

**전력용 변압기와 GIS의 부분방전 광역감시 및
지능형 진단기술의 개발**

Development of Technology to monitor the Partial Discharges of
Transformers and GIS with the Wide area Networks and to
diagnose their Conditions with the Artificial Intelligence

한국전기연구원

과학기술부

제 출 문

과학기술부 장관 귀하

본 보고서를 “전력용 변압기와 GIS의 부분방전 광역감시 및 지능형 진단기술의 개발에 관한 연구과제의 보고서로 제출합니다.

2004 . 6 . 24

주관연구기관명 : 한국전기연구원

주관연구책임자 : 김 광 화

연 구 원 : 김 광 수

” : 선 종 호

” : 김 민 규

” : 최 재 구

” : 전 진 흥

” : 이 상 화

여 백

보고서 초록

과제관리번호	M1-0302-00-0094	해당단계 연구기간	2003.06.25 ~2004.06.24	단계 구분	(1단계) / (2단계)
연구사업명	중 사업명	특정연구개발사업			
	세부사업명	국가지정연구실사업			
연구과제명	중 과제명				
	단위과제명	전력용 변압기와 GIS의 부분방전 광역감시와 지능형 진단기술개발			
연구책임자	김 광 화	해당단계 참여연구원수	총 : 10명 내부 : 7명 외부 : 3명	해당단계 연구비	정부: 580,000천원 기업: 천원 계: 580,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비 진단연구그룹		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :	상대국연구기관명 :			
위 탁 연 구	연구기관명 :	연구책임자 :			
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)					보고서 면수
<p>가. 변압기 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 유중에서 발생하는 부분방전펄스의 스펙트럼을 측정과 전자파 시뮬레이션에서 500MHz - 800MHz 주파수 대역이 효과적인 부분방전 측정 가능한 대역도출. - 변압기 부분방전측정용 초광대역 등각 스파이럴 안테나를 설계와 시뮬레이션, 특성 평가를 통하여 500MHz - 2500MHz 주파수 대역을 갖는 것으로 개발. - 변압기에서의 부분방전의 측정이 가능한 4가지의 조건에 대해 실시한 결과로부터 유중에서 안테나를 삽입하여 측정하는 것이 감도와 선형성이 뛰어나다는 결과를 도출. <p>나. GIS On-Line 부분방전 감시 및 진단기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - GIS UHF 부분방전 측정에 알맞은 0.5GHz - 2GHz 대역에서 -10dB 이하의 반사계수를 갖는 대수주기 커플러와 발륄을 개발. - 부분방전분석용 패턴 신 알고리즘용으로 이중대역 출력의 초광대역 앰프(Full Band : 0.5GHz - 2GHz 대역 45dB, High Band : 1GHz - 2GHz 대역 55dB)를 개발로 부분방전량과 주파수 스펙트럼을 평가하는 비값에 의한 세계 최초의 패턴화 기술개발 - 이상의 측정시스템에서는 부분방전량은 0-200pC까지 선형적으로 0-1200mV(Full Band)의 출력 특성을 나타내어 5pC 정도의 분해능을 갖는 것으로 평가됨. - 대표적인 결합인 고정침, 절연물 표면 고정침과 가동볼의 결합 셀을 설계 제작으로 각 결합에 대한 압력별 인가전압에 따른 부분방전 펄스의 크기와 스펙트럼의 특성을 측정함(DB구축). <p>다. 부분방전 감시 및 진단기술을 위한 광역네트워크 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 부분방전용으로 DSP는 TMS320C33을 VM은 StrongArm(SA1110)을 채용하고 OS는 Linux를 기반으로 한 VM(Virtual Machine)형 네트워크용 진단 플랫폼의 기본 기술을 세계 최초로 개발. 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	디지털 부분방전, 광역 감시진단, 가상기계, 상태기준정비, 신뢰성 기준정비			
	영 어	Digital Partial Discharge, Wide Area Monitor and Diagnosis, Virtual Machine, Condition Based Maintenance, Reliability Centered Maintenance.			

여 백

요 약 문

I. 제 목

전력용 변압기와 GIS의 부분방전 광역감시 및 지능형 진단기술의 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

전력기기 부분방전 광역감시 및 진단 기술은 전력공급의 핵심인 변압기, GIS 등과 같은 전력기기의 고성능화, 신뢰성 확보, 보수 및 유지의 경제성 향상과 적정시기의 교체를 확보하는 기술로서 산업설비, 전력계통설비, 지하철, 고속철도 등의 교통 및 수송설비와 하수종말처리장, 배수펌프장과 같은 환경 및 재해방지설비에 대해서 안정적이고 신뢰성이 있는 전력공급을 위한 핵심기술이다. 전력기기의 고성능화, 신뢰성확보와 보수, 유지 및 교체의 경제성향상을 위해서 운전 중인 기기에 대한 감시와 진단 기술이 필수적이고 많은 전력기기의 시스템이 자동화 및 무인화가 되므로 광역감시진단 체제를 구축하는 기술이 필요하다. 이를 위하여 변압기 및 GIS의 부분방전 광역 감시 및 지능형 진단 기술과 광역체제구축을 위한 진단네트워크용 가상기계(Virtual Machine)기술 개발을 목적으로 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

가. 변압기 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술

- 변압기의 부분방전 측정용 다중 안테나 센서의 개발
- 디지털형 잡음 및 부분방전펄스의 처리방식기술 개발
- Φ -q-n 방식과 주파수 대역 분해 방식을 적용할 수 있는 앰프 및 DB 구축기술개발
- 신경회로망을 이용한 부분방전의 인공지능화 진단기술개발
- 변압기의 부분방전으로부터 결함의 종류, 상태 및 위험도의 평가기술개발

나. GIS On-Line 부분방전 감시 및 진단기술

- GIS 부분방전 측정용 UHF 안테나 센서기술의 확립
- 아날로그형 및 디지털형 검출 잡음 및 부분방전펄스의 신호처리방식 기술개발
- Φ -q-n 방식과 주파수 대역 분해 방식을 적용할 수 있는 UHF 앰프 및 DB 구축기술개발
- 신경회로망을 이용한 부분방전의 인공지능화 진단기술개발
- GIS의 부분방전으로부터 결함의 종류, 상태 및 위험도의 평가기술개발

다. 부분방전 감시 및 진단기술을 위한 광역네트워크 기술 개발

- 원격에서 프로그램 콘트롤이 가능한 가상기계(VM : Virtual Machine) 방식기술 개발
- Plug & Play 방식의 적용이 가능한 진단네트워크 장치의 개발

라. 1차 연도 연구내용

연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
변압기 부분방전 전자파 특성연구	<ul style="list-style-type: none"> ● 변압기 부분방전 펄스의 결합별 스펙트럼 분석 ● 안테나 센서설계 요소도출 및 제작
GIS 부분방전 상태 분석기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 부분방전 상태분석을 위한 패턴 알고리즘개발 ● 부분방전 상태 분석용 DB구축 ● 부분방전 상태 평가방법 개발
전력기기진단용 기본 VM모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 전력기기 네트워킹용 공용 H/W, S/W 환경개발 ● 소형 JVM 적용모듈개발

IV. 연구개발결과

가. 변압기 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술

1차년 연구에서 유증에서 발생하는 부분방전펄스의 스펙트럼을 측정하고 분석한 결과와 전자파 시뮬레이션에서 500MHz - 800MHz 주파수 대역이 잡음영역을 피하면서 측정 가능한 대역인 것으로 얻어졌다.

변압기에서 발생하는 부분방전을 초광대역에서 측정하기 위하여 등각 스파이럴 안테나를 설계와 시뮬레이션, 특성 평가를 통하여 500MHz - 2000MHz 주파수 대역을 갖는 것을 개발하였으며, 이를 통하여 부분방전 펄스의 스펙트럼 및 펄스의 크기를 측정하였다.

변압기에서의 부분방전의 측정은 4가지의 조건에 대해서 실시하였으며, 차폐를 하는 장애물이 존재하는 경우는 100pC 이상에서는 포화되어 약 30mV이하로 측정이 되었으나, 장애물이 없는 경우 0 - 500 pC 으로 변할 때 안테나가 기증에 존재하는 경우와 유증에 존재하는 경우에 0 - 150pC까지는 같은 값의 출력으로 0 - 200mV로 선형성을 가지고 증가하였으나, 150pC 이상에서는 유증이 기증보다 큰 값을 갖고 선형성을 보여 주었다. 따라서 센서의 설치는 유증에 하는 것이 좋다는 결론을 얻었다.

나. GIS On-Line 부분방전 감시 및 진단기술

GIS UHF 부분방전 측정에 알맞은 대수주기 커플러와 발룬을 설계, 시뮬레이션을 하고, 제작하였으며 특성을 평가한 결과 제안된 0.5GHz - 2GHz 대역에서 -10dB 이하의 반사계수를 갖는 것을 개발하였다.

부분방전 상태분석을 위한 패턴 신 알고리즘을 개발하기 위하여 이중대역 출력의 초광대역 앰프를 개발하였고, 이 앰프의 출력은 Full Band에서 0.5GHz - 2GHz 대역과 45dB 증폭율 특성을 갖고, High Band에서 1GHz - 2GHz 대역과 55dB 증폭율 특성을 갖는다. 그러므로 부분방전 측정시 부분방전량과 주파수 스펙트라를 어느 정도 알 수 있어 부분방전 상태 분석에 효과적인 방법으로 평가된다. 그리고 부분방전량은 0-200pC까지 선형적으로 0-1200mV(Full Band)의 출력 특성을 나타내어 5pC 정도의 분해능을 갖

는 것으로 평가된다.

부분방전 상태 분석을 위하여 대표적인 결합인 고정침, 절연물 표면 고정침과 가동볼의 결합 셀을 설계 제작하였고 DB 구축을 위하여 각 결합에 대한 압력별 인가전압에 따른 부분방전 펄스의 크기와 스펙트럼의 특성을 측정하였다.

부분방전의 상태를 평가하기 위하여 각 펄스의 Full Band의 출력에 대한 High Band의 출력 특성의 비값을 채용함으로써 신알고리즘에 의한 패턴화가 가능하였고, 기존의 ϕ -q-n 방법보다는 정규화가 쉽고, 분석 패턴이 간단해지는 장점이 있는 것으로 평가된다.

다. 부분방전 감시 및 진단기술을 위한 광역네트워크 기술 개발

부분방전 진단용으로 VM(Virtual Machine)을 기반으로 한 네트워크를 위한 진단 플랫폼을 설계하였으며, 이것은 신호의 연산처리를 하는 DSP(Digital Signal Processor) 부분과 웹기능을 수행하기 위한 Java VM 으로 구성되어 있다. DSP는 TMS320C33을 VM은 StrongArm(SA1110)을 채용하고 있으며, OS는 Linux를 기반으로 하고 있다.

1차년 연구에서는 Hardware는 DSP 부분과 VM부분을 독립적으로 개발하였으며, VM 관련 Software는 계측기 OS용 Configuration, iVM Loader 및 iVM 알고리즘을 개발하였다.

측정에 적용을 위하여 DSP에서의 신호처리 프로그램을 하고 VM에서 시험용 API를 프로그램하여 부분방전 펄스의 신호를 읽는 데까지 수행하였다.

라. 연구실적

논문 : 논문지 2편(국내)

학술지 : 18편(국내 12편, 국외 6편)

특허출원 : 1건

프로그램 등록 : 3건

전기설비 진단세미나 : 2회(2003년 9월 26일, 2004년 6월9일 -10일) 100여명참가

부분방전 시험 현장적용시험 : 2회(여수 용성 변전소 154kV GIS 대상)

V. 연구개발결과의 활용계획

▶ 상품화 촉진 시범 사업 추진

⇒ 국내 유망기업과 고부가가치 상품화된 제품의 국내외 시장 점유율 향상을 위하여 산업체, 한국전력, 한국수자원공사, 지하철공사 등에 시범사업화를 유도하여 기술지도 및 저변확대

▶ 전기설비 진단연구회의 세미나를 통한 관련기술의 확산 및 향상

⇒ 습득된 신기술의 관련 산업 파급을 위하여 사용자, 기기제작자 및 전문업체에 세미나를 통한 국내 기술보급에 주력

▶ 타 전력기기에 관련기술 확대 보급

⇒ 부분방전 진단을 실시하는 타 전력기기 기술개발에 첨단 기술을 활용토록 전파하여 고도화에 기여

SUMMARY

1. Subject

Development of Technology to monitor the Partial Discharges of Transformers and GIS with the Wide area Networks and to diagnose their Conditions with the Artificial Intelligence

2. Objectives and Necessities of the Study

Wide area monitoring and intelligent diagnostic technology for partial discharges of power facilities such as transformer and gas-insulated switchgear (GIS) secures high-performance, high-reliability, efficient maintenance and optimum period for replacement of the power facilities which are the hard cores of the electric power supply. Besides, the technology is a key technology in order to supply reliable and stable electric power for the industrial plant, the subway system, the express railroad system, the sewage treatment plant and the drainage pump plant. On-line monitoring and diagnostic technology is essential for high-performance, high-reliability, efficient maintenance and optimum period for replacement of the power facilities and furthermore, it is necessary to construct a wide area diagnostic system because the power facilities have a tendency to become automatic and unmanned. On these grounds, this study is aimed at the development of wide area monitoring and intelligent diagnostic technology for partial discharges of power facilities, and the development of virtual machine technology for the wide area diagnostic network.

3. Contents and Scope of the Study

- 1) On-line monitoring and diagnostic technologies for partial discharges of power transformer
 - Development of antenna sensors for the measurement of PD in the model transformer
 - Development of digital signal processing methods for reduction of noises in PD pulses

- Development of amplifiers and DB technologies for the Φ -q-n method and the band separation method
- Development of intelligent diagnostic technologies using neural networks
- Development of evaluation technologies for identification and risk assessment of PD defects

2) On-line monitoring and diagnostic technologies for partial discharges of GIS

- Establishment of UHF coupler technologies for the measurement of GIS PD
- Development of analog and digital signal processing methods for reduction of noises in PD pulses
- Development of amplifiers and DB technologies for the Φ -q-n method and the band separation method
- Development of intelligent diagnostic technologies using neural networks
- Development of evaluation technologies for the identification and the risk assessment of PD defects

3) Development of wide area network technologies for monitoring and diagnosing partial discharges

- Development of technologies for the remotely-controllable virtual machine
- Development of the diagnostic network device of plug & play type

4. Results of the Study

1) On-line monitoring and diagnostic technology for partial discharges of power transformer

The spiral antenna for UWB measurement of partial discharges in the power transformer was developed to reveal the frequency band of 500MHz - 2000MHz. The magnitude and the spectrum of the PD pulses were measured in the model transformer.

As results, it was found, through simulation and experiment, that the band of 500MHz - 800MHz is proper for PD measurement without noises and that the installation of the sensor is more proper in oil than in air.

2) On-line monitoring and diagnostic technology for partial discharges of GIS

The log-periodic coupler and the coaxial tapered balun for UHF GIS PD were designed, simulated and fabricated to be of 0.5GHz - 2GHz band and under -10dB return loss.

The UWB amplifier with dual band outputs was developed for a new algorithm of PD analysis, whose outputs are 0.5GHz - 2GHz band and 45dB in gain for Full band and 1GHz - 2GHz band and 55dB in gain for High band.

The simulated defects such as the fixed needle, the fixed needle on insulator and the moving ball were designed and fabricated to analyse the condition of the PD. The magnitude and the spectra of the PD pulses were measured to construct the DB of GIS PD.

Finally, a new pattern was proposed by introducing the output ratio of High band to Full band in order to evaluate the condition of GIS PD.

3) Development of wide area network technology for monitoring and diagnosing partial discharges

Virtual machine platform for PD diagnosis was designed and fabricated, which consists of the DSP(TMS320C33) and the Java VM(Strong Arm 1110).

In the first year, the hardware of the DSP part and the VM part were developed independently, and the configuration for instrument OS, iVM Loader and iVM algorithm were developed in the part of the software of VM.

For the application to PD measurement, PD signals were processed in DSP and read by prototype API program in VM.

5. Application plan of the research results

1) Promotion of model projects for a merchandising

▷ Technical guidances and popularization by inducing the model projects with the industries, KEPCO, KOWACO, subway corporations

2) Proliferation and improvement of the diagnostic technologies in the conference on power facility diagnosis

▷ Focusing on spreading the technologies for the domestic users and makers of power apparatus, and the diagnosis company on the main axis of the conference on power facility diagnosis

3) Spreading the related technologies to other power apparatus

▷ Application to the development of other power apparatus which is the object of PD diagnosis

여 백

CONTENTS

Chapter 1 Outline of the research project	1
1-1 Outline of the research	1
1-2 Necessities of the research	2
1-3 Goals and contents of the research	3
Chapter 2 Domestic and international status of technology	6
2-1 Domestic and international status of the diagnostic technology	6
2-2 Domestic and international status of the diagnostic technology for GIS	7
2-3 Domestic and international status of the network technology	11
Chapter 3 Contents and results of the research	18
3-1 On-line monitoring and diagnostic technology for partial discharges in power transformers	18
3-2 On-line monitoring and diagnostic technology for partial discharges in gas-insulated switchgears	51
3-3 Wide-area network technology for PD monitoring and diagnosis technology	92
Chapter 4 Achievement and contribution to the related technical field	129
4-1 View point of research evaluation and the achievement	129
4-2 Contribution to the related technical field of the research results	131
Chapter 5 Application plan of the research results	132
5-1 Expecting results of the research	132
5-2 Application plan of the research	132
Chapter 6 Foreign technical information acquired from the research project	134
6-1 RCM based power facility diagnosis technology	134
6-2 Foreign technical information acquired from the research project	145
Chapter 7 Reference	152

여 백

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발 개요	1
제 2 절 연구개발의 필요성	2
제 3 절 연구개발 목표 및 내용	3
제 2 장 국내외 기술개발 현황	6
제 1 절 국내외 진단기술개발 현황	6
제 2 절 국내외 GIS 진단기술개발 현황	7
제 3 절 국내외 네트워크 기술개발 현황	11
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	18
제 1 절 변압기 진단을 위한 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술	18
제 2 절 GIS 진단을 위한 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술	51
제 3 절 부분방전 감시 및 진단기술을 위한 광역네트워크 기술	92
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	129
제 1 절 연구평가 착안점 및 달성도	129
제 2 절 연구결과의 관련 분야에의 기여도	131
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	132
제 1 절 연구개발 기대성과	132
제 2 절 연구개발 활용계획	132
제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보	134
제 1 절 RCM 기반 전력설비 진단 기술	134
제 2 절 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보	145
제 7 장 참고문헌	152

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 개요

전력기기 광역감시진단 기술은 전력공급의 핵심인 변압기, GIS 등과 같은 전력기기의 고성능화, 신뢰성 확보, 보수 및 유지의 경제성향상과 적정시기의 교체를 확보하는 기술로서 산업설비, 전력계통설비, 지하철, 고속철도 등의 교통 및 수송설비와 하수종말처리장, 배수펌프장과 같은 환경 및 재해방지설비에 대해서 안정적이고 신뢰성이 있는 전력공급을 위한 핵심기술이다. 전력기기의 고성능화, 신뢰성확보와 보수, 유지 및 교체의 경제성향상을 위해서 운전 중인 기기에 대한 감시진단 기술이 필수적이고 많은 전력기기의 시스템이 자동화 및 무인화가 되므로 광역감시진단 체제를 구축하는 기술이 필수적이다. 이를 위하여 변압기 및 GIS의 부분방전 광역 측정 및 지능형 진단 기술과 광역체제구축을 위한 진단네트워크용 가상기계(Virtual Machine)기술 개발이 핵심이다.

국내의 전력기기는 1960년대 경제개발 5개년 계획의 시작으로 산업의 근대화가 이루어지면서 전력설비가 최근까지 급격하게 증설되어 **산업체용 154kV급 429개 변전소, 22.9 kV급 120,400개 변전소와 한국전력 154kV급 이상의 600여개 변전소가** 운전 중에 있고 서울, 부산, 대구 등의 **지하철용, 하수종말처리장용(201개소), 쓰레기 소각장용, 배수펌프장용과 같은 공공설비의 변전소가** 전기를 공급하고 있다. 따라서 20~30년 정도 사용된 노후화된 전력기기가 급속하게 증가하고 있으며 최근 지방자치단체, 공공단체 및 기업들은 비용 및 원가절감을 위해 설비교체와 증설에 인색한 편이므로 운전환경이 더욱 나쁜 상태로 되고 있어 전력기기의 신뢰성이 급격히 떨어지고 있다.

지금까지 전력공급은 한국 전력의 독점체제로 공급되었으나, 전력산업 구조개편의 일환으로 5개 발전회사로 분할되었고 앞으로 배전회사도 분할될 전망이다. 따라서 전력공급의 환경이 크게 변화되고 있으며, 미래에는 전력계통이 개방형 광역시스템으로 변환되어 전력기기의 운전방식이 크게 바뀌게 되고 진단기술의 중요성이 크게 증가할 전망이다.

그러므로 전력기기의 신뢰성향상을 위해서 **시간기준정비인 TBM(Time Based Method)방식에서 상태기준정비인 CBM(Condition Based Method)방식으로** 바뀌면서 진단기술의 필요성이 제기되었으며, 최근에는 **신뢰성기준정비인 RCM(Reliability Centered Method)방식**을 추구함으로써 더욱더 진단기술의 필요성과 고도화를 요구하고 있다.

전력기기 진단기술은 초기에 **off-line** 진단기술을 중심으로 개발되었으나, 최근에는 **on-line** 종합 진단기술의 중심으로 개발되고 있으며, 미래에는 고도화된 **개방형 광역 on-line** 진단기술로 발전할 것이다. 지금까지 발전된 on-line 진단기술에서는 전력기기에서 결함의 유무 및 종류를 파악하는 수준까지 발전되어 있으나 미래의 자동화된 개방형 광역전력시스템에서는 **전력기기의 결함유무 및 종류뿐만 아니라 결함위치, 결함 위험상태도를 분석할 수 있는 수준의 진단기술이** 개발되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 전력기기의 감시와 진단에서 핵심인 부분방전 측정 및 진단기술에 대하여 **변압기의 부분방전 측정을 위한 부분방전 방사 전자파의 특성과 측정 알고**

리즘의 개발, GIS UHF 부분방전측정기술을 이용한 GIS의 결함상태분석을 위한 DB 구축과 이의 지능화, 광역진단시스템에 적합한 가상기계 알고리즘과 기본설계기술 개발을 1단계 연구에서 개발할 목표이다.

2단계에서는 1단계에서 개발된 연구결과를 상용화수준으로 이끌어 올리고 광역화를 위한 가상기계형 네트워크를 적용한 GIS 및 변압기 부분방전 광역측정 및 지능형진단 기술을 개발하는 것이다.

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- 국내 전기설비의 고장원인은 자연열화, 보수불량 및 제작불량이 58.2%차지(표1 참조)
- 전력공급의 신뢰성 향상 요구(신뢰도 : 3-nines(현재) -> 6 nines(20년 이내))
- 공급 및 수요의 다자화로 전력시스템의 개방형 광역시스템으로 변화
- 개방형 광역 전력시스템에 적합한 보호제어 융합형 진단기술 개발을 선진국에서 시도함.
- 측정기술의 디지털화와 IT 기술의 발전에 의한 지능형 진단기술을 ET에 접목 가능한 기술필요
- 지능형 진단기술개발에 의한 전문가 부족사태의 해결 필요와 보호제어기술과 융합한 변전소의 자동화 요구
- 인터넷을 도입한 신뢰성이 있는 원격 진단시스템으로 광역화를 요구함

표 1.2.1 전기설비별 고장현황 및 원인.(전기고장통계, 한국전력공사)

고장원인	발전설비(%)	송변전설비(%)	배전설비(%)	계(%)
1. 자연열화	34.8(16건)	8.3(16건)	22.1(537건)	21.3(569건)
2. 보수불량	15.2(7건)	-	-	0.3(7건)
3. 제작불량	13.0(6건)	38.9(73건)	36.9(897건)	36.6(976건)
4. 오동작	15.2(7건)	8.3(16건)	-	0.9(23건)
5. 뇌격	-	31.8(61건)	9.9(241건)	11.3(302건)
6. 외물접촉	-	-	16.9(410건)	15.3(410건)
7. 기타	21.7(10건)	13.5(26건)	14.2(346건)	14.3(382건)
계	100(46건)	100(192건)	100(2,431건)	100(2,669건)

2. 경제·산업적 측면

- 전력기기의 경제적인 보수, 유지 및 교체로 경비절감(6000억원/년간)
(한국전력의 연간 수선유지비 및 감가상각비는 1조9342억원과 4조2417억임, 2002년)
- 전기화재, 정전으로 인한 산업체의 생산손실과 공공시설의 사회적 손실(1조원/년간)
(국내 총 화재사고는 36,169건으로 이 중 전기화재는 전체의 34.0%인 12,300건이고, 인사사고 458명(19.3%), 재산피해 약 678억원(40.0%)임, 표2 참조)
- 차별화된 진단형 전력기기 개발로 국내생산업체 위상제고와 수출촉진(1000억원/년)
- IT산업과 연계된 진단산업의 신장출과 고부가가치화

표 1.2.2. 각국의 화재발생에서 전기화재점유율(전기신문, 95.10.2)

구분	한 국	미 국	일 본	영 국	캐나다	벨기에	노루웨이
점유율	39.1%	17.5%	11.1%	16.3%	12.8%	13.5%	16.3%

우리 나라의 화재에서 전기로 인한 점유율이 외국에 비해 상대적으로 높음.

3. 사회·문화적 측면

- 지하철 철도 대형백화점 및 공중이용설비의 안정적인 전력공급으로 사회의 불안전 해소와 주민의 생명보호
- 고장 및 사고의 파급과 전력기기의 불필요한 교체 억제로 공해 및 폐기물 발생의 감소에 기여

제 3 절 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발의 최종목표

- 최종목표 : 변압기와 GIS 광역감시진단을 위한 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술
- 22.9kV, 1,000kW이상의 유입식 변압기의 목표수준

요소기술 항목		
진단기술	측정기술	광역네트워크기술
- Φ -q-n 방식과 주파수 대역 분해 방식을 병용한 DB 구축	- 다중 안테나 센서사용	- 가상기계(VM : Virtual Machine) 방식
- 신경회로망을 이용한 인공지능화로 95% 신뢰도 진단	- 디지털형 잡음 및 부분방전펄스의 처리방식	- 통신방식 : IEEE 802.3 방식
- 진단내용은 결함의 종류, 상태 및 위험도	- 최소 측정감도 20(pC) 수준	- Plug & Play 방식
		- 아날로그 입력 : Max. 12CH
		- 디지털 입력 : 1Mbps

- 22.9kV 이상 GIS의 목표수준

요소기술 항목		
진단기술	측정기술	광역네트워크기술
- Φ -q-n 방식과 주파수 대역 분해 방식을 병용한 DB 구축	- UHF 안테나 센서사용	- 가상기계(VM : Virtual Machine) 방식
- 신경회로망을 이용한 인공지능화로 95% 신뢰도 진단	- 아날로그형 및 디지털형 검출 잡음 및 부분방전펄스의 처리 방식	- 통신방식 : IEEE 802.3 방식
- 진단내용은 결함의 종류, 상태 및 위험도	- 최소 측정감도 5(pC) 수준	- Plug & Play 방식
		- 아날로그 입력 : Max. 12CH
		- 디지털 입력 : 1Mbps

2. 단계별/연차별 연구개발 목표 및 내용

【단계별 연구목표】

구 분	연구개발 목표
1단계(2년후)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 변압기 다중안테나 방식에 의한 부분방전 측정기술개발 ▶ GIS 지능형 부분방전 진단 분석프로그램의 개발 ▶ 전력기기 진단용 VM 기본 시작품 개발
2단계(5년후)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ VM 기반 변압기 부분방전 측정 및 지능형 진단기술 개발 ▶ VM 기반 GIS 부분방전 측정 및 지능형 진단기술 개발

【1단계 연차별 연구개발목표】

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위	추정연구비 (단위:천원)
1차년도 (2003년)	변압기 부분방전 전자파 특성연구	<ul style="list-style-type: none"> ● 변압기 부분방전 펄스의 결합별 스펙트럼 분석 ● 안테나 센서설계 요소도출 및 제작 	290,000
	GIS 부분방전 상태 분석기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 부분방전 상태분석을 위한 패턴 알고리즘개발 ● 부분방전 상태 분석용 DB구축 ● 부분방전 상태 평가방법 개발 	
	전력기기진단용 기본 VM모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 전력기기 네트워킹용 공용 H/W, S/W 환경개발 ● 소형 JVM 적용모듈개발 	
2차년도 (2004년)	변압기 부분방전 측정알고리즘 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 변압기 내부에서 전자파의 방사특성분석 ● 잡음제거 알고리즘 개발 ● 위치추적에 관한 알고리즘 개발 	290,000
	GIS 부분방전 상태분석 지능화 연구	<ul style="list-style-type: none"> ● 분석용 DB의 신경회로망에 적합한 패턴 구성 ● 적합한 신경회로망 도입과 설계 ● 학습 및 평가 	
	전력기기 진단용 VM 시작품 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 전력기기 진단용 Core API 개발 ● VM기반의 진단용 플랫폼 템플리트 개발 	

【2단계 연차별 연구개발목표】

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위	추정연구비 (단위:천원)
3차년도 (2005년)	변압기 부분방전 분석기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 변압기 결합별 부분방전 DB구축 및 패턴화 ● 부분방전 결합 및 위치 추적을 위한 실험 	350,000
	GIS VM 적용을 위한 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ● GIS 종합 진단용 VM API 프로그램 개발 ● 실기기 적용형 VM모듈개발 	
4차년도 (2006년)	변압기 지능형 부분방전 분석기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 분석용 DB의 신경회로 망에 적합한 패턴 구성 ● 신경회로망 도입과 설계 ● 학습 및 평가 	350,000
	GIS VM 기반 감시 및 진단 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 실험실 실험 및 적용성 평가 ● 미비점 보완 	
5차년도 (2007년)	변압기 VM 기반 감시 및 진단 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 변압기 종합 진단용 VM API 프로그램 개발 ● 실기기 적용형 VM 모듈 개발 ● 실험실 실험 및 적용성 평가 미비점 보완 	350,000

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내외 진단기술개발 현황

1. 진단기술의 국내 연구개발 실적

- 한국전력공사 생산기반연구 과제인 “전력설비사고 예방 및 진단시스템개발연구(1991-1993)”에서는 국내최초 변압기, GIS의 원격 진단장치를 개발하였고 “변전설비진단기술개발연구(1994-1998)”에서는 한국전력의 변압기 GIS등의 변전설비의 최적수명분석 프로그램개발 고장형태 분석을 하였으며 변압기 진단장치인 LVI(Low Voltage Impulse) Tester, 절연유열화센서적용기술, 레이저 활선염해장치를 개발하였다.
- 산업자원부 과제인 “고주파센서 및 초음파 센서를 이용한 on-line부분방전측정기 개발(1998-2000)”에서는 국내 최초의 완전 디지털형 부분방전 측정기를 개발하였다.
- 한국전력공사의 “765kV변전기기 예방진단 전문가 시스템개발(1998-2001)”에서는 765kV 변압기 등의 예방진단 시스템 구축에서 분석 알고리즘 및 전문가 프로그램을 국내 최초로 개발하였고 “GIS부분방전 검출기술연구(1999-2001)”에서 GIS이물검출과 평가가 가능한 초음파 진단장치를 국내 최초로 개발하였다.
- 산업자원부의 산업체 수배 전반용 전력기기 절연 모니터링 및 진단시스템개발(2000-2002)“연구에서 수배전반용 변압기의 절연수명평가, 수배전반 부분방전측정, 차단기의 접점상태 등을 진단할 수 있는 시스템을 국내 최초로 개발 하여 현재 상업화하고 있다.
- 전력기기 진단 관련한 국내의 타 연구기관은 한국 전력의 전력연구원, 한국수자원공사의 연구원이 있으며, 이들 연구소는 진단기술의 현장적용과 운영의 문제점의 해결에 주력하고 있다.
- 국내 진단관력으로 연구하는 학교는 숭실대, 한양대 등이 있으며, 진단 알고리즘을 중심으로 연구하고 인력 양성을 하는 데 주력하고 있다.

