 수 있게 했다. 서버 시스템에서는 DasyLab 이라는 응용프로그램과 클라이언트 시스템을 on-line으로 연결하여 서버 시스템으로 전송되어 오는 측정 데이터를 DayLab 프로그램으로 전달할 수 있게 하였다.

클라이언트 시스템은 서버 시스템으로 전송된 측정 데이터들을 일정기간 보관 하다가 기간이 지나면 이들 데이터들을 삭제하도록 하였다. 이는 클라이언트 시스템의 보조기억 용량 초과로 인한 시스템이 멈추는 현상을 방지하고, 시스템의 안정적 운영과 효율을 높이기 위함이다. 서버 시스템 역시 비정기적 데이터 백업을 실시하여 보조기억 장치 용량 초과로 인한 시스템 멈춤 현상을 방지하고 데이터 입출력에 소요되는 시스템의 부하량을 줄여 클라이언트 시스템과의 통신상태를 원활히 유지할수 있도록 하였다.

이처럼 비정기적 감시 데이터의 저장은 클라이언트 시스템(구조물)이나 서버 시스템(표준연구원)의 보조기억장치 저장용량 한계로 인한 시스템의 멈춤 현상을 방지하며 클라이언트 - 서버 간에 원활한 통신상태 및 시스템의 부하량을 감소 시켜준다. 그리고 체계적인 측정 데이터의 보관과 관리로 운영자가 원하는 자료를 신속, 정확하게 찾을수 있다. 또한 이들 데이터들은 internet과 같은 통신망을 이용하여 보다 많은 이용자들에게 상시감시 자료로 제공 될 수 있도록 하였다.

3. 원격 상시감시 프로그램의 개발

과제 1차년도에 설치된 홍도육교 상시감시시스템의 상시감시 데이터 수집 프로그램이 DOS환경에서 실행되는 것이어서, 과제 2차년도에는 windows환경에서 실행되는 프로그램이 개발되기까지 원격 상시감시 가능성을 실험하였다. 교량 현장에서는 DOS 환경의 데이터 수집 프로그램으로 상시감시 데이터를 수집하고, 자체 하드디스크에 저장하였다. 저장된 데이터는 상용의 원격 제어 소프트웨어인 'pcANYWAY'라는 프로그램을 이용하여 데이터 전송을 실시하였다. 전송된 데이터는 홍도 육교의 데이터 수집 프로그램과 동

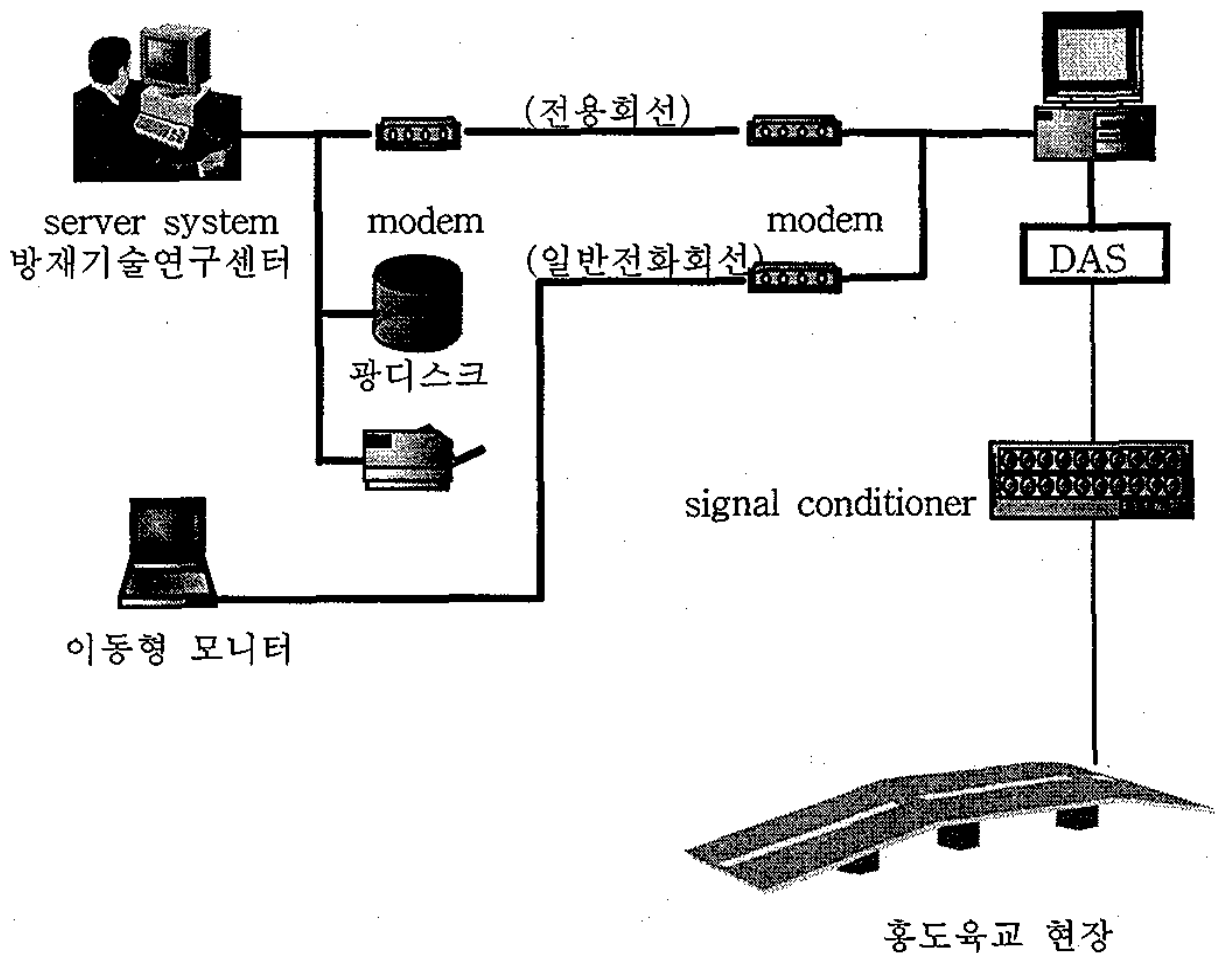


Fig.2-2-1 The remote monitoring system of the overpass 'Hong-do'

일한 프로그램을 한국표준과학연구원의 상황실에 있는 컴퓨터에서 실행함으로써 홍도육교의 상황이 재현되었다. 그러나 상용 프로그램의 기능이 원만하지 않고, 전화회선의 품질이 좋지 않아 데이터의 송수신이 잘 이루어지지 않았다. 상용프로그램이 원격제어 대상 컴퓨터가 동일한 운영시스템에서 실행될 때 그 기능을 제대로 발휘하나, 실험에서는 홍도육교 현장의 컴퓨터는 DOS체제이고, 연구원 상황실의 컴퓨터는 windows체제여서 응용상황에 따라 컴퓨터 운영시스템의 변경 문제가 발생하여 원격 제어기능이 원만하지 못하였다. 홍도육교 컴퓨터의 운영시스템 변경문제는 rebooting방식에 의해 배치파일로 해결하였으나, 데이터 수집 프로그램의 실행과 데이터 원격 송수신 프로그램 실행 때마다 rebooting을 해야만 하는데, 원격 데이터 송수신 간에 통신 불안정이 발생되면, 시스템이 멈추는 현상이 발생하여, 결국 홍도육교 현장에 사람이 다시 가야 하는 문제가 생기기도 하였다. 또, 통신이 잘 될 때에는 교량 현장의 상황을 실시간으로 감시가 가능하였으나, 이 경우 홍도육교 상시감시 컴퓨터 화면 데이터가 연구원 상황실 컴퓨터로 전송되어 오야만 하기 때문에 데이터 전송량 과다로 시간이 많이 소요되는 문제가 발생하였다. 긴 통신시간 중 통신 불안정 현상이 재발되면, 결국 사람이 양쪽 컴퓨터를 reboot시켜야만 하는 불편사항이 발생하였다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 다음의 기능을 갖는 원격 상시감시 프로그램을 C언어를 사용하여 개발하였다.

가. 클라이언트 시스템

1) 구동 파일 및 기능

클라이언트 시스템의 구동을 위해서 원격 데이터 수집 프로그램 (REMOTE.EXE)을 개발하였다. 이 프로그램은 실제적으로 클라이언트 주 화면으로써 제기능을 수행한다. Fig.2-2-2는 원격 데이터 수집 프로그램의

주화면을 나타낸다. 클라이언트 시스템의 원격 데이터 수집 프로그램의 기능은 Fig.2-2-3과 같다.

2) 통신모뎀의 환경설정

클라이언트 시스템은 전용회선 모뎀 및 일반 전화회선 모뎀을 사용하여 서버 시스템과 연결된다. Fig.2-2-4는 통신 모뎀의 환경설정 화면을 나타낸 그림이다. Fig.2-2-4에서 각 모뎀에 맞는 환경을 설정하며, 통신포트 1에는 전용회선을 설치하며, 통신포트 2에는 전화회선을 설치하도록 하였다. 환경 설정은 전송속도의 경우 전용회선모뎀은 9600 BPS를 일반 전화회선은 115200 BPS를 설정하고, 데이터비트는 8 BIT를 사용하며, 패리티는 사용을

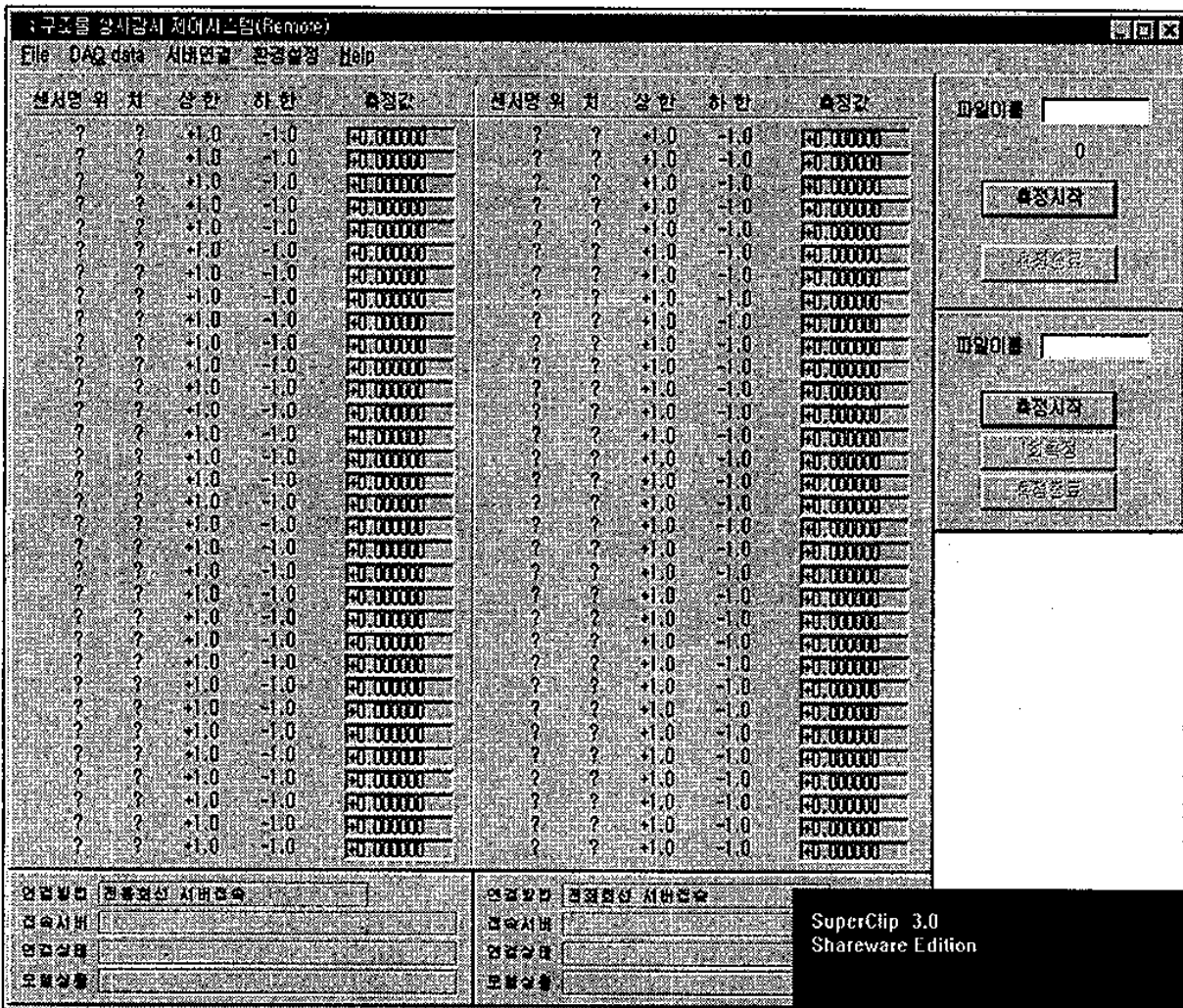


Fig.2-2-2 The main screen of the client system

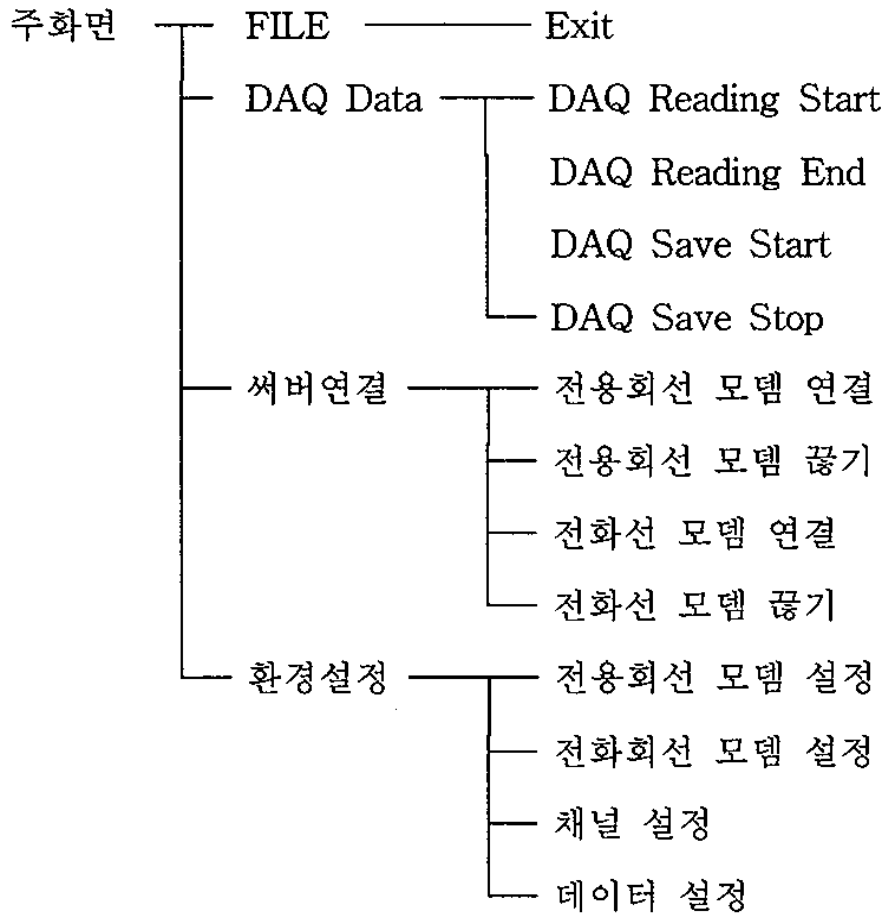


Fig.2-2-3 The main menu of the client system

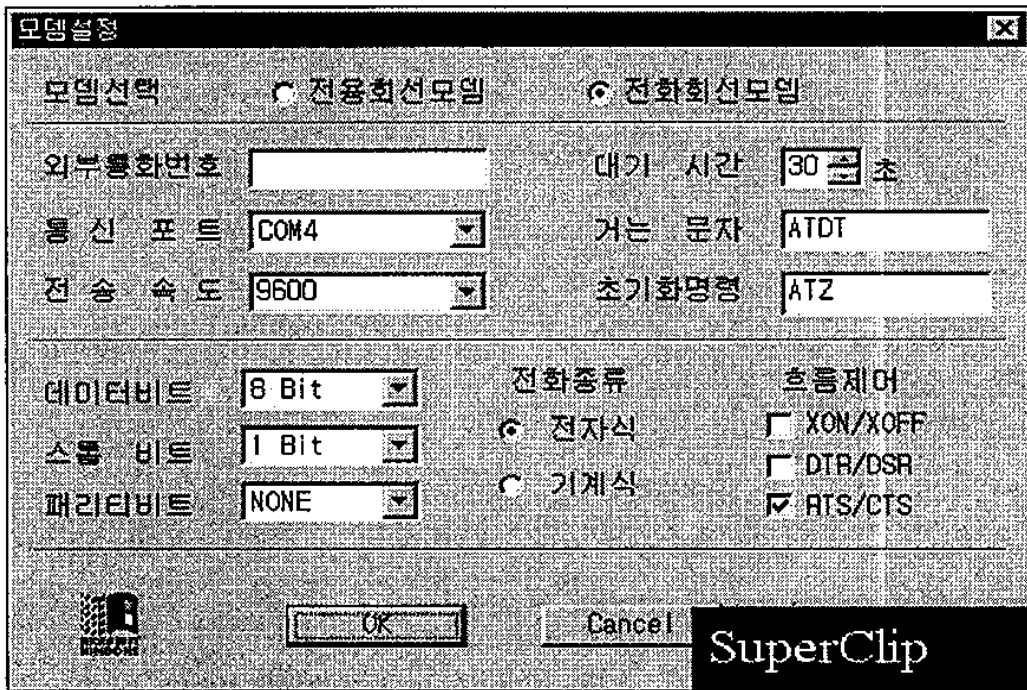


Fig.2-2-4 The communication screen of the client system

안하며, 스톱비트의 경우 1 BIT를 선택하여 사용하고, 흐름제어의 경우 기본적으로 RTS/CTS를 사용한다. 초기화면은 ATS=1을 사용하고, 외부통화 번호 및 대기시간, 거는 문자는 사용을 하지않는다. 선택이 완료되면 확인버튼을 눌러 설정을 끝내도록 개발하였다.

3) DAQ 채널 환경설정

환경설정 메뉴에서 채널설정을 선택하면 데이터 수집(DAQ : Data Acquisition)과 관련된 채널별 환경을 설정할 수 있다. 즉, 이 모드에서 시설물의 원격 데이터 수집과 관련된 측정 파라미터들을 설정한다. Fig.2-2-5는 채널설정 화면을 나타낸 그림이다. 이 모드에서 센서명은 센서의 종류나 명칭을 입력하고, 위치는 센서가 부착된 위치를 입력하며, 상한값은 센서에서 입력되는 측정값의 상한치를 정하는 것이며, 하한값은 센서의 하한치를 입력하면 된다. 상수란은 센서의 감도와 증폭율 등 측정값에 곱하여져 원하

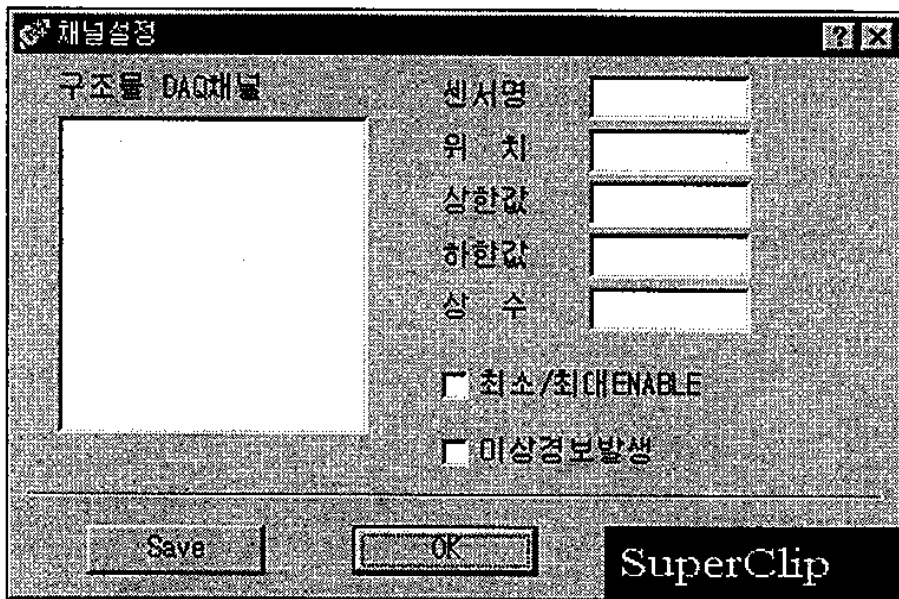


Fig.2-2-5 The input channel description screen of the client system

는 측정단위 값으로 변환하기 위하여 필요한 수치 기입란이다. 최소/최대란은 상한값과 하한값의 사용여부를 정하는 것이다. 여기서 상한값과 하한값을 구조물의 설계 허용치를 입력시킴으로써 상시감시 범위로 활용할 수 있다.

4) 모뎀 환경설정

모뎀의 연결은 서버와의 통신을 위한 것으로 서버연결메뉴의 전용회선 모뎀 연결이나 일반 전화회선 모뎀연결 메뉴를 선택하면된다. Fig.2-2-6은 모뎀연결 환경설정을 위한 스크린의 내용을 나타낸 그림이다.



Fig.2-2-6 The screen for modem description

5) 데이터 수집의 시작

데이터 수집 시작은 DAQ Data 메뉴의 DAQ Reading Start메뉴를 선택하면 측정이 시작된다. Fig.2-2-7 은 측정이 시작된 상황을 나타낸 그림이다.

6) 데이터의 저장

측정값의 저장은 DAQ Data메뉴의 Daq Saving Start메뉴를 선택하면 측정값의 자료가 저장된다. 측정값의 저장은 과제 2차년도에서는 임의적으로

각 채널당 1분당 60회 읽은 측정값을 평균을 내어 저장하도록 하였다. 저장 간격과 평균화 작업은 과제 3차년도에서 최적의 값을 찾아 내는 것이 필요하다고 생각된다. 짧은 시간마다 저장을 하면 구조물 거동 상황을 잘 파악할 수 있을 지는 모르지만, 저장되는 데이터의 양이 많아 처리하기가 곤란하며, 추후 상시감시시스템이 수명예측과 같은 전문가시스템으로 발전할 경우 데이터 해석에 많은 시간이 소요될 수도 있기 때문이다. 한편, 파일의 정장은 추후 상용의 프로그램(예, EXCEL, Lotus 등)으로 해석하기 편하도록 1일 하나의 이름으로 24시간의 데이터를 저장하도록 하였다.

DAQ	High	Low	Value	DAQ	High	Low	Value	DAQ	High	Low	Value
CH-00	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-22	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-44	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-01	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-23	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-45	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-02	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-24	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-46	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-03	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-25	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-47	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-04	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-26	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-48	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-05	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-27	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-49	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-06	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-28	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-50	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-07	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-29	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-51	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-08	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-30	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-52	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-09	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-31	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-53	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-10	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-32	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-54	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-11	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-33	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-55	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-12	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-34	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-56	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-13	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-35	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-57	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-14	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-36	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-58	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-15	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-37	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-59	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-16	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-38	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-60	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-17	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-39	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-61	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-18	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-40	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-62	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-19	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-41	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-63	+5.0V	-5.0V	+0.000000
CH-20	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-42	+5.0V	-5.0V	+0.000000				
CH-21	+5.0V	-5.0V	+0.000000	CH-43	+5.0V	-5.0V	+0.000000				

SuperClip 3.0
Shareware Edition

Fig.2-2-7 The screen of data acquisition status

나. 서버 시스템

1) 구동 파일 및 기능

서버 시스템의 구동을 위해서 개발된 프로그램은 서버.exe라는 파일이다. 이 프로그램은 서버로서의 제기능 갖도록 개발하였다. Fig.2-2-8은 서버 프로그램을 실행하였을 때 나타나는 주화면을 나타낸다. 서버 시스템의 기능은 Fig.2-2-9와 같다.

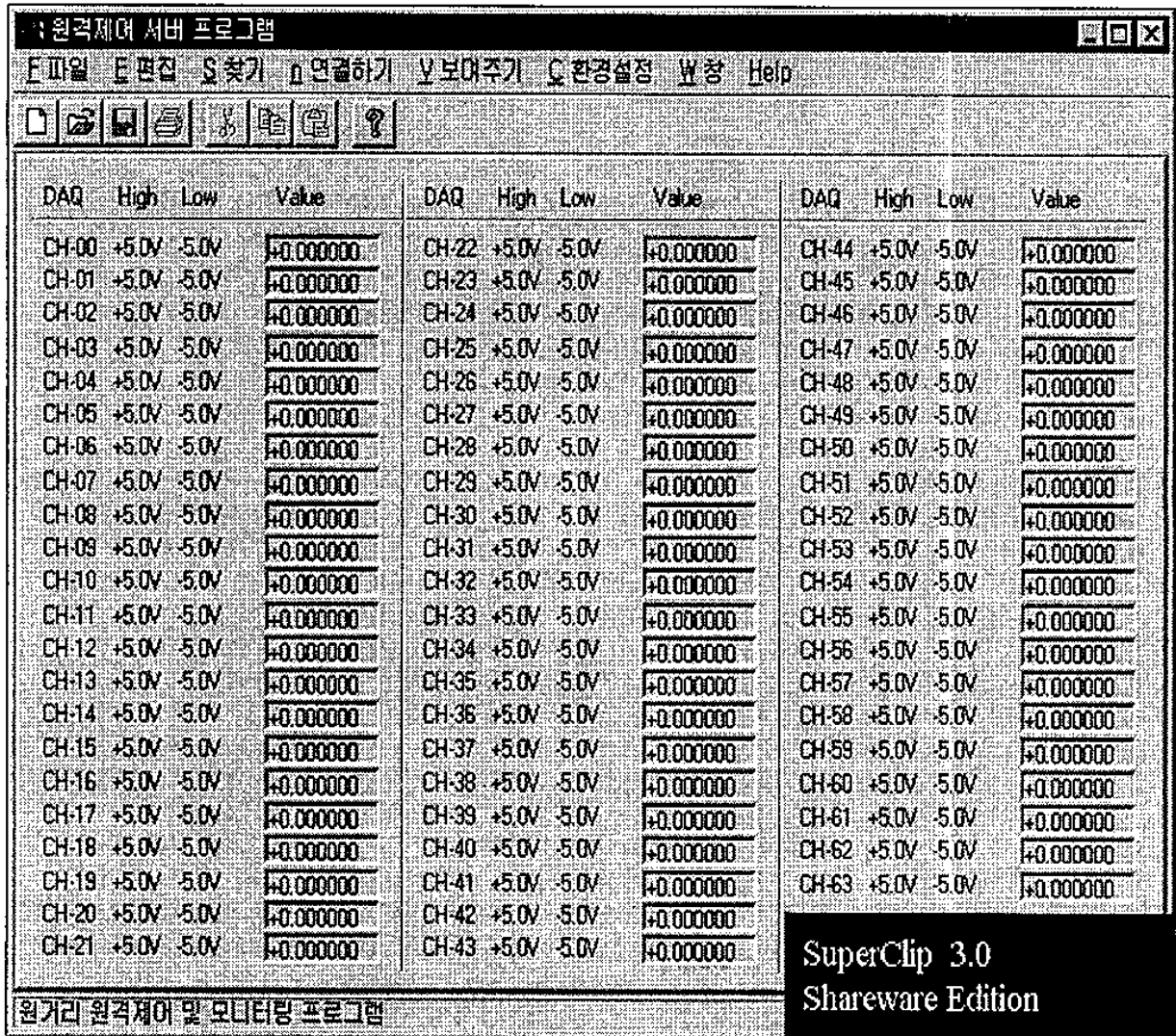


Fig.2-2-8 The main screen of the server system

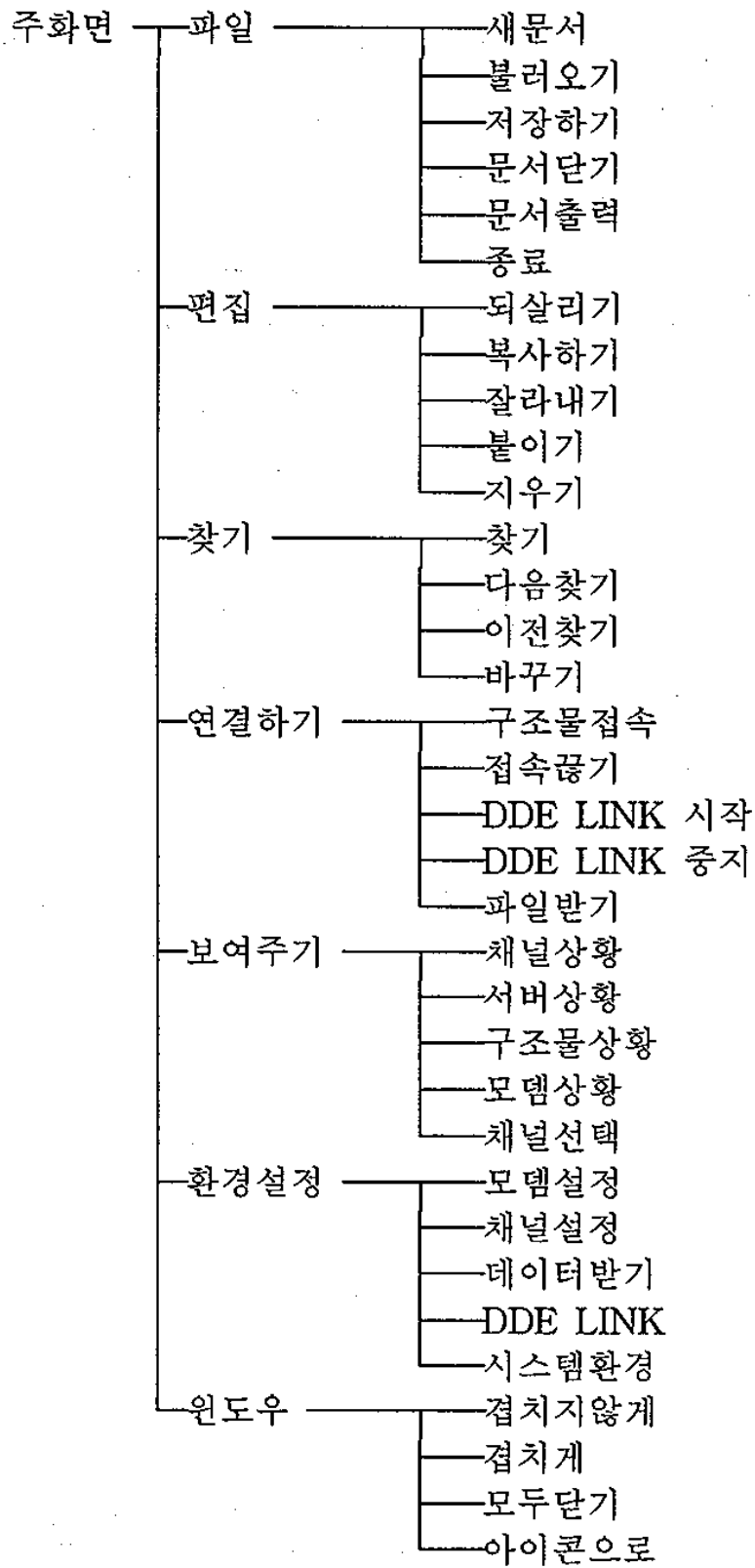


Fig.2-2-9 The main menu of the server system

2) 통신모뎀의 환경설정

씨버 시스템은 전용회선 모뎀 및 일반 전화회선 모뎀을 사용하여 클라이언트 시스템과 연결된다. Fig.2-2-10은 통신 모뎀의 환경설정 화면을 나타낸 그림이다. Fig.2-2-10에서 각 모뎀에 맞는 환경을 설정하며, 통신포트 1에는 전용회선을 설치하며, 통신포트 2에는 전화회선을 설치하도록 하였다. 환경설정은 전송속도의 경우 전용회선모뎀은 9600 BPS를 일반 전화회선은 115200 BPS를 설정하고, 데이터비트는 8 BIT를 사용하며, 패리티는 사용을 안하며, 스톱비트의 경우 1 BIT를 선택하여 사용하고, 흐름제어의 경우 기본적으로 RTS/CTS를 사용한다. 초기화명은 ATZ=1을 사용하고, 외부통화번호는 클라이언트 시스템의 전화회선모뎀의 전화번호를 입력한다. 거는문자는 ATDT를 입력한다. 대기시간은 30초를 입력한다. 선택이 완료되면 확인버튼을 눌러 설정을 끝내도록 개발하였다.

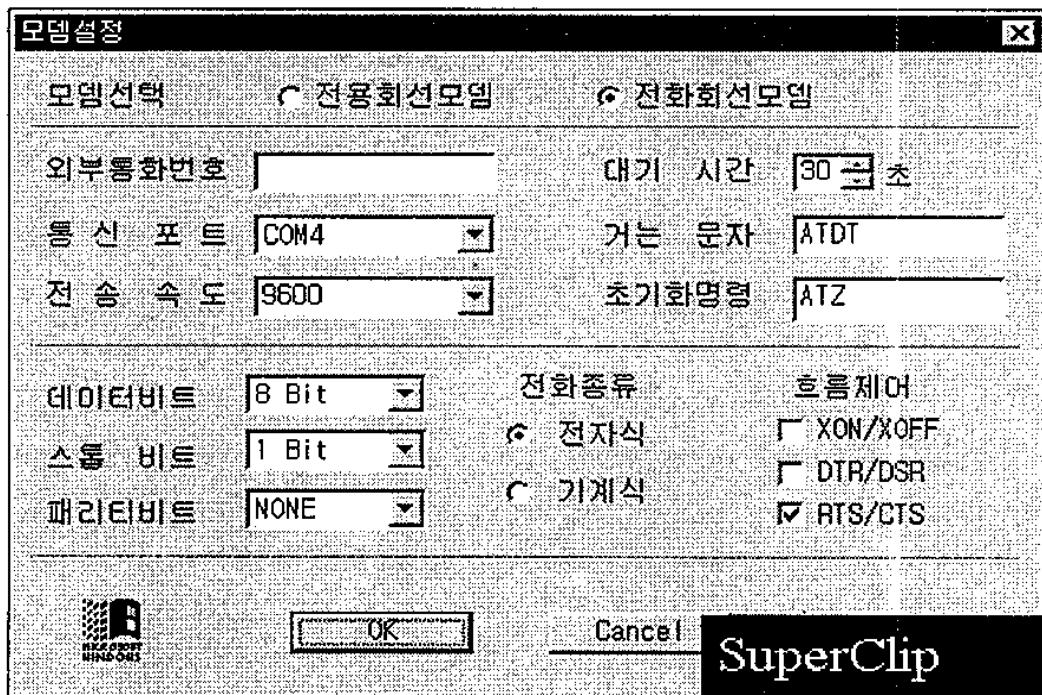


Fig.2-2-10 The communication screen of the server system

3) DAQ 채널 환경설정

환경설정 메뉴에서 채널설정을 선택하면 데이터 수집(DAQ : Data Acquisition)과 관련된 채널별 환경을 설정할 수 있다. Fig.2-2-11은 채널 설정 화면을 나타낸 그림이다.

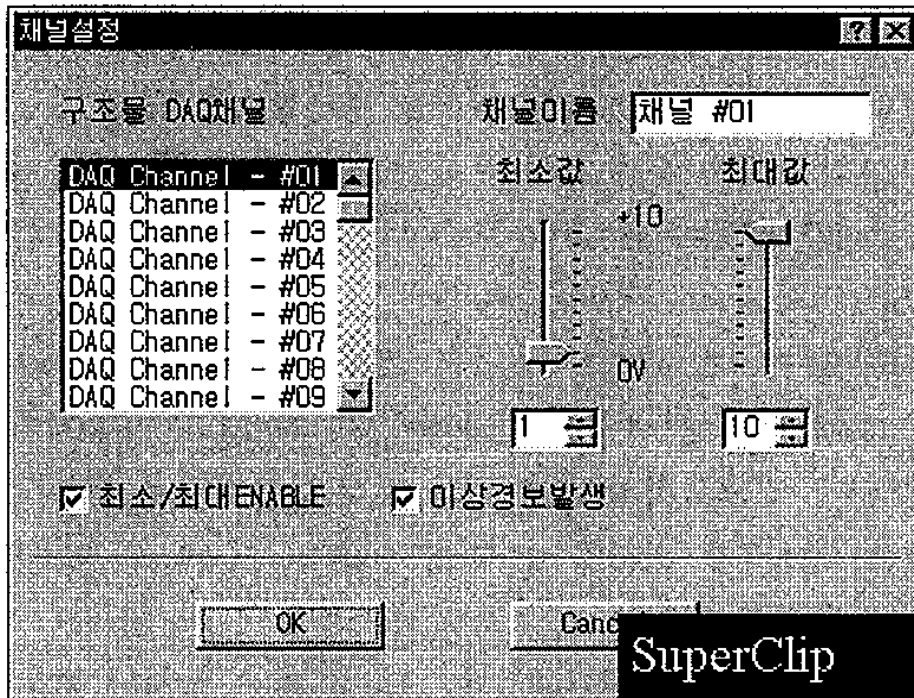


Fig.2-2-11 The input channel description screen of the client system

4) 데이터 받기 환경설정

환경설정메뉴에서 데이터 받기메뉴를 선택하면 다음과 같은 화면이 나온다. 데이터 받는 시간은 기본적으로 오전 1시로 설정하였으며, 필요한 경우 시간을 변경할 수 있다. 데이터 검사는 클라이언트에서 통신 모뎀을 통하여 들어오는 측정 데이터가 정확한지를 검사하는 것이다. 이상시 다시받기는 모뎀을 통하여 들어오는 데이터가 오류를 발생시켰을 때 다시 받는 것이다. 경보발생은 클라이언트에서 측정데이터가 한계값 이상을 초과했을 때 경보를 발생하도록 하는 기능이다.

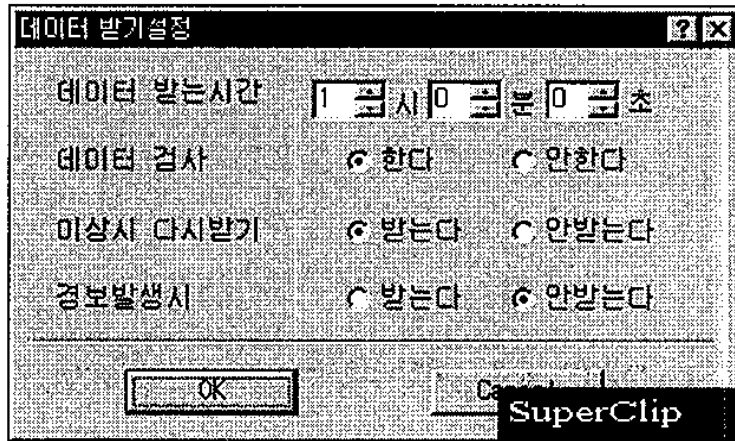


Fig.2-2-12 The data input description screen of the server system .

5) 구조물과의 연결

클라이언트시스템과의 연결은 연결하기 메뉴에서 구조물 접속을 선택하면 이루어진다. 구조물과의 연결은 클라이언트 시스템에서 측정된 데이터를 전송받기위한 것으로 전용회선 모뎀이나 전화회선 모뎀을 이용한다. 구조물과 접속되면, 클라이언트에서 1초에 64개의 채널에 대한 측정값을 서버측으로 보내지는데, 서버는 이를 화면에 표시하도록 하였다.

데이터받기의 설정에 따라 서버는 정해진 시간에 클라이언트에게 저장되어 있는 측정값을 요구하게되는데, 클라이언트는 서버의 요청에 따라 데이터를 전송하게된다. 클라이언트는 전송하였던 데이터를 수일간 보관하다가 이를 삭제한다. 클라이언트에서 보내진 데이터를 받은 서버는 체계적인 데이터 관리를 위하여 클라이언트 시스템에 데이터베이스를 생성하고 이를 관리하도록 하였다. 향후 방재 데이터베이스가 대규모로 이루어질 경우 데이터 공유가 가능하도록 하였다. 사업 제 2차년도에서는 광자기 디스크와의 연결로 데이터베이스 구축에 한계를 두었다. 광자기 디스크는 기록매체 한 개에 2.6 GB의 데이터를 저장할 수 있다.

6) DDE 연결

DDE LINK는 각종 그래프를 손쉽게 작성하고 일반 사용자들이 각자 소유하고 있는 응용프로그램과의 데이터 호환성을 위하여 개발된 기능이다. 본 사업에서는 그래프와 FFT기능을 갖고 있는 상용 프로그램인 DasyLab과 연결을 구상하여 실시하였다. DasyLab에서 그래프의 형식이 선정하면, 서버 프로그램과 DasyLab 프로그램과의 동적 데이터 교환이 이루어지는데 이는 운영시스템 windows내의 DDE기능을 이용한 것이다. 동적 데이터의 교환은 1초에 최대 16개의 채널을 이용할수 있는데, 연결메뉴에서 DDE LINK 시작을 선택 함으로써 교환이 시작된다. DasyLab은 전달되어 오는 동적 데이터를 미리 선정한 그래프형식에 맞도록 데이터를 전환하여 화면에 표시한다.

7) 채널 상황 보기

채널상황은 주 화면에 나타난 것으로 채널에 대한 측정값을 화면에 나타낸다. 또한 클라이언트 시스템의 계측 상황을 매 초 마다 서버에 알려 관리자가 구조물의 측정상황을 쉽게 알 수 있도록 하였다.

8) 서버 상황 보기 및 구조물 상황 보기

이 기능들은 서버 시스템의 작업현황과 클라이언트 시스템의 자료 측정 상황을 보여주는 것으로 모뎀을 통하여 전달되어 오는 측정값, 클라이언트 시스템의 기억장치 사용 상황, remote 프로그램(클라이언트 시스템)의 이상 진단 등을 실행함은 물론, 서버 시스템의 이상진단을 실행하여 관리자에게 통보한다. 매 시간 마다 이들자료를 저장하여 관리하도록 하였다.

9) 채널 선택

서버가 클라이언트에게 요구하는 채널을 선택하는 것으로 보여주는 메뉴

에서 채널 선택을 하면 Fig.2-2-13과 같은 화면이 나타난다. 현재 홍도육교 감시 채널은 64개이며, 서버는 추가버튼을 누름으로써 선택할 수 있다. 원하는 채널을 구조물 DAQ 채널에서 선택하여 추가버튼을 누르고, 확인버튼을 누르고 나서, 데이터 받기시간을 자동과 시간조정 중에서 선택하여 원하는 시간을 선택하여 입력한다. 확인 버튼을 누름으로써 환경 설정을 마친다. 이렇게 하였을 경우, 홍도육교 구조물의 특정 부분만을 실시간으로 감시할 수도 있다.

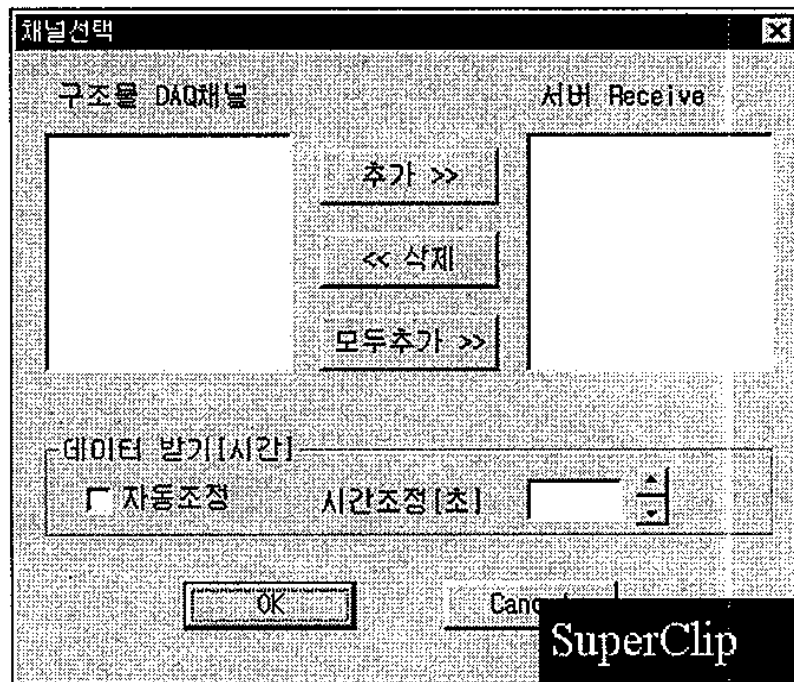


Fig.2-2-13 The channel input description screen of the server system

10) 시스템 환경 설정

서버 시스템 관리를 위한 환경설정 모드이다. 데이터 저장과 관련된 디렉토리 설정과 종료시 저장 경고음의 발생여부 등을 설정하도록 하였다. Fig.2-2-14에 시스템 환경설정 화면을 나타내었다.

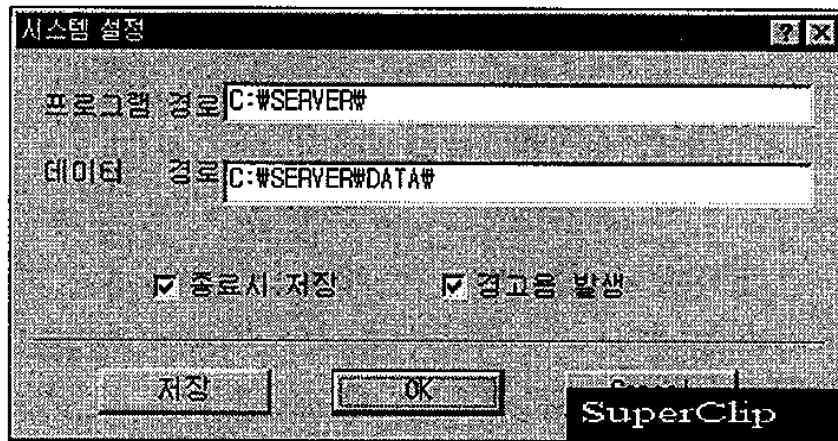


Fig.2-2-14 The route description screen of the server system

4. 홍도육교 상시감시 데이터 해석

홍도육교의 상태파악을 위하여 정밀안전진단을 위탁연구의 일환으로 실시하였으며, 그 결과는 충남대학교 위탁연구보고서에 있다.

가. 교량 거동 계측

교량 거동을 관측 혹은 감시하기 위해서는 시스템 구축에 소요되는 각종 센서의 설치위치, 방향, 연결방법 등이 검토되어야 한다. 거동 계측으로부터 교량 구조물의 종합적인 건전성 확보는 물론, 구조물 유지관리에 실용적으로 이용할 수 있는 계측이 되도록 계측항목을 과제 1차년도에 선정하였다.

일반적으로 계측거동을 알아보기 위해서 여러 가지의 센서를 교량 구조물에 부착한다. 즉, 변형률 측정의 목적은 측정된 변형률을 통한 응력산정후, 교량구조물에 허용응력이 초과되어 발생하는지를 파악하는 것이다. 센서의 부착위치는 상판에서 정·부 최대모멘트 발생위치 및 최대하중 발생위치로 한다. 처짐량을 계측함으로써 허용처짐의 초과여부를 판정할 수 있다. 처짐을 측정하는 센서의 설치는 그 특징을 고려하여 적절하게 수행하여야 한다. 따라서 처짐용 계측기는 최대처짐 발생위치인 경간 중앙부에 설치되는 것이 보통이다. 교량을 구성하는 부재의 기울기를 파악함으로써 구조물의 이상거동을 사전에 파악할 수 있다. 따라서, 교량의 기울기 및 침하여부를 판정하기 위해서는 경사 측정용 센서를 교각부 및 교대부에 설치한다. 진동분석을 통하여 구조물의 강성 및 내하력 분석, 비틀림 등의 상태파악, 풍하중에 의한 교량의 횡방향 진동상태 파악 등을 평가할 수 있다. 진동을 측정하기 위한 센서는 최대 진폭이 예상되는 위치에 설치한다. 피로 균열의 진전은 일반적으로 균열계를 대상부위에 직접 부착하여 균열의 팽창을 상시로 측정한다. 풍향 및 풍속은 교량 구조물의 기본환경 상태를 파악하기 위해 설치되며, 계측 장비 설치 지점에 근접한 위치에 설치하면 된다. 온도계는 교량 각 부재의 상황을 해석하는데 없어서는 안 될 측정항목이며, 특히 스트레인 게

이지를 이용한 센서류의 온도보상을 위하여 반드시 측정되어야 한다. 이상을 표로 정리한 것이 Table2-2-2이다.

Table 2-2-2 The sensors for monitoring the bridge behavior

센서	설치장소	설치목적
처짐계 (동적)	중앙부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 처짐 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 활하중에 따른 교량의 동적 처짐을 측정 - 정기적인 기간 동안 최대치를 구하고 그 변화 양상을 분석 - 파형을 분석하여 교량의 동적 거동 분석에 활용
온도계	응력계 설치부위	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온도 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 온도 변화 양상을 측정하여 각종 변환기의 측정값을 보완 수정
처짐계 (정적)	중앙부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 형상 관리 <ul style="list-style-type: none"> - 본 교량은 PC 교량으로서 공용 기간의 증대에 따라 장력의 약화는 예측할 수 있는 문제이다. 이에 교량의 잔류 처짐 또한 발생 후 계속적으로 발생할 수 있다. 이에 정적 처짐계를 설치하여 차량의 통행이 없는 시간대에 발생 가능한 잔류 처짐량을 측정한다.
응력계	중앙부 가로보	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중앙부와 가로보 부분 발생 응력 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 차량 하중을 포함한 활하중에 의한 발생 응력 측정
변위계	교좌장치 (가동(MOVE) 교좌장치)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 운동량 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 활하중에 따른 힌지부의 운동 상태를 측정 ○ 측정 응력 보정 <ul style="list-style-type: none"> - 온도 변화에 따른 신장이나 압축에 제약이 없으면 변형은 발생하나 응력은 발생하지 않는다. 그러나 응력계는 변형율을 측정하여 응력을 산출하는 원리이므로 실제로 응력이 발생하지 않아도 온도 변화에 따른 변형이 측정된다. 이에 교량 보강형의 온도에 따른 신장 및 압축량을 측정하여 응력계에서 측정된 응력을 보정한다. $\text{실제 변형}(\epsilon_{ac}) = \text{측정 변형}(\epsilon_m) - \frac{\text{변위계에서 측정된 변위량}}{\text{고정단 교좌장치에서 교대까지의 길이}}$ $\text{실제 응력}(\sigma_{ac}) = \text{부재의 탄성계수} \times \text{실제 변형}(\epsilon_{ac})$

Table 2-2-2 The sensors for monitoring the bridge behavior(cont'd)

센서	설치장소	설치목적
균열계	교각부 교대부	○ 발생균열 진전성 측정 - 차량하중을 포함한 활하중, 교량의 사하중, 지반상태 변화에 따른 발생균열의 크기 측정
풍향· 풍속계	교량 중앙부	○ 풍향·풍속 측정 - 변화되는 풍향·풍속에 의해 발생하는 응력 변화값등 여러 변화기에서 측정된 데이터와 비교 검토
경사계	교각부	○ 교각의 기울기 측정 - 차량하중이나 풍하중 등에 따른 교각의 기울기 측정
가속도 계	중앙부	○ 가속도파형 측정 - 활하중에 의해 발생하는 가속도파 측정→파형분석 - 측정된 가속도파 고유진동수 계산(FFT) →강성저하 측정

1) 측정 데이터의 해석

측정된 데이터를 해석하는데에는 적절한 비교 판단 기준이 필요하다. 일반적으로 센서의 종류별 비교 판단기준은 다음과 같다.

- ① 매립형 콘크리트 변형도계 - 콘크리트의 허용압축응력과 설계시 고려한 사하중+활하중에 의한 응력의 변동폭
- ② 용접형 강재 변형도계 - 강재의 허용인장응력 및 허용압축응력과 설계시 고려한 사하중+활하중에 의한 응력의 변동폭
- ③ 변위계 - 허용처짐과 설계시 고려한 사하중+활하중에 의한 처짐폭

콘크리트나 강재의 허용응력 및 설계시 고려한 활하중에 의한 응력의 변

화량의 비교 판단 기준은 다음과 같다.

① 콘크리트의 허용응력

28일 설계기준강도 σ_{ck}

허용압축응력 $0.4\sigma_{ck}$

② 강재의 허용응력

사용된 강재의 허용응력 σ_y

허용인장응력 $0.55\sigma_y$

허용압축응력 $0.55\sigma_y$

③ 설계시 고려한 사하중+활하중에 의한 응력변화

허용처짐 및 설계시 고려된 사하중+활하중에 의한 변화에 대한 기준은 다음과 같다.

① 허용처짐(홍도 육교의 경우)

PSC 부재구간 $L/800$, L = 지간

steel 부재구간 $10 < L \leq 40$ m 또는 $L/(20,000/L)$

② 설계시 고려한 사하중+활하중에 의한 변위변화

또한, 센서의 작동상태 및 계측값의 신뢰성 판단 기준으로는 다음과 같다.

① 센서의 상태판단 - 응력이 하루주기로 변하는 것이 뚜렷이 나타나고 변화 형태가 일정할 경우를 양호로 판단.

② 응력변화상태의 판단 - 변동폭이 작고, 계측기간동안 하루의 일정시점을 기준으로 응력변화가 거의 없는 경우를 양호로 판단.

③ 변위변화의 판단 - 하루를 주기로 변화하는 값이 뚜렷하며, 변화량이 하루의 일정한 시점을 기준으로 변화가 적을 경우를 양호로 판단.

나. 교량 거동 데이터 해석 및 결과

사업 제1차년도에 설치된 계측센서들을 이용하여 교량 거동을 측정하였다. 측정된 데이터는 Table 2-2-3과 같으며, Fig.2-2-15에 각 센서의 위치를 도시하였다. 이 센서들의 3일간의 대표적 측정결과는 부록에 정리하였다. 설치된 계측센서들에 대하여 간이 방법에 의한 현장교정을 실시하였으나, 측정결과로 보아서는 보다 정밀한 교정이 필요한 것으로 나타났다.

Table 2-2-3 The sensor list for monitoring the bridge behavior

채널	센서명		센서위치		상세위치
1	응력계	BS-25BT	P5-P6	S1 강	거더2의 하부
2	가속도계	AS-2GB	P5-P6	A6 강	거더4의 하부
3	온도계	PT-100	P5-P6	T29 강	거더6~7사이 상판
4	크랙	BCD-5B	P3	C28	거더4~5사이
5	응력계	KM100B	P5-P6	S19 강	거더8의 하부
6	응력계	KM100B	P5-P6	S20 강	거더8의 상부
7	온도계	PT-100	P5-P6	S21 강	거더8의 상부
8	온도계	PT-100	P5-P6	S22 강	거더8의 하부
9	응력계	KM100B	P5-P6	S9 강	거더5의 상부
10	가속도계	AS-2GB	P5-P6	A10 강	거더7의 하부
11	응력계	KM100B	P5-P6	S8 강	거더5의 하부
12	응력계	KM100B	P5-P6	S12 강	거더7의 상부
13	응력계	KM100B	P5-P6	S13 강	거더7의 하부
14	응력계	KM100B	P5	S14 강	로젯게이지 (수평)
15	응력계	KM100B	P5	S15 강	로젯게이지 (수직)
16	응력계	KM100B	P5	S16 강	로젯게이지 (45°)
17	가속도	GCL-1002A	P5-P6	A3 강	거더2의 하부
18	가속도	GCL-1002A	P5-P6	A18 강	거더9의 하부
19	크랙	PI-5-100	A2	CA 램	Ramp(신탄진쪽)
20	온도계	PT-100	A2	TA 램	Ramp(신탄진쪽)
21	응력계	KM100B	P6	S31 콘	로젯게이지 (수평)
22	응력계	KM100B	P6	S32 콘	로젯게이지 (수직)
23	응력계	KM100B	P6	S33 콘	로젯게이지 (45°)
24	진동현	응력계	P6-P7	SS14 콘	
25	크랙	PI-5-100	P15	C12	거더 5와 6사이
26	크랙	PI-5-100	P17	C13	거더 5와 6사이
27	변위	CDP-25	P5	D1	거더 9의 교좌장치
28	변위	HS-50	P5	D2	거더 8의 교좌장치
29	응력계	KM100B	P6-P7	S1 콘	거더 3의 상부
30	응력계	KM100B	P6-P7	S2 콘	거더 3의 하부

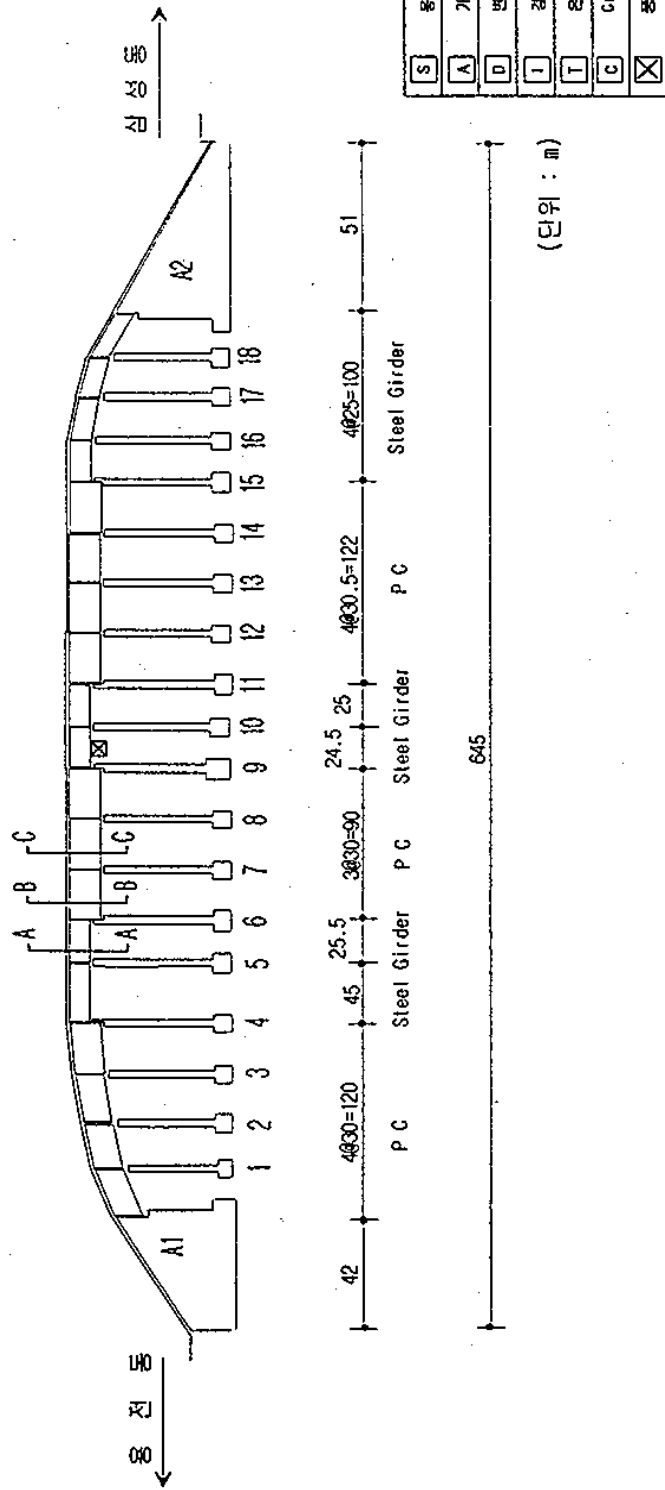
Table 2-2-3 The sensor list for monitoring the bridge behavior

(continued)

채널	센서명	센서위치	상세위치
31	가속도계 AS-2GB	P6-P7 A3 콘	거더 3의 하부
32	온도계 PT-100	P6-P7 T5 콘	거더 4의 하부
33	가속도 AR-1F	P7-P8 A가 콘	거더 4의 하부
34	가속도 AR-1F	P7-P8 A나 콘	거더 8의 하부
35	응력계 KM100B	P6-P7 S6 콘	거더 4의 상부
36	응력계 KM100B	P6-P7 S7 콘	거더 4의 하부
37	온도계 PT-100	P6-P7 T10 콘	거더 5~6사이 상판
38	응력계 BS-25BT	P6-P7 S9 콘	거더 6의 상부
39	가속도 AR-1F	P6-P7 A11 콘	거더 5의 하부
40	응력계 BS-25BT	P6-P7 S12 콘	거더 6의 하부
41	변위 HS-50	P7 DA	거더 3의 교좌장치
42	변위 CDP-25	P7 DB	거더 5의 교좌장치
43	응력계 KM100B	P6-P7 S17	거더 8의 하부
44	진동현 응력계	P6-P7 SS13 콘	
45	풍향계 2102	P6-P7 상판45	
46	풍향계 2102	P6-P7 상판46	
47	가속도 AR-1F	P6-P7 A16 콘	거더 7의 하부
48	크랙 BCD-5B	P7 C1	교각 P7의 상부
49	서보 ASQ-1CA	P6-P7 SA2 콘	
50	응력계 KM100B	P6-P7 S15 콘	거더 7의 하부
51	응력계 KM100B	P6-P7 S8 콘	거더6~7사이 상판
52	응력계 KM100B	P6-P7 S13 콘	거더 7의 상부
53	변위 HS-50	P7 DD	거더 8의 교좌장치
54	변위 CDP-25	P7 DC	거더 6의 교좌장치
55	경사 BK-2D	P8 I2	교각 P8 상부
56	서보 A.SQ-1CA	SA-1 콘	
57	가속도 AS-2GB	P5-P6 A7 강	거더 3의 하부
58	크랙 BCD-5B	P5 C27	교각 P5의 상부
59	응력계 BS-25BT	P5-P6 S5 강	거더 3의 하부
60	응력계 BS-25BT	P5-P6 S4 강	거더 3의 상부
61	응력계 KM100B	P5-P6 S11 강	거더6~7사이 상판
62	변위 HS-50	P5 D4 강	거더 6의 교좌장치
63	변위 HS-50	P5 D3 강	거더 7의 교좌장치
64	경사 KB-2AB	P7 I1	교각 P7 상부

특히, 상시감시시스템의 계측 데이터는 구조물 거동의 단순한 측정이 아니라 상시감시 인자로서의 적정성을 고려하여 데이터의 저장간격, 온도보상, 측정항목별 증폭율, 초기화 시점의 기준점 채택 등에 관한 많은 연구검토가 필요한 것으로 판단된다. 국내 기 도입된 대부분의 상시감시시스템의 경우 교정이 제대로 이루어진 것이 없는 것으로 파악되고 있어, 이에 대한 대책과 관련 연구가 필요하다고 할 수 있다. 또한, 계측 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해서 국내에서 활용되고 있는 센서들에 대한 환경 특성 파악이 절대적으로 필요한 것으로 나타나 본 사업 3차년도에는 센서의 온도 영향을 조사연구할 계획이다.

홍도육교 유지관리 계측도



홍도육교 유지관리 계측도 (일반도)

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do'

홍도육교유지관리계측도

A-A 단면 (Steel Girder)

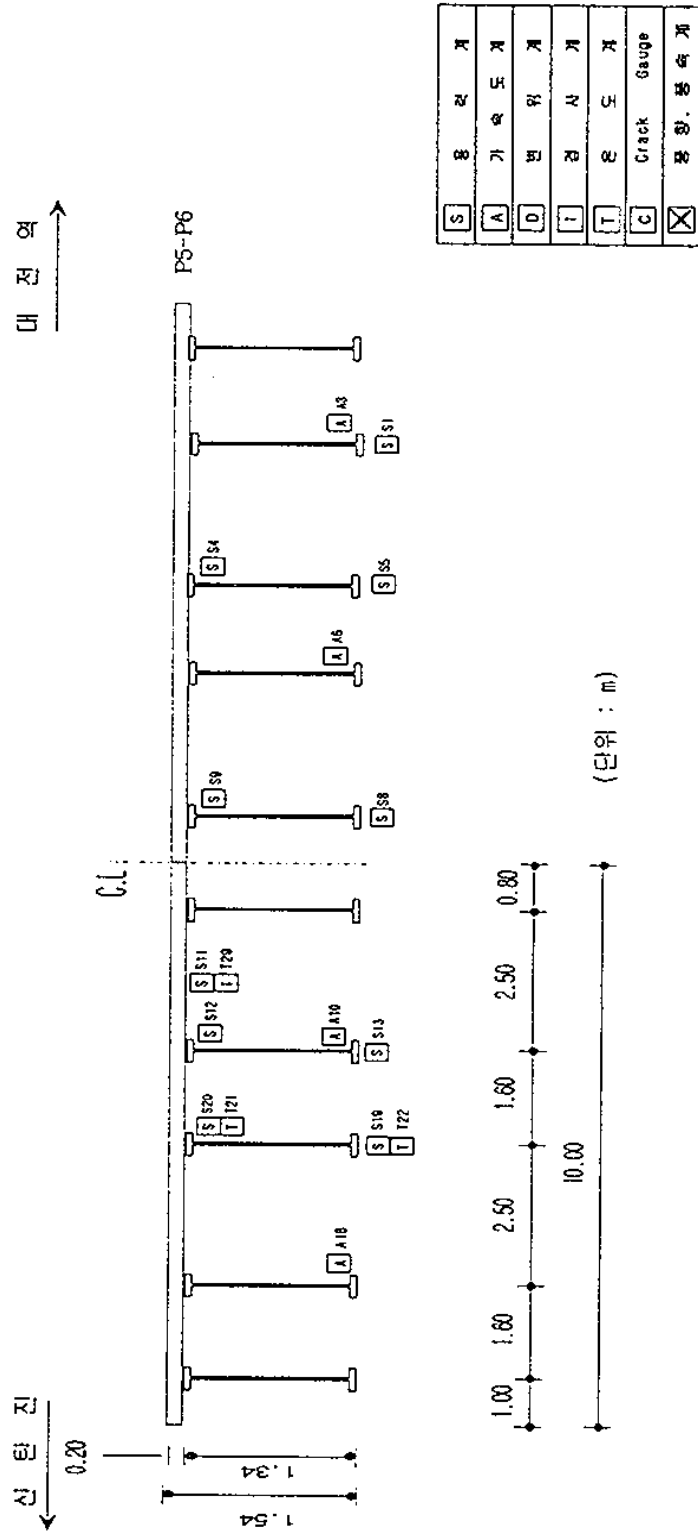


Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do'(continued)

홍도육교 유지관리 계획도

B-B 단면 (P.C)

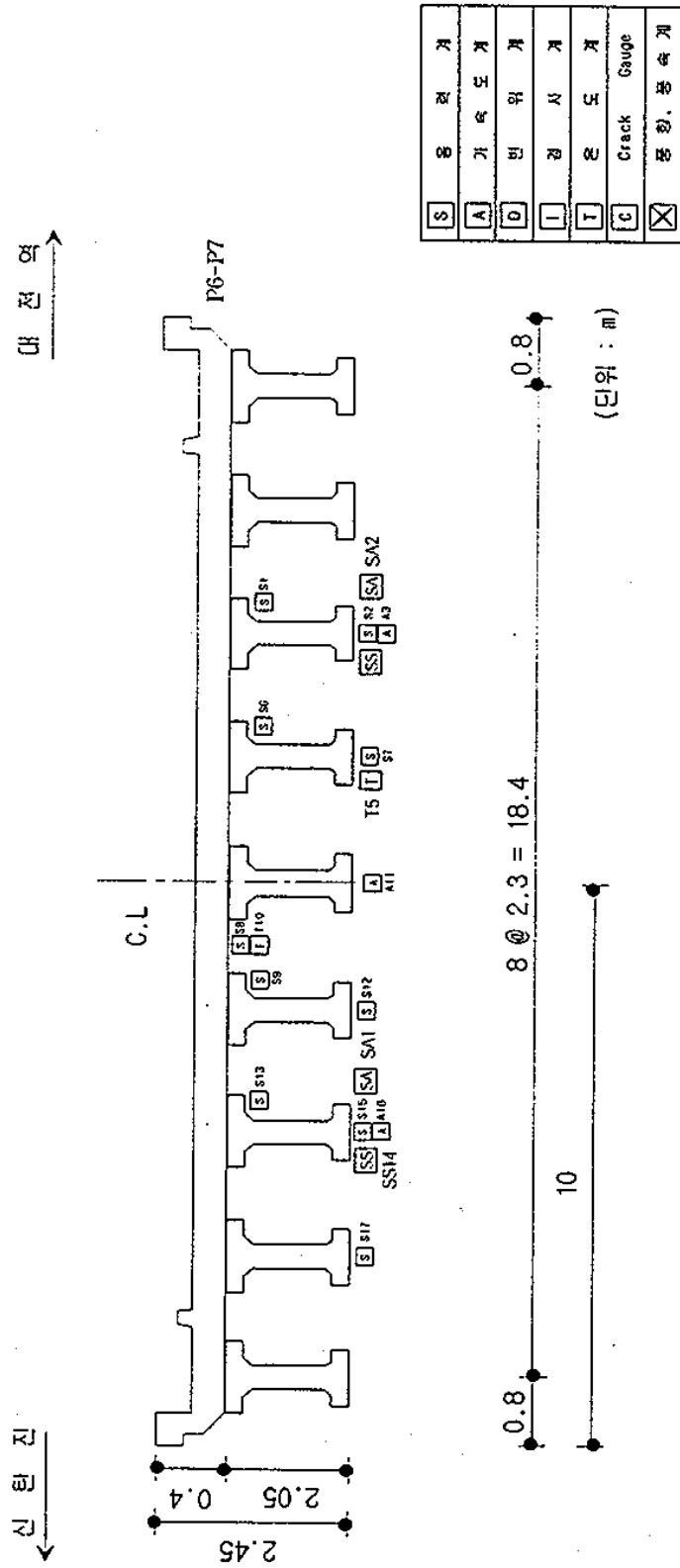
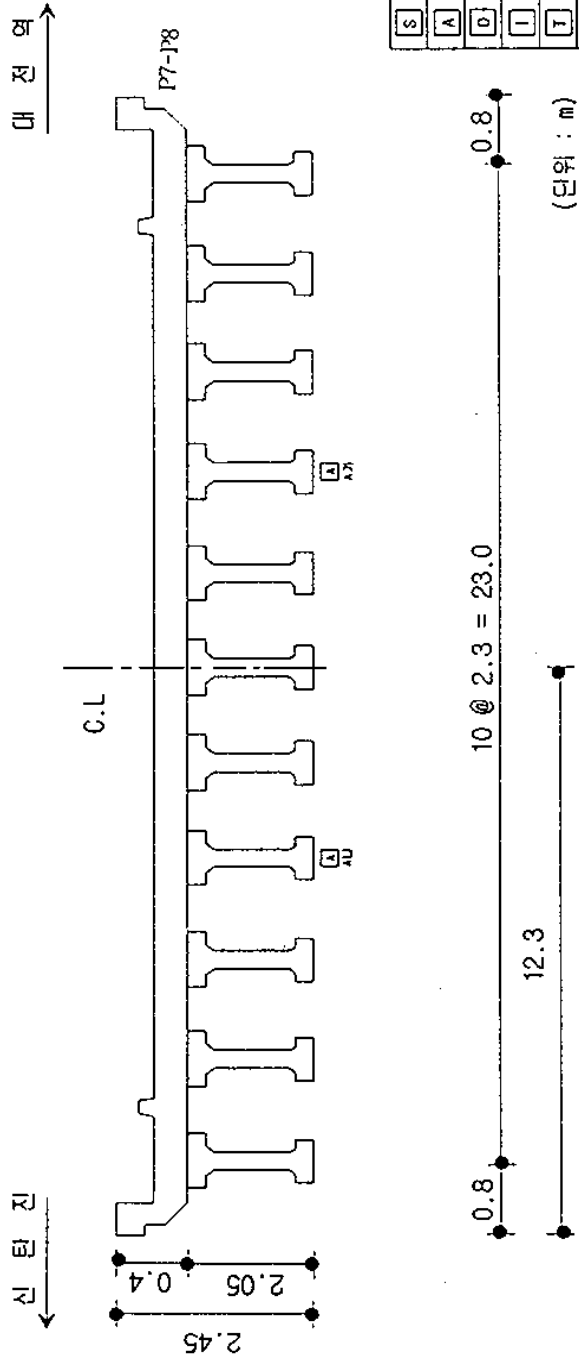


Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do'(continued)

홍도육교 유시관리 계측도

C-C 단면 (P.C)

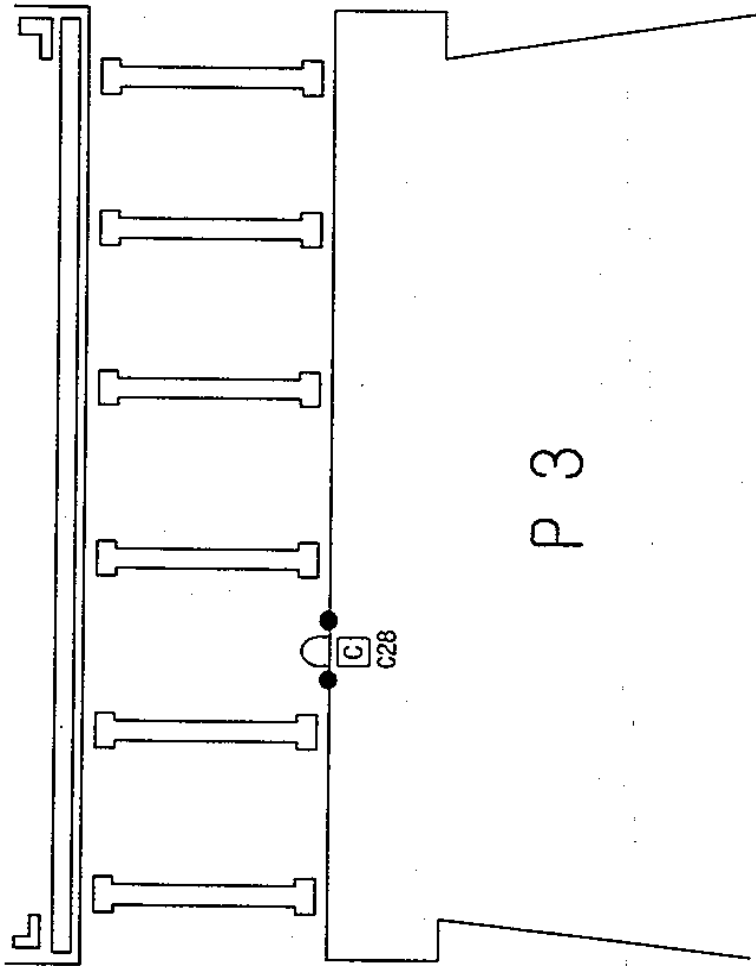


S	용량계
A	기역도계
D	변위계
I	경사계
T	온도계
C	Crack Gauge
⊗	정형. 풍속계

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do'(continued)

P3 지점

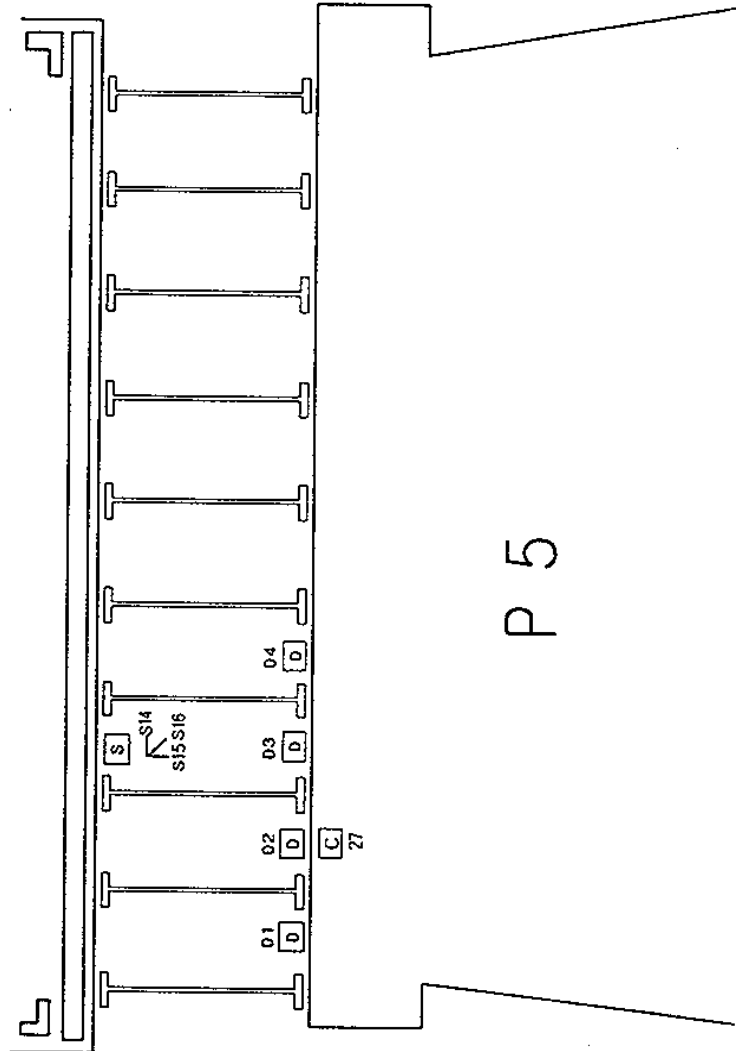
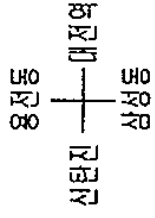
용진동
신탄진 — 대전역
심성동



S	용 력 계
A	가 역 도 계
D	변 위 계
I	경 사 계
T	온 도 계
C	Crack Gauge
☒	공 황, 풍 속 계

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do' (continued)

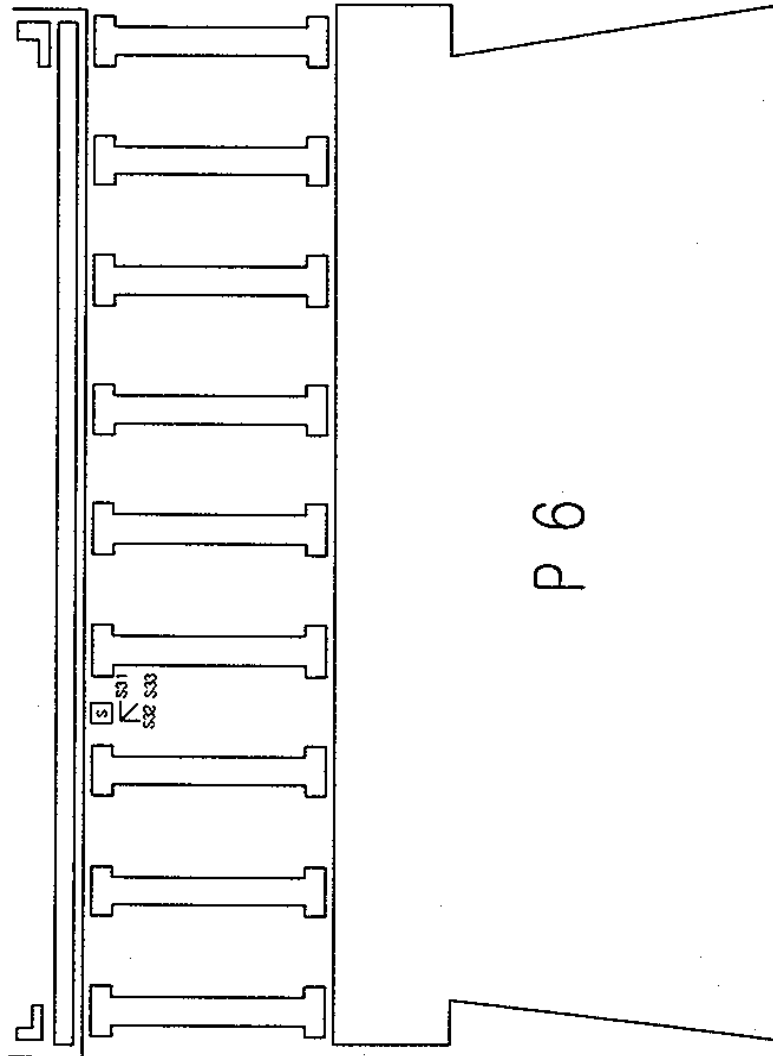
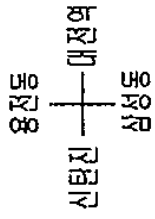
P5 지점 (Steel Girder)



S	변위계
A	가속도계
D	변위계
T	온도계
T	온도계
C	Crack Gauge
X	기타, 풍속계

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do' (continued)

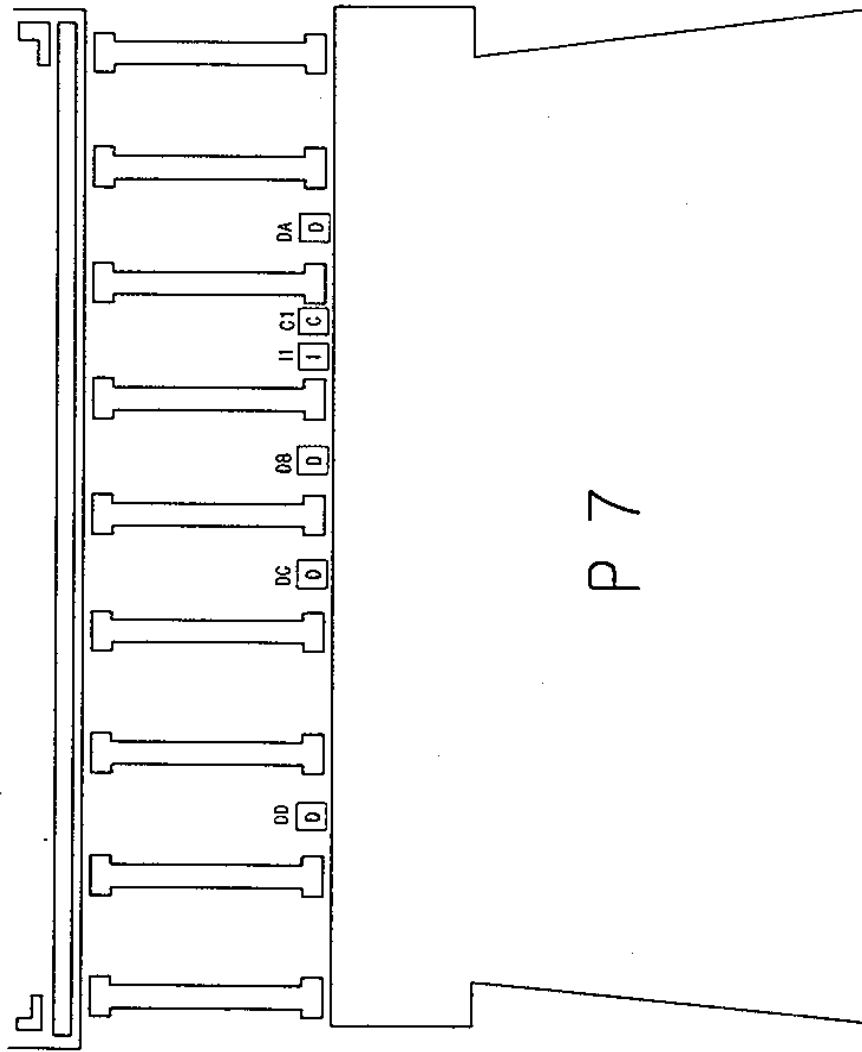
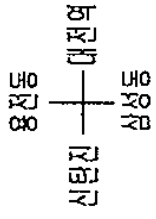
P6 지점



S	용역계
A	기속도계
D	변위계
I	경사계
T	온도계
C	Crack Gauge
X	공칭, 풍속계

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do'(continued)

P7 지점

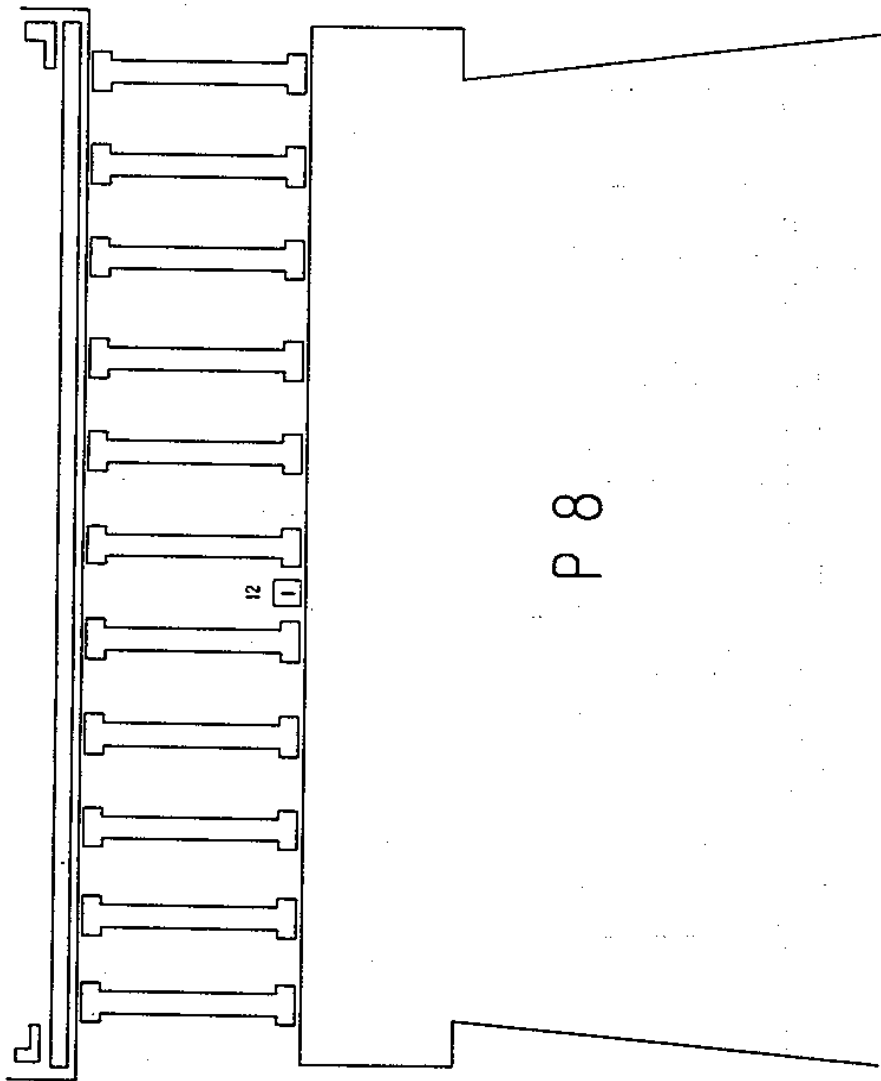


S	용 리 계
A	기 역 도 계
D	변 위 계
T	경 시 계
T	온 도 계
C	Crack Gauge
⊗	동 향, 풍 속 계

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do'(continued)

P8 지점

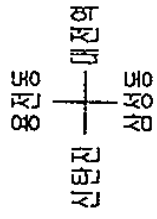
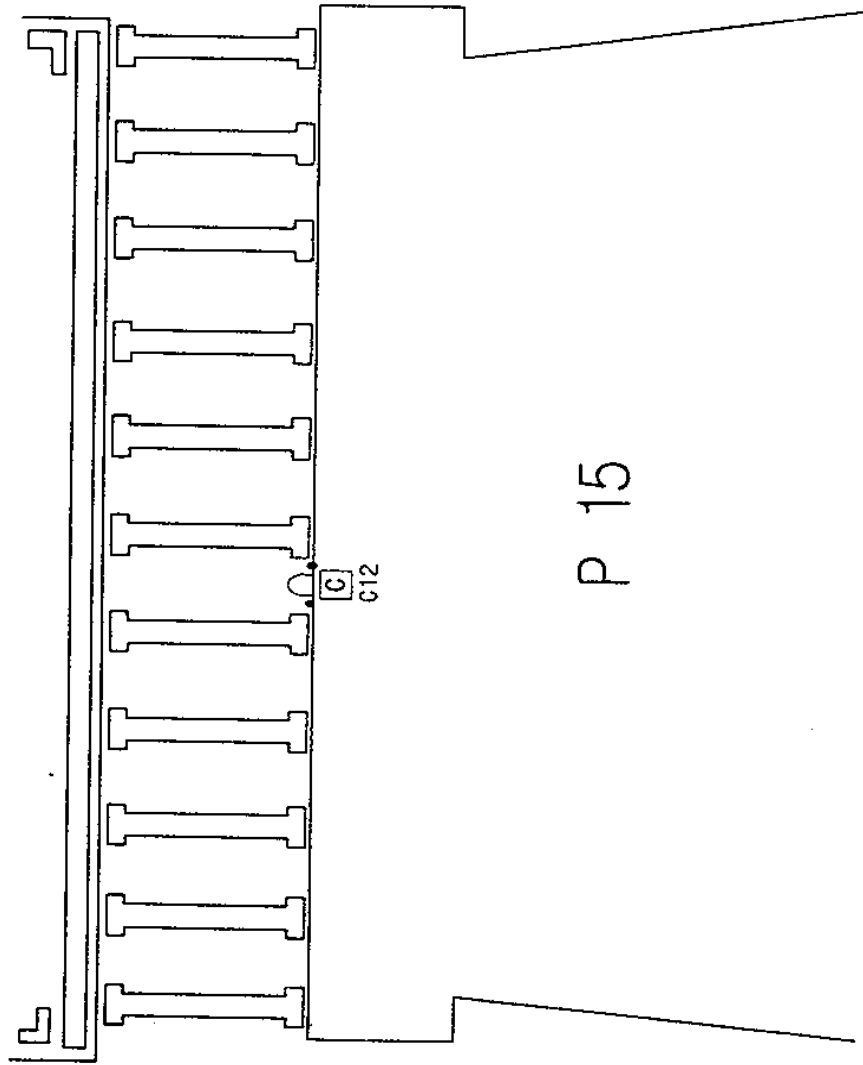
용진동
신탄진 — 대전역
삼성동



S	공	격	계
A	가	속	도
D	변	위	계
I	경	시	계
T	온	도	계
C	Crack	Gauge	
X	용	량	중
	속	계	

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do'(continued)

P15 지점

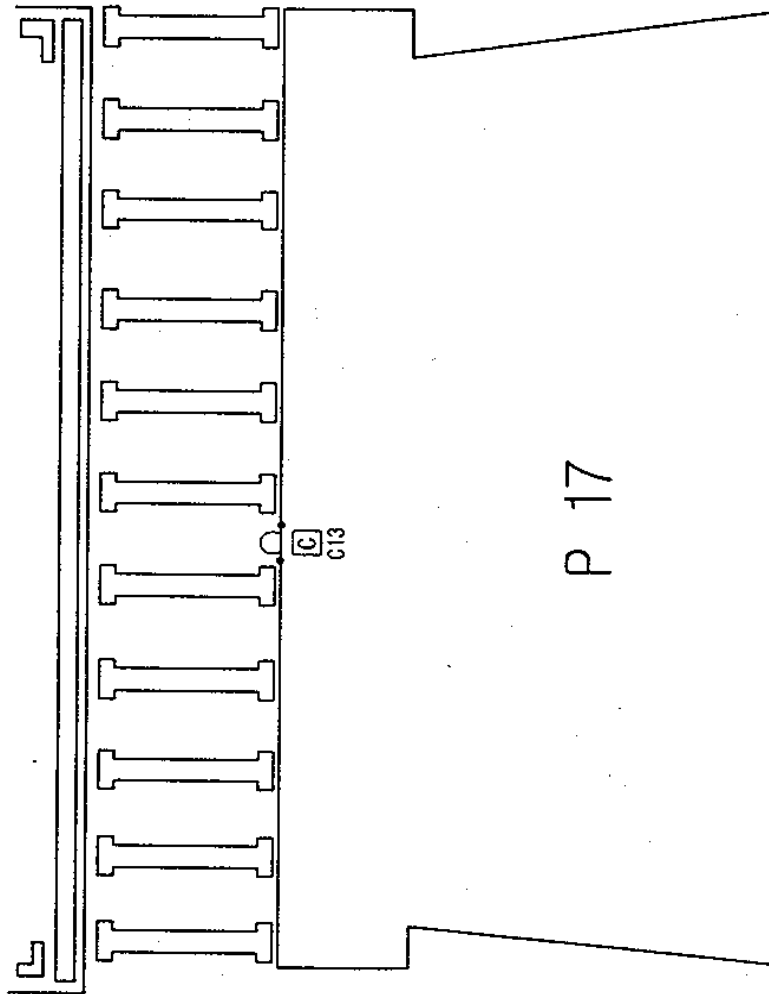


S	용진동계
A	가속도계
D	변위계
I	강사계
T	온도계
C	Crack Gauge
☒	용량, 풍속계

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do'(continued)

P17 지점

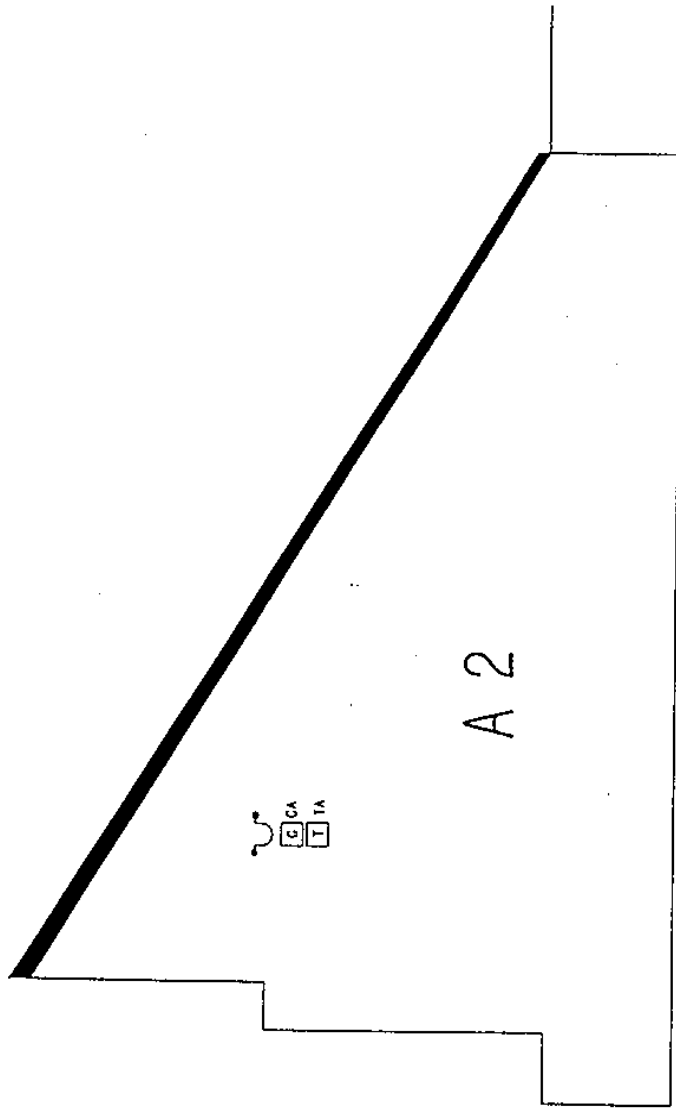
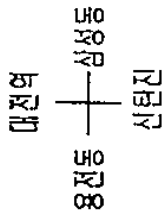
용진동
 신원진 — 대전역
 삼성동



S	용 력 계
A	가 속 도 계
D	변 위 계
L	강 시 계
T	온 도 계
C	Crack Gauge
☒	정 향, 풍 속 계

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do'(continued)

A2 지점



S	용 리 계
A	가 속 도 계
D	변 위 계
I	경 사 계
T	온 도 계
C	Crack Gauge
X	공 회, 풍 속 계

Fig.2-2-15 Sensor position of the overpass 'Hong-Do' (continued)

제 3 절 교량 상판 및 보의 피로실험

교량 상시감시시스템에 구성된 각 센서들이 콘크리트 구조물 부재의 거동과 잘 일치하는가를 검토하고, 향후 상시감시시스템이 시설물의 안전상태 및 수명예측 전문가 시스템으로의 확장 발전성을 검토하기 위해서, 교량 상판 및 보의 피로실험을 수행하였다. 이는 향후 시설물의 건전성 평가나 수명예측에 필요한 구조물 부재의 특성에 관한 기초적인 데이터베이스 구축과 관련이 있다. 본 피로실험은 피로시험 장치 보유기관인 한국기계연구원에 위탁하여 실험을 수행하였으며, 실험시 측정은 한국표준과학연구원 방재기술연구센터 연구팀에서 수행하였다.

1. 서론

최근 구조설계기술의 발달과 국가 경제규모가 확대됨에 따라 교량구조물은 장대화되는 추세이고 교통량의 증가와 과적차량, 교량의 노후화등의 문제가 제기되고 있다. 그러나 주변환경의 변화, 교량 각 부재의 거동, 노후화 정도 등을 일상적인 유지관리 업무를 수행하는 점검자의 주관적인 판단에 의존하게 되므로 객관성과 신뢰성에 문제가 있다. 상시감시시스템은 이와 같은 문제점을 해소하기 위해 교량의 주요부위에 계측 센서를 부착하고 정량적, 정성적인 정보를 수집하여 교량관리 주체에게 제공함으로써 교량 유지관리에 필요한 주요 자료를 제공하고, 또한 교량에 과도한 하중이 작용하거나 이상변형이 발생되었을 때, 신속한 경보시스템을 작동시켜 차량 및 보행자의 안전한 통과를 확보할 수 있어야 한다. 교통하중, 주위 환경의 변화등에 의해 지속적인 피로하중을 받는 교량에 대해 상시감시시스템을 설치하기 위해서는 교량의 각종 계측방법에 대한 연구가 선행되어야 한다. 특히, 콘크리트 교량은 강교량에 비해 재료가 복잡하고 거동예측이 어렵기 때문에 적절한 상시감시 방법을 수립하여야 하며, 이를 위해서는 피로실험을 통한 각종 데이터의 확보와 이를 이용한 계측방법 및 데이터 처리기술의 개발 및 검증이 요구된다.

본 연구의 목적은 철근 콘크리트 교량 상판 및 보의 피로실험을 통한 계측센서들의 자료 제시이다. 이를 위하여 상판 및 보의 모형을 설계·제작하고, 피로실험 하중 및 절차를 결정한 후, 피로실험을 수행하였고, 한국표준과학연구원에서 모형에 각종 계측센서들을 설치하고 계측을 실시하였다.

2. 연구내용 및 결과

가. 피실험체 설계

피실험 모형은 철근 콘크리트 교량을 대상으로 상판 모형 1개와, 보 모형 2개를 설계하였다. 상판모형 1개와 보 모형 1개는 피로실험을 위하여 제작되었고, 보 모형 1개는 한국표준과학연구원에서 실행할 폭로실험을 위하여 제작되었다.

철근콘크리트 교량 상판모형은 우리나라 도로교표준시방서 (제Ⅲ편 콘크리트교편, 제7장 바닥판)에 따라 설계하였다. 도로교표준시방서의 콘크리트 교량상판에 관련된 규정을 살펴보면 다음과 같다.

1) 설계일반

- 난간 및 자동차용 방호책에 작용하는 충돌하중의 영향을 고려해야한다.
- 바닥판의 설계기준 강도는 240kg/cm^2 이상으로 한다.
- 바닥판 설계시 바닥판의 전단력에 대한 검토를 생략할 수 있다.

2) 바닥판의 최소 두께

파손을 일으키는 바닥판의 상태를 보면 콘크리트에 일어나는 균열이 상판 파손에 대해 큰 역할을 하는 것으로 생각된다. 철근 콘크리트 바닥판의 설계에 있어서 콘크리트는 인장응력에 대해서는 저항할 수가 없는 것으로 생각되나 실제에 있어서는 콘크리트도 어느 정도의 휨 인장응력에 저항할 수가 있다. 따라서 하중을 재하함으로써 생기는 휨 인장응력을 어느 한계 안으로 억제시켜, 유해한 균열의 발생위험을 될 수 있는 한 작게 하는 것이 바람직하다. 따라서 도로교 시방서에서 바닥판의 최소두께를 제한하고 있다. 그러나 강재거더로 지지되는 경우와 콘크리트 거더

로 지지되는 경우의 바닥판의 최소두께가 달리 정의되고 있음을 알 수 있다. 바닥판이 강재 거더로 지지되는 경우,

- 차도부분 바닥판의 최소두께는 18cm 또는 Table2-3-1에 있는 값중에서 큰 값으로 한다.
- 보도부의 바닥판의 최소두께는 14cm를 표준으로 한다.

바닥판이 콘크리트 거더로 지지되는 경우는,

- 차도부분 바닥판의 최소두께는 16cm 또는 Table2-3-1에 있는 값중에서 큰 값으로 한다.

그러나, 대형차량의 통행이 많은 경우 다음 식에 따라 바닥판의 최소두께를 결정하는 것이 바람직 하다.

$$d = k_1 k_2 d_0$$

k_1 : 대형차량의 교통량 및 보수작업의 난이도에 따른 계수

k_2 : 바닥 판을 지지하는 거더의 강성이 현저하게 다르기 때문에 생기는 부가 휨모멘트에 따른 계수 (일반적으로 1.0으로 한다)

- 보도부의 바닥판의 최소두께는 14cm를 표준으로 한다.

3) 설계 휨 모멘트

철근콘크리트 바닥판의 설계 휨 모멘트는 주인장철근의 배근방향이 차량의 진행 방향에 따라 직각인 경우와 평행한 경우로 나누어 설계식을 규정 하고 있다. 폭 1m에 대한 설계 휨모멘트는 Table2-3-3에 따라 계산한다.

4) 상판모형 설계 및 형상

앞에서 살펴본 도로교 표준 시방서의 규정에 따라 다음의 조건으로 상판모형을 설계하였으며, 모형의 형상을 Fig.2-3-1과 Fig.2-3-2에 나타내었다.

- 단순판
- 2등교
- 바닥판 지간의 방향이 차량방향에 직각

Table 2-3-1. The minimum thickness of slab(for car lane, KHDC)

바닥판의 구분		바닥판 지간의 방향		차량진행방향의 직각	차량진행방향의 평형
1.등교	단 순 판			$4L + 11$	$6.5L + 13$
	연 속 판			$3L + 11$	$5L + 13$
	캔티레버판	L<0.25		$28L + 16$	$24L + 13$
		L>0.25		$8L + 21$	
2등교, 3등교				1등교의 값에서 3cm 뺀 값	

Table 2-3-2. The diameter of reinforced bar (KHDC)

		바닥판이 강재거더로 지지되는 경우	바닥판이 콘크리트 거더로 지지되는 경우
철근의 지름		13, 16, 19mm	
피복두께	상부철근	3cm	5-6cm
	하부철근		2.5cm
철근의 중심간격	주철근	10cm<철근의 중심간격<30cm 슬래브 두께 이하	
	배력철근	30cm 이하	
압축철근		인장철근의 1/2을 배치하는 것을 원칙으로 함.	
절곡위치		지점에서 L/6되는 위치	

Table 2-3-3. The design bending moment(도로교 표준시방서)

		설계 휨모멘트	
차량진행 방향	주철근이 차량 진행방향에 직각인 경우	주철근이 차량 진행방향에 평행인 경우	
단순판	$m = \frac{L+0.6}{9.6} P$ $0.6 < L < 7.3$	DB-24 : 1,000PL DB-18 : 1.340PL DB-13.5 : 1,000PL	
연속바닥판	$m = 0.8 \frac{L+0.6}{9.6} P$ $0.6 < L < 7.3$	-	
캔틸레버판	$m = \frac{P}{E} X$ $E = 0.8X + 1.14$	$m = \frac{P}{E} X$ $E = 0.35X + 0.98 < 2.1$	
배력철근	$\frac{120}{\sqrt{L}} < 67\%$	$\frac{55}{\sqrt{L}} < 50\%$	

(P:트럭의 1후륜하중, L:거더사이의 순지간)

Table 2-3-4. The rear wheel load of a truck

	설 계 하 중	트럭의 1후륜하중
1 등교	DB - 24	9,600 kg
2 등교	DB - 18	7,200 kg
3 등교	DB - 13.5	5,400 kg

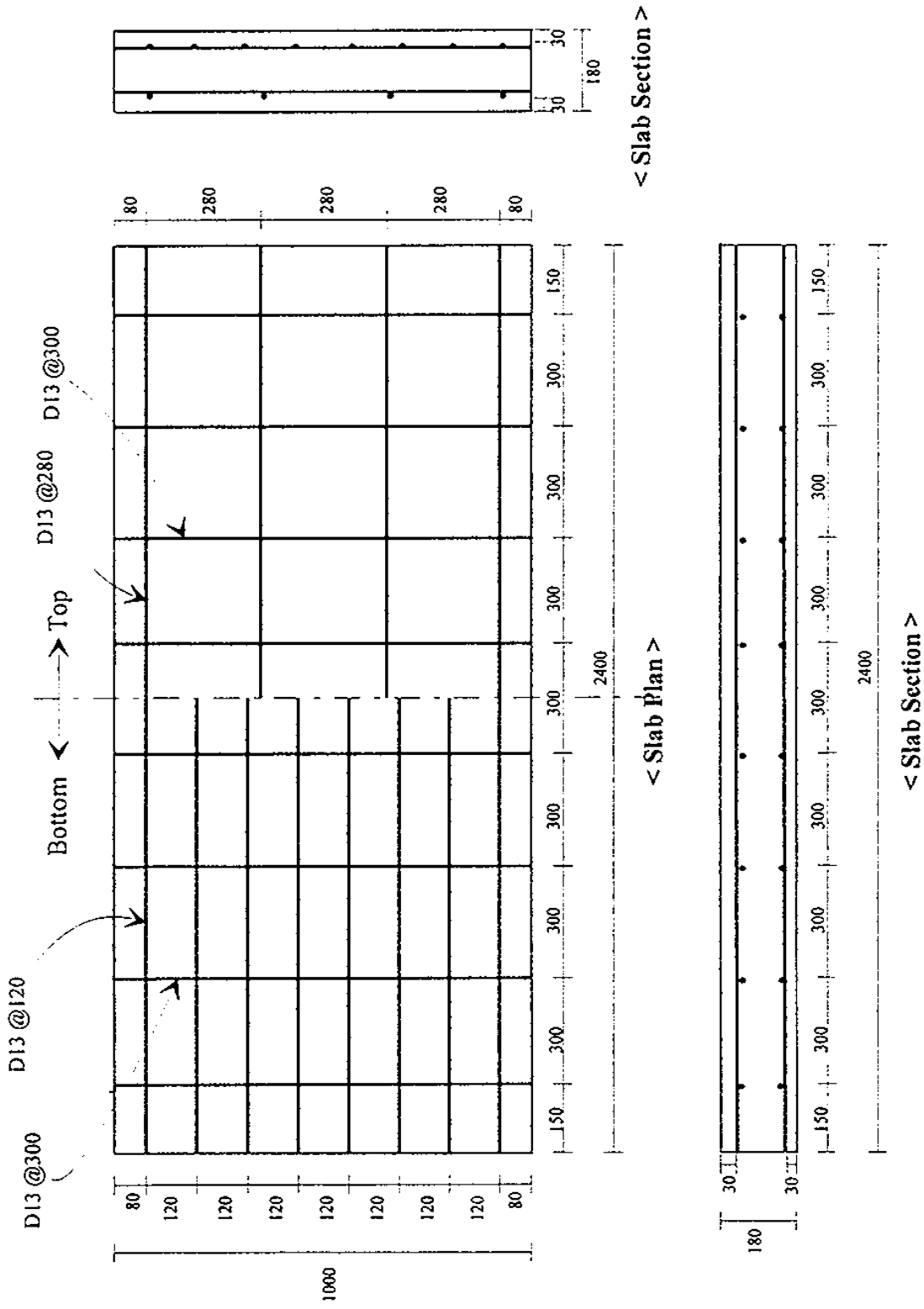


Fig.2-3-1 The slab dimension to be tested

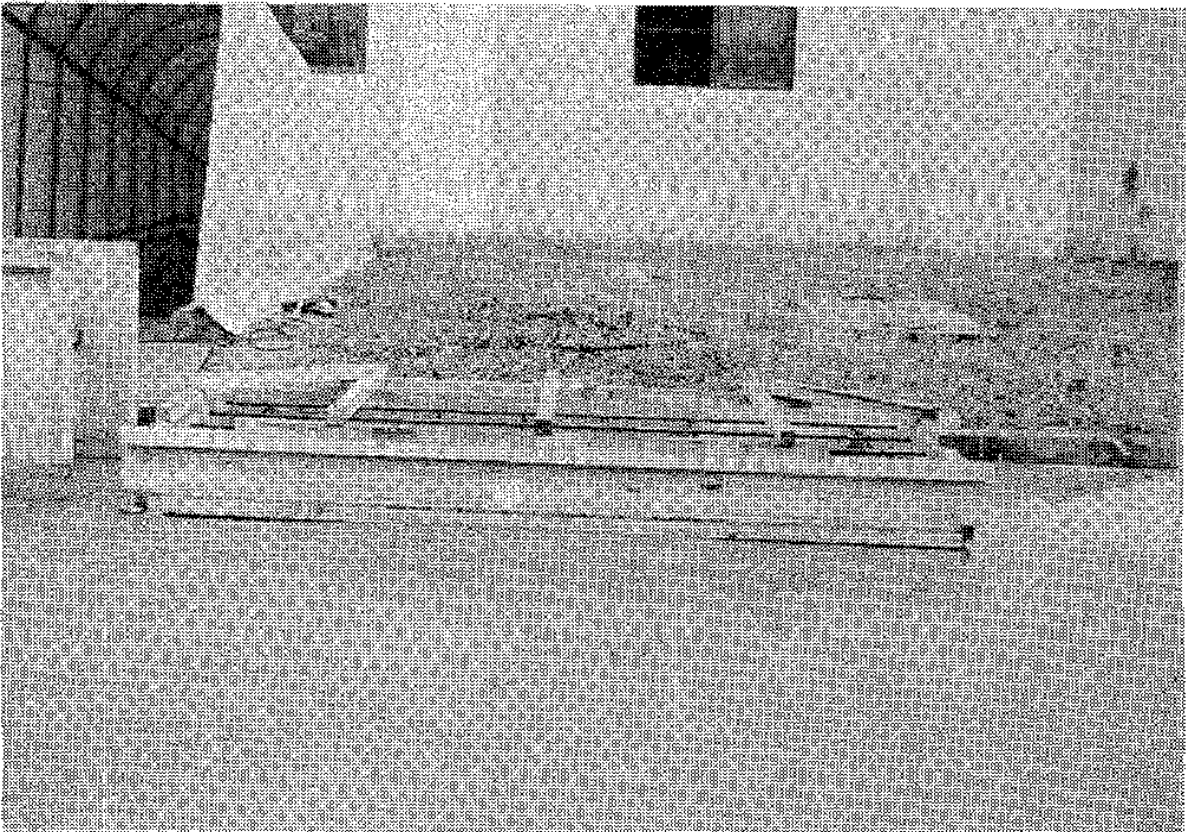
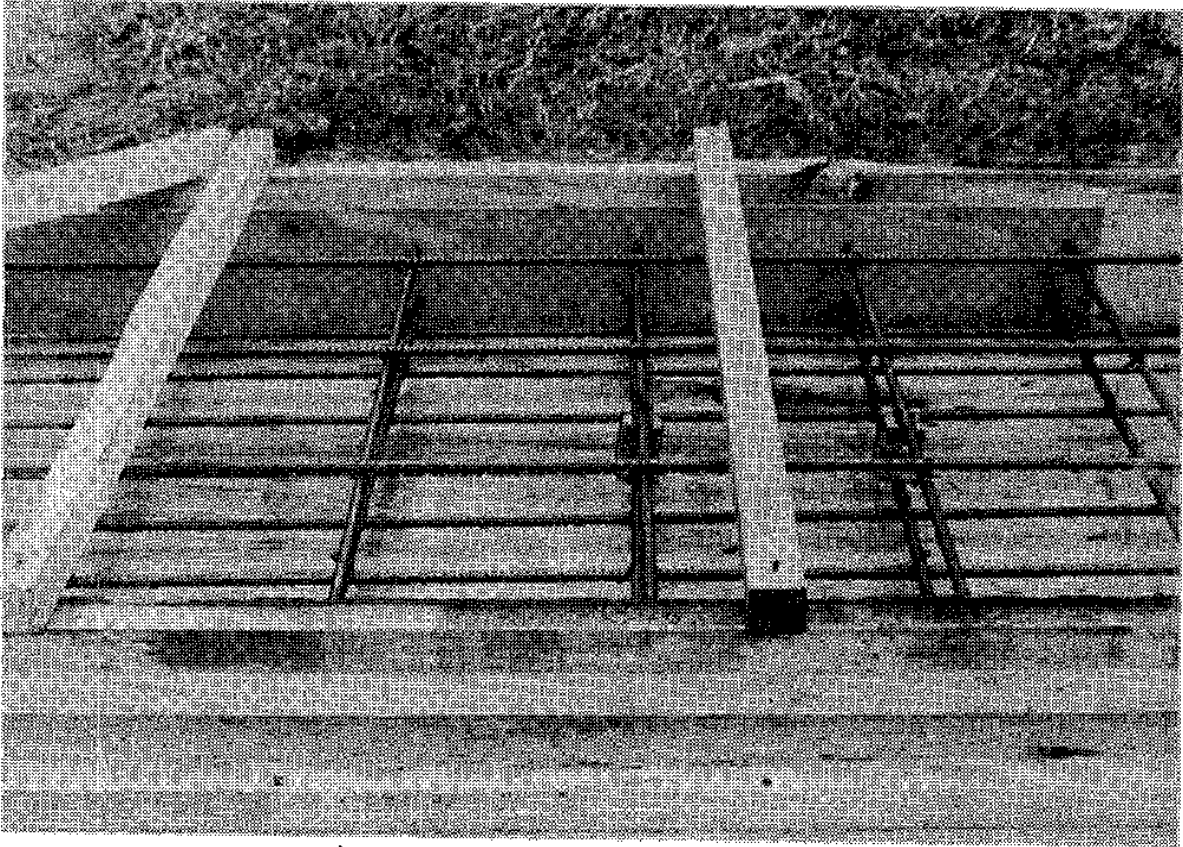


Fig.2-3-2 The photograph of the slab to be tested

- 바닥판이 강재 거더로 지지
- 주철근이 차량 진행방향에 직각

5) 보 모형 설계 및 형상

콘크리트 교량 보 모형은 참고문헌[1]에서 변형도 변화와 온도 변화에 따른 콘크리트 부재의 변형감시기법 개발을 위하여 수행한 폭로시험의 결과와 비교검토하기 위하여, 위 시험에 사용된 모형과 동일하게 제작하였다. 모형의 형상은 Fig.2-3-3 및 Fig.2-3-4에 나타내었다.

상판 및 보에 타설되는 콘크리트의 강도는 240kg/cm^2 (호칭강도)이며, 배합비를 Table 2-3-5에 나타내었다.

Table 2-3-5. The mixing ratio of the concrete (weight(kg) / m^3)

물	시멘트	모래	25mm 골재	혼화제
176	356	843	928	1.06

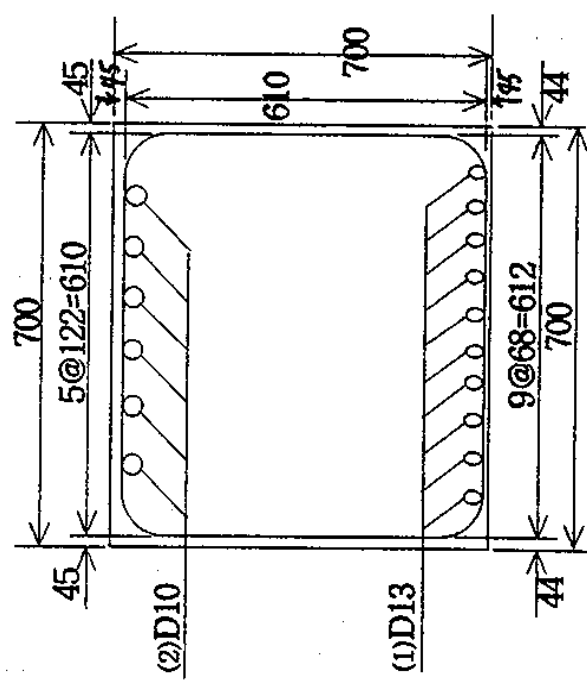
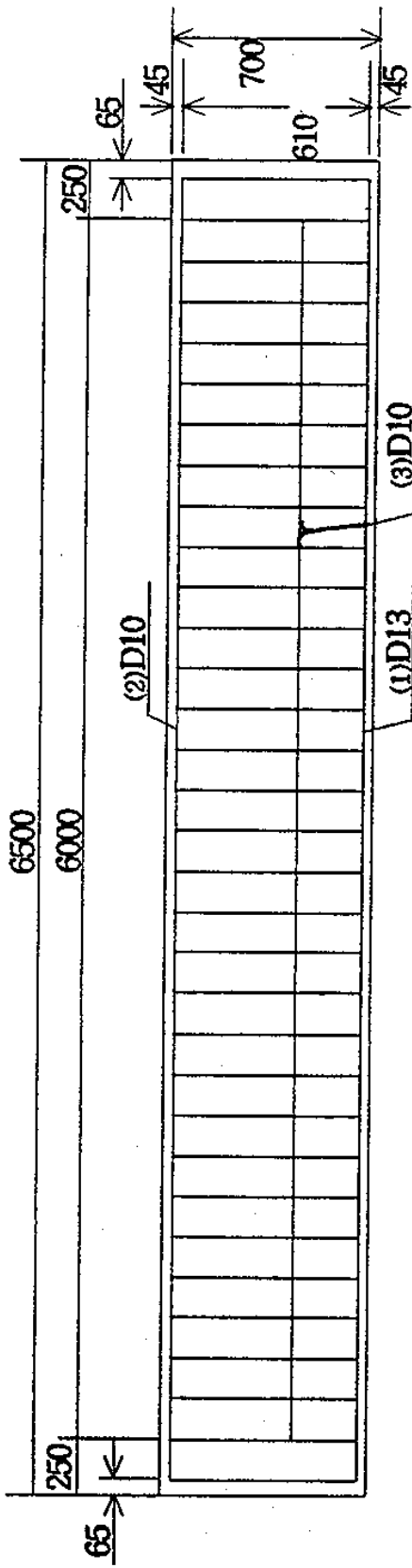


Fig.2-3-3 The column dimension to be tested

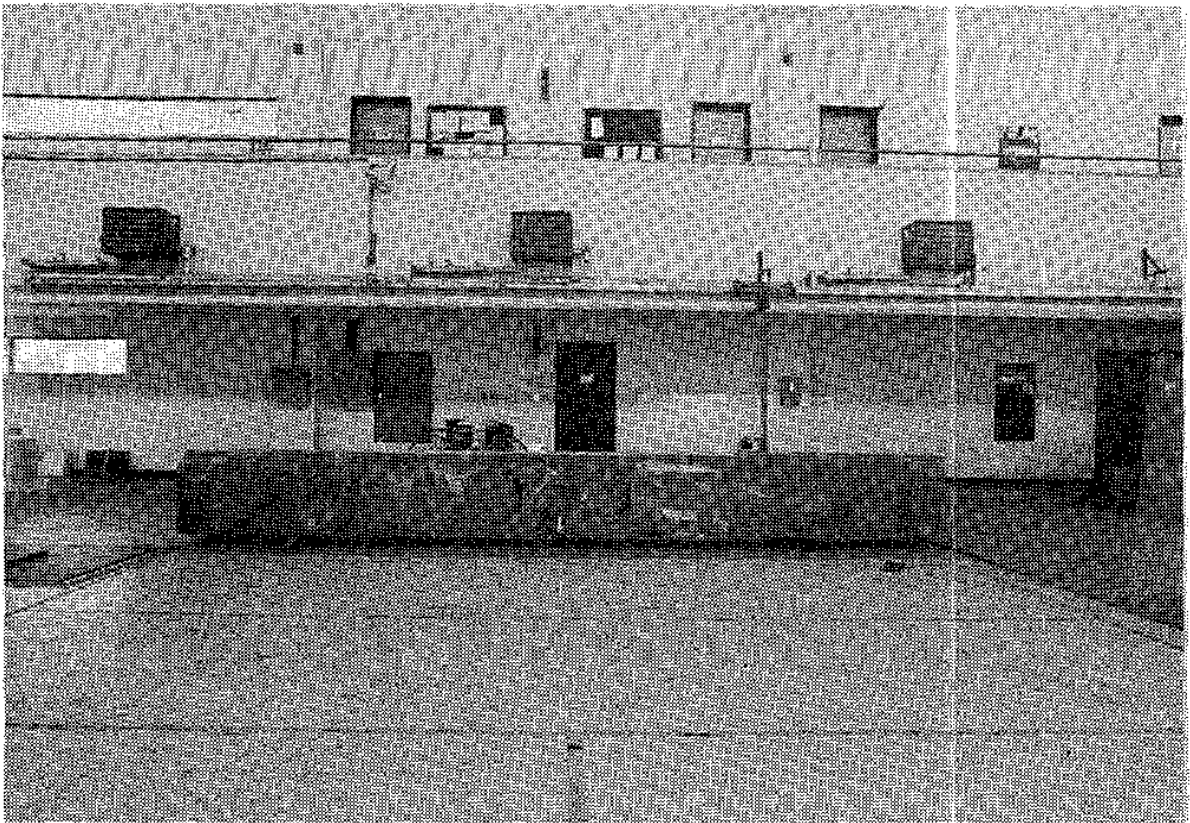
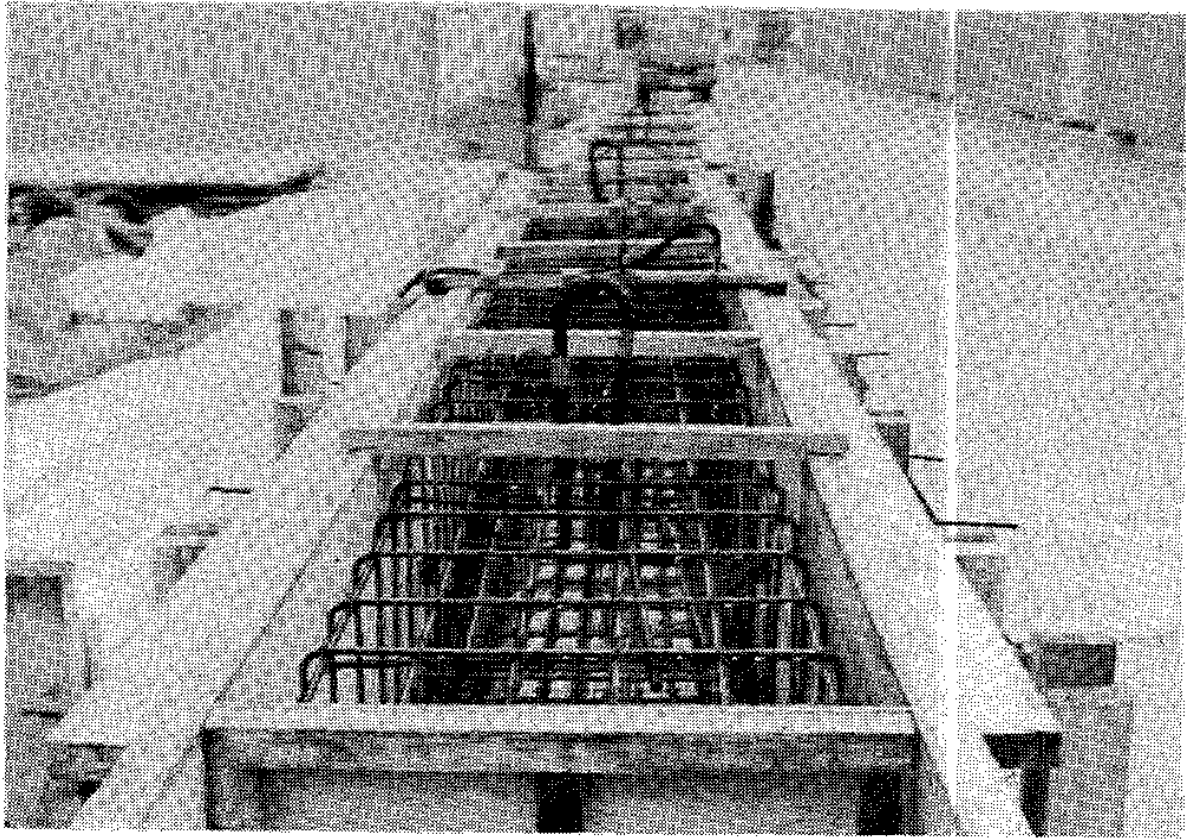


Fig.2-3-4 The photograph of the column to be tested

나. 피로실험

1) 실험장비

본 시험에서 사용한 하중 장치는, 상판 모형 피로 실험의 경우 미국 MTS사의 ± 250 kN, ± 75 mm 용량의 유압 가력기(actuator), 보 모형 피로 실험의 경우에는 1000 kN, ± 75 mm 용량의 유압가력기(actuator) 각각 1대씩과 이를 제어하는 제어기(Flex Test IIm system)로써, 원하는 크기의 물리적인 양(하중 또는 변위)을 유압가력기 시스템내에 입력함으로써 하중 또는 변위를 가하게된다. 변위제어 및 하중제어는 모두 Closed-loop 제어방식으로 입력신호(command signal)와 회귀신호(feedback signal) 사이의 차 즉, 평균오차(DC error)를 영(zero)으로 수렴시킴으로써 제어가 완료된다. 본 시험에서는 하중제어방식을 적용하였다.

교량 상판모형에 모멘트를 발생시키기 위하여 반력벽, 반력바닥, 대형 프레임, H형강등을 이용하여 Fig.2-3-5와 같이 시험모형과 시험장치를 설치하였다. 40 ϕ 강봉 위에 상판모형을 올려놓아 가력함으로써 한지조건을 구현하였으며, 그림 아래에 나타난 재하위치에 고무판을 놓고 이 위에 역시 길이 20cm의 40 ϕ 강봉을 H형강에 연결하여 가력함으로써 하중을 4지점에 분포시켰다. 이러한 고무판은 강봉과 콘크리트 상판 윗면과의 마찰에 의한 콘크리트 연삭을 줄여주므로 반복하중 재하시 실험 목적과는 다른 국부적인 파괴를 방지할 수 있다.

교량 보모형에도 역시 모멘트를 발생시키기 위하여 Fig. 2-3-6과 같이 실험모형과 실험장치를 설치하였다. 상판 모형과 마찬가지로 40 ϕ 강봉 위에 보 모형을 올려 놓아 가력함으로써 한지조건을 구현하였으며, 재하 위치에 고무판을 놓고 강봉을 통하여 반복 하중을 가력하였다.

2) 피로하중 산정

상판모형 및 보모형 피로시험시 재하되는 반복하중의 크기를 다음과 같이 결정하였다

철근콘크리트 구조물에 모멘트가 작용할 때 인장력에는 철근이 주로 저항하고, 압

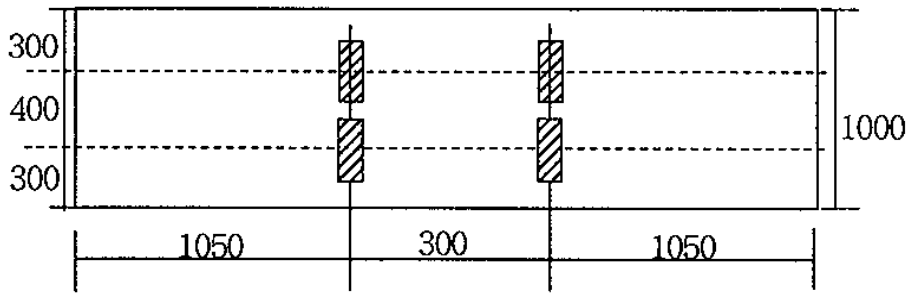
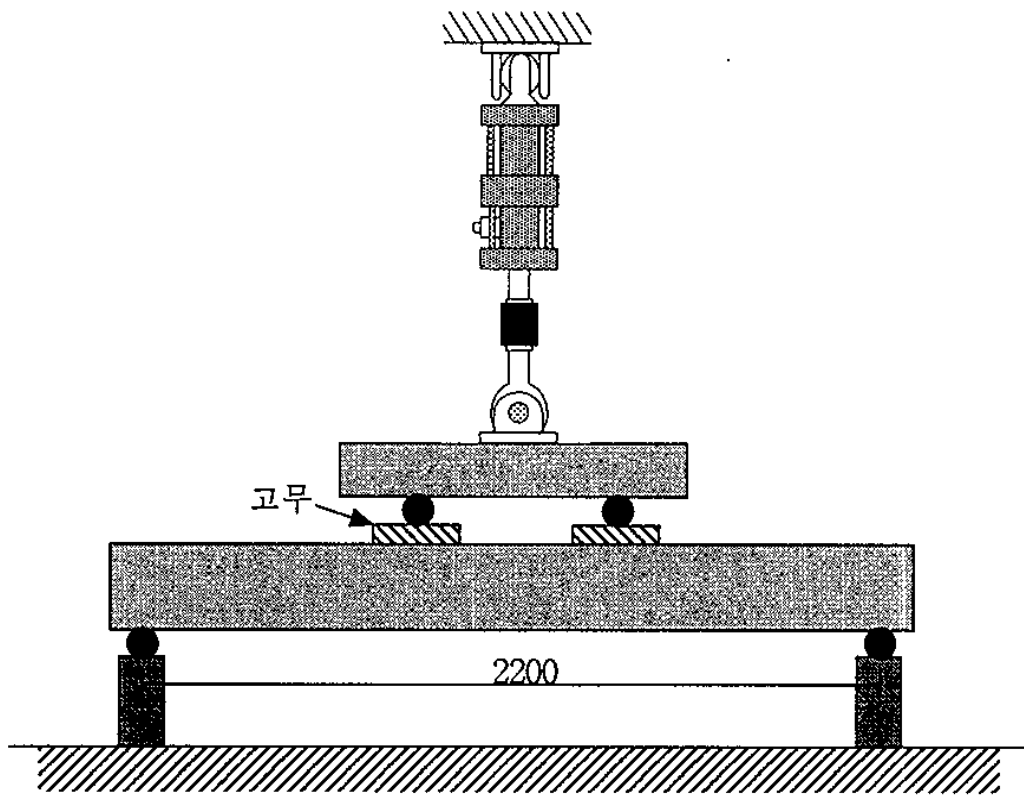


Fig.2-3-5 The experiment set-up for slab

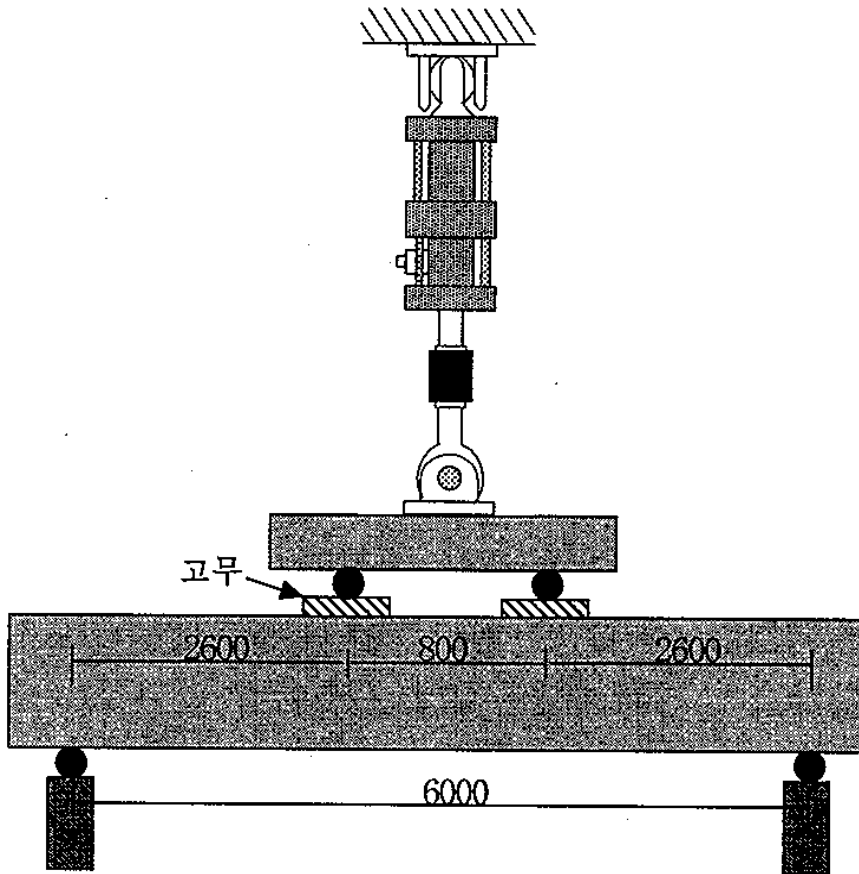


Fig.2-3-6 The experiment set-up for column

축력에는 콘크리트가 주로 저항하므로 인장측의 콘크리트 저항을 무시할 수 있다. 또한, 설계된 모형들은 과소철근으로 설계되었으므로 인장측의 철근이 압축측보다 먼저 항복응력에 도달한다. 따라서 모형에 배근된 인장철근을 기준으로 피로하중을 산정하였다. 미국도로교통국(AASHTO)에서는 다양한 시험 및 연구결과를 이용하여 구조물의 구조상세를 5개 범주의 등급으로 나누어 (등급 A, B, C, D, E) 각각의 등급에 따라 S-N선도를 제시하고있으며, 최근에는 처음 제안된 S-N선도의 문제점이 발견되어, 계속된 시험 및 연구결과를 토대로 몇 개 유형에 대한 S-N선도가 추가되었다. AASHTO에서 제시하는 S-N curve식은 다음과 같으며, 각 등급별 m값 및 log C값을 Table 2-3-6에 나타내었다. 또한 아래 식과 Table 2-3-6에 의해 계산되는 반복회수에 대한 각 등급별 피로강도값을 Table 2-3-7에 나타내었으며, 이에 대한 S-N curve를 Fig. 2-3-7에 나타내었다. 여기서 S-N curve는 Mean-Line Curve이다.

$$\log N = \log C - m \log S$$

여기서, S = 스트레스의 범위를 Stress Range

N = 파괴가 일어날 때까지의 반복수(no. of Cycles to Failure)

log C = 교차지점(intercept)

m = log S 대 log N 역기울기(inverse slope)

본 시험에서 피로하중을 산정할 때에는 인장철근을 등급 A로 취급하고, 반복회수 200만회를 기준으로 226.59 MPa의 피로강도값을 설정하였다. 즉, Fig.2-3-5과 Fig.2-3-6에서 유압가력기로 상판 및 보에 가해지는 모멘트에 의해 인장철근에 발생하는 응력이 226.59 MPa이 되도록 유압가력기의 하중을 계산하여 가력하였다. 계산된 유압가력기의 피로하중, 주파수 및 반복회수를 Table 2-3-8에 정리하였다.

3) 피로실험 절차

상판모형 및 보모형 피로시험의 각 시간에 따른 반복회수, 하중크기등을 Table 2-3-9 및 Table 2-3-10에 정리하였다.

Table 2-3-6. The value for m and log C (AASHTO)

Category	m	log C			
		Mean		Lower	
		ksi	MPa	ksi	MPa
A	3.178	11.121	13.786	10.688	13.353
B	3.372	10.870	13.698	10.582	13.410
C	3.250	10.038	12.763	9.915	12.640
D	3.071	9.664	12.239	9.453	12.028
E	3.095	9.292	11.887	9.094	11.689
E'	3.000	-	-	8.610	11.126

Table 2-3-7. The stress range (AASHTO)

N (Cycles)	Stress Range (MPa)					
	A	B	C	D	E	E'
100,000	581.61	379.73	244.69	227.62	167.96	110.15
200,000	467.64	309.18	197.69	181.63	134.26	87.43
300,000	411.62	274.15	174.51	159.17	117.77	76.38
400,000	376.00	251.73	159.72	144.93	107.32	69.39
500,000	350.50	235.61	149.12	134.78	99.85	64.42
600,000	330.96	223.21	140.99	127.01	94.14	60.62
700,000	315.29	213.23	134.46	120.79	89.57	57.58
800,000	302.32	204.95	129.05	115.65	85.79	55.08
900,000	291.32	197.92	124.45	111.30	82.58	52.96
1,000,000	281.82	191.83	120.48	107.54	79.82	51.13
2,000,000	226.59	156.19	97.34	85.81	63.80	40.58
3,000,000	199.45	138.49	85.92	75.20	55.97	35.45
4,000,000	182.19	127.17	78.65	68.48	51.00	32.21
5,000,000	169.84	119.02	73.43	63.68	47.45	29.90
6,000,000	160.37	112.76	69.42	60.01	44.74	28.14
7,000,000	152.77	107.72	66.21	57.07	42.56	26.73
8,000,000	146.49	103.54	63.54	54.64	40.77	25.56
9,000,000	141.16	99.98	61.28	52.58	39.24	24.58
10,000,000	136.55	96.91	59.32	50.81	37.93	23.73
100,000,000	66.17	48.96	29.21	24.01	18.03	11.02

S-N Curve (Mean, AASHTO)

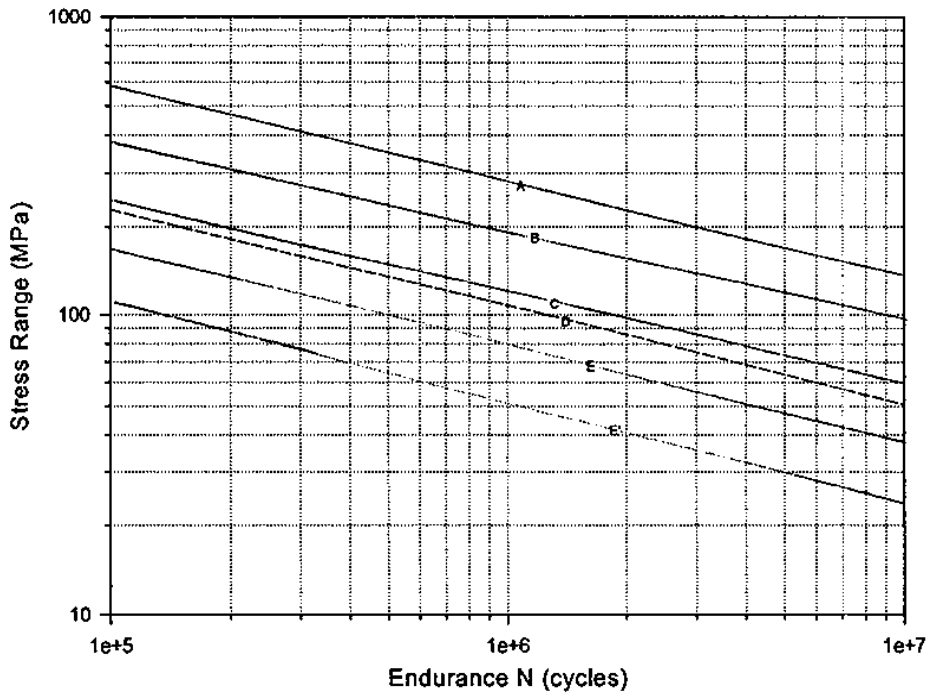


Fig. 2-3-7. The S-N curve (Mean, AASHTO)

상판 모형에 대한 피로시험 도중에는 진전된 균열을 사진으로 기록하여 균열의 진전성을 관찰하였다. 1,939,995회에서는 모형의 파괴가 많이 진전되어 피로시험을 종료하였다.

보 모형에 대한 피로시험에서는, 한국표준과학연구원에서 계측기를 설치하여 결과를 기록하였다. 특히, 1,332,554회까지 균열이 발생하지 않았으며 균열의 진전성을 관찰하기 위하여 1,332,554회 이후에 200,000회 마다 하중을 2 tonf씩 증가시켰다.

Table 2-3-8. The load and loading frequency

	피로하중 (tonf)		주파수 (Hz)	반복회수(회)
	max.	min.		
상판모형	6.62	0.66	5	1,939,995
보모형	13.82*	1.38	5**	2,044,488

* : 1,332,554회 이후 200,000회 마다 2 tonf씩 증가

** : 1,785,622회 이후 3 Hz로 조정

Table 2-3-9. The process of slab experiment

월/일	시간	반복회수 (회)	피로하중 (tonf)		주파수 (Hz)	비 고
			max.	min.		
10/29	10:20	0	6.62	0.66	5	피로시험시작
10/29	20:00	115,544	"	"	"	시험정지
10/30	10:10	115,544	"	"	"	시험재개
10/31	10:45	554,335	"	"	"	시험정지
11/3	11:30	554,335	"	"	"	시험재개
11/6	19:10	1,939,995	"	"	"	피로시험 종료

Table 2-3-10. The process of column experiment

월/일	시간	반복회수 (회)	피로하중 (tonf)		주파수 (Hz)	비 고
			max.	min.		
10/24	14:50	0	13.82	1.38	5	피로시험시작
10/24	17:00	41,474	"	"	"	시험정지
10/26	9:25	41,474	"	"	"	시험재개
10/27	9:00	466,800	"	"	"	시험정지
10/29	9:40	466,800	"	"	"	시험재개
10/29	14:39	556,791	"	"	"	시험정지
10/29	15:37	556,791	"	"	"	시험재개
10/31	10:45	1,332,554	"	"	"	시험정지
11/3	11:50	1,332,554	15.82	1.58	"	시험재개(하중조정)
11/3	11:55	1,334,917	"	"	"	시험정지
11/3	14:10	1,334,917	"	"	"	시험재개
11/3	24:30	1,520,642	17.82	1.78	"	(하중조정)
11/4	12:10	1,732,554	"	"	"	시험정지
11/4	12:17	1,732,554	19.82	1.98	"	시험재개(하중조정)
11/4	15:15	1,785,622	"	"	3	(주파수 조정)
11/4	16:52	1,803,129	"	"	"	시험정지
11/5	11:50	1,803,129	"	"	"	시험재개(균열계 부착)
11/6	10:10	2,044,488	"	"	"	피로시험 종료

다. 실험결과

상판모형의 피로실험은 실험을 진행하면서 일정 피로하중을 인가한 후 사진으로 균열의 진전성을 기록하였으며, 육안으로 균열의 진전상태를 관찰하였다. 기록 사진은 위탁연구 보고서에 나타내었다. 한편, 보 모형 피로실험과정에서 토목구조물의 응력이나 균열상태 감시에 많이 활용되고 있는 센서들을 보 구조물에 Table 2-3-11과 같이 부착하여 측정하였으며, Fig.2-3-8은 보에 부착된 각 센서들을 나타내는 사진이며, Fig.2-3-9는 전체 실험장치를 나타내는 사진이며, 측정결과를 대표적으로 Fig.2-3-10에 정리하였다. 사용된 센서들은 교량 구조물의 동적 응답범위 내에서 적절히 반응함을 알 수 있었다. 이를 기초로 하여, 향후 시설물의 수명예측에 필요한 수치데이터 생성에 불확도를 포함한 신뢰도 확보에 기여하고자 한다. 이는, 홍도육교 상시감시시스템의 감시데이터 분석에서도 나타났듯이 시설물 거동측정을 근거로 하여 안전도 평가나 수명예측에 정확한 자료를 제시하기 위함이다.

Table 2-3-11. The measuring item for the column fatigue experiment

측정항목	측정위치	사용센서	증폭
1. 응력	우측* 1/4 지점	응력계	500 ($\mu\epsilon/V$)
2. 응력	중심점	응력계	2000
3. 응력	좌측 1/4 지점	응력계	500
4. 변위	우측 1/4 지점	변위계	1000
5. 변위	중심점	변위계	1000
6. 변위	좌측 1/4 지점	변위계	1000
7. 응력	우측 1/4 지점	strain gage, 1/4Bg	500
8. 응력	중심점	strain gage, 1/4Bg	500
9. 응력	좌측 1/4 지점	strain gage, 1/4Bg	500
10. 균열	보 밑면	균열계	1000
11. 균열	보 상면 하단	균열계	1000
12. 균열	보 상면 상단	균열계	1000
13. 온도	보 주위	K형 열전대	

주) * : 하중을 받는 보 입장에서의 위치임.

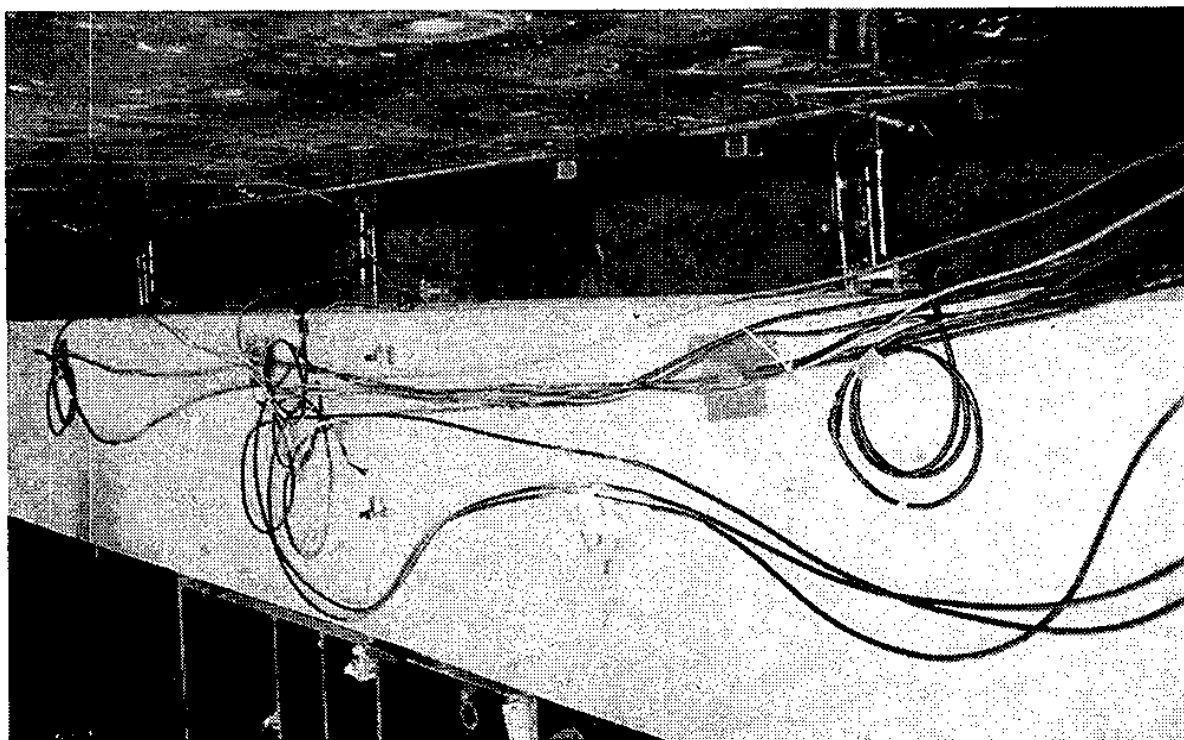


Fig.2-3-8 The sensors on the column for the fatigue experiment.

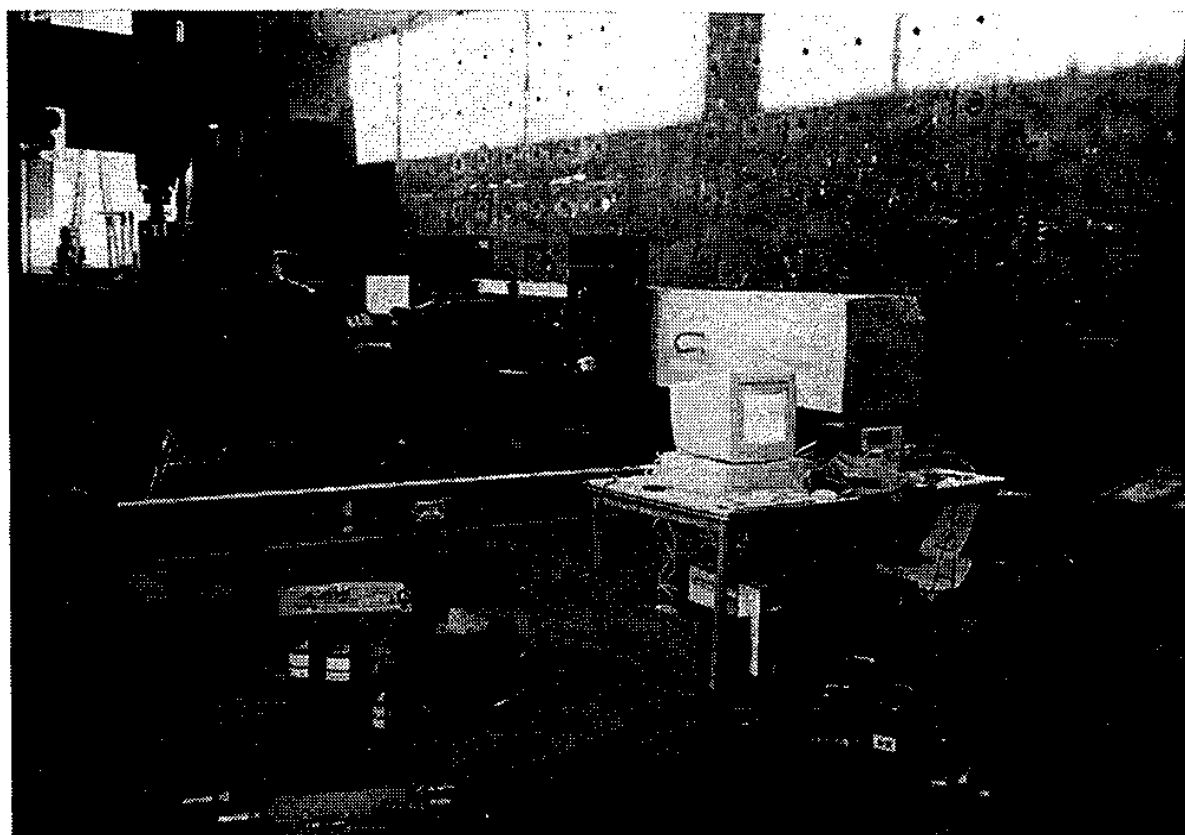


Fig.2-3-9 The experimental set-up for the column.

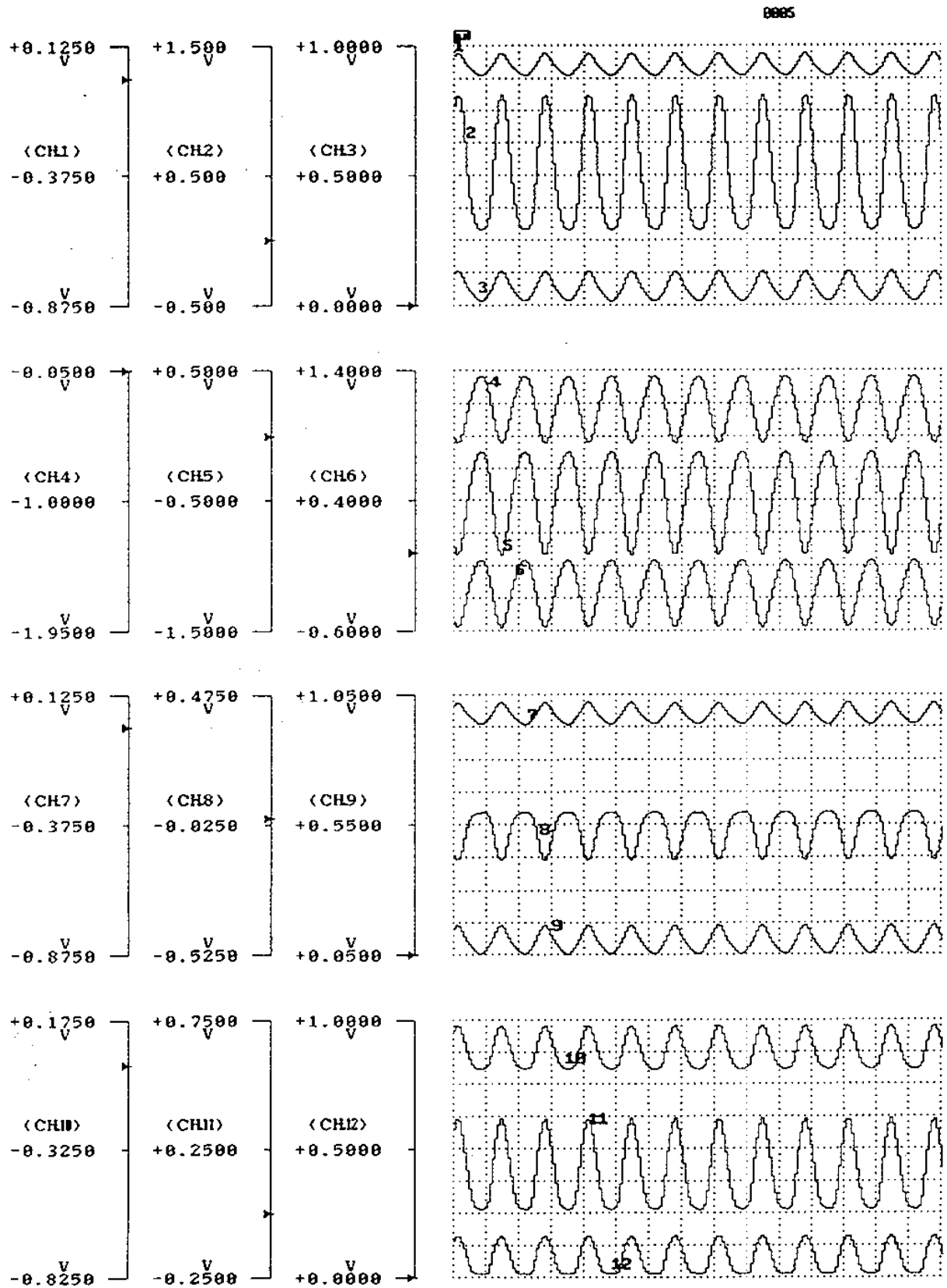


Fig.2-3-10 The sensor output of the column fatigue experiment.

제 4절 댐 유지관리 방안

국내 주요 시설물의 안전한 유지관리를 위한 상시감시 기술의 적용을 검토하고자, 댐의 유지관리 현황을 동국대학교 토목공학과에 위탁연구를 주어 수행한 결과를 본 절에 요약 정리하였다.

1. 서론

댐을 운영하는데 있어서 유지관리는 댐의 안전과 직결되는 문제이다. 만일 대형댐의 파괴가 발생하면 그로 인한 인명과 재산상의 피해가 막대하다는 것을 1976년 미국에서 발생한 Teton댐의 붕괴사고와 같은 사례에서 잘 알 수 있다. 흙 댐과 같이 구조물 자체의 거동이 불확실성을 많이 내포하고 있는 대형 구조물의 경우는 시공 중이나 시공 후 안전한 유지관리를 위해 표준화된 계측이 필수적이다. 또한 문제가 발생시에 유지보수를 하거나 파괴위험을 예측할 수 있는 중요한 자료가 된다.

현재 국내 대부분의 댐에서 계측을 실시하고 있으나 대부분 신뢰성 있는 측정이 어려우며 계측자료 역시 제대로 분석되지 않고 있다. 따라서 댐의 안전한 유지관리를 위한 매설계기의 계측방법 및 분석방안을 마련하는 것이 매우 시급한 실정이다.

본 연구는 국내·외 매설계기의 기술개발 현황과 댐 계측현황을 조사하고 댐의 유지관리를 위한 계측 분석방안을 마련하는 것을 연구목적으로 하고 있다.

2. 댐 거동검지용 센서의 기술현황

국내의 댐 거동 계측을 위한 센서(이하 본절에서는 매설계기라 함)의 개발현황은 지반의 간극수압과 부간극수압을 측정하기 위한 팁 개발을 시도한

것 외에는 전무한 실정이다. 따라서 거의 모든 계측장비를 외국에서 수입하여 사용하고 있다. 이 경우 계측을 위한 장비 구입에 많은 외화지출이 필요할 뿐만 아니라 수입하여 현장에 설치하기까지 많은 시간이 소요되며, 고장시 장비의 교체 또는 수리가 어려운 문제가 있다.

국내에서는 간극수압계와 부간극수압 팁을 개발한 적이 있는데, 김(1979)은 간극수압을 측정하기 위해 개방식 및 밀폐식의 두 가지 수압식 간극수압계를 개발하였다. 개발된 팁을 이용해 실제 지반에 대해 적용을 해 보았지만, 수압식 간극수압 측정기로 지하수위 보다 높은 위치에서 압력을 측정할 때 측정계통 내에 공기가 발생하는 이유로 현장 적용시는 만족스러운 결과를 얻지 못했다.

비포화토의 공학적 거동을 분석하는데 필요한 흙의 부간극수압 측정방법으로 thermocouple psychrometer, thermal conductivity sensor, filter paper 등이 있는데 작동이 복잡하거나 비용이 과다하게 소요된다. 또한 측정시간의 지연에서 오는 측정값의 오차 등의 문제점이 있어 사용하는데 그 한계성이 있어 다공질 팁을 가장 많이 사용한다. 다공질 팁은 비포화토에 대한 시험시 공기압과 수압을 분리하는 데 사용되는 것으로 완전포화된 팁은 공기함입저항치(air entry value)보다 낮은 흙의 흡수력에서는 공기의 유입을 막지만 팁의 공기함입저항치가 낮을 경우 간극수에 용해된 공기를 물을 통해 팁내부로 확산시켜 흙의 흡수력 측정을 불가능하게 한다. 국내의 연구개발 실적은 문 등(1995)이 수행한 것이 유일하며, 이 연구에서는 흙의 부간극수압을 보다 간단히 정확하게 측정할 수 있는 다공질 팁을 개발하였다.

한편, 댐의 설계, 시공, 유지관리를 위해 외국에서 개발된 매설계기에 대한 종류, 계측원리 및 방법 등을 조사하였다. 조사는 다음 Table 2-4-1에 측정항목별 기기를 정리하였다. 각 센서의 원리, 장단점, 활용방법 등은 위탁연구 보고서에 있음을 밝혀둔다.

Table 2-4-1. Various instruments for dam monitoring.

계 측 항 목	계 측 기 기
변위계측	측량기 변위계 지표면 변위계 탐침 변위계 체체고정 변위계 경사계(inclinometer)
간극수압계측	스탠드 파이프 피조미터 수압식 피조미터 기압식 피조미터 진동현식 피조미터 전기저항식 피조미터
토압계측	다이아프람 셀 압력식 셀
누수계측	유속계 웨어(weir) 프롬(flume)

3. 국내 · 외 댐 거동 계측현황

가. 국내 댐

1) 건설현황

우리나라 대형댐 건설은 관개용 댐, 다목적 댐 및 발전용 댐으로 나누어 볼 수 있으며 관개용댐의 현황은 Table 2-4-2와 같이 거의 흙이나 사력으로 만들어졌고 평화의 댐을 제외하고는 댐높이도 13~67m로 발전용 및 다목적 댐보다 낮은 편이다. 다목적 댐은 Table 2-4-3과 같이 일부 콘크리트 중력식 댐도 있으나 대부분 사력댐이며 댐 높이는 21~123m로서 대형댐이 대부분이며 그 중에서 소양강댐이 댐높이 123m 총저수용량 2,900백만톤으로

가장 큰 댐이라 할 수 있다. 발전용 댐은 Table 2-4-4과 같이 사력댐도 있으나 대부분 콘크리트 중력식 댐이며 댐높이 11.8~81.5m로 다목적 댐보다 낮은 편이다.

이들 댐의 건설기간으로 보면 1930년대 2개(5.5%), 1940년대 3개(8.4%), 1950년대 3개(8.4%), 1960년대 6개(16.6%), 1970년대 9개(25%), 1980년대 10개(27.8%), 1990년대 3개(8.4%)로 대형댐의 건설량이 증가하는 경향을 보이고 있으며 수자원 공사에서 1977년 현재 밀양댐을 비롯하여 6개 댐을 건설 중에 있다.

또한 건설연도별 댐 높이를 보면 그림과 같이 점차 증가하는 경향을 보이고 있으며 댐의 저수용량도 대부분 20백만톤 이상으로 체계적이고 과학적인 댐의 안정관리 및 유지관리가 필요하다.

2) 매설계기 설치 현황

사력댐 및 흙댐은 시공중은 물론 시공후에도 변형이 발생되면 기초지반과 체체를 통한 물의 침투가 있으므로 시공중 및 시공후 댐체의 거동 및 침투류에 대한 계측과 안정관리가 계속적으로 필요하다. 이를 위하여 시공중에 댐체에 간극수압계, 토압계, 변위계, 누수량계 등을 설치하고 그 값을 측정하므로 시공중 적절한 정보화 시공관리를 통한 시공중 안정관리는 물론 시공후 댐의 거동을 계속 측정하므로써 댐의 안정해석을 통한 체계적인 유지관리를 할 수 있다.

또한 시공중 및 시공후 측정된 값으로부터 댐의 거동에 대한 역해석을 하므로써 댐의 설계기술발전에 기여하고 있다.

우리나라 국내 대형댐의 매설계기 설치현황은 Table 2-4-5 및 Table 2-4-6과 같이 1970년 부터 사용하기 시작하여 최근에 건설되는 다목적댐과 발전용댐에서 거의 대부분 계측기를 설치하고 있다.

Table 2-4-2. Summary of irrigation dams.

구분	단위	수어	영천	덕동	백곡	동북	경문	운문	평화의 댐	고아
하천	-	수어천	금호강	형산강	백곡천	동북천	금천	동창천	북한강	고산천
유역면적	km ²	4.9	235							
위치	-	평양진상	영천자양	경천	진천	광주	문경			전북
형식	-	사력댐	사력댐	흙댐	흙댐	흙댐	흙댐	사력댐	사력댐	흙댐
높이	M	67	42	50	27	48.7	28.2	55	80	50
만수면적	km ²									
총저수용량	백만	28.1	96.4	32.7	21.5	99	28.2	135	590	28.2
시설용량	천kW									
건설기간	-	74-80	74-80	75-77	81-84	82-84	82-85	83-90	87-90	1988
사업비	백만									
관리주체	-	수공	수공	경주시	진천농조	광주시	문경농조	수공	수공	전북농조

구분	단위	경천지	탐정지	예당호	청천	사연	장성댐	나주	담양
하천	-	고산천	논산천	무한천	대곡천	대곡천	황룡강	대조천	영상강
유역면적	km ²					124.5			
위치	-	전북	충남	충남	충남	울산범서	전남	전남	전남
형식	-	흙댐	흙댐	흙댐	흙댐	흙댐	흙댐	흙댐	흙댐
높이	M	23	18	13	20.8	46	36	31	46
만수면적	km ²								
총저수용량	백만	25.3	32	47	20.8	25	90	91	67
시설용량	천kW								
건설기간	-	33-37	41-44	52-64	52-58	62-65	73-76	73-76	73-76
사업비	백만								
관리주체	-	전북농조	논산농조	예산농조	보령농조	수공	영상강농 조	영상강농 조	영상강농 조

Table 2-4-3. Summary of multipurpose dams.

구 분	단 위	섬진강	남 강	소양강	안 동	대 청	충 주	합 천	주 암 (본담)	주 암 조절지 담	임 하 임하역조 정지
하 천	-	섬진강	남 강	북한강	낙동강	금 강	남한강	황 강	보성강	이사천	반변천
유역면적	km ²	763	2,280	2,703	1,584	4,134	6,648	925	1,010	1346	1,361
위 치	-	전북 임실	경남 진주	강원 춘성	경북 안동	충북 청원	충북 증원	경남 합천	전남 승주	전남 승주	경북 안동
형 식	-	중력식	사력댐	사력댐	토석식	혼합식	중력식	중력식	사력댐	사력댐	사력댐
높 이	M	64	21	123	83	72	97.5	96	57	99.9	73
만수면적	km ²	26.5	30	70	51.5	72.8	97	25	32.5	7.8	28.7
총저수용량	백만	466	136	2,900	1,248	1,490	2,750	790	457	250	595
시설용량	천kW	3.84	12.6200	90	90	412	101.26	22.5		50	
건설기간	-	60-65	62-70	67-73	71-76	75-81	78-85	83-89	83-91	83-91	84-91
사업비	백만	2,318	6,881	26,978	41,465	144,403	547,428	244,549	321,259		214,098
관리주체	-	수공	수공	수공	수공	수공	수공	수공	수공	수공	수공

Table 2-4-4. Summary of power plant dams.

구분	단위	보성	청평	화천	괴산	춘천	의암	팔당	삼랑진	강릉
하천	-	보성강	북한강	북한강	달천	북한강	북한강	한강	낙동강	송천천
유역면적	km ²	275	9,921	3,901	671	4,736	7,709	23,800	-	145
위치	-	전남 보성	경기 가평	강원 화천	충북 괴산	강원 춘성	강원 춘성	경기 양주	삼랑진	강원 평창
형식	-	혼합식	중력식	중력식	중력식	중력식	중력식	중력식	-	사력댐
높이	M	11.8	31	81.5	28	40	23	29	-	72
만수면적	km ²	1.8	17.6	38.15	58	14.32	15	36.5	-	7.8
총저수용량	백만	5.7	186	1,018	15.3	150	80	244	-	51
시설용량	천kW	3.12	79.6	108	2.6	57.6	45	80	600	82
건설기간	-	31-37	39-43	39-44	52-57	61-65	62-67	66-73	79-85	85-91
사업비	백만	15	2,844	5,439	274	2,670	5,986	19,281		
관리주체	-	한전	한전	한전	한전	한전	한전	한전	한전	한전

Table 2-4-5. Instrumentation of concrete dams.

댐명	형식	완공 년도	매설기기 설치 내역					
			온도계	개도계	변위계	응력계	간극 수압계	누수량
합천댐	콘크리트	'89	56 (52)	105 (81)	15 (13)	6 (4)	4 (4)	3 (1)
충주댐	콘크리트	'85	59 (57)	21 (12)	15 (15)	6 (6)	3 (3)	3 (3)
미호천댐	콘크리트 중력식	'86	20 (0)				10 (0)	2 (0)

흙댐 및 사력댐에서 매설계측기는 간극수압계, 토압계, 수직층별침하계, 수평변위계, 누수량측정기 및 표면변위측정점을 설치하였으나 수평변위계는 소양강댐과 안동댐에서 설치하였으나 기타의 댐에서는 설치하지 않았다.

그 이유는 기초지반이 양호조건에서는 실제 수평방향의 변위가 미소하므로 매설계측기의 측정효과가 없었기 때문이라고 판단된다.

누수량 측정장치와 표면측정점은 설치 비용도 적고 시공후 계속적으로 유지보수만 하면 계속 측정이 가능하므로 유지관리상에 매우 유용한 계측시설임을 알 수 있다.

3) 계측 및 해석 사례

소양강댐은 중앙차수가 벽형이고, 높이는 125m, 길이는 447m이다. 1967년에 착공하여 1973년에 완공되었으며, 이 댐의 저수용량은 29억ton이고, 저수연장 64km, 저수면적 70km², 최고수심이 118m에 이르는 거대한 인공호수를 이룬다. 댐의 시공 중 또는 시공 후, 지반공학적 거동을 조사하는데, 여기에는 간극수압계, 토압계, 층별침하계, 수직, 수평변위계 등이 댐의 각 부에 매설되어 계측되고 있다.

간극수압계를 매설하여 댐 심벽의 간극수압의 분포를 얻었다. 성토가 El.116.0에 이르렀을 때(성토고 38m) 최대 간극수압은 심벽중심 하단부(El.82.0m부근)에서 5.46kg/cm²의 값을 보이며 이 때 간극수압비 $\Delta u / \Delta \sigma$ 는 65%까지 이른다. 성토고가 증가함에 따라 과잉 간극수압도 증가하나 시간의 경과에 따라 과잉 간극수압은 소산되며, 심벽의 양측에는 필터층이 있어서, 이것이 심벽에서 생긴 간극수압의 배수층이 되어 이 부근에서 그 소산이 빨라진다. El.180.00까지 성토했을 때 El.152.00와 El.162.00사이에서 생긴 과잉 간극수압이 그 아래 수압보다 오히려 더 커져 그 부근에서 독립된 개함 간극수압곡선이 그려졌다

성토한 심벽재료가 균질하다고 하면 동절기 4개월간 공사를 중단하였으므로

Table 2-4-6. Instrumentation of earth and earth-rockfill dams
(1994. 12).

댐 명	형 식	완공 년도	매설기기 설치 내역					
			간극 수압계	토압계	수직층별 침하계	수평 변위계	누수량 측정	표면 측정점
소양강댐	중앙심벽형 사력댐	'73	102 (74)	105 (81)	3 (0)	3 (0)	1 (1)	19 (19)
안동댐	중앙심벽형 사력댐	'76	26 (26)		17 (17)	7 (0)		35 (35)
운문댐	사력댐	'94	8 (8)	24 (24)	3 (3)			12 (12)
주암댐 (본댐)	중앙심벽형 사력댐	'91	32 (31)	15 (15)	2 (2)		1 (1)	39 (39)
주암댐 (조절지)	중앙심벽형 사력댐	'91	36 (31)	18 (15)	2 (2)		1 (1)	38 (38)
임하댐	중앙심벽형 사력댐	'91	40 (40)	48 (48)	2 (2)		1 (1)	35 (35)
대청댐	콘크리 사력복합형	'81	30 (29)	16 (15)	9 (9)		4 (4)	44 (44)
담양댐	경사코아형 흙댐	'76	32 (0)	30 (0)	6 (0)			
장성댐	중앙심벽형 흙댐	'76	24 (0)	30 (0)	5 (0)			
광주댐	중앙심벽형 흙댐	'76	5 (0)					
나주댐	중앙심벽형 흙댐	'76	11 (0)	15 (0)	5 (0)			
덕동댐	중앙심벽형 흙댐	'77	36 (0)	36 (0)	1 (0)			

※()은 1995년 현재 작동계기 개수

로 이 동안에 이미 성토한 재료로부터 과잉간극수압이 많이 소산되었기 때문이라고 판단된다. 간극수압은 일반적으로 댐 높이가 증가할수록 증가하나 동절기에 성토공사가 중지되었을 때에는 간극수압이 부분적으로 소산되므로 이것이 감소하는 경향을 뚜렷이 보였다.(상세내용은 위탁보고서 참조) 간극수압비는 성토가 시작된 후 최대치까지 도달했다가 성토가 계속되면서 곧 감소하기 시작한다. 간극수압비는 E1.162.00에서 72%까지 도달되었다.

한편, 가상활동면에서의 수직토압을 결정하기 위해서 토압계가 매설되었다. 수직토압비를 성토하중에 대한 수직토압계로 정의할 때 심벽내 E1.109.0에서 이 값은 최대 67%까지 증가한 후 점차 감소되어 댐의 완공시에는 27%까지 감소하였다. 그러나 제각내에서의 토압비(E1.82.5)는 50%~74%의 범위내에서 변화를 보였다.

층별침하계는 심벽의 층별침하량을 측정할 목적으로 설치되었으며, 강제 cross arm을 소정의 표고에 설치하고 cross arm의 중앙을 통해서 세워진 비닐파이프 속에 있는 전기식 센서를 통하여 변위된 cross arm의 위치를 앞으로서 침하량을 측정할 수 있게 되어 있다. 높이 4m마다 하나씩 10개를 세 줄로 설치하였으며 St. No.15에서 측정한 위치별 침하량의 분포곡선을 얻었다. 댐 완공이 가까웠을 때(72년 6월) 측정된 기록에 의하면 심벽높이의 중간부분인 CS의 위치에서 침하량은 최대이고 그 값은 149cm나 되며, 이것은 상재하중 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ (유효응력)에 대해 3.5%의 변형율을 의미한다.

수평변위와 수직변위를 측정할 수 있는 계기는 댐 하류측 E1.167.00의 표고에 모두 6개 설치하였다. 이 계기는 모두 sand-gravel zone과 rock zone 내에 있다. 시간이 지남에 따라 모든 변위에서 이들은 점점 커지나 증가비율은 점점 감소하는 경향을 보인다. 이 표고에서 수평변위는 상류측으로 향하며, 그 최대치는 측정실을 기준으로 하여 38cm까지 이르며 침하량은 측정점 M(제각의 중앙부분)에서 가장 크고 값은 66cm나 된다. 같은 제각내에서도

상대수평 변위는 20cm 가까이 되며 상대침하량은 33cm가 된다. 전반적으로 보아 제각은 하류측으로 변위를 일으킴과 동시에 아래로 침하하였으며 침하량은 제각의 중앙부분에서 가장 크다.

안동댐은 중심차수벽형 fill type 댐으로 1974년 9월에 착공하여 1976년 12월에 완공되었다. Fill 댐을 이루는 주재료는 암석과 화강풍화토 (decomposed granite)이며 특히 차수벽이 재래의 점토 대신 화강풍화토로 축조되었다. 한국에서는 화강풍화토를 차수재로 사용하는 것이 처음이므로 댐 완공후의 댐 전체의 토질공학적 거동이 댐 기술자들의 관심의 초점이 되고 있으며 이것을 정량적으로 측정하기 위하여 6가지 종류의 계기를 매설하였다. 심벽 층별침하계, 댐정상 침하량, 경사 침하량, 수평 이동량, 상대침하량, 간극수압 등이 계측되었으며, 그 결과는 위탁연구보고서에 정리되어있다.

나. 외국의 댐

1) 건설현황

외국에서의 댐 건설은 국내와는 비교가 안될 정도로 일찍 건설되었고 매우 다양한 종류의 댐을 보유하고 있다. Fig.2-4-1은 국제대댐회(ICOLD, 1983)에서 조사한 세계각국의 댐 시공현황을 보인 것이다. 이 그림에 포함된 댐들은 1975년 이전까지의 자료에 불과하지만 전체적인 경향은 크게 다르지 않다고 판단된다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 6가지 종류의 댐들 중 흙댐의 시공이 가장 많고, 점차 시공실적이 증가되는 추세이다. 댐의 높이는 15-30m의 댐이 가장 많은 비중을 차지하고 있지만 요즘들어 댐의 규모가 점차 대형화되고 있다.

Fig.2-4-2에서 볼 수 있듯이 1960년 이후에 건설된 댐의 파괴 위험은 1939년 이전에 시공된 댐보다 5배 적었다. 이는 댐의 숫자와 비교하여 노화

를 겪는 댐의 비율은 시간에 따라 증가하지 않지만, 설계, 시공, 계측과 감시 기술의 개선으로 파괴 비율은 줄어들고 있음을 알 수 있다. Fig.2-4-3은 댐의 높이에 따른 파괴와 노화정도를 나타낸 그림이다. 댐의 79% 이상이 높이 30m보다 낮았고, 이들 댐은 높은 댐에 비해 노화는 적지만, 더 많은 파괴가 발생하였다. 이는 큰 댐일수록 계측과 감시를 더 주의 깊게 한다는 것을 알 수 있다. Fig.2-4-4는 제방 댐의 시공단계별 파괴와 노화비율을 나타낸 그림이다. 제방 댐의 파괴와 노화의 50% 이상은 건설 동안이나 처음 담수되었을 때 발생하였고 수년 동안 사용되었던 댐도 많은 노화와 파괴가 발생되었다. 이는 댐의 시공에서부터 첫 담수시 관리가 매우 중요하며, 시공 완료 후에도 안정성 관리를 위해 주의를 기울여야 한다는 것을 알려준다.

이러한 현장조사를 통해 외국의 각 나라에서는 자국의 특성에 맞게 댐을 안전하게 유지관리할 수 있는 방안을 마련해 왔다. 외국에서 실시하고 있는 댐 안정성 확보를 위한 방안을 매설계기 관리현황을 조사하였다.

2) 매설계기 관리 현황

본 절은 ICOLD(1989)에 세계 각국에서 댐 계측관리 현황을 보고한 자료를 중심으로 요약한 것이다. 보다 자세한 내용은 원문을 참고하기 바람.

① 일반관리

댐의 매설계기 관리와 관련된 몇 가지 일반적인 원리에 대해 국제대댐회의 프랑스 위원회에서 제시한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- ㉠ 댐은 수명이 긴 구조물이기 때문에 이에 부합하는 수명을 유지해야하며 접근, 검증, 교체가 용이해야 한다.
- ㉡ 작은 변화라도 댐에 위협을 주는 갑작스런 변화나 경향을 조기에 경보해 줄 수 있을 정도로 민감해야 한다.
- ㉢ 전문가의 도움이 없이 관리자가 현장에서 쉽게 관측할 수 있도록 간단해야 한다.

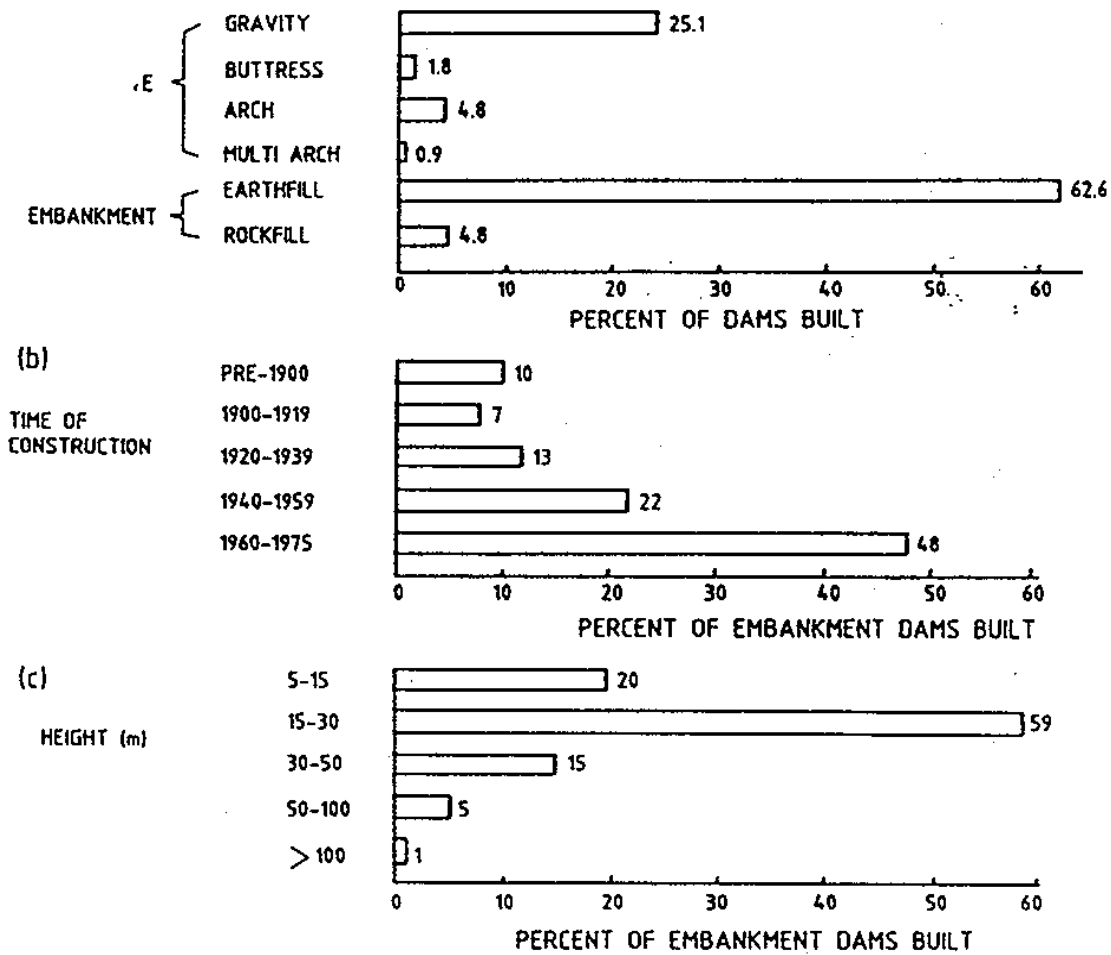


Fig. 2-4-1. Dam types up until 1975 (a) by method of construction; (b) by time of construction; (c) by height ((b) and (c) for embankment dams only)(ICOLD, 1983).

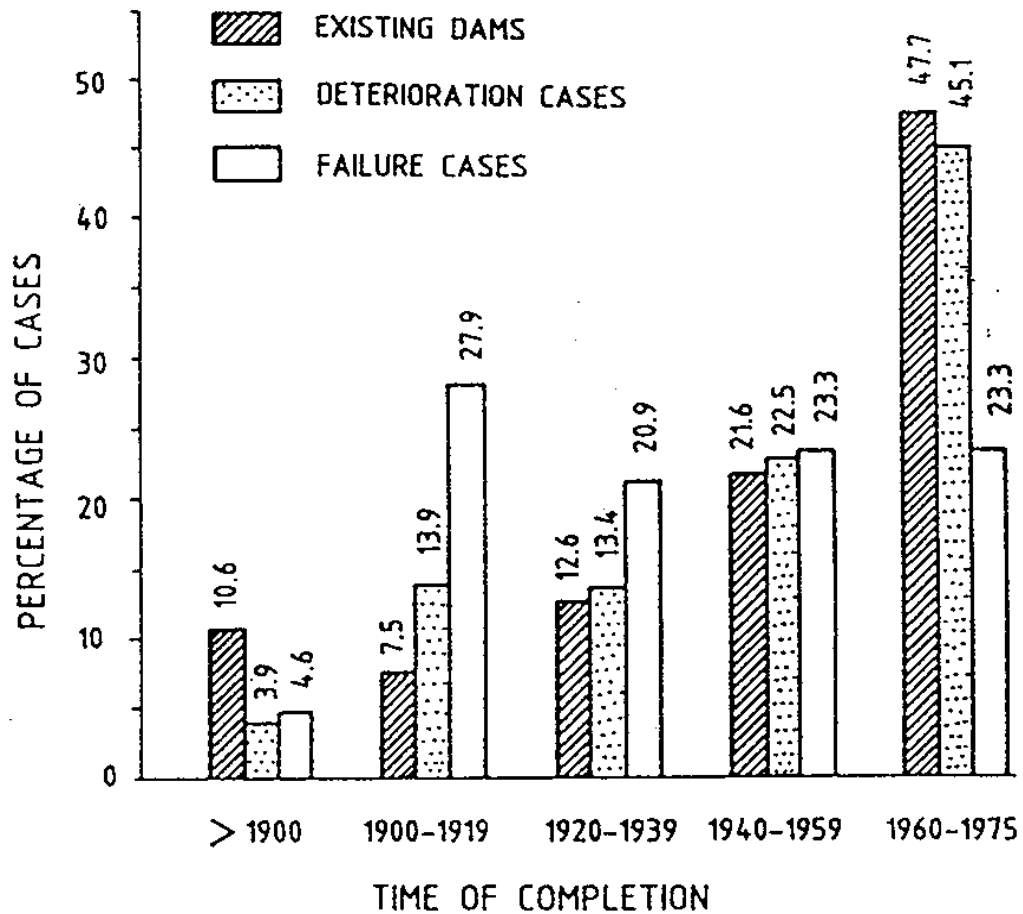


Fig. 2-4-2. Distribution in percentages of existing dams, and deterioration and failure cases affecting the foundations and/or the dam body, by period of completion of the dam(ICOLD, 1983).

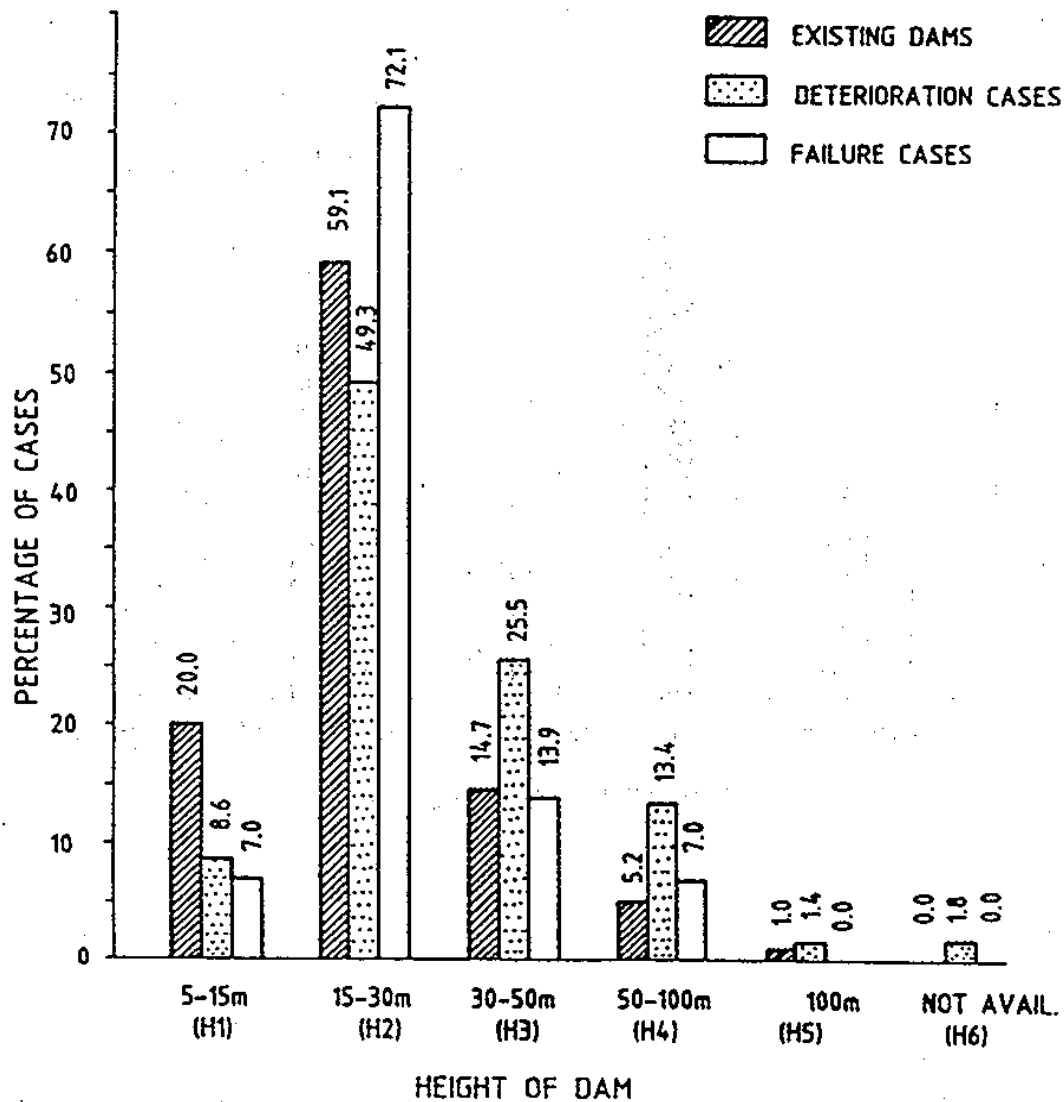


Fig. 2-4-3. Distribution in percentages of existing embankment dams, deterioration and failure cases affecting the foundations and/or the dam body, by height of the dam (ICOLD, 1983).

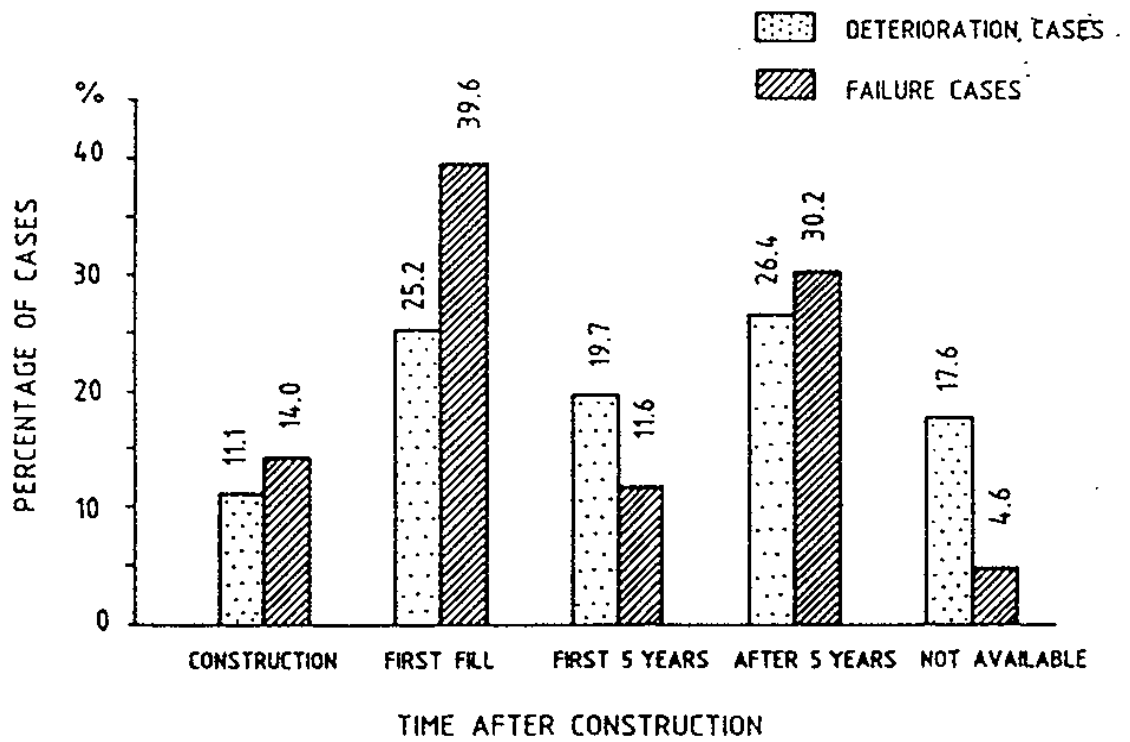


Fig. 2-4-4. Distribution in percentages of deterioration and failure cases affecting the foundations and/or the dam body by deterioration failing time(ICOLD, 1983).

- ㉔ 아무리 좋은 계측기라도 균열, 누수, 젖은 부위 등을 모두 발견할 순 없기 때문에 댐관리자가 육안검사를 하는 것이 매우 중요하다.
- ㉕ 계측시스템을 최적화하여 불필요한 계측기는 없애고, 필요한 기기는 추가 설치하여 댐의 실제 거동을 더 잘 알 수 있도록 한다.
- ㉖ 댐의 초기 담수는 세심한 주의가 필요한 단계이다. 댐의 초기 상태를 알기 위해 가능한 한 빨리 계측을 수행하고 일부 계측기는 시공중에도 측정해야 한다.
- ㉗ 많은 계측자료를 자동화하여 컴퓨터에 저장되고 안전관리를 하지만, 댐의 안정성에 관한 최종 결정은 전문 기술자가 해야한다.

② 매설계기 설치 및 계측현황

각 국가별로 설치된 매설계기의 현황과 특징을 조사하였다.

호주에서 댐에 설치된 계측기를 통해 시공관리를 하고 차후 댐 설계에 유용한 자료를 얻은 성공한 사례로 Dartmouth 댐을 들 수 있다. Fig. 2-4-5는 호주 Victoria의 Mitta Mitta강에 위치한 Dartmouth 댐의 매설계기 설치현황을 보인 그림이다. 이 댐은 위치한 높이 180m의 earth and rockfill댐으로 호주에서 가장 큰 댐 중의 하나이다.

계측기는 댐의 시공, 담수, 운영하는 동안의 간극수압과 응력이 집중되는 부분의 침하와 변위를 측정하기 위해 설치되었다. 이를 위해 간극수압계, 토압계, 침하계, 변위 측정기 등이 최대 단면에 설치되었다.

피에조미터는 유압식 피에조미터와 diaphragm 피에조미터를 설치하였으며, 댐의 시공, 담수, 운영하는 동안에도 불투수 심벽층, 하부필터, 기초의 간극수압을 측정할 수 있도록 설치되었다. 댐의 담수와 관련된 국부적인 침하를 조사하기 위해 댐하류부 15km지점에 기준점을 두어 댐주변과 안벽(abutment)의 일련의 점들에 대해 수준측량을 하였다.

이외에도 침하계, 수평변위측정기 등을 설치하였고 상류측 코아와 필터사

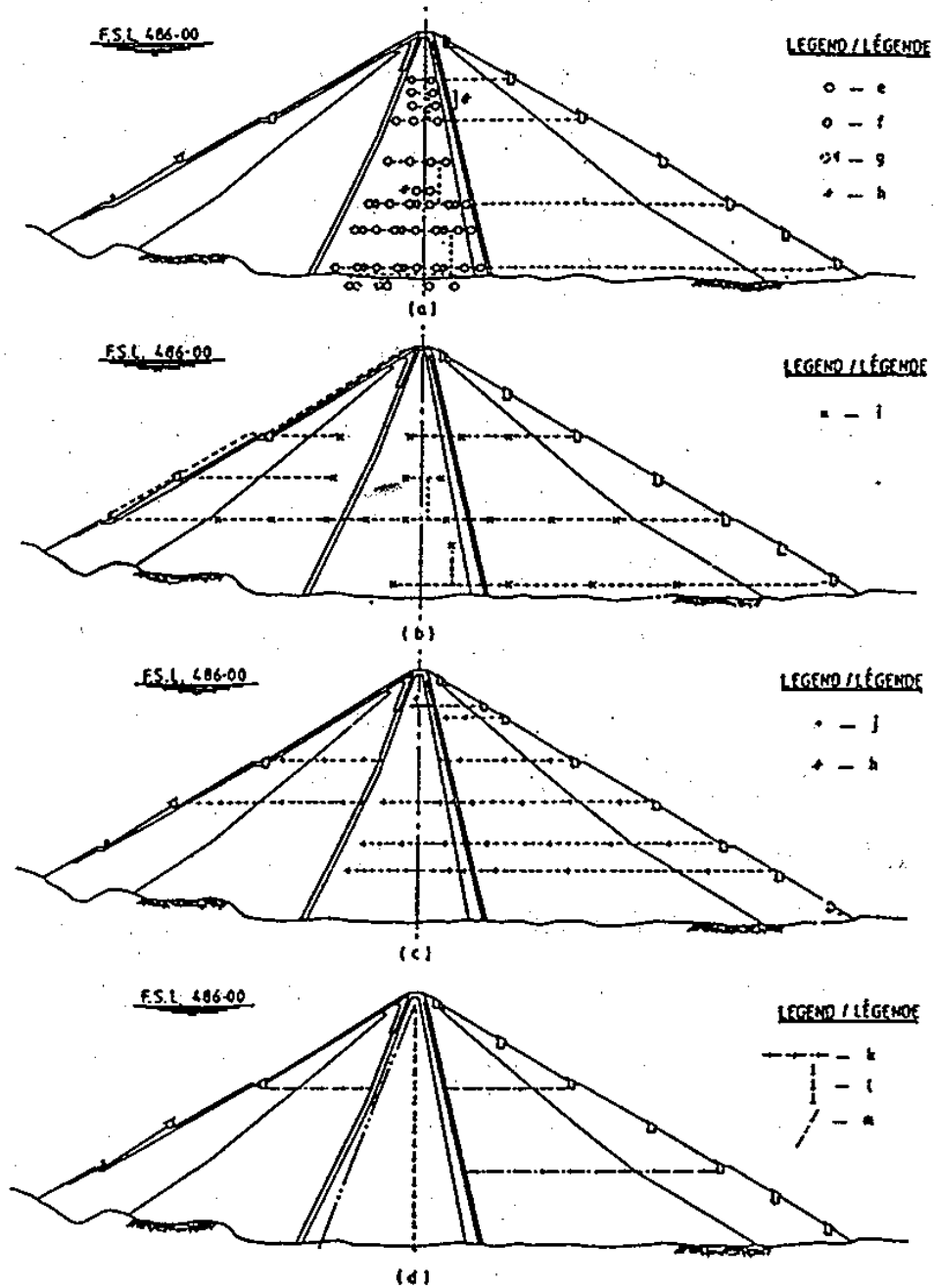
이에 경사계를 심어 담수시의 댐 거동도 계측하였다.

Table 2-4-7은 호주에서 댐의 규모와 중요도에 따라 계측항목별 계측주기를 나타낸 것이다. 다른 국가와 달리 호주에서는 댐의 파괴시 그로 인한 인명이나 시설물의 피해가능성을 위험도(hazard)와 연관시켜 분류하고 있다. 이 위험도는 그 피해 정도에 따라 'Low', 'Significant', 'High'이 세가지로 구분하고 있다. 이 위험도의 등급은 댐의 파괴가능성이 있는가는 상관이 없고, 댐이 파괴되었을 경우 그 여파에 대한 구분이다. 이 등급은 댐의 수명기간 동안 바뀔 수 있다. 예를 들어 댐 하류부를 개발했다면 위험등급은 낮은 것에서 높은 것으로 증가한다.

Table 2-4-7. Monitoring frequency for Australia dams(ANCOLD, 1994).

계 측 항 목	소형댐(높이 15m 이하)			대댐(높이 15m 이상)		
	LOW	SIG.	HIGH	LOW	SIG.	HIGH
강우	-	1회/주	1회/2주	1회/주	1회/2주	1회/일
댐수위	-	1회/주	1회/2주	1회/주	1회/2주	1회/일
침투	-	1회/주	1회/2주	1회/주	1회/2주	1회/2주
침투수의 화학적 분석	-	-	Advisable	-	Advisable	1회/년
간극수압	-	1회/6개월	1회/3개월	Advisable	1회/6개월	1회/3개월
표면변위 : 비교계측	-	Advisable	1회/5년	Advisable	1회/5년	1회/3년
표면변위 : 표준계측	-	-	1회/년	-	1회/2년	1회/년
내부변위	-	-	1회/년	-	1회/2년	1회/년
내부응력측정	-	-	1회/년	-	1회/2년	1회/년
지진	-	-	Advisable	-	Advisable	Recommended
원격계측/자동기록	-	-	Advisable	-	Advisable	Recommended

- 주: 1. 이 계측주기는 댐의 유형과 상태, 설치된 계측장비 등에 따라 변할 수 있다.
 2. 간극수압계와 지진측정장비의 계측주기와 위치는 댐 기술자의 판단에 따른다.
 3. 댐에 설치된 주요 축점을 계측하기 위한 기준점은 댐과 떨어진 곳에 설치한다.



- a. Piezometers
- b. Pressure Cell Groups
- c. Hydrostatic Settlement Gauges
- d. Movement Indicators
- e. Hydraulic Piezometers
- f. Diaphragm Piezometers
- g. Piezometer located slightly off section
- h. Additional Instrumentation
- i. Pressure Cell Group
- j. Hydrostatic Settlement Device
- k. Horizontal Movement
- l. Vertical Settlement Installation
- m. Slope Indicator

Fig. 2-4-5. Instruments on maximum section of Dartmouth dam
(ICOLD, 1989).

노르웨이의 경우 대부분의 댐 정상부 길이가 짧고 견고한 암반에 위치하기 때문에, 누수는 대체적으로 1개의 누수량 측정기로 집수된다. 노르웨이의 Svartevann댐의 계측기 설치현황으로는, 누수량 측정뿐 아니라, 표면측량, 내부변위 계측, 횡방향 인장변위계측, 심벽의 간극수압계측 등 대표적인 일련의 매설계기를 설치하여 계측을 수행하고 있다.

미국은 댐과 관련된 큰 사고들을 많이 경험했기 때문에 댐 계측과 관리면에서 기술적으로 많은 발전이 있었다. 일례로 댐계측을 위해 인공위성을 이용한 관리를 하고 있다. 하지만 이 방법은 모든 나라에서 이용하려면 상당한 수준의 기술적 개발이 요구된다.

미국에서 일반적으로 사용하고 있는 댐의 종류별[Embankment(E), Concrete Gravity(CG), Roller-Compacted Concrete Gravity(RCCG), Concrete Arch(CA), Concrete Buttress(CB) 또는 Composite Concrete/Earthfill(C/E)] 측정항목은 Table 2-4-8과 같다.

Table 2-4-9는 국제대담회의 미국 위원회에서 발표한 계측기별 계측주기를 보인 표이다. 각 계측기별 계측주기를 상세히 나타내었다.

대부분의 국가에서 시공중, 초기담수시, 정상운영시 등의 단계별로 추천하는 계측기별 계측주기는 대부분 비슷하다. 그러나 큰 댐의 범람과 강한 지진에 따른 진동, 댐과 기초의 거동이 비정상적으로 생각될 때, 구조물의 노화와 관련된 문제발생시 등과 같은 예외적인 사건이 발생하는 기간 동안에는 측정빈도를 수정하도록 되어 있다.

최근에 전 세계적으로 댐에서 계측자료 수집의 자동화는 점차 사용이 증가되고 있다. 그 이유는 자동화 계측 시스템의 비용이 크게 감소, 시스템에 대한 신뢰성 증가, 측정센서의 이용가능, 계측 인력의 인건비 증가 등을 들 수 있다. 자동화 계측은 접근이 어려운 댐의 관리를 가능케 해주고, 자료처리를 신속하게 할 수 있게 되었다. 따라서 문제발생시 여러 댐 전문가에 의

Table 2-4-8 Monitoring item for dam

계측항목	적용 댐
<p>(1) 변위</p> <ul style="list-style-type: none"> - Translational movement (댐기초, 안벽에 대한 댐체의 상대적 변위) - Rotational movement (가상댐 종방향 선에 대해 회전/경사변위) - Relative movement (댐 구조물간의 상대적인 변위) (가) Translation(수평/수직) (나) Rotation (다) Relative (라) Strain (마) Differential <ul style="list-style-type: none"> - zones 사이 - 콘크리트의 조인트 또는 균열에서 <p>(2) 응력</p> <p>(3) 지하수위와 간극수압</p> <ul style="list-style-type: none"> (가) 간극수압 (나) 양압력 (다) 지하수위 (라) 침투 <ul style="list-style-type: none"> ① 침윤선 ② 누수량 ③ 집수된 침투수 분석(solids content) (chemical content) ④ 누수 경로 탐지 <p>(4) 온도</p> <ul style="list-style-type: none"> (가) 수위별 수온 (나) 콘크리트의 온도 (다) 대기 온도 (라) 흙 또는 기초의 온도 <p>(5) 지반진동</p> <ul style="list-style-type: none"> (가) 가속도 (나) 변위 	<p>E, CG, RCCG, CA, CB</p> <p>E, CG, CA, CB, C/E</p> <p>E, CG, RCCG, CA, CB, C/E</p> <p>CG, CA, RCCG, CB</p> <p>E</p> <p>CG, RCCG, CA, CB</p> <p>E, CG, CA, CB, RCCG</p> <p>E</p> <p>E, CG, CA, RCCG, CB, C/E</p> <p>E, CG, CA, RCCG, CB</p> <p>E</p> <p>E, CG, CA, RCCG, CB, C/E</p> <p>E</p> <p>E, CG, CA, RCCG</p> <p>E, CG, CA, RCCG, CB, C/E</p> <p>E, CG, RCCG, CA, CB</p> <p>CG, RCCG, CA, CB</p> <p>E, CG, RCCG, CA, CB</p> <p>E, CG, RCCG, CA, CB</p> <p>E, CG, RCCG, CA, CB</p> <p>E, CG, RCCG, CA, CB, C/E</p> <p>E, CG, RCCG, CA, CB, C/E</p>

한 판단이 가능하고 댐에 대한 실시간 통제가 가능하게 되었다. Fig. 2-4-6은 미국의 개척국(USBR)과 기타 기관에서 소유하고 있는 댐의 자동계측 예를 보인 그림이다.

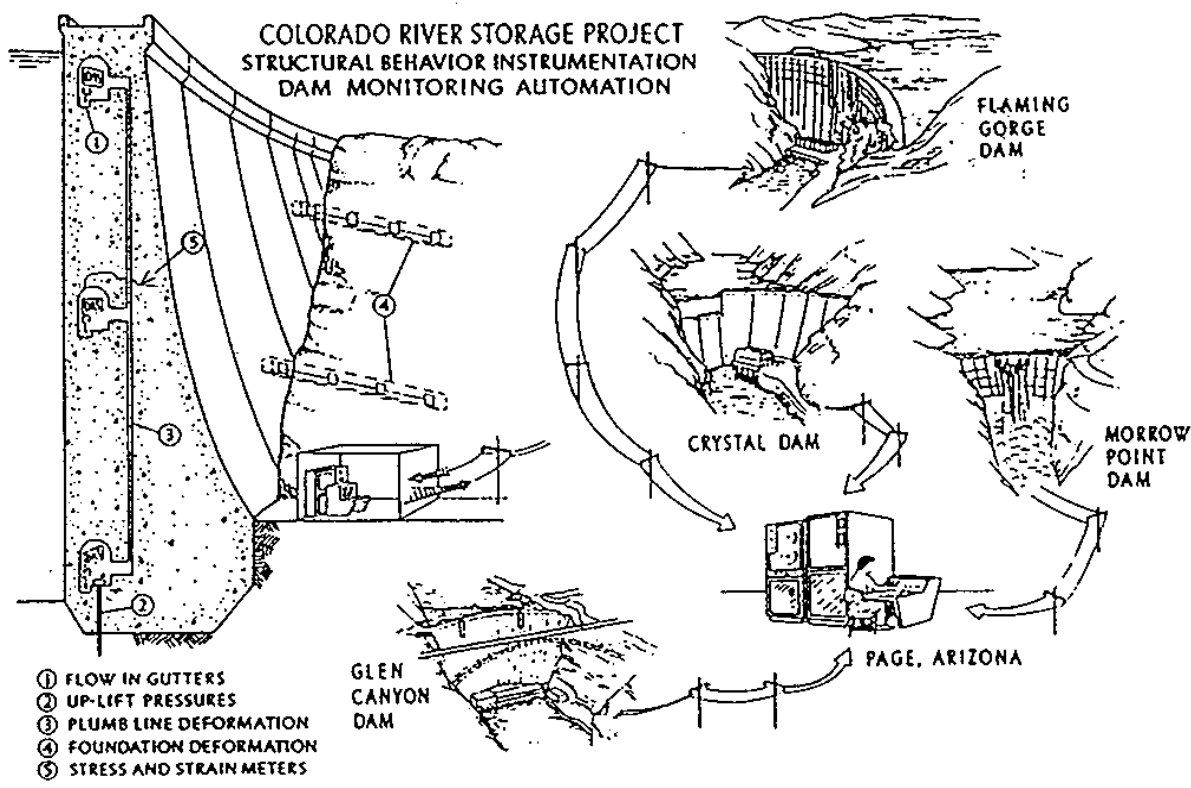


Fig. 2-4-6. Automated data acquisition system(ICOLD, 1989).

Table 2-4-9. Instrument monitoring schedule of USA(ICOLD, 1989).

단 계	계 측 유 형		
	침하/변형	응력/변형/온도	침투/피조미터 수위
건설시	PL - 1회/주 SL - 담수 이전에 FD - 1회/주 MP - 1회/주	SS - 1회/주 SM - 1회/주 T - 1회/주	U - 1회/주 D - 1회/주 P - 1회/주
최초 담수시	PL - 담수시 매일 또는 일정량 증가시 SL - 저수지가 운영수위가 된 후 한번 FD - 담수시 매일 또는 일정량 증가시 MP - 담수시 매일 또는 일정량 증가시	SS - 일정량 증가시 한번 SM - 댐 수위가 운영수위가 된 후 한번 T - 댐 수위가 운영수위가 된 후 한번	U - 담수에 따라 D - 예기치 않은 흐름이 없으면 담수에 따라 P - 담수시 매일 또는 일정량 증가시
최초 일정수위시 (가능한 경우)	PL - 첫주에는 1회/일, 그 다음은 1회/주 SL - 1회/월 FD - 1회/주 MP - 1회/월(creep가 감지되지 않으면)	SS - 1회/주 SM - 1회/주 T - 1회/주	U - 첫주에는 1회/일, 그 다음은 1회/주 D - 1회/주 P - 첫주에는 1회/일, 그 다음은 1회/주
그 후 1년간	PL - 1회/2개월 SL - 1회/4개월 FD - 1회/월 MP - 1회/월	SS - 1회/2월 SM - 1회/2월 T - 1회/2월	U - 1회/주 D - 1회/주 P - 1회/주
댐 거동이 안정화 된 후	PL - 1회/월 SL - 만수위시 1회/년 FD - 1회/월 MP - 1회/월	SS - 1회/주 SM - 1회/주 T - 1회/주	U - 1회/주 D - 1회/주 P - 1회/주

PL=plumblines, SS=stressmeter, U=uplift pressure, SL=survey transverse, triangulation, SM=strainmeters, D=seepage, FD=foundation deformation meters, T=thermometers, P=Piezometers, MP=multiple position extensometers.

일본의 경우는 지역적 특성 때문에 지진문제를 가장 중요하게 다루고 있다. 지진 문제는 일본 뿐만 아니라 호주, 이탈리아, 포르투갈, 캐나다, 미국 등에서도 심각하게 다루어지고 있다. 지진계측시스템은 댐의 유형과 크기 뿐만 아니라 그 지역에서의 지진 유형과 수준을 평가하여 선정하도록 되어 있다.

미국에서는 지진계측시스템을 통하여 얻어진 자료를 댐이 겪은 실제 동적 거동이 이론적으로 예상한 값과 비교했을 때 설계 한계 사이에 있는가를 증명할 수 있다는 것을 강조하였다.

이탈리아에서는 신뢰성 있는 지진 시스템의 실용화를 위한 기본적 선택사항을 다음과 같이 언급하였다.

- 댐의 형태와 현장의 지진 특성에 적합한 계측기의 선정
- 가장 중요한 위치의 선정
- 계측자료가 기록되는 곳에 따라 계측기를 집중시키거나 분산시키는 계측체계선정

일본 Kurobe 댐에서는 수직 및 수평방향의 가속도계를 설치하여 계측하고 있다. 이 댐은 높이 186m로 매우 높은 댐이고 Kansai Electric Power Company에 의해 완공되었다. 이 댐의 초기 담수는 댐의 설계 높이 3/4의 건설이 완공되기 전에 시작되었다. 지진으로 인한 진동은 1961년 8월 19일에 댐의 하류측의 암반 기초에서 166cm/s^2 으로 나타났으나 댐은 안전하다고 조사되었다. 1972년 9월 8일에 진도 3.9와 진앙거리 12.8km로 현장 근처에서 지진 발생시 정상부에서 관측된 최대가속도는 118cm/s^2 이었고 수직 가속도는 수평가속도의 약 2/3정도 인 것으로 분석되었다.

③ 노후 댐의 관리

프랑스에는 오래된 댐을 개선하기 위한 규정이 있다. 이 규정에서는 계측기를 새로 설치하거나 계측체계를 개선시킬 수 있도록 하고 있다. 오래된

댐에 설치된 계측장비는 매우 간단해야 하고, 그 목적은 댐거동의 완전한 상태를 제공하는 것이 아니라 댐안정에 대한 심각한 이상을 발견하는 것으로 하고 있다.

캐나다는 매 5-6년마다 댐의 안전진단을 수행하고 감시체제가 필요한 계측 체계는 개선하도록 하고 있다.

이탈리아에서는 보다 일반적인 견지에서 안전진단 문제를 다루고 있다. 안전점검은 매 10년마다 수행하며 다음 사항을 확인하도록 하고 있다.

- 설계와 구조물의 수명에 관련된 모든 문서 재검토
- 설치된 계측장비의 개선과 기능 확인
- 구조물의 이력에 대한 모든 데이터의 분석
- 댐과 기초의 물리적, 역학적, 기하학적 특성 조사
- 댐과 기초의 수학적, 물리적 모델링을 통한 안정상태의 평가
- 댐의 정적, 동적 거동 관리를 예측 모델 설정
- 계측체제와 자료처리방법 개선
- 비파괴 검사를 통한 재료의 상태 점검
- 구조물 안전관리 책임을 위한 감시절차 마련

④ 새로운 계측장비

각 국가에서 실제 현장에서 이용하고 있는 새로운 계측장비들을 아래에 나타내었다. 각 기기별 자세한 내용은 원문(ICOLD, 1989)을 참고하기 바란다.

- acoustic emission : 콘크리트에서 균열의 형성을 계측하기 위한 acoustic emission에 근거한 시스템 - 오스트리아
- borehole stressmeter : 콘크리트 내에서 응력 변화를 계측하기 위해 보링공 내에 설치한 진동현식 기구(vibrating wire, instrument) - 남아프리카.

- DISTOFOR :기초의 몇몇 점에서 상대적인 변위의 계측을 위한 기구
- 프랑스
- EXTENSOFOR : DISTOFOR와 동일하지만 이동 탐침을 사용-프랑스
- EDM(Electronic Distance Measuring Equipment) : 댐의 변위 계측을 위한 시스템 -미국
- LADIR : 대형구조물의 동적거동에 대한 관측을 위한 레이저 시스템 - 이탈리아
- laser plumb-line : 경사진 축(inclined shaft)에서 댐의 변위점에 대한 계측의 위한 수직선(plumb-line)에 대한 대체 시스템 - 오스트리아
- 아스팔트 콘크리트 코아 벽 변형을 위한 자기 계측 장치 - 오스트리아
- 광섬유 케이블 - 일본
- 수로(aqueduct)와 댐의 수중 정밀검사에 대한 원격제어 로봇 시스템 - 일본
- sliding micrometer :보링홀을 따라 축변형을 계측하는 기구 - 남아프리카, 스위스, 오스트리아
- streaming potential method : 침투수 누수(seepage loss)의 계측을 위한 방법) - 미국
- Thermography : 댐 표면의 온도분포를 결정하는 시스템 - 이탈리아, 침투의 결정을 위해 미국에서 사용
- infrared laser for distance measurement - 일본

4. 댐 유지관리를 위한 계획방안

국내 대형댐의 유지관리 현황을 보면 관개용댐은 Table 2-4-10과 같이 농지개량조합 또는 시군의 관리사무소에서 매설계측기기가 없으므로 육안에 의한 일상점검과 분기별 자체 안전점검으로 그 관리가 과학적이거나 체계적이지 못한점이 있다.

Table 2-4-10. Maintenance program for irrigation dams.

댐 명	관 리 자	매설계측기 측정빈도	정기점검	측정관리자	안전진단
담양댐	영산강농지개량조합	없음	분기별 육안 및 측량확인	관리사무소 (일상점검)	5년주기 안전진단 (농어촌진흥공사)
장성댐	"	"	"	"	"
광주댐	"	"	"	"	"
나주댐	"	"	"	"	"
덕동댐	경주농지개량조합	"	"	"	한국건설안전협회

국내 다목적댐은 Table 2-4-11과 같이 댐관리 사무소에서 정기적인 매설계측기기 측정과 자체 안정분석을 실시하고 있다.

관개용댐, 다목적댐 및 발전용댐 등은 약 5년을 주기로 전문안전진단 기관에 의뢰하여 종합적인 안전진단을 실시하여 보수, 보완을 통한 유지(안정)관리를 하고 있다.

종합적인 안전진단에서 조사 설계자료 제반 시공자료 및 품질관리자료와 시공중 및 후에 신뢰도가 있는 계측자료 등이 있다면 과학적이고 체계적인 안전진단이 쉽게 이루어 질 수 있을 것이다.

Table 2-4-11. Maintenance program for multipurpose dams.

댐명	매설계측기 측정빈도	누수량 측정 빈도	표면측정점	측정책임자	자체측정 결과분석	종합안전진단
소양강댐	분기	월2회 양수식	분기	관리사무소 시설관리부	분기	'96 한국건설안전협회
안동댐	분기	없음	광파기, 레벨	"	"	'96 대본엔지니어링
대청댐	분기	웨어식 자동측정	광파기	"	"	'96 5년 1회 대댐협회
주암댐	주1회	1일1회 자동수위측정	광파기	"	"	'96 시설안전기술공단
임하댐	주1회	1일1회 자동수위측정	광파기	"	"	'97 시설안전기술공단

특히 그동안의 안전진단을 보면 매설계측이 향후 안전진단에서 필요한 제반 안정해석에 필요한 자료를 얻을 수 있도록 계획되고 계측기기의 신뢰도와 내구성을 고려하여 예비율과 보조 측정장치를 설치하여 계속 계획이 필요하다라는 것을 알 수 있었다. 또 한가지 중요한 것은 그 매설계측항목이 꼭 필요한 것인가 그 측정효과가 설치, 유지관리 및 측정관리에 필요한 인력과 장비 이상의 효과가 있는지 평가해 볼 필요가 있다. 그 이유는 그 동안의 안정 및 시공관리 분석자료 등을 보면 시공관리를 하거나 안정 해석을 하는데 전 계측자료를 효율적으로 이용하였다고 하기는 어렵기 때문이다.

그러므로 매설계측기의 설치에 대한 안전해석 및 안전진단에 필요한 자료들을 얻을 수 있도록 필요한 위치에 필요한 계측항목의 선정과 그 댐체내에서 신뢰성 있는 기종을 선정하는 것이 필요하다.

가. 계측계획의 수립

계측계획을 수립하기 전에 계측하고자 하는 프로젝트를 충분히 이해하여 다음 사항을 충분히 고려하여야 한다.

- 구조물의 종류
- 구조물의 개략적인 설계단면
- 기초의 상태
- 지하수위
- 조위의 변화
- 환경조건
- 시공방법

또, 이론적인 거동을 이해하기 위하여 댐의 시공시, 최초담수시, 조위변화, 시공이후 등 환경의 변화에 따른 여러가지 거동을 예측해 둔다. 수치해석을 하였다면 이 거동을 더욱 명확하게 이해할 수 있으며, 그렇지 않은 경우에도 문헌을 통해 이해할 수 있다. 댐의 시공시와 수명기간 동안 무슨 문제점이 있을 것인가를 예상하고, 있을 수 있는 원인, 시기, 위치별로 문제점을 파악해 두는 것도 필요하다. 계측을 함으로서 위에서 도출된 문제점이 해결될수 있는가를 검토하여야 한다.

계측은 계측기기의 설치로서 끝나는 것이 아니고 설치후 오랜 기간동안 측정하고 자료를 모아 분석하여야 하며 분석결과에 이상이 발견되면 대책이 수립되어야 한다. 이와 같이 오랜 기간동안 계속되는 과업은 중단되거나 책임한계가 모호하여 실패로 끝나는 경우가 흔히 있다. 따라서 계측계획의 수립부터 결과해석과 대책수립에 이르는 여러 과정에 대하여 책임한계를 분명히 규정해 둘 필요가 있다.

Table 2-4-12는 책임한계를 분담하는 한 예를 보인 것이다. 우리나라의 실정으로는 계측만을 전문으로 하는 용역회사는 거의 없으므로 외국에 용역을 주거나 아니면 설계용역을 하는 회사에서 그 역할을 담당하고 있다. 때로는 소유주가 직접 또는 계측전문가를 고용하여 계측에 관한 모든 책임을 전담할 수도 있다.

Table 2-4-12. Monitoring stages and responsibility.

과업	책임자			
	소유주	설계 용역사	계측 전문가 또는 용역사	시공자
계측계획의 수립	○			
계측기기의 구매	○	○		
계측기 설치 및 검정			○	○
유지 관리	○			
계측자료의 수집	○		○	
자료 분석	○		○	
해석결과에 의한 대책 수립	○	○		

일반적으로 제당에 대한 계측은 누수, 변위, 간극수압 및 응력에 관한 계측으로 분류할 수 있다. 누수는 유속계, 유량계 등을 써서 계측할 수 있고 변위는 연직방향(침하와 팽창), 수평방향으로 나누어 계측한다. 간극수압은 간극수압계로 측정되며 저수지의 경우에는 심벽내의 간극수압을 측정하고, 기초지반이 연약한 경우에는 기초지반의 간극수압 변화도 측정한다. 수문과 같은 콘크리트 구조물이 흙과 접촉하고 있을 때에는 벽면의 토압을 측정할 수 있다. 때로는 제체내 발생하는 토압도 측정한다. 계측항목을 구체적으로 정할 때에는 예상되는 제당의 파손원인이 무엇인가를 미리 파악해 두어야 한다. 파손원인별 계측항목을 Table 2-4-13에 제시한다.

계측기기는 그 제조회사도 많고 종류도 많아 전문가라 하더라도 이의 선정은 쉬운 일이 아니다. 기기선택의 기본은 계측기기의 단순성과 신뢰성이다. 이러한 기준으로 보면 광학기, 기계식, 수압식, 기압식, 전기식의 순서이지만 내구성, 과거의 측정기록 등도 참조하여 선택해야 한다.

Table 2-4-13. Monitoring items used to detect deterioration.

예상되는 파손원인	계 측 항 목
누수	누수량, 연직 및 수평변위, 간극수압 토압(중앙심벽형 제당)
부등침하	연직 및 수평변위
사면보호공의 파손	연직 및 수평변위
활동	연직 및 수평변위, 경사
흙과 접촉된 콘크리트 구조물의 파손	토압, 수평변위

계측을 위한 계측기기를 분류하고 추가해서 계측치를 판독할 수 있는 기구와 그 중간을 연결하는 전달계통이 필요하다. 판독기구는 수동, 반자동 또는 완전자동으로 측정치를 기록할 수 있으며 자동화가 될 수록 고가이나 신뢰성이 증대된다고는 꼭 말할 수 없다.

계측위치의 선정과 관련하여, 계측기기는 먼저 제당의 취약한 위치를 선택하여 설치되도록 고려하여야 한다. 구조적으로 취약한 부분은 심벽에서 간극수압이 가장 높다고 예상되는 위치, 응력의 증가나 감소가 예상되는 위치, 침하가 크게 일어난다고 생각되는 위치, 누수가 예상되는 위치 등을 들 수 있다. 그러나 실제로는 이러한 위치를 중심으로 하여 여러 점으로 계측기기를 매설한다.

일반적으로 댐의 가장 큰 관심을 가지는 위치는 최대단면이다. 따라서 최대단면에는 많은 양의 계측기기가 설치되며, 때로는 교차로 검토하기 위해 동일한 계측항목에 대해 두 가지 이상의 다른 종류의 계측기기를 설치하기도 한다. 계측기기는 매설 완료후 작동이 되지 않았을 때에는 회복이 거의 불가능하다. 따라서 처음부터 가동율을 100%로 잡는 것은 무리이므로 이보다 훨씬 낮게 잡아야 한다. 가동율을 높이기 위해서는 매설방법의 명세도를 작성하고 매설방법에 따라 계측기기에 영향을 끼치는 요소는 없는지 검토

해 보아야 한다.

계측시스템은 대별하면 센서(sensor) 또는 트랜스듀서(transducer), 판독기기, 이 둘을 연결하는 전달계통이다. 같은 목적을 가지고 계측한다 하더라도 어떤 식의 트랜스듀서를 쓰고, 또 판독은 수동으로 할 것인지 자동으로 할 것인지를 결정하여 계측시스템을 확정해 두어야 한다. 계측시스템이 확정되면 계측기기를 구매하는 계획을 세울 수 있다. 계측기기를 제조하는 회사는 세계적으로 널리 퍼져 있어서 회사의 선택을 쉽게 결정하기가 어려우나 과거의 실적, 회사의 규모, 특히 전문으로 하는 계측기기등의 정보를 많이 수집해 두어야 한다.

나. 계측자료의 수집, 정리 및 분석

계측자료를 수집하고 분석하여 필요한 조치를 취하는 단계까지의 업무를 전담하는 부서가 필요하다. 이 단계가 일련의 과업으로 연결되지 않으면 힘들게 얻은 자료가 무위로 되는 경우가 있기 때문이다.

계측자료는 어떤 방법과 어떤 주기로 수집해야 하는가를 미리 계획하고 계측자가 쉽게 이용할 수 있도록 자료수집 양식을 미리작성해 둔다. 특히, 계측자는 중간에 바뀔 수 있으므로 인수인계시에는 충분한 교육을 하여 계측의 일관성이 유지되도록 주의하여야 한다. 자료수집에 있어서 가장 중요한 일은 계기를 정확하게 판독하여 기록하는 것이다. 잘못된 자료는 자료가 없는 경우보다 못하다. 자료를 옮겨 쓰거나 터미널에 입력할 때에도 기록한 자료가 정확한지 확인해야 한다. 미 개척국에서 최근에 발전된 자료수집방법은 휴대용 컴퓨터(portable teletranslational computer)를 사용하는 것이다. 이것은 관측기록자가 읽은 자료가 직접 컴퓨터에 기억되며 앞서 읽은 자료도 이 컴퓨터에 기억되어 있으므로 언제든지 기억된 자료가 재생될 수 있다. 이 컴퓨터에 기억된 자료는 본사의 주컴퓨터 터미널에 기억되어 해당부서로 송출된다. 본사로 송출된 자료는 자동적으로 수취되며 소프트웨어 프

로그래밍에 의해 해석하여 그 결과를 자동적으로 얻는다.

자료를 수집하는데 있어서는 수동식과 자동식으로 크게 나눌 수 있다. 수년전까지도 모든 계측자료는 사람이 직접 수립하였지만 최근에 이르러 전자통신분야의 획기적인 발전으로 자료수집, 기록, 분석이 모두 자동식으로 변해가고 있는 추세에 있는 것이 사실이다. 그러나 이것은 자료수집과정에서 공학적인 판단을 할 수 없고 초기투자가 과다하다는 것이 큰 단점으로 지적될 수 있다. 계측 자료를 수집할 때에는 완전하고 정확한 자료 수집을 위하여 계측자료의 수집방법과 절차를 자세히 수록한 지침서의 작성이 요구된다. 이 지침서는 수동으로 자료수집을 하는 경우에 대한 것이지만 자동 시스템을 선택하는 경우에라도 동일한 목적으로 작성되어야 한다. 지침서에 포함하여야 할 내용을 적으면 다음과 같다.

- 관측부서와의 협조사항
- 계측기계 설치와 조작에 대한 단계별 절차
- 판독하는 단계별 절차(그림으로 표시), 판독기 일체의 목록과 판독시 주의 사항이 포함
- 초기 판독을 하는 방법
- 판독 빈도
- 동시에 2, 3개 계측기계 읽을 때의 특별한 주의사항
- 판독기를 읽을 때의 주의사항
- 자료가 이상을 보일 때 상급자 또는 관련전문가에게 보고하는 절차
- 이전의 기록치와 비교하여 특별한 이상이 있는가 확인하는 방법
- 자료가 이상을 보일 때 상급자 또는 관련전문가에게 보고하는 절차
- 측정에 영향을 끼치는 모든 요소를 기록하는 방법
- 자료기록의 수정에 대비한 육안관찰방법
- 계측기계의 손상, 손상 가능성에 대한 검사 방법

- 판독기, 계측기계의 수명기간동안의 영점검정 방법
- 자료 수집 책임자에게 보고하는 절차

수집된 자료의 분석을 위해서 미리 해석방법을 정해 두는 것이 좋다. 이것은 해당부서에서 직접 할 수도 있고 전산실에서 전산기에 의해 자동적으로 처리될 수도 있다. 해석결과는 이전에 처리된 해석결과와 함께 컴퓨터 그래픽스를 이용하거나 손으로 직접 도면화 하여 분석 전문가에게 보내진다. 이 그림에도 저수지의 저수위와 하류수위의 변화 등 댐 현황에 관한 자세한 정보도 포함되어야 한다. 자료분석 전문가는 보내진 해석결과를 검토하여 이상이 있는가 판단한다. 결과에 이상이 있을 때에는 계측기의 오차인지 댐의 실제 거동인지 분석하고 판단을 해야한다. 자료의 수집과 전달과정에서 흔히 오차가 발생할 수 있다는 것을 유의하여 일련의 과정을 역으로 추적할 필요도 있다. 과오가 발견되면 수정을 하고 그 결과를 현장과 관련 부서에 통보하여야 한다. 댐 거동상의 문제점은 자료의 분석 단계에서 발견된다. 문제점이 발견되면 관련기술자와 상의하여 그 원인을 규명하도록 노력하여야 한다.

해석결과의 분석에서 아무런 이상이 발견되지 않았다면 그 결과를 서류철에 철하여 보존하고 후속되는 계측의 참고자료로 삼는다. 또한 적절한 시간 간격으로 종합하여 댐의 거동보고서의 자료로 이용한다. 계측결과의 분석으로부터 심각한 문제점이 발견되면 관련부서에 통보하고 즉각 원인규명, 구체적인 수정방법 등 필요한 조치를 취해야 한다.

댐의 안정은 계측결과의 분석으로 판명될 수 있다는 것은 두말할 필요도 없다. 그러나 자료의 수집으로부터 결과의 분석에 이르기까지 일련의 계측에 종사하는 모든 인원의 정확성이 전제되어야 계측의 목적이 달성될 수 있을 것이다.

계측과 병행하여 정기적으로 댐 자체와 그 주변의 상태를 육안으로 조사

할 필요가 있다. 육안조사 결과에 의한 어떤 징조의 발견은 댐의 안정성이 발견될 수 있지만 육안조사는 매설위치 이외에 전반적인 거동을 가시적으로 알 수 있기 때문이다. 때로는 육안조사의 결과가 계측결과에 대한 확인의 수단으로 이용된다. 육안조사는 조사자의 보행이나 차량통행의 수단에 의해 수행되며 통행경로를 확실히 정하고 다음과 같은 항목을 조사하도록 한다.

- 댐내 방향성 균열
- 댐에 인접한 계곡사면의 활동에 의한 변위 또는 균열
- 댐 정상부의 침하
- 댐사면이나 계곡사면의 하류부의 팽창
- 저수지 바닥의 싱크 홀(sink hole)
- 웅덩이의 발생
- 소용돌이
- 흙입자를 운반하는 누수, 또는 변색
- 콘크리트 부대공의 균열

위의 항목에 관해 이상이 발견되면 즉시 보고하고 수시로 사진을 찍어 그 진행을 감시해 둔다. 육안조사의 빈도는 댐의 특성, 수명, 저수위 위치 등 많은 인자에 따라 결정된다. 그러나 댐 현장에 있는 관리자는 적어도 계측을 위해 답사할 때에는 꼭 육안조사를 병행해야 한다.

5. 결론

거대한 댐의 안정상태는 댐 하류에 거주하는 수많은 주민의 생명 및 재산과 직결된다. 그러므로 어느 나라나 할 것 없이 댐의 시공중 계측기기를 매설하여 이들에 의한 유지관리를 시행하고 있다. 이와 같은 유지관리의 중요성에 비추어 적절한 상시감시기술이 빠른 시일안에 개발되어 자동화된 유지관리가 이루어지는 것이 필요하다.

제 5 절 터널 유지관리 방안

국내 주요 시설물의 안전한 유지관리를 위한 상시감시 기술의 적용을 검토하고자, 터널의 유지관리 현황을 충남대학교 토목공학과에 위탁연구를 주어 수행한 결과를 본 절에 요약 정리하였다. 국내 터널현황표는 위탁연구보고서에 게재되어 있다.

1. 개요

사회가 발전할수록 사람과 화물의 이동량과 이동거리가 증가함에 따라 보다 효과적인 이동을 위하여 여러 가지 기간시설이 건설되고 있다. 이중 터널구조물은 자연적인 장애를 극복하기 위하여 교통이나 수송용으로 건설되어 왔으며, 최근에는 굴착기술의 발달로 건설빈도가 높아지고 있다.

터널구조물은 장애물을 극복하기 위한 수단으로서 뿐만아니라 자원을 저장하고 혐오시설을 설치하며 나아가 생활 공간으로 사용하기 위하여 건설되고 있다. 과거에는 제한적으로 건설되었으나 최근에는 효과적인 굴착장비가 개발되고 굴착기술이 고도로 발달하여, 거의 무제한의 지하공간을 개발할 수 있게 되었다. 그러나 인간이 지상에서 건설하는 보통의 구조물과는 달리 지반의 거동에 의한 영향을 많이 받기 때문에 아직도 기술적으로 미흡한 면이 많은 편이다.

최근들어 국내외에서 빈번히 발생하는 구조물의 붕괴 및 그로 인한 인명과 재산의 손실을 경험하게 되면서 터널구조물의 안정성에 많은 관심이 집중되고 있다. 또한 지반을 굴착하고 지보를 설치하며, 필요한 설비를 갖추는데 다른 구조물에 비하여 많은 비용이 들기 때문에 일정 수준으로 터널구조물의 기능을 확보하기 위해서는 유지관리를 철저히 해

야 한다.

또한 여러 가지 원인으로 기능에 영향을 줄 수 있는 손상이 발생하였을 때 이에 대한 적절한 보수·보강이 필요하다. 따라서 본 장에서는 터널구조물의 기능을 일정 수준으로 유지하기 위해서 필요한 터널구조물의 유지관리에 대한 실태 및 문제점을 설명하고 터널구조물에서 발생하기 쉬운 손상 및 열화요인에 대한 검토 분석과 이에 대한 해결을 위한 보수·보강공법에 대하여 기술하고자 한다.

2. 국내 터널의 유지관리 실태

터널구조물은 구조적인 안정성을 검토하여 건설되나 주변지반의 거동에 의한 영향을 많이 받는다. 또한 터널구조물내 사고는 화재나 가스 누출 등이 발생할 가능성이 높고 유사시 대피로 확보가 어려우며 어두워서 의외의 대형 참사로 발전할 가능성이 크다. 따라서 터널구조물의 유지관리는 체계적으로 이루어져야 하며 주기적으로 터널구조물 상태를 조사하고 유지보수에 필요한 자료를 수집하는 물론 현상조사를 실시하여 항상 안전성을 확보해야 한다. 그러나 주기적인 관리외에도 수시로 안전상태를 점검하고 문제점은 발견 즉시 교정해야 한다. 모든 유지관리 내용은 데이터 베이스화하여 중복 투자를 방지하고, 이상징후를 쉽게 발견하여 조치 할 수 있어야 하며 터널구조물의 유지관리는 주기적으로 실시해야 한다.

터널구조물은 시공중에도 철저한 시공관리가 필요하나 준공후에도 효과적인 유지관리가 수행되어야 하기 때문에 준공 후 관리이전 과정에서 터널 계획 당시의 상황과 도면 및 설비에 대한 내용 뿐만 아니라 터널의 시공중에 작성한 시공중 품질관리 사항과 공사보고서 등을 같이 이전한다. 또한 터널의 주요 유지관리 사항, 터널 유지관리 점검사항 및

점검시기, 일상유지 관리사항 및 관리시기, 터널 유지관리 장비 및 기자재등과 같은 내용을 포함하고 있어야 한다. 이때 준공시 터널의 상황, 터널라이닝의 시공상태 및 주변상황 등을 정확한 자료로 남겨두어야 터널구조물의 사용기간 중 점검 및 안전진단, 손상에 대한 보수에 적절히 이용할 수 있다. 그러나, 주기적인 점검을 통하여 상기 자료를 활용하고, 점검시의 터널구조물상황에 대한 새로운 자료를 보장해나가는 체계적인 관리가 이루어져야 하나, 그렇지 않은 경우가 많기 때문에 장기간의 경과 후 준공시의 상태에 대한 자료 등이 제대로 관리되지 않는 경우가 많아 이에대한 각별한 유의가 필요한 실정이다.

터널구조물의 유지관리는 일상 유지관리와 중점유지보수로 구분되어 실시되는데, 일상유지관리는 터널의 기능 유지를 위한 유지관리로서 터널에 관련된 구조물의 유지관리와 터널구조물을 통과하는 교통관리로 구분할 수 있다. 또한 중점유지보수는 터널에 관련된 각종 구조물과 시설의 구조적 손상을 보수하며, 터널의 등급과 적용장비에 의거하여 계획된다.

터널구조물의 공용수명을 연장하기위해서 터널구조물의 구조적 안전상태 관리, 터널 내의 시설관리, 교통관련사항의 관리 및 청소 등의 기타 관련사항에 대한 관리가 필요하다.

터널구조물의 구조적 안전상태를 관리하기 위하여 터널라이닝의 표면 점검을 실시하여 이를 통하여 발견된 탈락 위험 부위를 제거하거나 보강하여야 하고, 시공 부실 단면은 워터젯 등으로 청소되어야한다. 또한 락볼트 등에 대해서는 항상 육안조사가 이루어져야 하고 정기적인 성능 시험이 실시되어야 하며, 콘크리트 라이닝부분에 대한 누수 등에 의한 침식이나 열화 등으로 인한 품질변화 상태, 동해에 의한 터널내 각종 시설, 앵커 등의 손상여부 및 정착상태에 대한 점검이 필요하다.

한편, 터널의 부대시설물로서 환기팬, 조명등 및 신호등, 비상전화, 비상구, 배수시설, 펌프 및 화재나 일산화탄소에 대한 감지기 등이 설치되어 있는데 이에 대한 적절한 점검 및 청소 등의 관리가 대체적으로 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정으로 이에 대한 철저한 관리가 필요하며, 아울러 터널내의 원활한 교통소통을 위하여 교통시설 및 노면상태를 주기적으로 관리하여야 한다.

터널 라이닝이나 노면 및 철로에 대한 적절한 점검 및 청소가 이루어지지 않을 경우에는 터널 라이닝 표면의 부식이나 교통차량의 안전사고 등의 문제가 발생할 수 있기 때문에 수시로 청소상태와 청소장비의 작동상태를 점검해야 한다. 터널 내에서는 유류성 오물, 매연, 납, 수산화칼슘 등의 환경 유해물이 발생하므로 일정한 주기 또는 수시로 터널을 청소해야 한다.

그러나 이와 같은 유지관리를 수행하기 위해서 필요한 인원 및 장비가 매우 부족하고 체계적인 유지관리 시스템이 확립되지 않았기 때문에 국내의 터널에 대한 유지관리는 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이로 인하여 터널구조물에 균열, 열화 및 파손 등의 손상이 발생하고, 이에 따라 터널구조물의 내구성의 저하를 초래하며, 터널구조물의 공용기간이 단축된다. 또한 콘크리트라이닝의 파손이나 시설물의 노후화로 인한 콘크리트 등의 탈락으로 주행차량에 대한 손상 및 사고를 일으킬 위험성이 있다.

위에 서술한 것과 같은 문제점을 해결하고 적절한 유지관리를 수행하기 위해서는 조속히 인원 및 장비에 대한 확충이 필요하고, 이에 필요한 예산의 준비가 필요하다. 또한 터널의 각종 시설물 및 구조물의 상황과 교통상황 등의 부대사항을 평가, 기록하고 체계적으로 관리하기 위하여 터널구조물 관련사항의 전산화를 통한 데이터뱅크시스템의 구축이 이루어

어져야 할 것이다. 그리고 무엇보다도 터널 구조물 및 기타 건설구조물의 유지관리에 대하여 사회 전반적으로 적절한 인식의 확립이 우선되어야 할 것이다.

가. 터널 구조물의 손상

터널구조물은 지반 위에 건설되는 대표적인 구조물로서 지반의 물리적 특성, 터널구조물의 기하형상, 지보공의 형식, 지하수위 및 환경적 영향에 의하여 구조의 건전성에 큰 영향을 받는다. 따라서 공용기간이 증가함에 따라 차량이동으로 인한 진동, 소음, 매연 및 지하수위의 변화와 같은 주변환경에 의하여 라이닝 콘크리트는 산화 또는 중성화되어가고, 철근과 강재는 부식되어 간다. 특히 콘크리트와 같은 다상의 취성복합재료는 타설 후 경화과정을 거치면서 초기단계부터 재료 내부에 수많은 미세균열을 갖게되므로 계절적인 온도변화, 습도, 작용하중의 변화, 화학적인 변화, 터널구조물 배면 암반의 절리 등이 수반되며, 미세균열이 상호결합, 성장, 발전하여 구조물의 강성저하, 처짐, 균열, 골재노출, 박리, 박락, 철근부식 등을 유발하는 원인으로 작용하게 된다.

특히 시공불량으로 인하여 재료 강도의 불충분, 암석발파면의 요철로인한 부분적인 콘크리트 라이닝의 두께 부족, 콘크리트의 레이턴스, 경화 불량 및 형틀 지지보의 변형에 의한 균열 등은 터널구조물의 사용기간 중 내하력 및 내구성 저하의 중요한 원인으로 작용하게 된다.

구성재료에 열화가 발생하면 구조물의 내하력, 사용성 및 안전성이 크게 저하되므로, 장기적인 측면에서 터널구조물의 사용성을 증대시키고 효과적인 유지관리 방안을 마련하기 위해서는 각종 열화현상, 손상정도 및 내하력을 정기적으로 점검함으로써 최적의 보수, 보강대책을 수립하여야 한다. 이를 위하여는 지반과 터널구조의 상호작용에 영향을 미치는 암반체의 물성, 절리상태, 콘크리트 라이닝의 강도와 두께, 지하수위의

위치 등을 정확하게 추정하여야 하며, 특히 터널구조물의 건설공법과 시공시기를 고려하여 암반굴착, 숏크리트, 콘크리트 라이닝, 락볼트의 시공 단계별로 발생가능한 터널구조물의 변상정도를 재료적 또는 구조적 측면에서 충분히 검토하여야 한다.

일반적으로 터널구조물에 발생하는 손상은 터널 아치부와 측면의 균열, 표면박리, 누수, 배수불량, 노반침하, 터널단면의 변형과 축소, 줄눈부의 이동, 라이닝 콘크리트의 내구성 감소 등으로 분류된다. 이중 균열과 누수현상 등과 같이 가시적으로 판단 가능한 손상과 기타 손상은 현장조사를 통하여 발생위치, 간격, 방향성, 범위, 빈도 등을 철저히 파악하여야 하며, 이를 효과적으로 수행하기 위해서는 축적된 지식과 경험 및 고도의 공학적 판단이 요구된다.

현재 사용되고 있는 인동터널, 금암터널, 사진포 터널 등의 철도터널 및 마치터널, 석남터널 등의 국도터널의 예로써 터널에 발생한 균열 및 열화 등의 손상 실태의 예를 살펴보면, 터널은 준공후 장기간에 걸쳐 사용함으로 콘크리트 라이닝의 열화가 상당히 진행되고 있으며, 이로 인하여 터널 구조물의 전구간에 걸쳐 콘크리트 라이닝에 균열이 발생하고, 또한 시공이음 및 균열부위를 통한 누수시 콘크리트중의 알칼리성분이 콘크리트 표면에 석출하여 터널내부 대기중의 탄산가스와 결합한 화합물인 백화와 콘크리트중의 유리석회가 용출되고 이들의 상승작용으로 인한 콘크리트의 부식은 물론, 많은 차량의 통행으로 인한 매연으로 대기중의 CO 및 CO₂의 농도가 높아지므로써 콘크리트의 중성화가 진행되고, 특히 길이가 긴 터널구조물의 경우 환기가 제대로 되지 않는 경우가 많아 콘크리트의 중성화에 더욱더 취약한 상태이다. 이러한 누수현상은 시공이음부의 불량시공으로 인해 현저하게 발생되어 콘크리트 라이닝의 열화를 현저히 촉진시키므로써 터널구조물의 수명을 단축시키고 있다.

특히 터널구조물은 콘크리트 라이닝에 철근이나 강재 리브에 의해 보강되어 있는데, 콘크리트의 열화 발생 및 피복두께 부족으로 인하여 철근 및 강재의 부식으로 인한 박리 및 박락, 철근노출이 발생하고 있는 상태로 이에 대한 보수·보강이 이루어지고 있는 실정이다.

한편, 터널구조물이 장시간에 걸쳐 사용되면서 균열 및 불량시공된 시공이음을 통하여 콘크리트 라이닝 배면에 공동부가 발생하고, 공동부, 이상외력 및 시공불량 등 여러 가지 복합적인 요인에 의하여 콘크리트의 균열 및 박리·박락이 촉진되며, 이로 인하여 콘크리트 라이닝의 내구성 저하가 급격히 발생하고 있다.

또한 콘크리트라이닝의 내력 부족으로 인하여 콘크리트의 변형이 발생하고 있으며, 이로인하여 터널구조물의 파손이 발생하며 최악의 경우 터널구조적으로 문제가 발생하여 치명적인 손상이 발생할 우려가 있는 경우도 확인되었다. 이와 같은 손상에 대해서는 보수·보강이 힘들며, 보수·보강을 실시하였더라도 다시 손상이 발생할 위험성이 크기 때문에 설계시 구조적인 문제가 발생하지 않도록 주의를 요하며, 시공 불량으로 인하여 콘크리트 라이닝 두께의 부족, 콘크리트 강도 불량등으로 인한 터널구조물의 손상이 발생할 수 있기 때문에 적절한 시공이 이루어져야 한다. 또한 이 부분에 대해서는 구조적인 문제가 발생하지 않도록 적절한 방법에 의한 조속한 보강이 이루어져야 한다.

나. 터널 구조물의 열화 요인

콘크리트는 耐火性, 耐久性 및 경제성이 좋은 재료로서 토목구조물이나 건축구조물에 많이 사용되고 있다. 그러나 최근 들어 콘크리트의 조기열화와 내구성 저하사례가 보고되면서 사회적인 관심으로 대두되고 있다. 콘크리트는 반영구적이라는 일반의 상식과 달리 콘크리트 자체는 조기 열화의

원인을 많이 내포하고 있으며, 또한 이러한 열화요인을 방치해 두면 의외로 단기간 내에 콘크리트의 수명에 도달하게 된다. 콘크리트 구조물에 발생하는 균열은 외관의 손상은 물론 균열로 인해 철근이 대기나 습기에 노출될 경우 부식작용의 진행으로 내구성에 영향을 미쳐 심하면 구조적 문제를 야기시킬 수도 있다. 특히 콘크리트 구조물에 있어 콘크리트의 열화와 함께 철근부식 및 철근과 콘크리트 경계면의 부착파괴가 수반되므로 건전성 저하와 아울러 전체 구조물의 내하력이 감소하는 것으로 알려져 있다.

1) 콘크리트의 균열의 종류

콘크리트의 균열의 종류는 다음과 같다.

- ① 소성수축균열
- ② 침하균열
- ③ 거푸집 변형에 의한 균열
- ④ 수화열에 의한 균열
- ⑤ 건조수축으로 인한 균열
- ⑥ 온도변화로 인한 균열
- ⑦ 화학적반응으로 인한 균열
 - ㉠ 알칼리-골재반응에 의한 균열
 - ㉡ 중성화에 의한 균열
 - ㉢ 염해에 의한 균열
 - ㉣ 황산염에 의한 균열
- ⑧ 기상작용에 의한 균열
- ⑨ 철근의 부식으로 인한 균열
- ⑩ 화재에 의한 균열
- ⑪ 설계잘못으로 인한 균열
- ⑫ 외부작용으로 인한 균열

⑬ 시공시의 초과하중

2) 콘크리트의 열화

콘크리트에 균열을 발생시키거나 내부철근의 부식으로 구조물의 내구성을 단축시키는 열화요인으로는 물리적요인과 화학적요인으로 크게 나눌수 있으며 물리적요인으로는 손상(마모, 균열), 동해 등을 들수 있다. 또한 일반적인 요인과 특수한 요인으로 분류하면 일반 열화요인으로서는 기온, 습도, 일사열, 중성화, 동해, 염해 등이고, 특수 열화요인으로서는 침식, 고열, 극저온, 피로 등이다.

3. 터널의 보수·보강

터널구조물의 보수·보강은 시간 및 공간의 제약 조건이 많고, 작업성이 용이치 않아 변상상황, 도로 및 선로조건, 시공조건 등을 충분히 검토하여 계획·시공할 필요가 있다. 터널구조물은 다른 구조물과는 달리 라이닝의 상태, 외력의 조건들을 파악하는데 많은 어려움이 있어 경험적인 판단에 의해 보수대책을 선택하는 일이 많다.

터널구조물의 보수대책공법은 원칙적으로 보수·보강의 필요 여부 판정 결과를 가지고 터널구조물의 기능이나 내구성의 회복을 목적으로 하여 적절한 보수재료, 보수공법 등에 따라 시기를 선정하는 것이 중요하다. 특히 보수·보강대책을 계획 할 때는 변상상황, 변상원인, 터널구조물의 주변환경, 구조적 조건, 작업환경 등을 고려하여 효과적인 보수·보강대책이 되도록 해야하며, 변상원인은 변상상황과 터널구조물의 주변환경, 또한 터널구조물의 구조, 이력 등을 기초로 추정할 수밖에 없다.

터널구조물의 변상원인은 터널구조물의 구성재료가 노후화되어 발생하는 경우, 누수로 인한 재료의 열화, 기상에 의한 동결융해 작용으로 인한 변상, 터널구조물에 외력으로 인한 변상 등으로 나타난다. 그러나

실제적인 터널구조물의 변상은 위 원인들의 복합적인 것에 의해 발생하는 경우가 많다. 따라서 터널구조물을 보수·보강하는 경우 위 원인들에 대하여 복합적으로 고려하여 시행되고 있다.

현재 터널구조물에서 시공되고 있는 보수·보강은 대표적으로 누수방지공, 콘크리트의 균열 및 파손부위에 대한 부분보수, 열화가 진행되고 있는 부위에 대한 보수, 외압 등으로 인한 콘크리트라이닝의 구조적 처짐을 방지하기 위한 보수 등이 진행되고 있다. 누수방지공의 경우 도수공법, 지수공법, 슛크리트, 도포공법, 방수판공법 및 방수시트공법 등의 공법들이 보수·보강공법으로 적용되고 있으며, 열화가 진행되고 있는 부위에 대한 보수를 위하여 표면정리, 보강판, 철망그물을 사용하여 보수하거나 단면보강을 통하여 보강하는 방법 등이 적용되고 있다. 또한 외압 등으로 인한 콘크리트라이닝의 처짐이나 기타 콘크리트라이닝의 변상방지를 위하여 휨가공한 H형강 등을 라이닝 내면에 연해서 일정한 간격으로 설치하는 공법 등을 사용하는 방법 등이 일반적인 터널구조물의 보수·보강법으로 사용되고 있다. 그러나 현재 일부 터널구조물에 대하여 보수·보강이 실시된 상태이나 변상원인 등을 고려하지 않고 시공되어서 시공후 보수부분에서 다시 균열, 열화 및 누수 등의 변상이 발생하고 있어 이에대한 좀더 체계적인 연구 및 적용이 필요하다.

다음은 콘크리트 라이닝 재료의 열화, 균열 및 누수로 인한 손상에 대하여 시행되고 있는 보수방법들에 대하여 열거하고자 한다.

가. 균열의 보수보강

균열보수의 목적은 균열에 의한 콘크리트 구조물의 내구성 저하를 회복하는데 있다. 또한, 균열조사의 결과에 기초한 균열의 상황을 충분히 파악하여 보수에 대한 최적의 방법을 선정하는 것이 중요하다. 균열의

보수는 주로 방수성, 내구성의 회복을 목적으로 실시하는 경우 외에 대인 안정성, 미관적인 면에서도 실시하고 있다. 보수의 범위, 보수의 규모 등은 보수의 목적을 만족하는 범위에서 경제성을 고려하여 결정되어진다. 또한 구조적인 결함에 대하여는 균열만 보수하는 것만으로는 불충분하며, 보강을 병행하여 실시되고 있다.

나. 열화대책

터널구조물의 콘크리트 라이닝의 열화는 터널구조물내의 누수, 동결융해, 매연, 풍화 등에 의해 나타나는데 이는 외관조사시에 노후화된 정도로 판단할 수 있다. 콘크리트 라이닝의 열화원인과 열화정도를 정확히 조사해서 적절한 대책공법을 선택하되 열화부위, 라이닝 골재의 낙하유무 등도 병행하여 고려할 필요가 있다. 한편 외력에 의한 변상이 동시에 이루어지는 경우에는 이를 고려하여 종합적인 검토를 할 필요가 있다.

제 6 절 결 론

교량, 댐, 터널 등을 포함한 국가 주요 시설물의 안전운용 및 유지관리 방안의 하나가 시설물의 상시감시기술이다. 상시감시기술은 시설물의 거동을 관찰하기위하여 시설물의 주요 부분에 계측센서를 부착하고, 이의 응답을 원격으로 감시함으로써 이루어진다. 상시감시 기술의 중요 근간은 측정기술이다. 현재 국내에 도입되고 있는 상시감시시스템의 정밀정확도 유지, 현장 교정 등의 문제점을 파악하고, 나아가 향후 예상되는 외산시스템의 급격한 도입에 대처하기 위한 방안으로 국산화 기술개발을 위한 적정 시스템을 도출하기 위하여 안전관리 시범사업의 일환으로 교량 상시감시시스템을 설치하여 운영하고 있다. 사업 2차년도에는 대상 교량의 정밀안전진단을 실시하였고, windows 운영체제에서 실행되는 원격 상시감시용 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램을 이용하여 상시감시 데이터를 수집 분석하였는데, 예견됐던 현장 교정, 온도보상 등의 문제점이 도출되었다. 또, 상시감시 데이터의 신뢰성을 확보하고, 나아가 상시감시시스템의 최종 기능으로 추가될 수명예측기능을 고려하여 교량 상판 및 보의 피로실험을 실시하였다. 피로 실험을 통하여 장기 데이터의 온도보상 문제 등이 도출되었으며, 콘크리트 부재의 균열진전과 관련하여 새로운 계측방법이 구상되었다. 또한 선진국에서 현재 진행중인 새로운 측정기술도 파악되었다. 상시감시 기술의 확대응용을 위한 사전조사 연구로서 댐과 터널의 유지관리 현황을 조사하였다.

이상의 연구내용에서 도출된 문제점들을 사업 3차년에 해결하고자 한다. 상시감시시스템의 문제점 즉, 현장 교정과 실시간 온도보상 등 상시감시 데이터에 대한 신뢰성 확보문제를 해결하고, 균열진전에 관한 새로운 방식의 센서 및 신호처리기술을 개발하고, 열화상, GPS, 레이저 등 3가지의 기술을 접목시킨 댐이나 경사면의 상시감시에 관한 기초연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

1. Ancold, Guidelines on Dam Safety Management, Australian National Committee on Large Dams (1994)
2. Bartholomew, C. L., Murray, B. C. and Goins, D. L., Embankment Dam Instrumentation Manual, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation.(1987)
3. Dibiagio, E., Myrvoll, F., Valstad, T. and Hansteen, H., "Field Instrumentation, Observations and Performance Evaluations of the Svartevann Dam," Transactions of the 14th ICOLD, Rio de Janeiro, International Commission on large Dams, Paris, Vol. 1, pp. 789-826.(1982)
4. Dibiagio, E. and Myrvoll, F., "Instrumentation Techniques and Equipment Used to Monitor the Performance of Norwegian Embankment Dams," Transactions of the 15th ICOLD, Lausanne, International Commission on large Dams, Paris, Vol. 1, pp. 1169-1197.(1985)
5. Dunnucliff, J., Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, John Wiley and Sons, New York.(1988)
6. Dunnucliff, J., Hampton, D. and Selig, E. T., "Tunnel Instrumentation: Why and How?," Proceedings of the 5th Rapid Excavation and Tunneling Conference, San Francisco, R. L. Bullock and H. J.

Jacoby(Eds.), AIME, New York, Vol 2, pp. 1455-1472.(1988)

7. Finn, W. D. L., Yogendrakumar, M. and Nichols, A., "Seismic Response Analysis of Level Sites. Embankments and Soil-Structure Systems," proceedings, Vancouver Geotechnical Society Seminar on Earthquake Geotechnique.(1987)

8. Gardner, W. R., "Some Steady State Solutions of the Unsaturated Moisture Flow Equation with Application to Evaporation from a Water Table." Soil Science. 85, pp. 228-232.(1958)

9. Hanna. T. H., Field Instrumentation in Geotechnical Engineering. Trans Tech Publications. Federal Republic of Germany.(1985)

10. Hawkes. I. and Bailey, W. V., Design, Develop, Fabricate, Test, and Demonstrate Permissible Low Cost Cylindrical Stress Gages and Associated Components Capable of Measuring Change in Stress as a Function of Time in Underground Coal Mines, U.S. Department of the Interior. Bureau of Mines, Rep., Cont. No. H0220050.(1973)

11. ICOLD, Deterioration of Dams and Reservoirs, examples and their analysis. ICOLD(1983)

12 ICOLD, Bulletin 68, Monitoring of Dams and Their Foundations. ICOLD(1989)

14. ISRM, "Suggested Methods for Monitoring Rock Movements Using Inclinometers and Tiltmeters," Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Pergamon Press. Oxford. pp. 201-211.(1981)
15. ISRM, "Suggested Methods for Monitoring Rock Movements Using Borehole Extensometers," Rock Characterization Testing Monitoring, ISRM Suggested Methods, Pergamon Press. Oxford. pp. 173-183.(1981)
16. Kodner, R. L., "Hyperbolic Stress-Strain Response; Cohesive soils," SMFD, ASCE Vol. 89. No. SM1, pp. 115-143.(1963)
17. Neuman, S. P., " Saturated-Unsaturated Seepage by Finite Element, " J. of Hydraulic Div. ASCE, Vol. 99. No. HY 12. pp. 2233-2250.(1973)
- 18 Slope Indicator Company, Manual for Digitilt 50309E Inclinator, Slope Indicator Company, Seattle, WA.(1987)
- 19 Uff, J. F., "In Situ Measurements of Earth Pressure for a Quay Wall at Seaforth, Liverpool," in Proceedings of the Conference on In Situ Investigations in Soil & Rock, British Geotechnical Society, London, pp. 229-239.(1970)
- 20 Wilson, S. D., "Incompatibility of Materials and Effect on Dam

Performance," Lecture Note on Recent Developments in the Design, Construction, and Performance of Embankment Dams, Univ. of California at Berkeley.(1975)

21. 김상규, "간극수압계의 개발과 이의 응용에 관한 연구", 대한토목학회지, 제27권, 제5호, pp.113-119.(1979)

22. 김상규, 김원태, "소양강댐 및 안동댐의 지반공학적 거동", 한국대댐회 제4회 세미나, pp.1-26.(1980)

23 김상규, 임희대, "소양강댐의 거동에 대한 유한요소해석과 실측치와의 비교," 대한 토목학회 논문집 제 7권 1호, pp. 141-149.(1987)

24. 농업진흥공사, 영산강개발 제 1단계 사업 영산 4개댐 매설계기분석 자료집, 농진공 영산강 사업소.(1978)

25. 농업진흥공사, 방조제 기술개발 연구, 한국농공학회(1984)

26. 농업진흥공사, 수리지역 개보수 기술훈련보고서, 동국대학교 부설 산업기술연구소.(1989)

27. 문준배, 장연수, 김상규, "흙의 부간극수압 측정법 개발에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제15권, 제3호, pp. 715-723.(1995)

28. 한국수자원공사(1994), 다목적댐 매설계기 관리지침서.(1994)

29. “既設構造物の点檢.補修システムの開發”, 일본 建設省 보고서, 平成3年3月.
30. 정찬묵 외, “운하중이 교량상판에 미치는 영향연구”, 한국도로공사 도로연구소 보고서.(1994)
31. 정찬묵 외, “강교량의 피로파괴에 관한 연구”, 한국도로공사 도로연구소 보고서. (1994)
32. 도로교 표준 시방서, 건설부(1992)
33. 金生彬, 철근콘크리트 공학, 기문당(1989)

제 3 장 안전진단 신뢰성관리

제 1 절 서 론

1. 사업의 배경

건설기술의 연구·개발을 촉진하고 이를 효율적으로 이용·관리하게 함으로써 건설기술수준을 향상시키고 건설공사·시공의 적정을 기하여 공공복리의 증진과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 1987년에 공고된 후 수차개정을 거쳐서 1995년 12월에 개정된 건설기술관리법 시행규칙에는 table 3-1-1에서 정하는 기준이상의 장비를 갖추어야만 지방국토관리청장은 감리전문회사로서 등록 신청을 받거나 변경등록신청이 있는 때에는 소속공무원으로 하여금 장비보유현황을 확인하다. 이 표를 보면 감리회사별로 종합 및 건축감리전문회사, 토목감리전문회사, 설비감리전문회사별로 나누고 해당 전문회사구분별로 장비명과 각 장비에 대한 기준이 설정되어있다. 하지만 여기서 제시한 시험장비에 관한 사항은 토목·건축분야 위주의 시험장비 등만 규정하고 비파괴검사 장비 등은 규정되어 있지 않다.

한편 시설물의 안전점검과 적정한 유지관리를 통하여 재해를 예방하고 시설물의 효용을 증진시킴으로써 공중의 안전을 확보하고 나아가 국민의 복리증진에 기여함을 목적으로 1995년도에 제정된 시설물의 안전관리에 관한 특별법에서는 안전진단 전문기관의 지정을 받고자하면 table 3-1-2의 장비를 갖추어야만 안전진단 전문기관으로 지정될 수 있다. Table 3-1-2에서는 안전진단전문기관이 갖추어야할 장비명만 수록되어있고 장비의 측정 범위나 정확도와 같은 기준에 관하여 전혀 언급이 없다. 갖추어야할 필수장비 조차

Table 3-1-1 건설기술 관리법에 있는 감리전문회사 보유장비기준

구 분	장 비 명	기 준
종합 및 건축감리 전문회사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자동열분측정기 ○ 콘크리트테스트햄머 ○ 철근탐지기 ○ 도막두께측정기 ○ 소음측정기 ○ 목재흡수율측정기 ○ 타일인발시험기 	<ul style="list-style-type: none"> • 측정범위 : 0.001~1.0 %이상 • 측정온도 : 0~40 ℃ • 전 원 : 전지 및 AC100V겸용 • 측정범위 : 100~600 kg/cm² • 측 정 : 기록식 • 피복두께 : 100mm이상, 철근간격 측정 • 측정방식 : 전자식 • 측정대상물 : 금속 및 비자성 금속 피막, 콘크리트피막 • 측정범위 : 0~1,000 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ • 측정범위 : 40~110 dB • 측정범위 : 6~30 % • 정 밀 도 : $\pm 0.5 \%$ • 유압용량 : 1,500 kg • 측정 : Digital표시 • 인발강도 : 90 kg/cm²
토목감리 전문회사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 종합 및 건축감리전문회사 장비기준중 소음측정기, 목재흡수율측정기, 타일인발시험기를 제외한다 	
설비감리 전문회사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 풍압풍속계 ○ 초음파유량계 ○ 회전속도계 ○ 진동측정계 ○ 소음측정기 	<ul style="list-style-type: none"> • 측정범위 : 0~40 m/s(풍속) 0~500 mmAq(정압) 0~100 ℃(온도) • 측정범위 : 0~6 m/s(유속) • 측정범위 : 0~10,000 RPM • 측정범위 : 3~5,000 Hz(진동수) 0.03~20 cm/s(속도) • 측정범위 : 25~130 dB

도 콘크리트 구조물 초음파 시험기의 상품명인 PUNDIT가 강재 구조물분야에 포함되어 있는 등 많은 문제점이 있다.

한편 95년 “강교제작·설치 공사시공 및 유지관리 실태”에 관한 감사원 자료에 의하면 적정한 품질관리를 위하여 계측기기 관리에 기술기준이 필요하다고 지적하고 있다. 미국의 경우 Calibration을 통하여 진단장비의 신뢰성을 증진시킨 예로 미국 NIST의 BFRL(Building and Fire Research Laboratory)에서 최근에 FHWA(Federal Highway Administration)의 지원을 받아 아스팔트의 품질 평가 신뢰도 향상을 위하여 Marshall Hammer Calibration System이 있다. 즉, 아스팔트를 평가 위하여 Marshall test procedure가 채용되고 있는데, round robin test에 의한 결과에 의하면 같은 아스팔트 구성성분이라고 하더라도 압축 hammer의 축 얼라인먼트, hammer의 무게 및 마찰로 인해서 그 결과가 크게 틀리게 나왔다. 따라서 Marshall compaction hammer의 calibration system이 FHWA의 지원을 받은 NIST의 BFRL(Building and Fire Research Laboratory)에서 개발되었다. 이 system을 이용하면 오차가 60%까지 줄어들었다.

현재 건설교통부에 의해 정밀안전진단기관으로 등록된 기관은 130여 기관에 이르나 안전진단 전문가의 수가 절대적으로 부족하며 진단절차와 평가기준이 통일되어 있지 않아 진단결과의 신뢰성에 문제가 많다. 따라서 안전진단장비의 정확도와 관련인력의 숙련도에 대한 신뢰성을 관리하기 위한 국가적인 체계를 구축해야 한다.

위에서 살펴보았듯이 안전진단장비는 시설물들의 안전진단에 필수적인 장비로서, 그 정밀정확도와 신뢰성이 안전진단 결과의 판정에 절대적 영향을 미친다. 여기에서 안전진단장비의 신뢰성 조사가 경제·사회·기술적으로 갖고 있는 중요성을 정리해 보면 다음과 같다.

Table 3-1-2 시설물의 안전관리에 관한 특별법에 있는 정밀안전진단장비

<p>1. 콘크리트구조물</p> <p>가. 현장검사</p> <p>①육안검사 : 돋보기 · 망원경 · 카메라 · 비디오카메라 및 균열 폭 측정현미경</p> <p>②콘크리트표면강도검사(rebound & penetration methods) : 반발경도측정기</p> <p>③(초)음파측정(Stress Wave Methods) 음파측정장치(Sonic Pulse Velocity Methods): 망치 · 체인 초음파측정장치(Ultrasonic Pulse Velocity Methods) 필수</p> <p>④자기감응검사(Magnetic Methods) 콘크리트피복측정장치</p> <p>⑤전기에 의한 부식검사(Electrical Methods) 콘크리트전기저항 측정장치(resistivity) 전위차측정장치(half cell potential)</p> <p>⑥화학적 분석(Chemical Methods) 염분 측정장치(Cl content)</p> <p>⑦내하력조사 정적 또는 동적응력 측정장치</p> <p>나. 시험실 검사</p> <p>①페트로그래픽분석(Petrographic analysis) 코아시험(Core test)기 : 강도시험 · 수분함량 · 공기량 · 염분함량</p> <p>②중성화 측정방법-페놀프탈레인 시험</p> <p>2. 강재구조물</p> <p>염색침윤시험(Dye Penetrant Examination) 초음파시험(Ultrasonic Method(PUNDIT))</p>

가. 대형구조물의 안전진단에 사용되는 안전진단장비는 대형구조물의 내구성이나 내하력 측정을 통한 건전도 여부의 판정, 성능저하의 조기 탐지 및 원인 분석, 잔존수명 추정 등에 사용되는 것으로서, 시설물의 예기치 못한 붕괴나 사용제한 등을 예방하는데 필수적인 장비이다. 따라서 안전진단장비의 신뢰성을 확보하는 것은 대형사고를 미연에 방지함으로써 사고로 인한 귀중한 인명의 손상이나 경제적 손실을 최소화할 수 있으며, 사고에 따른 사회적 혼란을 사전에 예방할 수 있다.

나. 안전진단장비가 신뢰성을 갖지 못할 경우 대형구조물의 관리·운영이 비효율적으로 이루어지게 될 것이다. 왜냐하면 안전진단장비가 신뢰성을 갖지 못할 경우 과도한 보강, 보수작업을 필요로 하는 것으로 판정하여 비용의 낭비를 초래하거나, 이와는 반대로 적절한 보강, 보수 작업을 통하여 잔존수명을 연장시켜 사용할 수 있는 시설물임에도 철거 해야 할 대상으로 판정하여 낭비를 가져오는 경우가 나타날 수 있기 때문이다.

다. 국민들의 안전을 확보하기 위해서도 대형구조물에 대한 안전진단장비의 신뢰성 확보는 필수적이다.

라. 또한 안전진단장비의 신뢰성이 확보되지 못할 경우 시설물에 대한 안전진단 및 유지관리업무에 대한 불신이 가중되어 국가적 차원에서의 안전문화의 정착이 어려워 질 것이다.

앞으로 영종도 신공항, 고속철도 등 대형구조물들이 계속 증가일로에 있으므로 이러한 구조물들에 대한 안전진단수요가 더욱 커질 전망이다. 이제 는 비록 우리나라에서도 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」이 제정되고, 「시설안전기술공단」이 설립되었으며, 별도로 안전진단전문기관을 지정하여 안전진단을 제도적으로 실시하게 되었다고는 하지만, 경험이 일천하여

아직까지 종합적이고 세부적인 안전진단체계의 확립면에서는 다소 미흡한 측면이 없지 않다. 특히 안전진단장비면만 보더라도 현재까지 확보된 안전진단장비의 수도 앞으로 늘어날 안전진단수요에 비하면 태부족하고, 기확보된 장비라 하더라도 정밀정확도의 수준이 저위에 놓여 있는 경우가 많다. 또한 안전진단장비의 신뢰성에 대한 시험분석이 공단이나 전문기관별로 개별적 임의적으로 이루어지고 있어, 신뢰성을 확보하기가 어려운 상황에 놓여 있다.

작년도에는 국내의 안전진단장비의 신뢰성 확보를 위하여 정밀안전진단장비의 기술현황을 외국의 사례를 중심으로 분석하였으며 이미 우리나라의 산업체에 보급되어 있는 안전진단장비의 보급현황 및 관리 실태, 그리고 유지 보수에 대한 전반적인 내용을 실태조사를 통하여 파악하였다. 아울러 산업현장에서 주로 사용되고 있는 주요 장비들중 대표적인 장비를 선택하여 장비의 원리, 사용방법, 그리고 관련된 표준절차에 대한 전반적인 사항을 검토하고, 실제 장비들을 사용하여 측정된 실 구조물에 대한 기본 결과들을 분석하였다. 앞에서 언급한 내용을 기초로 하여 정밀안전진단장비들의 교정능력을 전체적으로 확보하기 위하여 이미 교정능력을 확보한 분야와 앞으로 교정능력을 확보해야 할 분야를 Table 3-1-3과 같이 설정하였다. 한편 안전진단과 관련된 업무에 종사하고 있는 인력을 대상으로 정밀진단과 관련된 교육훈련을 실시하여 인력관리의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

금년도에는 Table 3-1-3에서 계획된대로 반발경도법 및 관입저항법을 이용한 콘크리트 강도분야에 사용되는 반발해머와 침투저항측정기, 초음파법 및 충격파법을 이용한 콘크리트 두께 및 결함분야에 사용되는 콘크리트용 초음파 시험기와 충격탄성파장치, 전자기법을 이용한 콘크리트내의 철근탐지 분야에 사용되는 철근탐지기, 전위차법을 이용한 콘크리트내 보강재의 부식측정에 사용되는 반쪽전위측정장치에 관한 교정검사 체계를 확립하였

다. 한편 금년에도 작년과 같이 안전진단과 관련된 업무에 종사하고 있는 인력을 대상으로 주요 측정장비의 원리와 정확한 측정방법, 그리고 새로운 기술에 대한 교육훈련을 실시하여 인력관리의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

Table 3-1-3 정밀안전진단 장비 교정능력 확보 계획표

분야	기술/시험방법	1997년도	1998년도	비고
콘크리트 강도	반발경도법	○		
	관입저항법	○		
	인발법		○	1999년도 계속
	초음파법		○	
	충격파법		○	
콘크리트의 두께 및 결합	초음파법	○		
	충격파법	○		
콘크리트내의 철근탐지	전자기법	○		
	GPR		○	1999년도 계속
콘크리트내 보강재의 부식측정	전위차법	○		
콘크리트내의 합수량 측정	전기저항법		○	
	전기저항식 및 유전율		○	

2. 비파괴시험용 철근콘크리트 벽체

정밀진단장비의 성능평가 및 교정절차를 확립하기 위하여 Fig. 3-1-1과 같이 철근콘크리트 벽체를 설계 제작하였다. 벽체는 철근탐지부, 부식측정부, 강도측정부, 균열탐지부 등 4개의 부분으로 이루어져 있으며 각 벽체는 목적에 따라 적절한 철근배근, 균열삽입, 배합설계 등을 하므로써 가급적 다양한 측정이 가능하도록 하였다. 본 벽체를 대상으로 실시할 수 있는 시험은 자기적방법에 의한 철근탐지 시험, 전위차법에 의한 부식측정, 초음파속도법, 반발경도법, 관입저항법, 코어채취 등에 의한 강도측정, 초음파 및 Impact-echo법에 의한 콘크리트 두께 및 균열검출 등이 다.

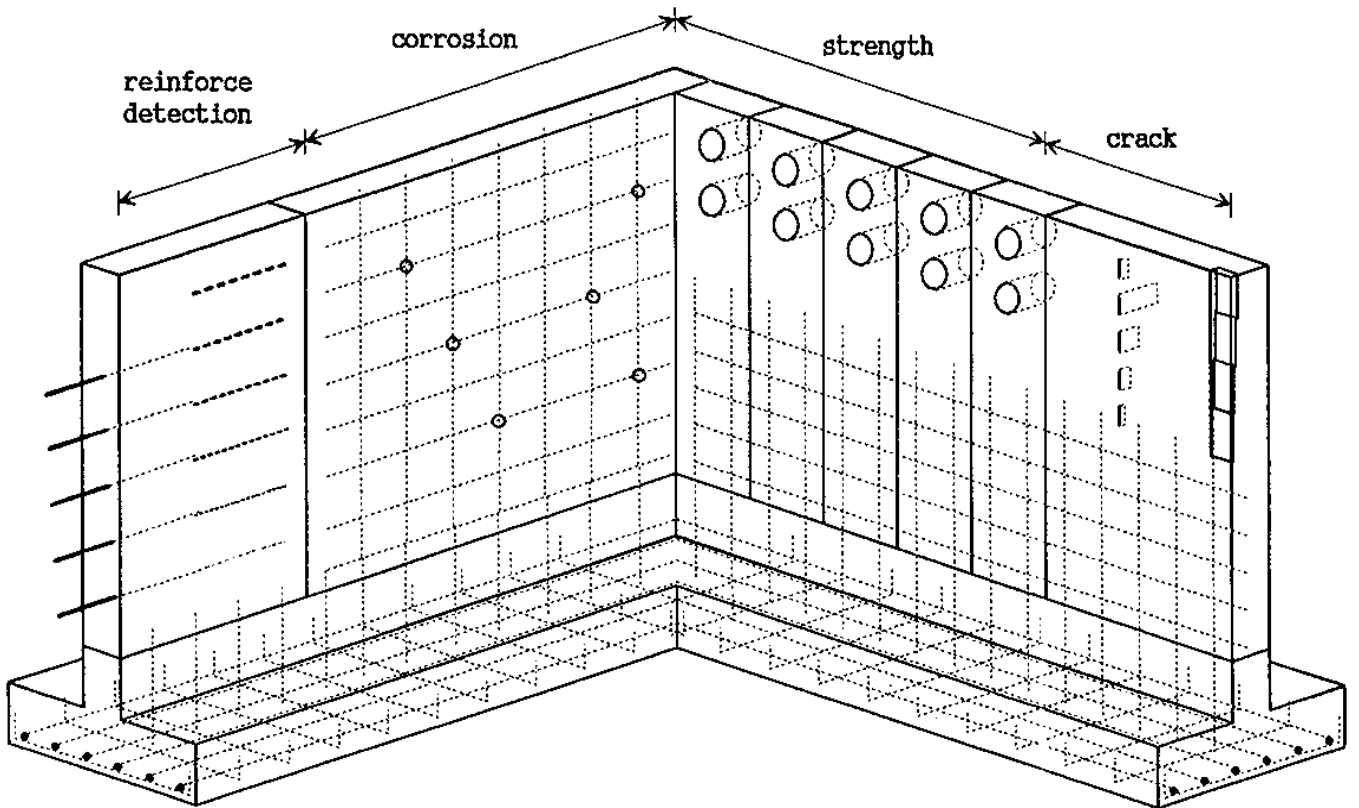


Fig. 3-1-1 Reinforced concrete wall for non-destructive tests

가. 철근탐지

Fig. 3-1-2는 실험용벽체의 철근탐지부에서의 철근배근도이다. 좌측벽은 철근덮개의 두께에 따른 철근탐지의 정확도를 측정하기 위하여 동일한 굵기의 D10철근을 1~9cm 까지 각각 다른 깊이로 배근하였고, 우측벽은 동일한 두께의 철근덮개에 대하여 철근지름의 크기에 따른 철근탐지정도를 파악하기 위해서 D10, D13, D16, D19, D22, D25의 철근을 배근하였다. 철근탐지를 위해서는 자기적 방법을 이용하였다.

나. 부식측정

Fig 3-1-3은 전위차법을 이용한 부식측정을 위한 실험벽체 및 배근도이다.

다. 콘크리트 강도측정

Fig 3-1-4는 콘크리트 강도 측정시험을 위한 시험벽체의 평면도이다. 강도측정부는 5개의 서로다른 강도를 갖는 벽체로 이루어져 있으며 이를 위하여 각각의 벽체에 맞는 배합설계를 하였으며 손비비기로 콘크리트를 타설하였다. 콘크리트의 강도측정시험은 반발경도법, 초음파속도법, 판입저항법, 코어채취에 의한 압축강도 실험 등의 방법을 사용하였으며 철근이 배근된 부위와 무근콘크리트의 강도차를 비교하기 위하여 하단부에만 철근을 배근하였다.

라. 콘크리트 두께측정 및 균열검출

Fig 3-1-5는 콘크리트 두께측정 및 균열검출시험을 위한 벽체를 나타낸 것이다. 균열검출시험을 위해서는 벽면의 중앙에 수직방향으로 깊이가 서로다른 균열들과 비스듬한 방향의 균열을 만들었으며 두께 측정을 위하여 벽체의 우측에서 벽면의 두께를 다르게 제작하였다. 초음파법, Impact-echo 등의 방법을 적용하였다.

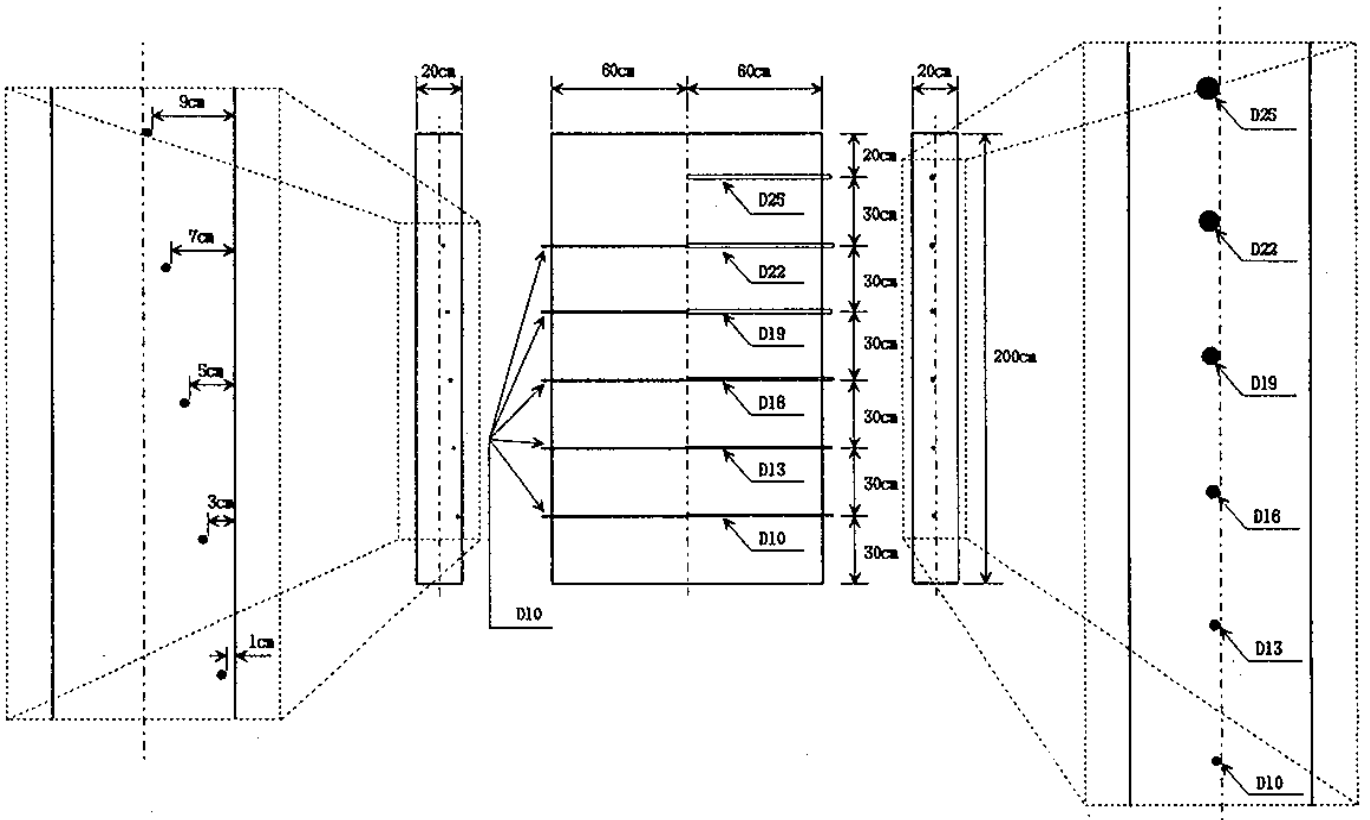


Fig 3-1-2 Arrangement of bars in the R.C. wall for reinforce detection test

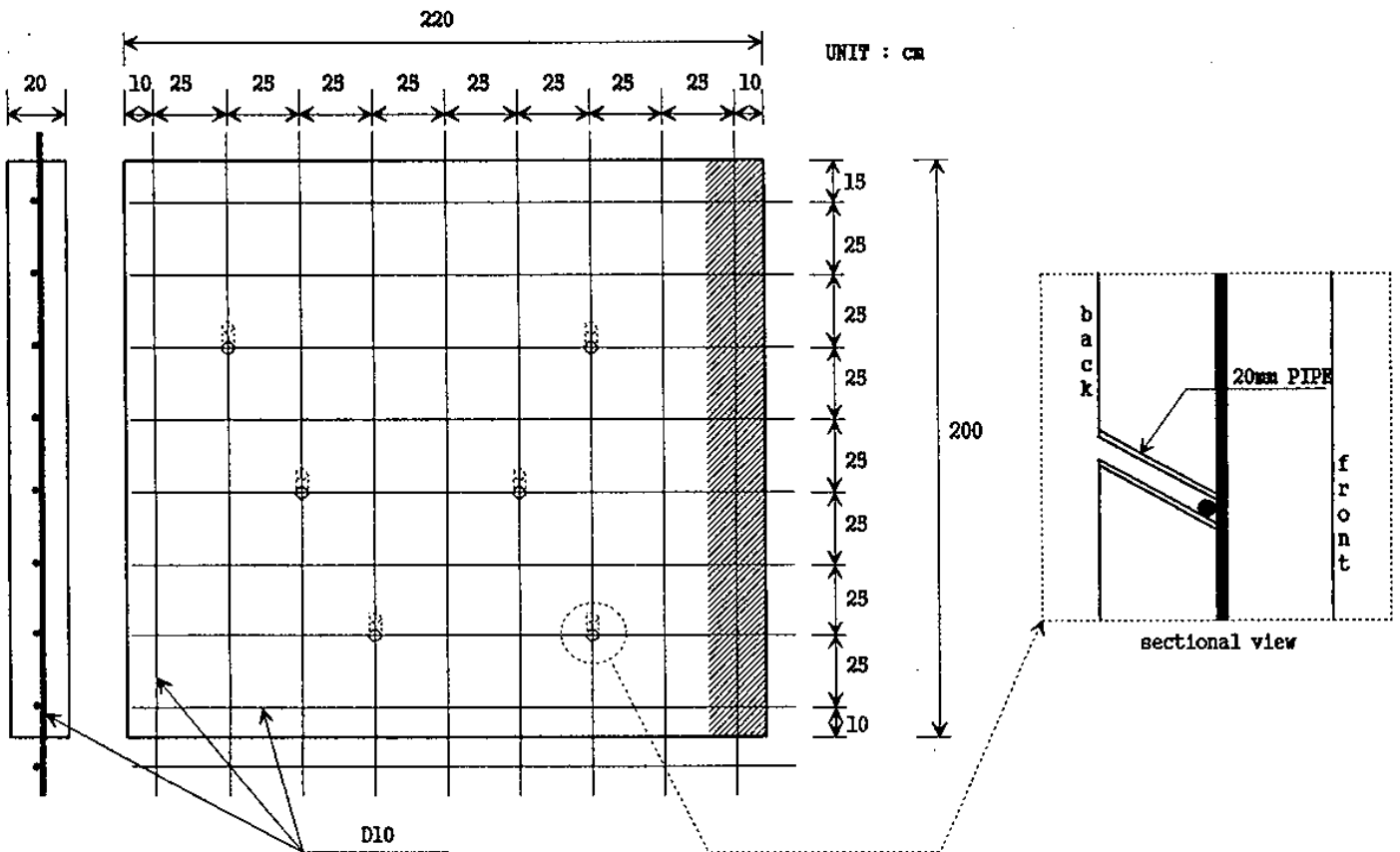


Fig 3-1-3 Part of the wall for corrosion measurement

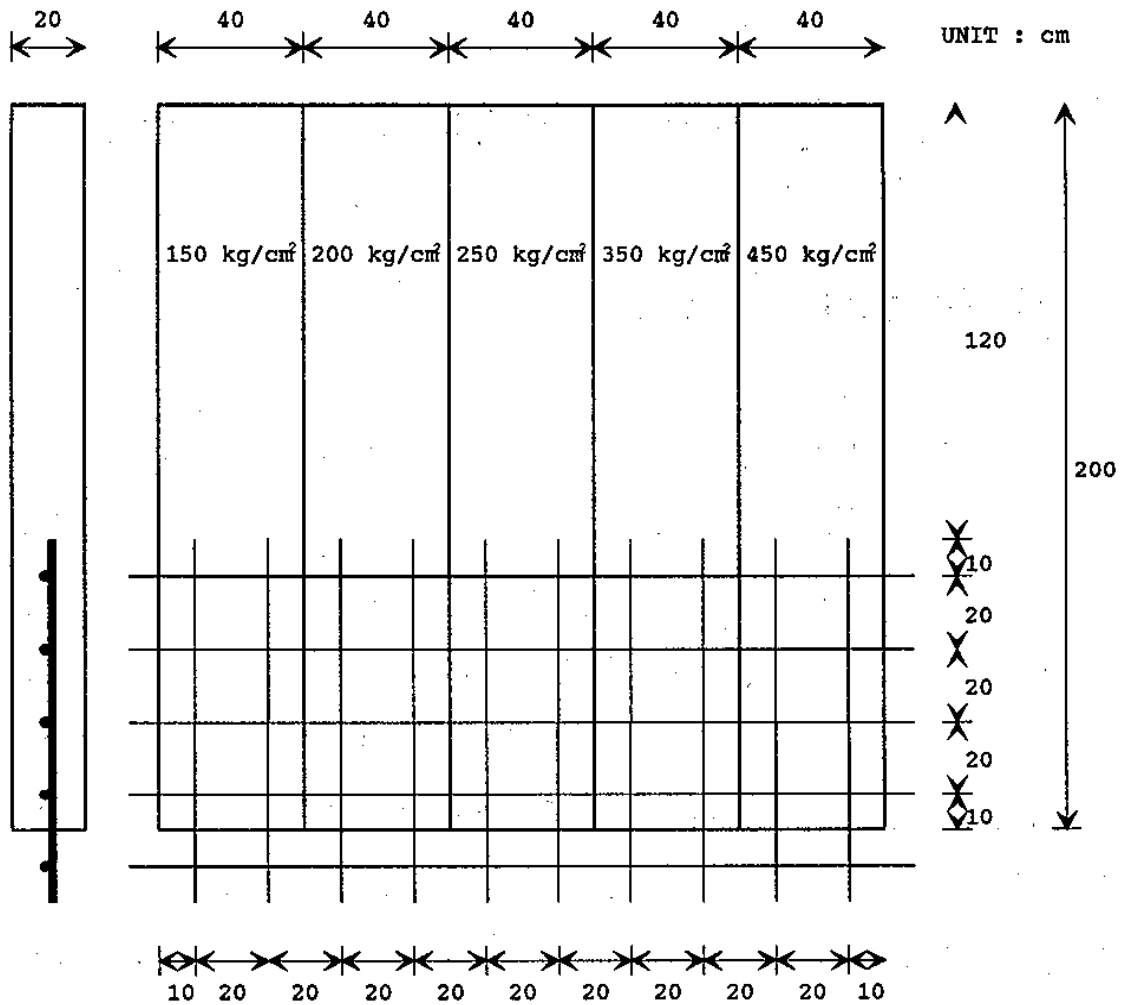


Fig 3-1-4 Part of the wall for concrete strength measurement

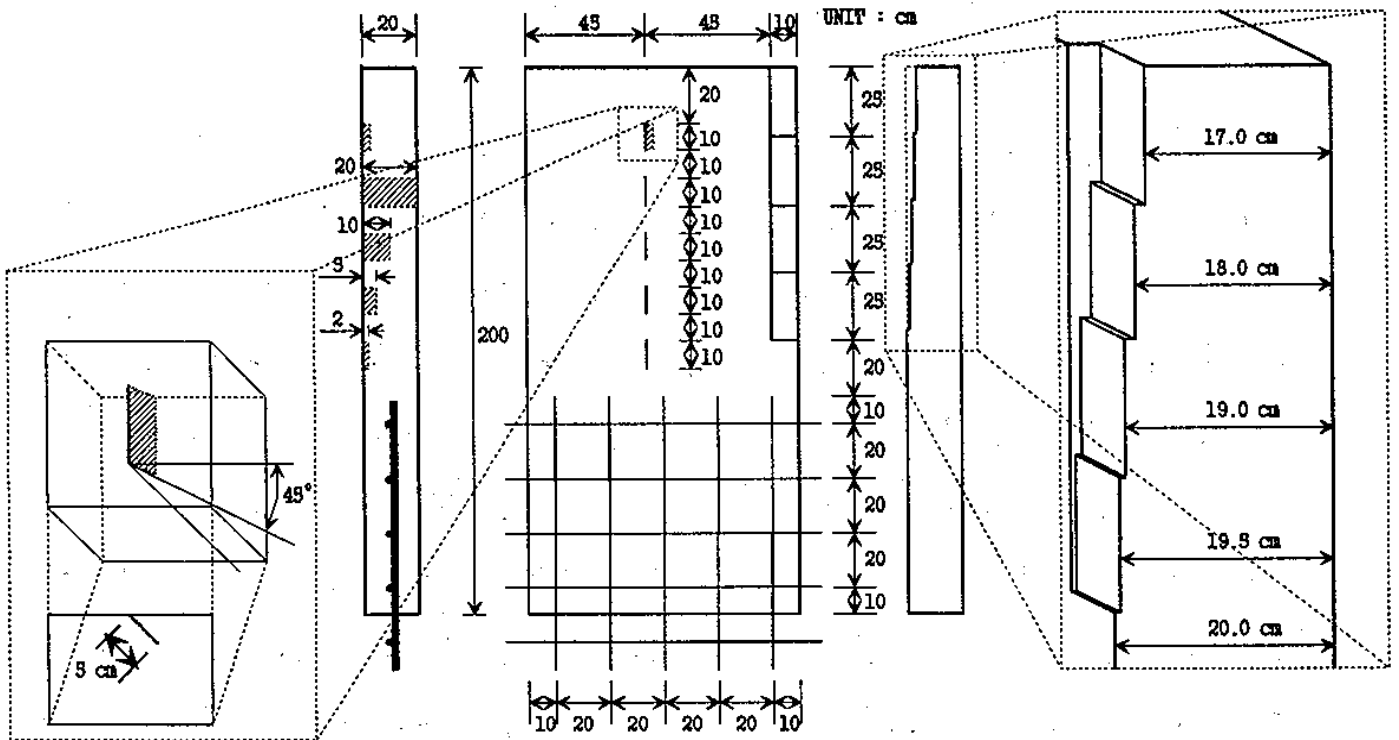


Fig 3-1-5 Part of the wall for the thickness measurement and crack detection test

제 2 절 정밀진단장비의 교정능력 확립

1. 반발 해머(Schmidt hammer)

콘크리트의 표면경도의 측정은 일정량의 기준 에너지를 지닌 규격화된 질량을 콘크리트의 표면에 충격을 가하는 것에 기초하여 1930년대에 최초로 시도되었다. 반발 경도법으로 표면 경도를 측정하는 가장 인기있는 장비는 반발 해머(rebound hammer)로서 통상 슈미트 해머(Schmidt hammer)라고 불리운다. 반발 해머에는 측정 대상 재료의 강도와 크기, 성질에 따라서 여러 타입이 있다. 반발 해머를 사용한 표면 경도 측정 기술은 콘크리트의 균질성과 규격화된 콘크리트와 특성 비교, 압축강도의 대략적인 측정, 마찰 저항의 분류 등에 이용되고 있다. 여러 나라에서 반발 경도법에 의한 콘크리트를 시험하는 기술과 관련된 표준을 명문화하고 있고 국제적인 협의체에서도 관련 규준을 세워두고 있으나 아직 한국공업규격(KS)은 확립되어있지 않다.

콘크리트의 강도는 콘크리트의 특성을 나타내는 대표적인 변수이다. 지금까지 알려진 바로 압축 강도, 인장 강도, 휨 강도로 구분되는 콘크리트의 강도를 직접 측정하는 방법으로는 원주형이나 입방체 형태의 시험편에 하중을 가하여 파괴되는 순간의 하중이나 파괴되기까지의 가해진 최대하중을 단위면적으로 환산한 응력을 측정하는 파괴시험기술이 유일하다. 이외의 표면 경도 측정법(surface hardness method), 침투저항 측정법(penetration resistance technique), 초음파 펄스 속도 측정법(ultrasonic pulse velocity method), 인발강도 측정법(pull out test), 떼어내기 법(break-off Method), 양생강도 측정법 등은 모두 간접적인 기술로 다른 물리량을 쟈 후에 이 물

리량과 강도와의 상관관계를 이용하여 강도를 추정하는 방식이다.

반발 경도는 콘크리트 표면으로부터 약 30 mm 깊이까지의 표면의 성질만을 관계하며 측정 결과가 시험체의 형상과 표면상태, 환경, 측정장치 등 여러 가지의 다른 인자들의 영향을 받기 때문에 반발 정도법을 이용한 콘크리트의 압축강도를 예측하는 정밀도는 높지 않다. 따라서 이 기술은 콘크리트의 강도측정시 파괴시험기술과 같이 잘 확립되었는 기술을 완전히 대신할 수는 없고 사전 검사, 보완적인 측정방법으로 유용한 기술로서 인식되고 있다. 그럼에도 자주 반발 해머를 이용한 압축강도의 측정이 자주 요구되고 있으며 초음파 펄스 속도 측정법 등의 다른 기술과 병행하여 측정함으로써 정밀도를 향상시키기 위한 노력과 함께 일부 국가의 학회와 표준에서 이 기술이 강도 추정을 위한 비파괴시험기술로 채택되고 있는 것도 현실이다.

본 연구에서는 반발해머를 사용한 표면경도법에 의하여 콘크리트의 강도 등의 특성측정시 바른 측정기술 및 교정체계 확립을 목적으로 연구를 수행하였다. 표면경도와 압축강도의 개념과 이론, 반발 해머의 종류와 규격, 반발 해머의 구조와 사용법, 국제적인 표준 규격의 정리, 반발해머를 교정계 구성과 교정절차, 반발해머를 이용하여 콘크리트의 강도를 측정할 때 유의 사항, 측정기술의 문제점 등에 대하여 기술하였다.

가. 경도와 강도

1) 표면 경도(Surface Hardness)

경도는 '딱딱하다' '무르다' 하는 일반적인 경험에 바탕을 둔 것으로 정확히 정의되지는 않는다. 그 이유는 어느 한가지의 물리적 성질에 근거를 둔 다른 물리상수들과는 달리 경도는 재료의 여러 성질들의 복합적인 작용에 의하여 나타내지는 수치이기 때문이다. 즉 경도는 시험방법에 따라서 다르게 측정될 수 있는 공학적인 성질(engineering property)과 관계되는 공학

상수라고 할 수 있으며 재료가 갖는 근본적인 물성인 강도나 탄성계수 등과 관계된다. 경도에 영향을 주는 인자는 강도, 탄성계수, 항복점, 마찰계수, 온도, 습도, 표면 거칠기 등이 있다.

경도의 측정방법은 크게 압입 경도 측정법, 굽기 경도 측정법, 동적 경도 측정법으로 나눌 수 있다. 압입 경도 측정법은 시편을 서로 누르거나 강체의 압자를 시편에 누를 때 생기는 저항력을 경도로 나타내는 기술이며 굽기 경도 시험법은 시편을 강성체 등으로 굽었을 때의 휨으로 경도를 비교하는 방법이다. 동적 경도 시험법은 시편을 일정한 하중으로 타격하여 생긴 표면의 자국을 재는 충격 경도 측정법과 표면으로부터 반발하여 튀어 오른 높이를 재는 반발 경도 측정법 등이 있다.

2) 반발 경도

콘크리트의 압축강도를 측정을 위하여 이용되고 있는 대표적인 비파괴검사기술의 하나인 반발 경도법에는 스프링에 의하여 장진된 해머가 공이쇠(plunger)를 통하여 시편에 충격을 가하고 그 반발력으로 해머에 연결된 스프링의 늘어난 길이 즉 반발력에 비례한 높이를 측정하도록 설계된 반발 해머, 일명 슈미트 해머라고 불리는 측정기가 사용되고 있다. 이 측정기로 측정되는 반발 수치는 콘크리트의 30 mm 깊이 이하의 표면의 경도를 측정하는 것이며 측정된 반발수치와 입방체나 원주형의 콘크리트나 콘크리트 구조물의 압축강도와의 관계를 통계적인 방법으로 결정해오고 있다.

먼저 여기서는 기본적인 측정치인 경도의 측정 원리와 구성 요소에 대한 이해를 위하여 먼저 같은 반발 원리를 적용하지만 좀더 단순한 구조인 쇼아(Shore) 반발 경도 측정법을 살펴보기로 한다. 쇼아 반발 경도법에서는 해머를 시편에 자유낙하시키고 반발되는 높이를 측정하는 구조로 되었으며 쇼아경도(HS)는 식(3-2-1-1)과 같이 해머 낙하 높이에 대한 반발한 높이 비에 비례한 값으로 정의된다.

$$HS = k\left(\frac{h_r}{h_d}\right) \quad (3-2-1-1)$$

여기서 k 는 쇼아경도를 나타내기 위한 비례상수, h_d 은 낙하 높이, h_r 은 반발한 높이를 나타낸다.

반발 경도를 정밀도 있게 측정하기 위해서는 식(3-2-1-1)에 기초한 눈금 표준을 만드는 것이 요구된다. 그러기 위해서는 해머와 시편 및 시험대의 질량, 해머의 재질과 형상, 탄성계수, 충격량 등 측정될 반발 정도값에 영향을 미치는 요인을 규명하고, 각 조건을 규격화해야 한다. 여기서는 일본에서 확립한 쇼아 반발 경도를 측정하는 표준과 관련된 측정인자 영향에 주는 요소에 대하여 실험한 내용을 슈미트 해머의 특성과 관계될 것으로 여겨지는 부분을 요약하고 그 의미를 분석했다.

시편의 질량을 무한대로 가정하면 식(3-2-1-1)이 되지만 좀더 엄밀하게 반발 경도를 정의하면 고전적인 충돌이론에 따르면 해머의 질량에 대하여 충격을 받는 시편과 시험대의 질량합에 대한 비의 영향을 받는다. 질량이 M_b 인 시편의 반발 정도(HS_1)는 식(3-2-1-2)가 된다.

$$\begin{aligned} HS_1 &= HS - \Delta HS \\ &= HS - \frac{2(HS + \sqrt{kHS})}{1 + \frac{(M_A + M_B)}{m}} \end{aligned} \quad (3-2-1-2)$$

여기서 HS 는 식(3-2-1-2)로 정의된 정도값이고 M_A 는 시험대의 질량, m 은 시편의 질량을 나타낸다. 즉 ΔHS 만큼의 정도의 감소가 질량비에 의

하여 발생한다. 이는 질량이 작은 시편이 시험대에 견고하게 접촉되지 않거나 시편과 시험대의 질량이 크지 않을 경우에는 반발 정도의 측정 오차가 커질 수 있다는 것을 의미한다.

해머질량의 영향은 질량 1%당 0.1~0.2 HS 정도, 낙하높이의 영향을 1%당 0.1 HS 정도이다. 이 같은 결과는 표준시험기와 표준해머의 경우 질량, 낙하높이 모두를 0.5% 오차 이하로 만드는 것이 용이하기 때문에 이들에 의한 영향은 실제적으로 무시할 수 있다.

해머 선단의 탄성계수가 낮을수록 해머가 높게 반발하는 사실은 이미 알려져 있으나 정량적인 해석은 아직 어렵다. 쇼아경도 값은 선단과 시험편 재질에 따라서 결정되는 식(3-4-3)의 탄성 변수 $f(E)$ 와 대략적으로 선형적 관계가 있다.

$$f(E) = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \quad (3-2-1-3)$$

여기서 ν 는 포아송비이고 E 는 영율을 나타낸다. 이는 해머 선단의 재질 또는 시편에 충격량을 전달하는 재질과 충격량이 전달되는 시험편 또는 시험편 표면의 성질에 따라서 반발 정도가 크게 영향을 받는다는 것을 의미한다.

해머 선단의 표면이 구면에 가깝고 매끄러운 것을 이용하는 것이 눈금의 보편성과 안정성을 위하여 좋다. 선단의 반경이 증가함에 따라서 경도값은 크게 증가되어 측정되는 경향을 보인다. 이는 시험편에 충격량을 전달하는 재료의 형상, 즉 그 선단의 손상여부나 시험편에 접촉면적에 따라서 경도가 크게 다르게 측정될 수 있음을 나타낸다.

재료가 받는 하중 또는 압축력에 따른 저항력을 측정하는 압축시험을 수

행할 때 하중이 증가함에 따라서 탄성변형을 거쳐 영구변형이 일어나기 시작하는 항복점을 지나 파괴된다. 이때 파괴되는 순간의 하중을 초기 단면적으로 환산한 응력을 압축강도라고 정의하며 식(3-2-1-4)로 표현된다.

$$\sigma_c = \frac{N_{brk}}{A_0} \quad (3-2-1-4)$$

여기서 σ_c 는 압축강도, N_{brk} 는 파괴시 하중, A_0 는 초기 시편 단면적이다.

나. 반발 해머의 구조와 사용법

콘크리트의 압축강도를 측정을 위하여 이용되고 있는 대표적인 비파괴점사기술로서 초음파 펄스 속도 측정법과 더불어 반발 경도법이 이용되고 있다. 통상 슈미트 해머라 불리우는 반발 해머를 이용한 콘크리트의 강도 측정 기술에 대하여 여러 나라의 표준 규격과 국제적인 협의체의 규준에 기술되어 있다. 상용으로 나와 있는 여러 종류의 반발 해머들 중 슈미트 해머가 가장 널리 사용되고 있고 신뢰할 만한 것으로 인정되고 있고 측정 대상 재료의 강도와 크기에 따라서 여러 타입의 반발 해머가 사용된다. 반발 해머를 이용하면 콘크리트 표면으로부터 약 30 mm 깊이까지의 표면 경도를 측정하게되는데 이로부터 통계적인 관계식이나 실험 데이터를 이용하여 콘크리트의 압축강도를 추정한다.

여기서는 반발 해머를 이용한 강도를 측정하는 방법을 설명한다. 반발 해머의 구조와 경도 측정 원리, 사용 방법에 대하여 요약 기술하였다.

1940년 말경에 스위스의 공학자 Ernst Schmidt는 실용적인 반발 해머를 최초로 개발하였으며 현대의 모든 반발 해머는 이 기술에 근거한다. Fig.

4-3-1은 전형적인 콘크리트 시험용 N형 반발 해머의 구조를 보이고 있다. 해머의 무게는 약 2 kg이며 충격 에너지는 약 2.2 Nm(0.225 kgm)이다. 핵심적인 부품은 스프링으로 구동되는 해머 매스(14의 hammer mass)와 콘크리트에 충격을 전달하는 공이쇠(1의 impact plunger) 그리고 일정한 힘으로 같은 충격량을 발생하도록 설계된 스프링(12와 16의 compression spring과 retaining spring) 그리고 반발된 높이를 나타내 보이는 눈금이 그려진 창(19의 window)이다.

동작 원리와 사용법은 다음과 같다.

- 1) 공이쇠(1) 머리를 가볍게 누르면 틀(3의 housing) 안에 들어있는 부분이 스프링(16)의 힘을 받아 밖으로 길게 나온다.
- 2) 공이쇠(1)를 시험하려는 콘크리트의 표면(2)을 향해 서서히 눌러 틀(3) 안으로 완전히 사라지기 직전, 스프링(16)이 최대로 늘어난 상태에서 자동으로 이완되어 해머 매스(14)는 달고 스프링(16)이 수축하는 힘에 의하여 가이드 막대를 타고 공이쇠(1)에 충격을 가한다. 이 충격이 공이쇠(1)를 통하여 콘크리트 표면(2)에 전달된다. 충격을 가하는 순간에 반발 해머는 콘크리트 표면(2)에 수직이 되도록 해야하며 고정 단추(6)를 누르지 않도록 유의해야 한다.
- 3) 충격 후에 해머 매스(14)는 콘크리트의 표면 반발력을 공이쇠(1)로부터 전달받아 되튀어 오르면서 라이더(4의 rider)를 동반하여 상승하게 된다. 이때 라이더의 최대 높이를 백분율로 나타낸 숫자가 반발 수치(rebound number)라 하는데 스프링과 해머 매스에 의해 가해지는 에너지와 관계한다. 반발 수치를 알기 위하여 콘크리트 표면(2)에 누른 채로 라이더(4)가 나타내는 눈금을 보거나 또는 그 상태에서 고정 단추(6)를 눌러 라이더(4)를 최대 위치에서 고정시켜 숫자를 읽는다. 고정 단추(6)를 누르면 공이쇠(1)도 틀 안 쪽에서 고정된다. 또는 부착된 종이에 결과가 기록되

는 NR형이나 디지털로 수치가 나타내도록 되있는 반발 해머도 있다.

- 4) 고정단추를 누르지 않고 반발 해머를 콘크리트 표면으로부터 제거하면 해머의 공이쇠는 다시 돌출하여 리셋(reset)되고 기록되는 장치가 없는 경우 라이더(4)는 원위치하여 라이더가 지시하는 위치를 잃게된다. 그러

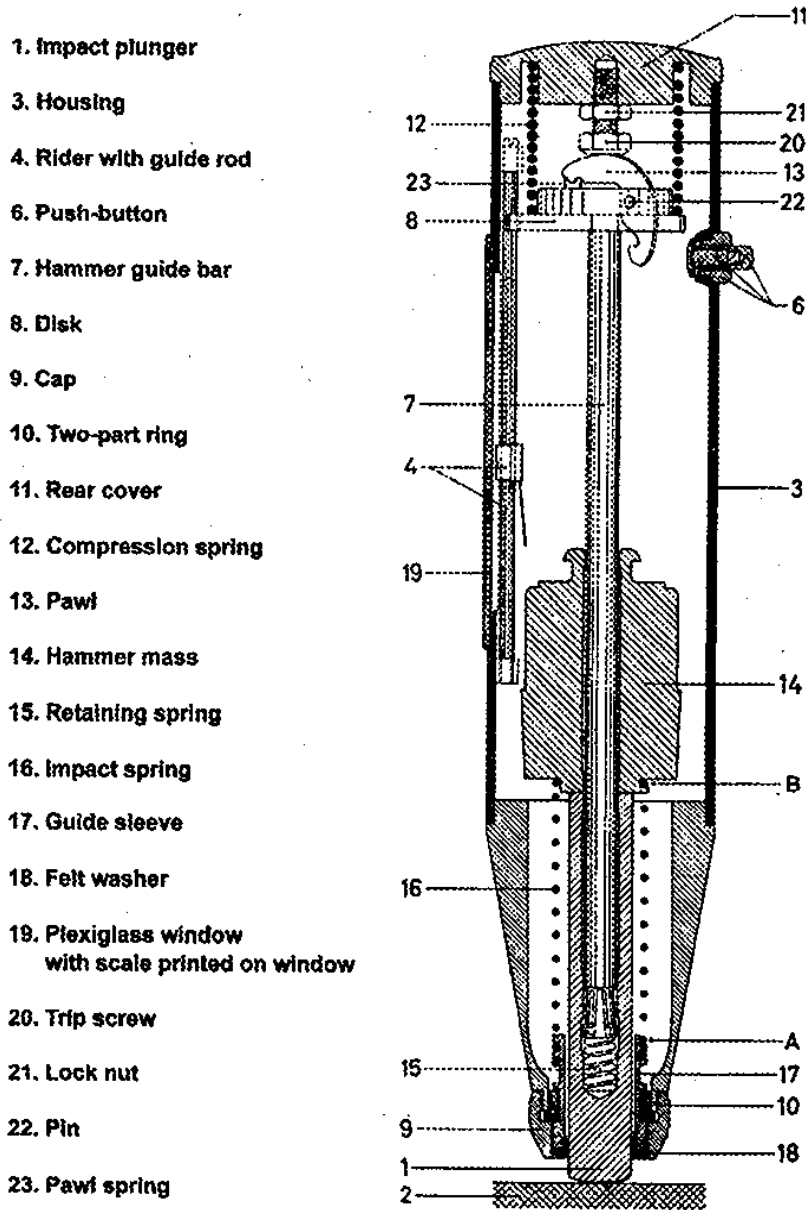


Fig. 3-2-1-1. Longitudinal section of the type N rebound hammer(Schmidt hammer).

나 기록장치가 있는 경우는 이어서 다른 측정을 계속하게 된다.

5) 측정을 마친 후에는 공이쇠(1)을 가이드 막대(7)와 가이드 판(8)과 함께 고정 단추(6)를 눌러 고정시켜 보관한다.

6) 측정 각도에 따른 보정

반발 해머의 반발 수치는 시험체에 수평으로 타격을 가했을 때를 기준으로 한다. 기울어진 각도로 측정하였을 때는 중력과 마찰계수 등의 영향으로 다른 값의 반발계수를 얻게된다. 따라서 이에 대한 조정이 요구된다. 제작사 별로 타격 각도 ± 90 도나 ± 45 도 등의 여러 각도에 대한 보정 수치를 표나 그래프로 제시하고 있다. 보정되는 값은 제작된 반발 해머에 따라서 차이가 있다.

다. 반발해머의 종류 및 규격

반발 해머는 스위스의 Proceq사와 미국 James Instrument사 일본의 가메 쿠라사의 것 등 여러 곳에서 제작된다. 여기서는 Proceq사의 Schmidt 해머의 규격을 나타내었다.

- ① N(NR) 형 : N 형은 충격 에너지(impact energy)가 2.207 Nm(0.225 kgm)으로 일반적인 빌딩, 다리 등의 구조물의 콘크리트 검사에 사용된다. NR 형은 N 형에 기록장치가 부착되어 있다. 강도의 측정범위는 10~70 N/mm²이다.
- ② L(LR, LB) 형 : L 형은 N 형 해머를 작게 제작한 것으로 충격 에너지는 0.735 Nm(0.075 kgm)으로 작거나 충격에 민감한 부분을 지닌 콘크리트나 인조석 검사에 사용된다. LR은 L 형에 기록장치가 부착되어 있다. LB 형은 진흙을 구운 재료나 타일의 특성을 연속적으로 제어할 때 유용하다. 측정범위는 10~70 N/mm²이다.
- ③ M 형 : 충격 에너지가 29.43 Nm(3 kgm)으로 부피가 매스 콘크리트나

콘크리트 포장도로나 활주로의 검사에 사용되며 굵은 골재 $\phi 32$ mm 이상에 적용된다.

- ④ P, PT, PM 형 : P 형은 진자형의 해머로서 충격 에너지가 0.883 Nm(0.09 kgm)이고 강도의 측정범위는 5에서 25 N/mm²이며 부피가 큰 콘크리트나 콘크리트 포장도로나 활주로의 검사에 사용된다. 가벼운 건물 재료나 석고면과 같이 표면 경도 및 강도가 작은 재료에 사용한다. PT 형은 P 형과 같은 충격에너지로 타격을 가하지만 콘크리트와 접촉하는 공이쇠의 면이 더 넓게 제작되어 압축강도가 극단적으로 낮은 경우에 사용되는데 측정범위는 0.5에서 5 N/mm²이다. PM 형은 모르타르 면 등에 사용한다.
- ⑤ 기타 사항 : DIGI 형 ; 측정값의 저장, 인쇄, 자동적인 평균치 환산, 자동 온도 보정, 자동 타격각도 보정 기능 등을 포함하고 있다. 강도의 측정범위는 10~70 N/mm²이다.

라. 반발 해머를 사용한 표면경도측정 국제표준 및 규준

여러 나라에서 반발 해머를 이용한 표면 경도법에 의하여 콘크리트의 압축강도 등의 특성을 측정하는 표준과 규격을 정해 놓고 있다. 영국의 BS(British standard) 규격, BS 1881: Part 201(1986), BS 1881: Part 202(1986), BS 6089(1981)과 미국의 ASTM 표준 C 805-94(1985), 일본의 건축학회의 '콘크리트 강도 추정을 위한 비파괴 시험방법 매뉴얼(1983)'과 재료학회의 '슈미트 해머에 의한 콘크리트 압축강도 판정방법 지침(안)'과 국제적인 기관인 RILEM(international union of testing and research laboratory for materials and structures)에서 채택된 규격(1975), 독일의 Deutsches institute für normung E.V. 규격인 DIN 1048: Part 2(1976) 등이 있으며 KS(한국 공업) 규격은 아직 확립되어 있지 않다. Table 3-4-4는 콘크리트 공학 협회에서 몇 가지 규격들을 비교한 것(콘크리트 공학 제27권 제3호, 1989. 3)을 참고하도록 나타내었다.

표면 경도법에 대해서는 어떠한 나라의 규격과 규준도 반발 해머(슈미트 해머)를 이용한 기술에 대해서만 규정하고 있으며 기타의 기기를 사용하는 경우에 대해서는 규정하고 있지 않다. 그러나 이 방법은 콘크리트의 강도를 예측하는 정밀도에 문제가 있으며 여러 가지의 제한이 있다. 예를 들면 ASTM에서는 이것은 콘크리트 강도를 결정하는 대체수단은 아니고, 콘크리트 품질의 균질성 판정수단 또는 부재의 품질 비교의 수단이라고 하고 있다. 일본 건축학회나 RILEM의 규준이라도 이것은 콘크리트 강도추정 보조수단이라고 하고 있다. 또한 BSI 및 DIN의 규준에서는 콘크리트 강도의 추정수단이라고 되어 있지만, 콘크리트 코어의 표면 경도와 강도와의 관계를 구하고 나서 구조물의 콘크리트 강도를 추정하도록 규정되어 있다.

또 표면 경도법과 병행하여 콘크리트의 강도 예측의 신뢰도를 향상시키기 위한 비파괴 기술로서 초음파 전파속도를 측정하는 초음파법이 있다. 이 기술도 여러 나라에서 표준과 규준에 정하고 있는데 이 방법도 콘크리트의 강도와의 직접적인 관계는 적고 오차도 큰 것으로 되었다. 때문에 초음파법은 콘크리트 강도를 결정하는 다른 수단이 없을 때 사용해야 할 기술로 되어 있다. ASTM에서는 이것이 명시되어 있고, 또 일본 건축학회 및 BSI의 규정에서도 강도 추정을 위한 보조수단 또는 코어 콘크리트의 음속과 강도의 관계를 구하고 나서 사용하도록 규정되어 있다.

대체로 반발 해머를 이용한 표면 경도 측정법과 초음파 속도법을 병용하는 복합법(또는 조합법)에 의하여 강도를 예측의 신뢰도가 향상되는 것으로 인정되고 있으며 일본 건축 학회에 복합법의 규정이 있다. 그럼에도 이 기술도 콘크리트 강도를 결정하는 대체하는 수단으로 인정되지는 않고 있으며 강도를 예측하기 위해서는 코어시험 결과에 기초한 강도 추정을 위한 검토를 사전에 수행하도록 규정하고 있다.

Table 3-2-1-1. Comparison of foreign standards for the surface hardness method using a rebound hammer.

명칭	반발 경도법(슈미트 해머법)	Rebound number of hardened concrete
발행	콘크리트 강도 추정을 위한 비파괴 시험 방법 매뉴얼(1983)	ASTM C805 (1985)
기관	일본건축학회	ASTM
목적 및 적용 범위	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트 공사에서의 콘크리트 강도의 관리, 기설 구조물의 콘크리트 강도의 추정의 보조수단 · 압축강도가 100~600 kgf/cm²의 건축 구조물용 콘크리트에 적용. 	<ul style="list-style-type: none"> · 기설 콘크리트의 품질의 균질성의 판정의 수단 · 각 부재 사이의 품질의 비교의 수단 · 콘크리트 강도를 결정하는 대체수단은 아니다.
사용 기기	슈미트 해머 N, L, P, M 형	슈미트 해머의 규정은 특별히 없다.
측정 대상	<ul style="list-style-type: none"> · 두께가 10cm 이상의 구조체 · 보, 기둥 등의 우각부에서 적어도 3~6 cm 떨어진 곳 · 평평한 콘크리트 표면 	<ul style="list-style-type: none"> · 두께가 10 cm 이상의 구조체 · 평평한 콘크리트 표면
강도 추정	<ul style="list-style-type: none"> · 품질관리를 목적으로 한 구조체 콘크리트, 강도를 추정하려고 하는 콘크리트와 동일한 조합을 포함하는 3 종류의 조합의 콘크리트 공시체를 작게 하고 이것들의 반발경도와 강도의 관계를 구하여 이것에서 추정한다. · 기설 콘크리트 구조물의 일부에서 채취한 콘크리트 코어의 반발 경도와 강도에서 추정한다. · 공시체의 경우는 $\varnothing 15 \times 30$ cm 이상의 원주 공시체를 사용하여 약 25 kgf/cm²의 응력에서 압축하여 시험을 할 필요가 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 목적 및 적용의 범위에서 설명하고 있는 것과 같이 이 시험에 의해 콘크리트강도의 추정은 할 수가 없다.

Table 3-2-1-2. Continued from the table 3-4-4.

명칭	Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer	Compressive strength of concrete in structures and members	Testing concrete by hardness methods
발행	BS 1881 : Part 202(1984)	DIN 1048 : Teil 2(1976)	(1975)
기관	BSI	DIN	RILEM
목적 및 적용 범위	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트 품질의 균질성 판정 수단 · 나무리에 직접 영향이 있는 바닥 등의 콘크리트 표면의 품질의 균질성의 판정의 수단 · 구조물의 콘크리트 강도의 추정수단 	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트의 품질의 균질성의 판정 수단 · 구조물의 콘크리트 강도의 추정 수단 	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트의 품질의 균질성의 판정 수단 · 콘크리트의 파괴 시험에 대신하는 것은 아니지만 콘크리트 강도 추정의 보조적 수단
측정 기기	슈미트 해머형의 규정은 특별히 없다	슈미트 해머 N형	슈미트 해머 N, L, P, M 형
측정 대상	<ul style="list-style-type: none"> · 보, 벽, 슬래브 등 두께가 10 cm 이상 · 평평한 콘크리트 표면 	<ul style="list-style-type: none"> · 두께 12 cm 이하의 슬래브 등은 지주나 보 부근 · 평평한 콘크리트 표면 	<ul style="list-style-type: none"> · 보, 벽, 슬래브 등, 두께가 10 cm 이상 · 평평한 콘크리트 표면
강도 추정	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트 코아의 반발경도와 강도의 관계를 구하여 구조물의 콘크리트의 강도를 추정한다. 이 경우 15 cm 입방의 공시체를 대상으로 하고 70~100 kgf/cm²의 응력으로 압축하여 시험을 할 필요가 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트 코아의 반발경도와 강도의 관계를 구하고 구조물의 콘크리트의 강도를 추정한다. 이 경우 20 cm 입방의 공시체를 대상으로 하고 약 25 kgf/cm²의 응력으로 압축하여 시험을 할 필요가 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 적어도 20 종류의 적당한 강도의 범위를 가진 15 cm 입방의 공시체로 반발경도와 강도의 관계를 구해둔다. 이 관계식을 사용하여 강도의 추정을 한다.

마. 반발 해머의 응용

반발 해머를 이용한 표면 경도측정법의 응용은 다음의 크게 네 가지 분야로 압축된다.

- 콘크리트의 균질성(uniformity)의 검사
- 특정한 요구조건을 지닌 콘크리트의 비교
- 강도의 대략적인 예측
- 마찰저항의 분류

응용분야가 무엇이든지 측정결과에 영향을 주는 요소들이 영향을 준다는 것과 그 요소들이 표준화되어야 한다는 것이다. 또 결과는 콘크리트의 30 mm 정도의 표면층의 성질에만 관계한다는 것이다. 다른 한계는 반발 해머를 이용한 표면 경도법은 낮은 강도를 지닌 막 제작된 짧은 재령의 콘크리트 시편의 측정에는 적용하기 어려운데 이는 반발수치는 너무 낮아서 측정치의 신뢰도가 떨어지고 측정시 시편에 손상을 줄 수 있기 때문이다. 따라서 표면 경도법은 강도가 10 N/mm^2 이하이거나 특별히 강도가 크지 않은 경우 재령이 7일 이하인 경우에는 추천되지 않는다.

1) 콘크리트의 균질성의 검사 : 표면 경도 측정법의 가장 중요하고 신뢰할만한 응용은 측정결과를 콘크리트의 다른 성질로 변환시키려하지 않는 곳에 있다. 표면 경도 측정법은 콘크리트를 시험하는 다른 어떤 시험방법보다도 재현성이 높다는 것이 알려져 있다. 비록 이 기술이 내부의 기밀성(compaction)의 결여를 검출하지는 못하지만 전체적인 성질의 변화와 부적합한 혼합과 분리에 의한 성질의 변화에 민감하다.

2) 특정한 요구조건을 지닌 콘크리트의 비교 : 건물의 부재를 미리 제작하는 산업에서 특히 유용한 기술로서 특정 조건을 만족하는 콘크리트를 사용하여 최소한의 경도값을 교정할 수 있다. 예로 운반할 콘크리트 부재의 표면 경도가 측정을 수행하고 하중시험에 근거하여 설정된 교정 기준을 통

하여 품질의 불량 유무를 판단하는데 사용할 수 있다.

3) 대략적인 강도 예측 : 표면 경도를 이용하여 강도를 예측하는 요구는 빈번하지만 그 결과의 신뢰성이 가장 적은 분야 중에 하나이고 또 대부분 남용되고 있는 것이 현실이다. 측정의 정확도는 교정시 고려되지 않은 여러 가지 영향을 주는 인자들의 제거에 달려있다. 앞의 언급과 같이 실험실적인 조건에서도 $\pm 15\%$ 이하의 정확도로 압축강도를 예측하는 것은 어렵고 여러 가지 요소에 대한 지식이 불확실한 현장 콘크리트의 강도 $\pm 25\%$ 이하의 정확도로 예측하기 어렵다.

따라서 초음파법과 같은 다른 방법과 병행하여 측정함으로써 어느 정도의 신뢰성을 향상을 기대할 수는 있지만 특별한 교정 절차가 준비되지 않았다면 현장에 있는 콘크리트를 표면 경도법으로 검사하여 강도를 예측하는 것은 시도되지 않아야 하며 또 교정절차가 준비되었다고 하더라도 이 방법 하나만으로 강도를 예측하는 것은 추천할만하지 못하다.

4) 마찰저항의 분류 : 마찰저항은 주로 표면 경도의 영향을 받는데 반발 수치로 이러한 성질을 분류할 수 있다는 보고가 있다.

바. 반발경도와 콘크리트 강도에 영향을 주는 요소

콘크리트의 30 mm 깊이 이하의 표면의 경도를 측정된 반발수치와 입방체나 원주형의 콘크리트나 콘크리트 구조물의 압축강도와 상관 관계는 간단한 이론식으로 평가되지 않는다. 콘크리트의 반발 수치에 영향을 주는 인자는 앞에서 언급하였듯이 반발 해머 자체의 구조 또는 특성에 영향을 받지만 콘크리트의 표면 상태와 환경, 배합비 등의 많은 요소에 의하여 영향을 받는다. 반발 해머로부터 콘크리트 표면에 가해진 에너지는 콘크리트의 부분적인 부취짐과 콘크리트를 구성하는 성분들의 탄성의 함수인 내부마찰에 의하여 손실되는데 특히 내부마찰의 영향은 콘크리트의 압축강도를 이론적

으로 평가하는 것을 극단적으로 어렵게 만든다. 여기서는 반발 수치와 압축 강도에 영향을 주는 요소에 대하여 기술하였다.

1) 혼합 특성(mix characteristics)

가) 시멘트의 종류 : Portland 시멘트의 편차와 콘크리트 강도와와의 상관성은 10 % 이하로 크지 않다. 그러나 초황산 시멘트(super-sulphated cement)는 Portland 시멘트에 의한 강도보다 50 % 낮으며 알루미나 시멘트의 강도는 100 % 높다.

나) 시멘트의 양 : 시멘트의 양의 변화가 표면 경도에 미치는 영향은 작다. 시멘트의 양이 증가함에 따라서 강도에 상대적인 표면 경도는 강도, 가동성(workability), 골재와 시멘트 비가 종합적인 영향에 의하여 감소하게 된다. 그러나 측정 강도에서 오차는 10 % 미만이다.

다) 골재 : 강도는 페이스트(paste)와 골재의 특성에 의하여 주로 영향을 받기 때문에 골재의 종류와 비율의 영향은 상당히 크다. 반발수치는 경화된 페이스트에 더 영향을 받는다. 분쇄한 석회석을 사용한 콘크리트의 반발수치는 비슷한 강도의 자갈을 사용한 콘크리트보다 반발수치가 7정도 낮게 측정되는데 이는 전형적으로 $6\sim 7 \text{ N/mm}^2$ 의 차이에 해당한다. Fig. 3-4-1-2는 골재의 품질에 따른 강도의 차이를 보여주고 있다.

2) 기타 구재(構材) 특성(member characteristics)

가) 질량 : 시험되는 콘크리트 시편이나 구조물의 유효질량은 충분히 커야 반발수치의 감소를 유발할 수 있는 반발해머의 충격에 의한 진동과 이동을 방지할 수 있다. 교정시편의 질량은 무거운 시험기에 잘 고정시킴으로 효과적으로 증가시킬 수 있다.

나) 다지기(compaction) : 매끄럽고 잘 다져진 표면이 요구된다. 내부의 불량한 다지기의 영향에 의하여 강도가 변화될 수 있으며 모든 교정은 완전한 다지기를 전제로 한다.

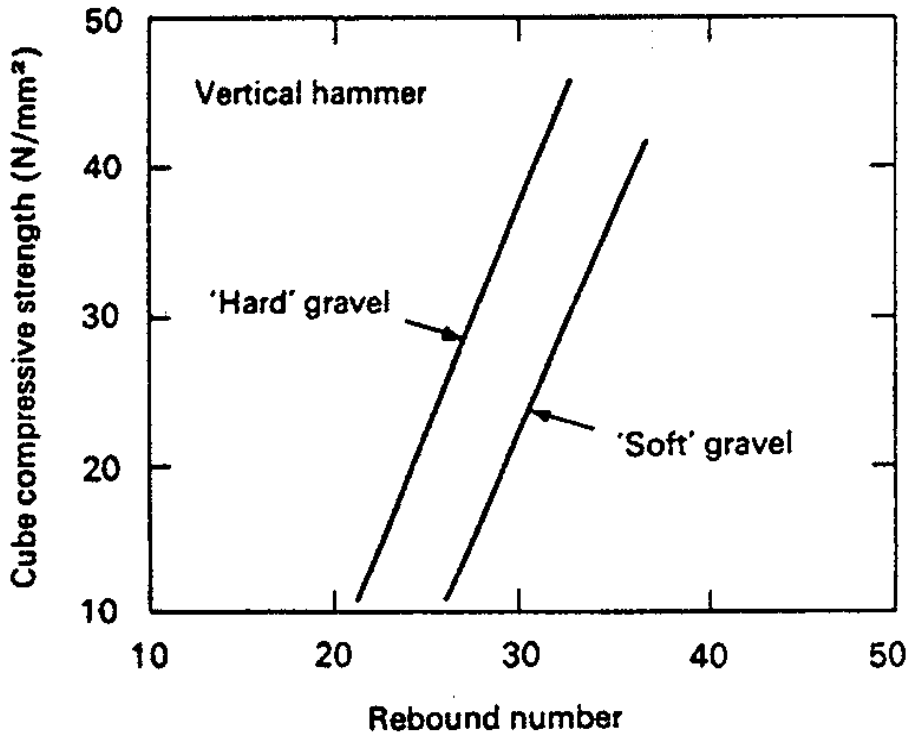


Fig. 3-2-1-2. Comparison of hard and soft gravels.

다) 표면의 타입 : 표면 경도 측정법은 골재가 노출된 표면이나 집합 조적이 드러난 표면의 검사에는 적합하지 못하다. 흠손질한 표면이나 그냥 뿌려진 표면은 틀에 부어만들어진 표면에 비하여 표면 경도가 크므로 강도가 실제보다 크게 예측될 수 있다. 교정시편은 보통 흡수가 없고 매끄러운 표면을 지닌 강재의 거푸집(mold)를 사용한다.

라) 재령, 경화율과 경화시 환경 : 콘크리트의 강도 자체 그리고 강도와 표면 경도의 비는 표면의 콘크리트가 초기에 부어진 후부터 시간과 경화된 정도에 따라서 경화가 진행될 때 환경에 따라서 영향을 받는다. 3 개월 미만의 경우 강도 값과 경도와 강도의 관계는 시간에 따라서 크게 영향을 받으며 습도와 같은 주위의 환경에 의하여 크게 영향받는다. 실재적인 목적을 위해서는 3 개월 미만의 재령은 중요치 않을 수 있다.

마) 표면의 탄화(carbonation) : 대기 중에 노출된 콘크리트는 보통 딱딱한 탄화표면을 지닌다. 탄화표면의 두께는 환경과 재령에 의존하는데 3개월 이전에는 무시할 수 있지만 오래된 콘크리트는 그 두께가 20 mm를 넘을 수도 있다. 자갈을 사용한 콘크리트를 도심의 대기에 6개월 방치할 경우 약 4 mm의 두께의 탄화표면이 형성되어 강도와 표면 경도와 상관관계에 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 극단적인 경우 탄화의 영향으로 콘크리트 강도가 50 %까지 더 크게 예측될 수도 있다. 따라서 탄화가 표면경도에 크게 영향을 주는 경우에는 콘크리트 표면층이 콘크리트를 대표할 수 없게된다.

바) 습기 : 콘크리트 표면의 경도는 습할 때가 건조시보다 낮게됨으로 반발수치와 강도와의 관계도 영향을 받게된다. Fig. 3-4-1-3에 나타내진 결과는 미군(27)에 의하여 측정된 것으로 습기의 영향으로 강도가 20 %가량 작게 예측될 수 있음을 보이고 있다. 야외에서 실험할 때 보통 건조한 상태에서의 측정을 기준으로 하지만 콘크리트 내부의 습기가 강도에 미치는 영향은 간과되어서는 안된다.

사) 응력과 온도 : 응력과 온도가 표면 경도에 미치는 영향은 보통의 실제적인 상황에서 다른 요인에 비하여 상대적으로 작다. 그러나 온도의 극단에서 반발 해머가 사용된다면 특별한 주의가 요구된다.

3) 반발 해머를 이용한 측정 결과의 해석

측정된 반발수치나 표면 경도의 해석은 앞에서 설명된 측정에 영향을 주는 인자들의 표준화된 정도에 대한 지식과 관계한다. 또 이는 상태적인 특성의 변화를 알고자 하는가 아니면 강도를 예측하고자 하는가에 따라 다르다. Fig. 3-4-1-4는 이상적인 실험실적인 조건에서 만들어진 강도 교정을 위한 결과를 보여주고 있는데 특정 반발수치에 대한 압축강도의 오차는 동일한 콘크리트에 대해서도 $\pm 15\%$ 임을 나타내고 있다. 그러나 현장에서 측

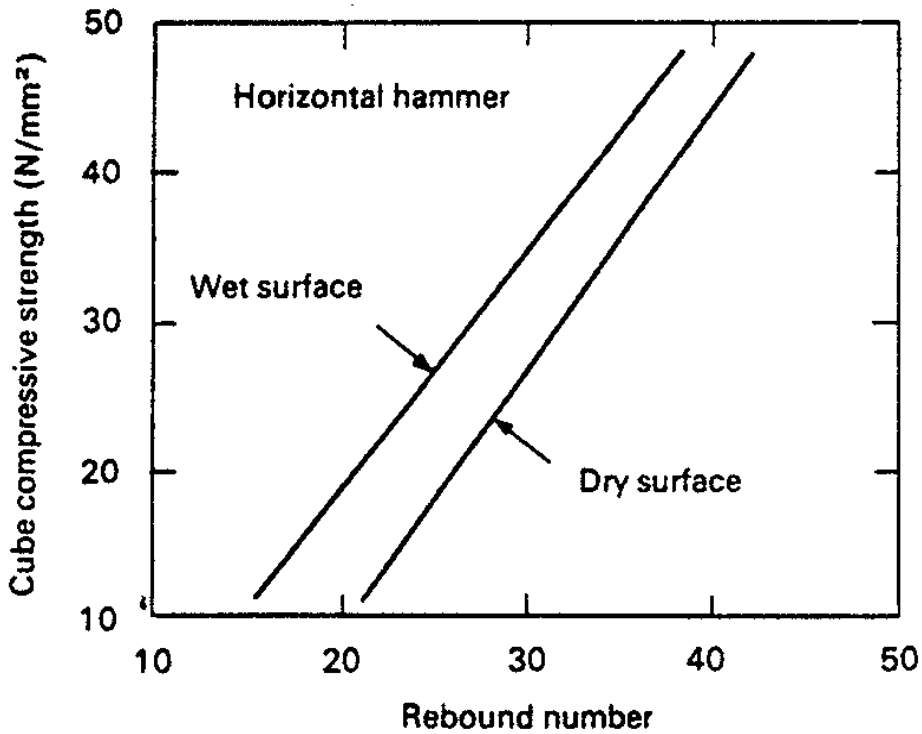


Fig. 3-2-1-3. Influence of surface moisture condition.

정 결과는 여러 가지 요소에 대한 불확실한 지식으로 인하여 $\pm 25\%$ 보다 나은 정확성으로 강도를 예측하는 것이 어렵다. 또 강도예측이 아니라고 하더라도 반발수치 자체가 동일한 콘크리트에 대해서도 상당한 편차로 분포하여 측정될 것을 나타내고 있다. 따라서 믿을만한 한계치는 다른 시험기술과 병행하여 수행함으로 결정될 수 있다. 10번 이상의 반복 측정을 수행할 때 반발수치의 평균값의 정확도는 95%의 신뢰구간에서 $\pm 15/\sqrt{n}\%$ 로 측정됨으로 반복측정이 요구된다.

결과를 해석하기 위하여 구조물 안에서 측정된 위치가 중요하지만 기본적으로 반발 경도는 콘크리트 표면으로부터 약 30 mm 깊이까지의 표면의 성질만을 관계한다는 것을 유의해야한다. 측정결과는 콘크리트 내부의 성질과는 관계가 없고 게다가 3개월이 지난 콘크리트에 콘크리트의 노령화와 표

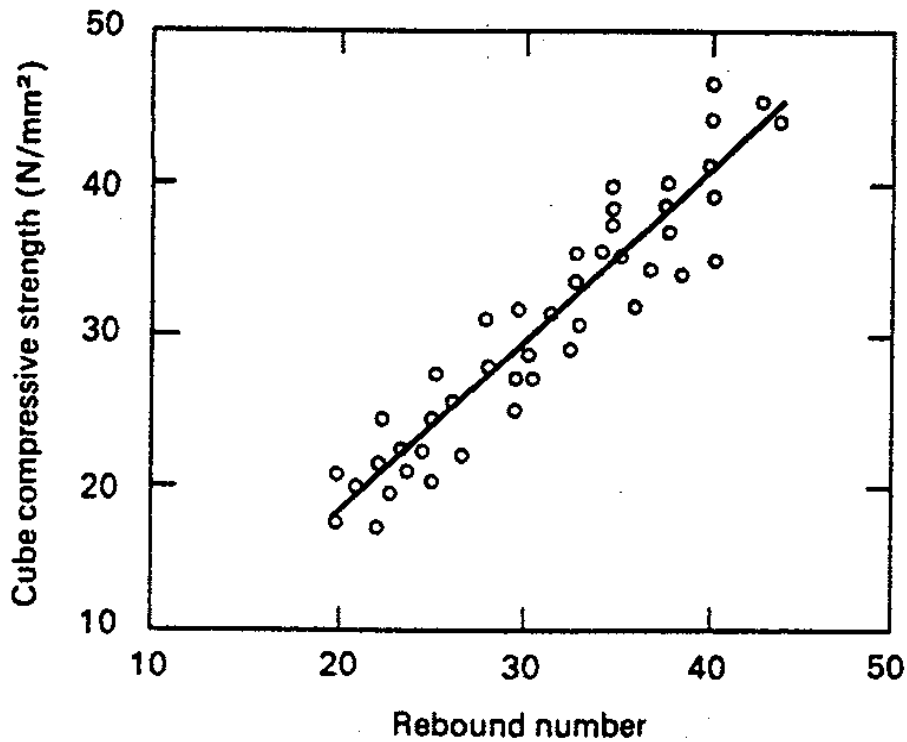


Fig. 3-2-1-4. Typical rebound number/compressive strength calibration chart.

면의 탄화에 대한 특별한 고려가 없는 측정 결과는 신뢰성이 없다.

반발 수치로 측정하려는 일반적인 주된 관심은 콘크리트의 압축강도이다. 그러나 더 큰 오차범위를 나타내지만 유사한 관계가 휨강도의 측정에도 확립될 수 있다. 특정한 혼합 특성에서 제작된 콘크리트를 제외하고는 반발수치와 탄성률(elastic modulus)과의 관계는 설정되고 있지 않다.

사. 반발 해머의 교정계 구성과 교정절차 확립

반발 해머의 측정값이 참 값으로 신뢰되기 위해서는 해머의 교정이 먼저 선행되어야 한다. 각국의 표준에서는 반발 해머의 규칙적인 교정을 특별한 재료와 규격으로 공급되고 있는 테스트 엔빌(test anvil) 등을 이용하여 수행할 것을 요구하고 있다. 교정 블록은 크게 수직의 가이드를 갖는 일반적인 것과 전자형 해머를 위한 두 가지 종류로 구분할 수 있다. 교정 블록의 재료는 미국의 경우 ASTM 표준에는 고탄소강을 사용하여 Rockwell 강도 65-67 C로 경화시킨 부분을 지닌 직경 6인치의 블록을 이용할 것을 명시하고 있기도 하다. 그러나 대부분의 국가에서는 재료와 크기를 명시하고 있지는 않으며 반발 해머의 제작회사별로 재료와 크기에서 편차를 두고 경도값과 오차를 제시하며 교정 블록을 제공하고 있다.

Fig. 3-2-1-5는 본 연구에서 여러 종류의 반발해머의 교정체계 확립을 위하여 구입한 테스트 엔빌들을 보여주고 있다. Fig. 3-2-1-5a는 Proceq사의 P형 반발해머 교정용 테스트 엔빌이고 b는 N형과 L형의 반발해머 교정용, c는 James Instruments사의 반발해머용이며 d는 가메쿠라사의 반발해머 교정용 테스트 엔빌이다. Table 3-2-1-3에 Proceq사의 Schmidt 해머와 테스트 엔빌에 대하여 기준되는 반발 수치와 오차범위를 정리하여 나타내었다.

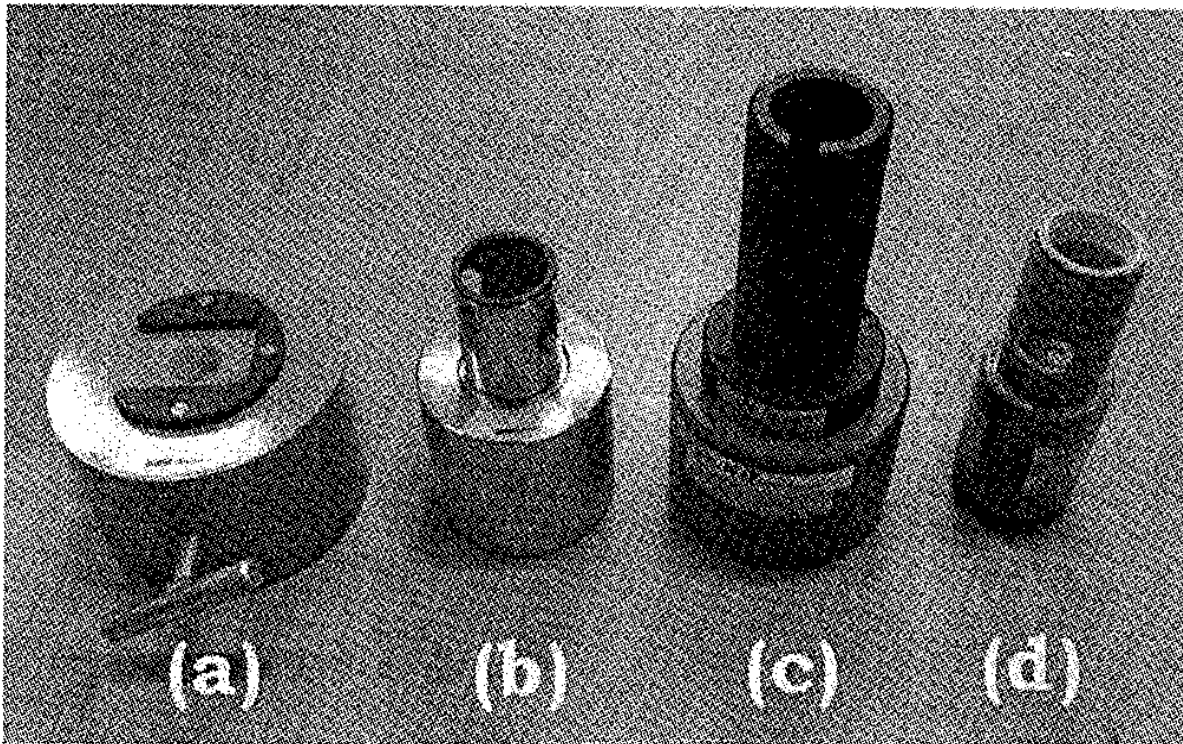


Fig. 3-2-1-5 Several kinds of test anvils of (a) Schmidt type I, (b) Schmidt type II, (c) James Instruments and (d) Kamekura Seiki.

Table 3-2-1-2. Calibration values corresponding to rebound hammers and test anvils.

Test evil	Rebound hammer	Rebound number and deviation
Schmidt type I	Schmidt P or PT	177 ± 3
	Schmidt PM	185 ± 3
Schmidt type II	Schmidt DIGI ND	80 ± 3
	Schmidt N or NR	80 ± 3
	Schmidt L or LR	75 ± 3

Fig. 3-2-1-6은 수직의 가이드를 갖는 교정 블록에 반발 해머가 꽂혀있는 모양을 나타내고 있다. 반발 해머의 교정 절차는 다음과 같다.