2. 미국의 연구개발실적

MIT와 7개 전기회사가 공동으로 TPAS(Transformer Performance Analysis System)을 개발하였으며, Doble사에는 Doble tester를 개발하여 변압기 진단장치로 공급하고 컨설팅을 전문으로 하며, EPRI는 미래에 전력공급의 신뢰도를 99.9999%이상으로 높이기 위해서 보호제어와 융합된 감시진단 기술개발을 요구하고 있다.

3. 유럽의 연구개발실적

독일의 하노버대학 웨링연구소 등에서는 진단을 위한 측정기술과 평가기술을 고도화하기 위하여 컴퓨터를 이용한 해석과 디지털신호처리를 연구하고 관련전문회사인 Power Diagnostic에 기술을 공급하고 있으며 영국의 Strathclyde 대학에서 UHF 부분방전 측정 기술을 DMS. Co. 벤처회사에 기술을 이전하여 상업화하였다.

4. 일본의 연구개발실적

히다찌, 도시바 및 후지 등의 전력기기 회사가 중심이 되어 변전소, 발전소 등의 전력 설비의 종합적인 감시진단 및 관리의 전문가시스템을 개발하였고, 나고야 대학 큐우슈우 공업대학 등에서 진단을 위한 부분방전 측정 및 분석법을 연구하고 있다.

제 2 절 국내외 GIS 진단기술개발 현황

1. 국내의 GIS 진단관련 기술개발현황

현재의 국내 예방진단 관련 기술수준은 부분적으로 선진국의 기술을 모방하는 단계이며, 초보적인 수준에서 벗어나서 자체의 기술개발에 전력하고 있다. 현재까지 연구된 국내의 GIS 예방진단 관련 중요기술을 보면 다음과 같다. 전력기기 예방진단과 관련하여 진단의 기술조사와 기초이론에 관하여 한전, 효성중공업, 서울대와 송실대에서 1984년부터 1989년까지 “전력기기 예방진단 기술연구”를 수행하였으며, 전력기기의 상시 감시 진단시스템에 대한 기본적인 연구를 하고 이를 현장에 적용하는 최초의 과제로 한국전기연구소, 효성중공업, 송실대와 공동으로 1991년부터 1993년까지 “전력설비의 사고예방 및 진단시스템 개발”에 관한 연구를 하였다. 피뢰기 진단 관련으로 누설전류 진단기술을 전력연구원과 송실대 공동으로 1993년부터 1995년까지 “레이저 기술을 이용한 전력기기 누설전류 분석기술연구”에 관한 연구를 행하였다. 그리고 변전설비의 보수 및 진단의 근본기술인 수명관련으로 연구를 행하였으며 그의 주요내용은 다음과 같다. 변전설비의 보수지원을 위하여 전력연구원과 태광(주) 공동으로 1994년부터 1996년까지 “변전설비 보수지원시스템 개발연구”를 수행하였으며, 국내 변전설비 수명도출 및 관리 프로그램 개발을 위하여 1993년부터 1997년까지 한국전기연구원과 전력 연구원이 공동으로 “변전설비 진단기술개발연구”를 수행하였다.

그리고 최근의 진단관련 과제로는 765kV급의 전력기기를 목표로 “765kV 예방진단시스템 개발연구(’98. 11. 2 - ’01. 11.1)”과제와 “GIS 부분방전 검출기술개발연구(’99. 4. 1 - ’02. 3.31)”과제가 수행되었으며, 전자의 과제는 765kV 변전소용으로 전문가 시스템이 탑재된 진단 시스템을 개발하고, 후자의 과제는 GIS를 대상으로 이물의 발생 및 통전 불량을 진단하기 위하여 초음파 및 가속도 센서를 이용한 현장 측정용 장치 및 분석기술을 개발하고, GIS의 부분방전 상시 감시용으로 UHF 측정기술의 적용과 분석기술을 개발하는 연구를 수행하였다.

2. 국외의 GIS 진단관련 기술개발현황

선진국에서는 전력산업이 오래전부터 발달을 해 왔으므로 전력기기의 설계 생산 및 관리기술이 체계적으로 이루어지고 있으며, 특히 보수에 많은 비용이 소요되므로 이를 경제화 하면서 신뢰성을 높이기 위한 진단기술의 개발에 많은 노력을 기울여 왔다. 초기에

는 전력기기의 생산, 설치 등에 따른 결함의 유무에 많은 관심을 가져 Off-Line 진단기술을 중심으로 개발하였으나, 전력기기의 노후화나 불시적인 결함의 발생에 따른 경제적인 손실의 피해를 줄이고 경제적인 보수를 위하여 ON-Line 진단기술에 많은 노력을 기울이고 있다. 보수기술을 중심으로 기술발전단계를 분류하면 TBM(시간기준정비 : Time Based Maintenance)에서 CBM(상태기준정비 : Condition Based Maintenance) 그리고 RCM(신뢰성기반 정비 : Reliability Centered Maintenance)으로 발전하면서 전력기기에 대한 진단기술과 수명평가기술 및 고장특성에 대한 기술의 구축을 필요로 하고 있다.

전력산업의 국제적인 자유화가 이루어지면 이들의 기술은 경제적인 관점과 신뢰성의 관점에서 매우 중요한 요소가 되므로 전력회사 및 전력기기 제작사 그리고 진단 전문업체에서 기술확보를 위한 노력을 집중하고 있다. 유럽과 일본의 GIS 진단기술개발 현황을 살펴보면 다음과 같다.

가. 노르웨이, 영국 및 독일의 진단기술 개발현황

유럽의 노르웨이의 경우는 GIS설비가 발전소의 고압 송전측에 설치되어 있으며, GIS 내부의 사고 방지를 위하여 SINTEF 연구소에서 이물의 진단용 초음파 진단장치 개발은 1980년부터 시작하여 본격적인 개발은 1990년부터 하였고, 상용화는 1997년에 이루어졌다. 이것은 On-Line 방법보다 낮은 비용으로 GIS의 진단에 적용할 수 있으며, 현장 시험에 적합하고, 현장에서의 일정기간(6개월 정도) 마다 진단시험을 실시하고 있다. 최소 측정 가능레벨은 조건에 따라 다르지만 자유이물의 경우는 길이가 약 2mm까지 측정 가능하고, 코로나의 경우는 GIS의 탱크 구조에 따라 다른 것으로 2-5pC 정도 측정 가능한 것도 있다. 개발된 제품의 형상은 그림 2.2.1과 같다.

영국 DMS사의 부분방전 On-Line 측정시스템인 PDM 시스템은 4곳에 사용되고 있으며, 발전용량이 큰 원자력 발전소에 설치되어 있으며, 이 시스템을 개발하는 데 산실이 된 Scottish Power에는 장기적으로 설치되어 운영 중에 있으며, 이를 전담하는 전문가가 다른 감시 장치인 Fault Recorder 등과 같이 운영하고 있다.

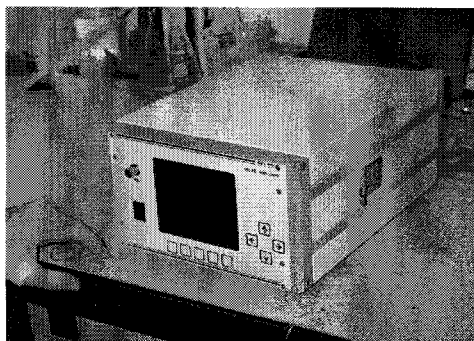


그림 2.2.1 개발된 초음파진단장치

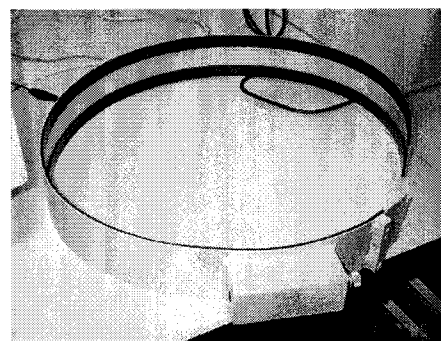


그림 2.2.2 GIS용 외부용 부분방전센서

이 PDM 시스템의 센서인 Coupler는 그림 2.2.2와 같으며, GIS의 형상의 변화(스페이서 존재, 직경의 변화, 굴곡 등)로 부분방전의 신호가 감쇄하므로 20m 간격으로 Coupler를 설치되어야 하고 부분방전의 발생위치를 파악하기 위하여서는 버스의 끝단에 필히 Coupler가 설치되어야 하는 것으로 하고 있다. 현장의 측정에서 잡음의 제거는 외부잡음인 공기 중의 코로나는 200 - 300MHz보다 낮은 주파수 대역을 가지므로 500MHz 이상의 High Pass Filter를 채용하여 제거하고 측정 주파수 대역을 500 - 1400MHz로 사용하고 있다. 이 대역의 잡음으로는 레이다, 핸드 폰 등이 있으나, 가까이만 있지 않으면 이들의 신호는 상대적으로 미약하여 큰 영향을 미치지 않는다. 단지 내부의 스위칭에 의한 과도전압의 발생으로 영향을 받을 수 있으나 이를 인지할 수 있는 시스템으로 하여 게이트 방식으로 제거할 수 있다.

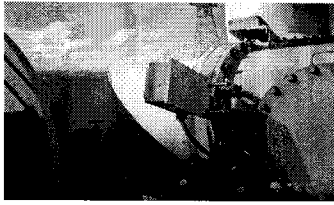
GIS의 위험도 판정기준은 부분방전의 크기에 의존하는 것이 아니라 부분방전의 발생조건에 의존하고 있다. 자유이물인 경우는 50pC 정도의 낮은 부분방전에서 내부사고를 발생하나, 부유전극(Floating electrode)의 형태에서는 5,000pC로 되어도 내부 섬락사고를 일으키지 않는다. 따라서 가장 먼저 어떤 형태의 결함에서 부분방전이 일어나고 있는가의 판정이며, 이들의 크기가 일정하게 유지되는가 아니면 증가하는가가 중요하다. 여기서 증가하는 현상이 지속적으로 일어난다면 위험한 것으로 본다. 이의 판단기준은 열화의 기구와 결함에 대한 현장의 경험 그리고 파괴될 확률 등을 근거로 하여야 하고 정교한 결과를 얻기 위하여서는 각 GIS의 형태별로 개발되어야 한다고 생각하고 있으며, 향후 인공지능(AI)기술도 적용되어야 할 것으로 보고 있다.

미래 지향적인 진단기술을 개발하는 독일 하노버 대학의 슈링연구소에서는 정밀진단 가능한 디지털 기술에 의한 부분방전 기술 등을 개발하고 있으며, 현재의 상태로는 적 이 어렵고 비경제적이지만, 향후에는 기술의 발달로 적용비용의 절감이 가능할 것으로 보고 있다.

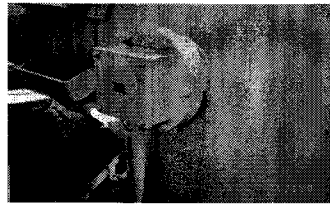
나. 일본의 진단기술 개발현황

동경전력에서 진단기술의 적용은 500kV급 이상의 변전소에 On-Line 진단시스템을 적용하는 것으로 하고 있으며, GIS 부분방전 측정기술의 진단적용은 1,000kV급 변전소에 적용할 예정으로 1,000kV 시험장에서 히다찌, 미쯔비시 및 도시바의 3개 제작사의 것이 연구 시험 중에 있다. 동경전력의 500kV 개폐소의 센서적용과 1,000kV 시험장의 GIS 부분방전 센서적용의 현장사진은 그림 2.2.3과 같다.

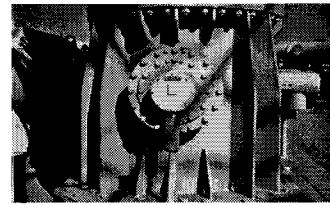
기존의 GIS에 대한 부분방전관련 진단은 초음파 센서에 의해 사람이 직접적으로 측정하는 Off-Line 또는 On-Site 방식을 사용하고 있으며, On-Line 방식은 1,000kV급 GIS에서 UHF법에 의한 측정, 스페이스 내부전극을 이용한 방법 등으로 전력기기의 제작사의 방식에 따라 채택할 예정이다.



(a) Toshiba



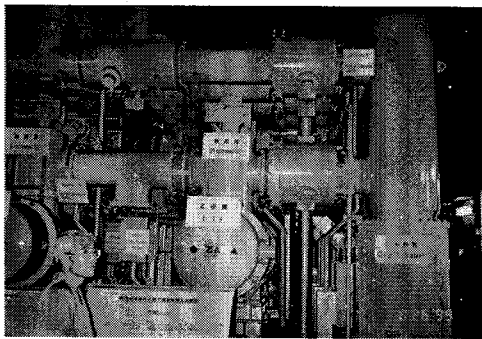
(b) Mitsubishi



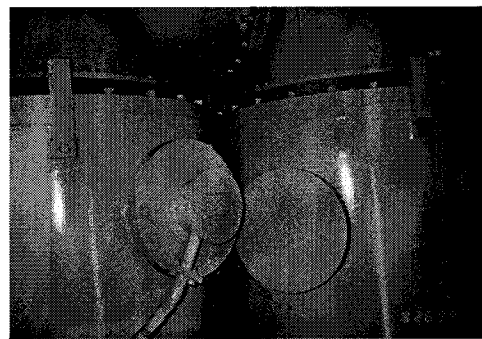
(c) Hitachi

그림 2.2.3 1000kV급 시험장의 GIS 부분방전 센서적용현황

중부전력에서 진단기술의 적용은 275kV급 이상의 변전소에 On-Line 진단시스템을 적용하는 것으로 하고 있으며, GIS 부분방전 측정기술의 진단적용에서 275kV급 변전소의 154kV급 GIS에 적용한 경우도 한 곳이 있다. 중부전력의 한 변전소에 적용되고 있는 GIS 부분방전 센서는 그림 2.2.4와 같다.



(a) 275kV GIS 부분방전 센서
(Toshiba)



(b) 154kV GIS 부분방전센서
(Hitachi)

그림 2.2.4 중부전력에서 채용되고 있는 GIS 부분방전센서

GIS에서 사용되고 있는 부분방전 측정기술은 루프 안테나방식, 스페이서 내부전극방식, T자형 안테나 방식, 내부전극방식, 가속도 센서 및 접지선 CT 방식에 의해 측정되고 있고, 전력기기의 제작사의 방식에 따라 채택하고 있으며, 제작회사의 기술을 기본으로 하여 중부전력에서 필요한 사항을 요구하여 적용하고 있다.

3. 연구결과가 국내의 기술개발현황에서 차지하는 위치

지금까지 많은 진단기술이 개발되어 왔지만 GIS는 종류가 다양하고 상태의 조건도 다르므로 이를 분석할 수 있는 자료의 부족 및 알고리즘의 취약성으로 인하여 신뢰성이 떨어지고 부분방전의 측정시 잡음으로 인한 부분방전신호의 측정을 정량적으로 명확하게 할 수 없는 취약성을 지니고 있다. 그리고

측정과 분석에서 전문가의 수준에 따라 상이한 결과를 도출할 수 있고 명확한 진단을 할 수 없는 경우가 많다. 국내의 경우는 전문가가 많지 않고 거의 일반기술자에 의해 측정과 분석이 이루어지는 경우가 많아 진단의 신뢰성을 더욱 떨어뜨리고 있다.

국내에서는 GIS 진단장비를 수입에 의존하고 있는 상황이며, 진단의 신뢰성을 높일 수 있는 분석방법 및 분석을 위한 자료의 구축은 소홀히 해 왔으며, 미래의 개방형 전력시스템에서는 진단기술이 보호제어와 융합되어야 하므로 현재의 진단기술수준으로는 대응하기 미흡한 실정이다.

선진국과 종합적인 측면에서 보면 선진국 기준 60% 정도의 기술수준을 가지고 있고 기반 기술면에서 보면 50% 정도의 낮은 기술수준을 가지고 있으나, 기술의 개발 면에서 보면 선진국에서 본격적으로 시작한지 20년 미만이고, 또한 기술이 정립되지 않았다. 전기재해 예방 원격진단기술에 지속적인 연구비의 투자가 이루어지면 향후 5년내에 선진국의 90% 수준까지 격차를 줄일 수 있고, 실용화 측면에서는 선진국과 대등한 수준에 이를 수 있어 국가적으로 전력기기 산업체의 이미지 쇄신을 증대시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서 제안하는, Φ -q-n 방식과 주파수 대역 분해 방식을 병용한 부분방전측정 및 DB 구축, 신경회로망을 이용한 인공지능화 진단 등의 GIS 부분방전 지능형 진단기술은 분석진단 수준을 결합의 유무와 종류에서 결합의 위험도까지 진단할 수 있는 수준으로 높여 전문가 부족을 해결할 수 있으며, 개방형 광역 전력시스템에서 보호제어와 융합시킬 수 있는 수준으로 개발된다.

제 3 절 국내외 네트워크 기술개발 현황

1. 계측에서의 네트워크 기술 동향

본 과제에서 개발하고 있는 진단 감시장치와 같은 내장형 플랫폼(embedded platform) 기반 디지털 계측기 개발의 세계적인 추세는 계측기 자체의 디지털화와 더불어 광역 네트워크로 대표되는 인터넷을 보다 효율적으로 이용해보고자 하는 방향으로 흘러가고 있다. 대부분의 최신 계측기가 일부 저급의 계측장비를 제외하고는 이미 PC 기반화되면서 네트워크로의 연결이 자연스럽게 일어나고 있으며, 보편화된 정보통신망을 이용함으로써 계측/제어 데이터의 송수신이 실시간에 가깝게 실현되어 디지털 계측기의 원격화, 자동화, 지능화가 가속될 전망이다. 이와 같은 흐름은 네트워킹 기술의 친숙함과 더불어 현재 생활 전반에 걸쳐 광범위하게 변화되고 있는 디지털 전자기기의 지식화 추세와 같다고 볼 수 있으며, 이는 결국 표 2.3.1이 보여 주듯이 계측현상도 네트워크화 방향으로 진전되어 계측이 시간적 공간적 제약 없이 이루어질 수 있도록 계측분야의 어떤 인프라가 형성되어야 함을 뜻한다.

표 2.3.1. 계측기술의 동향

구분		
성능	<ul style="list-style-type: none"> ▪ H/W 중심, 단순기능 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ S/W 중심, 지능화
감지부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bulk, 접촉 감지 기술 ▪ Transducer, 기능구현 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MEMS기술, 비접촉 감지기술 ▪ One-Chip화, 정확도, 정밀도
신호처리 및 제어	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 아날로그, 콘트롤러 ▪ H/W 처리, Off-line형 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 디지털, DSP기반, 고속, 실시간 ▪ S/W 처리, 원격화, 자동화
시스템	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stand-Alone 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Networking

통신과 컴퓨터, 비디오 기술이 하나로 통합되고 신호의 속도와 밀도가 높아지면서 테스트에 대한 새로운 요구가 등장하게 되고 따라서 표 2.3.2가 보여주는 네트워킹의 기대효과가 발생함에 따라 계측기의 네트워크 연결은 거대한 또 하나의 시장을 형성할 것이라 예측된다. 이에 부응하여, 계측기 또는 계측시스템 분야에 있어 기술적 우위에 있는 미국의 Tektronix, National Instruments, Agilent 및 일본의 Yokogawa, Yamatake와 같은 회사들은 이미 하드웨어적이고 단순 기능적인 기존의 계측기에서 콘텐츠 중심의 보다 진보된 개념의 지식형 계측기에 대한 미래 시장을 예상하고서 계측기에 네트워킹기술, 고속정보통신기술, 시스템결합기술 등을 접목하여 정보화라는 큰 물결을 따라가기 위해 계측의 실시간화 및 광역화 기술 개발에 연구비를 적극적으로 투자하고 있다.

표 2.3.2. 계측기 네트워킹의 효과

경제적	<ul style="list-style-type: none"> - Point-to-Point 통신모듈 대체 시장 : 연간 150억불의 시장 - 온라인 보수운영 : 연간 100억원(국내)의 물류비 절약
기술적	<ul style="list-style-type: none"> - 계측기의 세대교체 : 계측의 원격화, 자동화, 분산화 - 계측기의 고품질, 고효율화 유도 : 데이터 = 정보 = 상품
산업적	<ul style="list-style-type: none"> - 디지털 전자기기의 통합 시스템에 참여 : 표준화 용이 - 계측의 실시간화, 글로벌화 : 시간효율의 극대화

차세대 네트워킹형 계측기 시장은 Keithley Instruments의 연구보고에 따르면 산업용만 살펴보았을 때 2005년경 연간 500억불의 세계시장을 형성할 것으로 예측되므로 차세대 네트워킹형 계측기의 기반기술 확보는 글로벌 시대의 국가 경쟁력 측면에서 중요한 의미를 갖는다고 볼 수 있다. 또한, 현재 국내의 경우 정보통신의 강국답게 초고속광통신 및 무선통신 시장이 활짝 열려 관련 분야의 계측장비 국내수요가 연간 5조원에 이를 정도로 방대해져서, 그 동안 기술개발을 촉진시키고 장려하기에 가장 큰 애로사항이었던 수

요업체 확보 문제가 국내시장 개척 문제로 돌아 선 만큼 개발성공에 대한 기술적, 경제적 효용가치가 그 어느 때보다 높다고 할 수 있다. 이러한 추세는 그림 2.3.1에서 잘 보여주고 있으며, 금년 내로 실용화될 IPv6의 조기 도입에 의해 그 분위기가 더욱 고조되고 있다고 볼 수 있다.

-광대역 네트워킹 기술로 인한 계측기의 세대교체 (원격화, 자동화)
 -인터넷의 범용화 (2005년경 10억개의 인터넷 접속)
 -계측기의 고품질, 고효율화 유도 : 데이터 = 정보 = 상품
 ➔ 2005년 전체의 60%가 네트워크 계측기 (500억불 시장)
 Data from Keithley Research, 1999

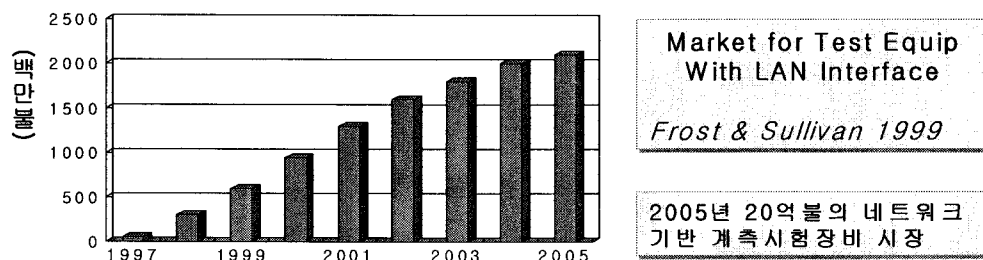
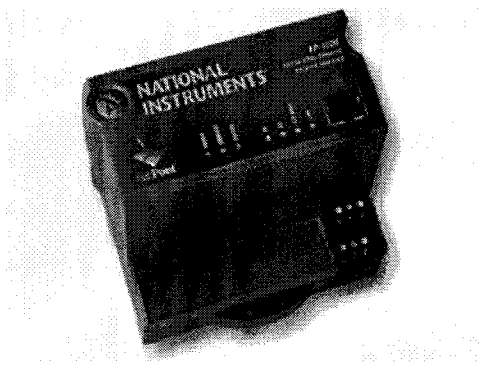


그림 2.3.1. 계측기 네트워크의 향후 시장 규모

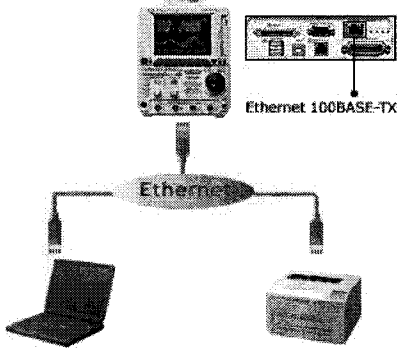
계측기를 네트워크의 일원으로 등장시켜 server-client 및 peer-peer 서비스를 원활하게 제공하려면 계측기 운영체제(Operating System), 미들웨어 및 응용소프트웨어로 분류되는 세 가지 핵심 요소기술이 요구된다. 물론 이 중 계측기 OS가 경우에 따라서는 이 세 가지 기능을 모두 구현할 수도 있으나 통상 이렇게 분류되므로 이에 대해 기술하려한다.

디지털 계측기의 경우 그 품목이 너무나 다양하고 계측 자체의 중요성 때문에 계측기 성능을 향상시키는 분야와 MMI(Man-Machine Interface)를 보다 편리하게 해 주는 분야에서의 꾸준한 진보에도 불구하고, 계측 방식의 고정 개념을 깨고 정보통신의 거대한 네트워크를 통해 계측 자체를 클래스화 또는 객체화하기 위한 시도는 아직 보이지 않고 있다. 그러나 Tektronix, Agilent, Keithley Instruments, National Instruments, Yokogawa 등 메이저 계측기 회사들은 이미 어느 정도 고가의(USD5,000이상) 자사 제품에 이더넷과 같은 네트워크 포트를 포함시켜 계측기 네트워킹 시대를 대비하고 있고, 여러 벤처업체들은 저가의 웹 어댑터로서 계측기를 인터넷상에 접속시켜 도래할 네트워크 시대를 대비하고 있다. (그림 2.3.2 참조)



NI FP1600C Adaptor

- Fast Ethernet TCP/IP interface
(100BaseTX (100 Mb/s), 10BaseT (10 Mb/s))
- Event-driven communications
- Network autoconfiguration
- Intelligent diagnostics and maintenance
- FieldPoint server software
(OPC server, FieldPoint Explorer configuration utility
Windows NT/9x)



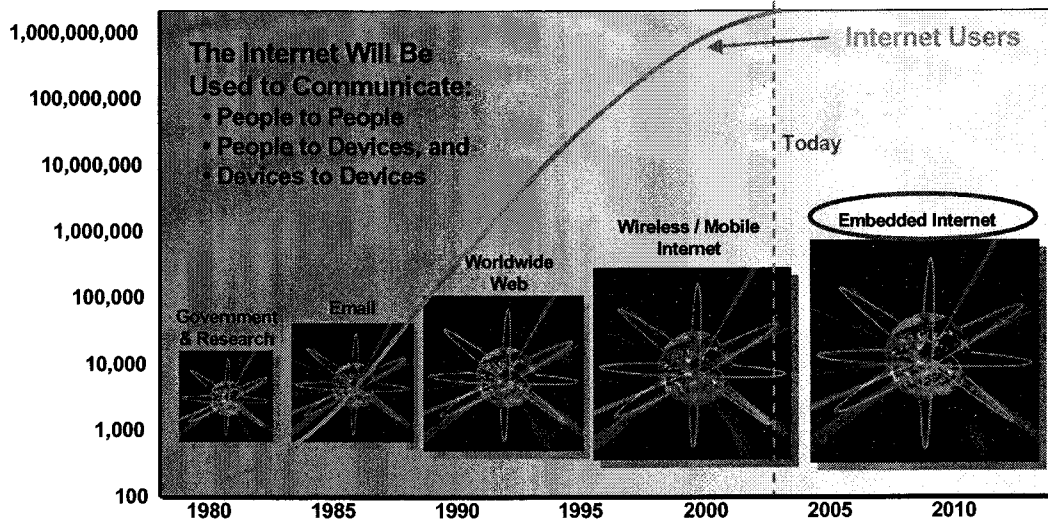
Yokogawa DL1740 Osc

- Data Transmission to/from a remote PC through FTP server function
- Network Printing on a remote network printer.
- Email Transmission : While the DL1740/DL1720 is operating, you can have it send waveform parameter measurement results and error information to a specified email address at designated intervals. You can also have GO/NO-GO determination results sent, or have messages sent as the ACTION of a trigger activation.

그림 2.3.2. 계측기 네트워크의 사례

계측기용 네트워크 경우 그 표준을 논하기에는 아직 보안성, 실시간 등 몇 가지 어려운 문제가 존재하므로 당장은 독자적인 네트워크 표준을 가질 수 없고, Ethernet/IP(Ethernet Industrial Protocol)와 같은 필드버스의 진화된 형태를 유지하게 될 전망이 지배적이다. 따라서, 정보통신 네트워크로 하여금 디지털 계측기를 진정한 네트워크 일원으로 받아들여 주도록 하기 위해서는 계측기 진영이 홈 네트워크와 같은 형태를 갖추지 않을 수 없다.

그림 2.3.3은 20년 역사의 인터넷이 시대의 흐름에 따라 개념적으로 어떻게 변화해 왔는가를 보여 주고 있다. 그림에서 보듯이 지금은 무선 인터넷을 지나 모바일 인터넷 시대이고 다가오는 시대는 임베디드 인터넷 시대이다. 굳이 임베디드 인터넷이라고 표현하지 않아도 이미 인터넷과 네트워크가 혼용되어 사용될 정도로 인터넷은 모든 네트워크의 싱크가 되어가고 있다.



Source: Network Wizards, Motorola, Microsoft, The State of the Net

그림 2.3.3. 인터넷의 개념 변화

2. 임베디드 OS

계측기의 입력부, 프로세싱부 등의 하드웨어적인 모든 구성요소가 갖추어졌다면, 실제 디지털 계측기의 각 요소들을 구동시키고 제어하며, 사용자와의 입출력을 처리할 종합적인 소프트웨어가 있어야 하는데, OS가 이 역할을 한다고 볼 수 있다. 디지털 계측기의 사용 환경이 일반적으로 사용되고 있는 데스크 탑 컴퓨터와는 그 목적부터가 완전히 다르므로 계측기 OS는 당연히 많은 부분에서 데스크 탑과 달라야 한다.

계측기 OS는 계측기의 각 하드웨어 구성요소를 제어해야 하고, 실시간 스케줄링, 제한된 메모리 자원의 관리, 특히 네트워크 관련 서비스의 전송 등 디지털 계측기의 여러 기능을 관리하는 역할들이 위주가 되어야 한다. 물론 OS의 커널(kernel)은 그 크기가 작고 빠르게 반응해야 하고 안정적으로 동작해야 함은 물론이다.

응용소프트웨어를 지칭하는 계측기 OS 레벨에서의 API(Application Program Interface)의 제공 역시 중요한 부분으로서, 소프트웨어 개발자들에게 일관된 개발환경을 제공하는 목적 이외에도, OS 측면에서 볼 때 PC(Personal Computer)와는 달리 계측기 OS의 경우엔 사용자와 메시지 창으로 '대화'하는 부분이 거의 없게 마련이므로 다소 둔하더라도 탄탄한 프로그래밍 환경이 아주 중요하다. 이미 출시된 실시간 OS 종류에는 VxWorks, pSOSsystem, Microware's DAVID OS-9, Microsoft's Windows CE, JavaOS, Linux 등 다양한 제품군들이 있다.

3. 네트워크 관련 디바이스 드라이브

계측기 네트워크는 홈 네트워크와 마찬가지로 크게 통신 기술과 미들웨어 기술로 구분할 수 있으며, 통신 기술은 다시 유선 기술과 무선 기술로 나눌 수 있다. 현재 계측기 네트워크는 홈 네트워킹의 통신 기술개발을 적극적으로 추진하고 있는 그룹은 홈 RF워킹그룹(the Home Radio Frequency Working Group)과 VESA(Video Electronics Standards Association) 홈 네트워크로서, RF워킹그룹은 PC, 휴대폰, 가전제품 등을 무선

으로 제어하는 기술들을 개발하고 있으며, VESA 홈 네트워크는 하나의 선을 통해 PC, 주변기기, 가전제품 등 가정 내의 기기를 통합, 제어하는 기술개발에 주력하고 있다.