- 1) 교정블록은 단단하고 평평한 표면(예: 돌, 콘크리트, 강 등) 위에 놓여져야 한다. 그렇지 않으면 측정시 바닥면의 강도의 영향을 받거나 진동 등의 영향으로 오차가 발생한다.
- 2) 반발해머의 공이쇠 표면과 교정 블록과 공이쇠가 접하는 표면은 깨끗이 청소되어야 한다. 그렇지 않으면 낮은 값이 나올 수 있다.
- 3) 교정블록의 가이드를 따라 수직으로 반발 해머를 눌러 반발 수치를 읽고 교정 편차 내에 드는지 확인한다.
- 4) 교정 블록으로 측정된 반발 수치가 약간의 차이로 오차범위를 벗어난 경우에는 Fig. 3-2-1-1의 반발해머의 뒤 뚜껑(11)을 풀고 너트(21)를 느슨하게 한 뒤 나사(20)를 조절하는데 나사를 조이게 되면(앞 방향으로) 반발 수치가 증가하게 되고 뒤로 풀리면 수치가 낮아지게 조절할 수 있다. 그러나 한계를 넘어서면 제작사에 다시 보내 수리하거나 새로 구입하여야 한다.

만약 교정 블록에서 측정된 반발 수치 R_a 가 기준 값 R_o 로부터 오차 범위를 약간 벗어난 반발 해머를 사용하여 강도를 측정하고자 할 경우에는 다음 식을 사용하여 반발수치 R 을 정할 수도 있다.

$$R = \frac{\sum r}{n} \cdot \frac{R_o}{R_a} \quad (3-2-1-5)$$

여기서 n 은 측정 횟수, r 은 측정된 반발 수치를 나타낸다.

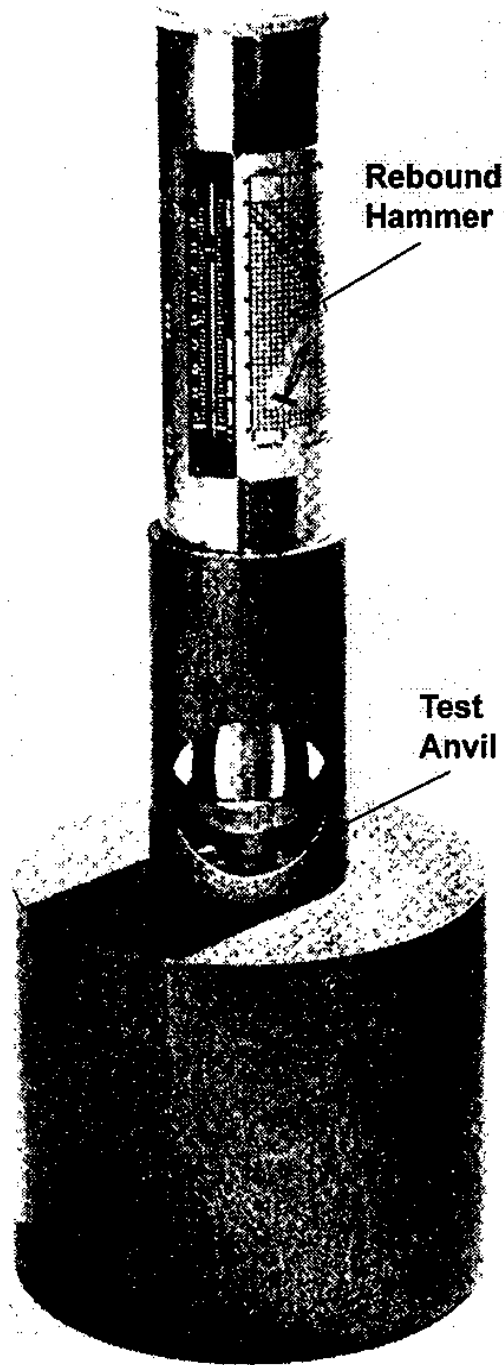


Fig. 3-2-1-6. A test anvil with a rebound hammer supported upright in the guide tube.

아. 결론

반발해머를 사용한 표면경도법에 의하여 콘크리트의 강도 등의 특성측정 시 바른 측정기술 및 교정체계 확립을 목적으로 연구를 수행하였다. 경도와 강도의 개념 정의하였고, 반발해머의 구조와 사용법, 종류 및 규격을 정리하였다. 반발해머의 용도와 사용범위에 및 방법에 대한 국제적인 표준과 규준을 정리·기술하였으며 반발수치 및 콘크리트 특성에 영향을 주는 요소와 유의사항을 정리하였다. 또한 반발해머의 바른 사용을 위하여 요구되는 핵심요건인 교정체계를 확립을 위하여 여러 종류의 테스트 엔빌로 구성된 교정계를 구성하였고 교정절차를 확립하였다.

반발해머를 이용한 표면경도법은 콘크리트의 균질성의 검사, 특정한 요구조건을 지닌 콘크리트의 비교, 강도의 대략적인 예측, 마찰저항의 분류 등에 적용될 수 있는 기술이다. 저 비용으로 빠른 측정이 가능하고 다른 검사 전에 효과적인 사전 검사에 이용되며 측정결과가 보통 보강용 강철봉의 영향을 크게 받지 않는 장점이 있다. 그러나 측정 결과가 콘크리트 구조물의 30 mm 깊이 이하의 표면층의 성질에만 관계하여 검사체 전체의 특성을 대표하는데 한계가 있으며 많은 다른 인자 즉 콘크리트의 종류, 표면의 습도, 탄화도, 측정 방향, 측정중 콘크리트의 운동, 측정기기의 특성 등의 영향을 받아서 측정의 신뢰가 낮으며 약한 콘크리트에 손상을 줄 수 있고 다수의 측정이 대표 값을 결정하기 위해 요구된다는 단점이 있다. 특히 반발 해머를 사용한 표면 경도법을 이용한 주된 관심분야이고 빈번하게 측정이 요구되는 분야인 압축 강도 예측이 $\pm 25\%$ 이내의 정확도로 측정되기 어려운 문제를 지니고 있다.

여러 나라에서 반발 해머를 이용한 표면 경도법에 의하여 콘크리트의 압축강도 등의 특성을 측정하는 표준을 명시하고 있으며 국제적인 연구 협의체에서 측정 기술을 명문화하고 있다. 영국의 BS 규격, 미국의 ASTM 표

준, 일본의 건축학회와 재료학회의 안 국제적인 기관인 RILEM에서 채택된 규격, 독일의 규격인 DIN 등이 있으나 한국의 KS 규격은 아직 확립되어 있지 않다. 따라서 국제적인 표준과 규준을 참고하고 추가 연구를 통하여 국내실정에 맞는 반발해머를 이용한 표면경도법에 대한 KS 규격을 마련하는 것이 요구된다고 하겠다.

본 연구에서 확립된 반발해머의 교정계와 교정절차는 반발 해머의 공신력 있는 대외 서비스에 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) BS 1881 Part202 Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer. British Standards Institution, London.
- (2) ASTM C805 Rebound number of hardened concrete. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- (3) Akashi, T. and Amasaki, S. Study of the stress waves in the plunger of a rebound hammer at the time of impact. Spec. Publ. SP 82-2, American Concrete Institute, Detroit 1984. 17-34.
- (4) Kolek, J. Non-destructive testing of concrete by hardness methods, in Non-destructive testing of concrete and timber, Institution of Civil Engineers, London, 1970, 19-22.
- (5) Klieger, P. et al Discussion of ref. 26, ACI Journal, 51, No. 3, Nov. 1954, 256/1=256/20.
- (6) Greene, G. W. Test hammer provides new method of evaluating hardened concrete. ACI Journal, 51, No. 3, Nov. 1954, 249-256
- (7) Willetts, C. H. Investigation of the Schmidt concrete test hammer, Misc. Papers, 6-627, U.S.Army engineer Waterways Experiment

Station, Vicksburg, Miss., June 1958

- (8) Malhotra, V.M. Testing hardened concrete: non-destructive Methods. Monograph 9, American Concrete Institute, Detroit, 1976.
- (9) BS 1881: Part 116 Method for Determination of compressive strength of concrete cubes. British Standards Institution, London.
- (10) Chaplin, R. G. Abrasion resistant concrete floors, in Advances in Concrete Slab Technology, Pergamon, Oxford, 1980, 532-543.

2. 침투 저항 측정법 (Pin Penetration Resistance Meter)

가. 서 론

콘크리트의 강도를 측정 및 평가하는 방법중의 하나인 침투저항 측정법에는 현재 크게 두가지의 측정기기가 잘 알려져 있다. 하나는 Windsor probe이며 또 다른 하나는 PPR meter라 할 수 있다. 여기서 Windsor probe 방법에 비하면 PPR Meter 방법은 상대적으로 상당히 최근에 발표된 새로운 침투저항측정법이라 할 수 있다. 이에 대한 원리 및 시험방법에 대해서는 전년도 조사에서 이미 언급한 바 있으나 다시 간단하게 고찰하고자 한다. 영문의 번역으로는 침투저항 측정으로 표현하며 일반적으로 알려지는 것은 관입저항법으로도 잘 알려져 있다. 즉 이 방법은 콘크리트의 강도를 추정하기 위하여 콘크리트 표면 위에 일정한 속도나 힘을 가진 발사체를 이용하여 표면을 뚫고 들어가는 깊이를 측정함으로써 이에 대한 실험식과 상관하여 강도값을 추정하는 방법이다. 이와 비슷한 방법으로는 반발경도법, 초음파법, 인발법, 핀관입시험 등을 들 수 있는데 이들 방법과 비교를 해보면 다음과 같은 장단점을 설명할 수 있다. 즉 장점으로는 콘크리트 표면의 마감이나 표면의 중성화 영향, 구조체 중의 강재의 영향 등에 대해서 크게 영향을 받지 않는다는 점이며, 단점으로는 시험후 표면에 작은 구멍이 남게 되고 미세한 균열이 발생할 수 있다는 점과 콘크리트의 함수율에 영향을 받으며(건조한 쪽이 습한쪽보다 높은 값이 된다), 경질 골재의 영향이나 매우 작은 공시체에서는 적당하지 않은 점을 들 수 있다.

본 연구에서는 PPR meter에 대한 장비의 기능 조사와 실제 콘크리트 벽체에 대한 실험을 통해 교정항목 및 절차에 대해 조사 분석을 하였다.

나. PPR meter의 원리 및 교정항목 조사

이 방법에는 총과 일정한 양의 화약으로 탐침(probe)이 콘크리트 표면에 침투한 깊이를 측정하는 방법과, 강한 스프링으로 pin을 발사하는 방법이 있다.

즉, A) Windsor Probe

B) Pin Penetration Resistance(PPR) Meter 두가지가 있다.

여기서 Windsor probe는 권총과 거의 같으며 화약의 폭발에 의해 발사되는 총알이 콘크리트 표면 위를 타격한 후 그 침투 깊이를 측정하는 원리이다. 또한 이 방법은 probe(총알)가 나가는 총구 속도(muzzle velocity)가 $\pm 3\%$ 의 오차를 가지므로 정확도가 매우 높다고 할 수 있다. 그러나 Windsor probe는 화약을 취급함으로써 국내의 경우 반입의 금지는 물론 실제 사용에서도 어느 정도의 위험이 따르게 되므로 매우 주의해서 다루어야 할 필요가 있다. (ASTM C-803) 반면, PPR Meter는 스프링으로 핀(pin)을 발사하여 콘크리트 표면에서의 침투 깊이를 재는 방법으로서 그 근본적인 원리는 Windsor probe와 동일하다. 이 방법도 발사되는 물체가 뾰족한 핀으로 되어 있어 다소 주의를 요할 필요가 있다. (ASTM C-803)

강도값의 추정 방법으로는 주어진 콘크리트와 주어진 시험장치에 대해, 침투 저항과 강도 사이의 관계가 실험적으로 확립되어 있기때문에 현장에서 바로 콘크리트 강도를 평가하기 위하여 사용되어진다. 즉 침투 깊이와 추정 강도값 사이의 관계에 대한 표(chart)가 나와 있으므로 침투깊이만을 측정하면 되는 간편한 점도 있다. 물론 침투 깊이를 측정하기 위해서는 주의를 기울일 필요가 있다고 생각된다.

본 연구의 주 목적은 이 장비의 사용에 있어 정확하고 신뢰성 있는 결과를 유지하기 위해서는 이에 따르는 장비에 대한 교정 작업이 필요하게 되며, 따라서 이 장비의 구조 및 교정 대상에 대해 언급할 필요가 있다. 즉 PPR meter는 Figure 3-2-2-1에서 보는 바와 같이 철판을 발사 입구에 장진한 다음, 스프링을 일정량 압축시킨 후 방아쇠 걸이에 걸리게 하여 발사시키는 간단한 과정을 거치게 된다. 이 발사된 철판은 콘크리트 표면에 침투하게 되며 시험체 콘크리트의 강도에 따라 그 침투 깊이가 달라지게 된다. 따라서 본 기기의 주요 부속품으로서는 일정량의 저장에너지를 유지하

기 위한 스프링의 강성이 첫째로 중요하며, 사용되는 철판 끝의 마모 정도나 침투 방향 등이 중요한 변수라 할 수 있다.

현재 제시되고 있는 구동기구 및 철판의 필수 사양은 다음과 같다.

1) 콘크리트의 강도가 450 to 4000 psi (3.2 to 27.6 MPa)의 범위를 가지는 대상체에 대해서 스프링의 계수가 284 lb/in (49.7 N/mm)을 유지

2) 이때 사용되는 철판의 길이는 대략 1.2 in (30.5 mm)이며 직경은 0.14 in (3.56 mm)가 되며, 사용한 철판의 길이는 재사용시에 제작사에서 제공하는 GO/NO GO 게이지를 사용하여 철판 끝의 마모 정도를 반드시 확인한 후 사용하도록 함.

참고로 Figure 3-2-2-1에서는 PPR meter (by James Instruments)에 대한 장비의 전체 단면 및 세부 명칭을 나타내었다.

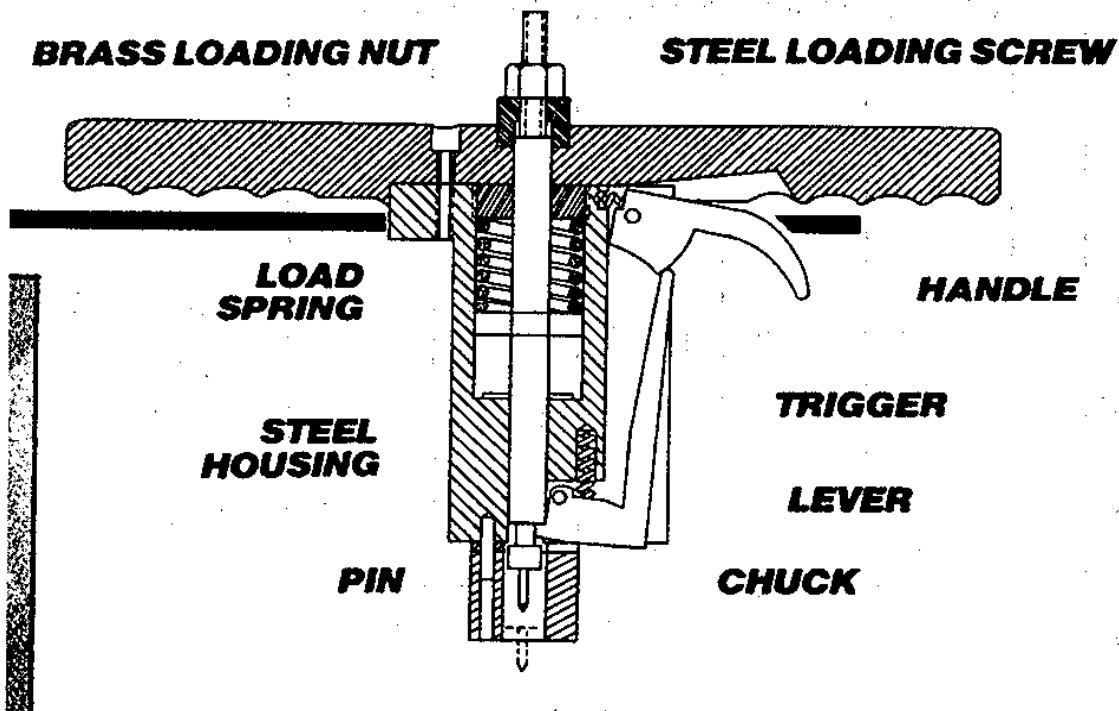


Figure 3-2-2-1 Section drawing of PPR meter

다. 실험 및 결과분석

PPR meter를 사용한 콘크리트 예측 강도와 실험용 콘크리트 벽체에서 채취한 코어 시편의 압축강도와의 상관관계를 얻기 위해 아래와 같은 콘크리트 시험 벽체를 만들어 측정 및 분석을 시도하였다. 먼저 콘크리트 시험 벽체는 아래 그림과 같이 5가지의 section을 정해 예측 타설 강도가 각각 150 kgf/cm^2 , 200 kgf/cm^2 , 250 kgf/cm^2 , 350 kgf/cm^2 , 450 kgf/cm^2 이 되도록 설계 및 시공을 하였다. Figure 3-2-2-2는 콘크리트 시험 벽체에 대한 도면을 나타내었다.

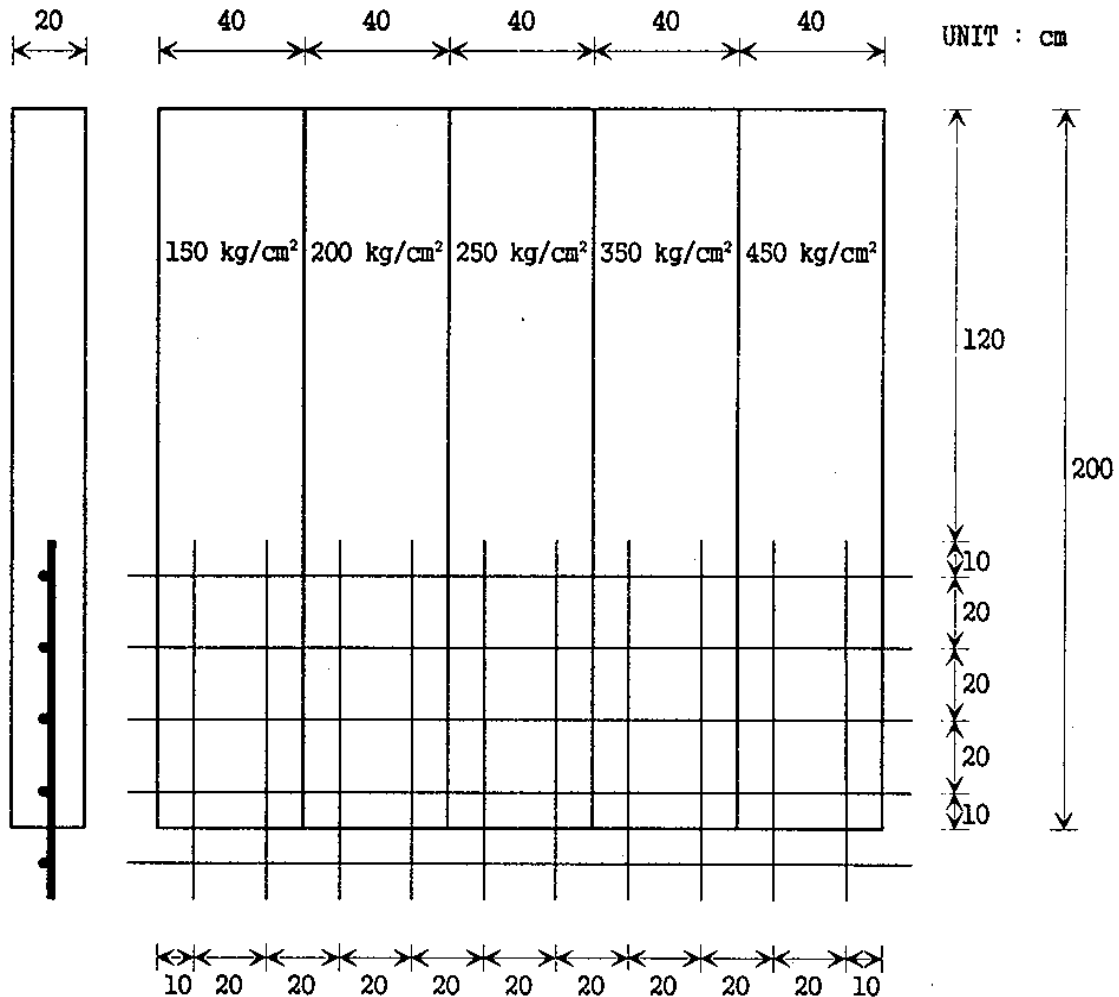


Figure 3-2-2-2 Experimental concrete wall for strength evaluation

제작후에는 각각의 section에서 먼저 PPR meter를 사용하여 재령에 따라 매번 측정을 하도록 하였다. 측정 한 재령 날짜는 7일째, 14일째, 21일째, 28일째의 4번에 걸쳐 측정을 하였다. 각 실험에서의 측정 횟수는 매 실험시 7번을 발사한 후 최고치와 최저치를 제외한 5 측정치에 대해 평균을 내어 예측 강도값으로 정하였다. 코아 채취는 65일째 압축강도 측정을 위해 파파시험을 하였으므로 각각의 재령일에 해당되도록 보정을 하여 계산 및 비교를 하였다. 채취된 코아의 개수는 각 section에 대해 상부와 중간 부분 그리고 하부에서 각각 1개씩 채취를 하였으며 각 section에 대해 3개의 값을 얻어 평균을 내도록 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 하부의 경우는 철근이 보강된 경우이며 중간부분과 상부는 철근이 보강되지 않은 상태로 하였다.

Table 3-2-2-1은 James사에서 제공되는 PPR meter 측정치와 예측 강도값에 대한 비교 자료를 나타낸다. 여기서 micrometer reading값은 콘크리트 표면에 철판을 발사한 후 침투된 깊이를 잴 때 측정 마이크로미터에서 직접 읽은 값을 의미하며 실제로 침투된 깊이를 의미하는 것은 아니다. 실제 침투된 깊이는 환산하면 Table에서 보듯이 penetration값이 된다. 그리고 이에 따른 예측 강도값은 strength의 항에 나타내어 진다. Table에서 보듯이 PPR meter의 측정 범위는 앞에서 언급한 것처럼 160 kgf/cm^2 에서 370 kgf/cm^2 정도의 값 밖에 제공되지 않고 있다. 그러나 본 실험에서는 준비된 콘크리트 벽체의 각 section에서 모두 측정을 한 후 비교를 해보았다. Table 3-2-2-2부터 Table 3-2-2-6까지는 5가지의 추정 강도 section에 대해 PPR meter를 사용하여 각 재령별로 측정한 결과를 나타낸 것이다. 여기서는 7번 측정한 값을 모두 나타내었으며 이 중 최고치와 최저치를 제외한 5값을 평균하여 평균치를 내었으며 또한 이에 대한 표준편차도 구하였다. Table 3-2-2-7에서는 각 section에서 채취된 코아 시편에 대한 압축강도 시험 결과를 재령별로 나타냈다.

Table 3-2-2-1 Relationship between measured penetration and expected concrete strength provided by James PPR-meter

Micrometer	Strength	Penetration	Micrometer	Strength	Penetration
Reading	<i>kgf/cm²</i>	<i>mm</i>	Reading	<i>kgf/cm²</i>	<i>mm</i>
.990	369	0.25	.880	264	3.05
.985	364	0.38	.875	260	3.18
.980	360	0.51	.870	255	3.30
.975	355	0.64	.865	250	3.43
.970	350	0.76	.860	245	3.56
.965	345	0.89	.855	241	3.68
.960	340	1.02	.850	236	3.81
.955	336	1.14	.845	231	3.94
.950	331	1.27	.840	226	4.06
.945	326	1.40	.835	222	4.19
.940	321	1.52	.830	217	4.32
.935	317	1.65	.825	212	4.45
.930	312	1.78	.820	207	4.57
.925	307	1.91	.815	203	4.70
.920	302	2.03	.810	198	4.83
.915	298	2.16	.805	193	4.95
.910	293	2.29	.800	188	5.08
.905	288	2.41	.795	183	5.21
.900	283	2.54	.790	179	5.33
.895	279	2.67	.785	174	5.46
.890	274	2.79	.780	169	5.59
.885	269	2.92	.775	164	5.72

Table 3-2-2-2 Result of PPR-meter measurement for 150 kgf/cm² wall section

날짜 \ 횟수	7일		14일		21일		28일	
	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength
최대값	-	-	8.20	207	8.22	209	8.47	233
1	-	-	8.13	201	8.16	204	8.44	230
2	-	-	8.09	197	8.11	199	8.19	206
3	-	-	8.06	194	8.10	198	8.13	201
4	-	-	8.06	194	8.10	198	8.10	198
5	-	-	8.02	190	8.05	193	8.10	198
최소값	-	-	8.02	190	8.03	191	8.01	189
평균	-	-	-	195.2	-	198.4	-	206.6
표준편차	-	-	-	4.09	-	3.91	-	13.48

Table 3-2-2-3 Result of PPR-meter measurement for 200 kgf/cm² wall section

날짜 \ 횟수	7일		14일		21일		28일	
	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength
최대값	8.49	235	8.30	217	8.45	231	8.50	236
1	8.34	221	8.23	210	8.38	224	8.46	232
2	8.26	213	8.19	206	8.30	217	8.42	228
3	8.24	211	8.12	200	8.28	215	8.41	227
4	8.12	200	8.10	198	8.20	207	8.30	217
5	8.02	190	8.09	197	8.18	205	8.24	211
최소값	8.02	190	8.06	194	8.00	188	8.10	198
평균	-	207	-	202.2	-	213.6	-	223.0
표준편차	-	12.10	-	5.58	-	7.73	-	8.6

Table 3-2-2-4 Result of PPR-meter measurement for 250 kgf/cm^2 wall section

날짜 \ 횟수	7일		14일		21일		28일	
	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength
최대값	-	-	8.63	248	8.35	222	8.45	231
1	-	-	8.40	226	8.32	219	8.44	230
2	-	-	8.36	223	8.29	216	8.37	224
3	-	-	8.31	218	8.28	215	8.35	222
4	-	-	8.30	217	8.24	211	8.34	221
5	-	-	8.27	214	8.20	207	8.34	221
최소값	-	-	8.25	212	8.14	202	8.30	217
평균	-	-	-	219.6	-	213.6	-	223.6
표준편차	-	-	-	4.82	-	4.66	-	3.78

Table 3-2-2-5 Result of PPR-meter measurement for 350 kgf/cm^2 wall section

날짜 \ 횟수	7일		14일		21일		28일	
	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength
최대값	8.53	239	8.58	243	8.67	252	8.42	228
1	8.44	230	8.52	238	8.49	235	8.39	225
2	8.37	224	8.39	225	8.39	225	8.39	225
3	8.33	220	8.34	221	8.39	225	8.39	225
4	8.25	212	8.30	217	8.37	224	8.38	224
5	8.23	210	8.24	211	8.36	223	8.36	223
최소값	8.06	194	8.23	210	8.31	218	8.35	222
평균	-	219.2	-	222.4	-	226.4	-	224.4
표준편차	-	8.32	-	10.13	-	4.87	-	0.89

Table 3-2-2-6 Result of PPR-meter measurement for 450 kgf/cm² wall section

날짜 \ 회수	7일		14일		21일		28일	
	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength	micrometer reading	strength
최대값	8.35	222	8.45	231	8.48	234	8.58	243
1	8.34	221	8.38	224	8.45	231	8.57	242
2	8.25	212	8.35	222	8.40	226	8.34	221
3	8.25	212	8.23	210	8.37	224	8.32	219
4	8.24	211	8.23	210	8.33	220	8.31	218
5	8.17	205	8.17	205	8.32	219	8.29	216
최소값	8.10	198	8.17	205	8.31	218	8.27	214
평균	-	212.2	-	214.2	-	224.0	-	223.2
표준편차	-	5.72	-	8.32	-	4.85	-	10.66

Table 3-2-2-7 Result of compression strength test for cored specimen and expected strength with hardening (unit: kgf/cm²)

재령 \ 벽체종류	측정강도	재령별 추정강도			
	재령 75일	재령 7일	재령 14일	재령 21일	재령 28일
강도 150 벽체	217	128.7	165.1	182.4	192.0
강도 200 벽체	331	196.3	251.9	278.3	292.9
강도 250 벽체	420	249.0	319.6	353.1	371.7
강도 350 벽체	420	309.5	397.3	438.9	461.9
강도 450 벽체	522	267.4	343.2	379.2	399.1

Figure 3-2-2-3부터 Figure 3-2-2-7까지는 콘크리트 시험 벽체에서의 각 section에 대한 PPR meter 측정치와 코아채취 시편의 압축강도값을 재령별로 그려본 것이다. 그림에서 보듯이 실제 코아시편으로부터 얻은 압축강도값이 PPR meter 측정에 의한 추정 강도값과는 전반적으로 상당히 다른 값을 보이고 있음을 알 수 있었다. 특히 300 kgf/cm^2 이상의 강도값에서는 그 편차가 상당히 크게 나타나고 있었다. 이는 앞서 설명한 것처럼 PPR meter의 본질이 이 이상의 강도를 가지는 콘크리트에서는 적용이 불가능한 것으로 확인이 되었다.

비교적 PPR meter 측정값들은 적은 편차로서 반복성이 좋다고 볼 수 있으나 James사에서 제공하는 비교표를 사용할 경우 상당한 강도값의 차이가 있음을 볼 수 있다. 이는 침투저항법의 사용 범위에서도 언급하였지만 동일 구조물에서 상대적으로 서로 다른 강도값을 비교하는데 적합한 반면 실제 강도값을 추정하기에는 무리가 있다고 볼 수 있다. 하지만 잘 알고있는 콘크리트의 재질에 대한 이들 데이터를 확보한다면 좀더 정확한 강도 추정치를 얻을 수도 있을 것으로 사료된다. 전반적으로 PPR meter 측정에 의한 강도 추정치는 실제 압축강도값보다 낮게 나타나고 있는 경향을 얻을 수 있었다. 또한 실제 압축강도는 재령 날짜에 따라 점진적으로 강도값이 증가하는 정상적인 경향을 보이고 있으나 PPR meter의 결과는 추정 강도값이 재령에 따라 증가하지 않음은 물론 그 값에서도 거의 변화가 없는 사실을 알 수 있었다.

Figure 3-2-2-8은 코아 시편의 파괴시험에 의한 압축강도값을 재령별로 나타낸 것이며, 재령일이 증가할수록 강도값은 점점 증가함을 볼 수 있다. 반면 450 kgf/cm^2 section의 강도를 제외하고는 처음 콘크리트 벽체를 타설할 당시 예측한 강도값보다 실제 압축강도값이 전반적으로 더 높게 나타나고 있다.

Figure 3-2-2-9부터 Figure 3-2-2-12까지는 4종류의 각 재령일에 대해 5종류의 예측 강도값을 가지는 벽체에 따른 결과를 그려보았다. 이 결과에서 보면 코아 시편에 의한 압축강도값은 예상대로 예측강도가 높은 section일 수록 점점 크게 나타났으나 450 kgf/cm^2 예측강도 section에서는 모든 재령일에서 더 낮게 나타났음을 볼 수 있다. 이는 콘크리트 벽체를 타설할 당시 수작업으로 한 배합비에 문제가 있었을 것으로 생각할 수 있다. 반면 PPR meter에 의한 실험강도값은 고강도 section으로 갈수록 증가하는 경향은 보이나 매우 미소한 값을 보이고 있으며, 실제 압축강도값과는 상당히 거리가 멀게 나타남을 볼 수 있다. 여기서도 역시 강도가 높은 부분에서는 거의 적용이 불가능함을 확인할 수 있다.

Figure 3-2-2-13은 코아 시편의 파괴시험에 의한 압축강도값을 시험 벽체별로 나타낸 것이며, 벽체의 예측강도값이 증가할수록 강도값은 점점 증가함을 볼 수 있다.

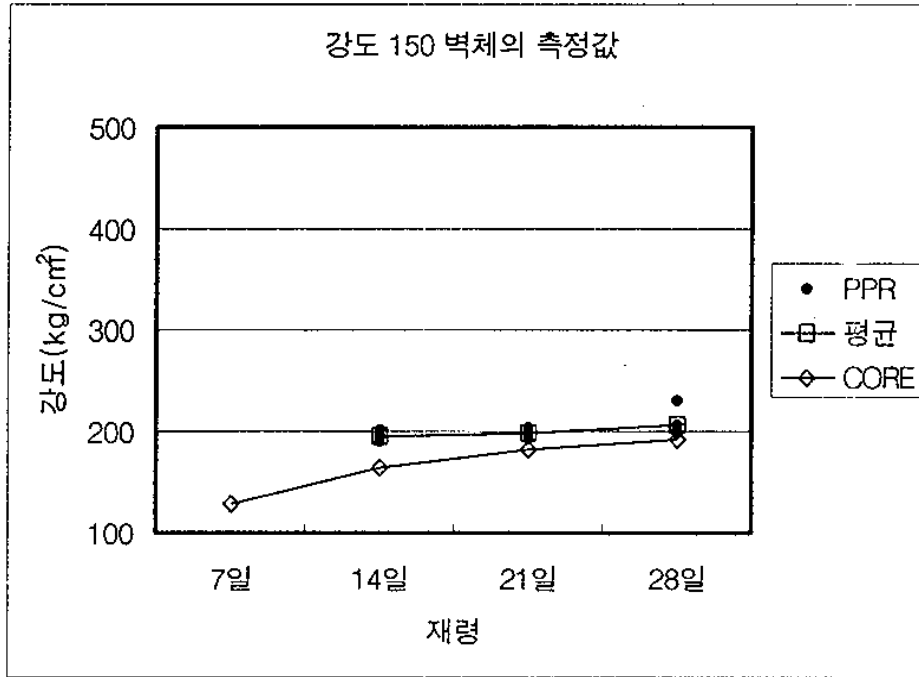


Figure 3-2-2-3 Measured strength value with hardening time (150 kgf/cm² wall section)

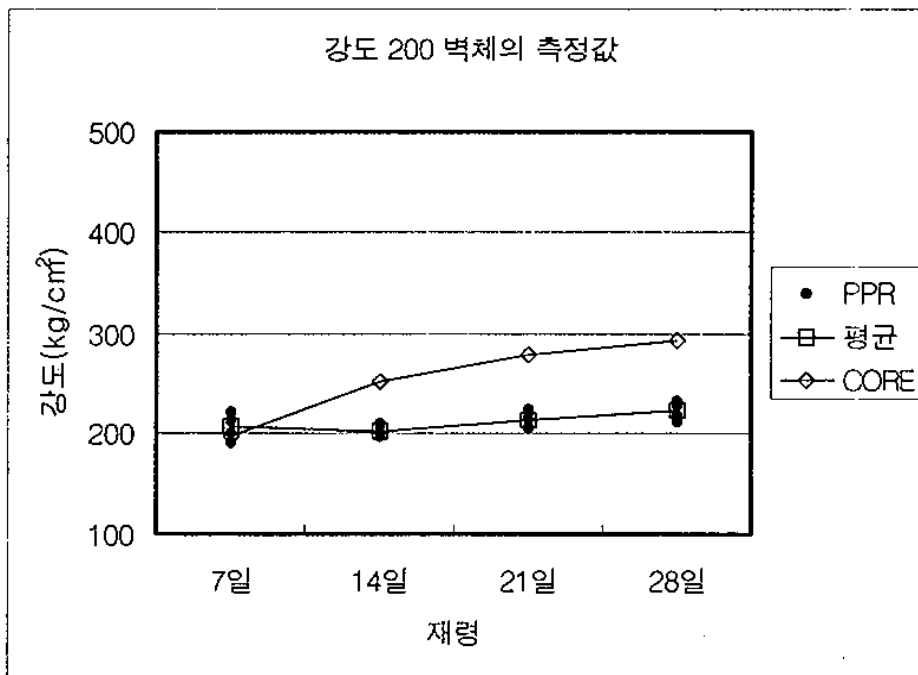


Figure 3-2-2-4 Measured strength value with hardening time (200 kgf/cm² wall section)

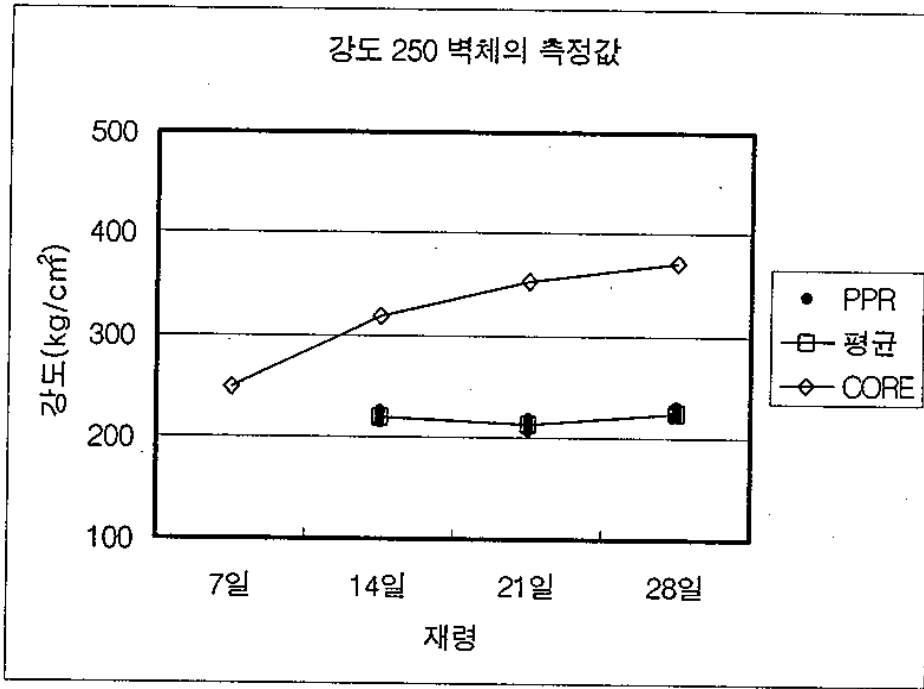


Figure 3-2-2-5 Measured strength value with hardening time
(250 kgf/cm² wall section)

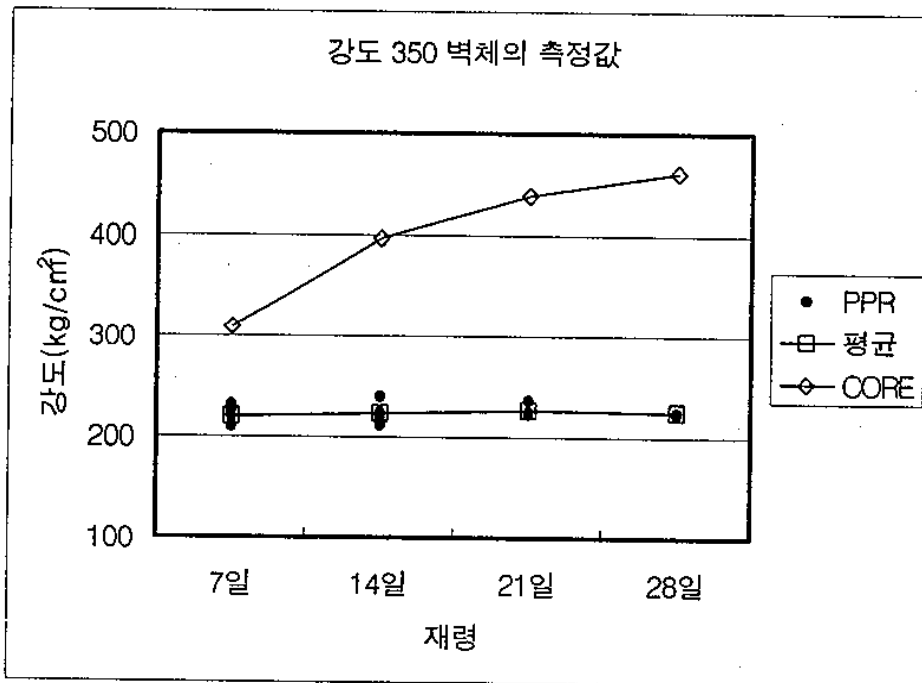


Figure 3-2-2-6 Measured strength value with hardening time
(350 kgf/cm² wall section)

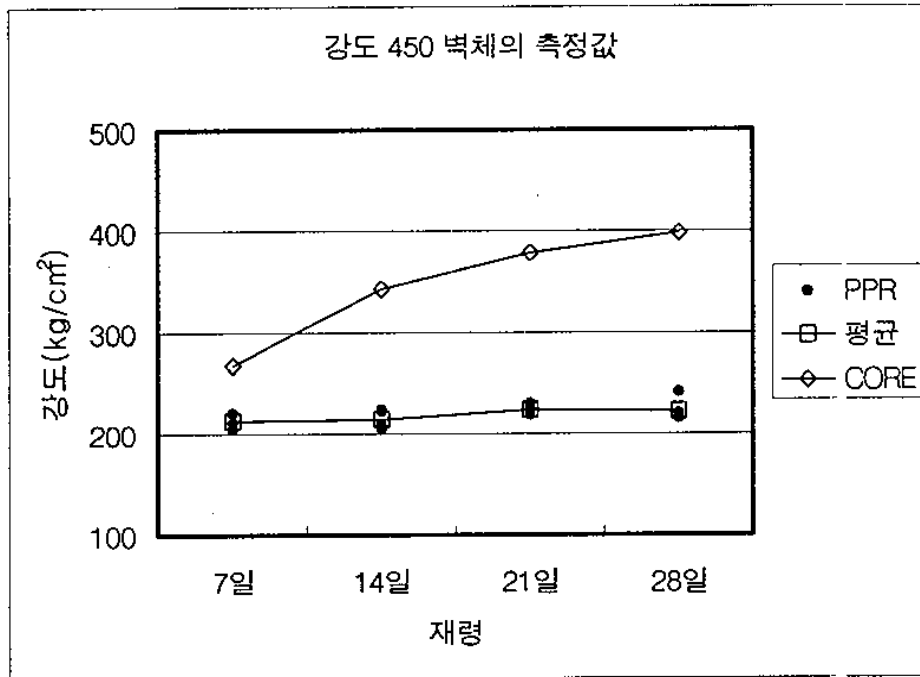


Figure 3-2-2-7 Measured strength value with hardening time
(450 kgf/cm^2 wall section)

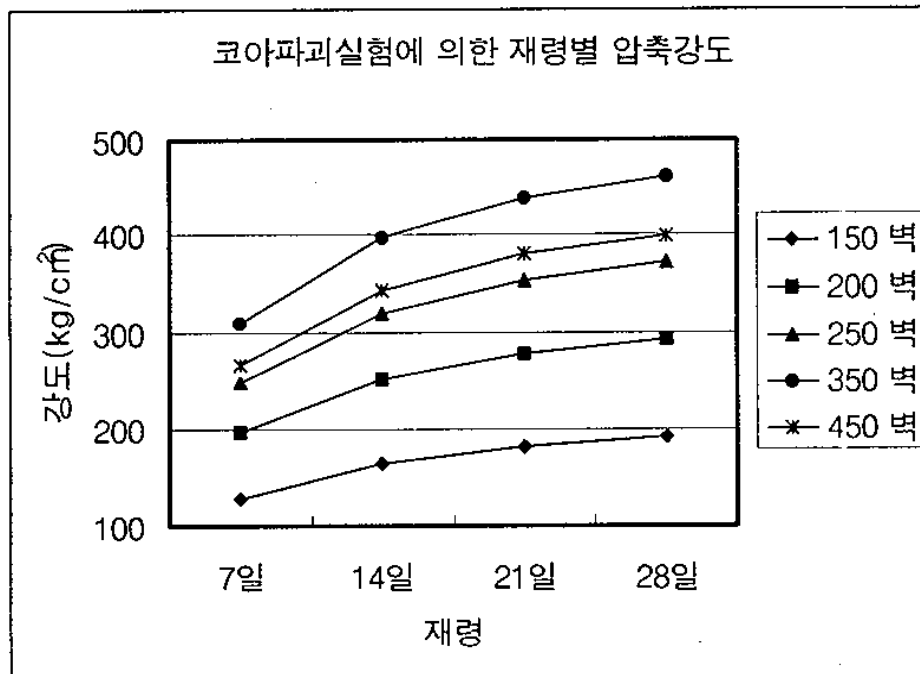


Figure 3-2-2-8 Compression strength obtained by core fracture test with
hardening time and wall section

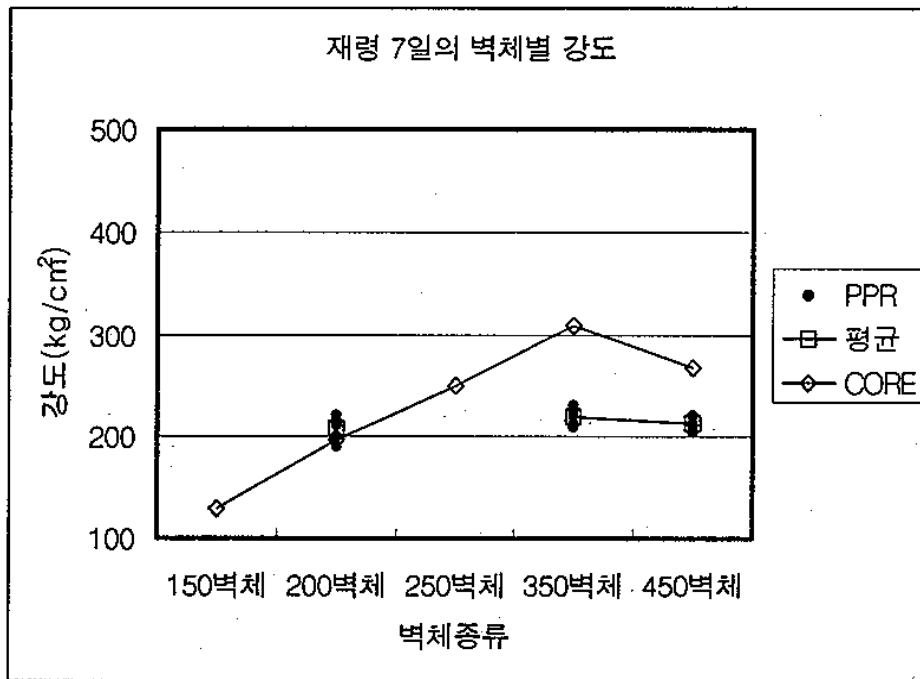


Figure 3-2-2-9 Measured strength value with wall section (7 days hardening)

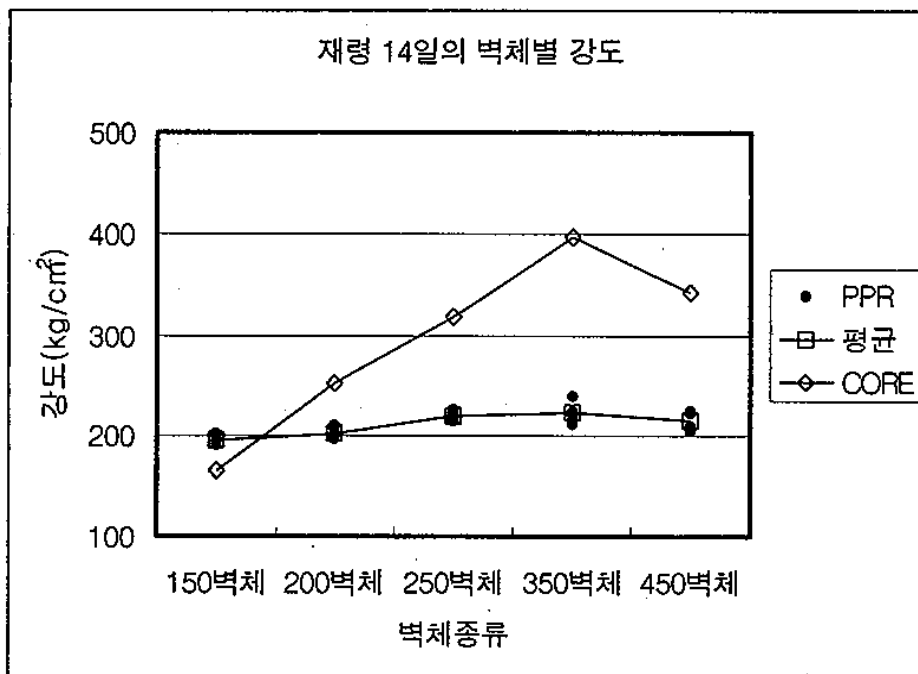


Figure 3-2-2-10 Measured strength value with wall section (14 days hardening)

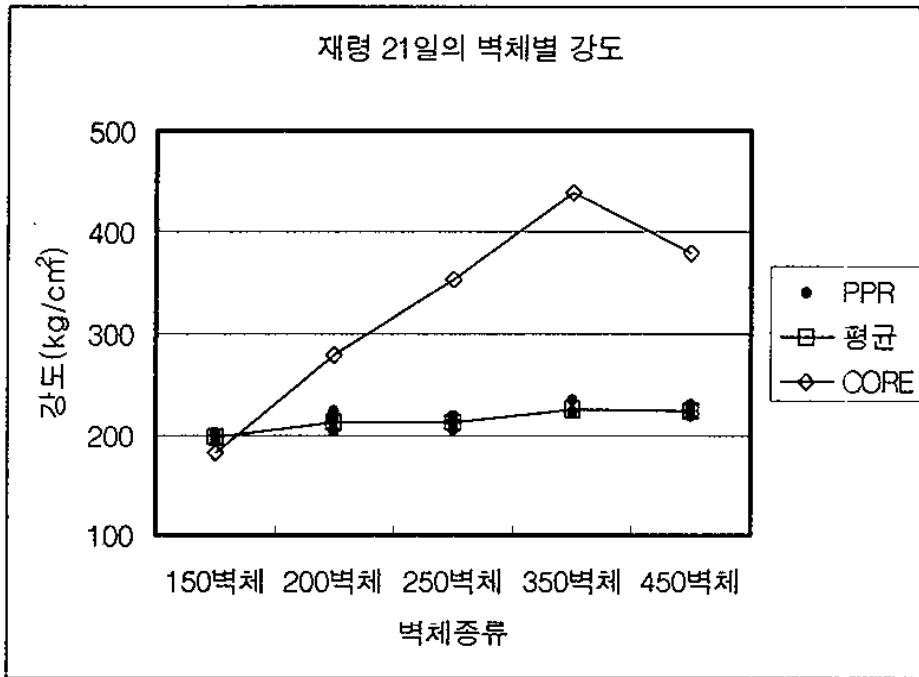


Figure 3-2-2-11 Measured strength value with wall section (21 days hardening)

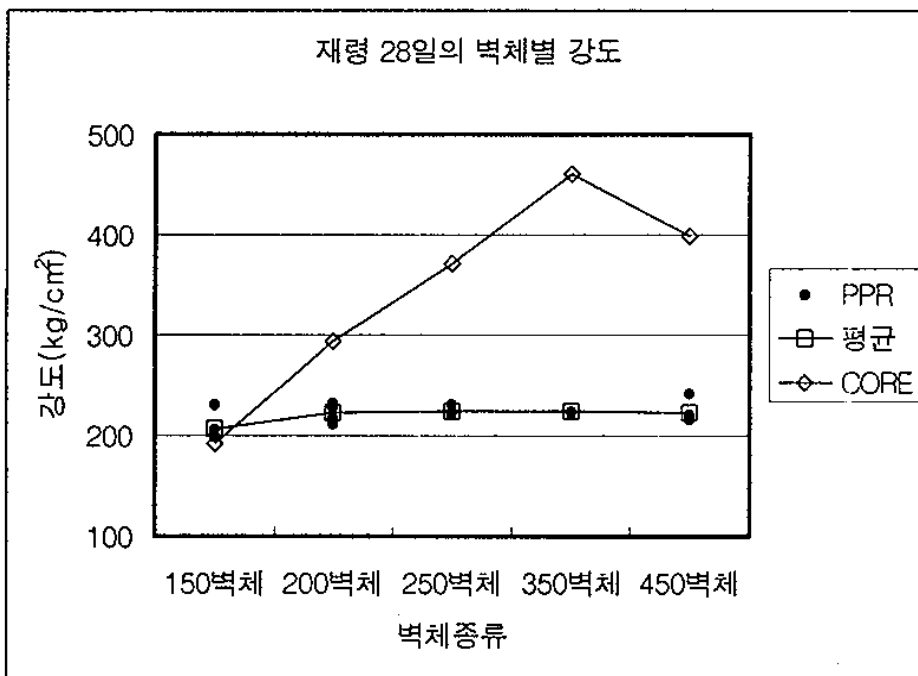


Figure 3-2-2-12 Measured strength value with wall section (28 days hardening)

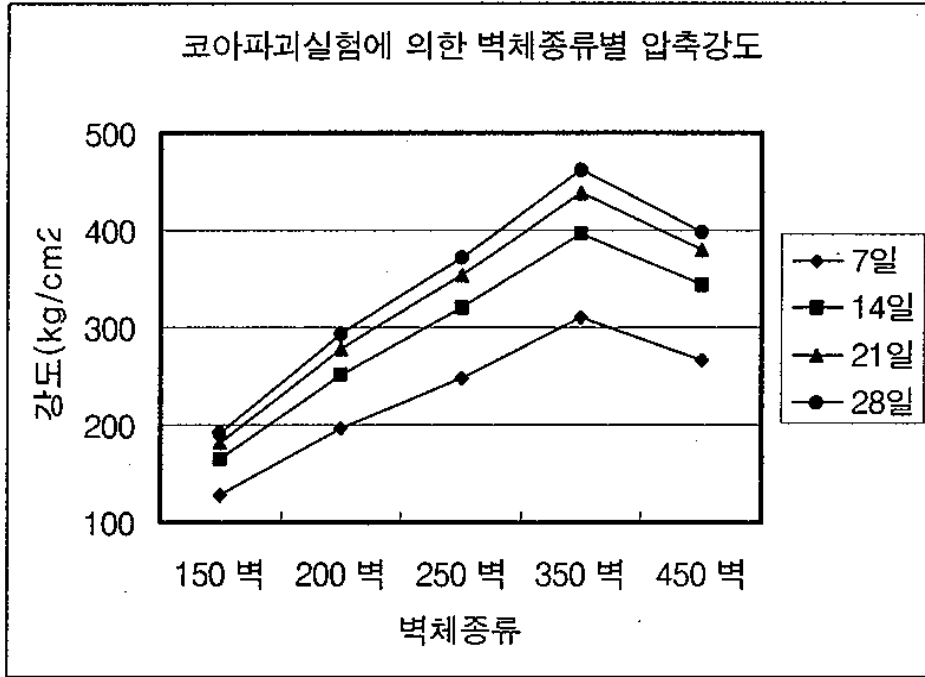


Figure 3-2-2-13 Compression strength obtained by core fracture test with wall section and hardening time

라. 문제점 및 제한점

일반적으로 핀의 침투 깊이와, 즉 뚫린 구멍의 깊이, 콘크리트의 압축강도 사이에는 관계가 있다고 알려져 있다. 그러나 이 방법의 개념면에서는 간단한 실험이라 생각될 수 있으나 역시 제한점을 가지고 있다고 볼 수 있다. 즉 핀은 콘크리트 속으로 작은 부분만이 침투하게 되므로 그 결과는 콘크리트 표면에 있는 재료의 조건에 따라 심각하게 영향을 받을 수 있다는 것이다. 이와 유사한 이유로 실험결과의 편차도 현재까지는 매우 심하게 나타난다는 사실이다. 또한 핀이 골재를 타격하였을 때는 이 결과를 무시해야 한다는 것도 실험상 하나의 어려운 점이라 할 수 있다. 물론 실험의 간편성에 의해 필요한 만큼의 측정횟수를 많이 함으로써 편차에 대한 문제점을 다소 극복할 수 있는 점도 있다. 장비의 무게는 현장 사용에 있어 다소 무거우며, 스피링 기구의 본성 때문에 약 30 MPa 이상의 압축강도를 가지는 콘크리트에 대해서는 사용할 수 없다는 제한점이 있다.

마. PPR meter 교정 체계

앞서 언급한 PPR meter의 본질적인 제한점이나 문제점은 향후 개선되어 질수 있다고 볼 수 있는 반면, 기기 자체의 정확도나 신뢰도는 기기 자체의 성능에 의존하게 된다. 따라서 기기 자체가 가지는 성능을 교정할 수 있는 체계를 제시하고자 한다.

1) PPR meter는 구조적으로 압축된 스프링의 반발력으로 에너지가 전달 되게 되므로 현재 스프링이 가지고 강성은 매우 중요한 의미를 가지게 된다. 제작사에 의하면 반 영구적으로 사용이 가능하다고 되어 있으나 실제의 스프링 강성값은 정기적으로 측정하여 교정하는 것이 바람직하다.

가) 로드셀과 변위측정기가 교정되어진 재료시험기에서 스프링의 강성(stiffness)을 측정한다.

나) 스프링계수 k 를 측정하고, 그 값이 284 lb/in 또는 49.7 N/mm의 값이 콘크리트 강도가 3.1에서 27.6 MPa의 범위에 드는 대상체에 가장 성공적으로 사용됨을 명시하고, 측정값 및 위의 값과의 편차를 계산한다.

2) 발사된 철판의 침투 깊이는 비교표에 의해 실제 강도값을 예측하는데 직접적으로 사용되므로 매우 중요한 의미를 가진다. 현재로는 제작사에서 제공되는 brass handle, 스프링을 압축하기 위해 사용되는 너트를 돌리는 도구, 위에 발사하였을 때 micrometer reading값이 0.914의 $\pm 5\%$ 내에 들면 허용이 되고 있다.

가) 사용되는 철판은 길이 30.5 mm (1.2 in), 직경은 3.56 mm (0.14 in)가 되는 제작사의 것을 사용하도록 한다.

나) 사용하고 있는 brass handle 위에 발사하여 micrometer reading값이 0.914의 $\pm 5\%$ 내에 드는지 여부를 측정한다.

다) 향후 제작될 표준 시편에 적용하였을 경우 정해진 값과의 오차를 계산하여 준다.

3. 콘크리트 측정용 초음파 시험기 성능 검사

가. 서론

콘크리트에서의 초음파 속도를 측정하면 이로부터 1) 콘크리트 각부의 균일성, 2) 균열, 공극, 기타 결함의 존재 유무 및 대략적인 크기, 3) 콘크리트 특성의 경년 변화, 4) 콘크리트의 강도, 5) 콘크리트의 탄성 계수와 동적 포와송 비 등을 측정할 수 있다. 콘크리트 측정용 초음파 시험기는 이와 같은 목적으로 콘크리트에서의 초음파 속도를 측정하기 위한 장비다.

콘크리트는 모래, 자갈, 시멘트 등 초음파 특성이 서로 상이한 이물질들이 혼재하여 있으며, 또한 이들의 배합 비율이 공시체마다 다르기 때문에 단순한 초음파 속도 측정만으로 이들의 특성을 평가하기는 어렵다. 그러나 각 경우에 대한 콘크리트 특성과 초음파 속도와의 상관 관계가 많은 측정에 의해 정립된다면 다른 측정 방법보다 많은 장점을 가지고 있다. 초음파 시험은 일반, 강화, 프리 스트레스트(pre-stressed) 콘크리트 구조물 어디에나 적용할 수 있으며, 또한 콘크리트 내부의 특성을 매우 빠르고 간단하게 측정할 수 있으므로 양생된 콘크리트의 균일성을 측정하는 경우처럼 많은 부분을 측정해야 하는 경우 매우 유용하게 사용할 수 있다. 특히 다른 측정 방법과는 달리 시험편에 전혀 손상을 전혀 주지 않는 비파괴 시험 방법이므로 측정 후 시험편에 구조학적 변화가 전혀 주지 않는다는 장점이 있다.

콘크리트는 재질이 조악하여 초음파의 감쇠가 매우 심하다. 그러므로 콘크리트에서는 저주파수의 초음파를 사용하여야 한다. 이는 초음파의 주파수가 높아짐에 따라 감쇠가 심해지는 초음파의 특성 때문이다. 일반적으로 감쇠가 적은 강재에서는 수 MHz의 고주파수 초음파를 사용하나, 콘크리트에서는 수십에서 수백 kHz까지의 저주파수 초음파를 사용한다. 그러므로 콘크리트 측정용 초음파 시험기는 수십에서 수백 kHz까지의 신호를 증폭, 처리

할 수 있는 전자 회로로 구성되어져야 한다.

초음파를 이용한 콘크리트의 특성 측정은 콘크리트에서의 초음파 속도를 측정함으로써 이루어진다. 그러므로 콘크리트 측정용 초음파 시험기는 측정하고자 하는 콘크리트의 초음파 속도를 정확히 측정할 수 있어야 한다. 특히 콘크리트의 특성에 따른 콘크리트에서의 초음파 속도 변화가 미미하기 때문에 정확한 시간 측정 능력이 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 성능을 좌우한다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기는 분리된 2 개의 초음파 탐촉자를 사용하는 2 탐촉자 법을 사용한다. 즉, 2 개의 초음파 탐촉자 중 하나는 초음파를 콘크리트로 송신하는 송신 초음파 탐촉자로 사용하고, 다른 하나는 콘크리트를 통과한 초음파를 수신하는 수신 초음파 탐촉자로 사용한다. 이때 송신된 초음파는 여러 경로를 통해 콘크리트를 통과하므로 초음파가 통과한 경로의 길이 차에 해당하는 만큼 시간차를 두고 수신 초음파 탐촉자에 수신된다. 또한 송신 초음파 탐촉자에서 발생한 초음파가 콘크리트로 전파할 때 모드 변환이 일어나 종파뿐만 아니라 표면파도 발생하므로 수신된 초음파는 더욱 복잡한 양상을 띠게 된다. 그러나 초음파를 이용하여 콘크리트를 측정할 때는 이러한 복잡한 수신 초음파 신호 중 가장 먼저 수신된 초음파의 전파 시간만을 측정한다. 이는 초음파 중 가장 빠른 속도를 갖는 종파가 두 탐촉자간을 최단 거리로 전파한 시간을 의미한다. 그러므로 콘크리트 탐사용 초음파 시험기는 수신된 초음파 중 가장 먼저 도달하는 초음파 신호를 검출할 수 있는 기능을 가져야 한다.

콘크리트 내부의 특성을 측정하기 위해서는 콘크리트 내부에서의 초음파 속도를 측정하여야 한다. 그러므로 콘크리트 벽체 양면에 초음파 탐촉자를 배치하는 직접 송수신 배치가 가장 바람직하나, 많은 경우 직접 송수신 배치가 불가능하여 한 쪽 면에 두 탐촉자를 배치하는 간접 송수신 배치를 이

용한다. 그러나 간접 송수신 배치를 이용하면 수신되는 종파의 크기가 매우 미약해지기 때문에 이와 같은 미약한 종파를 감지하기 위해서는 콘크리트 측정용 초음파 시험기가 충분한 증폭 기능을 가져야 한다.

나. 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 구조

콘크리트의 특성을 측정하기 위해서는 콘크리트에서의 초음파 속도를 측정한다. 그러므로 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 기능은 초음파 속도 측정에 주목적을 두고 있다. 일반적인 경우 콘크리트 측정용 초음파 시험기는 초음파 속도 측정 기능만 요구되기 때문에 비교적 단순한 구조를 가지고 있다. Fig. 3-2-3-1은 일반적인 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 구조를 나타낸 것이다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기의 핵심적인 기능이 콘크리트에서의 초음

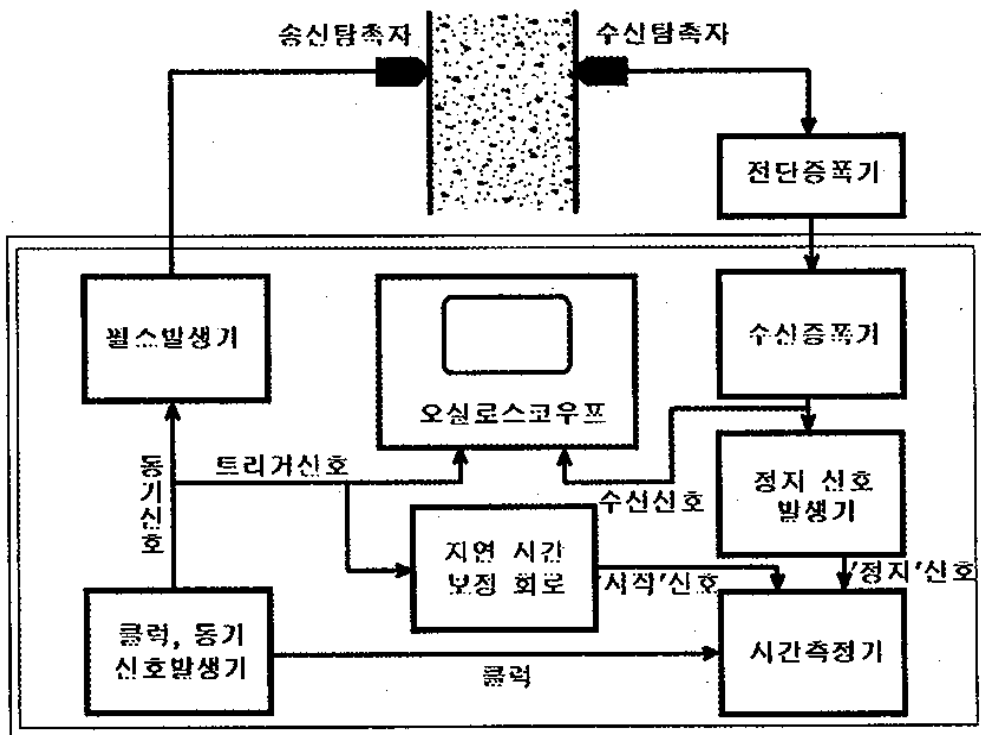


Fig. 3-2-3-1 System for measuring of ultrasonic velocity

파 속도를 측정하는 것이기 때문에 정확한 속도를 측정하기 위해서는 정확한 시계가 필요하다. 이와 같은 정확한 시계 역할을 하는 부분이 클락 발생기이며, 정확도를 유지하기 위하여 통상적으로 매우 안정된 발진 주파수를 갖는 수정 발진자(crystal oscillator)를 사용한다. 사용되는 주파수는 보통 10 MHz 정도이며, 이 경우 100 ns의 정밀도로 초음파의 전파 시간을 측정할 수 있다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기는 일정 시간 간격으로 초음파를 송, 수신하여 초음파의 전파 시간을 반복적으로 측정한다. 그러므로 일정 시간 간격으로 반복적인 측정을 수행하기 위해서는 반복적인 기준 시각을 알려주는 신호가 필요하다. 반복적인 기준 시각을 알려주는 신호를 동기 신호라 부르며, 이 동기 신호를 발생하는 부분이 동기 신호 발생기다. 동기 신호를 발생하는 방법은 여러 가지가 있으나, 콘크리트 측정용 초음파 시험기에서는 일반적으로 클락 발생기에서 발생하는 펄스를 분주하여 사용한다.

동기 신호의 시간 간격이 정확할 필요는 없다. 이는 동기 신호의 시간 간격이 측정 결과에 아무런 영향도 미치지 않기 때문이다. 그러나 송신된 초음파가 콘크리트 내에서 감쇠되어 완전히 소멸할 수 있을 만한 충분한 시간 간격은 유지하여야 한다. 이는 송신된 초음파가 완전히 소멸되지 않은 상태에서 다음 동기 신호에 의해 측정이 이루어지면 잔류하고 있던 이전의 초음파 신호에 의해 측정 오류를 일으킬 수 있기 때문이다.

동기 신호의 반복 빈도는 초음파를 발생하기 위하여 초음파 탐촉자로 보내는 전기적 신호의 반복 빈도와 같다. 일반적으로 초음파 탐촉자에 가하는 전기적 신호는 펄스 형태이기 때문에 이 전기적 신호의 반복 빈도를 펄스 반복 주파수(P.R.R. Pulse Repetition Rate 또는 P.P.F. Pulse Repetition Frequency)라고 부른다. 펄스 반복 주파수는 pps(pulses per second)로 표시하며, 보통 수 pps에서 수 백 pps 사이에 이르는 범위에서 선택할 수 있다

록 되어 있다.

초음파 탐촉자는 전기적 신호를 가하면 기계적 변형이 일어나고 반대로 기계적 변형이 일어나면 전기적 신호가 발생하는 압전 소자를 이용한다. 그러므로 초음파 탐촉자로 초음파를 발생하기 위해서는 초음파 탐촉자에 전기적 신호를 가하여야 한다. 이와 같은 전기적 신호를 발생하는 부분이 펄스 발생기다.

초음파 탐촉자에 가하는 전기적 신호는 임펄스(impulse), 스텝 펄스(step pulse), 톤 버스트(tone burst), 랜덤 코드(random code) 등 여러 가지가 있으나 보통 임펄스를 많이 사용한다. 임펄스는 신호 폭이 좁은 반면 전압은 매우 높은 신호를 의미한다. 이 신호의 에너지 분포를 주파수 영역(frequency domain)에서 보면 매우 넓은 주파수 영역에 걸쳐 분포하기 때문에 공진 주파수가 다른 여러 종류의 초음파 탐촉자를 구동하기에 적합하다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기에 사용하는 초음파 탐촉자를 구동하기 위해서는 보통 500 V에서 1200 V 정도의 고전압을 갖는 임펄스를 가하여야 한다. 그러므로 펄스 발생기에는 이 정도의 고압을 발생할 수 있는 고압 발생기가 포함되어야 한다. 일반적으로 콘크리트 측정용 초음파 시험기는 휴대용이기 때문에 배터리를 전원으로 사용하므로, 저압의 직류 전원을 고압의 직류 전원으로 변환하여 주는 직류-직류 변환기(DC to DC convertor)를 사용한다.

고압 발생기에서 발생한 고압의 전원을 초음파 탐촉자에 연결하면 초음파 탐촉자는 가해진 전원의 전압과 같은 고압으로 충전된다. 이때 충전된 초음파 탐촉자를 순간적으로 방전시키면 임펄스를 가한 효과를 얻을 수 있다. 콘크리트 측정용 초음파 시험기는 동기 신호와 동기 신호 사이에 초음파 탐촉자를 충전하고, 동기 신호가 발생하는 순간에 충전된 초음파 탐촉자를 방전함으로써 반복적인 임펄스를 초음파 탐촉자에 가하게 되고 이로 인해 초

음파가 반복적으로 발생하게 된다. 이때 중요한 것은 방전 시간으로, 이 방전 시간이 짧을수록 초음파 탐촉자에 가해지는 임펄스의 주파수 영역이 넓어진다. 방전 시간을 하강 시간(falling time)이라 부르며, 이 하강 시간은 사용하는 초음파 탐촉자의 공진 주파수 주기의 1/4보다 짧아야 한다.

초음파 탐촉자에 펄스가 가해지면 초음파 발생하여 콘크리트로 송신되고, 송신된 초음파는 콘크리트를 통과하여 수신 초음파 탐촉자에 도달한다. 이때 수신 초음파 탐촉자에 도달한 초음파는 일반적으로 미약하기 때문에 수신 초음파 탐촉자에 의해 변환된 전기적 신호 또한 미약하다. 그러므로 이 신호를 처리하기 위해서는 미약한 신호를 처리하기에 적당한 크기로 증폭하여야 한다. 이 같은 역할을 하는 부분이 수신 증폭기다.

수신 증폭기는 수 백 μV 의 신호를 수 V의 신호로 증폭할 수 있어야 한다. 또한 콘크리트 측정에 사용하는 초음파의 주파수가 수 십 kHz에서 수 백 kHz의 주파수 영역을 가지므로 이 주파수 영역을 처리할 수 있는 주파수 특성을 가져야 한다. 실제 이 주파수 영역은 상용 전자 회로에서 비교적 많이 사용하는 대역으로 그리 어렵지 않게 구현할 수 있다.

초음파의 전파 시간을 정확히 측정하기 위해서는 수신된 초음파 신호의 음두(wave front)를 정확히 감지하여야 한다. 수신된 초음파 신호는 정현파(sine wave) 형태이기 때문에 신호의 크기에 따라 음두의 위치가 모호해질 수 있다. 이를 방지하기 위하여 수신 증폭기의 증폭도를 가급적 높여 정현파를 사각파에 가깝게 만든다. 그러나 너무 증폭도를 높이면 전기적 잡음에 의해 측정 오류가 발생할 수 있으므로 전기적 잡음에 의한 영향을 받지 않는 범위까지 증폭도를 올리는 것이 일반적이다.

콘크리트를 통과하는 초음파의 전파 시간을 측정하기 위해서는 초음파가 송신 탐촉자를 출발한 시간과 수신 탐촉자에 도달한 시간을 시간 측정기에 알려주는 신호가 필요하다. 이들 신호에 의해 시간 측정기 동작의 시작과

정지가 이루어지므로 이들 신호를 각각 '시작' 신호, '정지' 신호라 부른다. 동기 신호의 발생에 의해 송신 탐촉자에 전기적 펄스가 가해지므로 '시작' 신호는 동기 신호로부터 추출할 수 있으며, '정지' 신호는 음두 수신된 초음파 신호를 감지가 용이하도록 처리한 수신 증폭기의 출력으로부터 추출할 수 있다. Fig. 3-2-3-2는 시간 측정기가 동작하기 위한 각 신호의 파형을 개념적으로 나타낸 것이다.

콘크리트에서의 초음파 속도를 정확히 측정하기 위해서는 초음파가 순수하게 콘크리트를 통과하는 시간만을 정확히 측정하여야 한다. 그러나 수신 초음파 탐촉자에 의해 수신되어 수신 증폭기를 거쳐 시간 측정기에 도달하는 초음파 신호는 펄스 발생기에서 송신 탐촉자까지의 도선(cable), 송신 탐촉자와 콘크리트 사이의 접촉 매질, 콘크리트와 수신 탐촉자 사이의 접촉 매질, 수신 탐촉자에서 수신 증폭기까지의 도선에 의한 지연 시간이 포함되어 있다. 그러므로 콘크리트를 통과하는 초음파의 전파 시간을 정확히 측정하기 위해서는 이들에 의한 지연 시간을 보정하여 주어야 한다. 이와 같은 지연 시간을 보정하여 주는 부분이 지연 시간 보정 회로다. 지연 시간은 시험 조건에 의해 다소 달라지기 때문에 일정 값으로 일률적인 보정은 할 수 없다. 이에 따라 정확한 전파 시간을 알고 있는 기준 시험편을 사용하여 각 시험 조건에서의 지연 시간을 보정한다. 그러므로 시간 측정기로 입력되는 '시작' 신호의 발생 시각은 동기 신호에서 이와 같은 지연 시간이 보정된 시각이 된다.(Fig. 3-2-3-2 (c))

수신 증폭기의 출력 신호를 시간 측정기의 '정지' 신호로 보내기 위해서는 최초로 수신되는 초음파 음두만을 가려내는 회로가 필요하며 이 부분을 정지 신호 발생기라 부른다. 이를 구현하는 방법도 여러 가지 방법이 있으나 플립/플롭(flip/flop)을 사용하여, 동기 신호로 리셋(reset)하고 수신 증폭기의 출력으로 셀(set)함으로써 구현할 수 있다.(Fig. 3-2-3-2(e))

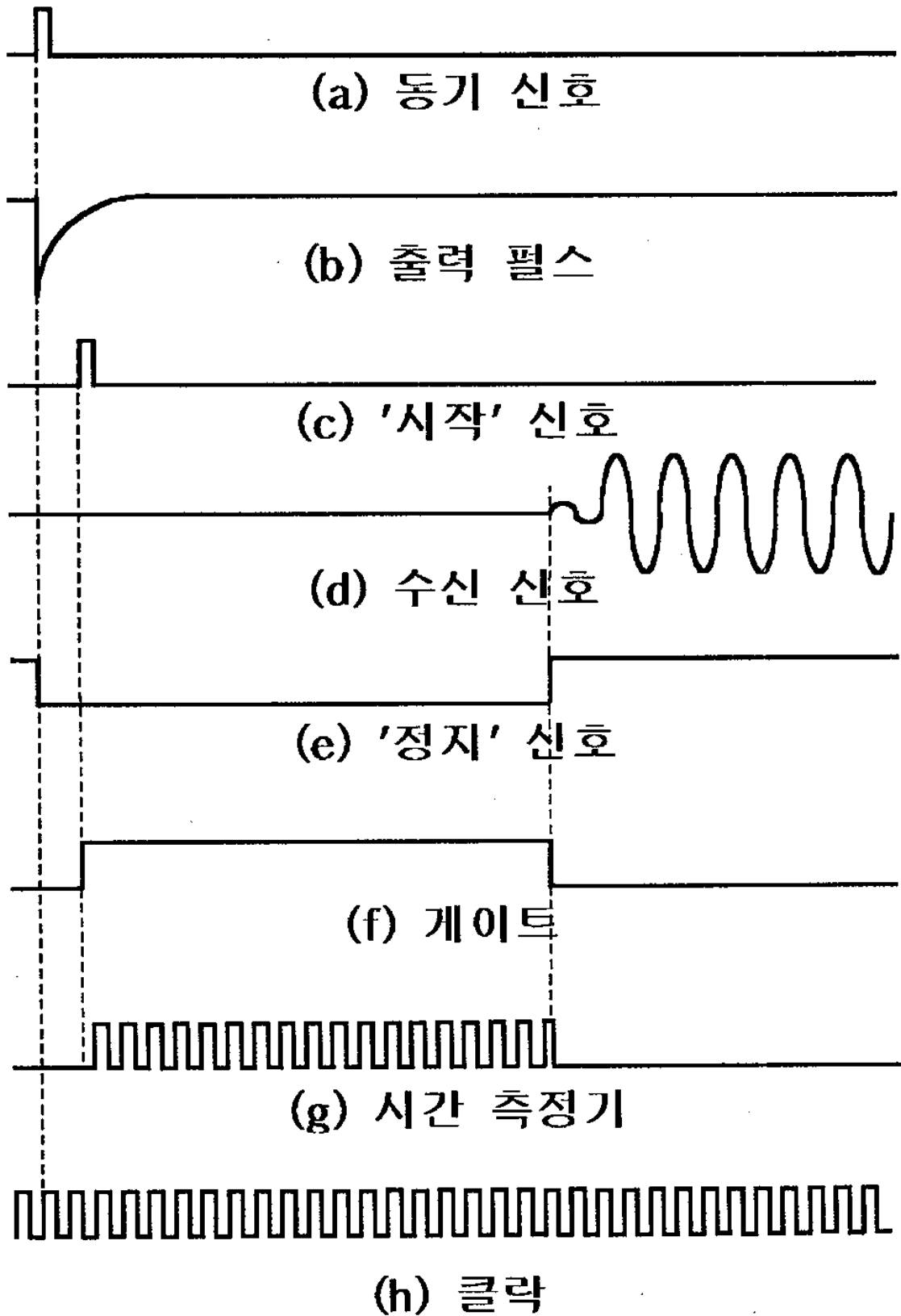


Fig. 3-2-3-2 Waveforms in UT tester

시간 측정기는 지연 시간 보정 회로의 출력인 '시작 신호'가 입력되는 순간부터 시간 측정을 시작하여 정지 신호 발생기의 출력인 '정지' 신호가 입력되면 시간 측정을 정지함으로 이 둘 신호 사이의 시간을 측정한다. 이를 구현하기 위하여 플립/플롭을 사용하며, 이를 '시작' 신호로 셋하고 '정지' 신호로 리셋함으로써 시간 측정을 위한 게이트(gate)를 만든다.(Fig. 3-2-3-2(f)) 이 게이트가 열려 있는 시간 동안 클락을 계수(count)함으로써 초음파의 전파 시간을 측정할 수 있다.(Fig. 3-2-3-2(g)) 매 동기 신호 발생 때마다 초음파 전파 시간을 측정하여 이를 도출할 수도 있으나, 보다 정밀한 측정을 위하여 수 회 또는 수십 회의 동기 신호에 걸쳐 클락을 계수한 후 이를 평균 내어 전파 시간을 측정하기도 한다.

콘크리트 측정 신호 수신되는 초음파 신호는 매우 미약할 뿐 아니라 시험 조건에 의하여 초음파의 감쇠 정도 차이가 심하므로 측정 오류를 범하는 경우가 빈번히 발생한다. 특히 간접 송수신 배치에서 종파의 초음파 전파 시간을 측정하는 경우 이 신호의 크기가 워낙 작기 때문에 이를 감지하지 못하고, 대신 상대적으로 월등히 큰 진폭을 갖는 표면파의 초음파를 감지하여 전파 시간을 측정하는 오류가 빈번하게 발생한다. 이 같은 오류는 수신되는 초음파의 파형을 관찰하면서 측정함으로써 방지할 수 있다. 이와 같은 목적을 위한 보조 장비로 오실로스코프(oscilloscope)를 사용할 수 있다.

오실로스코프는 전기적 신호를 시각적으로 도시하는 전자 장비로 매우 널리 사용되는 상용 장비다. 이를 이용하면 콘크리트 측정용 초음파 시험기 각 부의 전기적 신호를 관찰할 수 있어 매우 유용하나, 이 장비 자체의 부피 및 무게로 인하여 일반적인 휴대용 콘크리트 측정용 초음파 시험기에는 내장되어 있지 않다. 그러므로 이 같은 휴대용 장비를 사용하는 경우에는 꼭 필요할 때에만 단독형 오실로스코프를 함께 휴대하여 사용한다.

그러나 편리성을 도모하기 위하여 콘크리트 측정용 초음파 시험기에 소형

오실로스코프를 내장하기도 한다. 내장하는 오실로스코프에는 아날로그형과 디지털형이 있으나, 일반적으로 콘크리트 측정용 초음파 시험기는 펄스 반복 주파수가 낮고, 또한 낮은 주파수의 초음파를 사용하므로 디지털형 오실로스코프가 보다 많이 사용된다

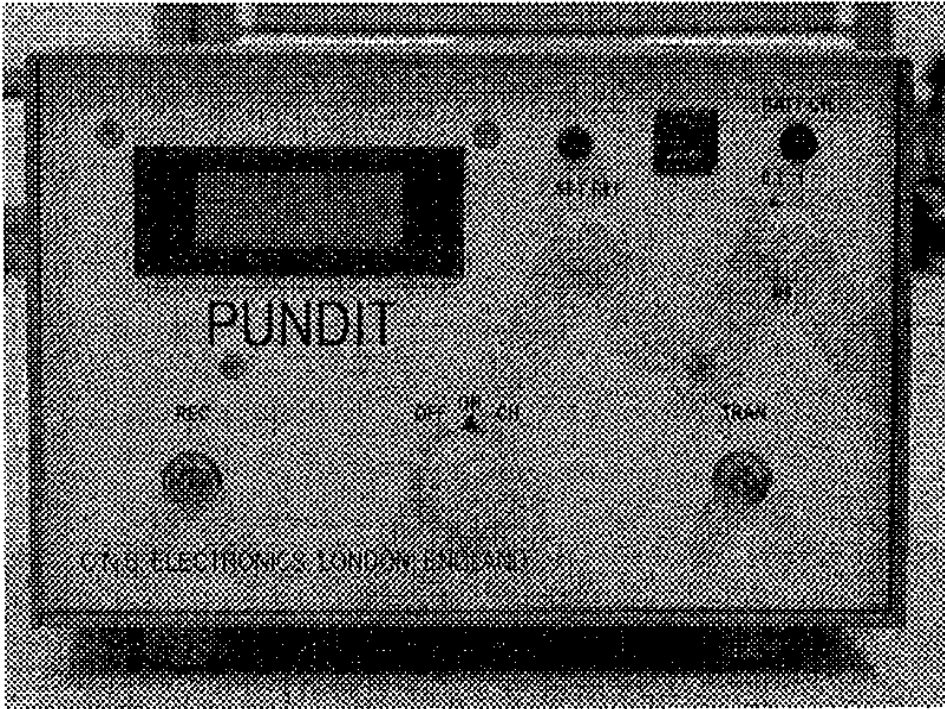
다. 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 실례 및 비교

콘크리트 측정용 초음파 시험기의 종류는 다양한 편이 아니다. 현재 국내에서 사용하는 장비도 단순히 초음파의 전파 시간만을 측정하는 PUNDIT 장비와 디지털 오실로스코프가 부착된 TR 300이 주종을 이루고 있다. 이에 따라 이 두 장비의 특징을 비교 검토하여 보았다. Fig. 3-2-3-3의 (a)는 PUNDIT의 외형 사진이며, (b)는 TR 300의 외형 사진이다.

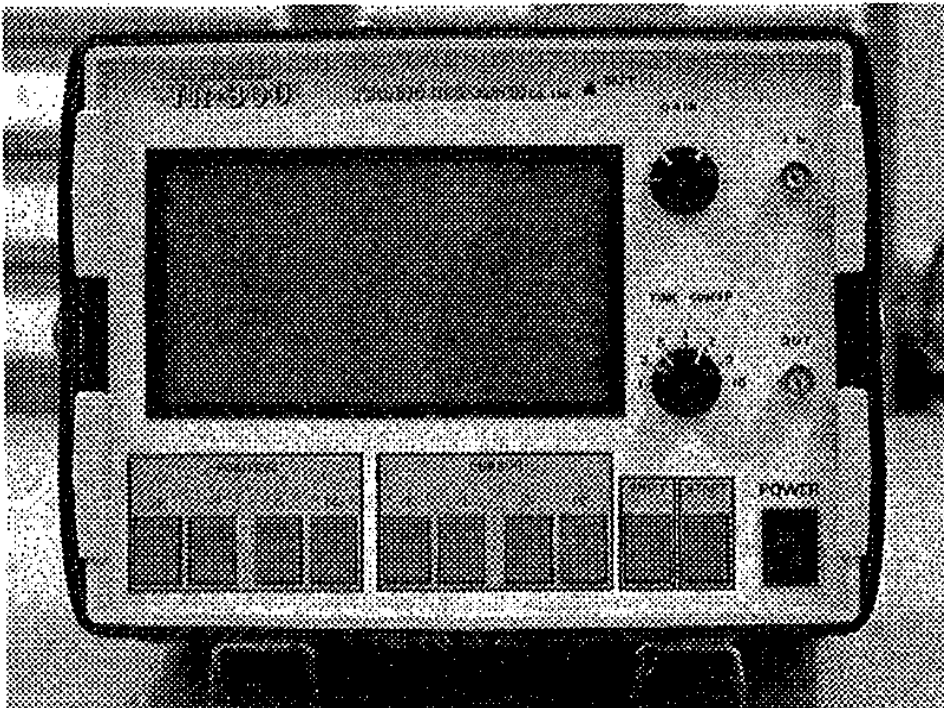
PUNDIT는 가장 전형적인 콘크리트 측정용 초음파 시험기다. 초음파의 전파 시간을 측정하기 위한 최소한의 기능을 갖추고 있어 매우 소형이며 경량이다. 가장 먼저 상용화된 콘크리트 측정용 초음파 시험기로 다른 장비들도 기본적인 구조는 이 장비의 구조를 따른다.

Fig. 3-2-3-4의 (a)는 PUNDIT의 전면 그림이고, (b)는 PUNDIT의 후면 그림이다. 전면 하단 중앙의 전원 스위치는 3 단으로 되어 있다. OFF 위치는 장비의 전원을 차단하여 작동을 멈추게 하며, ON 위치는 전원을 공급하여 장비를 작동시킨다. CH 위치는 외부의 교류 전원으로부터 변환한 직류 전원을 배터리로만 공급하여 배터리를 충전하는 기능을 한다. ON 위치 시 외부의 교류 전원이 공급되면 이로부터 변환된 직류 전원에 의해 장비가 작동하며, 외부의 교류 전원이 차단되면 충전된 배터리의 직류 전원에 의해 장비가 작동한다. 우측 상단의 램프들과 계기판은 장비의 전원 상태를 표시한다.

송신 초음파 탐촉자는 송신 단자인 TRAN.(TRANsmitter) BNC 콘넥터에



(a) PUNDIT



(b) TR 300

Fig. 3-2-3-3 PUNDIT & TR 300

연결되며, 이 단자를 통해 펄스 발생기에서 발생한 펄스가 송신 초음파 탐촉자에 가해진다. 수신 초음파 탐촉자는 수신 단자인 REC.(RECEIVER) BNC 콘넥터에 연결되며, 이 단자를 통해 수신된 초음파 신호가 수신 증폭기로 전달된다.

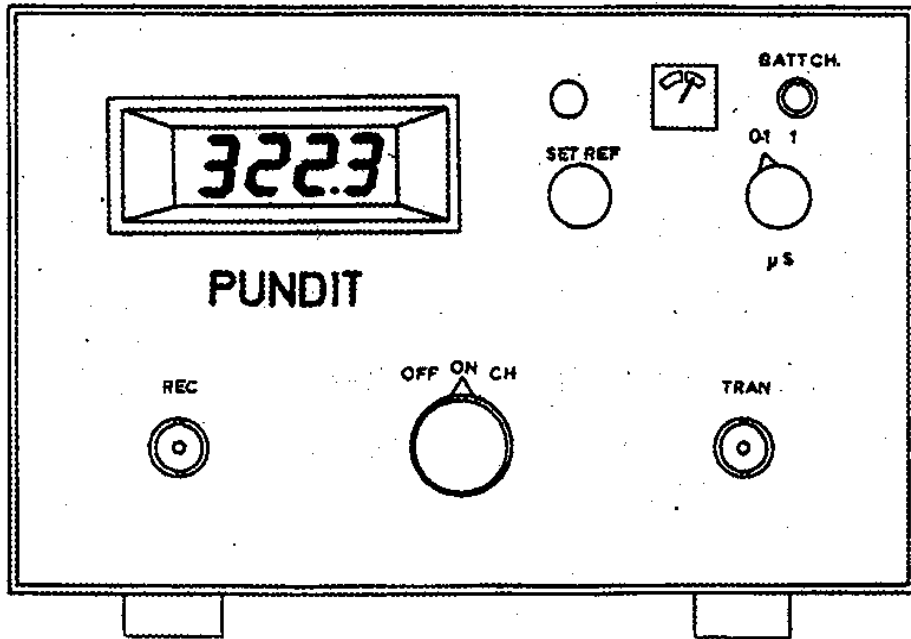
PUNDIT 작동의 시간적 기준이 되는 클락 신호 발생기는 10 MHz 수정 발진자를 사용한다. 시간 측정기에서는 10 MHz의 이 클락을 직접 사용하거나, 또는 이를 10 분주한 1 MHz의 클락을 사용한다. 그러므로 직접 사용할 경우에는 0.1 μ s 간격으로, 10 분주한 경우에는 1 μ s 간격으로 초음파의 전파 시간을 측정할 수 있다. μ s 스위치는 이를 선택하는 스위치다.

좌측 상단의 LCD(Liquid Crystal Display)는 측정 결과를 표시하여 주는 창으로 10 진 4 자리(digit)로 되어 있다. 그러므로 μ s 스위치를 0.1 μ s로 선택한 경우에는 000.0 μ s부터 999.9 μ s까지, 1 μ s로 선택한 경우에는 0000 μ s부터 9999 μ s까지 측정할 수 있다. 즉, μ s 스위치를 선택함에 따라 시간 측정 정밀도뿐만 아니라 시간 측정 범위까지 변하게 된다.

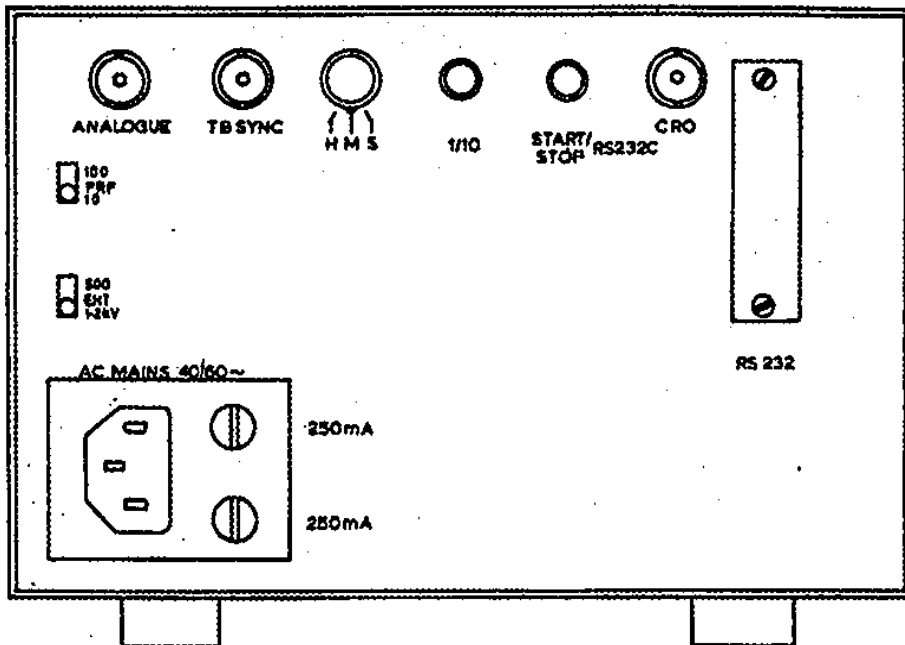
SET REF(SET REFERENCE) 스위치는 지연 시간을 조절하는 스위치다. 정확한 초음파 전파 시간을 알고 있는 기준 시험편을 사용하면 현재 구성되어 있는 시험 조건에서의 지연 시간을 보정할 수 있다.

후면 하단의 3 접점 플러그(3 way plug)는 외부의 교류 전원이 연결되는 부분이다. 이 플러그를 통하여 입력되는 110 V 또는 220 V의 외부 교류 전원은 내부의 전원 장치에 의하여 장비의 작동에 필요한 직류 전원으로 변환된다. 변환된 직류 전원은 장비의 작동에 사용되거나, 배터리 충전에 사용된다.

콘크리트 측정용 초음파 탐촉자를 구동하기 위해서는 수 백 V 이상의 고전압 전원이 필요하다. 그러므로 배터리의 전압에 해당하는 저압의 직류 전원에서부터 고전압의 전원을 만들어 주는 직류/직류 변환기가 필요하다.



(a) Front panel of PUNDIT



(b) Rear panel of PUNDIT

Fig. 3-2-3-4 Front & rear panel of PUNDIT

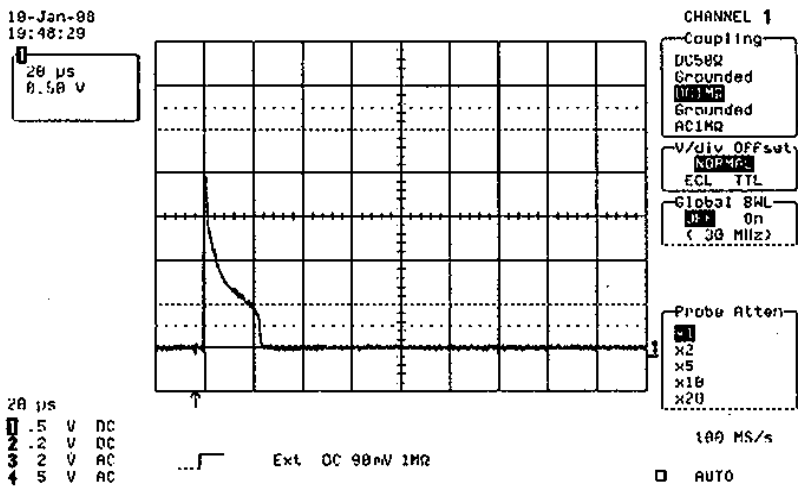
EHT 스위치는 직류/직류 변환기의 출력 전압을 선택하는 스위치다.

PRF 스위치는 펄스 반복 주파수를 선택하는 스위치다. 송신한 초음파가 콘크리트 내부에서 감쇠되어 완전 소멸하기 전에 다음 송신 초음파를 콘크리트 내부로 송신하면 잔류 초음파에 의해 측정 오류가 발생할 수 있다. 그러므로 송신한 초음파가 다음 초음파 송신 전까지 완전히 소멸할 수 있도록 이 스위치를 선택하여야 한다. 측정값이 심하게 변하는 경우 이 단자의 설정이 잘못되어 있는지 확인해 볼 필요가 있다. 펄스 반복 주파수를 낮추면 (10으로 설정하면) 보다 안전한 측정이 가능하나, 보조 장치로 아날로그 오실로스코프를 사용하는 경우 오실로스코프의 파형 도시 빈도가 낮아져 파형이 어두워진다.

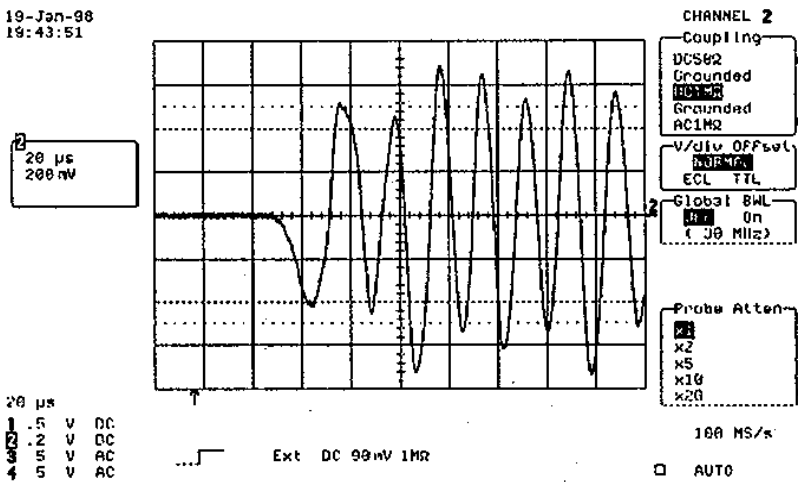
ANALOGUE BNC 단자는 시간 측정기의 동작을 제어하는 게이트의 파형을 아날로그 형태로 출력하는 단자다. TB SYNC(Time Base Synchronization) BNC 단자는 동기 신호를 출력하는 단자로, 오실로스코프와 같은 외부의 보조 장비를 사용할 경우 보조 장비의 시간 측 동기 신호로 사용한다. CRO(Cathode Ray Oscilloscope) BNC 단자는 수신 증폭기의 출력 단자로 수신된 초음파 신호의 파형을 출력하며, 이를 오실로스코프에 연결하면 수신된 초음파 신호의 파형을 관찰할 수 있다. Fig. 3-2-3-5은 이들 각 단자에서 나오는 파형의 예다.

그 외의 누름 스위치, 회전 스위치, 콘넥터 들은 PUNDIT와 다른 장비간의 디지털 데이터 및 명령어 전송을 위한 것들이다. 장비 상호간의 데이터 및 명령어 전송을 인터페이스(interface)라 하며, 여러 가지 규격화된 인터페이스 방식이 사용되고 있다. PUNDIT에서는 이들 중 가장 간단하면서도 가장 널리 사용되는 RS232C serial interface를 주로 사용한다.

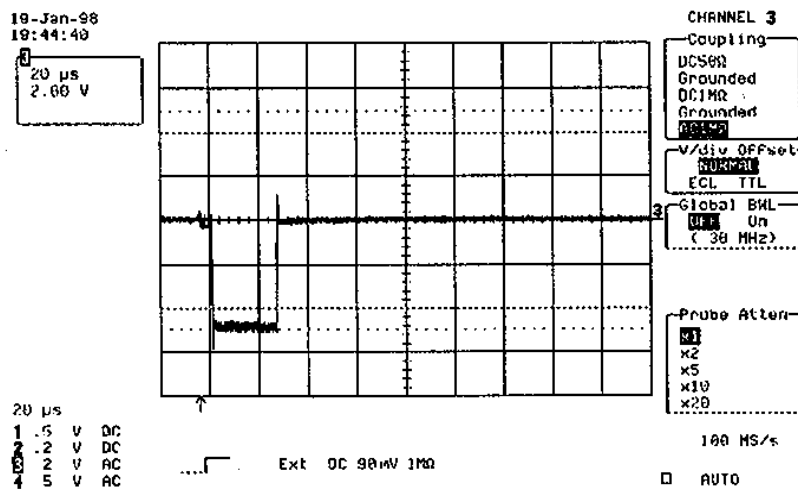
TR 300은 PUNDIT에 비해 보다 진보된 콘크리트 측정용 초음파 시험기라 할 수 있다. 디지털 오실로스코프 기능을 내장하고 있으며, 초음파 속도



(a) Waveform of TB SYNC



(b) Waveform of CRO



(c) Waveform of ANALOGUE

Fig. 3-2-3-5 Waveforms of PUNDIT

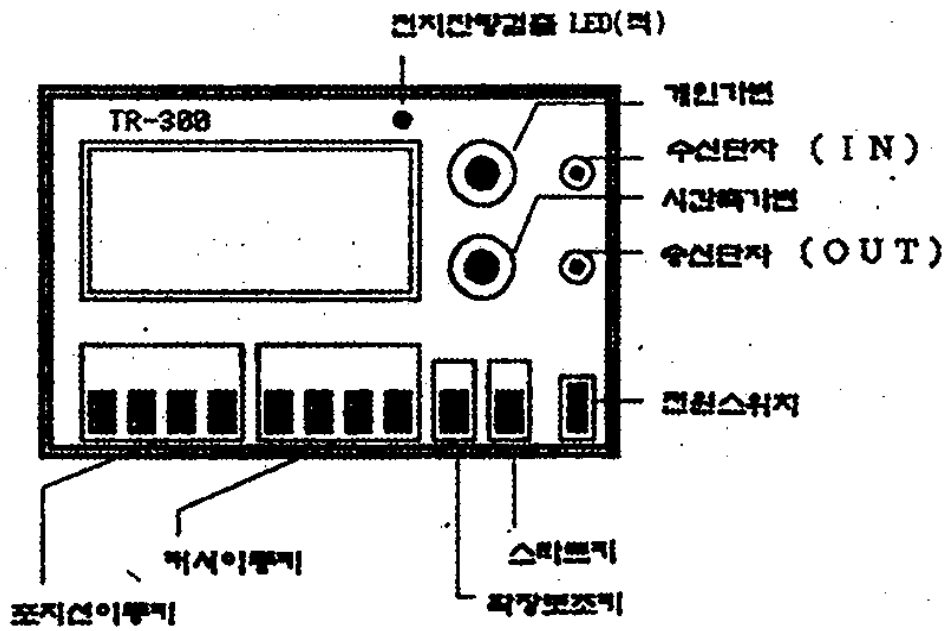
를 이용한 여러 콘크리트 특성 측정 기법을 마이크로프로세서를 사용하여 디지털로 처리할 수 있도록 제작한 장비다. 초음파 속도를 이용한 콘크리트 특성 측정 기법에 대한 지식을 갖춘 상태에서 이 장비의 사용법에 익숙해지면 매우 유용하게 사용할 수 있는 장비다. 그러나 기능이 다양한 만큼 고가이며, 사용법이 다소 복잡하다.

Fig. 3-2-3-6의 (a)는 TR 300의 전면 그림이고, (b)는 TR 300의 후면 그림이다. 전면의 우측 하단에 전원 스위치가 있으며, 전원 스위치 단락 시 외부 전원이 연결되어 있으면 외부의 전원을 사용하고, 그렇지 않으면 내부의 배터리를 전원으로 사용한다. 이 장비는 내부에 교류 전원을 직류 전원으로 변환하여 주는 전원 회로가 없으므로 외부에서 공급되는 전원도 직류 전원이어야 한다.

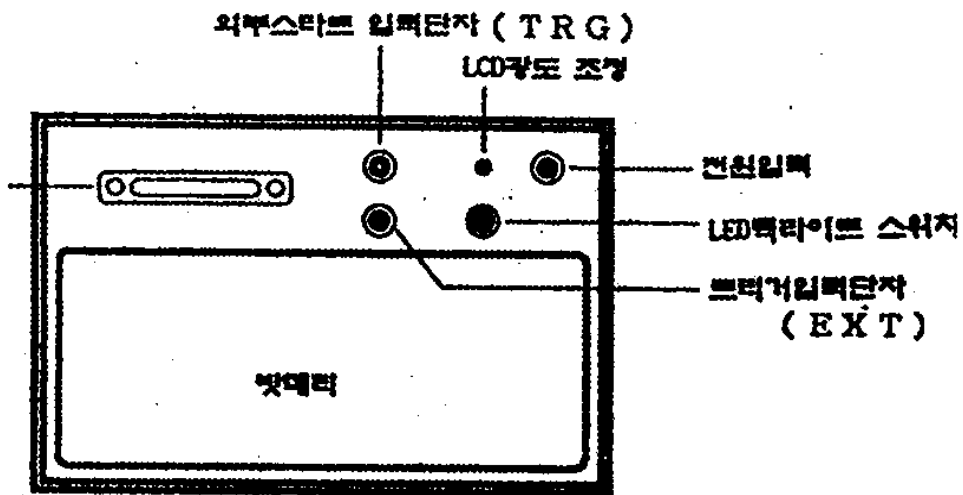
PUNDIT와 마찬가지로 송신 단자에 의해 송신 초음파 탐촉자로 펄스가 가해지며, 수신 초음파 탐촉자로 수신한 초음파 신호가 수신 단자를 통해 수신 증폭기로 전달된다. PUNDIT의 경우 단순히 수신한 초음파의 음두를 찾는 기능만 있는 반면 TR 300은 수신한 신호의 파형을 LCD에 도시하는 기능이 있기 때문에 도시되는 파형을 조작할 수 있는 스위치들이 추가되었다. 증폭도(gain) 가변 스위치는 수신된 초음파 신호를 사용자가 보기 좋은 크기로 조절하기 위한 것이며, 시간 축 가변 스위치는 LCD에 도시되는 초음파 신호의 시간 범위를 조절하기 위한 것이다.

TR 300의 작동은 하단의 시작(start) 키를 눌러 동기 신호를 발생시킴으로써 이루어진다. 동기 신호가 발생하는 순간 펄스 발생기로부터 송신 초음파 탐촉자로 펄스가 가해져 콘크리트로 초음파가 송신되고, 수신하는 초음파 신호를 디지털 값으로 변환하는 아날로그/디지털 변환기(analog to digital converter)가 작동을 시작한다.

동기 신호가 발생한 시점부터 수신 초음파 탐촉자로 수신하는 신호는 설



(a) Front panel of TR 300



(b) Rear panel of TR 300

Fig. 3-2-3-6 Front & rear panel of TR 300

정된 시간 간격으로 3200 개까지 디지털 값으로 변환되어 메모리에 저장된다. 디지털 변환이 끝나면 LCD에 도시하고자 하는 시간 범위 설정에 따라 등 간격으로 160 개의 디지털 값을 추출하여 LCD에 도시한다. 시간 축 가변 스위치를 사용하면 짧은 시간 구간을 자세히 보거나 긴 시간 구간을 대략 보거나 할 수 있다. 일반적인 경우 LCD에 도시되는 신호는 디지털 값으로 변환된 전체 신호 중 일부 구간을 보여준다. 그러므로 디지털 값으로 변환된 전체 신호를 관찰하기 위해서는 도시 구간을 옮길 수 있는 기능이 필요하다. 이 같은 기능을 수행하는 스위치들이 하단 왼쪽에 위치한 4 개의 위치(position) 이동 키들이다. 이들 키들을 이용하여 도시 구간을 좌, 우로 옮겨가면서 디지털 값으로 변환된 전체 신호를 관찰할 수 있다.

PUNDIT의 경우 초음파 전파 시간의 측정이 장비 자체의 기능에 의하여 수행되나 TR 300의 경우 사용자가 초음파 신호의 파형을 확인하면서 측정하도록 되어 있다. 사용자가 디지털 값으로 변환된 초음파 신호의 파형을 보고 초음파 음두를 확인한 후 측정 커서(cursor)를 음두 위치로 옮기면 그곳에서의 시간 값과 신호 크기 값이 화면에 표시된다. 이 기능을 위한 스위치들이 하단 중앙에 위치한 4 개의 커서 이동 키들이다.

TR 300은 마이크로프로세서를 사용하여 장비의 설정 및 측정 방법들을 프로그램화하여 놓았다. 이러한 프로그램화한 기능을 조작하기 위한 스위치가 하단 좌측 부분의 확장 보조 키다. 이 키와 위치 이동 키, 커서 이동 키를 함께 사용하여 필요한 설정 및 측정을 행할 수 있다. 확장 보조 키는 장비의 환경을 설정 또는 측정 환경으로 바꾸는 역할을, 위치 이동 키는 설정 환경에서 설정 항목을 이동하는 역할을, 커서 이동 키는 설정 항목의 값을 변경하는 역할을 한다.

이들 키들을 사용하여 설정할 수 있는 항목들은 화면 높이(DISPLAY), 펄스 폭(PULSE WIDTH), 수신 증폭도(GAIN), 디지털 변환 시작 시간

(STARTING TIME), 지연 시간(TIME CORRECTION), 초음파 음속 (SONIC SPEED), 측정 방법(MODE), 디지털 변환 시간 간격(SAMPLING TIME) 등이다. 설정할 수 있는 측정 방법에는 박리, 공간, 두께 및 음속 측정(MODE [1]), BS법을 이용한 균열 깊이 측정(MODE [2]), Tc-To법을 이용한 균열 깊이 측정(MODE [3]), 균열 깊이 graphic 측정(MODE[4]), 외부 충격 장치를 이용한 탄성파 측정(MODE [5]) 등이 있다.

후면 상단 중앙의 외부 스타트 입력 단자(TRG)는 이곳에 잡음 마이크를 연결하여 외부의 충격음을 감지함으로써 디지털 변환 시작 시점을 알려주는 기능을 수행한다. 트리거 입력 단자(EXT)는 외부의 충격 탄성파 발생기에서 출력되는 동기 신호를 연결하는 단자로 충격 탄성파를 이용한 콘크리트 측정 시 사용한다. LCD 광도 조정(BRT)는 현장 조건 및 광원의 방향 등에 따라 LCD 표시기의 광도를 조절하는 스위치다. LCD 후광(back light) 스위치(LHT)는 어두운 현장에서 LCD 표시기를 볼 수 있도록 후광을 비춰주는 기능을 한다. 전원 입력 단자는 외부에서 TR 300으로 12 V 직류 전원을 공급하는 단자다. RS 232C 단자는 외부 장비와 디지털 데이터 교환을 하기 위한 interface 단자로, 전면의 확장 보조 키로 장비를 설정 환경으로 바꾼 후 메뉴를 통해 외부 장비와 데이터 교환을 할 수 있다.

PUNDIT와 TR 300의 사용 목적은 같지만 기능 면에서는 많은 차이점이 있다. 근본적인 차이점은 PUNDIT는 초음파 신호를 디지털 변환 없이 아날로그적인 방법으로 처리하는 반면, TR 300은 초음파 신호를 디지털 변환하여 디지털적인 방법으로 처리한다는 점이다. 그러므로 PUNDIT는 장비 자체에 의해 초음파 전파 시간을 측정하여야만 하는 반면, TR 300은 디지털 변환된 초음파 신호를 사용자가 확인하면서 측정할 수 있다. 또한 PUNDIT는 초음파 중 속도가 가장 빠른 종파의 속도만 측정할 수 있는 반면, TR 300은 사용자가 디지털 변환된 초음파를 관찰할 수 있으므로 경우 따라서는

종파뿐만 아닌 다른 모드의 초음파 속도도 측정할 수 있다.

PUNDIT는 장비 자체에서 발생하는 동기 신호에 의해 연속적인 측정이 이루어지므로 사용자의 조작 없이 탐촉자를 이동하는 순간 순간마다 초음파의 전파 속도를 측정할 수 있으나, TR 300은 측정 위치가 바뀔 때마다 사용자가 동기 신호를 발생시키고 디지털 변환된 초음파 신호를 관찰하여 초음파 전파 시간을 측정하여야 하므로 단발적인 측정만 가능하다. 그러나 PUNDIT를 사용하는 경우 초음파 전파 시간을 측정한 후 콘크리트의 특성을 일일이 수동으로 계산하여야 하는 반면, TR 300의 경우에는 여러 측정 기법이 프로그램화되어 있어 콘크리트의 특성이 자동으로 계산된다.

PUNDIT는 장비 자체에서 발생하는 동기 신호에 의해서만 작동할 뿐 아니라 측정값을 연속적으로 도시하기 때문에 외부의 충격 탄성파원을 사용하기가 어려운 반면, TR 300은 외부의 동기 신호에 의해서도 디지털 변환기가 작동하여 초음파 신호 파형을 기록할 수 있으므로 충격 탄성파 법에 의한 측정도 가능하다.

이와 같이 PUNDIT와 TR 300은 사용 목적이 같으면서도 기능 상 여러 가지 차이점이 있기 때문에 일률적인 방법으로 이들의 성능을 검사하기는 어렵다. 또한 TR 300의 경우 기능이 상당히 다양하기 때문에 이들 모두에 대한 성능 검사는 무리가 따른다. 그러므로 이들의 사용 목적에 필수적인 인자만을 추출하여 이들에 대한 성능 검사를 하는 것이 보다 타당한 성능 검사 방법이라 볼 수 있다. 또한 본 연구에서 검토하지 않은 다른 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 사용 목적도 이 두 장비의 사용 목적과 같기 때문에 이 두 장비에 적용할 수 있는 시험 방법을 적용할 수 있다.

라. 성능 검사 인자 검토

콘크리트 측정용 초음파 시험기는 콘크리트에서의 초음파 전파 시간을 측

정하기 위한 장비라 말할 수 있다. 이는 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 성능은 얼마만큼 정확하게 콘크리트에서의 초음파 전파 속도를 측정할 수 있는가에 의해 결정됨을 의미한다. 그러므로 초음파 전파 속도 측정에 영향을 주는 인자들을 찾아 이들에 대한 성능을 검사함으로써 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 성능을 검사할 수 있다. 이에 따라 초음파 전파 속도 측정에 영향을 주는 인자에 대한 검토와 측정 방법에 대하여 고찰하였다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기로 콘크리트에서의 초음파 전파 시간을 측정하기 위해서는 가장 먼저 초음파를 발생시켜 콘크리트로 송신하여야 한다. 그러므로 콘크리트로 송신되는 초음파의 특성은 초음파 전파 시간 측정에 영향을 주는 최초의 인자로 볼 수 있다. 송신되는 초음파의 특성은 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 펄스 발생기 성능에 의해 결정된다.

콘크리트에서는 초음파의 감쇠가 심하기 때문에 송신하는 초음파의 에너지가 매우 커야 한다. 그러므로 송신 탐촉자에 가하는 전기적 펄스 역시 큰 에너지를 가져야 하며, 이를 위하여 펄스 발생기에서 발생하는 전기적 펄스는 고압의 펄스이어야 한다. 전기적 펄스의 전압이 높을수록 송신 초음파의 에너지 역시 커지나, 너무 큰 경우 전기적 펄스의 하강 시간이 길어져 높은 공진 주파수의 송신 탐촉자를 구동하는 데 문제가 발생할 수도 있으며, 송신된 초음파의 잔류 시간이 길어져 초음파의 전파 시간 측정에 오류가 발생할 수도 있다. 그러므로 시험 조건에 따라 송신 초음파 탐촉자에 적당한 전기적 펄스를 가할 수 있도록 펄스 발생기의 출력 전압을 몇 단계로 선택할 수 있는 것이 일반적이다.

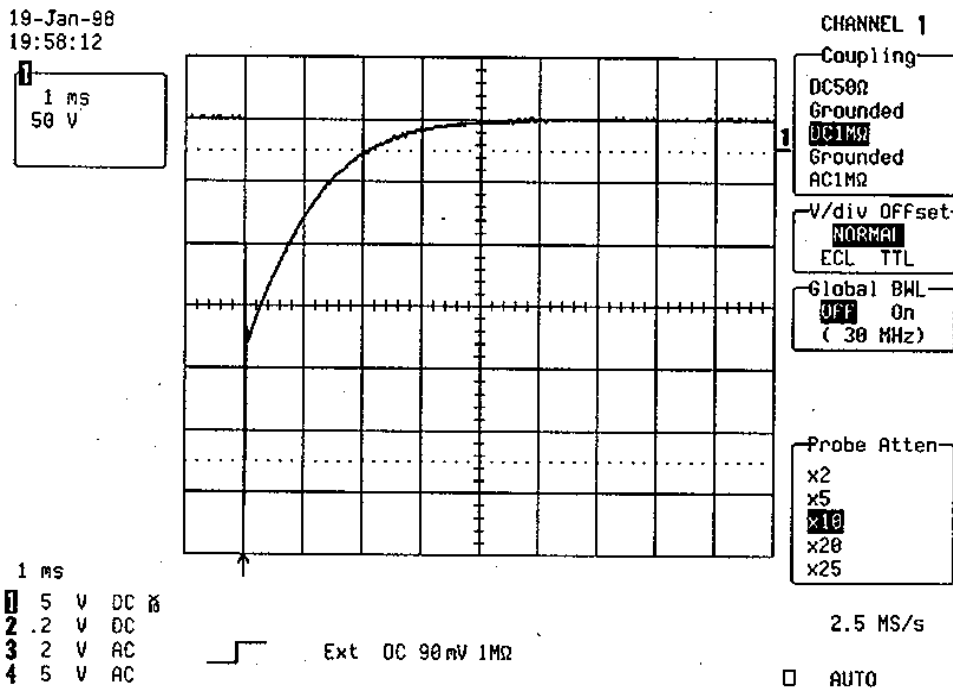
펄스 발생기의 성능을 검사하기 위해서는 출력되는 전기적 펄스의 전압과 하강 시간을 측정하여야 한다. 그러나 고압의 펄스를 측정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 몇 가지 문제점은 있으나 이들을 측정하는 방법 중 가장 간단한 방법은 오실로스코프를 사용하여 펄스 발생기의 출력 펄스 파형을 측정

하는 방법이다.

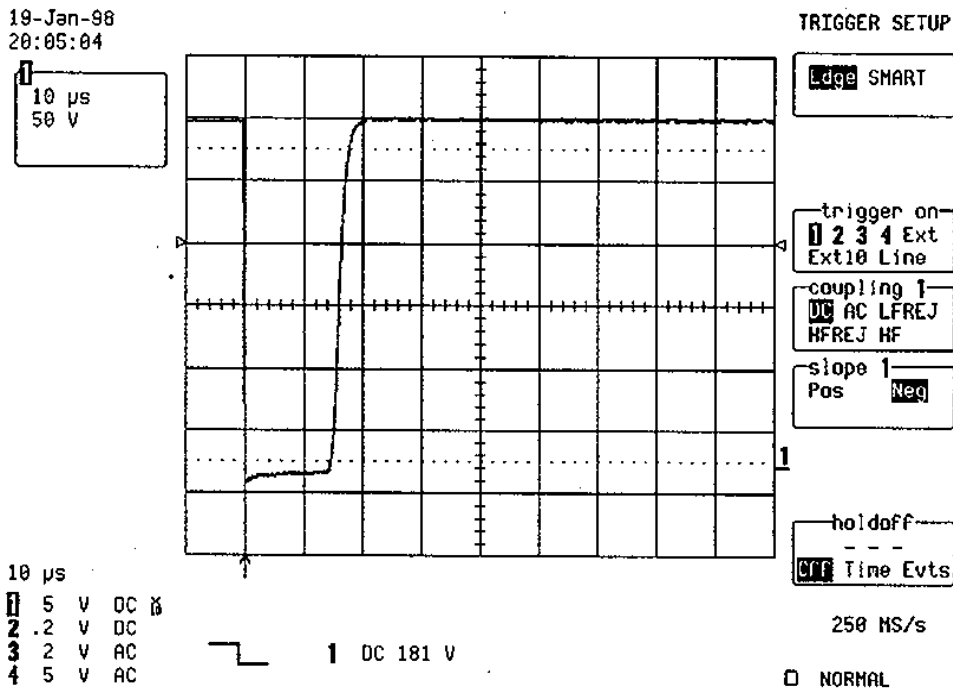
펄스 발생기의 출력 전압은 매우 높기 때문에 오실로스코프에 손상을 줄 수 있다. 가능한 100 : 1 probe를 사용하여 측정하는 것이 안전하나 경우에 따라서는 10 : 1 probe를 사용하여 측정할 수도 있다. Fig. 3-2-3-7은 10 : 1 probe를 사용하여 PUNDIT 및 TR 300의 펄스 출력을 측정한 예다. 이와 같은 출력 파형의 결과로부터 펄스 발생기 출력의 전압과 하강 시간을 측정할 수 있다. 성능 시험 결과에는 측정된 파형을 오실로스코프의 시간 축 설정 값 및 전압 축 설정 값과 함께 기록하고, 이와 아울러 출력 파형의 전압 및 하강 시간을 측정하여 기록하는 것이 바람직하다. 하강 시간은 펄스가 최대 전압 값의 10 % 값으로 하강한 시각부터 90 % 값으로 하강한 시각까지 걸리는 시간이다.

펄스 발생기에서 발생하는 전기적 펄스의 출력 파형은 장비의 설정 상태에 따라 다르게 나타날 수 있다. PUNDIT에서와 같이 출력 전압 값을 선택할 수 있는 장비에서는 선택된 출력 전압 값에 따라, TR 300에서와 같이 출력 펄스의 폭을 선택할 수 있는 장비에서는 선택된 펄스 폭에 따라 출력 펄스의 파형이 바뀐다. 이와 같이 장비의 설정 상태에 의해 출력 펄스 파형이 크게 변화하는 경우 이들 각 설정 값에서의 출력 파형을 측정하여 시험 검사 결과에 기록할 필요가 있다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기의 펄스 발생 주파수는 매우 낮기 때문에 펄스 발생 주파수 설정이 출력 펄스 파형에 영향을 주지 않는 것이 보통이다. 그러나 고압 발생 회로의 용량에 비해 펄스 발생 주파수가 높은 경우, 방전된 송신 초음파 탐촉자를 충분히 재충전하지 못한 상태에서 다음 동기 신호에 의해 재방전되어 펄스의 전압이 작아질 수도 있다. 그러므로 펄스 발생 주파수 설정 값의 변화에 따라 출력 펄스 파형이 변하는 경우 이를 성능 검사 결과에 기록할 필요가 있다.



(a) Pulse output of PUNDIT



(b) Pulse output of TR 300

Fig. 3-2-3-7 Pulse output of PUNDIT & TR 300

오실로스코프로 측정하는 경우 오실로스코프 자체의 입력 임피던스에 의해 펄스 발생기 출력 파형에 변화가 일어난다. 특히 일반적으로 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 펄스 발생기 용량이 매우 작기 때문에 오실로스코프 프로브의 정전 용량(capacitance)에 의해 출력 파형이 현저하게 변화하는 경향이 있다. 그러므로 사용한 오실로스코프의 종류 및 프로브의 입력 임피던스 등을 정확히 성능 검사 결과에 기록할 필요가 있다.

오실로스코프를 사용하는 경우 정확한 출력 파형의 측정은 사실 상 불가능하다고 볼 수 있으나, 오실로스코프로 펄스 발생기의 출력 파형을 관찰함으로써 펄스 발생기의 동작 상태 및 대략적인 성능을 검사할 수 있다. 또한 펄스 발생기의 출력을 일정 기간 간격으로 측정하여 기록함으로써 펄스 발생기 성능의 경년 변화도 알 수 있다.

수신 초음파 탐촉자에 의해 수신된 초음파 신호는 매우 미약하다. 간접 송수신 배치로 측정하거나 탐촉자간의 거리가 먼 경우 더욱 작아진다. 그러므로 수신된 미약한 초음파 신호로부터 음두를 찾아 초음파의 전파 시간을 측정하기 위해서는 이 신호를 일정 크기 이상으로 증폭하여야 한다. 이러한 기능을 수행하는 부분이 수신 증폭기다.

정지 신호 발생기는 수신 증폭기의 출력으로부터 초음파 신호의 음두를 찾아 '정지' 신호를 발생한다. 이때 수신 증폭기의 출력이 너무 작으면 정지 신호 발생기가 초음파 신호의 음두를 검출할 수 없다. 그러므로 수신 증폭기의 성능도 초음파 전파 속도 측정에 큰 영향을 미친다.

각 장비마다 초음파 신호의 음두를 찾아낼 수 있는 최소의 초음파 신호 크기가 있다. 이를 감도라 부른다. 그러나 초음파 신호의 음두를 찾아낼 수 있는 최소의 초음파 신호 크기는 수신된 초음파 신호의 주파수에 따라 달라진다. 이는 수신 증폭기의 증폭도가 주파수에 따라 달라지기 때문에, 같은 크기의 초음파 신호가 수신되더라도 주파수에 따라 수신 증폭기에서의 출력

값이 달라지기 때문이다. 이를 수신 증폭기의 주파수 특성이라 부른다.

일반적인 수신 증폭기는 Fig. 3-2-3-8과 같은 주파수 특성을 갖는다. 일정 주파수 범위에서는 안정된 증폭도를 유지하나 너무 낮은 주파수 또는 너무 높은 주파수에서는 증폭도가 저하된다. 증폭도가 안정된 증폭도의 1/2이 되기 시작하는 주파수부터 1/2로 떨어지기 시작하는 주파수까지를 주파수 대역폭(bandwidth)이라 한다.

출력을 측정할 수 있는 일반적인 장비에서는 다음과 같은 방법으로 주파수 특성을 측정할 수 있다. 먼저 안정된 증폭도를 갖는 대략적인 주파수 영역을 찾고 이 영역에서 중간 정도의 주파수를 선택한다. 선택한 주파수에서 입력 신호의 크기를 조절하여 적당한 크기의 출력 신호를 얻은 후 입력 신호의 주파수를 변화시키면서 출력 신호의 크기를 측정한다. 이와 같이 측정된 결과를 그래프로 그리면 Fig. 3-2-3-8과 같은 그래프를 얻을 수 있다.

이와 같은 방법은 출력 크기를 측정할 수 있는 TR 300 같은 장비에서는 가능하나 출력 크기를 측정할 수 없는 PUNDIT 같은 장비에서는 불가능하다. 그러나 PUNDIT 같은 장비라도 각 주파수에서의 감도가 주파수 특성을

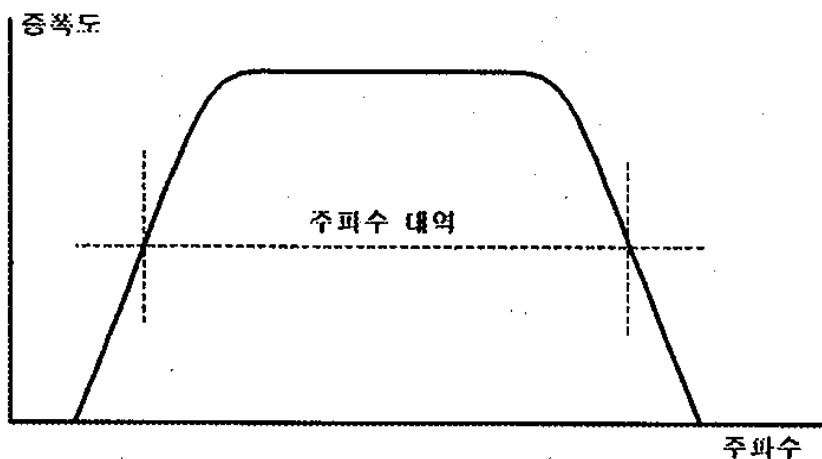


Fig. 3-2-3-8 Typical frequency response

반영하므로, 각 주파수에서의 감도를 측정함으로써 수신 증폭기의 주파수 특성 측정을 대신할 수 있다.

TR 300과 같이 수신 증폭기의 증폭도를 설정할 수 있는 경우, 증폭도에 따라 수신 증폭기의 주파수 특성이 바뀐다. 그러므로 장비의 주파수 특성을 정확히 측정하여야 하는 경우 각 증폭도 설정에 대한 주파수 특성을 측정하여야 하나, 콘크리트 측정용 초음파 시험기에서는 감도가 중요하므로 모든 증폭도 설정에 대한 주파수 특성을 측정할 필요는 없다. 감도란 전파 시간을 측정할 수 있는 최소의 입력 신호이므로 최대 증폭도 설정에서의 주파수 특성 측정만으로도 충분하다.

수신 초음파 탐촉자로 수신한 초음파 신호는 전기적 신호로 변환되어 수신 증폭기로 입력된다. 그러므로 이와 유사한 전기적 신호를 발생할 수 있는 외부 파형 발생기를 이용하면 수신 증폭기의 성능을 측정할 수 있다. 콘크리트 측정용 초음파 시험기에서의 초음파 전파 시간 측정은 동기 신호를 기준으로 이루어지므로 외부 파형 발생기도 이 동기 신호를 감지하여 작동할 수 있어야 한다. 동기 신호 발생 때 송신된 초음파는 콘크리트를 통과하는 시간만큼 지연되어 수신되므로 신호 발생기 또한 전기적 신호의 발생 시각을 동기 신호를 기점으로 지연시킬 수 있어야 하며, 송, 수신 초음파 탐촉자간의 거리에 따라 콘크리트를 통과하는 시간이 달라지므로 신호 발생기의 지연 시간도 임의로 설정할 수 있어야 한다. 또한 수신 증폭기의 감도를 측정하기 위해서는 발생하는 전기적 신호의 크기를 가변할 수 있어야 하며, 주파수 특성을 측정하기 위해서는 발생하는 전기적 신호의 주파수를 가변할 수 있어야 한다.

각 주파수에서의 감도 측정은 동기 신호 감지 후 적당한 지연 시간 후에 전기적 신호가 발생하도록 외부 파형 발생기를 설정한 후, 각 주파수에서 입력 신호의 크기를 변화시키면서 정상적인 전파 시간 측정이 가능한 최소

신호 크기를 찾아냄으로써 측정할 수 있다. 이 값은 PUNDIT와 같이 장비 자체가 초음파 전파 시간을 측정하는 경우, 시간 측정 표시기에 표시되는 결과의 안정된 값 표시 여부로 확인할 수 있다.

반면에 TR 300과 같이 수신된 초음파 신호를 사용자가 확인하면서 전파 시간을 측정하는 경우에는 파형 도시기에 도시된 파형에서 입력된 전기적 신호의 식별 여부로 확인하여야 한다. 그러나 이 경우 입력된 전기적 신호의 식별 여부는 검사자에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 검사자에 따른 차이를 제거하기 위해서는 누구나 확실히 식별할 수 있는 기준 크기를 설정하여야 한다. 일반적으로 파형 도시기 전체 높이의 5% 크기는 누구도 식별할 수 있는 크기이므로 이 크기를 기준 크기로 설정하면 무난하며, 이와 같이 기준 크기를 설정하여 측정한 경우 설정한 기준 크기를 파형 도시기 전체 높이의 % 값으로 성능 검사 결과에 기록하여야 한다. 또한 TR 300처럼 수신 증폭기의 증폭도를 조정할 수 있는 경우, 증폭도를 최대로 하면 수신 증폭기에서 발생하는 전기적 잡음 신호가 측정을 방해할 수도 있다. 이러한 경우에는 잡음보다 5% 더 큰 값을 기준 크기로 사용하여야 하며, 이와 같은 사실도 성능 검사 결과에 기록하여야 한다.

실제 콘크리트 측정용 초음파 시험기는 보통 수 백 μV 의 미세한 초음파 신호도 감지할 수 있으므로 수신 증폭기의 감도를 측정하기 위해서는 이와 동등한 전기적 신호를 수신 증폭기로 입력하여야 한다. 그러나 이 정도 크기의 신호를 일반적인 파형 발생기로 발생하는 것은 거의 불가능하므로 파형 발생기 출력에 표준 감쇠기(attenuator)를 달아 파형 발생기의 출력을 μV 단위로 줄여 사용한다.

콘크리트 측정에는 보통 수 십 kHz부터 수 백 kHz 사이의 초음파를 사용하므로 이 사이의 모든 주파수에 대한 감도를 일일이 측정하기는 어렵다. 그러므로 주파수에 따른 감도를 측정하기 위해서는 적당한 개수의 측정할

주파수를 선택할 필요가 있다.

Fig. 3-2-3-8에서 알 수 있는 바와 같이 주파수 특성 측정에서 중요한 부분은 증폭도가 증가 또는 감소하는 주파수 영역이다. 이들 영역을 측정하면 안정된 주파수 영역은 이들 영역 사이가 되기 때문이다. 그러므로 수신 증폭기의 주파수 특성은 이들 영역에 대한 주파수 특성을 측정함으로써 알 수 있다. 또한 실제 콘크리트 측정 시 이들 영역의 주파수를 갖는 초음파 탐촉자를 사용하는 경우가 극히 드물므로 이들 영역에 대한 세밀한 측정도 필요치 않다. 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 수신 증폭기 성능 검사 시에는 증폭도가 증가 또는 감소하는 영역에서 적당한 주파수 간격으로 10 개 정도만 측정하는 것으로도 충분하다.

주파수에 따른 감도를 측정하기 위해서는 수신 증폭기의 대략적인 주파수 특성을 먼저 알아보는 것이 도움이 된다. PUNDIT와 같이 출력 신호를 측정할 수 없는 경우 대략적인 주파수 특성은 수신 증폭기로 입력하는 전기적 신호의 크기를 적당한 값으로 고정한 후 주파수를 폭 넓게 가변하면서 정상적인 전파 시간 측정이 가능한지를 관찰함으로써 알 수 있다. 이는 전파 시간 측정이 가능한 주파수 범위와 수신 증폭기의 주파수 대역폭이 유사하기 때문이다. TR 300과 같이 수신 증폭기의 출력을 측정할 수 있는 장비에서는 전술한 일반적인 장비에서의 주파수 특성 측정 방법을 사용하여 대략적인 주파수 특성을 측정할 수 있다.

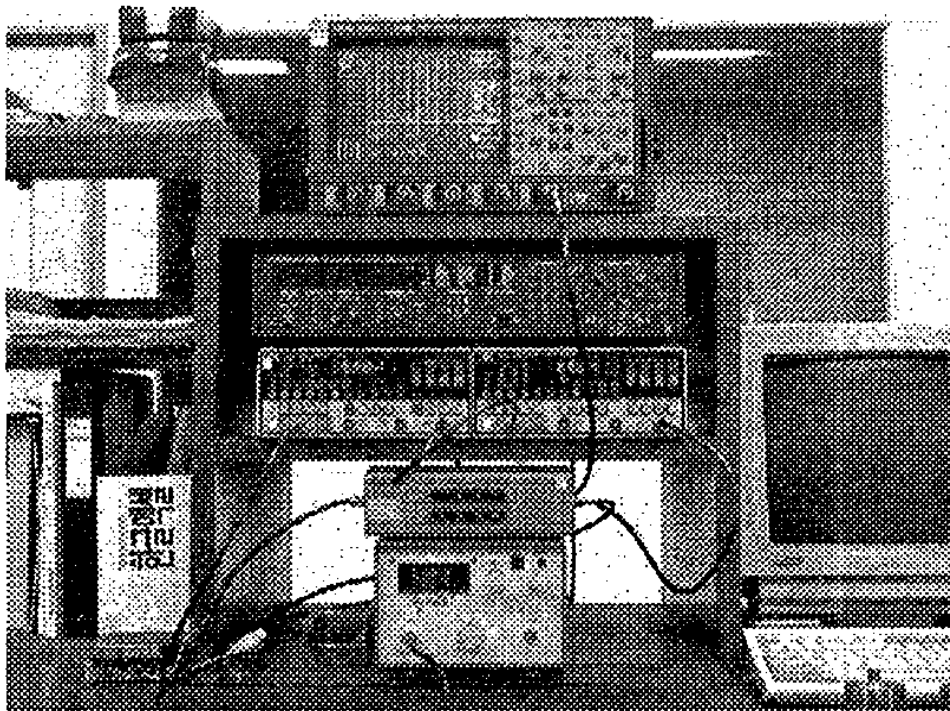
이와 같이 하여 대략적인 주파수 특성을 측정하면 안정된 증폭도를 갖는 주파수 영역을 알 수 있으며, 이 영역 중 적당한 주파수를 선정하여 입력 신호의 주파수로 설정하면 이 영역에서의 감도를 측정할 수 있다. 감도 측정은 파형 발생기와 표준 감쇠기를 사용하여 전술한 감도 측정 방법으로 할 수 있으며, 이 영역에서의 감도는 장비가 전파 시간을 측정할 수 최소 입력 신호 크기가 된다. 그러므로 입력 신호의 주파수가 수신 증폭기의 주파수

대역보다 낮거나 높은 영역에서는 이 때의 입력 신호보다 큰 신호가 입력되어야 전파 시간 측정이 가능하다.

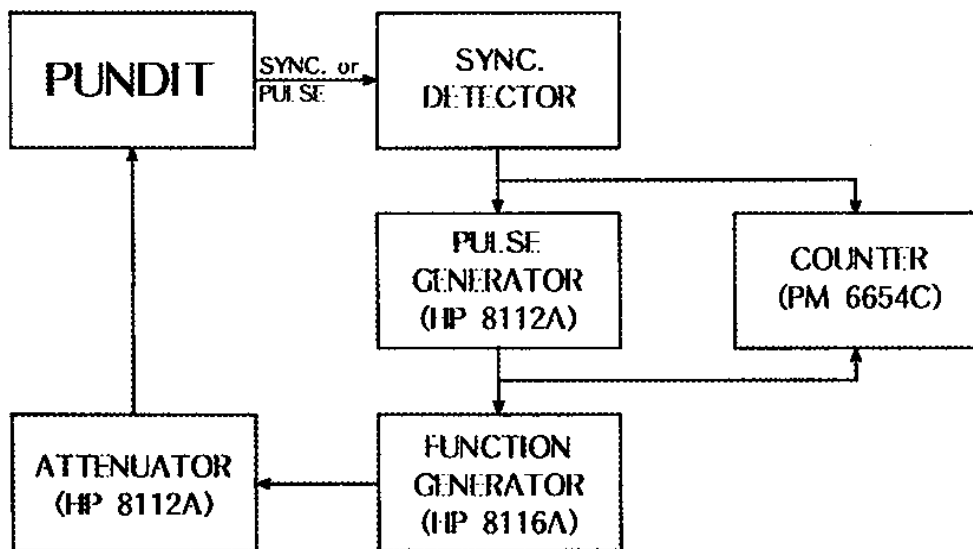
주파수 특성 측정 시, 주파수 변화에 대한 출력 값의 감소가 안정된 증폭도를 갖는 주파수 영역에서 측정되는 출력 값의 1/10 정도까지 떨어지는 주파수 증감 영역을 측정하면 전체적인 주파수 특성을 측정할 수 있다. 역으로 주파수 변화에 대한 감도가 안정된 증폭도를 갖는 주파수 영역에서의 감도보다 10 배 증가하는 주파수 증감 영역을 측정하면 전체적인 주파수 특성을 측정할 수 있다. 또한 주파수를 변화에 따른 출력 값의 감소를 측정하여 주파수 특성을 측정할 수 있는 반면, 역으로 입력 신호의 크기를 증가시키면서 각 입력 신호 크기를 감도 값으로 갖는 주파수를 찾음으로써 주파수 특성을 측정할 수 있다.

표준 감쇠기의 감쇠 값을 20 dB 줄임으로써 입력 신호를 10 배 증가시킬 수 있으며 증폭도가 증가하거나 감소하는 영역에서 적당한 간격으로 10 번 측정하면 충분한 주파수 특성을 측정할 수 있으므로, 표준 감쇠기를 사용하여 입력 신호 크기를 2 dB씩 증가시키면서 각 입력 신호 크기를 감도 값으로 갖는 주파수를 찾음으로써 주파수 특성을 측정할 수 있다. 이 때 측정되는 주파수는 증폭도가 증가하는 영역과 감소 영역 각각에서 존재하므로 각 입력 신호 크기에 대하여 2 개씩 측정된다. 측정 결과에는 각 측정된 주파수에 대한 입력 신호의 크기를 감도 값으로 기록한다. 감도 값과 더불어 참고가 될 수 있도록 파형 발생기의 출력 임피던스 및 출력 신호 크기, 표준 감쇠기의 임피던스 및 설정 값을 측정 결과에 기록한다.

Fig. 3-2-3-9 (a)는 보유하고 있는 PUNDIT의 주파수 특성을 측정하는 사진이며, (b)는 이 때의 장비 구성도다. PUNDIT에서 발생한 동기 신호는 펄스 발생기인 HP 8112A에 의해 설정된 시간만큼 지연되어 파형 발생기인 HP 8116A로 입력된다. 지연된 동기 신호에 의해 HP 8116A에서 수신 초음



(a)



(b)

Fig. 3-2-3-9 System to test the performance of UT tester

파 신호와 유사한 전기적 신호가 발생되고 이 신호는 표준 감쇠기인 HP 3750A의 설정 값만큼 감쇠되어 PUNDIT에 입력된다. PUNDIT인 경우 동기 신호가 외부로 출력되기 때문에 이 신호로 바로 외부 장비를 동기화 할 수 있지만, TR 300과 같은 경우 동기 신호가 외부로 출력되지 않기 때문에 펄스 발생기의 출력으로부터 동기 신호를 검출하여야 한다. 이와 같이 동기 신호를 출력하지 않는 장비로부터 동기 신호를 감지하기 위한 도구가 동기 신호 감지기다. 이는 간단한 전자 회로로 구현될 수 있으며, 본 연구에서도 동기 신호 감지기를 제작하여 사용하였다. PM 6654C 시간 측정기(counter)는 다음에 설명할 시간 측정기의 정확도 측정에 사용하는 장비로 수신 증폭기의 주파수 특성 측정에는 사용하지 않는다. 사용 장비에 따라 측정 장비 구성이 달라질 수 있으며, 사용 장비의 성능에 의해 측정 결과에 다소 오차가 발생할 수 있으므로 측정 결과에 사용 장비 및 성능, 장비 구성도를 함께 기록할 필요가 있다.

PUNDIT와 같은 일반적인 콘크리트 측정용 초음파 시험기에서는 수신 증폭기에 의해 증폭된 수신 초음파 신호는 '정지' 신호 발생기로 입력되고, 이 신호로부터 '정지' 신호 발생기에 의해 초음파 음두가 감지된다. 동기 신호에 의해 작동이 개시되는 지연 시간 보정 회로에 의해 발생하는 '시작' 신호와 '정지' 신호에 의해 시간 측정기가 측정할 시간 간격이 결정되고, 이 시간을 시간 측정기가 측정하여 결과를 표시기에 표시한다. 그러므로 '시작' 신호와 '정지' 신호의 정확한 발생도 중요하지만 실제 이들 시간 간격을 측정하는 시간 측정기의 정확도는 그 어느 부분보다도 더욱 중요하다.

시간 측정기는 일반적으로 게이트 발생 회로와 계수기로 구성되며, 시간 측정을 위한 안정된 주파수의 클락이 시간 측정기로 입력된다. 게이트는 '시작' 신호에 의해 열리고 '정지' 신호에 의해 닫힌다. 계수기는 게이트가 열려 있는 시간 동안 클락을 계수함으로써 게이트가 열려 있는 시간을 측정

한다. '시작' 신호 및 '정지' 신호, 그리고 이들 신호에 의해 생성되는 게이트 신호 이들 각각에 의해서도 시간 측정 오차가 발생할 수 있으나, 이들에 의한 오차는 항상 일정할 뿐 아니라 그 량도 매우 적다. 또한 계수기는 게이트가 열려 있는 동안 단순히 클락 수를 계수하는 작업만 하기 때문에 계수기에 의한 오차는 없다고 볼 수 있다. 그러므로 시간 측정기의 성능은 클락의 정확도에 의해 결정된다.

반면에 TR 300의 경우 장비 자체가 전파 시간을 측정하는 것이 아니라 사용자가 파형 도시기에 도시되는 파형을 확인하면서 전파 시간을 측정한다. 그러므로 일반적인 경우와는 달리 장비에 시간 측정기가 없다. 그러나 수신된 아날로그 초음파 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그/디지털 변환기가 클락에 의해 동작하며, 파형 도시기로부터 사용자가 측정하는 전파 시간도 이 클락을 기초로 하여 측정한다. 단지 장비 자체가 전파 시간을 측정하느냐 아니면 사용자가 전파 시간을 측정하느냐만 다를 뿐 둘 다 전파 시간 측정에 클락을 이용하므로, 이들 공히 전파 시간 측정의 정확성은 클락의 정확성에 의해 결정된다.

클락은 일반적으로 안정한 주파수를 갖는 수정 발진자의 출력을 이용한다. 수정 발진자의 고유 진동수는 온도 등에 의해 다소 변하기는 하나 매우 안정된 값을 갖고 있다. 또한 변화량이 매우 적기 때문에 일반적으로 콘크리트 측정에서는 무시할 수 있다. 그러나 수정 발진자 자체의 고유 진동수가 잘못되어 있으면 측정 결과에 오류가 발생한다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기에서 수정 발진자에서 발생하는 클락이 직접 출력되지는 않기 때문에 이를 직접 측정할 수는 없다. 또한 클락의 직접적인 측정보다는 출력되는 전파 시간 측정 결과의 정확성이 결과적으로 중요하기 때문에 이를 측정함으로써 시간 측정기의 정확도를 측정할 수 있으며, 이는 결국 클락의 정확도를 측정하는 것과 같은 결과가 된다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기에서 출력되는 시간 측정 결과는 내부의 지연 시간 보정 회로에 의해 지연 시간이 보정된 결과이므로, 이 시간은 동기 신호 발생 시각부터 입력 신호가 입력된 시각까지의 시간 간격과는 다르다. 반면에 파형 발생기에서 발생하는 전기적 신호는 동기 신호 감지 후 설정한 외부 지연 시간만큼 지연된 후 발생하는 신호다. 그러므로 한 번의 측정으로 시간 측정기의 정확도를 측정할 수는 없다.

그러나 동기 신호 감지 후 설정하는 외부 지연 시간을 변경하여 두 번의 측정을 행하면 시간 측정기의 정확도를 측정할 수 있다. 한 번은 기준 시간으로 사용하기 위해 적당한 외부 지연 시간을 설정하여 이 때의 전파 시간을 측정한다. 다음 외부 지연 시간을 일정 시간만큼 더 지연시켜 이 때의 전파 시간을 측정한다. 외부의 정확한 시간 측정기로 측정한 외부 지연 시간의 시간차와 콘크리트 측정용 초음파 시험기로 측정한 전파 시간의 시간차를 비교함으로써 내부 시간 측정기의 정확도를 측정할 수 있다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기에서 사용하는 클락은 보통 수정 발진자를 사용하기 때문에 클락은 일정 조건에서 매우 안정된 주파수를 갖는다. 그러므로 외부 지연 시간을 정확히 측정할 수 있으면 일반적으로 두 번의 측정으로도 시간 측정기의 정확도를 충분히 측정할 수 있으며, 설정하는 외부 지연 시간의 시간차도 그다지 중요하지 않다. 보통 기준 시간으로 사용하기 위한 외부 지연 시간은 $20 \mu\text{s}$ 정도, 그리고 이 지연 시간과 시간 측정을 하기 위한 지연 시간과의 시간차는 $100 \mu\text{s}$ 정도로 하면 무난하다.

수신 증폭기의 성능을 검사할 때 사용했던 Fig. 3-2-3-9 (b)와 같은 장비 구성으로 측정할 수 있다. 이 때 외부 지연 시간의 시간차를 정확히 측정하는 것이 중요하므로 외부의 시간 측정기는 교정된 정확한 시간 측정기를 사용하여야 한다. 측정 결과는 각 외부 지연 시간과 이들의 시간차, 각 외부 지연 시간에서의 전파 시간 측정 값과 이들의 시간차를 기록한다. 또한 사

용한 장비와 장비의 성능, 장비의 구성도를 참고로 기록한다.

콘크리트 측정용 초음파 시험기는 현장에서 사용하여야 하므로 배터리로 작동하는 것이 기본이다. 그러므로 배터리가 정상적으로 작동하여야 정상적인 측정이 가능하다. 배터리의 성능은 충, 방전 능력에 의하여 결정된다. 완전히 방전된 배터리가 완전히 충전되는데 걸리는 시간과, 완전 충전된 배터리가 장비의 정상적인 작동에 의해 완전히 방전되는데 걸리는 시간을 측정함으로써 배터리의 성능을 검사할 수 있다. 그러므로 실제 장비를 사용하는 사용자가 보다 경험적이고 실질적인 배터리 성능을 측정할 수 있다. 그러나 객관적인 배터리 성능을 검사하여 그 결과를 보존함으로써 장비를 사용하는데 참고가 될 수 있으며 배터리의 경년 변화도 관찰할 수 있다.

실제 배터리의 충전 시간은 측정하기가 어렵다. 측정하는 방법이 모호할 뿐 아니라 충전 조건에 의하여 충전 시간이 변할 수 있기 때문이다. 이에 반해 방전 시간은 장비를 정상적으로 작동시킨 후 시간 경과에 따른 장비의 정상적인 작동 여부를 관찰함으로써 측정할 수 있다.

배터리의 성능을 검사하기 위해서는 먼저 완전한 충전이 필요하다. 보통 배터리 충전 시간은 24 시간 미만이므로 완전한 충전을 위하여 24 시간 정도 충전한다. 가능한 방전 시간을 짧게 하기 위하여 장비의 전력 소비가 가장 많도록 장비의 상태를 설정한다. PUNDIT의 경우 펄스 반복 주파수 및 출력 전압을 가장 높게 하며, TR 300의 경우 LCD 밝기 및 후광을 가장 밝게 한다. 펄스 출력이 많으면 많을수록 전력 소모가 많으나, TR 300과 같이 사용자에게 의해 펄스가 출력되는 경우에는 방전되는 시간 동안 계속 펄스를 발생하는 것이 쉬운 일이 아니므로 생략한다.

실제 측정 시처럼 송, 수신 초음파 탐촉자를 장비에 연결하고, 이들을 이용하여 기준 시험편에서의 전파 시간 측정이 안정된 값으로 나타나도록 장비를 구성하여 성능 검사를 수행한다. 약 10 분 간격으로 안정된 전파 시간

측정 가능 여부를 확인하며, 측정 결과가 불안정해지면 그때의 시간을 측정하여 시험 결과에 기록한다.

마. 성능 검사 절차(제안)

콘크리트 측정용 초음파 시험기 성능 검사

이 절차는 일반적인 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 성능을 전기적 신호를 사용하여 검사하는 방법이다. 이 검사를 적용하기 위해서는 먼저 성능 검사 대상 장비가 외관 상, 작동 상 정상적이어야 한다. 그러므로 외관 상, 작동 상 심각한 결함이 있는 경우 이에 대한 보수를 행한 후 다음 절차에 따라 성능 검사 대상 장비의 펄스 발생기 성능, 수신 감도, 시간 측정 정확도, 배터리 성능을 전기적인 방법으로 검사한다.

1. 펄스 발생기 성능

콘크리트 측정용 초음파 시험기의 송신 단자에서의 펄스 출력 파형을 오실로스코프를 사용하여 측정한다. 동기 신호가 외부로 출력되는 장비의 경우 이를 사용하여 오실로스코프를 트리거하는 것이 바람직하나, 동기 신호가 외부로 출력되지 않는 장비의 경우 송신 단자의 펄스 출력으로 직접 오실로스코프를 트리거하여 측정한다. 콘크리트 측정용 초음파 시험기에서 발생하는 펄스는 매우 높은 전압이므로 100 : 1 프로브를 사용하는 것이 바람직하나 경우에 따라서는 세심한 주의를 기울여 10 : 1 프로브를 사용할 수도 있다.

측정한 펄스 출력 파형과 함께 출력 파형의 크기, 하강 시간(또는 상승 시간)을 측정하여 검사 결과에 기록한다. 하강 시간(또는 상승 시간)은 펄스

가 하강(또는 상승)하기 시작하여 최대 전압 값의 10 % 값으로 하강(또는 상승)한 시각부터 90 % 값으로 하강(또는 상승)한 시각까지 걸리는 시간이다. 출력 펄스가 네거티브(negative) 펄스인 경우에는 하강 시간을, 포지티브(positive) 펄스인 경우에는 상승 시간을 측정한다.

성능 검사 대상 장비의 설정 상태에 따라 출력 파형이 현저히 달라지는 경우에는 이들 설정 상태에서 펄스 출력 파형을 측정하여 성능 검사 결과에 기록한다. 펄스 파형에 영향을 주는 설정은 펄스 반복 주파수, 펄스 폭 등이 있다. 미세한 변화만 발생하는 경우에는 관찰되는 사실만을 기록한다.

사용하는 장비에 따라 측정 결과가 달라질 수 있으므로 사용한 장비, 사용한 장비의 성능, 프로브의 임피던스 등 측정 결과에 영향을 줄 수 있는 사항을 성능 검사 결과에 첨부한다.

II. 수신 감도

콘크리트 측정용 초음파 시험기가 수신된 초음파 신호로부터 음두를 감지할 수 있는 최소의 입력 신호 크기를 수신 감도라 한다. 이 수신 감도는 수신된 초음파 신호의 주파수에 따라 달라지므로 성능 검사 대상 장비의 성능을 검사하기 위해서는 각 주파수에서의 수신 감도를 측정하여야 한다.

이를 위하여 그림 1과 같이 장치를 구성한다. 각 위치에서의 신호는 그림 2와 유사하다. 성능 검사 대상 장비에서 동기 신호(그림 2, ①)가 출력되는 경우 이 동기 신호를 장치 작동의 기준 시간으로 사용할 수 있으나, 동기 신호가 출력되지 않는 경우 송신 단자의 출력 펄스(그림 2, ①')로부터 동기 신호를 감지한다. 동기 신호 감지기는 성능 검사 대상 장비에서 동기 신호가 출력되지 않는 경우 송신 단자의 출력 펄스로부터 동기 신호를 감지하기 위한 장비로 간단한 전자 회로로 구현하여 사용할 수 있다. 이는 송신 단자의 출력 펄스 전압이 너무 높아 일반 측정 장비의 입력 회로에 손상을 줄

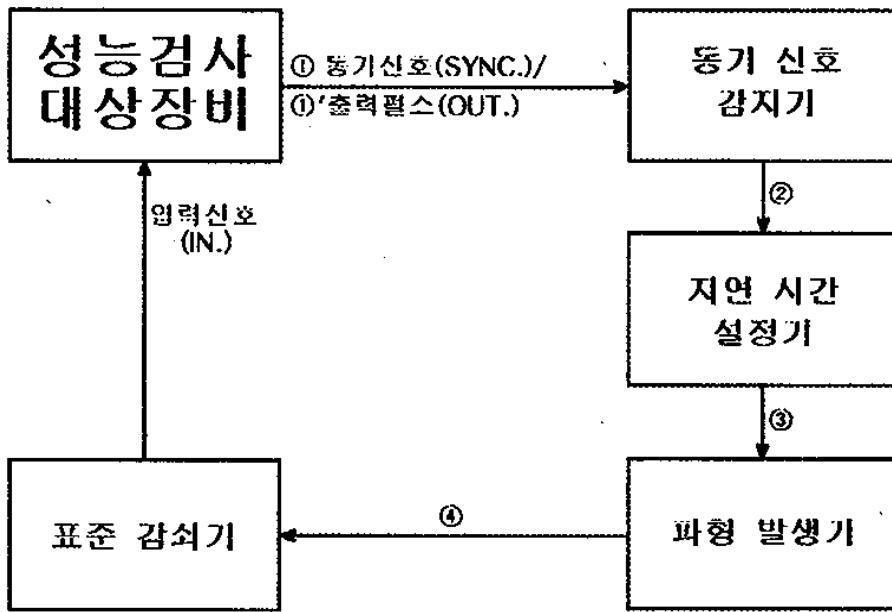


그림 1. 수신 감도 측정을 위한 장치 구성도

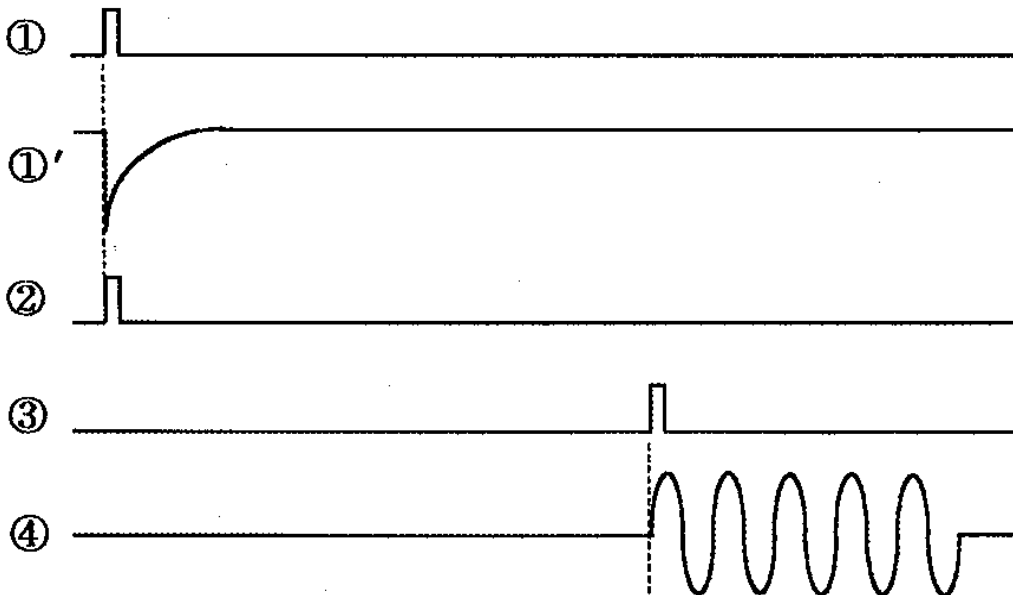


그림 2. 수신 감도 측정 장치 각부의 파형

수 있기 때문에 사용한다. 그림 2, ②는 동기 신호 또는 동기 신호 감지기의 출력이다.

지연 시간 설정기는 파형 발생기에서의 신호 발생 시각을 지연시키는 역할을 한다. 이는 송신된 초음파가 콘크리트를 통과한 시간만큼 지연되어 수신되는 것과 같은 효과를 얻기 위한 것이다. 그림 2, ③은 동기 신호 발생한 후 지연 시간 설정기에 의해 설정된 시간만큼 지연된 후 발생하는 신호다.

그림 2, ④는 파형 발생기에 의해 발생하는 신호로 콘크리트 측정 시 수신되는 초음파 신호와 유사하여야 한다. 이를 위해 5 - 10 개의 주기를 갖는 톤 버스트(tone burst) 신호를 사용한다.

파형 발생기에 의해 발생하는 신호는 일반적으로 콘크리트 측정용 초음파 시험기의 감도 측정에 사용하기에는 너무 크므로 표준 감쇠기를 사용하여 측정 가능한 값으로 감쇠하여 사용한다. 감쇠기에서의 출력은 크기만 작아졌을 뿐 파형 발생기의 출력과 동일한 파형을 갖는다.

사용 설명서에 성능 검사 대상 장비의 주파수 특성이 명기되어 있는 경우, 성능 검사 대상 장비의 주파수 대역의 중간에 해당하는 주파수를 선정하여 파형 발생기의 주파수를 이 값으로 설정한다. 그렇지 않은 경우 파형 발생기의 출력을 적당한 값으로 설정한 후 주파수를 가변하면서 대략적인 성능 검사 대상 장비의 주파수 대역을 측정하고, 측정한 주파수 대역에서 중간에 해당하는 주파수를 선정하여 파형 발생기의 주파수를 이 값으로 설정한다. 수신된 초음파 신호를 처리한 결과를 파형으로 도시하는 장비에서는 주파수 변화에 따른 출력의 크기 변화를 관찰함으로써, 단지 전파 시간 측정 결과만 표시해 주는 장비에서는 주파수 변화에 따른 안정된 측정 결과 표시 여부를 확인함으로써 알 수 있다.

II-1. 성능 검사 대상 장비가 수신 증폭도를 설정할 수 있는 경우 장비의 증폭도를 최대로 설정하고 파형 발생기의 주파수는 선정된 주파수로 설정한

후, 파형 발생기의 출력 및 감쇠기의 설정 값을 변화시켜 성능 검사 대상 장비가 감지할 수 있는 최소의 입력 신호 크기 값을 측정한다. 수신된 초음파 신호를 처리한 결과를 파형으로 도시하는 장비인 경우에는 출력 파형의 크기가 파형 도시기 전체 높이의 5 % 높이로 나타나는 입력 신호의 크기 값 또는 전기 잡음보다 5 % 높은 높이로 나타나는 입력 신호의 크기 값을 측정하며, 단지 전파 시간 측정 결과만 표시해 주는 장비에서는 측정 결과가 안정된 값으로 나타나는 최소의 입력 신호 크기 값을 측정한다. 이때의 주파수와 최소의 입력 신호 크기 값을 성능 검사 결과에 기록한다.

II-2. 성능 검사 대상 장비의 입력 신호 크기 값을 위에서 측정한 최소 입력 신호 크기 값으로 고정한 후 파형 발생기의 주파수를 감소시키면서 성능 검사 대상 장비가 감지 불가능 상태에 이르는 주파수를 찾는다. 이 때의 주파수와 입력 신호 크기 값을 성능 검사 결과에 기록한다.

II-3. 감쇠기의 감쇠 값을 2 dB 감소시켜 입력 신호 크기를 2 dB 증가 시킨 후 파형 발생기의 주파수를 감소시키면서 성능 검사 대상 장비가 감지 불가능 상태에 이르는 주파수를 찾는다. 이 때의 주파수와 입력 신호 크기 값을 성능 검사 결과에 기록한다.

II-4. II-3 과정을 감쇠기의 감쇠 값을 2 dB씩 감소시키면서 총 10 dB 감소할 때까지 반복하면서 그 결과를 성능 검사 결과에 기록한다.

II-5. II-2부터 II-4의 과정을 주파수를 증가시키면서 반복하여 그 결과를 성능 검사 결과에 기록한다.

입력 신호의 크기 값 기록 시 파형 발생기의 출력 크기 값, 파형 발생기의 출력 임피던스 값, 감쇠기의 임피던스 값, 감쇠기의 설정 값을 병기한다. 또한 사용 장비에 따라 측정 장치 구성이 달라질 수 있으며, 사용 장비의 성능에 의해 측정 결과에 다소 오차가 발생할 수 있으므로 사용 장비 및 성능, 장치 구성도를 함께 성능 시험 결과에 기록한다.

III. 시간 측정 정확도

콘크리트 측정용 초음파 시험기의 시간 측정 정확도를 측정하기 위하여 그림 3과 같이 장치를 구성한다. 성능 검사 대상 장비가 안정된 전파 시간 측정 값을 표시할 수 있도록 파형 발생기의 출력 신호 크기 및 주파수를 설정한다. 지연 시간 설정기의 설정 값을 약 $20 \mu\text{s}$ 로 설정한 후, 이때의 동기 신호 감지기의 출력과 지연 시간 설정기의 출력간의 시간차를 시간 측정기로 측정하여 시험 검사 결과에 기록한다. 이와 아울러 성능 검사 대상 장비가 측정한 전파 시간을 읽어 시험 검사 결과에 기록한다.

다시 지연 시간 설정기의 설정 값을 약 $120 \mu\text{s}$ 로 설정한 후, 이때의 동기 신호 감지기의 출력과 지연 시간 설정기의 출력간의 시간차를 시간 측정기로 측정하여 시험 검사 결과에 기록한다. 이와 아울러 성능 검사 대상 장비가 측정한 전파 시간을 읽어 시험 검사 결과에 기록한다.

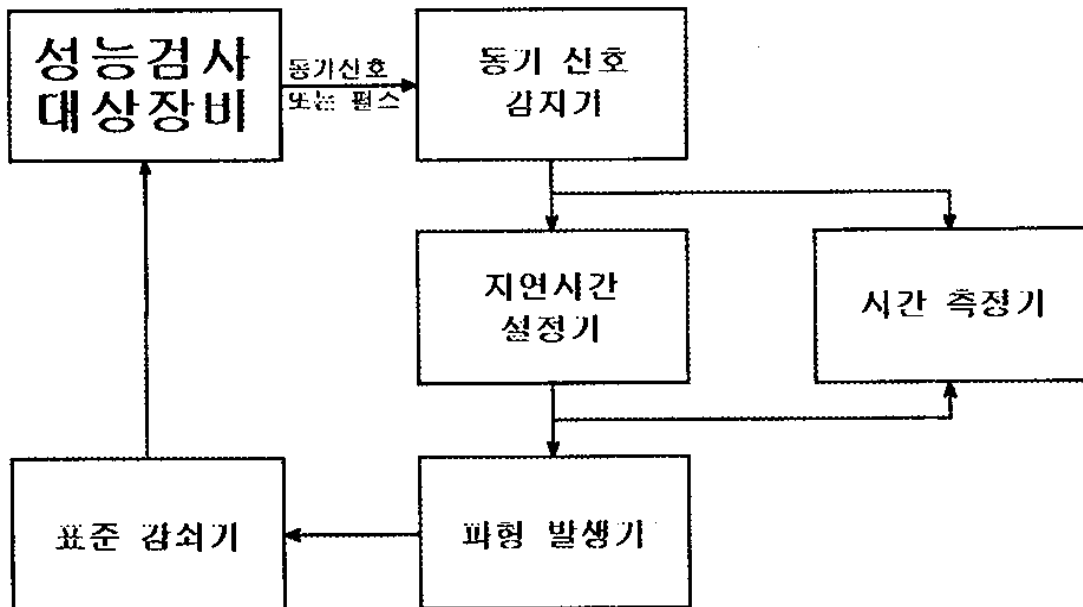


그림 3. 시간 측정 정확도 측정을 위한 장치 구성도

시간 측정기로 측정한 시간들의 시간차를 계산하여 성능 시험 결과에 기록하며, 성능 검사 대상 장비로 읽은 시간들의 시간차도 계산하여 시험 결과에 기록한다. 성능 검사 대상 장비로 읽은 시간들의 시간차를 시간 측정기로 측정한 시간들의 시간차로 나누면 성능 검사 대상 장비의 시간 측정 정확도를 알 수 있다.

사용 장비에 따라 측정 장치 구성이 달라질 수 있으며, 사용 장비의 성능에 의해 측정 결과에 다소 오차가 발생할 수 있으므로 사용 장비 및 성능, 장치 구성도를 함께 성능 시험 결과에 기록한다.

IV. 배터리 성능

성능 검사 대상 장비의 배터리 성능을 측정하기 위하여 우선 24 시간 이상 배터리를 충전하여 완전 충전시킨다. 배터리를 완전 충전된 후 실제 콘크리트를 측정하듯 그림 4와 같이 장치를 구성한다. 안정된 전파 시간 측정

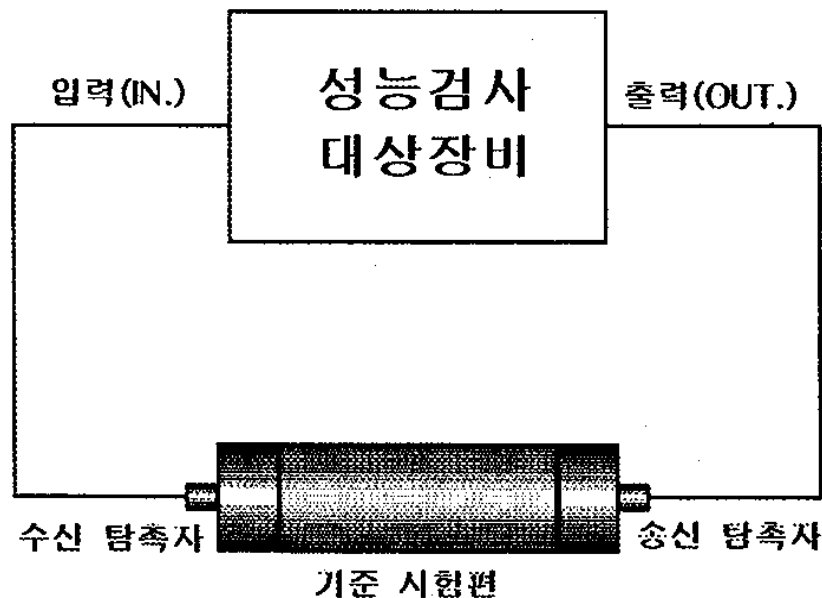


그림 4. 배터리 성능 측정을 위한 장치 구성도

값이 표시되도록 초음파 탐측자를 기준 시험편에 완전 밀착하며, 배터리 성능 측정 시간 동안 이 상태를 유지할 수 있는 방법을 강구한다.

가능한 방전 시간을 짧게 하기 위하여 장비의 전력 소비가 가장 많도록 장비의 상태를 설정한다. 펄스 반복 주파수 및 출력 전압을 가장 높게 하며, 파형 도시기에 있는 경우 파형 도시기의 밝기 및 후광을 가장 밝게 한다. 펄스 출력 횟수가 많으면 많을수록 전력 소모가 많으므로 가능한 펄스를 많이 발생시켜야 하나, 사용자에 의해 펄스가 출력되는 장비인 경우에는 방전되는 시간 동안 수동으로 계속 펄스를 발생하는 것이 쉬운 일이 아니므로 펄스 발생은 생략한다.

약 10 분 간격으로 안정된 전파 시간 측정 가능 여부를 확인하며, 측정 결과가 불안정해지면 그때의 시간을 측정하여 성능 검사 결과에 기록한다.

4. 충격 탄성과 공명법

콘크리트는 내구성 및 내연성이 우수하고 여러 형상의 구조물의 시공이 용이하여 일반 건축물은 물론 아파트, 백화점, 교량, 댐, 도로, 활주로와 같은 대형 구조물 또 원자력 발전 설비, 군사 시설과 같은 특수한 구조물에도 널리 이용되고 있다. 그러나 자체 하중이 큰 콘크리트 구조물은 온도의 변화, 습기나 염분 또는 대기의 화학 성분의 작용, 지진, 화재 등 충격, 부식 등의 영향으로 강도의 약화나 균열의 발생 및 성장에 의한 붕괴의 위험을 지니고 있다.

콘크리트 구조물의 안전성 및 신뢰성을 평가하기 위하여 고려되는 중요한 변수는 콘크리트의 강도와 균열 또는 내부 결함의 크기와 위치이다. 이를 평가하기 위한 대표적인 비파괴 시험법의 하나가 충격탄성과 공진법 (impact-echo resonance method)이다. 탄성파의 공명을 이용하여 콘크리트 등의 재료로 된 구조물의 두께나 내부 결함의 검출하거나 탄성파의 속도에서 압축강도를 예측하는 기술은 음향임피던스가 다른 두 매질 사이에서 발생하는 탄성파의 반사가 일정한 형상에서 형성되는 공진 모두에 근거한다.

충격 탄성파의 공명법 시험계는 충격파를 발생하는 파원, 공명신호를 검출하는 센서, 센서로부터의 출력신호를 저장하고 분석하는 기록 및 분석장치로 구성된다. 이러한 측정계로부터 얻은 결과의 신뢰성은 사용되는 센서와 파원의 특성의 이해에 의존한다. 즉 특성이 파악된 충격파원을 사용하고 특성이 교정된 센서를 사용하는 것이 필수적이다.

본 연구에서는 충격탄성과 공명법 시험을 위한 교정계 구성을 위하여 다음의 연구를 수행하였고 기술하였다. 1) 표준 센서의 개발 : 표면의 운동 변위에 비례하는 신호를 출력하는 광대역 변위 센서와 표면의 운동 속도에 비례하는 신호를 출력하는 광대역 속도 센서의 개발함. 2) 표준 탄성파원의

선정 : 이상적인 특성을 지니는 탄성파원을 선정하고 특성을 평가함. 3) 센서 교정계 설치 : 센서의 특성을 정량적으로 평가하기 위한 교정계를 설치하였다. 4) 표면의 변위와 속도의 계산 : 표준센서의 특성이해와 교정을 위한 rising time을 지니는 이상적인 파원과 Green 함수를 사용한 계산을 수행하였다.