홈 네트워크의 하드웨어 표준으로는 컴퓨터 및 가전업체를 중심으로 하비(HAVI: Home Audio-Video interoperability)가 제안되었고, 이를 기반으로 디바이스의 운영, 관리 및 제어를 위한 미들웨어(응용 소프트웨어) 기술 표준으로서 썬 마이크로시스템즈의 자바 기계를 기반으로 한 지니(Jini)가 발표되었으며, 마이크로소프트사에서는 지니에 대응하여 유피엔피(UPnP: Universal Plug and Play)를 개발하여 네트워크 표준기술 선점을 노리고 있다. 그리고, 이동 전화기나 PDA(Personal Digital Assistant), HPC(Handheld Personal Computer)의 경우도 WAP(Wireless Application Protocol) 등의 개발로 홈 네트워크 시장확보 경쟁에 참가하고 있다.

4. 계측기 네트워크 미들웨어

기본적인 하드웨어 입출력, 주변장치 제어 및 네트워크 관리 등이 계측기 OS의 특징이라면, 언제나 다양한 종류의 계측, 신호처리 등을 처리하고, 다양한 종류의 서비스 특히 지니 등을 일괄적으로 지원하기 위한 중간 역할은 미들웨어에서 담당하게 된다.

사실 많은 수의 디지털 계측기 제조사들이 각자 고유의 하드웨어 플랫폼과 각 사의 개발환경에 맞는 OS등을 채택하고 있기 때문에, 통합 소프트웨어 표준을 잡기가 모호하다. 이러한 추세에 발맞춰 Open Architecture 지향의 중간운용 소프트웨어가 발표되기 시작하였는데, 이들 미들웨어들의 공통지향 운영범위는 HTML Machine, Java Virtual Machine, Script Interpreter 등이며, 대부분의 네트워크형 계측기에서 표준적으로 지원되어야 할 범위를 담고 있는 일종의 레이어 역할을 하게 된다. 아직 시장에 나타나진 않았지만, 디지털 계측기와 유사한 패턴인 셋탑 박스를 예로 들어 보면, Microsoft's TV PAK, OpenTV, Media Highway, eNavigator, PowerTV, PlanetTV 등의 제품군들이 이미 시장에 출시되어 적용을 기다리고 있다.

디지털 계측기의 네트워크와 가장 유사한 홈 네트워크 미들웨어는 소니·필립스·파나소닉·히타치 등 가전업체들이 주도하는 '하비(HAVi)'와 MS·인텔·스리콤 등 1,000여개사가 연합한 '유피엔피(UPnP)' 진영 및 홈네트워크 솔루션인 '지니'를 선보인 선마이크로시스템즈 진영이 표준화를 놓고 3파전의 양상을 띠고 있다. 홈 네트워크 표준화의 핵심 포인트는 '홈 네트워크의 중심을 어디에 두느냐'라는 기술적 차이에 있다. 가전업체들이 중심인 하비 진영은 디지털 가전제품을 중심으로 삼는 데 비해 UPnP는 PC와 주변기기에 초점을 맞추고 있다. 국내 업체들도 현재 다양한 기술표준에 복수 가입, 기술 표준화에 대비하는 한편 기술간 호환성을 높이는 데 주력하고 있다.

◆ 지니(Jini)

썬 마이크로시스템즈가 개발한 홈 네트워크 응용 기술로 주변기기를 운영체제에 관계 없이 활용할 수 있어 단일한 운영체제에 의해 데이터가 제어될 때 발생하는 데이터 접속 부하를 줄여 네트워크 기기간의 분산환경을 강화하였다. 자바 언어를 이용한 이 기술은 네트워크 상에서 플러그 앤 플레이(Plug and Play) 기능을 제공하며, 모든 요소를 서비스

로 처리하는 “서비스 기반 구조”를 활용하고 있다. 이 기술은 편사를 필두로 한 13개 연합 그룹이 핵심기술을 확보하고 있다.

◆ UPnP(Universal Plug-and-Play)

마이크로소프트사의 UPnP는 복수의 디바이스를 상호 통신 및 접속을 가능하게 하는 소프트웨어 아키텍처로서, 훨씬 간편하며 소형인 드라이버 장치들을 개발해 소비자들이 HW와 장비들의 구성에 관여하지 않아도 될 수 있도록 계속적으로 연구되고 있다. 최근 무선 또는 전화선, 전력선 등을 통해 가정 내의 모든 장치들을 연결하기 위한 기술도 함께 개발되고 있다.

5. 계측기 OS와 API

계측기의 하드웨어, 계측기 OS, 그리고 미들웨어까지 구성되었다면 실기기 즉 대상 계측기에서 실제로 구동될 특화된 어플리케이션을 제작 혹은 이용하는 부분에는 API에 입각해 개발, 운용되어지는데, 계측기 OS에 따라 또 제공되는 미들웨어에 따라 어떠한 API를 지원하는지 달라진다. 어떤 API를 제공하는가 하는 점 역시 하드웨어적인 완성도 못지않게 중요하고, 보다 많은 콘텐츠를 쉽게 개발되어지게끔 하는 중요한 요소의 하나이다.

지니를 기반으로 하는 자바 솔루션은 그림 2.3.4에서 보듯이 자바의 개방성과 이식성 때문에 자바언어 기반의 프로그램 개발이 금융·검색·게시판·무선인터넷 등 인터넷 솔루션 분야로 확대되고 있다. 이처럼 대화형 프로그래밍 언어의 채택이 비즈니스분야로 확산되고 있는 것은 자바가 양방향 인터넷 어플리케이션을 구현할 수 있는데다 윈도우나 유닉스 등 운용체계에 상관없이 작동하는 등 그 활용 범위가 넓기 때문이다.

	현재(안)	차세대 플랫폼
개방성	UP&P, JINI	JINI
플랫폼 독립성	JINI	JINI
확장성	UP&P, JINI	JINI

<p style="text-align: center;">UP&P</p> <p>표준 spec.을 MS결정 구현 : MS진영 독점 구현결과사용 : 로열티 개발도구 독점</p>	<p style="text-align: center;">JINI</p> <p>표준 spec.을 SUN결정 구현 : 모든 회사에 공개 구현결과사용 : 로열티 없음 다양한 개발도구 제공</p>
--	--

결론 : 플랫폼의 개방성 혜택 때문에
자바환경만이 유일한 선택임

그림 2.3.4. 네트워크 미들웨어 표준화 동향

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 변압기 진단을 위한 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술

1. 유침절연 변압기의 절연열화

가. 액체 유전체의 절연파괴^{[1]-[5]}

절연유를 매우 고도로 순화하면 그 절연내력은 현저하게 상승하며 750[kV/m](최대치 20℃)라는 값을 얻을 수 있으나 실제의 고전압 절연에 사용되는 것은 전극거리가 상당히 큰 경우에 약 90[kV/m](최대치)정도이며, 사용중의 열화를 고려하여 기기의 절연설계는 그 반 정도를 기준으로 하고 있다. 보통의 절연유는 전력용 변압기의 절연재료 및 냉각재 료로 많이 사용되고 있는데 사용 중 먼지, 수분, 가스 및 산화생성물 등이 포함되어 있으 며 이들이 절연파괴 전압에 현저한 영향을 미친다. 액체 절연체의 절연파괴 기구의 정량 적 설명은 액체에 관한 물리적 기초이론이 뒤져 있어, 아직은 완전하지 않다. 지금까지 조사되어 있는 파괴 기구의 주된 것을 분류하면 다음과 같다.

(1) 전자적 파괴

음극에서의 전계방사에 의하여 생긴 전자가 액체 분자와 충돌전리를 일으켜 파괴 되는 경우이다.

(2) 기포에 의한 파괴

전압 인가에 의하여 액체 중에 기포가 생겨, 이것이 원인이 되어 파괴되는 경우이다. 전계가 인가되었을 때 기포가 일정체적의 조건을 유지하고 가늘고 길게 신장한다고 했을 때 기포에 의한 전압강하가 기포내의 기체에 대하여 Paschen곡선의 최소 값이 되었을 때 절연파괴가 생긴다고 가정하면, 이때의 절연파괴 E_C 는 다음 식(3.1.1)과 같다.

$$E_C = \frac{1}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \left[\frac{24\pi\sigma(2\epsilon_1 + \epsilon_2)}{\gamma} \cdot \frac{\lambda}{4} \sqrt{\left(\frac{V_b}{2rE_D}\right)^{-1}} \right]^{1/2} \quad (3.1.1)$$

단 σ 는 액체의 표면장력, γ 는 기포의 초기 반지름(球라고 가정하였을 때) V_b 는 기포내의 전압강하 $\epsilon_1\epsilon_2$ 는 액체와 기포내의 기체의 유전율

(3) 혼입불순물에 의한 파괴

액체중에 혼입되어 있는 고체 및 액체가 원인이 되어 파괴되는 경우이다. 그림 3.1.1과 같이 액체 입자가 혼입되어 있는 경우인데, Silicon유중에 수적이 혼입되어 있을 때의 파괴과정을 나타낸 그림이다. 이와 같이 부유입자가 혼입되어 있을 때는 부유입자가 전계방 향으로 길게 뻗어 전극을 교락시켜 절연파괴에 이른다. 처음에 구형상태의 부유입자가 그림 3.1.1과 같이 타원체형으로 변형할 때 부유입자가 불안정하게 되기 시작하는 전계강도는, 입자표면에 작용하는 힘 (표면장력, 전계에 의한 힘, 액체의 압력)의 평형조건에서

다음 식 3.1.2와 같이 된다.

$$E_c = 487.7 \sqrt{\frac{\sigma}{R\epsilon}} [V/m] \quad (3.1.2)$$

(단 σ 는 표면장력, ϵ 은 시료의 유전율 R은 부유입자의 반지름)

액체보다 큰 유전체를 갖는 고체 또는 금속입자가 액체 중에 존재하면 입자표면의 전계강도가 높아지고 이것이 액체의 파괴장도 보다 크면 전계 집중점에서 Corona방전이 생겨 기포가 발생, 절연파괴에 이른다. 또 전극상에는 전계집중점이 존재하는 경우 그 부분에 부유입자의 집적(bridge)이 생겨 파괴가 일어난다.

그 외 유중 Corona를 동반하는 파괴 현상으로 불평등 전계간극에서는 전계가 집중하는 전극에 의거 유중 Corona가 발생하여 이것이 원인이 되어 파괴되는 경우가 있다.

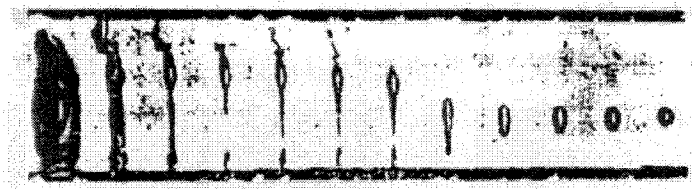


그림 3.1.1 혼입수직에서의 방전에 의한 파괴

나. 전력용 변압기의 절연열화

유입변압기의 절연물은 기본적으로 절연지, Pressboard 및 절연유로 구성된 복합유전체이다. 이러한 절연물은 운전 중 전기적, 기계적 스트레스를 항상 받고 있고, 여기에 열적 스트레스가 가해지면 열화로 인해 기계적 강도가 저하하며 이상온도상승으로 고온이 된 경우에는 기포가 발생하게 된다. 또한 전기적 스트레스가 가해지는 경우도 절연유중 용해가스(dissolved gas)가 기포를 형성한다.

이러한 변압기 절연물의 열화요인은 다음과 같다.

- 열에 의한 열화
- 흡습에 의한 열화
- 산소의 흡수에 의한 열화
- 부분방전에 의한 열화
- 기계적 응력에 의한 열화

이들 열화요인은 모두 단독으로 발생하는 경우는 적고 두 가지 이상이 서로 중첩되어 절연물을 열화시킨다. 일반적으로 변압기 절연에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 열적열화요인이며 산화열화는 열적요인이 가해지지 않으면 유침절연에서는 거의 발생하지 않는다. 또한 이외에도 절연지, 절연물속의 불순물 같은 내적 열화요인도 생각할 수 있고 운전 중 뇌 Surge의 침입 등으로 교류전압과 Impulse전압이 중첩되어 발생하는 복합요인의 경우도 있다.

전력기기의 실부하 상태에는, 도체중의 전류나 누설전류에 의한 열의 발생과 유전체손 등에 의해서 절연층과 도체와의 Interface부분에 온도상승이 생기게 된다. 근래에는 전력기기의 이용전압은 높고, 국부적인 고전계화에 의해서 이상부위에서의 부분방전과 Spark, Arc 등이 많이 발생한다. 고체절연물과 절연유가 조합된 유침계 절연에서는 고체절연재

료와 절연유의 상호작용도 매우 중요하다. 그림 3.1.2에 기본적인 열화 Process를 표시하였다.

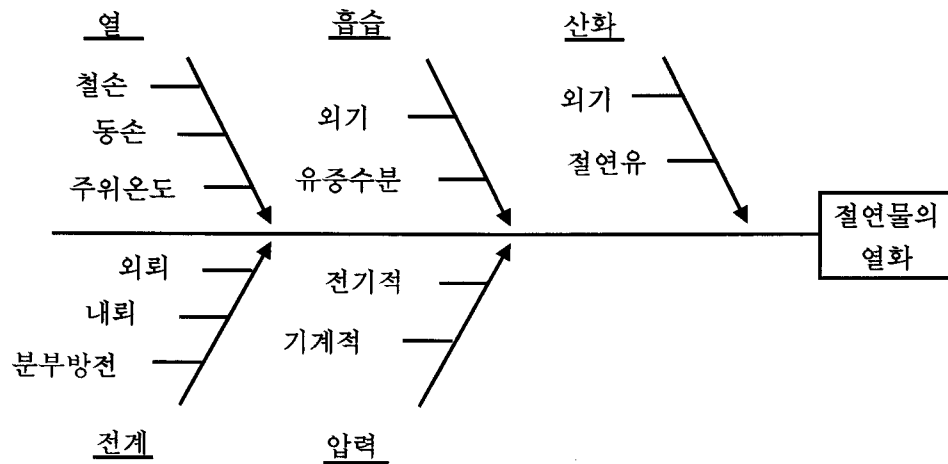


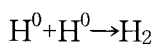
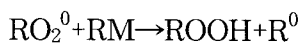
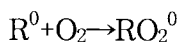
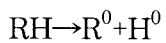
그림 3.1.2 열화 Process

2. 유입식 변압기에서의 부분방전 특성

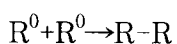
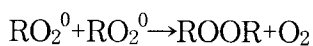
가. 방전열화^{[12]-[13]}

방전열화는 고온을 동반한 Arc열화와 화학반응을 동반한 부분방전열화로 분리된다. Arc열화에서는 발생하는 열이 높기 때문에 열해리에 의해서 발생한 각 원자, 분자가 주위의 산소와 반응하여 산화열화와 같은 모양의 기체를 발생하는 경우도 있다. 부분방전열화는 산화 열화를 주로하고 있으나, 산화 열화에서는 열과 자외선에 의해서 구성분자중의 C-H와 C-R로부터 탈 프로톤, 탈 메틸렌기가 생기지만 부분방전 열화의 경우는 전자와 $\oplus\ominus$ 이온의 직접적 충돌과 방전공간내의 원자상 산소, 활성화 산소의 영향을 받는 점이 다르다. 다음은 절연유의 산화열화과정을 설명하고 있다.

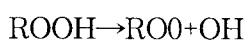
변압기 절연유와 같은 광유는 탄화수소의 산화반응이 그 조성에 따라 열화과정이 약간 다르지만, 보통 다음과 같은 과정으로 열화한다. 절연유의 분자를 RH로 표시하면

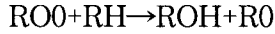


가 되고 RO_2^{\cdot} , R^{\cdot} 는 다음과 같이 반응한다.



과산화물 ROOH는 다음과 같은 반응을 거쳐 알코올, 알데이드, 케톤, 유기산등으로 분해된다.





나. 부분방전의 일반적특성^{[11][16]}

(1) 부분방전의 정의

부분방전이란 전극간에 전압을 인가하였을 때 그 사이의 절연물중에서 부분적으로 발생하는 방전을 말하며, 전극간을 완전히 교락하는 방전은 포함되지 않는다. 부분방전은 그림 3.1.3과 같이 내부방전, 표면방전 코로나방전의 3가지로 분류할 수 있다. 그림 3.1.4는 그림 3.1.3에서 분류된 여러 가지 부분방전형태를 나타내고 있다. 그림 3.1.4(a)는 표면방전을 그림 3.1.4(b)는 코로나방전을 보여주고 있으며, 그림 3.1.4(c)는 표면방전과 내부방전이 그림 3.1.4(d)는 표면방전과 코로나방전이 혼합된 형태를 보여주고 있다. 이와 같이 부분방전은 한가지형태로 나타나기도 하지만 두 가지 이상이 혼합된 형태로 나타나기도 한다.

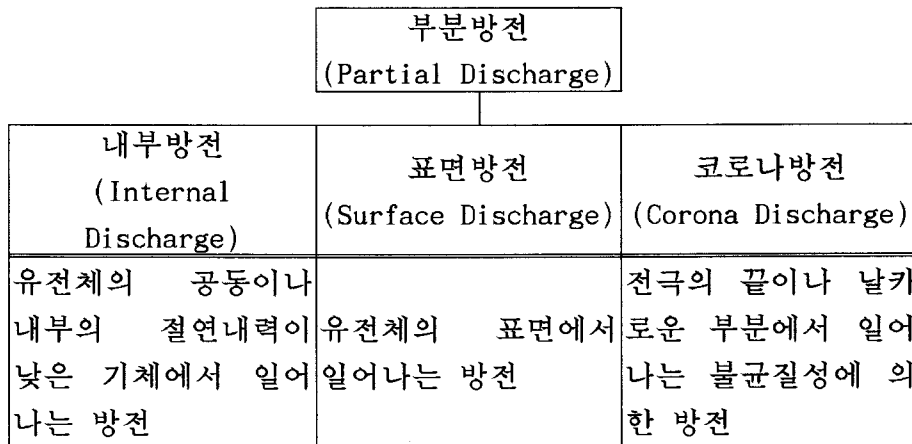


그림 3.1.3 부분방전의 분류

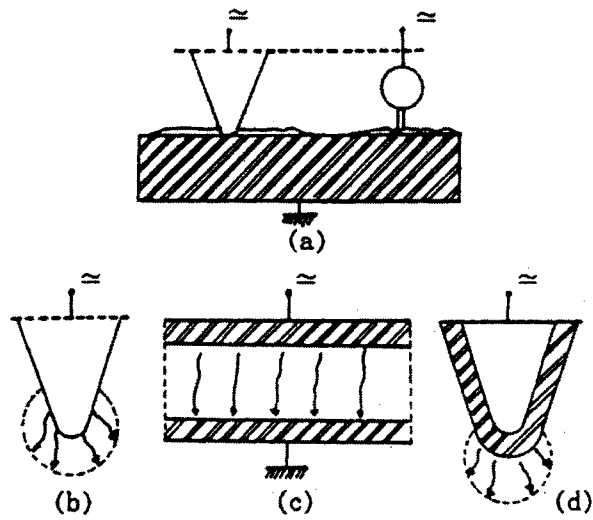


그림 3.1.4 부분방전유형

(2) 교류전압과 부분방전 분포

복합유전계에 정현과 교류전압을 인가하면 그림 3.1.5와 같이 전압이 분담되고 부분방전 펄스전류가 발생된다. 점선은 보이드에서 부분방전이 일어나지 않았을 경우 보이드에 걸리는 전압 V_c 를 나타내고 있다. V_c 가 V_g^+ 에 도달하였을 때 방전이 발생하고 갭에서의 전압은 잔류전압 v_r 로 된다. 보이드에 걸리는 전압은 V_c 가 V_g^+ 에 도달할 때까지 다시 증가한다. 그 때 새로운 방전이 발생하며 이러한 형태로 인가전압의 상승부분에서 많은 부분방전펄스가 발생한다. 같은 형태로 인가전압이 하강하는 부분에서 보이드에 걸리는 전압이 V_g^- 에 도달할 때 방전이 발생한다.

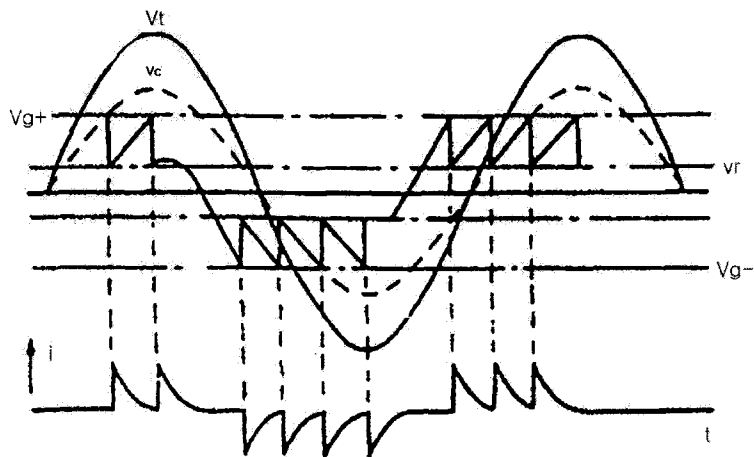


그림 3.1.5 교류인가전압과 부분방전펄스 전체과형

(3) 전기신호 부분방전 측정회로

시료에 부분방전이 발생하면 발생개소에 미소한 Pulse성 전압변화가 일어난다. 이것을 전기적인 회로에서 검출하기 위하여 부분방전 측정회로는 다음과 같은 구비해야 한다.

측정회로의 기본적인 회로구성은 다음의 4가지 요소로 된다.

- (1) 공시물, (2) 검출 Impedance, (3) 결합 Condenser, (4) 측정기

이에 부가하여 공시물에 전압을 인가하는 고전압 전원 및 전원으로부터의 잡음을 폐쇄하고, 또한 공시물에서 발생한 부분방전 Pulse를 전원측으로 유입하는 것을 방지하는 Impedance 또는 Filter를 통상 설치한다.

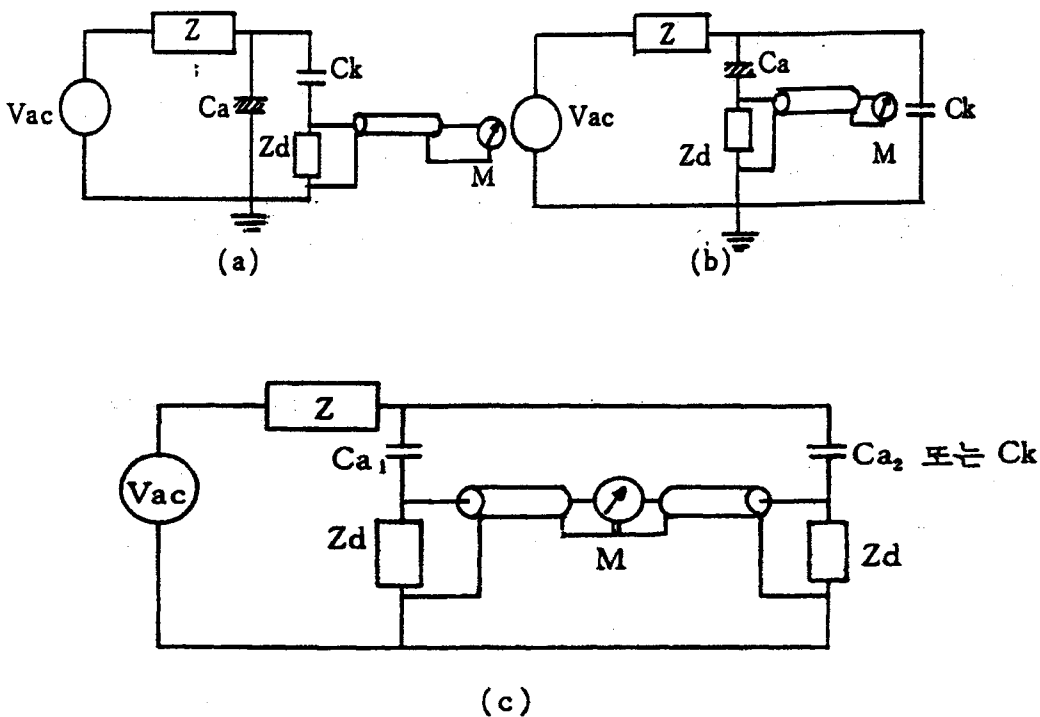
측정회로는 검출 Impedance의 접속위치 또는 종류에 따라, 다음 3종류로 분류된다.

(1) 검출 Impedance를 결합 Condenser의 접지측 단자와 대지간에 접속하는 회로 그림 3.1.6 (a)참조)

(2) 검출 Impedance를 공시물의 접지측 단자와 대지간에 접속하는 회로(그림 3.1.6 (b)참조)

(3) 검출 Impedance를 공시물 및 결합 Condenser (또는 별도의 공시물)의 접지측 단자와 대지와의 사이에 각각 접속하여, 평형을 취하는 회로(그림 3.1.6 (c)참조)

그림 3.1.6 (a)와 (b)는 일반적으로 사용되는 부분방전 측정회로로서, (a)는 시료가 접지되어 있는 경우, 후자는 비접지인 경우의 회로이며, 또 (c)는 잡음을 제거하기 위한 평형회로이다.



Ca, Ca₁, Ca₂ : 공시물의 Capacitance, Ck : 결합 Condenser
 Zd, Zd₁, Zd₂ : 검출 Impedance, M : 측정기
 Vac : 전 원, Z : Impedance 또는 Filter

그림 3.1.6 부분방전 측정회로

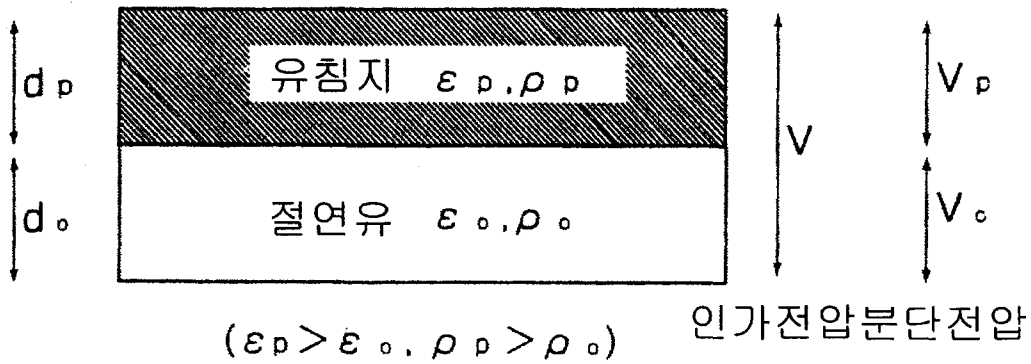
다. 유침복합절연계의 부분방전 특성

절연유와 절연지로 구성된 복합절연형상을 그림 3.1.7과 같다고 했을 때 일반적으로 고체절연물은 절연유에 비하여 유전율이 높으므로($\epsilon_p > \epsilon_0$) 전극간($d_p + d_0$)에 교류전압을 가하면 각각의 분담전압은 다음 식과 같이 되며,

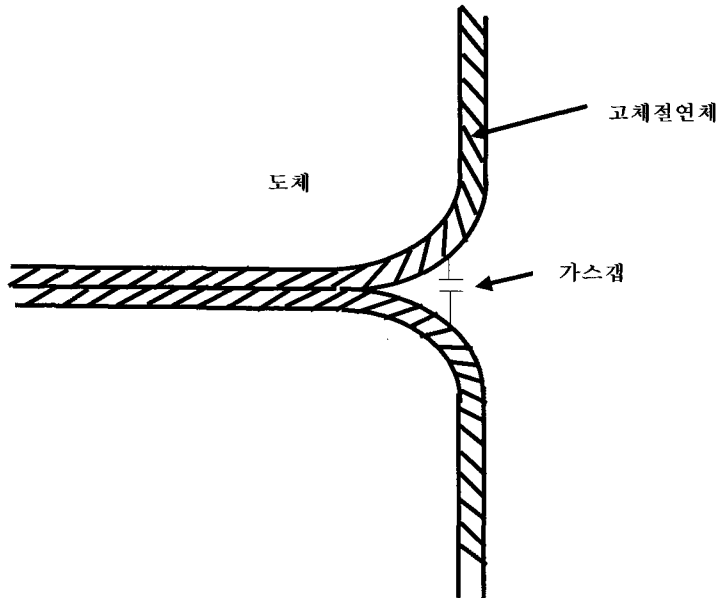
$$V_0 = V(\epsilon_p/d_p) / (\epsilon_p/d_p + \epsilon_0/d_0)$$

$$V_p = V(\epsilon_0/d_0) / (\epsilon_p/d_p + \epsilon_0/d_0)$$

절연유 부분의 전계치(V_0/d_0)는 유침지 부분의 전계치(V_p/D_p)보다도 높아진다. 한편 절연유의 파괴전계는 유침지의 파괴전계보다도 낮기 때문에 전극간에 가하는 교류전압을 상승하면 우선 절연유가 부분적으로 파괴하여 유중 부분방전이 발생한다.



(복합유전체의 등가형태)



(변압기 코일에서의 복합유전체 구성)

그림 3.1.7 절연지, 절연유의 복합절연계

실용적으로 유중부분방전이 문제가 되는 것은 절연유와 고체절연물과의 직렬구성에서 기름 갭이 부분적으로 절연파괴 하는 경우이다. 그림 3.18은 교류 유중 부분방전특성의 대표적인 예이다. 이 경우 우선 귀나 눈으로 검지할 수 없는 수천 pC의 간헐적인 부분방전이 시작하며, 전압을 올리면 소리나 빛을 수반한 연속방전으로 진전한다. 이 방전은 같은 전극구성의 기중절연의 경우에 비하여 방전전하량이나 에너지가 커서 $10^4 - 10^6$ pC 정도이다. 일단 방전이 시작하면 절연유의 분해가스가 발생하고 복합절연계의 경우에는 이것이 잔존하기 때문에 기포중의 방전도 동시에 발생하여 방전개시전압은 큰 폭으로 저하한다. 또 그림 3.19와 같이 전압이 일정하여도 절연물손상정도가 계속 변하기 때문에 방전의 형태는 시간과 함께 변하기 쉽다. 유중 부분방전의 개시전계는 유 갭 길이의 증가에 따라 저하한다. 또 시험시의 전극구성이나 유중의 불순물의 질량에 의해서도 영향을 받는다.

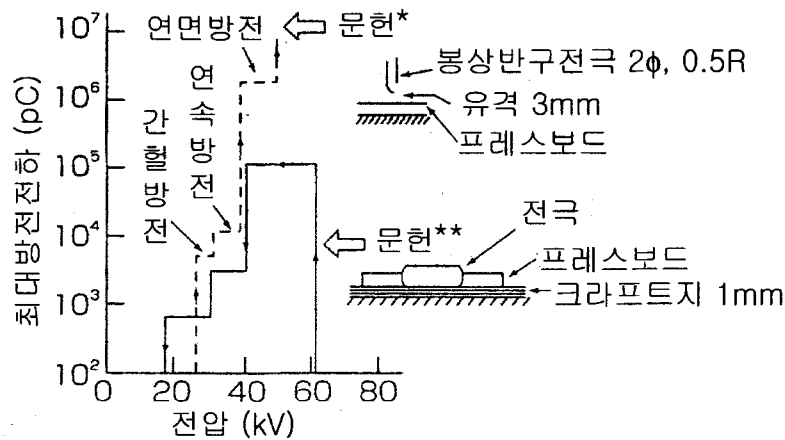


그림 3.18 유중방전형태

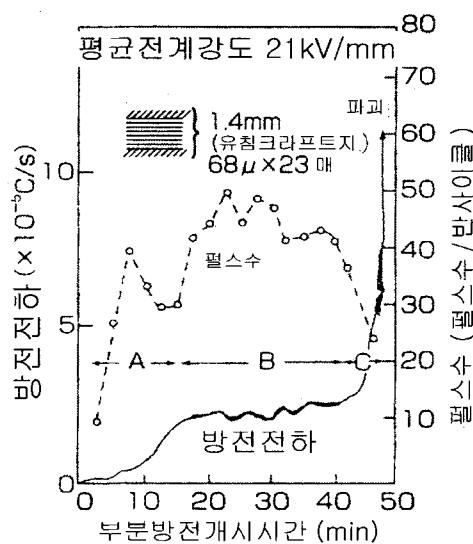


그림 3.19 부분방전의 시간변화

유침지 단독의 절연특성은 그림 3.1.10과 같이 밀도(셀룰로즈 섬유 함량의 점적률)에 의해서 크게 변하며, 증가하는 전압과형에 의해서도 변화한다. 또 시험시의 전극구성, 함침절연유의 특성이나 절연지의 질, 량에 의해서도 영향을 받는다.

유중 부분방전에 의한 고체절연물의 손상은 방전에 의한 침식 또는 트래킹 발생외에 고체절연물의 분해가스 발생으로 현상이 복잡해진다. 절연지의 유중 부분방전에 의한 손상은 두께방향(관통방향)의 절연과괴와 횡방향(연면방향)의 스트리마 침식으로 구분할 수 있으며, 일반적으로 후자가 일어나기 쉽다. 연면방향으로 스트리마가 신장하면 분해가스의 미소 기포 때문에 방전이 일어나서 시간과 함께 탄화흔적이 남는다. 얇은 크라프트지를 증첩하여 감은 절연에서는 첫 번째 층의 표면보다 두 번째 층 쪽이 심하게 손상되는 것이 많다. 이것은 종이의 표면에서는 발생한 가스가 증발하기 쉽지만 종이 내측에서는 가스가 잔류하기 쉽기 때문이다.

일반적으로 유중부분방전에 의한 재료의 열화는 건식절연의 기중부분방전에 비하여 매우 짧은 시간에 일어나지만 유침지 층 내부에서의 방전과 같이 분해가스가 잔류하기 쉬운 장소에서는 단시간 내에 기중방전으로 이행하고 가스가 증발하기 쉬운 장소보다도 오히려 열화속도가 지연될 수가 있다.

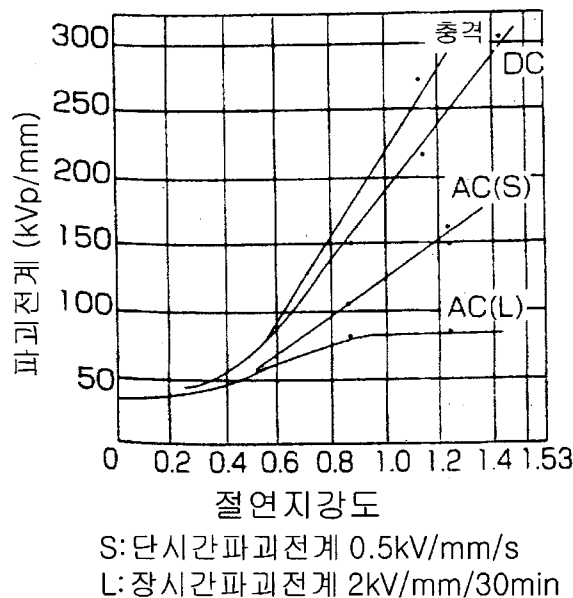


그림 3.1.10 유침지의 절연파괴전계와 절연지밀도의 관계

라. 변압기 권선에서의 방전신호전송 특성

전력용 변압기에서 부분방전을 모니터링하기 위하여 많이 사용되는 측정법으로서 접지선 측정법을 초음파 측정법을 들 수 있다. 두 측정법의 특징은 그림 3.1.11의 예를 들어 설명할 수 있다. 그림 3.1.11은 변압기 권선에서의 방전원 위치와 응답특성을 보여주는 예로서 그림(a)는 권선의 리액턴스 L 과 권선간 커패시턴스 C_s' 및 권선과 변압기 탱크와의 사이를 구성하고 있는 커패시턴스 C_g' 로 구성되어 있는 변압기 모델 임피던스 형상을 보

여주고 있으며, 총 11단으로 나누어져 있고 Z_H 는 고압단에서의 출력임피던스를, Z_N 은 접지단에서의 출력 임피던스를 보여주고 있다. 그림 (b)는 고압단을 뜻하는 1단계, 중간지점인 6단계, 접지단에 가까운 10단계에서 부분방전이 발생하였을 때 각 권선 위치에 따라 부분방전크기 Δq 가 어떻게 변하고 있는지를 보여주고 있다. 이 결과에 의하면 부분방전 크기는 발생위치에서 멀어짐에 따라 지수적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 1단계에서 발생된 부분방전 크기를 11단계에서 측정하였을 때 그 크기는 처음 크기의 15%까지 감소하게 된다.

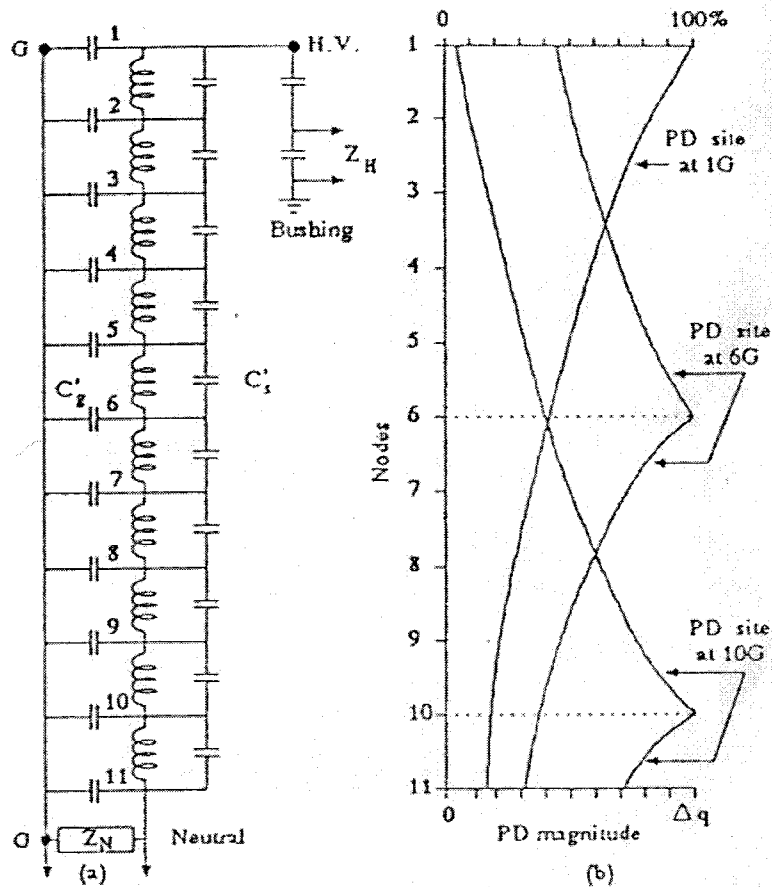


그림 3.1.11 변압기 권선에서의 방전원 위치와 응답특성

그러므로 접지선에서 부분방전크기를 측정하는 접지선 측정법은 권선 상에서 방전이 발생하는 위치에 따라 측정된 결과가 달라지므로 이러한 방법은 방전의 크기보다는 방전의 발생유무를 확인할 수 있는 것으로 만족해야 한다. 또한 이 방식에서는 외부 잡음의 영향에 따라 방전측정결과의 신뢰성이 좌우되므로 외부잡음에 대한 대책방안이 필요하고 방전 발생가능성이 높은 고전압 부분이 측정 점에서 가장 먼 거리에 위치하기 때문에 감쇠의 영향을 가장 많이 받게 된다는 것도 고려되어야 한다.

설비내부에 부분방전이 발생하면 펄스성 전류가 나타나는 동시에 가청 주파수로 부터 초음파에 걸친 광범위한 주파수 분포를 가진 음파가 발생한다. 이 때문에 부분방전을 검

출하는 방법으로서 펄스전류를 중성점 접지선에 취부한 Rogoski coil 및 Bushing tap 으로부터 검출하는 전기적 신호검출법과 절연유를 통하여 전파되는 초음파를 변압기 외 함벽에 부착한 초음파 마이크를 이용한 음향법으로 검출하는 기계적 신호검출법이 있다. 또한 전기적 신호검출법과 기계적 신호검출법을 병행하여 실시하면 부분방전의 위치탐지도 가능하다.

부분방전 검출기기로 변압기 외함에 초음파 마이크를 이용한 음향법과 중성점 접지선에 흐르는 펄스전류를 검출하는 전류법을 병행한 자동감시 진단장치가 개발되어 있다. 이것은 운전 중의 변압기에 있어서는 외부잡음이 많아서 음향법이나 전류법 단독으로는 변압기의 부분방전 검출이 곤란하기 때문에 두 가지 방법을 조합하여 내부방전을 판단하는 기능을 갖도록 한 진단장치이다.

문헌에 의하면 유침 크라프트지에 손상이 인정되는 부분방전전하량은 1,000pC정도이며, 100pC정도에서는 손상이 없거나 아주 적은 것으로 보고 되고 있다. 또한 유중에 존재하는 기포의 부분방전량은 100pC, 혹은 그 이하이다. 기포의 부분방전은 그것이 그대로 유지되는 한 실제적인 피해는 없는 것으로 알려져 있다. 변압기에서는 부분방전량에 따라 파괴에 이르는 시간이 달라진다. 이와 같은 특성을 그림 3.1.12에 나타냈다.

○ : 28.9kV/mm, ● : 26/3kV/mm, △ : 23.6kV/mm,
 × : 21.0kV/mm, □ : 15.7kV/mm

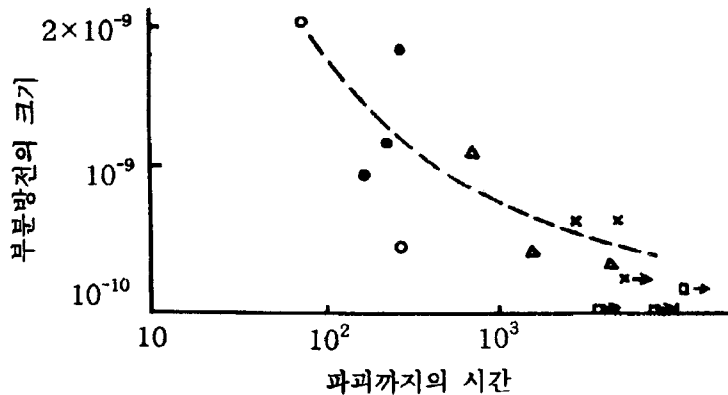


그림 3.1.12 부분방전량과 파괴까지의 시간관계

3. 변압기에서 전자파를 이용한 부분방전 측정

유입식 변압기의 절연은 크게 광유에 의한 액체절연과 셀룰로즈계 고체절연물로 고체 절연물로 구성되어 있다. 변압기의 고체절연이 열화되거나 액체절연에 불순물 및 수분이 혼입되고 기포가 발생하여 그러한 결합부분에 임계치 이상의 고전계가 인가되면 부분방전이 발생한다. 부분방전의 측정은 전원을 제거하여 실시하는 운전 중지 측정방식과 운전 중 측정방식이 있다. 부분방전에 의한 변압기의 고장을 효율적으로 예방하기 위해서는 실시간으로 변압기의 부분방전을 상시 감시할 수 있는 운전 중 측정방식이 효율적이다. 부분방전은 전기적인 신호와 더불어 음파, 빛, 전자파 등이 발생한다. 현재 변압기에서 발생하는 부분방전을 운전 중 실시간으로 측정하기 위하여 부싱탭이나 전류센서 등을 이용한

전류신호를 검출방식과, 음파 센서를 이용하여 부분방전을 측정하는 초음파방식 등이 있지만 전기적인 부상탐이나 전류센서를 이용한 신호검출법은 주변 잡음의 영향을 많이 받고 초음파법은 감도가 낮다는 단점을 가지고 있다.

전자파를 이용한 부분방전측정에서 감도를 향상시키고 잡음 등을 제거하기 위하여 대상 전력기기의 전자파에 대한 주파수 특성이나 전파특성 등이 분석되어 안테나 주파수 특성이나 신호처리방식이 결정되어야 한다. 하지만 현재 전자파를 이용하여 부분방전을 운전 중에 감시하는 방식은 GIS나 배전반에서 주로 연구되고 있다. 그러나 이러한 적용 전력기기는 전자파 생성의 원인이 되는 전류펄스의 주파수 대역이 변압기와 같이 액체절연에서 발생하는 것과는 크게 다른 것으로 알려져 있기 때문에 변압기에서 전자파를 이용한 부분방전측정 방식을 적용하기 위해서는 이에 대한 기초연구가 필요하다.

가. 부분방전에 의한 전자파의 발생과 측정^[20]

전력기기 내부에서 부분방전이 발생하였을 때 전자파가 생성, 전파, 측정되는 과정의 수식화는 임의의 전류 소스로부터 발생하는 전자파 방사 문제에 대한 맥스웰 방정식의 해를 구하는 데서 출발 할 수 있다. 일반적인 매질 내에서 소스전류로 인한 전자계 분포를 설명할 때 자계벡터전위(\vec{A})와 전류밀도(\vec{J})와의 관계는 맥스웰 방정식으로부터 아래와 같이 결정된다.

$$\nabla^2 \vec{A} + \omega^2 \mu \epsilon \vec{A} = -\mu \vec{J} \quad (3.1.3)$$

(μ :매질의 투자율, ϵ :매질의 유전율, ω :전파의 각속도)

이 미분방정식을 \vec{A} 에 관하여 풀면 결정된 \vec{J} 로부터 \vec{A} 를 구할 수 있으며, 일반적인 좌표계에서의 해는 다음과 같다.

$$\vec{A} = \iiint \mu \vec{J} \frac{e^{-j\beta R}}{R} dV' \quad (3.1.4)$$

(V' : 전류소스볼륨, R :측정위치와 소스위치와의 거리)

이러한 자계벡터전위 \vec{A} 로부터 해당위치의 전계(\vec{E})분포는 아래와 같이 쉽게 찾을 수 있다,

$$\vec{E} = -\omega \vec{A} - \frac{\nabla \nabla \cdot \vec{A}}{\omega \mu \epsilon} \quad (3.1.5)$$

커플러나 안테나 등의 센서는 이렇게 유도된 전계를 전위차나 전류로 변환해 주는 역할을 하여 측정될 수 있는 신호의 형태로 만들어주게 된다. 실제의 변압기 등의 전력기기 내부의 경우, 부분방전 소스로부터 측정 위치까지의 사이에 여러 가지 전기적인 장애물이 존재하고, 전류소스가 되는 부분이 부분방전이 일어나는 결합부분 자체 뿐 아니라 부분방

전에 의해 전류가 유도되는 코일에서부터 부상까지의 전체 도체가 되기 때문에 측정 파형이나 스펙트럼을 예측하기는 매우 어렵다.

나. 변압기에서의 부분방전 전류펄스 특성^{[6]-[9]}

‘가’항에서와 같이 전자파센서의 출력은 부분방전에 의해서 발생하는 전류특성에 의해 결정된다. 다음은 유중에서 발생하는 부분방전 전류펄스의 특성을 설명하고 있다.

유중이나 고체와 액체 절연체 유중에서 발생하는 부분방전에 대하여 많은 보고가 되어 왔으며 여러 가지 조건 즉, 전계의 균질성이나 불균질성, 직류나 교류 전압과 같은 환경에서 스트리머의 발생과 진전의 결과로 나타나는 방전에 대하여 주로 설명하고 있다. 음극에서 발생된 스트리머를 부극성 스트리머라고 부르고 반대로 양극에서 시작된 스트리머를 양극성 스트리머라고 부른다.

액체에서 발생된 스트리머의 특징은 그 진전속도이다. 유중에서 혹은 고체와 절연유의 계면에서 양극성 스트리머는 일반적으로 2km/s로 알려져 있고 공기에서는 0.1km/s에서 1km/s로 알려져 있다. 이와 같은 스트리머의 진행속도는 전류펄스의 주파수 특성을 결정하게 된다. 따라서 식 3.15에서와 같이 전자파 센서의 출력은 전류벡터 J에 영향을 받는 자계 벡터 A의 주파수 특성이나 절대치에 영향을 받으므로 전자파 센서의 감도를 향상시키기 위해서는 전류펄스의 주파수 특성이나 크기 특성이 분석되어야 한다.

그림3.1.13과 그림3.1.14는 문헌으로부터 조사된 공기 중과 유중에서 발생된 부분방전 전류펄스의 형태로 보여주고 있다. 두 그림에서 알 수 있듯이 공기 중에서 발생된 전류펄스폭은 약 500ns이고 절연유에서 발생된 전류폭은 약 6μs로서 12배 정도가 차이가 나는 것으로 보고 되고 있다. 이러한 특성 때문에 그림 3.1.13과 그림 3.1.14를 스펙트럼분석하면 기중방전은 약 2MHz까지 전류의 크기가 일정하다가 그 이후 감소하는 반면 절연유방전은 주파수가 증가할수록 크기가 감소하는 특성을 보이는 것으로 보고 되고 있다

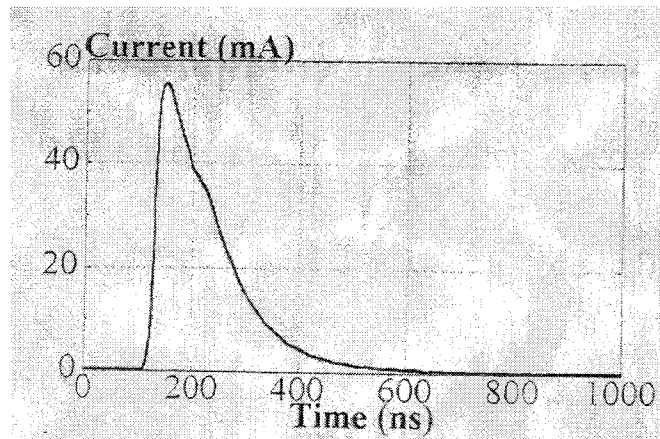


그림 3.1.13 기중 양극성 코로나방전 전류의 대표적인 파형

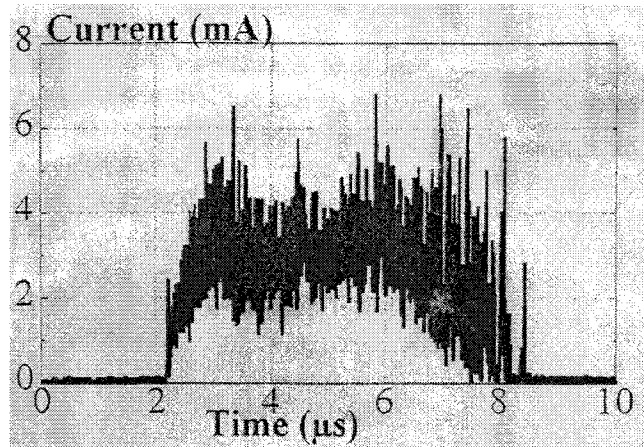


그림 3.1.14 유중 양극성 스트리머 전류의 대표적인 파형

다. 전자파를 이용한 부분방전 실험

(1) 모델챔버제작

부분방전에 의해 발생하는 전자파의 변압기 내부 분포 특성을 측정하기 위하여 그림.3.1.15와 같은 변압기 모델 챔버를 설계 제작하였다. 모델챔버는 전면에 내부를 관측할 수 있는 관측 창을 두었고 전자파를 이용한 부분방전 발생 위치추정을 위하여 안테나를 삽입할 수 있는 창을 양 옆면과 후면에 설치하였다. 부분방전 발생위치를 변경하기 위하여 고전압을 인가하는 고압부싱의 위치를 변경할 수 있도록 전극 삽입 창을 4군데에 설치하였으며, 전극 간 갭 간격을 조정할 수 있도록 챔버 외부에서 고전압전극을 상하로 움직일 수 있도록 하였다. 변압기의 내부 구조는 권선과 철심 및 기계적인 구조물이 설치되어 있어 매우 복잡하기 때문에 부분방전에 의한 전자파의 진행에 방해받을 수 있다. 이러한 장애물을 모의하기 위하여 내부가 비어 있는 직육면체 모양의 알루미늄으로 된 모의 장애물을 제작하였다. 절연유는 펌프를 이용하여 챔버내부로 유입되고 배출될 수 있도록 하였다. 또한 온도 상승시 내부압력의 상승을 방지하기 위하여 배전용 변압기에서 사용하는 방압변을 설치하였고 유량을 확인하기 위하여 유면계를 설치하였다.

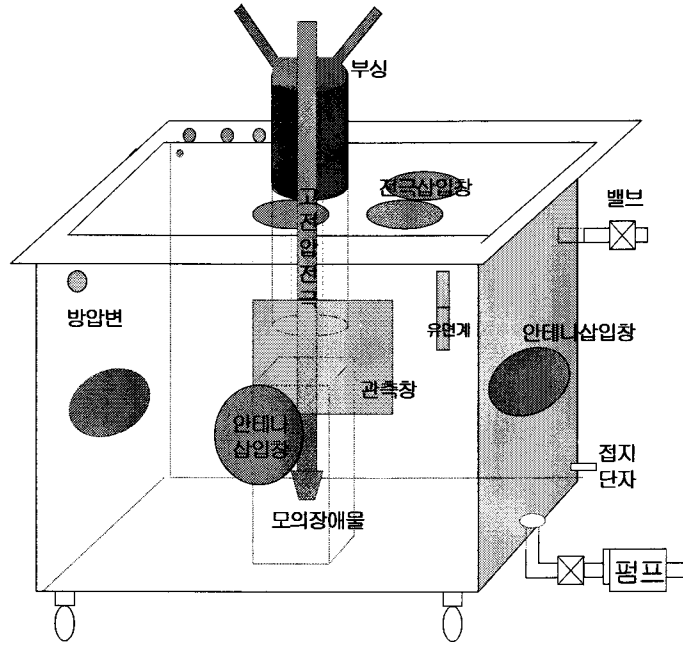


그림 3.1.15 실험용 변압기 모델 챔버

(2) 기초특성 측정용 전자파 센서 설계 제작

변압기 부분방전 측정의 기초실험에 있어서 알고자 하는 것은 변압기 내부에서 일어날 수 있는 여러 가지 부분방전의 메카니즘과 발생위치, 전자파의 전파경로 및 측정위치가 달라짐에 따라 검출되는 전자파의 특성이다. 그러므로 기초 실험용 전파 센서는 최대한 넓은 주파수에서 동작할 수 있어야 하며, 부분방전의 방향에 따라 신호의 크기 변화가 없는 원형편파의 특성을 지니면 편리할 것이다. 이러한 조건에 가장 부합하는 센서로서 등각스파이럴 안테나를 선정하여 설계, 제작하였다.

(가) 등각스파이럴 안테나 센서의 설계이론^{[14][17][19]}

스파이럴 안테나는 주파수에 따라 임피던스와 방사특성이 일정한 구조를 갖고 있고, 주파수 독립특성을 지니는 안테나(frequency-independent antenna)로 취급된다. 대부분의 주파수 독립특성 안테나의 연구는 1950년대 후반부터 1960대 까지 University of Illinois 에서 이루어졌다. 이중 대표적인 것이 등각 스파이럴 안테나(equi-angular spiral antenna)이다. 스파이럴 안테나는 보통 자기 보완 특성을 적용하여 만들어지고, 최대 40:1의 극히 넓은 초광대역(UWB: Ultra Wide Band) 특성을 가질 뿐 아니라 회로 인쇄 기술의 발달 의해 패치 안테나 형태로 쉽게 제조가 가능하다.

일반적으로, 등각 스파이럴 안테나의 커브는 아래 수식을 따른다.

$$r = r_0 e^{a\psi} \quad (3.1.6)$$

여기서, r_0 는 $\psi=0$ 일 때의 반지름이고, a 는 안테나의 확산 비(flare rate)를 조절하는 상수이다. 자기 보완 구조로 설계하기 위해 식(3.1.6)의 커브를 정확히 90°씩 회전한 4개의 커

므로, 그림 3.1.16과 같이 스파이럴을 구성한다. 이때, ε 를 안테나의 팔이 한바퀴 돌 동안의 반지름 증가량이라고 하면, 확산 비 a 와 ε 의 관계는 다음과 같다.

$$\varepsilon = \frac{r(\phi + 2\pi)}{r(\phi)} = \frac{r_0 e^{a(\phi + 2\pi)}}{r_0 e^{a\phi}} = e^{a2\pi} \quad (3.1.7)$$

최고 동작 주파수 f_u 는 급전 구조에 의해 결정된다. 바로 안테나의 최단 둘레 $2\pi r_0$ 가 f_u 의 파장에 해당하는 길이이다. 즉,

$$2\pi r_0 = \lambda_u = \frac{c}{f_u} \quad (3.1.8)$$

을 만족한다. 동일하게 최저 동작 주파수는 안테나의 전체 반지름 R 에 의해 결정된다.

$$C = 2\pi R = \lambda_L \quad (3.1.9)$$

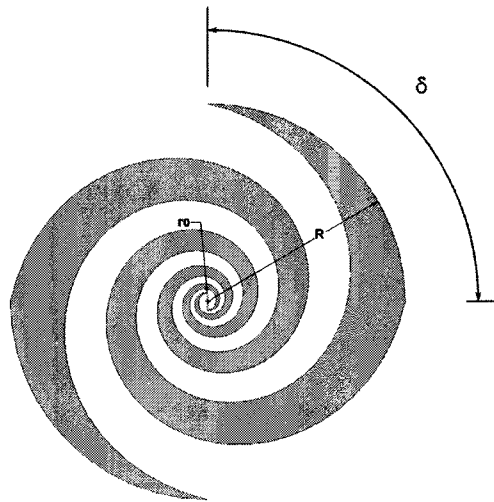


그림 3.1.16 등각 스파이럴 안테나의 설계에 이용된 커브

(나) 센서의 설계와 모의해석

기술한 바와 같이 대부분의 안테나와 마찬가지로 등각 스파이럴 패치안테나 또한 그 크기가 안테나의 하한 동작주파수에 의해 결정된다. 모의실험에 이용될 변압기 챔버 내의 센서삽입창의 크기가 너무 커지면 실 변압기와 모의 변압기 챔버가 전기적으로 상이하게 되므로 안테나의 크기를 제한하여야 한다. 이에 센서 도체부의 상한 직경을 20cm로 잡고, 상응하는 하한 주파수를 500MHz로 결정하였다. 동작주파수가 500MHz ~ 2.5GHz가 되도록, 기술한 설계 조건에 따라 그림 3.1.17과 같이 모델링 하였다. 실제제작을 고려하여, 유전율 2.2의 고주파회로 기판을 모의해석에 포함시켰다. 그림 3.1.18는 이렇게 모의해석 한 결과의 반사계수 특성이다. 500MHz ~ 3GHz이상의 초광대역에서 반사량이 -10dB이하로 나타나므로 고주파 회로 기판의 영향을 고려하고도, 설계한 대역에서 충분히 동작 가능함을 보여

준다. 그림 3.1.19 ~ 21은 중심주파수인 1GHz에서 좌측원형편파(LHCP)성분의 방사패턴이다. 스파이럴 평면의 수직방향으로 3.98 dB의 방향성을 보이고 있으며, 고각패턴에서, 80.5°의 3dB 빔 폭을 가진다. 또한 방위각 패턴에서 무지향성을 나타내는 것을 확인 할 수 있다.

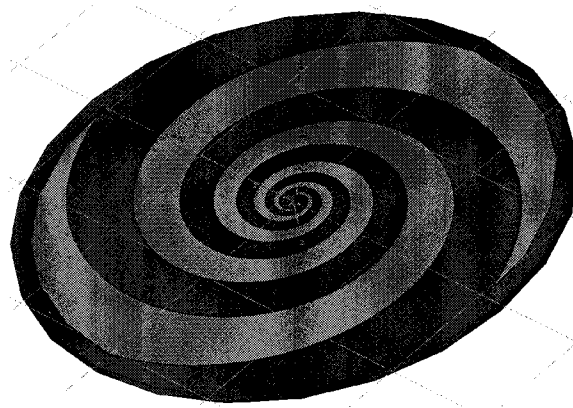


그림 3.1.17 등각스파이럴 패치안테나의 모델링

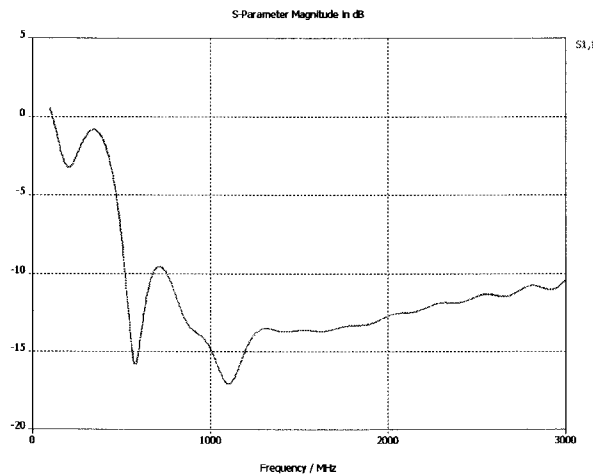


그림 3.1.18 반사계수의 모의해석결과

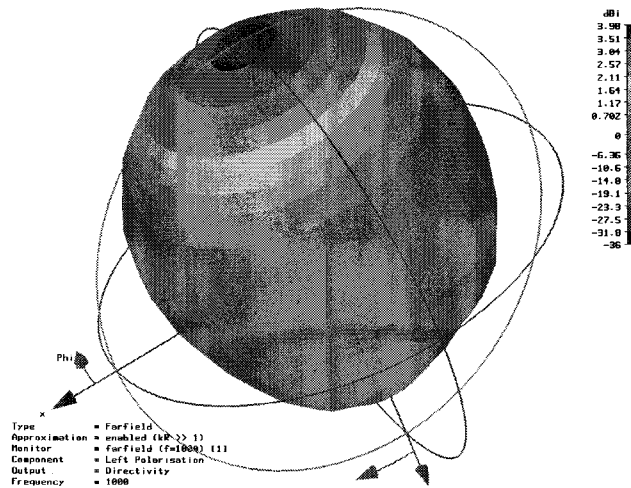


그림 3.1.19 좌측원형편파(LHCP)의 3D far-field 패턴(1GHz)

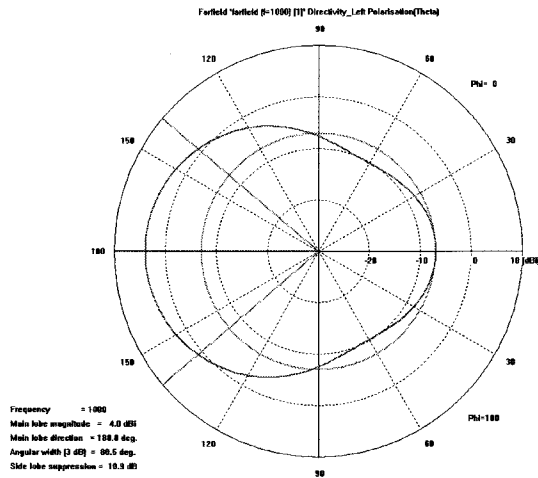


그림 3.1.20 좌측원형편파(LHCP)의 고각패턴(1GHz)

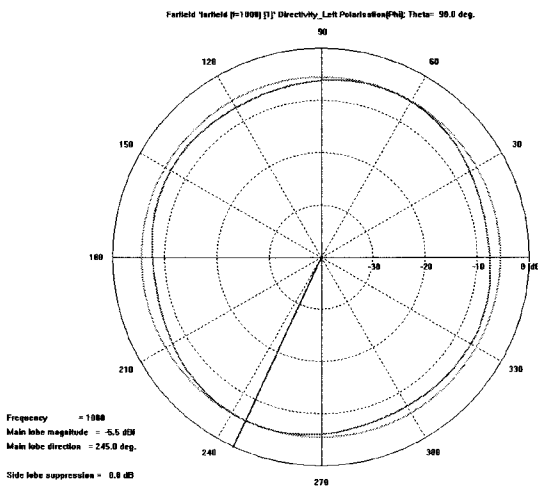


그림 3.1.21 좌측원형편파(LHCP)의 방위각패턴(1GHz)

(다) 센서의 제작 및 특성 실험

설계한 바와 같이, 기초 실험용 초광대역 전자파 센서를 유전율이 낮은 고주파 회로기판 (RT/Duroid 2880, 125mil)을 식각하여 제작하였다(그림 3.1.22). 제작한 등각 스파이럴 안테나는 균형 잡힌(balanced) 구조의 초광대역 안테나이지만, 일반적인 50Ω 동축 급전선은 균형 잡히지 않은(unbalanced)구조이다. 그러므로 이 둘 사이의 매칭을 위하여 센서의 급전부에 발룬(balun)이 반드시 들어가야 한다. 기존의 테이퍼드(tapered)형태의 발룬을 보완하여 자체 제작한 발룬을, 센서에 장착하여 성능을 파악하였다. 그림 3.1.23은 네트워크 분석기(HP, 8753D)를 이용하여 측정한, 초대역 전자파 센서의 주파수에 따른 반사계수 값이다. 설계 한 대로 500MHz이상에서 10dB이상의 반사계수 특성을 나타내고 있으며, 그 이하의 300MHz~400MHz대역에서도 동작하는 것을 확인 할 수 있다.