가. 이론적 배경

탄성파(elastic wave 또는 acoustic wave)의 공명을 이용하여 콘크리트 등의 재료로 된 구조물의 두께나 내부 결함의 검출하거나 탄성파의 속도에서 압축강도를 예측하는 기술은 음향임피던스가 다른 두 매질 사이에서 발생하는 탄성파의 반사가 일정한 형상에서 형성되는 공진 모드에 근거한다. 흔히 콘크리트의 두께나 결함의 깊이 또는 균열의 깊이를 측정하는데 이용되는 공명 원리는 탄성파가 왕복하는 경로가 한 파장의 정수배가 되는 공진을 이용한다. 예로 일정한 두께의 콘크리트나 일정한 깊이의 결함이 존재할 때 두께를 T 라고 하고 탄성파의 파장을 λ 매질 내에서 탄성파의 속도를 v 라고 하면 두께가 반파장의 정수배에서 공진이 일어난다. 이때 공진 동수 f_n 는 다음 식과 같다.

$$f_n = n \frac{v}{2T} \quad (n=1, 2, 3 \dots) \quad (3-2-3-1)$$

공진동수를 측정하고서 이 식을 이용하여 속도나 두께 중 하나의 변수를 알면 나머지 하나를 결정할 수 있다. 보통은 신호의 크기가 가장 큰 $n=1$ 에서의 기본 공진(fundamental resonance mode) 모드를 이용한다.

일정한 두께의 무한한 평판형의 탄성고체에 대한 전달 매질의 특성을 나타내는 Green 함수는 응력의 변화가 탄성파에 의하여 매질로 전파되어 시

협체의 변형을 일으키는 것으로 가정하는 generalized ray theory에 의하여 이론적으로 구할 수 있다. 시험체의 진앙점에서의 변위 $U(t)$ 는 Green 함수 G 가 알려졌을 가해지는 힘 F 와의 convolution으로 다음과 같이 주어진다.

$$U(t) = G \otimes F = \int_{t_0}^t G(t-\tau)F(\tau)dt \quad (3-2-4-1)$$

나. 표준 센서의 제작 및 개발

넓은 주파수 대역에서 탄성파의 신호를 왜곡 없이 검출할 수 있는 광대역 센서는 표면의 운동 변위에 비례하는 신호를 출력하는 광대역 변위 센서와 표면의 운동 속도에 비례하는 신호를 출력하는 광대역 속도 센서로 구별할 수 있다. 광대역 변위 센서로는 최근 20년 동안 레이저 간섭계, capacitive 센서와 같은 비접촉방식의 광대역 탄성파 검출기술이 개발되었는데 이들은 각각 S/N 비가 낮고 실험계 구성이 까다로운 단점이 있다. 또 원추형 압전소자를 이용한 센서가 개발되었는데 이는 접촉식 방식으로 비접촉식에 비하여 감도와 S/N 비가 높다. 본 연구에서는 표준 변위센서로 capacitive 센서와 원추형 압전소자를 이용한 센서를 제작하였다. 또한 세계 최초로 표준속도센서로 PVDF(polyvinylidene fluoride)를 이용한 센서를 개발하였다.

1) 광대역 표준 변위 센서

가) 원추형 압전소자를 사용한 센서

Fig.3-2-4-1는 원추형 압전소자를 사용하여 제작된 광대역 변위 센서의 구조를 보이고 있다. 사용된 압전소자는 EDO사의 높이가 3.5 mm, silver coating된 상하 전극면의 직경이 각각 6 mm, 1 mm이었으며 높이방향으로 분극처리된 것이다. Back-load는 직경 45

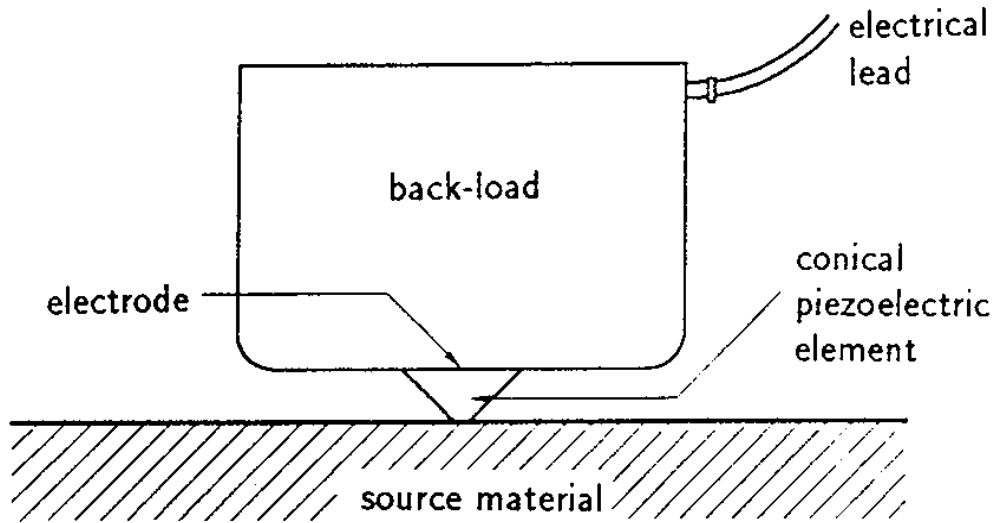


Fig.3-2-4-1. Construction of a conical PZT sensor.

mm, 높이 30 mm로 brass를 사용하여 제작되었다. 원추형 압전소자와 back-load의 부착 및 전선의 연결을 위하여 사이에 0.025 mm 두께의 리본형 은선(ribbon type silver wire)을 상온경화에폭시를 넣고 가압하에서 경화시켰다. 또한 비전도성 시험체의 시험에서 사용할 수 있고 전극의 마모를 방지하기 위하여 압전소자 하면의 작은 전극면을 리본형 은선으로 soldering하였다.

나) Capacitive 센서

Capacitive 센서는 압전센서에 비하여 수신감도는 낮지만 상대적으로 압전 센서에 비하여 긴시간에 걸쳐서 표면운동신호를 수신하여 출력할 수 있으며 비접촉식 방식이므로 신호를 검출하는 위치에서 시험체 표면운동에 간섭을 함이 없이 신호를 검출하는 장점이 있어서 표준음향센서로 활용될 수 있는 장점을 지니고 있다.

Fig.3-2-4-2는 capacitive 센서를 이용한 측정원리를 나타내는 구성도로서 바이어스 전압과 charge amplifier를 포함한 전기적 구성을 보이고 있

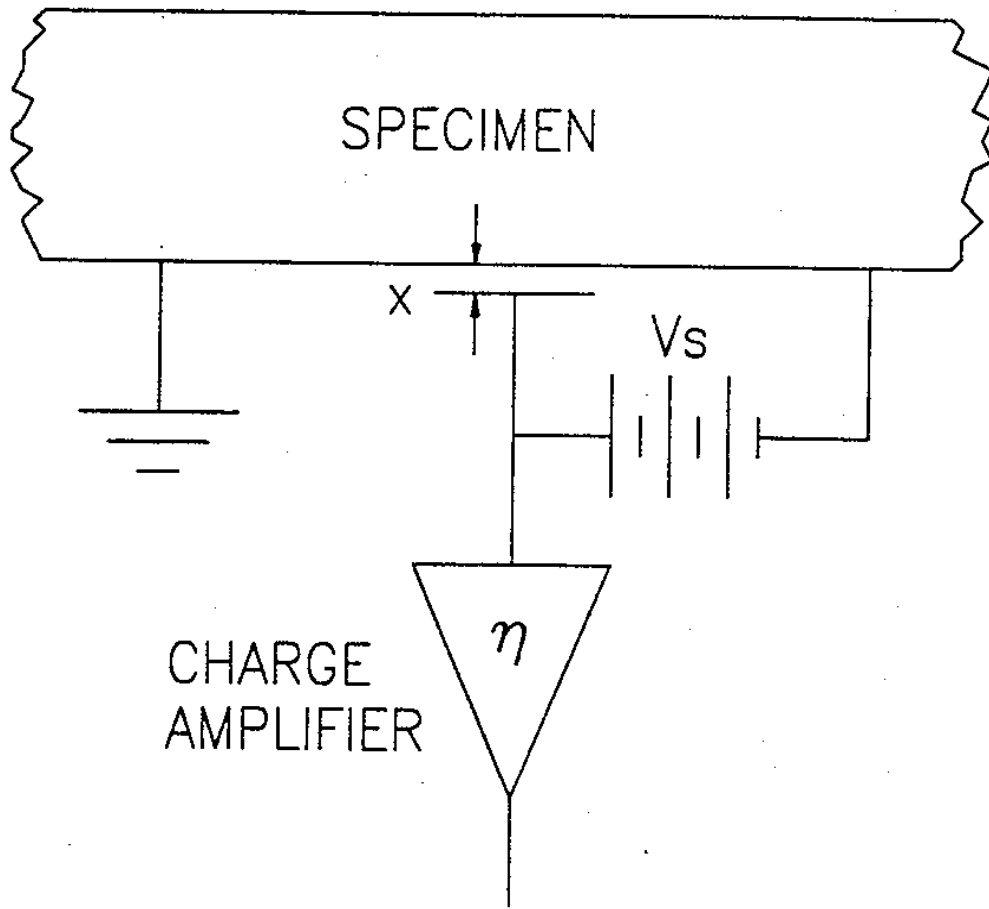


Fig.3-2-4-2. Schematic diagram of the capacitive sensor and its associated electronics.

다. Capacitive센서의 구성요소는 이동이 가능한 전극면과 전도체인 시험체 표면이다. 전극과 시험체표면과의 간격이 작음으로 유실되는 정기용량을 무시할 수 있다고 가정한다면 전압 V 로 나타나는 charge amplifier의 출력 신호는 다음과 같다.

$$V = \eta Q = \eta V_s C = \eta V_s \epsilon S / x \quad (3-2-4-2)$$

여기서 η 은 charge amplifier의 charge sensitivity에 대한 voltage의 출력비

를 나타내는 비례상수이며 Ω 는 전극에 인가된 전하를 나타내고 V_s 는 인가된 바이어스전압, C 는 전기용량, ϵ 는 시험체 표면과 전극사이에 있는 물질에 대한 유전상수, χ 는 그 간격을 그리고 S 는 capacitive센서의 전극면적 (effective area)을 나타낸다. 시험체 표면이 시간 t 에 따라서 수직 변위 $\Delta \chi(t)$ 로 운동한다면 charge amplifier의 출력전압의 변화 $\Delta V(t)$ 는 다음과 같이 된다.

$$V + \Delta V(t) = \eta V_s \epsilon S / [\chi + \Delta \chi(t)] \quad (3-2-4-3)$$

실제의 실험에서 초기전극간격 χ 는 보통 수 μm 보다 작도록 설치된다. 유리모세관과 피시험이나 미세균열로부터 발생하는 음향방출신호가 시험체 표면에 일으키는 전형적인 수직변위의 최대 크기는 1 nm이하이다. 따라서 $\Delta \chi \ll \chi$ 라 할 수 있으므로 식(3-2-4-3)을 Taylor series로 전개하면 다음과 같이 된다.

$$V + \Delta V(t) = \eta V_s \epsilon S [1 - \Delta \chi / \chi + (\Delta \chi / \chi)^2 - \dots] / \chi \quad (3-2-4-4)$$

실험에서 사용된 charge amplifier는 DC response가 없게 때문에 출력 신호는 AC 성분만 출력되는데 그 때의 출력 신호는 식(3-9)의 고차항들을 무시할 수 있으므로 다음과 같이 된다.

$$\Delta V(t) = -(\eta V_s \epsilon S / \chi^2) \Delta \chi(t) \quad (3-2-4-5)$$

그러므로 전압 $\Delta V(t)$ 는 바이어스전압에 선형적으로 비례하고 시험체표면과 capacitive센서 전극의 초기간격 χ 의 제곱에 반비례한다. 이것은 capacitive

센서의 수신감도를 높이기 위해서는 전극의 간격을 최대한 작게하고 유전체의 breakdown 전압 이하에서 DC bias를 최대한 키워야 함을 의미한다.

Capacitive 센서의 제작에 있어서 중요한 요소로는, 먼저 원추형 압전소자를 이용한 센서의 경우와 마찬가지로, 측정이 요구되는 수 MHz 범위의 탄성파를 aperture 효과 없이 검출할 수 있도록 시험체에 인접한 수신부 즉 전극면의 면적이 가능한 작도록 제작되어야 한다. 또한 수신감도를 얻기 위해서는 전극면이 최대한 가깝게 시험편에 위치하여야 하기 때문에 이를 위해서는 전극면과 시험체 표면이 수평이 되도록 설계하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 수 μm 이내의 capacitive 센서의 전극면과 시험체 표면 사이의 작은 간격을 유지하면서 두 면을 평행하게 위치시켜야 하는 까다로운 문제를 용이하게 해결할 수 있도록 capacitive 센서를 stainless steel ball과 pivot joint를 이용하여 제작하였다.

Fig.3-2-4-3은 제작된 capacitive 센서의 구조를 단면으로 나타낸 것이다. 여기에서 '1'은 시험체의 전도성 표면과 작은 간격으로 나란하도록 배열되고 이동가능하도록 설계된 원형의 전극을 나타낸다. 전극의 직경 6.35mm로 제작되었으며 표면은 광학적 평면을 가지도록 거울처럼 polishing되었다. 또한 이는 부도체('2')로 둘러싸고 stainless-steel('3')로 shielding되었으며 BNC connector('10')를 경유하여 charge amplifier에 연결되었다. 투관(sleeve: '4')를 부도체('2')와 stainless-steel jacket('4')에 물려 고정하였고 이 전체('1'에서 '4'까지)는 stainless-steel ball은 직경 19.05 mm으로 제작되었고 투관이 지나가도록 7.94mm의 drill hole를 뚫어 사용하였다. Ball은 다시 stainless-steel tube('9') 위에 joint silver를 사용하여 mounting 하였다. Metallic bushing('6')이 스프링('8')으로 stainless-steel ball의 아래쪽과 투관('4')사이에서 누르도록 설계 제작되었다. 스프링의 압력은 drive nut('8')에 의하여 조절되도록 하였다. 나사산을 낸 adaptor('11')는 stainless-steel

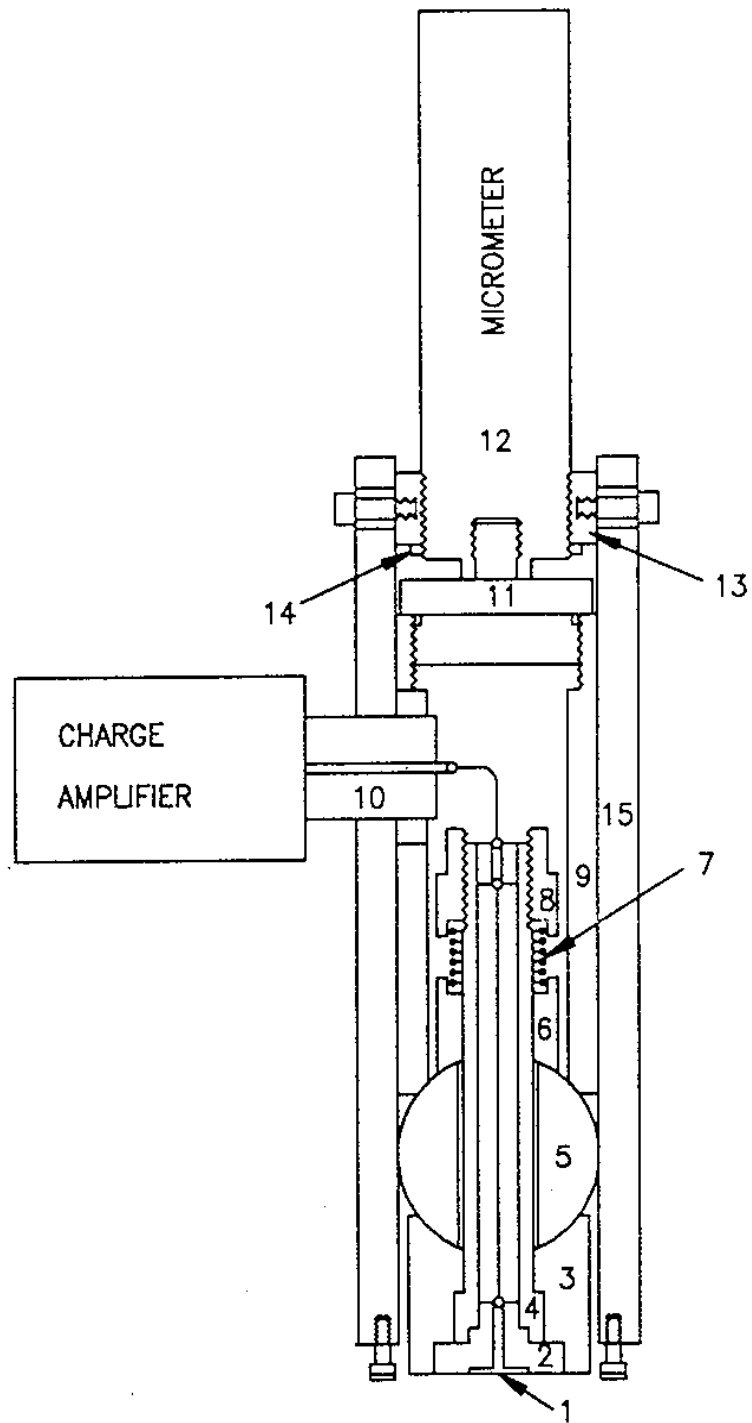


Fig.3-2-4-3. Cross-sectional view of the self-aligning capacitive sensor assembly.

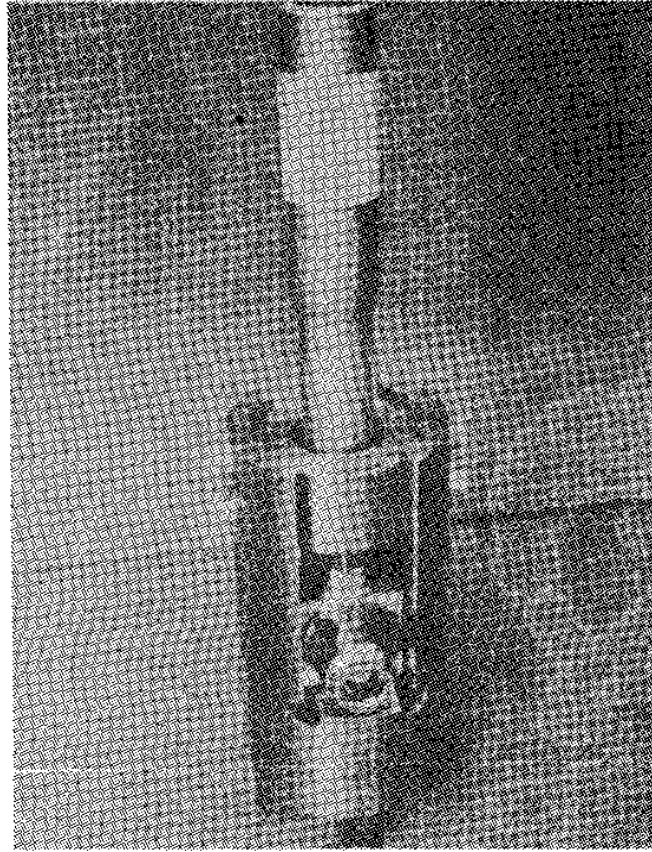


Fig.3-2-4-4. photograph of the fabricated self-aligning capacitive sensor.

tube('9')을 마이크로미터('12')에 연결하도록 하였다. 이 때 마이크로미터는 최대이동거리가 0.25mm 이고 부해능이 약 $0.1 \mu\text{m}$ 의 것을 사용하였으며 flange('13')와 clamping nut('14')를 사용하여 stainless-steel tube ('15')에 고정시켰다. 투관('4')과 stainless-steel ball('5')은 전극('1')이 5도 범위내에서 자유롭게 회전하도록 간격을 주었다. Fig.3-2-4-4는 제작된 capacitive 센서의 사진을 보여주고 있다.

다) 광대역 표준 속도 센서

시험체 표면의 진동 속도의 직접적인 측정을 가능케하는 제작된 PVDF 압전 센서들의 구조는 Fig.3-2-4-5와 같다. 제작에 사용된 압

전소자는 전도성이 좋도록 전극에 금이 증착된 Pannwalt사의 PVDF film으로 두께는 각각 110 μm (P1 센서), 52 μm (P2 센서)이었으며 모두 직경 12.7 mm의 원형으로 절단되어 사용되었다. Back-load는 PVDF와 음향임피던스가 비슷한 PVC를 높이 10 mm, 직경 12.7 mm로 제작하여 사용하였다. Wear plate는 alumina(Al_2O_3) 원판을 10 MHz 이하의 주파수 범위에서 자체의 공진 peak가 형성되지 않도록 0.4 mm의 얇은 두께로 제작하여 사용하였고 전선으로 리본형 은선을 사용하였다.

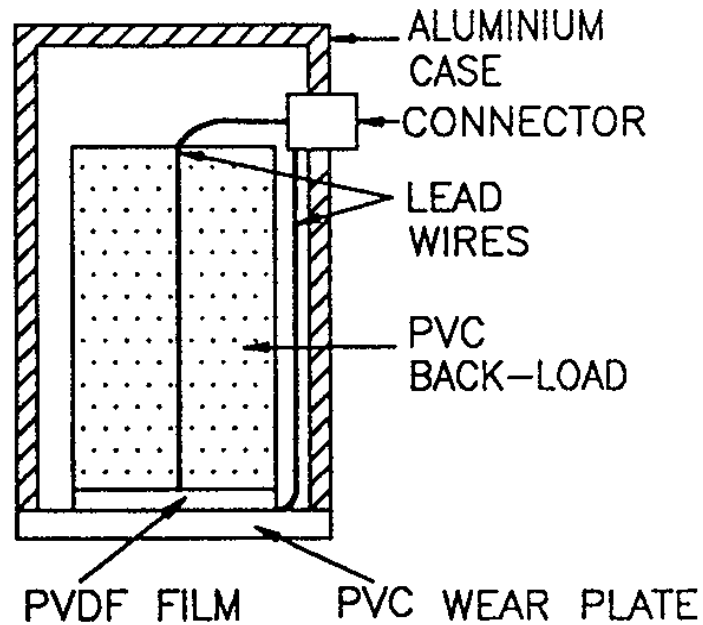


Fig.3-2-4-5. Construction of a wide band sensor of surface normal velocity.

다. 교정계 설계 제작

탄성과 공명신호의 검출을 위한 센서의 교정을 위하여 작은 강판을 사용한 실험실 등에서 간단히 사용할 수 있는 간이 교정장치와 대형 블록을 사용한 국가 표준급의 교정장치의 두가지 관점으로 추진하였다. 또한, 표준탄성과원으로는 유리모세관 파괴를 선정하고 이들 유리모세관 파괴시 방출되는 탄성파의 특성을 정량적으로 분석하였다. 표준센서로는 변위센서의 교정을 위하여 capacitive 센서를 1차적 표준센서로, 원추형 압전소자를 사용한 센서를 2차 적인 교정센서로 사용하였으며 속도 센서의 교정을 위하여 개발한 PVDF를 이용한 센서를 선정하여 사용하였다.

1) 간이 교정계 설계 제작

음향방출 센서의 특성 측정을 위해서는 일반적으로 특성이 잘 알려진 광대역 탄성파 신호원이 요구된다. 광대역 탄성파 신호원으로는 유리관파괴, 레이저에 의한 탄성파 발생, 전기적 spark, 연필심 파괴등이 사용되어 왔다. AE 센서를 교정하는 방법에는 유리관 파괴를 이용한 반평면(half-space)에서의 과도파(transient wave) 진행에 의한 교정과 pseudo-random noise에 의한 교정이 일반적으로 알려져 있다. 그러나 반평면에서의 과도파에 의한 교정은 전달 매질의 경계에서 반사되는 탄성파 신호를 분리하기 위하여 직경이 큰 전달매질이 요구되며 psuedo-random noise를 이용한 교정에는 시험 장치 및 절차가 복잡하다.

여기서는 보다 작은 전달매질을 사용하여 AE 센서를 교정하는 방법에 대하여 기술하고자 한다. 광대역 탄성파 신호원에서 발생하는 탄성파의 주파수 특성은 신호원의 rise time의 역수에 의해 결정되는데 대개의 경우 $1\mu\text{s}$ 이내의 시간이어야 만족할 만한 센서 교정 결과를 얻을 수 있다. 유리관 파괴의 경우는 $0.1\mu\text{s}$ 정도도 가능하여 약 10MHz까지의 주파수 성분까지 측정할 수 있으며 비교적 높은 에너지의 탄성파를 발생한다.

전달 매질의 형태는 이론적으로 그 거동이 잘 알려진 반평면 또는 평판 (plate)이 사용된다. 반평면에서는 탄성파원을 중심에 두게 되면 대칭인 수신 위치가 여러 곳이 있으므로 동시에 여러 센서의 출력을 비교할 수 있는 반면에 표면을 따라서 전파한 탄성파가 전달 매질의 경계에서 반사돼 되돌아 오므로 반평면의 크기가 매우 커야 한다. 이 방법은 표준센서를 정하고 하나의 탄성파에 대한 센서의 출력을 비교하여 센서의 특성을 측정할 수 있으므로 탄성파원의 재현성을 고려할 필요가 없다. 한편, 평판의 경우는 진앙점 (epi-center)에서의 거동이 매우 잘 알려져있고 표면파의 영향을 적게 받으므로 전달 매질의 크기를 줄일 수 있는 반면에 대칭이 되는 수신 위치가 없으므로 동시에 여러 센서를 시험할 수가 없다. 따라서 이 경우는 재현성 있는 탄성파원을 사용해야 한다. 본 연구에서는 유리관 파괴를 재현성이 좋은 광대역 탄성파원으로 가정하여 유리관파괴시 발생하는 탄성파를 진앙점에서 수신하였을 때의 각각의 센서의 출력신호와 이론적으로 구한 Green's function을 비교하였다.

센서를 교정하기 위한 간이 교정 시스템은 Fig.3-2-4-6와 같으며 block diagram은 Fig.3-2-4-7과 같이 나타내진다. A는 유리모세관을 파괴하기 위한 indenter, B는 유리관, C는 전달매질, D는 음향방출 센서, E는 digital oscilloscope, F는 personal computer이다. Indenter의 끝부분은 직경 4.65mm의 tungsten carbide 봉을 사용하였다. 전달매질로는 두께 30mm 직경 250mm인 steel 원판을 사용하였다.

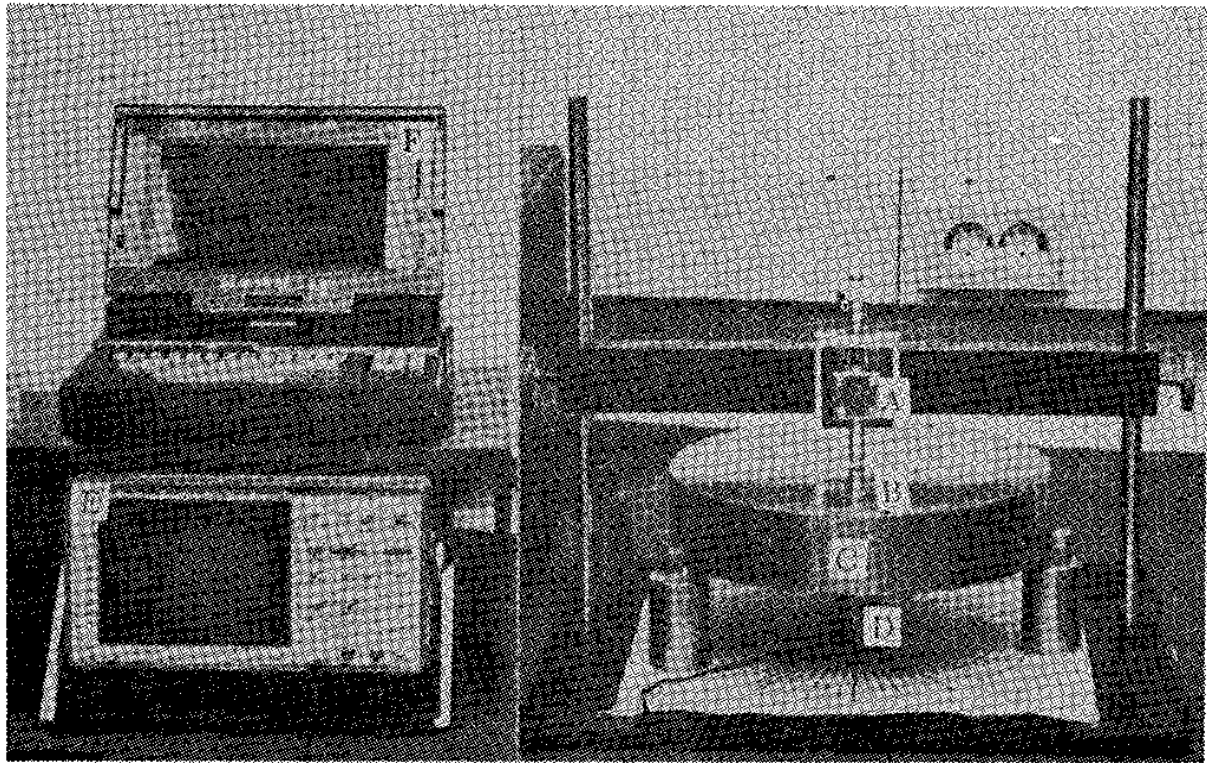


Fig.3-2-4-6 Photograph of the simple sensor calibration system. A:indenter, b:glass capillary, c:propagation medium, d:sensor, E:digital oscilloscope and f:personal computer.

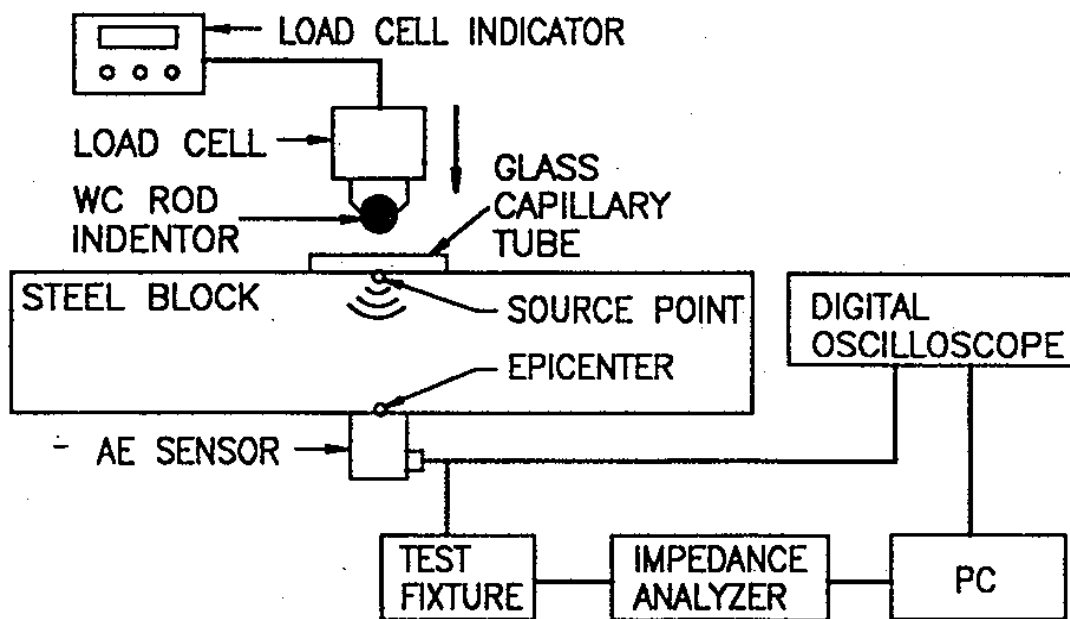


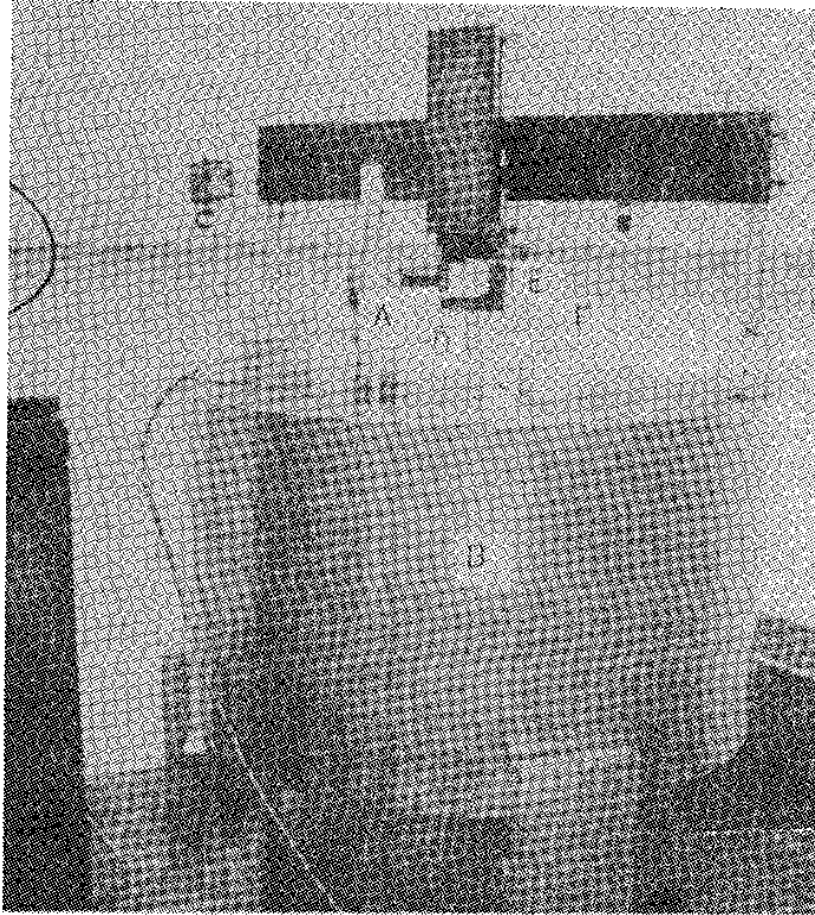
Fig.3-2-4-7 Block diagram of the simple sensor calibration system.

2) 표준 교정계 설계 제작

센서의 표준 교정계는 표준 센서, 표준 탄성파원, 표준 전달매질과 측정장치로 digital oscilloscope와 personal computer를 사용하여 구성된다. 표준 교정계가 간이형교정계와 다른 점은 큰 탄성파 전달 매질을 사용하여 탄성파원을 발생시키는 쪽과 같은 면에서 표준 센서와 교정하려는 센서를 탄성파원의 발생위치로부터 등간격으로 위치시켜 동시에 표면파의 펄스를 수신하도록 하여 비교교정을 할 수 있다는 것이다. 간이형 교정계의 경우 탄성파의 전달 매질의 크기가 작아서 진앙점에서의 측정은 가능하지만 표면파를 검출하려고 할 때 전달매질의 저면에서 반사되어 돌아오는 신호와 또는 경계면에서의 표면파 반사에 의하여 간섭을 받게된다. 따라서 보통 반무한평판의 경우로 가정하여 계산되는 표면파의 이론적인 변위신호와 맞지 않게 되므로 이론적인 신호와의 비교가 어려워진다.

표준 교정계를 Fig.3-2-4-8a와 같이 제작하여 구성하였다. 그림에서 보이는 표준 센서는 self-aligning capacitive 센서이며 직경 55cm, 두께 35cm의 단조강 블록을 표준매질로 fused quartz의 유리모세관의 파피를 표준탄성파원으로 구성하였다. A는 표준센서를 B는 표준전달매질을 C는 표준탄성파원을 발생하는 유리모세관을 나타내며 D는 유리모세관을 눌러서 파괴하는 indentor를 E는 유리모세관에 가해지는 최대힘을 측정하기 위한 load cell을 그리고 F는 교정하려는 AE센서를 나타낸다. Fig.3-2-4-8b는 제작된 표준 교정계의 사진을 나타내고 있다.

(a)



(b)

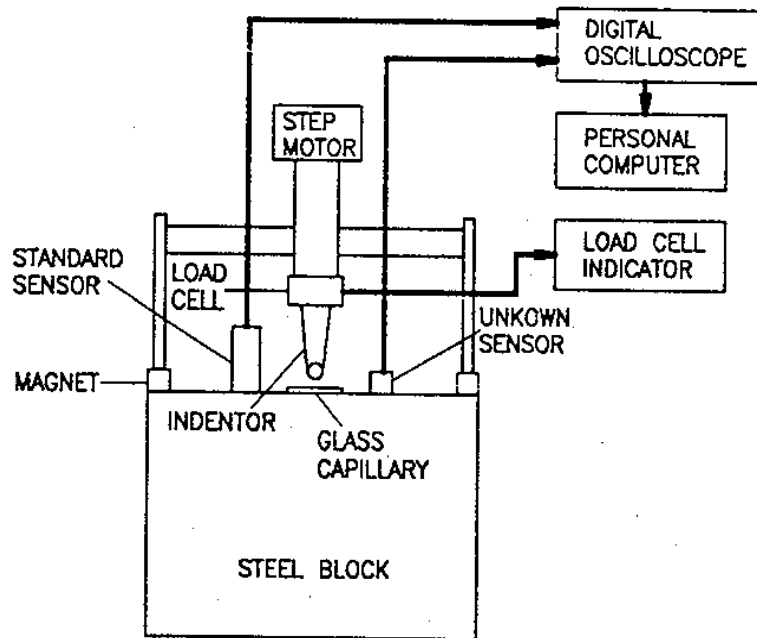


Fig.3-2-4-8 (a) Photograph and (b) Block diagram of the standard calibration system for sensors. A: standard sensor, B: standard block, C: standard source, D: indenter, E: load cell, F: unknown AE sensor.

라. 교정계 및 표준 센서의 평가

1) 간이 교정계와 센서의 특성

제작된 표준 센서들의 특성을 평가하기 위하여 진앙점에서의 변위와 속도를 측정할 수 있는 간이형 센서 교정계를 사용하였다. 탄성파의 전달 매질로는 두께 30mm, 직경 250mm의 steel 원판을 사용하였다. step-like force의 탄성파원의 발생을 위하여 Vitro dynamic사의 내경 0.15 mm, 외경 0.25 mm의 유리모세관을 수동으로 구동되는 translator에 부착된 indenter 로 눌러서 파괴하였다. Indenter는 직경 4.65 mm의 tungsten carbide(WC)봉으로 steel 원판에 수평으로 유리모세관에 수직이 되도록 위치하였다. 이 때 유리관 파괴시 요구되는 최대힘의 크기를 측정하기 위하여 peak detector가 부착된 load cell indicator를 사용하였다. 발생한 탄성파에 위한 진앙점에서의 변위와 속도를 검출하는 표준 센서들은 탄성파원의 진앙점에 위치시켰다. AE 센서로부터의 출력신호는 변조 증폭 없이 직접 digital oscilloscope로 50 ns sampling rate로 기록하였으며 분석을 위하여 컴퓨터에 전송하였다.

가) 표준 변위 센서의 특성

Fig.3-2-4-9는 유리모세관 파괴에 의해 발생한 과도파를 원추형 압전소자를 사용한 표준 변위 센서로 검출한 신호(실선)와 이론적으로 계산된 변위(점선)와 비교하여 나타낸 것이다. 약 $35\mu\text{s}$ 의 범위까지 이론적인 변위와 잘 일치함을 보이고 있다. 계산은 유리모세관의 파괴시 300 ns의 rise time을 지닌 것으로 가정하였는데 이론적인 변위 신호에서 종파가 처음 도달하여 변위가 급격히 증가하는 기울기가 센서 출력에서의 기울기와 일치하고 있음을 알 수 있다. Fig.3-2-4-10은 센서의 DC에서 2 MHz까지의 감도(sensitivity)를 나타내고 있다. 이 주파수 스펙트럼은 센서들에 의하여 수신된 신호에 대하여 FFT(Fast Fourier Transform)한 결과를 이론적

으로 계산된 변위에 대한 FFT 결과로 나누어서 얻은 결과이다. 6 dB 대역폭(band width)이 DC에서 1.2 MHz까지로서, 원추형 센서가 변위에 대하여 광대역 특성을 지님을 나타내고 있다.

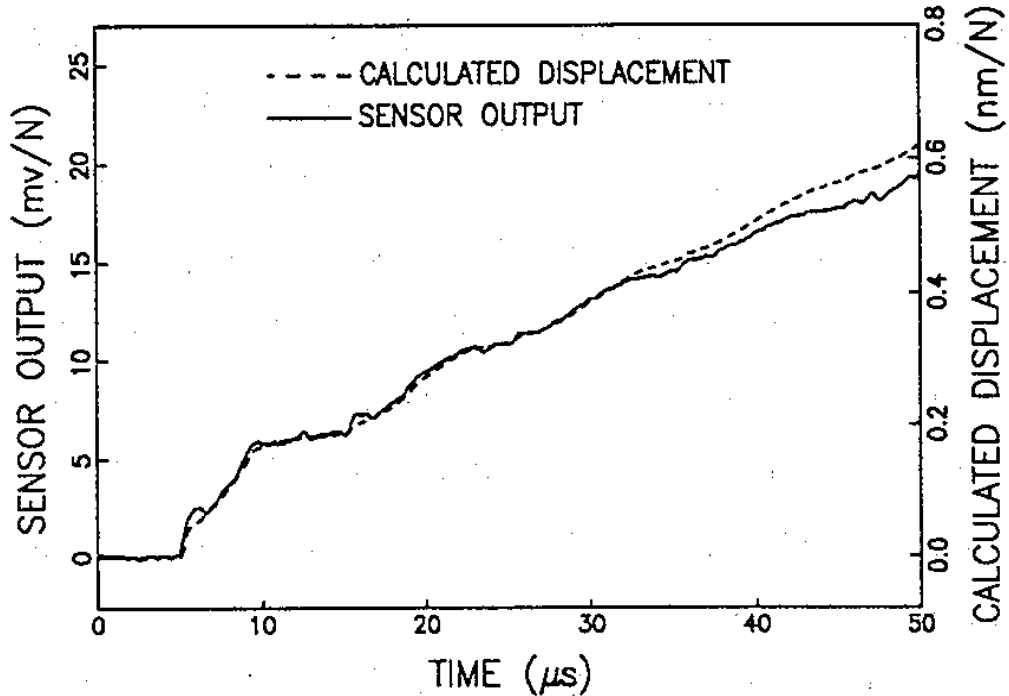


Fig.3-2-4-9 The calculated displacement(dashed line) and the transient output signal(solid line) from a conical wide band displacement sensor

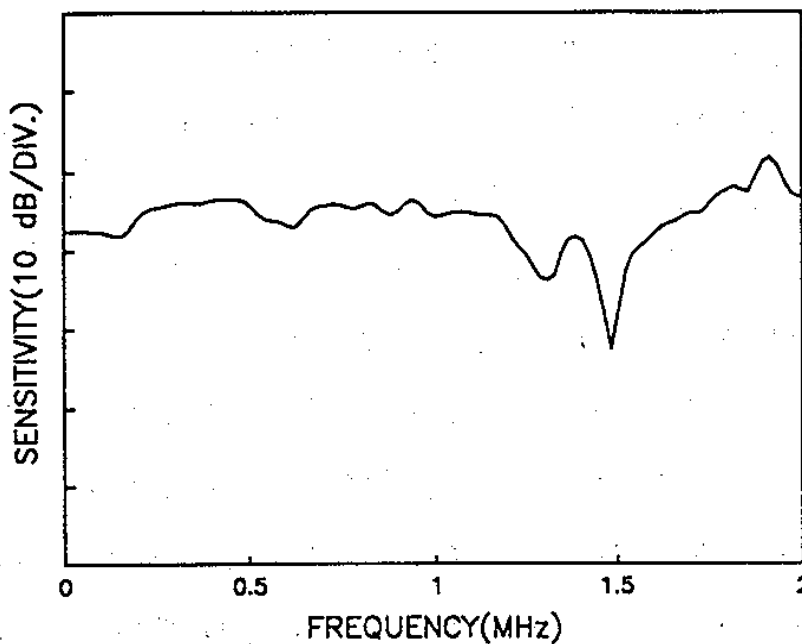


Fig.3-2-4-10 The sensitivity spectrum of the conical sensor.

Self-aligning capacitive 표준 변위 센서의 특성을 간이형 교정계를 이용하여 진앙점에서의 과도파 신호를 검출하였다. Capacitive 센서의 전극과 steel-block의 사이의 유전체는 공기였으며 그 사이 간격은 $6\mu\text{m}$ 로 하였고 bias전압은 30V였다. 전극과 시험체의 표면을 평행하게 유지하고 간격을 정확히 설정하기 위하여 먼저 초기의 간격을 0.1mm 정도되게 조절한 다음 마이크로미터를 돌려 시험체 표면에 전극이 밀착되도록 하여 전극이 capacitive 센서 자체의 aligning 기능에 의하여 시편 표면에 나란하도록 하였다. 또한 마이크로미터를 다시 뒤로 돌려 전극과 시편 표면과의 간격이 $6\mu\text{m}$ 이도록 눈금을 보면서 조절하였다. Charge amplifier의 voltage/charge sensitivity는 0.25 V/pC였으며 bandwidth는 10 kHz에서 10 MHz이었다. Charge amplifier로부터의 출력은 50 ns sampling rate로 digital oscilloscope에 저장하였다.

Fig.3-2-4-11a는 간이형 교정계를 사용하여 진앙점에서의 신호(실선)를 capacitive 센서로 검출한 출력 신호와 이론적으로 계산한 변위 신호(점선)를 비교하여 나타낸 것이며 Fig.3-2-4-11b는 변위에 대한 capacitive 센서의 감도 스펙트럼을 나타낸 것이다. Fig.3-2-4-11a의 이론신호와 속도신호의 비교에서 7P파(평판을 7번 반복한 파)가 도달하는 $35\mu\text{s}$ 까지는 정량적으로 그 이후에도 정상적으로 일치하고 있음을 보이고 있다. 또한 300ns의 rise time을 지닌 것으로 가정하여 계산된 이론적인 변위 신호에서 P1파가 도달할 때 급격히 증가하는 변위의 증가 기울기가 센서 출력에서의 기울기와 일치하고 있음을 알 수 있다. Fig.3-2-4-9에서 압전 표준 변위의 출력 신호에서는 P wave가 도달한 후에 압전소자의 진동의 잔류현상에 의하여 이론신호에 비하여 튀는 신호가 보이는데 반하여 capacitive센서의 경우는 이론신호와 깨끗하게 일치되는 신호를 보이고 있음을 알 수 있다. Fig.3-2-4-11b의 변위에 대한 감도의 주파수 스펙트럼에서 6dB 대역 폭(band width)이

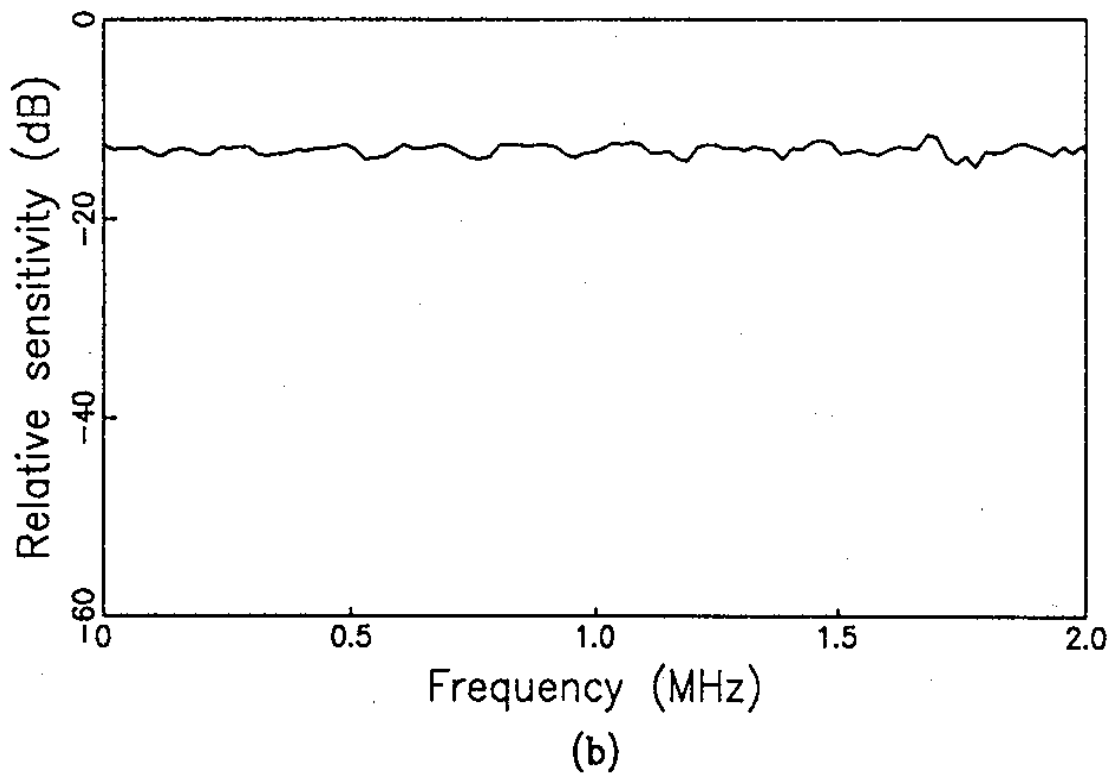
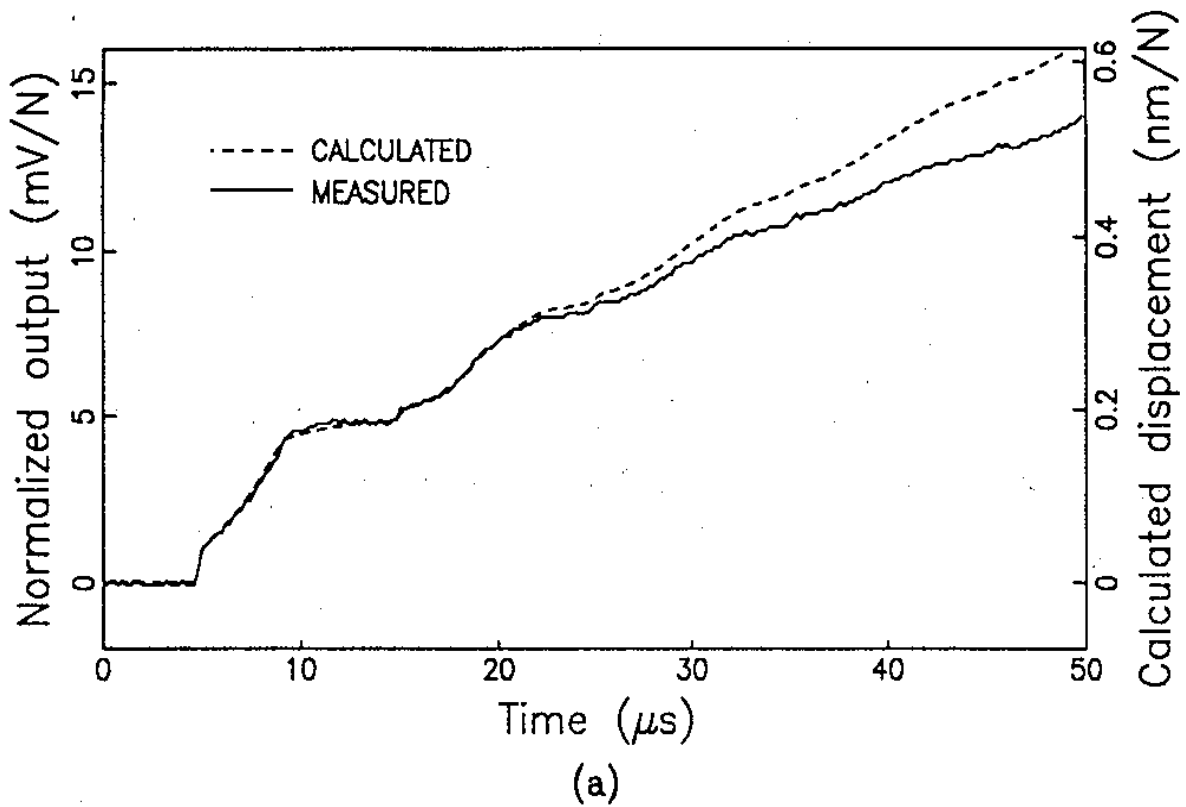


Fig.3-2-4-11(a) The transient output signal(solid line) from the self-aligning capacitive sensor and the calculated displacement(dashed line). (b) The sensitivity spectrum of the sensor for the displacement.

DC에서 2MHz까지이고 최대 감도편차가 4dB이내로서 제작된 self-aligning capacitive 센서가 변위에 대한 우수한 광대역 특성을 지니고 있음을 알 수 있다.

Fig.3-2-4-12는 capacitive 센서의 전극과 시험체 표면과의 간격을 $6\mu\text{m}$ 로 일정하게 하고 bias 전압을 각각 25, 50V, 75V, 100V로 변화시키면서 진앙 점에 도달한 과도파를 검출한 결과들을 겹쳐서 그린 것이다. 여기에서 출력 신호의 크기가 bias 전압 V_s 에 비례하게 나타남을 알 수 있는데 이는 이론식을 만족하는 결과이다.

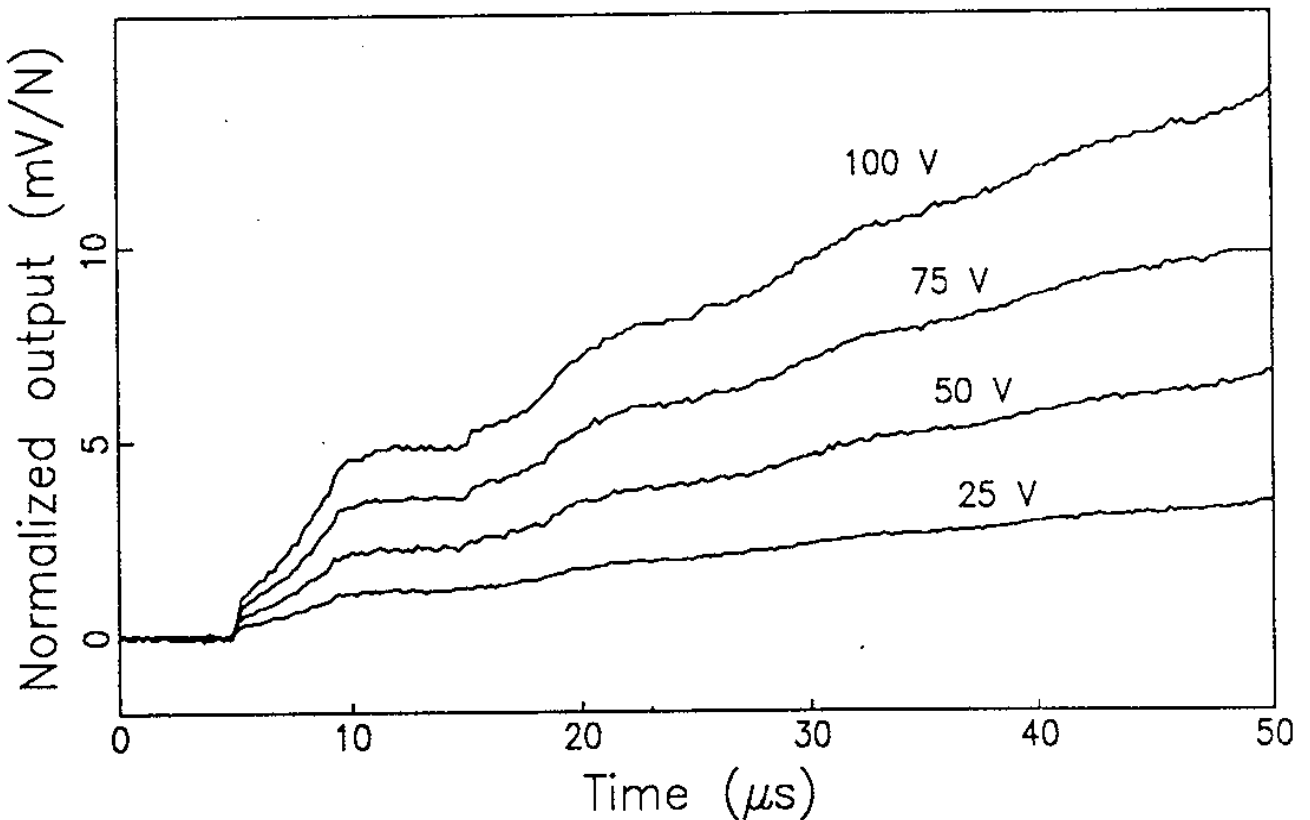


Fig.3-2-4-12 The transient output signals of the self-aligning capacitive sensor show that the output signal is proportional to the bias voltage.

Fig.3-2-4-13은 capacitive 센서에 가해지는 bias 전압을 100V로 일정하게 하고 전극과 시험체 표면과의 간격을 변화시켰을 때의 출력신호를 나타내는데 이론식에서 알 수 있는 바와 같이 간격이 좁아짐에 따라서 감도가 커짐을 나타내고 있다. 제작된 self-aligning capacitive 센서는 시편표면의 수직 변위를 정량적으로 검출함을 알 수 있다.

이와 같이 제작된 표준 변위 센서들은 주파수에 따른 감도특성을 정량적으로 교정하는 표준센서로서 우수한 특성을 지님을 알 수 있다.

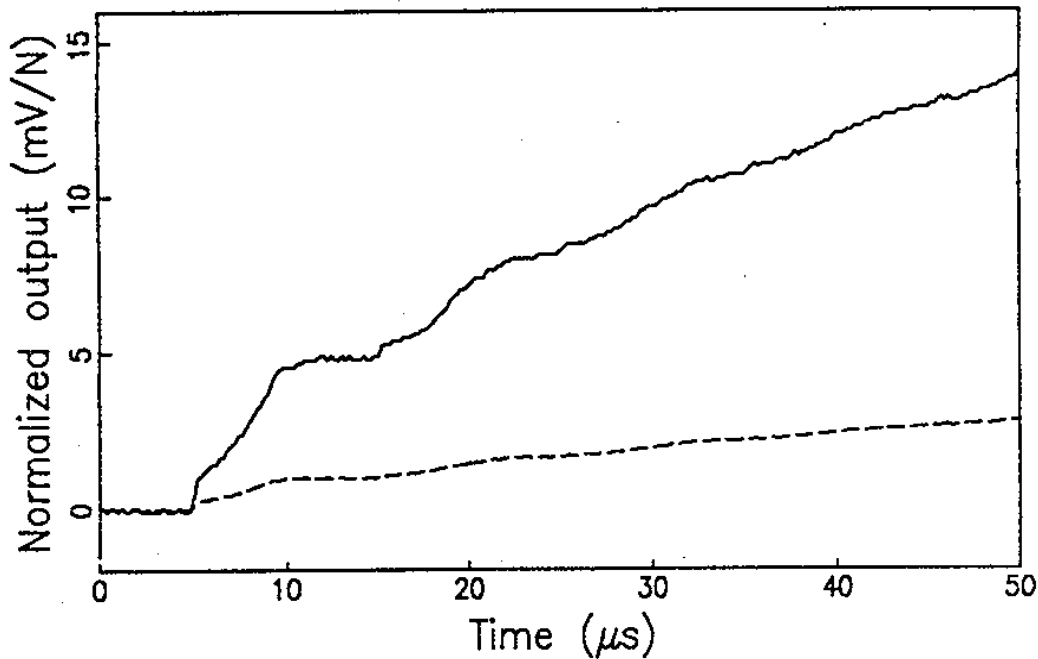


Fig.3-2-4-13 The transient output signals of the self-aligning capacitive sensor show that the output voltage is inversely proportional the initial gap between the sensor electrode and the specimen surface.

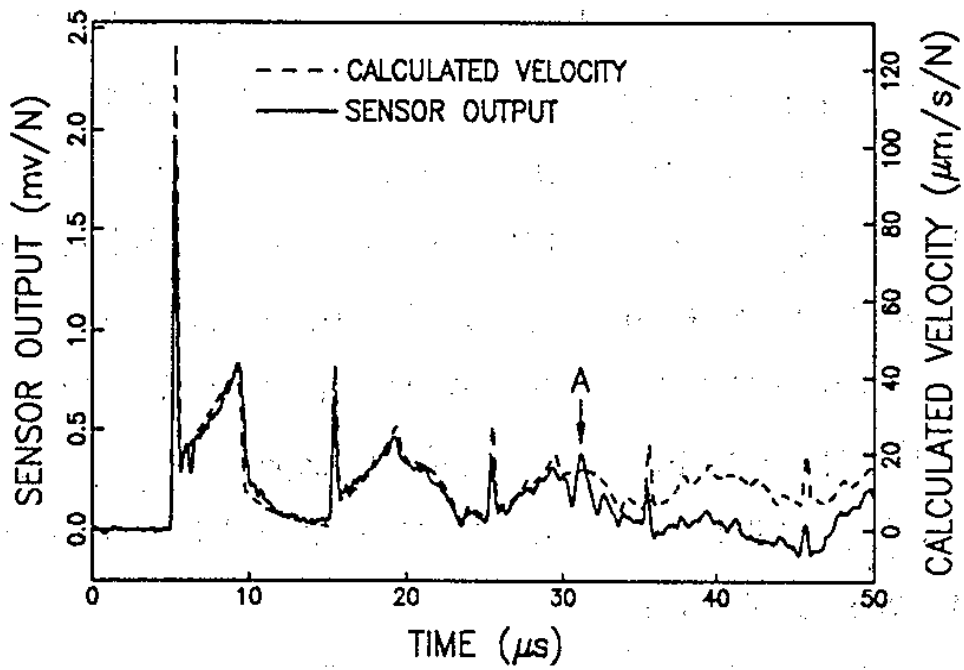
3) 속도 측정용 광대역 AE 압전 센서의 특성 평가

Fig.3-2-4-14a는 유리모세관 파괴에 의해 발생된 과도파를 진앙점에서 PVDF 압전 polymer를 사용하여 제작된 센서를 사용하여 검출된 신호(실선)와 이론적으로 계산된 속도(점선)를 비교하여 나타낸 것이다. 센서 출력 신호는 이론적인 rise time을 고려하여 이론적으로 계산된 속도 신호와 5P 파의 도달 이전인 $25\mu\text{s}$ 까지는 구별할 수 없을 정도로 일치함을 보이고 있고 그 이후에도 정성적으로 일치함을 알 수 있다. 이론적인 신호에서 종파가 진앙점에 도달한 시간인 1P, 3P, 5P, 7P, 9P에 정확히 대응하여 peak(rising peak)를 나타내고 이 peak들의 폭과 크기가 잘 일치하고 있으며 횡파의 도달 시간인 1S, 2P1S 등에 대응하여 하강 신호(falling down signal)를 출력하고 있다.

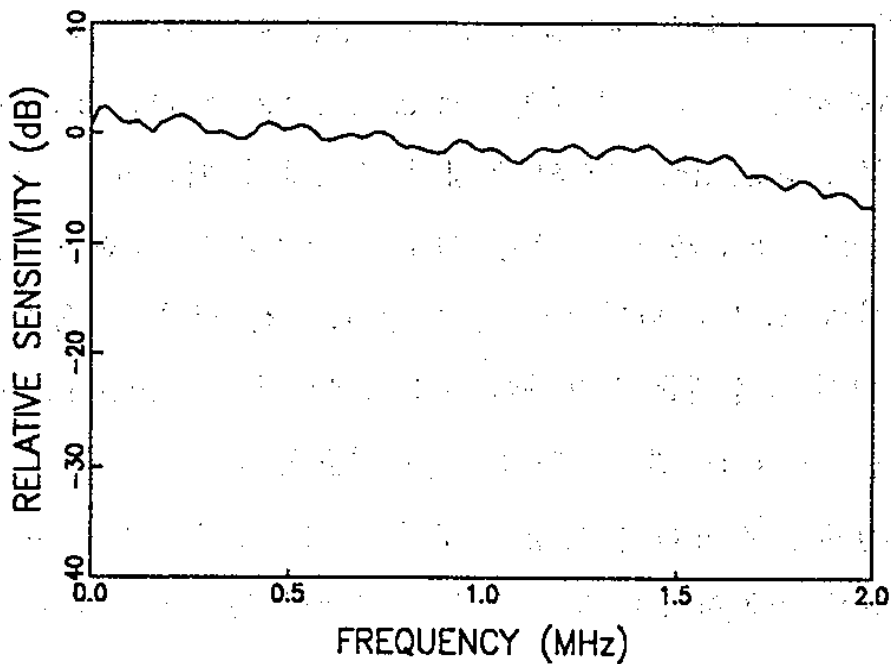
Fig.3-2-4-14b는 센서의 DC에서 2MHz까지의 속도에 대한 감도의 주파수 특성을 보이고 있다. 이 주파수 스펙트럼은 센서들에 의하여 수신된 신호에 대하여 FFT(Fast Fourier Transform)한 결과를 이론적으로 특성에 대하여 상대적으로 나타낸 것이다. 이와 같이 제작된 센서는 시험체의 표면 진동 속도를 정량적으로 검출하는 속도에 대해 광대역 수신 특성으로 표준 속도센서로서 활용 될 수 있는 우수한 특성을 지님을 보여주고 있다.

2) 표준 교정계의 평가

표준 교정계의 특성을 조사하기 위하여 표준 변위 센서를 사용하여 시험을 하였다. 측정에 사용된 유리모세관은 반 무한 평면에서의 변위가 매우 작으므로 파원의 에너지를 높이기 위하여 내경 0.5mm 외경 0.7mm의 비교적 굵은 것을 사용하였다. 이때, 탄성파원의 rise time은 약 $0.6\mu\text{s}$ 로 측정되었는데 이는 cut-off 주파수가 rise time의 역수인 1.7 MHz임을 의미한다. Fig.3-2-4-15a는 self-aligning capacitive 센서를 표준 교정계를 사용하여 유리모세관이 파괴되는 탄성파원의 위치에서 10cm 떨어진 위치에서 과도파



(a)



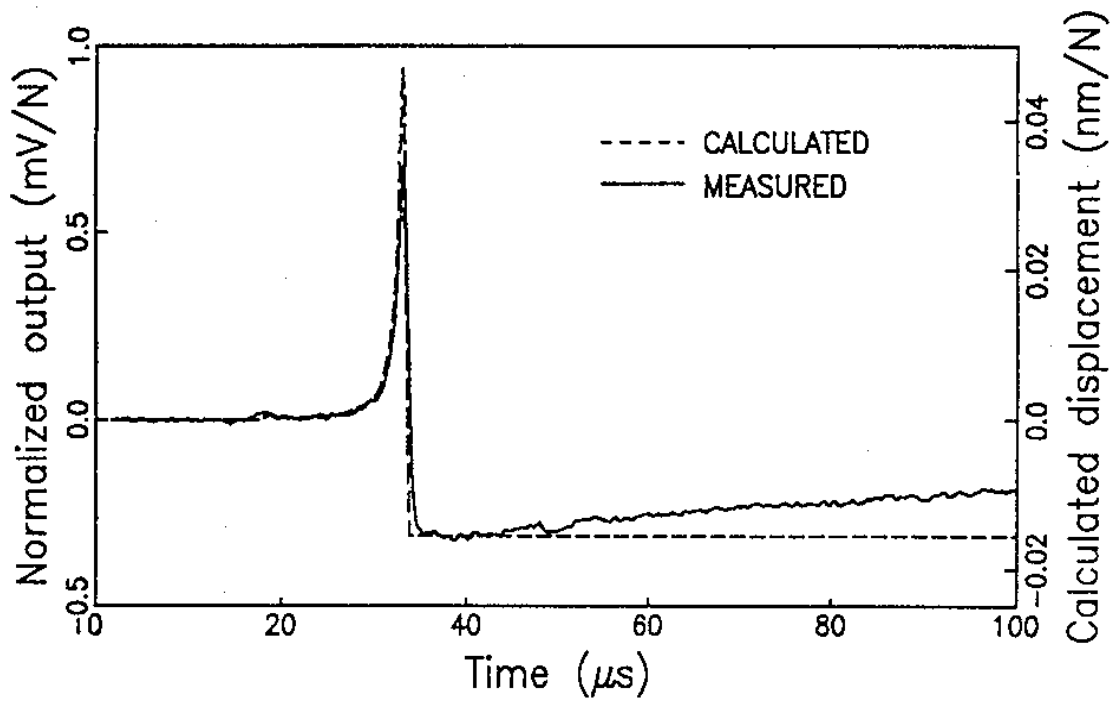
(b)

Fig.3-2-4-14 (a) The transient output signals(solid lines) from the developed wide band velocity sensor and the calculated velocities(dashed lines). (b) The sensitivity spectrum of the wide band velocity sensor for the velocity of surface motion.

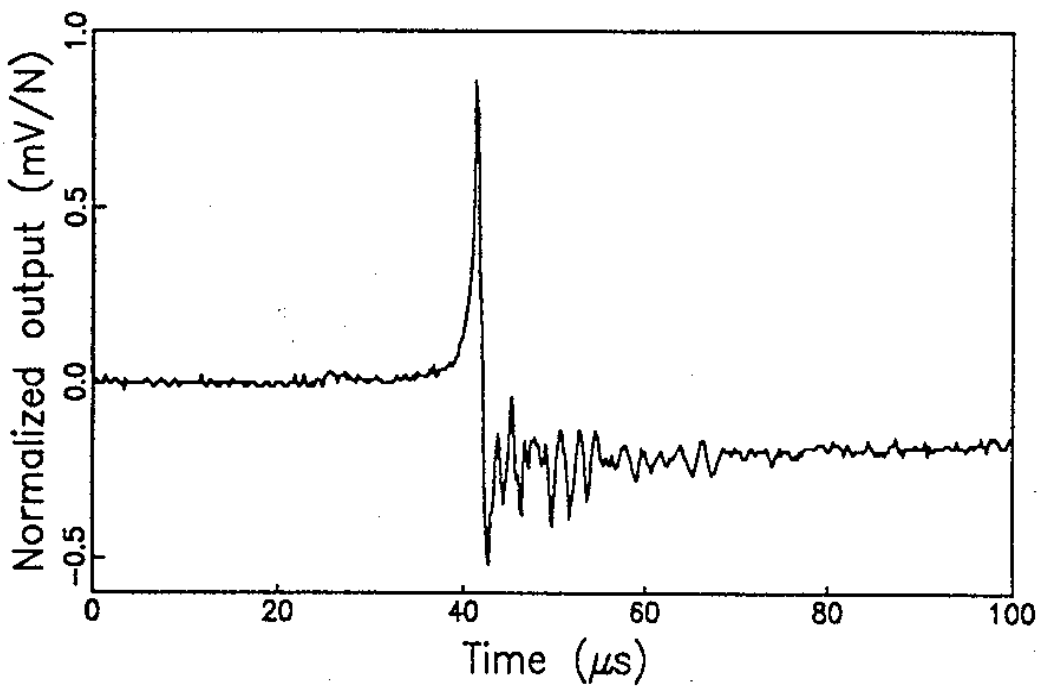
신호를 검출한 출력신호(실선)와 이론적으로 계산된 변위 신호(점선)를 비교하여 나타낸 것이다. 이론적인 파형과 출력신호가 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 다만 표면파(Rayleigh)가 도달한 이후에 변위가 점점 증가하는 출력을 보이고 있는 데 이는 제작된 capacitive 센서의 직경 6.3mm의 전극에 aperture 효과에 기인한다. Fig.3-2-4-15b는 원추형 압전소자를 사용하여 제작된 광대역 압전 변위센서를 표준 교정계를 사용하여 유리모세관이 파괴되는 탄성파원의 위치에서 10cm떨어진 위치에서 capacitive센서와 동시에 과도파신호를 검출한 출력신호를 보여주고 있다. 출력신호가 이론적인 파형과 유사한 형태임을 알 수 있다.

Fig.3-2-4-15a와 b의 결과를 상호 비교할 때 capacitive 센서의 출력신호에서 나타나는 표면파가 도달한 이후에 변위가 점점 증가하는 경향이 압전 변위 센서에서는 미미하게 나타남을 알 수 있는데 이는 압전 변위 센서가 시편표면과 접촉하는 전극의 직경이 1mm capacitive 센서의 직경 6.3mm에 비하여 작기 때문에 aperture 효과의 영향이 줄어들기 때문이다. 그러나 압전 변위 센서의 경우 표면파가 도달한 이후 압전소자의 공진의 영향때문에 capacitive 센서의 경우에 나타나지 않는 상하로 진동하는 잡음신호를 출력하고 있다. 간이형 교정계를 사용하여 진앙점에서의 self-aligning capacitive 센서의 출력신호와 압전 변위 센서의 출력신호의 비교에서도 기술한 바와 같이 표준 교정계를 사용하여 특성을 조사한 경우에서도 capacitive 센서가 더 표면의 변위를 왜곡시키지 않는 우수한 광대역 특성을 지니고 있음을 알 수 있다.

Fig.3-2-4-16은 Fig.4-3-2-4-15a에 보이는 capacitive 센서의 출력신호를 FFT한 결과에서 이론적으로 계산된 변위신호의 FFT를 제하여 구해진 변위에 대한 감도의 스펙트럼을 보여주고 있다. 주파수 1.7MHz 근방에서 감도가 매우 낮은 것으로 나타나고 있는데 이는 rise time이 0.6 μ s인 탄성파원의 주



(a)



(b)

Fig.3-2-4-15(a) The transient output(solid line) from self-aligning capacitive sensor and the calculated displacement(dashed line) for surface wave pulse due to a ramped force, and (b) the transient output from wide band displacement sensor(CI sensor) obtained using the standard calibration system

과수 특성 때문이다. 또한 DC에서 1 Mhz까지 주파수가 증가함에 따라서 감도가 서서히 낮아지게 나타나는 것은 capacitive 센서의 aperture 효과에 의한 것이다.

센서의 교정범위는 대개 10 kHz에서 1 Mhz의 범위로 여기서 사용한 유리모세관을 사용하여도 aperture효과를 제외하고는 센서를 교정하는데 문제가 되지 않음을 의미한다. 만약 더높은 주파수 대역까지의 평가가 요구되어진다면 rise time이 더 작은 step-like force를 발생하는 가는 유리 모세관을 사용하면 될 것이다. 이는 또한 센서의 정량적인 교정을 위하여 표준 교정계가 바르게 설계되고 제작되었음을 의미한다.

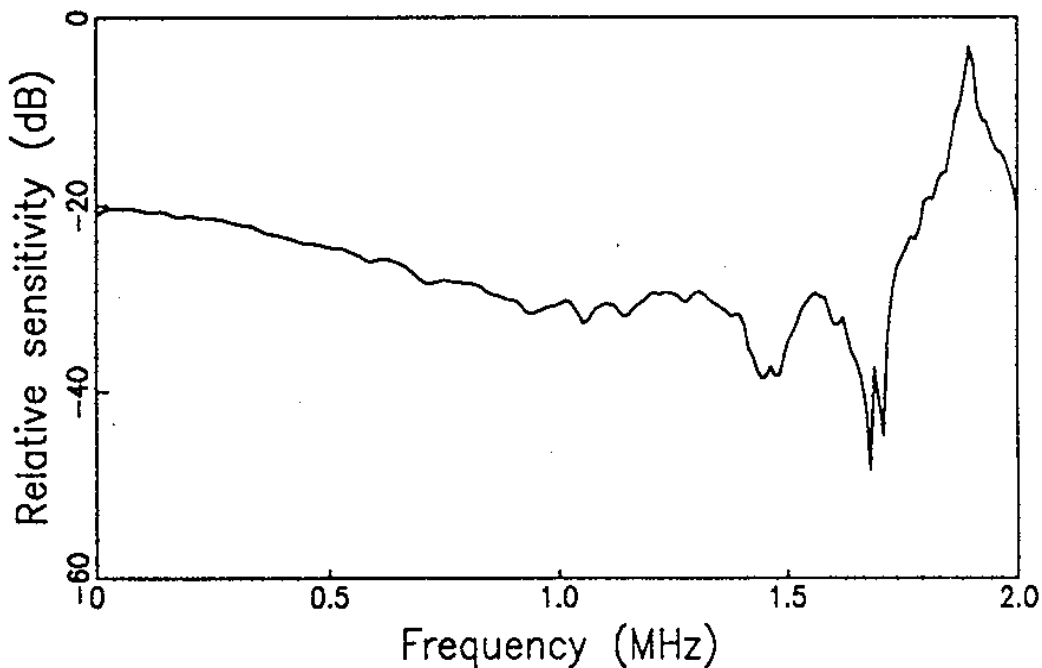


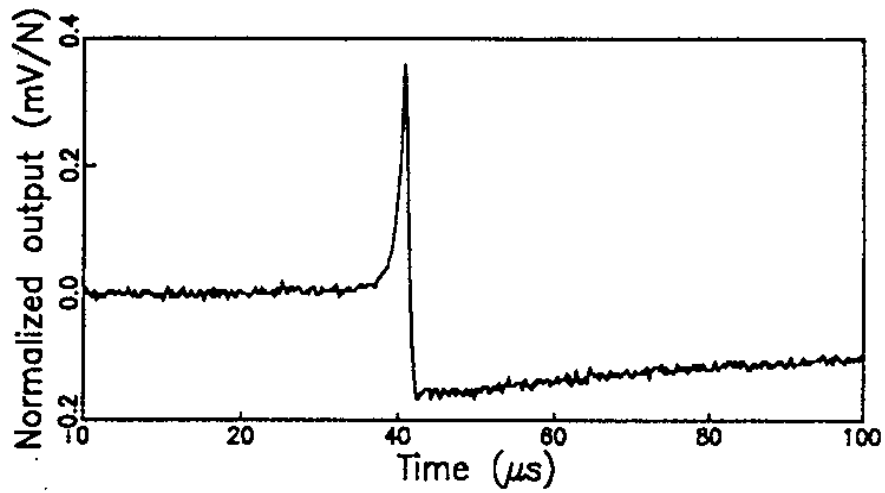
Fig.3-2-4-16 The sensitivity spectrum calculated from the transient output signal of self-aligning capacitive sensor.

마. 표준 교정계에 의한 센서의 교정

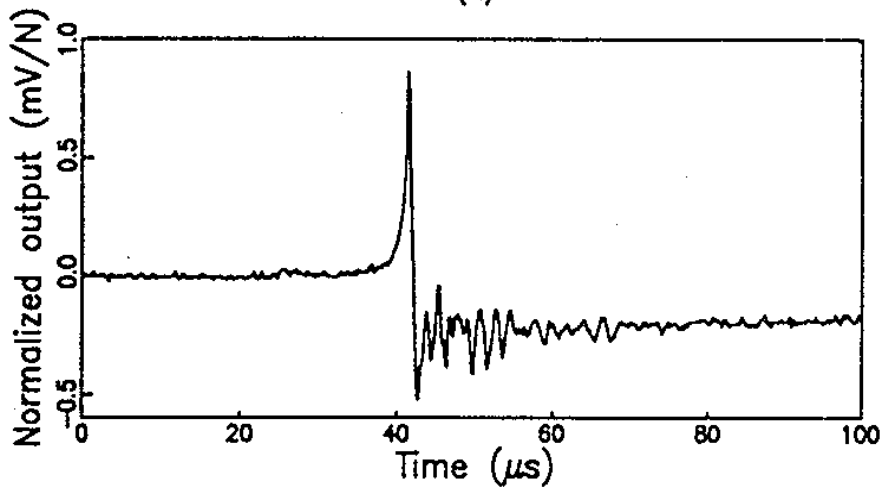
센서를 교정하는 표준교정계의 block diagram은 Fig.3-2-4-7과 같다. 유리모세관이 파괴되는 위치로부터 같은 쪽에 등간격으로 표준센서와 교정하려는 센서를 위치시키고 동시에 탄성파 신호를 수신하였다. 두 센서로부터의 출력을 digital oscilloscope로 잡아서 computer에 data를 전송하고 분석하게 된다. Fig.3-2-4-17a와 b는 내경 0.5mm, 외경 0.7mm의 유리모세관이 파괴되는 위치에서 10cm 거리에 self-aligning capacitive 센서와 교정하려는 원추형 압전소자를 사용하여 제작된 압전 표준 변위센서를 각각 두고 유리모세관의 파괴로부터 발생하는 표면파의 펄스를 동시에 수신한 출력신호를 각각 나타낸다. Fig.3-2-4-17c는 Fig.3-2-4-17a의 출력신호를 FFT한 결과에서 Fig.3-2-4-17b의 출력신호 FFT 결과를 제하여 구해진 변위에 대한 감도의 스펙트럼을 보여주고 있다. 주파수 스펙트럼의 교정결과에서 1.7MHz 근방에서 감도가 매우 낮은 것으로 나타나고 있는데 이는 10kHz에서 1MHz의 범위에서 압전 변위센서가 변위에 대한 광대역 센서임을 보여주고 있다.

Fig.3-2-4-18a와 b는 같은 조건에서 self-aligning capacitive 센서와 교정하려는 공진형 센서로부터의 출력신호를 각각 나타낸다. Fig.3-2-4-18c는 같은 방식으로 구해진 변위에 대한 감도의 주파수스펙트럼을 보여주고 있다. 과도파 신호의 출력의 비교에서 공진형 센서의 경우 광대역 센서와는 달리 자체의 공진 특성에 의하여 실제의 표면 변위를 크게 왜곡시키는 결과를 나타냄을 알 수 있으며 주파수 스펙트럼에서도 여러개의 공진 peak를 보임을 알 수 있다.

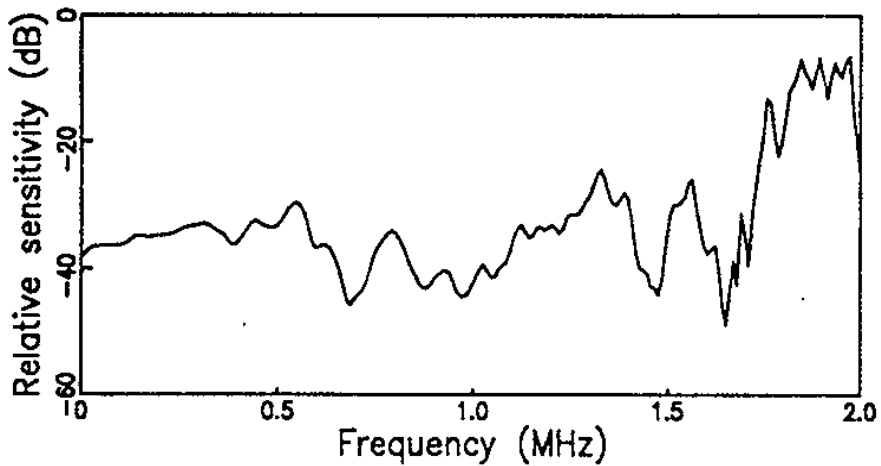
이와같이 특성이 밝혀진 표준센서와 특성을 모르는 미지의 센서를 비교하여 교정함으로써 탄성파원의 특성에 크게 구애됨이 없이 센서의 절대 교정이 가능함을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig.3-2-4-17 Transient outputs (a) from the self-aligning capacitive sensor, (b) from the wide band conical displacement sensor obtained using the standard calibration system, and (c) the sensitivity spectrum(calibrated result) of the wide band conical displacement sensor.

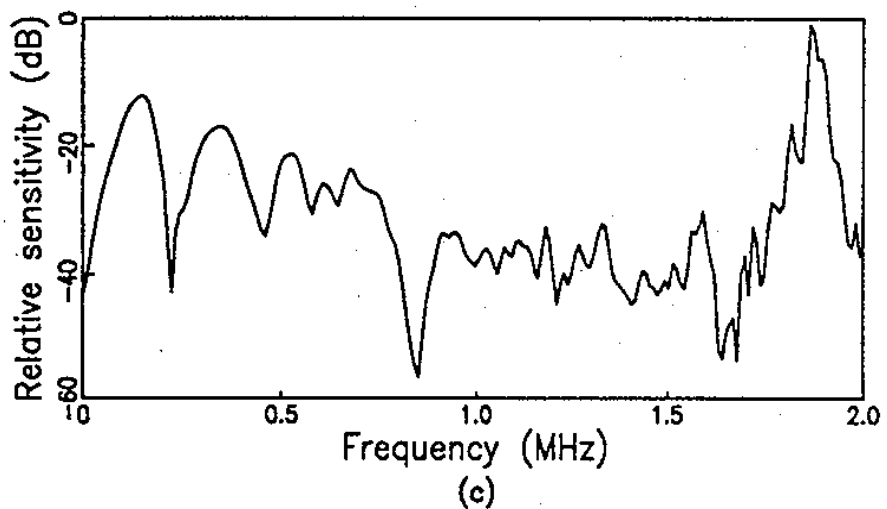
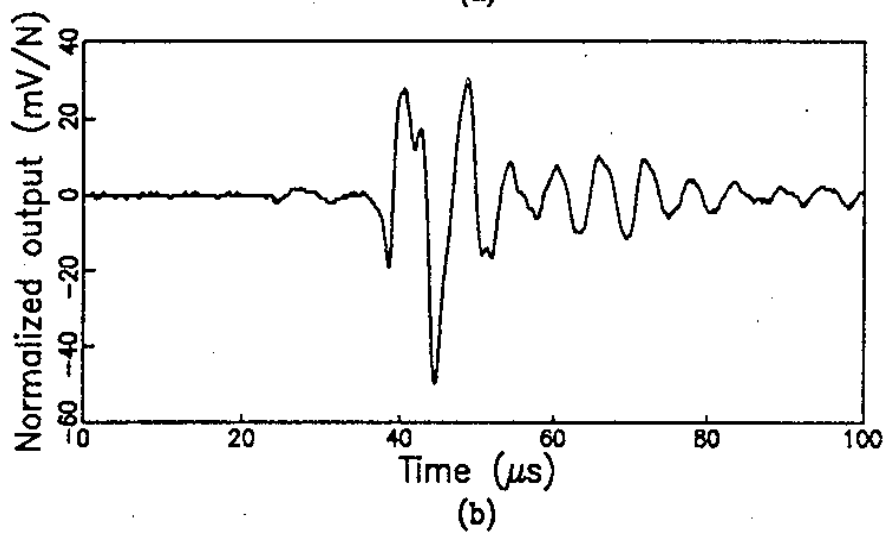
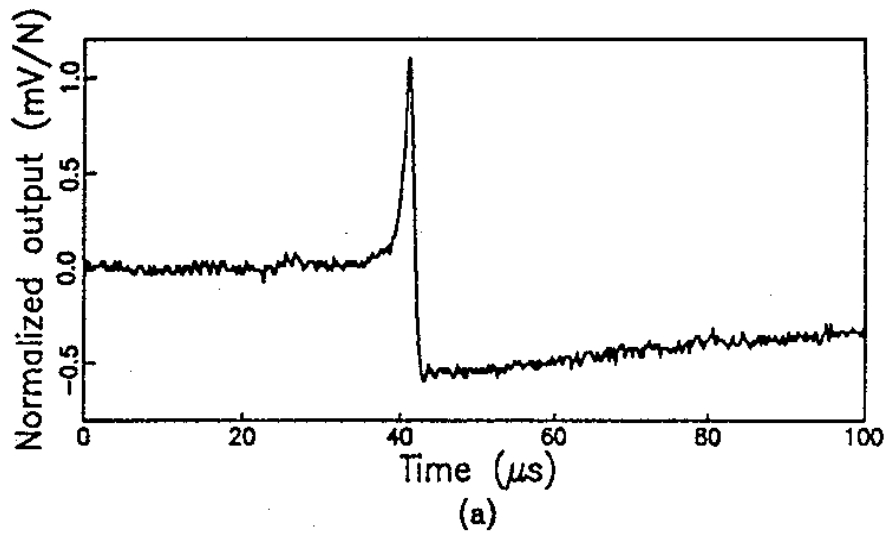


Fig.3-2-4-18 Transient outputs (a) from the self-aligning capacitive sensor, (b) from a resonant type sensor obtained using the standard calibration system, and (c) the sensitivity spectrum of the resonant sensor.

바. 결론

충격탄성과 공명법 시험을 위한 센서의 교정계를 간이형과 표준형으로 설계 제작하였고 특성을 조사하였으며 표준 센서를 개발하였고 표준탄성파원을 선정하였다. 표면의 변위와 속도를 이상적인 파원과 Green 함수를 가정하여 이론적으로 계산하였다. 표준센서로는 광대역 변위센서로서 표면의 운동 변위에 비례하는 신호를 출력하는 광대역 변위 센서와 표면의 운동 속도에 비례하는 신호를 출력하는 광대역 속도 센서의 제작하였다. 표준 탄성파원으로는 유리모세관을 선정하였다. 또한 표준교정계를 사용하여 센서를 교정하였다.

Capacitive 센서는 간이형 교정계를 사용하여 진앙점에서의 self-aligning capacitive 센서의 출력신호와 광대역 압전 변위센서의 출력신호의 비교에서도 기술한 바와 같이 표준 교정계를 사용하여 특성을 조사한 경우에서도 capacitive 센서가 더 표면의 변위를 왜곡시키지 않는 우수한 광대역 특성을 지니고 있음을 알 수 있었다. 제작된 표준 속도 센서는 시험체의 표면 진동 속도를 정량적으로 검출하는 속도에 대해 광대역 수신 특성을 알 수 있었다.

설계 제작된 교정계를 사용하여 개발된 표준센서와 특성을 모르는 미지의 센서를 비교하여 교정함으로서 탄성파원의 특성에 크게 구애됨이 없이 센서의 절대 교정이 가능함을 알 수 있다.

참고문헌

1. S. H. Carpenter and F. G. Higgins, Met. Trans. 8A, 1629(1977).
2. Y. Nakamura, Mat. Eval. 29, D-1239(1971).
3. J. Baram and M. Rosen, Acta Metall. 30, 655(1982).
4. J. E. Michaels, T. E. Michaels and W. Sachse, Mater. Eval. 39, 1032(1981).
5. W. Sachse and K. Y. Kim, Progress in acoustic emission III, Jap. Soc. NDI, 750(1986).
6. R. A. Kline, R. E. Green, Jr. and C. H. Palmer, J. Acous. Soc. Am. 64, 1633(1978).
7. K. Y. Kim and W. Sachse, Rev. Sci. Instrum. 57, 264(1986).
8. T. M. Proctor, Jr., J. Acoust. Em. 1, 173(1982).
9. I. Grabec, M. Platte, Sensors and Actuators, 3, 187(1982/83).
10. Y. H. Pao and R. R. Gajewski, Physical Acoustics(Academic press, Ny, 1977) 13, 188.

11. N. N. Hsu, Dynamic Green's function of an infinite plate-A computer program(National Bureau Standards, NBS-IR-85-3234, 1985).
12. C. C. Feng, Acoustic emission transducer calibration-spark impulse calibration method(Eng. Rep. 74-7-C, Dunegam/Endevco, 1974).
13. D.M. Egle and A.E. Brown, J. Test. Eval. 4, 196(1976).
14. C. Chang and C. T. Sun, Exp. Mech. 29, 414(1989).
15. F. R. Breckenridge, T. M. Proctor, N. N. Hsu, S. E. Fick and D. G. Eitzen, Progress in acoustic emission V, Jap. Soc. NDI, 10(1990).
16. N. N. Hsu, Acoustic emission simulator, U. S. Patent 4018084(1976).
17. F. R. Breckenridge, C. E. Tschiegg and M. Greenspan, J. Acoust. Soc. Am. 57, 626(1975).
18. Y. H. Kim and B. G. Kim, Development of Acoustic Emission Sensors(Korea Research Institute of Standards and Science,

KSRI-91-81-IR, 1991).

19. B. G. Kim, Young H. Kim, Y. K. Park, "Predetermination of Characteristics of Acoustic Emission Sensors by Electrical Response Analysis," 9th Annual Review of Progress in Quantitative NDE, Iowa state univ. U.S.A., 12A (1993) pp. 981-988.
20. Byoung-Geuk Kim, Young H. Kim, Manabu ENOKI, and Teruo KISHI, "Correlation Between Sensitivity Spectra and Electric Conductance Spectra of Acoustic Emission Sensors," J. Acoustic Emission, to be accepted (1997).
21. B. G. Kim and Young H. Kim, "Mechanical and Electrical Behaviors of High- Performance Acoustic Emission Sensors," International Conf. Proc on First Far East NDT Testing, Seoul, Korea (1991) pp. 313-317.
22. B. G. Kim, Young H. Kim, "Correlation Between Electrical Behaviors and Characteristics of Acoustic Emission Sensors," Proceedings of 4th Rok-Roc International Metrology Symposium, Taejon, Korea (1992) pp. 167-171.
23. Byoung-Geuk Kim, Manabu ENOKI, and Teruo KISHI, "Broad Band and Absolute Measurement of Transient Dynamic Normal Velocity of Surface," Rev. Sci. Inst., to be published (1998).

5. 철근 탐지기

철근 콘크리트 구조물에서 철근의 굵기, 깊이, 배열 등을 검사하는 장비가 철근탐지기라는 것으로 비파괴 검사에 의해 철근을 탐지하는 장비이다.

비파괴 검사는 시험체에 손상을 입히지 않고 시험체가 갖는 물리적 성질을 조사하는 기술이다. 시험체에 손상을 입히지 않고 신속하고 편리하게 검사가 수행되므로 품질 관리나 설비의 안전 관리에 널리 활용되고 있다. 철근 탐지도 비파괴 검사를 적용하여 콘크리트 구조물에 손상을 입히지 않고 탐사를 수행할 수 있으며 그 방법으로는 전자 유도 법이 널리 사용되고 있다. 이밖에 전자파를 이용하거나 방사선을 이용하기도 하며 초음파나 열적시험 등의 비파괴 검사도 이용 가능하다. 그러나 일반적으로 철근 탐지기라 함은 전자유도현상을 이용한 철근탐지기를 일컫는다.

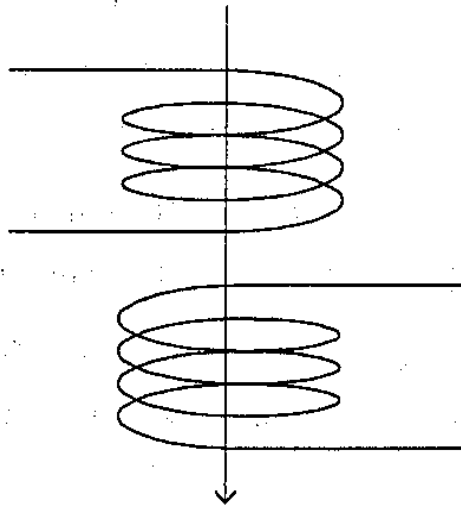
철근 탐지기는 비파괴 검사 장비이므로 철근 탐지기가 검사한 철근의 배열, 깊이, 굵기 등의 결과가 얼마나 신뢰할 수 있는가 하는 것은 매우 중요하다. 따라서 철근탐지기는 수시로 교정 검사를 통하여 성능의 이상 유무나 검사 한계 등을 점검할 필요가 있다.

가. 철근 탐지기의 원리

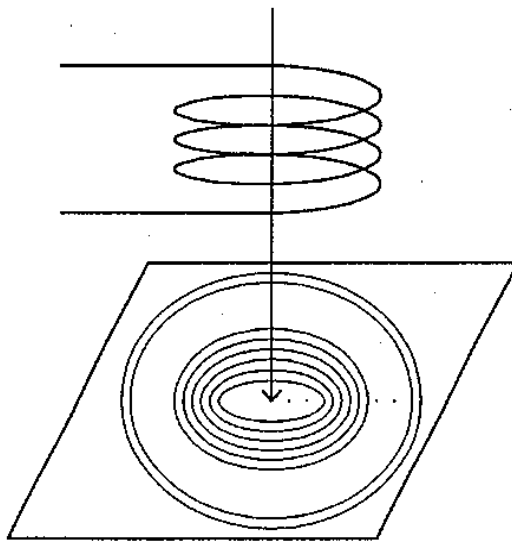
전자 유도 현상을 이용한 철근 탐지 기술도 다시 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 전자 유도 현상을 응용한 와전류를 이용한 방법과 전자 유도 현상 자체를 이용한 방법이다. 두 가지 모두 Faraday에 의해 정립된 전자 유도현상을 그 기본 원리로 삼고 있다.

1) 와전류 시험법

Faraday 법칙에 의하여 Fig. 3-2-5-1 (a)에서와 같이 코일 1에 교류를 흘려줄 때 코일2에 전압이 유도되며 이때 코일 2에 유도되는 전압은 코일1에



(a) Voltage induction in a coil



(b) Voltage induction on a metal surface

Fig. 3-2-5-1. Induction of voltage based on the Faraday's law.

가해준 교류의 세기와 주파수 그리고 코일 2의 turn수에 비례하게 된다. 와전류 시험에서는 대개 수 백 Hz ~ 수십 kHz의 주파수를 사용한다.

Fig. 3-2-5-1 (b)에서와 같이 금속판이나 금속 봉 등은 잘게 썬 코일이 서로 밀접해 있는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 금속 시편에도 마찬가지로 전압이 유도되며, 전류가 흐르게 된다. 이 전류를 와전류라 하며, 이 와전류는 코일 1의 교류의 세기와 주파수에 비례하며, 시편의 전기전도도, 자기 투자율, 형태 등에 따라 위상과 크기가 변화된다. 와전류의 크기와 위상 등을 측정하여, 시편의 성질이나 결함의 상태를 분석할 수 있는 바 이러한 기

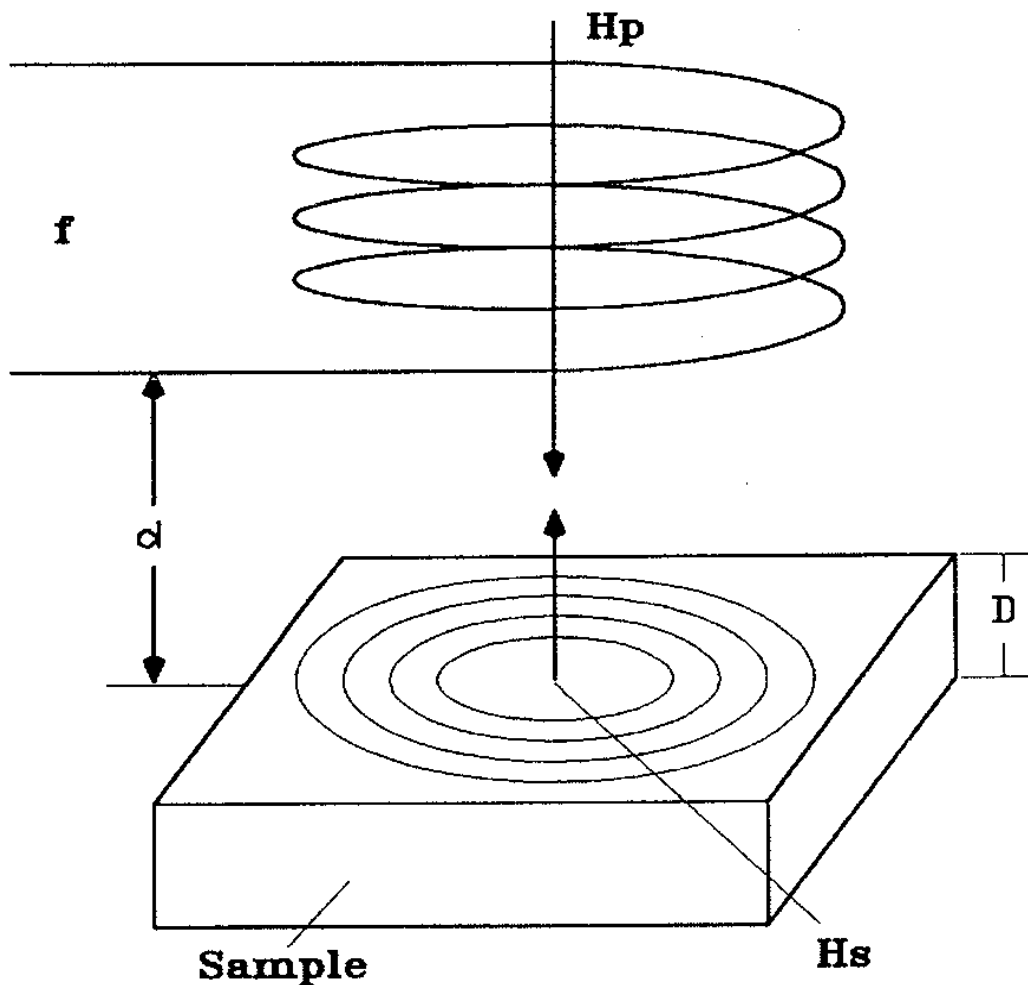


Fig. 3-2-5-2 Induction of the eddy current.

술을 와전류 시험이라 한다. 와전류는 시편에 입사되는 교번 자력선에 의해 생성되는데 이 교번 자력선은 1차 코일에 교류가 흐를 때 발생된다. 이와 동일한 원리로서 와전류의 흐름에 의한 자력선이 금속에서도 발생된다. 즉 Fig. 3-2-5-2에서와 같이 와전류에 의한 자력선이 여기 코일(excitation coil) 방향으로 방사되며, 이 방사되는 자력선은 1차 코일에서 방사된 자력선과 합쳐져서 1차 코일을 통과하는 전체 자력선의 크기를 변화시킨다. 시험편이 구리나 알루미늄 등의 비자성체일 경우, 전기전도도가 클수록 1차 코일에 의한 자력선의 크기는 줄어들게 되며, 전기전도도가 작을 때 덜 줄어들게 된다.

시편이 철근처럼 강자성체일 경우에는 1차 코일의 자력선은 더 커지게 된다. 코일내부의 자력선이 변화되면 코일에 유도되는 전압의 크기와 위상이 따라서 변화하며 이 변화를 측정하면, 철근의 깊이, 직경, 배열 등을 분석할 수 있다.

2) 전자 유도 현상을 이용한 철근 탐지

이 방법은 변압기의 원리를 그대로 이용하고 있다. Fig. 3-2-5-3에서 1차 코일에 교류 전류를 가해 주면 교류 자력선이 생성되어 2차 코일에 닿게 되고 전자유도 현상에 의해 2차 코일에 전압이 유도되는데 자력선이 많을수록 전압이 크게 유도된다. 변압기에서는 이 자력선을 많게 하기 위하여 철심을 사용하는데 그것은 자력선은 주위의 매질이 강자성체 일 때 많이 발생하기 때문이다. 철근은 변압기에서의 철심처럼 탐촉자 코일의 전자 유도의 세기를 크게 하며 철근이 코일에 가까울수록 유도 전압이 증가하므로 이를 측정하여 철근과 탐촉자와의 거리를 가늠할 수 있게 된다. 이 방법을 이용할 경우에는 와전류 방법에 비하여 저주파수를 사용하는데 대개 90Hz 내외에서 사용한다.

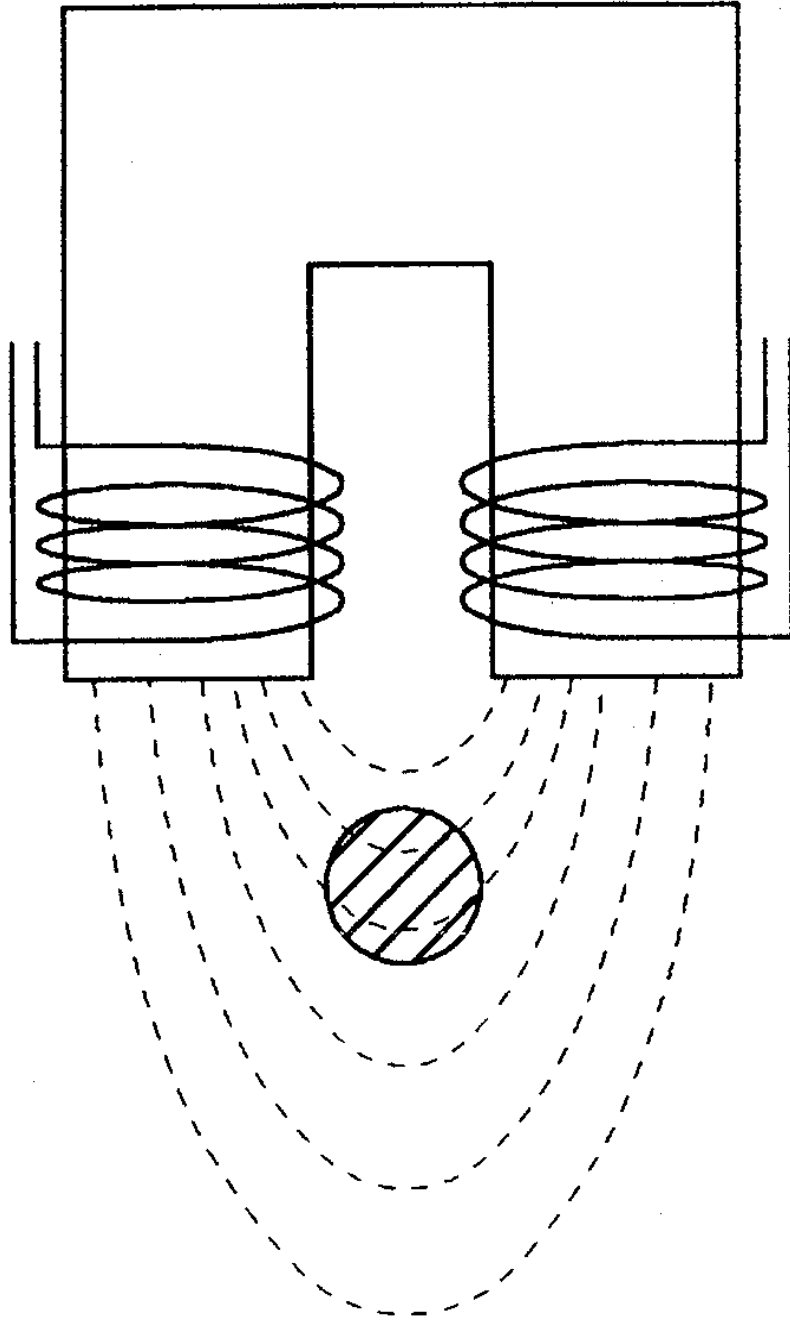


Fig. 3-2-5-3 Rebar detection by the variation of the induction voltage.

나. 시험용 블록 제작

철근 탐지기의 교정 절차를 확립하기 위해서는 여러 가지 조건에서 철근

탐지기를 시험하여 그 결과를 분석하여 가장 적합한 절차를 선정할 필요가 있다. 본 연구에서는 두 가지 형태의 철근 탐지기용 시험체를 제작하였다. 하나는 실제 철근 탐사 시 환경과 유사하게 하기 위하여 실외에 철근의 깊이와 굵기가 다양하게 설치된 벽체를 설립하였으며 다른 하나는 실내에서 사용 가능하도록 콘크리트를 이용한 블록을 제작하였다.

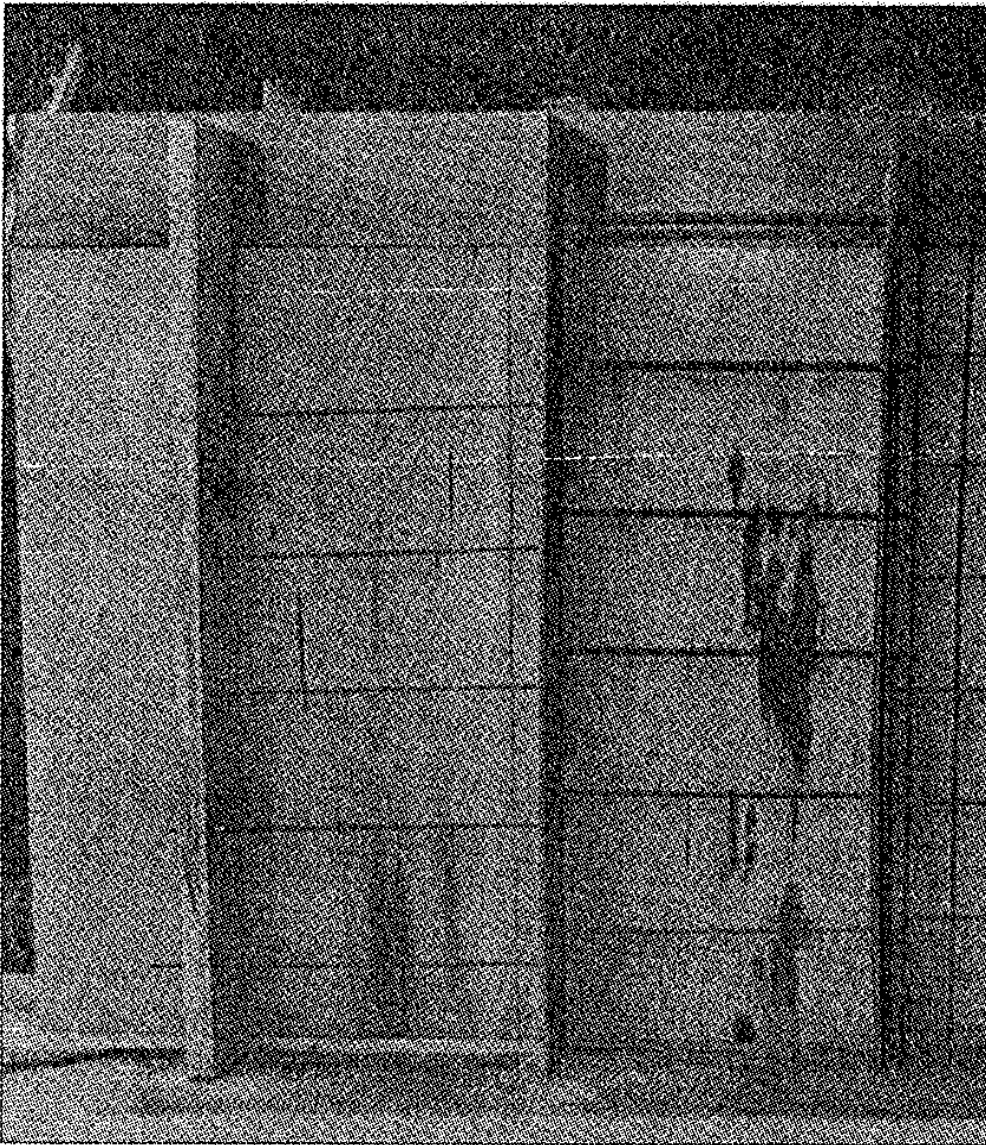


Fig. 3-2-5-4 The rebars before placing concrete.

Fig. 3-2-5-4는 거푸집에 구멍을 뚫고 철근을 배치한 상태이다. 타설하여 완성된 시험 벽체의 두께는 20 cm로 하고 깊이 변화를 보기 위한 시험편으로 직경 10 mm의 철근을 표면으로부터 3, 5, 7, 9, 11 cm가 되도록 설치하였으며 굵기 변화를 시험하기 위한 시험편으로는 직경이 10, 13, 16, 19, 22, 25 mm인 철근을 깊이가 모두 10 cm가 되도록 설치하였다.

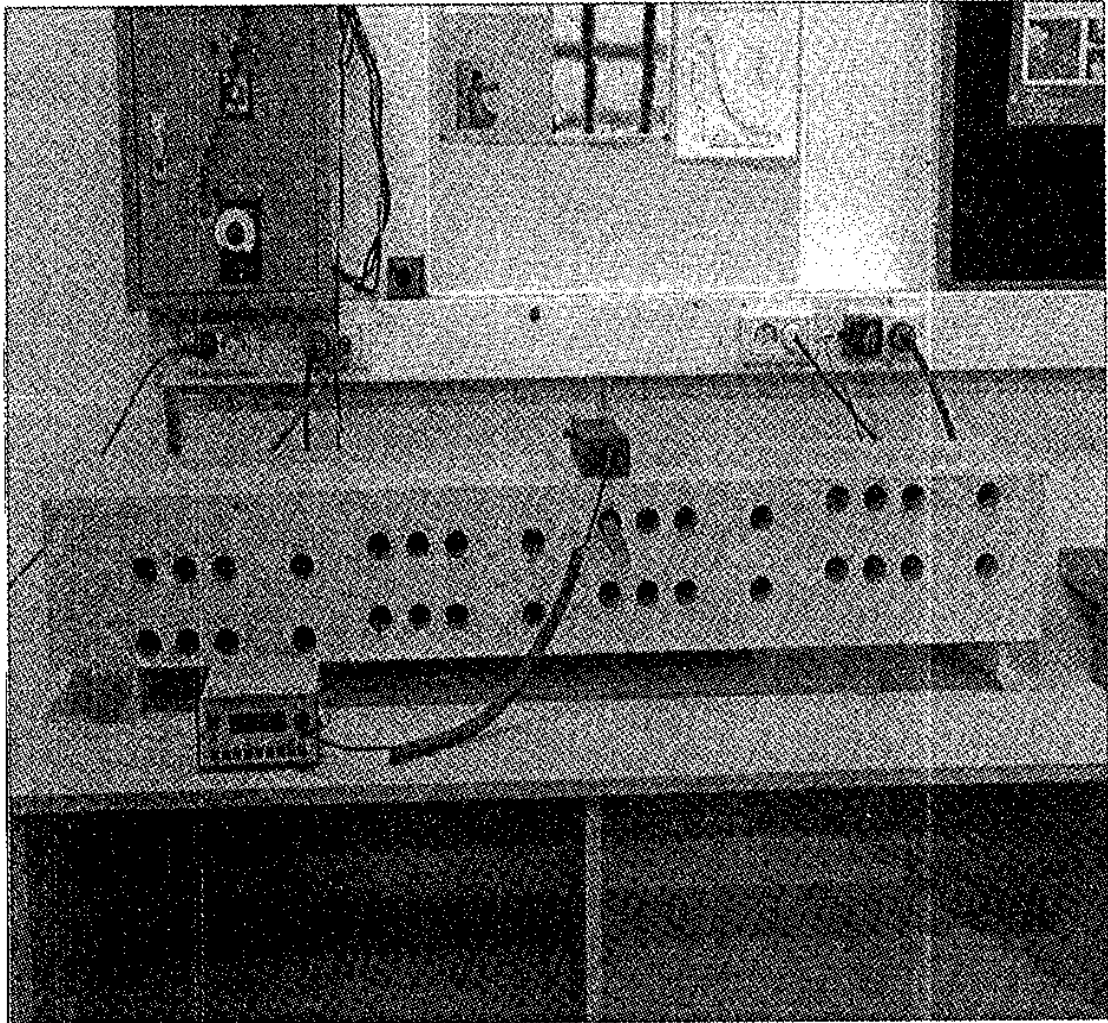


Fig. 3-2-5-5 Concrete block for the rebar detection.

시험 블록은 Fig. 3-2-5-5과 같이 콘크리트로 제작하였다. 이 시험 블록에는 철근은 묻혀있지 않으며 대신 직경이 32 mm인 실린더형 구멍이 여러 가지 깊이로 다양하게 뚫려져 있다. 각 구멍의 깊이는 표면에서 가장 윗면까지의 거리가 각각 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130 mm이 되도록 하고 한 가지 깊이의 치수 당 4 개의 구멍을 가공하였다. 즉 3개의 구멍을 50 mm, 하나의 구멍 100 mm 간격으로 같은 깊이로 가공하였다. 이는 필요에 따라서 철근의 간격에 따른 신호의 변화를 측정할 때 사용하기 위함이다. 시험은 이 구멍에 철근을 삽입하고 콘크리트 표면에 철근 탐지기를 놓거나 스캔하면서 이루어진다. 콘크리트의 재료는 Portland 계열의 시멘트로 이루어진 레미콘을 구입하여 사용하였다. 잘 건조된 콘크리트 블록은 골재가 비자성 체일 경우 거의 철근 탐지기의 신호에는 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 이 시험 블록은 일반 실험대와는 달리 상판에 못을 사용하지 않고 제작한 실험대에 놓아 못이 철근 탐지기에 감지되지 않도록 하였다.

다. 시험

제작된 시험벽체와 시험 블록을 이용하여 시험을 하였다. 그 결과 시험 벽체는 장비의 교정을 위한 시험체로는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 그 이유는 여러 가지를 들 수 있는데 우선 규격이 정확하지 않은 것이다. 교정에서의 생명은 시험편의 정확한 규격인데 이 시험체는 외부 공사 시 합판을 이용하여 제작한 거푸집을 사용하였는데 합판의 팽창으로 인하여 밑으로 갈수록 벽체가 두꺼워지는 현상을 나타냈다. 또한 합판 연결 시 사용한 철사 등의 재료들로부터 잡신호가 발생하기도 하여 부적합한 것으로 나타났다. 따라서 교정 시험은 시험용 블록만을 사용하기로 하고 시험벽체에 대한 시험 결과는 수록하지 않기로 한다. 그러나 이 시험벽체는 산업체의 기술자들을 대상으로 철근탐지기에 대하여 교육하는데 유용하게 사용될 것

으로 판단된다.

시험 블록에 국내 업체에서 생산한 철근을 삽입하고 철근 탐지기를 시험하였다. 시험 장비는 미국 James Instrument Inc. 사의 Data Scan 이라는 모델의 철근 탐지기이며 시험 철근은 국내의 한 철강 회사에서 생산한 아홉가지의 철근으로서 세 개의 시험편이 동일한 굵기를 지니되 세 개중 두 개는 동일한 종류이나 생산 시기가 다른 것이고 다른 하나는 고장력 강을 사용한 철근으로서 세 개의 동일 굵기의 철근이 철근 탐지기에 감지되는 정도를 비교하기 위함이다.

각 철근들을 시험한 측정값을 Table 3-2-5-1에 나타내고 이 데이터 값들을 이용하여 그린 그래프를 Fig. 3-2-5-6에 나타내었다. 각 자료에서 나타낸 약식 기호는 앞의 D25 등은 직경이 25 mm 인 것을 나타내고 뒤의 A, B, C는 철근의 구분 부호로서 A는 1996년에 구입한 철근을 B는 1997년에 구입한 철근을 그리고 C는 고장력 철근을 나타낸다.

Table 3-2-5-1과 Fig. 3-2-5-6의 결과를 분석하면 같은 굵기의 철근이라도 강 종에 따라서는 물론이고 동일한 회사의 동일한 모델의 철근이라도 철근 탐지기에 감지되는 신호량이 서로 차이가 날수 있는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과로부터 철근 탐지기의 측정치를 전압, 길이, 온도 등 절대량을

Table 3-2-5-1 The values of the rebar detector from various rebars.

Depth	D25A	D25B	D25C	D22A	D22B	D22C	D19A	D19B	D19C
33 mm	7500	7400	7600	7100	7200	6800	5800	6800	7250
53 mm	3650	3700	3680	3450	3540	3170	2500	3340	3550
73 mm	2000	2050	2050	1890	1990	1550	1150	1820	1975

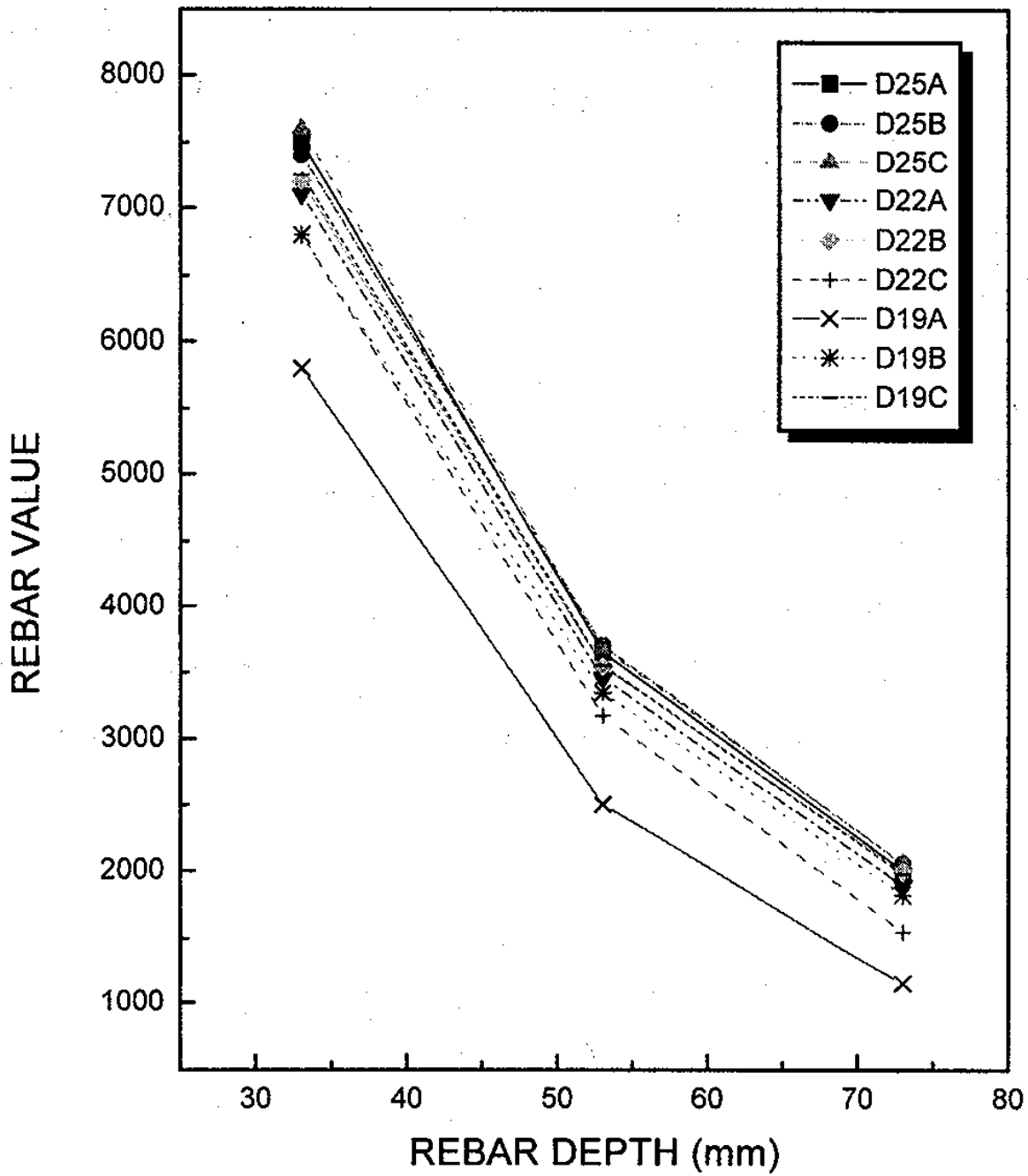


Fig. 3-2-5-6 The values of rebar detector on various rebars.

측정하는 계측기와 같은 개념의 교정은 불가능하며 대신 일정한 표준 시험편에 대해서 감지기에 감지되는 지시치가 얼마나 되며 이를 주기적으로 검사하여 지시치의 변화량을 기록, 관찰하는 방법이 타당한 것으로 판단되었다. 여기서 표준 시험편은 어떤 종류의 철근이라도 무방하나 시간 경과에 따라서 투자율이나 전기전도도가 거의 변화지 않게 유지될 수 있어야 하며 철근 탐지기가 놓이는 철근 부위도 항상 일정한 부위가 되도록 하여야 한다. 그것은 동일 철근 시험편이라도 부위에 따라 철근 탐지기의 지시치가 변화되기 때문이다.

라. 외국의 교정 관련 자료 조사

철근 탐지에 관한 표준은 영국의 BS 1881 Part 204에 가장 구체적으로 언급되어 있으며 다른 나라의 표준에는 아직 구체적으로 확립되어 있지 않은 것으로 조사되었다. 이 절에서는 B.S. 1881 part 204의 내용을 요약하여 수록하였다. 단 앞서 언급한 1절에서 많은 내용이 BS 규격에서 언급한 원리, 장비, 적용 분야의 내용을 포함하고 있으므로 교정 절차에 대한 내용만을 수록하였다.

1) 철근탐지기의 교정

가) 일반사항

철근탐지기의 지시계의 정확성을 확보하기 위하여 장비의 제조회사에서 지시한 교정 주기나 필요에 따라 교정하되 적어도 6개월에 한번은 교정을 하여야 한다. 지시계는 $\pm 5\%$ 또는 $\pm 2\text{mm}$ 내에서 정확하여야 하며 이를 벗어나면 제조회사로 보내 기계를 조정하여야 한다. 실험실에서 실행할 수 있는 교정 절차로서는 A방법, B방법, C방법 등 세 가지 중 하나로 할 수 있다.

나) A 방법

A 방법은 곧고 깨끗하고 매끄러운 steel bar를 콘크리트 블록에 심은 기준

시험편을 이용하여 수행되어진다. 기준 시험편은 Fig. 3-2-5-7과 같이 제작하는데 steel bar는 콘크리트 표면과 평행하게 심어져야하고 그 오차는 0.5mm 이하 이어야 한다. 따라서 콘크리트 블록 양끝에서 측정된 steel bar까지의 두 깊이 차이가 1mm 이내 이어야 한다. Steel bar는 장비 제조 회사에서 설정한 측정 가능 거리 내에 위치하되 콘크리트 표면에서 최소한 12mm 이상 깊이로 심어져야 하며 그 이하의 표피 두께를 측정하는 것이 필요할 때는 B나 C방법을 사용하도록 한다. 만일 서로 다른 크기의 steel bar를 사용하는 것이 가능하면 대표적인 크기의 bar가 심어진 블록을 이용하여 교정을 하도록 한다.

콘크리트의 재료로서는 Portland 시멘트와 골재를 사용하되 강도가 $300\text{kg/m}^3 \sim 400\text{kg/m}^3$ 이 되도록 하고 골재는 비자성이어야 한다.

다) B 방법

A 방법에서 언급한 steel bar를 철근탐지기의 탐촉자에 접근 시켜 지시계의 측정값을 읽어 교정한다. 즉 A 방법에서는 steel bar가 콘크리트에 심어져 있었으나 B 방법에서는 steel bar 만을 갖고 교정을 한다. 이때 steel bar가 놓인 테이블은 못이나 나사 등의 금속류가 포함되어 있지 않아야 한다. Steel bar와 탐촉자는 서로 평행하여야 하며 오차 한계는 A 방법과 동일하다.

라. C 방법

박스의 양면에 드릴 구멍을 뚫어 그 구멍에 steel bar를 놓고 교정을 한다. 다른 내용은 B 방법과 동일하다.

마. 철근 탐지시 주의 사항

철근 탐지기의 코일에 유도되는 전압은 철근 뿐 만 아니라 주변환경에 따라 달라진다. 즉 철 등의 강자성 물체 뿐 만 아니라 구리, 알루미늄 및 흑연

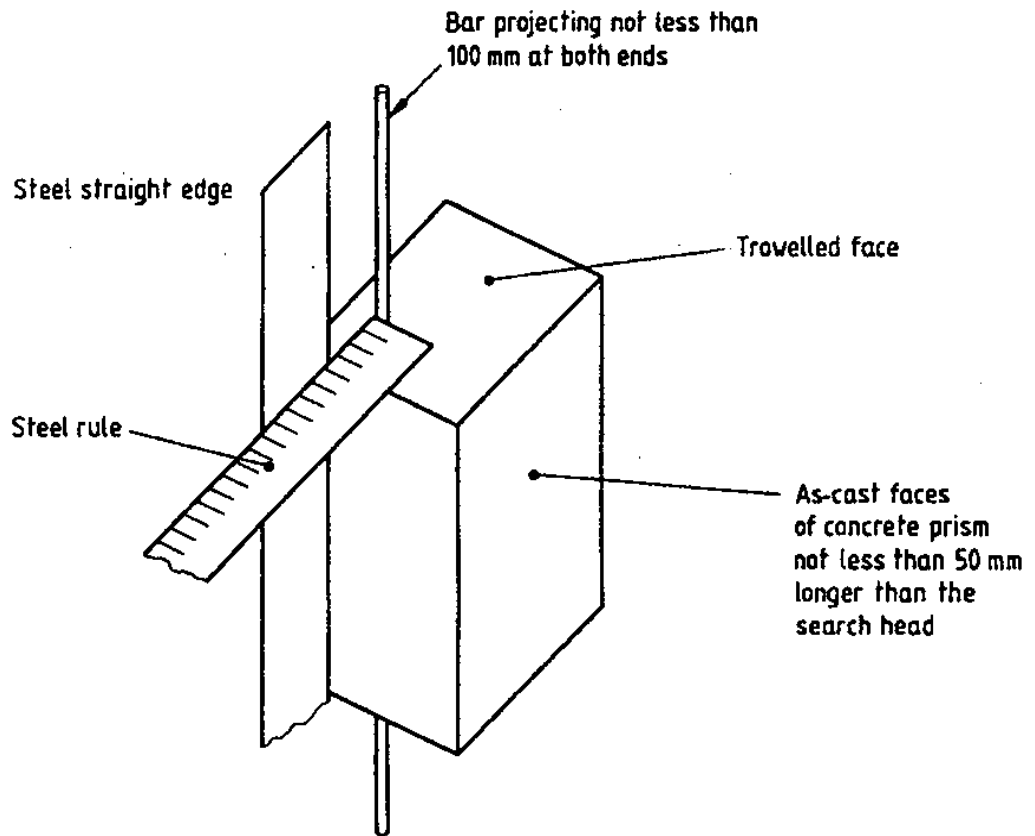


Fig. 3-2-5-8 The concrete block for the calibration by the A method.

등의 모든 전기가 흐르는 도전성 재료는 철근 탐지기의 지시계에 변화를 일으킨다. 반면 유리, 돌, 합성수지, 나무, 비전도성 콘크리트 등 도전성이 없는 재료는 전혀 영향을 주지 않는다. 교정 시에는 철근 이외의 모든 변화요인을 제거한 후 시행하여야 한다. 철근 탐지기 지시계에 영향을 주는 인자를 구체적으로 열거하면 아래와 같다.

강자성 물질

물질들 중에는 자성을 나타내는 것들이 있는데 철, 니켈, 코발트 등이 그들이다. 자성을 얼마큼 나타내는가 하는 것은 자기투자율이라는 물질 상수가 얼마나 큰가 하는 것으로 표시하는데 일반적으로는 공기중의 자기 투자율을 1로 할 때 그에 비하여 몇 배가되는가 하는 비투자율을 자성의 척도로 삼는 것이 편리하여 많이 사용하고 있다. 보통의 비자성 물질들의 비투자율은 거의 1로서 공기와 같다. 그러나 강자성 물질들은 수백에서 수만 배의 비투자율을 갖는다. 비투자율이 크면 클수록 유도 코일의 전압이나 와전류의 세기가 증가하기 때문에 철근 탐지기의 지시계의 변화량을 크게 한다. 철근은 강자성의 성질을 갖으며 제품마다 비투자율이 서로 다르다. 따라서 동일한 굵기의 철근이 동일한 깊이에 묻혀 있더라도 투자율이 서로 다르다면 지시계가 가리키는 신호량은 서로 달라지게 된다. 이러한 이유로 인하여 콘크리트에 묻혀 있는 철근에 대한 정보가 없으면 피복 두께를 추정하기가 매우 어려워진다.

Lift off 영향

철근 탐지기 내의 코일과 시험편이 얼마큼 떨어져 있는가 하는 것을 lift off 거리라고 한다. 코일과 시험편이 멀리 떨어질수록 지시계의 신호는 당연히 감소하며 코일의 감지 가능 거리를 벗어나면 유도 전압은 영이 된다. 다. 철근의 굵기

철근이 굵으면 철근 탐지기의 지시계는 더 큰 신호를 나타낼 것으로 생각되

기 쉬우나 꼭 그렇지 만은 않다. 와전류 현상을 이용한 철근 탐지기는 철근이 굵을수록 탐지기의 신호도 커지는 것이 일반적이지만 유도전압을 측정하는 탐지기는 코일의 배열 상태에 따라 어떤 깊이에서는 굵은 철근의 신호가 더 작아질 수 있다.

전도성물질

전도성 물질에는 흔히 모든 금속류와 탄소, 전해액 등이 있으며 이러한 것들이 철근 탐지기 부근에 있으면 영향을 준다. 강자성이 아닌 전도성 물질들은 강자성인 철근에 비하면 탐지기에 영향을 덜 미치는 것은 하지만 신호 크기를 변화 결과 판독에 오류를 범할 수 있다. 특히 와전류를 이용한 탐지는 고주파수를 사용하기 때문에 유도 전압을 측정하는 탐지기에 비하여 금속성 물질에 훨씬 큰 영향을 받는다. 콘크리트 자체에도 약간의 전도성이 있으며 수분 함량이 클수록 전도성이 증가한다. 이 경우 전도성이 없는 콘크리트에 비하여 신호의 크기가 달라질 수 있다. 그러나 대개의 경우 철근으로부터의 신호가 훨씬 크므로 무시할 수 있을 정도이다.

마. 교정 시험 절차

1) 일반 사항

시험은 설정한 시험조건으로 행하고 그 시험 조건에 변화가 확인될 때에는 즉시 시험을 중단하여 다시 조정해서 시험을 속행한다. 철근 탐지기의 구조와 작동 방법은 장비 제조사 마다 달라지므로 시험 방법에 있어 표준이라고 할만한 절차를 마련할 수는 없지만 공통 사항으로 주의를 요하는 점들을 정리하였다. 이 사항들은 교정시험 뿐 만 아니라 평상시 모든 철근 탐지기에 준수하여야 하는 사항들이다.

철근 탐지기를 이송시킬 때 코일과 콘크리트 표면과의 거리의 변동이 잡음의 원인이 되기 때문에 변동하지 않도록 주의해야만 된다. 그리고 이송 속도는 되도록 일정하도록 주의를 할 필요가 있다. 탐상은 콘크리트 표면의

청소, 탐상 시험장치의 예비 운전, 영점 조정, 탐지라는 순서로 작업을 한다.

콘크리트 표면의 청소

콘크리트 표면은 여러 가지 이물질이 존재하므로 탐지기의 진행이 곤란할 경우가 많으므로 이를 제거하여야 한다. 이러한 작업은 탐지기의 수명 연장에도 많은 도움이 되므로 반드시 시행토록 한다.

탐지기의 예비 운전

탐지기가 준비되면 탐촉자를 탐지기에 연결한 후 전원을 넣는다. 배터리가 충분히 충전되어 있는지 전압을 체크한 후 영점을 조정한다. 탐지기가 정상으로 동작하는 것이 확인되면 시험하기 전 몇 분 정도 warm up 시켜 장치가 안정되도록 한 후 시험을 시작하도록 한다.

영점 조정

탐지기가 안정이 되면 다시 영점 조정을 하여야 한다. 이 때 탐촉자 주위에는 어떤 금속 재료도 없도록 하여야 한다. 검사자의 검사하는 손목의 시계등은 반대 손에 착용하도록 한다.

시험 결과 기록

시험이 완료되면 측정된 결과신호의 크기를 측정하여 분석한다. 결합 신호의 결과는 보고서를 작성하여 영구 보존토록 하여 차후에 실시될 검사 결과와 서로 비교할 수 있도록 한다.

2) 교정 절차

본 연구에서 확립한 교정 절차는 현재까지 가장 널리 알려진 영국의 표준 절차인 BS 1881에서 언급한 철근 탐지기의 세 가지 교정 방법을 종합한 형태와 유사하다. 이를 순차적으로 기술하면 아래와 같다.

1. 시험 블록은 Portland 시멘트와 골재를 사용하여 제작하고 골재는 비자성체이도록 한다. 시멘트와 골재의 재질은 비전도, 비자성체 이면 탐지기에

오류를 주지 않는 것으로 나타났다. 따라서 특정 강도나 성질의 재료일 필요는 없다.

2. 철근 시험편을 시험 블록에 가공되어 있는 여러 가지 깊이가 다른 구멍에 삽입한 후 철근 탐지기를 사용하여 탐상 한다. 이때 철근 시험편은 휨 정도가 ± 0.5 mm 이내 이어야하고 시험편의 구멍 내부의 평평도와 기울기 또한 ± 0.5 mm 이내이어야 한다. 본 연구에서 제작한 시험 블록 및 철근 시험편은 모두 이 규격에 맞도록 제작되어 졌다.

3. 철근의 종류는 경우에 따라 두 종류를 사용할 수 있다. 하나는 외면이 매끄러운 봉 재를 사용할 수 있고 또 다른 하나는 외면이 굴곡이 있는 일반 철근을 사용할 수 있는데 이 때에는 철근의 굵기가 부위별로 다르므로 철근의 깊이 또한 달라진다. 이럴 경우 철근의 깊이는 BS 1881에서 규정한 바와 같이 직경이 최소인 지점에서 측정한 깊이를 철근의 깊이로 정하기로 한다.

4. 표준 시험편으로 사용하는 철근은 국내에서 제조한 어떤 종류의 철근이라도 무방하나 시간 경과에 따라서 투자율이나 전기전도도가 거의 변화하지 않게 유지될 수 있어야 하며 철근 탐지기가 놓이는 철근 부위도 항상 일정한 부위가 되도록 하여야 한다. 그것은 동일 철근 시험편이라도 부위에 따라 철근 탐지기의 지시치가 변화되기 때문이다.

5. 철근의 굵기와 깊이는 교정 대상 장비에 따라 달라질 수 있다. 교정 업체에서 특별히 요구하지 않는 경우 직경이 10, 13, 16, 19, 22, 25 mm인 철근에 대해서 깊이가 30, 50, 70, 90, 110 mm 가 되도록 철근을 놓고 측정한 후 측정값을 표로 작성한다.

6. 앞의 5번 항에서 언급한 여섯 가지의 철근을 검사 시 콘크리트 블록에는 시험 대상이 되는 철근 한 개만 끼워야 하며 사방 70 cm 근처에는 다른 어떤 전기전도체 및 자성체가 있어서는 안된다.

7. 측정된 값들은 표로 작성하여 기록으로 보관하고 경우에 따라 측정값을 주지않는 장비들은 장비가 나타내주는 깊이, 굵기 등을 기록하고 또는 철근 배치를 나타내는 그림등을 인쇄물로 보관한다.

6. Half cell을 이용한 콘크리트내 보강재의 부식 측정

가. 원리

Half-cell을 이용한 부식측정의 원리를 이해하기 위해서는 콘크리트내의 보강재의 부식과정을 이해하는 것이 중요하므로 여기서는 우선 전지의 원리를 이해하고, 그후 콘크리트 내에서 보강재의 부식에 의한 전위차의 생성과정을 알아보려고 한다.

1) 전지의 원리

일반적으로 많이 이용되는 전지에서 전기의 발생과정부터 살펴보자. Fig. 3-2-6-1의 볼타(Volta)전지는 구리전극과 아연전극으로 구성되어 있으며, 전해액으로는 희석된 황산용액이 사용된다. 아연판이 황산용액속에 담겨지면 전자들은 아연전극으로부터 흘러나오며 이때 아연전극은 전해질 내로 서서히 녹아 들어간다. 한편 함께 담겨져 있는 구리전극으로는 전자가 흘러들어 간다. 전자가 아연판으로부터 흘러나오므로 아연전극을 양극(anode)라 하고, 전자가 흘러 들어가는 구리판은 음극(cathode)이라 한다.

볼타전지의 두 극을 전해액에 담그면 순간적으로 전류가 흘러서 연결된 전구에 불이 켜지지만 곧 전구가 꺼진다. 이는 전지가 작동하면 음극 주변에 수소이온이 모이게 되고 결국 음극은 수소이온으로 둘러싸여서 구리전극이 수소전극으로 바뀌었기 때문이며, 이 경우에는 양극의 용해가 멈춘다. 다시 전류를 흘리기 위해서는 전해액 내로 수소이온을 분산시키기 위하여 회

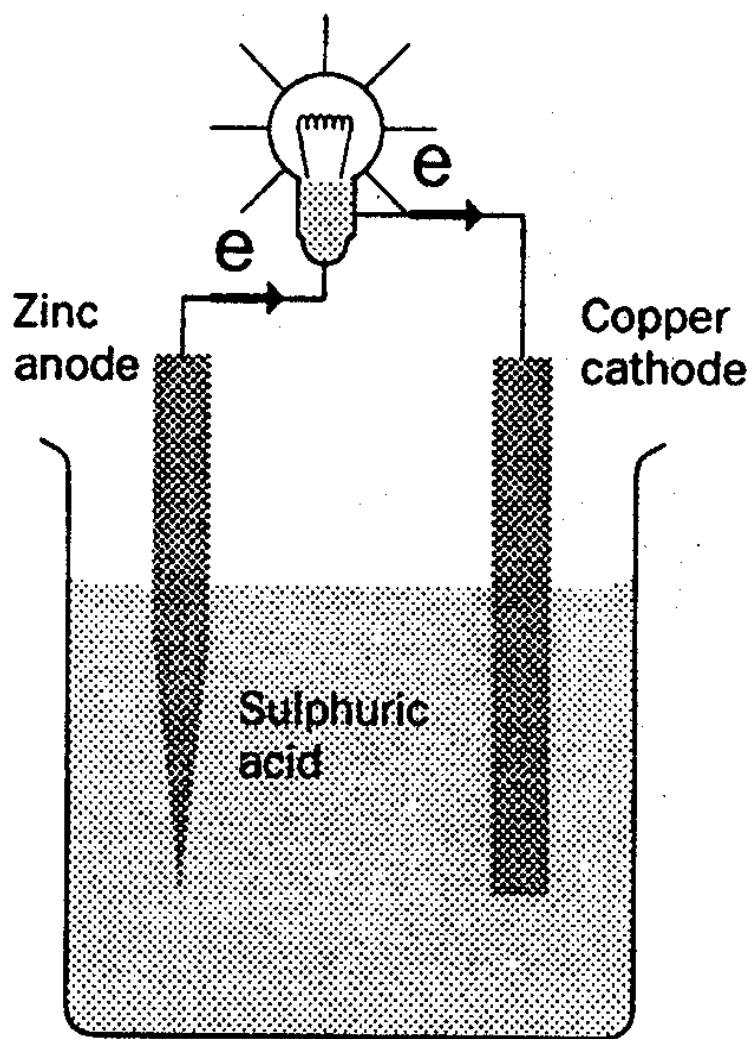


Fig. 3-2-6-1. Volta Cell.

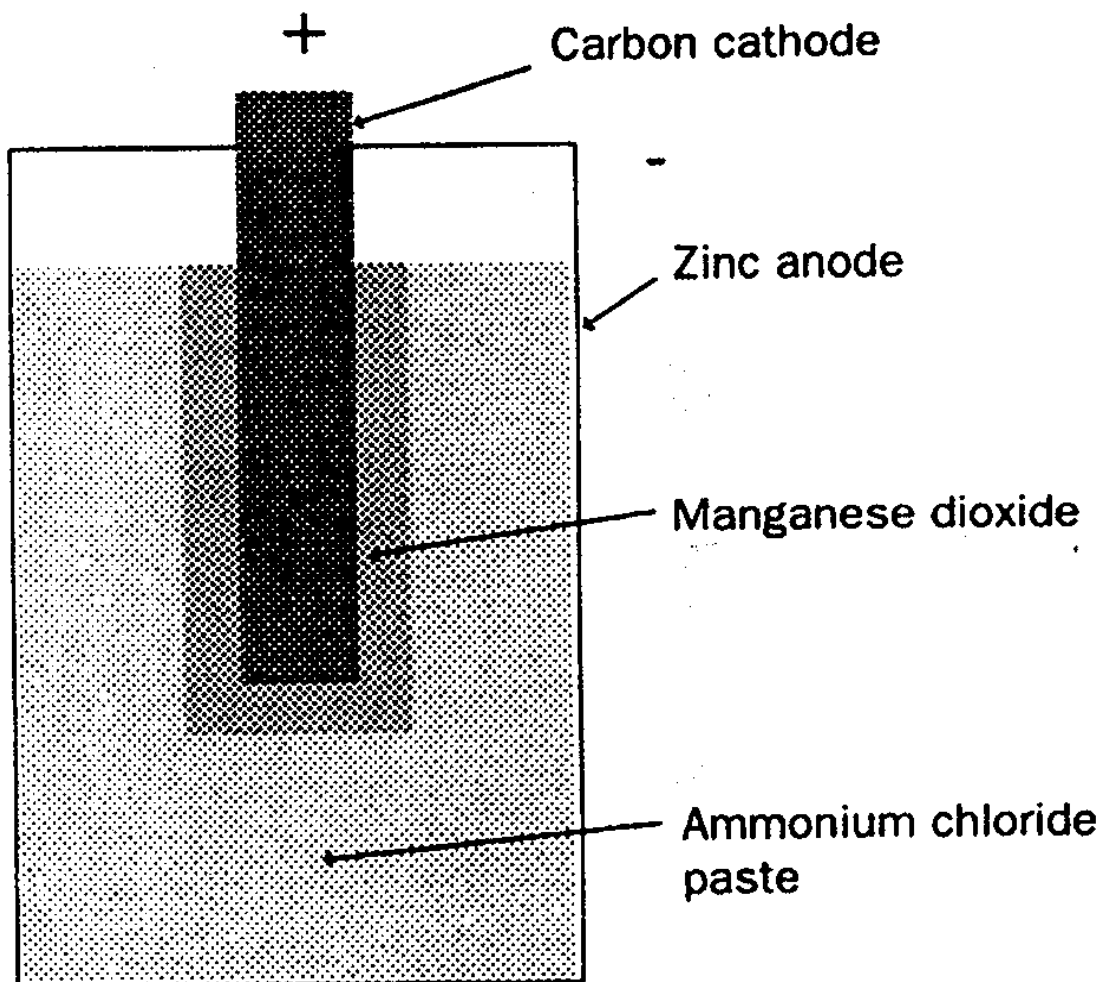


Fig. 3-2-6-2. Zinc-carbon dry cell based on the Leclanche cell.

로를 단락 시키거나, 구리전극을 공기 중으로 끄집어내어 전극을 산화시켜야 한다. 전지에서 전류가 흐를 때 수소이온들이 음극판 주위에 모이게 되는 현상을 분극화(polarization)이라고 한다. 이 과정은 보강재의 부식과정에서도 동일하게 일어나는 현상이며, 분극화에 의해서 부식이 지연되는 경우, 부식은 음극지배과정(cathodic control)하에 있다고 말한다. 전지의 관점에서는 연속적으로 전류가 흐르도록 해야하므로, 음극주위의 수소이온들을 산화시키기 위한 화학약품을 사용한다. 예를 들어 Fig. 3-2-6-2의 전지는, 양극으로는 아연을 사용하고, 음극으로는 탄소를 사용하며, 전해액으로는 ammonium chloride를 사용한다. 그리고 탄소봉의 산화를 위해서는 MnO_2 를 사용하고 있다.

Table 3-2-6-1. Standard electrode potentials of some common metals and hydrogen. (Volt)

Hydrogen 0.00	
Copper +0.35	Nickel -0.22
Silver +0.80	Iron -0.44
Mercury +0.86	Zinc -0.76
Gold +1.68	Aluminium -1.66
	Lithium -3.30

Table 3-2-6-1의 각 금속들은 수소를 기준으로 하여 전해액 내에서 서로 다른 전위차를 형성하며, 두 개의 금속을 전극으로 사용하면 전지의 총 전위차는 각 금속의 표준전극 전위차의 합과 같다. 표준전극 전위차는 일정

한 온도에서 전극과 동일한 이온이 포화되어 있는 전해액 내에서 측정되며, 온도가 달라지거나 다른 전해액을 사용하면 전위차가 달라진다. 한편 음극이 수소이온에 의해 둘러 쌓여서 산화되지 않으면 음극으로 사용된 금속의 표전전극 전위차 보다는 수소에 의한 전위차가 형성되기 때문에 역시 전위차가 달라진다. 또한 전위차는 주위환경에 의한 화학적인 변화 뿐 아니라 물리적인 인자들도 영향을 받는다. 동일한 금속들을 음극과 양극으로, 그리고 동일한 금속이온이 포함된 전해액을 사용하여서도 전위차를 발생시킬 수 있는데, 이때에는 각 전극이 놓여있는 주위의 환경차이에 의해 전위차가 생기는 것이다. 이와 같이 동일한 전극을 사용하는 전지의 원리를 응용하면 콘크리트 내에서 단지 보강재인 철근만을 전극으로 사용하고, 콘크리트의 기공유체(concrete pore fluid)를 전해액으로 사용하면 주위의 환경변화, 즉 철근의 부식상태에 따른 전위차의 변화를 측정할 수 있다.

2) 콘크리트내의 철근의 부식

Fig. 3-2-6-3은 철근의 부식상황을 도식적으로 표현한 그림이다. 오염되지 않은 시멘트에 의해 둘러 쌓여 있는 철근은 수소이온농도가 12 또는 그보다 더 큰 환경에 놓이게 되며, 이때 철근의 표면은 ferric oxide의 막으로 둘러싸인다. 이 막은 철근이 전기 화학적으로 양극이 되는 것을 막아주기 때문에 이러한 환경 하에서는 부식이 일어나지 않는다. 철근이 이러한 환경 하에 놓이는 경우, 철근은 매우 비활동적(passive) 이며, 이때의 부식은 양극 지배과정(anodic control)하에 있다. 한편 바닷물 등에 포함된 소금의 유입에 따른 염소이온의 영향, 그리고 콘크리트 내에 포함되어 있는 수산화칼슘과 공기중의 이산화탄소와의 반응에 의해서 콘크리트의 알칼리도가 감소하면 이러한 비활동성은 깨어지고, 이에 따라 부식의 확률이 높아진다. 철근의 일반부식(general corrosion)은 콘크리트 내에 국부적으로 전기 화학적인 전

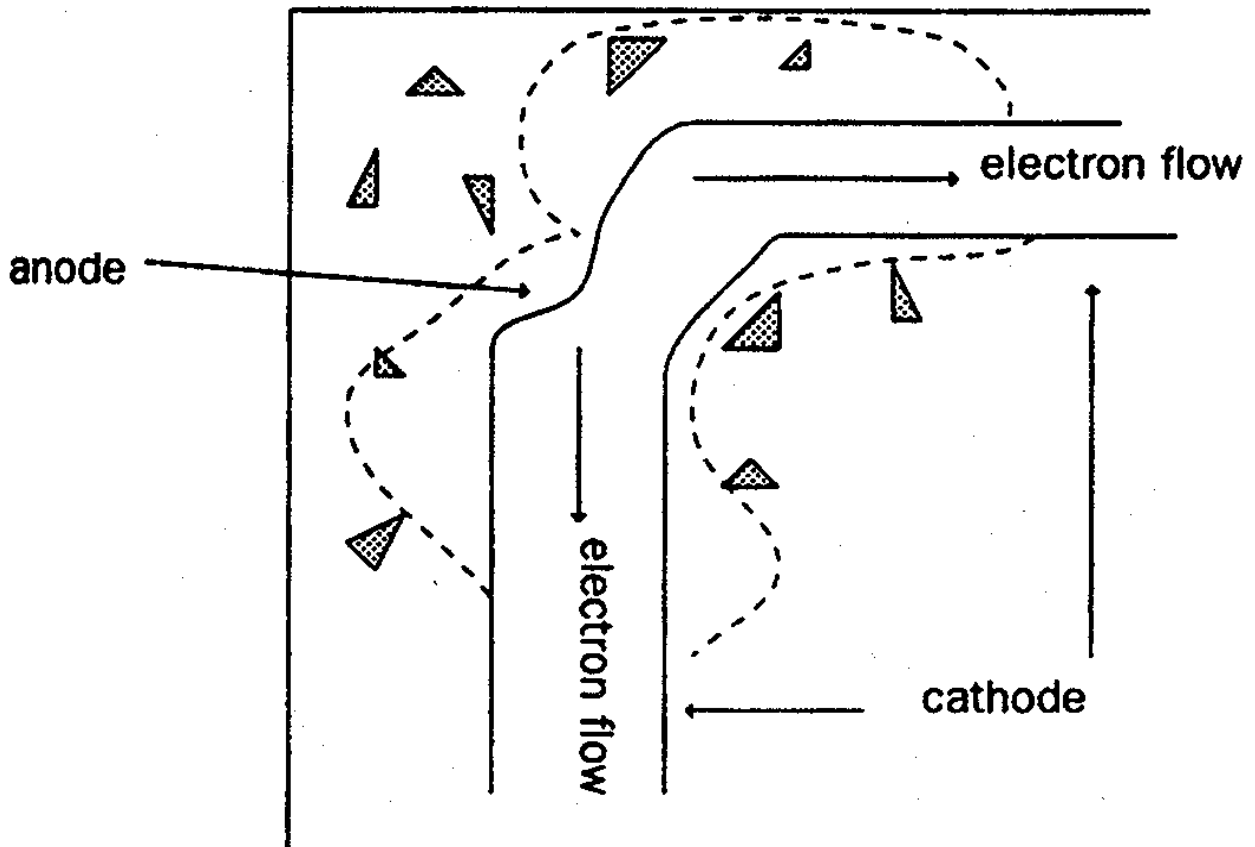


Fig. 3-2-6-3. A corrosion cell in concrete.

자가 형성됨으로써 일어난다. 즉, 입계를 중심으로 결정립내의 구성의 차이에 의해서 양극과 음극이 형성되기 때문에 전지들이 매우 작고 가깝게 놓이게 된다. 반면에 피팅부식(pitting corrosion)의 경우에는 양극과 음극이 수분함량의 차이나 산소함량의 차이 등에 의해서 형성되기 때문에 두 극 사이의 간격이 상대적으로 매우 넓다. 전형적으로 일반부식은 탄화의 영향에 의해서 주로 생기고, 피팅부식은 염기의 유입에 의해서 주로 생긴다고 알려져 있다.

다음은 부식율과 부식율에 영향을 미치는 인자들에 대하여 살펴보자. 철근이 부식되는 전기 화학적인 반응은 매우 느리게 진행된다. 부식율은 흐르는 전류에 의해 결정되는데, 전류는 철근과 콘크리트의 저항에 의해서 결정된다. 철근의 저항은 콘크리트의 저항에 비하여 매우 작기 때문에 부식과정에서의 저항은 콘크리트의 저항만으로 대표할 수 있다. 콘크리트 내에서 전류는 이온들의 흐름으로부터 생성되는 이온전류이다. 이온전류에 의한 전기전도는 이온들이 움직이는 속도와 전하의 크기에 따라 달라진다. 그러므로 큰 이온들은 작은 이온들에 비하여 더 천천히 움직이고, 희석된 용액 내에서 보다 포화된 용액 내에서 더욱 천천히 움직인다. 한편 온도가 증가하면 이온들의 속도가 빨라지므로 전기저항은 감소한다. 저항이 매우 큰 콘크리트의 경우에는 매우 낮은 전류만이 흐르기 때문에 부식반응이 매우 천천히 일어나는데 이때 부식은 저항지배과정에 있다고 말한다. 또한 함수율이 적은 콘크리트는 높은 저항을 가지기 때문에 부식반응이 매우 낮게 일어나며, 콘크리트내의 기공의 크기가 매우 작을 경우에는 역시 저항이 증가하여 부식이 늦게 진행된다. 일반적으로 콘크리트의 저항이 $5000 \Omega \cdot \text{cm}$ 이하이면 부식의 위험이 매우 큰 상태이고, 저항이 $12000 \Omega \cdot \text{cm}$ 이상이면 부식의 위험이 매우 적은 상태이다.

3) 표면전위 측정

앞에서 언급한 부식의 전기화학적 반응을 적당히 역으로 이용하면 전기화학적 방법으로 부식과정을 측정할 수 있다. 여러 가지 방법들이 이용될 수 있지만 여기서는 표면의 전위차를 측정하여 현재 철근이 비활동적인 상태인지, 아니면 ferric oxide막이 제거되어 앞으로 부식이 일어날 수 있는 상태인지, 또는 이미 부식이 많이 진행되어 있는 상태인지를 판단할 수 있는 Half-cell을 이용한 표면전위 측정기술에 대한 내용만을 고려하고자 한다.

Half-cell을 이용한 전위차의 측정은 항상 일정한 전위차를 갖는 표준전극(half-cell)과 콘크리트의 보강재인 철근과의 사이의 전위차를 비교하여 부식상태를 평가하는 방법이다. 측정된 전위차는 주어진 반응이 열역학적으로 가능한 반응인지, 아니면 불가능한 반응인지를 결정하는 Gibbs free energy와 직접 관련된 양이므로, 전위차의 측정으로부터 각 전극에서의 전기 화학적 반응이 일어날 수 있는지를 판단하게 해준다. 즉, 전위차의 측정으로부터는 단지 현재의 상태가 전기 화학적 반응이 일어날 수 있는지를 판단할 수 있으며, 현재 부식의 진행상황을 판단하지는 못한다.

Fig. 3-2-6-4는 황산구리용액과 구리 봉을 사용한 half-cell로 표면전위를 측정하기 위한 전체적인 구성을 보여주고 있다. 표면전위는 half-cell과 보강재와의 사이의 전위차로부터 측정되므로 보강재는 전기적으로 연결되어야 한다. 측정된 전위차가 -0.35 V 보다 더 작은 경우(more negative)는 보강재가 95 %이상 부식되어 있음을 의미하며, 전위차가 -0.2 V 보다 더 크면 보강재가 부식되어 있을 확률이 5 %보다도 더 낮다는 것을 의미한다. 한편 전위차가 $-0.35\text{ V} \sim -0.2\text{ V}$ 에 있을 경우에는 보강재의 부식의 확률이 불투명한 경우이다.

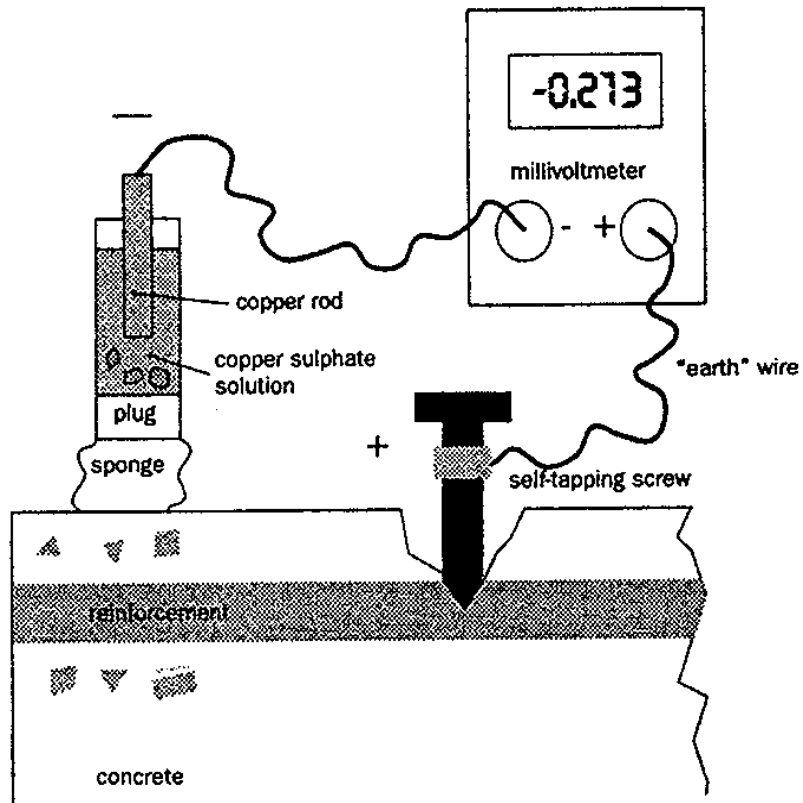


Fig. 3-2-6-4. The use of a half-cell to detect loss of passivity.

나. Standards

표면전위측정에 대한 내용은 ASTM C876과 BS 1881 :Part 201 :1986에 규정되어 있다. BS규격에는 half-cell potential measurement에 대한 일반적인 사항과 이 방법의 장점, 그리고 이방법의 한계와 응용에 대한 내용이 약 반쪽에 걸쳐서 아주 간략하게 기술되어 있다. 반면에 ASTM 규격에는 BS 규격의 내용을 모두 포함하면서 전체적인 실험방법에 대한 내용이 매우 상세하게 기술되어 있으므로, 여기서는 주로 ASTM C876의 전체적인 내용을 간추려서 살펴보기로 한다.

1) 범위(scope)

표면전위 측정법은 보강재인 철근의 부식상황 판단을 목적으로 현장 또는 실험실에서 도장되지 않은 철근의 half-cell potential을 평가하기 위한 방법이며, 전기적인 회로의 구성에 따라 제한을 받는다. 이 규격은 half-cell 전위측정과 관련된 안전의 문제를 다루고 있지 않기 때문에 각 사용자들이 안전 및 건강과 관련된 별도의 절차를 마련하여야 한다.

2) 관련 문서(referenced document)

ASTM standard: G3 practice for conventions applicable to electro-chemical measurements in corrosion testing

3) 취지 및 이용(significance and use)

- ▷ 이 시험법은 현장에서의 평가뿐 아니라 연구 개발분야에서의 사용에 적당하다.
- ▷ 이 시험법은 보강재위의 콘크리트의 두께와 크기에 제한을 받지 않고 적용 가능하다.

- ▷ 이 시험법은 콘크리트 구조물이 존재하면 언제나 적용 가능하다.
- ▷ 이 시험법으로 얻어진 결과는 보강재나 콘크리트의 구조적인 성질을 평가하는 수단으로 이용되지는 말아야 한다.
- ▷ 전위의 측정은 콘크리트 및 콘크리트에서의 부식분야에 경험이 많은 전문가에 의해 수행되어야 한다. 콘크리트내의 부식상황과 이와 관련된 구조물의 잔존수명의 예측 등을 위해서는 half-cell 전위 이외에도 염소의 함량, 탄화의 깊이, delamination의 영향, 부식율, 그리고 주위의 환경 등과 같은 영향을 고려하여야 한다.

4) 장비(apparatus)

- ▷ copper-copper sulfate half cell은 copper 또는 copper sulfate와 반응하지 않는 물질을 이용하여 제작한 용기와 모세관 현상에 의해서 용액으로 젖어 있는 기공이 많은 마개, 그리고 용액 속에 담겨진 구리 봉으로 구성되어 있다. 용액을 포화상태로 유지시키기 위하여 copper-copper sulfate 결정이 항상 용액의 밑에 남아 있어야 한다.
- ▷ concrete와 half cell 사이에 전기적인 연결을 위하여 전기저항이 매우 낮은 용액으로 젖어 있는 스폰지등을 이용한다.
- ▷ voltmeter는 건전지로 작동할 수 있는 것을 이용하여야 하며, $\pm 3\%$ 의 정확도를 유지할 수 있어야 한다. 입력임피던스는 100 mV의 scale에서 작동할 때, 10 M Ω 이상이어야 하고, 0.02 V의 전위차를 충분히 읽을 수 있어야 한다.
- ▷ electrical lead wire는 사용되는 길이에서 0.0001 V 이상의 전위차를 나타내지 말아야 한다.

5) 교정 및 표준화 (calibration and standardization)

마개는 오랫동안 사용하지 않을 경우에는 내부의 구멍이 crystalline copper sulfate에 의해서 막히지 않도록 보관하여야 한다. Half cell이 정상적으로 타당한 측정값을 나타내지 못할 경우에는 cell 내의 구리봉을 희석된 염화수소용액으로 닦아주어야 한다.

6) 측정순서 (procedure)

- ▷ 콘크리트 표면 위에서 얼마의 간격으로 측정을 해야 하는가에 대한 정해진 규격은 없지만 너무 넓은 간격으로 측정하면 부식상황을 올바르게 판단할 수 없으므로 측정경험에 따라 적당한 간격으로 측정하여야 한다. 동일한 지점에서 2번 이상 측정하는 것이 좋다.
- ▷ 보강재와의 전기적인 접촉을 위해서 압축형의 clamp를 사용하거나 봉재를 용접하여 사용하여야 한다. 접촉저항을 줄이기 위해서 보강재의 표면을 잘 닦아주는 것이 필요하다. 보강재와 연결된 선은 voltmeter의 positive terminal에 연결하여야 한다.
- ▷ half cell과 연결된 선은 voltmeter의 negative terminal에 연결하여야 한다.
- ▷ 콘크리트의 표면은 접촉저항을 줄이기 위하여 미리 적셔두어야 한다.

7) Half cell 전위의 기록(recording half-cell potential value)

전위차는 적어도 0.01 V의 자릿수까지 기록해야 한다. 모두 전위차 값을 volt의 단위로 기록하고 측정시의 주위의 온도가 22.2 ± 5.5 °C를 벗어난다면 온도에 대한 보정이 필요하다.

8) 결과 표시(data presentation)

측정결과는 등전위윤곽지도(equipotential contour map)를 이용하는 방법

과 누적횟수도표(cumulative frequency diagram)를 이용하는 방법이 있다.

- ▷ 등전위윤곽지도는 콘크리트 구조물위의 측정부위를 지도로 나타내고 각 지점에서 측정된 전위차값들중 동일한 전위차를 나타낸 지점을 서로 연결하는 것이다. 최대윤곽선의 간격은 0.10 V이다.
- ▷ 측정된 half-cell 전위의 분포를 결정하기 위한 방법으로 정규분포 도표를 사용하는 방법이 누적횟수도표 방법이다. 가장 낮은 전위차로부터 가장 높은 전위차까지 정렬한 후, 각 전위차의 누적횟수를 아래 식 (3-2-6-1)을 이용하여 계산한다.

$$f_x = \frac{r}{\sum n + 1} \times 100 \quad (3-2-6-1)$$

f_x = plotting position of total observations for the observed value, %

r = rank of individual half-cell potential

$\sum n$ = total number of observation

각 half-cell 전위값을 도표에 표시한 후 각 측정값들을 curve fitting하여 직선을 구한다.

9) 결과의 해석(interpretation of results)

- * -0.02 V CSE(copper-copper sulfate electrode) 보다 더 양의 전위차를 보이면, 측정시 측정위치 부근에서 보강재가 부식되어 있지 않을 확률이 90 % 이상임을 의미한다.
- * half-cell 전위가 -0.20 V ~ -0.35 V CSE인 범위에 있다면 보강재의

부식여부가 불명료한 경우를 의미한다.

- * -0.35 V CSE 보다 음의 전위차를 보이는 부분은 90 %이상의 확률로 부식되어 있음을 의미한다.

다. Half-cell을 이용한 부식 측정 실험

본 실험에서는 half-cell을 이용하여 실제 콘크리트 구조물내 보강재의 부식상태를 측정하기 위하여 Fig. 3-2-6-5의 벽체를 제작하였다. 벽체내에는 250 mm 간격의 바둑판모양으로 철근이 배열되어 있으며, 완전하게 건조된 후에는 각 부위의 부식상태를 달리하기 위하여 소금물과 NaCl 수용액 등으로 강제 부식시키려고 한다. 측정에는 영국 Colebrand 사에서 제작한 half-cell과 전위차 측정장치가 이용되었다. 전해액으로는 앞의 standard 부분에서 설명한 copper-copper sulfate 용액이 사용되었으며, 전위차 측정장치의 사양은 다음과 같다.

- 100 M Ω input impedance
- 30 kbyte user memory
- 1 mV resolution
- $\pm 1,000$ mV full scale
- 1 % accuracy full scale
- RS 232C serial communication interface

본 실험에서는 실제 구조물의 부식상태를 평가하기보다는 측정장비의 신뢰성을 평가하기 위한 기본실험으로서 장비의 올바른 사용법, 적용성, 그리고 교정절차 및 교정대상의 파악을 목적으로 하고 있다. 측정은 250 mm의 간격으로 가로, 세로 각 7개의 위치, 즉 전체적으로 49의 위치에서 이루어졌

다. 측정하기 하루 전에 마개와 스폰지는 미리 증류수에 담가 두어서 측정 시 접촉에 의한 문제를 제거하였으며, 노출되어 있는 철근을 sandpaper로 잘 갈아서 보강재와 측정장치와의 전기적인 접촉이 완전하도록 하였다. 본 실험에서는 철근이 외부로 노출되어 있기 때문에 보강재와 측정장치 사이의 접촉이 간단하지만, 실제 구조물과 같이 철근이 노출되어 있지 않은 경우에는 철근탐지기를 이용하여 정확한 보강재의 위치를 확인한 후, 그 위치에

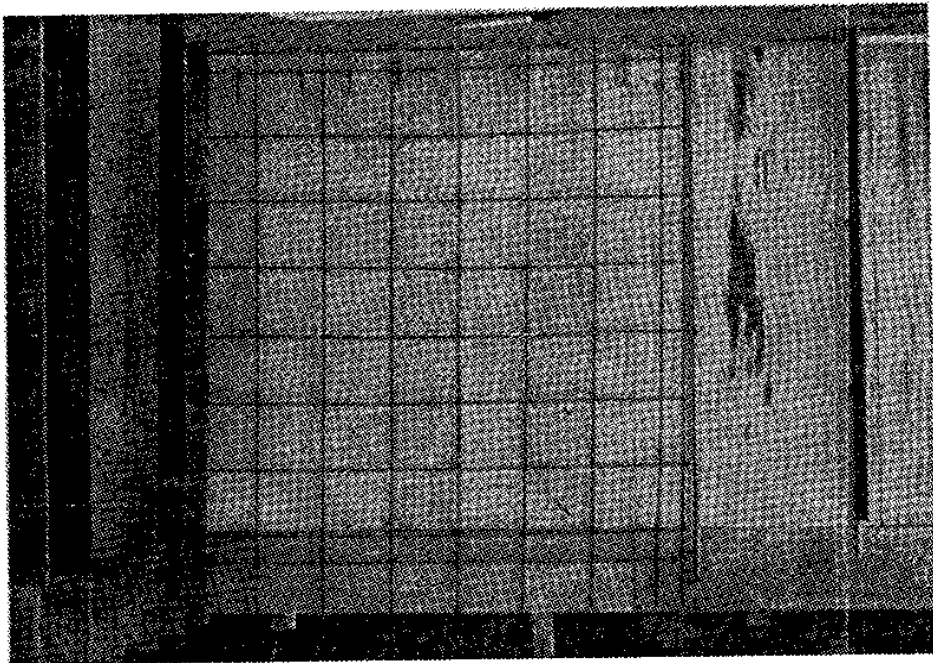


Fig. 3-2-6-5. A reference concrete block for corrosion measurement.

구멍을 뚫고 전기전도체인 봉을 삽입하여 접촉시켜야 한다. Fig. 3-2-6-6 ~ fig. 3-2-6-9는 콘크리트 타설 후 1주 후부터 1주일 간격으로 측정한 표면전위이다. 콘크리트 타설 1 주후에는 보강재의 부식은 진행되지 않았지만 콘크리트내의 수분의 영향으로 표면전위가 -0.3 V 정도로 측정되었다. 표면전위가 $-0.35\text{ V} \sim -0.2\text{ V}$ 의 범위에 있을 경우에는 부식의 확률이 불분명한 경우임을 의미하는데 여기서는 콘크리트가 완전히 경화되지 않아서 아직

수분이 많이 남아있기 때문에 콘크리트의 저항률이 떨어진 때문이다. 한편 시간이 경과함에 따라서 표면전위는 점점 더 positive한 값을 가지게 됨을 볼 수 있는데 이는 콘크리트내의 수분의 함량이 줄어들어 저항률이 증가해 가기 때문이다. 그러므로 콘크리트 타설 후 완전경화가 일어나기까지는 표면전위측정은 의미가 없다. Fig. 3-2-6-10은 fig. 3-2-6-8과 동일한 시기에 측정한 결과인데, fig. 3-2-6-8은 표면을 물로 적신 후 바로 측정한 결과이고, fig. 3-2-6-10은 수분을 뿌린 후 30분이 경과하여 표면의 수분이 약간 증발한 후에 측정한 것이다. 콘크리트 표면에 수분이 증발하면 표면전위가 증가하지만 등전위윤곽지도의 모양은 유사함을 볼 수 있다. 결국 콘크리트 표면의 수분양에 따라서 전위의 절대값은 바뀌지만 전위의 분포는 일정하게 유지됨을 나타내므로 half-cell을 이용한 부식측정결과는 절대적인 부식환경 측정에는 미흡한 점이 많지만 상대적인 비교를 위해서는 매우 적절한 방법임을 알 수 있다. Fig. 3-2-6-11은 실 구조물인 건물 지하 벽의 등전위윤곽 지도이고, table 3-2-6-2는 mV로 표시한 측정결과이며, 측정결과는 동일한 지점에서 3번 측정한 값들을 평균하여 구한 것이다. 측정된 전 지점에서의

Table 3-2-6-2. Experimental result of half-cell potential measurement. (mV)

위치	1	2	3	4	5
1	-135	-142	-157	-114	-106
2	-65	-134	-137	-123	-122
3	-87	-21	-128	-134	-61
4	-42	-91	-103	-136	-92

측정결과는 모두 -200 mV보다 positive한 값이므로, 이는 앞에서 이미 언급

한 것처럼 보강재가 부식되지 않았을 확률이 90 % 이상임을 보여주는 결과이다. 한편 측정결과가 모두 음의 전위차를 보여 주었고, 각 지점에서의 3번의 측정결과가 모두 일정한 범위 내에서 측정되었으므로 측정시 접촉의 문제와 half-cell 자체의 문제점은 없었던 것으로 평가할 수 있다. 이상의 실험을 수행하면서 half-cell을 이용한 부식 측정시에 몇 가지 주의해야 할 사항들을 확인할 수 있었다. 즉, 대상 콘크리트의 표면이 완전히 말라있는 경우에는 측정의 정확도를 기할 수 없으므로 측정시에는 미리 콘크리트의 표면을 적셔두어야 했다. 그리고 보강재와 전위차 측정장치 사이의 전기적인 접촉이 매우 중요하다는 것이다. 접촉이 완전하지 않은 경우에는 전위차의 값이 양의 값을 나타내는 경우도 있었으며 실제 보강재에 접촉한 경우와 콘크리트 구조물의 밖에 노출되어 있는 duct와 접촉한 경우 서로 다른 전위차를 보여주기도 하였다. 이 문제는 앞으로 연구를 계속해 나가는 과정에서 명확하게 차이점을 밝힐 필요가 있다. 마지막으로 half-cell로 측정한 전위차 측정결과는 측정시점에서 보강재의 부식 상태에 대한 정보를 제공할 뿐 부식에 진행정도를 나타내는 것이 아니라는 점을 꼭 기억해야만 한다.

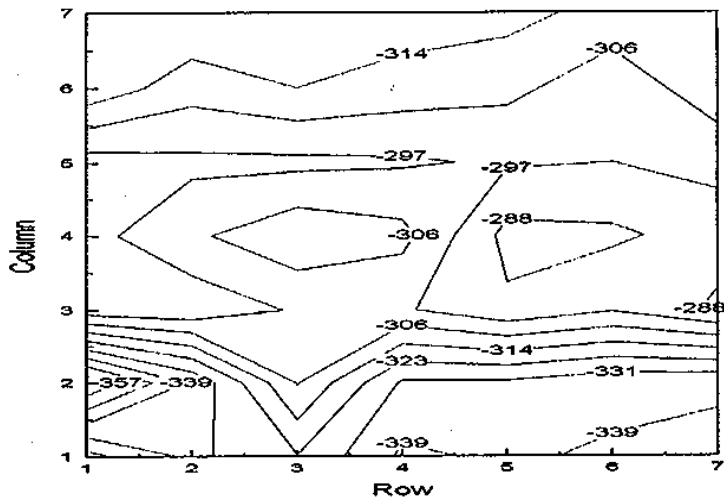


Fig. 3-2-6-6. Equipotential contour map measured after 1 week since placing concrete.

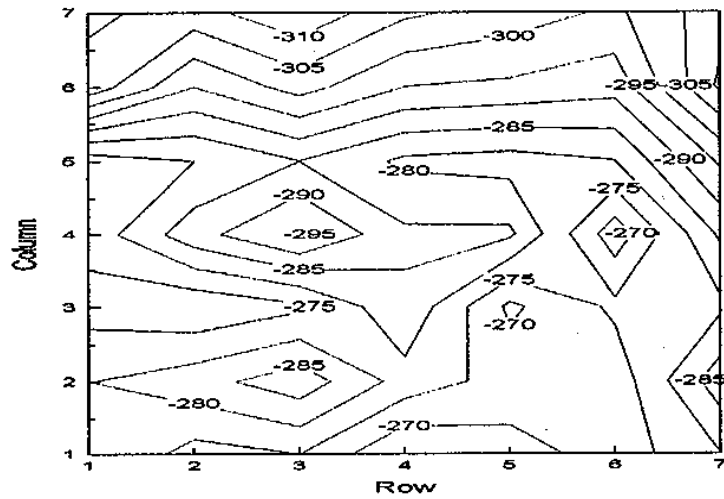


Fig. 3-2-6-7. Equipotential contour map measured after 2 weeks since placing concrete.

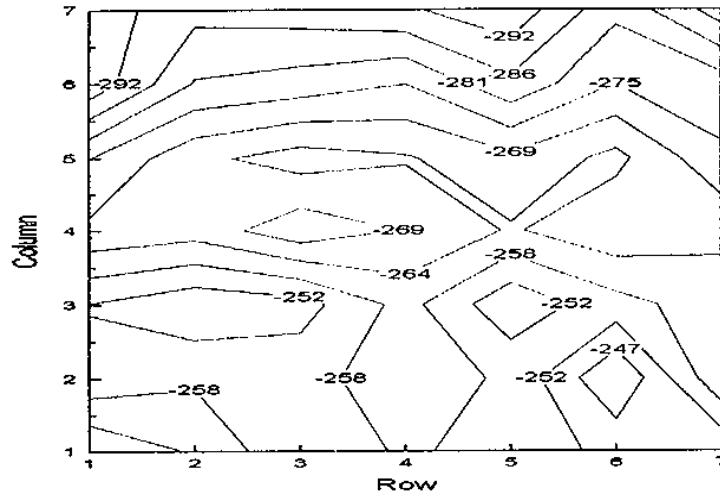


Fig. 3-2-6-8. Equipotential contour map measured after 3 weeks since placing concrete.

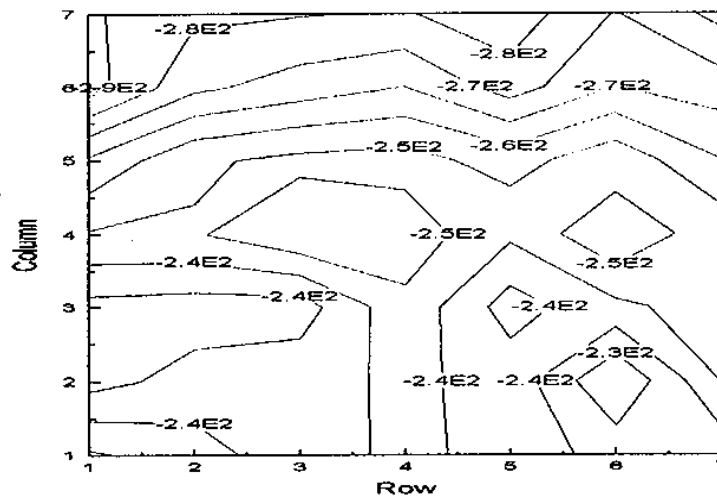


Fig. 3-2-6-9. Equipotential contour map measured after 4 weeks since placing concrete.

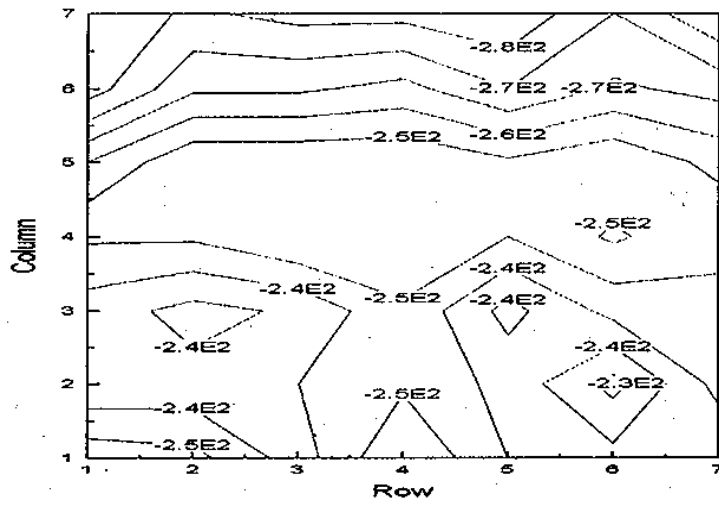


Fig. 3-2-6-10. Equipotential contour map when the surface is dry.

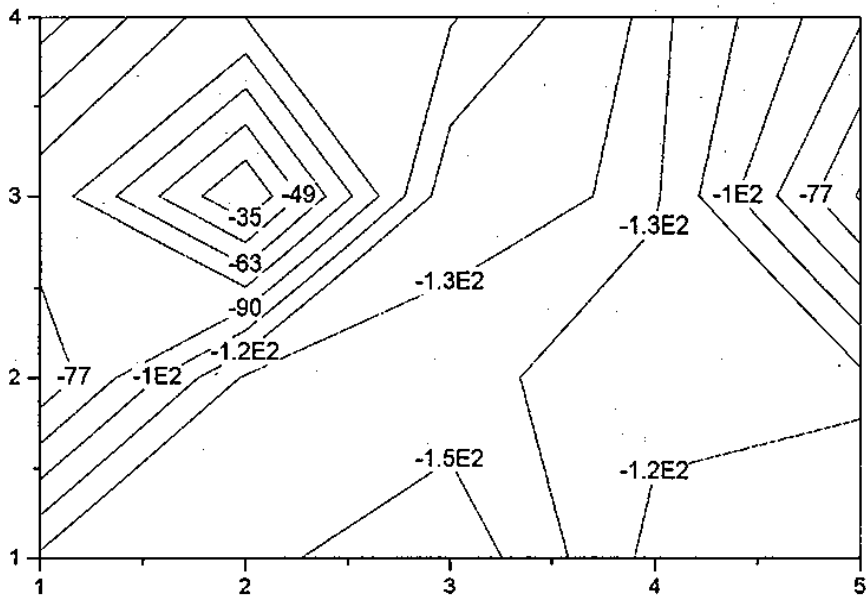


Fig. 3-2-6-11. Equipotential contour map measured at real concrete wall.

다. Half-cell potential 측정장치의 시험 및 교정절차

1) Half-cell의 시험

Half-cell로 측정된 표면전위가 의미 있는 값인지를 확인하기 위하여 두개의 half-cell의 전위를 비교한다. 즉, 동일한 전극과 전해액을 이용하는 두개의 half-cell에 형성되는 전위는 동일하므로 전위차계의 두 단자에 각각의 half-cell을 연결한 후 스폰지를 서로 맞대면 전위가 상쇄되어 전위차계에 표시되는 전위차는 영이어야 한다. 그렇지만 전위차가 20 mV보다 낮게 측정되면 각 half-cell로 측정한 결과를 신뢰할 수 있다.

이미 알려진 염분의 함량을 갖는 표준시험편이 있을 경우에는 측정전에 half-cell potential을 측정하여 비교함으로써 half-cell의 시험을 실시한다.

2) 보강재의 연결상태 확인

현장에서 측정시에 장비의 교정절차는 아니지만 각 보강재들 사이의 접촉을 확인하여야 한다. 10 m 이내의 두 보강재 사이를 전기적으로 연결한다. 직접 연결이 어려울 경우에는 cover meter로 콘크리트내의 보강재의 위치를 확인한 후 보강재가 놓여 있는 깊이까지 약 25 mm의 구멍을 뚫는다. 그리고 6 mm의 드릴날로 보강재에 구멍을 뚫고 나사 산을 만들어 볼트를 체결한 후 전기적으로 연결한다. 전위차계로 측정한 전위차가 10 mV 보다 작으면 보강재들이 서로 잘 연결되어 있는 것으로 간주할 수 있다.

3) 측정결과의 오류발생 원인

Copper/copper-sulphate half-cell로 측정한 결과는 일반적으로 신뢰할

수 있지만 오류가 발생하는 경우가 있다. 만약 측정결과에 오류가 발생하면 다음의 사항을 점검하여야 한다.

- 스폰지가 말라 있거나, 이물질로 오염되어 있는 경우. copper-sulfate solution 은 적어도 한달에 한번은 새것으로 갈아야 한다.
- copper-sulfate solution이 너무 묽은 경우.
- 구리전극이 산화된 경우.
- 전기적인 연결이 잘못된 경우.

4) 전위차계의 교정

전위차계는 교정된 전압발생기를 이용하여 교정되어야 하며 그 절차는 아래와 같다.

- (1) 교정된 전압발생기의 외부출력단자를 전위차계의 입력단자에 직접 연결한다.
- (2) 전압발생기의 출력을 900 mV로 맞추고, 전위차계의 측정값이 900 mV인지 확인한다.
- (3) 전압발생기의 출력을 100 mV의 간격으로 900 mV에서 -900 mV 까지 변화시키며, 전위차계의 측정값을 기록한다.
- (4) 전압발생기의 출력전압과 전위차계의 측정값이 5 %내에서 일치하여야 한다.
- (5) 전압발생기의 출력전압과 전위차계의 측정값 사이의 regression curve를 구한다.

5) Half-cell potential 측정장치의 교정 예

- (1) 두개의 half-cell의 스폰지를 맞대었을 때의 전위차 : 7 mV 미만
- (2) 10 m 거리에 있는 두 보강재 사이의 전위차 : 5 mV

(3) 전위차계의 교정결과 : 본 실험실이 보유한 Colebrand사 half-cell potential 측정장치의 전위차계를 교정한 결과는 fig.3-2-6-13과 같다. 교정된 전압발생기의 출력전압(y)과 전위차의 측정값(x) 사이에는 $y = 0.998x + 1.355$ 의 관계가 있으며, 상관계수 r^2 는 0.999이다.

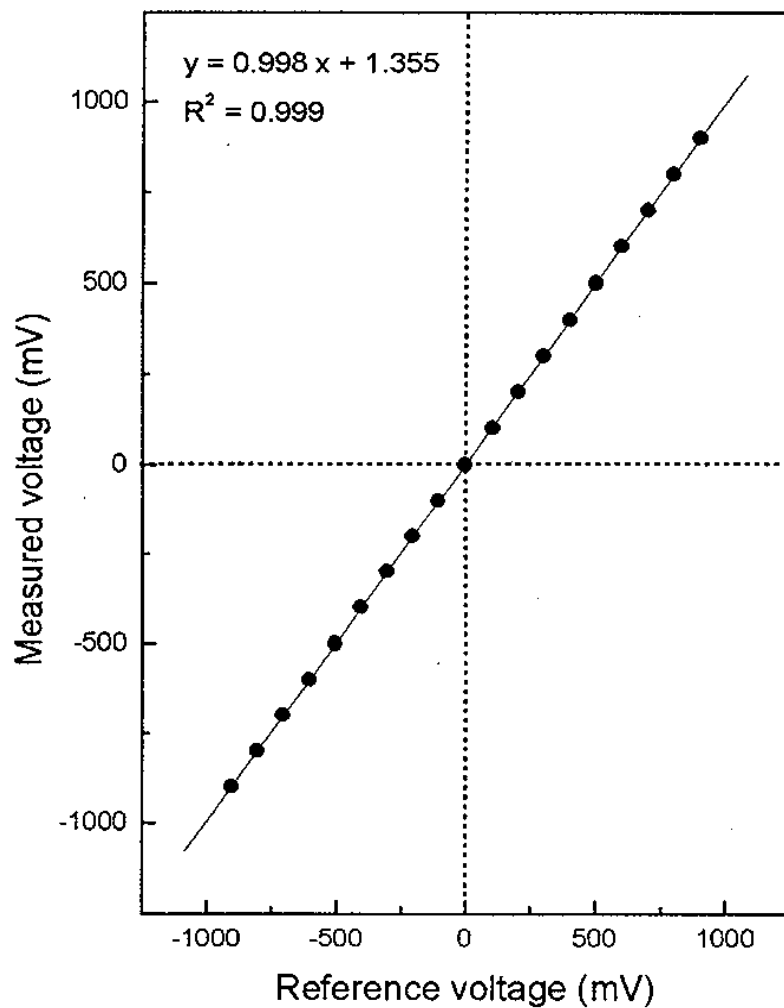


Fig. 3-2-6-12. Calibration curve of read out voltage as function of reference voltage.

제 3 절 안전진단 관련인력 교육훈련

방재기술과 관련된 정밀안전진단 장비의 신뢰성 확보를 위해서는 관련업무를 담당하고 있는 인력의 관리가 필수적이다. 정밀안전진단장비를 보유하고 있는 산업체의 인력들은 특정장비를 적정한 분야에 올바르게 적용하고 측정의 결과를 정밀하게 분석할 수 있는 능력을 갖추어야 하고, 또한 새로운 기술을 지속적으로 습득하여 새로운 분야에 응용할 수 있도록 재교육의 기회가 마련되어야 한다. 그러므로 검교정을 통한 장비의 신뢰성 향상과 함께 결과해석 능력의 향상과 새로운 기술의 보급을 위한 교육훈련이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 방재기술연구 사업의 일원으로 학계, 산업계, 연구계에서 관련업무를 수행하고 있는 인력을 대상으로 아래의 2분야에 대한 교육훈련을 실시하였으며, 교육훈련의 일정 및 내용을 간단히 아래에 정리하였다.

1. 구조물의 부식측정 및 부식방지 기술

- ▷ 날 짜 : 1997년 7월 4일 (1일간)
- ▷ 장 소 : 한국표준과학연구원 방재기술연구센터 세미나실
- ▷ 강 사 : 이 우 택 박사
NASA-Kennedy Space Center, 재료연구원
NACE International T-3R 대기부식위원회 회장
- ▷ 참가인원 : 79명
- ▶ 교육내용
- ▷ 개요

금속부식은 금속이 저 에너지 상태로 변화하는 자연적인 현상으로 그 과학적 근거가 주로 전기화학과 재료과학에서 비롯한다. 금속부식이 산업계에 미치는 경제적인 피해는 대단하며 통계에 의하면 미국 내에서 연간 수십 억 불에 이른다고 한다. 경제규모로 미루어 보아 한국산업계가 금속부식으로 받는 피해도 상당액에 이를 것으로 추정된다. 이런 피해를 사전에 방지하기 위해서는 부식 및 방식전문가들의 역할이 중요하지만 산업현장 곳곳에서 근무하는 기술자들이 부식에 관심을 갖고 구조물의 디자인에서부터 설치까지 세밀한 주의를 기울이는 것이 더욱 절실히 필요하다. 그러므로 이번 세미나는 현장에서 부식과 관련된 업무에 종사하는 실무자들에게 부식 원리에 대한 기초적인 내용을 전달하고 오랫동안의 경험을 바탕으로 부식방지를 위한 새로운 기술과 각 기술의 적용사례등을 소개하고자 한다.

▷ 내용

- 금속부식의 개요 : 부식관련 기술자들이 철근부식 문제를 기본적으로 습득하여야 할 부식의 원리를 전기화학적으로 설명하였다.
- 부식탐지기술 : 현장에서 철근의 부식상태를 평가하기 위해서 사용되는 실질적인 접근방식으로 직접 시편의 중량감소를 측정하는 방법과 부식전류 및 전압을 측정하는 방법, 그리고 부식과 관련된 화학반응을 사용하는 방법 등의 구체적인 여러 방법에 대하여 설명하였다.
- 방식기술 : 실제 현장에서 발생되었던 부식상태와 부식의 원인을 사례별로 설명하고 이러한 부식을 방지하기 위한 기술에 대하여 설명하였다. 부식방지 기술로는 정유산업이나 보일러산업에서 흔히 쓰이는 corrosion inhibitor법, 철근구조물에 주로 이용되는 음극 방식 방법, 그리고 철 구조물에 보편적으로 이용되는 페인트나 금속코팅(thermal spray) 방법 등에 대하여 설명하였다.

2. 구조물의 진단.계측 기술교육

▷ 날 짜 : 1997년 12월 3일 ~ 12월 5일 (3일간)

▷ 장 소 : 한국표준과학연구원 방재기술연구센터

▷ 강 사 :

김영주 (한국표준과학연구원, 선임연구원)

김영길 (한국표준과학연구원, 선임연구원)

김병극 (한국표준과학연구원, 선임연구원)

안봉영 (한국표준과학연구원, 선임연구원)

남승훈 (한국표준과학연구원, 선임연구원)

권일범 (한국표준과학연구원, 선임연구원)

남현수 (한국표준과학연구원, 선임연구원)

윤동진 (한국표준과학연구원, 선임연구원)

최만용 (한국표준과학연구원, 책임연구원)

임순재 (한국표준과학연구원, 책임기술원)

이해무 (한국표준과학연구원, 책임연구원)

▷ 참가인원 : 46명

▶ 교육내용

▷ 개요

방재기술관련 산업체 현장 및 연구관련자들에게 도움이 되고자 정밀안전진단기술, 고온설비의 수명평가, 계측기기 성능 및 구조물 거동 계측기술에

관하여 이론 및 실습 교육을 실시 하였다.

▷ 내용

- 콘크리트 강도 및 결함의 비파괴 평가 : 반발경도를 이용한 콘크리트 강도 추정을 위하여 경도와 압축강도와 관련된 이론과 측정원리, 반발해머의 구조와 동작원리, 사용 및 교정 방법등에 관한 교육을 실시하였다. 초음파속도법 및 충격탄성과 공명법을 이용한 강도추정 및 결함평가를 위하여 측정원리, 초음파 속도 측정 장치, 탄성과 검출을 위한 광대역 센서의 구조 및 특성, 충격탄성과 공명 시험을 위한 휴대용 진단장치 등에 관하여 교육을 시켰다.

- 콘크리트내의 철근탐지 기술 : 콘크리트내의 철근 탐지 기술 중에서 전자유도 방법에 의한 내용을 주로 교육하였다. 교육은 측정 원리의 설명에 역점을 두었으며, 측정방법의 한계 및 탐지기의 사용 능력확대를 위한 방법 등에 대한 내용이 포함되어 있다.

- 초음파탐상 기술 : 초음파를 이용하여 강구조물 및 콘크리트 구조물의 결함탐지 기술에 대한 전반적인 내용을 설명한다. 우선 초음파의 재료 내에서의 전파특성을 알아보고, 탐촉자의 구조 및 제작기술, 그리고 탐상장비의 사용법과 특성, 탐상방법에 대한 내용을 자세하게 설명하였다.

- 부식측정기술 : Half cell을 이용한 부식측정의 원리, half cell과 관련된 standards, half cell을 이용한 부식측정실험과 관련된 교육을 실시하였다.

- 콘크리트구조물의 수분측정 기술 : 마이크로파를 이용한 수분측정기술의 원리, 수분측정 정확도에 영향을 미치는 요인, 마이크로파 수분계 센서에 관한 교육을 실시하였다.

- 음향방출을 이용한 구조물 진단 : 음향방출기술의 원리 및 사용법에 대한 전반적인 이해와 구조물의 진단을 목적으로 이용되는 음향방출 기술의 적용

사례에 대한 내용이 교육되었다. 특히 적용 사례의 경우에는 화학설비 및 발전설비/기계류 등에서의 적용과 함께 최근에 관심이 집중되고 있는 토목 구조물에서의 음향방출기술의 적용에 대한 내용을 집중적으로 교육하였다.

- 고온설비의 수명평가 : 수명평가 개념, 해석적방법 및 비파괴적 기법을 이용한 균열생성 수명예측, 균열성장 수명예측, 파괴적, 준비파괴적, 비파괴적 방법을 이용한 파괴인성 열화도 평가 등에 관한 교육을 실시하였다.

- 광섬유를 이용한 구조물의 변형률 측정 : 광섬유센서는 전기적 간섭을 받지않고 기계적으로는 분산된 측정에 의하여 다점측정을 가능케 하므로 여러 가지 장점을 가지고 있다. 마이켈슨 센서 및 패브리-페로 센서등 다양한 광섬유 센서의 이론 및 실습교육을 실시하였다.

- 구조물 거동 예측 : 상시계측시스템은 건설구조물의 정확한 거동을 예측하여 구조물의 성능과 안전도를 평가하는 시스템으로 구조물의 상태를 24시간 상시로 파악하고 이상상태가 관측되면 내부 진단프로그램에 의하여 관리자에게 적절한 정보와 경보를 제공함으로써 그에 상응하는 정밀계측과 함께 적합한 보수작업을 유도하는 시스템이다. 상시계측시스템의 개요와 운용방법에 대한 전반적인 내용, 안전계측에 사용되는 스트레인 게이지, 변형계, 균열측정기, 응력계, 진동계, 경사계의 원리 및 사용법에 대한 전반적인 내용을 교육하였다.

- 계측의 신뢰성 확보 : 계측공학의 기초이론을 바탕으로 측정량과 단위에 대한 설명, 신호해석의 기술 등의 내용이 포함되어 있다. 측정결과의 분석시 환경변화에 의한 영향 분석기술과 측정오차를 다루는 방법 등에 내용을 교육하였다.

제 4 절 결 론

안전진단 신뢰성 관리를 위하여 다음과 같은 내용의 연구를 수행하였다. 작년도에 Table 3-1-3에서 계획된대로 아래와 같은 분야의 교정검사 체계를 확립하였고 안전진단과 관련된 분야에 종사하는 인력을 대상으로 “구조물의 부식측정 및 부식방지 기술” “구조물의 진단,계측 기술”에 대한 교육훈련을 실시하였다.

- ▷ 반발경도법을 이용한 콘크리트의 강도 측정
- ▷ 관입저항법을 사용한 콘크리트의 강도 측정
- ▷ 초음파를 이용한 콘크리트의 두께 및 결함 측정
- ▷ 충격파를 이용한 콘크리트의 두께 및 결함 측정
- ▷ 철근탐지기를 이용한 철근위치 및 피복두께 측정
- ▷ 전위차법을 이용한 콘크리트내의 철근 부식 측정

국내의 안전진단장비 보유업체중에서는 보유중인 장비의 완전한 사용방법 및 측정의 원리 등에 대한 이해가 부족하다. 그러므로 이들 업체에는 교정 검사 뿐 아니라 시험법에 대한 기본원리와 장비의 올바른 사용방법, 결과 해석 방법, 그리고 새로운 기술에 대한 정보 등에 대한 교육과정도 지속적으로 제공할 수 있는 방향이 고려되어야 한다. 그리고 또 다른 문제점으로는 작동원리에 비하여 외국으로부터 수입되어 판매되고 있는 장비의 가격이 매우 높다는 점을 고려하여 국내의 계측기 제작업체에서 이들 장비중 제작이 가능한 장비들을 개발하여 판매할 수 있도록 기술적인 지원도 이 과제의 수행목표중에 포함되어야 할 것이다. 국내에서 제작된 장비의 신뢰성은 확립

된 교정절차에 의한 지속적인 관리로부터 확보될 수 있다.

이상의 연구결과로부터 아직 초기단계에 있는 국내의 정밀안전진단장비 사용실태와 교정절차를 감안하면 신뢰성 확보를 위해서는 지속적인 연구가 필수적이며, 이를 바탕으로 국내의 구조물들의 효율적인 안전진단이 이루어질 수 있을 것이라고 결론지을 수 있다.

이 페이지는

여백입니다

제 4 장 방재기술정보

제 1 절 서론

1. 사업의 배경 및 필요성

시설물, 산업설비의 상시감시시스템에서 구조물의 정상상태와 이상상태를 구별하거나 정밀안전진단을 실시할 때 구조물의 안전성을 평가하기 위해서는 반드시 재료의 물성, 구조물의 상태, 열화/손상사례에 대한 데이터가 있어야 그것들과 비교하여 현재의 상태를 비교하게 되며 이러한 데이터가 많을수록 평가결과의 신뢰성이 높아진다. 특히 시설물이나 산업설비는 다양한 재료나 구조로 이루어지고 사용환경에 따라 변화가 심하기 때문에 가능한 다양한 재료의 데이터가 필요하고, 구조물의 상태, 파손사례도 복합적인 데이터까지 요구된다. 그런데 이들 데이터들은 국내에는 별로 확보되어 있지 않기 때문에 주로 외국의 데이터 또는 사례를 참조하는 경우가 대부분이다. 그러나 외국의 데이터들은 우리나라의 실정에 맞지 않는 경우가 많고 없는 것도 있기 때문에 우리 자체적인 데이터의 확보가 절실히 요구되고 있다. 따라서 안전진단, 평가 등 방재기술의 보급, 현장적용기술의 신뢰성향상을 위해서는 이들 데이터를 체계적으로 확보하여 관련 연구자, 현장기술자들이 쉽게 활용할 수 있는 보급체계를 확립하는 것이 매우 중요하다.

이들 데이터의 수집, 생산을 포함하여 방재기술을 개발하고 방재업무를 효율적으로 수행하기 위해서는 다양하고 방대한 양의 방재기술정보에 대한 데이터베이스가 구축되어야 하고 이들을 활용하기 위한 각종 해석 시스템이 확보되어야 하며, 국내·외 방재관련 기관과의 유기적인 정보 공유체제가 확

립되어야 한다. 따라서 현재 국가에서 추진되고 있는 국가안전관리시스템과 유기적으로 연동하여 보유하고 있는 각종 기본데이터와 시설구조물, 산업설비에 대한 수동 및 자동적으로 측정된 자료들을 관련 부처에 공급하는 정보 서비스 기능, 이들 데이터 및 유관기관의 자료와 해외 데이터베이스를 활용하여 센터의 자체적인 연구개발 및 방재관련 사업에 활용할 수 있는 분석처리기능을 갖춘 종합방재정보처리시스템의 구축이 필요하다.

이러한 시스템환경에서는 관련 데이터베이스들이 서로 분산되어 있을 뿐 아니라 데이터의 구조, 사용되고 있는 DBMS, 관리체제 등 여러 가지 측면에서 이질성과 자율성을 갖고 있다. 이와같은 환경하에서 각 기관들이 보유하고 있는 정보들을 서로 유용하게 활용하기 위해서는 각각의 시스템은 그대로 기능하면서 새로운 통합 응용을 생성할 수 있는 데이터베이스의 통합 기술의 개발이 필요하다.

2. 사업의 목표 및 내용

가. 사업의 목표

1) 사업의 최종목표

방재기술연구개발에 필요한 재료물성데이터, 파손사례 및 방재관련 자료, 데이터 등 방재기술정보를 수집.생산하고, 이들 데이터의 효율적인 관리, 활용을 위한 기술정보데이터베이스를 구축한다. 또한 기술정보데이터의 처리, 분석, 외부와의 정보교환 및 서비스 등을 지원하기 위한 종합방재정보시스템을 구축한다.

2) 당해연도의 목표

상기 최종 목표를 달성하기 위한 당해연도의 목표는 다음과 같다.

- 1) 방재기술정보의 수집.생산
- 2) 수집.생산된 기술정보의 DB구축을 위한 자료의 분류, 체계화
- 3) 종합방재정보시스템의 설계 및 프로토타입시스템 개발
- 4) 통합데이터베이스시스템개발을 위한 기초연구

나. 사업의 내용

당해연도의 연구사업내용은 다음과 같다.

1) 방재기술정보의 수집.생산

- 국내.외 재료물성데이터베이스 개발현황을 조사하고 재료물성데이터의 수집.생산계획을 수립한다. 당해연도에는 재료물성데이터중 정유설비에서 주로 사용되는 저합금내열강에 대한 물성데이터를 수집.정리한다.
- 교량, 터널, 댐을 중심으로 한 국내.외의 공공시설물의 파손, 파괴사례에 대해 조사.정리한다.
- 해외의 방재관련기관의 인터넷 site를 조사.수집하여 재해별, 기능별로 정리한다.
- 방재관련 자료, 저널, 연구보고서 등 방재연구사업에 필요한 자료를 수집.정리한다.

2) 수집.생산된 기술정보의 DB구축을 위한 자료의 분류, 체계화

- 수집된 자료를 DB화 하기 위한 형태, 양식으로 재분류하고 체계화 한다.

3) 종합방재정보시스템의 설계 및 프로토타입시스템 개발

- 데이터베이스 관리프로그램을 개발한다.
- 데이터베이스에의 데이터입.출력, 데이터검색 및 처리 프로그램을 개발한다. 데이터의 종류는 텍스트데이터(문서, 수치데이터), 이미지데이터까지 처리할 수 있도록 한다.
- WEB(Internet 등)을 통해 데이터베이스를 포함한 모든 자료를 접근할 수 있는 WEB Server 를 개발하고, WEB 에 기반한 표준인터페이스를 개발한다.
- 홍도육교, 금강철교를 비롯한 상시감시계측데이터의 관리를 위한 인터페이스프로그램을 개발한다.
- Home Page를 통한 방재정보 서비스기능을 개발한다.

4) 통합 데이터베이스시스템개발을 위한 기초연구

- 이기종, 분산환경하의 정보의 접근, 정보의 공유를 위한 통합데이터베이스구축을 위한 기초조사연구로서, 국내.외 기술개발현황, 구축사례, 개발에 필요한 기술요소 등을 조사하고, 통합데이터베이스구축방향을 제시한다.
- 분산되어 있는 Oracle, UniSQL/X의 2가지 데이터베이스시스템의 데이터를 통합운용할 수 있는 프로토타입시스템을 설계하고 시범시스템을 작성한다.

3. 본 장의 구성

제 1 절서론에서는 기술정보사업의 배경, 필요성, 연구의 목표 및 당해연도 사업내용에 대해 기술하고 각 절의 내용에 대해 정리하였다.

제 2 절에서는 재료물성데이터의 종류, 수집.생산해야될 항목을 분류하고 관련 데이터의 국내.외 현황을 조사.정리하였다. 또 이들 물성데이터의 활용에를 조사하여 정리하므로써 수집.생산해야될 물성데이터의 범위, 종류를 결정하는 데 참고로 하였다. 정유설비에서 주로 사용되는 저합금내열강의 물성데이터 조사.수집내용을 요약.정리하였다. 저합금내열강의 물성데이터의 수집내용은 당 센터의 위탁연구로 수행한 “저합금 내열강의 특성데이터베이스화를 위한 조사연구”보고서[1]를 요약하였다.

제 3 절에서는 국내.외 공공시설물의 파손, 파괴 사례에 대해 당해연도에 조사.수집한 내용을 정리하였다. 이 내용은 위탁연구로 수행한 “공공시설물 파손사례 조사연구”의 보고서[2]를 요약한 것으로 조사된 파손사례의 명칭, 파손원인, 파손의 시설물별 분류, 파손사례의 분석내용을 기술하였다.

제 4 절은 종합방재정보시스템의 구축에 관한 내용을 기술하였다. 여기서는 개발하고자 하는 시스템에 요구되는 요구사항을 분석, 정리하였고, 요구 분석을 근거로 개발한 시스템의 구조, 기능, 소프트웨어의 구성에 대해 기술하였다. 그리고 개발한 시스템의 성능 및 기능을 확인하기 위해 수행한 케이스스터디에 대해 기술하였다.

제 5 절에서는 통합데이터베이스 시스템개발을 위해 필요한 기술요소, 기술개발현황, 구축방안에 대해 기술하였다. 그리고 본 연구에서 개발한 분산 환경하에 있는 서로 다른 2개의 데이터베이스 통합을 위한 시범시스템에 대해 설명하고, 향후의 연구개발방향에 대해 기술하였다. 본 내용은 위탁연구로서 수행한 “분산 환경하의 이기종 방재정보시스템통합에 관한 연구”의 보고서[3]를 요약한 것이다.

제 6절에서는 향후의 방재연구 및 기술개발의 방향을 정립하기 위해 선진 외국의 방재기술연구동향을 조사, 분석한 내용을 기술하였다.이 내용은 수집한 해외의 방재관련 자료를 분석한 내용으로 위탁연구보서 “인터넷을 이용

한 방재정보자료 구축에 관한 연구”[4]를 정리한 것이다. 여기서는 먼저 방재와 관련된 기술을 분류하고, 방재기술에서의 정보기술의 역할과 통합방법을 기술하였다. 다음 종합적인 방재정보시스템을 구축하기 위해 필요한 기술분야, 참조되어야 할 자료, 대상기술에 대해 검토하고, 이들 외국에서 추진하고 있는 방재정보시스템구축을 위한 프로젝트에 대해 소개하였다.

제 7 절 결론에서는 당해연도의 연구결과를 검토하고 향후 수행해야 될 내용에 대해 정리하였다.

부록에는 수집한 자료중 해외의 방재관련기관의 보고서 및 이들의 인터넷 Site, 표준방재기술연구센터에서 수행하고 있는 연구프로젝트 및 연구보고서, 국내외의 관련 저널의 리스트, 국내의 안전진단기관목록을 수록하였다. 이들 자료는 데이터베이스화 하여 외부에 서비스 하고 내용도 계속적인 수집을 통하여 보완해 나갈 방침이다.

제 2 절 재료물성데이터 조사

방재 기술 연구와 정보 제공에 기초적 자료로 이용하기 위한 물성데이터는 그 종류와 범위가 매우 넓어 수집, 생산에 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 수집, 생산하고자 하는 데이터의 종류와 범위를 명확히 하는 것이 중요하다. 먼저 재료물성데이터의 정의를 살펴보고 종류와 범위를 분류하였다. 다음 국내, 외의 재료물성데이터의 DB 현황을 분야별로 검토하여 기존데이터의 이용방안과 새로이 수집, 생산해야 할 데이터를 체계적으로 구분하였다. 당해연도에는 1차적으로 정유설비의 주 재료인 저합금내열강의 물성을 조사, 수집하였다. 이들 수집된 데이터는 그래프의 형태로 기술되어 있기 때문에 디지털화 등을 통해 수치데이터로 변환하고 항목별로 재분류하여 데이터베이스를 구축해야 한다.

1. 재료물성 데이터의 정의

- 가. 인장시험: 시험편을 시험기에 걸어서 서서히 잡아당겨 항복점, 인장강도, 연신률, 단면수축률 등을 측정하는 시험
- 1) 인장강도; 인장시험에서 시험편이 견딜 수 있는 평행부의 초기 단면적으로 나눈 값
 - 2) 항복강도; 인장시험에 있어서 항복점이 뚜렷이 나타나지 않는 재료에서는 적당한 연구변형(보통 0.2%)을 일으켰을 때의 하중을 원래의 단면적으로 나눈 값
 - 3) 연신률; 인장시험을 할 때 시험편이 하중을 받아 끊어질 때까지의 연구 변형률
 - 4) 단면수축률; 인장시험에 있어서 시험편의 초기 단면적과 파단된 후의 단면적의 차이를 초기 단면적으로 나눈 값
 - 5) 탄성계수; 재료에 외력을 가하여 변형시킬 때 탄성한도내에서는 응

력과 변형률 사이에 직선적인 관계가 성립하며 이 때의 비례상수를 일컫는다.

다. 경도시험: 물체의 기계적 경질과 연질의 정도를 측정하는 시험

- 1) 브리넬 경도; 강구 압자를 사용하여 시험면에 구상의 피트를 만든 후 시험하중을 피트의 표면적으로 나눈 값
- 2) 비커스 경도; 꼭지각 136°의 다이아몬드 4각뿔 압자를 사용하여 시험면에 피라미드형의 압입자국을 내고 그 대각선 길이를 측정하여 경도를 구한다.
- 3) 로크웰 경도; 압자를 일정하중으로 시료면에 밀어붙이고 압자 끝이 들어간 깊이에서 재료의 단단함을 측정하는 시험
- 4) 쇼아 경도; 끝이 둥글고 단단한 해머를 유리관 속에서 일정한 높이로부터 낙하시켜 측정편 표면에서 튀어 오른 높이로서 경도를 측정하는 시험

다. 충격시험: 시험편에 타격을 가하여 충격파단에 필요한 에너지를 측정하여 재료의 내충격성을 결정하는 시험

- 1) 충격흡수에너지; 시험편의 파단에 소요되는 에너지, 재료의 내충격성을 표시하는 중요한 지표중의 하나이다
- 2) 연성파면율; 전체 파단면에 대한 연성 파단면이 차지하는 비율
- 3) 취성파면율; 전체 파단면에 대한 취성 파단면이 차지하는 비율
- 4) 횡팽창계수; 파단면의 변형으로 생기는 횡방향으로의 길이 증가량
- 5) 연성·취성 천이온도; 고온에서 저온으로 시험온도를 이동시킬 때 소재가 연성파괴에서 취성파괴로 파괴모드가 바뀌는 온도

라. 파괴인성시험: 부재에 균열이 있는 경우 그것을 기점으로 해서 하중을 증가시키지 않아도 균열이 커져서 파괴된다. 균열이

커지는 속도가 빠른 재료를 파괴인성이 작다고 하며, 속도가 늦은 것을 파괴인성이 크다고 한다.

마. 피로시험: 재료는 정하중에서 충분한 강도를 지니고 있더라도 반복응력이나 반복변형률의 영향을 받아 구조물의 일부에서 점진적인 영구 변형이 생기고 상당 기간동안 그것이 반복되면 균열이 생기거나 완전파괴에 이를 수도 있는 현상

- 1) 피로수명; 반복하중을 받는 부재나 구조물이 파괴될 때까지의 하중의 반복수나 시간
- 2) 피로강도; 부재나 구조물이 파괴될 때까지의 어떤 반복횟수에 견디는 반복응력 범위
- 3) 피로한도; 무한한 반복횟수를 견디는 응력범위로 피로현상이 일어나는 한도
- 4) 피로비; 인장강도에 대한 피로한도의 비율
- 5) 하한계 피로균열성장; 피로균열성장율이 0에 가까울 때의 응력확대계수 범위로 일반적으로 10^{-10} m/cycle 정도의 피로균열성장율일때의 응력확대계수범위를 말한다.
- 6) 피로균열성장률; 피로하중에 의하여 야기되는 균열진전의 속도로 주기당 평균 균열성장률로 나타낸다.

바. 크리프; 재료에 일정한 하중이 계속 유지되면 그 응력이 항복강도보다 크거나 작거나에 관계없이 시간이 경과함에 따라 재료에서는 소성변형이 일어난다. 이러한 상황에서의 소성변형을 크리프라 한다.

- 1) 크리프 파단수명; 어떤 일정응력이 시험편에 걸릴 때 시험편이 파단되는 때의 시간
- 2) 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0% 변형률에서의 시간; 크리프 변형률이 지

정한 변형률에 이를
때까지 걸린 시간

- 3) 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001 %/h에 상당하는 최소 크리프속도에서의
응력
- 4) 1, 10, 100, 1000, 10000, 100000 시간에 파단되는 응력

2. 재료물성 데이터의 분류

재료물성 데이터를 잘 분류하지 못하면 효과적이고 효율적인 운용이 불가능해진다. 지금 현재 재료물성 데이터에 대한 분류가 확정되지 않았기 때문에 한국과학기술원의 송지호 교수팀에서 만든 피로강도 데이터베이스 시스템에 나와 있는 분류와 일본용접협회에서 만든 용접 데이터베이스 시스템에 나와 있는 분류를 기술하고자 한다. 그리고 두 데이터베이스 시스템에 빠져 있는 크리프 데이터 분류에 대한 우리의 안을 제시하고자 한다.

가. 피로강도 데이터베이스 시스템의 분류

먼저 한국과학기술원 송지호 교수팀에서 구축한 피로강도 데이터베이스를 이루고 있는 28개의 릴레이션의 각각에 대한 속성들은 다음과 같다.

1) 각 릴레이션의 주키와 datacore

데이터의 종류 등을 구별하는 호칭

같은 종류의 데이터 구별을 위한 주키

재료에 관한 릴레이션의 주키

재료의 열처리에 관한 릴레이션의 주키

재료의 열처리에 관한 릴레이션의 주키

재료의 화학성분에 관한 릴레이션의 주키

재료의 정하중시험에 관한 릴레이션의 주키
재료의 충격시험에 관한 릴레이션의 주키
피로균열발생시험편에 관한 릴레이션의 주키
피로균열발생시험에 관한 릴레이션의 주키
일반적인 피로시험결과의 릴레이션의 주키
Stair case법에 의한 시험결과의 릴레이션의 주키
Probit법에 의한 시험결과의 릴레이션의 주키
저되풀이수 피로시험결과의 릴레이션의 주키
참고문헌에 관한 릴레이션의 주키
파괴인성치에 관한 릴레이션의 주키
피로균열진전시험편에 관한 릴레이션의 주키
피로균열진전시험에 관한 릴레이션의 주키
응력강도계수의 계산에 관한 릴레이션의 주키
피로균열진전시험결과에 관한 릴레이션의 주키
참고문헌의 페이지

2) 재료의 규격, 형상, 가공상태

재료에 관한 릴레이션의 주키
국가(학회)규격 등에 의한 재료 호칭
재료에 적용된 국가(학회)규격 등의 이름
강의 용해(melting)방법
탈산하는 방법과 그 정도에 따른 강의 구분
단강의 단련계수(forging ratio)
가공과정(working process)
공급재료의 형상
공급재료의 지름 또는 길이
공급재료의 두께
공급재료의 폭

생산자에 관한 주키

생산연도

A형태 개재물의 양

B형태 개재물의 양

C형태 개재물의 양

3) 재료 생산회사 관련 정보

공급재료의 생산회사에 관한 릴레이션의 주키

재료의 생산 국가이름

생산회사이름과 주소

4) 열처리조건

공급재료의 열처리에 관한 릴레이션의 주키

열처리된 재료의 크기(두께 또는 지름)

첫 번째 열처리 방법에 관한 주키

두 번째 열처리 방법에 관한 주키

세 번째 열처리 방법에 관한 주키

네 번째 열처리 방법에 관한 주키

다섯 번째 열처리 방법에 관한 주키

열처리후 입자크기

열처리 후 경도측정에 관한 릴레이션의 주키

5) 경도시험 결과

경도측정에 관한 릴레이션의 주키

열처리후 실시한 경도측정방법

시험결과의 평균값

시험결과의 분산계수(coefficient of variation)

열처리후 실시한 경도측정 횟수

6) 열처리 내용중 시간, 온도, 냉각방법 등
공급재료의 열처리 방법에 관한 릴레이션의 주기
열처리 시작온도
열처리 끝온도
지속시간
가열 분위기
냉각 분위기 또는 열처리 방법

7) 재료의 화학성분 구성
재료의 화학성분에 관한 릴레이션의 주기
각 화학성분에 관한 릴레이션의 주기

8) 재료의 화학성분 구성비
각 화학성분에 관한 릴레이션의 주기
각 화학성분과 그 양

9) 인장시험 결과
재료의 정하중 시험에 관한 릴레이션의 주기
정하중 시험편의 방향
정하중 시험 방법
정하중 시험편의 형상
정하중 시험편의 지름 또는 길이
정하중 시험편의 두께
정하중 시험편의 폭
게이지 길이
정하중 시험편의 개수
항복응력의 평균값

항복응력의 분산계수(coefficient of variation)
인장강도의 평균값
인장강도의 분산계수(coefficient of variation)
연신율의 평균값
연신율의 분산계수(coefficient of variation)
단면수축율의 평균값
단면수축율의 분산계수(coefficient of variation)
정하중 시험의 분위기 온도

10) 충격시험 결과

재료의 충격시험에 관한 릴레이션의 주기
충격시험의 방법
시험편의 규격번호
시험결과의 평균값
시험결과의 분산계수(coefficient of variation)
충격시험편의 개수

11) 피로시험 시험편

피로균열발생시험편에 관한 릴레이션의 주기
피로균열발생시험편의 방향
시험편의 형상
시험편의 지름 또는 길이
시험편의 두께
시험편의 폭
시험편의 특별형상
탄성응력집중계수
탄성응력집중계수 계산 방법
플랭크(flank)각

노치뿌리 반경

표면경화(case hardening) 방법

표면 다듬질(surface finishing)방법

표면 거칠기(surface roughness)

시험편 가공후 첫 번째 열처리에 관한 주키

시험편 가공후 두 번째 열처리에 관한 주키

12) 피로시험편 가공후 열처리 조건

시험편 가공 후 열처리에 관한 주키

열처리 시작온도

열처리 끝온도

지속시간

가열분위기

냉각 분위기 또는 열처리 방법

13) 피로시험조건

피로균열발생시험에 관한 릴레이션의 주키

피로균열발생시험의 제어형태

적용한 하중형태

시험주파수

시험에 사용된 시험기 대수

제어 응력조건

제어된 응력값

시험분위기 온도

시험분위기 습도

시험분위기

시험 기간(년월)

파손정의(failure definition)

강성축소율 또는 파손 균열길이

- 14) 통상적인 피로시험법에 의한 S-N 데이터
일반적인 피로시험결과의 릴레이션의 주기
응력진폭
되풀이 수
파손정의

- 15) Probit법에 의한 S-N 데이터
Probit법에 의한 시험결과의 릴레이션의 주기
응력진폭
되풀이 수
파손정의

- 16) Stair Case법에 의한 S-N 데이터
Stair case법에 의한 시험결과의 릴레이션의 주기
응력진폭
되풀이 수
파손정의

- 17) 변형률-수명 데이터
저되풀이수 피로시험결과의 릴레이션의 주기
변형율진폭
되풀이 수
파손정의

- 18) 파괴인성치에 관한 데이터
파괴인성치에 관한 릴레이션의 주기

파괴인성치 시험편의 방향
적용 시험방법의 표준규격번호
시험편의 형상
시험편의 지름 또는 길이
시험편의 두께 시험편의 폭
시험분위기 온도
시험결과치의 소속
시험 결과값
시험방법에 대한 구체적인 기술

19) 적용된 응력확대계수식

응력강도계수의 계산에 관한 릴레이션의 주키
K 계산식에 대한 주키
균열진전속도계산에 대한 주키
균열길이측정방법에 대한 주키

20) 응력확대계수식

K 계산식에 대한 주키
K 또는 J 계산식의 상세 묘사

21) 균열진전속도 계산식

균열진전속도계산에 대한 일련번호
균열진전속도계산방법에 대한 상세묘사

22) 균열측정방법

균열길이측정방법에 대한 일련번호
균열길이측정방법의 상세묘사

23) 균열진전 시험편

- 피로균열진전시험편에 관한 릴레이션의 일련번호
- 시험편의 방향
- 시험편의 형상
- 시험편의 지름 또는 길이
- 시험편의 두께
- 시험편의 폭
- 표면경화(case hardening)방법
- 표면 다듬질(surface finishing)
- 표면 거칠기(surface roughness)
- 초기 균열길이
- 초기 균열깊이
- 균열진전방향
- 시험편가공 후 첫 번째 열처리에 관한 일련번호
- 시험편가공 후 두 번째 열처리에 관한 일련번호
- 초기 균열을 만드는 방법

24) 균열진전 시험편 가공후 열처리 조건

- 시험편 가공 후 열처리에 관한 일련번호
- 열처리 시작온도
- 열처리 끝온도
- 지속시간
- 가열 분위기
- 냉각 분위기 또는 열처리 방법

25) 균열진전 시험조건

- 피로균열진전시험에 관한 릴레이션의 일련번호
- 시험의 제어 형태

부하 하중 형태
시험 주파수
제어 응력 조건
제어한 일정 응력값
응력비
시험분위기 온도
시험분위기 습도
시험 분위기
하한응력강도계수

26) 균열진전에 관한 데이터

피로균열진전시험결과에 관한 릴레이션의 일련번호
균열진전속도
응력강도계수 폭
시험결과의 정리형태

27) 재료에 대한 각 표준

한국 표준규격에 의한 재료명
일본 표준규격에 의한 재료명
미국 표준규격에 의한 재료명
독일 표준규격에 의한 재료명
영국 표준규격에 의한 재료명
표준규격에 의한 재료명
미국자동차학회 표준규격에 의한 재료명
생산자 규격에 의한 재료명

28) 참고문헌

참고문헌에 관한 릴레이션의 주기

저자 또는 편집자
논문제목
책 이름 또는 잡지이름
출판사
권번호
출판년도
출판국가

나. 용접 데이터베이스 시스템의 분류

일본용접협회의 WDS위원회에서 개발한 용접 데이터베이스 시스템은 동독의 중앙용접연구소(Zentral Institut Schweisatechnik, 약칭 ZIS)와의 공동 연구에 의해 만들어졌으며, 용접법의 선정 및 용접 시공조건의 설정하는데 도움을 준다. 데이터 베이스화한 자료 목록은 다음과 같다.

- 1) 원통분기관(圓筒分岐管)두께의 최적화
- 2) 구 분기관(分岐管)의 이음부 강도 감소계수
- 3) 실린더의 주축 방향 노즐의 이음부 강도 감소계수
- 4) 최적 외팔보 이음부
- 5) ZIS-RO 1-71 시트 1에 의한 용접이음부의 안정성 확인을 위한 계산 프로그램(용접구조물, 구조용강의 응용용접 이음부의 안정성 확인을 위한 기준)
- 6) 용접속도를 부여한 경우의 CO₂ 아크 충전(充塡)용접조건
- 7) 솔리드와이어 및 밴드에 의한 CO₂아크 용접의 용융속도와 와이어 송급속도
- 8) 솔리드와이어 및 밴드에 의한 서머지 아크 육성용접 파라미터
- 9) Al-Mg계 알루미늄합금(A5083)의 자동 티그용접조건
- 10) 알루미늄의 자동티그 용접조건
- 11) 전자빔 용접의 빔 전류치
- 12) 전자빔 용접의 용입 깊이

- 13) 전자빔 용접의 온도분포
- 14) 화염 프레이징 작업 파라미터
- 15) 가스절단작업 파라미터
- 16) 플라즈마절단 작업 파라미터
- 17) 파우다 커팅 작업 파라미터
- 18) 용착금속 단면적
- 19) 용접방법과 용접흡 형상의 선택법
- 20) 일렉트로가스아크 용접(EG용접)가공시간
- 21) CO₂ 아크 다층 용접부의 펄스 수와 용접파라미터(1. 필렛 용접)
- 22) CO₂ 아크 다층용접에 있어서의 펄스 수와 용접파라미터(2. V홈 맞대기 용접)
- 23) 아크 용접의 코스트
- 24) 전자빔 용접의 코스트
- 25) 저항용접의 코스트
- 26) 박판 처짐 방지판의 필렛용접에 의한 횡변형량
- 27) 용접열영향부의 냉각시간(800~500℃)(박판 2차원열류)
- 28) 용접열영향부의 냉각시간(800~500℃)(후판 3차원열류)
- 29) 용접열영향부의 냉각시간(800~500℃)(열방산을 무시하지 않은 경우)
- 30) 용접열영향부의 최고경도(강제의 탄소당량에 의한 추정)
- 31) 용접열영향부의 최고경도(탄소당량과 냉각시간과에 의한 추정)
- 32) 용접열영향부의 최고경도(냉각시간에 의한 경도의 변화)
- 33) 용접구조용강의 저온균열 방지 필요 예열 온도
- 34) 부분가열에 의한 필요 예열시간
- 35) 균열(균열)한 소형 시험판의 100℃까지의 냉각시간
- 36) 균열(균열)한 대형 판의 100℃까지의 냉각시간
- 37) 부분 가열한 대형 판의 100℃까지의 냉각시간
- 38) 대형 판 균열(均熱)의 경우 100℃까지의 냉각시간과 펄스 시간시
- 39) 대형 판 부분 가열의 경우 100℃까지의 냉각시간과 펄스 시간시

- 40) 교차 이음부의 구속도
- 41) 파이프 원추 용접시의 용접변형과 잔류응력
- 42) 용접시수 계산 프로그램(맞대기)
- 43) 용접시구 계산 프로그램(필렛)
- 44) 전자빔 열효율
- 45) 자장을 가한 대상(帶狀)전국 육성용접 파라미터
- 46) 용접재료 소요량

또한 용접 데이터베이스 시스템에 입력하는 용접 데이터 군은 다음과 같다.

- [1]적용규격
- [2]각종 강재의 데이터
- [3]용접방법
- [4]용접 홈 형성 데이터
- [5]용접재료 데이터 (1) 표면측 초층용접(表面側初層熔接)
- [5]용접재료 데이터 (2) 표면측 적층용접(表面側滴層熔接)
- [5]용접재료 데이터 (3) 이면측 초층용접(裏面側初層熔接)
- [5]용접재료 데이터 (4) 이면측 적층용접(裏面側積層熔接)
- [6]용접조건
- [7]용접금속의 화학성분
- [8]예·후열 등의 열처리조건
- [9]용접이음부 성능 (1) 인장시험
- [9]용접이음부 성능 (2) 경도시험
- [9]용접이음부 성능 (3) 다른 경도시험
- [9]용접이음부 성능 (4) 충격시험

다. 크리프 분류

한국과학기술원의 송지호 교수팀과 일본 용접협회에서 작성한 데이터 분류안에 빠져있는 크리프 데이터에 대한 우리의 분류 안은 다음과 같다.

- 1) 크리프 시험편에 관한 릴레이션의 주기
- 2) 크리프 시험편의 방향
- 3) 시험편의 형상
- 4) 시험편의 지름 또는 길이
- 5) 시험편의 두께
- 6) 시험편의 폭
- 7) 시험편의 특별형상
- 8) 시험온도
- 9) 시험분위기
- 10) 시험 기간(년 월)
- 11) 시험응력
- 12) 크리프 파단시간
- 13) 파단시의 변형률
- 14) 파단시의 단면수축률
- 15) 0.1% 변형률에서의 시간
- 16) 0.2% 변형률에서의 시간
- 17) 0.5% 변형률에서의 시간
- 18) 1.0% 변형률에서의 시간
- 19) 2.0% 변형률에서의 시간
- 20) 5.0% 변형률에서의 시간
- 21) 0.01 %/h에 상당하는 최소 크리프 속도에서의 응력
- 22) 0.001 %/h에 상당하는 최소 크리프 속도에서의 응력
- 23) 0.0001 %/h에 상당하는 최소 크리프 속도에서의 응력
- 24) 0.00001 %/h에 상당하는 최소 크리프 속도에서의 응력

- 25) 1시간에 파단되는 응력
- 26) 10시간에 파단되는 응력
- 27) 100시간에 파단되는 응력
- 28) 1000시간에 파단되는 응력
- 29) 10000시간에 파단되는 응력
- 30) 100000시간에 파단되는 응력

3. 국내·외 데이터베이스 구축 현황

가. 국내현황

< 발전설비 관련 >

1) 발전설비 재료분석 평가시스템

한국전력기술주식회사에서는 1996년에 발전설비 재료관련 정보를 제공하고 발전설비의 국내 자립화 기반의 틀을 마련하고자 발전설비 재료분석 평가시스템(Plant Materials Assessment System, PMAS)을 개발하였다. 국내 발전설비는 미국, 일본, 독일 등과 같은 여러 나라에서 제작한 관계로 여러 나라의 규격이 제 각각 사용되고 있으므로 PMAS의 개발로 인해 필요한 규격을 손쉽게 검색 및 조회할 수 있게 되었다. PMAS에는 종래 국내 발전설비에 주로 사용되던 한국규격(KS)을 포함한 미국규격(ASTM, ASME), 일본규격(JIS), 독일규격(DIN) 및 제작사 규격 등에 대한 이들 규격의 규격 번호, 등급번호, 기계적 성질, 화학성분, 물리적 성질 및 일반성질 등의 자료가 수록되어 있다. 또한 현재 운전중인 원자력 발전설비, 화력 발전설비 및 탈황설비에 대한 자료를 구축하여 여러 재료관련사항들을 검색하는 것이 가능해졌으며, 일부 자료는 그림으로 불러낼 수 있게 되어 있다. PMAS에서는 계통 및 기자재의 조건(온도, 압력, 분위기 등), 재료의 물성치, 부식성,

용접성 및 경제성 등을 찾아볼 수 있어서 발전설비를 설계·건설하거나 유지·보수하는데 요구되는 최적의 재료를 선정하는데 이용 가능하며 기 설계된 재료사양을 바꾸거나 대체재질을 선정하는데 이용 가능하다.

2) 보일러 정비지원 시스템

전력수요의 증가에 따라 신규 전원 개발이 요구되고 있으나 발전소 건설비의 상승과 투자재원의 부족, 입지, 환경 문제 등의 어려움으로 발전소의 장수명화가 필요하며 운전중인 발전소의 효과적인 설비관리 및 정비대책 수립이 매우 중요하다. 따라서 운전중인 화력발전소 설비의 노후화에 대비하고 전력수요의 급증에 따른 경제적인 발전소 운영을 위한 발전소 이용률 향상 방안을 위해 보일러에 대한 운전이력, 손상사례, 설계이론, 경험 및 노하우의 체계화에 의한 정비지원 전문가 시스템의 개발이 필요하다.

1997년 한국전력공사 전력연구원에서 개발한 보일러 정비지원 전문가 시스템은 보일러 사고사례를 유형별(설비별, 원인별, 재질별 사고사례 등)로 분류하여 사용자가 간단히 관련 분야의 손상해석을 할 수 있으며, 인공지능 기술을 활용하여 현장의 전문지식, 경험 및 노하우를 체계화하여 전산화하고, 설비의 손상원인 해석 및 보일러 정비이력 관리와 관련 도면 정보 검색 업무를 연계시킴으로써 현장의 정비업무를 효율적으로 수행할 수 있도록 구성되어 있다.

대상발전소: 울산화력 4,5,6호기 및 평택화력 1,2,3,4호기

대상설비: 보일러 계통의 주요설비(드럼, 헤더, 튜브 및 팬류)

3) Plant Utility Management System(PUMAS)

PUMAS는 화력발전소의 운영 및 보수를 관장하는 PUMAS/F와 방사선 피복관리, 방사선 폐기물 관리, 증기 발생시 튜브관리 기능 등의 원자력 발전소 특유의 기능을 더 추가한 원자력 발전소용 PUMAS/N이 있다. 이 두 개의 프로그램은 발전소 업무흐름을 나타내고 있는데, 그 중 PUMAS/F는

기술정보관리, 경상보수관리, 연차보수 공사관리, 자재관리, 이력관리 등의 업무를 수행한다.

4) International Database for Reactor Pressure Vessel Material(IDRPVM)

1995년 5월에 원자력 발전 수명관리 연구를 위한 발전소 기기 노화 관리 국제 데이터베이스(International Database on Nuclear Power Plant Lifetime Management; IDNPPLM) 소프트웨어를 IAEA IWG-LMNPP 주도로 개발하였으며 이 소프트웨어를 원전 수명관리 연구의 핵심 기기인 원자로압력용기에 시범 적용하기 위해 1996년 1월에 IDRPVM 프로그램을 개발하였다.

타국 동형 원자로압력용기의 재료 정보, 건전성 평가, 시험방법, 운전경험, 현 상태 등을 국내 원자력 발전의 원자로 압력용기 재료 물성치와 비료 분석함으로써 원자로압력용기 감시 시험, 수명평가 방법의 신뢰도 제고, 재료 건전성 및 잔존수명 예측에 활용할 목적으로 1996년 6월에 한국도 회원국으로 가입하였다. 현재 브라질, 이탈리아, 헝가리, 한국, 러시아, 스페인, 우크라이나, 영국, 미국 등 9개국이 회원으로 가입되어 있으며 프랑스가 회원 가입을 검토중이다.

IDRPVM은 경수로형, 가스냉각로형 원자로압력용기의 재료, 노화이력, 기계시험 및 분석결과 등에 대한 자료를 호기별, 감시시험 캡슐별로 구분하여 다음과 같은 자료들을 입력해야 한다. 캡슐 1개를 인출하여 시험하는 경우에 일반적으로 인장시험 5회, 샤르피충격시험 30회, 파괴인성시험 10회, 경도시험 40회 정도를 실시하므로 캡슐당 시험결과 자료는 분석 자료를 합하여 약 2,300개에 달하고 있다. 입력된 자료들에는 공개, 비공개 자료가 구분되어 있으며 비공개 자료를 열람하기 위해서는 상대국의 허락을 얻어야 한다.

국내 경수로형 원자로압력용기의 감시시험은 매년 원자력 발전처의 발주로 원자력연구소 비파괴 팀에서 수행하여 왔다. 한국전력에서는 원자력연

구소의 시험결과를 규제기관에 제출하고 원자로압력용기의 안전성에 대한 인·허가 검토를 받는다. 그러나 국내에서는 아직 원자로 압력용기 재료 특성에 대한 데이터베이스가 구축되어 있지 않은 형편이다.

지금까지 총 23개의 감시시험편 캡슐을 연차보수공사 기간에 인출하여 시험하였으며 시험결과 보고서는 원자력 발전처와 개별 발전소에서 관리하고 있다. 감시시험 캡슐당 시험결과 자료가 약 2,300개가 필요하므로 지금까지 국내에서 수행한 감시시험 결과 전체에 대하여는 약 57,000개의 자료를 조사, 입력하여야 한다. 입력된 데이터 베이스는 한국전력과 원자력연구소가 공유하고 국내 자료의 데이터베이스 초안은 1997년 7월까지 완료하였으며, 상호신뢰도 검토를 거친 후 1997년 12월에 IAEA측에 제출하였다.

Material Identification

- Material code, type(13)
- Chemical composition(40)
- Utility data(23)
- Technology(40)
- Welding(30)

Aging History

- Irradiation History(37)
- Thermal Aging(19)
- Mechanical Testing
- Tension test(31)
- Charpy testing(27)
- Static fracture testing(35)
- Dynamic fracture testing(33)
- Hardness testing(29)

Evaluated Data

- Curve fit on fracture toughness data(22)

-Charpy transition temperature and constant of the fitting curve(33)

References

-References

-Related documents

Visual Data

-Metallography, TIF file(15)

-Spectra, flux distribution, instrumented impact tensile, static fracture, J-curves, etc. in scanned picture(if available)

-Spectra, flux distribution, instrumented impact tensile, static fracture, J-curves, etc. in digitalized form(if available)

데이터베이스용 전산프로그램은 기술관리 회원국(Custodian)인 헝가리에 의해 개발되어졌으며 IAEA의 검토를 거쳐 회원국에 배부되었다. 전산프로그램은 Windows용 BolandBASE를 이용하여 개발되었으며 사용자 편의성을 높여 사용하기 쉽게 만들어졌다. 입력파일을 통해 자료를 데이터베이스에 입력할 수 있고, 금속표면 사진이나 그래프 등은 Scanner로 읽은 화상파일을 입력, 저장하고 검색할 수 있다.

IAEA는 회원국에서 제공하는 데이터베이스와 소프트웨어에 대한 운영 및 보안을 책임지고 있으며, 모든 자료는 해당 자료의 소유권이 있는 회원국의 서면 동의 없이는 타국에 제공할 수 없으며, 회원국간에는 타국의 자료를 열람하기를 원하는 경우에는 IAEA를 통하여 자료열람을 요청할 수 있다. 배분된 소프트웨어는 회원국 내부 기관들과의 자료입력 업무협조를 위하여 공유할 수 있도록 되어 있다.

<정유공장 및 석유화학 플랜트 분야>

미국, 일본 등과 같은 선진국의 주요 정유회사들은 자체적으로 개발한 부식관리 프로그램을 전산화하는 작업이 진행중이거나 일부 완성, 실용단계에 있으나 국내에서는 아직 그 관심과 노력이 부족한 것으로 확인되고 있다.

국내 최대의 정유회사인 (주)SK에서도 일부 주요 공정에서는 부분적으로 외국에서 개발된 부식관리 프로그램을 도입 사용하고 있을 뿐, 정유공정 전반에 걸친 효율적인 부식 관리는 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 예를 들면, 부식문제가 발생된 후에서야 해결책을 찾기 시작하므로 인해 부품 교체와 같은 조치가 적기에 이루어지지 못하고 있다. 따라서 국내 정유산업 현장에서 설비 부식관리를 가능케 할 뿐 아니라 가동일수 증대를 통한 생산 효율 증대에 이바지하므로써 국내 석유사업의 국제 경쟁력 확보에 기여 할 수 있는 부식관리 프로그램의 개발에 대한 필요성은 정유회사에서도 느끼고 있으나, 그 작업이 매우 방대하고 시간소요가 많기 때문에 아직까지 시도되지 못하고 있는 실정이다.

국내의 경우 정유설비의 부식에 대한 공개된 자료는 거의 찾아 볼 수 없었다. 한국 건설방식기술연구소에서 발간한 부식방식 데이터 북에 일부 정유설비의 부식 관련자료가 수록되어 있으나, 매우 부족한 실정이다.

국내 대부분의 석유화학 플랜트에서는 재료물성 데이터 및 파손사례에 대한 자료의 구축이 필요하다는데는 의견의 일치를 보고 있으나 아직 이 분야에 대한 투자에는 인색한 편이다. 그리고 파손사례의 경우도 각 플랜트별로 자료는 가지고 있으나 공개를 꺼리고 있는 실정이다.

<기타 분야>

지금까지 많은 피로강도 데이터가 여러 매체를 통해 발표되어 왔으나 설계자들이 이를 사용하는데는 어려움이 있었다. 한국과학기술원의 송지호 교수팀에서는 1993년에 여러곳에 산재되어 있는 재료성질과 피로성질에 관한 정보를 수집하여 피로강도 데이터베이스 시스템을 개발하였다. 이 데이터베이스 시스템은 퍼스널 컴퓨터 상에서 재료성질 및 피로강도에 관한 데이터베이스를 구축하고 이를 활용하여 피로강도에 관한 새로운 정보를 얻어 볼 수 있다. 이 데이터베이스에는 피로균열 발생수명 데이터, 피로균열진전 속도 데이터와 파괴인성 데이터가 구축되어 있다.

피로강도 데이터베이스는 일본재료학회가 발간한 데이터 북으로부터 고주

기 균열발생데이터, 피로균열 진전속도 데이터, 금속부식관련 데이터 등과 일본기계학회가 발간한 데이터 북으로부터의 저주기 균열발생 데이터 및 각종 논문 등에 산재해 있는 파괴인성 데이터를 수집하여 구축된 것이다. 이 데이터베이스에는 고주기 피로균열발생 데이터가 3,018 곡선, 저주기 피로균열발생 데이터가 311 곡선 피로균열 진전속도 데이터가 809 곡선, 파괴인성 데이터가 280개, 금속부식관련 데이터가 1,060 곡선 등이 수집되어 있다.

국내 가스관련 산업설비 분야에서는 가스관련 공장이나 한국가스공사 등에서 각 기관별로 재료물성 데이터를 보유하고 있으나 아직까지 체계화된 데이터베이스 시스템이 개발되어 있지 않은 상황이다. 그 이유는 다른 산업설비에 비해 그 동안 규모가 작았기 때문이었던 것 같다. 그러나 몇 년 전부터 가스 관련 산업이 크게 성장되었으며, 이로 인해 관련산업설비의 재료물성 데이터베이스에 대한 필요성이 크게 대두되고 있다. 그 중에서 한국가스공사 LNG 설비기술연구센터에서는 우리 나라에서 사용되고 있는 천연가스 주배관강으로 주로 사용되는 고장력강, 즉 APIOL X65와 APIOL X42 소재에 대한 인장, 경도, 충격, 파괴인성, 피로 등의 재료물성 데이터를 보유하고 있으며 1998년 말까지는 LNG 저장탱크 소재로 사용되는 초저온 재료의 재료물성 데이터를 확보할 예정이라고 한다.

나. 국외 현황

<발전설비 분야>

전문가시스템을 원자력 발전에 적용하기 위한 연구는 1980년대에 들어 미국, 일본, 프랑스 등에서 활발히 진행되어 오고 있다. 미국은 EPRI를 중심으로 관련업체에서 연구가 활발히 진행되고 있고, 일본은 전력회사 및 도시바, 미쓰비시, 히다치 등의 원전설비 제작업체에서 적극 개발에 나서고 있으며, 프랑스에서는 EDF, Frammatome 등을 중심으로 연구 개발되고 있다. 현재 개발되고 있는 원자력 발전용 전문가시스템은 주로 사고진단 및 처방 분야, 발전소 보수분야, 운전원의사결정 지원분야, 핵연료 재배치분야 등이

다. 그러나 지금까지 개발된 시스템의 대부분이 시제품(prototype)으로 모의 장치에 도입하여 성능을 검증, 보완하고 있는 상황으로 실제로 원자력 발전에 사용되고 있지는 않으나, 빠른 시일 내에 실용화될 전망이다.

1) 미국

미국은 전력연구소(EPRI)를 중심으로 전력회사가 자금을 출자, 원자력과 화력으로 구분하여 1984년부터 전문가시스템을 개발하고 있다. 원자력의 경우 운전 지원(Operator support)분야를 선정하여 비상조치등급 분류시스템과 비상운전절차 안내시스템이 개발되어 인디언 포인트 2호기(1991년)와 대만 고생(1992년) 발전소에 설치운전중에 있다.

화력의 경우는 발전소 성능(Plant Performance)분야를 선정하여 설비진단, 발전소 감시제어, 보수 및 고장진단에 대한 전문가시스템을 개발하고 있다. 전력연구소는 현재 6개의 화력분야 전문가시스템 개발 프로젝트를 수행하고 있으며, 대부분은 오프라인으로 개발 중에 있으며, 향후 시험 운전 후에 효과가 입증되면 발전소 제어실에 설치, 실시간으로 운영할 계획을 수립하고 있다.

6개의 화력분야 전문가시스템은 다음과 같다.

- 보일러 튜브 고장진단 시스템
- 발전기 감시 시스템
- 터빈 감시 시스템
- 열소비율 저하 시스템
- 복수기/급수가열시 시스템
- 발전소 개조 시스템

전력연구소는 전문가시스템 기술을 이용하여 현재 화력 발전소가 봉착하고 있는 성능 향상 문제를 상당부분 해결할 수 있을 것으로 예상하고 있으며, 여러 분야로의 전문가시스템을 확장하기 위해 전문적인 지식 취득 프로그램 개발 및 검증기술을 개발하고 있어 활용분야 및 개발제품의 수는 계속 증가할 것으로 예상된다.

2) 일본

일본은 기기제작사를 중심으로 전문가시스템을 개발하고 있으며, 적용분야는 Table 4-2-1과 같이 운전, 보수 및 업무분야에 한정하여 개발하고 있다. 일부 실용화에 성공한 전문가시스템이 발전소에 설치, 운영되고 있으며, 현황은 다음과 같다.

北陸전력에서 개발한 “회전기기 진동진단 시스템”은 富山화력발전소에 설치 운전 중에 있으며, 후지에서 개발한 “터빈 운전신뢰성 예측시스템”은 能代화력발전소에서 시운전 중에 있다. 또한, 미쯔비시와 도시바가 공동으로 개발한 “화력보수지원 시스템”이 중부전력에서 시험 가동 중에 있다. 일본에서 개발되는 시스템은 실용성에 초점을 맞춰 시스템의 크기가 중소형이라는 데 특징이 있다.

<정유공장 및 석유 화학 플랜트>

미국, 일본 등과 같은 선진국의 주요 정유회사들은 자체적으로 개발한 부식관리 프로그램을 전산화하는 작업이 진행중이거나 일부 완성, 실용단계에 있으나, 선진국의 주요 정유회사들이 장시간 그리고 막대한 비용을 투입하여 자체적으로 개발한 부식관리 프로그램들은 내부적으로만 활용할 뿐 대외적으로 개방하기를 꺼려하고 있다.

미국의 부식학회(NACE), 미국 석유협회(API), 금속학회(ASM), 그리고 부식자문기관인 CLI 및 INTERCorr 등의 기관에서 제공하는 주요 자료들은 다음과 같다.

1) REFIN · COR 2.0 by NACE

1957년부터 1994년까지 세계 주요 정유공장들의 부식엔지니어들이 경험한 여러 가지 부식문제와 해결책을 담고 있다. NACE Committee T-8 “Refining Industry Corrosion”에서 수집한 방대한 database를 바탕으로 만든 software로 단어나 문장을 입력하면 다음과 같은 자료를 제시한다.

- 정유장비나 piping에 적당한 재료 선택

- Cladding, weld overlay, 코팅, 음극방식 시스템
- 부식방지제, 중화제, antifoulant 등
- 장치의 예기치 않은 파손방지 및 주기적인 보수관리 기간의 연장

2) PC*MR0175 Package by NACE: Sulfide stress Cracking Resistant
Metallic Materials for Oilfield
Equipment

석유생산, drilling, gathering과 flowline장비, field processing 장비 등 H₂S 분위기에서 hydrocarbon을 다루는 경우에 문제가 되는 sulfide stress cracking에 저항성 있는 재료에 대한 software이다.

3) Predict by CLI international

정유 및 석유화학 공장에서 일어나는 다양한 부식환경을 평가, 진단해서 각종 carbon steel의 부식률을 예측할 수 있는 software로 재료선택을 도와 준다.

4) Socrates by CLI international

석유, 가스공장의 부식을 분석해서 내부식성 합금을 선택하는 프로그램으로, 현재 전세계에 걸쳐 약 40여개의 주요 석유회사, 자재공급회사등에서 사용하고 있다.

5) Strategy-A&trade by CLI international

Sour pipeline용 각종 강재의 선택을 도와주는 프로그램이다. 특히 HIC(Hydrogen Induced Cracking), SSC (Sulfide Stress Cracking), SOHIC(Stress-Oriented Hydrogen Induced Cracking)에 견딜 수 있는 재료의 요구조건들과 carbon steel에 대한 정보를 제공한다.

6) Strategy-BTM by CLI international

Strategy-A&trade와 같이 HIS, SSC, SOHIC의 방지책으로 wet H₂s정유 공정에서의 용접부위와 각종 steel의 평가, 선택을 도와주는 프로그램이다.

7) Socrates B by CLI international

앞의 Socrates의 자매 프로그램으로 non-production환경에서의 내부식성 합금선택에 대한 정보를 제공한다.

8) GeneraTM by CLI international

정유 및 석유 화학공장의 재료, 부식, 파손원인 분석 등에 대한 포괄적인 프로그램이다.

< 기타 분야 >

특수한 극한 환경에서 사용되는 원자력용 재료의 제 문제의 해결이나 탐사, 개발을 효율적으로 하는데는 대규모적 재료 데이터 베이스가 필요하다. 그 때문에 일본의 금속재료기술 연구소, 원자력 연구소, 동력로 핵연료 개발사업단 등 3기관이 공동으로 각각 우수분야의 연구 성과를 데이터베이스화하고, 그것들을 네트워크를 사이에 두고 상호 이용할 수 있는 “데이터 프리웨이(data freeway)”라고 칭하는 분산형 재료 데이터베이스의 구축을 진행하고 있다. 개발에 참가하고 있는 기관은 시스템 개발을 맡고 있는 3기관과 계량 연구소, 선박 연구소, 일본 과학 기술정보 센터(JICST) 등을 합한 총 6기관이다. 각 기관에서 단편적인 데이터를 생산하고 있으나 6기관의 데이터를 통합하면 특정의 재료나 특성에 관한 더 많은 지식의 획득이 가능하다. 구축되어 있는 데이터 내용을 포함하여 시스템의 개요와 기능은 다음과 같다.

Ni계 합금의 제조 방법, 화학 조성, 기초물성, 기계적 특성, 조사 등의 원자력용 재료 특유의 파라미터를 기술할 수 있는 데이터 구조로 되어 있다. 데이터 프리웨이는 3계층 구조로 만들어져 있다. 첫 번째 층은 소재, 시험편, 시험조건, 결과 등의 6종류의 테이블로 되어 있고 두 번째 층은 소재 제조방법, 시험장치, 시험분위기 등의 약 60종류의 데이터 테이블로 되어 있다. 세 번째 층은 소재제조기관명, 조사량, 부식량, 충격치 등의 약 800 가지의 데이터 항목으로 구성되어 있으며 조직 사진 등의 화상 데이터도 다룰 수 있다.

현재는 300 종류이상의 재료에 관하여 약 7700 시험편 정도의 데이터 양

Table 4-2-1 일본의 전문가시스템 적용분야

구분	적용분야	지원내용
운전	고효율 운전지원 운용성 향상지원 설비 이상 진단 이상시 운전지원	운전상태 감시 상태추이 예측 이상원인 해석 운전이상 진단 운전원 교육 자동 제어
보수	예방보전 지원 설비열화 진단 사고시 조치지원 조기복구 지원	설비상황 파악 설비열화 예측 사고원인 해석 설비열화 진단 복구 조치해석 보수원 교육 자동보수
업무	관리지원 성능 관리 설비 관리 발전소 업무지원	업무문제 해결 관리자 교육 자동관리 업무 자동화

이 구축되어 있다. 그러나, 향후 금속재료기술 연구소는 기초 재료 특성과 이온 조사 특성, 원자력 연구소는 환경고속 중성자 조사 특성, 계량 연구소는 열 물성, 선박 연구소는 차폐재 특성에 대한 데이터를 증대시킬 예정이며, JICST는 공개된 재료 특성의 데이터 수집을 담당하고 시스템 전체의 데이터를 증대시킬 예정이다.

4. 저합금내열강의 물성데이터 조사.수집

본 연구에서는 “정유설비 재료의 부식관리 데이터베이스”를 구축하기 위한 첫 단계로서, 먼저 정유공장에서 일어나는 각종 부식물질에 의한 부식의 종류와 특징을 조사하였다. 그리고 원유의 정유공정을 조사하였고, 공정별 부식환경을 분석하여 부식을 일으키는 환경과 주된 부식물질을 분석하였다. 특히 최근 원유의 고부가화를 위해 도입된 중질유 분해공정인 HOU(Heavy Oil Upgrading)와 FCC(Fluid Catalytic Cracking)도 포함시켰다.

원유 정유공장에서 주요한 부식물질들을 열거하면 다음과 같다. 즉 원유, naphthenic acid, $MgCl_2$, S, HCl, H_2S , NH_3 , H_2 , HF, SO_2 , CO_2 , H_2SO_4 , HCN이다. 그리고 정유공정에서 부식이 가장 문제가 되는 곳은 상압 증류시설의 overhead system이었으며, 이곳에서 부식을 일으키는 주된 물질은 원유 (crude oil), HCl, H_2S 그리고 NH_3 등이었다. 따라서 우선 이들 부식물질에 대한 부식자료를 중심으로 수집하여 정리하였고, 나머지에 대해서도 일부 포함시켰다.

대부분의 부식데이터는 그래프형태였으며 추후 자료들의 데이터베이스 구축을 위해서 각각의 데이터를 일반사항 (데이터 채취자, 공정명, 장치 등), 재료에 관한 정보 (재질, 성분, 제품의 형태, 제조방법, 열처리 조건 등), 환경조건에 관한 정보 (액명, 성분, 농도, pH, 온도, 압력, 유속) 그리고 시험결과에 대한 정보 (부식속도, 부식형태, 중량변화, 침투깊이, 그래프명)등으로 분류한 source 데이터의 입력양식을 설정해 보았다.

부식데이터의 종류는 그래프 형태가 가장 많이 사용되고 있었다. 한 개의 그래프에는 보통 여러 재료와 여러 부식환경에 대한 부식속도 (mpy: mils per year)를 함께 실고 있었다. 그래프 데이터의 장점은 부식속도의 경향을 한 눈에 볼 수 있다는 점이다. 예를 들면 HCl의 농도에 따른 재료 A, B, C의 부식속도에 대한 그래프 데이터는 다른 재료와의 비교는 물론이고, 농도에 따른 부식경향을 전체적으로 파악할 수 있어서 매우 선호하는 양식

임을 알 수 있었다.

가. 정유공장에서 일어나는 부식

본 절에서는 정유공장의 설비재료에 사용되고 있는 각종 금속재료의 종류와 선택시 고려해야 할 주요 기계적 물성들을 먼저 살펴보고, 그리고 본 연구에 관련된 부식의 형태와 특징들을 부식을 야기시키는 물질의 종류에 따라서 알아보기로 한다.

< 재료 선택 >

적절한 재료선택은 정유공장의 가동성, 경제성 및 정유시설의 신뢰성의 향상에 직결되므로, 재료의 선택에 유의할 사항은 다음과 같다.

첫째로 재료는 신뢰성이 있어야 한다. 재료의 신뢰성은 재료가 다양한 조건하에서 사용될 때 사용자가 그 성능과 수명을 쉽게 예측 할 수 있는 경우에 가능한 것이다. 이런 관점에서 가장 이상적인 재료라 함은 재료가 파단되기 전에 어떤 종류의 경고를 나타낼 수 있는 재료가 될 것이다. 따라서 취성파괴 또는 SCC와 같이 아무런 사전 징후없이 급작스럽게 파괴되는 재료는 사용을 금해야 한다.

둘째로 부식뿐 아니라 재료의 기계적 특성에 미치는 환경의 영향도 재료 선택시 고려해야 할 사항이다. 환경에 의해서 연성재료가 대단한 취성의 재료로 바뀌어서 특별한 경고 없이 재료가 파단될 수 있기 때문이다. 또한 적합한 재료라 함은 공정이 가동중일 때 뿐 아니라 폐쇄기간 중에 조성되는 대기접촉 환경에서도 대응할 수 있는 것이어야 한다.

셋째로 고려해야 할 점은 정유공장에 화재가 발생한 경우이다. 금속재료는 급작스럽게 고온에 노출되면 기계적 특성뿐만 아니라 여러 가지 나쁜 부작용이 발생하게 된다. 그리고 화재 진압을 하기 위해서 방화수를 분사했을 때 특히 높은 가연성의 탄화수소 stream을 취급하는 정유배관 및 설비는 열충격에 의한 손상을 많이 받게 된다. 따라서 열 충격에 의한 손상을 받기 쉽거나 또는 저융점을 가진 재료의 사용은 그 한계가 있다.

마지막으로 고려해야 할 사항은 선택하려는 재료의 부식제어 기술에 대한

신뢰성이다. 여기에서는 공장의 가동, 폐쇄기간, 대기기간 및 비상사태 동안에 일어날 수 있는 모든 가능성을 고려해서 신뢰성 있는 서비스를 제공할 수 있어야 한다.

1) 주요재료

정유공장 뿐 아니라 석유화학 장치에 사용되는 수많은 철합금과 비철합금에 대한 재료선택 기준을 제시하였으며, 주요재료는 다음과 같다. 특정 합금계의 부식특성에 대한 자세한 정보는 ASM Handbook 13권 내의 'Corrosion of Specific Alloy Systems' 항목을 이용하면 된다.

- ① 탄소강과 저합금강, ② 스테인리스강, ③ 주철, ④ 구리와 알루미늄 합금, ⑤ 니켈 합금, ⑥ 타이타늄

2) 코드와 표준명세서

압력용기, 배관 그리고 탱크의 설계, 조립과 검사에 대한 규칙은 코드에 의해서 제공되는데, 이는 Table 4-2-1에 나타낸 바와 같이 여러 나라에서 산업 또는 규정기관에 의해 개발된 것이다. 공장건설을 위한 재료선택에 있어서 첫번째 단계는 코드가 담당할 수 있는 재료와 그렇지 않는 것을 확실히 알아야 하는 것이다.

ANSI/ASME의 보일러와 압력용기코드는 적합한 강과 사용 가능한 응력치에 대한 목록도 제공하고 있다. 이러한 강에 대한 자세한 명세서는 ASTM표준명세서 Table 4-2-2 에 근거를 둔 Section II A와 II B에 제공되어 있다.

코드는 설계온도와 압력에 근거하여 여러 부품에 요구되는 최소 두께를 계산하는 데 사용된다. 또한 조립시 열처리의 필요성과 검사 요구사항은 합금선택과 압력용기의 벽두께를 근거로 하여 정의하고 있다. 용접한 압력용기에 대해서는, 코드 Section IX에서 사용된 용접공정의 적합성에 대한 필요조건을 참고하면 된다.

Table 4-2-2 Construction codes for refinery process equipment

Country	Issuing organization	Source document(s)
Pressure Vessels		
United States	American Society of Mechanical Engineers/ American National Standards Institute	Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII
Great Britain	British Standards Institution	BS 1515: Fusion Welded Pressure Vessel for use in the Chemical, Petroleum and Allied Industries BS 5500: Unfired Fusion Welded Pressure Vessels A.D. Merkblätter
Germany	Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter (published by Carl Heymans Verlag KG)	
Italy	Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione	ANCC Code
Netherlands	Dienst voor Stoomwezen	Regels Voor Toestellen (Rules for Pressure Vessels)
Sweden	Tryckkarlskommissionen (Swedish Pressure Vessel Commission)	Swedish Pressure Vessel Code
Piping		
United States	American Society of Mechanical Engineers/ American National Standards Institute	B31.3 Code for Pressure Piping
Great Britain	British Standards Institution	BS 3351: Piping Systems for Petroleum Refineries and Petrochemical Plants
Tanks		
United States	American Petroleum Institute	API 620: Recommended Rules for Design and Construction of Large Welded Low Pressure Storage Tanks API 650: Welded Steel Tanks for Oil Storage
Great Britain	British Standards Institution	BS 2654: Vertical Steel Welded Storage Tanks for the Petroleum Industry

Table 4-2-3 ASTM standard specifications for refinery steels

Material	Pipes and tubes	Plates	Castings	Forgings
Carbon steel	A53, A106, A120, A134, A135, A139, A178, A179, A192, A210, A211, A214, A226, A333, A334, A369, A381(a), A524, A587, A671, A672, A691	A283, A285, A299, A442, A455, A515, A516, A537, A570, A573(a)	A27(a), A216, A352	A105, A181, A234, A268, A350, A372, A420, A508, A541
C-0.5Mo steel	A161(a), A209, A250, A335, A369, A426, A672, A691	A204, A302, A517, A533	A217, A352, A487	A182, A234, A336, A508, A541
1Cr-0.5Mo steel	A213, A335, A369, A426, A691	A387, A517	...	A182, A234, A336
1.25Cr-0.5Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426, A691	A387, A389(a), A517	A217, A389(a)	A182, A234, A336, A541
2Cr-0.5Mo steel	A199, A200(a), A213, A369
2.25Cr-1Mo steel	A199, A213, A335, A369, A426, A691	A387, A542	A217, A487	A182, A234, A336, A541, A542
3Cr-1Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426, A691	A387	...	A182, A336
5Cr-0.5Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426, A691	A387	A217	A182, A234, A336
7Cr-0.5Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426	A387	...	A182, A234
9Cr-1Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426	A387	A217	A182, A234, A336
Ferritic, martensitic, and austenitic stainless steel	A213, A249, A268, A269, A271(a), A312, A358, A376, A409, A430, A451, A452, A511(a)	A167, A176(a), A240, A412, A457	A297(a), A351, A447(a)	A182, A336, A403, A473(a)

(A) These specifications are not approved by either the ANS/ASME Boiler and Pressure Vessel Code or by the ANS/ASME Code for Pressure Piping B31.3.

3) 기계적 특성

주요 기계적 성질에 대한 항목은 다음과 같다.

- ① 고온 특성, ② 경도, ③ 피로강도, ④ 저온특성, ⑤ 취화현상

4) 조립가능성

몇몇 예외를 제외하고는 공정장치와 배관은 대개 연강을 용접하여 조립해서 만든다. 압력용기의 셸은 주로 압연판재로 만드는 반면, 노즐은 단조하여 만든다. 이와 같은 경우 강은 성형되기에 충분한 연성과 쉽게 용접할 수 있는 특성을 가져야 한다. 강의 용접성은 초기 조립뿐만 아니라, 차후에 현장에서 수리 또는 개량에도 중요하다. 용접수리와 용접후 열처리 는 소둔되었거나, 소입 소려된 부품의 기계적 성질에 영향을 미친다. 용접은 다른 문제들을 초래할 수 있다. 용융용접 금속내에 분해되어 들어간 수소는 용접취성 뿐만 아니라, 응고 중에 균열을 발생시킬 수 있다.

5) 내부식성 (Corrosion Resistance)

장치물 제작 재료가 결정되면 그 장치물이 작동되는 환경 하에서의 부식 문제를 고려해서 설계해야 된다. 부식이 균일하게 일어나는 가장 간단한 부식형태에서는 부식률 자료에 의해서 부식여유를 감안해서 장치설계를 할 수 있으므로 비교적 용이한 편이다. 또한 부식이 국부적으로 발생하는 공식(pitting) 부식의 경우에도 공식 여유를 주면 된다. 그러나 SCC는 재료의 노화중 가장 위험한 형태이므로 특별한 주의가 요구된다. 왜냐하면 SCC는 장비의 완전한 파손을 유발하므로 막대한 피해를 가져오기 때문이다. 또한 SCC는 사전 징후를 감지하기 어렵기 때문에 SCC가 일어날 수 있는 가능성이 있는 재료는 피하는 것이 좋다.

< 저온부식과 고온부식 >

정유공장 설비의 부식은 사용 온도범위에 따라서 저온부식과 고온부식으

로 나눌 수 있다. 저온부식은 물이 존재하는 분위기에서 대략 260°C (500°F) 이하에서 일어나는 부식을 말한다. 고온부식은 260°C (500°F) 이상의 온도에서 일어난다. 고온부식은 금속과 부식물질이 직접 반응할 수 있기 때문에 물이 꼭 있어야하는 것은 아니다.

1) 저온부식

정유공장에서 일어나는 부식은 대부분이 정유되는 원유에서 야기되는 것이 아니라 물, hydrogen sulfide, hydrogen chloride, hydrofluoric acid, sulfuric acid와 caustic과 같은 다양한 inorganic화합물에 의해서 일어난다.

2) 원유 오염에 의한 저온부식

저온부식의 주된 부식원인으로는 원유의 오염을 들 수 있다. 원유오염은 또한 정제과정에서 고온부식의 원인을 제공하기도 한다. 원유내 오염물질은 전처리 공정에서 일부 제거되기도 하지만, 정유탱크에 보내지는 수송과정에서 수송관 pipeline의 부식에 의해 또 다른 오염물질이 유입되기도 한다. 대부분의 경우 실제 부식성이 강한 물질은 정유공정의 초기 단계에서 발생된다. 원유내의 오염물질들은 각기 그 역할이 다르며, 부식에 중요한 역할을 하는 각종 물질들은 다음과 같다.

① 공기, ② 물, ③ Hydrogen Sulfide, ④ Hydrogen Chloride, ⑤ Nitrogen Compounds, ⑥ 산성물 (Sour Water), ⑦ Polythionic Acids

3) 원유 처리 과정에서의 저온 부식

이것은 원유 처리과정에서 투입되는 여러 가지 화학물질에 의해서 발생하는 것이다. 예를 들면 reformer 촉매에서 제거된 hydrogen chloride 외 역설적으로 산에 의한 부식을 억제하기 위해서 첨가되는 caustic과 중화제등이 있다. 특히 부식 억제 첨가제로 많이 사용되는 filming-amine은 뜨거운 증기 상태의 탄화수소 steam에 희석하지 않고 투입하는 경우, 심각한 부식을 발생시킨다.

- ① Organic Chlorides, ② Hydrogen Fluoride, ③ Sulfuric Acid, ④ Caustic, ⑤ Amines

4) 고온부식

고온에서의 공정은 일반적으로 고압인 경우도 많아서 한 장비의 파손은 심각한 연쇄반응을 일으키게 되기 때문에 정유공장에서의 고온 부식은 매우 중요하게 다루어지고 있다. 고온부식을 야기시키는 주 원인인 원유에서 발생하는 sulfide에 의한 다양한 형태의 부식과 그 mechanism에 대한 연구가 많이 진행되어 sulfide 부식을 데이터로 인해 장비 수명을 비교적 정확히 예측할 수 있게 되었다.

- ① Sulfidic Corrosion, ② 수소가 없는 경우의 sulfidic corrosion, ③ 수소가 존재하는 경우의 sulfidic부식, ④ Naphthenic산

<응력부식균열 (SCC: Stress Corrosion Cracking) 과 취화>

각종 제조 공정 부품에서 발생하는 파괴 중 가장 큰 피해를 주는 형태로는 응력 부식 균열과 환경 취화를 들 수 있다. 왜냐하면 이들에 의한 파괴는 재료의 어떤 파괴 징조도 없이 급작스럽게 발생하기 때문이다. 즉 각종 부재에 뚜렷한 항복 현상이나 bulging이 나타나지 않으며 금속의 중량감소가 없고, 또 loss를 측정하는 것 또한 불가능하다. 균열을 야기하는 환경에 노출되었을 경우 1~2시간 안에 재료 두께를 관통하여 균열이 발생된다. 또한 고온에서 수소 attack이 발생하면 압력용기의 갑작스런 파괴가 초래될 수 있다.

1) Stress-Corrosion Cracking

금속재료의 수소 취성 균열은 금속이 다음의 5가지의 환경에 노출되었을 때 발생한다.

- (1) Chlorides(염화물) (2) Caustic(가성소다) (3) Ammonia(암모니아) (4)

Amines(아민) (5) Polythionic acid(폴리티온산)

SCC의 발생 기구에 대한 사항은 “Forms of Corrosion in the Petrochemical Industry” 의 “Environmentally Induced Cracking” 이 유용한 참고 자료이다. SCC 감수성 시험은 “Corrosion in Petroleum Production Operations” 의 “Corrosion Control Methods” 를 참고할 수 있다.

2) 수소에 의한 손상 (Hydrogen Damage)

산성 황화수소 용액이나 산성수에 의해 야기되는 탄소강이나 저합금강의 부식은 hydrogen damage의 일종이다. 이 경우의 문제점은 연성의 저하(수소 취성), 블리스터나 내부 공동의 형성(수소 블리스터) 및 고강도강의 균열(수소 균열)등이다.

액상의 황화수소 용액은 청화물이 존재하면 수소 취성을 야기하게 된다. 청화물이 없을 경우, pH값이 8 이상일 때에는 철강재료가 부식되지 않는 데 그 이유는 철강재료 표면에 FeS의 보호 피막이 형성되기 때문이다. 청화물은 이러한 보호 피막을 파괴하여 가용성의 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 철 청화물을 생성하게 된다. 그 결과 철강재료는 급속하게 부식된다. 실제적으로 부식도는 주로 HS^- 의 농도에 의존하며, 속도는 늦지만 CN^- 의 농도에도 의존한다. HS^- 의 농도가 더 높으면 보호성 철 황화물 피막을 파괴하는 데에 더 많은 청화물이 필요하게 된다. pH값 8 이상의 암모니아/황화물/청화물 용액 중에서의 철강재료의 부식에는 항상 수소취성이 관련되고 있음이 실험적으로 검증되고 있다.

① 수소취성 (Hydrogen Embrittlement), ② 수소 블리스터링 (Hydrogen Blistering), ③ Hydrogen Stress Cracking (수소응력균열)

3) Hydrogen Attack

수소 attack은 금속의 조직 중에서 몇 가지의 형태로 나타날 수 있다. 그것은 attack의 정도와 응력과 강종의 개재물의 존재에 달려 있다. 일반적으로 표면에서의 attack은 응력을 받지 않은 상태에서 높은 온도와 압력에서

수소에 노출될 때 발생한다. 수소 attack은 높은 응력이나 강중의 응력집중 부에서 시작된다. 왜냐하면 수소 원자는 이러한 곳에 확산되기 쉽기 때문이다. 수소 attack은 필렛용접의 끝에서 시작되고 용접의 HAZ를 따라 성장한 피로 균열부에 집중되는 경우가 많다. 이런 경우에 수소를 포함하는 공정의 흐름은 분명하게 피로균열에 들어가서 균열의 선단 주위에 미세균열이 발생한다.

4) Corrosion Fatigue (부식 피로)

반복 응력과 더불어 부식환경이 부가되면 금속의 피로 수명은 현저하게 감소된다. 이러한 상황에서의 파손이 부식 피로이다. 회전 장비, 밸브, 그리고 정제와 석유화학공장에서 파이프에는 부식 피로가 발생하기 쉽다. 특히 펌프 손잡이와 여러 가지의 스프링강은 부식 피로가 발생되기 쉽다.

5) Liquid Metal Embrittlement (액화 금속 취화)

액화 금속 취화는 50년 이상 연구되어 왔음에도 불구하고 수소 취화 혹은 응력 부식 균열에 비해 중요성이 인식되지 못하고 있다. 이것은 정제와 석유화학 공장에서 발생하는 액화 금속 취화의 가능성이 다소 적기 때문이다. 액화 금속 취화는 연구 계기는 오스테나이트계 스테인레스강의 Zn취화에 기인하는 것이다.

< Erosion-Corrosion >

정유설비들은 탄화수소물의 흐름이 비정상적일 때 금속 재료들이 급속히 소실되는 경우도 있다. Erosion-corrosion이라 불리는 이와 같은 현상은 전기화학적인 부식현상과 탄화수소물의 흐름속도에 의한 역학적인 요인이 결합된 것이다. Erosion-corrosion에 의해 손상된 금속의 표면은 역학적인 요인에 의해서 보통 파도 모양의 흔적을 남긴다. Erosion-corrosion은 적절한 설계와 재료선택으로 줄일 수 있다. 예를 들면 배관의 굽힘 부위를 완화해 주거나 배관의 지름을 크게 해 줌으로써 유속의 충격을 경감시키는 것이다.

1) Cavitation

이것은 pump의 impeller나 hydrolic turbine내부에서 흔히 보이는 손상이다. Cavitation 은 고압이 걸리는 부위에서 gas방울의 충격에 의해서 일어나며, 그 결과 금속 표면에 pit가 형성되어 거칠어진다. 일반적으로 주조 합금은 로트 합금보다 cavitation손상이 잘 일어난다. 연성이 좋은 로트 오스테나이트계 스테인리스강은 cavitation 저항성이 가장 우수한 재료로 꼽힌다. 표면을 매끈하게 해주거나 코팅을 한다든지, 유체의 압력을 낮추어주는 설계변경 등으로 cavitation손상을 줄일 수 있다.

2) Mixed-Phase Flow

기상과 액상의 탄화수소가 혼합되어 흐르면 부식은 가속화된다. 주로 CDU의 수송관이나 진공로 윗부분, 여러 증류탑의 overhead vapor line과 condenser inlet 그리고 hydrocracking과 hydrotreating공정의 cooler등 여러 곳에서 주로 일어난다. 기상의 압력이 높거나, 액상의 무게가 증가하면 원유에 의한 고온 sulfidic 부식을 더욱 촉진시킨다. 금속의 표면이 액상의 탄화수소로 완전히 적셔진 상태가 되면 부식이 상당히 줄게 되지만, 기상의 흐름의 속도가 60m/s, 기상이 차지하는 load가 60%이상이 되는 spray형태의 흐름은 부식을 심하게 야기시킨다.

나. 정유공장 공정

1) 정유공장 공정의 개략도

다음 그림들은 공정시 다루게 되는 주요 부식 물질과 정류공정의 개략도를 보여주고 있다.

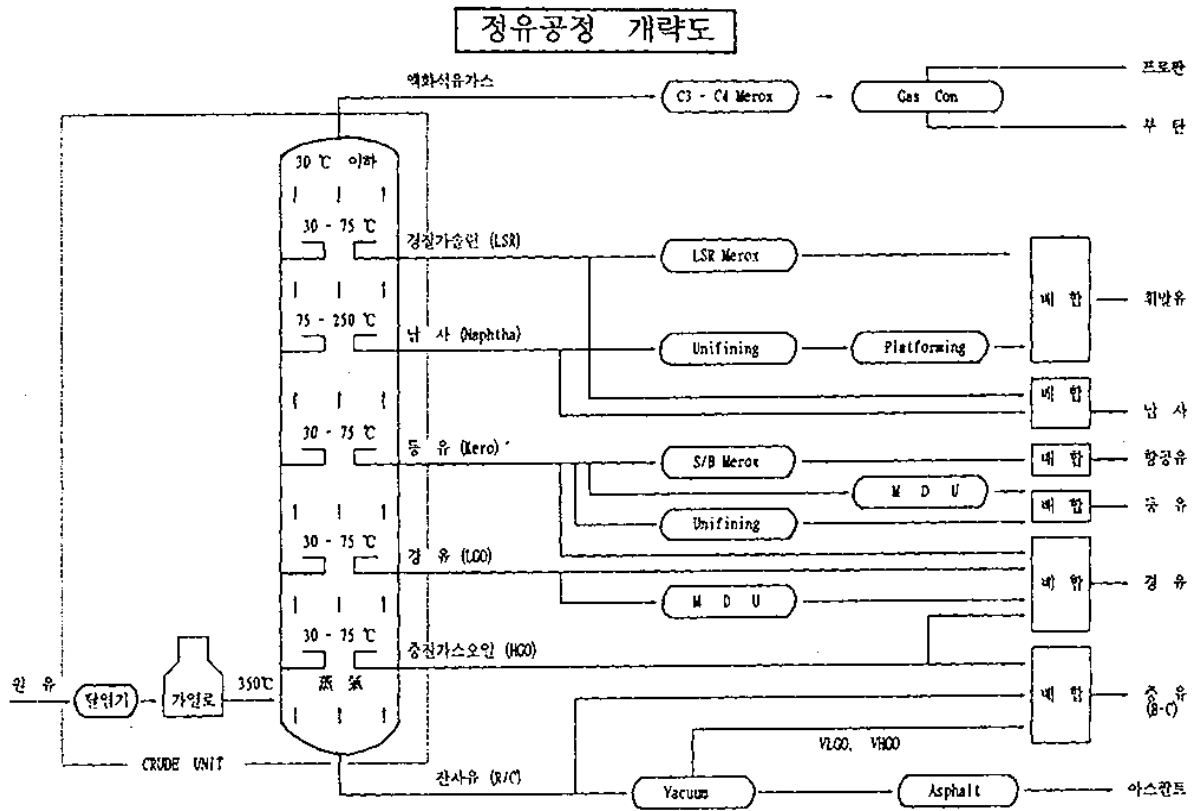


Fig. 4-2-1 Distillation process

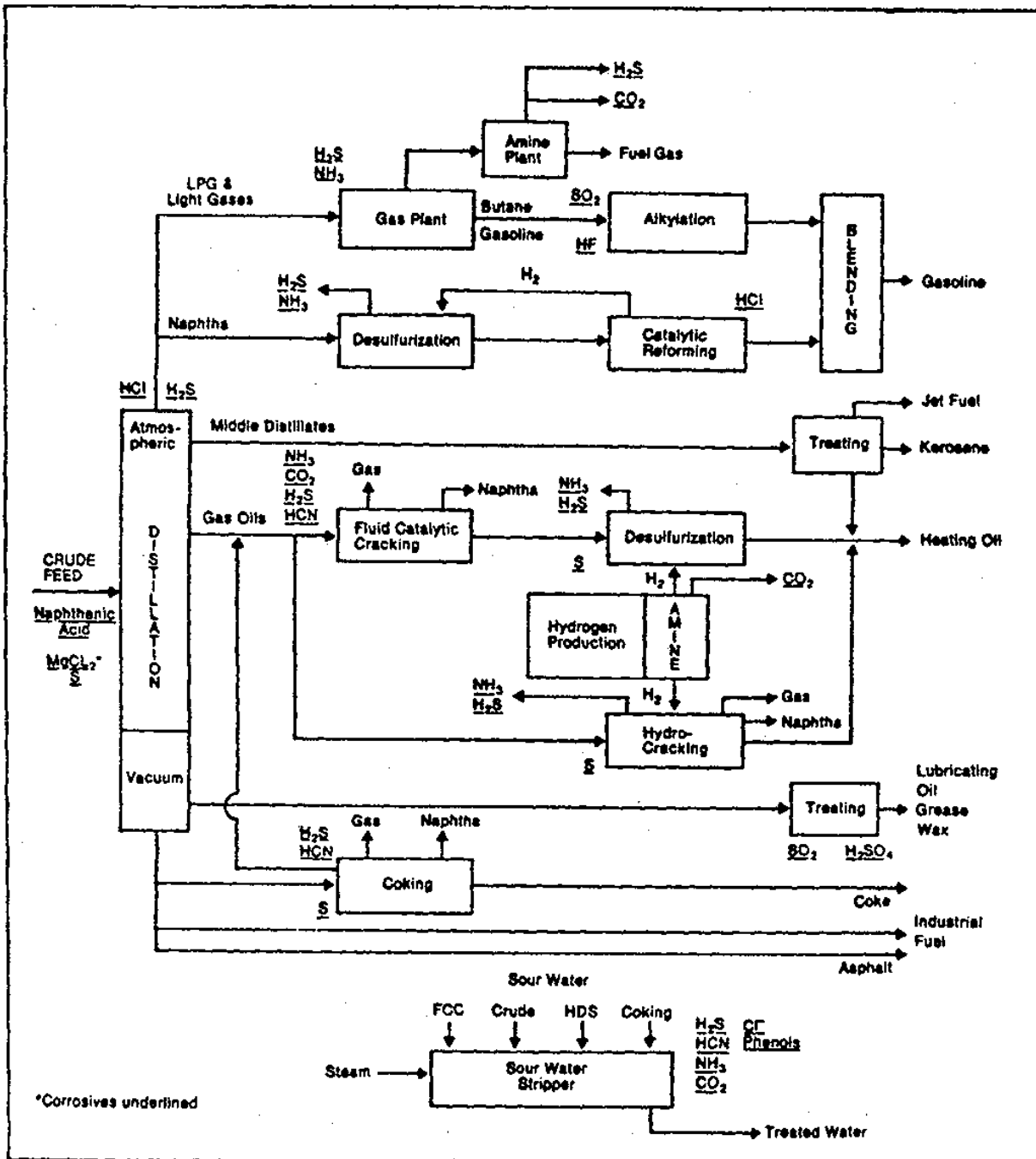


Fig. 4-2-2 Main corrosion materials
 2) 중질유 분해공장(Heavy Oil Upgrading)공정

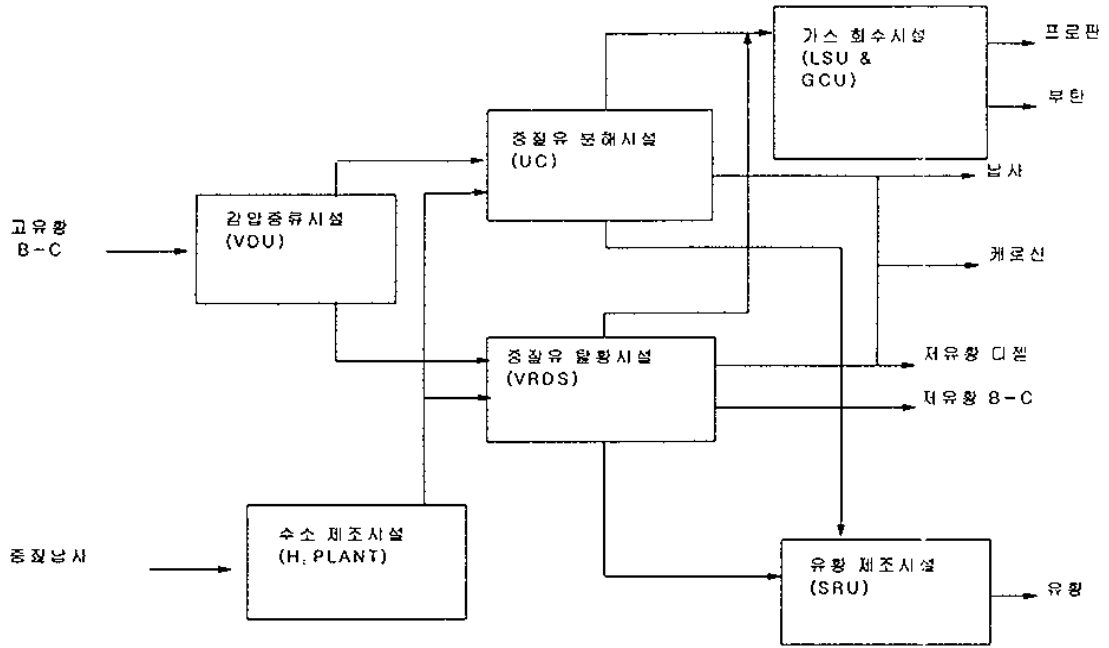
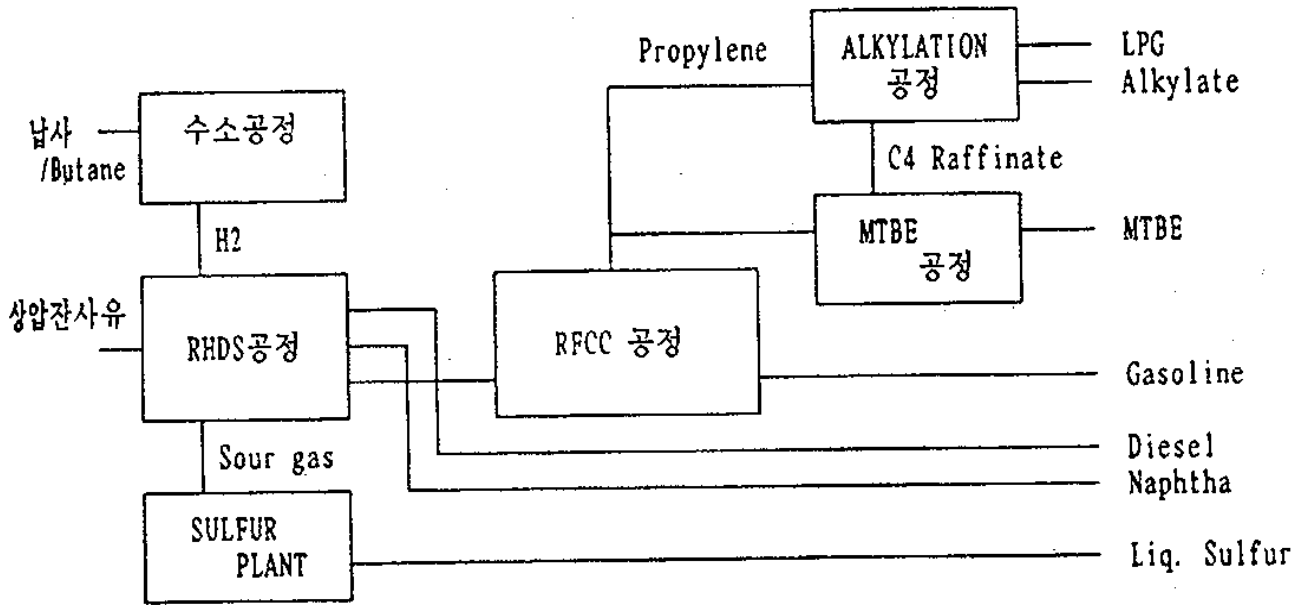


Fig. 4-2-3 Heavy Oil Upgrading

3) 중질유 접촉분해공장(Fluid Catalytic Cracking)공정



※ RHDS : Resid HydroDeSulfurization
 RFCC : Resid Fluid Catalytic Cracking

Fig. 4-2-4 Fluid Catalytic Cracking

다. 부식 데이터베이스 구축을 위한 개념설계

1) 소프트웨어 구성

DB구축을 위한 소프트웨어로서는 MS사의 ACCESS나 ORACLE 등의 DB 개발도구와, 입력 및 검색을 위한 창을 설계하기 위한 도구로서 Visual BASIC이나 Visual C++이 필요하다. 비교적 적은 용량의 데이터를 관리할

수 있는 ACCESS의 경우 관리 능력이 어느 정도인지는 검증을 거쳐야 하겠지만 현 단계에서는 가장 저렴하고 조작하기 쉬운 도구라고 판단된다.

2) 부식데이터의 특징

부식데이터의 특징으로는 다음과 같은 점을 열거 할 수 있다.

(1) 부식은 재료표면의 환경에 접하는 계면에서 일어나는 현상이므로 재료측과 환경측 양쪽의 영향을 받는다. 따라서 이들 쌍방에 존재하는 여러 가지 인자의 영향을 받기 때문에 규정해 놓을 인자가 상당히 많게 된다.

(2) 데이터의 형태가 여러 가지로 문자, 숫자, 그래프, 표, 사진, 그림 등의 모든 것을 취급해야 할 필요가 있다.

(3) 개개의 데이터에 기술되어 있는 내용의 밀도가 일정하지 않으며 많은 데이터는 특정 평가항목에 밀도가 집중되어 있으며 평균적으로 기술 항목은 비어 있는 것이 많다.

이러한 특징 및 사용상의 편리한 점을 고려하여 부식데이터 베이스의 설계는 다음 사항에 유의하여 실시한다.

- * 문자정보, 수치정보 뿐 아니라 그래프, 그림이나 사진 등과 같은 이미지데이터등의 정보까지 입력 가능하도록 한다.
- * 입력길이에 제한을 두지 않는다.
- * 데이터 갱신을 용이하게 한다.
- * 데이터의 범위를 인식하게 한다. 예를 들어, HCI의 농도가 0~30%인 데이터의 경우, 농도 15%에 관한 데이터를 보고자 하는 경우에 소스 데이터의 범위를 검색할 수 있도록 작성한다.

3) 소스 데이터

각종 부식데이터는 입력의 효율화를 위하여 입력 데이터를 대분류하고 이 분류의 아래에 소분류를 두어 보다 상세한 정보가 입력되도록 한다. 예를 들어,

(1) 일반사항

- * 데이터 채취자
- * 공정명
- * 장치명
- * 시험법
- * 시험일자 등

(2) 재료에 관한 정보

- * 재질
- * 화학성분
- * 제품의 형태(판, 관, 봉 등)
- * 제조방법(냉간 압연, 주조 등)
- * 열처리 조건
- * 표면적 등

(3) 환경조건에 관한 정보

- * 액명(반응액, 농축액 등)
- * 성분(염산, 가성소다 등)
- * 농도
- * pH
- * 온도 , 압력
- * 유동조건(정지, 교반 등)
- * 분위기 조건 (공기포화, 감압탈기 등)

(4) 시험결과에 대한 정보

- * 부식속도 , 부식형태
- * 중량변화
- * 침투깊이
- * 부피변화
- * 경도변화
- * 그래프 명

여기서 이 소분류 항목은 데이터베이스의 필드에 해당한다.

라. 각종 부식물질에 따른 부식데이터 및 소스데이터

지금까지 정유공장에서 일어나는 각종 부식의 특징을 살펴보고, 또한 정유공장, 중질유 분해공장 및 중질유 접촉분해공장의 공정별 부식환경 및 주요 부식물질을 조사하였다. 이를 토대로 부식 데이터베이스 구축을 위한 첫 단계로 부식 물질에 따른 부식 데이터를 우선적으로 수집하였다. 이는 정유공장뿐 아니라 유사한 부식물질을 다루는 석유화학공장 및 유사 분야에도 적용될 수 있기 때문이다.

원유 정유공장에서 주요한 부식물질들은 열거하면 다음과 같다. 즉 원유, naphthenic acid, $MgCl_2$, S, HCl, H_2S , NH_3 , H_2 , HF, SO_2 , CO_2 , H_2SO_4 , HCN이다. 이 중에서 원유(crude oil), HCl, H_2S 그리고 NH_3 등은 상압 증류 시설의 overhead system에 심각한 부식문제를 야기시키는 것들이다. 따라서 우선 이들 부식물질에 대한 부식자료를 중점으로 수집하여 정리하였고, 나머지에 대해서도 일부 포함시켰다.

올해 수집한 각종 부식물질에 따른 부식 데이터 항목은 다음과 같다.

- 1) 원유에 의한 부식 데이터
- 2) HCl에 의한 부식 데이터
- 3) H_2S 에 의한 부식 데이터
- 4) HF에 의한 부식 데이터
- 5) H_2 에 의한 부식 데이터
- 6) $MgCl_2$ 에 의한 부식 데이터
- 7) NH_3 에 의한 부식 데이터
- 8) S에 의한 부식 데이터
- 9) SO_2 에 의한 부식 데이터
- 10) H_2SO_4 에 의한 부식 데이터
- 11) CO_2 에 의한 부식 데이터

각종 강 : 1.5%의 유황을 함유한 원유(crude oil)에서 각종 강들의 부식.

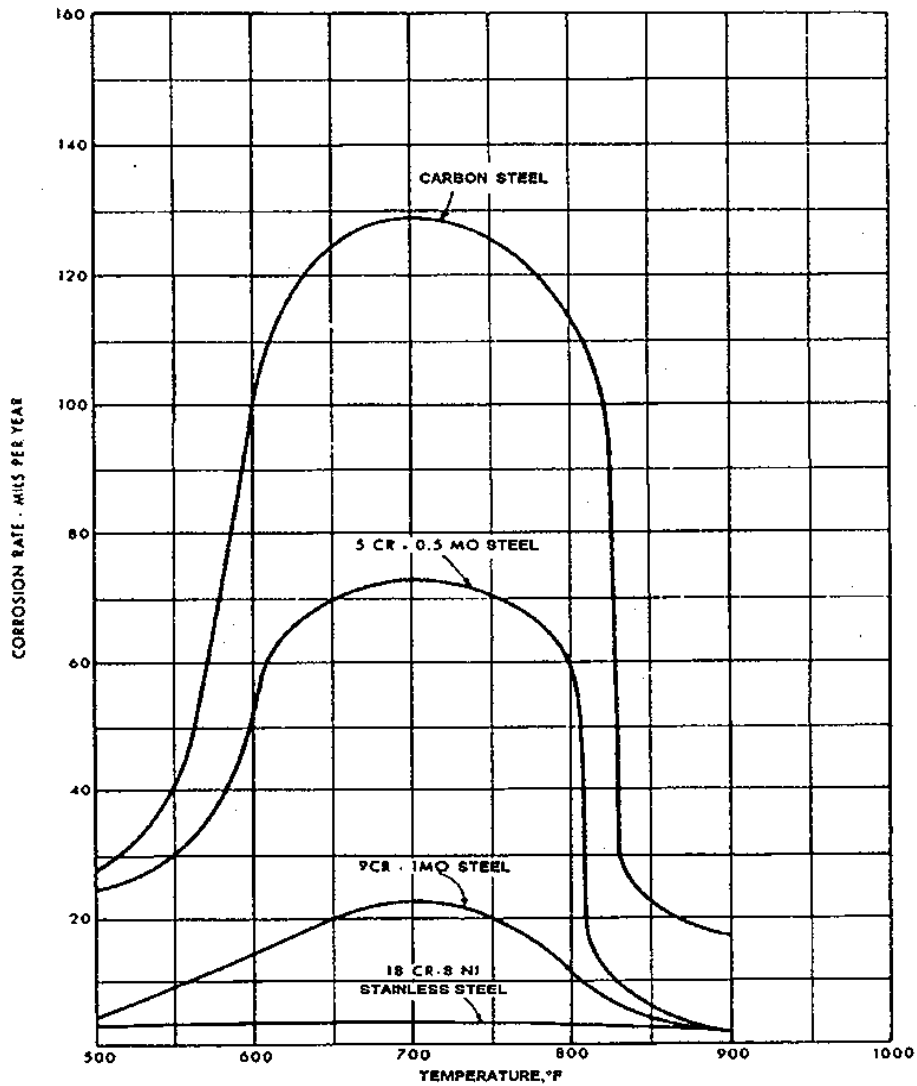


Fig. 4-2-5 Steel. Corrosion of steels in crude oil containing 1.5% sulfur.

Source : J.F. Bosich, *Corrosion Prevention for Practicing Engineers*, Barnes & Noble, New York, 1970, 214.

주철: 여러 농도의 염산에 노출된 18-8 스테인리스강과 고니켈 및 고실리콘 몰리브덴 합금강의 부식속도 비교 데이터.

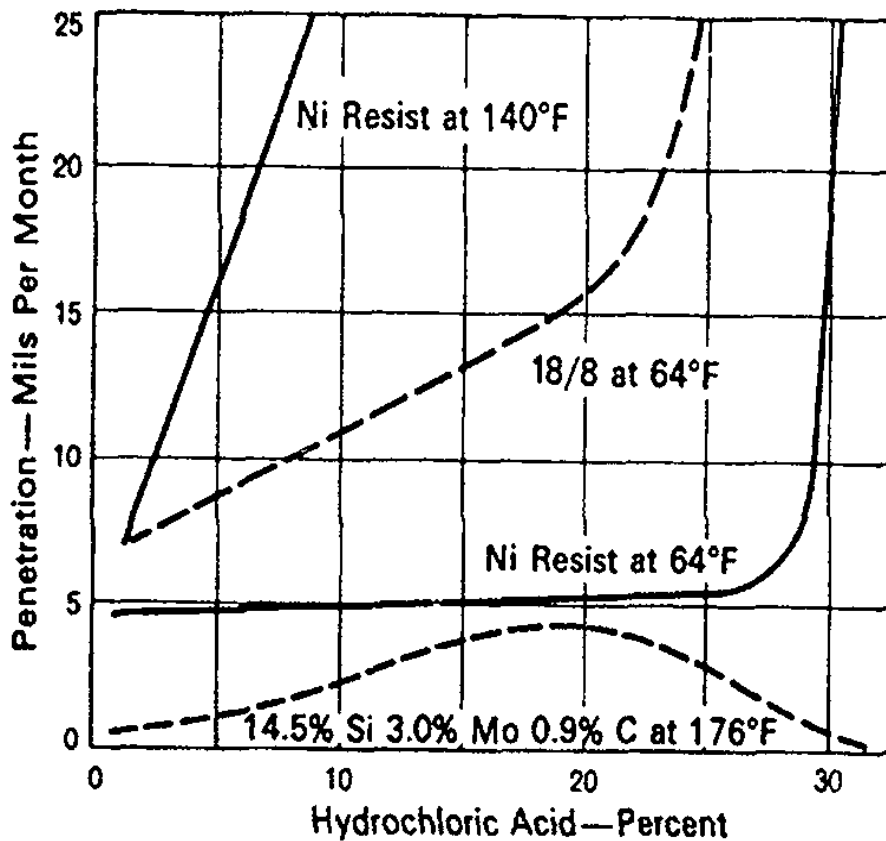


Fig. 4-2-6. Cast irons. Corrosion rate of high-nickel and high-silicon molybdenum alloy irons compared to 18-8 stainless steel when exposed to hydrochloric acid at various concentrations.

Source : "Physical and Corrosion Properties", in Source Book on Ductile Iron, A.H. Rauch, Ed, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1997,367.

탄소강 : 고온에서 탄소강의 H₂S/H₂ 부식에 대한 온도와 H₂S 함유량의영향.

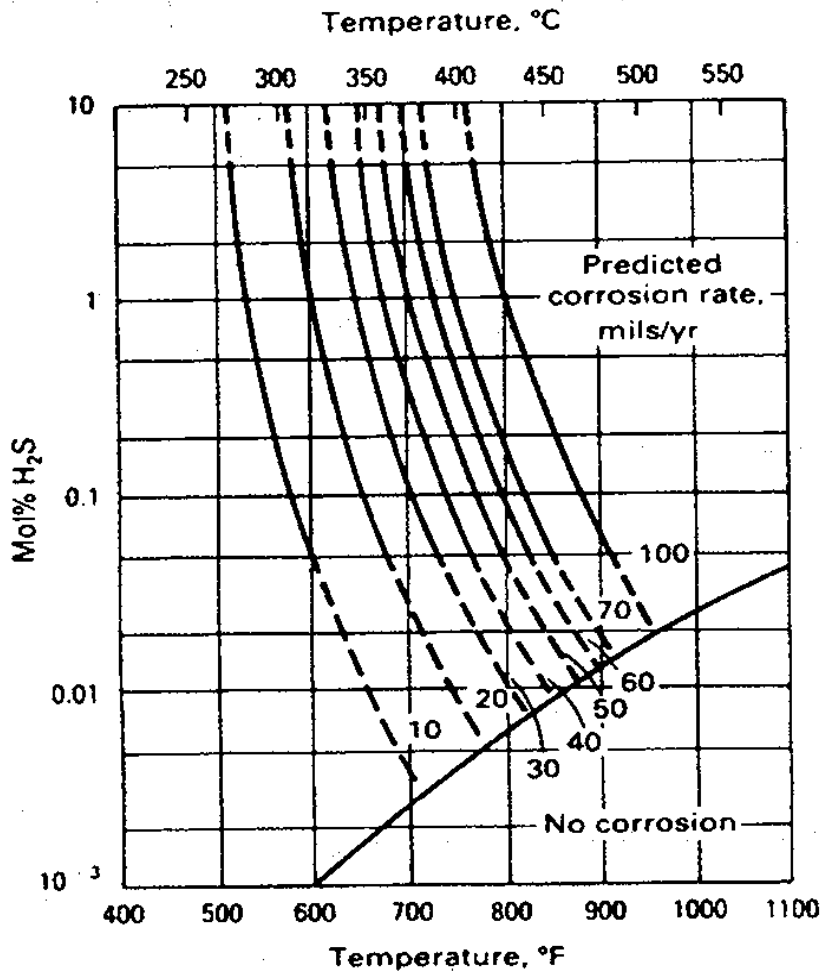


Fig. 4-2-7 Carbon steel. Effect of temperature and hydrogen sulfide content on high-temperature H₂S/H₂ corrosion of carbon steel (gas oil desulfurizers).

Source : J. Gutzeit, "High Temperature Sulfide Corrosion of Steels", Process Industries Corrosion - The Theory and Practice, National Association of Corrosion Engineers, Houston, 1986.

Inconel 600 : 75°C (167°F), 불산(HF)에서의 부식속도.

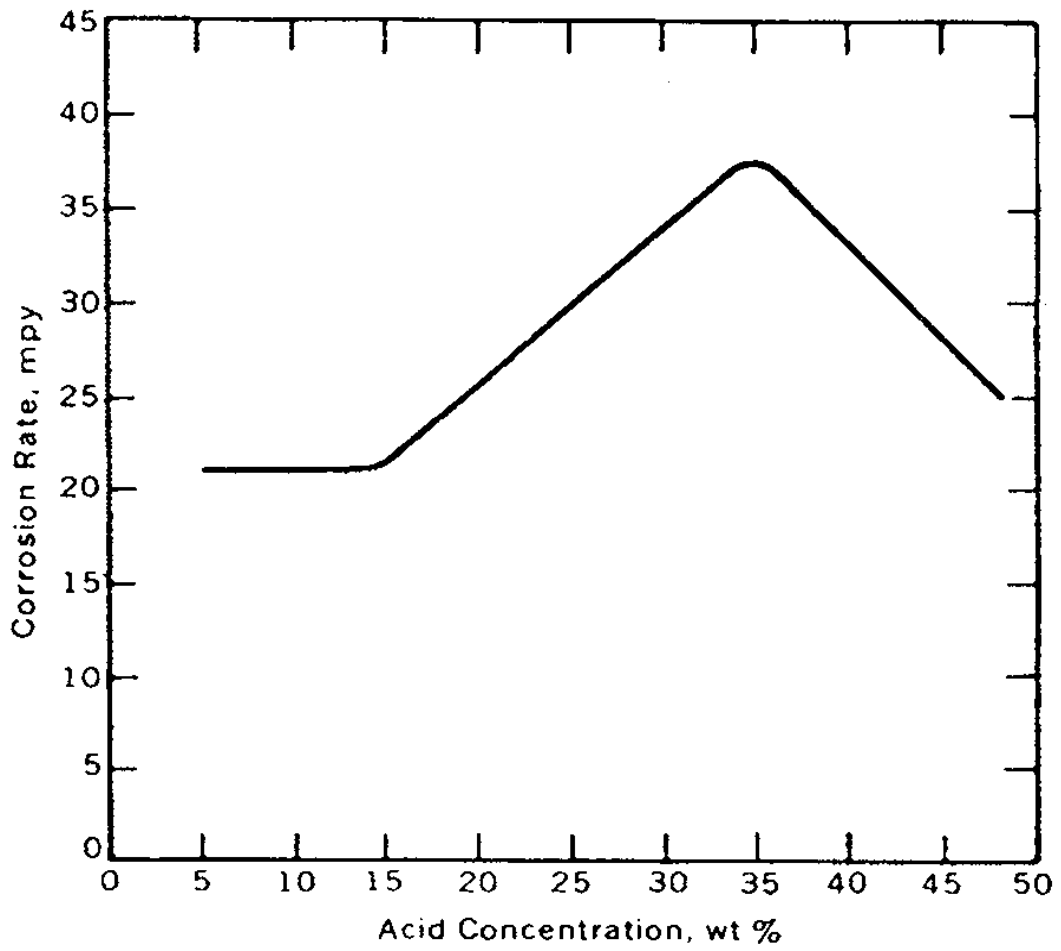


Fig. 4-2-8 Inconel 600. Corrosion rates in hydrofluoric acid at 75°C (167°F).

Source : Inco Alloys International, 1962.

Zircaloy-4 : 수소개스 분위기내에서 Zircaloy-4의 균열전파속도-응력확대계수 곡선.

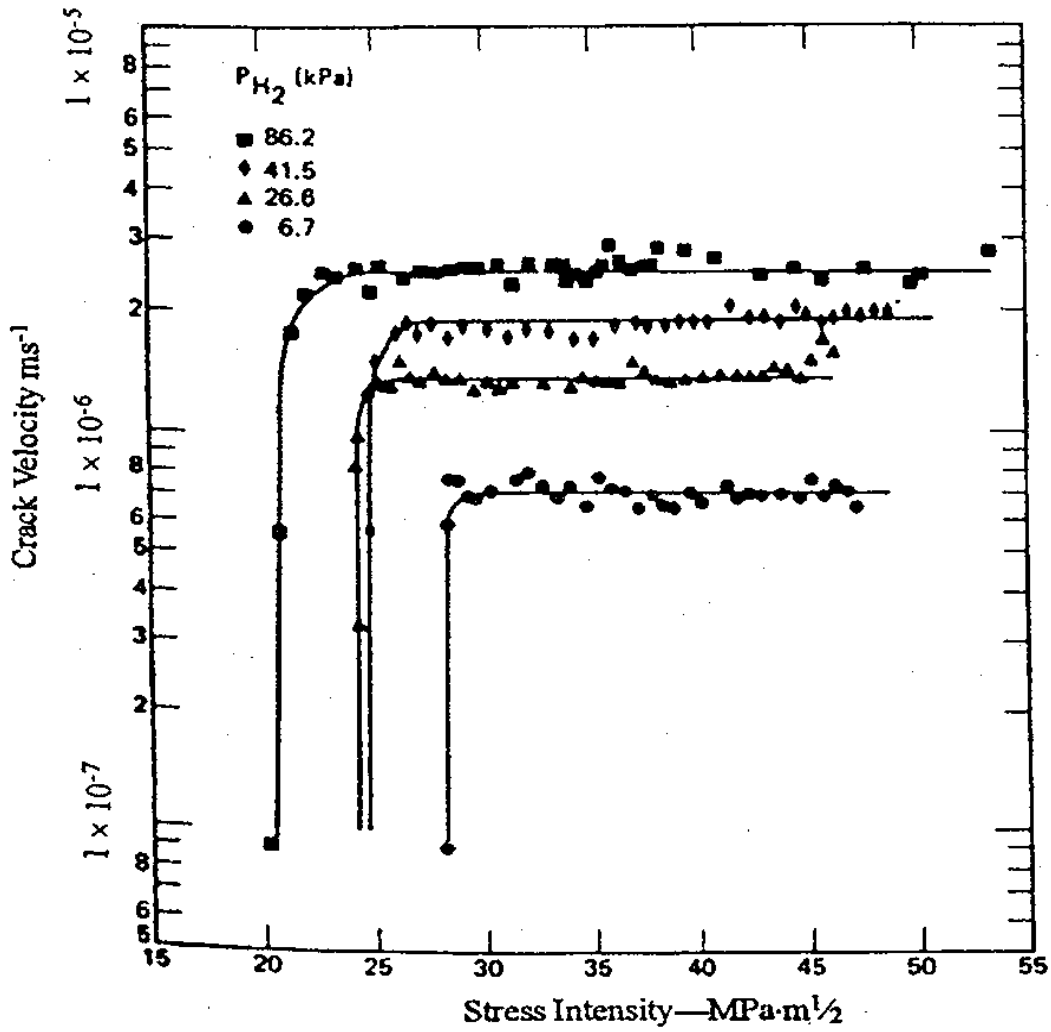


Fig. 4-2-9 Zircaloy-4. Velocity versus stress intensity curves for Zircaloy-4 in hydrogen gas.

Source : B. Cox, "Environmentally-Induced Cracking of Zirconium Alloys-A Review," J. Nuclear Materials, Elsevier Science Publishers B.V., 1990, p1-23.

TiN과 TiC 코팅 : 끓는 MgCl₂에 침지된 TiN과 TiC 코팅막의 평균 무게감소량.

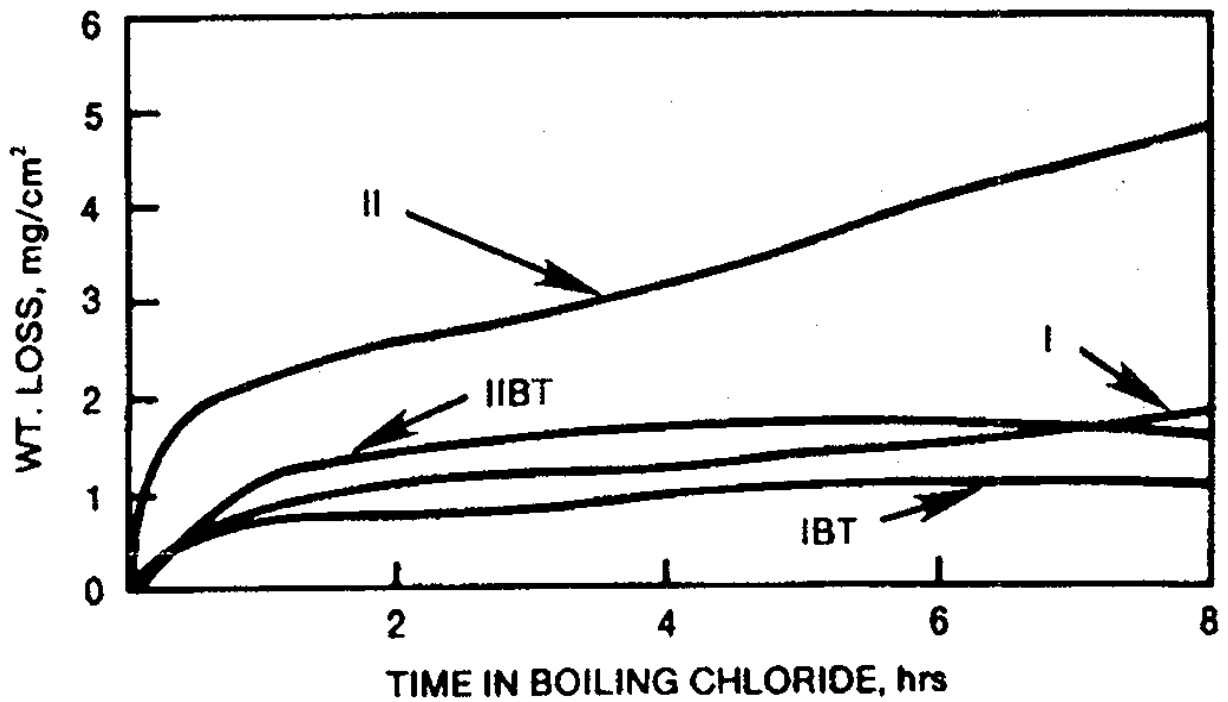


Fig. 4-2-10 TiN and TiC coatings. Average cumulative weight loss of TiN and TiC coatings immersed in boiling magnesium chloride solution. I, TiN coatings; II, TiC coatings; BT, with bond coat and top sealant; no sybols, no bond coat, and no top sealant.

Source : Handbook of Corrosion Data, 2nd ed., ASM International, 1995, 517.

구리합금 : 공기포화 NH₃(암모니아) 용액에서 1000 시간 부식시험할 경우의 구리합금의 부식속도.

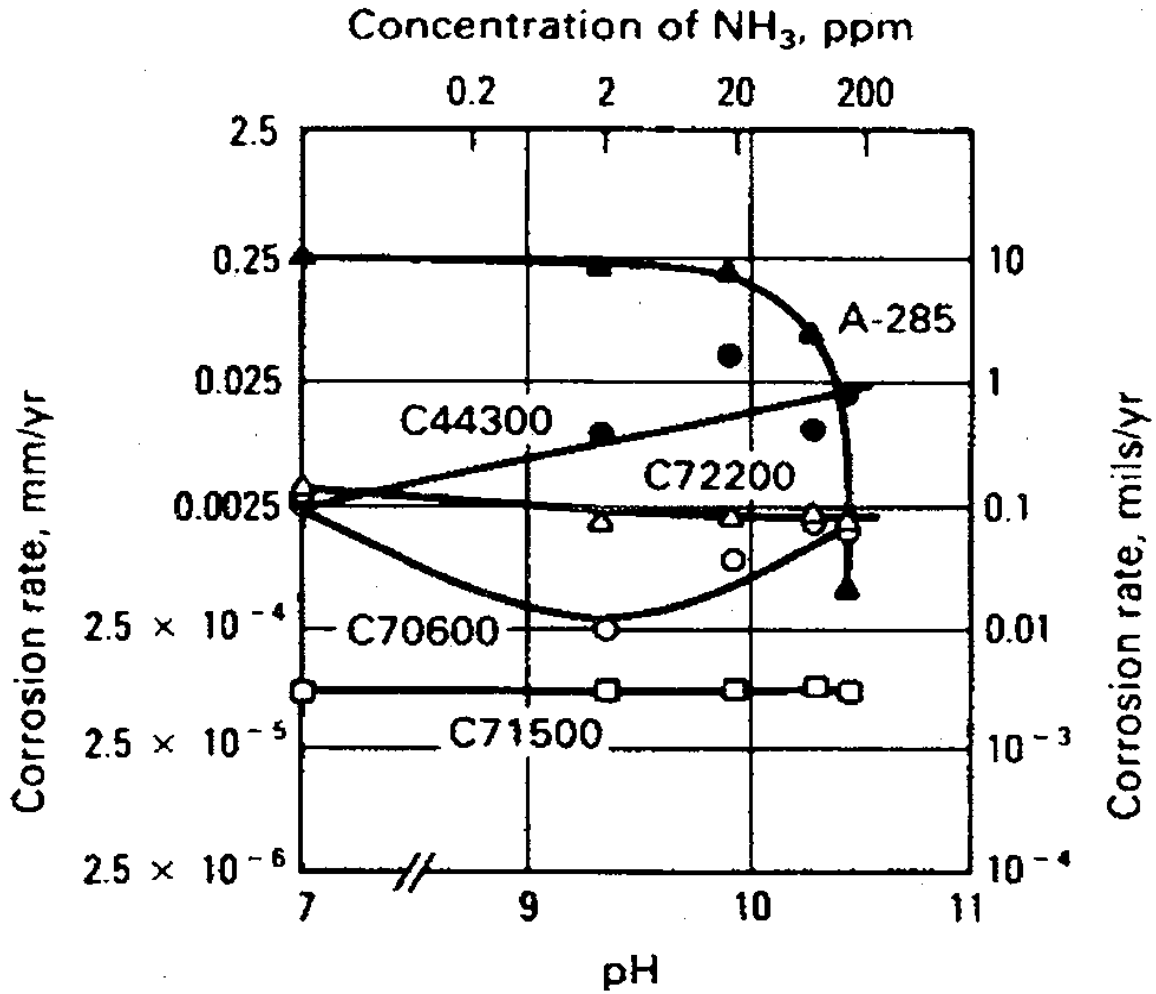


Fig. 4-2-11 Copper alloys. Corrosion rates of copper alloys in aerated NH₃ solutions. Test duration: 1000 h.

Source : Metals Handbook, 9th ed., Vol 13, Corrosion, ASM International, Metals Park, OH, 1987, 622.

니켈 : Ni_3S_2 증기로부터 유입된 S에 의한 니켈 입자간 관통에 대한 온도의 영향.

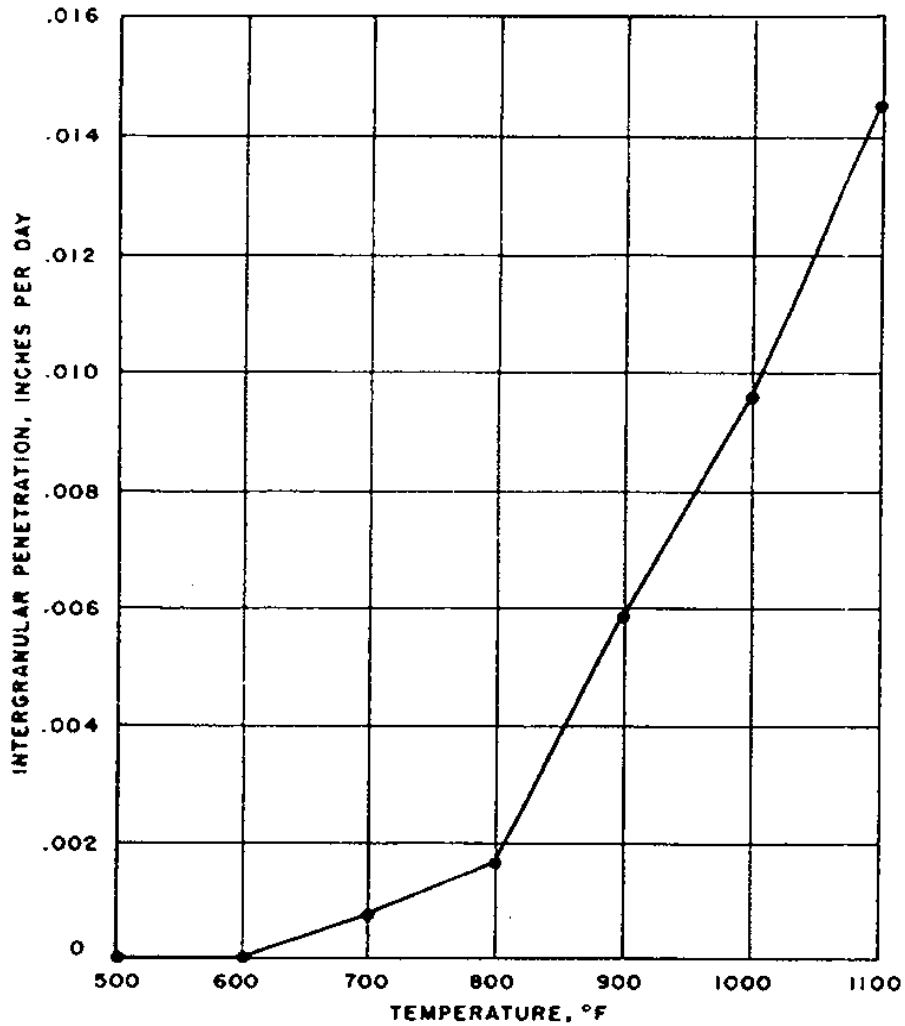


Fig. 4-2-12 Nickel. Effect of temperature on the intergranular penetration of nickel by sulfur from Ni_3S_2 vapor. Based on 23-h tests.

Source : W.Z. Friend, *Corrosion of Nickel and Nickel-Base Alloys*, John Wiley & Sons, New York, 1980, 72.

마그네슘 : 강우량이 553-965 mm/yr인 곳에서 SO₂의 오염수치-부식속도.

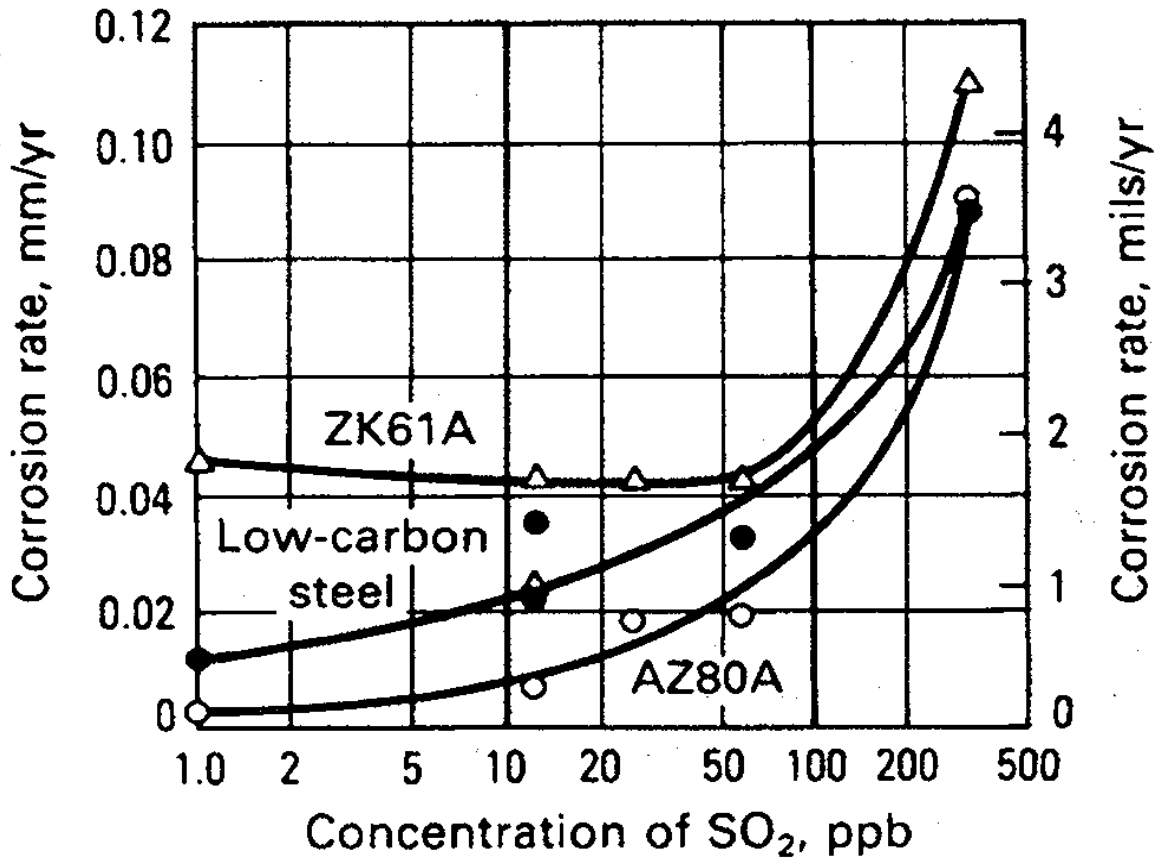


Fig. 4-2-13 Magnesium. Corrosion rates vs. sulfur dioxide pollution levels at six exposure sites. Rainfall at the sites ranged from 533 to 965 mm/yr(21 to 38 in./yr).

Source : *Metals Handbook, 9th ed., Vol 13, Corrosion, ASM International, Metals Park, OH, 1987, 747.*

스테인레스강 : 25°C (77°F), 1N H₂SO₄에서 18Cr-Ni 스테인레스강의 δ 페라이트 함량에 따른 균일부식속도의 변화.

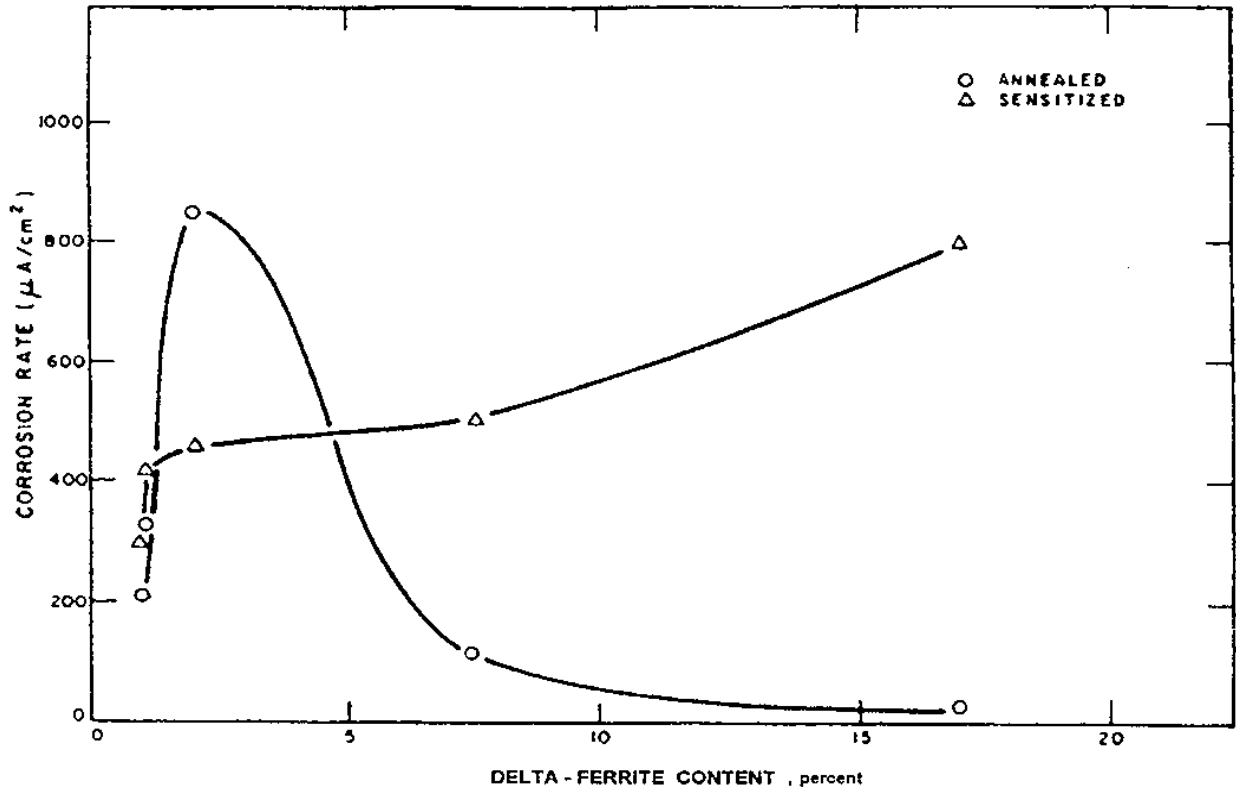


Fig. 4-2-14 Stainless steel. Variations in the general corrosion rate with delta-ferrite content of 18Cr-Ni type stainless steels in 1N H₂SO₄ at 25°C (77°F).

Source : B.E. Wilde, "Influence of Silicon on the Corrosion Characteristics of 18Cr-8Ni Type Stainless Steel in Dilute Sulfuric Acid," *Corrosion*, Vol 44, (No. 10), 1988.

스테인레스강 : CO₂에서 13%Cr 스테인레스강과 duplex 스테인레스강(Cr 22)의 부식에 대한 저항. 부식에 대한 저항은 온도와 NaCl 함유량으로 표현된다.

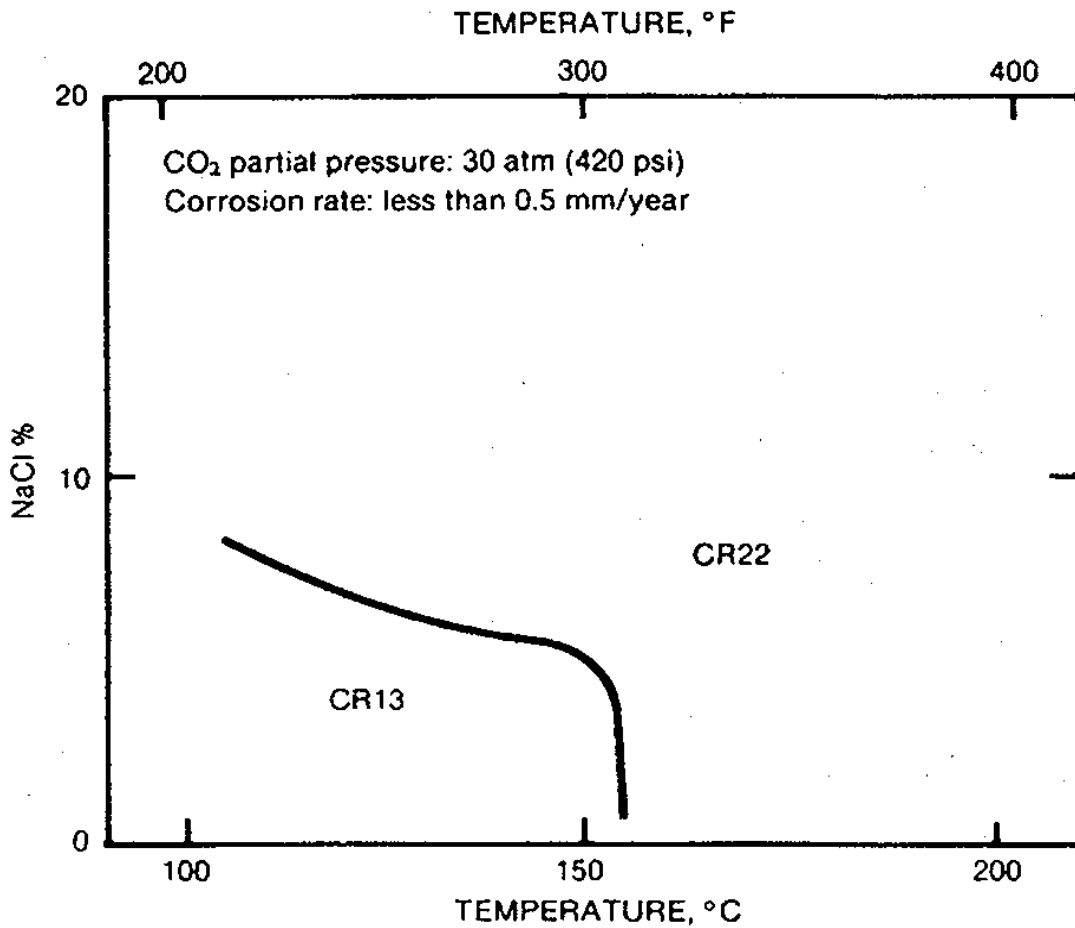


Fig. 4-2-15 Stainless steel. Relative corrosion resistance of 13% chromium stainless steel and duplex stainless steel (Cr 22) in carbon dioxide as a function of temperature and sodium chloride content.

Source : Nippon Kokan K.K.

5. 앞으로의 계획

본 연구에서 앞으로 만들고자 하는 데이터베이스에 수록할 자료는 우선적으로 발전설비와 정유공장 및 석유화학플랜트를 대상으로 하여, 이러한 설비들에 대한 재료물성 및 파손사례를 수집·생산할 예정이다. 1997년에 수행한 정유공장의 공정도와 파손사례에 대한 사전조사 보고서를 분석하여 한번 파손되면 대형사고를 유발할 수 있는 설비의 재료물성, 파손사고의 빈도가 잦은 설비의 재료물성에 대한 데이터베이스를 우선적으로 구축할 것이며, 그 외 설비에 대해서도 중요도나 위험도에 따라 순서를 정해 연차적으로 보완해 나갈 예정이다. 지금 국내 실정으로는 부식과 관련하여 재료물성 데이터의 생산이 거의 불가능하기 때문에 각 플랜트에서 보유하고 있는 재료물성 데이터와 보고서, 논문 등에 발표된 재료물성 데이터를 수집하여 데이터베이스를 구축할 예정이며, 앞으로 수집할 자료를 분석하고 검토하여 부족한 데이터를 보충하기 위해 부식 cracking과 관련한 데이터의 생산을 독일의 GKSS 연구소에 의뢰할 예정이다. 그리고 크리프 물성에 관한 데이터는 중국에 의뢰하여 필요한 데이터를 생산할 예정이다. 마지막으로 2001년엔 정유공장 및 석유화학 플랜트의 각 설비에 대한 실제 파손사례를 수집하여 데이터베이스화 할 예정이다.

발전설비에 대해서는 한국전력에서 IDRPVM 등을, 한국전력기술주식회사에서 PMAS 등과 같은 재료물성 데이터베이스를 만들어 놓고 있으므로 이를 보완할 데이터의 수집과 생산에 주력할 예정이다. 이를 위해 1998년엔 우선 일본의 금속재료기술연구소에서 생산한 creep data sheet에 들어 있는 크리프 관련자료를 디지털화해서 수치데이터로 만들어 데이터베이스에 수록할 예정이며 국내의 일부 대학교에 의뢰하여 크리프 균열성장에 관련되는 데이터 수집을 의뢰할 예정이다. 1999년엔 일본의 금속재료기술연구소에서 생산한 fatigue data sheet에 들어 있는 피로관련 자료를 디지털화 해

서 수치 데이터로 만들어 데이터베이스에 수록할 예정이며, 국내의 일부 대학교에 의뢰하여 피로균열성장과 관련한 데이터를 수집할 예정이다. 2000년에 논문, 보고서 등에 흩어져 있는 파괴인성, 충격특성, 경도, 인장성질 등에 대한 재료물성 데이터를 수집할 예정이며, 2001년엔 발전설비에서 일어난 실제 파손사례들을 수집하여 데이터베이스화 할 예정이다. 그리고 크리프 물성에 대한 부족한 데이터는 석유화학설비의 경우에서와 마찬가지로 중국에 의뢰하여 생산·보충할 예정이다. 2002년부터는 지하매설배관 및 압력용기, 항공기, 자동차, 기차, 선박, 그 외 산업설비들에 대한 재료물성 데이터를 연차적으로 수집하고 생산하여 데이터베이스를 구축할 예정이다.

각종 산업설비에 사용되는 소재의 재료물성을 데이터베이스로 구축해 둔다면 설비의 설계 및 수명평가시에 이용하는 것이 더욱 용이해진다. 이를 위해서는 재료물성을 나타내는 수치의 단위를 가능한 한 통일해 둘 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 국제단위계인 SI단위를 채택하고자 한다.

6. 산업설비의 설계 및 수명평가에의 데이터베이스의 활용 예

산업설비를 설계하거나 수명을 평가하는데 있어서 재료물성 데이터베이스가 어떻게 사용되는지에 대해 간략하게 기술하고자 한다. 여기서는 여러 가지 재료물성 값을 실제로 열거하지 않고 어떤 재료물성 데이터가 어떤 경우에 주로 이용되는가에 대해 기술하고자 한다. 여기서 기술하고 있는 내용은 실제 설계나 수명평가 작업에 있어서 아주 작은 일부분에 불과하다는 것을 먼저 밝혀둔다.

산업설비를 설계하거나 수명을 평가하기 위해서는 기본적으로 그 설비소재의 일반적인 재료물성이 필요하다. 산업설비를 설계하는데 있어서는 설비의 소재선정이 우선되어야 한다. 따라서 경제성의 고려는 물론이고 사용환경이나 분위기에서의 재료물성을 고려하여 사용환경에 강한 소재를 선정해야 한다. 이때 예측되는 설비에 가해질 사용응력이 항복강도나 인장강도

를 안전율로 나눈 설계시의 허용응력보다 작아야 한다. 또한 설비의 형상과 크기 등은 소재의 특성을 고려하여 결정되어야 하므로 기본적으로 재료의 인장성질을 고려하여 결정해야 한다. 따라서 선정된 소재의 사용환경에서의 인장특성을 재료물성 데이터베이스를 이용하여 얻을 수 없다면 실제로 인장시험을 하여 필요한 물성치를 얻을 수밖에 없다.

고온에서 사용되는 설비인 경우는 사용온도에서의 인장특성은 물론이고 크리프파단응력도 설계시 고려해야 한다. 크리프파단응력은 장시간 사용할 때의 설비의 안전성을 확보하는데 있어서 중요한 데이터중의 하나이다. 또한 설비가 반복응력을 받는 경우라면 피로강도 및 피로한도를 고려해야 한다. 그리고 수명평가지도 마찬가지로 설비 재료의 두께 감육을 비파괴적으로 측정한다면 새로 계산한 허용응력이 허용응력보다 작은지, 큰지를 알아보기 위해 인장특성이 필요하며, 경우에 따라서는 크리프파단응력과 피로강도 등을 고려해야 한다. 특히 수명평가지는 신재의 재료물성이 아닌 사용재의 재료물성이 사용되어야 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. 이 경우에도 데이터베이스에 수록된 자료를 이용한다면 실제 실험을 피할 수 있다.

설비의 안전도를 높이려면 파괴인성의 평가도 함께 따라야 한다. 구조물에는 소재의 제조시에 생기는 결함이나 균열을 피할 수 없으므로 인장강도 등을 비롯한 강도적 측면만으로 설비의 안전도를 평가하는 것은 위험한 발상이다. 그리고 파괴인성과 함께 균열의 진전특성도 파악해 두어야 한다. 구조물에서 허용할 수 있는 균열의 최대크기는 파괴인성 값으로부터 구해진다. 따라서 재료물성 데이터베이스에서 사용조건에 합치되는 파괴인성 값을 찾는다면 최대허용균열크기를 결정할 수 있다. 만약 수명평가지에 비파괴적 방법으로 균열을 발견한다면 그 크기를 측정하여 파괴인성 값으로부터 추정된 최대허용균열크기와 비교하여 안전성을 결정하게 된다. 발견된 균열의 크기가 최대허용균열크기보다 작다면 지금 당장은 안전한 것으로 판정할 수 있다. 이 경우도 인장특성의 이용에서와 마찬가지로 사용재의 열화된 파괴인성값이 필요하다.

그러나 지금 발견된 균열이 최대허용균열크기까지 성장하는데 소요되는

시간은 인장강도나 파괴인성 값으로부터 추정할 수 없다. 이 경우는 크리프균열 성장속도나 피로균열 성장속도 혹은 크리프-피로균열 성장속도 등을 고려하여 결정해야 한다. 균열이 발견된 설비에서 지금까지 일어난 파손사례와 사용조건 등을 분석하여 균열성장을 지배하는 인자가 무엇인지를 판별하여 그에 맞는 데이터를 찾아서 수명해석에 이용해야 한다.

같은 강종이라 할지라도 동일한 재료물성치를 얻는 것은 아니다. 이것은 소재의 제조조건이나 화학적 구성성분, 성분비율, 열처리조건, 시험편의 형상 및 크기, 시험조건, 시험방법 등과 같은 여러 가지 조건의 상이에 기인하여 재료물성치가 달라지는 것이다. 따라서 재료물성 데이터베이스에는 여러 가지 시험조건에 따른 재료물성 값을 망라하고 있어야 그 기능을 다할 수 있다. 각종 산업설비에 사용되는 소재의 재료물성을 망라하여 데이터베이스로 구축해 둔다면 설비의 설계 및 수명평가시에 이용하는 것이 가능하다.

제 3 절 공공시설물 파손사례 조사

1. 조사연구배경

국내외에서 발생한 시설물의 다양한 파손사례를 조사하고 수집하여, 사실에 기반한 객관적인 각종 통계자료를 생성함으로써, 유사한 재해에 대비하거나 시설물의 유지관리와 같은 시설물 방재대책 및 연구에 활용하고자 한다. 이에 본 조사연구에서 공공시설물에서 발생한 파손사례를 조사, 수집하여 체계적으로 분류하고, 사례 및 통계분석자료 등을 데이터베이스화하고자 하는 것은 데이터를 필요로 하는 방재관련연구기관 및 시설물유지관리기관, 안전진단 종사업체에 제공함과 동시에 정부의 시설물에 대한 방재대책수립에 활용할 수 있도록 하기 위함이다.

현재까지의 국내의 재해대책은 주로 재해 발생후 원인을 조사하고 대응책을 강구하는 등 인명의 구조나 경제적 복구에 중점을 두어 추진하는 사후관리체제로 이루어져 왔으나, 최근에 이르러 반복적으로 발생하게 되는 자연적, 인위적 재해를 사전에 방지할 수 있도록 하기 위하여, 유사한 사고 형태에 대한 원인분석 및 철저한 사고조사로 각종 사고에 대해 사전재해대책을 수립할 것이 요구되고 있다.

시설물 관련된 재해를 줄이기 위해서는 부실 설계 및 공사를 철저히 배격함은 물론 기존 시설물을 안전하고 효율적으로 이용하기 위한 과학적인 유지관리기술과 방재기술의 연구발전의 필요성이 매우 크게 요구되고 있다.

이에 유사한 재해의 재발방지 및 재해예방 대책과 시설물의 사전 관리체

계 구축, 과학적인 상태 평가 및 이력관리를 위해 시설물을 구성하고 있는 각종 물질들에 대한 기초적인 데이터를 비롯하여 관련 유사 재해사례에 대한 폭넓은 조사 연구가 데이터베이스로 구축되어질 것이 요구된다.

2. 연구개발의 목적 및 필요성

본 사업의 목적은 재해로 인한 공공시설물의 파손 사례에 대해서 데이터베이스를 구축하기 위한 기초자료를 수집하는 데에 있다.

대부분 대형 시설물과 관련한 재해 특히 국가기간 산업과 밀접한 관련이 있는 댐, 교량, 터널 등에서의 재해는 그 원인이 한가지로만 규명되지 않고 상당히 복합적인 요인들로 인하여 발생되어지며, 재해 발생후 영향의 파급정도도 정신적, 물질적으로 상당 범위에 이르는 것으로 판단된다. 따라서, 자연적, 인위적 재해를 포함한 공공시설물 파손사고의 객관적이고 사실적, 기술적인 사례조사를 토대로 파손사례 분석, 유형별 재해원인, 사고요소, 재해발생후 영향 및 그 대책에 대하여 데이터베이스를 구축함으로써, 유사한 재해예방을 위한 자료로 제공됨은 물론 공공시설물의 유지관리시스템 개발 및 관련 방재기술 개발에도 필요한 기초자료로 제공되어질 수 있도록 한다. 특히 국가 기간산업에 필수적 요소인 대표적 공공구조물로서 교량, 터널, 댐 등에 관한 파손자료를 수집하여 데이터베이스화 함으로 각종 응용 분석과 통계분석에 대한 기초자료로 활용하고자 한다.

3. 공공시설물 파손사례 조사내용 및 분석

가. 파손사례 조사방법

시설물의 파손사례에 대한 조사는 주로 문헌을 통해 이루어졌으며, 국내의 파손사례에 대해서는 공공시설물에 대해 파손사례별로 만들어진 조사보고서를 수집하거나, 각 연구기관의 소장자료를 검색 및 수집하고, 보다 상세한 사고사례의 조사는 사고해당 관청에서 자료를 수집하였다. 국외의 경우 해외 관계기관에 자료를 요청하여 수집하거나, 해외에서 발행한 사고사례를 수록한 단행본 구입하였고, 인터넷을 통해 방재 관계기관의 자료를 검색하여 각종 시설물에 대한 다양한 파손사례들을 수집·조사하였다.

나. 파손사례 조사현황

연구수행기간 동안 수집, 조사한 공공시설물의 파손사례 현황을 국내·외별, 시설물별로 파손사례를 분류한 것이 Table. 4-3-1과 같다.

Table. 4-3-1 Reserch Station of the Failure examples by the Public Structures

구 분	댐	교 량	터 널	계
국 내	3	12		15
국 외	30	16	1	47
합 계	33	28	1	62

Table. 4-3-1에서 알 수 있는 바와같이 외국에서의 공공시설물 파손사례 조사 건수가 국내에 비해서 월등히 많음을 알 수 있다. 이것은 국내에서의

공공시설물 파손사례가 외국에 비해서 상대적으로 적은 것이 아니라 많은 파손사례가 있음에도 불구하고 파손사례조사에 관한 정보가 공개되지 않을 뿐만 아니라 자료수집이 현실적으로 매우 어렵기 때문이다. 공공시설물의 유사한 사고가 재발하는 것을 방지하기 위해서는 파손사례에 관한 정보를 공유할 수 있도록 제도적인 장치가 마련되어야 할 것이다.