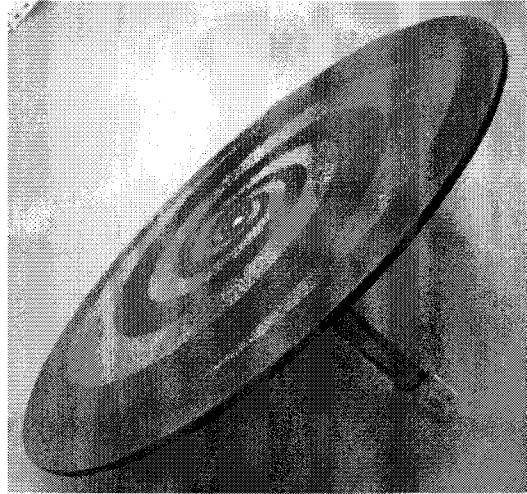


그림 3.1.22 제작된 기초실험용 전파센서(등각스파이럴 패치안테나)

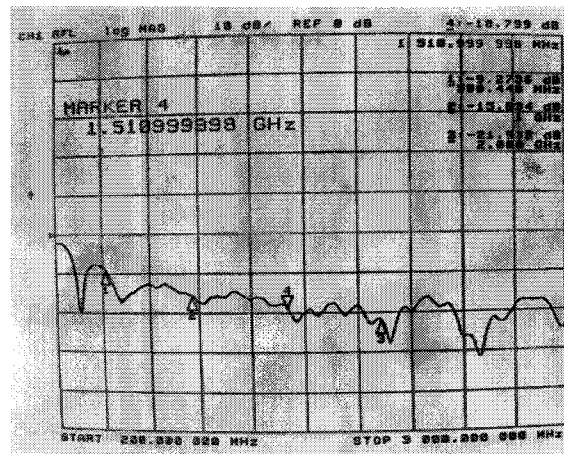


그림 3.1.23 센서의 반사계수 특성

(3) 부분방전 발생 결함 모의^[13]

변압기에서의 부분방전은 고전압이 인가되는 충전부와 접지부 혹은 상간에서 주로 발생하며, 충전부는 대부분이 크라프트 절연지나 프레스보드 등 셀룰로즈계 고체절연물로 절연되어 있다. 따라서 부분방전은 대부분이 이러한 고체절연물에 관계하여 발생한다. 본 연구에서도 이와 같은 발생유형을 모델화하여 전극형태로서 그림 3.1.24와 같은 형태를 사용하였다. 그림 3.1.24에서와 같이 전극은 IEC에서 사용하고 있는 전극을 사용하였으며, 두께 0.18mm 의 절연지를 10장 겹쳐 사용하였다.

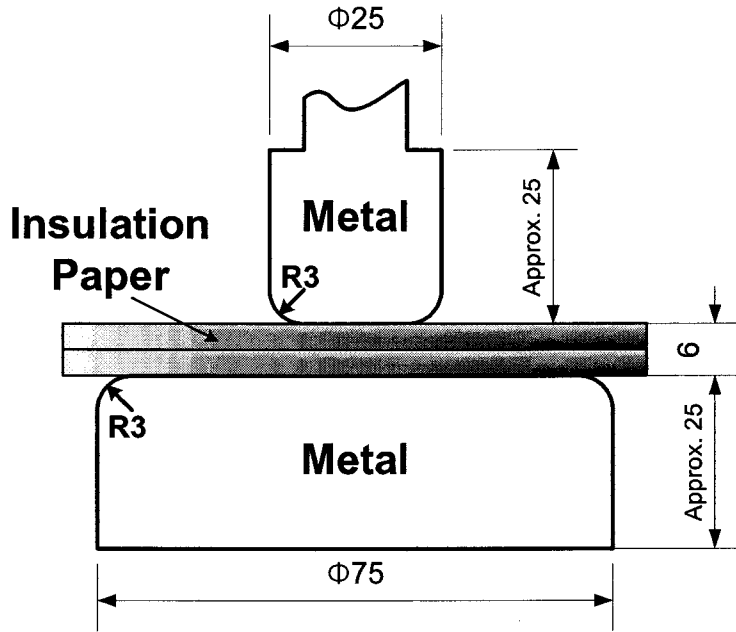


그림 3.1.24 부분방전 발생 모의 전극

유입식변압기는 변압기 외함내 절연유 보존방식에 따라서 그림 3.1.25와 같이 2가지 형태로 분류할 수 있다. 그림에서와 같이 콘서베이터를 사용할 때는 변압기 내에 절연유가 가득 차 있고 질소봉입방식에서는 절연유가 탱크 상부에 비어 있다. 실제 변압기에 전자파 센서를 설치한다고 가정하였을 때 콘서베이터 방식에서는 전자파센서가 절연유내에 설치되어야 하고 질소봉입방식에서는 전자파센서가 기중에 설치 될 수가 있다. 그러므로 변압기 내에서 발생된 전자파는 전자의 경우 유층만을 통과하게 되고, 후자의 경우는 유층과 기층을 통과하게 된다. 이러한 경우를 모델링하여 결합모델링으로서 모델챔버내의 절연유 높이를 조절하여 전자파센서가 절연유중에 잠기는 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 실험을 실시하였다.

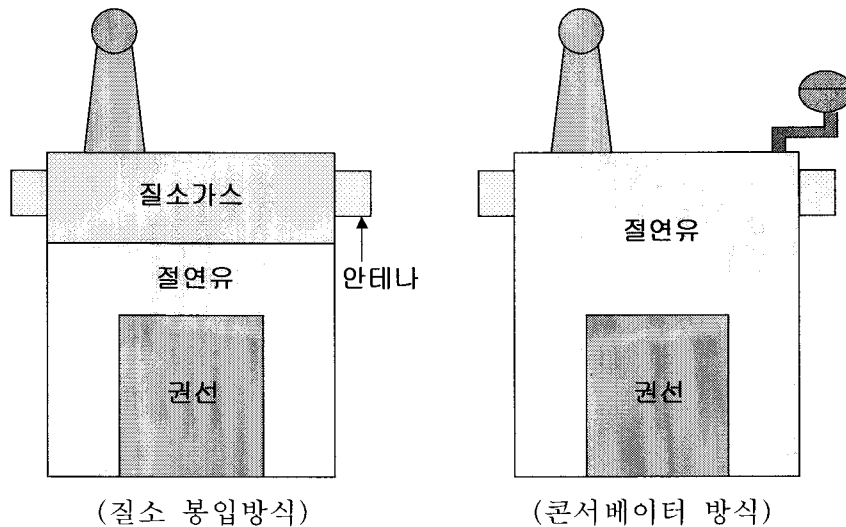


그림 3.1.25 절연유 보존방식에 따른 안테나 설치 예

변압기 내부는 권선과 철심을 비롯하여 각종 구조물로 구성되어 있기 때문에 발생된 부분방전 신호는 다양한 경로를 거쳐 오게 된다. 이와 같은 구조물을 모의하기 위하여 알루미늄으로 된 직사각형의 모델 구조물을 제작하였으며, 부분방전이 접지된 모델 구조물 내부에서 발생하는 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 이상과 같은 부분방전 결합 모의 경우를 정리하면 다음과 같다.

- ① 모의 구조물이 없고 전자파센서가 유중에 있을 때
- ② 모의 구조물이 없고 전자파센서가 기중에 있을 때
- ③ 모의 구조물이 있고 전자파센서가 유중에 있을 때
- ④ 모의 구조물이 있고 전자파센서가 기중에 있을 때

(4) 실험방법

그림 3.1.15에서와 같이 설계 제작된 모델챔버를 이용하여 부분방전에 의한 변압기 전자파 특성실험을 실시하였다. 그림 3.1.26은 전체의 실험설비 구성도를 보여주고 있으며, 그림 3.1.26에 따르면 실험설비는 크게 변압기 모델챔버와 UHF센서와 스펙트럼분석, 오실로스코프로 구성되어 있는 전자파검출부, 결합콘덴서와 부분방전검출기, 오실로스코프로 구성되어 있는 전기신호검출부로 되어 있다. 모델챔버 내부 바닥에는 그림 3.1.24에서 설명한 부분방전 발생 전극이 설치되어 있으며, 펌프를 사용하여 절연유를 모델챔버내에 채우고 제거하게 되어 있다. 챔버 옆면과 후면 벽에는 전자파센서가 설치되어 있으며 그림 3.1.27은 모델챔버 내부에 설치되어 있는 전자파 센서를 보여주고 있다. 고전압의 인가에 의해서 부분방전 모의 전극에서 발생된 전자파는 전자파 센서에 의해 검출이 되고 검출된 센서는 오실로스코프(LeCroy wavePro 960, 2GHz/16GS/s, 16Mpts)로 입력되어 파형과 크기가 기록되며, 각 부분방전 모의 결합의 경우에서 발생된 부분방전이 적절한 크기가 되었을 때 전자파는 스펙트럼분석기(Advantest , R3131A, 9kHz-3GHz)에 입력되어

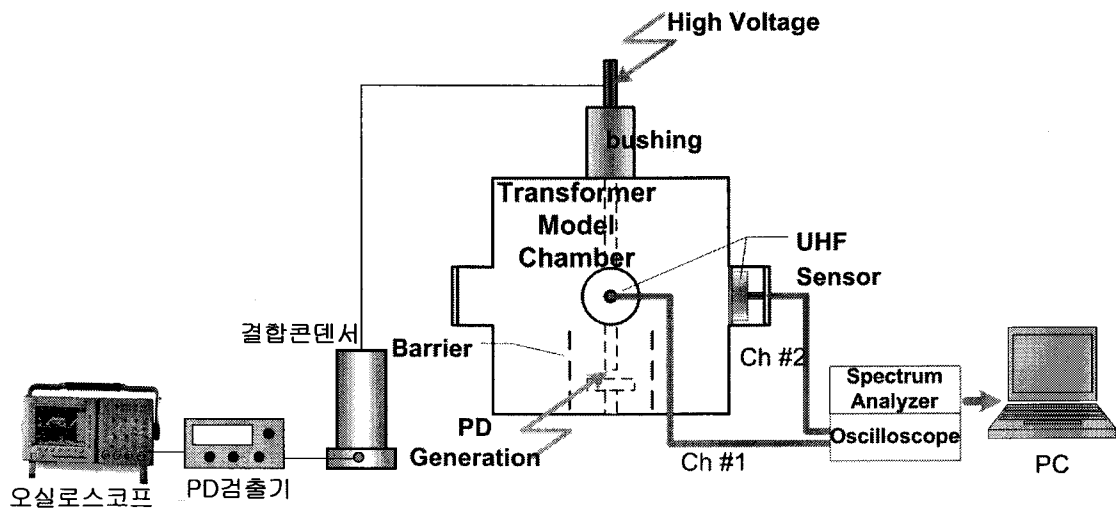


그림 3.1.26 실험설비 구성도

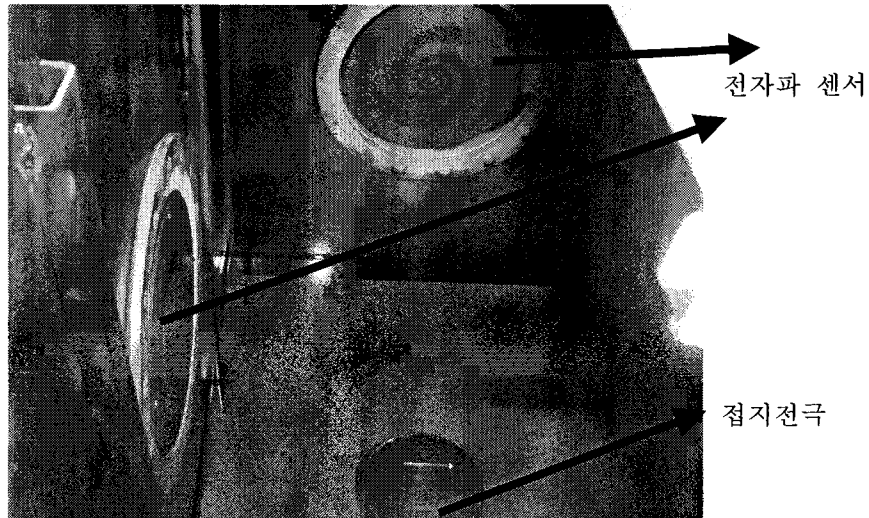


그림 3.1.27 설치된 전자파 센서

주파수가 분석된다. 또한 동시에 IEC 60270에 의한 부분방전측정법을 기준으로 부분방전 양을 측정하였다. 그림 3.1.26의 오른쪽에 있는 결합콘덴서에 입력된 부분방전 전기신호는 결합콘덴서의 저압측을 통해서 부분방전 측정기에 입력되어 부분방전 양이 결정되고 측정기의 출력단자를 통해서 전류펄스형태가 오실로스코프(TDS 510A, 500MHz)에 입력된다. 부분방전 크기에 대한 전자파의 크기특성을 분석하였다. 그림 3.1.28은 전체의 시험장면을 보여주고 있다.



- 1:변압기 모델챔버, 2:절연유회수통, 3:고전압발생기, 4:결합콘덴서, 5:부분방전측정기,
6:오실로스코프, 7:스펙트럼분석기, 8:오실로스코프, 9:모의 구조물

그림 3.1.28 전체의 시험장면

(5) 실험결과

(가) 부분방전량과 전자파센서 출력과의 관계

‘(3) 부분방전 발생 결합 모의’에서 설명한 4가지 실험조건에 대하여 ‘4항’에서 설명한 IEC 60270을 기준으로 부분방전량을 측정하였으며, 부분방전량과 동시에 측정된 두개의 전자파센서의 출력과의 관계를 살펴보았다. 그림 3.1.29는 유증에서 발생된 전기적인 부분방전 전류신호의 60Hz 인가전압에 대한 분포형태의 한 예이고 그림 3.1.30은 전자파센서가 유증에 있을 때 전자파센서의 출력에서 측정된 전자파펄스의 한 예이다.

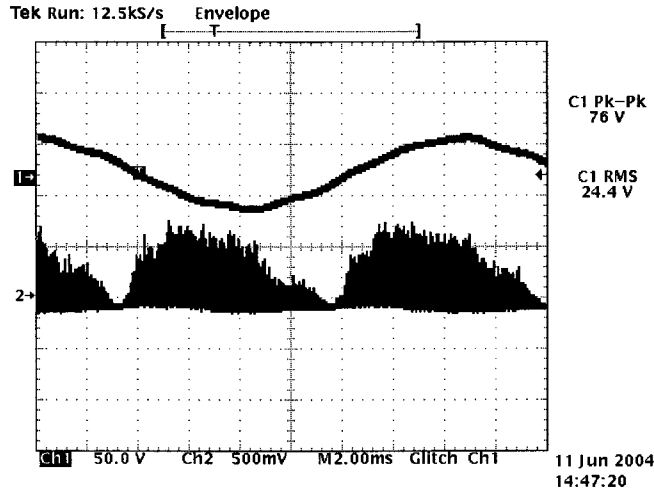


그림 3.1.29 부분방전 전류펄스의 대표적인 예

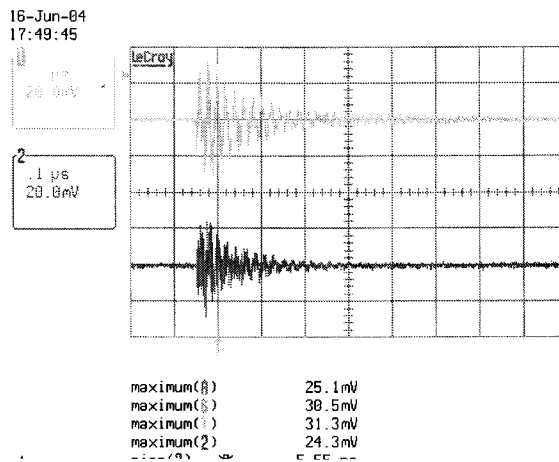


그림 3.1.30 전자파출력펄스의 대표적인 예

이와 같은 분포 오실로그래를 이용하여 부분방전량과 전자파크기를 구하였으며, 그림 3.1.31은 조건 ①과 ③의 전자파 센서가 절연유증에 있으면서 모의 구조물이 있을 때와 없을 때의 부분방전량과 전자파크기와의 관계곡선이고 그림 3.1.32는 조건 ②와 ④의 전자파 센서가 기중에 있으면서 모의 구조물이 있을 때와 없을 때의 부분방전량과 전자파크기와의 관계곡선이다.

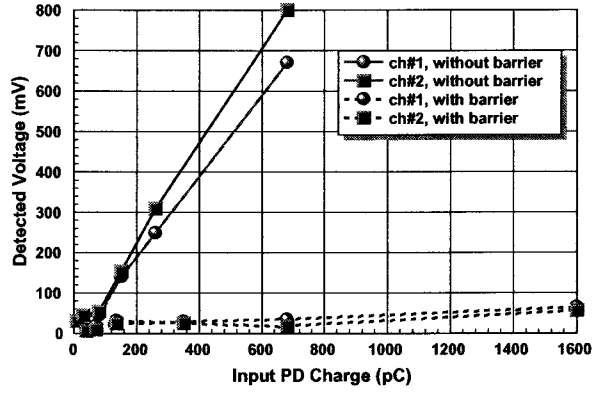


그림 3.1.31 전자파센서가 유중에 있을 때 구조물에 대한 출력특성

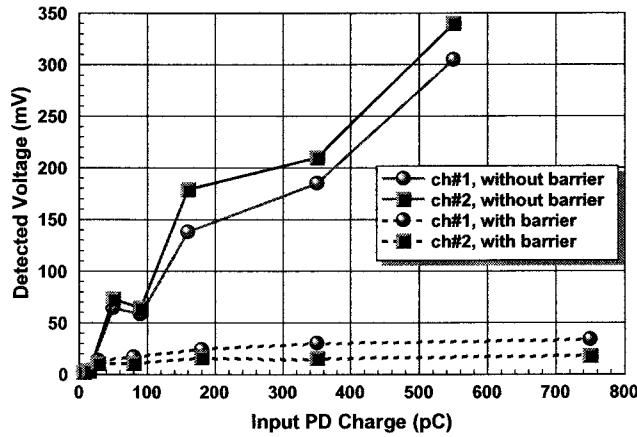


그림 3.1.32 전자파센서가 기중에 있을 때 구조물에 대한 출력특성

이 두 그림으로부터 수 pC의 작은 부분방전량에서도 전자파가 검출될 수 있음을 알 수 있다. 그리고 모의 구조물이 없을 때는 부분방전량과 전자파출력은 비례하는 경향을 보여 주었으나 모의 구조물이 있을 때는 약 100pC 이상부터 약 30mV에서 포화되는 경향을 보였다. 또한 각 조건에서 같은 부분방전량에서 센서위치에 따른 출력 크기 차(ch#1과 ch#2의 차)는 보이지 않고 있으며, 모의 구조물이 있으면 전자파센서가 유중에 있을 때와 기중에 있을 때 모두 모의 장애물이 없는 경우에 비하여 출력크기가 매우 작은 것으로 나타났고 부분방전량이 증가할수록 그 차는 큰 것으로 나타났다. 이러한 특성으로 부터 전자파센서의 설치하는 변압기 내부의 구조를 고려하여 가능하면 발생된 전자파가 센서까지 전달되는 경로에 접지되어 있는 구조물에 의해 방해받지 않는 위치에 설치해야 함을 알 수 있다.

그림 3.1.33과 그림 3.1.34는 모의 구조물이 없을 때와 있을 때에 대하여 센서가 유중과 기중에 설치되었을 때의 부분방전량에 대한 전자파센서 출력크기 특성을 보여주고 있다. 그림 3.1.34에 따르면 모의 구조물이 없을 때 약 150pC까지는 유중과 기중에서 부분방전 크기에 따른 센서출력은 0~200mV의 값으로 비슷하지만 그 이후부터는 부분방전이 클수록 출력차가 크게 나타나고 있으며 선형성을 보여주었다. 또한 그림 3.1.34에서 모의 구조물이 있을 때 부분방전량에 대하여 유중의 경우가 기중보다 출력이 크게 나타나고 있는

지만 절대적인 측정치가 작기 때문에 두 경우에 있어서 큰 차이는 보이지 않았다.

이상과 같은 실험결과로부터 전자파센서의 설치위치는 가능하면 전자파전파경로에 철심과 같은 접지되어 있는 내부 구조물이 없어야하고 센서를 유중에 설치하는 것이 감도를 향상시키는 것으로 나타났다.

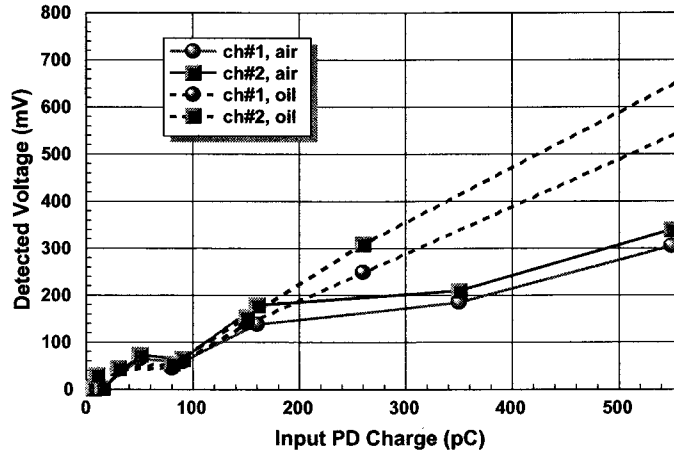


그림 3.1.33 모의 구조물이 없고 전자파센서가 유중과 기중에 설치되었을 때의 출력특성

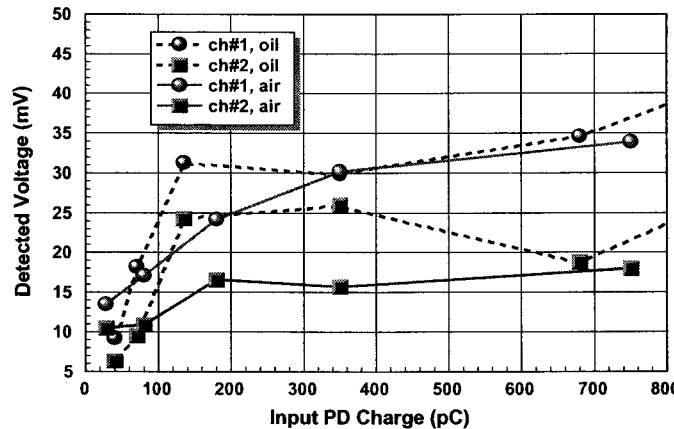


그림 3.1.34 모의 구조물이 있고 전자파센서가 유중과 기중에 설치되었을 때의 출력특성

(나) 결함에 따른 전자파 출력의 주파수 특성

그림 3.1.35~3.1.38은 네 가지 조건에서 ch1을 통하여 측정한 스펙트럼으로, 100pC이상의 부분방전량이 안정적으로 발생할 때 3분간 최대치를 누적한 파형이다.

먼저 그림 3.1.35와 그림 3.1.36의 구조물이 없을 때 센서의 기중과 유중 스펙트럼을 비교해 보면, 구조물이 없고 센서가 기중에 설치되어 있는 조건인 그림 3.1.35에서는, 400MHz 이하의 신호가 500MHz 전후의 신호에 비해 미약하다. 하지만, 유중에 설치되어 있는 조건인 그림 3.1.36에서는 스펙트럼 제일 왼쪽부분인 수십 MHz 영역의 신호가 크게 나타나며 0~700MHz 전체 대역의 신호의 크기가 고른 것을 확인 할 수 있다. 이와 같이 센서가 기중에 설치되어 있을 때 낮은 주파수의 스펙트럼신호가 미약해 지는 것은 다음과 같이 설명할 수 있다. 유중에서 발생된 전자파 중 낮은 주파수 성분의 신호가 유전율이 유중보다

상대적으로 작은 기중으로 전파되어 오면 낮은 주파수의 전자파가 센서로 전파되는 도중 매질이 공기로 바뀌면서 파장이 길어지게 된다. 낮은 주파수의 전자파가 파장이 길어지면 좁은 변압기 챔버 내부에서 전파하기에는 원래 파장이 짧은 높은 주파수의 전자파보다 여러 가지 구조물들의 영향을 많이 받기 때문에 센서에 입력되는 신호 크기는 작아지게 된다. 이러한 경향은 구조물이 있을 때의 스펙트럼인 그림 3.1.37 과 그림 3.1.38을 비교해 보아도 나타난다. 그림 3.1.37에서는 0~420MHz의 스펙트럼 분포가 증가하는 경향을 보이는 반면, 그림 3.1.38에서는 감소하거나 대등한 경향을 보인다. 특히 두 그림에서 55MHz와 120 MHz 신호 크기를 최대값을 나타내는 420MHz 신호와 비교해 보면, 그림 3.1.37에서는 420MHz의 신호가 55MHz신호에 비해 15dB 크지만, 그림 3.1.38에서는 오히려 55MHz의 신호가 3.5dB 크다.

그러나 센서가 유중에 잠기게 되면 센서자체의 공진주파수가 변화하므로 높은 주파수의 감도가 낮아지게 된다. 이러한 현상은 그림 3.1.35와 그림 3.1.36을 비교해보면 알 수 있다. 그림 3.1.35를 보면, 기중에서는 900MHz까지 신호가 분포하고 있지만, 그림 3.1.36의 유중에서는 800MHz까지만 분포하고 있다. 또한 그림 3.1.37과 그림 3.1.38을 비교해 보아도 기중에서는 1.2GHz까지 분포하고 있지만 유중에서는 800MHz까지 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다.

그리고, 그림 3.1.35 ~ 3.1.38의 스펙트럼 분포는, 전자파의 변압기내부 전파특성 뿐 아니라 그림 3.1.23의 센서 동작주파수 특성 또한 반영 된 것이다. 즉, 그림 3.1.35 ~ 3.1.38의 결과 중 센서 동작 주파수를 벗어난 300MHz 이하의 신호는 실제보다 작게 표현된 것이므로, 변압기 챔버내부 300MHz이하 대역의 부분방전원 자체의 세기와 전파 특성은 더 강하다고 생각할 수 있다.

이상과 같은 주파수 특성분석실험 결과로부터 전자파센서를 유중에 설치하면 저주파영역을 포함한 넓은 주파수대역에서 충분한 신호 크기를 얻을 수 있지만 800 MHz 이상의 높은 영역에서는 기중보다 더 낮은 주파수영역에서부터 신호가 미약해 지는 것으로 나타났다. 그래서 800MHz를 전자파센서를 이용한 유입식 변압기 부분방전 측정법의 상한 주파수 대역으로 결정하였다. 또한, 500MHz 이하의 주파수의 경우 유중에서 부분방전원의 스펙트럼은 강하지만, 외부 통신 잡음이 문제가 될 뿐 아니라, 안정적인 주파수별 출력 특성을 얻기 위해서는 센서의 크기 또한 심각한 문제이므로 500MHz를 하한 주파수 대역으로 선정하였다. 결론적으로 500MHz~800MHz가 유입식 변압기 부분방전 측정법의 주파수대역으로 적합할 것이다.

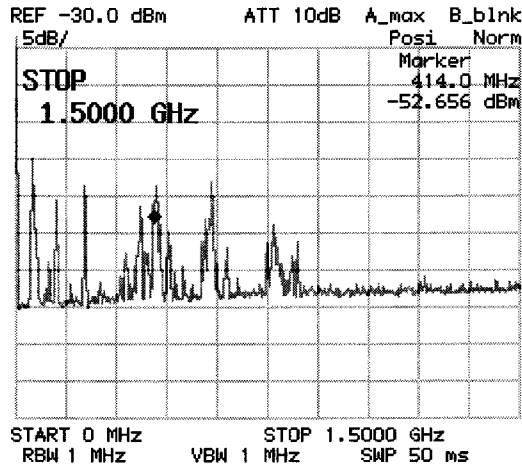


그림 3.1.38 구조물 유, 센서유중

라. 모델 챔버의 전자파 해석

앞에서 설명한 실험 조건과 동일하게 그림 3.1.39와 같이 챔버, 전극, 센서설치창을 모델링 하였으며, 절연유를 모의한 유전율 2.17의 물질 내부에서 해석을 수행하였다. 전극사이에 부분방전을 모의하기 위하여 인가한 전압은, 그림 3.1.40과 같은 파형의 최대 값 5kV의 0.5ns 상승시간을 갖는 펄스 이다.

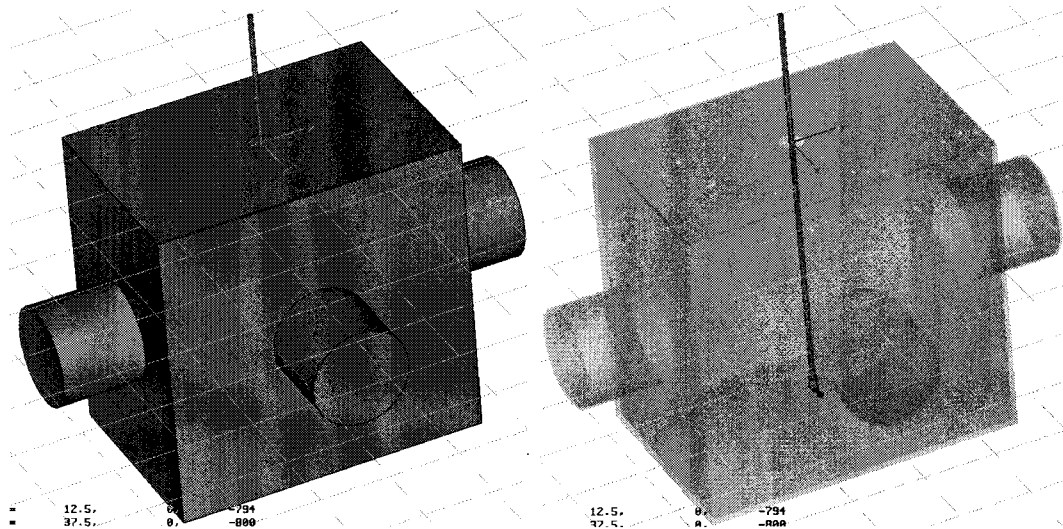


그림 3.1.39 모델 챔버의 전자파해석을 위한 구조

그림 3.1 41~44는 모의 해석 결과 나타난 100MHz~2GHz에서의 전계의 크기 분포이다. 지표에 평행한 평면 중 센서설치창이 중앙에 포함된 평면의 전계분포이며, 주파수가 증가할수록 그림 3.1.43과 그림 3.1.44와 같이 복잡하지만 챔버 구석구석까지 잘 전달되는 전계분포를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그림 3.1.45는 센서가 취부 되는 위치에서의 대표적인 주파수별 전계크기를 나타낸 그래프이다. 100MHz에서 전계가 미약하다가 500MHz 정도에서 급격히 증가한 후 1GHz부터는 서서히 감소하는 경향을 보인다. 이것은 500MHz에서는 센서가 취부 되는 위치인 센서설치창의 크기가 해당주파수의 물질 내 파장과 일치하기

때문에 그림 3.1.42와 같이 센서설치 창 내부로 전계가 잘 전달되고, 그 이하의 주파수인 100MHz에서는 파장이 센서설치 창에 비해 매우 길기 때문에 그림 3.1.41과 같이 센서설치 창 내부로 전달되는 전계가 미약하기 때문이다.