다. 파손사례 조사내용

국가기간 산업과 밀접한 관련이 있는 댐, 교량, 터널의 파손사례에 대하여 각 경우에 식별번호 부여하여 DB 정보처리시 검색 Index로 활용할 수 있도록 하였으며, 시설물의 이름으로 사고명을 설정 하고, 지역적 위치를 행정적 주소로 표시하고 이와 관련 자료보관 장소를 함께 기재하여 상세한 자료가 요구될 때 참고로 할 수 있도록 하였다. 시설물형식 및 제원 (길이, 높이, 폭, 기타)의 일반 정보표시, 사고일시에서는 사고의 이력사항을 함께 기재하여 동일 시설물의 반복 사고에 대한 자료를 제공하고, 사고내용은 가급적 상세히 기술하고 이에 관련된 사진을 첨부하여 실제상황에 대한 기초자료를 제공하도록 하였다. 사고원인은 자연적·인위적요인으로 분류하고 각시설물별 특징을 고려 인위적 요인을 상세히 분류하였다. 피해정도에는 사상자, 부상자, 재산피해상황을 기술하고, 사고개요, 피해상황, 사고영향, 조치상황, 보수방법, 구조활동 및 교훈 및 대책 등을 정보화 하여 유사 재해발생시 참고자료로 제공도록 하였다. 시설물별 분류 정보를 다음에 나타내었다.

1) 댐 파손사례

번호	국내 DD1-1, 국외 DD2-1
사고명	댐이름
소재지	주소, 좌안, 우안, 취수구지점, 발전소지점, 자료보관지
댐제원	규모 : 높이 (m), 길이 (m), 수량 (ha-m) 댐종류 : 제 체 : 길이 m, 높이 m (EL. m) 도수로 : 길이 m, 직경 m 댐 정상표고 : EL. m 댐 정 폭 : m 수 위 : 만수위 m(수심 m), 저수위 m(수심 m) 하상수위 : EL. m 총저수량 : ton(유효저수량 ton) 만수면적 : km^2 계획최대홍수량 : cms 수문 : 개(m × m) 1문 개방시 cms (총 cms) 유역면적 : km^2 설계 및 시공: 설계빈도(년), 설계홍수량, 시공기간, 공사비 기타 :
사고일시	
사고내용	
사고원인	자연적, 인위적요인
피해현황	사고개요 지형, 지질, 유역현황 사상자 (명) 부상자 (명) 재산피해 상황 피해상황 사진
사고영향	
조치상황	보수방법
교훈 및 대책	

2) 교량 파손사례

번호	국내 BD1-1, 국외 BD2-1
사고명	교량 이름
소재지	주소, 자료보관지
교량 형식 및 제원	교량형식 설계하중 : DB 교량길이 : m 경간수 : 교량폭 : m 설계 및 시공: 기타 :
사고일시	일시, 사고 이력
사고내용	사진자료
사고원인	자연적, 인위적요인, 설계, 시공, 유지관리, 종합
피해정도	사고개요 지형, 지질, 유역현황 사상자 (명) 부상자 (명) 재산피해 상황 피해상황 사진
사고영향	
조치상황	보수방법, 구조활동
교훈 및 대책	

3)터널 파손사례

번호	국내 TD1-1, 국외 TD2-1
사고명	터널 이름
소재지	주소, 자료보관지
터널형식 및 재원	터널형식 터널길이, 높이, 폭 : m 기타 :
사고일시	일시, 사고 이력
사고내용	사진자료
사고원인	자연적, 인위적요인
피해정도	사고개요 사상자 (명) 부상자 (명) 재산피해 상황 피해상황 사진
사고영향	
조치상황	보수방법, 구조활동
교훈 및 대책	

라. 파손사례 조사내용 분석

1) 파손사례 조사내용 분석

공공시설물의 파손사고원인은 대부분 여러 가지의 원인이 복합적으로 작

용하여 발생하는 것으로 알려져 있다. 파손원인은 주로 홍수, 태풍, 지진과 같은 자연적인 요인과 공공시설물의 설계, 시공 및 유지관리 등과 같은 인위적인 요인 들로 구분할 수 있다.

본 조사연구에서 수집된 자료 들은 자연적인 요인과 인위적인 요인 들에 의해서 파괴된 공공시설물 들의 사례를 수집하였으며 사고요인 별로 분류해 본 것이 Table 4-3-2이다. 이 표에서의 파손사고들은 주로 여러 가지 요인들이 복합적으로 작용하여 발생한 것이므로 가장 직접적인 관계가 있는 1가지 요인만을 선택하여 작성하였다.

가장 많은 파손요인을 차지하는 것으로서는 자연적인 요인으로 42%를 차지함을 알 수 있으며, 다음으로 설계, 시공, 유지관리순 임을 알 수 있다. 그러나 본조사에서 수집한 자료건수가 많지 않아 파손원인별 사고유형분석은 통계적 의미를 크게 부여할 수 없을 것으로 생각되며, 추후 더 많은 파손사례가 추가되어야 할 것이다.

Table 4-3-2

구분	자연적 요인 (%)	인위적 요인(%)			
		설 계	시 공	유지관리	기 타
댐	14(42.4)	9(27.3)	6(18.2)	1(3.0)	3(9.1)
교량	11(39.3)	10(35.7)	3(10.7)	4(14.3)	-
터널	1	-	-	-	-
계	26(42.0)	19(30.6)	9(14.5)	5(8.1)	3(4.8)

또한, Table 4-3-2에서 알 수 있는 바와같이 자연재해에 대비한 구조물의 관리와 설계 및 시공시에 세심한 주의를 기울인다면 많은 인명피해와 막대한 경제적 손해를 끼치는 공공시설물의 파손은 그 대부분을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 공공시설물 별 사고원인 분석

앞에서 기술한 바와같이 구조물의 사고는 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하여 발생하므로 명확한 사고원인을 결정하기는 어렵다.

여기에서는 구조물별 파손원인을 살펴 보기위해 먼저, 댐의 파손원인을 Table 4-3-3에 나타내었다. 표에서 알 수 있는 바와같이 댐파손원인의 대부분을 차지하는 것은 집중호우로 인한 댐의 월류, 세굴에 의한 파괴가 주류를 이루며 특히 Earthfill댐에서는 치명적인 것을 알 수 있다.

그외에 불량재료의 사용이나 불충분한 다짐과 같은 시공불량, 홍수에 대한 불안정성 공의 설계오류, 과도한 수압발생 초래, 기초암반 슬라이딩, 유지관리미숙 등의 사고원인이 있으며 특히, 기타 요인으로는 2차 대전시 군에 의해서 폭발물을 사용하여 고의적으로 댐을 파괴한 것을 들 수 있다.

교량의 파손원인을 나타낸 것은 Table 4-3-4이며, 여기에서 50% 이상의 파손원인을 차지하는 것이 세굴에 의한 교량파괴임을 알 수 있다. 그러나 본자료조사에서는 96년도 강원북부지역의 집중호우시 발생한 사례만을 고려한 것으로서 과거의 세굴에 의한 교량파손자료를 추가한다면 파손비율은 상당히 높아질 것으로 예상된다.

다음으로 설계요인에 근거한 사고원인으로 구조적 결함, 기초의 부적절한 설계, 적절한 풍력계산 실패, 지반 및 토압에 대한 계산 착오, 온도차에 의한 수축 및 인장의 미고려 등을 들 수 있고, 시공요인으로는 용접불량, 콘크리트 이음부 연결 미숙, 부적합한 철근배근, 앵커리지 지지파일 불사용 등을 들 수 있으며, 피로균열, I-bar결함 등을 교량점검시 미리 조치하지 못한 것과 같은 유지관리요인등을 지적 할 수 있다.

터널은 지반붕괴가 사고원인인 일본의 토요하마 터널붕괴사고가 조사되었으며 국내에서의 파손사례는 수집되지 않았다.

Table 4-3-3

사례번호	사고명	댐소재지	사고년월일	사고원인
DD1- 1	호기댐붕괴	한 국	1961. 7.11	집중호우
DD1- 2	포천댐붕괴	한 국	1996. 7.27	집중호우
DD1- 3	연천댐붕괴	한 국	1996. 7.27	집중호우 댐운영미숙
DD2- 1	Bradfield댐 붕괴	영 국	1864. 3.11	부실시공(다짐불량)
DD2- 2	Bouzey댐 붕괴	프랑스	1895. 4.27	부실시공(누수, 균열)
DD2- 3	Austin댐 붕괴	미 국	1911. 9.30	부실시공 (과도수압, 기초취약)
DD2- 4	Bila Desna댐 붕괴	체 코	1916. 9.	부실시공
DD2- 5	Tigra댐 붕괴	인 도	1917. 8 .4	집중호우(크랙)
DD2- 6	Gleno댐 붕괴	이태리	1923.12. 1	부실시공
DD2- 7	St. Francis댐 붕괴	미 국	1928. 3.12	설계결함
DD2- 8	Alla Sella Zerbino댐 붕괴	이태리	1935. 8.13	설계결함
DD2- 9	Eder댐 붕괴	독 일	1943. 5.17	공습, 폭파
DD2-10	Mohne댐 붕괴	독 일	1943. 5.17	공습, 폭파
DD2-11	Dnjeprostroj댐 붕괴	소 련	1941. 9.	폭약, 폭파
DD2-12	Frias댐 붕괴	아르헨티나	1970. 1. 4	유지보수소홀
DD1-13	Vega de Tera댐 붕괴	스페인	1959. 1.10	부실시공

Table 4-3-4

사례번호	사고명	댐소재지	사고년월일	사고원인
DD1-14	Malpasset댐 붕괴	프랑스	1959.12. 2	설계오류
DD1-15	Oros댐 붕괴	브라질	1960. 3.25	홍수(월류파괴)
DD2-16	Babii Yar 댐 붕괴	소련	1961. 3.25	홍수(월류파괴)
DD2-17	Panshet 댐 붕괴	인도	1961. 7.12	설계오류
DD2-18	Khadakwasla댐붕괴	인도	1961. 7.12	설계오류
DD2-19	Vaiont댐 붕괴	이태리	1963.10. 9	사면 슬라이딩
DD2-20	Baldwin Hills댐 붕괴	미국	1963.12.14	설계오류
DD2-21	Fontenelle댐 붕괴	미국	1965. 9. 6	부실시공
DD2-22	Zgoorigrad댐 붕괴	불가리아	1966. 5. 1	홍수(월류파괴)
DD2-23	Nanaksagar댐 붕괴	인도	1967. 9. 8	기초누수 발생파괴
DD2-24	Sempor댐 파괴	인도네시아	1967.12. 1	세굴파괴
DD2-25	Van Normasn댐붕괴	미국	1971. 2. 9	지진,액화현상 파괴
DD2-26	Buffalo Creek댐 붕괴	미국	1972. 2.26	홍수(월류파괴)
DD2-27	Canyon Lake댐 파괴	미국	1972. 6. 9	홍수(월류파괴)
DD2-28	Walter Bouldin댐 붕괴	미국	1975. 2.	부실시공
DD2-29	Teton댐 붕괴	미국	1976. 6. 5	설계오류
DD2-30	Machhu II댐 붕괴	인도	1979. 8.11	홍수(월류파괴)

Table 4-3-5

사례번호	사고명	교량 소재지	사고 년월일	사고원인
BD1-1	협동교 붕괴	한 국	1996. 7.27	세 굴
BD1-2	육단2교 붕괴	한 국	1996. 7.27	세 굴
BD1-3	육단1교 붕괴	한 국	1996. 7.27	세 굴
BD1-4	가래교 붕괴	한 국	1996. 7.27	세 굴
BD1-5	매월교 붕괴	한 국	1996. 7.27	세 굴
BD1-6	하성동교 붕괴	한 국	1996. 7.27	세 굴
BD1-7	군탄교 붕괴	한 국	1996. 7.27	세 굴
BD1-8	하시례교 붕괴	한 국	1996. 7.27	세 굴
BD1-9	동막교 붕괴	한 국	1996. 7.27	세 굴
BD1-10	신행주대교 붕괴	한 국	1992. 7.31	부실시공
BD1-11	성수대교 붕괴	한 국	1994.10.21	부실시공
BD1-12	남해 창선교 붕괴	한 국	1992. 7.30	세 굴
BD2-1	ASHTABULA교 붕괴	미 국	1876.10.29	유지관리소홀 (피로균열)
BD2-2	TAY교 붕괴	영 국	1879.10.28	설계오류
BD2-3	QUEBEC교 붕괴	미 국	1907. 8.29 1916.10.11	설계오류 (부재,십자형주조 파괴)
BD2-4	FALLS VIEW교 붕괴	미 국	1938. 1.27	설계오류(빙력착오)
BD2-5	SANDO ARCH교 붕괴	스웨 덴	1939. 8.31	설계오류(강도부족)
BD2-6	PEACE RIVER교 붕괴	카나다	1957.10.16	부실시공 (지지파일불사용)

Table 4-3-5 A Major Causes of Bridge Failure Examples(continued)

사례번호	사고명	교량 소재지	사고년월일	사고원인
BD2-7	SECOND NARROW교 붕괴	캐나다	1958. 7.17	설계오류 (가설지주결함)
BD2-8	KING STREET 교 붕괴	미 국	1962. 7.10	설계오류 (재료부적합)
BD2-9	POINT PLEASANT -SILVER교 붕괴	미 국	1967.10.15	유지관리소홀 (I-bar 결함)
BD2-10	ANTELOPE VALLEY FREEWAY 인터체인지 붕괴	미 국	1971 .2. 9 1992. 1.17	설계오류 (기둥용량 부족)
BD2-11	MIANUS RIVER교 붕괴	미 국	1983. 6.28	유지관리소홀 (누수,용빙제로 녹발생)
BD2-13	SAN FRANCISCO- OAKLAND BAY교 붕괴	미 국	1989.10.17	설계오류 (내진부족)
BD2-14	CYPRESS고가교 붕괴	미 국	1989.10.17	설계오류 (내진소홀)
BD2-15	TACOMA NARROWS교 붕괴	미 국	1940.11. 7	설계오류 (풍력계산소홀)
BD2-16	HATCHIE RIVER교 붕괴	미 국	1989. 4. 1	교각 세굴
BD2-17	SILVER교 붕괴	미 국	1967.12.17	유지관리소홀 (아이바취성파괴)

4. 파손 사례조사 결과 및 활용계획

가. 파손 사례조사에 대한 결론

공공시설물의 파손사례조사를 수행한 결과에 따라서 파손사례의 국내현황, 파손사례 조사시의 문제점, 사고원인 등을 정리하면 다음과 같다.

1) 국내에서의 공공시설물 파손사례조사나 연구는 체계적이고 조직적으로 이루어지지 않고 있으며, 구조물 사고발생시 유사한 사고의 재발방지를 위한 기술적인 교훈을 얻지 못하고 있는 실정이다. 이것을 해결하기 위해서는 구조물 파손사례의 지속적인 수집, 분석은 물론 국내 전 공공구조물의 현황, 이력 및 문제점을 정보체계화하여 관리하는 것이 절실히 요구된다.

2) 국내 공공시설물의 파손사례조사는, 해당사고에 관한 사고조사가 유관 단체를 통해서 이루어지고 있으나 사고조사보고서는 공개되지 않고 있음으로서 해당자료를 얻는데에 어려움이 있다. 파손사례의 원만한 조사, 연구를 위해서 유관기관 및 관계당사자들의 사고전환이 필요하며 아울러서 제도적인 장치가 반드시 이루어져야 할 것으로 생각된다.

3) 공공시설물의 파손사고는 보통 많은 요인들이 상호작용하여 발생한다. 본조사의 교량파손사례에서 알 수 있는 바와같이 집중호우시 세굴과 같은 자연현상적 요인에 의한 사고가 가장 많은 비중을 차지하고 있는바 이에 대한 철저한 대책이 요구되며, 다음으로 많은 비중을 차지하는 설계, 시공 등에 세심한 주의를 기울인다면 파손사고는 크게 줄일 수 있을 것으로 생각

4) 국내·외 공공시설물 파손사례 수집현황에서 알 수 있는 바와같이 사례조사건수가 많지 않으며 특히, 국내의 조사건수가 외국에 비해 상대적으로 적다. 따라서 공공시설물 파손의 파손원인별 사고유형분석은 통계적 의미를 크게 부여할 수 없을 것으로 생각되며, 추후 더 많은 파손사례가 지속적으로 추가되어야 사고유형분석에 대한 신뢰성이 확보될 것으로 생각된다.

나. 활용계획

수집된 공공구조물의 파손사례 및 분석자료는 이를 정보체계화하기 위한 기초자료로서 활용할 수 있으며 비록 제한적이지만 공공구조물의 파손유형 파악과 안전관리를 위한 기초적인 기술정보에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

제 4 절 방재정보시스템 개발

1. 구축 목적

방재정보시스템은 방재기술을 개발하고 방재업무를 효율적으로 수행하기 위해 다양하고 방대한 양의 데이터베이스가 구축되고 이들을 활용하기 위한 각종 응용시스템이 개발되고, 국내외 유관기관들간 유기적인 정보 공유체제를 확립하기 위하여 구축되어야 한다. 사용자가 요구하는 다양한 데이터를 손쉽게 수집하여 응용프로그램을 개발하거나 원하는 방재관련 정보를 제공받을 수 있도록 하기 위해 먼저 여러곳에 분산되어 있는 각종 방재관련 데이터를 수집하여, 데이터의 종류와 구성에 따른 체계적인 분류 기준을 마련하여 데이터베이스를 구축하고, 구조적 시설물에 대한 다양한 형태의 측정자료 및 연구자료들에 있어서도 체계적인 정보 수집과 분류를 통해 표준화 될 수 있는 데이터베이스를 구성하는 것이 필요하다. 이들 DB에 저장되어진 정보는 인트라넷을 통하여서는 지역 데이터베이스를 이용한 응용프로그램의 개발 및 사용이 용이하도록 하고, 기본 정보 DB와 방재관련 유관 정보 DB는 초고속망을 이용하여 정보를 필요로 하는 관련 연구기관 및 중앙 부처에서 쉽게 사용할 수 있도록 한다. 이러한 정보의 공유를 위해 통합방재정보시스템에 기초한 적합한 네트워크 시스템을 구성하여, Web에 기초한 데이터의 관리 기능을 통하여 인터넷을 이용한 정보전달이 용이하게 이루어지도록 해야 한다.

방재정보시스템은 기술정보의 활용을 위하여 제공되어지는 다양한 형태의 방재관련 데이터를 표준 인터페이스를 통해 입력, 수정, 검색, 삭제 등이 가능하도록 해야함은 물론 기존데이터의 변환등을 고려한 총체적인 관리시스템의 기능이 제공되어야 한다. 이러한 기능들은 데이터베이스와 연동

되어 데이터의 입력, 수정, 삭제, 검색 등이 용이하게 이루어질 수 있도록 하여야 하며, 사용자의 편의성을 고려하여 Web에 기초한 사용자 인터페이스를 통해 관리 시스템을 구성하여야 한다. 시스템의 요구사항 및 데이터 관리와 관련 기술을 충분히 검토하여 향후 시스템의 발전방향이 될 분산객체 환경에 쉽게 적응할 수 있게 하기 위하여, 다양한 정보자원을 독립된 객체로 처리하고, 표준 인터페이스를 통해 상호 연동시킴으로 향후의 분산객체 환경으로의 전이를 위한 기본 기능을 고려하여, 기술 동향에 무리 없이 적응할 수 있는 유연한 구조를 채택하여야 한다.

2. 시스템 요구기능

본 과제에서 구현하고자 하는 정보시스템의 구현기능은 아래와 같으며 각각에 대해 상세한 요구사항을 분석하면 다음과 같다.

- Web Server 구축
- 데이터 관리 기능 (Text, Image, 도면 등)
- Client/Server 시스템구성
- 웹을 통한 정보서비스 기능
- 웹을 통한 정보검색 기능
- 웹을 통한 DB관리 (입력, 출력, 검색, 삭제, 조회) 기능
- WUI 화면 구성기능
- 방재센터와 KRISS Network과 Intranet구성
- 방재센터와 유관 기관들과 Internet구성
- 이기종 DB와의 호환 기능
- 응용 목적에 따라 DB데이터를 이용, 분석, 통계처리할 수 있도록 Application 개발

가. Web Server 구축

Web상에서 방재정보시스템을 구축하여 Internet 이나 Intranet을 통해 정보데이터가 국내외 기관 및 사용자들에게 제공되도록 하고, 사용자는 Web 표준인터페이스를 통해 손쉽게 정보를 제공받을 수 있도록 한다. 모든 기능은 Web Browser를 통해 이루어져, 사용자가 별도의 소프트웨어를 설치하거나 사용법을 교육받을 필요없이 동일한 응용프로그램을 지원받을 수 있어야 한다.

나. 데이터 관리 기능

구축하고자 하는 기본 물질관련 DB, 공공 시설구조물의 상시감시데이터, 수.자동 측정데이터, 관련 연구자료 DB, 시설물 현황 자료와 파손사례, 도면정보 DB 등은 데이터의 종류 및 형태가 다양하여, 데이터 변환 및 처리방법을 제공함으로써 데이터의 효율적 저장 및 관리가 이루어지도록 해야 한다. 데이터는 주로 text, image, 도면등의 형식으로 제공되며, 데이터베이스에 저장시 데이터간의 연계성을 고려하여 테이블 구성이 되어야 한다. 또한 데이터의 효율적 관리는 데이터의 형식 뿐아니라 데이터 크기에도 영향을 받기 때문에 원하는 데이터를 빠른 시간에 제공받기 위해 그 관리 기능이 절실히 요구된다. 또한 방재관련 DB 구축시 정보의 보안을 위해 데이터의 공개범위의 설정을 고려하여 구성 테이블을 정규화할 필요가 있다. 이외에 기존에 존재하는 각종 데이터 포맷을 지원하기 위한 방안도 검토되어야 한다.

다. Client/Server 시스템구성

많은 양의 데이터가 존재하므로 부하를 분산시킬 수 있는 C/S구조가 요구되며, 웹을 이용한 정보의 제공을 위하여 데이터베이스 서버와 응용서버, 클라이언트의 적절한 구성을 통해 시스템의 부하 분산과 데이터 접근의 용이성, 네트워크의 효율적 구성이 필요하다. 이를 위해 적절한 H/W, S/W 선정과 시스템 구성이 요구된다.

라. 웹을 통한 정보서비스 기능

센터에서 제공하는 다양한 정보의 공공 서비스 체계가 구축되어야 한다. 센터 소개와 같은 일반적인 Homepage 기능을 비롯하여, 각종 지원서

식의 제공, 입력기능, 세미나 및 워크샵 안내, 방재 관련 국내외 웹사이트 정보등이 제공되어야 하고, 지원되는 데이터 및 입력데이터는 사용자의 설정된 이용 권한의 등급에 따라 수행될 수 있도록 하여, 데이터의 보안과 사용자 보호 기능이 고려되어야 한다.

마. 웹을 통한 정보검색 기능

웹서버로부터 일반 제공 정보와 연구보고서 검색등과 관련하여 사용자가 원하는 정보를 용이하게 찾을 수 있도록 하기위해, 효율적인 검색 엔진을 포함한 키워드 검색 기능이 요구된다. 웹을 통해 데이터베이스에 저장되어 있는 정보를 빠른 시간에 검색하고, 주어진 조건에 따라 요구되는 정보를 검색할 수 있는 검색엔진을 포함한 시스템이 구축되어야 한다.

바. 웹을 통한 DB관리 (입력, 출력, 검색, 삭제, 조회) 기능

방재 관련 대부분의 정보는 데이터베이스에 존재한다. 따라서 데이터베이스와 연동될 수 있도록 웹서버가 구축되어야 하며, 사용자는 투명하게 DB의 데이터에 접근하여 조회, 수정할 수 있어야 한다. 또한 DB에 저장되어진 다양한 데이터에 대해 키워드를 통한 텍스트 검색이나 Image, 도면의 검색이 요구된다.

사. WUI 화면 구성기능

사용자가 상용의 웹브라우저만을 사용해서 마치 일반 Application을 수행하는 것과 같은 화면을 제공받아 응용프로그램을 수행할 수 있도록 웹상에서 GUI 화면 구성을 함으로 사용자 편의성을 극대화 해야 한다.

아. 방재센터와 KRISS Network과 Intranet구성

방재센터가 보유하게될 데이터베이스는 그 구축목적과 사용목적에 따라 공개여부가 결정되고, 사용자에 따라 관리할 수 있는 데이터가 결정되어야 하므로 데이터의 보안을 위하여 방재센터 내부에서 전체데이터를 관리하고, 한국표준과학연구원내 기술정보실과의 데이터 연계를 위해 사용자별로 유관 데이터베이스로의 접근이 가능하게 지원되어야 한다. 이를 위해 한국표준과학연구원 내부 사용자들이 자유로이 데이터를 사용할 수 있도록 내부 망을 통해 공개될수 있는 Intranet 시스템이 요구된다

자. 방재센터와 유관 기관들과 Internet구성

내부적인 사용목적 이외 방재정보의 기관간, 국내외간 정보의 교류를 위하여 데이터베이스의 제공이 필요하다. 이때 모든 데이터베이스가 인터넷을 통해 제공되어질 필요는 없으며, 선택으로 정보가 제공되어야 하므로 인터넷을 통한 정보제공시 데이터의 보안이 고려되어 구성되어야 한다.

차. 이기종 DB와의 호환 기능

향후 국내외 방재관련 기관들간 유기적인 정보 공유체제하에 방재관련 업무를 효율적으로 추진하기 위하여, 서로 분산되어 있는 다른 종류 데이터베이스를 체계적으로 연동하여, 동일 DB를 사용하는 것과 같이 사용자에게 투명하게 데이터를 제공할 수 있는 통합방재시스템이 요구된다. 또한 다양한 종류의 DB로 부터의 정보제공과 다른 시스템 사용자들과의 정보공유를 위하여, 서로 다른 운영체제상에서 네트워크환경을 통한 이종의 DB등, 서로 다른 환경에서 사용되고 있는 클라이언트/서버 소프트웨어 들간 통합도 고려되어야 하므로 이종의 분산환경에서 상호동작성을 제공할 수 있는

객체지향의 CORBA 표준을 고려한 개발환경이 요구된다.

카. 응용목적에 따라 DB데이터를 이용하여 분석, 통계 처리할 수 있는 Application 개발

다양하고 방대한 양으로 구축되어진 데이터베이스는 최종적으로 사용자가 필요에 의해 이 데이터들을 활용하여 각종의 응용시스템을 구축하도록 하는데 그 목적을 두고 있다. 따라서 각각의 응용 목적에 따른 Application이 개발되어야 한다.

3. 시스템 구성

가. 네트워크 구성

방재정보시스템 요구사항에 따라 서로 다른 지역에 존재하는 이기종 시스템과 그안에 저장되어 있는 다른 형태의 데이터베이스간 정보를 네트워크를 통해 공유할수 있도록 하기 위하여, 각 기관은 구축되어 있는 데이터베이스에 대해 접근할 수 있는 권한을 사용자별, 데이터 종류별로 설정하여 관리하도록 하였다. 내부에서는 인트라넷을 통해 정보를 공유함으로써 보안을 유지해야 하는 데이터에 일반 사용자의 접근을 통제할 수 있으며, 원활한 정보의 공유를 위해서는 인터넷을 통해 허가된 사용자들에게 정보를 지원할 수 있다. 이를 위해 Fig. 4-4-1 에 각 유관 기관들간 정보공유와 중앙방재센터에서 각기관 DB로의 접근을 위한 네트워크 구성도를 나타내었다.

한국표준과학연구원내 방재기술정보센터는 Enterprise 3000서버에 오라클 데이터베이스를 설치하고 오라클 웹서버 옵션으로 웹서버를 구축하였다. 방재센터의 서버는 KRISS Network과 연결시켜 소내 기술정보실 및 관련 부서의 방재관련 보고서나 연구데이터를 공유할수 있도록 하였다. 시설물의 정밀 안전진단이나, 예측시스템 등의 응용프로그램을 개발할때 관련 DB의 데이터는 사용자별 접근권한 등급에 따라 인트라넷을 통해 이용할 수 있도록 네트워크를 구성하였으며, 외부와의 데이터 전송은 인터넷을 통해 정보제공이 되도록 하였으며, 국내외 다른 유관기관과의 정보연계는 적절한 접근 권한을 부여하여 정보공유가 될 수 있도록 네트워크를 구성하였다.

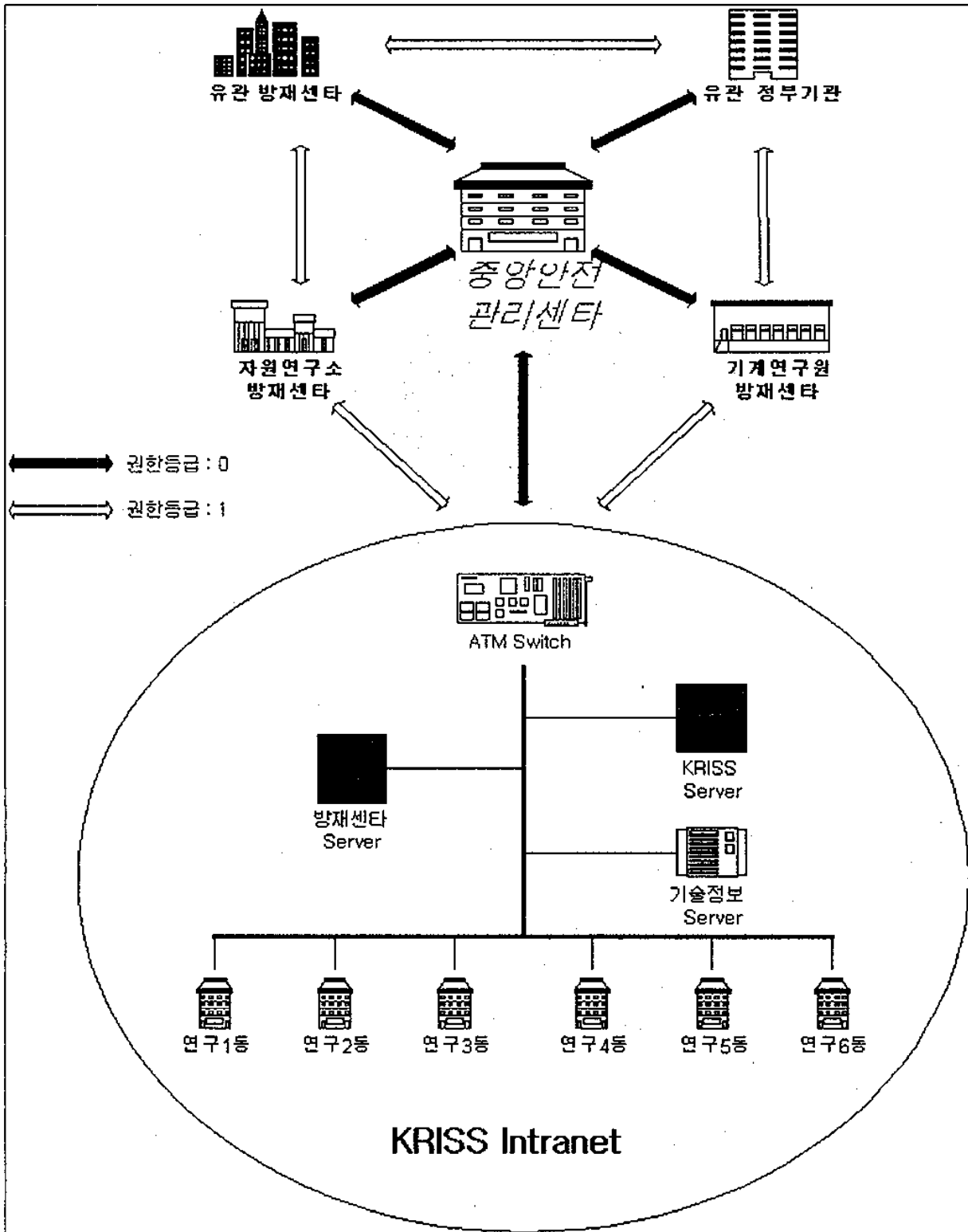


Fig. 4-4-1 네트워크 구성도

나. 시스템 구성

웹 브라우저를 통해 데이터베이스에 저장되어 있는 다양한 데이터를 검색, 수정, 삭제, 입력할 수 있도록 하기 위하여 Fig. 4-4-2 와 같이 방재정보관리시스템을 구축하였으며, 구축에 필요한 상세한 기능 및 관련 소프트웨어를 설명한다.

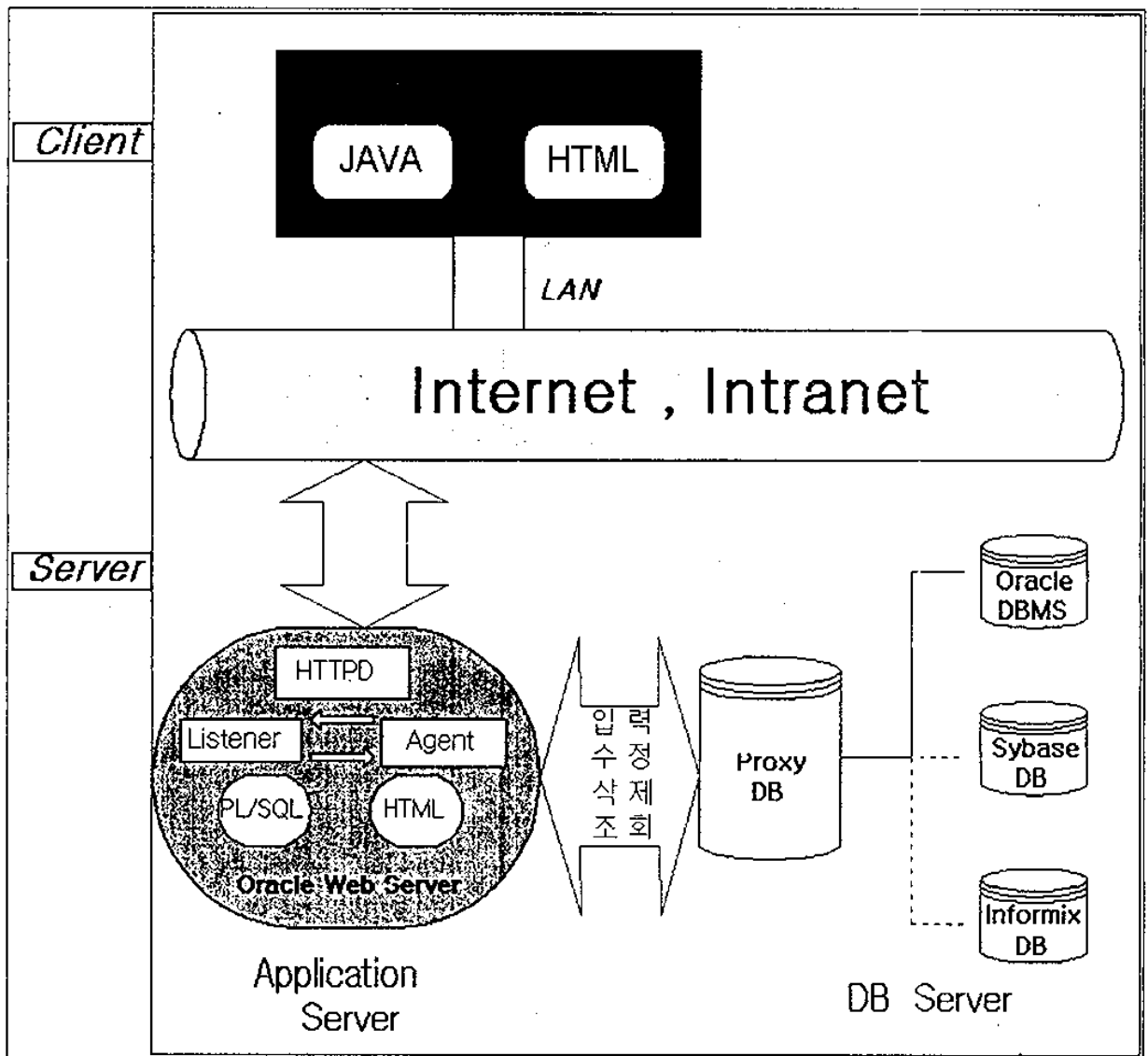


Fig. 4-4-2 시스템 구성도

다. 시스템 환경

Web을 기반으로한 방재기술정보시스템의 구축을 위하여 Fig. 4-4-2의 시스템 구성도에서 제시한 바와 같이 시스템을 구성 하였으며, 요구되는 시스템의 하드웨어, 소프트웨어 스펙은 Table 4-4-1과 같이 구성하였다.

Table 4-4-1 시스템 환경

Server	Application Server	* Enterprise 3000 (Solaris 2.x) Oracle Webserver option Oracle JDBC Thin Driver JDK 1.1.5
	DB Server	Oracle DB 7.3
Client		Pentium PC (Win95) LAN Card SQL*Net Web Browser (Netscape 4.03 이상, JAVA 지원)

* 자세한 Spec은 Table 4-4-2에 표시

Table 4-4-2 Ultra Enterprise 3000의 개요

Product specification	Ultra Enterprise 3000	
CPUs	1-6	
Processor	UltraSPARC-II	
Clock speed	250-MHz	
Board slots	4	
CPU for performance	1	6
SPECint_rate95	93.9	556
SPECfp_rate95	135	745
Relative OLTP Performance	1.81	9.13
NFSops/sec@msec/op	4718@26.2(2)	7808@23.0(4)
Main memory	256 MB-6 GB	
Maximum disk capacity	91 GB	
-Internal	Over 2TB	
-External		
I/O slots(SBUS)	3-9(SBUS)	
	2-6(PCI)	
I/O channels	1-6(SBUS)	
	1-6(PCI)	
I/O channel bandwidth	200 MBps each (SBUS)	
	528 MBps each(PCI)	
System bus bandwidth (sustained/peak)	2.5 GBps/2.6 GBps	
Redundant power and cooling	yes	
Hot swap system component	yes	
Operating system	Solaris 2.5.1 or later	
System monitor	Solstice SyMON	
Warranty	1 year hardware	
	90 days software	
	8-hour phone response	
	Next day Onsite response	
Installation	Basic Sun Installation included	

라. 데이터 관리

방재센터의 데이터베이스에 수집/생산 되어질 방재기술정보의 데이터는 공공시설물 및 기간설비에 관한 재료 물성 데이터, 국내외 시설물 파손 사례에 관한 자료, 진단/평가 기술, 센서/측정기술에 관한 연구 결과로 생성된 기술데이터, 외국에서 도입되어진 관련 응용소프트웨어의 DB에 저장되어 있는 데이터 등으로 그 형태는 Text, Image, 도면 데이터 및 GIS 데이터들로 이루어져 데이터베이스 구축시 효율적인 저장 및 관리가 요구된다.

이들 데이터는 기존에 존재하는 형식 그대로 데이터베이스에 저장되거나 일부 변환에 의해 저장되어야 하며, 표준 인터페이스를 통해 신규 데이터로 입력되어질 수도 있다. 제공되어지는 방법에 의해 데이터베이스안에 저장되어진 데이터는 그 종류와 형태에 따라 정규화되어 존재하게 된다.

데이터베이스에 저장되어진 데이터는 DB와 연동되어진 웹상에서 질의 요구에 따라 사용자에게 정보를 제공하게 된다. 이와 관련하여 구축된 시스템 내에서의 데이터의 흐름을 Fig. 4-4-3 에 보여준다.

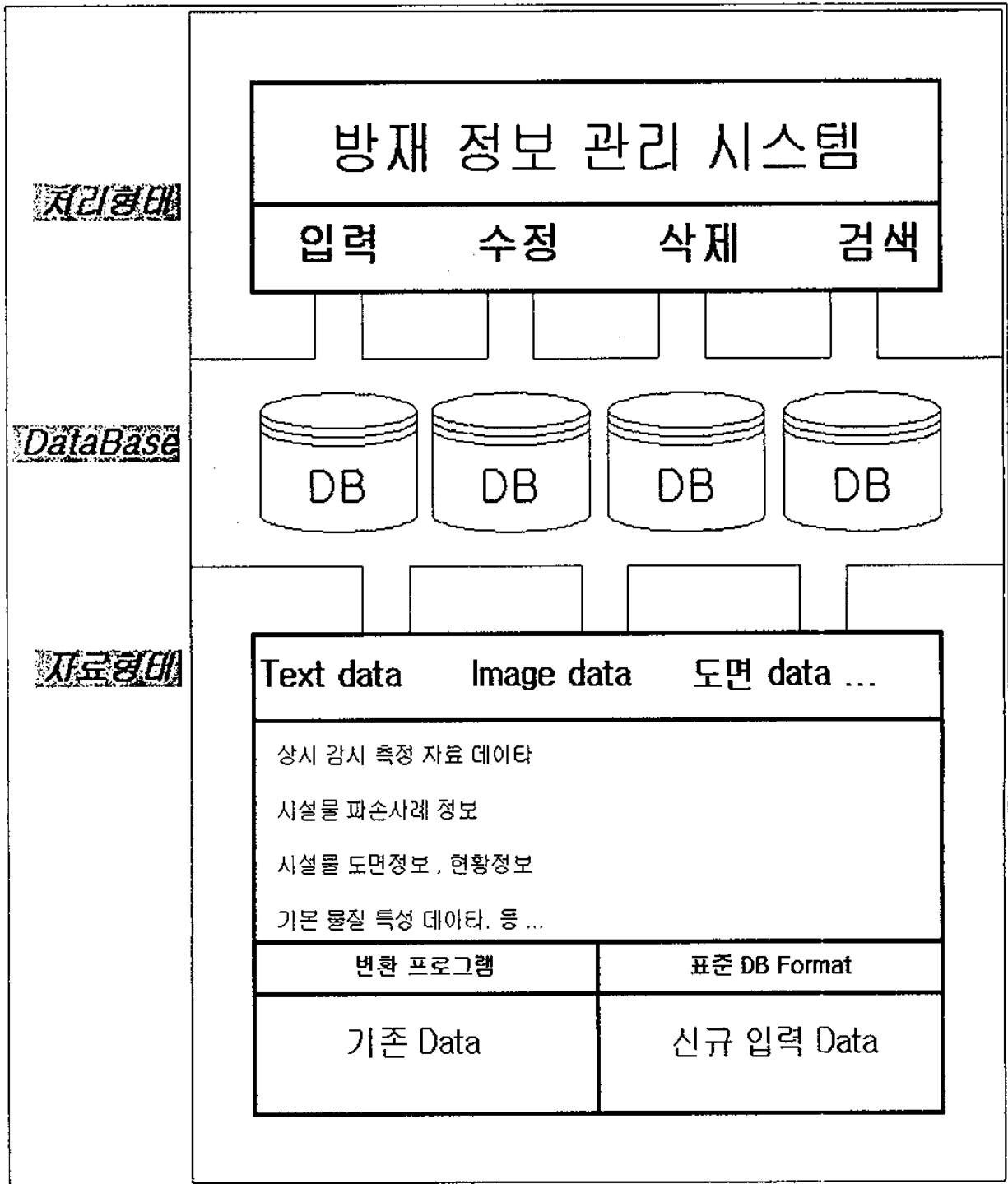


Fig. 4-4-3 데이터 관리를 위한 흐름도

마. Web과 DB의 연동

DB에 저장되어진 데이터를 Web을 이용하여 사용자에게 서비스하기 위해 DB에 접근하여 데이터를 가져올 수 있는 DB 접속 기능이 요구된다.

본 과제에서 채택한 DB접속방식은 Table 4-4-3에서 정리된 웹과 DB연동 방식중 서버 기능에 있어서는 전용서버 방식과 JDBC를 이용한 연동방식이 고려되었으며, 클라이언트에서는 웹브라우저 자체에 데이터베이스 접속을 위한 기본기능 즉 java script 번역기를 지원하고 있는 Netscape 4.03 이상의 브라우저를 이용한 브라우저 확장 방식을 채택하였다.

Table 4-4-3 DB 접속방식

Web과 DB 접속방식	서버	CGI 실행 화일 방식	웹서버가 지원하는 CGI기능 이용하여 데이터베이스 응용프로그램이 CGI용 실행화일 자체로 운영
		응용서버 방식	데이터베이스 응용프로그램이 데몬 방식으로 운영되고 CGI 실행화일을 통해 질의 요구 전달
		확장API	웹서버가 지원하는 확장 API 기능을 이용
		전용서버	특정 DBMS를 접속할 수 있는 기능을 내장하고 있는 웹서버
	클라이언트	외부 뷰어 이용	외부 뷰어 접속기능을 이용
		브라우저 확장	브라우저 자체에 데이터베이스 접속을 위한 기능 포함

각 접속방식을 상세히 살펴보면

1) CGI 실행파일 방식

데이터베이스 시스템과 웹의 가장 단순한 통합은 기존의 웹서버 및 브라우저를 변경하지 않고, CGI 실행파일로 하여금 접근하게 하는 방식으로 Fig. 4-4-4과 같은 구조를 갖는다.

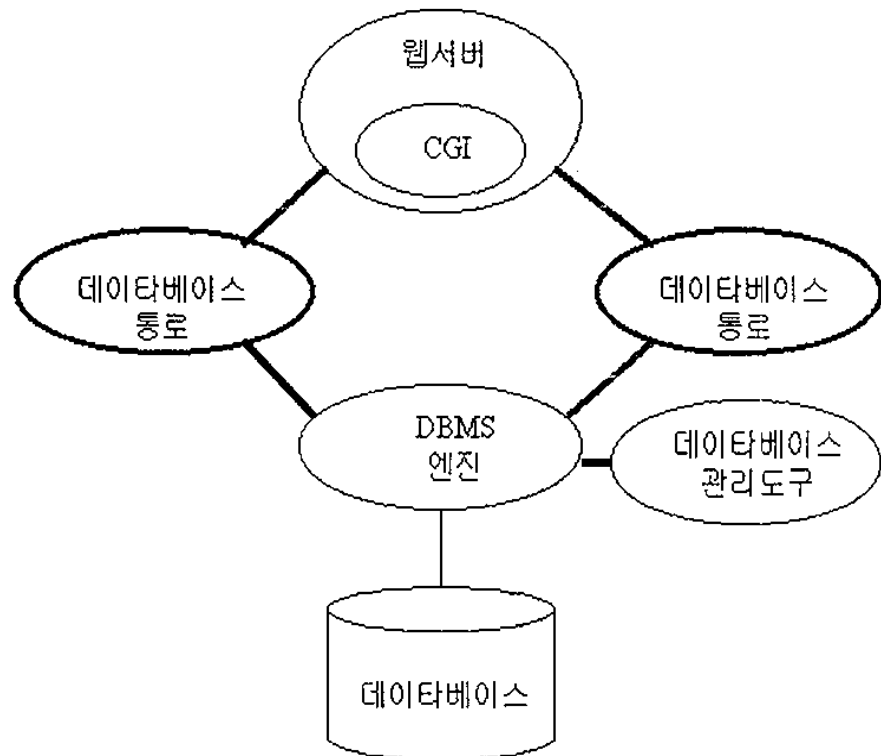


Fig. 4-4-4 CGI 실행파일 방식 구조

데이터베이스에 저장된 모든 자료는 데이터베이스 통로를 통해 접근된다. 데이터베이스 통로는 웹서버의 CGI를 통하여 입력인자를 받고 데이터베이스 엔진을 통해 원하는 자료를 검색한후 이를 HTML문서 형태로 변환하여 웹서버에게 넘겨준다. 이때의 데이터베이스 통로는 연결하고자 하는 DBMS의 응용프로그램 개발도구를 이용하여 작성된다. 즉 데이터베이스 응용프로그램의 하나라 할 수 있다. 일반적으로 웹서버의 CGI와 데이터베이스 통로와의 통신은 프로세스 파이프를 통하여 이루어 진다. 즉 웹서버는 데이터베이스 통로를 생성한후 프로세스 파이프를 연결하여 데이터베이스 통로 프로세스의 STDOUT을 결과로 받게된다.

웹 서버는 하나의 요구를 처리할때마다 새로운 데이터베이스 통로 프로세스를 생성하고 파이프를 연결한다. 그리고 요구처리가 끝나면 이 프로세스를 종료시킨다. 따라서 데이터베이스는 하나의 요구를 처리하기 위하여 DBMS에 연결하고 로그인하는 과정을 매번 수행하게된다.

CGI용 실행파일 방식의 데이터베이스 통로 구조는 다음과 같은 장점을 갖는다. 첫째 기존의 웹서버, 웹브라우저, 그리고 URL, HTTP, HTML 기술을 변경없이 사용할 수 있다. 둘째 데이터베이스 통로 만의 개발/시험이 용이하여 구현이 쉽다. 셋째 차후 응용의 확장으로 인하여 데이터베이스 접근 요구 사항이 확대될 경우 데이터베이스 통로만을 확장함으로 해결할 수 있다. 예를 들면 데이터베이스 통로가 DBMS뿐만 아니라 정보검색시스템에 대한 사용자 요구를 처리한다든가, 분산 데이터베이스를 처리하고자 할 때, 웹서버에 변경없이 확장이 가능하다.

이 구현방식이 갖는 문제점은 모든 데이터베이스 자료가 데이터베이스 통로 프로세스를 통하여 전송됨으로 프로세스간 자료 복사, 프로세스 교체 등의 성능저하 요인이 생기는 것이다. 또한 데이터베이스 응용프로그램이 CGI 실행파일로 구동되기 때문에 동시요구 발생시 요구 수만큼 데이터베이스 응용

프로세스가 생성되어야 한다. 일반적으로 데이터베이스 응용프로그램은 그 크기가 작지만 동시에 많은 응용프로세스가 생성되면 시스템 자원의 부족과 성능저하가 초래된다. CGI용 실행화일은 한번 요구 수행후 종료되므로 데이터베이스 시스템이 고성능을 지원하기 위해 제공하는 중요한 몇가지 최적화 기능을 수행하지 못하게 된다.

2) 응용서버 방식

CGI용 실행화일 방식의 성능 문제를 해결하기 위해 데이터베이스를 접속하는 프로세스를 데몬방식으로 바꾼 것이 응용서버 방식이다. 응용서버 방식이 데이터베이스 통로는 웹서버의 CGI에 의하여 구동되는 디스패처 프로세스와 데이터베이스 검색 및 HTML문서 변환 기능을 수행하는 데몬 방식의 데이터베이스 응용 프로세스로 나누어져 있다. Fig. 4-4-5에 이방식의 구조를 보인다.

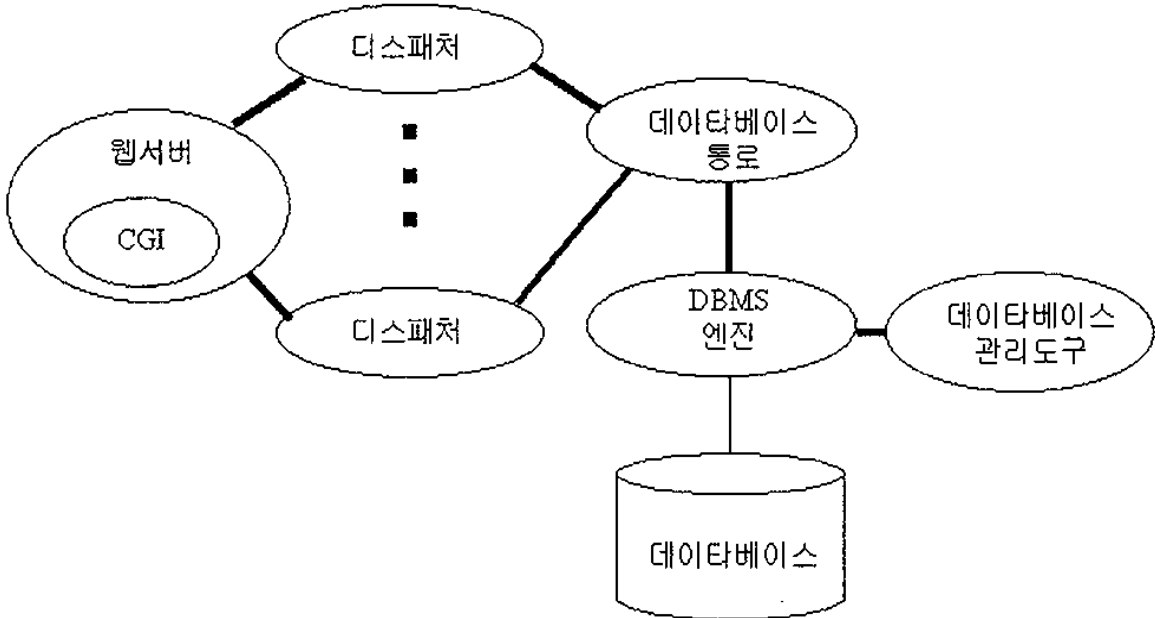


Fig. 4-4-5 응용서버 방식 구조

디스패처는 웹서버의 CGI로부터 프로세스 파이프로 연결되어 호출된다. CGI용 실행화일이기 때문에 사용자가 데이터베이스에 접근할 때마다 새로이 실행된다. 디스패처는 사용자가 요구한 질의를 수행할 수 있는 응용프로세스를 식별하여 결과를 HTML형식으로 디스패처에 반환하게 된다. 데이터베이스 응용프로세스는 질의를 수행하고 그결과를 웹서버에 전달한다.

데이터베이스 응용프로세스의 주요기능은 데이터베이스를 검색하여 그 결과를 HTML문서로 변환하는 것이다. 따라서 일반적인 데이터베이스 응용프로그램 개발도구를 이용하여 개발하게 된다. 데이터베이스 응용프로세스는 서비스 시스템이 시작될 때 웹서버, DBMS엔진 등과 같이 시작되게 할 수 있다. 즉 서비스가 시작될 때 DBMS에 접속하고, 서비스 종료시까지 사용자 요구를 하나씩 수행한다. 응용서버 방식은 기본적으로 CGI 기술을 이용하기 때문에 CGI실행화일 방식의 장점을 그대로 갖는다.

첫째로, 디스패처는 데이터베이스를 접속하지 않고, 단순히 응용 프로세스를 식별하여 사용자 요구를 넘겨주기 때문에 프로세스의 크기가 매우작다. 따라서, 동시 요구가 매우 많아도 시스템의 자원을 많이 차지하지 않아 대규모 서비스에서 성능 및 자원부족 문제를 발생시키지 않는다. 데이터베이스를 접근하는 프로세스 개수는 동시에 서비스되는 사용자의 요구 개수와 관계가 없다. 데이터베이스 응용 프로세스의 개수를 시스템의 자원상태와 사용자 요구의 많고 적음에 따라 적절하게 조정함으로써 대규모 서비스에 대처할 수도 있다.

둘째로, 데이터베이스 응용 프로세스가 하나의 질의요구 때마다 생성/종료되지 않고 서비스가 종료될 때까지 데몬 방식으로 수행되기 때문에, 일반적으로 데이터베이스 시스템이 고성능을 위해 지원하고 있는 몇 가지 중요한 최적화 기능을 충분히 활용하게 된다. 대부분의 관계 및 객체관계 DBMS는

반복되는 질의의 성능을 극대화하기 위해 두 가지 최적화 지능을 지원한다. 하나는 질의가 처음 수행시 이를 컴파일하고 수행 방법을 최적화하여 그 접근계획을 저장해둔다. 그리고 같은 질의가 요구되면 바로 접근 계획을 실행함으로써 질의의 컴파일 및 최적화 비용을 최적화 한다. 둘은 한번 접근된 객체를 응용 프로세스의 메모리에 저장해두었다가 다시 접근되는 경우 DBMS엔진에 요구하지 않고 바로 메모리에서 찾는다.

3) 확장 API방식

앞에서 기술한 CGI를 이용한 통합 방식의 성능 문제를 해결하기 위하여 웹서버로 하여금 데이터베이스 시스템을 직접 접속하도록 할 수 있다. 웹서버 중에는 서버의 기능을 응용 프로그래머가 확장할 수 있도록 API를 지원하고 있는 것들이 있다. 이러한 API는 CGI와 마찬가지로 데이터베이스 접속기능과는 상관없이 범용 확장을 위해 지원되고 있다. 다만 확장API를 이용하여 구축된 사용자 응용 웹서버에 동적으로 링크되어 하나의 프로세스로 수행되는 것이 일반적이기 때문에 CGI에 비하여 우수하다.

확장 API방식의 데이터베이스 통로는 웹서버의 확장 API와 DBMS의 API를 이용하여 구축할 수 있다. Fig. 4-4-6 는 확장 API를 이용한 데이터베이스 통로의 구조를 보인 것이다. 이 방식에서는 웹브라우저를 비롯한 URL, HTTP, HTML문서등 기존의 웹가술을 그대로 이용할 수 있으나 웹서버는 확장 API를 지원하는 것만 이용할 수 있다.

확장 API를 이용한 데이터베이스 통로에서는 데이터베이스 자료가 DBMS 엔진에서 바로 웹서버를 통해 전송되므로 프로세스간 자료복사 및 프로세스 교체로 인한 부가 비용을 줄일수 있다.

반면에 데이터베이스 통로의 운영 환경이 웹서버와 같은 프로세스로 연동되어 개발.시험이 단순하지않고 새로운 응용으로 확장시 신축성이 떨어진다.

또 웹서버의 확장 API는 아직까지 표준이 없기 때문에 개발된 데이터베이스 통로를 다른 웹서버에서 활용할 수 없는 단점이 있다.

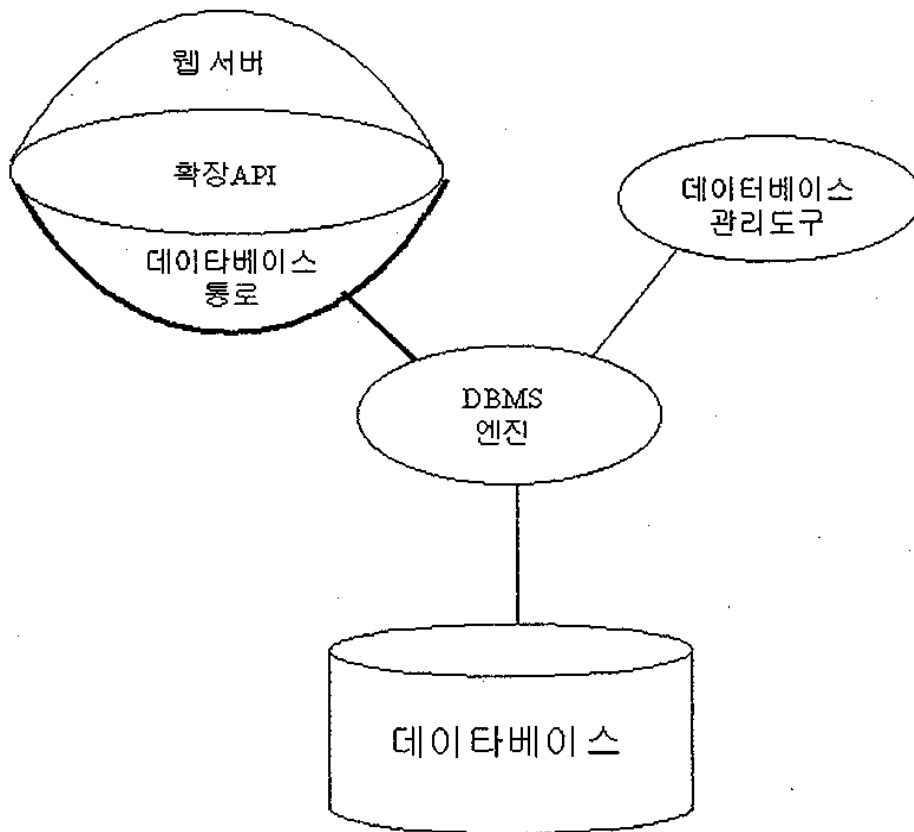


Fig. 4-4-6 확장 API방식 구조

4) 전용서버 방식[5],[6]

전용서버 방식은 웹서버를 이용하여 특정 DBMS엔진에 직접 접속

이 가능하며, 웹 브라우저를 비롯 URL, HTTP, HTML 등 기존의 지원기능을 그대로 이용할 수 있다. 본 과제에서 채택한 Oracle 제품군의 경우 Oracle Web server에서 제공하는 HTTPD 기능을 이용 HTML문서안에 직접 PL/SQL 문을 사용하여 DB에 접근 할 수 있다. 전용서버 방식을, 본 과제에 적용하여 Fig. 4-4-7에 나타내면 다음과 같다.

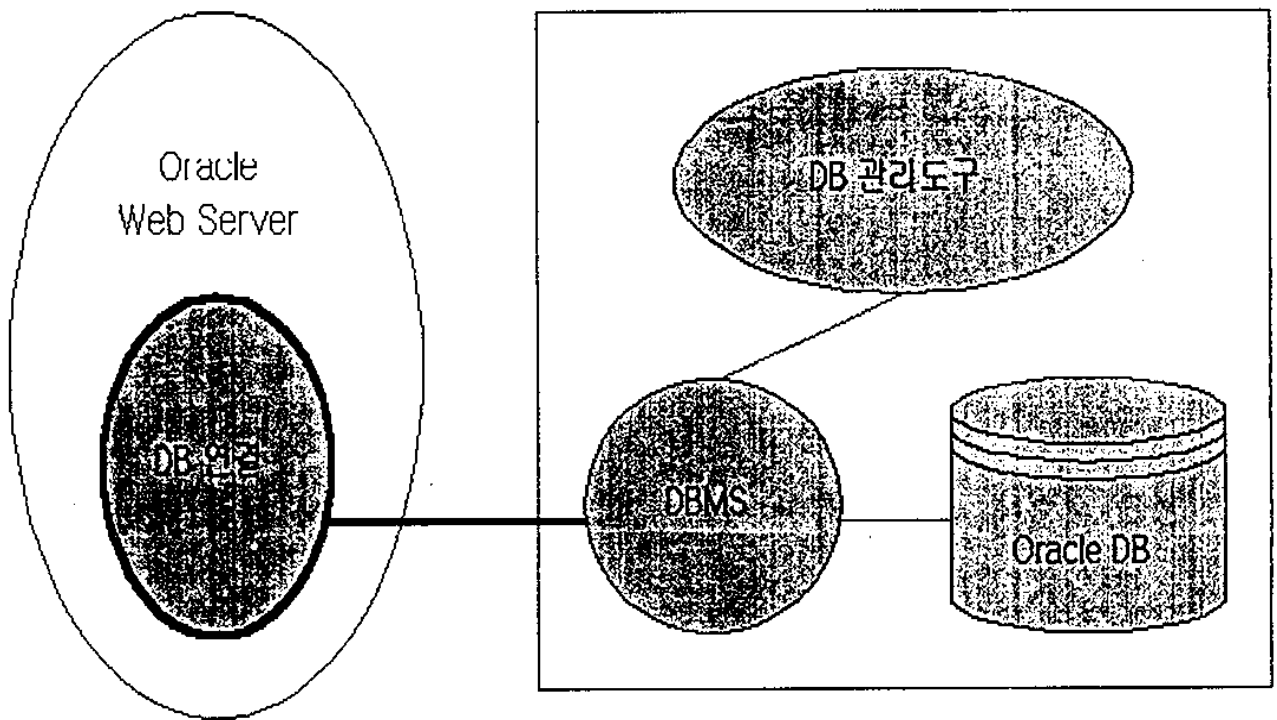


Fig. 4-4-7 전용서버방식 구조

DBMS 전용 웹서버는 DBMS엔진 측면에서 보면 HTTP 통신규약을 지원하는 데이터베이스 응용프로그램의 하나로 볼수 있다. 전용서버는 API나 특정 스크립트 언어를 지원하여 데이터베이스 응용프로그램을 작성할 수 있도록 하고 있다. 전용서버 방식은 앞에서 언급한 확장 API방식의 장단점을 모두

갖는다. 특히 웹서버에 종속되기 때문에 차후 확장하거나 이식하고자 할 때 신축성이 떨어질 수 있다.

5) 외부 뷰어 방식

웹브라우저는 MIME 자료중 자체에서 실행할 수 없는 것은 외부 응용에 연결하여 실행할 수 있도록 지원하고 있다. 이들 데이터베이스 통로로서 활용하는 방식이 외부 뷰어 방식이다. Fig. 4-4-8는 외부 뷰어 방식의 데이터베이스 통로를 보인 것이다.

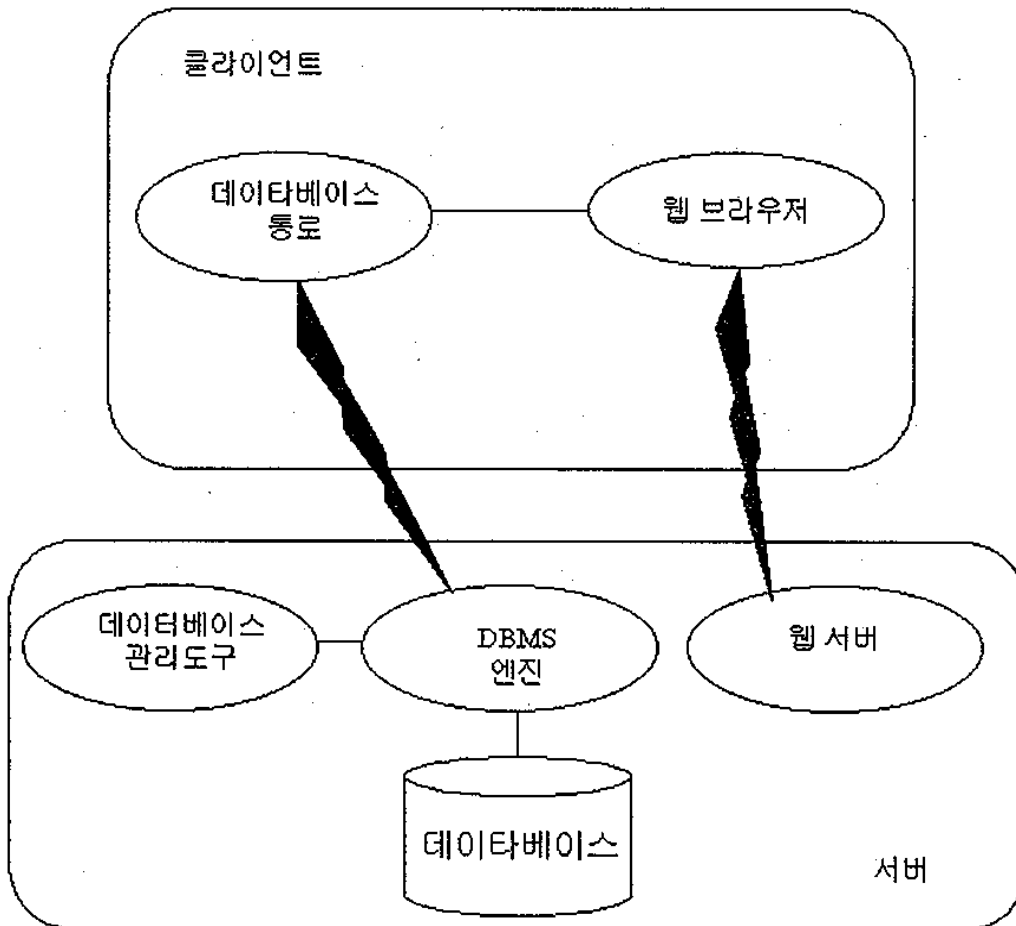


Fig. 4-4-8 외부뷰어방식 구조

외부 뷰어 방식에서 웹은 서비스를 안내하고 사용자가 데이터베이스 응용을 선택하면 외부 뷰어를 띄워주는 역할만 담당한다. 데이터베이스 접속은 외부 뷰어를 통하여 이루어지게 된다. 외부 뷰어는 자체의 사용자 접속 기능을 가지고 있고, 원격지의 DBMS에 접속하기 위한 통신규약 등을 가지고 있다. 엄밀한 의미에서 이구조는 웹서비스와 데이터베이스 서비스를 따로 지원한다고 할 수 있다.

외부 뷰어로는 이미 개발되어 있는 폼 실행기가 사용될 수 있다. 즉 사용자가 웹을 통하여 웹서버에 저장된 폼을 가져오고, 폼수행기를 통해 이를 실행하는 것이다. 서버에 저장된 폼 자료와 사용자가 이용하는 폼 수행기는 서로 호환성이 있어야 한다. 외부 뷰어 방식에서는 데이터베이스 응용프로그램이 웹과 관계없이 기존의 클라이언트/서버 데이터베이스 응용과 같게 개발된다. 따라서 HTML의 폼 기능보다 훨씬 다양한 사용자 질의 화면을 개발할 수 있고 여러 개발도구를 이용 생산성을 높일 수가 있다. 그러나 외부 뷰어를 이용하기 때문에 사용자는 웹브라우저외의 별도의 소프트웨어 기능을 익혀야 한다. 사용자는 웹브라우저 단일 환경에서 모든 서비스가 제공되는 것을 원한다. 외부뷰어방식의 단점은 대규모 서비스가 어려운 것이다. 클라이언트쪽에 위치하는 외부 뷰어를 이용하여 데이터베이스에 접속하므로 사용자가 서비스를 받으려면 해당 외부 뷰어를 설치하고 있어야 한다. 또한 외부 뷰어가 데이터베이스에 접속하기 위한 클라이언트용 데이터베이스 접속프로그램에 대한 표준이 없어 대규모 서비스가 어렵다.

6) 브라우저 확장방식

브라우저 확장방식은 외부 뷰어를 이용하는 방식에서 데이터베이스를 접속하는데 이용된 외부뷰어의 기능을 웹브라우저에 포함시킨 것이다.

사용자가 웹을 이용하여 서버에 저장된 데이터베이스 스크립트를 선택하면 스크립트가 서버에서 클라이언트로 전송되어 브라우저상에서 수행된다. 이를 위해 브라우저에는 스크립트 번역기를 포함하고 있어야 한다. 스크립트에는 데이터베이스에 접속하는 부분이 있고 이는 브라우저에 포함된 데이터베이스 통로를 통해 수행된다. 데이터베이스 통로는 DBMS엔진을 접속하여 질의를 수행한다. 외부뷰어를 이용하는 방식과의 큰차이점은 스크립트 번역기와 데이터베이스 통로가 브라우저에 포함되어 있기 때문에 하나의 통합된 환경에서 서비스 받을 수 있다는 것이다. 데이터베이스 검색을 위한 사용자 접속이 스크립트에 의해 정의되기 때문에, HTML의 기능제약에서 벗어날 수 있다.

브라우저 확장방식이 대규모 서비스에 사용되기 위해서는 브라우저쪽에 확장된 부분인 스크립트 번역기와 데이터베이스 통로에 대한 표준이 정해져야 한다. 자바 스크립트 번역기를 내장하고 있어 웹을 통한 Application 화면 작성시 HTML의 기본기능이외 다양한 질의 화면의 작성이 가능하게 되고, 사용자는 하나로 통합된 표준 인터페이스 환경에서 DB에 저장되어진 정보를 지원받을 수 있다. Fig. 4-4-9 에 서버와 연계된 클라이언트의 구조를 보여준다.

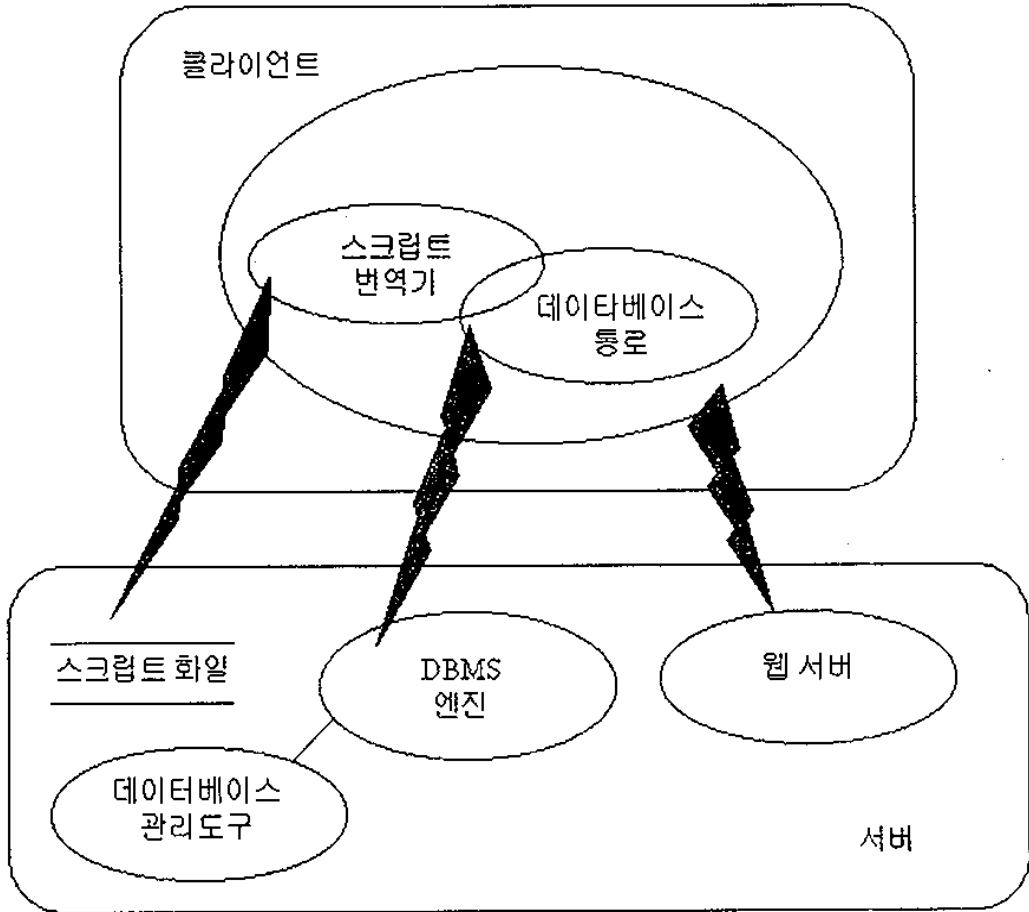


Fig. 4-4-9 브라우저 확장방식

바. Web Application과 DB연동

1) JDBC API

자바소프트가 특정 데이터베이스들에 연결하는 제 3의 드라이버들을 사용하게 해주는 디바이스 관리자로 SQL 접근을 가능하게 해주는 순수한 자바 API를 제공하는 것이 유용하다. 반대로 드라이버 관리자들 내에 삽입되는 자신들의 드라이버들을 제공할 수 있다. 이것은 제 3의 드라이버들을 디바이스 관리자에게 등록하는 간단한 방법이다. 그들이 필요로 하는 모든 것들에 대한 지적인 디바이스 관리자 API내에 요구 사항들로 반영됨으로써 이루어진다.

결국, 데이터베이스 접근을 위한 API는 JDBC API이고 디바이스 드라이버의 작성규칙은 JDBC 드라이버 API 이다.

JDBC는 아주 성공적인 모델인 마이크로소프트의 ODBC를 따른다. 이 모델은 관계형 데이터베이스의 표준 접근 방법인 구조화된 질의어에 대한 C 프로그래밍언어 인터페이스를 제공한다. JDBC와 ODBC 모두 X/Open SQL 호출 수준 인터페이스 명세에 기반을 두고 있다. JDBC의 기본 아이디어는 ODBC와 동일하다. JDBC API를 사용하여 작성된 프로그램은 JDBC 드라이버 관리자와 대화할 수 있다. JDBC 관리자는 실제 데이터베이스에 접근하는 순간 로드되는 드라이버를 사용한다. 즉, JDBC는 두 개의 계층들로 구성된다. 상위 계층은 JDBC API이다. 이API는 JDBC 관리자 드라이버 API와 통신하며 다양한 SQL문장을 보낸다. 관리자는 실제 데이터베이스에 연결을 하는 다양한 제3의 드라이버들과 통신을 하고 질의에 의해 명시된 행동을 수행하거나 질의의 결과를 반환한다.

자바/JDBC 계층은 대부분의 프로그래머들이 다루는 모든 수단을 제공한다. Fig. 4-4-10 는 JDBC에서의 데이터베이스 통신 경로를 보여준다.

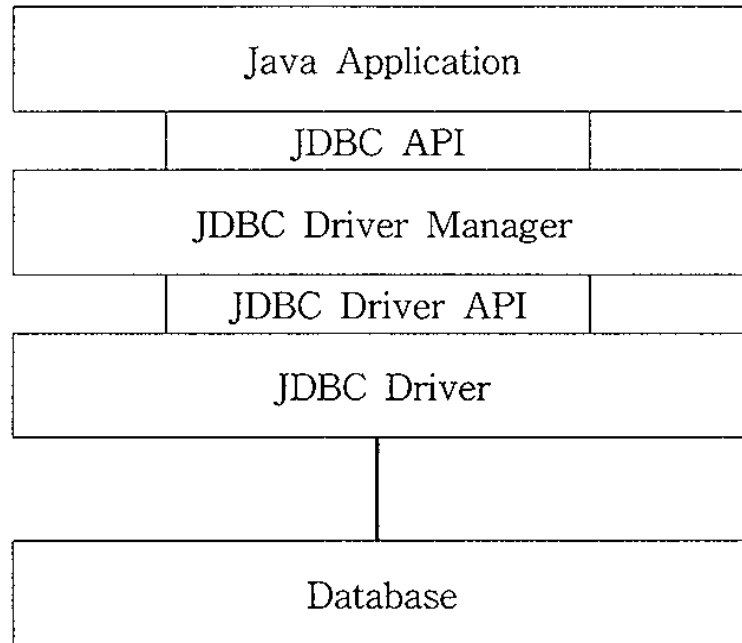


Fig. 4-4-10 JDBC를 이용한 DB 접근방식

요약하면, JDBC의 궁극적인 목적은 다음을 가능하게 한다.

프로그래머들은 자바로 표준 SQL문장들-또는 특정 SQL 확장을 사용하여 모든 데이터베이스에 접근할 수 있는 자바 응용 프로그램을 작성할 수 있다.

데이터베이스 공급업체들과 데이터베이스 도구 공급업체들은 하위 차원의 드라이버들을 제공한다. 이것은 공급업체들이 그들의 특정한 상황에 맞게 최적화한 드라이버들을 제공할 수 있게 해준다.

2) JDBC 방안의 구조

JDBC 솔루션은 드라이버 선택에 달려 있다. 그리고 아직까지는 애플릿이 갖는 보안 규칙(SEcurity Rule) 때문에 보안에 위배되지 않는 범위에서 시스템을 구성해야 한다는 점도 감안해야 한다. 앞으로 브라우저 지원과 보안 관리 API를 통해 사용자에게 권한을 부분적으로 이양한다면 현재의 구조 또한 여러 가지 변형된 모습을 갖게 될 것이다. 현재 썬소프트는 드라이버의 타입에 따라 4가지로 JDBC 솔루션을 구분하고 있다. 하지만 썬소프트와 계약을 맺고 드라이버 개발을 진행 하고 있는 인터솔브(Intersolv)에서조차 이미 몇몇 드라이버 구조와 한계를 인정하고 있다 (JDBC/ODBC 브릿지 방식과 네이티브 API 방식) 따라서 기타 다른 시스템과의 연계성을 고려한 보다 일반적이고 포괄적인 방법인 '시스템의 구조'에 의해 JDBC 솔루션을 분리하는 것이 바람직하다.

드라이버의 타입

JDBC/ODBC 브릿지

네이티브 API(Native API), 부분적인 자바 드라이버 (Party Java Drivers)

넷 프로토콜, 전체 자바 드라이버

네이티브 프로토콜, 전체 자바 드라이버

시스템의 구조는 2-단계와 3-단계로 구분된다.

자바프로그래밍의 가장 중요한 개발 기술로 JDBC API를 사용하여 작성된 프로그램은 플랫폼과 개발환경에 독립적으로 수행할 수 있는 장점을 가지

며, 자바로 표준 SQL이나 PL/SQL 확장을 사용하여 모든 데이터베이스에 접근할 수 있는 응용프로그램의 작성이 가능하다. 이중 본과제에서 채택한 JDBC를 이용 시스템을 구성하는 2단계 Thin Client 구조를 Fig. 4-4-11에 보여준다. 본 시스템은 이와같은 구조로 구성되어 클라이언트에서 오직 브라우저만을 통해 데이터베이스를 액세스하도록 하였다. 따라서 웹에서는 순수 자바로 개발된 드라이버가 이용된다.

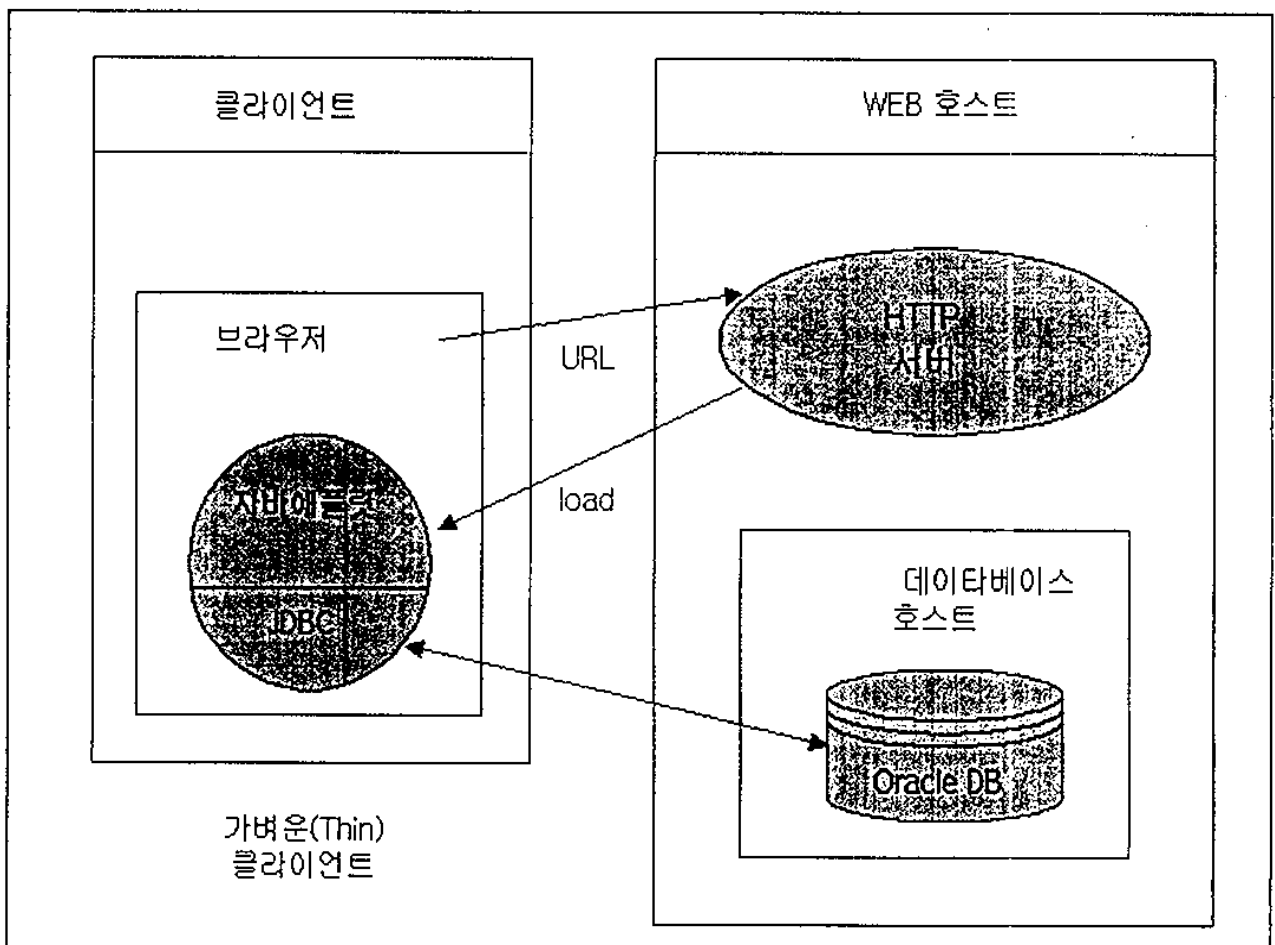


Fig. 4-4-11 JDBC를 이용한 DB 접근방식

3) JDBC의 사용 범위 및 적용

자바를 응용 프로그램과 애플릿들에 사용하는 것처럼, JDBC를 자바 응용 프로그램들과 애플릿들의 강화된 버전으로 사용할 수 있다. 애플릿 내에서 사용할 때, 모든 일반적인 보안 제약들이 적용된다. 특히, JDBC는 모든 자바 애플릿들의 신뢰성이 없다고 가정한다.

특히, JDBC를 사용하는 애플릿들은 오직 그들이 다운로드된 서버로부터만 데이터베이스 연결을 할 수 있다. 그들은 로컬 정보를 암묵적이거나 극명하게 사용할 수 없다. 비록 자바 보안 모델의 JDBC 확장은 사람들이 JDBC 드라이버를 다운로드하고 이를 서버상의 JDBC 드라이버 관리자에게 등록할 수 있게 해준다.

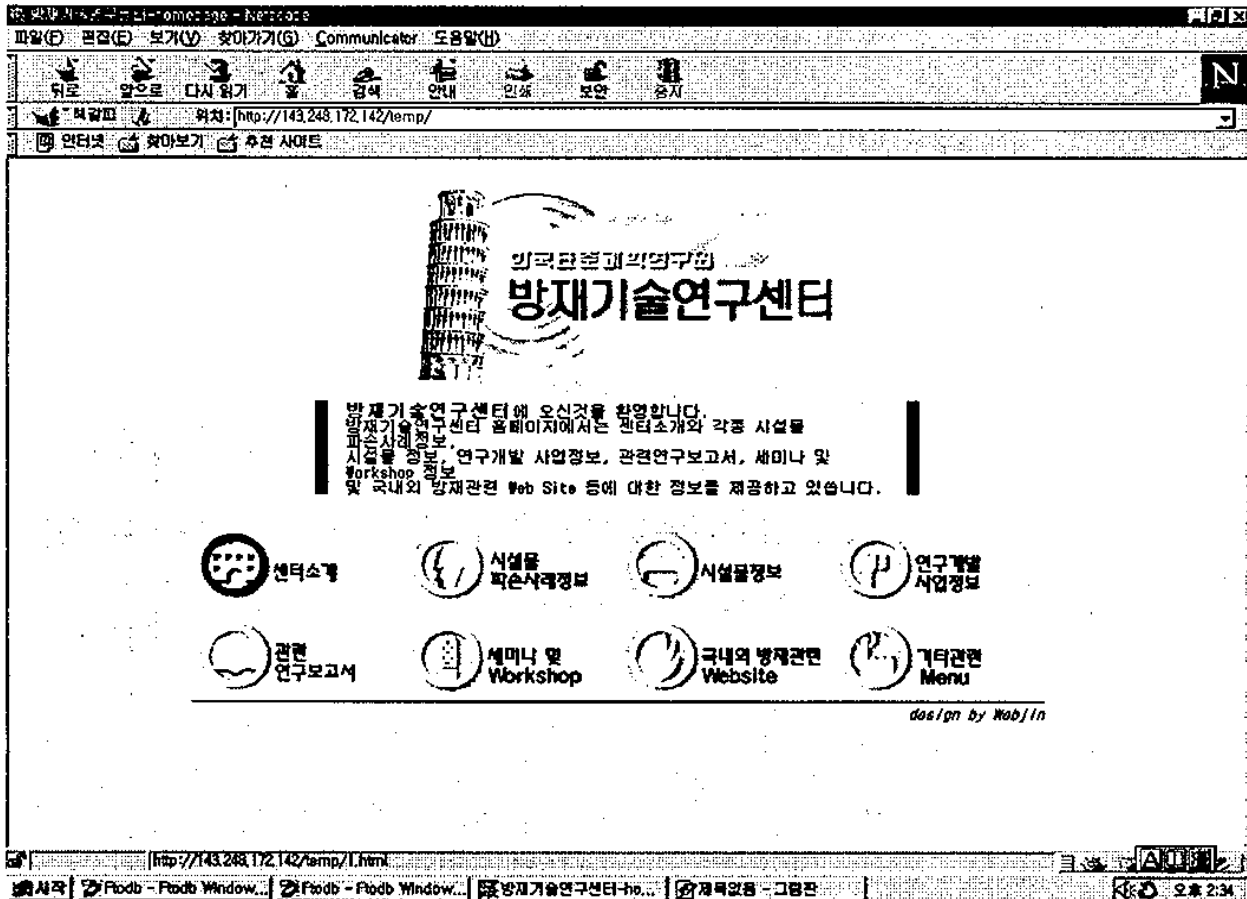
해당 드라이버는 오직 해당 애플릿이 다운로드된 서버와의 연결을 위해서만 사용될 수 있다. 즉, 일반적인 설정은 아니지만 웹 서버와 데이터베이스 서버가 반드시 같은곳에 있어야 한다는 것이다. 물론, 웹 서버는 데이터베이스 트래픽을 다른 곳으로 전달하는 프락시 서비스를 가질 수 있다. 사용 허가를 받은 자바 애플릿이 가능하게 되면 이 제약은 느슨해질 것이다. 요약하면 애플릿들과 함께 JDBC를 사용할 수 있다. 그러나 해당 서버를 주의해야 관리해야 한다. 마지막으로 JDBC의 세 번째 가능한 사용방법이 있다. 이 방법은 다소 위험을 내포하고 있다. 이 방법의 아이디어는 종종 3단계 모델이라고 불린다. 이 말의 의미는 자바 응용 프로그램이 미들웨어 계층을 호출하고 다시 해당 미들웨어는 데이터베이스를 접근하는 것이다. 이 방법은 RMI로 작을 하거나 클라이언트와 미들웨어 계층 사이의 통신을 담당하는 객체 요청 브로커(ORB) 중간 단계와 가장 낮은 단계인 데이터베이스 사이에 JDBC를 사용하면 최적을 효과를 얻을 수 있다. 특히 보다 나은 컴�파일

기술들의 사용을 통해, 자바는 미들웨어 계층을 작성하는데 사용할 수 있을 만큼 충분히 빨라지게 될 것이다.

클라이언트/서버 환경을 웹에 접속시키려는 움직임이 점점 구체화 되고 있다. 이미 초기 시스템 설계 시에도 인트라넷 구성을 위한 확장을 고려하는 등, 웹으로 인한 클라이언트/서버 시스템의 변화를 충분히 기대할 수 있다. 인트라넷에서 최적의 성능을 구현하는데 있어 키포인트는 어떤 하나의 핵심 기술에 있는 것이 아닌, 업무에 따른 각 요소 기술의 CGI조화에 있다. 최근 이 같은 인트라넷의 솔루션이 대부분 자바를 지원하고 있다.

4. 시스템 기능

가. Internet을 통한 Homepage 서비스



1) 방재센터 소개

방재센터의 조직

연구원 프로필

수행 프로젝트

2) 연구개발 사업정보

각종 보고서 양식 처리 (*.HWP , *.DOC)

관련 연구보고서 검색

세미나 및 워크샵 입출력

국내외 방재관련 웹사이트 연결

나. WUI 화면을 구성하여 웹상에서 DB관리 (입력, 출력, 검색, 삭제, 조회)

1) 각 응용 프로그램에 대한 JAVA Applet 작성

2) 시설물 파손사례정보

DB 저장 데이터의 선택적 조회

정보의 통계처리

키워드 검색

데이터 입력 (Text), 수정, 삭제

3) 시설물 정보

DB 저장 데이터의 선택적 조회

정보의 통계처리

키워드 검색

데이터 입력 (Text, Image), 수정, 삭제

제 5 절 방재정보 통합데이터베이스 개발

1. 방재정보 통합데이터베이스의 필요성 및 중요성

가. 통합데이터베이스시스템의 필요성

방재기술을 개발하고 방재업무를 효율적으로 수행하기 위해서 시설물 관련 DB, 재료 물성 DB, 지진 및 지질 DB, 기상 DB 등 다양하고 방대한 양의 방재기술 관련 정보들이 서로 연계되어 제공되어야 재해에 대한 정확한 분석과 관리가 가능해 진다.

현재까지 국내 방재관련 기관들은 각각 고유영역과 관련된 방재정보 데이터를 수집, 생산하여 자체적으로 활용하고 있거나, 아직도 관련 데이터의 체계적 구축을 하지 못하여 필요로 하는 정보의 지원을 받지 못하고 있다. 이는 국내 방재관련 기관들이 구축하고 있는 데이터베이스들이 지역적으로 서로 분산되어 있을뿐만 아니라 데이터의 구조와 사용되고 있는 DBMS 및 내부 데이터 구조들이 서로 독립적으로 구성되어 있기 때문에 원활한 정보의 공유가 이루어 질수 없었다.

이러한 환경 하에서 국내의 방재관련 기관과의 유기적인 정보 공유체제가 확립되어야 할뿐만 아니라 DB사용자 즉, 정부, 정부출연기관, 대학 등의 방재 전문가에게 원하는 정보가 어떤 DB에 어떠한 구조로 저장되어 있는지에 관계없이 마치 하나의 데이터베이스처럼 보이게 하는 투명성을 제공하기 위해서는 방재정보 통합데이터베이스시스템의 구축이 필요하게 된다(Fig. 4-5-1.참조).

이러한 방재정보 통합데이터베이스시스템은 기존의 Application program의 소용과는 별도로 멀티 데이터베이스로 부터 연계된 데이터를 이용한 새로운 통합응용을 생성할 수 있다는 점에서 많은 장점을 갖고 있으며 만약 통합 데이터베이스시스템이 구축되어 있지 않다면 다양한 DBMS에 모두 직접 접근해야만 하므로 데이터를 활용해서 새로운 Application을 생성해

야 하는 사용자의 입장에서는 매우 어려운 일이다 (Fig.4-5-1 참조)

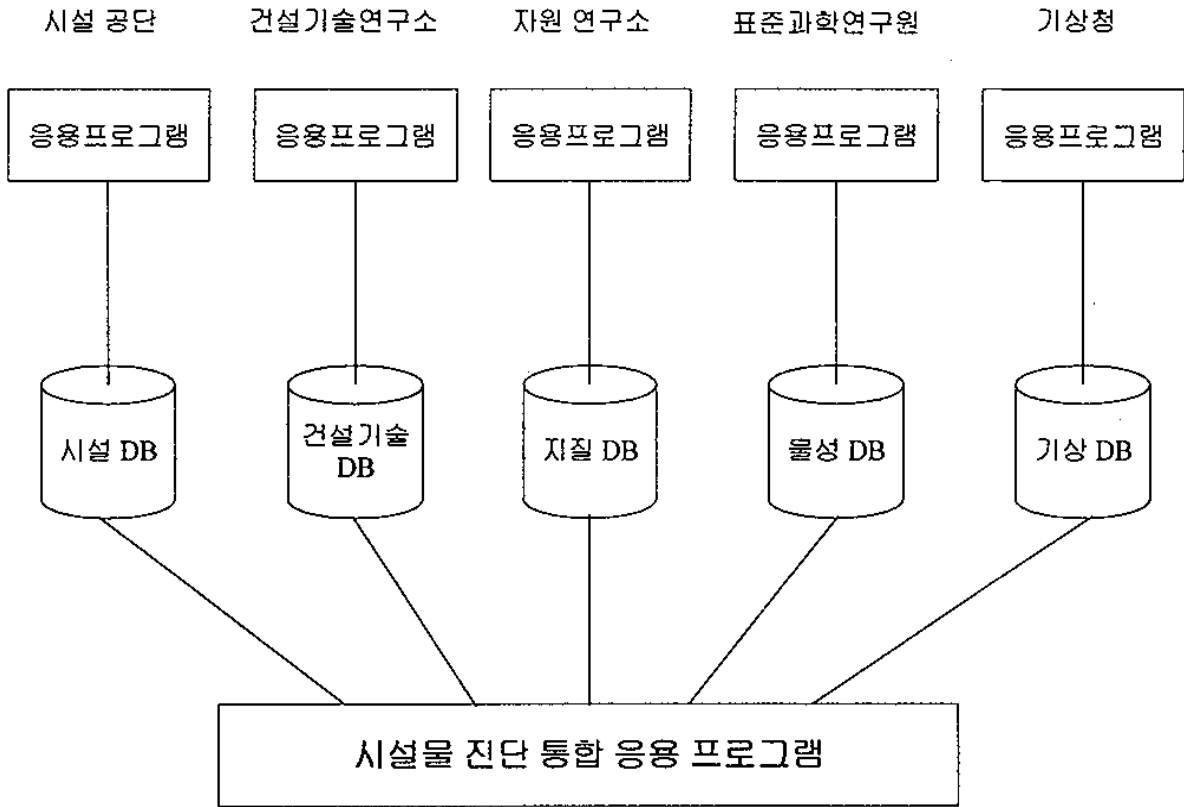


Fig. 4-5-1. Database system for diagnostic process

나. 국내외 기술 개발 현황

국내에서는 최근 CALS/EC 개념 도입과 관련된 ERP(Enterprise Resource Planning) 구축, 국방 CALS 구현을 위한 통합 자료관리 체계 구축 등을 위한 통합정보시스템 개발이 초보 단계에 있으며 향후 이와 관련된 기술 개발 및 시스템 구축이 매우 활발해 질 것으로 예상되나 분야별, 응용별로 시스템 구조 및 통합 응용 기술이 다르므로 방재정보 통합데이터베이스시스템 구축을 위한 total solution을 제공받기는 어려울 것으로 예상된다.

미국 국방성에서는 미국 공군을 현대화하여 21세기에 최고의 군사력을 유지시키기 위한 야심찬 계획의 일환으로 기존에 존재하고 있는

DB(Legacy Data)들을 최신의 정보 기술을 적용하여 DB를 통합화하는 일을 진행 중에 있다.

이는 의사결정자들에게 기존의 여러 데이터베이스들의 데이터들을 조합하여 의사결정자들의 질문에 응답하기 위한 시스템으로서 분산되어 있는 수많은 정보자원들에 대하여 통합된 뷰(integrated view) 즉 마치 하나의 데이터베이스가 존재하는 것처럼 보이게 함으로써 투명성을 제고시키고자 통합정보 시스템을 구축 중에 있다.

이와 관련하여 ENTERWORKS.COM에서 개발한 Virtual DB 시스템을 사용하고 있다.(Fig. 4-5-2 참조)

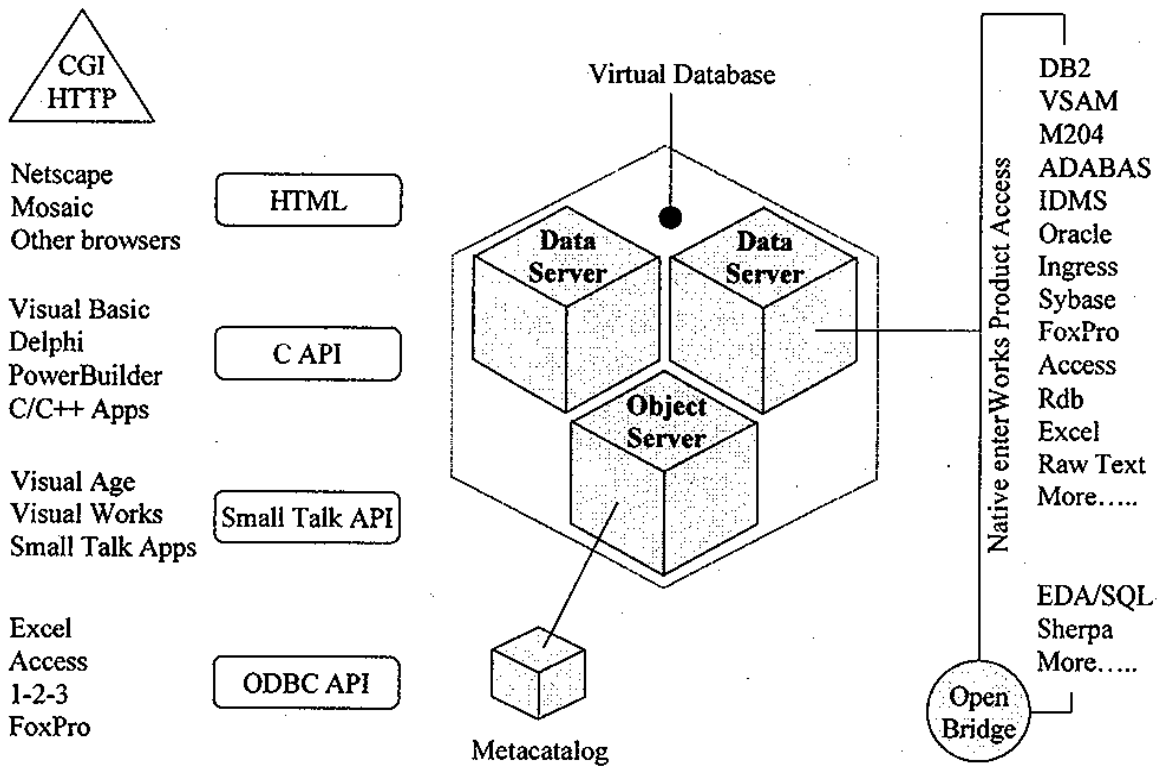


Fig. 4-5-2. Modular and Scalable Virtual DB Architecture

또 미국에서 Health Care 응용과 관련하여 지능형 통합정보시스템 구축

을 위한 시스템 개발 pilot 프로젝트를 MCC에서 수행하였고 최근에는 분산 객체환경인 CORBA 버전으로 재작업 중에 있다.

다. 방재정보 통합데이터베이스시스템 구축에 관한 연구의 중요성

통합데이터베이스시스템 구축은 방재업무의 전체적인 요구사항을 분석하고 이를 구현하기 위한 요소기술을 파악한 다음 통합방재정보 시스템의 구조 정립을 통하여 이루어져야 한다.

통합데이터베이스시스템을 구축하기 위해선 웹과 데이터베이스의 연동기술, 메타데이터관리 및 목록서비스(Directory Servie)기술, 멀티데이터베이스 기술 등이 복합된 고도의 통합기술을 필요로 한다.

따라서 분산환경에서 이기종으로 구축된 각 방재정보데이터베이스시스템의 DB로 부터 관련기관,사용자들이 원하는 데이터를 받아 새로운 Application의 작성 등을 하기위한 통합데이터베이스시스템 구축을 위해서는 요구사항 만족을 위한 관련 요소기술 및 표준화 동향을 감안한 개방형 통합데이터베이스시스템의 구조 정립을 위한 연구개발이 데이터베이스 구축과 아울러 중요하고도 시급한 과제이며 또한 통합데이터베이스 설계 및 응용 기술의 개발도 매우 중요한 과제중의 하나이다.

2. 통합데이터베이스시스템 요소기술 동향 분석

가. 웹과 데이터베이스 연동 기술

웹과 데이터베이스의 통합이란 멀티미디어 데이터베이스를 DBMS 엔진과 데이터베이스 관리 도구를 이용하여 구축·관리하고, 이를 가입자에게 서비스하기 위해서 웹의 구조를 이용하는 것을 말한다.

이때 데이터베이스 통로(database gateway)는 이와 같은 통합을 구현하는데 있어 핵심 부분으로 데이터베이스 응용 프로그램이 웹에 어떻게 연동

되는가에 따라 Fig. 4-5-3과 같이 분류할 수 있다.

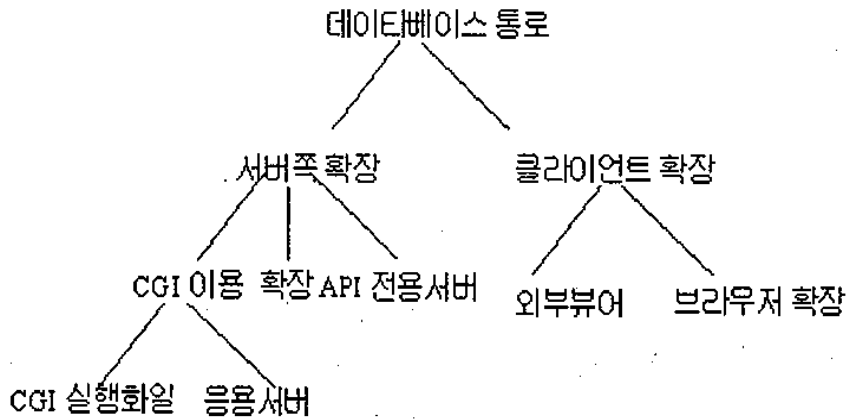


Fig. 4-5-3 Classification for the structure of database gateway

데이터베이스 통로의 구조는, 데이터베이스를 접속하는 프로그램이 웹 서버 쪽에 위치하는 서버쪽 확장과, 웹 브라우저 쪽에 위치하는 클라이언트 쪽 확장으로 크게 나눌 수 있음.

서버쪽 확장은 CGI 이용, 확장 API 그리고 전용 서버 방식으로 나누어질 수 있다. CGI 이용은 기존의 웹 서버가 지원하는 CGI기능을 이용하여 데이터베이스를 접근하는 방식을 말하는데, 데이터베이스 응용 프로그램이 CGI용 실행화일 그 자체로 운영되는 CGI실행화일 방식과 데이터베이스 응용 프로그램은 데몬(daemon) 방식으로 운영되고, CGI실행화일을 통해 질의요구가 전달되는 응용 서버방식으로 다시 분류된다. 확장 API방식은 웹 서버가 지원하는 확장 API를 이용하여 데이터베이스를 접근하는 구조를 말한다. 그리고, 전용 서버 방식은 특정 DBMS를 접속할 수 있는 기능을 내재하고 있는 웹 서버를 말한다. 이때의 웹 서버는 DBMS 측면에서 보면 HTTP를 지원하는 데이터베이스 응용 프로그램의 하나라고 할 수 있다.

클라이언트쪽 확장은 기존의 웹 브라우저가 지원하는 외부뷰어 접속기능을 이용하여 데이터베이스를 접속하는 외부뷰어 방식과, 브라우저 자체에 데이터베이스 접속을 위한 기능을 포함시키는 브라우저 확장 방식으로 나눌 수 있다.

나. 멀티데이터베이스 시스템 기술

멀티데이터베이스 시스템 기술은 방재통합정보 시스템 구축을 위한 핵심적인 요소기술로서 복수의 이질적이고 분산되어 있는 데이터베이스에 대한 관리 및 접근을 제공하며 각 시스템의 자율성을 보장하면서 이질성을 상대방에게 감추어 줄 수 있다.

멀티데이터베이스 기술은 분산된 환경에서 상이한 데이터베이스의 스키마를 통합하여 통합방재정보 시스템에서 하부 데이터베이스의 정보를 알 필요없이 통합된 스키마의 정보를 통하여 전체 데이터를 관리할 수 있도록 하여주는 스키마 통합기술과 광역질의 여러 개의 부질의로 나누어 각 부질의를 지역 시스템에 보내 그 결과를 하나의 결과로 병합하여 사용자에게 전송하는 분산질의 처리기술 그리고 광역 트랜잭션을 여러 개의 서브트랜잭션으로 구성하여 자치성을 보장하여 주는 분산 트랜잭션 기술 등 3가지로 나눌 수 있다.

멀티데이터베이스 시스템을 형태를 기준으로 살펴보면, 완전한 시스템으로 기능을 갖추고 있는 것은 Pegasus , DOMS , Carnot , Interbase 이 있고, 통합 도구 또는 프레임 워크로서의 역할을 하는 것은 View System, CIS/OIS , EIS/XAIT OMS Project , FBASE 가 있으며, 멀티데이터베이스 시스템은 UniSQL/M과 FIB 등이 있음. 또한 Thor는 분산 DBMS의 형태를 가진다.

이 중 상용 제품으로는 UniSQL/M과 Pegasus, Data Access FrameWork, Vritual DB가 있다.

1) UniSQL/M과 Pegasus는 객체관계 데이터 모델을 이용하여 기존의

관계 DBMS, 계층 DBMS, 객체관계 DBMS 등을 지역 시스템으로 통합할 수 있으며 스키마 통합, 분산 질의처리, 분산 트랜잭션 등을 지원하고 있다.

2) Data Access FrameWork은 Cincom에서 만든 통합 응용 프로그램 개발 환경인 TotalFramwWork의 멀티데이터베이스 환경으로 실제 업무 프로세스의 특징을 반영하기 위해 객체 데이터 모델과 관계형 데이터 모델을 모두 지원한다.

3) Data Access FrameWork에서 실제 사용하는 ORDB는 UniSQL 서버를 사용하고 있다.

4) Virtual DB는 Telos/Enterworks에서 진행 중인 Pangaea 프로젝트의 통합 데이터베이스 시스템으로 이 시스템의 전역 데이터베이스는 객체 지향 모델에 기반을 두고 있으나 완전한 분산 투명한 형태의 전역 질의는 제공하지 못하며 제한된 형태의 전역 질의를 제공하는데 1995년 McDonnell Douglas 사의 CALS 지원, CyberCash사의 EC 지원, Northrop Grumman Corporation의 B2/CITIS 프로그램 지원에 사용되었다.

다. 정보저장소

분산통합 데이터 환경에서 정보 관리를 위해서는 통합된 정보저장소가 필수적임. 정보저장소(Repository)는 소프트웨어 생명 주기동안 모아진 시스템 정보를 관리·저장되는 곳으로, 각 도구들, 각 개발 단계들, 사용자들, 응용프로그램 사이의 시스템 정보를 공유할 수 있도록 해주는 시스템으로서 정보저장소는 시스템 유지 보수를 용이하게 하고, 소프트웨어의 재사용을 가능하게 하는 등의 소프트웨어 개발, 유지, 보수 등에서 필요하며 비용의 감소라는 큰 이점을 내포한다.

그러나 정보저장소들의 다양한 구조와 기능은 응용시스템들이 정보를 공유하고 통합된 응용시스템을 구성하는데 어려움을 주므로 이에 따른 정보저장소의 표준화는 매우 중요하며 다음과 같은 정보저장소 표준 활동이 있다.

- CDIF(CASE Data Interchange Format)
- PCTE(Portable Common Tool Environment)
- IBM Repository Manager/VMS
- ATIS(A Tools Integration Standard)
- SDAI(Standard Data Access Interface)
- IRDS(Information Resource Dictionary System)

정보저장소는 일반적으로 보안 관리, 버전 관리, 변경 관리, 형상 관리, 질의와 응답, 다중 사용자 지원, 검증 등의 많은 기능을 제공한다.

미국 국방부는 현재 IWSDB를 구축하기 위한 정보저장소로 IRDS를 표준으로 하고 있음. IRDS는 NIST에서 개발한 정보저장소의 표준으로 ANSI와 ISO에서 표준화가 진행되고 있음. IRDS의 구조는 두 개의 정보저장소인 IRD(Information Resource Dictionary)와 IRD 스키마로 구성되며, 4 개의 단계(IRD Schema Description, IRD Schema, IRD, Application Database)와 인접 단계를 묶어 3 개의 쌍으로 구성되어 있다.

기존 중앙 집중의 다중 사용자를 가진 정보저장소의 한계를 극복하기 위하여 클라이언트/서버 환경과 분산 객체 기술을 활용한 분산 객체 정보저장소가 필요하다. 이러한 분산객체 정보저장소를 위한 표준화 활동으로 대표적인 그룹이 OMG이며 OMG의 정보저장소의 구조는 다음과 같은 구성요소를 가진다.

- 정보저장소 객체 모델 : 정보저장소 메타 메타 모델로 가장 기본적인 개념인 모델(스키마), 클래스, 관계, 사건 등을 기술
- 정보저장소 서비스 모델 : 정보저장소 메타 모델로 정보저장소 공통 기능(Repository Common Facility)을 기술
- Technology, Tool, Business 모델 : 정보저장소의 내용을 기술하는 내용 모델로 CORBA facility와 비슷한 기술 모델, 도구 모델, 비즈니스 모델로 구성

라. 목록서비스

목록 서비스는 주어진 요청 사항에 대한 정보를 알기 위해서 분산객체 환경하의 모든 정보자원을 보유하고 정보자원의 이름과 주소간의 빠른 매핑을 제공하는 서비스로 효과적인 목록 서비스를 제공하기 위해서는 다음과 같은 요구사항을 만족해야 한다.

- 접근용이성 : 모든 네트워크 구성요소에서 접근 가능해야 한다.
- 응답신속성 : 빠른 시간 내에 응답하여야 한다.
- 무결성 : 정보자원 환경에 변경이 생기면 이를 즉각적으로 반영하여야 한다.

일반적인 목록 서비스의 기능은 다음과 같다.

- 네트워크 이름 변환 서비스(network names to network address) : 사용자가 직접적으로 사용하기에 복잡한 네트워크 이름을 쉽게 외워 사용할 수 있는 이름으로 변환하는 서비스를 제공.
- 유일한 이름과 독립적인 위치 보장 : 모든 네트워크 엔트리에 유일한 이름을 위한 스페이스를 제공함으로써, 네트워크 주소의 변경에 상관없이 일관성을 유지할 수 있는 기능.
- 확장된 속성 제공 : 새로운 속성을 추가하기에 용이한 조직적인 구조를 취하고, 보다 쉬운 확장성을 통해 사용자가 사용하는 애플리케이션에 대한 정보를 편리하게 저장할 수 있는 기능
- 중복된 목록 정보 제공 : 접근 시간과 서비스의 품질을 향상시키기 위해서 목록에 관한 정보를 분산시켜 복사해 놓는 기능.
- 보안 기능 : 속성별로 접근에 대한 허가 및 금지를 가능하게 함으로서 메시지 기밀성, 메시지 무결성, 인증 서비스 등의 기능 등을 제공.

현재 분산객체 환경하에서 목록 서비스를 제한적으로 하고 있으나 각 목록 서비스마다 호환이 되지 않고 있으며 목록 서비스를 위한 표준화는 X.500과 LDAP(Lightweight Directory Access Protocol) 등이 있다.

3. 방재정보 통합데이터베이스 데모시스템 개발

가. 통합데이터베이스 데모 환경

본 연구에서 수행한 방재정보 통합데이터베이스 데모 시스템은 지역적으로 분산되고 이기종인 서로 다른 데이터베이스를 하나의 통합 스키마로 통합한 통합 데이터베이스를 구축하고, 사용자에게는 웹 기반의 인터페이스로 투명성을 지원하는 데이터의 질의와 관리를 제공한 시범 시스템을 구축한다.

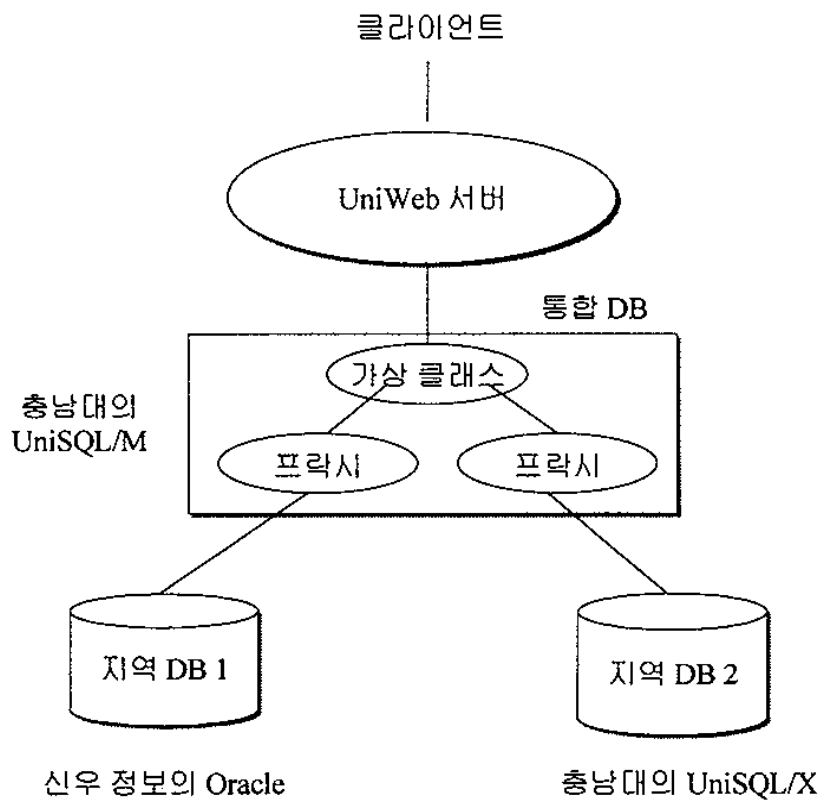


Fig. 4-5-4 Cnfiguration of the developed system

Fig. 4-5-4 는 본 연구에서 개발한 통합데이터베이스 데모 시스템의 전체 구성을 보여준다.

각 지역 데이터베이스를 통합한 통합 데이터베이스를 구축하기 위해 본 연

구에서는 각 지역 데이터베이스 시스템으로 오라클 7.3.3과 UniSQL/X 3.5.3을 사용하고 통합된 단일 뷰를 제공하는 광역 데이터베이스 시스템으로 UniSQL/M 3.5.3을 사용한다.

나. 통합 데이터베이스 구축

이기종 데이터베이스 연동(통합 데이터베이스 구축)은 지역 데이터베이스라 불리는 독립적으로 존재하는 이기종 데이터베이스를 하나의 광역 데이터베이스로 통합하여 지역데이터베이스의 상이함과 관계없이 데이터가 하나의 데이터베이스에 있는 것처럼 보여 줌으로써 사용자가 시스템의 내부적인 상황을 모르고도 데이터에 쉽게 접근할 수 있는 데이터베이스의 통합환경을 말한다.

방재정보의 통합 데이터베이스의 구축 방법으로는 시설물의 종류별이나 사고 요인별, 또는 시설물 위치에 따라 이기종의 데이터베이스에 저장한 후 구축할 수 있으나 본 연구에서는 시설물의 위치에 따라 이기종의 데이터베이스에 저장하였다.

UniSQL/X를 이용하여 국내 방재 정보에 대한 자료를 넣기 위한 지역 데이터베이스 스키마 1을 구축한다

Oracle을 이용하여 국외 방재 정보에 대한 자료를 넣기 위한 지역 데이터베이스 스키마 2를 구축하다

지역 데이터베이스가 구성되면 광역 데이터베이스와 통신할 각 지역 데이터베이스를 확인하는 절차, 즉 등록 절차가 필요한데 이 등록 절차를 통하여 지역 데이터베이스의 이름과 위치 및 광역 데이터베이스로부터 사용자 접근을 위해 요구되는 기타 다른 정보 등을 확인한다.

지역 데이터베이스의 테이블이나 클래스들을 광역 데이터베이스가 이해할 수 있는 형태로 변환하기 위한 변형 스키마인 프락시(proxy)를 광역 데이터베이스 내에 생성한다.

통합 스키마인 가상클래스는 광역 데이터베이스의 개념적 스키마인 사용자 뷰를 정의하는데 프락시에 의해 검색된 데이터를 가상 클래스라 불리는 하

나의 엔터티로 통일함으로써 지역 데이터베이스의 엔터티간의 관계를 얻어
옴.

다. 통합 데이터베이스와 웹의 연동

웹과 통합 데이터베이스와 UniWeb3.0을 기반으로 구축함.

사용자 인터페이스 구성도

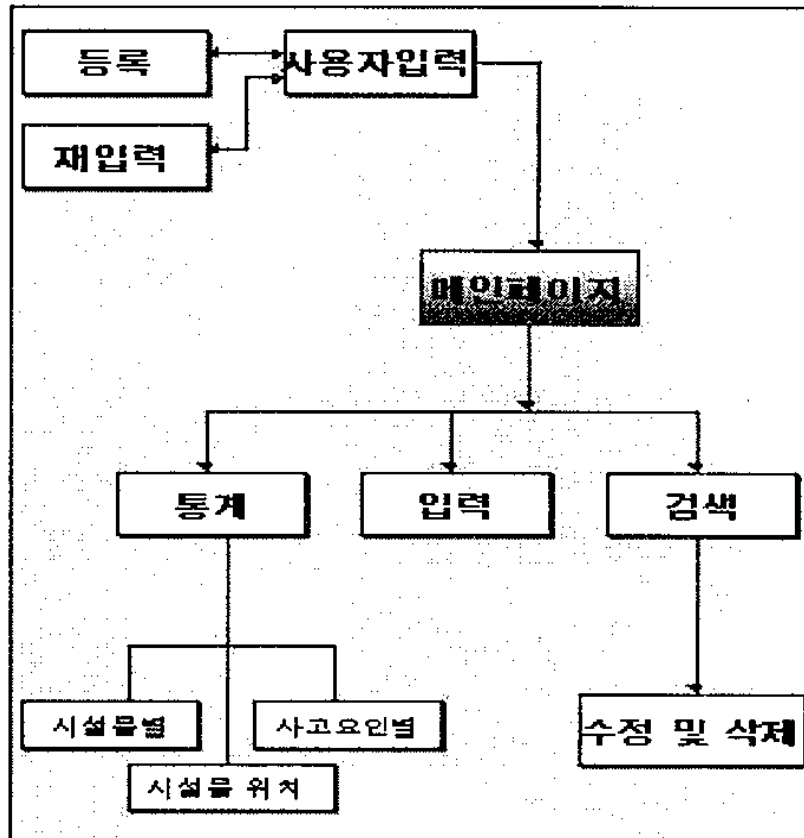


Fig.4-5-5 Configuration of user interface page

메인 페이지

기간	<input type="text"/> 년 부터 <input type="text"/> 년 까지		
통계자료	<input checked="" type="checkbox"/> 시설물 종류	<input checked="" type="checkbox"/> 사고요인	<input checked="" type="checkbox"/> 시설물 위치
통 계			

기간	<input type="text"/> 년	<input type="text"/> 월 부터	<input type="text"/> 년	<input type="text"/> 월 까지	
시설물 종류	<input checked="" type="checkbox"/> 교량	<input type="checkbox"/> 건축물	<input type="checkbox"/> 수리시설물	<input type="checkbox"/> 지하구조물	
사고요인	<input type="checkbox"/> 계획	<input type="checkbox"/> 설계	<input type="checkbox"/> 시공	<input type="checkbox"/> 유지관리	<input type="checkbox"/> 기타
시설물 위치	<input checked="" type="checkbox"/> 국내	<input type="checkbox"/> 국외			
검색단어	<input type="text"/>				

검 색	입력 및 수정	다시입력
------------	----------------	-------------

Fig. 4-5-6 Main menu

통계와 검색 그리고 입력 및 수정을 할 수 있는 기능을 가지는데 통계는 원하는 기간에 대한 원하는 종류의 통계 자료를 시설물 종류별, 사고요인별, 시설물 위치별로 볼 수 있고, 검색은 기간, 시설물 종류, 사고요인, 시설물 위치, 검색단어의 검색 조건을 가지고 데이터를 찾을 수 있고, 입력 및 수정은 입력과 수정 버튼을 누르면 새로운 페이지가 생성되고 그 페이지에서 사건에 대한 정보의 입력과 수정이 가능하다.

사용자가 시설물 위치 버튼 중 국내를 누르면 국내 관련 시설물 자료가 Oracle DBMS에 구축되어 있는지와 관련 DB 구조를 몰라도 멀티데이터베이스시스템인 UniSQL/M이 투명성을 제공하여 관련 자료 검색 결과를 웹을 통하여 받을 수 있다.

4. 방재정보 통합데이터베이스시스템 구축 방향

가. 방재정보 통합데이터베이스시스템 요구사항

- 1) 통합데이터베이스시스템의 구축은 통합 응용에서의 요구 사항을 만족할 수 있는 시스템이어야 하므로 통합응용분석이 선행되어야 한다.
- 2) 통합데이터베이스시스템 구축을 위해서는 관련 방재정보의 표현, 교환, 저장등과 관련된 표준화 작업이 병행되어야 한다.
- 3) 통합데이터베이스시스템은 분산환경에서 특정제품에 의존적이지 않은 개방형시스템을 지향하여야 한다.
- 4) 통합데이터베이스시스템은 이기종 데이터베이스들간의 연동과 방재기술 정보의 논리적 통합을 함께 고려해야 한다.
- 5) 통합데이터베이스시스템은 향후 보편화 될 미래지향형 기술을 큰 비용 없이 수용할 수 있어야 한다.
- 6) 통합데이터베이스시스템은 이기종 데이터베이스를 하나의 광역데이터베이스로 통합하여 사용자에게 투명성을 제공하여야 하며 분산원 방재기술 정보들이 각각 어디에 위치하고 있는지와 방재정보에 대한 표현 및 그들간의 관계 등을 규명할 수 있는 메타데이터 관리가 이루어져야 한다.

나. 방재정보 통합데이터베이스시스템 구조

본 연구에서 제시하고 있는 방재기술을 위한 개방형 통합데이터베이스시스템의 구조는 Fig.4-5-7과 같으며 주요 특징은 다음과 같다.

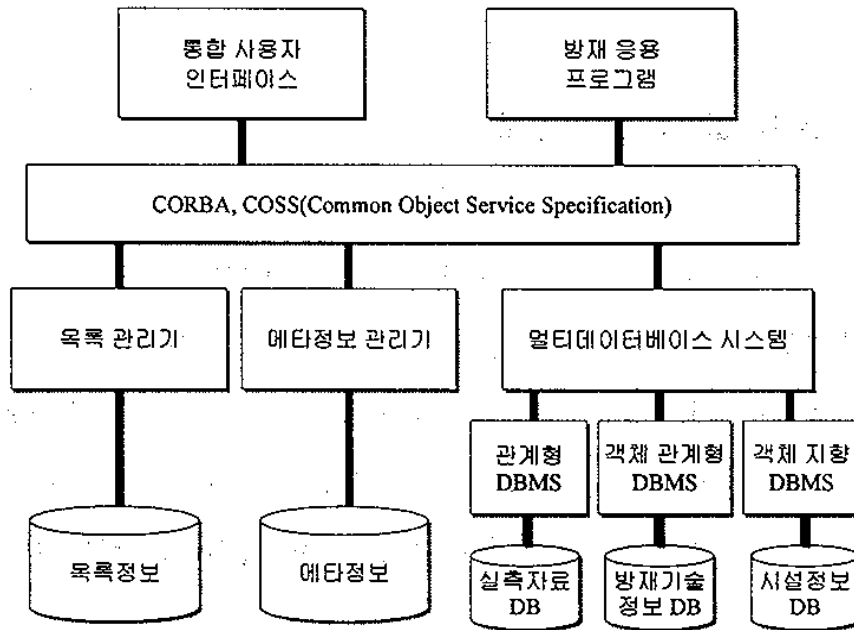


Fig. 4-5-7 Structure of integrated information system

분산객체기반 구조로 CORBA(Common Object Request Broker Architecture)를 채택하였다. 방재기술정보 관리를 위해서는 CORBA 기반의 메타정보 관리기 및 목록 관리기가 필요하다. 멀티데이터베이스 시스템을 이용하여 분산 이기종 데이터베이스들을 통합한다. (단, 현재의 멀티데이터베이스 시스템은 모든 DBMS를 통합할 수 없음)

멀티미디어 데이터베이스 시스템을 CORBA와 연동한다. 통합 사용자 인터페이스를 CORBA에 연결한다.

제 6 절 해외 방재정보 기술동향 조사

1. 조사연구의 배경 및 목적

방재기술의 정보화를 위한 기술개발 및 방재정보시스템구축의 추진에 있어 향후 방재정보기술의 연구방향을 설정하고 합리적인 정보시스템의 구축을 위한 목적으로 선진 외국의 공공시설물의 방재연구, 유지관리에 관한 정보화 기술동향을 조사하고 기술자료를 수집하였다. 특히 조사에 있어서는 다음 사항 즉 방재분야 정보화의 개념과 추진 방향 및 방법에 중점을 두었다.

조사방법으로는 미국 과학재단(NSF), 표준과학연구소(NIST), 연방재난관리청(FEMA) 그리고 방재연구에 관련된 대학, 일본 및 유럽의 방재관련기관의 연구보고서를 검토하였다. 조사수집한 자료는 분석하여 체계화하고, 자료 중 일부는 데이터베이스화를 추진할 예정이다.

2. 조사연구의 내용

본 조사연구에서는 수집한 자료를 분석하여 다음의 4가지 항목에 관해 정리하였다.

- 1) 사회기반시설(여기서는 공공 시설물도 포함하나 보다 포괄적인 대상을 지칭)의 정보관리의 특성,
- 2) 사회기반시설의 통합방재정보망 구축에 수반되는 과정
- 3) 효과적인 방재정보자원 구축을 위한 방법론
- 4) 외국의 방재정보화 또는 시스템화 사례

또한 조사과정에서 획득한 외국의 방재에 관련된 인터넷사이트주소와 이들 기관의 업무개요 및 인터넷서비스기능에 대해 정리하여 표준방재정보시스템에 활용토록 하였다. 조사수집된 인터넷사이트는 미국, 유럽, 일본, 오세

아니아, 아시아의 홍수, 지진, 화재, 화산, 태풍, 해일, 눈, 위험물질을 다루는 기관들에 대한 사이트, 종합방재를 다루는 기관들, 공공기관 및 기업정보, 국가별 재난정보를 서비스하는 사이트로 구성되어 있고 약 170 개 사이트이다.

3. 사회기반시설 정보관리의 특성

3.1 새로운 기술과 정보를 활용하는 CIS 연구의 중요성

문명의 흥망은 국민을 먹여 살리고 보호하는 능력과 그 문명을 방어할 수 있는 능력과 관련이 깊다. 이러한 능력들은 사회기반시설(Civil Infrastructure, CIS), 다시 말하면 사회의 부와 삶의 질에 대한 근본적이고 보이지 않는 토대에 달려 있다. CIS를 무시하는 사회는 사람과 자원을 수송하고 깨끗한 물과 공기를 제공하고 병을 다루고 산업활동을 할 능력을 잃게 된다. 이것은 우리나라가 지난 시기의 과도한 발전과정에서 CIS에 대한 소홀, 무지와 부주의로 인해 많은 피해를 겪고 있는 데서도 잘 알수 있듯이 CIS의 취약성과 실패에 따른 손실을 잘 보여 주고 있다.

한편으로는 현존하는 지식을 현장에 적용하여 새로운 공학적이고 과학적인 지식을 개발해야 하는 필요성이 커지고 있다. 이것은 어렵고도 지적인 도전으로서 CIS는 복잡하게 상호 작용하는 공학적, 정치적, 경제적 수백개의 시스템들로 이루어져 있기 때문이다. 과거의 경우 각기 다른 시스템에서는 개개 구성요소의 성능과 작동에 중점을 두었으나 그 결과는 시스템 전체 성능향상에는 큰 영향을 미치지 못 하였다.

이 분야의 지금까지의 연구는 주로 신소재, 신 구조시스템, 건설자동화, 보강, 조립공법, 제어식 지반공법, 부식방지, 광통신, 공공의사결정, CIS 경영관리, 부지선정, 공공재정 등 여러 분야의 발전을 촉진시켰다. 그러나 기초지식을 CIS 실무로 이전하는데 여전히 어려운 장벽이 존재한다. CIS를

기초로 움직이는 국가기관들과 협력하여 지속적인 CIS 연구에 초점을 맞추어 중심적 투자를 장려하는 환경제공이 필요할 것이다. 모든 국가들은 CIS를 가지고 있으며 대부분의 국가들은 이 분야의 연구를 하고 있는 것만 보아도 그 중요성은 말할 필요가 없다.

3.2 사회기반시설의 특성

사회기반시설(infrastructure)의 지속적인 관리라는 문제는 이러한 시설이 환경과 사회, 정치와 경제라는 연계된 맥락 속에 놓여 있음을 이해하여야 하며, 또한 이들과 상호간에 영향을 주고받는 거대하고도 이질 복잡적이며 분산적이고 가변적(동적)인 시스템으로 이해하여야 한다.

이것은 지금까지 개별단위의 의미를 추구하던 기존의 관리방식이 더 이상 곤란하며, 새로운 접근방식을 요구받게 이르렀음을 뜻한다. 더구나 최근의 전세계적인 의존성이나 불확실성의 증대는 정보화와 복합되어 보다 종합적이고 전략적으로 접근해야 하는 그야말로 처음으로 맞게되는 복잡한 문제를 알아야 한다. 이 기반시설의 사용수명 내에서는(life cycle) 설계, 시공, 사용, 유지관리, 수리, 복구(rehabilitation), 그리고 마지막으로 처리의 과정을 거친다.

한편으로는 이러한 단계를 거치는 동안 수반되는 인적자원의 경우, 흩어져 있는 서로 다른 분야(heterogeneous)의 협력을 이끌어내는 것이 필요한데 이는 지속적인 유지관리 작업과 결과를 효과적이고 정확하게 경제적으로 유도하기 위하여 필요한 것으로 생각된다.

3.3 바람직한 CIS 기술개발의 방향

CIS 기술개발의 미래는 현존하는 지식을 기반으로 사회기반시설 (Civil Infra Structure, CIS)이라는 작업에 적용하여 새로운 지식을 창출하는 것이다. 즉 최상의 시스템성능과 혁신적 기술방식을 목표로 전체론적(holistic)으로 접근하여야 하며 개념증명연구(proof-of-concept), 지식이전, 교육훈련, 인재양성, 부문간 협력을 증진 시켜야 한다.

이를 위하여는 CIS를 염두에 둔 손상과학, 평가기술, 손상재생공학 등에 관한 연구가 필요하다. 그리고 대학과 다른 연구자들에게 CIS 분야의 연구의욕을 부추기는 것이 필요하다. 이들의 세부적인 연구주제에 대해 살펴본다.

가) 손상과학 (DETERIORATION SCIENCE)

건설된 시설들이 어떤 이유로 손상하는가를 이해하기 위해서는 손상과학을 잘 이해하는 것이 중요하다. 일반적인 손상규명의 방법은 파괴를 일으키는 극한조건에서의 내성시험과 이 결과를 재료의 성능지표로서 이용하는 것이다. 그러나 불행히도 거의 어떤 시험도 제한된 시험조건에서 파괴가 일어나는 기본 메커니즘에 의존하지 않으며 더구나 실제 조건과는 더욱 거리가 멀다. 심지어 기존의 건설재료들은 그 재료의 성질이 계속해서 변하는 시스템으로 생각될 수 있다. 그 복잡성은 재료가 수리되고 보강될 때마다 증가한다. 이러한 연구의 주요 요소는 재료과학과 재료역학이 중심이 된다. 이와함께 위험도 및 신뢰성(risk and reliability), 재료공정(materials processing), 제작(fabrication), 생산(manufacturing), 조립(assembly), 부식(corrosion), 피로(fatigue), 환경재해(environmental hazard), 성능한계(performance criteria), 사용수명 연장(extension of service life), 강도와 내구성(strength and durability) 등의 파괴과정(failure process)에 대한 연구 프로그램으로 부터 도움을 받을 수 있다.

나) 평가기술 (ASSESSMENT TECHNOLOGIES)

CIS의 수리와 보강의 가장 큰 문제점은 건설된 시설의 건강상태를 정확히 평가할 수 없다는 것이다. 평가되어야 하는 많은 수의 시설과 사용중인 구조요소에 접근한다는 것이 그 문제를 더욱 어렵게 한다. 신체부위가 잘 알려진 인체를 진단하는 것과는 다르다. 건설된 시설을 평가하는 현재 방법들은 비교적 원시적이고 보수적이어서 값비싼 결정을 내리게 만든다. 이러한 상황은 어느 정도의 연구투자로 개선될 수 있다. 이 분야에 관련된 연구

로서는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

즉 비파괴평가기술, 고기능성 재료, 손상과정, 계측기술, 수명평가 및 장기 계측, 전체평가(system evaluation), 극한성능 평가, 위험도 평가, CIS상호의 존성 평가, 지리정보 시스템(GIS), 사회경제적 이슈(social and economic) 등이다.

다) 손상재생공학 (RENEWAL ENGINEERING)

건설된 사회기반시설들은 국가의 가장 큰 유형자산이며 교통시설, 에너지 시설, 수리시설, 환경보호시설 등이 이에 속한다. 또한 생활하고 일하고 여가를 즐기고 교육과 정부역할의 수행을 도와주는 시설들이 대상이 된다. 사회의 이러한 기반시설들은 재생(renewal), 수정(modification), 보강(upgrading) 등을 필요로 하며 이 분야의 연구는 새로운 디자인과 시공방식의 개발이 필요하다.

또한 혁신적인 정보통신시스템은 이 분야 연구의 지식기반형 분야에 매개가 되며 다음의 연구주제들도 포함하여야 한다.

성능한계 및 보수전략(performance criteria and repair strategies), 파괴공학(demolition), 처리 및 회수(disposal and recycling), 자연자원보존(preservation of national resources), 정보이론(information theory), 전문가시스템과 인공지능연구(expert systems and artificial intelligence), 통합구조설계 및 생산(integrating structural design, processing and fabrication)등을 포함하여야 한다. 각 요소는 재료과학(materials science), 역학(mechanics), 사회과학(social sciences), 지반공학(Geotechnical engineering), 구조공학(structural engineering), 유체역학(fluid mechanics), 수자원공학(water resources), 환경공학(environmental engineering), 화학(chemistry) 및 수학(mathematics), 컴퓨터(computer) 및 정보과학(information science) 등이며 학제적 연구에 대처하여야 한다. 이러한 시스템 통합이 강조되는 공학과 과학분야의 바탕 위에 넓은 의미의 학제적 협력 프로그램에 대한 연구투자를 증대할 필요가 있다.

3.4 CIS 와 문화 (Culture and Infrastructure)

사람과 식량의 수송, 맑은 공기와 물, 공중보건, 산업등 중요한 상호작용에 덧붙여 CIS는 문화적 상징물만큼이나 중요하다. 지역사회와 풍경과 CIS와의 관계 그리고 그것의 외양과 위치는 장차 그것들에 대한 많은 연구의 여지가 있음을 말해준다. 궁극적으로 공공의 생기(vitality)는 우리가 우리 전체 삶의 질에 얼마나 많은 관심을 가지는가에 달려있으며 공공기반시설에 경제정책의 우선 순위를 부여하는 데 달려 있다고 해도 과언이 아니다.

3.5 사회기반시설과 방재정보의 특성

사회기반시설의 지속적인 관리를 위하여 정보기술을 응용한다는 기본적인 접근에 요구되는 사항은 방재분야의 내용이 기술적일 뿐만 아니라 사회적이어야 한다는 것과, 기술과 사회는 서로에게 영향을 끼친다는 것이다. 방재정보의 특성을 파악하기 위해서는 현재의 정보기술과 신기술의 개발, 이들 기술의 적용과 평가과정을 이해하고, 아울러 사회기반시설의 유지관리에 필요한 요소를 분석할 필요가 있다.

공공정보로서 방재정보는 정보의 공유 및 분배, 시설정보 관리방법과 이를 위한 기술의 응용이 필요하다. 유지관리의 측면에서는 내구성을 향상시키기 위한 시설재료선정, 지역적 환경특성, 설계과정, 검사, 평가, 유지 및 보수 등 핵심사항이 지속적으로 관리가 가능하여야 하는 등 “지속 가능한 관리”가 중요하다. 또 재난손실평가는 재난피해감소 및 예방에 드는 비용을 고려하는 사회적인 합의를 유도하는데 필요하다. 이러한 방법은 각 참여주체에게 손실경감 노력을 고양시킬 것이다. 이러한 재난관리는 피해감소의 측면에서 볼 때, 후진국에서 선진국으로 갈수록 재난의 반복정도의 감소, 재난관리의 중심이 사후복구 및 구난에서 사전예방과 피해감소의 방향으로 이동하게 되는 것을 볼 수 있다.

이러한 전제로 출발하여 정보를 바탕으로 하는 사회기반시설의 관리는 외국의 사례를 보아 Team Engineering Collaboration (TEC)의 접근방식이 효

과적인 것으로 보이며 선진국에서는 이에 관한 연구가 상당히 진행되고 있다. 그러나 이의 적용은 문제의 성격, 한국적 특성을 고려한 수정과 변형이 반드시 필요하다는 점에서 방향만 있을 뿐 현재로는 그 판단이 매우 어려운 시작점에 있다고 하여도 틀린 말은 아닐 것이다. 지금까지의 우리의 방식에 이제부터의 이정표를 종합적으로 세울 수 있다면 한국적인 재난관리방법이 확립되기 시작하는 것이라고 말할 수 있을 것이다.

결론적으로 이러한 CIS 유지관리에 정보기술을 적절히 활용하는 것은 기술적으로나 사회적으로나 필요하며 서로 상호보완적이기도 하다는 것이다.

3.5 방재정보에 요구되는 내용 분석

정보에 담아야 할 내용을 이해하기 위해서는 잠재적인 정보이용 주체에 대하여 정보사회의 모습 및 요구에 대한 예측이 필수 불가결하다. 즉 공공, 산업, 국민생활, 관련 서어비스 분야 등에 걸쳐 이에 대한 연구가 필요하다. 특히 infra structure 에 관한 재난관리는 그 자체가 환경, 사회, 정치, 경제적인 면을 지니고 있으므로 거대하고 복잡하며 이질적이고 분산된 시스템을 어떻게 효과적으로 관리하는가를 다루는 것이 된다. 그리고 하나의 완성된 시스템이라도 새로운 여건 및 새로운 기술이 나타나면 개선이 필요한 항상 가변적인 시스템으로 다루어 질 것을 요구한다. 또한 간과하지 못하는 면은 이질적이면서 흩어져 있는 전문가 집단의 협력을 이끌어 내는 것이 무엇보다 중요하다.

한편 시시각각으로 변하는 정보기술의 고유한 특징 및 환경적 특성을 충분히 반영하여야 한다. 특히 정보와 지식의 시간.공간의 동시적인 사용에 대한 고려가 필요하다. 이를 위하여 미래지향적인 정보에 요구되는 내용을 도출하기 위한 주요 이슈는 아래와 같다.

- 1) 사회간접자본 시설로서의 재난관리의 시스템적 특성규명
 - 2) 정보의 조직화, 유형화 문제
- ▶ 자료의 시각화 (Data visualization) 문제

- ▶ 대규모 자료처리의 문제
- ▶ 새로운 기술적 진보의 적용문제
- ▶ 자료의 유형화 문제 (Data Modelling)
- ▶ 사용자 중심의 친숙한 환경의 구현문제 (User Frenliness)
- ▶ 다양한 기술적 응용분야

이러한 문제를 고려하면서 계속적으로 반복 요구되는 것으로 방재정보가 무엇인지에 대한 지속적인 문제제기와 다음에 할 일은 무엇인지에 대한 의문을 던지므로써 새로운 동기유발이 가능하여 질 것이다.

4. 통합방재정보망(GDMS) 구축에 수반되는 과정

여기서 말하는 통합방재정보망은 선진 외국에서 재난을 관리하고 사회기반시설을 유지, 관리하기 위해 검토하고 있는 이상적인 시스템이라고 할 수 있다. 따라서 이에관해 검토되고 있는 내용을 살펴보므로써 향후 우리 연구 방향의 정립에 도움을 얻고자 함이다.

4.1 데이터베이스구축과 마스터플랜 수립의 필요성

통합방재정보망 구축을 위한 밑그림으로서 재해예방/경보, 재해상황 처리, 재해복구 지원, 재해평가 및 사후대책 지원 등의 기능을 포함하는 종합방재관리 시스템을 구축하기 위한 기반으로 방재에 관한 종합 데이터베이스의 구축이 선행되어야 한다. 이러한 종합 방재관리 시스템을 위한 데이터베이스가 가지는 주요한 특징은 다루어야 할 정보가 지금까지 다루어 오던 형태보다는 한층 다양하고 구조적으로 복잡한 내용을 띠고 있다는 것이다. 이와 같이 다양한 형태의 정보를 관리하고 상호 이질적인 형태의 정보를 결합하여 보다 유용한 정보를 생성·제공하기 위해서는 관련 기술의 도입과 이를 위한 체계적인 검토와 계획이 필요하다. (마스터플랜 수립)

4.2 정보망체계 검토 및 정보자원 제공계획

정보체계로부터 정보서어비스에 필요한 각종 수집된 자료(database)와 자원(resources)을 정보망에 담을 수 있는 양식(format)으로 변환하고 가공하는 것이 필요하다. 또한 다중적 연결을 전제로 하는 방재정보의 효율적인 분류작업도 필요하다고 본다.

4.3 Global Disaster Management System 완성

이상의 내용을 기초로 GDMS 에 포함하여야 할 내용을 아래에 나타내었다.

- ▶ Engineering Management System
- ▶ Response System
- ▶ Recovery and Rescue System
- ▶ Hazard Estimation System
- ▶ Hazard Mitigation System
- ▶ Finance and Insurance System
- ▶ Law advisory System
- ▶ Human Resources System
- ▶ Technical Advisory System
- ▶ 기타

이상의 개별체계는 하부구조로서 각각 국가, 지방자치단체, 공익단체, 민간기업, 개인간의 역할에 따른 행동지침과 시나리오가 요구된다고 생각된다. 특히 CIS 의 경우 GDMS 에 기반 하는 지속적 유지관리가 필수 불가결하다.

한편 이러한 재난의 종류와 규모도 시시각각 변하고 이에 대응하는 기술도 계속 발전하므로 완전한 상태는 없다는 것을 인식하는 것이 중요하다. 외국의 조직사례를 참고하여 우리실정에 맞게 지속적으로 발전시키는 것이 매우 중요하다고 생각된다. 세계적인 관계기관과의 교류협력도 중요한 것은 말할 필요가 없다.

4.4 정보망 서비스의 고려

실제로 서비스를 하기 위하여 사전에 고려야 할 내용은 아래와 같다. 즉 어떻게 서비스 할 것인가의 문제이다. 이에 수반되는 내용은 시스템 설치, 운영, 네트워크 관리 등의 기본적인 사항과 인터넷을 이용할 경우나 다른 방법의 통신을 이용할 경우의 자료형식에 맞는 data manage, library manage, 자료가공 등에 관한 준비를 동시에 마치면서 새로운 정보의 유입에 대비하는 것이 필요하다. 네트워크의 관리와 관련된 것으로서는 다음 등

을 들 수 있다.

- ▶ 네트워크 관리: 분산서비스(distributed services),
네트워크 관리 (network management),
분산형 컴퓨팅(distributed computing)
- ▶ 정보망과 교육훈련 : 정보망을 이용하여 내용제공, 원격훈련 체계 이용

구체적으로 서비스계획에 수반되는 내용은 공공정보이므로 행정의 생산성 (administrative productivity), 공공안전 및 복지 (national safety and welfare), 효율적 서비스 (effectiveness)에 기여하여야 한다. 또 개개 국민에게는 누구나(whoever)에게 어디서든지(whatever) 디지털(digital)적인 정보로 용이하게 접근할 수 있게 하므로써 삶의 안전과 질을 높일 수 있도록 하여야 한다.

4.5 GDMS 에 포함되는 GIS 정보분석

1) GIS 시스템 (지리정보시스템)

- ▶ 지형공간정보 획득, 저장, 갱신, 처리, 분석, 시각화, 조직적 인력관리에 요구됨
- ▶ 기간시설물과 지상구조물 및 자원의 속성정보의 입력
- ▶ 신속한 재난대책 수립에 기여
- ▶ DB 관리, 공간적 분석(Spatial Analysis), Graphical Processing

2) GDMS(종합재난관리시스템) 또는 GEMS

- ▶ GIS 자료는 기본, 종합적 재난관리시스템

3) 종합적 재난관리를 위한 정보 인프라구축에 요구되는 내용

- ▶ 대규모 정보처리 인프라의 구축
- ▶ 공간정보의 수치화, GIS 활용 체계화 작업

- ▶ LAN 및 광역 네트워크화
- ▶ 전문적인 인력교육 정책 및 제도, 사회적 투자
- ▶ 중앙정부 및 지방정부간 역할 조정 및 협력

4) 관련 업무 부서 및 업무내용분석

이러한 GIS 자료는 종합적인 복구, 재난관리 및 위성등 다양한 시설을 이용한 위치확인(Mapping) 기술로서 즉각적인 대응 등이 가능하게 된다.

4.6 재해평가 방법 (HAZARD ASSESSMENT ISSUES)

재해에 대한 위험도를 평가하는 과정에 수반되는 내용은 다음과 같다.

▶ 재해 표시과정 (Hazard Identification Process)

- 목적: 재해발생가능성이 높은 지역에 대한 현존정보를 수집하여 유용한 형태로 편집
- 재해가능성이 높은 지역을 표시하고 GIS의 일부분으로서 디지털화한 지도를 만들 것
- 손실감소 우선 순위지역, 지역관리, 비상시 대응 및 복구계획을 정하는데 필요한 재해가 상당히 예상되는 지역에 대한 정보

▶ 재해 취약성 평가과정 (Vulnerability Assessment Process)

- 목적: 지역사회에 존재하는 건물, 공공시설 및 교통시설의 취약성과 위치에 대한 현존하는 정보를 수집하여 체계화 함
- 재해시 사용하기 위한 일관된 DB 를 구축하기 위함으로 이용현황, 형태, 시공일, 위치, 소유주 등
- 공공시설과 교통시설을 발견
- 빌딩, 공공시설 및 교통시설의 예상성능에 대한 정보를 이용하여 다양한 크기의 자연재해로 인해 생기는 기능손상가능성 평가

▶ 재해 위험도 평가과정 (Risk Assessment Process)

목적: 위험도산정은 지역사회의 재해와 취약성(vulnerability) 발견의 조합을 기초로 재난의 잠재적인 결과를 산정

- ▶ 재해 표시와 취약정도 정보(vulnerability information)수집
- ▶ 정보를 GIS형태로 혹은 다른 유용한 형태로 편집.
- ▶ 우선 순위 결정
- ▶ 지역사회를 위한 재해인식 자료(hazard awareness materials) 개발
- ▶ 신속하고 정확한 의사결정(decision-making)을 지원하는 그래픽 자료개발

5. 방재정보자원 구축을 위한 분류

5.1 기본자원 및 자료(Resources and Databases) 분류

방재정보로서 포함되어야 할 기본자원과 기술적 자료를 미국의 경우를 참조하여 분류하면 다음과 같다.

1) 의사결정도구자원(DECISION SUPPORT TOOLS)

- ▶ Database Application
- ▶ Geographic Information Systems (GIS)
- ▶ Computer Models
- ▶ Decision-making Organization
- ▶ Legal System

2) 재해발생 기초자원(NEAR-EVENT DATA TOOLS)

- ▶ Weather Information
- ▶ Weather Products
- ▶ Hurricane and Coastal Information
- ▶ Flood
- ▶ Earthquake
- ▶ Fire and Wildfire
- ▶ Hazardous Materials

3) 재해발생자원(PRE/POST-EVENT DATA SOURCES)

- ▶ Population and Demographics
- ▶ Chemical Information
- ▶ Maps
- ▶ Images and Other Data

▶ Remote Sensing

4) 정보확산자원(INFORMATION DISSEMINATION)

▶ Alert/Warning

▶ Hot Lines

▶ Internet

5.2 방재정보의 분류

기본자원을 바탕으로 구성되는 방재와 관계되는 정보항목을 분류하면 다음과 같다.

- 교육기관 (Educational Institutions)
- 국제연합 (United Nations)
- 국제기구협력 (International Organization and Cooperation)
- 기상 (Weather / Meteorology)
- 기술 (Technology)
- 뉴스 및 정보제공 (News and Information Services)
- 민방위 (Civil Defense)
- 방사능 예방(Radiological Emergency Preparedness)
- 범용전화 (Universal Emergency Phone Numbers)
- 법적강제 (Law Enforcement)
- 보험 (Insurance)
- 비공인 정보통신 (Volunteer Communications Programs)
- 산업 (Business and Industry Solutions)
- 소방서 (Fire Fighting Agencies)
- 소프트웨어(Computer Software for Emergency Management Purposes)
- 연구 (Research and Science)
- 응급관리기관 (Emergency Management Agencies)
- 응급서비스(Emergency and Disaster Services)
- 응급관리산업 (Emergency Management related Business and Industry)
- 응급관리장비 (Equipment for Emergency Management)
 - 상업조직 (commercial, for-profit organizations)
 - 국가조직 (National Organizations)
- 위험물 (Hazardous Materials)
- 의료 (Medical Related)
- 의료구호진(Disaster Medical Assistance Teams)
- 자연재해 (Natural Disasters)
- 재난관리 (Disaster Management)
- 재난감소 (Disaster Mitigation)
- 지진 (Earthquake / Seismology)
- 지역비상관리조직(Provincial Emergency Management Organizations)
- 참고자료 (Reference Sites)
- 컨소시엄 (Consortiums)
- 탐색구조 (Search and Rescue)

태풍 (Hurricane)
특별비상지원 (Special Emergency Services)
해일 (Tsunami (Tidal Wave) Research and Warning)
화산 (Volcanology / Volcanoes)
홍수 (Flood)
NGO 자원조직(Non-Governmental (Voluntary) Organizations)
NGO 조직(Non-Governmental Organizations)
기타 (Others)

6. 방재분야의 정보기술 적용모델 사례

6.1 사회기반시설 유지관리를 위한 모델 프로젝트 (Project CITY)

Project CITY는 Fort Gordon의 Civil Infrastructure의 지속적인 관리를 지원하기 위한 프로젝트로서 1994년 미국과학재단의 Information Infrastructure Technology and Application Initiative에 의하여 주어진 여섯 개의 연구보조금중의 하나이다.

이 프로젝트의 목표는 조기에 CIS 관리의 효율성을 향상시키기 위하여 발달된 정보기술을 시험적으로 사용하였다. 이 방법은 "Team Engineering and Analysis Modelling (TEAM)"이라 불리어진다. 이에 참여하는 "TEAM Engineering Collaboratory(TEC)"는 미육군공병단 연구소(CERL), 일리노이 대학(University of Illinois at Urbana- Champaign, UIUC), 남가주대학(University of Southern California ,USC)등이며 "복잡하게 구성되어있는 조직들의 자료를 정보와 결합"하는 다양한 연구분야로 구성되어 있다.

팀(TEAM)방법은 사회적이며 기술적 시스템에서 "의사소통-> 조정->업무-> 조직적 활동"에 대하여 반복적인 기본틀을 제공한다. TEAM 방법의 중요한 특징은 그룹활동과 의사소통, 실질적 활동의 자체관리, 상황별 문제 해결, 기술적 수용, 작업실행 사이의 상호 의사소통 등을 표준적으로 모델링 하는 것에 초점을 맞춘다는 것이다. 이를 위하여 사회기반시설의 유지관리를 위한 도구로서 통합된 작업모듈을 만들어 개별 기술자와 행정당사자뿐만 아니라 전 공공부서에 의하여 사용될 수 있도록 고안하고 이를 사회의 각 핵심분야에 응용하는 것으로 되어 있다.

이러한 통합모듈은 "Directorate of Public Works(DPW)"를 중심으로 개발중이다. 이를 위하여 컴퓨터모델개발을 위한 연구와 함께 작업의 흐름 연구도 진행중이다. 이 프로젝트의 궁극적인 목표는 발전된 정보기술을 이용함으로써 DPW의 수행능력을 향상시키는 것을 돕는 것이다. 대상도시는

기서 개발된 새로운 기술은 미국 전 도시에서도 유용할 것으로 평가받고 있다.

6.2 지진정보를 중심으로 한 방재기술개발 구축사례

대표적인 지진재해감소 프로그램인 NEHRP 프로그램은 초기의 지진재해 감소법(Earthquake Hazard Reduction Act,1977)으로 부터 시작되었으며 1989년의 Loma Prieta 지진을 계기로 지진대책에 대한 심각한 반성과 변신이 필요하게 되었다. 1990년에는 그 동안의 프로그램을 수정 보완하고 뚜렷한 목표와 각 담당주체들의 책임을 명확히 하여 지진예방 및 복구, 사후평가에 이르기까지 광범위하고 진취적인 프로그램으로 개량되었다. 이후 FEMA를 매개로 USGS(지진관측 및 분석), NSF(지진 및 시설 내진성 연구), NIST(표준화 및 법제화) 등으로 나누고 각 주체들은 다시 관련된 전문 학술단체, 연구기관, 인력을 조직하여 91-92, 92-96, 97이후로 계속되고 있으며 그 방향이 수정 보완되어지고 있다. 이 프로그램은 국제적으로 다른 재해감소프로그램의 모델로서 각 나라별로 조금씩 실정에 맞게 수정하여 진행되고 있기도 하다. 이에 관계되는 참여기관과 이에 속하는 소규모 프로그램의 내용을 Table 4-6-1에 수록하였다. 프로그램상의 사업내용과 협력기관의 주요사업은 Table 4-6-2, Table 4-6-3 에 수록하였다.

Table 4-6-1 Contents and Coordinating Agencies for NHERP Program

The Program Elements and Responsible Agencies		
A. NEHRP Leadership	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reporting 2. Coordination and Planning 3. Outreach and Advocacy 4. Legislation and Issues 	<p>FEMA</p> <p>FEMA</p> <p>FEMA</p> <p>FEMA</p>
B. Fundamental Earthquake	<ol style="list-style-type: none"> 1. Implications of Plate Tectonics 2. Earthquake Processes 	<p>NSF</p> <p>NSF</p>
C. Earthquake Hazard Potential	<ol style="list-style-type: none"> 1. Theoretical, Laboratory, and Field Studies of Earthquake Source 2. Regional Geologic Framework and Earthquake Potential 3. Local Earthquake Potential Fault-Specific Forecasting 4. Earthquake Prediction Experiments 	<p>USGS</p> <p>USGS</p> <p>USGS</p> <p>USGS</p>
D. Earthquake Effects and Engineering Research	<ol style="list-style-type: none"> 1. Earthquake Ground Shaking 2. Ground Failure, Siting, and Geotechnical Research 3. Mapping Earth Effects and loss Estimates 4. Structural Analysis and Design 5. Architectural and Nonstructural Components 6. Research Facilities 7. Earthquake System Integration 8. Research for Standards 	<p>USGS/NSF</p> <p>USGS/NSF</p> <p>USGS</p> <p>USGS</p> <p>NSF</p> <p>NSF</p> <p>NSF</p> <p>NIST</p>
E. Planning for and Mitigating Earthquakes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Design Practices and Manuals 2. State and Local Earthquake Hazards Reduction 3. Federal Response Planning 4. Risk Analysis and Applications 5. Insurance 	<p>FEMA/NIST</p> <p>FEMA</p> <p>FEMA</p> <p>FEMA</p> <p>FEMA</p>
F. Information Systems and Dissemination	<ol style="list-style-type: none"> 1. Engineering Data and Technology Transfer 2. Seismological Data and Information Services 3. Education and Dissemination 	<p>FEMA/USGS/</p> <p>NSF/NIST</p> <p>FEMA</p>
G. Postearthquake Studies		<p>FEMA/NSF/</p> <p>USGS/NIST</p>
H. International Cooperation	<ol style="list-style-type: none"> 1. International Research & Information Exchange 2. International Decade for Natural Disaster Reduction 	<p>NSF/USGS/</p> <p>NIST/FEMA</p>

Table 4-6-2(a). Main Elements for NHERP Program

Element A : NEHRP Leadership(FEMA)

Reporting,
Five-Year Plan,
Coordinated Budget,
Coordination and Planning
Inter-agency Coordinating Committee(ICC),
Policy Coordinating Group(PCG)
Advisory Committee,
Outreach and Advocacy,
Cooperative Efforts
Exhibit,
Outreach Campaign,
Legislation and Issues

Element B : Fundamental Earthquake Studies(NSF)

Implications of Plate Tectonics, Earthquake Processes
Stress and the Earthquake Rupture Process
Stress and the Forces Driving Plate Tectonics
Centers and Facilities, Southern California Earthquake Center(SCEC)
The University Navstar Consortium(UNAVCO)
Incorporated Research Institutions for Seismology(IRIS)

Table 4-6-2(b). Main Elements for NHERP Program

Element C : Earthquake Hazard Potential(USGS)

Theoretical, Laboratory, and Field Studies of Earthquake Source
Regional Geologic Framework and Earthquake Potential
Local Earthquake Potential and Fault-Specific Forecasting
Northern California, San Andreas Fault System
Rodgers Creek Fault Zone, Southern California
Pacific Northwest, Central Mississippi Valley Region
Earthquake Prediction Experiments

**Element D : Earthquake Effects and Engineering
Research(USGS/NSF/NIST)**

Earthquake Ground Shaking (USGS/NSF)
Ground Failure, Siting, and Geotechnical Research (NSF/USGS)
Mapping Earthquake Effects and Loss Estimates (USGS)
Research Facilities (NSF), Earthquake System Integration (NSF)
Research for Standards (NIST), Site Amplification
Strengthening Lightly Reinforced Concrete Frame Buildings
Seismic Resistance of Masonry Walls
Measurement of Structural Response Characteristics of Buildings
Passive Energy Dissipation Systems
Cost-Effective Retrofit Technology for Bridge Columns
Lifeline Geotechnical Engineering

Table 4-6-2(c). Main Elements for NHERP Program

Element E : Planning for and Mitigating Earthquake
(FEMA/NIST)

Design Practices and Manuals(FEMA/NIST)
New Construction, Existing Buildings, Lifelines
Inter-agency Committee on Seismic Safety in Construction(ICSSC)
University of Nevada Earthquake Engineering Facility
State and Local Earthquake Hazards Reduction(FEMA)
Guam, New York, Puerto Rico, U.S. Virgin Islands, Virginia
Central United States Earthquake Consortium(CUSEC)
Arkansas, Georgia, Illinois, Indiana,
Kentucky, Mississippi, Missouri,
North Carolina, Oklahoma, South Carolina, Tennessee
New England States Earthquake Consortium(NESEC)
Massachusetts, New Hampshire, Rhode Island, Vermont
Western States Seismic Policy Council(WSSPC)
Alaska, Arizona, California
Bay Area Regional Earthquake Preparedness Project(BAREPP)
Southern California Earthquake Preparedness Project(SCEPP)
Colorado, Hawaii, Idaho, Montana,
Nevada, Oregon, Utah, Washington
Federal Response Planning(FEMA)
Exercises, Urban Search and Rescue(US&R)
Risk Analysis and Applications(FEMA)
Insurance(FEMA)

Table 4-6-2(d). Main Elements for NHERP Program

Element F : Information Systems and

Dissemination(FEMA/USGS/NSF/NIST)

Engineering Data and Technology Transfer

Seismological Data and Information Services

Education and Dissemination

Element G : Postearthquake Studies(FEMA/USGS/NSF/NIST)

Element H : International Cooperation(FEMA/USGS/NSF/NIST)

International Research and Information Exchange

.China .Japan .Russia .Mediterranean Region

.United Nations Educational Scientific and Cultural Organization(UNESCO)

International Decade for Natural Disaster Reduction(IDNDR)

Table 4-6-3(a). Contributing Agencies and Works for NHERP Program

Bureau of Reclamation(Reclamation)

Safety of Dams Program,
Seismotectonic Studies,
seismic Monitoring
Modifications to Dams,
.Mormon Island Auxiliary Dam, California
.O'neill Forebay Dam, California
.Pineview Dam, Utah
.Stewart Mountain Dam, Arizona
.Deer Flat Dam, Idaho
Strong Motion

Department of Defense(DOD)

Military and Civil Works Programs, U.S. Army Corps of
Engineers(CE)
Army Engineering and Housing Support Center
Seismic Design Guidance
Seismic Design and Safety Evaluations
Navy Programs
Research
Coordination

Department of Energy(DOE)

Emergency Preparedness
Seismic Repair and Upgrading
Alaska, California, Colorado, Idaho, Kentucky, Oregon, New Mexico
New York, South Carolina, Tennessee, Washington
Research and Development
Seismic Hazards Studies
Technology Transfer

Table 4-6-3(b). Contributing Agencies and Works for NHERP Program

Department of Transportation(DOT)

Seismic Safety Program

.Reducing seismic vulnerability

.Assessing earthquake risk

.Seismic safety administration

.Response to major earthquakes

Reducing Seismic Vulnerability

Assessing Earthquake Risk

Seismic Safety Committee

.Seismic vulnerability awareness

.Uniform standards for DOT programs

.Inter-agency seismic participation

Response to Major Earthquakes

Department of Veterans Affairs(VA)

National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)

National Weather Service(NWS)

Tsunami Warning Service

Data Acquisition

Data Processing Operations

Cooperative and Public Awareness Programs

International Activities

National Geophysical Data Center(NGDC)

Seismicity Program

Earthquake Prediction Research

Tsunami Program

Strong-Motion Accelerograph Program

Hazard Photograph File

Table 4-6-3(c) Contributing Agencies and Works for NHERP Program

<p><u>Nuclear Regulatory Commission(NRC)</u></p> <p>Earth Science Research Seismographic Networks Strong-Motion Studies Paleoseismicity Studies Northeast U.S Southeast U.S Wabash Valley Pacific Northwest Fault Segmentation Probabilistic Seismic Hazard Analysis Seismic Engineering Research</p> <p><u>Tennessee Valley Authority(TVA)</u></p> <p>Interagency Cooperation Participation in Industry Research Seismic Monitoring Efforts Studies Related to Major Facilities Dam Safety Fossil-Fuel Facilities Nuclear Facilities Bridges Transmission Facilities Future Efforts</p>
--

제 7 절 결 론

1. 당해연도 수행결과

기술정보사업에서는 방재기술연구개발에 필요한 기초데이터, 방재관련 자료 등 기술정보를 수집, 확보하고 이들을 효율적으로 활용·보급하기 위한 기술정보데이터베이스 및 방재정보시스템의 구축을 수행하였다. 당해연도에 수행한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 재료물성데이터의 수집

정유설비에서 주로 사용되는 탄소강과 저합금강, 스텐레스강, 주철, 구리, 알루미늄합금, 니켈합금, 타이타늄을 대상으로 부식특성을 조사, 수집하였다. 부식물질은 정유공정에 포함되는 원유, HCL, H₂S, HF, H₂, MgCl₂, NH₃, S, SO₂, H₂SO₄, CO₂ 를 대상으로 하고, 정유공정의 다양한 환경하에서의 부식 특성을 조사하였다. 이들 특성은 조건의 조합에 의해 매우 다양하기 때문에 당해연도에는 이종의 일부에 대해서만 조사가 진행되었다.

2) 공공시설물의 파손사례조사

국내외의 교량, 터널, 댐의 파손, 파괴사례 62건에 대해 조사하였다. 이들 자료는 최근에서 10여년 전의 것들도 포함되어 있는데, 사고사례는 기록에 대한 접근이 어렵고, 또한 자료의 입수가 쉽지 않기 때문에 체계적이고 광범위한 조사는 이루어 지지 않았다. 체계적인 자료의 확보를 위해서는 시설 안전기술공단을 비롯한 국내외의 관련 기관들과의 협력과 정부의 협조가 필요하다고 생각된다.

3) 방재정보시스템의 개발

기술정보데이터베이스를 관리하고, 데이터의 처리, 분석, 네트워크를 통한 정보의 교환, 서비스를 위한 방재정보시스템을 개발하였다. 개발한 시스템은 데이터베이스의 검색, 정보의 교환, 처리가 모두 WEB(예를 들면 인터넷)을 통해 이루어 질수 있도록 개발되었기 때문에 Home Page를 통해서 외부와 자유롭게 정보교환이 이루어 질 수 있다. 특히 외부에서의 시스템접근은 상용의 모든 WEB 브라우저에 의해 가능하도록 인터페이스를 구축하였다. 현재는 수집한 데이터, 자료에 대한 데이터베이스화가 진행중에 있으며 데이터의 처리, 분석등 응용기능개발을 위한 요구분석이 진행중에 있다.

4) 방재정보 통합데이터베이스 개발을 위한 기초연구

네트워크를 통한 분산환경하의 이기종 데이터베이스의 통합기술개발을 위한 기초연구로서 멀티데이터베이스개발에 대한 연구를 수행하였다. 당해연도에는 분산되어 있는 2개의 이기종 데이터베이스(Oracle, UniSQL/X)의 데이터를 네트워크를 통해 통합하는 프로토타입시스템을 구성하고 실험을 통해 가능성을 확인하였다. 이 연구는 방재센터에서 추진하고 있는 과기처산하의 방재관련기관, 시설안전기술공단, 건설기술연구원 등 국내 방재관련기관간의 통합데이터베이스 구축에 적용될 수 있다.

5) 해외의 방재정보기술동향 조사.분석

미국, 유럽, 일본의 최근의 방재관련 기관의 자료를 수집하고, 인터넷상의 방재관련 정보를 수집하여 해외의 방재정보기술동향, 방재정보시스템구축동향을 분석하였다. 이 자료는 향후 방재센터의 연구개발정책의 수립, 정보화추진의 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

2. 향후 계획

데이터베이스를 구축하기 위한 기본 시스템환경은 개발되었기 때문에 올해부터는 본격적인 데이터베이스를 구축하고 활용체계를 확립할 것이다. 또한 수집/생산하는 물성데이터를 시설물에 포함되는 철근, 콘크리트에 까지 확장하고, 금속재료도 피로, 크립으로 확대하고, 구조물의 정적, 동적거동의 기초데이터를 수집.생산하여 상태감시, 안전진단 등의 현장에서 실용화 될 수 있는 수준의 기술정보데이터베이스의 구축을 추진하고자 한다. 특히 올해부터는 국내.외 방재관련기관과의 적극적인 정보의 교환, 협력을 추진하여 체계적인 정보의 확보와 보급을 추진해 나가고자 한다.

개발하고 있는 방재정보시스템의 기능을 추가, 보완하고 멀티데이터베이스시스템의 적용대상을 확대하여 통합방재정보시스템으로의 구축을 추진해 가고자 한다.

참고문헌

- [1] 저합금내열강의 특성데이터베이스화를 위한 조사연구, 동의대학교, 1997.
- [2] 공공시설물에 재한 파손사례 조사연구, 여수수산대학교, 1997.
- [3] 분산환경하에서의 이기종 방재정보시스템의 통합에 관한 연구, 충남대학교, 1997.
- [4] 인터넷을 이용한 방재정보자료구축에 관한 연구, 경상대학교, 1997.
- [5] Oracle 7 DBMS Handbook, 한국오라클 고객지원실,(주) 한국오라클, 1996
- [6] Java programming SUN microsystems, (주)인포메이션, 1996

이 페이지는

여백입니다

부록A 재난종류별 Internet Site 정보

분류	Site Name	URL
화재	상위사이트	
	· GPR	http://users.ids.net/~gread
	· WILDLAND FIREFIGHTER Magazine	http://www.wildlandfirefighter.com
	· The Alliance for Fire and Emergency Management	http://afem.org/afem
	· FlashNet	http://www.flash.net
	· Univ. of Maryland Fire Protection Engineering - USA	http://www.enfp.umd.edu
	하위사이트	
	· California Environmental Resources Evaluation System-USA	http://resources.agency.ca.gov
	· Fire Fighting Agencies	http://www.usfa.fema.gov
	· Washington FireDistrict, Coventry, RhodeIsland	http://users.ids.net/~gread/washingt.htm
	· WILDLAND FIREFIGHTER Magazine	http://www.wildlandfirefighter.com
	· The Alliance for Fire and Emergency Management	http://afem.org/afem/
	· The Fire Station	http://www.flash.net/~jturner
	· Univ. of Maryland Fire Protection Engineering - USA	http://www.enfp.umd.edu
	· Utica (NY) Arson Strike Force	http://bounce.to/arson
	· Vancouver Fire Department -CANADA	http://www.wimsey.com/~maddison/index.html
	· State of Minnesota(U.S.A.)-Hamel Volunteer FireDept.	http://www.freenet.msp.mn.us/people/guestb/
	· Tennessee Firemen's Association	http://www.geocities.com/Heartland/Ranch/1911
	· Society of Fire Protection Engineers	http://www.inform.umd.edu/StudentOrg/sfpe/
	· Spanish Language Fire Programs Index	http://www.ibase.org.br/~esfao/cb.html
	· Ohio Fire Chief's Association	http://www.ohiofirechiefs.com
	· Oklahoma State University - Fire Programs'Index- USA	http://www.fireprograms.okstate.edu/
	· Orange County, FL Fire Department	http://gslink.net/~backdraft/index.html
	· Pembroke, MA Fire Department	http://www3.pcix.com/%7Esafe/
	· Margate, Florida (U.S.A) Fire Department	http://www.laker.net/margatefl/mfdhome.html
	· Miami Valley Fire/EMS Alliance	http://www.infinet.com/~mvfea/
	· North Pole Alaska Fire Department-Santa's Official Fire Department	http://www2.polarnet.com/~chiefjen/index.html
	· Larksville Volunteer Fire Department(State of Pennsylvania, U.S.A.)	http://home.usnetway.com/~recon14/larksville/larksvil1e.html
	· Los Angeles City Fire Dept. - USA	http://www.ci.la.ca.us/department/LAFD/index.html
	· Jacksonville Volunteer Firemen's Association	http://members.aol.com/xanthiaii/index.htm
	· Johnstown Fire Dept Homepage	http://www.surfshop.net/users/jfd36/index.htm

분류	Site Name	URL
화재	· Inter Consulting Systems	(http://www.wionline.com/ics/)
	· International Association of Fire Chiefs	(http://www.iafc.org)
	· Hyattsville (MD) Vol. Fire Dept.	(http://www.hyattsvillevfd.org)
	· IERRIS Net -Canada	(http://hoshi.cic.sfu.ca/~ierris/index.html)
	· Firewise	(http://www.firewise.org/)
	· HVFD Fire Rescue WWW Directory	(http://www.hyattsvillevfd.org/links/)
	· Firesafe - Fire and Safety - USA	(http://www.firesafe.com)
	· FireNet Information Network	(http://online.anu.edu.au/Forestry/fire/firenet.html)
	· Firebreak - A.C.T. Bush Fire Council Magazine	(http://meteor.anu.edu.au/~barling/firebreak.html)
	· Fargo, ND Fire Department	(http://www.netcenter.net/~ffd/ffdpag.htm)
	· Fire Instructors Association of Minnesota	(http://www.concentric.net/~fiam)
	· Fire Protection, Texas Commission	(http://www.texas.gov/agency/411.html)
	· Fairfax County, VA Fire and Rescue Department	(http://csa.delta1.org/~x7Eschmidts/)
	· Dover Township Volunteer Fire Department	(http://members.aol.com/station09)
	· Central Lamar Volunteer Fire Department, Lamar County, State of Mississippi	(http://www.clvfd.com)
	· Copiague, New York Fire District	(http://www.fdatcopiague.org)
	· United States Fire Administration	(http://www.usfa.fema.gov/)

분류	Site Name	URL
----	-----------	-----

화산 상위 사이트

- West Indies Volcanoes (<http://www.geo.mtu.edu>)
- Volcano Disaster Assistance Program (<http://vulcan.wr.usgs.gov>)

Program

- Home Page of Volcano World (<http://volcano.und.nodak.edu>)
- Alaska Volcano Observatory (<http://www.avo.alaska.edu>)
- Volcano Data Base: US (<http://www.ngdc.noaa.gov>)
- Living With a Restless Caldera--Long Valley, California (<http://geopubs.wr.usgs.gov>)

Caldera--Long Valley, California

하위사이트

- West Indies Volcanoes (<http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/west.indies/soufriere/govt/>)
- Volcano Disaster Assistance Program (<http://vulcan.wr.usgs.gov/Vdap/vdap.html>)

Program

- USGS/ David A. Johnston Cascades (<http://vulcan.wr.usgs.gov/home.html>)

Volcano Observatory

- Home Page of Volcano World (<http://volcano.und.nodak.edu/>)
- Alaska Volcano Observatory (<http://www.avo.alaska.edu/>)
- Volcano Data Base: US (<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/resource/voldir.html>)
- Living With a Restless Caldera--Long Valley, California (<http://geopubs.wr.usgs.gov/FactSheets/RestlessCaldera/RestlessCaldera.html>)
- Mobile Response Team Saves Lives in Volcano Crises (<http://geopubs.wr.usgs.gov/FactSheets/MobileResponse/MobileResponse.html>)
- Future Eruptions in California's Long Valley Area--What's Likely? (<http://geopubs.wr.usgs.gov/FactSheets/LongValley/LongValley.html>)
- Living on Active Volcanoes--the Island of Hawaii (<http://geopubs.wr.usgs.gov/FactSheets/ActiveVolcanoes/ActiveVolcanoes.html>)
- Volcanic Ash--Danger to Aircraft in the North Pacific (<http://geopubs.wr.usgs.gov/FactSheets/VolcanicAsh/VolcanicAsh.html>)

분류	Site Name	URL
----	-----------	-----

해일 상위사이트

- West Coast & Alaska Tsunami Warning Center (<http://www.alaska.net/~atwc/>)

하위사이트

- Alaska and West Coast (U.S.A.) Tsunami Warning Center (<http://www.alaska.net/~atwc/>)

분류	Site Name	URL
관	상위사이트	
	· Avalanche Information	(http://www.ngdc.noaa.gov)
	하위사이트	
	· AVALANCHE INFORMATION	(http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/resource/avalanch.html)

분류	Site Name	URL
홍수	상위사이트	
	· usfa.fema	(http://www.usfa.fema.gov)
	· U.S. Army Corps of Engineers, National Flood proofing cecwp/nfpc.htm	(http://www.usace.army.mil/inet/functions/cw/Engineers,National Flood proofing cecwp/nfpc.htm)
	Committee	
	· Water Resources of the United States	(http://water.usgs.gov/)
	· DWR California Water Page	(http://wwdwr.water.ca.gov/)
	하위사이트	
	· usfa.fema -GEM search	(http://www.usfa.fema.gov/cgi-shl/dbml.exe?Action=Query&Template=/GEMS
		/g_cats1.dbm&group1=142&groupName=Flood)
	· U.S. Army Corps of Engineers, National Flood proofing cecwp/nfpc.htm	(http://www.usace.army.mil/inet/functions/cw/Engineers,National Flood proofing cecwp/nfpc.htm)
	Committee	
	· England Flood plainand Stormwater Manager Association, Inc.	(http://www.seacoast.com/~nefsma)
	· Satellite Imageand Flood Management	(http://iquest.com/~sentar/NASA/Flood_Management.html)
	· Stormwater Research Group	(http://www.srgflood.com)
	· The National Hydrologic Warning Council	(http://www.io.com/~rooke/alert/nhwc/)
	· January 1996 Floods Deliver Large Loads of Nutrients and Sediment to the Chesapeake Bay	(http://water.usgs.gov/public/wid/FS_140-96/index.html)

분류	Site Name	URL
바람 (Hurricane)	상위사이트 · Hurricanes and Tropical storms (SRCC)	(http://www.srcc.lsu.edu)
	· Hurricane Hunters Home Page	(http://www.hurricanehunters.com)
	· NOAA/NWS/OM/CUST/DISASTER	(http://www.nws.noaa.gov)
	하위사이트	
	· Hurricane and Tropical Storm Info, Southern Regional Climate Center, Louisiana State University	(http://www.srcc.lsu.edu/OEP/tropical.html)
	· Hurricane Hunters Home Page	(http://www.hurricanehunters.com/)
	· National Weather Service Disaster Survey Reports	(http://www.nws.noaa.gov/om/omdis.htm)
	· Purdue University Hurricane and Tropical Data	(http://wxp.atms.purdue.edu/hurricane/index.html)
	· DWR California Water Page	(http://wwwdwr.water.ca.gov/)

분류	Site Name	URL
----	-----------	-----

지진 상위사이트

- Earthquake Engineering Research (<http://www.eerc.berkeley.edu/>)
- Center Hazards, USGS
- USGS Earthquake Engineering (<http://www.usgs.gov/themes/hazard.html>)
- National Center For Earthquake Engineering Research (NCEER) (<http://nceer.eng.buffalo.edu/othrsite.html#e>)
- Seismo-surfing the Internet (<http://www.geophys.washington.edu/seismosurfing.html>)
- Earthquake Seismology (http://www.usfa.fema.gov/cgi-shl/dbml.exe?Action=Query&Template=/GEMS/g_cats1.dbm&group1=101&groupName=Earthquake+Seismology)
- Natural Hazards Data Resources Directory (<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/resource/hazdir.html>)
- Information on Earthquake Insurance (<http://www.insure.com/home/quake.html>)
- Southern California Earthquake Center Data Center (<http://www.scecdc.scec.org/>)
- U.S.G.S. Weekly Seismicity Reports (<http://quake.wr.usgs.gov/QUAKES/WEEKREPS/weekly.html>)
- List of other recent Earthquakes (http://www.gps.caltech.edu/seismo/earthquake_recent.html)
- World Wide Quakes with Map (<http://civeng.carleton.ca/cgi-bin2/quakes>)
- Earthquake Engineering Research Laboratory (<http://www.eerl.caltech.edu/>)
- SSA Seismology Resources for Teachers (<http://geoweb.eas.purdue.edu/>)

하위사이트

- Internet Resources: Earthquake Engineering (<http://nceer.eng.buffalo.edu/othrsite.html#e>)
- NISEE MAIN MENU (<http://www.eerc.berkeley.edu/refer.html>)
- Seismo-surfing the Internet (<http://www.geophys.washington.edu/seismosurfing.html>)
- Earthquake Seismology (http://www.usfa.fema.gov/cgi-shl/dbml.exe?Action=Query&Template=/GEMS/g_cats1.dbm&group1=101&groupName=Earthquake+Seismology)
- Natural Hazards Data Resources Directory (<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/resource/hazdir.html>)
- Information on Earthquake Insurance (<http://www.insure.com/home/quake.html>)
- NGDC Significant Earthquake Database (<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/hazards.html>)
- Earthquake Strong Motion Database (<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/strong.html>)

분류	Site Name	URL	
지진	Southern California Earthquake Center Data Center	(http://scec.gps.caltech.edu/)	
	U.S.G.S. Weekly Seismicity Reports	(http://quake.wr.usgs.gov/QUAKES/WEEKREPS/weekly.html)	
	San Francisco Examiner Quake web links Current Seismicity Lists & ent.	(http://quake.wr.usgs.gov/QUAKES/CURRENT/currlinks.html)	
	Plots		
	Surfing the InterNet for Earthquake Data	(http://www.geophys.washington.edu/seismosurfing.html)	
	List of other recent Earthquakes	(http://www.gps.caltech.edu/seismo/earthquake.recent.html)	
	Most Recent Southern California Earthquakes with Map	(http://quake.wr.usgs.gov/cgi-bin/quake/scec.gps.caltech.edu/name=quake)	
	Most Recent Southern California Earthquakes with Map	(http://quake.wr.usgs.gov/cgi-bin/quake/scec.gps.caltech.edu/name=quake)	
	Alternative Site for World Wide Quakes	(http://quake.wr.usgs.gov/cgi-bin/quake/gldfs.cr.usgs.gov)	
	World Wide Quakes with Map	(http://civeng.carleton.ca/cgi-bin2/quakes)	
	Earth and Environmental Science	(http://www.usgs.gov/network/science/earth/earthquake.html)	
	Earthquake Engineering Research Laboratory	(http://www.eerl.caltech.edu/)	
	SSA Seismology Resources Teachers	(http://www.geo.purdue.edu/seismology_resources.html)	

분류	Site Name	URL	
위험 물질	Occupational Safety and Health Administration Emergency Response	(http://www.osha-slc.gov/SLTC/EmergencyResponse/index.html)	
	USEPA Region III CEPP Conference	(http://www.vtec2.com/cepp97.htm)	
	National Association of SARA Title III Program Officials	(http://www.geocities.com/capitolhill/6286)	
	New Jersey Household Hazardous Waste Coordinators	(http://www.njhawaste.com)	
	EPA Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office	(http://www.epa.gov/swercepp/pubs.html)	
	On-line		
	Agency for Toxic Substances and Disease Registry - USA	(http://atsdr1.atsdr.cdc.gov:8080/atsdrhome.html)	

분류	Site Name	URL
공공 기관, 기업 정보	<u>상위사이트</u>	
	· The Federal Agency World Wide Web Locator	(http://www.law.vill.edu/fed-agency/fedwebloc.html)
	· The Seismological Society of America - Resources for Teachers	(http://www.geo.purdue.edu/seismology_resources.html)
	· U.S. Army Corps of Engineers and The Federal Response System	(http://www.hq.usace.army.mil/cepa/pubs/brochure/one.htm)
	· U.S. Government Internet Resources	(http://ds.internic.net/ds/gov.html)
	· USGS GIS Info	(http://info.er.usgs.gov/research/gis/title.html)
	· The National Geophysical Data Center (NGDC)	(http://www.ngdc.noaa.gov)
	· Building and Fire Research Laboratory	(http://www.bfrl.nist.gov/)
	· National Institute of Standards and Technology	(http://www.nist.gov)
	<u>하위사이트</u>	
	· FEMA - Reference Library	(http://www.fema.gov/home/library/mitindex.htm)
	· Information Infrastructure Task Force	(http://iitf.doc.gov/)
	· California Seismic Safety Commission New	(http://www.seismic.ca.gov/)
	· Earthquake geodesy and hazard monitoring	(http://earth.agu.org/revgeophys/hudnut01/hudnut01.html)
	· LLNL Geologic & Atmospheric Hazards Projects	(http://www-ep.es.llnl.gov/www-ep/ghp.html)
	· PG&E - Earthquake Safety	(http://www.pge.com/customer_services/emergency/emergency.html)
	· USGS Fact Sheets (by hazards theme)	(http://h2o.usgs.gov/public/wid/index-hazards.html)
	· Natural Disasters: Economic and Life Losses	(http://marine.usgs.gov/fact-sheets/nat_disasters/)
	· Rapid-Estimation Method for Assessing Scour at Highway Bridges 96/	(http://water.usgs.gov/public/pubs/FS/FS-244-96/)
	Based on Limited Site Data	
	· Recent Highlights -- Hazards	(http://www.usgs.gov/themes/FS-248-96/)

분류	Site Name	URL
국가	<u>오세아니아</u>	
별	AUSTRALIA	
재난	· FireNet at Australian National University	(http://www.anu.edu.au/Forestry/fire/firenet.html)
정보	NEW ZEALAND	
	· New Zealand Earthquake Commission	(http://www.eqc.govt.nz/index.html)
	· Search and Rescue - New Zealand	(http://www.vuw.ac.nz/~szymanik/SAR.html)
	· New Zealand Earthquake Commission	(http://www.eqc.govt.nz/index.html)
	<u>아시아</u>	
	· Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University (Japan)	(http://rdp.dpri.kyoto-u.ac.jp/)
	· 동경대학 지진 연구소	(http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/index.html)
	· 동경대학방재연구소	(http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/default.j.html)
)
	<u>RUSSIA</u>	
	· EMERCOM	(http://www.emercom.gov.ru/)
	<u>CANADA</u>	
	· Emergency Preparedness Canada	(http://hoshi.cic.sfu.ca/epc/)
	· IERRIS Net -Canada	(http://hoshi.cic.sfu.ca/~ierris/index.html)
	· Civil Engineering at Carleton University	(http://civeng.carleton.ca/)
	· Natural Resources in Canada - Fire Weather Index Maps Overview	(http://www.nofc.forestry.ca/fire/cwfi/fwi/fwi_all_e.html)
	· Canadian Wildland Fire Information System	(http://www.vita.org/disaster/fire.html)
	· Canadian Forest Firefighting Resource Network	(http://www.denendeh.com/flycolor/wildfire)
	<u>유럽</u>	
	· Home Office (United Kingdom) Emergency Planning Division	(http://www.open.gov.uk)
	· FireNet Information Network	(http://www.ozemail.com.au/~srs/Fires_int.htm)
		(http://www.byggforsk.no/english.htm)
		(http://web.ens-cachan.fr/~rilem/index.html)
		(http://online.anu.edu.au/Forestry/fire/ecol/firecol.htm)
		(http://www.branz.org.nz/~fireres/fire.htm)
		(http://www.ct.tudelft.nl/wmg_land_water/index.html)
	· Country Fire Authority	(http://www.vicnet.net.au/vicnet/club/cfa/cfa.htm)
	· Department of Water Management	(http://www.ct.tudelft.nl/wmg/environ.htm#general)
	· Fire Research Station Home Page	(http://www.bre.co.uk/frs/index.html)

분류	Site Name	URL	
· European organisations	construction-related	(http://www.bre.co.uk/org/europe.html)	
	· BRE(Building Establishment BRE - environmental schemes	Research (http://www.bre.co.uk/bre/enviro.html)	
	· BRE - EnREI Research Programme	(http://www.bre.co.uk/bre/otherprg/enrei/default.htm)	
	· BREEAM - environmental assessment of buildings	(http://www.bre.co.uk/bre/breeam/default.html)	
	· DETR EEMD Best Practice Programme	(http://www.bre.co.uk/bre/otherprg/eebp/default.html)	
	· Australian Environment On-Line	(http://www.erin.gov.au/)	
	· ANU FSTY3002 Fire Science and Management	(http://online.anu.edu.au/Forestry/fire/firecourse.html)	
	<u>아메리카</u>		
	· Most Recent Northern California Earthquakes with Map	(http://quake.wr.usgs.gov/cgi-bin/quake/quake.geo.berkeley.edu/name=quake)	
	· ABAG Earthquake Maps and Information	(http://www.abag.ca.gov/bayarea/eqmaps/eqmaps.html)	
· International (Telecommunications) Disaster Recovery Association	(http://www.idra.com/)		
· Pan American Health Organization	(http://www.paho.org/english/disaster.htm)		
· International Association of Wildland Fire Bulletin	(http://www.vita.org/disaster/fire.html)		

분류	Site Name	URL
대학 및 대학 도서관	· 버팔로 대학	(http://nceer.eng.buffalo.edu/)
	· 버클리 대학	(http://quake.geo.berkeley.edu/)
	· Caltech	(http://www.gps.caltech.edu/seismo/seismo.page.html)
	· Alaska	(http://fm.gi.alaska.edu)
	· southern California	(http://scec.gps.caltech.edu)
	· central US	(http://slueas.slu.edu)
	· Utah	(http://eqinfo.seis.utah.edu)
	· Nevada	(http://seismo.unr.edu)
	· Washington and Oregon	(http://geophys.washington.edu)
	· EERL Home Page	(http://www.eerl.caltech.edu/library/library.html)
	· Seismo Lab Home Page	(http://www.gps.caltech.edu/seismo/seismo.page.html)
	· Seismo-surfing the Internet	(http://www.geophys.washington.edu/seimosurfing.html)
	· The Natural Hazards Center Information Human Adaptation to Disaste	(http://adder.colorado.edu/~hazctr/Home.html)
	· Dept. of Architecture, University of Tokyo	The (http://www.arch.t.u-tokyo.ac.jp/faculty.html#otani)

부록B 수집자료 목록

방재센터 구독 Journal 목록

1. *Structural Safety*, Elsevier, 영국
2. *Structural Engineering Review*
3. *Smart Materials and Structures*, Institute of Physics Publishing, Published in cooperation with SPIE
4. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Technomic Publishing
5. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE
6. *Civil Engineering*, ASCE
7. *International Journal of Fatigue*, Elsevier, 영국
8. *Engineering Fracture Mechanics*, Pergamon, 영국
9. *Magazine of Concrete Research*
10. *International Journal of Damage Mechanics*
11. *Reliability Engineering and System Safety*
12. *ASCE Journal of Structural Engineering*
13. *Engineering Structures*
14. *Construction and Building Materials*, 영국
15. *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE
16. *ACI Materials Journal*
17. *Materials and Structures*, RILEM, France
18. *American Concrete Institute Journal*
19. *Cement, Concrete, and Aggregate*, ASTM
20. 안전공학
21. *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE
22. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*
23. *Sensor Review*
23. 대한토목학회 논문집
24. 대한토목학회지

방재센터 보유 미디어 목록

1. Success with Machine Vision (Video Course), 247 page manual, 6 video tapes
2. Overview of Machine Vision (Video Course), 28 page manual, glossary on disk
3. The World of Machine Vision (Video Course), 55 minutes video course
4. Distributed Fiber Optic Sensors (Video Course), Order no.=FOV9507, SPIE

방재센터 보유 단행본 목록

1. AASHTO Maintenance Manual, AASHTO, 1987, Paperback, 268pp.
2. AASHTO Manual for Bridge Maintenance, AASHTO, 1987, Paperback, 196pp.
3. AASHTO LRFD Bridge Design - SI (Metric), AASHTO, 1987, Loose leaf with three ring binder, 1116 pp.
4. ANSI/AASHTO/AWS D1.5-95 Bridge Welding Code, AASHTO.
5. Foundation Investigation Manual, AASHTO, 1978, Photocopy, 196pp.
6. Guide Specifications for Fatigue Design of Steel Bridges, AASHTO, 1989. pp. 33
7. Guide Specifications for Fatigue Evaluation of Existing Steel Bridges, AASHTO, 1990, pp. 33.
8. Guide Specifications for Strength Evaluation of Existing Steel and Concrete Bridges, AASHTO, 1989, pp. 30.
9. Manual for Condition Evaluation of Bridges, AASHTO, 1994, Paperback, pp. 148.
10. Manual for Corrosion Protection of Concrete Components in Bridges, AASHTO.
11. Manual on Subsurface Investigations, AASHTO, 1988. Loose leaf with three ring binder.
12. ASNT, 1993, Volume 8: Visual and Optical Testing, ASNT, ISBN 0-931403-05-7.
13. Proceedings of the Ninth International Conference on Fracture, Pergamon, 1-5 April 1997, Sydney, Australia.
14. Structural Faults + Repair 87, 89, 93, 95, 97.
15. Advances in Safety and Reliability, Pergamon, 3-volume.
16. Infrastructure Condition Assessment : Art, Science Practice, ASCE Conference, August 25-27, 1997, Harbor Side Hyatt, Boston, Massachusetts.
17. ASNT Level III Study Guide : Basic, ASNT, Order#2251.
18. ASNT Level III Study Guide : Ultrasonic Methods, ASNT, Order# 2261.
19. Liquid Penetration Testing Method (Book D), ASNT, Order# 2029.
20. Ultrasonic Testing Method (Book C), ASNT, Order# 2028.
21. Fatigue and Fracture in Steel Bridges, A Willey Interscience Publication, 1984.
22. EUROCODE3 : Chap.9 Design of Steel Structure,, Commission of the European Communities, 1990.
23. Fracture and Fatigue Control in Structures - Applications of Fracture Mechanics, Prentice-Hall Inc., 1977.

방재센터 보유 단행본 목록

24. 도로교표준시방서, 건설교통부, 1996.
25. 강구조물의 피로설계지침, 일본 강구조학회, 1993.
26. Fatigue Cracking of Steel Bridge Structures Vol. I : A Survey of Localized Cracking in Steel Bridges - 1981 to 1988, FHWA-RD-89-166, 1990.
27. Fatigue Cracking of Steel Bridge Structures Vol. II : A Commentary and Guide for Design Evaluation and Investigation of Cracking, FHWA-RD-89-167, 1990.
28. AASHTO LRFD Bridge Specifications, AASHTO, 1994.
29. Acoustic Emission Methods for Flaw Detection in Steel in Highway Bridges, FHWA-RD-78-98, 1978.

방재센터 보유 해외 기술보고서 목록

1. Report on the 1995 Scanning Review of European Bridge Structures, TRB NR381, 1996
2. Data Interchange Standards for Bridge Management Systems and Integrated Highway Information Systems, TRB HRD186, 1992
3. Load Capacity Evaluation of Existing Bridges, TRB NR301, 1987
4. Correlation of Bridge Load Capacity Estimates with Test Data, TRB NR306, 1988
5. Instrumentation for Measuring Scour at Bridge Piers and Abutments, TRB HRD189, 1993
6. Characteristics of Bridge Management Systems, TRB C423, 1994
7. Bridge Management Systems, TRB NR300, 1987
8. Management and Maintenance of Bridge Structures, TRB R1490, 1995
9. Methods of Strengthening Existing Highway Bridges, TRB NR293, 1987
10. Effects of Traffic-Induced Vibrations on Bridge Deck Repairs, TRB SYH086, 1981
11. Load Distribution and Connection Design for Precast Stemmed Multibeam Bridge Superstructures, TRB NR287, 1987
12. Transverse Cracking in Newly Constructed Bridge Decks, TRB NR380, 1996
13. Underwater Inspection and Repair of Bridge Structures, TRB SYH088, 1981
14. Assessment of Deficiencies and Preservation of Bridge Substructures Below the Waterline, TRB NR251, 1982
15. Underwater Bridge Inspection Programs, TRB C330, 1988
16. Condition Surveys of Concrete Bridge Components - User's Manual, TRB NR312, 1988
17. Guidelines for Evaluation and Repair of Damaged Prestressed Concrete Bridge Members, TRB NR280, 1985
18. Condition Evaluation of Concrete Bridges Relative to Reinforcement Corrosion, Vols. 1-8, SHRP-S-331
19. Strength Evaluation of Existing Reinforced Concrete Bridges, TRB NR292, 1987
20. Cathodic Protection of Concrete Bridges : A Manual of Practice, SHRP-S-372
21. Galvanic Cathodic Protection for Reinforced Concrete Bridge Decks Field Evaluation, TRB NR234, 1981
22. Cathodic Protection of Concrete Bridge Substructures, TRB NR278, 1985
23. Thermal Effects in Concrete Bridge Superstructures, TRB NR276, 1985

24. Detection and Repair of Fatigue Damage in Welded Highway Bridges, TRB NR206, 1979
25. Guidelines for Evaluation and Repair of Damaged Steel Bridge Members, TRB NR271, 1984
26. Fatigue Evaluation Procedures for Steel Bridges, TRB NR299, 1987
27. Guidelines for Evaluating Corrosion Effects in Existing Steel Bridges, TRB NR333, 1990
28. Recommended Guidelines for Redundancy Design and Rating of Two-Girder Steel Bridges, TRB NR319, 1989
29. Acceptance Criteria for Steel Bridge Welds, TRB NR335, 1990
30. Notch Toughness Variability on Bridge Steel Plates, TRB NR355, 1994
31. Fatigue Behavior of Full-Scale Welded Bridge Attachments, TRB NR227, 1980
32. Steel Bridge Members Under Variable Amplitude Long-Life Fatigue Loading, TRB NR267, 1983
33. Fatigue and Fracture Evaluation for Rating Riveted Bridges, TRB NR302, 1987
34. Fatigue of Welded Steel Bridge Members Under Variable-Amplitude Loadings, TRB NR188, 1978
35. Welded Repair of Cracks in Steel Bridge Members, TRB NR321, 1989
36. Distortion-Induced Fatigue Cracking in Steel Bridges, TRB NR336, 1990
37. Fatigue Behavior of Welded and Mechanical Splices in Reinforcing Steel, TRB HRD197, 1994
38. Subcritical Crack Growth and Fracture of Bridge Steels, TRB NR181, 1977
39. Field Demonstrations of Advanced Data Acquisition Technology for Maintenance Management, TRB NR361, 1993
40. Innovations in Instrumentation and Data Acquisitions, TRB R1432, 1994
41. Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, TRB SYH089, 1982
42. Feasibility of a National Heavy-Vehicle Monitoring System, TRB NR303, 1988
43. Maintenance Management Systems, TRB SYH110, 1984
44. Maintenance Research Problem Statements, TRB C401, 1992
45. Maintenance Management, TRB CP005, 1995
46. Maintenance of Highway Infrastructure, TRB R1442, 1994
47. Maintenance Management and Safety, TRB R1509, 1995
48. Maintenance and Management of Highway Structures, TRB R1561, 1996
49. Maintenance Considerations in Highway Design, TRB NR349, 1992

방재센터 보유 해외 기술보고서 목록

50. Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, TRB NR350, 1993
51. Maintenance of Roadway Pavement and Structures, TRB R1392, 1993
52. Ultrasonic Nondestructive Testing for Deterioration of High-Strength Steel Components Embedded in Concrete, TRB HRD188, 1992
53. Ultrasonic Measurement of Weld Flaw Size, TRB NR242, 1981
54. Determining Deteriorated Areas in Portland Cement Concrete Pavements Using Radar and Video Imaging, TRB NR304, 1988
55. Video Image Processing for Evaluating Pavement Surface Distress, TRB HRD181, 1991
56. Evaluation of Fatigue Tests and Design Criteria on Welded Details, TRB NR286, 1986
57. Nondestructive Structural Evaluation of Pavements, TRB R1355, 1992
58. Nondestructive Deflection Testing and Backcalculation for Pavements, TRB R1377, 1992
59. Field Performance of Structures and Nondestructive Evaluation of Subsurface Infrastructure, TRB R1415, 1994
60. Instrumentation and Equipment for Testing Highway Materials, Products, and Performance, TRB SYH036, 1976
61. Detecting Defects and Deterioration in Highway Structures, TRB SYH118, 1985
62. Field Manual for Maturity and Pullout Testing on Highway Structures, SHRP-C-376
63. Proceedings of the 8th Equipment Management Workshop, TRB C367, 1991
64. How To Develop and Use Equipment Performance Specifications, TRB C381, 1991
65. Research Problem Statement : Design and Construction of Transportation Facilities, TRB C417, 1993
66. Resistance of Welded Details Under Variable Amplitude Long-Life Fatigue Loading, TRB NR354, 1993
67. Fatigue Strength of High-Yield Reinforcing Bars, TRB NR164, 1976
68. Evaluation of Procedures Used To Measure Cement and Water Content in Fresh Concrete, TRB NR284, 1986
69. Determination of Water : Cement Ratio in Fresh Concrete, TRB HRD174, 1990
70. Railroad Research Issues, TRB R1470, 1994
71. 1994 Northridge Earthquake, TRB C462, 1996
72. State Laws and Regulations on Truck Size and Weight, TRB NR198, 1979
73. Driver Visual Needs in Night Driving, TRB SR156, 1975

부록C 시설방재관련 연구과제 목록

출연연구

1. 대형 기계구조물의 응용 정밀측정, '79.1.1-'80.12.31, 김 철 구
2. 변형재료의 음향방출연구, '81.1.1-'83.12.31, 이 세 경
3. 초음파 탐촉자의 특성연구 ('83 산업체 정밀도 향상의 소과제), '83.5.28 - '84.1.27, 이 세 경
4. 초음파 탐촉자 교정방법 연구 ('84 산업체 정밀도 향상의 소과제), '83.5.28-'84.1.27, 이 세 경
5. 비파괴시험에 의한 재질평가와 수명예측 연구, '85.1.1-'85.12.31, 김 철 중
6. 표면파를 이용한 결함탐지 기술개발, '86.1.1-'86.12.31, 은 회 준
7. 와전류 탐상 표준확립 연구, '86.1.1-'87.12.31, 이 세 경
8. 다중센서 신호처리기술개발, '86.1.1-'87.12.31, 은 회 준
9. 전기화학적 부식 측정법확립 연구연구, '87.1.1-'88.12.31, 황 의 진
10. 응력부식 정량적 측정법 연구, '88.1.1-'88.12.31, 김 종 집
11. Coating의 내 erosion 특성측정 연구, '89.1.1-'90.12.31, 김 종 집
12. 고성능 세라믹 재료의 파괴특성 및 그 측정기술 연구, '90.1.1-'91.12.31, 조 성 재
13. 열적비파괴시험 표준확립, '91.1.1-'93.12.31, 권 오 양
14. 복합재료의 강도평가기술 및 내충격성 측정기반기술 개발, '92.1.1-'93.12.31, 이 해 무
15. 초음파에코중첩법과 공진법을 이용한 소재의 탄성계수 평가기술개발, '92.1.1-'93.12.31, 이승석
16. 고온균열 성장률 예측 일반모델 개발, '93.1.1-'94.12.31, 윤 기 봉
17. 이방성재료에서의 탄성과 전파과정해석 및 탄성파전파의 영상화연구, '94.1.1-'94.12.31, 김영환
18. 고온 연성파괴특성 측정기술개발, '94.1.1-'95.12.31, 이 해 무
19. 세라믹 역학특성 측정기술개발, '94.1.1-'94.12.31, 조 성 재
20. 고진동수 초음파를 이용한 결함평가기술 개발, '94.1.1-'95.12.31, 이 승 석
21. 이방성재료에서의 탄성파전파과정해석 및 탄성파전파의 영상화연구, '95.1.1-'95.12.31, 이승석
22. 세라믹재료의 동적피로특성 평가기술개발, '95.1.1-'96.12.31, 김 종 집
23. 극저온 구조재료의 역학적 특성연구, '96.1.1-'96.12.31, 이 해 무
24. 철강의 강도예측을 위한 비파괴평가 기술, '96.1.1-'96.12.31, 안 봉 영
25. 초음파를 이용한 세라믹의 비파괴 평가기술 개발, '96.1.1-'96.12.31, 이 승 석
26. 조용 세라믹의 성형구조 및 내구특성 평가연구, '96.1.1-'96.12.31, 김 종 집

특정연구

1. 초음파 탐상시험의 자동화 (정밀측정 자동화 기술개발의 소과제), '82-'87, 이 세 경
2. 충격시험 데이터처리의 자동화 (정밀측정자동화 기술개발의 소과제), '82.3. - '85.4, 김 종 집
3. 정밀진동분석에 의한 결합탐지기술 개발 (정밀측정 자동화 기술개발의 소과제), '82.3. - '85.4, 임 병 덕
4. 광섬유를 이용한 측정기술 개발 (정밀측정 자동화 기술개발의 소과제), '86.4-'87.5, 서 상 준
5. 역학적 파손방지기술 (국가표준정밀도 재고의 소과제), '84.8-'86.7, 문 한 규, 은 희 준
6. 와전류 탐상용 탐촉자 개발, '83.12.1-'86.4.6, 이 세 경
7. 콘크리트 구조물에 대한 초음파 탐상법 개발, '85.8.20-'88.10.30, 이 세 경
8. 파손방지 측정기술 개발, '86.4.15-'89.10.28, 은 희 준, 문 한 규
9. 장치산업 설비 안전성 시험.검사 기술 개발, '86.4.15-'89.10.28, 김 철 중, 이 주 진
10. 비파괴검사용 초음파탐촉자의 국산화 개발, '87.3.18-'89.6.12, 박 용 기
11. 부식 및 방식기술 개발을 위한 사전조사 연구, '87.10.2-'88.5.31, 김 종 집
12. 용접후 잔류응력 측정기술 개발, '88.6.17-'90.10.5, 이 승 석
13. 복합재료의 구조적 결합 측정 기술 개발, '88.6.30-'81.7.8, 이 세 경, 권 오 양
14. 동적시스템의 In-situ 측정기술 개발, '88.12.24-'89.10.23, 은 희 준, 권 오 양
15. 회전기계 진동의 비접촉측정 기술 및 축진동 해석 기술 개발, '88.12.24 - '89.10.23, 은 희 준, 김 동 혁
16. 동적시스템의 AE 측정기술 개발, '90.7.9-'92.6.7, 권 오 양, 김 영 환
17. 고온사용설비 파손방지 기술 개발, '89.5.30-'92.6.7, 이 주 진, 윤 기 봉
18. 음향방출 센서개발, '89.6.28-'92.6.7, 김 영 환
19. 센서평가기술 개발, '89.6.28-'90.6.7, 최 만 용
20. 과학로켓 구조 및 환경시험 연구, '90.7.16-'93.10.25, 주 진 원, 최 만 용
21. 재료강도특성 Data base 구축, '90.12.17-'93.10.11, 방 건 응
22. 내식재료의 고온부식 및 균열성장 평가 연구, '90.12.17-'93.10.11, 김 종 집
23. 세라믹 재료의 역학적 성질측정 평가기술 확립, '90.12.17-'93.10.11, 조 성 재
24. 비접촉식 초음파 탐상 방법 자동화 기술, '90.12.17-'92.12.23, 이 승 석
25. 초음파탐촉자 제작기술 개발, '92.8.1-'94.6.28, 김 병 극
26. 고온재료의 부식 및 크리프 균열성장 평가 연구, '92.12.17-'94.9.16, 김 종 집
27. 고온용 구조세라믹의 역학적 특성평가 기술확립, '92.12.17-'94.9.16, 조 성 재
28. 열기관용 세라믹 부품의 비파괴평가, 신뢰도해석에 의한 최적설계, '92.9.5-'95.7.31, 이 승 석
29. 정밀진동 측정센서 및 진동계 개발, '93.6.29-'95.4.30, 이 두 희
30. 재료인성 열화도의 준비파괴적 평가기술 개발, '94.11.29-'96.9.18, 남 승 훈
31. 강구조물의 정밀안전 진단기술개발, '95.12.26-'97.10.25, 이 승 석
32. 교량 상시안전감시 전문가시스템 개발, '95.12.26-'97.10.25, 최 만 용
33. 세라믹 터보차저 부품개발을 위한 비파괴평가 기술개발, '95.8.1-'97.7.31, 이 승 석
34. 대형 콘크리트 구조물 안전감시용 매립형 응력센서 개발, '95.7.12-'96.7.11, 임 순 재

수탁연구

1. 음향방출을 이용한 발전용 배관진단 기술 개발, '87.6.1-'89.5.31, 김 철 중
2. 초음파 비파괴 시험분석 전산화 개발, '87.6.26-'87.12.15, 이 세 경
3. 구조환경 시험연구, '88.7.1-'90.4.30, 이 주 진
4. 철강판상 복합재료의 동적 파괴 특성 연구, '88.7.21-'89.1.20, 김 종 집
5. ECT를 이용한 원자력발전소 Fin Tube 진단기술 개발, '89.3.27-'91.3.26, 이 세 경
6. 고온사용 설비의 비파괴 진단기술 개발, '90.2.12-'93.2.11, 문 한 규
7. 터빈 Blade root 부위의 결합 탐지기술 개발, '90.1.1-'92.8.31, 이 재 옥
8. 회전기 베어링 AE 진단기술 개발, '90.12.17-'93.12.16, 권 오 양
9. 초음파를 이용한 베어링의 마모감지용 센서개발에 관한 연구, '91.11.1-'92.10.31, 이 승 석
10. 노후취약 발전설비 정밀진단 및 수명평가 (영월 2호기), '93.6.30-'93.10.29, 윤 기 봉
11. 영월 1호기 진단 및 수명평가 연구, '93.9.10-'93.12.24, 윤 기 봉
12. 노후취약 발전설비 정밀진단 및 수명평가 (부산 1, 2, 군산 1), '94.1.17 - '94.12.1, 윤 기 봉
13. 회전기 베어링 AE 진단감시장치 제작 및 설치, '94.4.20-'95.1.19, 윤 동 진
14. 터빈케이싱의 수명예측 및 정비기술 개발, '94.7.19-'97.7.18, 이 해 무
15. 영남화력 #2호기 터빈설비 정밀진단 및 수명평가 용역, '94.7.1-'94.11.12, 윤 기 봉
16. 재료물성의 비파괴 평가법, '94.10.1-'95.9.30, 이 승 석
17. 장기사용 발전소 정밀진단 및 수명평가 (영동 #2), '95.2.13-'95.6.27, 이 해 무
18. 회전기베어링 AE 진단감시장치 제작 및 설치, '95.2.18-'95.12.17, 윤 동 진
19. 장기사용발전소 정밀진단 및 수명평가 (호남 #2), '95.2.21-'95.7.5, 이 해 무
20. 장기사용발전소 정밀진단 및 수명평가 (부산 #3,4), '95.2.28-'95.10.30, 이 해 무
21. PWB 3502 Boiler 설비 진단, '95.3.8-'95.10.10, 문 한 규
22. 장기사용발전소 정밀진단 및 수명평가 (여수 #1), '95.3.20-'95.7.18, 이 해 무
23. 장기사용발전소 정밀진단 및 수명평가 (영동 #2), '95.10.2-'96.1.30, 이 해 무
24. 울산화력 제 6호기 터빈분야 정밀 진단, '96.1.31-'96.5.29, 이 해 무
25. AE 기법을 도입한 구조물의 상시 계측기술 개발, '96.3.2-'96.10.31, 윤 동 진
27. 비파괴적 방법을 이용한 Scale 두께 측정방법 및 강도예측기술, '96.1.1-'96.12.31, 이 승 석
28. 춘천 H/P #2 Unit 정밀진단 및 수명평가 용역, '96.10.1-'97.1.28, 이 해 무
29. 금속/세라믹접합체의 비틀림 강도 및 크립 강도평가 연구, '96.8.1-'97.7.31, 조 성 재
30. 울산 제 5호기 정밀진단 및 수명평가, '96.10.4-'97.1.31, 이 해 무
31. 서울 제 4호기 정밀진단 및 수명평가, '96.10.10-'97.2.6, 이 해 무
32. 삼진강 H/P 2호기 수차발전기 정밀진단, '96.10.15-'97.2.11, 이 해 무
33. 울산화력 제 2호기 정밀진단 및 수명평가, '96.12.10-'97.4.8, 이 해 무
34. 강교량의 안전진단을 위한 비파괴검사법 적용기술의 개발, '96.12-'97.12, 윤 동 진

수탁연구

35. 춘천 H/P #1 Unit 정밀진단 및 평가, '97.2.22-'97.6.21, 이 해 무
36. 보령화력 제 2호기 정밀진단 및 수명평가, '97.4.14-'97.8.12, 이 해 무
37. 여수화력 제 2호기 정밀진단 및 수명평가, '97.4.21-'97.8.18, 이 해 무
38. 영동화력 제 1호기 터빈설비 정밀진단 및 수명평가, '97.4.28-'97.8.25, 이 해 무
39. 영남화력 제 1호기 정밀진단 및 수명평가, '97.6.17-'97.10.16, 이 해 무
40. 청평양수 1호기 정밀진단 및 수명평가, '97.8.23-'97.11.30, 이 해 무

1. 교량상시감시 시스템 설치운영(기관고유사업)
2. 안전진단장비 교정검사 운영체계 구축(기관고유사업)
3. 안전진단 관련 인력 교육훈련(기관고유사업)
4. 방재기술정보 사업(기관고유사업)
5. 기반기술 개발(기관고유사업, 자체수행)
 - 1) 현장 계측요소 기술 개발
 - 광섬유를 이용한 다채널 센서 및 신호처리기술 개발 (2/2)
 - 콘크리트 부식의 현장측정기술 연구 (2/2)
 - 시설물 계측시스템 체계화를 위한 전송망 시스템 개발 (1/2)
 - 구조물 저주파 진동해석기술 개발 (1/2)
 - 2) 구조물 계측기술 및 기기 개발
 - 콘크리트 수분 측정장치 개발 (2/2)
 - 시각 시스템을 이용한 구조물 표면결함 탐상연구 (1/2)
 - 마이크로파 영상화를 이용한 비파괴측정기술 개발 (1/2)
 - 3) 시험 및 평가기술 개발
 - 전기저항법을 이용한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발 (2/2)
 - 콘크리트 강도/결함 및 철근 탐지를 위한 비파괴시험법 개발 (2/2)
 - 극저온 구조재료의 역학적 특성 연구 (2/2)
 - 철강의 강도에측을 위한 비파괴평가기술 개발 (1/2)
6. 기반기술 개발 (기관고유사업, 위탁수행)
 - 광산안전감시 및 인명위치 탐지기술 타당성 연구
 - 휴대용 진동신호 (변위, 속도, 가속도) 분석기 개발
 - 금강철교 상시계측 데이터 해석 및 구조연구
 - 광강도 형태의 광섬유 센서를 이용한 강구조물의 균열 모니터링기술 개발
 - 콘크리트 구조물의 노화도평가를 위한 기포 분포상태 측정기술 개발
 - 강교량의 취약부 선정을 위한 해석 프로그램 개발
 - 강교량 부재의 균열진전과정 해석 프로그램 개발
 - 초음파 및 음향방출을 이용한 콘크리트 부재의 균열검출에 관한 연구
 - 강구조물의 용접결함에 대한 지능형 초음파 신호 분류기술 개발
 - TiAlN으로 세라믹코팅된 터빈로터강의 고온피로강도에 관한 연구
 - 파단면 프랙탈 해석에 의한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발
 - 계면균열선단에서의 구속상태에 관한 연구
 - Small Punch (SP) 시험에 의한 고온설비 부재의 경년손상 평가
 - 후방산란초음파를 이용한 재료의 열화·손상 평가
 - 황화물 환경에서의 오스테나이트 스테인레스강의 용접부 응력부식

균열에 관한 연구

· 동특성 추정에 의한 기설구조물의 내진능력 평가기술 개발

7. 강구조물의 정밀안전진단(특정연구)
8. 국가기반시설물(교량) 상시안전감시 시스템 개발(특정연구)
9. 발전설비 정밀진단 및 수명평가사업(수탁연구)
10. 통합방재기술정보시스템 개발(자원연구소 공동연구, 특정연구)

부록 D 안전진단 전문기관 일람표

안전진단전문기관 일람표('98.1)

지정번호	상호	전화번호	대표자	신청분야	수행현황	소재지
1	(재)한국건설시험연구소	(0551)64-6200	이상문	교량및터널	건축	경상남도 창원시 명서2동 202-2
2	(주)대우	(0331)250-1121	이일쇄	교량및터널, 항만	수리,건축	서울시 중구 남대문로5가 541
3	효림구조안전기술연구소	(02)566-6012	김성배		건축	서울시 강남구 삼성동 144-23 연당빌딩 7층
4	(주)센구조연구소	(02)782-4896	이창남		건축	서울시 영등포구 여의도동 45-14 동북빌딩 908호
5	(재)한국건설구조안전연구원	(02)554-4482	김철순	건축	지정취소('97.10)	서울시 강남구 대치동 913-11 대림빌딩 2층
6	(주)서울구조안전기술사무소	(02)420-4143	이수철	건축	경고처분-진단미흡('97.10)	서울시 송파구 석촌동 2-5 은주빌딩 3층
7	(주)한국시설안전연구원	(0343)25-0182	신광식	교량및터널	건축	경기도 의왕시 포일동 441-2
8	(주)아워브레인	(02)579-1617	김정호	교량및터널	건축	서울시 서초구 양재동 81-2
9	동아건설산업(주)	(02)3709-2114	유성용, 최원석, 유영철	교량및터널, 항만	수리,건축	서울시 중구 서소문동 120-23
10	(주)동우기술단	(0582)536-0490	장석진	교량및터널		경상북도 상주시 남성동 158-4
11	(주)동양구조안전기술	(02)549-3744	박영호		건축	서울시 강남구 논현동 208-2 오창빌딩 301호
12	(주)대원엔지니어링	(0391)653-0632	최동창	교량및터널		강원도 강릉시 포남2동 38동4반 1231
13	쌍용양회공업(주)					지정반납말소(97.07.01)
14	농어촌진흥공사	(0343)20-3254	조홍래	교량및터널, 항만	수리,건축	경기도 의왕시 포일동 487
15	(주)동양구조	(02)549-4566	김효진		건축	서울시 강남구 논현동 208-2 오창빌딩
16	(주)정일구조건설컨설팅	(02)3443-7142	이문곤 외2인		건축	서울시 서초구 잠원동 41-10 해동빌딩 5층
17	(재)한국건설안전기술원	(02)571-1851	김경진	교량및터널	건축	서울시 서초구 양재동 204 한일빌딩
18	대림산업(주)	(02)3773-9132	이정국	교량및터널	건축	서울시 영등포구 여의도동 23-9
19	(주)플러스건축엔지니어링건축사무소	(02)414-2144	김결만		건축	서울시 송파구 방이동 65 태원빌딩 12층
20	(주)쓰리디구조	(02)539-3339	김석구		건축	서울시 강남구 역삼동 642-6

안전진단전문기관 일람표('98.1)

지정 번호	상호	전화번호	대표자	신청분야	수행현황	소재지
21	(사)한국건설안전기술협회	(02)512-0808	이상열	교량및터널,항만	수리,건축	서울시 강남구 삼성동 58-1
22	(주)포스에이씨	(02)3457-3800	심인보	교량및터널,건축		서울시 강남구 대치4동 892
23	한진건설(주)	(02)450-8760	안용	교량및터널	건축	서울시 광진구 구의동 546-1
24	대한주택공사	(0342)738-4872	김동규	교량및터널	건축	경기도 성남시 분당구 구미동 175
25	포스코개발(주)	(02)3457-2818	고학봉	교량및터널,항만	수리,건축	경상북도 포항시 남구 괴동동 568-1
26	에스지엔지니어링(주)	(02)404-2135	유진갑		건축	서울시 송파구 문정동 77-2
27	(재)한국건설품질관리연구원	(02)501-5561	김교문	교량및터널,항만	수리,건축	서울시 강남구 삼성동 143-6
28	(사)대한산업안전협회	(032)667-4191	강진구	교량및터널,항만	수리,건축	경기도 부천시 소사구 송내동 402-7
29	(주)은진건설엔지니어링	(02)529-0964	남순성	교량및터널		서울시 서초구 양재동 2-44
30	(주)제이엘건설연구소	(02)549-0323	이재형	1교량및터널		서울시 강남구 삼성동 27-19,20
31	금호건설주식회사	(02)3281-4494	이서형	건축		서울시 구로구 구로5동 49 금호하우스텔2층
32	(주)신화엔지니어링종합건축사사무소	(042)632-3224	김인수		건축	대전시 동구 용전동 143-21
33	(재)한국재난연구원	(02)547-3091	박윤제	교량및터널,수리	건축	서울시 강남구 논현동 7-3 요진빌딩 605
34	(주)대우엔지니어링	(02)589-3333	남정현	교량및터널,수리	건축	경기도 성남시 분당구 수내동 9-3
35	(재)건설재해예방연구원	(02)564-3700	김준홍	교량및터널	건축	서울시 강남구 삼성동 144-22
36	(주)한석엔지니어링건축사사무소	(0371)730-8810	차동석,오형윤	교량및터널		강원도 원주시 명륜동 115-4
37	(주)천혜엔지니어링	(0331)281-3451	손형열	교량및터널		경기도 용인시 구성면 상하리 326-1
38	동아엔지니어링(주)	(02)508-0851	최재영	교량및터널		서울시 강남구 대치동 890-38
39	(주)한림구조컨설팅	(02)594-1635	정성교		건축	서울시 서초구 서초동 1688-3
40	(주)신우엔지니어링	(02)586-2211	염병호		수리	서울시 서초구 양재동 210-2 합동빌딩

안전진단전문기관 일람표('98.1)

지정 번호	상호	전화번호	대표자	신청분야	수행현황	소재지
41	(주)대한구조안전진단	(02)3461-2649	윤봉한		건축	서울시 강남구 포이동 230-1 윤한빌딩4층
42	(주)한국건설안전	(02)454-4500	안상구		건축	서울시 광진구 구의동 243-19
43	(주)도화종합기술공사	(02)541-2201	오세향	교량및터널, 항만	수리	서울시 강남구 신사동 640-6
44	(주)단·구조안전기술단	(02)564-2165	노영균		건축	서울시 강남구 역삼동 779-7 신한빌딩 202호
45	(주)태영건축구조방재연구소건축사	(032)421-1115	한익선		건축	인천시 남동구 구월동 1111-10 태영빌딩
46	(주)엘지이엔씨	(02)3470-7540	이용진		수리	서울시 서초구 방배3동 1006-2 방배빌딩
47	도시건설안전기술단(주)	(02)575-4680	최재인		건축	서울시 서초구 양재동 287-4 동주빌딩 4층
48	(주)대한안전진단연구원	(062)673-8414	조성찬		건축	광주시 남구 방림1동 119-16
49	(주)한국진단기술원	(02)501-0576	정기철		건축	서울시 강남구 역삼동 652-3 혜전빌딩303호
50	(주)전화엔지니어링	(0343)24-8112	황광웅	교량및터널		경기도 안양시 동안구 관양동 1474-21
51	코오롱건설(주)	(02)510-9300	공용조	교량및터널	건축	서울시 강남구 청담동 53-8
52	(주)성진구조안전기술원	(02)581-6881	김성수, 임민수		건축	서울시 서초구 서초동 1355-3
53	(주)우림엔지니어링건축사사무소		박양근	건축	휴업(96.1.0.12~98.1.0.11)	서울시 동작구 대방동 229-1
54	(주)다듬건축사사무소	(042)527-8131	남병대		건축	대전시 서구 갈마동 397-9
55	(주)합건설방재기술단	(032)468-0897	권영대		건축	인천시 남동구 만수동 39 만수프라자빌딩306호
56	(주)한장엔지니어링	(02)3452-7671	한혁상		건축	서울시 강남구 역삼동 779-4 백랑빌딩 304호
57	미승씨엔에스검사(주)	(051)291-2055	김무룡	교량및터널	건축	부산시 사하구 괴정동 4동 577-12
58	현대엔지니어링(주)	(02)410-8053	심옥진	교량및터널	건축	서울시 송파구 방이동 45
59	(주)건축사사무소동우건축	(053)751-7800	홍호용		건축	대구시 동구 신천3동 111 영남빌딩10층
60	(주)동이	(02)929-3417	심재금, 장병희		건축	경기도 파주시 아동동 340-2

안전진단전문기관 일람표('98.1)

지정 번호	상호	전화번호	대표자	신청분야	수행현황	소재지
61	(주)코리아세이프티 컨설턴트	(051)583-3365	하찬식		건축	부산시 금정구 구서동 177-25
62	(주)대신엔지니어링 건축사사무소	(062)363-6896	박근식		건축	광주시 서구 화정동 70-12 운광 빌딩5층
63	(주)제일엔지니어링	(02)577-4895	강행언	교량및터널	수리	서울시 서초구 양재동 319-6
64	삼환기술개발(주)	(02)740-2623	김택훈	교량및터널		서울시 종로구 윤니동 98-20
65	(주)창조종합건축사 사무소	(02)632-0811	조재원		건축	서울시 영등포구 당산동6가 331-1 다옥빌딩
66	(주)한국구조안전기 술원	(062)232-9686	이강일, 최석		건축	광주시 동구 금남로3가 1-23
67	현대건설주식회사	(02)746-4873	이내훈	교량및터널, 항만	수리,건축	서울시 종로구 계동 140-2
68	(주)한국구조안전기 술원	(02)573-1760	윤성진		건축	서울시 송파구 가락동 8번지 신 영증권빌딩 3층
69	(사)한국도로교통협 회	(02)552-5878	박정태	교량및터널		서울시 강남구 대치동 1009-5 구상빌딩
70	(주)에스엔에스구조 안전기술사사무소	(02)561-1466	김준홍		건축	서울시 강남구 역삼2동 718-34
71	현대산업개발(주)	(02)519-9381	유인균		건축	서울시 서초구 잠원동 27-8
72	한국도로공사	(0342)230-487 1	박정태	교량및터널		경기도 성남시 수정구 금토동 293-1
73	화성산업(주)	(053)251-3727	이홍중		건축	대구시 중구 덕산동 53-3
74	(주)평화엔지니어링 종합건축사사무소	(0351)562-210 1	권재원	교량및터널		경기도 의정부 의정부2동 485-6
75	롯데건설(주)	(02)3480-9114	이상순	교량및터널	건축	서울시 서초구 잠원동 50-2
76	(주)회진건축구조안 전컨설턴트	(02)486-7475	전영목		건축	서울시 강남구 성내동 539-3 삼 육빌딩302호
77	한국안전진단기술연 구소	(02)565-3454	이경언		건축	서울시 강남구 역삼동 628-6 서 울빌딩401호
78	(주)건축사무소 신동 건축	(053)638-0011	신동출		건축	대구시 달서구 상인동 1527-2
79	(주)대한구조진단공 사	(0652)231-827 2	임홍준		건축	전라북도 전주시 중노송동2가 497-6동원빌딩2층
80	(주)인프라구조안전 연구소	(02)921-8447	지기환	교량및터널		서울시 성북구 동선동4가 195

안전진단전문기관 일람표('98.1)

지정 번호	상호	전화번호	대표자	신청분야	수행현황	소재지
81	(주)인터세크					지정반납말소(97.11.17)
82	(주)서강안전기술단					지정반납말소(97.04.29)
83	필안전진단(주)	(02)3271-7500	노환길	교량및터널	건축	서울시 중구 필동2가 20-1 필빌딩
84	(주)부산안전진단건축사무소	(051)626-7901	박영창		건축	부산시 수영구 남천2동 6-31
85	(주)한국건설안전시스템	(02)3476-0456	이해학		건축	서울시 서초구 반포동 96-6
86	성도안전진단기술주식회사	(0391)41-6785	윤인희		건축	강원도 강릉시 포남동 898-21 한성빌딩3층
87	(주)대영건설안전진단연구소	(051)331-2900	안영호		건축	부산시 북구 구포2동 963-7
88	(주)경우안전기술단	(02)715-5644	권태식		건축	서울시 용산구 원효로1가 51-14 동신빌딩3층
89	(주)전우엔지니어링구조기술사사무소	(02)564-7684	윤호기, 강우남		건축	서울시 강남구 삼성동 156 미진빌딩2층
90	(주)전원건설	(053)426-6111	이원환		건축	대구시 중구 대봉2동 722-2
91	제일구조진단(주)	(051)554-9884	김연호		건축	부산시 동래구 수안동 659-3 보리수빌딩 202호
92	주식회사부산구조안전연구소	(051)462-0555	김영태		건축	부산시 동구 초량3동 1194-9 강남빌딩2층
93	(주)대운구조연구소	(0343)73-6333	김연수	교량및터널		경기도 안양시 만안구 안양동 528-13 호정타워903
94	주식회사건양구조	(02)3452-7391	강운걸		건축	서울시 강남구 삼성동 151-2 백신빌딩3층
95	건축사무소창조건축(주)	(0652)220-3311	박주성, 전옥영		건축	전라북도 전주시 완산구 중화산동2가 649-2
96	삼성물산주식회사	(02)527-1983	김현출 외5인	교량및터널, 항만	수리, 건축	서울시 중구 태평로2가 250
97	두진종합건설(주)	(02)523-9600	김창곤	교량및터널		서울시 서초구 서초3동 1465-10
98	재단법인동양경제연구원	(051)293-8334	김정수	교량및터널	건축	부산시 사하구 하단동 494-9
99	(주)신기술진단연구원	(02)514-8115	양문석		건축	서울시 강남구 신사동 609 아이소니프라자702
100	신세기건축구조안전진단(주)	(02)587-7496	장동찬		건축	서울시 서초구 서초1동 1657-10 행림빌딩3층

안전진단전문기관 일람표('98.1)

지정 번호	상호	전화번호	대표자	신청분야	수행현황	소재지
101	(주)대경기술단	(0431)56-6172	경용호	교량및터널		충청북도 청주시 상당구 북문로 2가 65-2
102	(주)정산엔지니어링	(051)816-8651	백정수	교량및터널	건축	부산시 진구 부전동 168-451
103	(주)금호엔지니어링	(0343)80-8000	오동권	교량및터널	항만,수리	경기도 안양시 동안구 관양동 1588-8
104	(주)한국콘크리트비파괴검사	(02)589-1021	권상수	교량및터널		서울시 서초구 양재동 275-1 삼호물산빌딩 A- 1901
105	제일구조안전기술(주)	(02)3461-5566	최영호		건축	서울시 강남구 포이동 259-4 서진빌딩201호
106	(주)도화구조기술사사무소	(02)539-0305	이재훈		건축	서울시 강남구 역삼동 677-31 케이디스빌딩3층
107	(유)대오	(0652)224-7712	국중훈, 국문근		건축	전라북도 전주시 완산구 중화산동2가 589-2
108	(주)대경건설안전연구원	(053)744-3083	김경찬	교량및터널		경상북도 구미시 장전면 상림리 1168
109	백산구조진단(주)	(0551)63-0575	이정호	교량및터널		경상남도 창원시 중앙동 98-4 성원 O/T 831호
110	(주)하우엔지니어링건축사사무소	(051)508-3403	손병찬	교량및터널	건축	부산시 금정구 청룡동 44-24
111	선경건설주식회사	(02)3700-9077	정순착	교량및터널	건축	서울시 종로구 관훈동 192-18
112	(주)다원구조안전기술사무소	(02)538-6938	윤성수		건축	서울시 강남구 역삼동 723-2 아세아빌딩
113	(주)한맥안전진단	(02)582-1238	장호현		건축	서울시 동작구 사당동 1007-50
114	(주)서린건축사사무소	(0562)46-6784	이형우		건축	경상북도 포항시 북구 신흥동 702-6
115	농지개량조합연합회	(0331)46-9418	유근학	교량및터널	수리	경기도 수원시 장안구 파장동 562
116	(주)대농건설구조안전연구원	(0551)63-1550	강주철		건축	경상남도 창원시 용호동 27-7 원빌딩 301
117	(주)현대안전진단공사	(051)555-6226	백성열	교량및터널	건축	부산시 중구 중앙동 4가 36-3
118	(주)한울구조안전진단기술단	(02)254-0393	원영술, 김대호		건축	서울시 중구 신당4동 333-239
119	동부건설주식회사	(042)866-8140	백호익	교량및터널	건축	서울시 중구 초동 21-9
120	(주)진흥구조안전기술사사무소	(02)543-5986	김두호		건축	서울시 강남구 신사동 544-28

안전진단전문기관 일람표('98.1)

지정 번호	상호	전화번호	대표자	신청분야	수행현황	소재지
121	(주)동부시설안전연구원	(0371)732-7278	박중집	교량및터널		강원도 원주시 우산동 226-11
122	(주)한국구조물진단연구원	(02)595-7115	윤재진		건축	서울시 서초구 반포4동 49-11
123	(주)에스원구조안전기술단	(02)572-7793	박병우		건축	서울시 강남구 도곡동 411-16
124	쌍용엔지니어링주식회사	(02)545-6311	최 탄	교량및터널	항만,건축	서울시 강남구 삼성동 87
125	공영토건(주)	(02)771-5500	박성대		건축	서울시 강서구 염창동 282-19
126	(주)협산엔지니어링	(02)545-6672	이재기, 구영상		건축	서울시 서초구 잠원동 26-15
127	(주)머릿돌건축사사무소	(02)577-2646	이병길		건축	서울시 강남구 도곡2동 413-4 동운빌딩3층
128	경남구조기술연구소					지정반납말소(97.12.15)
129	(주)그림·원	(02)3487-2669	박상녕		건축	서울시 서초구 서초동 1337-3
130	(주)신동아안전진단기술원	(051)465-6886	박주판		건축	부산시 동구 초량3동 1156-7
131	한국산업기술연구소	(0551)93-9253	서홍삼		건축	경상남도 창원시 팔용동 차롱 공단2B30-5L
132	(주)고려구조ENG	(02)3452-3228	강오신	교량및터널	건축	서울시 강남구 역삼동 747-16 한미빌딩 3층
133	(주)한라안전진단공사					지정반납말소(98.01.06)
134	(주)한국종합건축사사무소	(02)549-2101	전상백, 이필택		건축	서울시 서초구 잠원동 28-1
135	(주)대용시설안전	(051)557-0394	이관수		건축	부산시 동래구 명륜1동 515-3 6/1 302호
136	해태제과(주)건설사업본부	(02)709-7798	박인배		건축	서울시 용산구 남영동 131-1
137	(주)세화종합건축사사무소	(053)424-0234	황용주, 김종보		건축	대구시 중구 동인1가 235-14
138	(주)하이콘엔지니어링	(02)3402-2766	이수근	교량및터널		서울시 송파구 오금동 128-1
139	(주)미래안전건설기술원	(02)419-5522	문정록		건축	서울시 송파구 송파1동 85 창 요빌딩 201
140	쌍용건설(주)	(02)513-7114	장동립	교량및터널	수리,건축	서울시 강남구 삼성동 87 한국 중공업빌딩

안전진단전문기관 일람표('98.1)

지정 번호	상호	전화번호	대표자	신청분야	수행현황	소재지
141	한양안전기술단(주)	(02)564-2800	홍창호		건축	서울시 강남구 역삼동 696-43 비전빌딩5층
142	(주)거성건설안전기술단	(02)573-0885	최병현	교량및터널		서울시 강남구 도곡동 862-5
143	(주)한국구조기술사사무소	(02)3443-2565	박정민		건축	서울시 서초구 잠원동 42-2 송 천빌딩 6층
144	(주)세진구조안전기술사사무소	(02)563-6211	김병균		건축	서울시 강남구 역삼동 637-20 우영빌딩 3층
145	비엔티엔지니어링(주)	(0343)22-8012	이상민	교량및터널		경기도 안양시 동안구 관양2동 1490-49
146	바른구조엔지니어링(주)	(02)567-0808	전영복, 이필호		건축	서울시 강남구 역삼동 746-1
147	(주)케이에스알	(02)523-6834	김두일	교량및터널		서울시 서초구 서초동 1670-1
148	한국철도기술연구원	(0343)61-8531	안우희	교량및터널		경기도 의왕시 월암동 374-1
149	세이프뱅크(주)	(0348)944-927 7	전재명	교량및터널		경기도 파주시 아동동 334-7
150	(주)인우구조엔지니어링	(02)571-2855	박광식		건축	서울시 강남구 도곡동 939-2 종호빌딩 201
151	삼성구조안전진단(주)	(02)566-7273	남정국, 정봉학		건축	서울시 강남구 역삼동 734-23 당곡빌딩
152	보강기술(주)	02)555-4482	경연옥	교량및터널		서울시 강남구 대치동 913-11 대립빌딩
153	(주)동양구조안전기술사사무소	(053)421-8997	박재동		건축	대구시 중구 삼덕2가 226-1
154	(주)건우구조안전연구원	(053)745-4234	권중배		건축	대구시 수성구 범어동 480-5

제 5 장 검사기준 표준화

제 1 절 서 론

1. 연구의 필요성

중화학 및 정유산업 (petrochemical and refinery industry)은 1960년대 우리나라의 초기 경제개발 당시 핵심산업 중의 하나이었으며, 최근 국내의 유류소비 상승과 석유화학분야 고부가가치 생산기술의 확보 등으로 설비의 중요성이 증대되고 있다. 이와 같은 이유로 관련업계에서는 중단 없는 설비 운전이 요구되는 경우가 많아지고 있으며, 현재 많은 경우에 과부하 상태에서 운전되고 있다. 그러나, 국내의 관련 설비들은 거의 70년대에 제작되어 설비 노후화가 상당히 진행되어 있으며, 따라서 연속가동에 의한 설비의 대형 파손사고의 위험성도 높아지고 있다. 화학 플랜트의 파손 사고는 인명, 고가설비 손실, 생산중단 등에 의한 많은 경제적 손실도 동반하며, 또한 심각한 환경오염을 유발할 수 있다. 따라서, 쌍용정유, 현대정유, 삼성종합화학 등 대부분의 관련 국내 대기업에서 설비의 증설 및 교체 등을 추진중이거나 계획하고 있다. 그러나, 앞으로도 기존 설비는 계속 운전될 것이므로, 이러한 노후 설비에 대한 검사, 정밀진단, 수명평가 등의 필요성이 중요하게 제기되고 있다.

중화학 공정설비는 특징적으로 한 단위 공정요소의 검사/보수를 위해서는 전 공정을 중단해야 하므로, 조그만 검사를 위해서도 공정중단 때문에 제품 생산에 많은 차질이 발생하게 된다. 따라서 관련 화학제품의 시장수요가 증

가할수록 생산자의 검사/보수 등에 대한 관심이 적어지게 된다. 따라서 강제적인 검사규정이 없으면 중화학 설비의 사고횟수는 증가될 수밖에 없는 것이 현실이다. 이는 국내의 추세와도 일치한다. 국내에서는 1994년 고압가스 안전관리법이 제정되어 시행되기 시작하였으며, 이에 따라 석유화학/정유 플랜트의 압력용기류도 사용기간이 10년 이상인 경우 의무적으로 검사대상에 포함되었다. 즉, 국내의 중화학 플랜트 설비의 안전관리체계는 자율적인 안전관리를 표방하고 있으나, 기본적으로는 관주도형의 규제체제를 유지하고 있었다. 이와 같이 검사에 대한 의무는 최근 정부에 의해 부과되었으나, 검사 절차 등에 대해서는 검사기준이 없어, 의무부과에 반해 관련 정부기관의 검사기술 지원체계에 미흡한 점이 있었다.

이상과 같은 이유로 검사 기술기준 제정의 필요성이 대두되었으며, 업계의 설비 검사의 지침이 되는 기술기준의 제정·보급이 필요하게 되었다. 중화학 분야의 사고와 관련한 주요 기계요소에 대해 정부는 기술기준을 제정하여 산업계에서 적용하도록 법적·제도적 보완을 추진해야 하며, 국내 업계는 스스로 필요한 기술기준을 선택/적용하여 자율적으로 검사를 실시함으로써 설비의 안전성을 확보하고, 사고 등에 의한 민원 등을 방지하여야 한다. 그러나, 현재 국내에서 참고하는 기술기준은 모두 국외 기준이므로, 국내 실정과 맞지 않고, 또한 이를 국내 법령에 포함할 수도 없으므로 국내의 검사기준을 제정·보급하여야 한다. 그러나, 관련 설비의 대형화, 복잡·다양화에 따라, 기존 자율검사 또는 법적 검사에 사용할 수 있는 기술적으로 타당한 전문기술기준이 필요한데, 각 업체마다 이런 기술 기준을 개발할 수는 없는 것이다. 이러한 기술은 법적인 면만을 고려하여서는 기준제정이 불가능하므로, 관련 법령에 대한 지식 외에도 설비의 파손방지기술, 검사기술 및 수명평가 기술 등을 갖고 있는 기술적 전문기관에서, 국외의 기준 및

국내 파손사례, 업계의 필요성을 전부 고려하여 초안을 제정하고, 이를 관련 산업계의 검토를 거쳐 확정된 후, 기술기준화 하여 업계에 보급하여야 한다.

따라서 기술기준의 제정은 궁극적으로 국내 파손사고의 감소에 의한 복지 사회의 구현, 경제적 손실 방지에 의한 국가이익 증대, 환경파괴 사고의 방지 등에 의한 삶의 환경 개선에 기여하고, 궁극적으로 각 업계에도 이익이 될 것이다.

2. 기술 현황

가. 기술기준 개발 관련

국내의 관련분야 기술기준 개발 동향을 살펴보면 다음과 같다. 반응기를 포함한 압력용기 전반 및 전력산업에 사용되는 압력용기의 기술기준 개발은 한국전력의 지원으로 대한전기협회의 주관으로 이루어지고 있다. 발전설비 제작산업의 기술자립화 및 안전규제, 국제 경쟁력 확보 등의 목적으로 전력 산업 기술기준, KEPIC (Korea Electric Power Industry Code)이 2000년 완성을 목표로 3단계 기술기준 개발 사업을 진행중에 있다. 또한 한국산업안전공단에서는 최근 산업안전기준, KISCO(Korea Industry Safety Code)를 제정 보급하고 있다. KEPIC은 플랜트 설비 제작기준이 주를 이루고 있으며, KISCO는 안전작업을 위한 제반 사항이 주를 이루고 있다. 따라서, API Code등과 같은 검사 기술기준과는 차이가 있다.

나. 석유화학 반응기의 검사기술 관련

오랜 기간 사용하여 노후된 반응기(reactor)의 정기적인 검사 또는 안전성/수명평가를 위한 검사 등을 실시할 때에 일반적으로 수행하는 절차는 다음과 같다. 즉, 일반 비파괴 검사 (conventional NDT)에 의해 균열 등의 거시

결함 존재여부를 확인하고, 거시결함이 발견되지 않은 경우에는 금속학적 검사 등을 적용하여 일반 비파괴 검사법으로 검출되지 않는 미시결함 또는 결함 전단계의 초기손상 등을 검출한다. 국내에서는 일반적으로 결함이 검출되면 결함을 검사기간 중에 제거하고 보수용접을 실시하지만, 석유화학 업계에서는 장기적인 가동중단 등이 어려울 때에 경우에 따라서는 결함이 있는 상태로 설비를 사용하기도 한다. 1995년에 국내 산업계의 법정 검사를 책임지고 있는 한국가스안전공사 등에서는 반응기 검사 시에 미시결함 또는 결함 발생 전단계의 초기손상을 검출하여 향후 결함발생 시까지의 수명을 예측하거나, 차기 검사주기를 결정하는데 필요한 절차를 연구하였다. 여기에서는 표면복제법을 사용한 정량적 손상평가 절차, 반응기 진단시의 주요 검사부의 결정에 관한 사항 등이 연구되었다. 1996년의 또 다른 연구에서는 반응기에서 거시 결함이 발견된 경우의 안전성 평가에 대해 연구되었다. 즉, 결함이 존재하는 경우에 사용안전성을 평가하는 방법을 연구하였다. 반응기 결함의 안전성 평가에는 재료의 파괴인성값의 측정 또는 예측이 필수적인데, 파괴인성 값은 반응기 사용 중에 템퍼취화 등으로 인해 크게 감소하므로, 원재의 파괴인성값의 감소에 대한 정확한 평가 절차가 필요하며 이에 대해 연구하였다. 이 두 과제의 연구 결과 반응기 일반 비파괴 검사 결과 결함이 검출된 경우 안전성을 평가할 수 있고, 결함이 검출되지 않은 경우에는 금속학적 검사결과를 정량적으로 평가하여 잔여수명을 평가함으로써 향후 검사 계획을 수립할 수 있게 되었다.

일본내의 기술개발 동향을 보면, 현재 일본에서 석유화학관련 각 플랜트는 조업의 고도화, 고가동율화를 달성하기 위하여 장기연속운전에 대응하는 안전성 확보와 적절한 유지보수시스템의 구축을 위한 연구가 행해지고 있다. 석유화학관련 플랜트의 상당수는 1960년대부터 1970년대의 고도성장기

에 걸쳐서 집중적으로 제작되었기 때문에, 10만 시간 이상 장시간에 걸쳐 운전되어오고 있는 플랜트를 다수 보유하고 있는 상황이다. 오래 전에 제작된 이들 기기에 대하여는 당시의 제조기술을 고려하면 장시간운전으로 인해 상당한 결함이나 손상의 발생이 예상되어지고, 이들의 신속한 판단·조치를 위한 열화예측과 수명평가를 포함한 설비 검사에 관한 연구가 진행되어 오고 있다. 또한, 최근에는 압력용기 제작 단계에서부터 손상요인이 적고, 검사가 용이하고, 또한 운전상태의 정확한 모니터링이 가능한 구조를 설계에 응용하고 있다. 일본의 경우는, 비교적 장기간에 걸쳐 압력용기의 설계, 재료, 제작, 시험검사, 유지보수기술에 관해 비교적 많은 노하우를 보유하고 있어서, 플랜트 검사 기술의 전반에 걸쳐서 많은 데이터, 정보 및 연구성과를 종합한 평가시스템의 개발이 진행되고 있다. 석유화학관련 반응기의 검사 및 평가와 관련하여, 일본기계학회(JSME), 일본고압력기술협회 등의 주관 하에 매년 수회 석유·화학플랜트, 구조물의 경년손상과 수명예측과 관련된 세미나, 강연회 등이 개최되어 오고 있고, 일본석유협회(JPI) 내에는 보전부문분과위원회를 두어 현장에서 검사기술과 관련된 문제점 해결의 장으로 활용하고 있다.

중화학 산업시설의 특성상 고압가스 관리법 등에서 규정한 단편적인 규제 중심의 외부기관 관리로는 반응기 등의 안전확보가 불가능한 실정이며, 국내의 기술 기준 등이 없어서 검사기술의 발전에 따라 새로 개발된 기술을 신속히 적용하는데는 현행 법령, 고시 등의 제도로는 미흡한 상태이다. 또한, 앞서 설명한 바와 같이 선진국은 중화학 설비의 각분야별 전문기술기준을 제정하여 운영하고 있으나, 우리 나라는 법령·고시 외에 이들의 검사, 진단 및 평가와 관련한 전문 기술기준이 없는 것이 문제이다. 따라서 검사와 관련한 기술기준(inspection code) 및 검사 절차를 추천하는 검사지침

(inspection practice)의 개발이 시급하다.

제 2 절 반응기 검사기준 및 유지관리 기술 지침(안)

본 연구에서는 석유화학 분야에 사용되는 주요 압력용기인, 반응기 (reactor)의 검사 기술기준 및 유지관리 기술지침을 국내 실정에 맞게 작성하였다. 반응기 검사기준은 미국석유협회 API (American Petroleum Institute)의 압력용기 검사기준 (Pressure Vessel Inspection Code)인 API 510 "Pressure Vessel Inspection Code : Maintenance Inspection, Rating, Repair and Alteration 및 API RP 572 "Inspection of Pressure Vessels" 기준과 일본 통산산업성에서 제정한 특수반응기 정밀검사 지침서를 참고하고, 최근 한국가스안전공사에서 수행한 "압력용기 수명진단 메뉴얼 개발"연구 및 "반응기 결합 안전성 진단기술 개발"연구 결과를 참고하여 작성하였다. 또한, 기준 내에서 요구하는 해석을 수행하는 데에 편리하도록 수명평가 절차를 기술기준의 부록으로 첨부하였으며, 수명해석용 프로그램을 따로 작성하여 기술기준과 함께 사용할 수 있도록 하였다. 초안이 작성된 후에 기술기준 및 기술지침의 기술적, 법적 심의는 한국가스 안전공사의 주관으로 국내 관련산업계의 설비 진단 전문가그룹의 자문을 받아 실시(현재 1차 심의 완료)하였다. 심의에 참여하는 전문가는 한국가스안전공사, 국내 기업의 설비진단기술 책임자들로 구성되었다.

본 연구를 통해 개발될 기술기준은 고압가스관리법 등 관련법의 요건을 충족하는 기술기준으로 제정되며, 이 기준 들은 반응기와 관련된 안전성 검사 및 수명 검사 절차 등의 세부 사항을 포함하도록 제정하여 향후 관련 업계에 보급하도록 할 예정이다.

검사기준 및 유지관리 기술 지침(안)은 현재 2차 심의를 위한 준비 중에 있으며 그 지침(안)의 구성은 다음과 같다.

1. 석유화학 반응기의 검사기준

제 1 절 일반사항

- 1.1 적용 범위
- 1.2 용어 해설
- 1.3 참고 문헌

제 2 절 소유자/사용자의 검사기관

- 2.1 일반 사항
- 2.2 공인 압력용기 검사자의 자격과 보증
- 2.3 소유자-사용자 기관의 책임

제 3 절 실제 검사

- 3.1 준비 작업
- 3.2 열화와 손상의 형태
- 3.3 부식 속도 결정
- 3.4 최대 허용압력의 결정
- 3.5 결함 검사
- 3.6 각 부분별 검사
- 3.7 부식과 최소두께 평가

제 4 절 반응기의 검사 및 시험

- 4.1 일반사항
- 4.2 외부 검사
- 4.3 내부 검사와 가동중 검사

- 4.4 내압 시험
- 4.5 검사기록
- 제 5 절 반응기의 보수, 개선, 등급재평가
 - 5.1 일반사항
 - 5.1.1 허가
 - 5.1.2 승인
 - 5.1.3 결함 보수
 - 5.2 용접
 - 5.2.1 절차와 조건
 - 5.2.2 기록
 - 5.2.3 열처리-예열
 - 5.2.4 텀퍼-비드 용접
 - 5.2.5 부분적 후열처리
 - 5.2.6 오버레이 용접된 스텐레스 강의 보수
 - 5.2.7 설계
 - 5.2.8 재료
 - 5.2.9 검사
 - 5.2.10 시험
 - 5.3 등급재평가
- 부록 가 - 반응기 검사기록 견본
- 부록 나 - 반응기의 보수, 개선이나 등급재평가 기록양식의 견본

2. 석유화학 반응기의 유지관리 지침 목차

제 1 절 일반사항

1.1 적용 범위

1.2 참고 문헌

제 2 절 반응기의 형태

2.1 정의

2.2 제작방법

2.3 반응기재료

2.4 내부장치

2.5 반응기의 사용

제 3 절 제작표준

제 4 절 유지검사

제 5 절 검사사유

5.1 일반사항

5.2 안전성

5.3 연속성

5.4 신뢰성

제 6 절 열화의 원인

6.1 일반

6.2 부식

6.3 침식

6.4 금속조직 변화와 물리적 변화

6.5 기계적인 힘의 작용

6.6 재료결합

6.7 제작불량

6.7.1 일반사항

- 6.7.2 용접 불량
- 6.7.3 열처리 불량
- 6.7.4 치수 불량
- 6.7.5 설치 불량
- 6.7.6 조립 불량

제 7 절 검사주기와 검사시기

- 7.1 검사주기 결정인자
- 7.2 검사의 기회
- 7.3 검사계획

제 8 절 검사방법과 제한사항

- 8.1 일반사항
- 8.2 안전예방조치와 준비작업
 - 8.2.1 안전성
 - 8.2.2 준비작업
- 8.3 외부검사
 - 8.3.1 일반사항
 - 8.3.2 사다리, 계단, 플랫폼, 통로
 - 8.3.3 지반과 지지대
 - 8.3.4 앵커볼트
 - 8.3.5 콘크리트 지지대
 - 8.3.6 철 지지대
 - 8.3.7 버팀줄(Guy Wires)
 - 8.3.8 노즐
 - 8.3.9 접지 연결부
 - 8.3.10 보조장치

8.3.11 보호코팅과 단열재

8.3.12 외부금속 표면

8.3.13 부식의 외부 흔적

8.4 내부검사

8.4.1 일반사항

8.4.2 표면 준비

8.4.3 예비 육안검사

8.4.4 상세검사

8.4.5 금속 라이닝의 검사

8.4.6 비금속 라이닝의 검사

8.4.7 두께측정 방법

8.4.8 기계적 결합의 특수검출법

8.4.9 금속조직 변화와 현장 분석법

8.5 시험

8.5.1 타격시험

8.5.2 압력시험과 진공시험

8.6 한계 두께

제 9 절 보수 방법

제 10 절 기록과 보고서

10.1 기록

10.2 보고서

부록 - 기록양식 견본

제 3 절 진단 및 수명평가 프로그램 개발

1. 서론

오랜 기간 사용하여 노후된 반응기의 정기적인 진단검사 또는 수명평가를 위한 검사 등을 실시할 때에 일반적으로 수행하는 절차는 다음과 같다. 즉, 일반 비파괴 검사 (conventional NDT)에 의해 균열 등의 거시결함 존재여부를 확인하고, 거시결함이 발견되지 않은 경우에는 금속학적 검사인 표면복제검사, 입계부식법 등을 적용하여 일반 비파괴 검사법으로 검출되지 않는 미시결함 또는 결함 전단계의 초기손상 등을 검출한다. 국내에서는 일반적으로 결함이 검출되면 결함을 검사기간 중에 제거하고 보수용접을 실시하지만, 석유화학 업계에서는 장기적인 가동중단 등이 어려워 경우에 따라서는 결함이 있는 상태로 설비를 사용하기도 한다.

본 절에서는 반응기에 거시 결함이 발견된 경우의 안전성 평가, 즉 결함이 존재하는 경우에 사용안전성을 평가하는 방법을 제시하였다. 반응기 결함의 안전성 평가에는 재료의 파괴인성값의 측정 또는 예측이 필수적인데, 파괴인성 값은 반응기 사용중에 템퍼취화 등으로 인해 크게 감소하므로, 원래의 파괴인성값의 감소에 대한 정확한 평가 절차가 필요하다.

제 1 항인 서론에 이어 제 2 항에서는 반응기 결함의 안전성 평가절차로서 파괴인성값을 추정하는 방법과 이로부터 사용 안전성을 평가하는 방법에 대해 설명하였고, 제 3 항에서는 균열 진전율을 평가하는 과정과 잔여수명을 계산하는 절차 등에 대해 설명하였으며, 제 4 항에서는 제 3 항의 잔여수명 계산절차에 따라 개발한 검사결과 해석용 PC 프로그램에 사용한 알고리즘에 대해서 자세히 설명하였다.

2. 파괴인성값의 추정

가. 텀퍼 취화

텀퍼 취화는 합금강이 345~540°C (650~1000°F)의 온도 범위에 노출되어 가열되거나 이 온도 범위(임계온도 구간)에서 사용되는 경우에 발생하는 강의 인성의 감소를 말한다. 석유화학설비나 정유설비 등의 고온 설비가 장기간동안 가동되는 경우에 재질열화의 주된 원인이 되는 텀퍼 취화는 저온에서의 취성파괴와 같이 예고 없이 구조물에 갑작스런 파괴를 야기하므로 특히 중요하다. 따라서, 이러한 설비의 텀퍼 취화에 대한 규명과 연구는 안전성 평가에 중요하다고 할 수 있다.

텀퍼 취화의 주된 원인은 강의 오스테나이트계 입계에서의 불순물 원소 (P, Sb, Sn, As)의 편석(segregation)이다. 편석이란 텀퍼 취화가 일어나는 임계온도 구간에서 확산기구에 의한 불순물 원소들의 활발한 운동으로 이 불순물들이 강의 입계에 달라붙는 현상을 말한다.

파괴 양상 천이온도(FATT)는 파괴인성(K_{IC})과 관련이 있는데 텀퍼 취화에 의한 FATT 값의 증가는 천이온도 구간에서 K_{IC} 값을 감소시키는 결과를 가져온다. 따라서 K_{IC} 대 온도 곡선은 우측으로 이동하게 되는 것이다. 이는 주어진 응력 하에서 견딜 수 있는 균열의 크기가 작아지게 되면서 수명에 절대적인 영향을 미치게 됨을 의미한다. Fig 5.3.1은 탈황화 장치의 반응로강(2.25Cr-1Mo강)이 3.5년 경과한 후 텀퍼 취화에 의해서 입계균열 크기가 감소한 것을 보여주고 있다.

나. 인성 열화의 예측

2.25Cr-1Mo강의 경우 사용되는 J-factor(=(Si+Mn)(P+Sn) 10^4)와 1.25Cr-0.5Mo강의 경우 적용되는 \bar{X} (=(10P+5Sb+4Sn+As) $\times 10^{-2}$)등의 파라미터가 반응기 재료의 장기간 사용에 따른 텀퍼 취화로 발생하는 재료 열화의 예측에 제안, 사용되고 있다. 이러한 재료 열화의 예측에는 주로 파면 천이 온도 FATT의 변화가 사용되고 있다. FATT는 샤르피 충격 시험에서의 50% 연성 파면율을 나타내는 천이온도이다. 반응기 설계자와 사용자의 관심은 사용된 재료가 최대 취화에 도달할 때까지 사용 시간이 얼마인가이다. Fig 5.3.2는 J-factor 값이 다른 여러 가지 2.25Cr-1Mo강의 노출 시간에 따른 FATT의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림은 장기간 등은 실험한 결과로부터 얻어진 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 J-factor가 큰 재료일 수록 텀퍼 취화에 민감하고 FATT는 고온 쪽으로 옮겨간다. 또한 텀퍼 취화의 진행 정도는 사용 시간과 더불어 커지고 있다. 텀퍼 취화의 포화 시간은 Fig. 5.3.2에서 보인 바와 같이 50,000시간 부근이다. 이것은 2.25Cr-1Mo강의 열화가 약 50,000시간 이전에 거의 발생한다는 것이다.

텀퍼 취화의 최대 정도를 알아보기 위해 Fig. 5.3.2를 다시 그린 것이 Fig. 5.3.3이다. 즉, Fig. 5.3.3은 FATT와 J-factor와의 관계를 나타내는데 30,000시간 이상의 장기간 등은 실험으로부터 얻어진 데이터와, 35,000시간, 75,000시간의 Chevron의 데이터 및 API의 20,000시간 데이터를 나타내었다. 각각의 J-factor에 대한 재료의 최대 취화 곡선을 결정 도시하였다. 따라서 이 곡선들로부터 가동 중인 2.25Cr-1Mo강의 열화의 최대 상한선을 예측할 수 있다. Fig. 5.3.4와 Fig. 5.3.5는 1.25Cr-0.5Mo강에 대해 노출 시간 및 \bar{X} 값의 변화에 따른 FATT 증가 관계를 보여 준다. 이 그림에서도 사용 중의 고온 노출 시간과 \bar{X} 가 증가함으로써 재료의 열화가 더 크게 증가한다는 것을 알 수 있다

Fig. 5.3.2~Fig. 5.3.5까지의 데이터들로부터 장기간 사용한 2.25Cr-1Mo강, 1.25Cr-0.5Mo강의 열화를 J-factor와 \bar{X} 의 파라미터로부터 예측할 수 있다. 그러나 주의할 것은 1.25Cr-0.5Mo강에 대해서는 재료의 열화를 예측하는 데에 J-factor를 사용할 수 없다는 것이다. 왜냐 하면 Si가 주합금 원소이기 때문이다.

다. K_{IC} 천이 곡선의 추정

(1) 마스터 곡선법

실제 반응기의 안전성 평가를 위해서는 장기간 사용한 재료의 파괴인성 K_{IC} 값을 온도의 함수로 추정할 필요가 있다. 그 추정 방법으로는 샤르피 충격시험 결과로부터 파괴인성의 천이 곡선을 추정할 수 있는 마스터 곡선법이 Iwate 등에 의해 제안되어 사용되고 있다.

Fig. 5.3.6은 2.25Cr-1Mo강의 마스터 곡선을 보여 주는데 횡축은 여유온도 (excess temperature : 사용온도-FATT)를 나타내고, 종축은 무차원화시킨 K_{IC} 값으로서, K_{IC} 값을 Rolfe-Barsom의 경험식을 사용하여 얻은 upper shelf 온도에서의 파괴인성 K_{IC-US} 로 나눈 값인 K_{IC}/K_{IC-US} 를 나타내고 있다. Rolfe-Barsom의 식은 식(5.3.1)에 나타내었다.

$$\left[\frac{K_{IC-US}}{\sigma_{0.2}} \right]^2 = 0.6474 \left[\frac{CVN-US}{\sigma_{0.2}} - 0.0098 \right] \quad (5.3.1)$$

여기서, $CVN-US$, $\sigma_{0.2}$ 는 각각 충격에너지 값과 upper shelf 온도에서의 0.2% 오프셋 항복강도값을 나타낸다. 식(5.3.1)에 나타낸 상수를 사용하려면 $CVN-US$ 와 $\sigma_{0.2}$ 의 단위는 J과 MPa를 사용하여야 하며, 이때 K_{IC-US} 는 $MPa\sqrt{m}$ 로 계산된다.

Fig. 5.3.6에서 99%, 95%, 50% 신뢰성 한계 마스터 곡선을 볼 수 있는데, 이 마스터 곡선과, 식 (5.3.1)에서 구한 K_{IC-US} , 그리고 Fig. 5.3.2~Fig. 5.3.5에서 측정된 FATT를 이용하여 장기간 사용한 반응기용 재료의 K_{IC} 천이 곡선을 예측할 수 있다. 천이 영역에서의 K_{IC} 분포는 상당히 산만하기 때문에 K_{IC} 값의 하한값을 평가하여 보수적인(conservative) 안전성 평가를 수행하기 위해서는 99% 신뢰성 한계 마스터 곡선을 사용하여야 한다. Fig. 5.3.7은 1.25Cr-0.5Mo강, 1Cr강, 0.5Mo강의 경우에 사용되는 마스터 곡선이다. 이 마스터 곡선을 이용하여 재료의 K_{IC} 천이 곡선을 쉽게 도출해낼 수 있다.

(2) 일반화된 예측법

일반화된 예측법은 마스터곡선 상에 나타나지 않는 재료들로 제작된 반응기에 사용할 수 있는 예측법이다.

Upper shelf 영역에서는 Rolfe-Barsom의 관계식에 의한 K_{IC} 값의 예측이 타당하지만, lower shelf 영역에서는 Begley-Logsdon에 의해 제안된 관계식 [식(5.3.2)]이 K_{IC} 값 평가에 사용된다.

$$K_{IC-LS} = 0.093 \sigma_{0.2} \quad (5.3.2)$$

Fig. 5.3.8은 각 재료의 K_{IC}/K_{IC-US} 와 $T-T_0$ 곡선을 나타내었는데, 재료의 항복강도의 범위는 268MPa~1,264MPa이고, T_0 는 K_{IC-US} 의 50%가 되는 온도이다.

Fig. 5.3.9는 FATT에서 lower shelf온도 T_L 로의 온도 이동 ΔT 와 재료의 항복강도와의 관계를 나타내는데, 여기서 T_L 은 식 (5.3.2)에서 계산되는 K_{IC-LS} 값을 주는 온도이다. 즉, 100% 취성 파괴를 나타내는 온도 중 최고의 온도이다. 여기서 주의할 것은 그래프 상에서 편의상 T_L 에서의 항복 강도

대신 상온에서의 항복 강도로 표시한 점이다. 실선은 전체 영역의 항복 강도에 대한 커브 피팅(fitting)이고, 점선은 각각의 재료에 대한 커브 피팅이다. ΔT 와 σ_y 의 관계는 화학 조성, 즉 각 원소의 함유량이 좌우하기 때문에, 모든 강재에 대해 적절하게 평가할 수 있는 샤르피 충격 에너지값과 K_{IC} 값과의 관계식을 찾아내기는 어렵다. 따라서, 서로 다른 항복 강도를 갖는 재료의 K_{IC} 를 예측하기 위해서는, Fig. 5.3.9에 보여진 ΔT 를 이용하는 방법이 매우 유용하다.

(3) 파괴인성 값을 예측하는 실례

이상 설명한 장기간 사용한 반응기 재료의 K_{IC} 전이 곡선을 예측하는 순서를 정리하면 다음과 같다.

- ① 재료의 화학적 조성으로 부터 J-factor 혹은 \bar{X} 를 계산한다.
- ② Fig. 5.3.2~Fig. 5.3.5를 이용해 재료 열화의 최대치와 FATT를 측정한다.
- ③ Upper shelf온도에서의 샤르피 충격 에너지 값과 항복 강도를 측정한다.
- ④ 식(5.3.1)로부터 K_{IC-US} 를 계산한다.
- ⑤ K_{IC-US} , FATT, Fig. 5.3.6, Fig. 5.3.7로부터 K_{IC} vs T곡선을 예상한다.(마스터 곡선법)
- ⑥ 예측을 원하는 재료를 Fig. 5.3.6, Fig. 5.3.7에서 찾을 수 없으면 일반화된 예측법을 사용한다. 그 순서는 Fig. 5.3.10에 나타나 있으며 다음에 설명한 바와 같다.
 - ㉠ 상온에서의 항복 강도를 이용하여 Fig. 5.3.9로부터 ΔT 를 측정하고 T_L 을 결정한다.
 - ㉡ 식(5.3.2)에서 K_{IC-LS} 를 계산하고 T_L 에서의 K_{IC-LS}/K_{IC-US} 점을 찍

는다.

㉔ Fig. 5.3.8에 있는 K_{IC}/K_{IC-US} 곡선을 T_L 에서의 K_{IC}/K_{IC-US} 점을 지나도록 그린다.

㉕ K_{IC}/K_{IC-US} 대 온도 곡선을 K_{IC} 대 온도 곡선으로 치환한다.

라. 최저가압온도(MPT:Minimum Pressurization Temperature)

갑작스런 파손은 균열에서의 K_I 값이 재료의 K_{IC} 에 도달할 때 발생한다. 따라서 반응기에서 가압은 K_{IC}/K_I 값이 1.0이상인 조건의 온도에서 시작되어야 한다. 반응기용 재료의 K_{IC} 값은 천이 영역에서 매우 산만한 분포를 보이므로, 천이 온도 영역에서의 가압은 피하는 것이 좋다. 따라서 가압 온도는 Fig. 5.3.11에서 보는 바와 같이 K_{IC} 의 upper shelf온도에 있어야 한다. 이런 상태에서는 파손이 발생해도 파괴 형태가 취성 파괴가 아닌 연성 파괴가 되므로 대형 사고는 예방이 가능하다.

Fig. 5.3.6과 Fig. 5.3.7에서는, upper shelf가 99 % 신뢰성 한계 곡선을 처음 만나는 온도는 excess 온도가 각각 2.25Cr-1Mo강은 0°C 이고, 1.25Cr-0.5Mo강은 20°C 인 것으로 나타났다. 따라서, 시동 중의 최저 가압 온도는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$2.25\text{Cr}-1\text{Mo}\text{강} : \text{MPT} \geq \text{FATT}$$

$$1.25\text{Cr}-0.5\text{Mo}\text{강}, 1\text{Cr}\text{강}, 0.5\text{Mo}\text{강} : \text{MPT} \geq \text{FATT} + 20^{\circ}\text{C} \quad (5.3.3)$$

이때, 장기간 사용한 재료의 FATT는 Fig. 5.3.2~Fig. 5.3.5를 이용하여 평가할 수 있다.

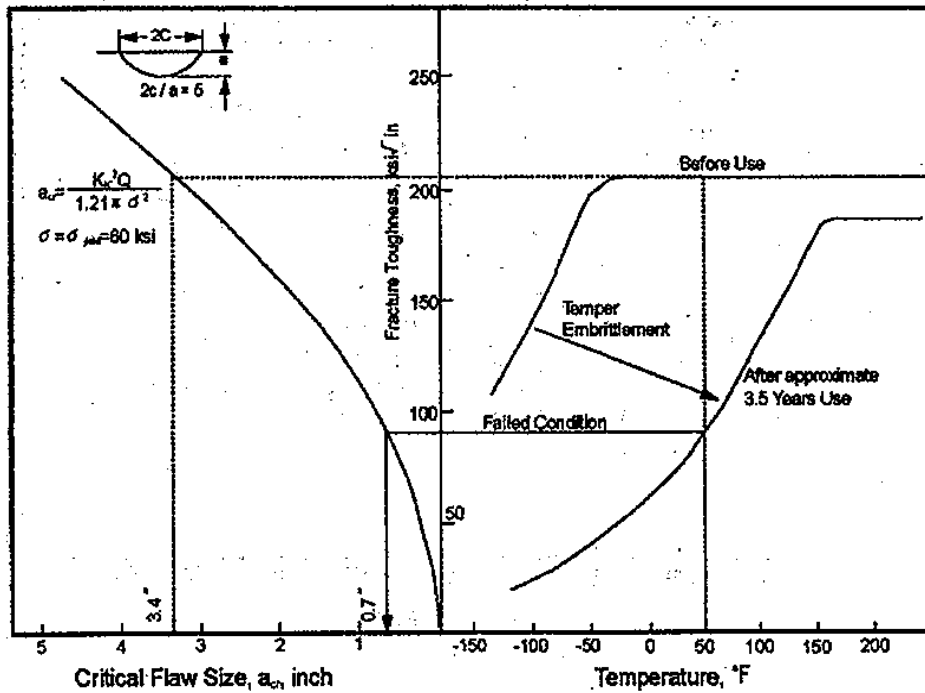


Fig. 5.3.1. Decreases of critical flaw size for brittle fracture of a 2.25Cr-1Mo reactor vessel at 10°C due to temper embrittlement

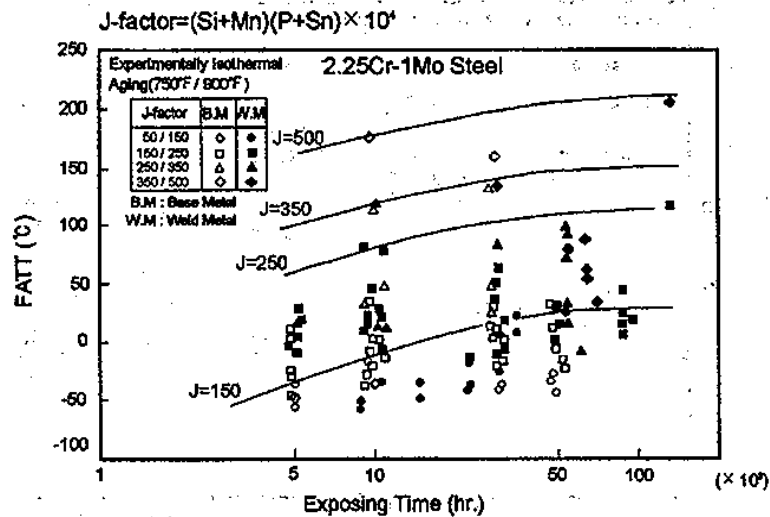


Fig. 5.3.2. FATT versus exposure time for 2.25Cr-1Mo steels with various J-factor

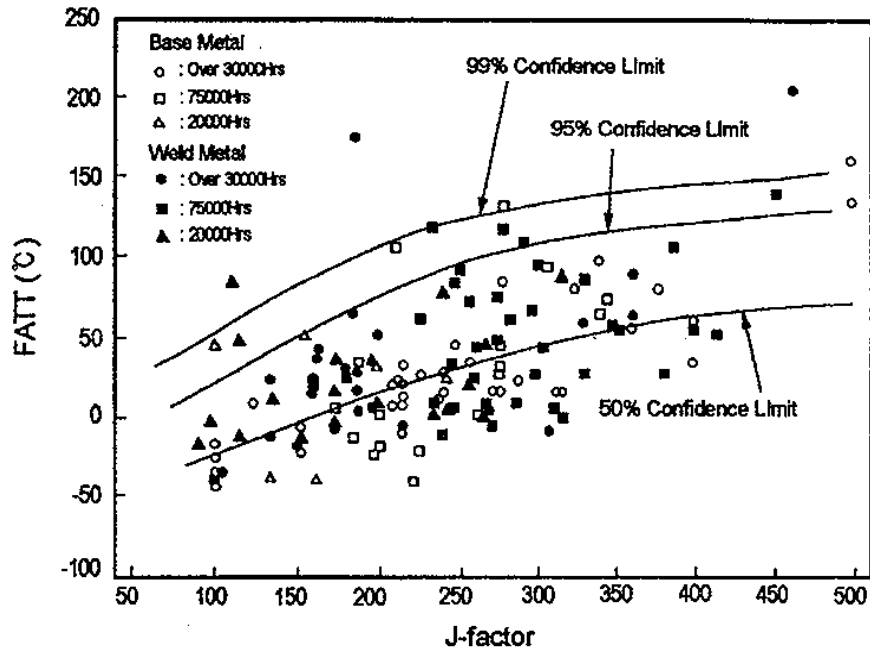


Fig. 5.3.3. FATT versus J-factor relationship obtained from long-term isothermal tests for 2.25Cr-1Mo steels

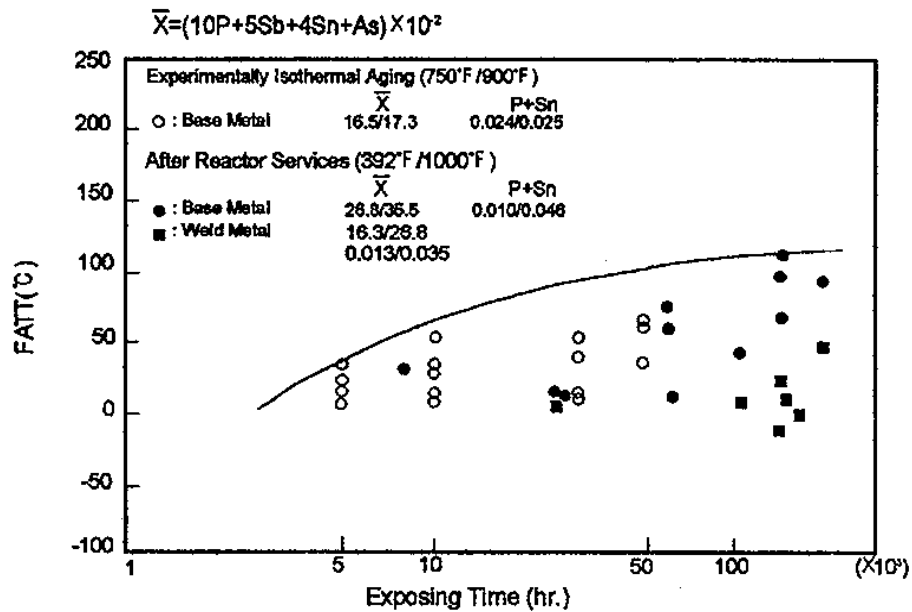


Fig. 5.3.4. FATT versus exposure time for 1.25Cr-0.5Mo steels

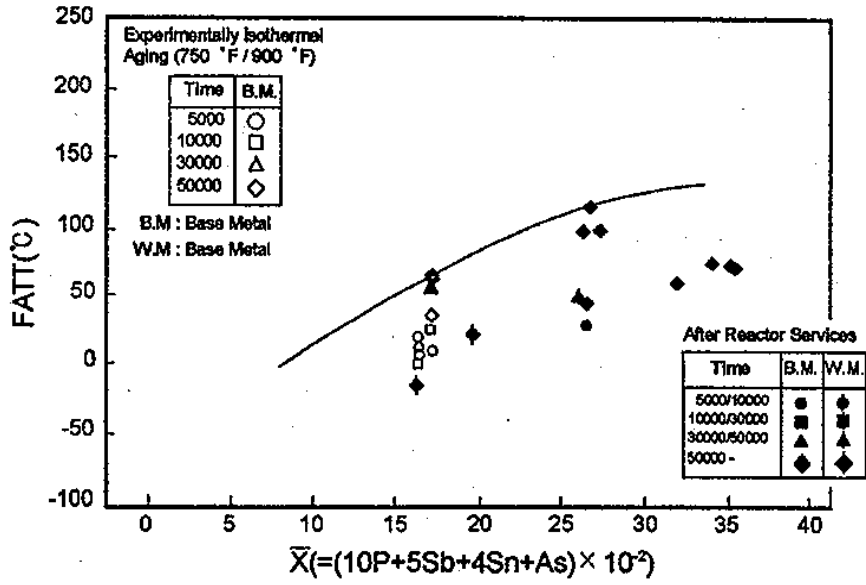


Fig. 5.3.5. FATT versus \bar{X} relationship obtained from long-term isothermal tests for 1.25Cr-0.5Mo steels

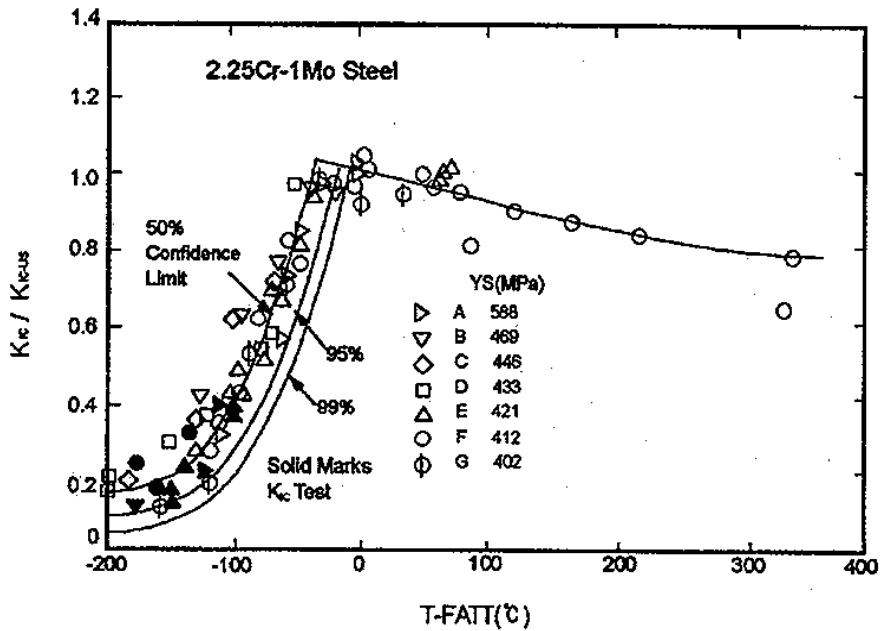


Fig. 5.3.6. Master curve for prediction of K_{IC} transition curve of 2.25Cr-1Mo steels

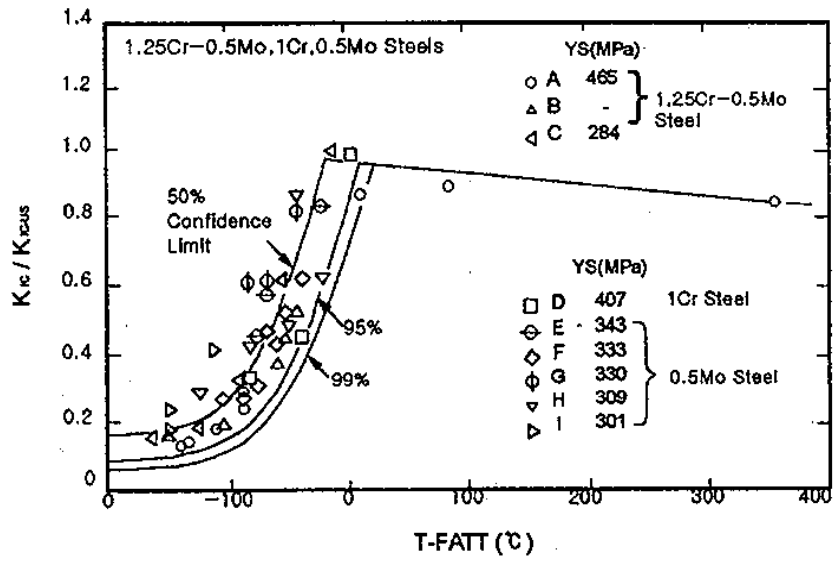


Fig. 5.3.7. Master curve for prediction of K_{IC} transition curve of 1.25Cr-0.5Mo, and 1Cr and 0.5Mo steels

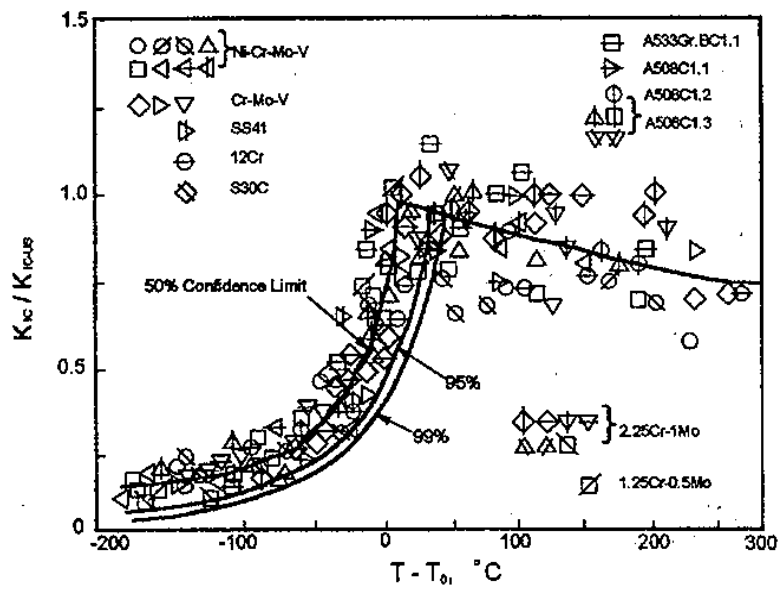


Fig. 5.3.8. K_{IC}/K_{IC-us} versus $T - T_0$ relationship, where T_0 is the temperature showing 50% K_{IC-us}

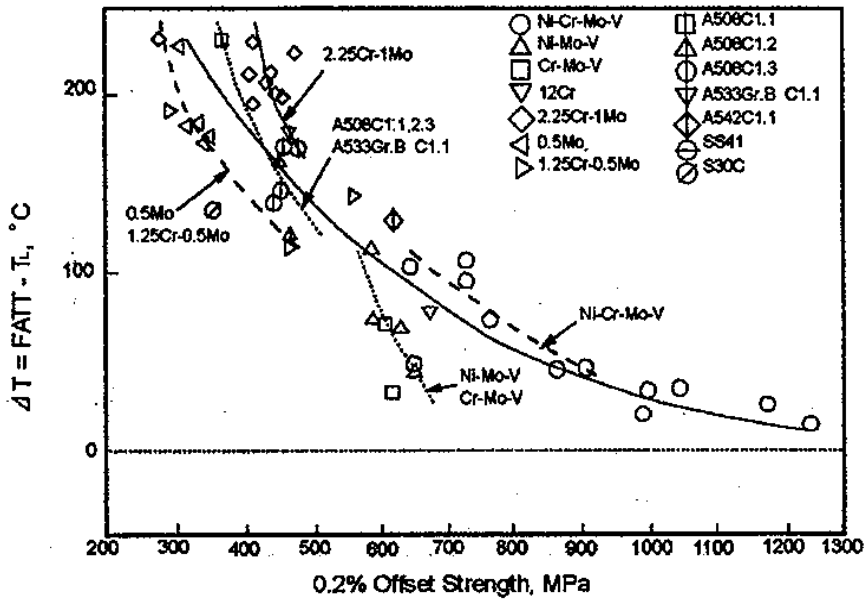


Fig. 5.3.9. Relationship between ΔT and 0.2% offset yield strength

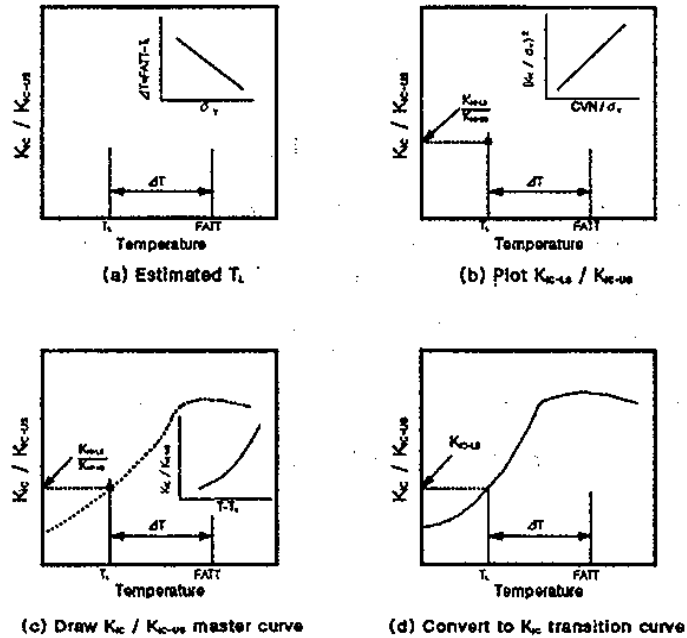


Fig. 5.3.10. Generalized prediction method of K_{IC} transition curve

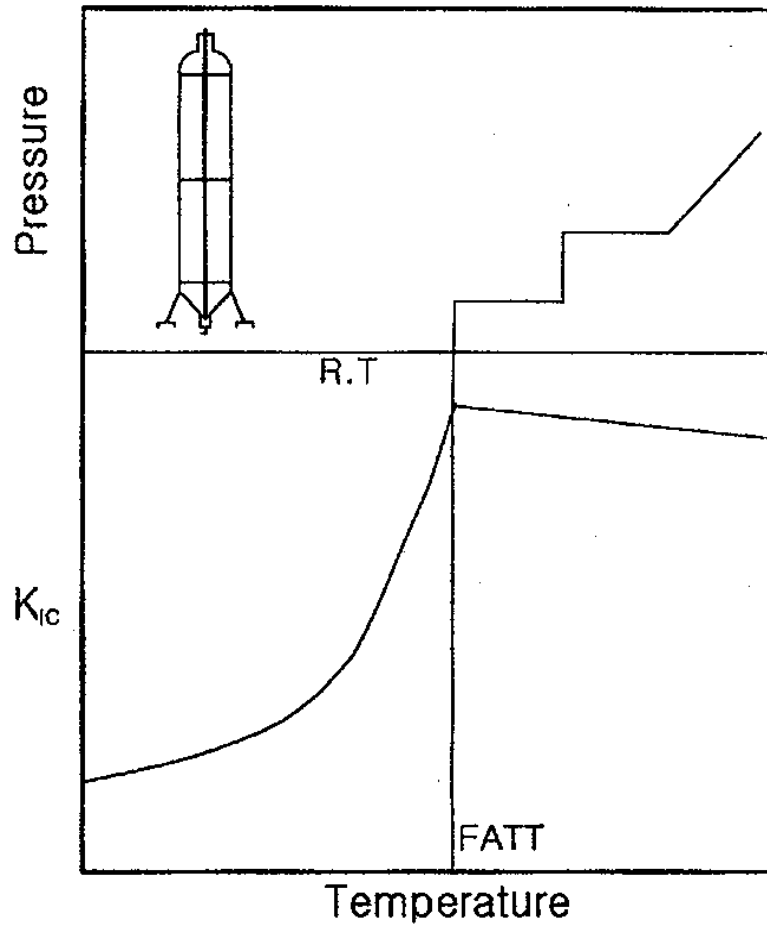


Fig. 5.3.11. Schematic of the pressurization temperature

3. 잔여수명 평가절차

가. 균열진전-수소조장균열(hydrogen assisted cracking) 진전

비파괴검사에 의해 검출된 결함 모두가 안전성에 치명적인 것이 아니고, 어떤 치수 이상의 결함만이 성장하여 반응기의 안전성이나 수명에 영향을 미친다.

수소의 영향에 의한 균열의 진전은 K_{IH} 로서 판단될 수 있다. 결함의 응력 확대계수 K_I 값이 하한계 응력확대계수(threshold stress intensity factor) K_{IH} 보다 큰 경우에만 균열이 진전 성장한다. 즉

$$K_I \geq K_{IH} \quad (5-3-4)$$

인 경우에 균열이 성장한다. Fig. 5.3.12는 rising load method를 사용하여 2.25Cr-1Mo강에 대해 K_{IH} 실험을 실시하여 얻어진 K_{IH} 값을 보여 준다. 여기에서는 2ppm~ 7ppm범위의 수소 함유량을 갖는 1T-C(T)시편들이 사용되었다. 수소 함유량이 증가할 수록 K_{IH} 값은 눈에 띄게 감소한다.

Fig. 5.3.13은 2.25Cr-1Mo강에 대해서, FATT로 나타낸 템퍼 취화에 의한 열화 정도와 K_{IH} 값과의 관계를 표시하였다. 재료의 FATT가 증가할 수록 K_{IH} 값은 감소하게 되는데, 이것은 템퍼 취화에 의한 재료의 열화가 K_{IH} 값의 감소를 가져온다는 것을 보여 준다.

Fig. 5.3.14는 측면에 홈을 판 2.25Cr-1Mo강 1T-C(T)시편을 사용하여 500ppm H_2S 용해 상태에서 실험한 수소 조장 균열 성장률(hydrogen assisted crack growth rate) da/dt 를 나타내고 있다. FATT값이 더 높은 재료는 더 큰 균열 성장률을 나타낸다. da/dt 와 K_I 과의 상한 경계선에서의 관계식은 다음과 같이 나타내어질 수 있으며 식(5.3.5)를 사용하여 균열 성장

량을 계산할 수 있다.

$$da/dt=5.41 \times 10^{-14} K_I^{6.81} \quad (5.3.5)$$

나. 수명 평가

Fig. 5.3.15는 반응기의 잔여 수명 결정 과정을 도식화한 것이다. 반응기의 총 수명은 균열 발생기와 균열 성장기의 합이다. 다시 말해 반응기의 잔여 수명은 검출된 결함이 진전, 성장하여 재료가 취성 파괴를 일으키는 한계균열크기 a_{cr} 에 도달할 때까지의 시간 또는 외표면에 도달하여 누수(leak)가 발생할 때까지의 시간으로 규정되어진다. 그 과정에서 재료 열화에 따른 한계균열크기의 감소나 균열의 진전, 확대는 확률 통계적 방법으로 예측할 수 있다. 그러나 현 상태에서는 확률통계적으로 잔여 수명을 거론할 수 있을 만큼 데이터베이스가 구축되어 있지 않으므로 결정론적 잔여 수명 계산에 의해 평가되고 있다. Fig. 5.3.16은 반응기의 잔여 수명 평가 과정의 일례를 보여주고 있다.

여기에서는 화학조성, 샤프피 충격에너지 값, 항복강도, 결함의 크기, 결함의 형상, 가동 시간, 작용 응력값 등이 고려되었다. 반응기의 잔여 수명을 예측하는 절차는 다음과 같다.

- ㉓ 비파괴 검사로 발견된 결함의 크기로 부터 실제 균열의 크기를 평가한다.
- ㉔ 실제 균열에 대한 응력확대계수 K_I 값을 계산한다.
- ㉕ Fig. 5.3.2~Fig. 5.3.5를 이용하여 재료의 열화정도, 즉 FATT를 측정한다.
- ㉖ FATT와 Fig. 5-3-13을 이용하여 수소 조장 균열 성장에 대한 K_{IH}

를 예측한다.

- ㉓ $K_I \geq K_{IH}$ 조건을 만족하는 균열이 성장 중인 균열로 선정된다.
- ㉔ 실제 균열크기 대 시간 곡선이 균열성장을 ($da/dt=CK_I^m$)을 사용하여 계산된다.
- ㉕ 식 (5.3.1)에서 upper shelf에서의 샤르피 충격 에너지 값 CVN-US을 가동 중에는 일정하다고 보고 구한 K_{IC}/K_{IC-US} 마스터 곡선과 FATT를 이용하여 K_{IC} 대 시간 곡선을 예측한다.
- ㉖ 한계균열크기 a_{cr} 대 시간 곡선을 앞에서 예측한 K_{IC} 대 시간 곡선과 식 (5.3.6)으로부터 계산한다.

$$a_{cr} = \frac{K_{IC}^2 Q}{1.21 \pi \sigma^2} \quad (\text{for surface crack})$$

(5.3.6)

$$a_{cr} = \frac{K_{IC}^2 Q}{\pi \sigma^2} \quad (\text{for embedded crack})$$

- ㉗ 실제 균열 크기 곡선과 한계균열크기(또는 외표면)와의 교차점이 압력용기의 잔여 수명을 말해 준다.

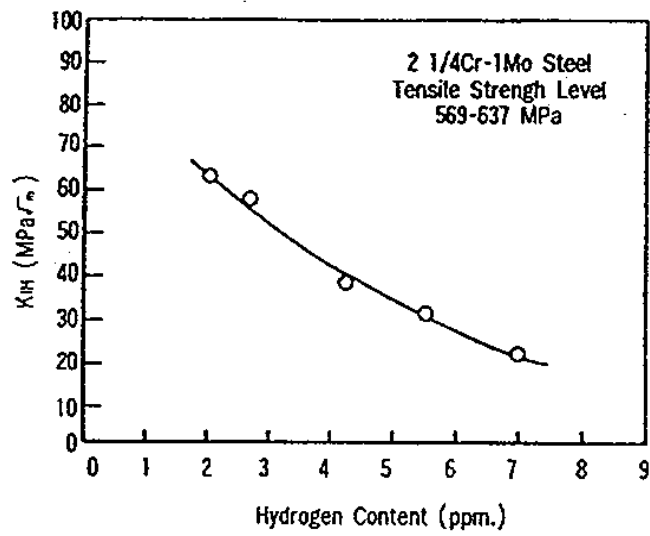


Fig. 5.3.12. Relationship between K_{IH} and hydrogen content

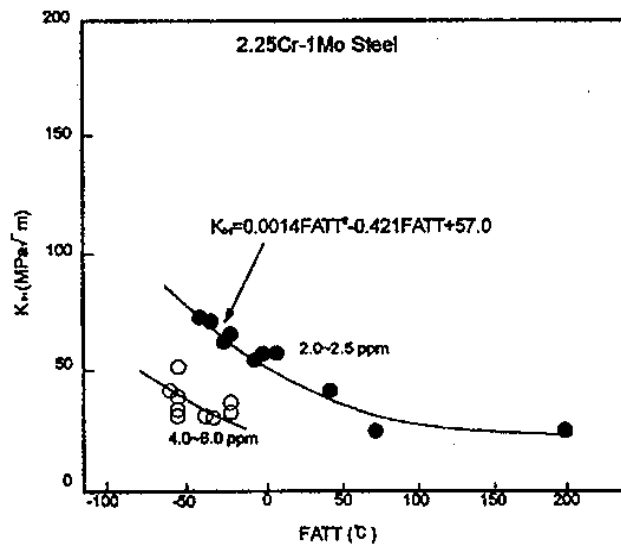


Fig. 5.3.13. Relationship between K_{IH} and FATT of 2.25Cr-1Mo steel

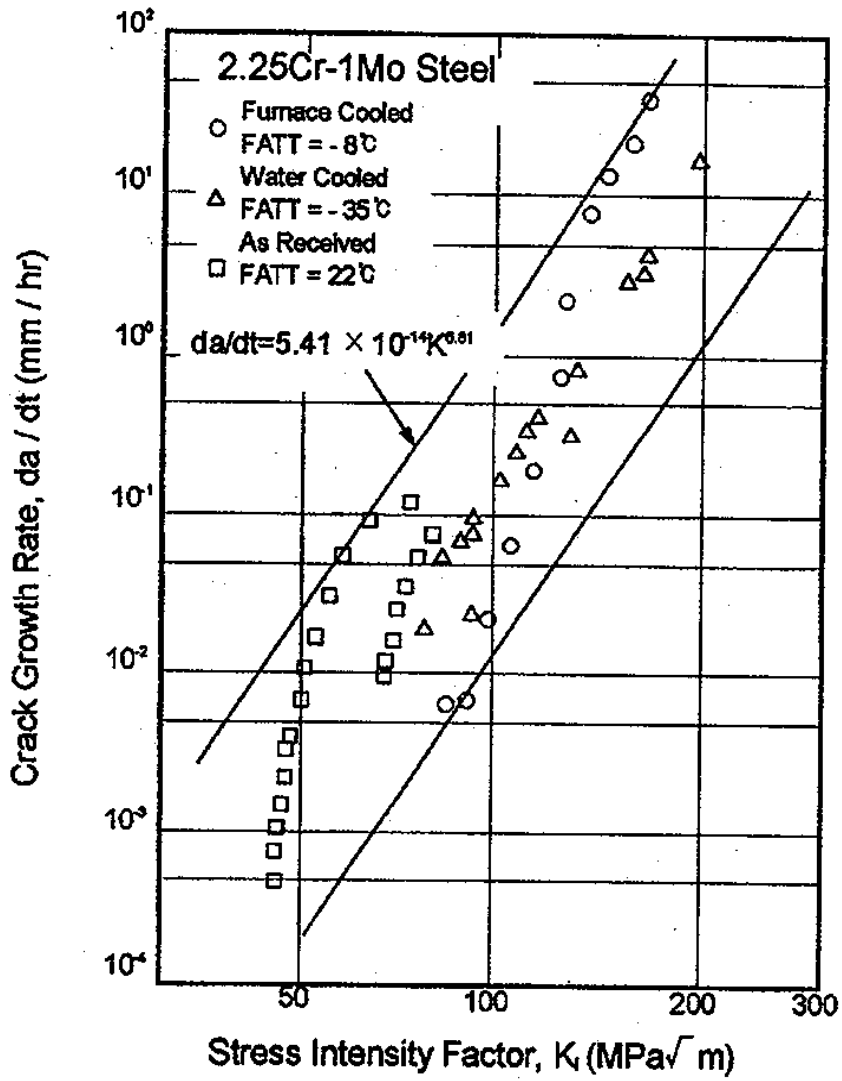


Fig. 5.3.14. Hydrogen assisted crack growth rate da/dt of 2.25Cr-1Mo steel

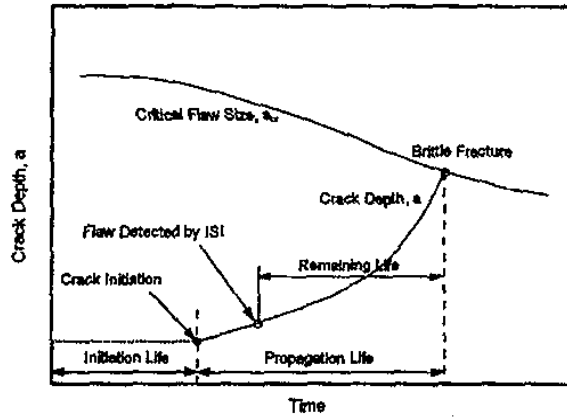


Fig. 5.3.15. Schematic of the remaining life of a reactor

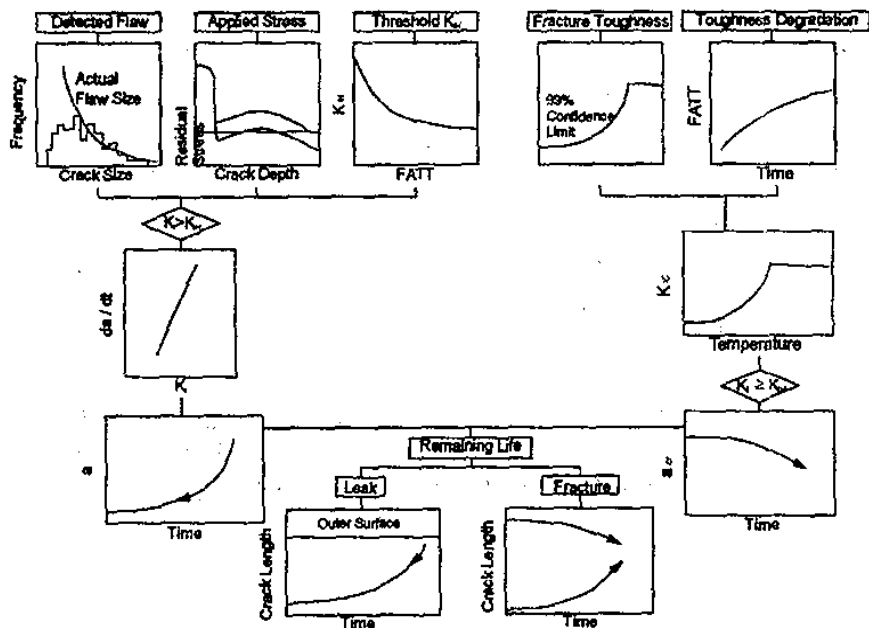


Fig. 5.3.16. Procedure for the remaining life prediction of a reactor

4. 석유화학 반응기 진단 및 수명평가 프로그램

가. 개요

본 석유화학 반응기 진단 및 수명평가 프로그램은 제 3 항의 잔여수명 절차를 토대로 program tool을 이용하여 Windows용 프로그램으로 구현하였다. 운영체제로는 MS Windows 95 및 MS Windows NT 3.5 이상에서 실행된다.

윈도우 프로그램의 장점인 사용자 입력 및 비주얼한 그래픽을 최대한 살려서 사용상의 편의를 도모하였다. 또한 프로그램의 모듈화로 다른 모듈, 즉 다른 평가방법이나 재료에 대한 프로그램의 첨가가 용이하다. 데이터의 입력은 다이얼로그 박스를 통하여 입력되며 데이터 입력을 시작하여 프로그램이 시키는 대로 절차를 밟아 나가면 균열의 성장여부 및 잔여수명을 계산할 수 있다.

나. 프로그램의 구성

(1) 프로그램의 순서도

Fig. 5.3.16은 본 프로그램의 순서도를 나타낸다.

본 프로그램은 두 단계의 데이터 입력절차가 요구된다. 첫 번째 단계에서는 균열의 성장여부를 판단하기 위한 것이고, 두 번째 입력단계에서는 균열이 성장하는 것으로 판단되었을 경우 재료에 대한 데이터를 입력하여 수명을 예측한다.

첫 번째 데이터를 입력하여 현재 균열이 성장하지 않는 것으로 판단되었을 경우는 수명예측에서 제외하여 불필요한 데이터 입력을 없앴다.

또한 50%, 95%, 99% 각 신뢰성 한계에 따라서 발견된 균열이 성장하는지 여부를 판단하고, 각 신뢰성 한계에 따른 잔여수명을 계산하도록 하였다.

각 소단계마다 사용한 regression 식들은 본 연구팀에서 데이터 점들을 digitizer로 읽어 다항식으로 regression한 식들이다.

① 제1단계

㉞ 사용자 입력-1

㉞ 비파괴검사로 발견된 균열의 크기로부터 실제 균열의 크기를 평가하여 입력한다.

㉞ 실제 응력의 크기, 또는 설계응력을 입력한다.

㉞ J-factor(=(Si+Mn) · (P+Sn)) 값을 직접 입력하거나, 재료의 화학조성(Si, Mn, P, Sn)을 입력한다.

㉞ 컴퓨터 계산-1 : 균열성장 유무 판단 부분

㉞ 다음 식으로부터 실제 균열의 응력확대계수 K_I 을 계산한다.

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$$

㉞ J-factor로부터 Fig. 5.3.3, 또는 다음의 regression 식을 이용하여 최대 열화상태에서의 FATT를 계산한다.

· 99% 신뢰도 곡선

$$FATT = -0.0009 \times (J\text{-factor})^2 + 0.7592 \times (J\text{-factor}) - 12.660$$

· 95% 신뢰도 곡선

$$FATT = -0.0008 \times (J\text{-factor})^2 + 0.7470 \times (J\text{-factor}) - 41.818$$

· 50% 신뢰도 곡선

$$FATT = -0.0005 \times (J\text{-factor})^2 + 0.5431 \times (J\text{-factor}) - 73.193$$

㉞ 계산된 FATT와 아래의 식으로부터 하한계응력확대계수(K_{IH})를 계산한다(Fig. 5.3.13. 참조).

$$K_{IH} = 0.0014 \times (FATT)^2 - 0.421 \times (FATT) + 57.0$$

㉞ 컴퓨터 판단

㉞ $K_I \geq K_{IH}$ 인지를 컴퓨터가 판단한다.

㉔ 위 “㉔”항의 판단결과를 message box로 나타낸다.

㉕ “NO”일 경우 균열이 성장하지 않으므로 계산을 종료한다.

㉖ “YES”일 경우 제2단계가 진행되면서 잔여수명을 계산한다.

② 제2단계

㉗ 사용자 입력-2

㉙ 가동온도[°C]를 입력한다.

㉚ upper shelf에서의 샤르피 충격에너지값(CVN-US)[J]과 upper shelf에서의 0.2% 오프셋 항복강도값($\sigma_{0.2}$)[MPa]을 입력한다.

㉛ 현재까지의 가동시간을 입력한다.

㉜ 균열의 성장곡선(a(t)) 및 임계균열크기의 감소곡선($a_{cr}(t)$)을 얻어내기 위한 time step을 입력한다.

㉝ 컴퓨터 계산-2 : 균열의 성장곡선(a(t)) 계산 부분

㉙ 식(5.3.13)을 이용하여 균열의 성장곡선(a(t))을 계산한다.

$$da / dt = 5.41 \times 10^{-14} \cdot K_I^{6.81}$$

이 식의 계산에는 사용자가 입력한 time step(Δt)을 이용한다.

다시 말해,

$$a(t) = a(t - \Delta t) + \Delta a_t$$

와 같이 쓸 수 있으며, 여기서

$$\Delta a_t = 5.41 \times 10^{-14} \cdot (\sigma \sqrt{\pi \cdot a_{t-\Delta t}})^{6.81} \cdot \Delta t$$

가 되는 것이다.

㉞ 컴퓨터 계산-3 : 임계균열크기의 감소곡선($a_{cr}(t)$) 계산 부분

㉙ Rolfe-Barsom의 경험식(식(5.3.1))으로부터 K_{IC-US} 를 계산한다.

$$\left[\frac{K_{IC-US}}{\sigma_{0.2}} \right]^2 = 0.6474 \left[\frac{CVN-US}{\sigma_{0.2}} - 0.0098 \right]$$

㉞ Fig. 5.3.2, 또는 아래의 regression 식들로부터 제1단계에서 사용한 J-factor에 따라 시간의 증가에 대한 FATT의 증가 곡선을 얻는다.

• J-factor = 150

$$FATT = -10^{-8} \times (\text{time})^2 + 0.0016 \times (\text{time}) - 24.003$$

• J-factor = 250

$$FATT = -9 \times 10^{-9} \times (\text{time})^2 + 0.0012 \times (\text{time}) + 71.363$$

• J-factor = 350

$$FATT = -8 \times 10^{-9} \times (\text{time})^2 + 0.0013 \times (\text{time}) + 107.96$$

• J-factor = 500

$$FATT = -5 \times 10^{-9} \times (\text{time})^2 + 0.0010 \times (\text{time}) + 171.31$$

기존의 J-factor값(150, 250, 350, 500) 이외의 값인 경우에는 위 식들을 보간하여 사용한다.

㉟ Fig. 5.3.6, 또는 아래의 regression 식들과, 사용자가 입력한 가동온도(T), 계산된 K_{IC-US} 값으로부터 시간에 따른 K_{IC} 곡선을 계산한다.

• 99% 신뢰도 곡선

$$K_{IC}/K_{IC-US} = 4 \times 10^{-5} \times (T - FATT(t))^2 + 0.0132 \times (T - FATT(t)) + 1.1254$$

• 95% 신뢰도 곡선

$$K_{IC}/K_{IC-US} = 4 \times 10^{-5} \times (T - FATT(t))^2 + 0.0139 \times (T - FATT(t)) + 1.2652$$

• 50% 신뢰도 곡선

$$K_{IC}/K_{IC-US} = 5 \times 10^{-5} \times (T - FATT(t))^2 + 0.0158 \times (T - FATT(t)) + 1.5318$$

㊱ 시간에 따른 K_{IC} 곡선과 아래의 식으로부터 임계균열크기의 감소곡선($a_{cr}(t)$)을 계산한다.

$$a_{cr} = \frac{K_{IC}^2}{1.21\pi\sigma^2}$$

여기에서도 시간(t)을 time step(Δt) 만큼씩 증가시키면서 균열 성장곡선(a(t))과 비교한다.

㉔ 컴퓨터 계산-4 : 잔여수명 결정 부분

㉕ time step(Δt)이 계속 증가하면서 균열증가곡선(a(t))과 임계균열크기의 감소곡선($a_{cr}(t)$)이 교차하게 되면 그때까지의 Δt 의 합이 반응기의 잔여수명이 되며 계산은 종료된다.

㉖ 잔여수명 출력

㉗ 위 “㉔”항에서 계산된 잔여수명을 각 신뢰도 곡선(99%, 95%, 50%)에 대해 각각 출력한다.

(2) 반응기 재료

데이터 베이스가 구축되어 있지 않아 현재 2.25Cr-1Mo 강에 대해서만 수명평가가 가능하다.


(3) 컴퓨터 시스템 사양

- ① Intel 80386 processor 이상의 CPU를 장착하고 4M 이상의 RAM을 가진 Mouse를 장착한 IBM PC 호환 개인용 컴퓨터
- ② 한글 MS Windows 95 또는 한글 MS Windows NT 3.5 이상의 OS를 가진 컴퓨터

다. 프로그램의 사용방법

본 프로그램은 Windows에서 구동되므로 일반 Windows의 메뉴체계 및 사용방법을 따르고 있으므로 사용방법상의 특이한 어려움은 없다. Fig. 5.3.18은 본 프로그램의 실행 초기 화면이다.

가. 메인 메뉴의 Assessment 메뉴 내에 있는 Crack Assessment, 또는

Tool bar 를 클릭하여 시작한다(Fig. 5.3.19 참조).

나. 데이터를 입력하기 위한 다이얼로그 박스가 나타난다. 여기에서 발견된 균열크기, 사용응력 및 J-factor를 입력한다. J-factor를 입력하는 대신 Check box를 토글하여 재료의 화학성분(Si, Mn, P, Sn)을 입력하여도 된다(Fig. 5.3.20 참조).

다. 프로그램 내부적으로 계산을 수행하여 균열이 성장하는지 여부를 판단하여 message box가 나타난다.

균열이 성장하지 않는 경우 “균열이 성장하지 않습니다.”라는 메시지를 띄운다. “확인”버튼을 클릭하면 계산을 종료하며, 균열이 성장하는 경우는 각 신뢰도 한계에 따라서 균열이 성장하는지를 보여주는 message box가 나타난다(Fig. 5.3.21 참조).

라. “잔여수명을 계산하고 싶습니까?” 에 “아니오”를 클릭하면 수명계산을 종료한다. “예”버튼을 클릭하면, “수명평가 데이터 2”라는 다이얼로그 박스가 나타나고 필요한 데이터들을 입력한다. 입력데이터의 내용 중에서 “time step”은 균열의 성장곡선과 임계균열의 감소곡선을 얻는 과정에서 컴퓨터가 반복수행하는 시간 간격이며, 사용자가 지정하지 않으면 컴퓨터 내부적으로 “20시간”이라는 default 값을 갖는다. 데이터 입력을 모두 끝낸 후 “확인” 버튼을 클릭하면 잔여수명을 계산한다(Fig. 5.3.22 참조).

마. 계산이 다 끝난 뒤에 message box가 나타나는데 “확인” 버튼을 클릭하면 윈도우에 결과가 표시된다(Fig. 5.3.23 참조).

라. 메뉴체계의 구성

(1) 메인 메뉴에는 Assessment, View, Print, Help, Exit 메뉴가 있는데 Assessment가 잔여수명 계산을 위한 메뉴이며, 나머지는 표준

Windows 시스템의 메뉴와 동일하다.

- (2) Crack Assessment 메뉴 : 현재 2.25Cr-1Mo 강에 대한 잔여수명 계산을 구동하기 위한 메뉴로서 이외의 재료나 다른 수명예측방법을 첨가할 수 있다.
- (3) View 메뉴 : Tool Bar, Status Bar 등을 보이거나 닫도록 하는 기능을 넣었다.
- (4) Help 메뉴 : 프로그램 이름 및 개발자와 사용방법에 관한 help 기능이 들어간다.
- (5) Exit 메뉴 : 프로그램을 종료시키는 메뉴이다.

마. 윈도우 체계의 구성

- (1) 윈도우는 둘로 나뉘어 있는데, 보이는 왼쪽 윈도우는 사용자의 데이터 입력값들을 표시하기 위한 공간이며 오른쪽은 잔여수명 계산 시 균열성장, 임계균열 감소곡선을 표시하고 계산된 잔여수명을 표시하기 위한 공간이다.

바. 프로그램 관련 향후 연구방향

- (1) 현재 구현된 기능은 2.25Cr-1Mo 강에 대한 균열성장 수명예측만이 가능하므로, 다른 재료에 대한 데이터 베이스를 구축하고, 다른 수명예측방법에 대한 기능을 추가한다.
- (2) 수명 이외에 최저가압온도(MPT : Minimum Pressurization Temperature), K_{Ic} 대 온도 곡선 등 기능을 추가한다.
- (3) 프로그램으로서의 기능들, 즉 file save, open, help 기능을 완벽히 구현한다.
- (4) 좀더 정확한 결과를 얻을 수 있도록 균열의 형상을 고려할 수 있게

하고, 응력해석기능까지 추가한다.

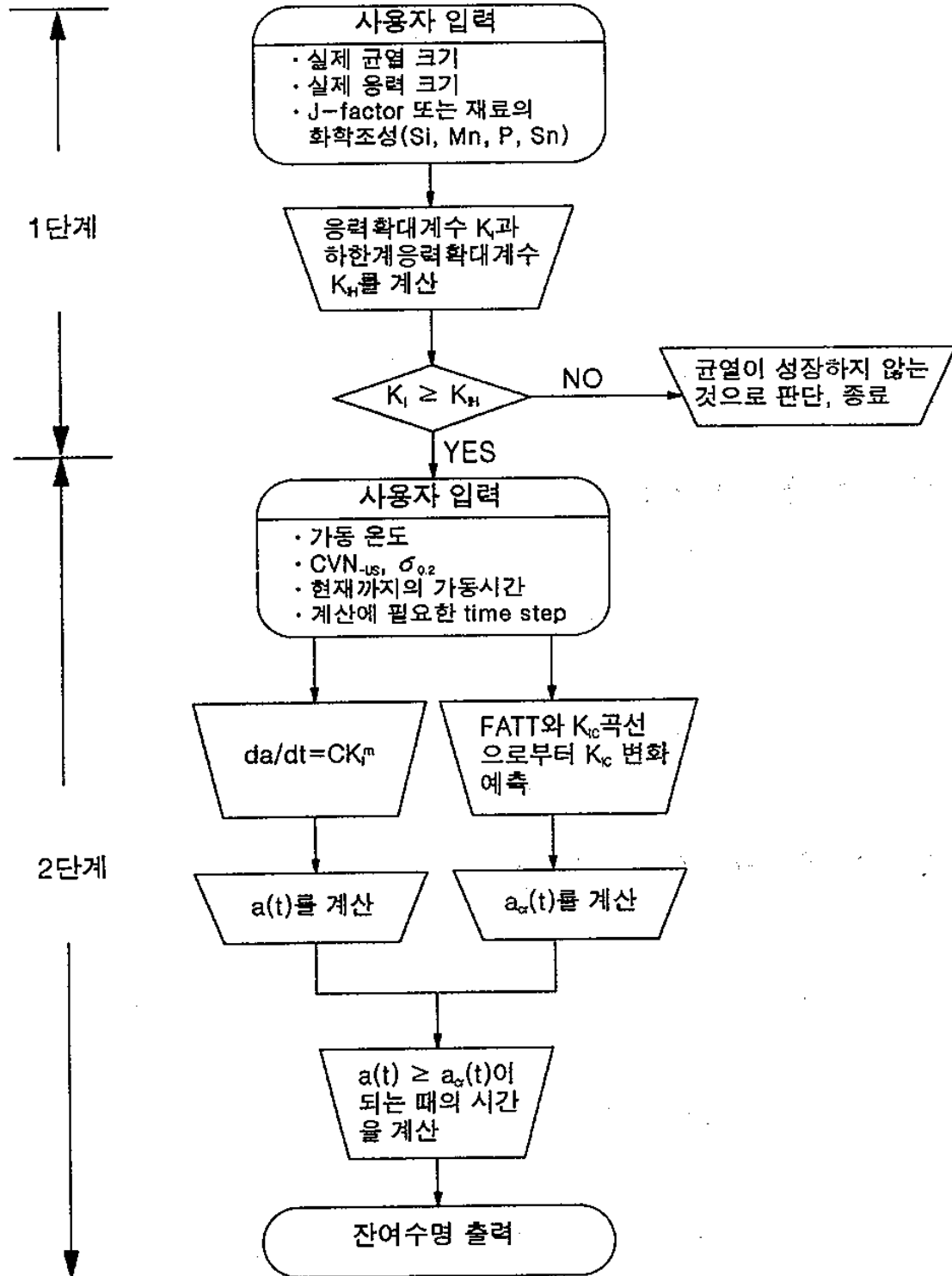


Fig. 5.3.17. Flow chart for diagnosis and life assessment of refinery reactors

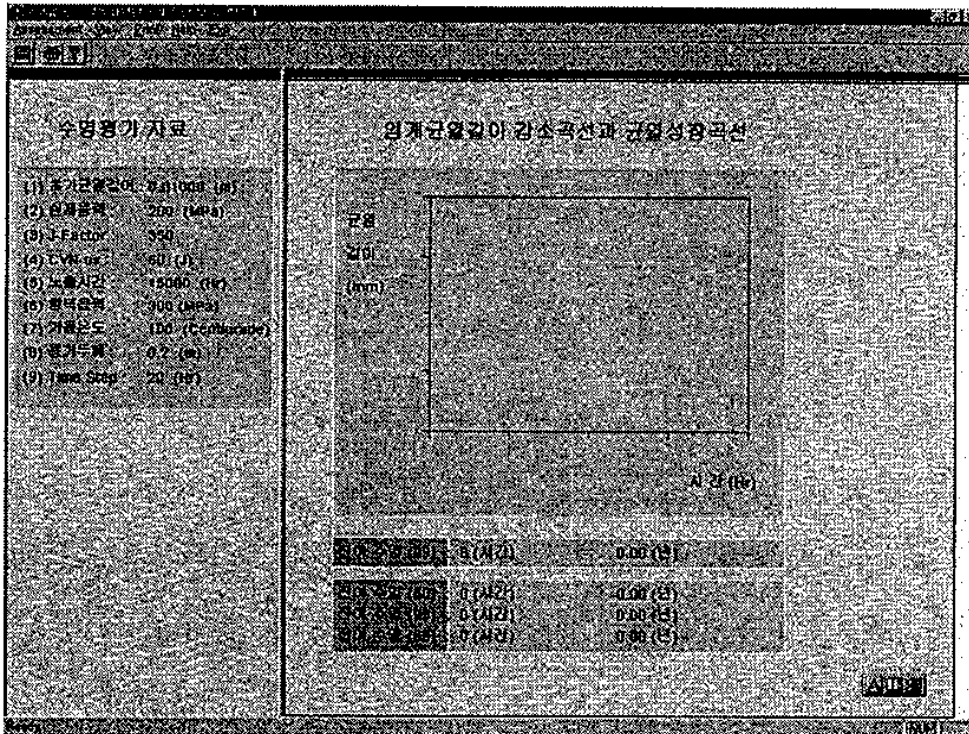


Fig. 5.3.18. Initial screen

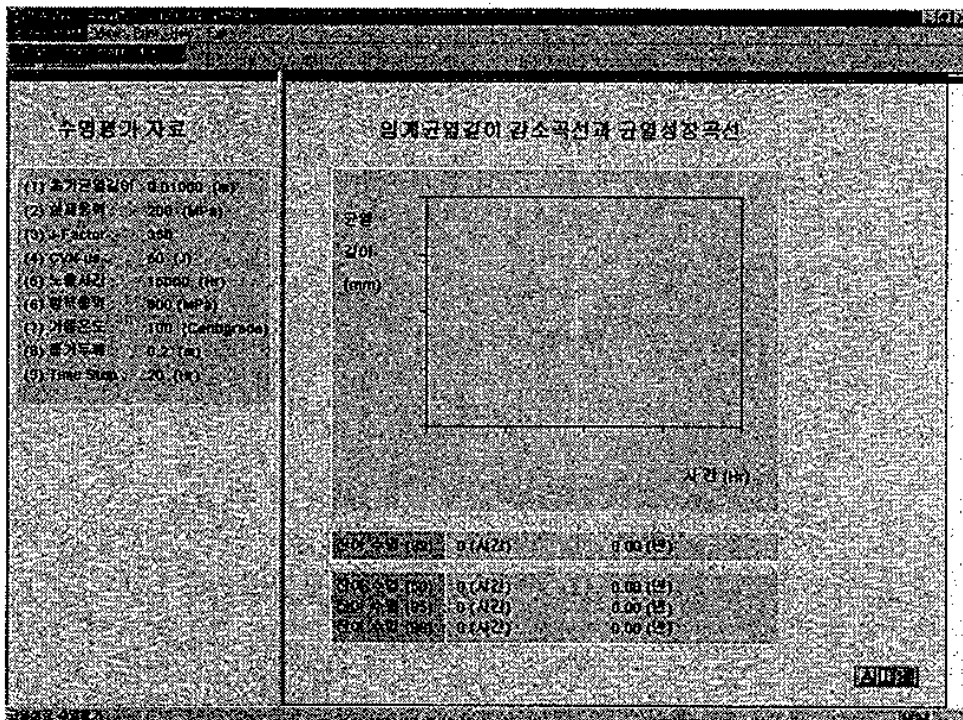


Fig. 5.3.19. "Assessment" menu for life assessment

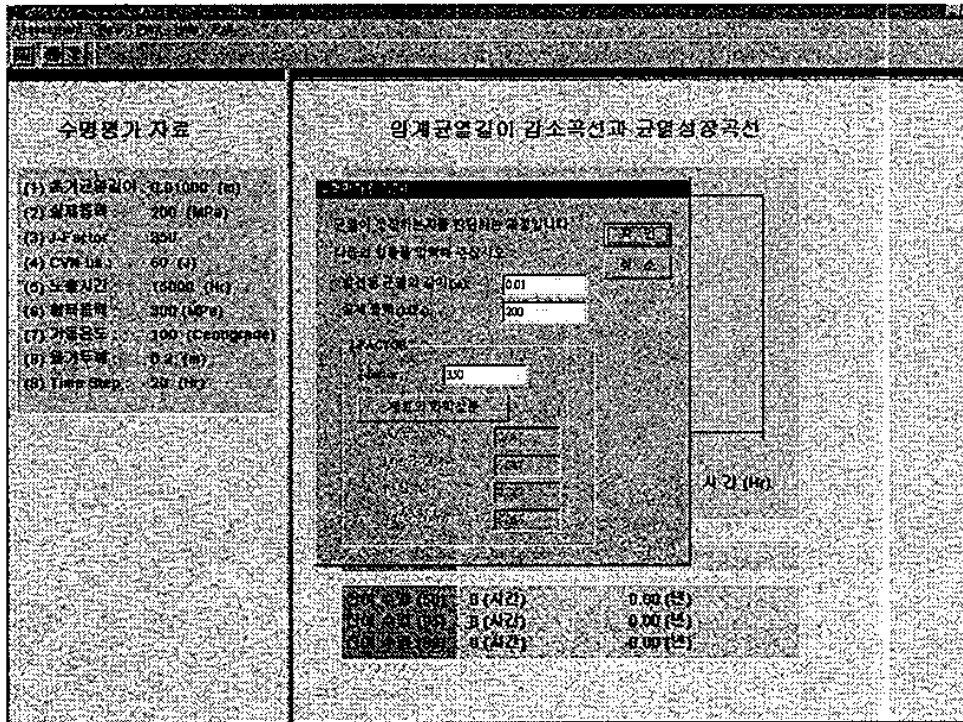


Fig. 5.3.20. Dialog box for first input data

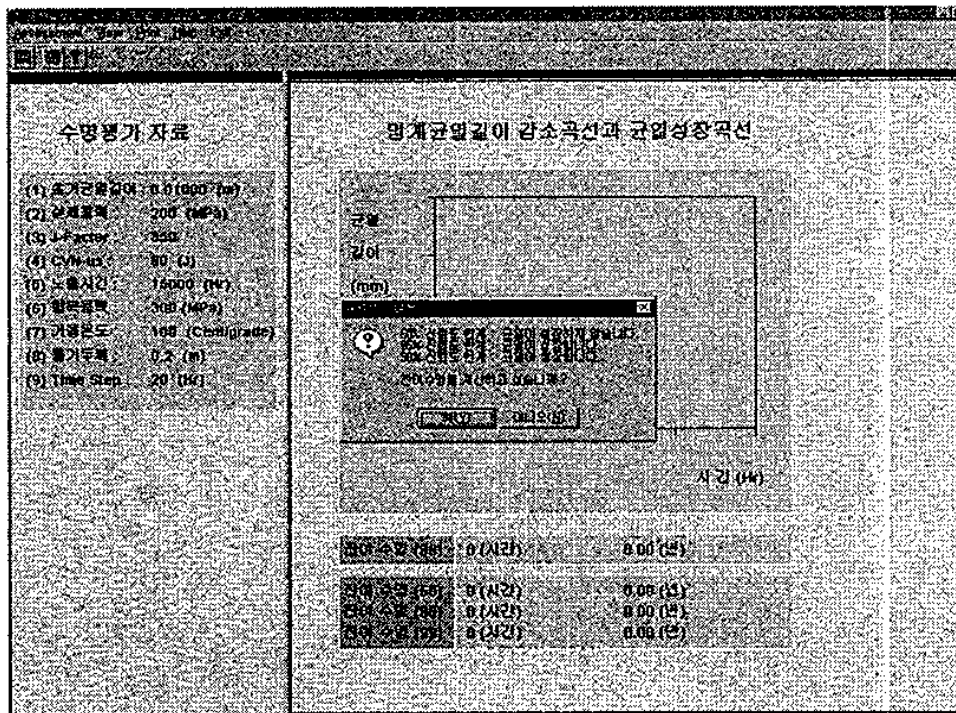


Fig. 5.3.21. Message box after computing the first input data

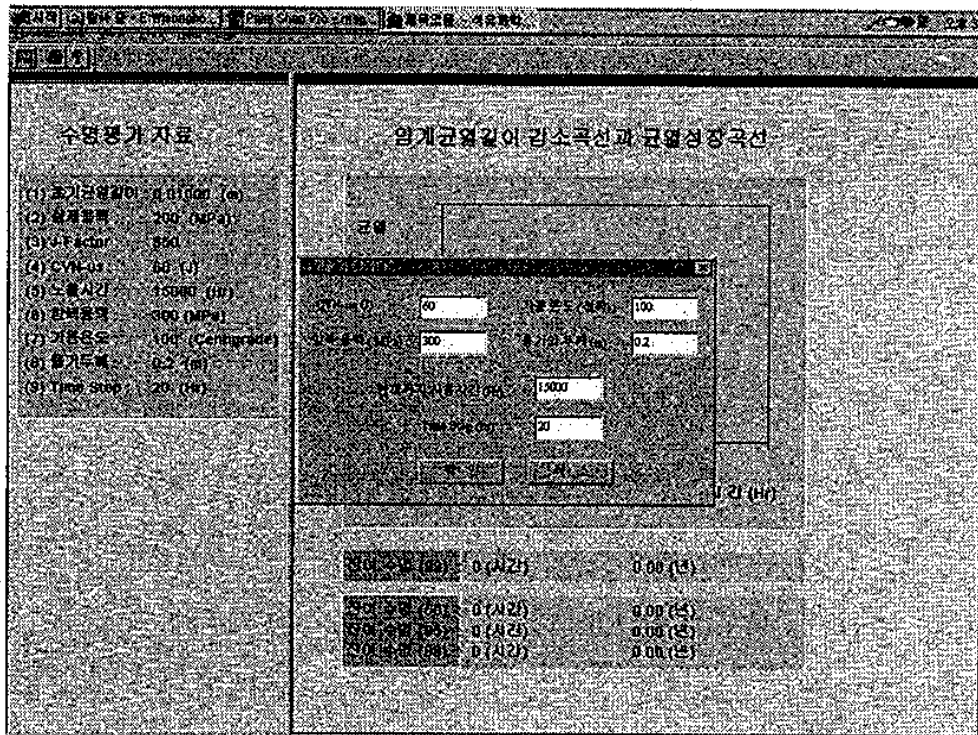


Fig. 5.3.22. Dialog box for second input data

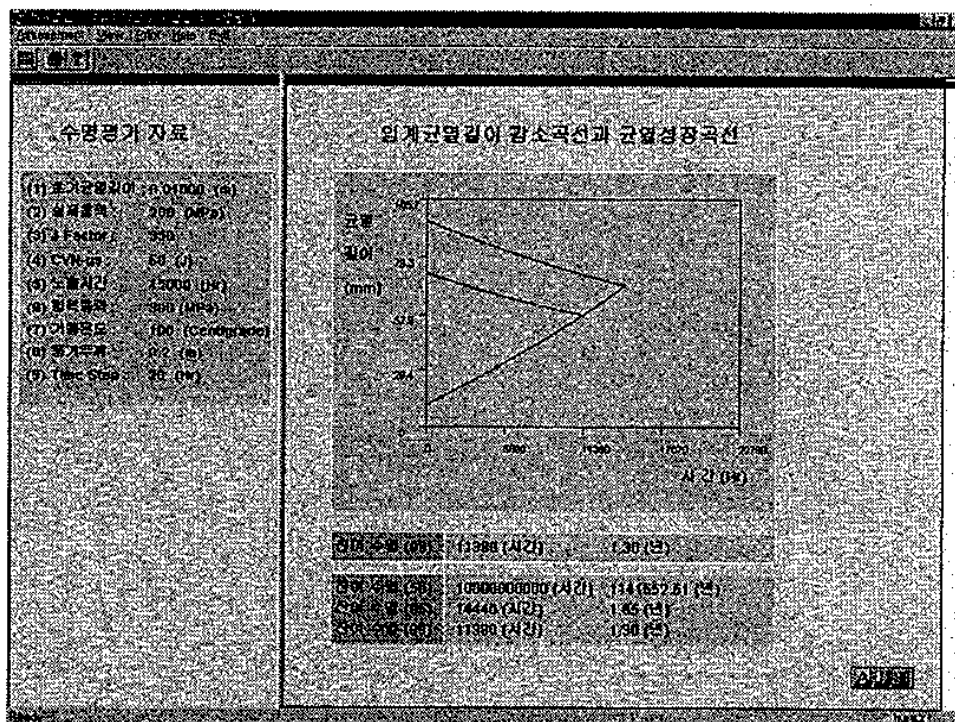


Fig. 5.3.23. Output of remaining life

제 4 절 향후 추진방향 및 개선점

1. 기존 고시와의 일관성 검토

가. 내압시험 관련

(1) 석유화학 반응기의 검사기준

4.4 내압시험

공인 압력용기 검사자가 압력시험의 필요성을 인정할 때, 또는 다소의 보수가 행해진 후 검사자가 압력시험의 필요성을 인정할 때(5.2.10 참조), 최대허용압력의 결정에 사용된 제작코드와 일치하는 압력 조건에서 시험을 해야 한다. 시험 중에 발생할 수 있는 취성과파괴의 위험성을 최소화하기 위해, 두께 50.1 mm 이상의 반응기는 적어도 최저설계온도인 17℃ 이상을 유지해야 하고, 두께 50.1 mm 이하의 반응기는 6℃ 이상의 온도를 유지해야 한다. 시험하한온도의 기준이 없거나, 반응기 재질의 취성에 대한 자료가 없다면 시험 온도를 50℃ 이상 초과할 필요는 없다 (3.2 참조).

기초지반, 내화라이닝, 반응공정상의 이유 등에 의해 수압시험의 실시가 불가능할 때는 공압시험을 실시한다. 그러나 이러한 시험을 실시하기 전에 공압시험에 따른 인적·물적 위험도가 고려되어야 한다. 최소한 ASME Code에 있는 안전예방조치들만큼은 어떠한 공압시험에도 적용해야만 한다. 장치에 대해 수압시험을 실시하기 전에는 지지구조물과 지반설계조건을 고려해야 한다.

(2) 고압가스 안전관리법 시행규칙 별표

[별표28] 특정설비의 검사기준

1. 압력용기 및 저장탱크

마. 내압시험

(1) 저장탱크 및 압력용기는 다음의 방법으로 실시함 내압시험에서 국부적인 팽창 또는 누출 등의 이상이 생기지 아니할 것

(가) 내압시험은 물을 사용하는 것을 원칙으로 하고, 사용하는 물의 온도는 그 저장탱크 또는 압력용기가 취성과파괴를 일으킬 우려가 없는 온도로 할 것

(나) 내압시험은 다음의 압력으로 실시할 것

- ① 설계압력이 210kg/cm^2 이하인 것은 설계압력의 1.5배의 압력, 설계압력이 210kg/cm^2 를 초과하는 것은 설계압력의 1.25배의 압력
- ② 주철체에 대해서는 설계압력이 1kg/cm^2 이하의 것은 2kg/cm^2 , 그 밖의 것은 설계압력의 2배의 압력
- ③ 내압시험압력에서 제품의 설계온도와 내압시험온도가 다를 경우에는 다음의 기준으로 보정할 것

$$P_a = P \frac{\sigma_n}{\sigma_a}$$

위 식에서

P_a : 온도 보정된 내압시험 압력(kg/cm^2)

P : ① 또는 ②로부터 계산된 내압시험압력(kg/cm^2)

σ_n : 내압시험을 할 때의 온도에 있어서의 재료의 허용인장응력(kg/cm^2)

σ_a : 설계온도에 있어서의 재료의 허용인장응력(kg/cm^2)

(2) 저장탱크 및 압력용기중 그 구조상 물을 사용하는 것이 적당하지 아니한 것은 다음의 방법에 따라 설계압력의 1.25배의 시험압력으로 공기·질소 등을 사용하여 실시한 내압시험에 합격한 것일 것

(가) 내압시험에 사용하는 기체의 온도는 그 저장탱크 및 압력용기가 취성과파괴를 일으킬 우려가 없는 온도로 할 것

(나) 기체를 사용하는 내압시험은 먼저 설계압력 2분의 1의 압력까지 압력을 올리고 그 후 설계압력의 10분의 1의 압력마다 단계적으로 압력을 올려 시험압력에 도달한 후 다시 설계압력까지 내린 경우에 국부적인 팽창 또는 누출 등의 이상이 없을 때에 이를 합격으로 할 것

(3) 초고압압력용기 및 초고압특정설비의 내압시험은 통상산업부장관이 정하여 고시하는 바에 의한다.

나. 검사주기 관련

(1) 석유화학 반응기의 검사기준

4.3 내부검사와 가동중 검사

내부검사주기나 가동중 검사주기는, 부식속도를 기초로 추정된 잔여 수명의 1/2, 또는 10년 중에서 주기가 짧은 것을 초과하지 않아야 한다. 안전하게 가동할 수 있는 잔여 수명이 4년 이하로 추정된 경우에는, 검사주기는 2년이 될 수도 있다.

불연속적인 운전을 하고, 부식환경에 노출되지 않도록 반응유체로부터 격리된 반응기(예를 들어 불활성기체로 채워지거나 비부식성 탄화수소로 채워진 반응기)는, 실제 운전노출 시간을 누적한 수명을 10년으로 한다. 부식환경으로부터 적절히 보호받지 못하는 장치는 정지하고 있는 동안에 심각한 부식이 발생할 수 있으므로, 검사주기를 결정할 때 주의해야 한다. 이때 지난 번 검사 이후로 추정된 부식속도에 근거한 잔여수명의 1/2, 또는 10년이 초과하는 경우는 없어야 한다. 불연속적인 운전을 하는 반응기의 외부검사는 4.2에 기술된 연속운전을 하는 반응기의 경우와 동일하다.

... 중 략 ...

외부하중, 재질결합, 가공결합 등의 문제가 있을 때에는, 그 상태에 적합하도록 검사주기를 적절히 조절해야 한다. 부식속도가 서로 다른 구역이 둘 이상인 대형 반응기에 대해서는 검사주기를 독립적으로 각 구역마다 달리할 수 있다. 반응기의 운전조건이 변경되면, 새로운 운전조건에 대한 최대운전압력, 최고운전온도, 다음 검사까지의 운전주기를 재조정해야 한다. 반응기의 소유권과 운전장소가 변경되면, 재가동하기 이전에 내부적·외부적으로 검사를 해야 하고, 허용운전조건과 차기검사주기를 결정해야 한다.

(2) 석유화학 반응기의 유지관리 지침

7.1 검사주기 결정인자

반응기의 검사주기는 몇 가지 요인이 좌우한다. 가장 중요한 요인은 열화의 속도와 잔여부식허용값(반응기 검사기술 기준 참조)이다.

부식 속도는 반응기 내 원유나 반응원료의 형태, 노출온도, 반응기재료 등에 따라 크게 달라진다. 이들 각각은 새 장치의 초기 검사주기를 결정하기 위해 개별적으로 평가해야 한다. 가동 중 검사나 내부검사에 의한 최초검사 이후에는 운전이력의 기록을 작성해야 한다. 이 운전이력에 기초하여, 반응기 검사기술 기준이나 법률조항에 따라 검사주기를 결정한다. 일반적으로 차기 검사까지의 간격은, 차기 검사 때에 최소한 부식여유의 반(1/2)이 남아 있도록 검사 주기를 결정해야 한다.

검사주기의 결정에는 해당 부위에서의 예기치않은 부식속도의 변화도 고려에 넣어야 한다.

보험상의 조항과 법률 조항도 반응기의 검사주기에 영향을 준다. 장치의 검사 및 유지관리의 책임자들은 해당 조항들을 잘 알고 있어야 한다. 반응기 검사기술 기준, NBBPVI NB-23, 법률조항 등의 해당 권장사항을 준수해야 한다.

공정의 변화가 예상될 때에는, 그 변화가 열화속도에 영향을 주는지 검토해야 한다. 열화속도의 변화가 예상될 때에는, 그에 따라 검사주기도 변경해야 한다.

반응기 외부의 육안검사는 주기적으로 해야 한다. 외부 육안검사는 운전정지하지 않고도 할 수 있고, 비교적 단기간에 끝낼 수 있다. 비연소형 반응기의 외부검사는 반응기 검사기술 기준에 따라 수명의 ¼되는 시점에서 실시해야 한다.

다. 고압가스 안전관리법 시행규칙 별표

[별표 22] 용기 및 특정설비의 재검사기간

법 제 17조 제2항 제1호의 규정에 의한 용기 및 특정설비의 재검사기간은 다음 각호와 같다.

1. 용기

용기의 재검사기간은 다음 표와 같다. 다만, 내용적 20ℓ 미만의 용접용기, 자동차용용기 및 접합 또는 납붙임용기는 재검사 대상에서 제외하고, 재검사기간 도래 당시 시험 또는 소화용으로 고정장치된 충전용기의 경우에는 충전된 그 고압가스를 모두 사용한 후에 재검사를 한다.

용기의 종류		재 검사 주 기		
		신규검사후 경과연수		
		15년미만	15년이상 20년미만	20년이상
용접용기	500ℓ 이상	5년마다	2년마다	1년마다
	500ℓ 미만	3년마다	2년마다	1년마다
이음매 없는 용기	500ℓ 이상	5년마다		
	500ℓ 미만	3년마다. 다만, 최초재검사는 4년		
용기부속품(내용적 125ℓ 이하의 용기 부속품을 제외한다)	용기에 부착되지 아니한 것	2년마다		
	용기에 부착된 것	검사후 2년을 경과하여 용기부속품을 부착한 당해 용기의 재검사를 받을 때마다		

비고

1. 재검사일은 제조후 경과연수가 15년미만인 것은 신규검사를 펼한 날부터, 제조후 경과연수가 15년이상인 것은 신규검사를 펼한 후 15년이 경과된 날부터 산정한다.
2. 제조후 경과연수가 15년미만인 500ℓ 미만의 용기로서 통산산업부장관이 정하여 고시하는 것은 재검사기간을 그 고시에서 정하는 기간으로 한다.

2. 특정설비

특정설비의 재검사기간은 다음 표와 같다. 다만, 초저온저장탱크, 평저형저온저장탱크, 역화방지장치, 독성가스배관용밸브, 자동차용가스자동주입기, 저장탱크 또는 차량에 고정된 탱크에 부착되지 아니한 안전밸브 및 긴급차단밸브, 냉동설비로 쓰이는 특정설비 및 압력용기 중 통산산업부장관이 정하여 고시하는 것은 재검사대상에서 제외한다.

특정설비 종류	재 검사 주 기		
	제 조 후 경 과 연 수		
	15년미만	15년이상 20년미만	20년이상
차량에 고정된 탱크	5년마다	2년마다	1년마다
저 장 탱 크	5년마다. 다만, 재검사에 불합격되어 수리한 것은 3년마다, 다른 장소로 이동하여 설치한 저장탱크(액화석유가스의 안전및사업관리법 시행규칙 제2조 제1항 제3호에 의한 소형저장탱크를 제외한다)는 이동하여 설치한 때마다		
안전밸브 및 긴급차단장 치	검사후 2년을 경과하여 당해 안전밸브 또는 긴급차단밸브가 설치된 저장탱크 또는 차량에 고정된 탱크의 재검사시마다		

다. 검사기관 관련

(1) 석유화학 반응기의 검사기준

1.2.3 공인 압력용기 검사자란 본 검사 규격 하에서 완벽한 검사를 수행하도록 자격이 주어지고 보증된 공인검사기관에 고용된 검사자이다.

1.2.4 다음 중 한 개 이상에 해당되는 기관은 공인검사기관이 될 수 있다.

- (1) 사용 반응기에 대한 사법적 검사단체.
- (2) 반응기 보험 가입을 받을 수 있도록 허가받은, 보험회사에 등록된 검사기관.
- (3) 반응기 소유자 또는 사용자의 검사기관으로서, 판매나 재판매를 의도하지 않고 자신의 기기만을 유지관리하는 검사단체.
- (4) 소유자, 또는 사용자와 계약 기관으로, 반응기 검사에 대해 사법적으로 인정받았거나, 금지되지 않은 독립단체 또는 개인단체.