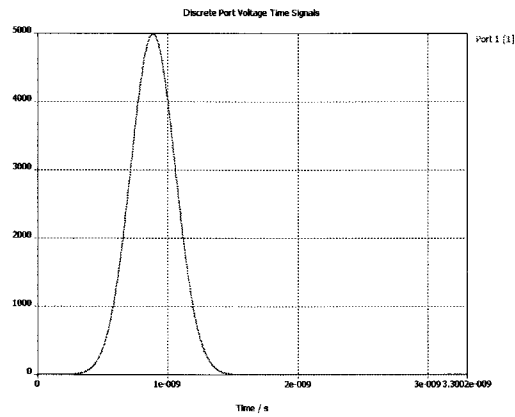


그림 3.1.40 전극에 인가된 전압

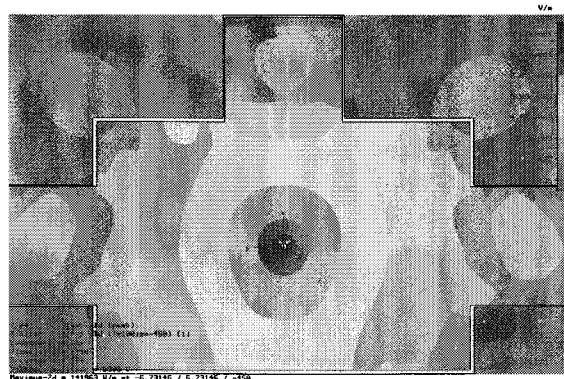


그림 3.1.41 100MHz에서의 전계 크기 분포

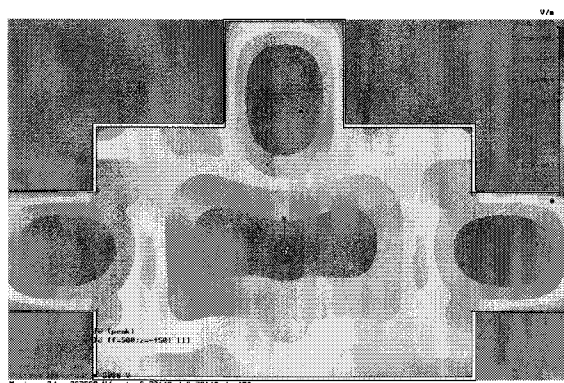


그림 3.1.42 500MHz에서의 전계 크기 분포

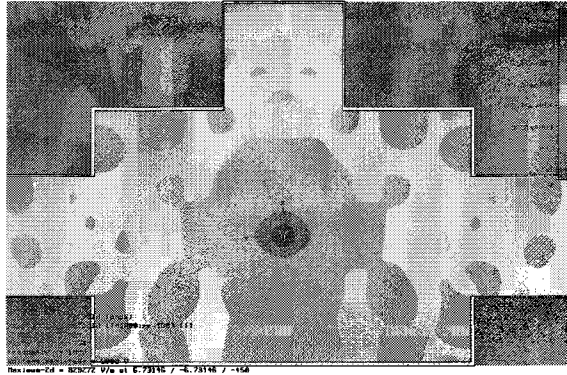


그림 3.1.43 1GHz에서의 전계 크기 분포

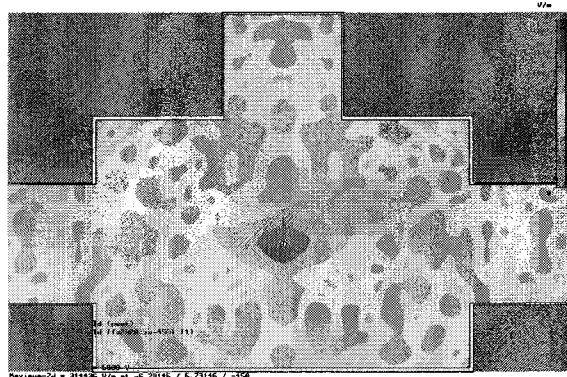


그림 3.1.44 2GHz에서의 전계 크기 분포

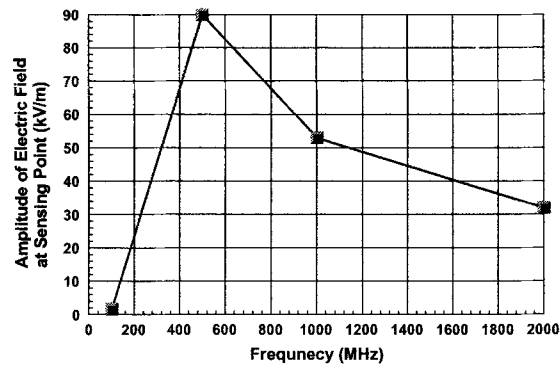


그림 3.1.45 센서취부 위치에서의 주파수별 전계

지금까지 실시한 실험을 통하여 측정된 스펙트럼은 부분방전원, 모델 챔버, 센서 등의 전체 시스템 특성이 반영된 것이다. 그리고 전자파 모의 해석을 통하여 나타난 그림 3.1.45의 주파수별 전계분포는 부분방전원의 주파수분포가 일정하다는 가정 하에 모델 챔버만의 전파특성이 반영된 것이다. 그러므로 그림 3.1.45의 주파수별 전계분포와 실험을 통하여 그림 3.1.36의 측정된 스펙트럼, 그림 3.1.23의 센서의 동작주파수 특성을 비교하면, 부분방전원의 주파수 분포를 예상할 수 있다. 그림 3.1.36의 측정 스펙트럼 결과를 살펴보면, 500MHz이상에서 서서히 감소하는 경향을 나타내어 그림 3.1.45의 결과와 일치한다.

하지만 그 이하의 주파수에서는, 그림 3.1.36의 측정스펙트럼의 경우 500MHz 전후의 크기와 비슷한 결과를 나타내어 매우 작은 크기를 나타낸 그림 3.1.45의 모의해석결과와 다르다. 이것은 센서가 500MHz 이하에서 동작특성이 나쁘다는 점까지 감안하면, 부분방전 원 자체의 스펙트럼이 500MHz이하에서 그 이상의 주파수보다 매우 강하다는 것을 의미한다.

그림 3.1.46과 같이 구조물을 설치 한 후 이전과 동일한 조건에서 전자파 해석을 수행하였다. 그림 3.1.47은 1GHz에서, 챔버를 정면으로 바라보았을 때의 전계분포이다. 그림 3.1.48 구조물이 없을 때의 전계분포와 비교해보면, 구조물이 있을 때의 전계 크기는 65kV/m로 없을 때의 123kV/m 보다 작게 나타났다. 이러한 경향은 다른 주파수에서도 동일하게 나타났으며, 구조물이 전자파가 전극에서 센서로 가는 경로를 차단했기 때문이다. 그림 3.1.47의 전계분포를 보면, 구조물 내부와 외부의 전계차이가 큰 것을 확인 할 수 있다. 반면 그림 3.1.48의 전계분포에서는 센서설치창 쪽으로 전계가 원활히 전달되는 것을 확인 할 수 있다.

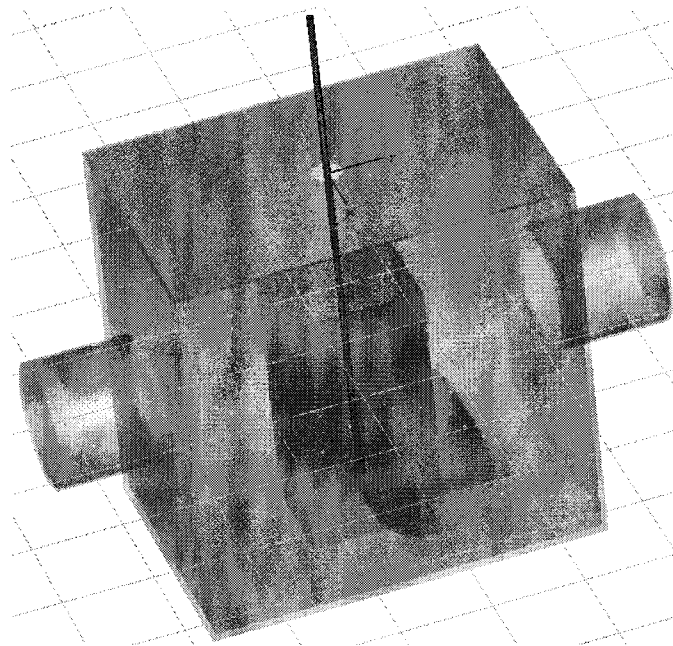


그림 3.1.46 구조물 설치 시 전자파해석을 위한 구조

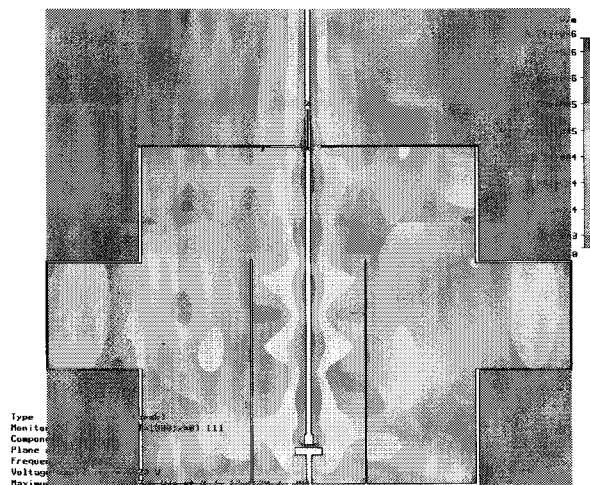


그림 3.1.47 구조물 있을 때의 전계분포 (1GHz)

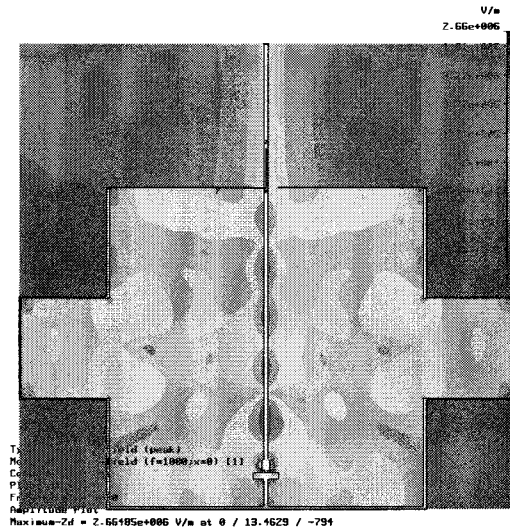


그림 3.1.48 구조물 없을 때의 전계분포 (1GHz)

4. 결론

전자파를 이용한 유입식 변압기의 부분방전측정을 측정하기 위하여 수행한 연구결과는 다음과 같다.

1. 유입식 변압기의 고장원인과 열화기구, 부분방전에 대한 일반적인 특성과 시험법 그리고 부분방전 발생에 따른 기본적인 전자파 발생 및 측정이론을 자료조사를 통하여 고찰하였다.
2. 변압기에서 부분방전 발생에 따른 전자파 측정 및 기본적인 특성분석을 위하여 사용한 등각 스파이럴 안테나의 설계 및 제작과정에 대하여 설명하였으며, 500MHz에서 2,000MHz의 주파수특성을 보였다.
3. 변압기를 모의한 모델챔버와 부분방전 발생전극을 설계 제작하였고, UHF센서와 스펙트럼분석, 오실로스코프로 구성되어 있는 전자파 검출부, 결합콘덴서와 부분방전검출기, 오실로스코프로 구성되어 있는 전기신호검출부로 구성된 실험설비를 구축하였다.
4. 4가지 전자파 측정조건에 대한 실험결과 전자파센서로서 수pC 정도의 낮은 부분방전량도 검출이 가능함을 확인하였다. 또한 유중과 기중에서의 실험결과로부터 부분방전량에 대한 전자파센서 출력의 감도 및 선형성을 고려할 때 센서를 유중에 설치하는 것이 바람직하며, 접지 구조물 유무에 대한 실험결과로부터 측정감도를 향상시키기 위하여 전자파 전파경로에 철심과 같이 접지되어 있는 내부 구조물이 없도록 센서를 설치해야 한다.
5. 주파수 특성분석실험 결과로부터 전자파센서를 유중에 설치하면 전자파신호는 약 55MHz

의 저주파영역에서부터 800MHz의 높은 주파수대역까지 거의 감쇄가 없이 검출되었지만 약 800MHz 이상의 높은 영역에서는 기중(약 1,200MHz)보다 더 낮은 주파수영역에서부터 신호가 존재하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 특성을 이용하여 전자파센서 주파수 대역은 통신이나 전원 잡음과 같은 주위의 잡음문제를 고려할 때 500MHz에서 800MHz의 주파수대역이 적합한 것으로 생각된다.

6. 모델챔버에 대한 전자파 해석결과 측정 스펙트럼 결과 유중에 센서가 설치된 경우 500 MHz이상에서 서서히 감소하는 경향을 나타내어 실험결과와 일치하였지만 그 이하의 주파수에서는 해석 값이 더 작은 특성을 보였다. 이는 낮은 주파수 대역에서 해석에 사용된 펄스원 주파수 특성이 실제 부분방전 펄스원과 다르기 때문인 것으로 사료되어 정확한 해석을 위하여 유중에서 발생된 실제 부분방전 펄스원의 측정이 필요한 것을 나타내고 있다. 또한 모의 구조물에 따른 해석에서 실험결과와 같이 구조물의 존재는 센서부근의 전계세기를 저하시키는 것으로 나타났다.

제 2 절 GIS 진단을 위한 On-Line 부분방전감시 및 진단기술

1. GIS에서의 부분방전측정기술

GIS에서 부분방전의 측정법은 On-site 또는 On-line에서 다음과 같은 방법이 알려져 있다. 전기적인 방법은 Conventional PD method⁽¹⁾, UHF Method⁽²⁾, VHF Method가 있고, 기계적인 방법인 Acoustic Method도 있다. 다음에서는 이들의 측정기술의 특성에 관하여 논하였다.

가. GIS에 있어서 부분방전펄스의 전파특성

펄스주입법을 이용한 GIS에 있어서의 부분방전펄스의 전파현상을 살펴보기 위한 시험 방법과 측정회로를 그림 3.2.1에 나타내었다. GIS탱크내 노이즈를 측정하는 경우, 신호는 절연스페이스 측정단자로부터, 2중 쉴드된 동축케이블(10D2V 길이 20m)을 넣어 광대역 증폭기(AMP:1~1000MHz, 최대이득 60 dB)로 증폭한 뒤, 스펙트럼분석기에 입력된다. GIS 탱크 내에 있어서 부분방전펄스의 전파양상을 조사하기 위해서는 그림 3.2.1에 보이는 것과 같이 절연스페이스 측정단자로부터 GIS 주회로 전압에 비해 상당히 낮은 전압의 모의 부분방전펄스를 탱크내에 주입하고 다른 절연스페이스 측정단자로부터 측정하는 방법을 사용한다. 이 방법의 이점은 운전정지를 취하는 것이 없고, 실제로 운전되고 있는 GIS를 이용해 시험하는 것이 가능하다는 것이다.

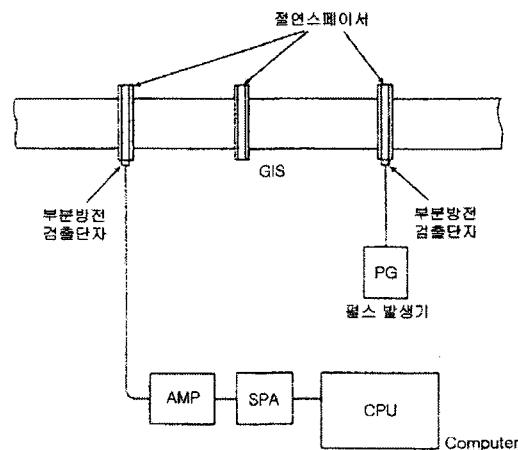
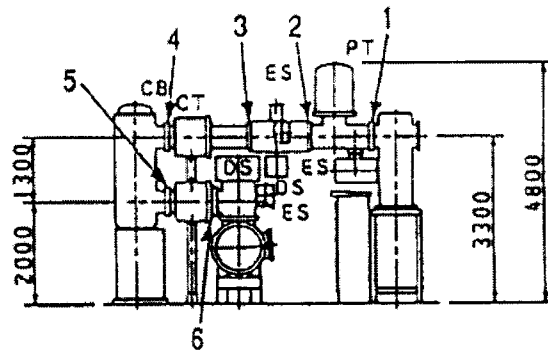
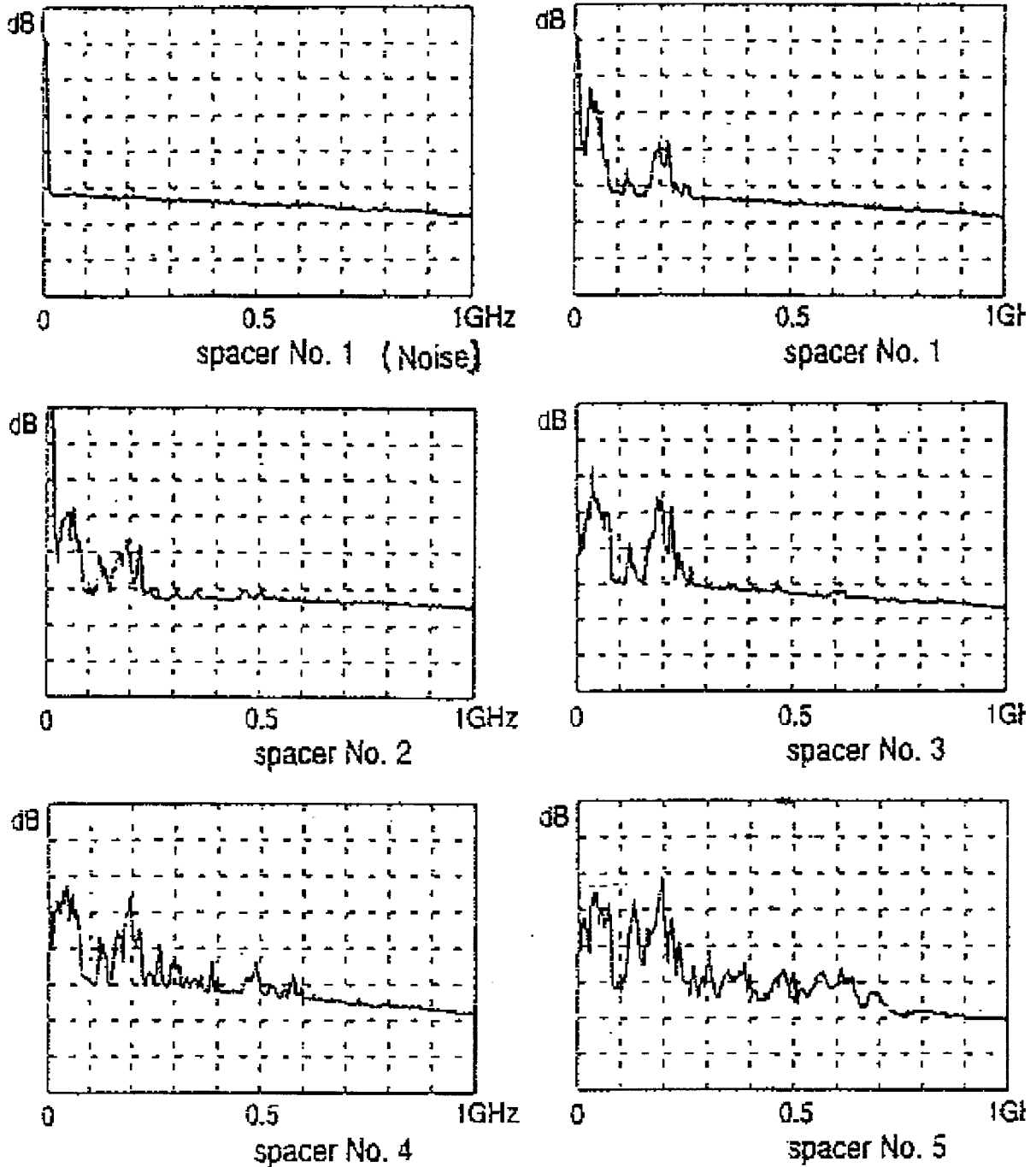


그림 3.2.1 시험방법 및 측정회로의 구성



No. 1-6 : 펄스주입점/측정점

그림 3.2.2 펄스주입점 및 측정점



횡축 : 100MHz/div. 종축 : 10dB/div
 모의펄스 : 6번 스페이서에서 주입

그림 3.2.3 펄스주입시험결과

시험에는 300kV GIS를 이용했다. GIS의 외형도는 그림 3.2.2와 같다. 그림에서 번호는 절연 스페이서에 붙인 번호를 나타내고 있다. 측정결과는 그림 3.2.3에서 보여 주고 있다. 모의부분방전 펄스발생기는 상용주파의 1사이클에 1개의 펄스를 출력하도록 구성되어 있고, 각 측정 파형은 스펙트럼분석기의 입력을 60초간 누적한 결과이다. 이 경우 주입하는

모의펄스의 파고치는 2V이다. 또 전파현상을 명확히 측정하기 위해 공시 GIS로서, 탱크 내에 노이즈가 존재하지 않는 케이블인입의 GIS를 선정했다.

시험결과로부터 이하의 것을 알 수 있다. 모의부분방전 펄스주입점 근방의 절연스페이스에서는 700MHz정도까지의 주파수성분이 검출되지만, 주입개소에서 떨어짐에 따라 200MHz 이상의 주파수성분에 현저한 감쇄현상이 나타나는 한편, 100MHz이하의 주파수성분은 그다지 감쇄하지 않는 것을 알 수 있다.

위의 주파수 특성에 따라 UHF대역과 VHF 대역을 측정하는 방법으로 나눌 수 있고, UHF 방법은 SF₆ 가스중에서 transverse electric(TE)과 transverse magnetic(TM)가 매우 빠른 파괴시간으로 여겨지는 PD신호의 주파수 범위의 Spectrum을 측정하는 것이며, VHF의 방법은 UHF보다 낮은 범위의 주파수 범위인 100-300MHz(transverse electric and magnetic TEM Mode) 의 PD 신호에 적용한다.

UHF 방법에서 이 기술의 감도는 센서와 결합사이의 거리에 의존하고, 공진과 감쇄는 크게 일어난다. 전달함수를 제외하면 결합과 센서사이의 거리는 GIS의 Layout에 크게 의존하지 않는다. VHF 방법은 UHF보다 감쇄는 낮은 편이나 GIS의 Layout과 센서와 결합간의 거리에 의존적이다. 그리고 이 방법은 잡음의 영향을 받기 때문에 on-line 측정은 불가능한 것으로 평가하고 있다.

나. 전기적 부분방전 검출기법⁽³⁻⁸⁾

1) 매립전극(중간전극)형 센서

GIS내부에서 발생하는 PD를 검출하기 위해 사용되고 있는 센서로서 GIS의 고전압도체를 탱크로부터 절연지지하는 절연스페이스에 매립된 전극(중간전극)이 있다. 매립전극은 정전용량형의 센서로서, 고전압도체와 탱크간에 발생하는 고주파전위변동을 검출하는 것이다. 그림 3.2.4는 매립전극형 센서의 검출원리를 보이고 있다.

매립전극형 센서의 주파수응답특성 및 펄스응답특성을 구하기 위한 시험회로는 그림 3.2.5와 같다. 단상 GIS용기의 내부에 평판-평판전극이 설치되어 있고, 커플링 콘덴서, 검출임피던스, 차단코일을 넣어 시험변압기를 접속하여 시험회로가 구성되어 있다. 중간전극을 매립한 절연스페이스가 공시기에 취부되어 있다. CT와 외부안테나가 매립전극형 센서와 상대 비교하기 위해 설치되어 있다.

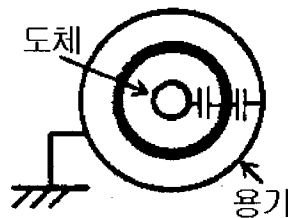


그림 3.2.4 매립전극의 부분방전 검출원리

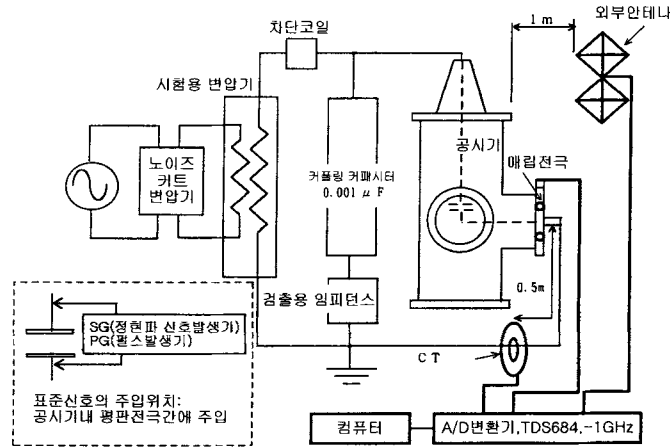


그림 3.2.5 시험장치구성도

2) 외부누설자계형 센서(루프코일)

이 센서는 부분방전에 의해 GIS내에 발생·전파하는 전자파의 일부가 그림 3.2.6에 보이는 것처럼 스페이스 내부로부터 외부로 누설하는 것을 검출한다. 센서의 외관은 그림 3.2.7과 같다. 검출의 대상으로 하는 주파수가 높기 때문에 스페이스의 절연취부구조의 유무에는 관계가 없고 스페이스부가 외부로 노출하고 있으면 범용적으로 이용이 가능하다. 옥외환경의 GIS를 상정한 이 센서의 특징을 표 3.2.1에 정리했다. 이 표에 있어서 표준적인 감도특성은 20pC으로 하고 있지만, 이것은 옥외변전소의 노이즈환경을 전제로 해서 지금까지의 설치 사례로부터 구한 대표적인 값이고, 기본적으로는 외부 취부형의 부분방전센서의 검출한계감도는 환경에 의해 좌우된다. 그림 3.2.8의 시험형태에 있어서 시험탱크는 300kV 단상모선으로 전장 5m의 것이며, 방전은 칩 방전으로, 전하량은 ERA를 기준으로 해서 외삽법으로 추정되었다.

실험의 데이터 예를 그림 3.2.9 ~ 그림 3.2.11에 보인다. 그림 3.2.9는 시험환경에 있어서 배경노이즈의 스펙트럼, 그림 3.2.10은 추정 1pC의 부분방전에 대한 스펙트럼이고, 그림 3.2.11은 동일한 방전의 검출파형 예이다. 실험에 의한 감도특성의 확인데이터를 정리해 그림 3.2.12에 나타냈다. 그림 3.2.12로부터 외부안테나의 감도는 노이즈가 낮은 환경하에서 1pC~150pC까지 선형적인 특성인 것이 확인되고 있다.

표 3.2.1 외부안테나의 특성 예(옥외 GIS용도)

검출대상		부분방전
검출기능	감시시간	연속감시
	범 위	수10MHz~1GHz
	분해능	20pC
검출원리		부분방전에 의해 발생하는 스페이스로부터의 누설전자파를 루프안테나로 검출
취부의 제약		노출스페이스가 필요함

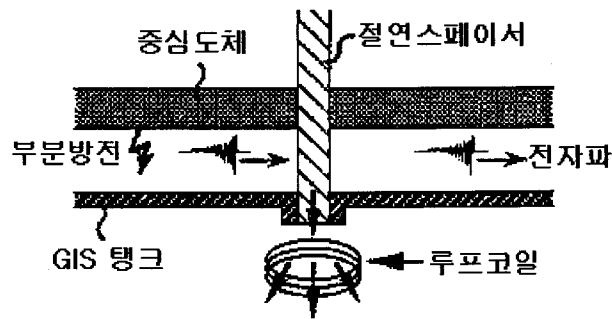


그림 3.2.6 루프코일의 동작원리

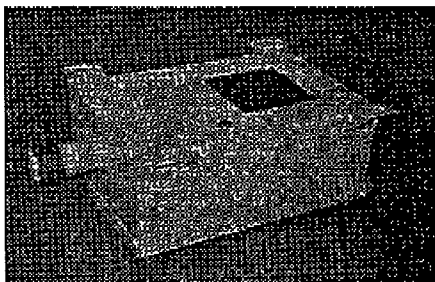


그림 3.2.7 루프코일의 외관

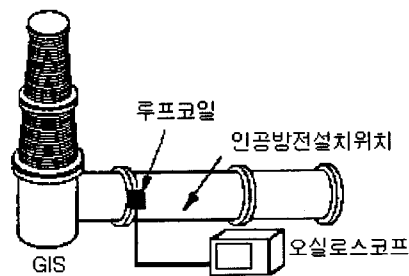


그림 3.2.8 루프코일 평가시험형태

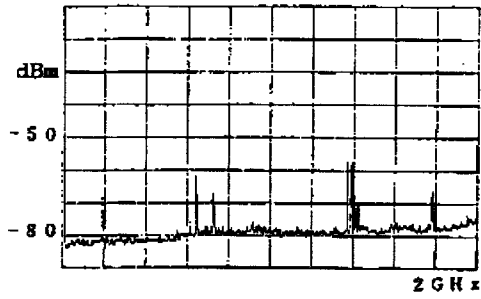


그림 3.2.9 배경잡음의 스펙트럼
(주파수영역)

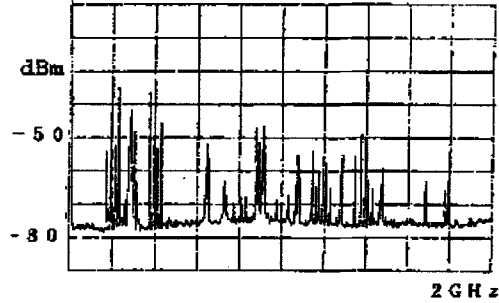


그림 3.2.10 루프코일의 검출파형에
(주파수영역)

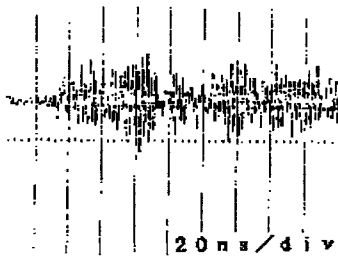


그림 3.2.11 루프코일의 검출파형에
(시간영역)

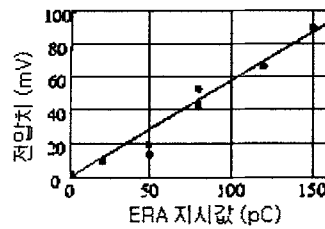


그림 3.2.12 루프코일의 감도특성

3) 내부전극형 센서

내부전극형 센서는 가스절연기기의 내부에 실장하는 것에 의해 부분방전신호를 내부에서 직접 검출해 신호의 검출효율을 높게 함과 동시에 탱크자신의 차폐효과에 의해 외부 노이즈의 제거효과도 동시에 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 이 센서는 용량결합형으로 되어 있고, 그림 3.2.13에 보이는 것처럼 부분방전에 의해 발생하는 중심 도체상의 고주파전위변동을 용량분압에 의해 검출함과 동시에 금속체의 검출전극을 전자파발생공간에 설치하는 것에 의해 안테나로서 전자파에도 반응하는 것을 노리고 있다. 그림 3.2.14에 내부전극의 외관을 보인다. 그림 3.2.15는 내부전극형 센서의 검출파형의 예이며, 그림 3.2.16은 내부전극형 센서의 스펙트럼의 예이다. 이 센서의 검출감도특성으로서는 GIS 용으로 지금까지 0.5pC이 확인되고 있다.

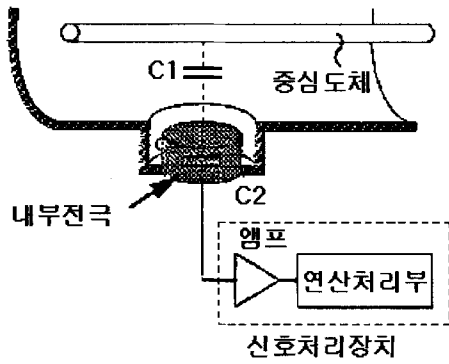


그림 3.2.13 내부전극의 검출원리

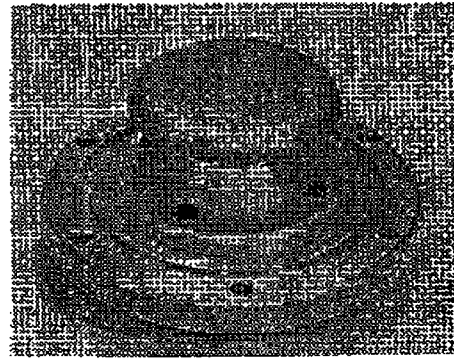


그림 3.2.14 내부전극의 외관

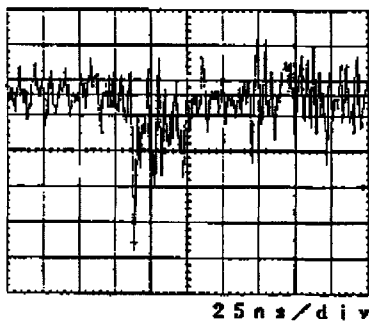


그림 3.2.15 내부전극의 검출파형 예
(부분방전 0.5pC)

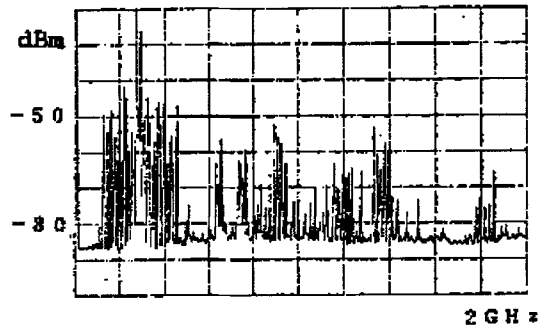
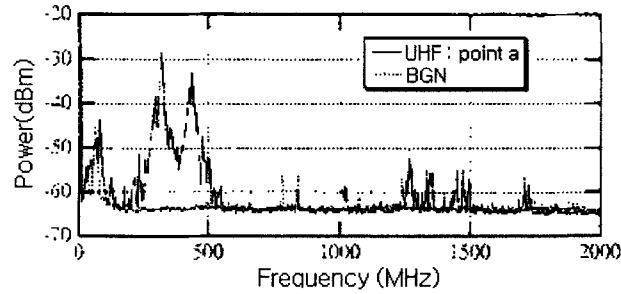


그림 3.2.16 스펙트럼 파형 예
(부분방전 1pC, Amp 25dB)

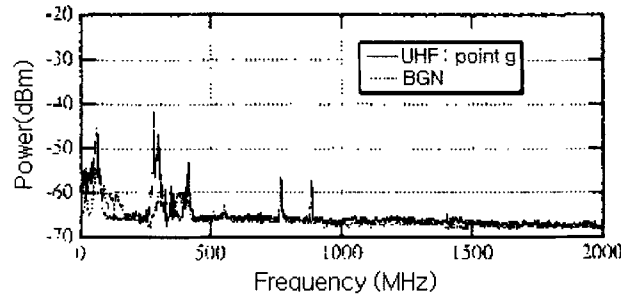
그림 3.2.17은 SF₆가스중(0.40MPa)에 있어서 침전극으로 PD를 발생시켜 PD원으로부터 거리 1.2m 및 169.5m에서 내부전극형 센서로 전파 전자파를 수신한 때의 주파수 스펠과 형을 나타내고 있다. 그림으로부터 200~500MHz 및 1.2~1.5GHz에 있어서 전자파스펙트럼이 검출되어 있고, 그중에서도 320MHz 및 440MHz 부근에 있어서 전자파의 수신이득이 가장 큰 것을 알 수 있다. 또, 센서의 측정점을 방전발생원에서 멀리하면 스펙트럼파형에도 GIL중의 전반에 의한 감쇄가 확인가능하다. 또한, PD신호가 관측되는 주파수대역 200~500MHz에 있어서는 거의 10~15dB, 1.2~1.5GHz에 대해서는 그것 이상으로 감쇄하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 3.2.18에 GIL중의 전파전자파를 센서에 의해 검출한 주파수 스펙트럼에 의한 거리 감쇄특성을 보인다. 그림 3.2.18은 그림 3.2.17에 보인 UHF내부센서에 의한 수신전자파스펙트럼에 있어서, 검출감도가 좋은 200~500MHz의 주파수대역의 이득을 평균해 산출한 값이다. 그림 3.2.18로부터 SF₆가스에서는 0.15MPa, 0.40MPa 모두 거의 직선적인 감쇄가 확인되고 있고, PD발생원으로부터 100m의 지점에서의 감쇄량은 대략 5.9dB로 산출된다. 이 주파수 스펠에 의한 감쇄량은 달리 행한 제로스팬 측정에 의한 각 주파수의 감쇄량으로부터 보아도 타당한 값이다. 한편, 공기 중 PD에서는 40m정도에서 크게 감쇄하는 경향이 보여진다. 이 결과는 SF₆가스중의 경우와 같은 GIL중의 전반에 의한 전자파스펙트럼의

감쇄특성과 다른 것이고, 측정 중에 있어서 공기중 PD의 부사이클의 변동이 크게 불안정한 것에 기인하며, 그 결과 전자파스펙트럼의 이득이 크게 저하하여 측정된 것으로 추정된다.



(a) Point : a(1.2m)



(b) Point : g(169.5m)

그림 3.2.17 GIL상에서 측정한 PD의 UHF센서에 의한 스펙트럼 파형

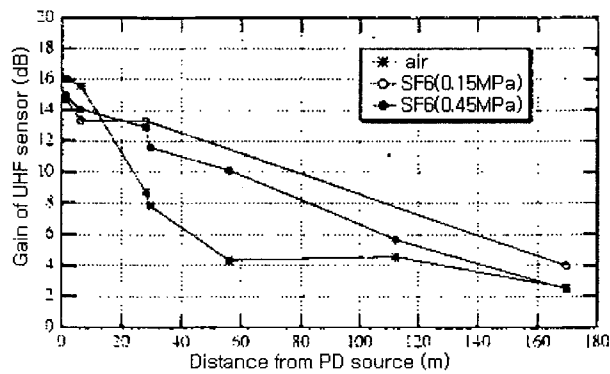


그림 3.2.18 UHF센서로 측정한 200~500MHz의 평균이득에 의한 PD신호의 거리감쇄특성

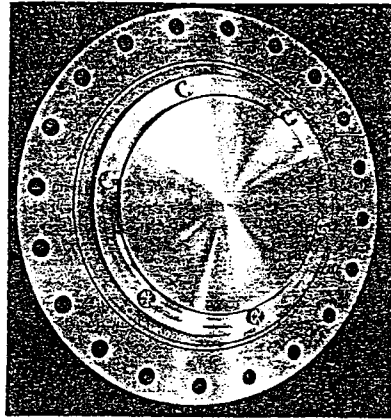


그림 3.2.19 GIS감시진단용 커플러

또한, Hampton 등은 400kV GIS체임버의 시험장치내에서 시험용 부분방전 cell을 이용하여 다양한 형태의 PD를 발생하고 그림 3.2.19의 UHF 커플러를 사용하여 부분방전을 검출하였다⁽⁹⁾.

PD cell은 0.5MPa의 SF₆가스를 채워졌으며 소형변압기로 50kV까지 인가되었다. 부분방전 cell로는 ① 코로나 원인 5 μ m반경의 침, ② 접시모양의 전극내에서 전계가 가해졌을 때 구르게 되는 2mm직경의 A1볼, 그리고 ③ 부유전극으로 총 3 종류이다. cell로부터의 방전파고치는 ERA Model3의 방전 검출기로 이미 측정되었다. 시험 cell은 장치내에 커플러로부터 4m 위치에 차례로 놓여지고 UHF 신호는 광대역 스펙트럼 분석기로 기록되었다. 상용주파수 파형위에서 방전이 발생하는 점들도 기록되었으며 이것은 방전 소스를 구별하는데 유용하다. 스펙트럼 분석기의 sweep은 20ms로 상용주파수의 positive going zero점에서 트리거 된다. 방전 패턴은 여러 주기에 걸쳐 만들어지며, +전압에서의 방전은 sweep의 5ms후 파고치를 가졌으며, -전압은 15ms후 파고치를 가졌다.

침으로부터 관측된 첫 번째 코로나는 21kV에서 발생했으며, 배경 노이즈 위에서 단지 3dB의 작은 신호였다. +전압의 파고치에서만 대부분 발생했다. 같은 전압에서 cell은 1pc보다 매우 작은 방전레벨을 주었으며, 심지어 이것은 실제 개시점위에 있었다. 22kV로 상승하자 스트리머가 생성되고, 그림 3.2.20에서처럼 더 큰 신호가 잡혔다. ERA검출기로 측정되었을 때 그것은 크기는 다양했으며, 5pC부근에서 최대치를 가졌다. 이 방전은 전압 파고치에 중심을 두었다.

2mm볼을 사용했을 때의 결과가 그림 3.2.21에 주어져 있다. 이 cell의 방전레벨은 10~15pC이었으며, 더 높은 UHF신호가 이것을 반영한다. 이물이 전압파와는 무관하게 움직이기 때문에 전체적으로 방전이 발생하였다.

부유전극의 경우, 전극이 GIS내의 그것보다 훨씬 적은데도 불구하고 가장 큰 신호가 부유전극에서 검출되었다(그림 3.2.22, 눈금참조). ERA 검출기로 1000pC의 방전을 나타내었다. 방전의 크기는 동일했으며, 상용주파수의 일 및 삼사분면에 몰려 있었다. 이것은 부유전극만의 특징이다.

GIS내에서 방전원의 위치를 정확히 파악하는 것은 매우 중요하다. 방전원의 위치는

2채널, 광대역 오실로스코프로써 커플러들에 도달하는 신호의 시간차를 측정함으로써 알 수 있다. 이 방법으로 수 센티미터까지 방전의 위치를 알 수 있었다.

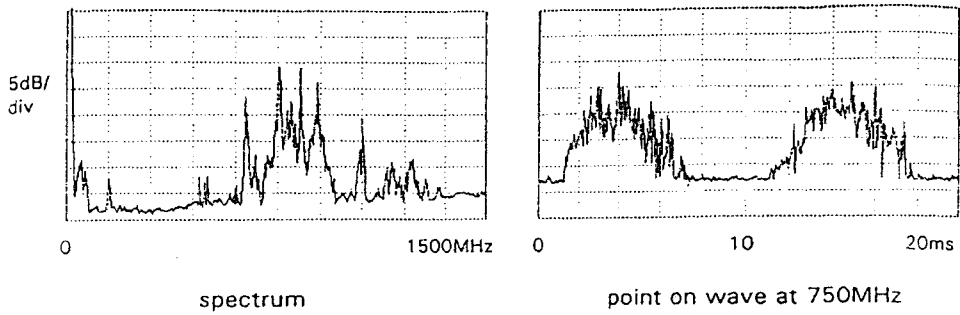


그림 3.2.20 침 코로나

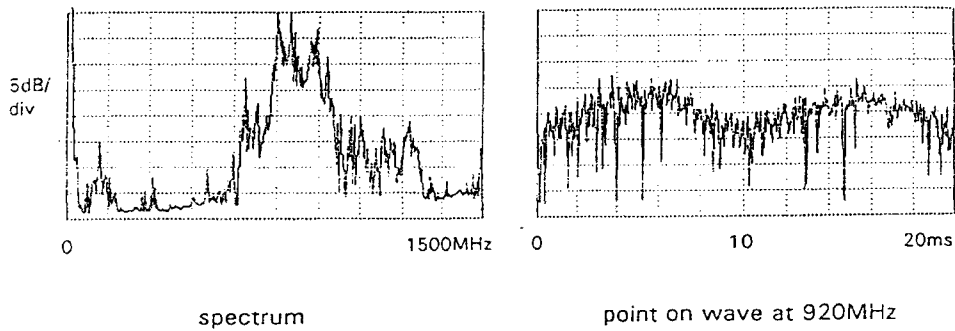


그림 3.2.21 가동 볼

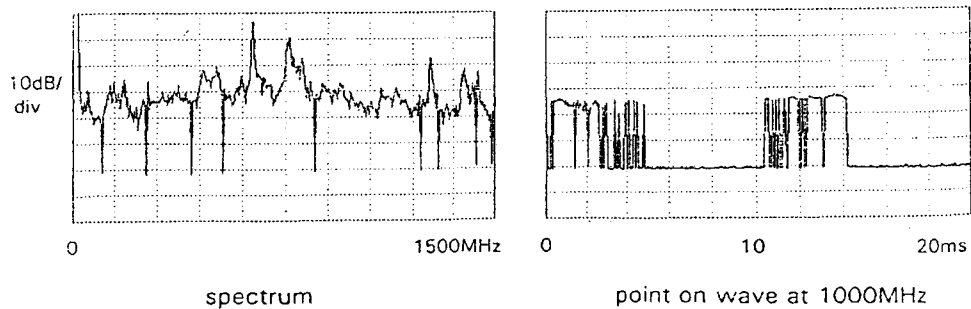


그림 3.2.22 부유전극

4) 슬롯안테나⁽¹⁰⁾

슬롯안테나는 그림 3.2.23에 보이는 것처럼 다이폴안테나와 물리적으로 보대의 관계에 있고, 등가적인 전자파방사를 행하고, 공진시는 슬롯이 짧은 폭 방향의 전계 E로 공진하는 지향특성을 가진다. 한편, 부분방전에 의한 고주파의 전위진동은 GIS의 도체와 용기간의 서지임피던스를 매개로 GIS내부를 전반하고 절연스페이서부와 같은 임피던스의 불연속적인 부분에서 반사와 누설이 발생하고 용기 사이에는 차전압이 발생한다. 이 절연스페이서부는 양단의 금속플랜지와 죄기 위한 고정용 스태드부분과 그림 3.2.24에 보이는 것처럼 스태드상의 폐회로를 구성하기 때문에 용기 사이에 차전압(또는 전계 E)

을 발생하도록 공진한다. 절연스페이서 부분에 설치한 슬롯안테나는 이 전계 E에 합치한 지향성을 가지고, 절연스페이서의 원주방향으로 감은 것으로 최대의 이득을 얻은 것이 가능하기 때문에 부분방전에 의한 고주파전위신호를 감도 좋게 검출가능하다. 그림 3.2.25는 각종 슬롯 안테나를 사용해 검출한 부분방전스펙트럼을 나타내고 있다. 이 때의 스펙트럼은 고전압도체에 고정된 20mm의 금속이물에 의한 부분방전전하량 약 20pC의 부분방전발생시의 것이다. 그 결과, 어느 슬롯안테나에서도 종래의 루프안테나의 검출 감도(1000pC전후)를 대폭 개선하는 수pC의 부분방전의 검출특성을 확인할 수 있다. 그림 3.2.25의 D형은 절연전선 하나로 슬롯상으로 감아서 사용했지만, 부분방전에 의한 스펙트럼을 확인할 수 있다. 특히 절연스페이서를 일주하는 비교적 긴 A, B형은 수10MHz-1GHz에 걸쳐 광대역으로 균등한 스펙트럼을 보이고 있다.

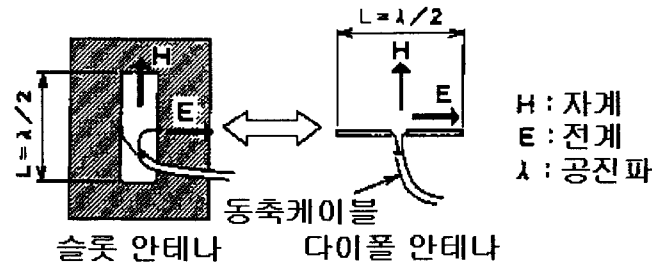


그림 3.2.23 슬롯안테나와 다이폴안테나

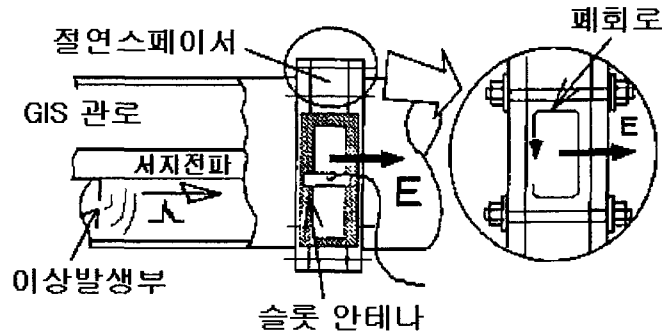


그림 3.2.24 안테나 취부개소 및 형상

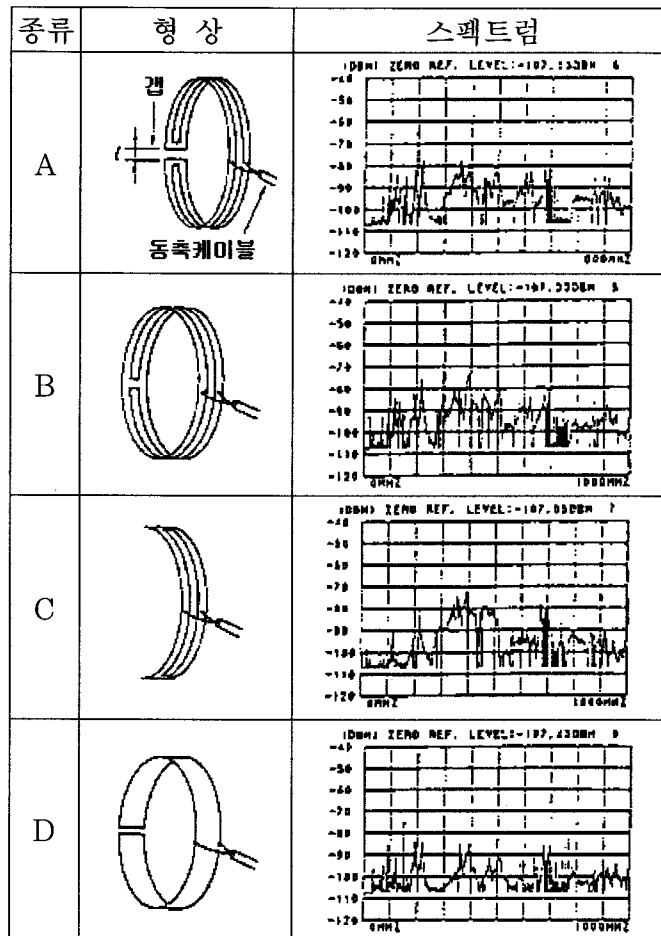


그림 3.2.25 각종 슬롯안테나에 의한 부분방전 검출 예

다. GIS에서 초음파법에 의한 진단법⁽¹¹⁻¹⁴⁾

1) GIS에서의 이물의 영향

GIS에서 음파의 발생은 부분방전이나 이물의 진동에 의하여 일어나는 충격파에 기인한다. 이와 같은 진동은 GIS 탱크 외부에 초음파 센서를 부착하여 측정하는 것이 가능하다. 이 방법은 현장의 전기적 잡음영향을 피할 수 있으므로 매우 유용한 현장 측정법으로 알려져 있다.

금속입자의 튜에 의해서 발생하는 진동에 포함된 주파수의 성분은 그림 3.2.26과 같다. 이 주파수 성분은 50kHz에서 100kHz까지의 범위이고 금속입자의 형태와는 관계가 없다. 이것은 최근에 개발된 고감도 초음파센서로 금속입자를 검출하는 것이 가능하다는 것을 말한다. 다음의 그림 3.2.27은 550kV급 GIS에서 측정된 초음파센서의 출력특성을 나타낸다. 이 결과에 의하면 2mm 크기의 알루미늄 입자에 대하여 318kV 교류전압 실효치를 인가하였을 때 초음파센서의 출력전압이 4(V)이다. 이것은 센서가 충분한 감도와 출력 특성을 가지고 있다고 볼 수 있다. 이 결과로부터 정격전압에서 GIS 내부에 있는 수mm 길이의 금속입자를 검출하는 것이 가능하다.

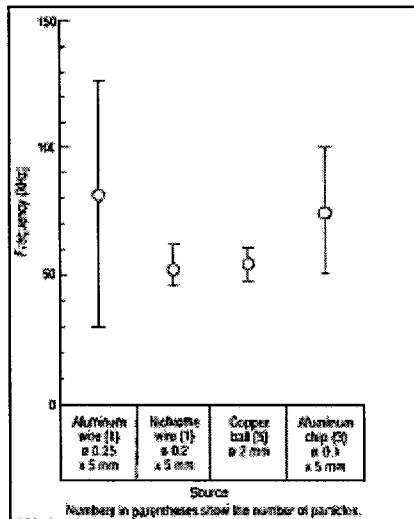


그림 3.2.26 여러 가지 금속입자에 대한 음파의 주파수 특성

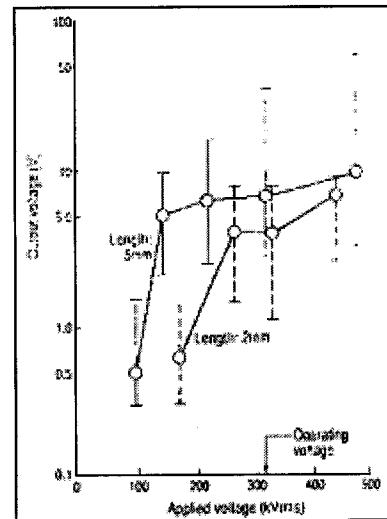


그림 3.2.27 550kV GIS에서 알루미늄 와이어에서 발생된 음파의 세기

GIS에서 결함의 조건별로 인가되는 전압에 따라 발생하는 부분방전량의 특성은 다음의 표 3.2.2와 같다. 조건에 따라서 10pC 이하의 아주 작은 부분방전량이 나타나기도 하고, 100pC이상의 큰 부분방전량이 발생하기도 한다.

표 3.2.2. 420kV급 GIS에서의 결함에 따른 부분방전의 량

Defect Type	critical length around	Range of pC at 1 p.u.	Range of pC at $0.8 \times 0.44 \times \text{LIWV}$ (2.07p.u.)
Poor contacts between loose metal parts		50 to 100	hundreds
Free particles on enclosure	5mm	5 to 10	above 10
Sharp HV protrusion	2mm	1 to 3	4 to 15
Fixed particles on spacer	5mm	0 to 1	1 to 3

* LIWV : Lightning Impulse Withstand Level.

GIS내부에 입자가 존재할 때, 9-10kV/cm의 전계강도를 인가하면 5mm인 경우 50pC정도의 부분방전이 발생하는 것으로 나타나고 있다. 이때의 인가전압은 운전스트레스의 1.2 - 1.5배이다.

현장시험에서는 인가전압을 높게 하지 못하고, 주변잡음도 크므로 수십 pC이하의 부분방전을 측정하기 위해서는 초음파 측정기를 사용하는 편이 낫다. 5-6kV/cm의 전계강도에서도 알루미늄은 부상하므로 거의 운전 전계강도에서 진단가능하다. 이의 관계는 그림 3.2.28과 같다.

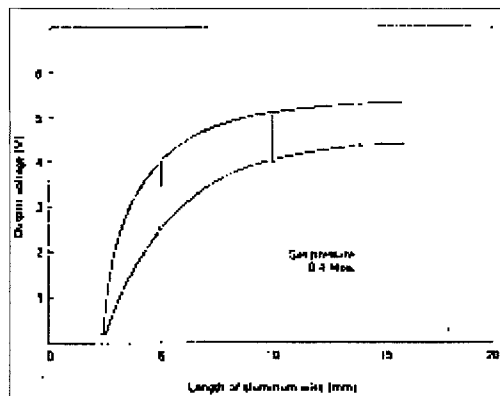


그림 3.2.28 부분방전량과 초음파 신호와의 상관성

2) 이물 입자가 GIS절연에 미치는 영향

GIS 내부에 존재하는 이물에 전압을 인가하였을 때 코로나 발생의 문턱 전계는 다음 식(3.2.1)과 같다.

$$E_{th} = \delta \cdot k_g \left[1 + \frac{k_e}{\sqrt{\delta \cdot r_k}} \right] \quad (3.2.1)$$

δ 와 r_k 가스의 밀도와 전극의 곡률 반경이다. 일반적으로 0.3MPa SF₆ 가스의 압력에서 0.25mm의 반경을 갖는 입자인 경우는 임계 코로나개시전계가 35 - 39kV/cm로 알려져 있다.

이물이 존재할 때 단시간 교류섬락전압의 특성을 구하면 갭길이가 35 - 300mm 범위일 때 플래시오버의 전계 E_1 과 알루미늄 Wire의 길이 l 과의 근사는 log paper에서 직선의 특성을 가지고, 50% 플래시오버특성은 다음 식 (3.2.2)와 같다.(압력은 0.4MPa임)

$$E_1 = E_0 l^{-1/m} \quad (3.2.2)$$

$E_0 = 150kV_{rms}/cm$ (l 가 1mm일 때 섬락스트레스임)

이 실험에 의하면 알루미늄의 입자길이가 5 - 50mm범위일 때, m 은 2가 적절한 것으로 평가되고 있다.

장시간 교류과과 특성에 대한 최소자승법으로 50%섬락퇴행곡선을 나타내면 다음 식(3.2.3)과 같다.

$$V = V_0 t^{-1/n} \quad (3.2.3)$$

식(3.2.3) V-t 특성에서 3 가지의 알루미늄의 입자에 대하여 적용하면 l 이 10mm일 때 n 의 값은 62, 15mm일 때 n 의 값은 55, 30mm일 때 n 의 값은 38이었고, l 이 길어짐에 따라 플래시오버의 절대값은 작아지고, 시간의 효과(포화되는 점)는 길어진다는 보고를 하고 있다. C. M. Cooke와 I.M. Bortnik에 의해서 구한 $n=74$ 인 것을 이용하면 다음과 같은 관계가 있다고 말하고 있다.

$$\log(n/74) = kl, \quad k \approx -0.007$$

교류전압에 Impulse전압을 중첩하였을 때 금속입자의 영향은 다음과 같다. 이 실험법은 교류전압을 6-7kV_{rms}/cm 정도로 하고 임펄스 충격전압을 가하였을 때 구한 값이다. l 이 5 - 10mm 범위일 때 l 이 5mm인 경우 E_2 는 170kV/cm이고, l 이 10mm보다 크면 급격하게 전계강도가 감소하는 것을 보여주고 있다.

이상의 결과를 종합적으로 나타내면 다음과 같은 식(3.2.4)를 얻을 수 있다.

$$E = E_0 l^{-1/m} t^{-1/n} \quad (3.2.4)$$

2. GIS 실험설비 구축 및 결합제작

가. 초광대역 커플러 개발

(1) 초광대역 안테나이론

구좌표계(r, θ, ϕ)에서 가장 설명이 잘 될 수 있는 구조의 안테나가 원점에 무한히 접근해 가는 두 단자를 가지고 있으며, 각각은 $\theta = 0, \pi$ 축과 대칭으로 놓여 있다고 가정한다. 안테나는 완전도체로서 무한균일 등방성 매질로 둘러 싸여 있고, 안테나 도체면이나 가장자리는 다음 식과 같이 곡선으로 잘 표현될 수 있다고 가정한다.

$$r = F(\theta, \phi) \quad (3.2.5)$$

여기서, r 은 도체면이나 가장자리의 거리이다.

식 (3.2.5)의 일반해는 다음과 같다⁽¹⁵⁾.

$$r = F(\theta, \phi) = \exp(a\phi f(\theta)) \quad (3.2.6)$$

여기서, $a = \frac{1}{K} \frac{dK}{dC}$ 이다.

$f(\theta)$ 는 완전 임의의 함수이다. 따라서 어떤 안테나가 주파수에 독립적인 특징을 갖기 위해서는, 그 도체면이 식 (3.2.6)으로써 나타내어져야 한다. 이것은 함수 $f(\theta)$ 나 그의 도함수를 규정함으로써 가능하다. 그 도체면이 식 (3.2.6)으로 나타내어지는 실용적이고 유용한 안테나들 중에서 그림 3.2.29와 같은 대수주기 안테나가 있다.

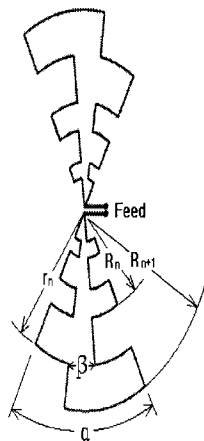


그림 3.2.29 평판형 대수주기 커플러

그림 3.2.29의 구조에서 톱날이 동일한 주기로 이루어졌다면 대수주기의 크기 비는

$$\tau = R_n/R_{n+1} \quad (3.2.7)$$

과 같이 된다. 또한 안테나 슬롯의 폭은

$$X = r_n/R_{n+1} \quad (3.2.8)$$

와 같다. 식 (3.2.7)의 크기 비 τ 는 동작의 주기를 나타내는데, 예를 들면 f_1 과 f_2 두 주파수가 1 주기만큼 떨어져 있다면, τ 는 다음과 같은 관계가 있다.

$$= f_1/f_2, f_2 \gg f_1 \quad (3.2.9)$$

(2) 대수주기 커플러에 대한 특성 해석

제안된 대수주기 커플러의 제작 및 특성평가실험에 앞서, 그림 3.2.30에 보이는 것과 같이, 해석 파라미터로서 커플러날개의 넓이, 유전체의 두께, cavity의 깊이 등을 채택하여, 요구되는 주파수 대역(500 MHz - 2,000 MHz)에서 커플러에 대한 반사계수(S11)특성, 전계분포특성, 방사패턴특성 등을 HFSS를 이용하여 해석하였다.

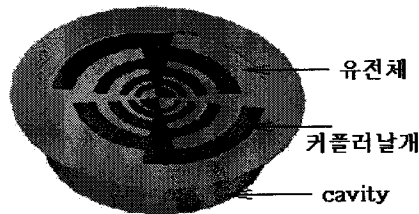


그림 3.2.30 제안된 대수주기커플러의 3D 모델

그림 3.2.31은 500 MHz에서 2,000 MHz 사이의 주파수대역에서 제안된 커플러의 반사계수특성을 해석한 결과이다. 그림에서 곡선은 대수주기커플러의 전형적인 특성인, 주파수에 대하여 주기적인 특성을 잘 보여주고 있으며, 요구되는 주파수대역 전체에서 -10 dB의 반사계수를 얻기 위해서는 발룬을 취부함으로써 매칭이 이루어져야 함을 알 수 있다.

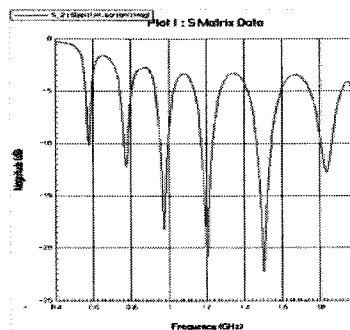


그림 3.2.31 제안된 커플러의 S11 특성

그림 3.2.32는 제안된 커플러의 1,000 MHz에 대한 전계분포특성을 나타내고 있다. 커플러 면상에서의 최대전계는 1,000 MHz에 상응하는 커플러의 날개길이와 일치하고 있다. 다만, 커플러의 최외각 날개와 커플러 guard사이에 강한 전계가 발생하는데, 이것은 커플러의 이득에 나쁜 영향을 주는 누설전계성분으로서, 간격을 조정하여 최소화해야 될 것으로 사료된다. 그림 3.2.33은 제안된 커플러의 방사패턴특성을 나타내고 있다. 전체적으로 구형의 방사패턴을 보이고 있으며, 커플러의 전방향으로 높은 지향성을 나타내고 있다. 그림 3.2.34는 시제작된 대수주기 커플러, 그림 3.2.35는 시제작된 커플러의 S11 특성을 각각 나타내고 있다. 그림 3.2.35에서 반사계수의 주기적인 특성은 그림 3.2.31의 그것과 잘 일치하고 있다.