(2) 고압가스 안전관리법 시행규칙 별표

검사기관 구분	검사분야	지 정 기 준		
		요 건	기술인력	장 비
전문검사기관	특정설비 재검사	통산부장관이 정하는 규모 이상의 자산 보유	6명 이상	27점
	용기 재검사		3명 이상	10점
공인검사기관	냉동기 검사	법령에 의해 설립된, 관련업무 수행자 또는 안전점검 업무를행할 능력이 있는 자	4명 이상	20점
	가스용품 검사		4명 이상	20점
	가스사용시설 정기검사		2명 이상	5점

2. 국내 가스 기술 기준으로의 제정 추진

본 연구에 의해 제시된 검사기준 및 유지보수 지침의 초안은 현재 국내정부 규제기관에서 추진중인 가스기술기준, KOGIC (Korea Gas Industry Code)의 일부로 제정하여 국가 기술기준으로 추진중에 있다. 즉, 본 연구로 작성한 반응기 검사코드를 시작으로 향후 석유화학/정유 산업의 안전과 관련한 검사기준을 KOGIC의 일부로 제정할 계획이다. KOGIC은 관련분야의 안전성확보를 위한 일련의 기술요건을 규정한 것으로서 정부, 전문기관 및 업체가 관련업계의 기술자립과 업체의 자율안전관리체제 확립을 목적으로 공동 제정·운영하는 기준이다. 향후, 관계법령(법, 시행령, 시행규칙)에서는 주로 정책적 사항 및 행정적 절차만을 규정하고, 기술적인 것은 기술기준 및 지침에 정하게 되므로, 관련 업계에서는 검사기준을 활용하여 선택적으로 검사기술을 현장에 적용하여 설비의 파손방지를 도모하고, 사용 안전성을 높일 수 있다.

이와 같은 반응기 검사기준의 주요기능은 석유화학업계의 검사기술 표준화를 촉진하며, 선진기술의 국내이전을 촉진하게 되고, 공통된 검사 기법의 적용으로 업계간 기술력을 기초로 한 대화를 촉진할 수 있으며, 정부의인·허가 및 기술검토 등 문서승인시간을 단축할 수 있고, 업계의 설비운용 신뢰성을 증대시킬 수 있다. 또한, 국내 고유 코드의 제정으로, OECD가입 및 WTO 체제출범에 따른 국내시장개방에 따른 영향으로부터, 국내업체를 보호·육성할 수 있다.

본 연구 결과 외에 향후 국내의 석유화학 및 정유관련 업계에서 검사기준이 필요한 분야 및 관련 미국 API의 검사 기준은 다음과 같다. 이중 산업계의 요구가 높고, 기준제정이 시급한 반응기의 기준제정을 우선 추진하고, 이의 결과에 따라 향후 다른 분야의 코드 제정 추진여부를 고려할 것이다.

- 압력용기 검사 코드 (Pressure Vessel Inspection)
 관련 : API 510, API RP 572
- 배관 요소 검사 코드 (Piping Components Inspection)
 관련 : API 570, API 574
- 저장 탱크 검사 코드 (Tank Inspection)
 관련 : API 653, API 620
- 압력방출기 검사 코드 (Pressure Relieving Device Inspection)
 관련 : API RP 579
- 가열기 검사 코드 (Heater Inspection)
 관련 : API RP 573, API RP 530

참고문헌

- [1] 최중술 외 공역, "금속강도학", 회중당, pp. 344
- [2] R. Viswanathan, 「DAMAGE MECHANISM and LIFE ASSESSMENT of HIGH-TEMPERATURE COMPONENTS」, pp. 43-53
- [3] Tadao Iwadate, Yasuhiko Tanaka and Hiroyuki Takemata, Prediction of Fracture Toughness K_{IC} Transition Curves of Pressure
- [4] Tadao Iwadate, Pressurization Temperature of Pressure Vessels Made of Cr-Mo Steels, PVP-Vol. 288, ASME 1994, pp155-163
- [5] Tadao Iwadate, Life Prediction Methodology of High-Temperature Pressure Reactors Made of Cr-Mo Steels, Microstructure and Mechanical Properties of Aging Material, The Minerals, Metals & Materials Society, 1993
- [6] T. Iwadate, M. Prager, M. J. Humphries Reliability of New And Older Cr-Mo Steels for Hydrogen Processing Vessels, Proceedings of the 1990 Pressure Vessels and Piping Conference PVP-Vol. 201/MPC Vol. 31. New Alloys for Pressure Vessels and Piping, ASME, June 1990, pp.29-47
- [7] James M. Gere & Stephen P. Timoshenko, Mechanics of Materials, Third edition pp.326-332
- [8] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec. V, Nondestructive Examination
- [9] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec. VI, Recommended Rules for Care and Operation of Heating Boilers
- [10] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec. VII, Recommended

Guidelines for Care of Power Boilers

- [11] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec. VIII, Pressure Vessels, Division 1 and 2
- [12] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec. IX, Welding and Brazing Qualifications
- [13] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec. XI, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components
- [14] API 510, Pressure Vessel Inspection Code
- [15] API RP 571, Conditions Causing Deterioration or Failure
- [16] API RP 572, Inspection of Pressure Vessels
- [17] API RP 574, Inspection of Piping, Tubing, Valves and Fittings
- [18] API RP 575, Inspection of Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks
- [19] API RP 576, Inspection of Pressure-Relieving Devices
- [20] API Std 660, Shell-and-Tube Heat Exchangers for General Refinery Service
- [21] API Publ 920, Prevention of Brittle Fracture of Pressure Vessels
- [22] API Publ 945, Avoiding Environmental Cracking in Amine Units
- [23] API Publ 2007, Safe Maintenance Practices in Refineries
- [24] API Publ 2214, Spark Ignition Properties of Hand Tools
- [25] API Publ 2217, Guidelines for Work in Confined Spaces in the Petroleum Industry
- [26] API Publ 2217A, Guidelines for Work in Inert Confined Spaces in the Petroleum Industry
- [27] National Board Inspection Code

- [28] TEMA, Manufacturer's Association
- [29] Cr-Mo강 Reactor 결함의 안전성 평가기술 개발, 한국가스안전공사, 기술보고서, 1996. 10
- [30] 미국 안전기준 실태조사 보고서, 한국가스안전공사, 1997. 6.
- [31] 특정설비 업무 개론, 한국가스안전공사, 1997. 12.
- [32] 가스관계 법령집, 한국가스안전공사, 1996. 4.
- [33] 가스관련 고시집, 한국가스안전공사, 1996. 12.

제 6 장 기반기술 개발

제 1 절 서론

국가의 기반시설물로 사용되고 있는 산업설비 및 건설 구조물등을 유지 관리하거나 안전관리를 할 때 구조물이 대형화 되고 복잡해지면 종래의 검사방법이나 점검하는 단계로서는 접근하지 못하거나 어렵게 되는 경우가 많은 것으로 보고되고 있다. 즉 기술적인 데이터를 활용하지 않으면 인간의 육감에 의해 판단하는데 한계가 있음을 나타낸다.

본 6장에서 방재기반기술개발은 주로 시설물을 대상으로하였으며 기존의 안전관리기술을 보다 체계화/실용화 하기위한 기술개발과 아직도 기술부족으로 인해 고급 안전관리기술이 사용되지 못하는 면을 보충해주는 기술영역, 그리고 미래 방재기술의 원천기술을 개발하는데 역점을 두었다. 구체적인 기술분야로는 시설물의 정적·동적 상태를 측정하는 상태감시기술, 철근 및 콘크리트 구조물의 비파괴평가등을 하는 정밀진단기술, 그리고 산업설비 구조물의 수명평가기술로 구성되어 있다.

기반기술개발은 표준과학연구원 방재기술연구센터의 자체수행과제와 외부 위탁수행과제로 이루어졌으며 그 내역은 아래와 같다.

표 6-1. 자체 수행 과제

기술분야	과 제 명
상태감시	<ul style="list-style-type: none"> • 광섬유를 이용한 다채널 센서 신호처리기술개발 • 콘크리트 수분측정장치 개발 • 구조물의 공진피로 및 내구성 측정기술 개발 • 시설물 계측시스템 체계화를 위한 전송망시스템 개발
정밀진단	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 강도/결함 및 철근 탐지를 위한 비파괴 시험법 개발 • 철강의 강도예측을 위한 비파괴 평가기술 개발 • 시각 시스템을 이용한 구조물의 표면결함탐상 연구 • 마이크로 영상화를 이용한 비파괴 측정기술 개발
수명평가	<ul style="list-style-type: none"> • 전기저항법을 이용한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발 • 극저온 구조재료의 역학적 특성 연구 • 콘크리트 철근부식의 현장측정기술 연구

표 6-2. 위탁 수행 과제

기술분야	과 제 명
상태감시	<ul style="list-style-type: none"> • 광강도 형태의 광섬유센서를 이용한 강구조물의 균열 모니터링 • 광산안전감시 및 인명위치 탐지기술 타당성 연구 • 휴대형 진동신호(변위,속도,가속도)분석기 개발 • 금강철교 상시계측 데이터 해석 및 구조연구
정밀진단	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 구조물의 노화도평가를 위한 기포분포상태 측정기술개발 • 강교량의 취약부선정을 위한 해석프로그램 개발 • 강교량부재의 균열진전과정 해석프로그램 개발 • 초음파 및 음향방출을 이용한 콘크리트부재의 균열검출에 관한 연구 • 강구조물의 용접결함에 대한 지능형 초음파 신호분류기술 개발
수명평가	<ul style="list-style-type: none"> • TiAIN으로 세라믹 코팅된 터빈로터강의 고온피로강도에 관한 연구 • 파단면 프랙탈 해석에 의한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발 • 계면균열 선단에서의 구속상태에 관한 연구 • Small Punch시험에 의한 고온설비부재의 경년손상 평가 • 후방산란 초음파를 이요한 재료의 열화손상 평가 • 황화물 환경에서의 오스테나이트 스테인레스강의 용접부 응력부식 균열에 관한 연구

표 6-1, 2 의 과제내용은 별책으로 인쇄하고 본 보고서에서는 제 2 절부터 간단한 요약문만을 수록하였다.

제 2 절 광섬유를 이용한 다채널 센서 신호처리기술 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

교량이나 건물 등의 대형 구조물이 노후화하게 되면 광범위한 결함이 발생하게 되므로 구조물을 검사하고 보수해야 한다. 광범위한 결함은 초기의 불량설계, 설계방법이나 하중조건에 따른 재료와 시공상의 문제로 발생하게 된다. 이러한 문제점은 연속적으로 발생하므로 단기간의 보수로는 그러한 문제점을 해결할 수 없는 경우가 많다. 따라서 실시간으로 구조물의 상태를 모니터링하는 방법이 필요하게 되었다. 교량이나 건물 등과 같은 대형 구조물을 적절하게 모니터링하기 위해서는 구조물에 광범위하게 배열될 수 있는 센서가 필요하다. 광섬유 센서 시스템은 이렇게 광범위하게 분산되어 구조물에 삽입(embedding)하거나 부착하여 사용할 수 있어서 대형 구조물의 안전을 모니터링하기 위한 센서로 적합하다. 광섬유 센서는 여러 형태가 있으나 변형률과 파손을 측정하기에 적합한 광섬유 간섭 센서를 많이 사용한다. 광간섭 방식에 의한 광섬유 센서는 전자기파의 영향을 받지 않으며 센서 배열을 구성하여 구조물의 여러 장소에서 원하는 물리량을 동시에 감지할 수 있는 특성 등을 갖고 있기 때문에 구조물의 변형과 파손에 따른 신호를 취득하는 센서로 적합하다. 또한 광섬유 센서 한 개로 부터 여러 정보를 동시에 획득할 수 있다. 이러한 광섬유 간섭 센서는 단일모드의 빛을 이용하게 되며 외부로 부터의 변형이 광경로를 변화시켜 광위상차 변화를 발생하게 되고 이 량을 검출하여 변형량을 측정하는 센서이다. 따라서 이 센서는 매우 민감하여 구조물의 변형 및 파손을 검출할 수 있게 되는 것이다. 그러나 광섬유 간섭 센서의 신호는 변형률 변화의 증감에 대하여 정현파 형태로 출력되므로 변형의 방향을 구별하기 어려운 단점을 갖고 있다.

수동변조 되풀이 광섬유 간섭 센서는 이와같은 변형의 방향을 구별하기 어려운 단점을 해결하기 위하여 제시된 방법으로 2개의 광섬유 신호를 취득하게 되는데 두 신호는 일정하게 위상이동(phase shift)량을 갖고 있어서 이 두 신호의 선후(lead-lag)를 판별함에 의하여 구조물의 변형의 방향을 판별할 수 있게 만든 센서 구성 방법이다.

본 연구에서는 3x3 광섬유 마이켈슨 센서를 사용하면서 신호에 나타나는 신호 맥놀이 및 표류 현상을 극복하고 구조물의 변형률을 구해낼 수 있는 디지털 신호처리 방법을 연구하고 DSP 칩을 사용하여 실시간 시스템을 구현하였으며 알루미늄 외팔보에 광섬유 센서를 부착하여 실시간 작동 시험을 수행하였다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

수동변조 되풀이 광섬유 간섭 센서의 신호처리 알고리즘을 구성하기 위하여 LabVIEW환경하에서 신호처리 프로그램을 수행하고 다양한 광섬유 신호에 대하여 변형률을 계산하기 위한 신호처리의 유효성을 검증하였다. 그 후 DSP 칩을 사용하여 광섬유 센서 신호로부터 변형률을 실시간으로 처리하는 실시간 처리 시스템을 구성하였다. 또한 3x3 광섬유 연계기를 사용하는 광섬유 마이켈슨 센서를 구성하고 외팔보 형태의 알루미늄보에 부착하여 실험하였다. 이 실험을 통하여 구성된 수동변조 되풀이 광섬유 간섭 센서 시스템으로부터 신호를 취득하고 변형률 값과 방향을 실시간으로 측정하는 것이 가능함을 확인하였다. 본 연구의 범위는 다음과 같다.

- 수동변조되풀이 3x3 광섬유 마이켈슨 센서의 원리 이해 및 신호특성 파악
- 3x3 광섬유 마이켈슨 센서의 구성 및 변형률 감지도의 확인
- 광섬유 신호처리 알고리즘의 구성

- 다양한 광섬유 신호에 대한 신호처리 알고리즘의 성능 확인
- DSP 칩을 사용한 실시간 신호처리 시스템의 구현
- 3×3 광섬유 센서의 알루미늄 외팔보 적용에 의한 실시간 신호처리의 검증

3. 연구개발결과

대형 구조물의 구조 안전성을 감지하기 위한 센서로 3x3 수동변조 되풀이 광섬유 센서를 구성하고 구조 변형률을 결정하기 위한 디지털 신호 처리 방법을 개발하였다. 개발된 신호처리 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 광섬유 마이켈슨 센서의 여러 신호에 대하여 모사신호처리를 수행하였다. 또한 실시간 신호처리를 위하여 DSP 칩을 사용하여 구현하였다. 알루미늄 외팔보의 표면에 광섬유 마이켈슨 센서를 부착하여 실시간 신호처리의 유효성을 확인하였다. 이러한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 3×3 수동변조 되풀이 광섬유 마이켈슨 간섭 센서를 구성하고 변형률과 광섬유 위상차관계를 규정짓는 게이지 상수를 실험적으로 결정하였다.
- 수동변조 되풀이 광섬유 센서 신호로부터 구조물의 변형률을 결정하기 위한 디지털 신호처리 방법을 새롭게 개발하여 광섬유 마이켈슨 센서 신호에 나타나는 신호 잡음, 신호 맥놀이, 신호 표류에 무관하게 구조물의 변형률 값 및 방향을 결정할 수 있음을 확인하였다.
- DSP 칩을 사용하여 실시간 신호처리 시스템을 구현하였다.
- 3×3 수동변조 되풀이 광섬유 마이켈슨 간섭 센서의 신호를 실시간으로 취득하고 변형률을 계산하는 디지털 신호처리 알고리즘을 시험하였는데 구조 변형률의 값과 방향을 잘 검출함을 알 수 있었다.

4. 연구개발결과의 활용계획

본 연구를 통하여 개발된 수동변조되풀이 3x3 광섬유 마이켈슨 센서는 대형 구조물의 표면 부착용 센서로 직접 응용가능하다. 특히 전자기적 영향이 커서 전기적인 방법으로 계측이 곤란한 환경의 구조물의 계측에 적합하다. 따라서 향후 본 센서 시스템은 대형 구조물의 계측에 적용하기에 용이하도록 세부적인 부분을 보완하여 강 구조물 및 콘크리트 구조물의 변형을 계측 연구에 활용할 예정이다. 먼저 차년도에는 콘크리트 구조물의 내부 변형을 측정하기 위한 연구를 수행하면서 매설용 센서 탐촉자를 동시에 개발하여 내부 변형을 측정 연구를 수행하고자 한다. 또한 상용화를 희망하는 업체가 있으면 기술을 이전할 예정이다.

제 3 절 콘크리트 수분측정장치 개발

1. 연구개발 목적 및 필요성

건축구조물의 구성에서 가장 중요하면서도 그 중요성이 인정받지 못하고 있는 것들중의 하나가 레미콘을 만들때에 첨가해야할 물의 양이다. 미국 ASTM규격 (CS94-90 "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete")에는 첨가되는 물의 정의를 첨가수 이외에도 자갈 등의 표면에 있는 물, 혼합물의 형태로의 물, 포함되어 있는 얼음 등을 모두 망라한 것을 뜻하는 것으로 정의하고 있으며 첨가수의 경우 1%의 정확도로 무게를 측정해야 하며 레미콘 세척에 사용된 물까지 포함한 전체물의 양은 전체량의 $\pm 3\%$ 이내에 들어와야함을 강조하고 있다. 이러한 규격에 따르지 못하는 경우에는 적정 강도 및 내구연한등에서 부족하게 되며 안전도에 까지 영향을 주는 경우도 있을 수 있다. 일반적으로 사용되고 있는 휴대용 수분계의 경우 표본조사에 그치고 그나마 신뢰성이 부족한 경우가 태반이다. 그러나 레미콘 현장의 경우에는 대량의 건축재료 거의 전량에 대한 수분측정을 필요로 할 때가 많다. 이러한 경우에 적용될 수 있는 것은 비파괴적이고 연속적으로 수분을 측정할 수 있는 시스템이며 마이크로파 수분계가 좋은 후보자가 된다. 마이크로파 수분계는 물의 높은 유전적 성질을 이용하는 것으로 다양한 시스템, 구조물, 환경 등에 적절한 장치이다. 기존 건축물의 경우 수분의 침투 및 이동은 침전물을 건축구조물내에 남겨두고 벗어나게 됨에 따라 물리화학적 성질을 변경시키는 역할도 담당하고 있다 그에 따라 기존 건축물의 수분 monitoring은 구조물의 특성변화를 알고자 하는 경우에도 크게 도움이 될 수 있다. 그러나 마이크로파 수분측정은 그 필요성에도 불구하고 많이 보급되지 못하고 있으며 이는 고가의 부품들이 사용되기 때문이다. 마이크로

과 수분계의 국산화는 수요처에서의 활용도 제고 뿐만 아니라 국내 마이크로 부품관련 업체들의 활성화에도 큰 몫을 담당할 것으로 보여진다.

국내에서 마이크로과 수분계 연구에 관심을 갖고 있는 연구팀들이 간혹 있으나 전문성의 부족, 장비의 미확보, 관련분야의 일관성 있는 연구 구성원의 부족등으로 말미암아 진행이 잘 이루어지지 않아왔으나 KRISS에서는 사전연구 경험 및 관련분야의 전문성 등을 골고루 갖추고 있으므로 연구수행의 한 몫을 담당할 수 있을 것이다.

수분측정장비의 필요성 대두, 사회적 요구의 증가, 관련산업의 관심도 고조, 전문인력의 확보 등의 측면에서 볼때에 이와 같은 분야의 연구, 개발은 아주 필요하다고 볼 수 있다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

- 1) 마이크로웨이브 브릿지 회로의 구성으로 각종 물질의 수분에 따른 유전 특성 조사
 - null 방식에 의거 관심물질의 유전적 특성에 따른 ΔA 및 $\Delta \theta$ 를 측정
 - multi-wavelength 위상변화시 총 위상변화 측정 절차
 - attenuator와 phase shifter를 자동으로 콘트롤하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어
 - nulling algorithm
 - 모래에서의 수분특성 연구
 - 온도의존성 실험
- 2) 각종 물질의 절대수분 측정을 위한 규격 조사 및 시편준비
 - 콘크리트 및 모르타르 등의 건축재료의 진공건조 전건법에 의한 절대 수분측정 절차의 확립 및 관련장비의 설계 제작
 - 콘크리트, 모르타르용 시편제작 기구제작 및 절차 준비

3) 연속수분측정 시스템의 설계 및 제작

- 위상측정 전용회로 구성, 제작 및 성능평가
- 콘트롤용 마이크로 프로세서 설계, 제작 및 성능평가
- 다중신호 접속을 위한 스위칭 회로 구성
- 기준 감쇄기 및 위상 변화기를 이요한 시스템 성능평가

3. 연구개발 결과

실험실용 투과형 및 반사형 마이크로파 수분계를 구성하여 물질의 유전특성에 따른 조사를 실시하였다. 사용된 마이크로파 파워는 대략 0.1 ~ 1 dBm 로써 시편에의 영향은 거의 주지 않는 범위에서 행하였다. 투과형의 경우 많은 데이터를 집중적으로 내기 어려운 실정이었다. 주된 원인은 마이크로 측정중 일부과정과 질량측정이 반드시 수동적으로 이루어져야 하였으며 다량의 시편준비가 쉽지않았다. 반사형의 경우 위상신호는 반사판과 샘플 간의 거리에 따른 phase 변화가 심하였다. 마이크로파 Bridge 회로에 의한 측정 절차는 절대 수분측정과 비교되었다. 콘크리트와 몰타르의 경우 1cm에서 8cm까지, 여러 두께의 시편을 만들었으며 실험 목적으로 모두 1년 이상 경화 시킨 것들이다. 이들내부의 수분을 절대수분측정법을 이용하여 얻었으며 수행을 위해 진공건조장치를 제작하여 성능시험을 완료하였다. Phase sensitive 측정을 연속적으로 하기위한 회로를 구성하였다. 이의 구동을 위한 마이크로프로세서 회로구성 및 기준 감쇄기 및 위상변화기를 사용하여 전체적인 성능평가를 한 결과 감쇄가 0 ~ 25 dB되는 범위내에서 위상변화를 약 $\pm 10^\circ$ 의 정확도로 측정할 수 있었다. 이는 수분변화로 환산하면 $\pm 0.5\%mc$ 에 해당한다.

4. 연구개발결과의 활용계획

- 마이크로파의 기타 주파수대역을 이용한 수분측정기술의 개발
- 비파파 측정기술
- 마이크로파 부품가공기술

제 4 절 구조물의 공진피로 및 내구성 측정기술 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

- 국외 공진 피로 및 수명 예측 기술 연구 사례 조사
- 대형 구조물의 32 채널 저주파 진동 모우드 측정 장치 개발
(1단계 완성)
- 대형 구조물의 동적 거동 재현 및 모우드 해석 S/W 구축

2. 연구개발의 내용 및 범위

당해 연도는 공진 피로 관련 국외 연구 사례 조사를 통하여 국가 기간 시설인 대형 구조물들의 동적 부하 상태에 대한 동적 내구성 평가 및 피로 해석에 수반되는 측정 장치 및 해석 시스템 구축에 주된 연구 내용을 수행하였다. 수행된 연구 내용은 아래 3 가지로 요약되며, 내용별 범위는 다음과 같다.

- (1) 국외 공진 피로 관련 연구 조사 및 방재 연구 분야에서의 활용도 및 타당성 검토: '92년부터 '95년까지 수행된 EC ESPRIT Project 2486 ("DYNAMO"라 명명) 연구 보고서들과 "DYNAMO" 과제 참여 연구원들의 자문을 통하여 공진 피로 수명 예측의 실험적 접근 방법들의 체계화와 이들 기술들에 대한 방재 연구 분야에서의 활용도 및 타당성 검토 완료
- (2) 대형 구조물의 동적 부하 조건과 동적 거동 측정 장치 개발과 측정 진동 신호를 분석하기 위한 S/W 및 H/W의 구축: 고 정밀 저주파 진동 측정용 가속도 센서 단 개발, 장거리 고 정밀 진동 신호 전송 단, 대형 구조물의 거시적 동적 거동의 재현을 위한 다 채널 저주파 진동 측

정 장치, 실 시간 디지털 신호 수집 및 기록 장치 구축 완료.

- (3) 동적 부하 조건에서 전체 구조물의 동적 거동 재현(Dynamical motion annimation), 전체 구조물의 동적 거동을 구성하는 구조물의 공진 모드들의 분리, 그리고 각 모드에 따른 피로 수명 및 내구성 해석에 필요한 통합 S/W의 구축: 다채널 진동 신호를 이용한 실시간 재현(Real-time Annimation), 모드 해석, 그리고 동적 피로 해석 S/W들의 통합화를 구축.

3. 연구개발 결과

당해 연도 초기에 유럽의 항공기 및 군수 시설 관련 연구 분야에서 새로이 제기되고 있는 동적 부하 조건에 따른 구조물의 공진과 수명 예측 연구 결과를 조사 하였다. 이러한 사전 연구 조사에서 수집된 결과와 연구 참여자들의 개인적 접촉과 자문들 통하여, 국가 기반 시설을 이루는 대형 철골 구조물의 피로 및 내구성 예측에 활용하기 위한 구체적 방안을 구축하는데 연구 방향의 초점을 두고 당해연도 과제를 수행하였다. 이러한 시도에서 얻은 주요 결과는 아래와 같이 요약된다.

- (1) 국외 공진 피로 관련 연구 조사 및 이들 기술의 방재 연구 분야에서의 활용 방안 모색: '92년부터 '95년까지 수행된 지난 4년간의 EC ESPRIT Project 2486 ("DYNAMO"라 명명) 관련 연구 보고서들에서 제시된 공진 피로 수명 예측의 실험적 접근 방법들에 대한 체계화와 더불어 현재 진행 중인 방재 연구 분야에서 이들 신 기술들의 활용 방안을 구체화 하였다. 대형 구조물의 피로 수명 예측과 내구성 평가를 위하여는 구조물이 받는 동적 부하 조건에 따른 대형 구조물의 전체 거동을 측정하기 위한 다채널 저주파 진동 측정 장치 구축이 가장 절실히 요구되었으며, 그리고 측정된 진동 신호를 이용한 전체 구조물의 거

동 가시화 기술, 동적 거동을 구성하는 구조물의 공진 모드 분리 기술, 그리고 이들 공진 모드들의 피로 및 내구성에 대한 상대적 기여도 해석 기술의 구축 필요성을 확인하였다. 따라서, 상기 관련 기술의 통합화된 방안을 최소 비용에 따른 효율적 구축을 도모하기 위하여 "DYNAMO" 연구에 주도적 역할을 수행하고 있는 국외 연구자들과 기술적 자문을 얻어 다음과 같이 이원화된 접근 방안을 수행하였다. 첫째, 대형 구조물의 전체 진동을 측정하기 위한 장치 개발, 즉, 2.5 km 까지 전송 가능한 저주파 진동 측정 단과 원거리 신호 전송 단, 그리고 이들 단위 채널로 구성된 32 채널의 시스템화를 위한 실험 장치 개발을 수행하였다. 둘째, 현재까지 개발된 피로 수명 및 내구성 평가 기술들을 단일 Project-based Database하에서 통합화된 접근 방안, 즉, 진동 신호 수집에서 최종 분석 및 평가까지를 동일한 데이터 베이스에서 수행할 수 있는 통합 S/W 구축을 수행하였다. 이러한 시도에서 얻은 주요 결과는 다음 열거된 바와 같다.

(2) 대형 구조물의 동적 부하 조건과 동적 거동 측정 장치 개발: 본 개발의 내용은 대형 구조물 거동의 주된 성분인 저주파 진동을 정밀하게 측정하기 위한 가속도 측정 단, 장거리 고 정밀 진동 신호 전송 단, 그리고 대형 구조물의 거시적 동적 거동을 기록하기 위한 실시간 디지털 신호 수집 및 기록 장치의 구축을 포함하고 있으며, 본 연구에서 구축된 장치의 주요 제원은 아래와 같이 요약된다.

A. 고정밀 저주파 진동 신호 센서단:

- Serovo 가속도 센서: 0.2% 이내의 선형성 (1% 이하의 측정 축 정렬도)
- 주파수 범위: DC ~ 1,000 Hz
- 입력 설정 범위: $\pm 1 \text{ g}$ ~ $\pm 5 \text{ g}$
- 단축, 3 축, 그리고 6 축 동시 측정을 위한 기구학적 구조 구비

B. 고정밀 장거리 진동 신호 전송 단:

- 4~20 mA 전류 전송: 0.01% 이내의 선형성 (± 30 ppm / °C의 온도 의존성)
- 2 km 전송거리
- 3-wire 전송 방법 (5 V 전원, 전류 출력, Ground)

C. 다 채널 진동 신호 입력 단

- 32 채널 진동 가속도 동시 입력
- 32 채널 4~20 mA 전류/전압 신호 변환단

D. 32 채널 진동 신호 수집 및 기록단:

- 32 채널 16-bit 디지털 데이터 변환단 (Sony 16A + 16 채널 확장단)
- 실 시간 디지털 신호 기록단 (DAT tape, 2 시간 연속 기록)

(3) 동적 부하 조건의 대형 구조물에서 측정된 다채널 진동 신호 수집에서 피로 수명 및 내구성 평가까지를 단일 Project-based Database하에서 수행할 수 있는 S/W 시스템구축: 이러한 접근 방안은 유럽에서 현재 수행되고 있는 "DYNAMO" 과제의 연구자들과 기술적 자문에서 도출하였다. 본 통합화된 방안을 실제 시스템으로 구현하기 위하여 진동 실험 데이터 분석의 최고 원위를 갖고 있는 LMS사(벨기에)의 전문 S/W 개발자와 본 연구팀이 약 6 개월 동안의 검토를 거쳐 이룩한 최종 통합 S/W 시스템은 아래와 같으며, 1997년 11월 말 표준연 음향진동 그룹에 설치 완료하였다. 현재는 LMS사의 전문가에 의한 S/W부의 기술 교육과 최근 개발된 부가적 기능들을 추가 시험을 수행하고 있다.

A. 통합화된 진동 신호 수집 및 내구성 평가 S/W 시스템 :

- 신호 수집 및 분석용 H/W: 삼성 C160 Workstation

- LMS사의 Data IO Utilities : DAT-IO 과 HP VXI Module 지원
- 다채널 진동 신호 분석 S/W :
 - ▷ General Acquisition Monitor Moudle : 더채널 신호 수집 및 제어
 - ▷ Time/Frequency Monitoring Module : 시간/주파수 영역의 신호 처리 S/W
 - ▷ Real-time Annimation Module : 구조물의 실 시간 거동의 3D 가시화 S/W
 - ▷ Advanced Modal Analysis Bundles : Mode 해석용 통합 S/W
 - ▷ Dynamic Fatigue Analysis Bundles : 피로 수명 및 내구성 평가 통합 S/W
 - ▷ Geometry Privileges : 측정 대상체의 치수 및 기하학적 형상 표현 S/W

상기 통합화된 S/W 시스템은 3D CAD 입력 뿐아니라 대형 구조물의 해석 프로그램인 FEM S/W들과 데이터 공유 및 변환 기능을 보유하고 있으므로, 타 연구 기관의 해석 결과들의 통합화 및 효율적 Project Database 구축을 지원한다.

4. 연구 개발 결과 활용 방안

1차년도 연구에서 얻은 주요 연구 결과인 대형 구조물 저주파 진동 측정 장치 (가속도 센서 및 원거리 동신단), 그리고 표준연에 설치가 완료된 다채널 진동 신호 수집에서 피로 수명 및 내구성 평가까지를 단일 Project-based Database하에서 수행할 수 있는 통합 S/W 시스템은 2 차년도의 공진 피로의 실험 연구 수행에 핵심적 역할을 할 것으로 기대된다. 그리고, 상기 통합 S/W 시스템이 제공하는 Project-based Database는 방재

관련 타 연구 결과들(동적 해석 및 실험 결과, 피로 수명 및 내구성 연구 결과 등)의 Database 구축에 활용도를 제공할 뿐 아니라 실 시간 3D 가시화 S/W를 구비한 S/W 장치는 주요 연구 실적의 대외 홍보용 전문 시스템으로의 활용도를 또한 제공할 것으로 기대된다.

제 5 절 시설물 계측시스템 체계화를 위한 전송망 시스템개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

사회 기반 시설물에 대한 지적 진단, 관리 시스템을 구성하기 위해서는 각종시설물에 대한 측정이 필수적인 요소이며 특히 공간적으로 넓은 분포를 갖는 각종 시설물로 부터 발생하는 다양한 측정 데이터를 실시간으로 취합 분석처리 하기 위해서는 각각의 측정센서로 부터 연속적으로 출력되는 데이터를 일정한 거리 까지 신호전송하여 처리하는 방법이 효율적이며 매우 경제적인 방법이 될 수 있다. 원거리로 신호를 전송하여 처리하는 방법은 기존의 각 측정점에서 부터 처리 시스템 까지의 케이블 포설 비용절감 뿐만이 아니라 각각의 측정점에 설치 운영되는 처리장치의 최소화 및 기능 단순화가 가능하며 이러한 장점은 유지보수 비용의 절감효과와 저렴한 단말시스템의 개발이 가능하게 한다. 또한 전송시스템의 주된 기능인 측정데이터의 전송외에 각단말 장치와의 통신을 통해 시스템의 상태진단, 고장점에 대한 정보제공 등을 통해 시스템을 관리 함으로써 신뢰성을 대폭 향상 시킬 수 있다. 측정데이터의 원거리 전송방법은 특히 빈번한 접근이 어려운 댐, 교량, 지하 등과 같은 지점 뿐만 아니라 고온, 고압, 유독가스 유출 가능지역등 인명손상이 예상되는 지역에서의 측정이 가능 함으로 인적 물적 재해에 대한 예방대책이 될 수 있다. 본연구에서 개발 하고자 하는 전송 시스템이란 다수의 측정점으로 부터 측정된 값을 단지 2가닥의 일반 전송선로를 통해 원거리(약 1km - 3km 또는 이상)로 전송 할 수 있는 시스템이며 상호 통신 기능을 갖고 있는 지능형 시스템으로서 시설물의 자동측정을 위해 개발이 필요하다고 판단된다.

2 연구개발의 내용 및 범위

본연구는 원격지에 설치된 측정장치로 부터 측정된 데이터를 전송 선로를 통해 장거리 전송하는 시스템으로서 측정 대상지점에서 단일 전원으로 장시간(3.6V 리튬전지1개로약 8000시간 동작) 측정데이터를 얻을 수 있는 초절전형 시스템의 연구개발 및 취득된 데이터를 원격 리 전송(약 1km-3km)하기 위한 시스템의 연구개발로 구성되었다. 각각의 시스템 설계는 적합한 프로세서를 선정하여 H/W 및 S/W를 구성하였으며 초절전형 시스템은 소모전류를 극소화하기 위한 회로 설계와 부품의 선정 및 프로그램을 이용한 절전기법이 개발되었으며 시제품을 설계제작 시험하여 시스템의 성능을 확인하였다. 전송망 시스템은 Master 시스템과 Slave 시스템으로 구성되며 각각 일정한 부분은 공유하는 회로구성으로 이루어졌다. 전송망 시스템에 프로그램이 동작할 수 있는 프로세서가 사용되었으며 slave측에 아날로그 입력 5채널과 디지털 입력 5채널, master측에 D/A 1채널이 구성됐다. Slave에 입력된 신호는 디지털 처리되며 CCITT V.21 규격에 맞춰 300bps로 전송된다. Master 와 Slave는 상호 데이터를 전송하기 위해 제어 데이터와 전송데이터로 구성된 메시지를 주고 받음으로써 단계별로 전송상태를 구성해가며 전송종료 또는 전송개시를 반복한다. 이들 시스템은 시제품을 제작하여 실험하였으며 측정데이터를 본 보고서에 첨부 하였다.

3. 연구개발 결과

본 연구를 통하여 초저전력 측정 시스템을 연구개발 하였으며 3.6V 리튬전지 1개로 약 8000시간 이상 동작 가능함을 확인 하였다. 이러한 시스템은 전력공급이 불가능한 지역에서 장시간 측정을 요하는

경우에 매우 효과적이며 경제적인 방법이 될 수 있다. 측정 데이터의 원거리 전송을 위한 전송 시스템을 설계 제작하여 약 1000m의 전송선로를 이용하여 데이터 전송을 시험 하였으며 Slave측의 아날로그 전압이 Master측의 D/A출력을 통하여 정확히 재현됨을 확인 하였다. 또한 디지털 입력신호의 전송이 출력측에 정확히 전달되었다. 전송 시스템의 선로단 출력은 -6dBm으로서 1000m의 전송거리에서 충분한 신호과형을 유지 하였으며 기존전화선로를 통한 간이 실험에서 200km이상 전송됨을 확인 하였다. Master와 Slave 간의 전송속도 및 하드웨어적인 불균형에서 기인하는 전송속도의 불일치는 사소한량에도 불구하고 누적되어 종래에 전송 불능 상태를 초래하며 이러한 문제점들이 전송 프로그램 에서 처리되었다. 향후 전송망 시스템의 전송속도를 대폭 증가 시키므로써 시스템의 처리속도를 올리고자 한다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구를 통하여 초절전형 측정시스템과 2 Wire 전송망 시스템을 연구 개발 하였다. 초절전형 측정 시스템은 외부 전력을 공급 할 수 없는 고립된 지역에서의 측정을 가능케 하며 센서의 사용 수명과 시스템의 동작시간이 일치 할 경우 저렴한 가격의 기기 생산을 통해 일회성 측정기기의 생산이 가능하다. 일회용 측정기기가 낭비적인 요소가 있는 것은 사실이나 회수 및 재생에 소요되는 경비와 회수의 난이도를 비교하여 결정할 수 있는 사항이며 오늘날 이러한 방식의 측정기기는 보편화 되고 있는 실정이다. 초절전형 시스템은 시스템 자체의 소비전류를 극소화한 설계이므로 대부분의 전류소모는 사용 센서의 전류소모량에 의해 결정되므로 이러한 기준에 맞추어 사용

Battery의 용량 및 사용 시간을 결정 한다면 바로 실용화 가능한 제품으로의 전환이 가능하다. 2 Wire 전송망 시스템은 4개의 주파수를 사용한 모뎀 방식이므로 원리적으로 거리에 따른 손실이 지극히 적고 공중 통신망과의 접속이 가능하다. 현재의 300bps의 속도는 비교적 낮은 속도로서 Static한 신호의 전송 즉 온도, 압력, 가스량 등에 적합하며 일정한 시간 간격을 두고 on-line 모니터링 하는 시스템에 적용 할 수 있다. 좀더 빠른 전송속도와 Buffered memory 방식을 병용한다면 더욱 많은 채널과 Dynamic한 신호의 전송이 가능해지며 향후 이러한 점에 대한 지속적인 연구가 추진되어야 한다.

제 6 절 콘크리트 강도/결함 및 철근탐지를 위한 비파괴시험법 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

콘크리트는 내구성이나 내열성이 좋고 임의의 구조물을 현장에서 쉽게 타설할 수 있어서 대형 구조물의 상당한 부분은 콘크리트로 되어 있는데, 이는 자체 하중이 크고 균열이 생기기 쉬워서 붕괴의 가능성을 지닌다. 국가 대형 구조물의 안전성 확보를 위해서는 철근 콘크리트 및 프리스트레스 콘크리트 구조물의 열화 및 손상의 원인을 규명하고, 이들에 대한 평가를 통하여 유지관리에 대한 적절한 조치를 취함으로써 확보될 수 있다. 콘크리트 구조물의 건전성 평가에 필수적인 요소는 강도, 보강 철근 또는 철골의 상태, 균열의 평가 등을 들 수 있다.

대형 구조물의 안전진단을 위해서는 국부적인 파괴 시험과 병행하여 비파괴 시험을 실시해야 한다. 금속 시험체에 대한 비파괴 검사는 국내외적으로 잘 정립되어 있음에도 불구하고, 콘크리트 구조물에 대한 비파괴 검사에 대한 국내 인식은 아직은 미흡한 상태이다. 선진국에서는 콘크리트의 비파괴 검사 기술이 실용화 단계에 있으나, 사용하는 골재나 기후 조건의 차이로 비파괴 시험결과를 분석하는 실험식에 차이가 있다. 이 기술들의 일부는 국내에서 사용되고 있으나 산발적으로 사용되고 있으며 그 정밀도 및 신뢰성이 낮은 상태이다. 따라서, 국내에서 보유하고 있는 기술은 물론이고, 선진국에서 실용화 단계에 있는 기술을 취합하여 국내 구조물에 적합한 진단방법을 확립해야 한다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

콘크리트의 압축강도를 예측하고 결함의 크기와 형상을 정량적으로 측정하기 위한 비파괴시험기술을 연구하였다. 반발 해머를 이용한 표면 경도 측정법과 PUNDIT장치를 이용한 초음파 속도 측정법을 이용하여 압축강도를 예측하였고, 충격 탄성과 공명법에 의하여 결함과 압축강도 예측과 콘크리트 두께 측정하였고 내부결함을 검출하였다. 이론적인 배경, 측정원리와 방법을 정리하였으며 콘크리트 공시체 시편을 설계 강도가 다르게 5종 30개를 제작하였고 강도가 다른 5종의 벽체를 제작하였다. 또한 콘크리트 내부에 깊이와 크기가 다른 수평결함, 수직 및 경사 균열을 삽입한 콘크리트 블록을 제작하였으며 수평결함 검출에 철근의 영향을 시험하기 위하여 철근을 같은 깊이와 크기의 수평 결함 상하 부위에 배치한 벽체를 제작하였다. 충격 탄성과 공명법 시험을 위하여 탄성과 검출용 광대역 센서를 제작하였고 외부 잡음차단에 의한 신호대 잡음(S/N)비 향상과 벽체시험, 현장에서 사용이 용이하도록 탄성과 공명신호를 검출하고 분석하기 위한 휴대용 측정장치를 notebook 컴퓨터와 AD converter가 내장된 docking 시스템을 이용하여 제작하였다.

콘크리트 공시체 시편에 대하여 반발 경도와 초음파 속도를 측정하고 충격탄성과의 공명신호를 검출하여 시편의 압축강도를 비파괴적으로 예측하였다. 5종의 벽체에 대하여 반발 경도와 초음파 속도를 측정하여 강도를 예측하였다. 충격탄성과 공명법을 이용하여 콘크리트 내부의 수평결함, 수직 및 경사 균열을 삽입한 콘크리트 블록 및 벽체를 시험하여 결함의 위치와 크기, 블록 두께를 정량적으로 측정하였다.

철근탐지에 대한 연구에서는 철근의 정량적인 탐지를 위하여 철근이 코일에 미치는 영향 등에 대한 이론 연구와 다중 코일로 이루어진 탐촉자를 개발하고 실험의 자동화를 위해 3축 스캐너(scanner)를 제작하여 사용하였

다. 철근 탐지 장비는 와전류 탐상기를 활용하였으며 측정은 컴퓨터와 스캐너를 사용하여 자동화 시켜 수행하였으며 측정 프로그램은 C 언어를 사용하여 개발하였다.

이론 연구에서는 철근 탐지에 사용하는 대표적인 방법인 전자유도 방법과 와전류 방법에 관하여 원리에서부터 응용에까지 고찰하였다.

본 연구에서 개발한 탐촉자는 기존의 철근 탐지기의 탐촉자가 단순 형태의 일차, 이차 코일로 이루어져 근본적으로 철근의 깊이와 굵기를 동시에 측정하는 것이 불가능하다고 판단하고 다중 코일로 이루어진 새로운 탐촉자를 제작하였다.

실험 연구에서는 철근의 굵기와 콘크리트 피복두께의 정량적 평가를 위하여 여러 가지 철근에 대하여 깊이에 따른 탐지기의 지시 값을 측정하고 이 측정값을 이용한 정량적 평가 방법을 제시하였다.

- 1) 여러 가지 직경의 철근 시험편 준비
- 2) 철근 탐지의 이론 연구
- 3) 3축의 스캐너 제작
- 4) 측정 프로그램 제작
- 5) A/D 보드와 와전류 탐상기를 이용한 측정 자동화
- 5) 철근 굵기 및 거리와 측정값의 관계
- 6) 정량적 평가의 방법 제시

3. 연구개발 결과

가. 공시체 및 구조물의 강도 측정 : PUNDIT 장치를 이용한 초음파 속도 측정법을 이용하여 콘크리트 공시체의 압축강도를 예측하는 실험 결과 설계 강도 400 kg/cm^2 이하에서는 비교적 신뢰성 있게 강도가 예측되었지만 그 이상의 고강도에서는 측정오차가 컸고 다만 설계강도가 증가함에 따라서 측정된 강도도 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 공시체에 대한 충격탄성과 공명법 실험으로 공시체에서 탄성파의 속도를 측

정하여 압축강도를 예측할 수 있었다. 반발 해머를 이용한 표면 경도법으로 측정한 콘크리트 벽체와 천장, 보의 압축 강도는 약 260 kg/cm^2 로 이었으며 서로 일치하는 결과를 보였다. 표면 경도법으로 시편을 고정시키는 억제 하중이 없이 공시체를 측정하였을 때 반발 경도가 설계강도에 비하여 60% 이하로 매우 낮게 측정되었으며 이는 억제 하중과 관련된 문헌에서 조사된 경향과 일치하였다.

나. 강도가 다른 벽체의 실험 : 반발 경도법을 이용하여 콘크리트 타설 후 재령에 따른 강도의 변화가 측정되었고 설계강도와 압축시험 강도에 따른 측정결과의 상관성을 도출할 수 있었다.

다. 결함 검출 실험 : 충격 탄성과 공명법 시험을 위하여 제작된 센서는 광대역 특성을 지니는 것으로 평가되었고 제작된 휴대용 시험 장치는 과도파 신호를 좋은 S/N비로 잘 검출하였으며 주파수 특성이 용이하게 분석됨을 확인하였다. 콘크리트 블록뿐 아니라 결함을 지닌 벽체에 대한 실험에서 제작된 탄성과공명법 실험용 휴대장치를 이용하여 결함을 효과적으로 검출할 수 있었다. 수평결함의 깊이와 크기, 수직결함의 깊이와 각도, 철근을 지닌 벽체내부의 결함이 정량적으로 평가되었다.

철근탐지 비파괴시험법의 연구 결과로서는 전자 유도 법에 의한 콘크리트내의 철근의 굵기 및 깊이를 평가하기 위하여 철근 탐지용 탐촉자를 개발하였으며 스캐너를 제작하고 이것에 철근 탐지기를 부착하여 시험을 하였다. 시험은 여러 가지 직경의 철근에 대하여 철근과 탐지기의 거리에 따른 신호 크기를 측정함으로써 측정 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 널리 보급되어 있는 상용 철근 탐지기에서 표시해 주는 철근의 깊이는 신뢰할 수 없는 것으로서 그 평가 값을 그대로 사용해서는 안된다.
- 2) 동일한 깊이에 있는 철근의 경우, 굵기가 굵다고 해서 반드시 큰 신호가 발생하는 것은 아니며 가는 철근에서 더 큰 신호가 감지될 수도 있다.

- 3) 본 연구에서 개발한 철근 탐지기는 다중 코일로 이루어져 각 코일에 유도된 전압을 측정하여 분석하면 깊이와 굵기를 동시에 측정하는 것이 가능하다.

4. 연구결과의 활용계획

가. 기술적 측면

- 1) 비파괴검사에 의한 강도 예측의 정밀도를 향상시켜 콘크리트 구조물 강도시험 기술확보,
- 2) 균열 및 결함, 두께의 비파괴 평가기술의 현장 구조물 적용.
- 3) 현재 철근의 위치 정도만 판별할 수 있는 현 수준의 철근 탐지 법을 정량화 하여 철근의 위치 및 굵기 등을 정밀하게 측정할 수 있게 함.

나. 경제·산업적 측면

- 1) 강도 예측 및 결함 검출의 비파괴시험법 확립으로 신속하고 안전한 진단기술 개발
- 2) 휴대용 충격탄성과 공명신호 검출기 개발에 의한 수입대체효과.
- 3) 철근의 굵기와 깊이를 동시에 측정할 수 있는 철근탐지기를 개발하여 수출 및 수입 대체 효과 기대 또한 안전진단 기술 진일보
- 4) 콘크리트 구조물에 대한 비파괴시험 기술을 개발함으로써, 기존의 구조물에 대한 정밀 진단의 기초를 마련할 수 있다.

제 7 절 철강의 강도예측을 위한 비파괴 평가기술 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

비파괴시험법을 이용하여 재료의 물성 및 기계적 강도를 평가하기 위한 연구는 금속 및 비금속재료의 생산과 관련된 분야에서는 오래 전부터 관심의 대상이었으며, 최근 들어 생산 공정이 자동화되고 품질관리의 중요성이 부각되면서 이에 대한 요구는 더욱 더 커지고 있다. 제품의 물성 및 기계적 강도의 평가는 주로 최종제품이 완성된 후 대표적인 시험편에 대하여 파괴적으로 수행되어 왔으나, 비파괴시험법이 개발되어 적용되면 생산되는 전 제품에 대한 품질관리가 가능해지고, 시험을 위한 별도의 공정이 축소되므로 시간적, 경제적으로 많은 이득이 생긴다. 또한 생산공정중의 물성평가는 측정된 데이터를 feedback하여 공정개선에 기여할 수 있다.

철강재료의 강도는 화학적 조성, 냉각속도, 그리고 열처리 상태에 따라서 달라지는 미세구조에 의해서 결정된다. 재료의 강도와 초음파 특성인자와의 사이에서 직접적인 연관성을 찾기는 어렵지만, 재료의 강도가 미세구조에 의해서 결정되는 반면, 초음파 특성인자들이 재료의 미세구조와 직접적인 연관성을 가지므로, 초음파 특성인자의 비파괴적인 평가로부터 재료의 강도를 예측할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 재료의 미세구조 변화가 초음파 감쇠와 후방산란 잡음신호에 미치는 영향을 분석하고, 이미 알려진 미세구조와 강도사이의 관계를 이용하여 최종적으로 비파괴적인 방법으로 재료의 강도를 예측 및 평가하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 결정립의 분포와 상분율이 초음파의 감쇠와 후방산란잡음 신호에 미치는 영향을 파악하고, 초음파의 감쇠와 후방산란잡음신호로 부터 철강재료의 강도를 예측하기 위한 연구를 수행하였다. 초음파감쇠의 측정에는 주파수 분석법이 이용되며, 결정립의 크기와 각 주파수에서의 초음파 파장과파의 관계를 분석하여 산란에 기여하는 초음파의 기구(mechanism)를 분석한다. 후방산란 잡음신호의 분석에서는 독립산란모델을 바탕으로 상의 변화와 결정립의 크기 및 결정립의 분포가 FOM에 미치는 영향을 고찰하였다.

이상의 연구를 위하여 본 연구에서는 결정립으로부터 산란된 잡음신호를 정확히 측정하기 위한 장비를 구성하고, 측정된 잡음신호에 독립산란모델을 적용하여 FOM을 추출해내기 위한 절차 및 방법을 정립하였다. 그리고 단일상으로 구성된 순철과 탄소의 함량이 0.2 wt% 보다 적은 아공석강, 그리고 탄소의 함량이 0.79 wt%인 공석강의 결정립의 크기를 변화시키고 각 결정립의 분포를 측정하며, 측정된 결정립의 분포에 대한 감쇠와 FOM의 변화를 분석하였으며, 탄소함량 변화에 따른 상분율의 변화가 초음파감쇠와 후방산란 잡음신호에 미치는 영향을 분석하였다. 한편 측정된 FOM은 Rose의 일반산란모델로부터 계산한 FOM의 값과 비교하였다.

3. 연구개발 결과

순철의 결정립 분포가 초음파와 후방산란 잡음신호에 미치는 영향은 1차년도에 완료하였으며, 당해년도에는 상분율의 변화가 초음파감쇠와 후방산란 잡음신호에 미치는 영향을 분석하였으며 결과는 다음과 같다.

아공석강 시험편에서 탄소함량의 증가는 페라이트 결정립 크기의 감소를 초래하므로 감쇠와 FOM이 모두 감소하였다. As-rolled 시험편에서의 감쇠와 FOM은 900 °C 이상의 온도에서 열처리한 시험편의 감쇠와 FOM에 비

교하여 큰 폭으로 줄어들었다. 열처리 온도의 변화가 감쇠에 미치는 영향을 압연과정을 통한 preferred orientation의 영향과 오스테나이트 결정립의 크기변화에 의한 영향으로 나누어 분석하였는데, as-rolled 시험편과 1200 °C에서 열처리한 시험편의 x-ray pole figure에 의하면 두 시험편에는 특정한 방향으로의 preferred orientation은 존재하지 않았으므로, preferred orientation의 영향으로 as-rolled 시험편에서의 초음파감쇠가 줄어드는 것은 아닌 것으로 판단된다. 페라이트-퍼얼라이트 강의 오스테나이트 결정립 크기는 측정할 수 없지만, 실험에 사용된 탄소 함량이 0.160 wt%와 0.206 wt%인 시험편의 경우에는 초석페라이트 내부에 Widmanstaetten side plate가 성장되어 있으므로 오스테나이트 결정립의 크기를 측정할 수 있었으며, 탄소함량이 동일한 시험편에서 열처리 온도가 증가할수록 오스테나이트 결정립은 커졌음을 확인하였다. 또한 오스테나이트 결정립 크기가 증가할수록 감쇠는 선형적으로 증가하는 경향을 보였으므로 as-rolled 시험편과 열처리한 시험편 사이의 감쇠 차이는 오스테나이트 결정립의 크기증가에 의한 초석페라이트 결정립 크기증가의 영향임을 알 수 있었다. 즉, 탄소함량이 0.2 wt%보다 적은 아공석강에서의 산란은 초석페라이트 결정립의 크기와 분포에 의해서 결정된다.

공석강에서는 페라이트와 시멘타이트의 크기가 매우 작아서 각각의 결정립이 산란체로 작용하기보다는 동일한 결정방위를 갖는 colony가 산란체로 작용한다. 열처리 온도에 따른 colony의 크기는 거의 변하지 않았으며, 감쇠와 FOM도 열처리 온도에 따라 변하지 않았다. 공석강에서도 as-rolled 시험편과 열처리한 시험편 사이의 x-ray pole figure가 거의 동일하였고, 열처리온도에 따른 감쇠와 FOM의 차이가 매우 작았던 것으로 보아, 공석강에서의 초음파산란은 단지 colony의 크기에 따라서 결정되는 것으로 판단된다.

5. 연구결과의 활용계획

철강생산의 공정이 연속주조공정으로 바뀌어 감에 따라 생산되는 재료의 미세구조 및 강도를 평가하기 위해서는 비파괴적인 방법이 필수적으로 요구된다. 본 연구는 생산공정중의 재료의 미세구조 및 강도를 비파괴적으로 평가하기 위한 기술개발의 기초연구로 수행되었다. 그러므로 앞으로의 비접촉식 탐상법의 개발등 현장 적용화 기술이 함께 개발되면 본 연구결과를 기초로 하여 생산공정중에 재질의 평가가 가능해질 것이며, 이는 최종제품의 질적 향상에 크게 이바지 할 수 있을 것이다.

제 8 절 시각시스템을 이용한 구조물의 표면결함탐상 연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

육안 검사는 제품 또는 구조물을 직접 또는 간접으로 관찰하여 피검사체 표면에서의 결함 유무 및 외견 상의 불량 여부를 검사하는 비파괴 검사법으로, 구조물에 대한 비파괴 검사 시 가장 먼저 적용될 뿐 아니라 가장 많이 사용되기도 한다. 육안 검사는 방법이 간단하고, 검사 속도가 빠르며, 비용이 저렴한 장점이 있는 반면, 분해능이 약하고 가변적인 육안에 의존하여야 하며, 검사자의 자질에 의해 심각한 검사 오류를 범할 수 있는 단점이 있다.

육안 검사 수행에 필요한 요소로는 검사자, 피검사체, 육안 검사 장비, 조명, 기록 방법 등을 들 수 있다. 이들 중 육안 검사 장비는 직접 육안 검사로는 불충분하거나 불가능한 경우에 사용되는 도구들로, 시력 보조 도구 및 기계 보조 도구로 대별될 수 있다. 특히 피검사체의 위치, 구조등에 의해 직접 육안 검사가 불가능한 경우에는 망원경, borescope, fiberscope 등의 시력 보조 도구가 필수적이다.

이들 중 optical lens가 장착된 CCD camera를 사용하는 machine vision은 상당한 발전에도 불구하고 육안 검사에의 응용이 아직 미미한 상태다. 이는 구조물에 대한 육안 검사 시 검사 대상이 되는 균열의 특성이 고분해능의 CCD camera를 요구할 뿐만 아니라, machine vision에서 매우 민감한 인자로 작용하는 조명 상태가 구조물에서 양호하지 못하기 때문이다.

그러나 이와 같은 문제점들을 해결하여 구조물의 육안 검사에 CCD camera를 사용하는 machine vision을 응용할 경우 많은 이점을 얻을 수 있다. 육안 검사 자체만으로는 기록성이 없기 때문에 육안 검사에서의 기록성은 검사자의 판단에 의한 검사자의 수기와 선정된 부위에 대한 사진과 같은

hard copy에 의존하므로 검사 후 검사의 누락, 오류등을 확인할 방법이 없다. 그러나 CCD camera를 사용하여 육안 검사 결과를 녹화할 경우 검사 후에도 정밀 검토가 가능하므로 보다 신뢰성 있는 검사가 가능하다.

또한 발달된 optical lens를 사용함으로써, 망원 렌즈에 의한 원거리 검사와 근접 렌즈에 의한 정밀 검사가 가능하다. 원거리 검사는 구조물의 형상에 의해 접근이 용이하지 않은 곳에 응용할 수 있으며, 정밀 검사는 육안으로 분별하기 어려운 hair crack 탐상에 응용할 수 있다. 이와 아울러 mobile에 CCD camera를 탑재함으로써 원격 육안 검사도 수행할 수 있다.

현재 국외에서는 CCD camera를 탑재한 육안 검사용 crawler 개발과, 대형 구조물에 대한 신속하고 신뢰성 있는 육안 검사용 machine vision 장비 개발 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 국내에서도 육안 검사용 machine vision system 개발 연구를 시작할 필요가 있다.

2. 연구 개발의 내용 및 범위

1 차년도 연구 목표는 CCD camera를 사용하는 구조물 육안 검사용 machine vision system 개발에 필요한 광학, 전자, 기계 분야에 대한 기초 연구와, 기본적인 기능을 갖춘 machine vision system 제작에 두었다.

구조물의 육안 검사 시 발생하는 문제점을 파악하기 위하여 강교량에서 육안 검사를 시도하여 보았다. 시력 보조 기구인 망원경을 이용하여 원거리에서의 육안 검사도 시도하여 보았다.

CCD camera와 일반 SLR 카메라의 광학계는 형태상 차이는 있으나 기능상의 차이는 없다. 그러므로 먼저 다양한 일반 SLR 카메라용 렌즈를 사용하여 원거리 및 근거리에서 구조물 균열의 디지털 영상화 가능성을 연구하기로 하였다. 이를 위하여 다양한 렌즈 교환이 가능한 일반 SLR camera용 렌즈를 사용하는 디지털 스틸 카메라를 구매하였으며, 이를 이용하여 구조

물 균열의 디지털 영상화를 시도하였다.

기본적인 기능을 가진 machine vision system을 구성하기 위하여 일반적인 color CCD camera와 frame grabber를 선정하여 구매하였다. 강구조물의 균열을 디지털 영상화하기 위해서는 고분해능의 CCD camera가 필요하기 때문에 화소 수가 다소 많고 progressive scan이 가능한 CCD camera를 선정하였다. 이와 아울러 균열이 입체 형상임을 감안하여 입체 영상을 볼 수 있는 stereo CCD camera system을 제작하였다.

Machine vision으로 구조물을 육안 검사하기 위해서는 machine vision의 시야를 검사하고자 하는 부위로 조향하여야 하며, 선명한 화상을 얻기 위하여 초점을 맞추어야 한다. 이 두 가지 작업을 수동으로 행하는 것은 매우 어려운 작업이므로 이를 자동화하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 우선 조향 장치를 자동화하기로 하였다. 이에 따라 stepping motor가 부착된 3 축 조향 장치를 제작하였다.

3. 연구개발 결과

육안 검사의 문제점을 파악하기 위하여 실제 교량에서 육안 검사를 시도하여 보았으며, 또한 망원경을 이용하여 원거리 육안 검사도 시도하여 보았다. 교량의 구조 상 접근하기 어려운 곳이 많았으며, 복잡한 구조로 인하여 한 곳에서 볼 수 있는 시야가 매우 좁았다. 또한 빛이 차단되는 부분이 많아 조명 상태가 매우 불량하였으며, 망원경을 사용하는 경우 수동 조향이 매우 어려웠다. 시도 결과 조명 기구, machine vision system 이동 기구, 조향 기구가 절대적으로 필요함을 알 수 있었다.

SLR camera용 렌즈를 사용하는 디지털 스틸 카메라로 Nikon E2N을 구매하여 구조물 균열의 디지털 영상화를 시도하였다. 콘크리트의 균열을 디지털 영상화하는 데 문제가 없었으나 강재의 균열의 디지털 영상화에는 다

소 문제가 있었다. 약 10 m 거리에서 3 cm 정도 길이의 균열을 카메라의 finder로 식별할 수는 있었으나 실험실 조건으로 디지털 영상화는 어려웠다. 같은 균열에 대한 근접 촬영 시 균열 식별에 문제가 없었으나, 육안으로 식별이 어려운 hair crack을 디지털 영상화할 수는 없었다.

Stereo CCD camera system을 구현하는 방법은 여러 가지가 있으나, 검토 결과 shuttered glass를 사용하는 시스템이 구조적으로 간단하고 확장성이 양호하여 이 방식의 시스템을 구성하였다. 구성된 시스템으로 균열을 검사한 결과 콘크리트의 균열은 입체적으로 볼 수 있었으나, 강재의 균열을 입체적으로 보기에는 분해능에 문제가 있었다. 그러나 광학계와 조명을 보완하면 많은 효과가 있을 것으로 예상된다.

수동 조향 시 문제가 되는 흔들림과 불안정성을 보완하기 위하여 모터에 의해 구동되는 조향 기구를 제작하였다. 일반적인 카메라 조향 기구인 pan & tilt machine은 2 축을 가지나 stereo camera를 부착할 목적으로 3 축으로 제작하였다. 현재 예산 부족으로 driver와 제어가 누락되어 전자 제어에 의한 작동은 해볼 수 없었다.

4. 연구결과의 활용계획

Stereo CCD camera system과 모터에 의해 구동되는 조향 기구를 제작함으로써 기본적인 machine vision system이 준비되었다. 이들을 이용하여 보다 실제 적용 가능한 구조물의 균열 영상을 획득할 수 있도록 조명, 광학계상의 문제점들을 보완하여 나갈 계획이다. 또한 획득한 영상으로부터 균열을 판별할 수 있는 알고리즘을 연구하기 위하여 기본적인 영상 처리 기법을 적용할 계획이며, 평면 image와 stereo image와의 차이점을 비교하여 보다 효과적인 균열 도시 방법을 연구할 계획이다.

제 9 절 마이크로파 영상화를 이용한 비파괴측정기술 개발

1. 연구개발 목적 및 필요성

마이크로파 이미징은 대부분은 원격감응분야 등에서 많이 사용되어 왔으며 근접거리에서 비파괴측정면에서의 연구는 1980년대 초반에서야 시작되었다. 지난 10 여년간 마이크로파 이미징은 산업, 과학 및 의료분야에서 많이 응용되어 왔으며 그 사용이 증가되어가고 있는 추세이다. 이러한 흐름에서 분류될 수 있는 두가지 추세는 레이다 기술에서 파생된 것과 광학적 영상형성에 관련된 방법이다. 홀로그래피 기술로부터 나온 것들은 공간적 분해능에서의 한계점으로 인하여 상대적으로 낮은 마이크로파 주파수 대역에서는 큰 효과를 보지 못하고 있다. 마이크로파 이미징은 적절한 영상의 질을 얻을 수 없고 필름과 같은 간단한 기록매체가 없다는 이유로 편리한 이미징 수단으로 간주되지않았다. 그러나 이러한 관점들이 여러 이유들 때문에 많이 바뀌고 있다. 공간의 해상력 만큼이나 중요한 것으로 콘트라스트가 있다. 마이크로파가 균일하지 않은 물질내부를 진행할때는 회절법칙에 따른 복잡한 현상이 벌어지며 그에 따른 공간분해능이 뒤떨어지고 파장보다 크기가 작은 구조나 결함에 대하여서는 둔감하지만 물질의 유전적 성질에 대하여서는 아주 민감한 편이다. 이에따라 마이크로파의 영상을 이용하면 물질의 조성성분, 수분량, 온도, 상변화 등에 의한 유전적 성질의 변화를 잘 살펴볼수 있는 것이다.

콘크리트내의 비파괴 측정을 초음파, X-ray등과 같은 다른원리의 비파괴 측정기술과 병행하여 마이크로파 영상측정을 이용하여 측정하게 되면 상당히 다른 관점에서 내부구조에 대한 해석을 할 수 있을 것으로 보인다. 마이크로파를 이용한 비파괴 측정의 장점은 투과깊이, 공간해상력, 염분등 조성

성분에 의한 영향 등을 고려하여 다양한 주파수 선택이 가능하고 반도체 관련사업의 발달로 낮은 가격의 부품, 소형화, 저전력 소모 등의 부품 효율화를 기할 수 있으므로 현재 시점에서 기초기술의 확립으로 앞으로의 기술혁신에 일익을 담당할 수 있을 것으로 보인다.

또한 관련기술의 저변확대로 인하여 관련 반도체 기술, 마이크로파 부품가공기술 등의 부수적 효과와 함께 저가의 비파괴 측정장비의 확산으로 건축구조물의 안전성 평가 및 상시 감시 시스템의 일부로 활용이 가능할 것으로 보인다. 마이크로파 영상측정은 또한 의료산업, 공장자동화 등의 측면에서의 파급효과가 예상되므로 사회전반에 걸친 영향이 클 것으로 보인다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

- 1) Microwave imaging 기술 동향 분석
 - Microwave imaging 역사
 - Europe 에서의 연구활동
- 2) CT 이론 분석
 - Focal plane tomography
 - Filtered Back projection
 - 2D Fourier Reconstruction
- 3) 시험용 probe 제작 및 성능시험
 - Heterodyne 시스템 구성 및 신호처리 시스템 구성
 - 단일 probe
 - 8 probes array

3. 연구개발 결과

Modulated Scattering Technique 을 이용한 마이크로파 비파괴 측정실험을 위한 연구를 시도하였다. 외국의 현황을 조사하였고 Computer tomography 에 대한 자료를 수집하여 정리하였으며 single diode 를 사용한 mono scatterer 실험을 하였다. 장치의 성능 조사를 위해 송수신 안테나 사이에 scatterer 를 위치하였을 때 아무것도 없는 경우와 물이 가득찬 직경 1 cm 경의 유리튜브를 놓았을 때 probe 신호에 현격한 차이가 있음을 확인하였다. 8 개 정도의 probe array 를 제작하여 수행한 실험에서도 어느정도 공간내의 위치에서 신호변화가 감지되었으나 각 probe 의 calibration이 안된 상태에서 해석하기는 곤란하였으며 2차년도에서 추가 실험을 통하여 보완할 수 있을 것으로 보인다. CT관련 이론을 분석중이며 이를 위한 알고리즘을 개발중에 있다.

4. 연구개발결과의 활용계획

- 비파괴 측정기술
- 마이크로파 부품가공기술
- 의료복지개선에 활용
- 물질분포 측정에 활용

제 10 절 전기저항법을 이용한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구는 화력발전소 터빈로터 재료의 인성 열화도를 비파괴적으로 평가하는 새로운 기술을 개발하는데 최종 목표를 두고 있다. 이를 위하여 재료의 전기비저항 성질을 이용하여 비파괴적으로 재료인성을 평가하는 기술을 연구 개발하고자 한다. 개발된 새로운 인성 열화도 평가기술은 향후 실기에 적용될 것이다.

본 연구에서 개발한 전기비저항을 이용한 비파괴적 인성평가 방법으로 사용 중인 고온 플랜트의 설비나 구조물의 파괴인성값을 정량적으로 평가할 수 있다면 고온 플랜트 요소의 안전성을 평가할 수 있으므로 설비의 안전 운용이 가능해진다. 따라서 산업재해 등을 사전에 예방하여 경제/인명 손실을 줄일 수 있다. 이 기술은 국내 화력 발전소, 원자력 발전소, 석유화학 플랜트, 정유 플랜트 등과 같은 고온 설비의 운용 효율화 및 안정화에 기여할 수 있으며, 국내 고압가스 안전법의 개정 등으로 시급해진 압력용기의 안전성 평가 등에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 화력발전소 터빈로터 소재인 CrMoV강을 다단계로 열처리하여 열화정도가 다른 시험편을 준비한 후 전기 비저항을 측정된 결과와 파괴인성값을 비롯한 충격특성 등을 비교하였다. 또한 응력효과를 고려하기 위해 일부 시험편에는 열화처리를 할 때 사용응력보다 약간 높은 응력이 걸리도록 하였다. 다른 비파괴적 혹은 준비파괴적 인성평가법과 비교해 볼 때

전기비저항법이 실제 파괴인성 값과 가장 유사한 결과를 나타내었다. 따라서 전기비저항과 파괴인성과의 상관관계를 이용하여 전기비저항값을 측정함으로써 터빈로터 소재의 파괴인성을 추정할 수 있다.

또한 열화도에 따른 재료의 인성 저하 원인을 규명하기 위해 미세조직을 관찰하였으며 X-ray 회절 및 EPMA, SIMS 등을 사용하여 열화도에 따른 입계에서의 탄화물의 성분변화를 규명하였다. 그리고 한 개의 충격시험편을 사용하여 얻은 시험결과로부터 FATT를 구할 수 있는 초과온도와 충격흡수에너지와의 상관관계를 나타내는 master curve를 만들었다. 이 곡선을 이용하면 충격시험편 하나의 시험결과로부터 FATT는 물론이고 재료의 인성까지 추정하는 것이 가능하다.

가. 비파괴적 인성평가 분야

- 1) 실험재료 준비
- 2) 모의 열화 열처리(온도, 응력 고려)
- 3) 열화에 따른 전기비저항의 변화 측정
- 4) 전기비저항과 FATT 및 K_{IC} 와의 관계
- 5) 열화에 따른 격자절단비의 변화 측정
- 6) 미세조직에 의한 열화도 평가
- 7) X-ray 회절에 의한 열화도 평가
- 8) 단일 충격시험편에 의한 FATT의 평가

나. 파괴적 인성평가 분야

- 1) 열화에 따른 기계적 성질의 저하 측정
- 2) 열화에 따른 충격특성의 변화 측정

3. 연구개발 결과

시효 열화시킨 1Cr-1Mo-0.25V강을 대상으로 재료의 인성 열화도를 정

량적으로 평가하는 방법에 대해 연구하였다. 아직 데이터가 부족하기는 하지만 비파괴적 방법으로 재료인성을 평가할 수 있다는 가능성을 확인하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 열화시간이 증가함에 따라 FATT는 초기엔 증가하였으나 약 50,000 시간 이상의 모사 열화재에서 FATT는 더 이상 증가하지 않았다.
- 단일 시험편으로 행한 충격 시험결과로부터 FATT의 추정이 가능하며 이것을 이용하여 재료의 인성을 평가할 수 있다.
- 열화시간이 증가함에 따라 전기비저항은 초기엔 감소하지만 약 50,000 시간 이상의 모사 열화재에서 전기비저항의 감소 경향은 거의 나타나지 않았다.
- 모의 열화시킨 1Cr-1Mo-0.25V강을 대상으로 입계부식시험을 실시한 결과, 격자절단비는 전기비저항을 이용한 평가법에 비해 정도가 떨어졌다.
- 열화 시간이 증가 할 수 있도록 EPMA 분석결과 Cr, Mo, Mn, C가 증가하였으며, X-ray 회절분석 결과 $Mn_{23}C_6$ 및 $(Cr_{2.5}Fe_{4.3}Mo_{0.1})C_3$ 의 양이 증가하였다.
- 화력발전소에 사용되는 터빈로터의 경우 사용응력이 매우 작아서 사용응력이 인성 열화에 미치는 영향은 없는 것으로 판명되었다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

좀 더 많은 데이터가 축적되면 국내 화력발전소의 터빈로터의 인성 열화도 평가에 본 연구에서 개발된 전기비저항 평가법을 적용하여 비파괴적으로 터빈로터의 건전성을 평가할 계획이다. 또한 이 기술을 다른 설비 및 구조물에도 확대하여 적용 가능한지를 확인한 후 화력 발전소의 다른 주요 설비 및 원자력 발전설비, 석유화학 플랜트 등에도 이 기술을 적용할 계획이다.

제 11 절 극저온 구조재료의 역학적 특성 연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

저온공학 분야는 그 응용 분야가 매우 넓고 기술이 획기적이기 때문에 많은 각광을 받고 있다. 그러나 이를 실용화하기 위해서는 이들 구조물이 극저온이라는 특수 환경을 견뎌야 하기 때문에 저온공학의 발전과 더불어 이들 구조물을 구성하는 재료의 개발 및 평가법 확립이 선행되거나 병행되어야 한다. 따라서 선진 8개국이 공동 참여하는 VAMAS Project에서도 Technical Working Area #17(Cryogenic Structural Materials)을 별도로 구성하여 미래에 사용될 극저온용 소재 개발 및 이의 시험평가법 확립에 대하여 공동 보조를 취하고 있다. 또한 일본에서는 미래의 에너지원이 될 것으로 기대되는 핵융합로의 개발 계획의 일환으로 이에 필요한 극저온용 강재의 개발을 위해 많은 노력이 기울여지고 있으며, '석유 대체 전원용 신소재의 시험·평가 방법 표준화에 관한 조사연구'의 한 분야로서 1990년대 초부터 '극저온 재료의 표준화에 관한 조사연구'가 실시되고 있다.

그런데 극저온용 재료의 경우 사용 조건이 극저온이라는 극한 조건 때문에 이들 재료의 개발에는 많은 제약이 뒤따른다. 즉 외부로부터의 열의 침입을 가능한 한 방지하여야 하므로 비열과 열전도도가 낮아야 하며 열용량을 줄이기 위해서는 재료의 무게가 작으면서도, 사용수명 동안 걸리는 하중을 견디기 위하여 강도와 인성이 높아야 한다. 또한 반복적으로 걸리는 응력이 매우 높고, 경우에 따라서는 강력한 전자기의 영향도 받게 되므로 극저온 재료는 일반 구조용 재료보다 강도, 인성, 내피로성 등의 기계적 성질이 우수하여야 하며 전자기에 의한 물성의 변화도 작아야 한다. 그 밖에도 용접성, 가공성, 내부식성이 좋아야 하며 경제성 또한 무시할 수 없다. 이와 같

은 이유 때문에 사용 목적에 적합하고 안전성, 신뢰성, 경제성 등이 우수한 저온 재료를 개발하기 위한 노력이 오래전 부터 계속되어 왔다. 한편 극저온 구조물 및 설비의 안전성과 수명을 보증하여야 할 필요성 때문에 극저온에서의 재료 물성 파악이 불가결하게 되었다. 이와 같은 필요성 때문에 극저온에서의 시험 방법도 점차 향상되었고 이에 의하여 극저온용 재료의 설계에도 많은 도움을 주었다.

이러한 연구개발을 수행하기 위해서는 극저온에서 재료의 역학적 특성을 시험, 평가할 수 있는 극저온 시험 장치 및 시험 기술이 확보되어 있어야 된다. 그러나 국내에서는 극저온(특히 4 K)에서의 역학적 특성 평가 기반이 매우 취약하며 이에 대한 연구, 특히 극저온에서의 파괴인성시험과 관련된 연구는 거의 전무한 상황이다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구개발의 목표는 극저온 특히 4 K에서의 역학적 특성 평가 기술의 기반을 구축하는 것으로서 연구 개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

- 극저온 파괴인성시험장치 구성
- 극저온 J_{IC} 평가 기술 개발
- 온도에 따른 J_{IC} 특성 변화 연구

3. 연구개발결과

먼저 극저온에서 파괴인성시험을 할 수 있도록 시험장치를 구성하였다. 극저온에서 사용되는 파괴인성시험용 치구는 상용화된 것이 없으므로 본 연구의 목적에 맞게 설계·제작하였다. 치구에 사용된 재질은 SUS 304와 Ti-6Al-4V인데 Ti 합금은 pull rod 등의 제작에만 사용되었다.

변위를 측정하는 COD gage(또는 Clip-on Gage라고도 부름)는 어떤 특정

공칭 변위량에 대하여 상온에서 측정한 결과보다 77 K에서 측정한 결과가 최대 2% 정도 증가하였기 때문에 상온에서의 교정 결과를 77 K에서 그대로 사용할 수 없어 77 K에서 별도로 교정하여 사용하였다. 그러나 4 K에서는 77 K에서의 교정 결과를 그대로 사용하여도 오차가 그리 크지 않을 것으로 예상되어 77 K에서의 교정 결과를 그대로 사용하였다.

시험장치 구성 완료 후 극저온용 구조재료인 9% Ni강, SUS 304L, Al 5083 합금 등의 저온용 구조재료를 사용하여 극저온(4 K, 77 K)에서 파괴인성시험을 실시하고, 시험 후 파면을 관찰하였다. 9% Ni강의 경우 bcc 구조를 갖는 강들의 특징인, 저온에서의 파괴인성 천이가 77 K 이하의 온도에서 나타났으나, SUS 304L의 경우에는 4 K에서도 파괴인성값이 비교적 높게 나타났고 파괴인성 저하 정도가 적어 천이가 일어나지 않는다는 것을 알 수 있었다. 한편 Al 5083의 경우 상온에서보다 극저온에서 오히려 파괴인성이 큰 경향을 나타내었다.

4. 연구개발결과 활용 계획

- (1) 극저온에서의 역학적 특성 평가 기술의 국내 보급
- (2) 극저온용 구조물 안전성 평가를 위한 기초물성 데이터 생산
- (3) 극저온 역학특성 시험평가법 규격화를 위한 기반 구축

제 12 절 콘크리트 철근 부식의 현장측정기술 연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

콘크리트 구조물의 수명은 상당 부분 철근의 부식에 의해서 좌우된다. 철근 콘크리트의 부식의 주 요인은 제설 작업에 사용하는 약품에 포함되어 있는 염소 이온에 의한 부동태 피막 파괴와 공해가 원인이되어 생긴 콘크리트 내부의 산성도 변화를 들 수 있으며, 최근에는 모래의 부족으로 인해 바다 모래를 사용하면서 유입된 염소 이온도 주 요인으로 등장하고 있다. 이러한 부식으로 인한 피해는 향후 건축 자재의 부족과 공해가 심해짐에 따라 증가 될 것으로 예상되며, 이 문제의 해결을 위해 국외에서는 부식의 측정 및 방지 기술에 대한 연구가 오래 전 부터 수행되어 왔으나, 국내에서는 이에 대한 연구가 등한시되어 기술 수준이 낮은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 철근 부식으로 인한 막대한 피해를 줄이고 안전 사고를 예방하기 위해서 필요한 현장에서 철근 부식 속도를 평가할 수 있는 측정 기술을 확보할 목적으로 수행되었다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

콘크리트 철근 부식의 현장 측정 기술 확립을 위한,

- 현장 측정 기술의 특성 조사
- 현장 측정 기술의 비교 실험 연구
- 현장 측정 시스템의 구성 및 소프트웨어 제작

3. 연구개발 결과

- 현장 측정 기술의 특성 조사 : 부식 전위, 직류 분극저항, 교류 분극 저항, 정전위 분극법, 정전류 분극법, 정전류 펄스법의 특성을 비교조사함
- 현장 측정 기술의 비교 실험 연구 : 직류 분극저항, 교류 분극 저항, 정전위 분극법, 정전류 분극법, 정전류 펄스법에 의한 대기중, 수도물, 탈이온수, 1% NaCl, 3.5% NaCl 수용액에서 8개월 유지 시킨 시편의 분극 저항 측정 및 결과 비교
- 이동식 측정 시스템의 구성 및 소프트웨어 제작 : 현장 측정용 전극 및 셀, 이동식 시스템, 소프트웨어를 구성, 기존 상용 장비와 성능을 비교한 결과, 이동식 시스템의 구성과 측정 절차가 적절함을 확인함

4. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구에서 구성한 이동식 시스템을 사용, 현장 측정 서비스 및 기술 보급에 활용할 계획임

제 13 절 광강도형 형태의 광섬유센서를 이용한 강구조물의 균열 모니터링

1. 연구개발의 목적 및 필요성

가. 연구개발의 목적

본 연구의 목적은 기존의 안전진단 방식에서 취약한 부분이었던 국부적인 결함이나 균열의 초기탐지 및 진전양상의 감시를 위한 적극적이고 효율적인 새로운 기법의 개발에 참여함으로써 교량이나 빌딩과 같은 강구조물의 안전성 확보에 기여하고자 한다. 이에 따른 본 연구의 최종목표는 다음과 같다.

- ◆ 강구조물에서의 결함이나 균열의 발생을 광섬유센서를 이용하여 효과적으로 감지하는 기법의 개발

나. 연구개발의 필요성

교량, 빌딩 등의 구조물들은 우리 인간생활의 필수적인 기능을 하고 있으며, 최근에는 문명의 발달과 경제 규모의 성장 등으로 인한 요구에 따라 점차 대형화되고 복잡화되는 추세여서 구조물의 안전성 및 건전성의 평가에 대한 중요성이 점점 더 증가하고 있다. 현재 강구조물의 안전성 확보를 위해 실시하고 있는 안전진단 방식은 전체 구조물의 역학적 거동파악과 주기적인 육안검사에 의존하고 있어 구조물의 파괴를 유발하는 직접적인 인자인 결함이나 균열의 영향을 파악하기는 어려운 실정이며, 부재내부, 용접부, 복잡한 연결부위 등 육안검사시 시야가 미치지 못하는 부분에 존재하는 결함

이나 균열의 발생, 성장 등은 파악하기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 안전진단 기법의 단점과 한계점을 극복하기 위한 방법으로 광섬유센서를 이용하여 구조물의 사용기간 중에 발생하는 결함이나 균열의 발생 및 진전 상황 등을 실시간으로 검출하는 기법개발의 일환으로서, 구조 안전진단을 위한 기본기술이라 할 수 있는 구조물의 균열발생을 광강도형 광섬유센서를 이용하여 실시간으로 감시하는 방법에 대해 고찰하고자 한다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

위와 같은 연구목적을 달성하기 위하여 본 연구에서 수행할 연구내용은 다음과 같다.

▶ 광강도형 광섬유센서의 제작 및 특성파악

공기간극 사이의 길이가 외부 변형에 따라 변화하면 그사이를 지나는 빛의 통과량에 변화가 발생하는 것을 감지하여 변형률을 측정하게 된다.

▶ 광강도형 광섬유센서 신호의 분석

광섬유센서의 구성은 아래와 같이 전기아크 용착 접속기를 사용하여 공기간극을 구성하여 신호특성을 고찰할 수 있도록하였다.

그후 광섬유센서의 광원을 1300nm의 레이터다이오드를 사용하여 신호를 얻게된다. 이 신호에는 광강도 감소에 의한 신호와 간섭에 의한 신호인 정현파가 동시에 보여 주게 된다.

▶ 광강도형 광섬유센서에 의한 강구조물의 균열감시를 위한 실험

강구조물의 균열은 원공 주위의 응력집중에 따른 균열을 모델로하여 피로하중하에서 균열 성장에 대한 모니터링을 실시하였다. 또한, 균열성장길이에 대하여 광강도의 변화를 얻게 되는데 균열이 광섬유 센서와 가장 가까운 위

치까지 진전되면 광강도가 증가하고 그 후 다시 감소됨을 볼 수 있었다. 그러나 변형률계이지 신호는 이러한 균열에 의한 영향을 보이지 못하고 있음을 볼 수 있었다.

3. 연구개발 결과

강구조물의 균열감시를 위한 광강도형 광섬유센서를 구성하고 그 적용방법에 대하여 고찰하였다. 이러한 연구를 통하여 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 저렴하고 간단한 부품으로 광강도형 광섬유센서를 구성하였으며 비교적 쉬운 신호처리로 실시간으로 균열탐지를 가능하게 하였다.
- (2) 광강도형 광섬유 센서의 공기간극의 길이변화 영향을 조사하여 향후 광섬유센서설계의 기초자료를 제공하였다.
- (3) 강 시험편 표면에 광섬유 센서를 부착하고 인장시험을 수행하여 가해진 변형률에 대한 광섬유센서의 신호가 선형적임을 확인하였다.
- (4) 원형관통노치가 있는 강시험편에 광섬유센서를 부착하고 반복하중을 가하면 균열이 광섬유센서로 다가올 때 시험편의 강성저하로 인하여 신호의 진폭이 증가하다가 균열이 광섬유센서의 위치를 지나가게 되면 변형률 이완현상으로 인하여 다시 감소하였다. 함께 붙인 스트레인계이지에서는 일정한 폭을 갖고 있으므로 이러한 경향이 뚜렷하게 나타나지 않았다.

4. 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서는 분해능은 다소 떨어지지만 구조가 간단하고 저렴하며 후처리과정이 간단해 실시간 검출이 용이한 등 여러 장점을 가지고 있는 광강도형 광섬유센서를 제작하고 이를 SM45C시험편에 부착하여 균열검출 및 감시

기법에 관해 고찰해 보았다.

본 연구결과는 강구조물의 균열감지기법의 기본적인 토대를 마련하였으며, 추후 실제 구조물에의 적용을 위한 좀더 심도있는 연구를 통해 교량이나 빌딩 등의 대형 토목 구조물의 효율적인 안전성 평가방법으로 자리 잡을 수 있을 것으로 보인다. 또한, 구조물의 안전성을 크게 개선시키고 더 편리하고 저렴한 정비, 유지 및 보수를 가능하게 하는 구조 안전진단 기술로 발전할 수 있을 것이다. 이러한 기술이 확립되면 많은 대형 구조물의 붕괴사고를 미리 예측하고 예방하는 데 기여할 수 있다. 또한 실시간으로 구조물의 안전성 및 건전성을 감시하므로 구조물의 유지 및 안전진단 비용의 절감, 구조물의 보수시점의 결정, 설계하중보다 과중한 하중(예를 들면, 지진이나 폭풍의 경우)이 걸린 후의 안전진단 등의 효과를 기대할 수 있다.

제 14 절 광산안전감시 및 인명위치 탐지기술 타당성 연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

광산 붕괴 및 매몰 사고는 해마다 발생하고 있으며, 그 사고에 따른 인명 및 산업 손실의 규모도 더욱 증가하고 있다. 광산 사고가 발생할 때마다, 신문과 사회 여론에서 그 사고의 원인에 대해 여러 가지 설명을 제시하지만, 사고가 수습되는 단계 이후로는 다시 광산 사고의 위험성을 잊어버린 채 잠시 신문 사회면에서 사라지고 만다. 하지만 사고의 후유증은 그 지역 사회에 계속 남아 있으며 여러 가지 사회적 갈등마저 야기시키고 있다. 이제 광산 사고에 대한 대비는 국가적 차원에서 그 예방 및 운영 그리고 사고 발생 시의 대처 기술의 정립으로 분명한 가닥을 설정하고 대응 방안을 가져야 한다. 광산 사고에 대한 대비는 국가적 차원에서 그 예방 및 운영 그리고 사고 발생 시의 대처 기술의 정립으로 분명한 가닥을 설정하고 대응 방안을 가져야 한다. 본 위탁연구과제에서는 이러한 광산 사고를 예방하기 위한 안전 운용 및 불의의 사고 발생 시 신속하고 과학적인 방법으로 매몰된 인명에 대한 구조 작업을 수행하기 위한 공학적 기술을 연구 개발하고자 한다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

본 위탁과제의 최종 목적을 달성하기 위해서는 다년간의 시스템 개발 연구 및 광산에서의 야외 실험이 필요한 만큼, 연구 개시 일차년도에 해당하는 당해연도에는 광산 안전 감시 및 인명 위치 탐지 기술에 대한 타당성에 문헌조사 및 방문조사하는 것을 주 내용으로 하였다.

3. 연구개발결과

한국자원연구소, 대한광업진흥공사, 통상산업부 안전사업소, 119구조대의 광산 안전 감시를 위한 운용 현황을 조사하였으며, 이 기관들에 의해 자원 및 지질 탐사, 탄광 채굴 관리, 행정 안전 관리, 인명 구조 등의 역할 분담이 상호 유기적으로 수행되고 있다. 광산 사고 현장에서 필요한 장비들로서 향후 그 연구 개발이 매우 절실한 것으로

- 1)인명 구조를 위한 비상 굴착 장비
- 2)갱도 붕괴의 확산을 신속히 차단시키는 장치 시스템
- 3)매몰된 갱도의 위치를 알려주는 지중 Navigation(나침판)시스템 등이 있다.

4. 연구개발결과의 활용계획

본 연구는 위의 특히 세 번째 항목을 중점적으로 다루고 있으며, 이 같은 지중 Navigation시스템의 실현을 향후 연구 개발 목표로 하고 있다. 광산 안전 운용을 위해 가장 필요 시급한 것은 현재 굴착되는 지하 갱도에 대한 전체적 지도를 실 시간적으로 만들 수 있어야 한다. 지중 Navigation 시스템의 개념은 곧 지하 갱도에 대한 전체적 지도를 과학적으로 계측, 작성하여 이를 토대로 갱도 정보망을 구축하는 데 그 개념 바탕을 가진다. 이 같은 지중 Navigation 시스템의 구현은 역으로 매몰된 갱도의 위치를 역추정할 수 있게 해준다.

제 15 절 휴대형 진동(가속도, 속도, 변위)분석기 기술 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

구조물 안전진단은 진단데이터를 이용 보강 및 보수를 용이하게 함으로써 경제적인 측면에서 필요하며 아울러 사고예방을 위한 안전에도 매우 중요하다. 최근에는 구조물의 효율적인 유지관리를 위한 초기 데이터 확보가 중요시 되고 있으므로 이를 바탕으로 정확한 안전대책 수립의 요구가 어느 때보다 요구되고 있다.

구조물의 안전진단은 정적시험과 동적시험으로 분류되며 동적시험에서의 진동특성의 분석은 매우 중요하다. 그러므로 구조물의 진동신호를 크기, 빠르기, 방향 등의 면에서 해석하여 진단하는 계측기술이 널리 이용되고 있다. 이러한 해석을 위해 진도의 변위, 속도, 가속도 등의 측정과 이에 대한 주파수 영역에서의 분석이 필요하며, 특히 이러한 측정데이터를 실시간으로 처리하는 기수가 필요하다. 그리고 구조물 진단을 위한 신호측정은 그 주변환경의 변화가 심하며, 특히 잡음이 많은 열악한 환경이므로 신호를 실시간으로 직접 현장에서 측정하거나 확인하는 휴대용 측정, 분석기의 개발은 절실하다고 할 수 있다.

그리고 진동신호를 시간영역과 주파수영역에서 분석하는데는 필터링, 적분, FFT 등의 연산처리 과정이 필요하게 된다.

이러한 신호처리 과정을 실시간으로 실현하는데는 기존의 범용 마이크로프로세서를 이용할 경우 처리속도, 시스템 규모 등의 많은 문제점이 수반된다.

최근 빠른 연산속도를 갖는 DSP는 통신, 제어, 음성처리 등에서 그 효율성이 인정되고 있으므로, DSP관련 하드웨어, 소프트웨어 기술을 구조물 진단용 계측기술에 적용함으로써 진동분석의 실시간처리가 가능해진다. 이로 인해 종래의 안전진단 방법이 지닌 불확실성 및 주관적인 판단을 개선할 수 있으며, 또한 구조물 안전진단 평가기술의 운용성 및 신뢰성 향상에 기여할 것으로 본다. 그리고 산업의 많은 분야에서 구조물 안전진단의 필요하게 되므로 진동분석 계측기술의 개발은 안전진단 기술의 향상면과 수입대체로 인한 경제적인 측면에서 기여할 것으로 본다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

구조물은 경년변화에 의해 시간이 흐름에 따라 그 고유 진동주파수가 낮아지게 되어 일반적으로 가속도 센서를 이용 진동신호가 얻어진다. 가속도 센서로부터의 진동신호에는 잡음이 섞이게 되므로 잡음제거를 위한 필터링이 필요하며, 또한 이 신호를 이산영역에서의 특성분석을 위해서도 필터의 설계 실현도 요구된다.

그리고 진동신호의 특성을 시간영역(진폭크기, 속도, 변위 등)과 주파수영역(진동주파수)에서 분석하기 위한 DSP하드웨어 및 소프트웨어 개발이 필요하다.

DSP상에서 처리된 데이터는 현장분석을 위해 그래픽 LCD에 표시되어야 하며, 이와 같은 기능을 갖는 시스템 개발을 위한 본 연구의 내용은 다음과 같다.

- 진동신호 잡음제거 및 이산 시간영역에서 anti-aliasing 방지
 - 아날로그 능동필터 설계 구현
 - 아날로그 인터페이스회로의 클럭 주파수를 고려한 디지털 필터 설계
- 진동신호의 이산영역에서 처리를 위한 하드웨어 소프트웨어 개발
 - 디지털 필터, 적분, FFT를 위한 DSP보드 개발
 - 디지털 필터, 적분기, FFT를 위한 어셈블리 코드 작성
- 처리된 진동신호 데이터의 처리
 - 아날로그 인터페이스를 통한 아날로그 출력
 - 그래픽 LCD를 통한 표시(그래픽처리 프로그램 개발 및 문자 표시 프로그램 개발)

3.연구개발 결과

○가속도 진동신호 처리기술 개발

목 적	개 발 결 과
-가속도 진동신호처리 기술개발 • 잡음제거 및 anti-aliasing필터 설계, 구현	• 능동 저역통과 필터 설계, 실현 • 최적근사화기법이용 FIR디지털 필터 설계, 구현 • 두 필터를 종속접속함으로서 30dB이상의 감쇄 특성을 얻었으며, 회로의 복잡성, 전력 소모, 계산량의 증가면에서의 많은 부담을 경감

○DSP 시스템 설계 기술 개발

목 적	개 발 결 과
-DSP시스템 설계 기술 개발 • DSP시스템 설계, 실현 • 아날로그 및 직렬 인터페이스 실현	• 전처리 아날로그필터와 차단주파수 매칭을 위한 인터페이스회로 개발 • 실시간 처리를 위한 TMS320C50 시스템 보드 개발

○디지털 신호 처리 기술

목 적	개 발 결 과
-디지털 신호처리 기술 개발 • FIR 필터 • 이산영역 적분기 • FFT	• 디지털 신호처리 소프트웨어 디버깅, 다운로드를 위한 PC인터페이스 프로그램 개발 • FIR필터 프로그램 실현 - 진동신호 주파수 특성 • 이산영역 적분기 프로그램 실현 - 속도, 변위 특성

○그래픽 LCD 기술개발

목 적	개 발 결 과
-그래픽 LCD 기술개발 • 처리데이터 그래픽 • 처리데이터 문자 표시	• 그래픽 LCD 제어 프로그램 개발 • 그래픽 LCD 화면 표시 프로그램 개발 • DSP보드와 그래픽 LCD간 인터페이스 프로그램 개발

4. 연구개발결과의 활용계획

- 구조물 안전진단 현장에서 측정되는 신호와 데이터를 실시간으로 처리하는 DSP시스템을 개발함으로써 구조물 안전진단 및 평가기술의 신뢰성 및 운용성을 향상시킬 수 있다.
- 진동신호의 해석 및 특성분석을 위한 범용 DSP프로그램 개발로 구조물 종류에 따른 진동신호의 주파수 범위에 유연하게 대처할 수 있는 시스템 개발이 용이하게 된다.
- 하나의 시스템으로 시간영역 및 주파수영역에서 신호의 특성을 처리할 수 있어 경제적이라 볼 수 있다.
- 개발된 시스템의 DSP보드(120×150mm)와 그래픽 LCD(110×70mm)의 규모가 작으므로 휴대용 제품화가 용이할 것으로 본다.
- 개발된 본 시스템의 제품화에는 대표적으로 전원부의 통합, 진동신호 자동이득 조절 회로 개발, 상세 LCD디스플레이 설계 등의 문제가 해결되어야 할 것으로 본다.

제 16 절 금강철교 상시계측데이터 해석 및 구조연구

1. 연구의 목적 및 필요성

인류 최초의 교량인 풍 드 가르교가 기원전 19년에 로마에 건설된 이래 산업혁명과 더불어 철강이 대량 생산되면서 근대 교량의 건설이 가능케 되었다. 이 후 교량은 중요한 국가 기반 시설로서 국가의 경제발전과 사회발전에 큰 기여를 해 오고 있다. 국내에도 약 3,000개소가 넘는 철도 교량을 포함하여 많은 교량들이 건설되어 국가발전의 원동력인 사회간접자본으로서의 역할을 충실히 해 오고 있다.

그러나 오랜 공용기간에 걸쳐 교량은 설계하중의 반복적인 재하와 증가, 그리고 주위의 열악한 환경으로 인해 노후화가 진행되면서 진동과 소음을 동반한 열화현상의 출현으로 인해 안전 상에 많은 문제점이 제시되어 유지관리의 중요성이 대두되었다. 특히 최근에 발생한 성수대교의 붕괴사고를 계기로 대형구조물의 유지관리의 미비가 국가적으로 엄청난 손실을 유발함을 알 수 있어 노후구조물에 대한 대대적인 안전점검 및 지속적인 유지관리가 절실히 요구되고 있다. 따라서 효율적인 유지관리와 정밀 안전진단을 위하여 교량에 계측기를 부착하여 재하되는 하중과 손상에 의한 교량의 움직임을 파악하려는 노력이 시도되고 있다.

이러한 상시 감시 시스템의 효과적인 운영을 위해서는 시스템으로부터 측정되는 데이터가 교량의 움직임을 대표할 수 있도록 측정항목을 결정하고 계측기기의 부착위치를 선정하여야 한다. 따라서 대상교량의 손상정도를 파악하고 이를 감안하여 해석모델을 개발한 후 예상되는 여러 가지 하중 하에서 교량의 정적, 동적 구조해석을 통해 교량의 구조적 거동의 특성을 예측하는 작업이 효율적이고 경제적인 측정 항목과 위치의 선정을 위해서 필수적이다. 또한 상시 감시 시스템을 설치한 후 시스템에서 측정되는 데이터를 분석하여 기 개발된 해석모델을 수정,보완함으로써 향후 상시 감시 시스템을 이용한 교량의 정밀 안전진단과 잔존수명을 예측하는데 유용하게 사용될 것이다.

2. 연구내용 및 범위

금강철교와 같은 TRUSS교량의 상시 안전 감시 시스템 개발을 위한 3차원 구조해석등을 실시하고 전체구조물 거동에 관한 구조적 특성을 파악하는데 연구목표가 있는 것으로 내용 및 범위는 다음과 같다.

- 1)계측기기 항목 및 위치선정
- 2)정밀진단실시
- 3)진단자료 분석 및 가공
- 4)전문가시스템을 위한 감시 파라미터 선정

3. 연구결과

금강철교 상시 감시 시스템을 위한 TRUSS교량의 상시계측 데이터해석 및 구조 연구는 교량의 유한 요소 해석 프로그램을 사용한 정적,동적구조해석을 하여 대상교량의 거동을 효율적으로 파악할 수 있도록 하였고 응력계, 변위계, 온도계 및 저항형 스트레인게이지를 설치·접착할 수 있도록 측정 항목과 위치를 선정하였다. 또한 상시 안전 감시 시스템에 의해 측정된 데이터 해석 결과를 비교하여 해석모델을 구축하고 수정·보완하는 단계에 있다.

처짐계, 가속도계, 변형률 측정기등의 측정기기에서 계측된 데이터를 분석하여 교량의 전반적 거동 분석에 활용하고 '94년 실시된 안전진단 결과와 비교하여 교량의 노후정도를 파악하려 하였으나 '94년 재하시험조건과 일치하기 어려워 전반적인 상태만을 확인하였다.

그리고 최종적으로 상시안전감시 시스템을 위한 감시 파라미터를 제시하였다.

4. 연구결과의 활용계획

표준과학연구원의 방재연구센터에서 개발중인 상시 안전 감시 시스템을 트러스형 강교량에 효율적으로 활용할 수 있을 것이다.

- 1) 측정항목과 기기 위치의 효율적인 선정방법의 제시
- 2) 기선정된 측정항목과 측정위치의 타당성 검토
- 3) 강교량의 안전도 분석, 평가를 위한 자료의 효율적 분석, 고찰 방법 확보
- 4) 동적해석을 통한 강교량의 손상도 평가방법 제시

제 17 절 콘크리트구조물의 노화도평가를 위한 기포분포상태 측정기술 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구에서는 콘크리트의 내후성능을 평가하고 특성을 컨트롤하는 수단으로서 필요 불가결한 콘크리트 내부기포의 분포상태를 측정하기 위한 기술을 개발하는 것을 그 목적으로 하며, 컴퓨터가 인식할 수 있는 미세기포의 추출방법의 개발과 직경별 기포의 개수를 산정하기 위한 신속하고 정확한 측정방법을 확립하고자 한다.

주요한 건설재료인 콘크리트의 내부에는 미시적(微視的)으로는 스펀지와 같이 많은 공극 즉, 모세관공극(capillary pore), 겔공극(gel pore), 작은 기포(micro pore), 큰 기포(air void) 등이 산재해 있다. 이러한 각종 공극의 존재 상태 즉, 크기, 모양, 직경별 함유량 등의 분포상태는 콘크리트 구조물의 내구성능(노후화)을 결정하는 중요한 역할을 하고 있다. 그러므로, 콘크리트의 내후성능을 파악하거나 잔존 성능을 파악하기 위해서는 이러한 기포의 크기별 분포상태의 파악은 필수적이라 할 수 있다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

경화콘크리트의 제반 물성에 큰 영향을 미치는 콘크리트 내부기포의 분포상태를 신속, 정확하게 측정하기 위한 표준적인 수법을 개발하는 것을 목표로 하여, 절단된 시멘트 경화체의 단면을 가공, 처리한 후 미세기포부분에 선택적으로 화상처리시 구별이 가능한 색도를 갖는 물질, 혹은 형광물질 등을 넣은 후 다시 표면처리하여 컴퓨터를 이용한 화상처리기법을 이용하여 미세기포의 분포상태를 측정하는 수법을 확립한다.

본 연구는 콘크리트 공시체의 연마 및 표면처리방법의 검토, 최적 충전제의 검토 및 기존의 기포분포 측정방법인 ASTM C 457의 방법과 기타 콘크리트의 공기량 측정방법과의 비교를 통하여 본 연구 대상인 화상처리방법과의 실용가능성을 검증하였다.

그리고, 금번의 연구에서는 연구결과를 통하여 제안된 수법을 콘크리트공시체에 적용하여 그 정확성 및 응용 가능성을 검증하는 것까지를 본 연구의 범위로 한다

3. 연구개발 결과

본 연구의 진행을 통하여 얻어진 주요한 결과를 요약하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 본 연구의 진행을 통하여, 화상분석방법을 이용한 경화콘크리트 기포분포 측정의 표준적인 시험방법을 제안하였다.
- 2) ASTM C 457의 리니어 트래버스법(Linear Traverse Method)과 본 화상분석법의 측정결과는 높은 상관관계를 나타내는 것이 확인되었으며, 경화콘크리트의 기포분포측정에 본 화상분석법을 이용하여도 실용상의 큰 문제 없이 사용할 수 있을 것으로 사료된다.
- 3) 본 화상분석법은 기포분포상태이외에도 콘크리트의 각종 특성을 분석함에 있어서 이용할 수 있는 분야가 많이 있으며, 본 연구를 통하여 그 중에서도 골재의 분포상태측정에의 이용 가능성도 아울러 확인되었다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

콘크리트의 물성중에서 가장 중요한 콘크리트의 강도가 내부공극의 양, 크기에 좌우되는 것은 강도이론의 가장 기본이 되는 사실이며, 주된 노후화 요인인 동해(凍害, Freezing and Thawing Resistance)의 정도, 중성화(中性

化, Carbonation)속도, 투수, 투기성능 등 또한, 내부의 기포분포상태가 좌우하고 있다.

즉, 동해에서는 기포의 분포정도가 수분함유량을 좌우하여 동결될 수 있는 수분량을 결정하고 그 다소에 따라 동해의 정도는 현저한 차이를 나타낸다.

그리고, 중성화현상은 대기중의 탄산가스가 콘크리트 내부로 침투하여 철근을 보호하고 있고 알칼리성분을 중화시킴으로써 내부철근을 부식시켜 구조물이 약화되는 노후화의 가장 기본적인 현상이다. 이러한 탄산가스의 침투는 콘크리트가 함유한 내부 기포의 양 및 분포상태가 좌우하며 중성화 속도를 결정하는 가장 중요한 요인으로서, 콘크리트 노후화 및 수명판정의 기본이 되고 있다.

그 외에도 투기, 투수 등의 콘크리트의 투과성능(Permeability) 또한 내부 기포의 분포상태가 중요한 역할을 하고 있다.

이상과 같이 콘크리트의 내후성능을 파악하거나 잔존 성능을 파악하기 위해서는 이러한 기포의 크기별 분포상태의 파악은 필수적이라 할 수 있다.

본 연구를 통하여 제안된 화상분석법에 의한 기포분포 측정방법이 실용화된다면, 컴퓨터를 이용하여 정확하고 신속한 처리, 분석을 행함으로서 기존의 ASTM C 457의 방법에 비하여 실험기간을 1/20이하로 단축시키고, 그 정확도를 비약적으로 높임으로서 콘크리트 내후성(내구성) 관련 연구분야에 있어서의 획기적인 진전이 가능할 것으로 사료된다.

제 18 절 강교량의 취약부 선정을 위한 해석 프로그램 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 잇달아 발생한 대형구조물의 붕괴사고 뿐 아니라 구조물의 노후화에 따라 국내·외적으로 대형구조물의 안전진단이 중요한 문제로 부각되고 있다. 완벽한 안전진단을 수행하기 위해서는 기계설비나 소형부품 등에 적용하는 정밀한 비파괴검사법을 사용하는 것이 좋겠으나, 이러한 정밀비파괴검사를 구조물 전체에 걸쳐 적용하는 것은 매우 비경제적일 뿐 아니라 실제로는 불가능하다. 이 문제를 해결하기 위하여 두가지 방법을 생각할 수 있는데, 첫째는 대형구조물의 비파괴검사를 짧은 시간에 수행할 수 있는 검사법을 개발하는 것이고, 두 번째 방법은 대형구조물의 검사부위를 최소화하여 기존의 비파괴검사법 적용의 경제성을 확보하는 것이다.

본 연구는 강교량에 대한 후자 방향의 연구로서, 그 목적은 유한요소해석과 피로해석을 통하여 교량 각 부재의 피로수명을 계산하고 취약부를 선정하는 기법을 프로그램화하는 것이다. 이 해석기법은 전년도에 수행한 과제의 결과에 기초하고 있는데, 이를 비전문가가 이해하고 적용하기는 어려우므로, 이를 프로그램화하여 비전문가도 쉽게 이와 같은 복잡하고 어려운 구조 및 피로해석을 수행할 수 있도록 할 필요가 있다. 이와 같은 연구는, 실제로 대부분의 경우 교량 취약부를 선정하는 작업이 비전문가에 의하여 수행된다는 점에 착안할 때, 매우 중요한 연구이며 반드시 필요한 연구이다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 전년도 연구에 이어, 검사부위를 최소화하는 방향으로 후속연구를 수행하였다. 전년도 연구에서 개발된 교량 취약부 선정기법은, 먼

저 유한요소해석을 통하여 변동하중이 작용하는 교량에서 부재 각각에 발생되는 응력의 시간이력을 구한 후, 이에 근거하여 피로해석을 수행함으로써 가장 피로수명이 짧은 부재를 취약부재로 선정하는 방법이다. 이러한 해석 방법은 그 복잡성으로 인하여 비전문가가 이용하기에 어려움이 많으므로, 본 연구에서는 비전문가도 쉽게 이러한 해석을 수행할 수 있도록 통합소프트웨어를 개발하였다.

전년도 연구에서의 유한요소해석은 상용프로그램을 사용하여 수행한 반면, 본 연구에서 개발된 프로그램에서는 자체 개발한 유한요소해석 모듈을 사용하였다. 또한, 전년도 연구에서 수행한 피로해석법은 계산을 간단히 하기 위하여 매우 근사적인 방법을 사용하였으나, 본 연구에서 개발된 피로해석 모듈은 근사해석법 이외에도 보다 엄밀한 해석법을 추가로 포함시켜 사용자가 해석방법을 선택할 수 있도록 하였다. 즉, 전년도 연구에서는 교량의 각 부재가 겪는 응력이력으로부터 rainflow 사이클계수법으로 구한 다양한 종류의 응력사이클을 한 종류의 등가응력사이클로 치환하는 근사적인 방법을 사용하였고 임계균열크기의 계산에 있어서도 형상계수를 상수로 취급하였다. 이에 반하여, 본 연구에서는 전년도 연구와 같은 방법을 취하되 상수로 취급하였던 형상계수를 변수로하여 수치적분을 수행하는 피로해석기법과, 균열이 응력사이클 각각에 의하여 성장하는 균열크기의 증분을 계산하여 합산해 나가는 매우 정확한 피로해석법까지도 도입함으로써, 피로해석의 정확도를 크게 향상시켰을 뿐 아니라, 사용자가 필요와 편의에 따라 원하는 방법을 선택할 수 있게 되었다.

또한, 소프트웨어의 개발에 있어서 사용자의 편의를 최대한 도모하기 위하여 Visual C++ 언어를 사용한 GUI(Graphic User Interface)를 작성하여 사용하였다. 그러나, 본 연구에서 개발된 소프트웨어는 아직 초보적인 단계로서, 추후 연구를 통하여 보완·발전시켜야 한다. 예를 들면, 현재의 유한요

소해석 모듈은 트러스 요소에 대한 해석만이 가능한데 이를 발전시켜 다양한 종류의 유한요소를 다룰 수 있는 프로그램으로 확장하여야 할 것이고, 피로해석에 있어서 소성의 영향을 고려하여야 할 것이며, 재료의 물성치에 관한 데이터베이스를 확보하는 등의 노력을 경주하여야 할 것이다.

요약하면, 본 연구에서는 교량의 유한요소해석 모듈과 피로해석 모듈을 갖는 사용자편의 통합소프트웨어를 개발하였다. 즉, 교량의 각 부재에 작용하는 응력이력을 구하고 피로해석을 수행하여 잔존수명을 계산함으로써, 잔존수명이 짧은 부재를 취약한 부재로 선정할 수 있다. 전년도연구에 비하여 피로해석법이 보완되었으나, 자체 개발한 유한요소해석 모듈은 아직 간단한 해석만 가능하다.

3. 연구개발 결과

피로파괴의 관점에서 교량의 취약부재를 선정하는 프로그램을 개발하였다. 본 연구의 목적은 교량의 취약부를 선정하는 기초 프로그램을 개발하는데 있다. 취약부의 선정을 위해 교량의 유한요소해석과 피로해석을 수행하여, 피로파괴에 관한 잔존수명의 관점에서 가장 취약한 부재를 선정하는 방법을 사용하였다. 이렇게 얻어진 결과를 이용하여, 취약부에서 집중적으로 정밀비파괴검사를 수행함으로써 안전진단의 경제성을 확보할 수 있을 것이다.

계산 예로서, 특정한 트러스 강철도교의 부재들에 대한 상세 피로해석을 수행하여 균열이 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 잔존피로수명을 구하고, 또한 각 부재가 정해진 수명을 갖기 위해 허용되는 최대균열크기를 계산해 보았다. 고려하였던 계산 예에서는 균열이 있는 경우에 대한 잔존수명을 세가지 피로해석기법으로 구한 결과가 서로 유사하였다.

본 연구에서 개발된 소프트웨어가 교량의 안전진단을 위하여 실제로 사용될 수 있는 하나의 도구가 되기 위해서는, 아직 많은 사항들이 첨가되고 보

완되어야 한다. 예를 들면, 트러스 요소 이외의 요소에 대한 계산도 가능하도록 유한요소해석 모듈을 발전시키고, 재료의 물성치를 데이터베이스화 하며, 파괴역학 해석을 포함시키는 것 등이다. 따라서, 본 연구에서 개발된 소프트웨어는 향후 실용성이 있는 프로그램으로 발전할 수 있는 기본 골격을 제공하고 있으며, 추후 첨가와 수정·보완이 용이하도록 모듈 형태로 개발되었다.

본 연구에서 개발된 소프트웨어는 추후연구를 통하여 완성된 형태로 발전되면, 강교량의 안전진단에 있어서 매우 유용한 프로그램으로서의 역할을 다할 것이다. 또한, 본 연구에서 적용한 파괴해석이론은 이미 금속재료분야에서는 널리 사용되고 있는 기법이지만 아직도 건설분야에서는 생소한 방법이다. 따라서, 본 연구에서 개발된 소프트웨어를 사용하면 이러한 해석방법에 익숙하지 않은 비전문가도 쉽게 적용할 수 있을 것이며, 그 결과로서 강교의 안전진단기술이 더욱 발전할 수 있으리라 판단된다. 또한, 본 연구에서 개발된 프로그램과 비파괴검사를 이용한 현장검사기법이 접목된다면 검사의 정밀도를 높일 수 있을 뿐만 아니라 비파괴검사 및 파괴역학이론을 연구하는 기계, 금속, 물리 분야의 기술발전에도 기여할 수 있으리라 사료된다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구에서 개발된 프로그램은 향후 보완·발전시키면 비파괴검사 등의 정밀안전진단검사를 강교량에 대해 경제적으로 수행함에 있어 유용하게 활용될 수 있으며, 여타 토목구조물의 안전진단에도 응용될 수 있을 것이다. 본 연구의 결과를 활용하기 위할 수 있는 몇가지 계획 및 발전방안을 열거하면, 다음과 같다.

먼저, 본 연구에서 개발한 트러스 강철도교의 잔존수명예측 소프트웨어를 현재 공용 중인 노후 트러스교에 적용함으로써 교량에 존재하는 균열탐지를

위한 비파괴검사부위를 최소화하며 교량의 보수·보강계획을 체계적으로 수립할 수 있을 것이다. 둘째로, 본 연구에서 개발한 프로그램은 트러스 강철도교에 관한 것이지만, 유한요소해석 부분에 대한 보완이 이루어진다면 다른 종류의 강교에도 본 연구에서 제안한 피로수명 예측방법이 적용될 수 있을 것이다. 셋째로는, 추후 볼트체결부 및 용접부와 같은 부재의 연결부위에 대한 국부해석을 수행함으로써 보다 정확한 피로수명예측이 가능한 프로그램으로 발전시킬 수 있을 것으로 사료된다. 마지막으로, 잔존수명예측을 위한 피로해석을 수행함에 있어 파괴인성, 피로와 관련한 물성치가 중요한 인자가 되므로 이에 대한 폭넓은 자료조사와 추가적인 실험이 필요하다. 또한 보다 엄밀한 결과를 얻기 위해서는 구조해석시 충격계수의 적용과 실제적인 차량하중모델의 사용이 필요하다.

제 19 절 강교량 부재의 균열진전과정 해석프로그램 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

강교량의 구조적 안전성을 확보하고 그 사용성을 유지시키며 붕괴방지에 대한 신뢰도를 확보하기 위해서는 강교량 부재의 균열의 존재유무를 파악하는 것 못지 않게 균열이 진전되는 과정과 균열성장애 따른 물리적인 영향과 응력상태의 변화를 정확히 예측하는 일이 매우 중요하다. 이러한 문제의 해결에 있어 기존의 유한요소법을 비롯한 요소개념을 사용하는 수치해석방법들은 균열전파의 모형화 및 해의 정도향상에 있어 많은 어려움을 야기시킨다.

본 연구에서는 유한요소법과 같은 기존의 해석방법들이 지닌 한계를 극복하여 초기균열상태로부터 균열이 성장, 진전되어 가는 과정과 그에 따른 물리적 상태 변화를 효율적이고 보다 정확히 해석할 수 있는 새로운 수치해석 프로그램을 개발하는데 그 목적을 두었다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

강교량에서 균열에 의한 강성저하가 구조물의 사용성 및 안전성에 큰 영향을 주지 않는 시간적 범위내의 적당한 시기에 적절한 보수·보강이 이루어진다면 강교량의 안전성은 충분히 확보될 수 있으며 교량의 유지관리측면에서도 경제적 효과를 올릴 수 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 균열의 발달과정에 따른 구조부재의 역학적 거동을 명확히 규명할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 이러한 목적달성을 위한 연구의 일환으로 피로균열을 중심으로 한 부재의 파괴진행과정 및 이에 따른 구조역학적 거동변화를 효율적

으로 정확하게 파악할 수 있고 균열선단주변에서의 응력집중현상을 잘 반영할 수 있는 무요소절점법을 사용한 새로운 해석적 알고리즘을 개발하고 해석프로그램을 완성하였다.

균열의 진전과정과 그에 따른 부재의 응력변화 및 강성저하는 초기균열의 크기와 형상, 부재의 기하학적 조건, 작용하중의 종류와 크기에 따라 달라지므로 균열의 영향에 의한 구조역학적 거동규명을 위한 해석알고리즘을 2차원 선형탄성파괴역학이론에 근거하여 형성하였고, 1990년대 중반 이후 미국에서 그 연구가 활발히 진행되고 있는 Meshless Method 이론에 입각한 새로운 수치해석 알고리즘을 이용하여 균열의 성장에 따른 경계형상의 지속적인 변화를 손쉽게 처리할 수 있는 해석기법을 개발하고 이를 파괴역학이론과 접목함으로써 연구목적에 부합하는 균열 진전에 의한 파괴진행과정의 거동해석을 효율적으로 수행할 수 있는 해석기법을 정립하였다.

개발된 해석알고리즘과 프로그램을 이용하여 대표적 피로균열형상을 띤 모의부재를 대상으로 한 해석적 연구결과를 구하고, 이를 이론해 혹은 실험적 결과와 상호 비교·분석하여 해석적 방법론의 수정·보완을 거친 후, 최종적으로 검증된 해석 프로그램을 이용하여 강교량에 발생하는 대표적인 국부균열형상에 따른 구조부재의 균열의 발달경로와 이에 따른 점진적 파괴진행 거동을 규명하였다.

해석대상 예제로는 강교량 부재에 자주 발생하는 대표적인 모드 I 균열문제와 모드 I 과 모드 II의 복합모드 균열문제를 택하여 개발된 프로그램의 정확성을 검증하였다.

3. 연구개발 결과

본 연구에서는 최근 개발된 새로운 수치해석기법인 무요소절점법을 이용하여 요소망을 구성하지 않고 절점들만을 사용하여 해석을 수행할 수 있으

며 균열선단주변과 같이 응력이 집중되는 부위에 단지 절점들만을 추가시켜 해의 정도를 손쉽게 향상시킬 수 있는 새로운 균열해석기법을 개발하였다. 또한 이를 바탕으로 균열이 성장함에 따른 응력해석을 효율적으로 수행할 수 있는 균열진전해석 프로그램을 완성하였다.

개발된 알고리즘과 프로그램의 정확성 및 실용성을 검증하기 위해 대표적인 모드 I 과 모드 I, 모드 II의 복합모드 균열전파문제의 해석에 적용해 본 결과 개발된 프로그램을 사용하면 손쉽게 균열선단 주변에서 높은 해의 정확도를 유지할 수 있으며 균열이 성장함에 따라 요소망의 재구성없이 단지 절점들만을 추가하여 새로운 균열형상을 묘사해 줌으로써 균열진전문제를 간편하게 해석할 수 있음을 입증하였다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구에서 개발된 해석기법 및 프로그램을 사용하면 강교량 부재에 발생한 균열이 향후 성장되어 가는 과정과 그에 따른 물리적 특성변화를 손쉽게 정확히 예측할 수 있으므로 강부재의 안전성 및 사용성의 신뢰도를 높일 수 있으며, 유지관리 및 보수·보강계획 수립의 유용한 도구로 활용이 가능하다. 본 연구개발결과를 통하여 활용계획을 살펴보면 다음과 같다.

- 개발된 프로그램을 통하여 강교량 부재의 균열성장과정과 그에 따른 응력상태의 변화 등을 손쉽게 규명할 수 있어서 구조물의 안전성을 확보할 수 있다.
- 강교량이외의 주요 강구조물에도 적용이 가능하여 구조물의 성능평가를 위한 필수적인 해석도구로 사용될 수 있으며, 주요 파괴인자의 영향에 대한 데이터베이스 확보의 도구로 활용될 수 있다.

- 중요한 사회기반시설물의 안전유지관리에 필요한 고난이도의 구조해석을 용이하게함으로써 큰 사회적 불행을 야기시킬 수 있는 대형안전사고를 미연에 방지하고 사회적인 혼란이나 불안요인을 제거할 수 있으며 사회 기간구조물의 합리적인 유지관리에도 기여할 수 있다.

제 20 절 초음파 및 음향방출을 이용한 콘크리트부재의 균열검출에 관한 연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

최초 국내에서 발생한 삼풍백화점 및 교량 붕괴사고 등의 각종 구조물 붕괴사고들은 사회적으로 큰 인명피해를 초래하였음은 물론 경제적으로도 막대한 피해를 가져다주고 있다. 특히 국내에 건설된 구조물들의 상당수가 1960년대부터 시작된 제 1, 2차 경제개발계획에 따라 건설된 것임을 감안할 때 이들 노후화된 구조물들의 안전관리는 물론 이를 위한 안전관리기술의 확보가 무척 중요한 연구과제로 대두하고 있다.

한편 콘크리트 구조물은 구조물의 특성상 초기 또는 사용 중에 발생하는 부재 각 부분의 내부결함 및 손상도(degree of damage)를 평가하기 위하여는 종래의 파괴적인 방법의 적용에 큰 제약을 받기 때문에 비파괴적인 기술개발이 요구된다. 특히 콘크리트 부재는 종래의 강(steel)부재와는 달리 콘크리트 자체가 가지고 있는 복잡한 재료특성(quasi-brittle, Inhomogeneity, aggregate interlock etc.) 때문에 종래의 강 부재에 적용한 기술들로서 부재 내부의 재료 특성을 외부로부터 모니터링하는 데는 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 아직 국내에서 거의 초보단계인 콘크리트 부재를 위한 비파괴적 기술(초음파 및 음향방출)의 확보 및 이들 기술들을 이용하여 콘크리트 부재의 균열검출 기술을 확립하고자 한다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에 있어서는 콘크리트 부재의 균열검출을 위한 새로운 초음파 기술개발 및 음향방출기술을 개발하고 이들 적용기술을 이용한 비파괴적 기법

을 확립하고자 한다. 이를 위하여 수행한 연구 내용은 다음과 같다.

- 1) One-sided measurment기법을 이용한 콘크리트의 종파 및 초음파 측정 기술개발
- 2) One-sided measurment 법을 이용한 콘크리트의 물성평가 및 균열검출
- 3) 음향방출기법을 이용한 균열발생 및 성장거동평가

3. 연구개발 결과

본 연구에서 수행한 초음파 및 음향방출을 이용한 콘크리트 부재의 균열 검출 연구로부터 얻은 연구결과 내용은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 3 point bending 시험에 있어서 하중이 증가함에 따라 소수의 AE event가 발생하고 파단에 이르는 하중에 도달했을 때 가장 많은 AE event가 발생한다. 그리고 발생한 균열이 성장함에 따라 다수의 AE event가 발생하였다. 하지만 mortar시험편은 하중이 증가함에 따라 다수의 AE event가 발생하고 최대하중 이후 균열이 성장함에 따라서는 그리 많은 AE event가 발생하지 않았다.
- 2) 콘크리트와 mortar 시험편 모두 최대 하중에서 가장 높은 에너지와 넓은 주파수 대역이 발생하고 최대하중 이후, 즉 균열 성장에서는 낮은 에너지와 비교적 좁은 주파수 대역이 나타났다.
- 3) 콘크리트와 mortar시험편의 source location에서 하중이 가해지는 초기에서는 윗면에서만 소수의 AE event가 발생하고 최대 하중에서는 시험편 하단부분에 다수의 AE event가 발생한다. 그리고 균열이 성장함에 따라 AE event는 시험편 중앙으로 이동하며 그리 많이 발생하지 않는다.
- 4) 콘크리트 시험편의 source location에서 sensor들을 시험편 정면에 부착하는 경우가 윗면, 측면에 부착하는 것보다 더욱 효과적임을 알수 있었다.
- 5) 본 연구에서는 콘크리트 부재의 재료내부특성 및 균열검출을 위하여

One-sided measurement 기법을 개발하였으며 이 기법이 콘크리트 시험편에서의 이들 목적수행을 위하여 유효함을 보였다. 이와같은 One-sided measurement 기법은 특히 종래의 펄스에코 등과 같은 초음파 적용기술에서 필히 요구되는 콘크리트 부재의 두께, 또는 초음파 속도 등을 알수 없는 현장에서의 적용에 큰 도움을 줄수 있을 것으로 생각되어진다.

- 6) 콘크리트에 균열이 없는 경우와 또 균열이 존재하는 경우에 있어서의 One-sided measurement 기법을 적용한 결과 균열이 존재할 경우 응력과 수신센서 2에서의 진폭감쇠가 매우 크게 일어나고 있음을 알수 있었다. 따라서 One-sided measurement 기법을 이용하여 콘크리트부재의 균열검출을 위하여는 수신센서 2에서의 신호의 파형을 관찰함으로써 균열검출이 가능함을 알수 있었다. 그러나 균열의 깊이 평가에 대하여는 콘크리트에 전파하는 종파 및 횡파속도변화에 대한 변화특성을 좀더 주의깊게 관찰하여야 할 필요가 있으며 이 부분은 현재 계속연구가 진행중에 있다.
- 7) 콘크리트 내부의 수분 함습량의 평가를 위하여 One-sided measurement 기법을 적용한 결과 종래의 초음파 투과법에 의한 측정값보다도 One-sided measurement 기법이 상대적으로 민감도를 향상시키고 있음을 알수 있었다. 특히 One-sided measurement 기법에서 검출한 표면파 속도변화가 콘크리트 내부의 수분 함습량의 평가에 가장 유용함을 보였다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

- 1) 음향방출을 이용한 콘크리트 부재의 결함 검출기법은 콘크리트 구조물의 각 부재에 대한 사용중 발생하는 내부결함평가에 적극적으로 활용될 수 있다.
- 2) 새로운 One-sided measurement 기법의 개발은 콘크리트 부재의 폭넓은

품질 보증검사에 활용이 가능하다.

- 3) 음향방출 기법 및 One-sided measurement 기법의 개발은 향후 콘크리트 부재의 비파괴적 재료특성 평가기법의 개발 및 확립에 적극적으로 활용될수 있다.

제 21 절 강구조물의 용접결함에 대한 지능형 초음파 신호 분류 기술 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 산업현장에서 사용되고 있는 재래식 초음파 탐상시험을 통해서도 강구조물의 건전성에 미치는 결함의 영향을 평가하기 위해 필요한 결함에 대한 정량적 정보를 결정하기가 어려운 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 강구조물의 용접결함에 대한 초음파 탐상시험을 실시했을 때 얻게 되는 결함 신호를 분석하는 과정을 자동화한 지능형 결함 분석 기술의 개발이 필요하다.

본 연구는 강구조물의 안전성 확보를 위한 기술개발의 일환으로서, 신경회로망 기법을 활용하여 강구조물의 용접결함 중 구조물의 건전성에 치명적 영향을 미치는 결함을 선별할 수 있는 지능형 초음파 신호 분류 기술을 개발하는데 목적이 있다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

가. 결함 내재 용접시편의 초음파 탐상 및 결함 신호 수집

본 연구에서는 한국표준과학연구원이 보유하고 있는 용접 시험편에 대한 초음파 탐상시험을 실시하여 용접결함에 대한 초음파 신호를 수집하였다.

나. 지능형 초음파 신호 분류기의 개발

초음파 결함 신호의 형상을 인식하여 그 종류를 판별할 수 있는 지능형 초음파 신호 분류 알고리즘을 개발하고 이를 소프트웨어적으로 구현한 지능형 초음파 신호 분류기를 개발하였다.

다. 수집한 초음파 신호의 분류

채취한 초음파 결합신호를 지능형 신호분류기를 사용하여 분류하고, 이때 나타난 미비한 점을 환류시켜 개발한 분류기를 보완하였다.

라. 초음파 신호의 결합 종류별 Data Base 구축

본 연구성과의 현장적용성 및 향후 연구개발을 위해 초음파 신호에 대한 신호에 대한 D/B를 구축하였다. D/B에는 결합의 종류, 최적 탐상조건, A-Scan 파형등을 포함시켰다.

3. 연구개발 결과

- 1) 현재 표준과한연구원이 Sonaspection사로 구입하여 보유하고 있는 용접 결합 내재 시편 중 평판형 시편 12개와 T형 시편 6개에 존재하는 총 48개의 결합으로부터 각 결합당 5개씩 총 240개의 초음파 신호를 수집하였다.
- 2) 수집한 초음파 결합 신호를 자동적으로 분별할 수 있는 지능형 초음파 신호 분류 프로그램("지능형 분류기")를 개발하였다. 이 지능형 분류기는 사용자가 용접결합 신호를 입력하면 확률신경회로망을 이용한 형상 인식기법을 구현하여 초음파 신호의 종류를 자동적으로 판별할 수 있도록 초음파 신호 표시 및 처리, 특징추출 그리고 결합 분류의 세 부분으로 구성하였다. 그리고, 초음파 분류성능을 향상시키고, 초음파 신호 D/B의 적용범위를 확대시키기 위하여 본 연구에서는 "정규화 특징"을 새롭게 제안하였다.
- 3) 수집한 초음파 신호를 학습표본과 시험표본으로 구분하고, 학습표본을 이용하여 PNN을 학습시키고, 나머지 시험표본을 이용하여 그 성능을 평가하였다. 그 결과 본 연구에서 새롭게 제안한 정규화 특징을 사용하

였을 때에는 약 70%의 정확도를 얻을 수 있었다. 특히 2MHz 탐촉자를 이용하여 수집한 20개의 성능평가용 초음파 신호에 대해서는 정규화 특징을 이용하여 분류를 실시한 결과 균열에 대해 85%의 정확도를 얻었다.

- 4) 본 연구에서 수집한 총 240개의 초음파 결함신호에 대한 D/B를 구축하였다. 이 D/B에는 시편, 결함, 탐상조건, A-Scan 파형 등 향후 이 신호를 사용하는데 필요한 모든 정보들이 포함되도록 하였다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구에서는 확률신경회로망을 이용하여 강구조물의 용접결함 종류를 정확히 판별할 수 있는 지능형 초음파 신호 분류기술을 확립하고, 이를 소프트웨어적으로 구현하는 지능형 초음파 신호 분류기를 개발하였으며, 또한 한국표준과학연구원이 보유하고 있는 용접결함 내재 시편으로부터 초음파 결함신호를 수집하고, 이를 D/B로 구축하는 성과를 거두었다. 이러한 연구 성과는 현재 국가적으로 문제가 되고있는 강구조물의 안전성 평가를 위한 용접결함 탐지 및 그 영향평가 작업에 그대로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

제 22 절 TiAlN으로 세라믹 코팅된 터빈로터강의 고온피로강도에 관한연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

TiN, TiCN, TiAlN과 같은 세라믹 코팅은 플라즈마 상태의 각종 금속 세라믹을 재료표면에 박막으로 코팅하는 것이다. 지금까지는 이 세라믹 코팅 산업은 우주 및 항공산업을 중심으로 한 열차폐 및 내마모, 내식분야에 주로 응용되어 왔다. 그러나 지금 이 코팅산업은 전자파 차폐, 태양열 흡수, 적외선 방사, 방열, 광전극, 연료전지, 산소센서, 전기절연, 전열자성, 음향, 광학, 가역착색, 초전도, 다이아몬드 합성, 생체부품등과 같은 광범위한 신소재 개발 및 응용분야에 응용, 확대되고 있다.

그러나 이와같이 선진국에서는 활성화된 코팅산업의 확장에 비하면 아직도 국내에서는 플라즈마 코팅기술의 이해가 부족하고 시장이 성숙치 못하고 응용연구가 활발치 못한 실정이다.

따라서 현재 초보적인 상태에 있는 국내의 플라즈마 코팅기술의 향상을 위해 선진기술의 조기이식 및 장비와 연계된 코팅층에 대한 기초연구 및 내마모 부품과 기능성 세라믹의 응용연구를 통한 시장확대가 요구된다. 그러면 신기술로서 플라즈마 응용의 신시대를 개척할 수 있을 것이다.

이러한 광범위한 응용영역중에서 본 연구 과제와 연관되는 분야로 시야를 좁혀보면 다음과 같다. 최근 금속의 절삭이나 소성가공과 관련된 여러 산업에서도 세라믹 코팅이란 표면박막을 증착시키므로써 재료의 내식성, 내마모성을 향상시키는 표면개선법이 채용되어 기존의 작업환경보다 훨씬 가혹한 절삭, 마모 조건하에서도 고속절삭가공이나 정밀소성가공의 생산성을 향상시키려는 노력이 활발히 진행되어 좋은 효과를 올리고 있다.

이러한 세라믹 코팅은 내열성, 고경도, 내마모성, 내식성등의 우수한 성질을 가지므로 공구, 금형, 사출성형, 기계부품, 베어링 및 편등의 내마모성과 재료강도의 향상이 요구되는 다방면의 산업분야에 사용되어 경제 및 기술적으로 큰 효과를 올리고 있다. 특히 내부식성, 耐 캐비테이션(cavitation)이 요구되는 터빈의 動翼材에도 응용되어 터빈의 수명향상에 큰 효과를 올리고 있다. 이러한 산업분야의 성공적인 응용 예를 보면 앞으로 광범위한 구조물 및 기기의 각 부재에도 이러한 박막의 코팅법이 널리 응용될 것으로 기대된다.

실제로 PVD(Physical Vapor Deposition)법을 통하여, 고속도강 공구를 중심으로 엔드밀이나 호브, 드릴 등에 세라믹 재료를 코팅하여 내마모성을 크게 향상시킨 상용재가 선진국에서는 널리 사용하므로 생산성을 크게 증대시킨다고 한다.

그러나 세라믹 코팅층 또한 상대재료와의 극심한 마찰하에서는 마모와 마멸 현상이 수반되기 마련이다. 따라서 세라믹 코팅재의 성능 향상과 광범위한 산업분야의 응용을 위해서는 무엇보다도 세라믹 코팅층의 마찰, 마모 및 피로강도 향상을 위하여 재료의 강도 측면에서 충분한 연구 검토가 필요하다.

이러한 세라믹 코팅재는 세라믹의 여러가지 장점과 금속의 여러가지 장점을 겸비하면서 신소재로서 많은 특성을 살릴수 있는 신기술인 표면 개선기술으로서 이를 광범위한 산업분야에 응용, 적용시키기 위하여 이에 관한 정량적인 자료의 축적이 절실히 요구되고 있다. 그러나 국내에서는 세라믹 코팅산업의 중요성에 비하여 이에관한 연구는 대단히 미흡하며 knowhow와 첨단기술의 축적이 잘 안되고 있는 실정이다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

최근 선진국에서는 TiN을 표면코팅한 공구강, 고강도강 혹은 탄소강등의 재질에다 코팅방법을 달리한 코팅재에 잔류응력을 측정하여 모재와 세라믹

코팅재 간의 성질을 파악하는 연구를 실시하여 좋은 성과를 올리고 있지만 TiAlN과 같은 세라믹코팅에 관한 연구결과는 거의 찾아 볼 수 없는 실정이다. 또한 세라믹 코팅처리재의 강도설계문제에 있어서는 연구가 거의 없으며 강도설계에 반영하기 위한 마모 및 피로강도 평가에 있어서 자료의 축적이 대단히 미흡하다.

지금까지는 CVD(Chemical Vapor Deposition)법에 의한 TiN나 TiC를 표면코팅한 공구강, 고강도강 혹은 탄소강의 잔류응력측정이 실시되었고, 코팅방법을 포함한 연구결과에서 그 성과를 올리고 있다. 그러나 PVD법에 의한 TiAlN으로 코팅된 세라믹 코팅처리재의 강도문제에 있어서는 국내외적으로 연구가 거의 없으며 특히 본 연구에서 수행하려는 Cr-Mo-V강의 세라믹 코팅에 관해서 재료강도설계에 반영하기 위한 고온하의 기초자료 축적에는 연구가 수행되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 TiAlN을 플라즈마 상태로 세라믹 코팅된 Cr-Mo-V강에 관해서 재료강도설계에 반영하기 위한 기초자료로서의 세라믹 코팅의 유효성을 검토하고, 고온 강도설계의 기초자료를 얻는 것을 그 목적으로 한다.

즉 터빈로터강으로 산업에 널리 사용되는 Cr-Mo-V강에 TiAlN을 PVD법으로 코팅할 때 코팅의 최적조건하에서 코팅조건에 따른 여러조건을 시험편을 제작하여 400, 538℃의 고온 대기중에서 피로시험을 실시하여 재료강도적인 측면에서 코팅막의 특성을 연구조사하고 재질의 피로수명 영향에 대해서 연구 검토한다.

3. 연구개발 결과

대표적인 터빈로터강재인 1Cr-1Mo-0.25V 강에 아크이온 플레이팅 방식으로 TiAlN 2.5 μ m, 3.5 μ m 및 5 μ m로 코팅처리하여 회전굽힘 피로시험 및 균

열진전시험을 통해 400℃ 및 538℃의 고온 피로특성을 비코팅재와 비교, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 코팅재와 비코팅재 모두 같은 온도에서는 유사한 기계적 물성값을 가졌지만, 400℃ 이상의 고온에서 인장강도의 급격한 감소를 나타내었다.
- 2) 5 μ m TiAlN 코팅층의 경도는 약 2300 Hv 정도로 모재에 비해 약 8배정도 높은 값을 나타내었으며 코팅층의 두께가 증가함에 따라 모재의 영향을 적게 받아 경도값이 증가하였다.
- 3) TiAlN 5 μ m재가 상온하의 피로강도의 측면에서 가장 많이 향상되었다. 작은 소성역이 생기는 저응력, 장수명(HCF)영역의 경우, 고경도의 코팅층이 소성변형을 억제시켜 피로균열의 발생을 지연시킴으로 피로수명을 크게 향상시켰다.
- 4) 400℃하의 코팅재의 피로강도는 비코팅재에 비해 내산화성등의 영향으로 크게 향상되었지만, 그 상승 폭은 상온에 비해 적었다.
- 5) 538℃하의 코팅재의 피로강도는 비코팅재와 차이가 거의 없었다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

아직 국내외에서는 본연구와 같은 TiAlN 박막 코팅분야의 응용분야에 관한 연구중요성에 대한 인식도가 낮다. 특히 터빈로터강의 사용온도인 400℃와 538℃의 고온하의 응용, 확대를 위해서 본 연구를 실시하므로 다음과 같은 기대효과와 활용방안이 기대된다.

- 1) 세라믹 코팅층은 코팅기기의 특성, 온도, 코팅 전처리조건, 모재, 타겟의 순도, 종류 등에 따라 외견상 동일조건이라도 계면에서 충돌시 모멘텀과 온도에 의해 크게 차이가 있다. 따라서 재질, 열처리조건과 코팅조건에 따른 파괴저항 및 굽힘피로시험한 자료를 근거로 재료강도적인 측면과 기기 및 구조물의 수명향상에 관하여 검토연구하여 세라믹의 여러가지

장점과 금속의 여러가지 장점을 겸비하는 신소재로서 많은 특성을 살릴 수 있는 표면 개선기술으로서 산업화한다.

- 2) 세라믹 코팅재의 성능의 향상과 광범위한 산업분야의 응용을 위해서 세라믹 코팅층의 재질, 표면조건에 따른 피로강도 향상을 위한 자료를 축적하고 이를 활용하여 이 분야의 산업이 활성화 되도록 인재를 양성, 배출시키고, 산업체에 기술지도와 정보를 제공하므로 산업발전에 큰 효과가 기대된다.
- 3) 세라믹 코팅은 공학적 및 공업적인 인식부족과 지식보급의 결여, 연구장비의 부족, 인적 재원의 부족 등의 원인으로 그 연구대상이 되지않고 연구개발이 지연되고 있는 실정이지만, 중공업육성과 Plant 수출을 위시한 국제 경쟁력 향상을 통한 수출기여를 위한 신경제의 과학 기술정책에 의하면, 이 연구결과는 산업활동상 중요한 분야가 될 것이다.

제 23 절 파단면 프랙탈 해석에 의한 터빈로터강의 열화도 평가기술 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 사용되고 있는 많은 발전소 및 중화학 플랜트 설비들은 사용시간이 오래되어 설계수명에 도달함에 따라 노후설비의 폐기 또는 보수 시점을 판단해야 하는 기술의 필요성이 대두되고 있다. 또한 노후설비를 폐기하는 경우에 발생하는 막대한 경제적 손실과 환경적, 사회적 부작용을 고려하여 가능한 한 기존의 노후설비를 폐기하지 않고 수명을 연장하여 사용하려 하고 있다.

발전설비 중에 재료열화에 의한 노후 때문에 수명평가가 필요한 중요 설비 요소로는 증기 보일러의 파이프, 헤더, 튜브와 증기 터빈의 로터, 케이싱, 블레이드 등이 있는데 터빈 로터의 경우 재질열화에 미치는 중요한 인자가 탄화물의 석출거동에 따른 미시조직의 변화로 알려져 있다.

터빈 로터강의 열화도를 정량적으로 나타내는 방법 중 하나는 CVN(Charpy V Notch) 충격시험을 행하여 연성취성 전이온도(Ductile Brittle Transition Temperature)의 변화량을 구하여 평가하는 방법이 있다. 이때 시험편 파단면은 재료의 열화상태에 따라 특유한 형태로 표출되는데 이와 같은 파단면을 정량적으로 해석하여 활용하면 재료의 열화도 진단 및 파괴특성치 예측에 크게 도움이 될 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 장치산업 및 구조물에 사용되는 재료의 파단면을 해석하여 수명을 평가하는 기술을 개발하는 과정의 일환으로 터빈 로터를 시범 설비로 택하여 경년열화도를 평가하는 기술을 연구하였다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

발전소 터빈 로터 재료로 사용되고 있는 1Cr-1Mo-0.25V강을 각기 다른 시간동안 인위적으로 630°C에서 0, 670, 1340, 1832, 3640 시간 가속열화처리 하고 충격시험한 후 파단면의 프랙탈 차원 측정을 수행하였다. 시험결과 얻어진 프랙탈 차원과 충격 흡수에너지, 열화 시간 및 충격시험온도 등과의 관계를 연구하였으며, 프랙탈 차원과 파괴인성 J_{IC} 의 관계를 연구하였다. 또한 이와 병행하여 동일 재료에 대하여 미소 비커스(micro -Vickers) 경도기를 사용하여 시험하중 50gf, 200gf, 500gf, 1kgf에서 경년열화시간 및 시험하중이 미치는 미소 비커스 경도분포의 변화를 조사하였다. 측정된 경도값과 파괴인성 및 피로한도와 의 상관관계를 구하였고, 크리프 잔여수명예측을 위한 미소 비커스 경도의 응용가능성을 검토하였다.

3. 연구개발 결과

경년열화처리된 터빈 로터강(1Cr-1Mo-0.25V)에 대하여 미소 비커스(micro -Vickers) 경도시험과 파단면 해석을 행하여 다음 결과를 얻었다.

가. 미소 비커스경도에 의한 터빈 로터강의 경년열화 평가에 관하여

- 1) 가속열화처리 시간이 증가함에 따라 평균 미소 비커스 경도값이 감소하는 연화곡선을 나타내었으며, 연화곡선은 시험하중이 작을수록 높게 나타났다.
- 2) 열화재의 평균 경도값을 미사용재의 평균 경도값으로 무차원화한 경도비를 가속열화시간에 따라 나타낸 연화곡선은 평균 경도값으로 표시했을 경우와는 다르게 시험하중의 차이에도 불구하고 거의 동일한 연화곡선을 따라 가속열화시간의 증가에 따라 경도비가 감소하였다.
- 3) 경도비 측정에 의하여 사용 중인 터빈 로터의 파괴특성치 및 크리프 잔여수명을 간접적으로 평가하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

나. 파단면 프랙탈해석에 의한 터빈 로터강의 열화도 평가에 관하여

- 1) Charpy 충격시험편의 파단면으로부터 측정된 프랙탈 차원은 시험온도가 동일한 경우에 열화 시간이 증가함에 따라 프랙탈 차원이 단순 감소하였다. 같은 시간 열화재에서는 충격시험 온도가 높은 경우가 높은 프랙탈 차원을 나타내고 있다.
- 2) 동일 시험온도에서 시험된 Charpy 충격 에너지는 프랙탈 차원과 상관관계가 있다.
- 3) 프랙탈 차원과 경도비의 상관관계로부터 크리프 잔여수명을 경도비를 대신하여 프랙탈 차원으로 예측하는 것이 가능하다.
- 4) 발전용 터빈 로터의 사용 온도인 538°C에서 측정된 파괴인성 J_{IC} 와 24°C에서 시험한 충격 시험편 파단면의 프랙탈 차원 사이에는 선형적인 관계가 있다.

4. 연구개발결과의 활용계획

이상의 연구개발결과를 바탕으로 다음 분야에 적용 활용할 예정이다.

- 1) 파단면 프랙탈 차원을 측정하여 터빈 로터를 비롯한 산업 설비재의 열화도를 추정하여 잔여수명을 관리한다.
- 2) 산업 설비재의 파괴물성치 측정에 간이 파괴시험법으로서 파단면 프랙탈 차원 해석 기술을 이용한다.

제 24 절 계면균열선단에서의 구속상태에 관한연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

파괴역학에서 가장 중요한 논점은 파괴인성치의 전달성이다. 즉 실험실 시편에서 구한 재료의 파괴인성값이 결함이 있는 실제 구조물에 곧바로 적용될 수 있느냐이다. 이러한 파괴인성치의 전달성은 균열선단에서의 응력-변형률장이 실험시편과 실제구조물에서 같아야만 가능하고, 이에 따라 균열선단에서의 응력과 변형률의 특성을 기술하는 것이 파괴역학의 기초가 된다. 전통적인 파괴역학에서 응력과 변형률장은 선형탄성 파괴역학의 응력확대계수 K 와 탄소성 파괴역학의 J 와 같은 single parameter들에 의해 기술되어진다. 그러나 이러한 single parameter의 유효성은 시편의 기하학적 형상이나 하중상태에 의해 제한받는다. 이로 인해 균열선단에서의 응력과 변형률장을 정량화함에 있어, 위의 single parameter인 K 또는 J 와 더불어 기하학적 형상이나 하중형상을 반영할 수 있는 인자가 필요하다.

Larson과 Carlsson은 Williams의 탄성균열선단에서의 응력장 전개식 중 두 번째 항이, 탄·소성 균열선단에서 발생하는 소성역의 크기와 형상에 중요한 영향을 줌을 보였다. 이러한 점에 주목하여 Rice는 균열선단에서 뺀어 나오는 두 개의 대칭 전단밴드모델을 통하여 두 번째 항의 소성역크기에 대한 영향을 해석적으로 기술하였다. 여기서 Rice는 응력장 전개식중 두 번째 항을 T -응력이라고 칭하였는데, 이는 균열에 평행한 비특이성 인장 또는 압축응력성분을 나타낸다. Betegon과 Hancock은 여러 가지 T -응력을 갖는 변형경화 평면변형률 시편들의 균열선단 응력장을 살펴봄으로써, Small Scale Yielding (SYY) 조건하에서의 탄·소성 균열선단 응력상태를 Williams 응력장 전개식중 처음 두 항에 의하여 정량적으로 기술할 수 있음을 보였다. 즉,

앞서의 single parameter로 기술되는 균열선단 접근해는 $J-T$ two parameters에 의해 기술되는 보다 일반화된 해의 특별한 경우($T > 0$)에 해당된다.

같은 재료에서도 시편형상과 하중형태에 따라 인성치가 크게 달라지는 것은 연성파괴나 cleavage 파단의 물리적 특징에서 그 이유를 찾아 볼 수 있다. 먼저, 연성파단은 크게 void의 생성, 성장 및 통합의 세 단계로 나눌 수 있다. 이 중 void의 성장은 균열선단에서의 삼축응력상태 (구속상태)에 매우 민감하게 영향을 받는다. Cleavage 파단은 균열선단에서의 주응력의 크기가 그 주요 변수인데, 주응력은 또한 평균수직응력 즉 삼축응력상태와 밀접한 연계를 갖는다. 물론 이 삼축응력상태는 시편의 기하학적 형상과 하중형태에 의존하고, 이번에는 기하형상과 하중형태가 위에 소개된 second parameter T 에 의해 정량화 되는 것이다.

한편 기능적인 요구를 충족시키기 위해 두 종류의 재료가 종종 접합되는데, 가장 취약한 부위로 예상되는 접합경계면에 균열이 있는 경우, 균열선단에서의 응력장을 살펴보는 것은 이중접합재의 역학적 거동을 이해하는데 필수적이다. 균질재료와는 달리, 이중접합재에서는 시편형상, 하중상태 뿐만 아니라 재료물성치의 차이가 균열선단에서의 응력장에 상당한 영향을 준다. 이중접합재는 탄성특성은 물론 소성특성도 다른 두 개의 재료로 만들어 질 수 있다. 탄성특성의 차이가 계면균열선단에 주는 영향은 Williams eigen expansion에 기초하여 광범위하게 연구되었다. 한편 용접부와 같이 탄성특성의 차이가 없고 소성특성 차이만 있는 이중접합재도 실제적인 의미를 갖는다. 이러한 용접부의 소성특성 차이는 크게 항복강도의 차이와 소성변형 경화의 차이로 나눌 수 있다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 변형경화 균질재료, 항복강도불일치 이중접합재, 그리고 변

형경화불일치 이중접합재의 계면균열선단 구속상태특성을 2차원 평면변형을 유한요소해석 (ABAQUS, 1995)을 통하여 체계적으로 살펴보았다. 즉 SSY 하중조건을 만족하는 수정된 경계층법(Modified Boundary Layer Formulation)을 이용한 해석과 Full Yielding 하중조건을 만족하는 시편모델의 극한하중해석을 수행하여, 접합된 두 재료의 소성특성차이 (항복강도차이, 변형경화차이), T -응력, 그리고 상대균열깊이 a/W 가 계면균열선단 삼축응력상태 (구속상태)에 주는 영향을 정량화하였다.

3. 연구개발 결과

이러한 유한요소 해석을 통하여 다음과 같은 균열선단 응력상태에 관한 정보를 얻었다. 먼저 소성특성불일치 이중접합재에서 기준재료의 소성역 크기는, 접합되는 상대재료의 항복강도나 변형경화차이와는 무관하며, 균질재료에서와 마찬가지로 T -응력의 지배적인 영향을 받는다. 그리고 이중접합재 계면균열선단 삼축응력상태는, 모드-I SSY 하중시 1차적으로는 T -응력의 영향을, 2차적으로는 소성특성차이의 영향을 받는다. 또한 완전소성 하중상태에 있는 항복강도불일치 이중접합재의 경우 항복강도 차이인자 $M \equiv \sigma_{\text{hard}} / \sigma_{\text{soft}}$ 이 증가하면 균열선단 삼축응력이 더불어 증가한다. 이때 더 이상의 삼축응력 변화를 가져오지 않는 임계값 M^c 가 존재한다. 즉 $M \geq M^c$ 에 대해 $a/W = 0.1, 0.5$ 일 경우, 계면균열 삼축응력 $(\sigma_m / \sigma_o)_{\theta=0}$ 이 균질재료에 비해 각각 50, 60%정도 증가함을 알 수 있다. 변형경화불일치 이중접합재에서는, 상대접합재의 변형경화성이 증가할수록 기준재료에 높은 계면균열 삼축응력이 형성되는데, 같은 균열깊이를 갖는 균질재료의 삼축응력값보다 약 50%까지도 증가한다. 또한 소성특성불일치 이중접합재에서도 균질재료의 경우와 마찬가지로 균열깊이 a/W 가 증가할수록 계면균열선단 삼축응력상태가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 위와 같은 인자들에 의해 계면균열선단 구속상태가 변화하는 것을 슬립라인 이론을 사용하여 도식적으로 설명하였다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

위와 같이 균열선단 삼축응력 상태를 정량화함으로써, 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있다. 먼저 본 연구로부터 얻어진, 다양한 소성특성불일치 이종접합재들의 계면균열선단 삼축응력상태에 대한 정량화된 정보에 기초하여, 계면균열로 모델화될 수 있는 용접취약부의 안정성평가를 가능하게 한다. 또한 정량화된 삼축응력정보를 이종접합재의 연성파괴 및 Cleavage 파단기준 설정자료로 활용함으로써, 궁극적으로는 각종 이종접합재의 설계기준으로 유용하게 사용될 수 있다.

제 25 절 Small Punch(SP) 시험에 의한 고온 설비부재의 경년손상 평가

1. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라의 화력발전설비나 석유화학공과 같은 에너지 변환설비는 상당수 표준설계 내용수명에 초월하여 운전하는 것을 많이 볼 수 있다. 이러한 고온기기의 내열부재는 고온에서 장시간 사용할 경우, 조직의 결정입계에 탄화물의 석출(precipitation) 및 P, Sb, Sn 등의 불순물 원소가 편석(segregation)하여 취화를 야기시킴으로서 입계강도의 저하를 초래하는 재질열화현상을 보인다. 따라서, 노후화된 고온설비의 안전성 및 효율적인 운전조건을 확보하고, 고온부재의 취성파괴 방지를 위해서는 재질열화도의 정량적 평가는 매우 중요하다.

종래, 재질열화도 평가에는 비교적 대형의 시험편을 사용하는 CVN-충격 시험에 의한 파면천이온도의 상승량인 $(\Delta FATT)_{CVN}$ 가 사용되어 왔다. 그러나, 이러한 시험법에서 요구하는 시험편을 가동중에 있는 설비부재로부터 채취하는 것은 상당한 어려움이 있다.

최근, 현장 실기부재의 강도에 영향을 미치지 않는 범위에서 플랜트 구조물의 안전성 및 잔여수명 평가를 준비파괴적 혹은 비파괴적으로 평가할 수 있는 새로운 시험방법들이 개발되어지고 있다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

따라서 본 연구에서는 사용이력이 다른 화력발전 및 석유화학설비의 고온부재인 저합금 Cr-Mo강 및 Cr-Mo-V강계 그리고 탄소강을 대상으로 준비파괴적인 시험방법인 SP시험법을 이용하여 재질열화도의 평가가능성을

조사하였다. 또한 그의 시험결과들과 CVN 충격시험결과 및 입계부식 시험 (grain boundary etching test method : GEM)결과와 비교·검토함으로써 SP시험에 의한 시험결과의 신뢰성을 조사하였다.

본 연구개발의 최종목표는 다음과 같다.

- 1) Small Punch(SP) 시험용 치구 설계 및 제작
- 2) SP시험법에 의해 고온 설비부재에 대한 경년 손상도의 정량적 평가
- 3) SP시험결과와 다른 종래의 경년손상도 평가(CVN-충격시험, 입계부식시험)결과와의 상관관계 조사

3. 연구개발 결과

- 1) SP시험으로부터 얻은 SP-에너지는 명확하게 탄소강, Cr-Mo강 그리고 X20CrMoV121 그리고 CrMoV강계에 있어 시험온도의 의존성을 보였으며, 따라서, 연성-취성전이온도의 상승량, $(\Delta DBTT)_{SP}$ 에 의해 재질열화 정도의 정량적 평가가 가능함을 알았다.
- 2) Cr-Mo강과 X20CrMoV121강종은 CVN충격시험 결과와 SP시험 결과 사이에 직선적인 상관관계가 있어 $(\Delta DBTT)_{SP}$ 에 의한 $(\Delta FATT)_{CVN}$ 의 추정이 가능함을 알았다.
- 3) Cr-Mo강, Cr-Mo-V강, 탄소강에서 피크린산에 의한 입계부식도(입계부식폭, 격자절단비)는 재질열화도 $(\Delta DBTT)_{SP}$ 와 정량적으로 좋은 상관관계가 있음을 알았다.
- 4) 따라서, 미소시험편을 사용하는 SP시험법은 고온설비 부재에 있어 탄소강, Cr-Mo강, 그리고 Cr-Mo-V강계의 재질열화 평가에 유용한 시험방법이다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

- 1) 다양한 열화된 재료에 대한 데이터 베이스의 확보
- 2) 실기부재료로부터 미소 시험편의 채취장비 개발
- 3) SP시험에 있어 새로운 평가인자의 개발과 소프트웨어의 개발

제 26 절 후방산란 초음파를 이용한 재료의 열화손상 평가

1. 연구개발의 목적 및 필요성

최근, 국내에서 일어난 성수대교 및 백화점 붕괴사고 등 일련의 대형사고를 계기로 국내 기간시설물 전반에 걸친 건전성(Integrity) 및 안전성 문제가 심각한 사회적 문제로 대두되고 있다. 20-30년 동안 사용되어오는 이들 각종 대형 구조물들은 사용 시간의 경과와 함께 고온, 부식, 부식응력 등의 사용환경 하에 대응한 여러 열화·손상이 진행되고 있다. 따라서, 이들 대형 기기 구조물의 엄격한 품질보증(Quality Assurance;QA)과 정기적으로 가동 중검사(In-Service Inspection;ISI) 및 시험 또는 온라인 모니터링(On-Line Monitoring;OLM)을 실시하여 구조물의 안전성을 진단·평가의 필요성이 요구되고 있다. 특히, 현재 고온설비의 수명평가/연장기술(life assessment/extension technology)은 예방보수(preventive maintenance)단계를 넘어 예측보수(predictive maintenance)에 근거한 최적보수(optimal maintenance)를 목표로 하고 있다. 예측보수를 위해서는 수명을 정확히 판단하는 기술이 선행되어야 하므로 최근 수명평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

화력발전소 보일러, 터빈 및 증기파이프 등의 고온 배관부재에 경년열화·손상 평가에 주로 이용되고 있는 비파괴적 평가에 의한 잔여수명평가기술(residual life assessment technology)로는 Barkhausen Noise법, 전기저항법, 경도측정법, 표면복제법, 입계부식법, 전기화학측정법, 방사선투과시험법(RT) 등이 보고되고 있다. 이들 방법 모두가 측정개소가 매우 제한적일 뿐만 아니라 검사과정이 복잡하고 시험결과 도출에 많은 시간과 비용이 요구되며, 측정변수의 해석이 어려워 시험결과에 대한 신뢰성이 낮아 현장 적용의 어려움이 수반되고 있다.

따라서, 결함의 종류나 재료의 열화 정도를 조사하는 고감도, 고정도의 정량적비파괴진단·평가(Quantitative Nondestructive Evaluation;QNDE)기법의 확립이 불가결하며, 이것이 확립되지않는한 가동중인 구조물들의 안전성 및 신뢰성 확보와 잔여수명예측기술의 비약적 발전은 기대할 수 없다. 바야흐로, 비파괴평가(Nondestructive Evaluation;NDE)기술은 다가오는 21세기의 새로운 산업사회를 향한 최첨단핵심기술(key technology) 연구의 한 분야가 되고 있다.

본 연구에서는 산업설비 및 구조물에 적용이 시도되고 있는 비파괴적 열화·손상 평가 기술의 종류, 현장 실기부재 적용시 문제점 및 가능성에 관한 자료조사와 함께 고감도, 고정도의 비파괴평가기법으로 관심을 끌고있는 초음파비파괴평가기법을 소개하고, 초음파 에코파형의 Wavelet해석과 후방산란 초음파에 의한 재료의 열화·손상 평가법의 유용성 유무에 관한 실험적 검증 및 고찰을 통해 앞으로 열화·손상 평가를 위한 비파괴계측 전문가 시스템(Expert system)의 구축에 필요한 기초 데이터를 확보하는데 있다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 재료의 열화·손상 평가를 위해 현재 적용되고 있는 비파괴평가기법의 종류와 초음파비파괴평가기법의 유용성 유무에 대한 기초 데이터의 확보를 연구목표로 하고 있으며, 그 세부 목표는 다음과 같다.

본 연구에서는 다음과 같은 내용을 다루고자 한다.

가. 비파괴평가기법 조사 분석

비파괴평가기법에 의한 산업설비 및 구조물의 수명평가·예측 기술의 종류, 현장 적용시 문제점 및 가능성에 관한 자료조사

1) 1. NDE에 의한 재질 열화 진단 기술

가) Barkhausen Noise법

나) 전기저항법

다) 경도측정법

라) 표면복제법

마) 입계부식법

바) 전기화학측정법

사) 방사선투과시험법

2) UNDE에 의한 재질 열화 진단 기술

나. 초음파 에코파형의 Wavelet해석에 의한 재료의 열화·손상 평가법

1) Wavelet변환과 시간-주파수해석

2) 초음파펄스의 검출과 Wavelet해석

3) 초음파펄스의 검출과 열화·손상의 비파괴계측 전문가시스템 개발에 필요한 신호해석 Software개발 및 기초 데이터의 확보

다. 후방산란 초음파에 의한 재료의 열화·손상 평가법

3. 연구개발결과

재료의 열화·손상 평가를 위해 현재 적용되고 있는 비파괴평가기법의 종류와 초음파비파괴평가기법의 유용성 유무에 대한 기초 데이터의 확보를 위해 수행한 연구결과는 다음과 같다.

1) 비파괴평가기법에 의한 산업설비 및 구조물의 수명평가·예측 기술의 종류, 현장 적용시 문제점 및 가능성에 관한 자료의 조사와 분석을 통해 최적 비파괴평가기법의 제시와 앞으로의 연구계획 수립에 기초자료로 제공하였다.

- 2) 초음파 에코파형의 Wavelet해석과 후방산란 초음파에 의한 재료의 열화·손상 평가법의 유용성 유무에 관한 실험적 검증 및 고찰을 통해 앞으로 열화·손상의 비파괴적계측 전문가시스템 개발에 필요한 Wavelet해석 Software개발하고 기초 데이터를 제공하였다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

초음파비파괴평가(Ultrasonic Nondestructive Evaluation:UNDE)기법에 의한 재료열화·손상 평가에 관한 연구의 수행으로 다음과 같은 기대 효과와 활용이 예상된다.

- 1) 첨단 비파괴평가기법에 의한 산업설비 및 구조물의 수명평가·예측 기술의 종류, 현장 적용시 문제점 및 가능성에 관한 자료분석을 통해 국내 산업 실기부재 적용시 최적의 NDE기법 선택 가능
- 2) 초음파 에코파형의 Wavelet해석과 후방산란 초음파의 해석에 필요한 초음파 파라메타의 모델화로 재료의 열화·손상 평가에 활용 가능
- 3) 초음파펄스의 검출과 열화·손상의 비파괴계측 전문가시스템 개발에 필요한 신호해석 Software개발 및 관련 데이터 생산 및 수치 데이터베이스화로 재료의 열화·손상 평가에 활용 가능
- 4) 구조물 및 산업 시설물의 안전성 및 신뢰성 확보, 잔존 수명예측에 적용 가능
- 5) 파괴시험 또는 다른 비파괴평가기술에 비해 간편한 측정, 높은 측정정도(精度),시험결과 도출의 신속성, 검사비용의 절감 등 큰 장점 예상
- 6) 첨단 신소재의 재료평가(미소결함검출,음속결정,탄성계수 결정,재질식별 등) 분야에 응용 가능
- 7) 유사 설비의 지원시스템으로 활용 가능
- 8) 국내 산업 시설물 진단 관련업계의 기술축적 및 개발에 활용 가능

제 27 절 황화물 환경에서의 오스테나이트-계 스테인레스강의 용접부 응력부식균열에 관한 연구

1. 연구개발의 목적 및 필요성

용접된 오스테나이트-계 스테인레스강은 응력과 부식환경에 노출되어 있는 화학, 석유화학, 화력, 원자력발전설비에 광범위하게 사용되고 있다. 예민화된 오스테나이트-계 스테인레스강이 상온의 황화물환경에서 응력부식균열에 민감한 것은 잘 알려진 사실이다. 설비사고는 경제적인 손실 뿐 아니라 폭발과 유독성 물질로 인한 인명피해 및 환경파괴를 유발할 수 있다.

이 연구의 목적은 용접된 오스테나이트-계 스테인레스강의 부식(공식, 입계부식), 응력부식균열 특성을 평가하는 것이다. 현재, 사회적으로 관심이 고조되고 있는 재해방지와 환경보호에 부응하여 산업시설물의 수명예측 및 부식평가기술 등, 시설물의 안전성 향상과 사고예방에 연구목표를 두었다

2. 연구개발의 내용 및 범위

- 용접부 부식특성 평가: 분극시험, 직선분극저항 측정법, 테플외삼법, 갈바닉 부식시험, 표면분석 등 다양한 방법으로 용접부 부식의 원인, 사용수명 등 신뢰성있는 평가방법 연구
- 용접부 응력부식균열 특성 평가:
황화물 환경하에서 재료의 부식파괴메카니즘, 즉 metallurgical, dissolution, hydrogen mechanism을 U-bend SCC시험, 파면분석을 수행하여 원인 분석

3. 연구개발 결과

- 황화물 부식환경에서 안정한 부동태피막을 형성하여 낮은 부식속도를 나타낸다.
- 스테인레스강 표면에 생성된 부동태피막의 화학조성은 $\text{FeOOH}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, NiO , $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Cr}(\text{OH})_3$ 로 구성되어 있다.
- AISI 321의 경우에 저농도의 10^{-5} M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액에서 부식속도가 가장 높았다.
- base metal 과 filler metal간의 갈바닉부식은 발생하지 않았다.
- AISI 321은 AISI 304보다 입계부식에 대한 저항성이 크다.
- 한정적이거나 양극용해로 인한 응력부식균열, 수소의 작용으로 인한 수소 취화균열에 민감하지 않다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

화력발전설비, 정유 및 석유화학설비들의 손상정도를 평가하고 설비수명을 정확하게 예측하므로 부식으로 인한 설비사고를 미연에 방지하고 방지대책을 제시하여 수명을 연장할 수 있다고 기대된다.

제 28 절 결 론

국가기반시설물에 대한 안전관리기술을 한층 체계화/실용화/첨단화하기 위해서 건설구조물 및 설비구조물의 상태감시기술분야, 정밀지단기술분야 및 수명평가기술분야에서 KRISS 자체 11과제와 외부 위탁 16과제를 수행하였다. 일부과제는 2차년도에 최종 연구 결과물을 제출할 수 있게 되어 상품화가 가능한 진단기기 기술개발 및 정밀진단/해석기술을 개발하는 등 좋은 성과를 거두었다. 일부의 연구개발 결과는 한국구조물진단학회, 한국기계학회, 한국비파괴검사학회 등에 발표되었으며 휴대용 진동분석기 개발과 같이 현장에서 진동측정·분석이 가능한 기기개발기술도 보유하게 되었다.

'97년에 시작된 과제는 아직 연구결과를 평가하기에는 부족하지만 2~5년 지속적인 기반연구를 해야만 하는 연구내용도 포함되어 있다. 또한 위탁연구기관이 주로 대학에 치중되어 있어서 실용화를 위한 기술개발 부분이 위축될 수 있으므로 앞으로는 실용화 부분에 대한 기반기술은 민간기관의 건설연구소등에 의뢰하는 것도 바람직하다고 생각된다.

이와 같은 연구개발 결과는 각 분야별로 취합되고 방재정보시스템의 데이터 베이스에 정리됨으로서 표준과학연구원 방재기술센터 뿐만 아니라 시설안전공단 및 각 건설연구소, 산업체, 국가기관에 공급토록 할 것이다.

방재기술분야는 기술범위가 워낙 방대하기 때문에 연결기술, 보충기술, 틈새기술등의 역할이 어떤 분야보다도 중요시되고 있으며 이들 대부분은 기반기술 성격을 갖는 것으로 지속적으로 연구되지 않으면 방재시스템의 효율향상에 막대한 지장을 초래한다. 그러므로 시설물 안전관리와 방재기술의 체계화/실용화/첨단화를 위해서는 지속적인 기반기술개발이 병행되어야 한다.

이 페이지는

여백입니다

BIBLIOGRAPHIC DATA SHEET		1. 관리번호	2. 수행부서 방재기술연구센터	3. 발행일 1998. 1.
4. 제목/ 부제 방재기술연구센터 운영사업				7. 주제분야
5. 저자(공저자) 문한규외 62명			8. 수행기관 보고서번호 KRISS-98-040-IR	
6. 수행기관 (연구원 이외의 공동 혹은 위촉연구기관) 한국과학기술원, 충남대학교 외 22개 기관			9. 계약번호	
			10. 자료내역	
11. 위탁기관 과학기술처				
12. 보충사항 (관련업무를 기록한다)				
13. 초록 (주요 참고문헌이나 관련문헌이 있을 경우 여기에 명시한다)				
<p>과학기술처는 1995년 10월에 한국표준과학연구원에 "국가 기반시설물 및 주요 산업설비에 일어나는 대형 파손사고를 예방하기 위한 핵심기술을 개발·보급함으로써 국민의 생명과 국가의 재산을 보전함" 이라는 목적으로 방재기술연구센터를 설립하였으며 이 목적을 원활하게 달성하게 하기 위하여 1996년부터 본 사업을 기관고유사업으로 수행하게 되었으며 본 보고서는 제 2차년도인 1997년도 사업의 결과를 수록한 것이다. 본 사업은 특히 국내·외에서 개발된 시설물 안전관리를 위한 핵심기술들이 우리나라의 시설물 관리현장에서 효율적으로 활용될 수 있도록 실용화연구를 수행하고 기술지원하는데 역점을 두고 있으며 상시감시 시범사업, 안전진단 신뢰성관리, 방재기술정보, 검사기준 표준화 및 기반기술개발의 5개 분야로 나뉘어 수행되고 있다.</p>				
14. 키워드 (6-12개) 재해, 시설물, 안전관리, 파손방지, 상시감시, 안전진단, 방재정보				
15. 배포구분 01		16. 해제기간		17. 면수 676
				18. 가격

BIBLIOGRAPHIC DATA SHEET	1. REPORT NO.	2. PERFORMING LAB. Failure Prevention Research Center	3. REPORT DATE 1998. 1.
	4. TITLE / SUBTITLE Failure Prevention Research Center Project		7. SUBJECT CATEGORY
5. AUTHOR(S) Hahngue Moon, et al.		8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. KRISS-98-040-IR	
6. PERFORMING ORGANIZATION NAME KAIST, Chungnam Univ. etc.		9. CONTRACT OR GRANT NO.	
		10. TYPE OF REPORT	
11. SPONSERING ORGANIZATION Ministry of Science and Technology			
12. SUPPLEMENTARY NOTES			
13. ABSTRACT <p>The Ministry of Science and Technology established the Failure Prevention Research Center at Korea Research Institute of Standards and Science in October 1995 with the purpose of developing and disseminating safety management techniques for civil infrastructures and industrial facilities. This project was launched in 1996 to help fulfil this purpose and this report presents the results of the second (1997) year activities. This project is focused especially on the development of on-site application techniques and being carried out in four fields ; model system for structural monitoring, reliability management of safety inspection, technical informations for structural failure prevention, development of inspection codes and development of infra-technology.</p>			
14. KEYWORDS Disaster, Failure Prevention, Structures, Safety Management, Monitoring, Safety Inspection, Technical Informations			
15. CLASSIFICATION 01	16. SCHEDULE OF DECLASSIFICATION	17. NO. OF PAGES 676	
		18. PRICE	

주 의

1. 이 보고서는 과학기술처에서 시행한 기관고유사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 과학기술처에서 시행한 기관고유사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.