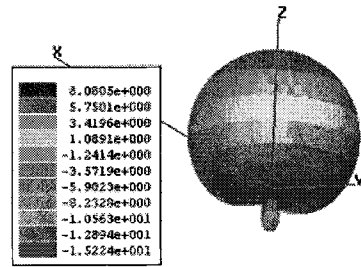
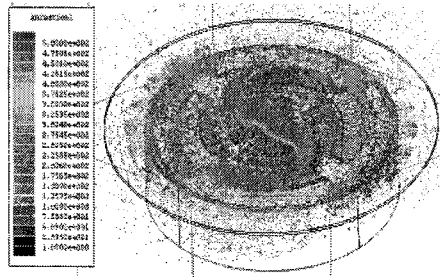


그림 3.2.32 제안된 커플러의 전계분포

그림 3.2.33 제안된 커플러의 방사패턴

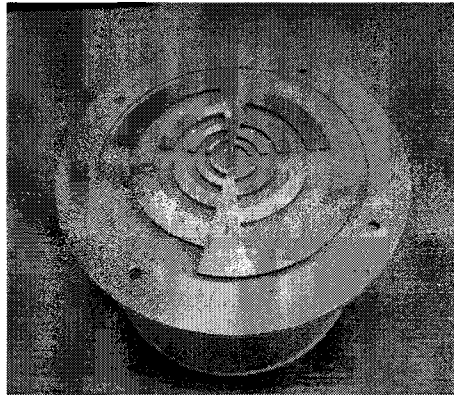


그림 3.2.34 시제작된 대수주기 커플러

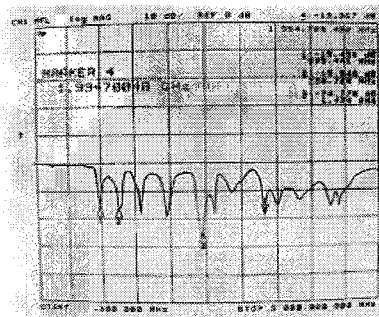


그림 3.2.35 시제작된 커플러의 S11 특성

나. 초광대역 발룬 개발

(1) 발룬 이론

테이퍼형 발룬의 임피던스는 그림 3.2.36(a)에 나타난 것처럼 식 (3.2.10)과 같다⁽¹⁶⁾.

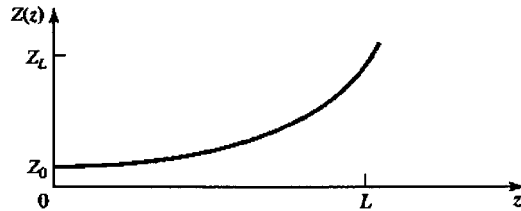
$$Z(z) = Z_0 \exp(az), \quad 0 < z < L, \quad (3.2.10)$$

반사계수, Γ 는 식 (3.2.11)과 같다.

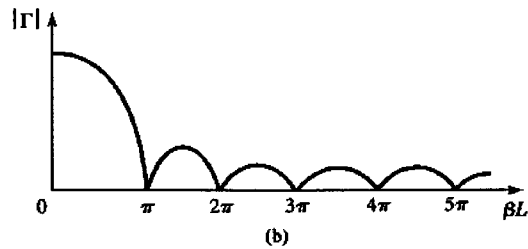
$$\Gamma = \frac{\ln Z_L / Z_0}{2} e^{-j\beta L} \frac{\sin \beta L}{\beta L} \quad (3.2.11)$$

식 (3.2.11)의 반사계수의 크기는 그림 3.2.36(b)와 같으며, $|\Gamma|$ 에서 피크값은 테이퍼의 길이가 증가함에 따라 감소한다. 저주파에서 임피던스 정합을 위해서 테이퍼부의 길이는 $\lambda/2 (\beta L > \pi)$ 보다 길어야 한다.

그림 3.2.37의 제안된 발룬은 발룬의 길이를 줄이기 위해 중심도체와 외부 테이퍼형 도체 사이에 유전체 ($\epsilon_r = 9.5$) 가 삽입되어, 기존의 테이퍼형 발룬과 비교하여 1/3로 길이가 감소되었다.



(a) 임피던스의 변화



(b) 반사계수

그림 3.2.36 테이퍼형 발룬의 특성

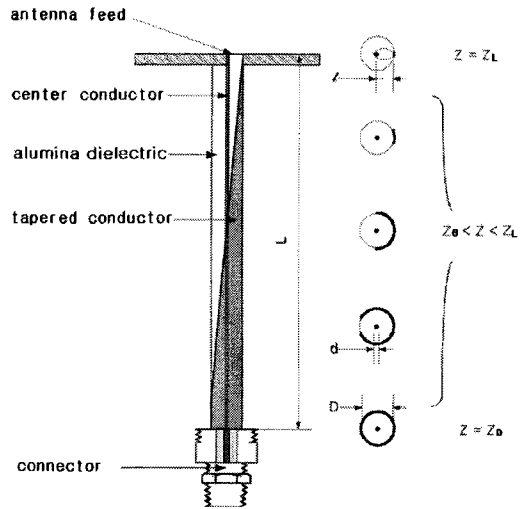
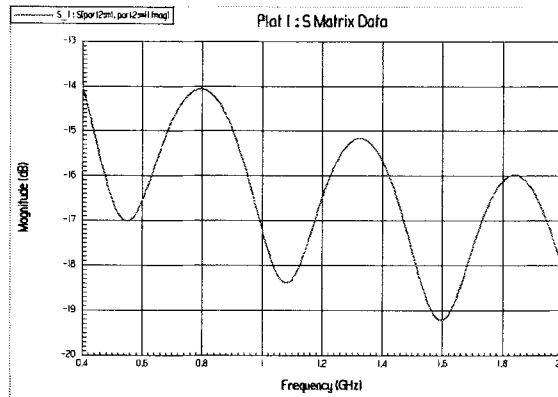


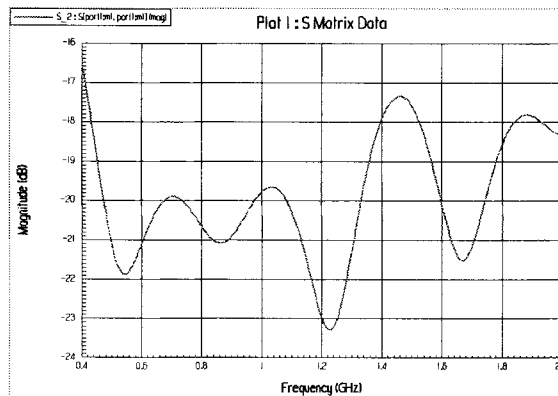
그림 3.2.37 제안된 테이퍼형 발룬

(2) 발룬의 모의해석 결과



(a) 제안된 발룬의 S11 특성

(ver.(-13 ~ -20) : 1 dB/div, hor.(0.4 ~ 2) : 0.2 GHz/div)



(b) 기존 발룬의 S11 특성

(ver.(-16 ~ -24) : 1 dB/div, hor.(0.4 ~ 2) : 0.2 GHz/div)

그림 3.2.38 발룬의 S11 특성

그림 3.2.38 (a)와 (b)는 제안된 발륜과 기존 발륜의 S11특성을 각각 나타내고 있다. 본 연구에서 발륜의 대역인 500MHz에서 2GHz까지의 주파수 대역에서 두 종류의 발륜 모두 14dB이하의 우수한 S11특성이 검증되었다. 그러나 기존 발륜에 대한 모의해석 결과가 좀더 낮은 S11 특성을 나타내고 있다.

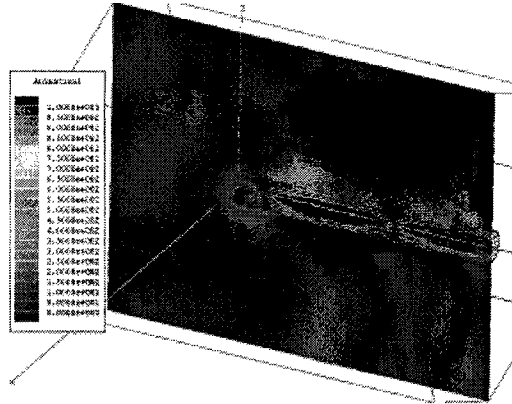
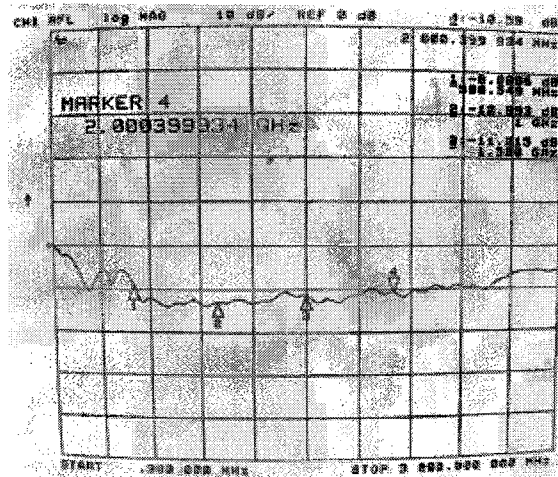
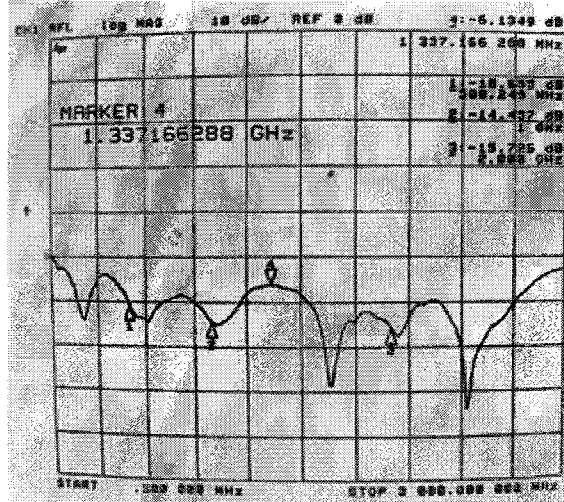


그림 3.2.39 제안된 발륜의 전계분포(y-z 면)

그림 3.2.39는 제안된 발륜의 전계분포(y-z면)를 나타내고 있다. 그림에서 안테나 피드와 동축 콘넥터는 원점(0, 0, 0)과 y축상(0, 95, 0)에 각각 위치하고 있다. 동축 콘넥터부분에서의 전계분포는 대칭인 반면, 안테나 피드부분에서의 전계분포는 비대칭인 것을 알 수 있다. 본 모의해석에서의 동작주파수는 1.0 GHz이었으며, 관내파장은 $\sqrt{\epsilon_r}$ 에 반비례하기 때문에 9.5cm로 나타나고 있다.



(a) 제안된 발륜이 취부된 커플러의 S11 특성
(ver. : 10 dB/div, hori.(0 ~ 3) : 0.3 GHz/div)



(b) 기존 발룬이 취부된 커플러의 S11 특성
 (ver. : 10 dB/div, hor.(0 ~ 3) : 0.3 GHz/div)
 그림 3.2.40 발룬이 취부된 커플러의 S11 특성

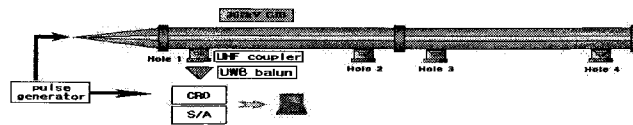
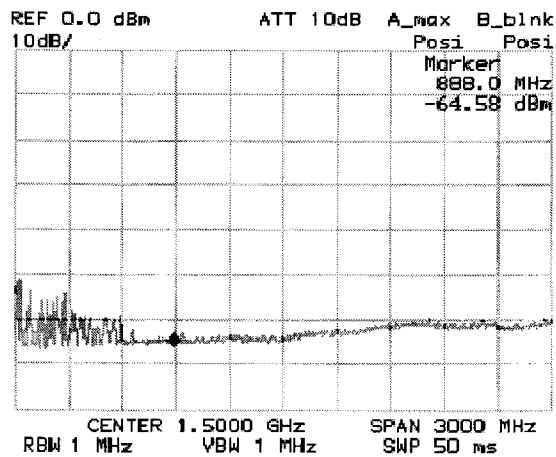
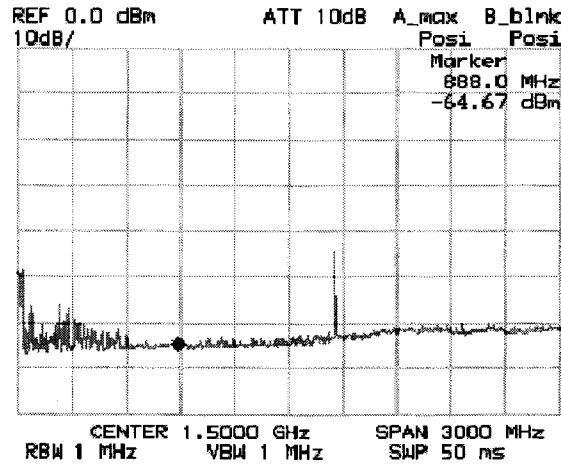


그림 3.2.41 발룬의 성능검증실험 장치도



(a) 제안된 발룬이 취부된 커플러
 (ver. : 10 dB/div, hori.(0 ~ 3) : 0.3 GHz/div)



(b) 기존 발룬이 취부된 커플러

(ver. : 10 dB/div, hori.(0 ~ 3) : 0.3 GHz/div)

그림 3.2.42 주파수영역에서의 성능검증실험 결과

(input charge : 200 pC)

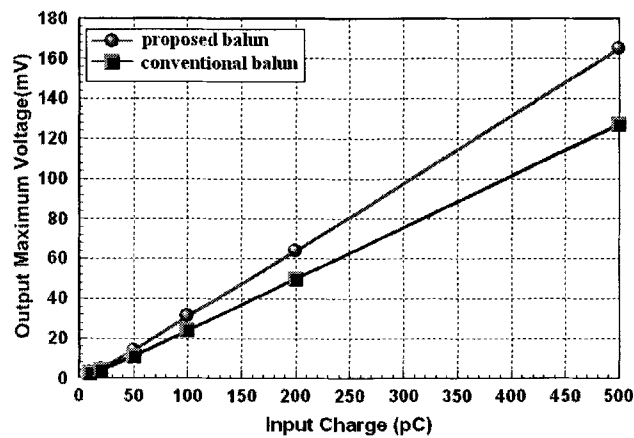


그림 3.2.43 시간영역에서의 성능검증실험 결과

(3) 발룬의 특성실험 결과

제안된 발룬과 기존 발룬은 동일한 사양을 가지는 대수주기커플러에 취부된 채로 네트워크 분석기 (HP, 8753D, 30 kHz ~ 3 GHz)를 이용하여 S11특성이 측정되었다. 각 발룬이 취부된 커플러의 S11측정결과는 그림 3.2.40과 같다. 제안된 발룬이 취부된 UHF커플러의 S11특성은 측정대역에서 10dB아래에서 평탄한 특성을 나타내고 있는 반면, 기존 발룬이 취부된 커플러에서는 800MHz와 1.3GHz부근에서 나쁜 특성을 나타내고 있다.

기존 발룬에 대한 제안된 발룬의 성능검증실험이 그림 3.2.41과 같이 362kV GIB에서 수행되었다. 그림에서 펄스발생기에서 발생된 0.5ns상승시간의 펄스는 매칭용 원추형 bus를 통하여 GIB로 투입되며, 전파된 펄스는 관측창에 설치된 UHF 커플러에 의해 검출되어 오실로스코프(LeCroy, wavePro 960, 2 GHz / 16 GS/s, 16 Mpts)와 스펙트럼 분석기(Advantest, R3131A, 9kHz

-3GHz)로 분석되었다.

그림 3.2.42 (a) 및 (b)는 펄스의 입력전하량이 200pC일 때 주파수영역에 대한 두 발룬을 취부한 커플러의 성능검증실험의 결과를 나타내고 있다. 검출된 스펙트럼은 약 700MHz까지 분포하고 있으며, 이것은 입력된 펄스의 상승시간이 0.5ns이기 때문인 것으로 사료된다. 그림 3.2.42로부터 제안된 발룬을 취부한 커플러의 응답특성이 기존 발룬을 취부한 커플러의 그것보다 더 우수한 것을 알 수 있다.

그림 3.2.43은 펄스의 입력전하량에 대한 시간에서의 두 발룬을 취부한 커플러의 성능검증실험의 결과를 나타내고 있다. 그림에서 y축의 최대출력값은 입력펄스에 대한 검출된 펄스전압의 피크값을 나타낸다. 제안된 발룬을 취부한 커플러로부터의 출력이 기존 발룬을 취부한 커플러로부터의 출력보다 각 입력전하량에 대하여 전체적으로 약 30% 큰 것이 확인되었다.

다. 이중대역출력을 가진 초광대역(UWB) 저잡음증폭기(LNA) 개발

초광대역 커플러시스템을 이용하여 검출된 부분방전신호를 측정대역에서 증폭하기 위하여 그림 3.2.44와 같은 초광대역 저잡음증폭기를 개발하였다. 앰프의 입력측에는 과전압 보호회로가 위치하고 1,2차 증폭단에서 증폭된 신호는 전력분배기로 Full band(0.5 GHz - 2.0 GHz, 이득 : 45dB)와 High band(1.0 GHz - 2.0 GHz, 이득 : 55dB)로 나누어진 후 3차 증폭단에서 다시 증폭된다. 그림 3.2.45는 제작된 UWB LNA(NF : 2.5dB)의 회로도를 보여주고 있다.

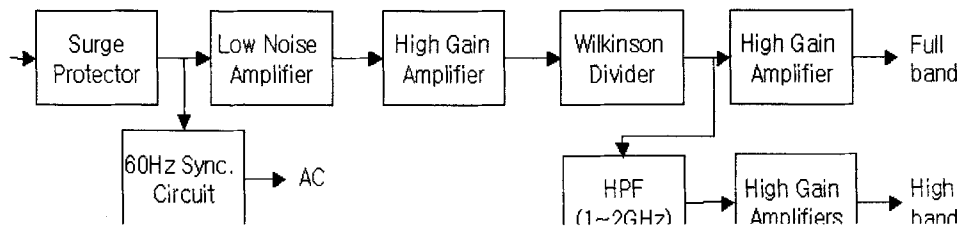


그림 3.2.44 초광대역 저잡음증폭기의 모식도

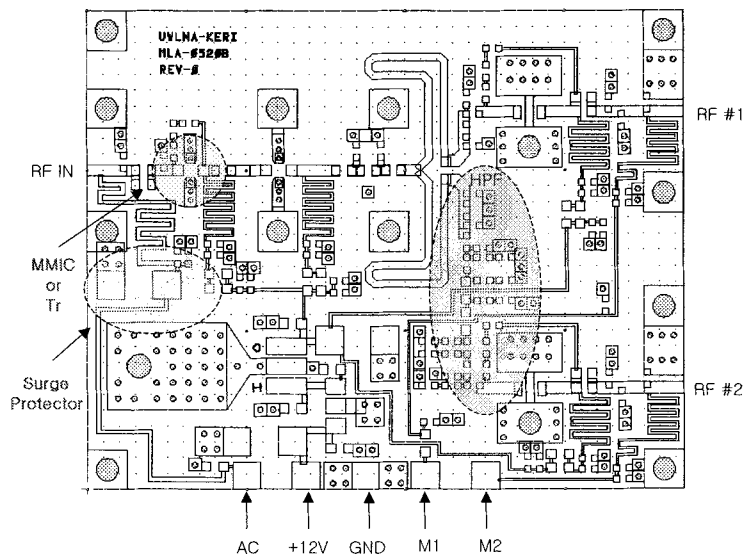


그림 3.2.45 초광대역 저잡음증폭기의 회로도

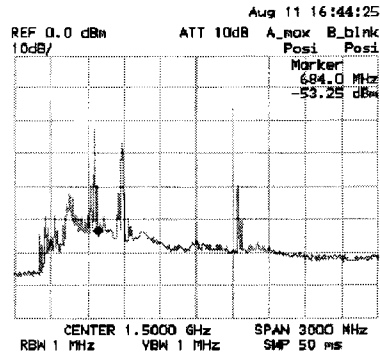
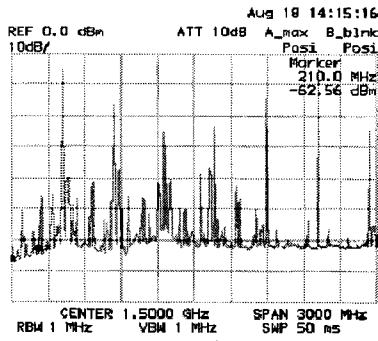
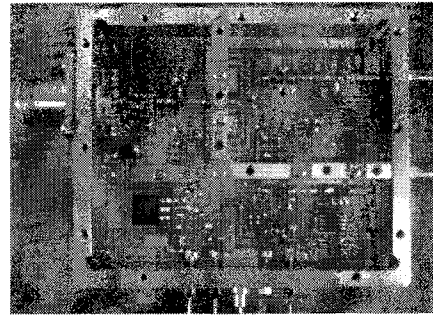
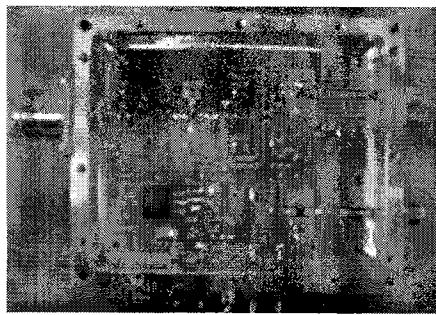


그림 3.2.46 Gain 조정후 발진 그림 3.2.47 차폐 보완후 spectrum

Gain을 증가 시킨 후 RF단에서 인접한 회로로의 커플링이 일어나서 매칭이 틀어져서 그림 3.2.46과 같은 발진이 발생하였다. 그래서 Amp내부에 커플링 방지를 위한 차폐벽 설치하여 그림 3.2.47과 같은 차폐 보완 후 스펙트럼을 얻었다. 그림에서 발진은 제거되고 통신잡음만 일부 검출되는 것을 확인할 수 있다. 그림 3.2.48은 차폐벽을 설치하기 전후의 앰프를 각각 보이고 있다.

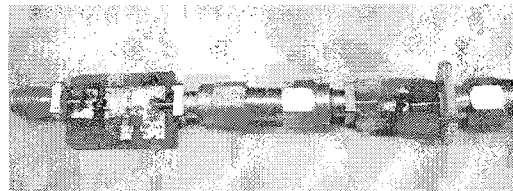
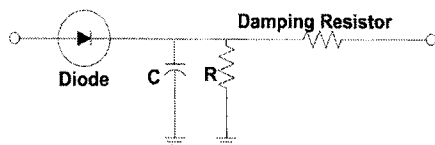


(a)설치전

(b)설치후

그림 3.2.48 차폐벽 설치 전후의 앰프

RF단의 고주파 신호를, 수십MHz대역으로 끌어내려 저가 사양의 시스템으로 파형검출 및 신호처리를 수행하고자 검파회로모듈을 개발하였다. 그림 3.2.49는 피크홀딩회로를 채용한 RF 신호용 검파회로와 제작된 검파회로모듈을 나타내고 있으며, 그림 3.2.50은 검파된 신호와 RF신호를 보이고 있다. 그림에서 RE신호는 긴 falling time을 가지게 됨으로써 낮은 sampling rate를 가지는 저가의 A/D시스템 사양으로도 신호의 검출 및 신호처리를 수행할 수 있게 되었다.



(a)검파회로

(b)검파회로모듈

그림 3.2.49 RF신호용 검파회로

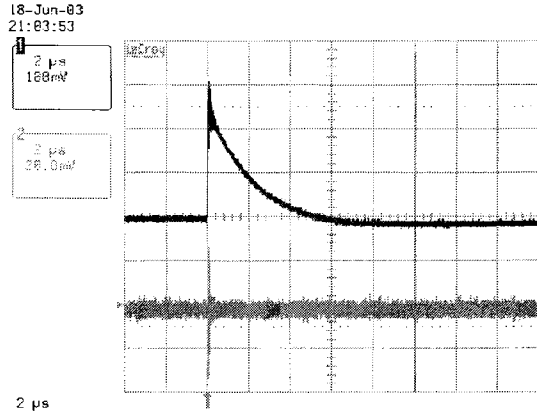
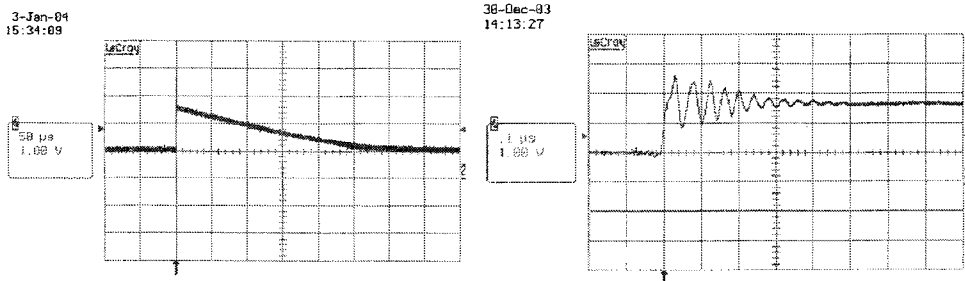


그림 3.2.50 검파된 신호(상)와 RF신호(하)

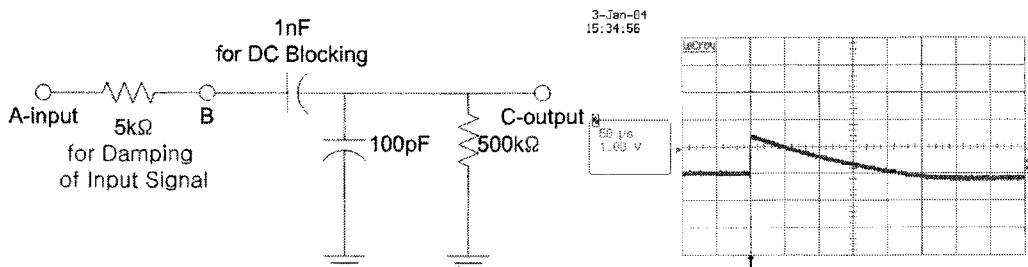
검파회로 내장으로 출력파형에, DC offset과 진동성분이 그림 3.2.51과 같이 발생하였다. 그래서 그림 3.2.52 (a)와 같이 damping 저항과 HPF 장치를 장착하여 그림 3.2.52 (b)와 같은 보정된 파형을 얻을 수 있었다.



(a) 1V DC offset 발생

(b) 진동성분 발생

그림 3.2.51 검파회로 내장으로 인한 offset 전압과 진동성분 발생



(a) 보정회로

(b) 보정된 파형

그림 3.2.52 보정회로와 보정된 파형

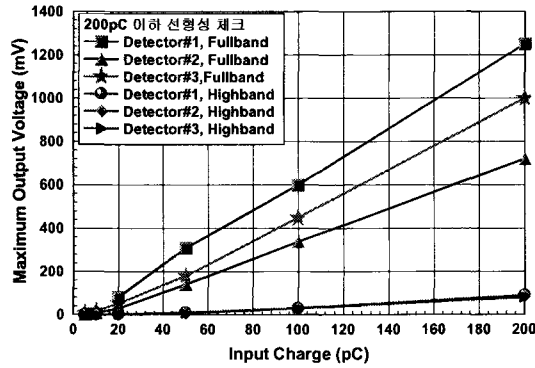
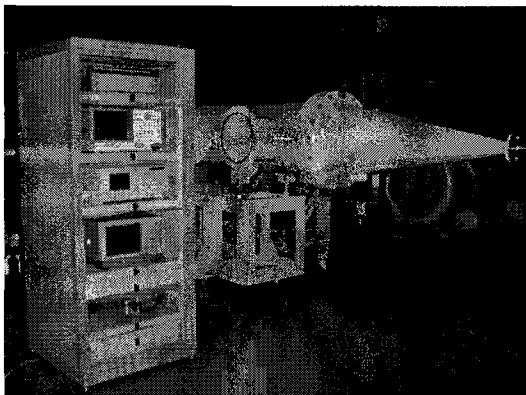


그림 3.2.53 앰프의 입출력특성

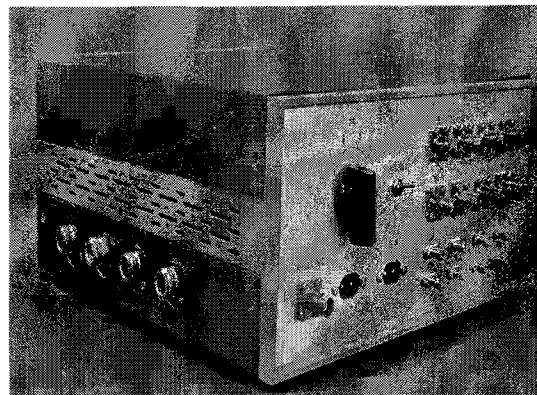
그림 3.2.53은 시제작된 세 종류의 검파회로에 대한 입력전하량에 따른 Full band와 High band의 출력특성을 나타내고 있다. 입력전하량에 따라 선형적인 출력특성을 보이고 있다.

라. 측정설비와 결합 제작

그림 3.2.54의 (a)는 펄스발생기, 네트워크분석기, 스펙트럼분석기, 오실로스코프 등이 수납된 측정기기수납함과 GIS 부분방전 실험에 사용된 362kV 가스절연버스(GIB, 내경 : 120mm, 외경 : 500mm)를 보여주고 있으며, 그림 3.2.54(b)는 그림 3.2.48의 앰프로 구성하여 개발한 이중대역 측정용 앰프시스템을 보여주고 있다.



(a) GIS 부분방전시험 설비

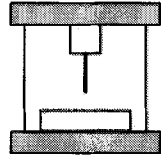
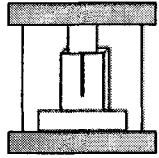
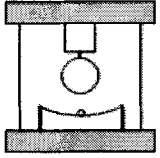


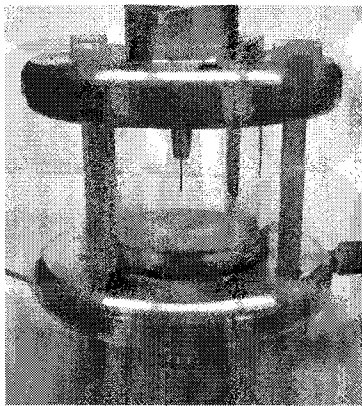
(b) 부분방전 이중대역 UHF 앰프시스템

그림 3.2.54 측정장치와 실험용 GIB

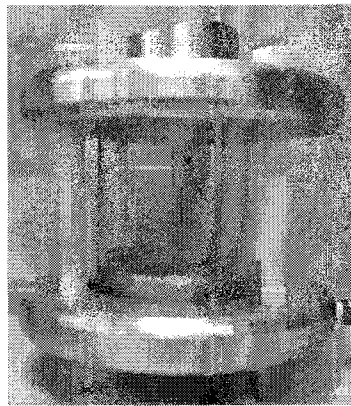
표 3.2.3은 부분방전실험에 사용된 결합의 종류와 사양을 나타내고 있다. 본 실험에는 고정침, 절연물표면 고정침, 가동볼의 결합이 제작되어 실험에 사용되었다. 각 결합 cell은 상부전극, 하부전극, 고정용 절연볼트 그리고 두 전극을 지지하는 투명한 아크릴로 구성되며, 아크릴과 전극간은 O 링을 개재하여 기밀이 가능하도록 하였다. 그림 3.2.55는 실제로 제작된 결합들의 모습을 보여주고 있다.

표 3.2.3 결합의 종류와 사양

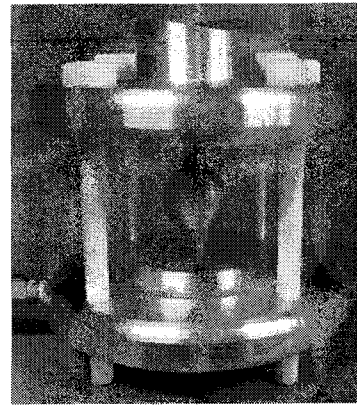
고정침	절연물표면 고정침	가동볼
		
침직경 : 0.5 mm, 전극간격 : 8 mm	침직경 : 0.5 mm, 전극간격 : 8 mm 절연물 : 2 mm 두께 에폭시판	하부전극 직경 : 60 mm 구전극 직경 : 30 mm 가동볼 직경 : 5 mm



(a) 고정침 결합



(b) 절연물표면 고정침 결합



(b) 가동볼 결합

그림 3.2.55 제작된 결합의 종류

3. GIS 결합별 부분방전 측정 및 DB 구축

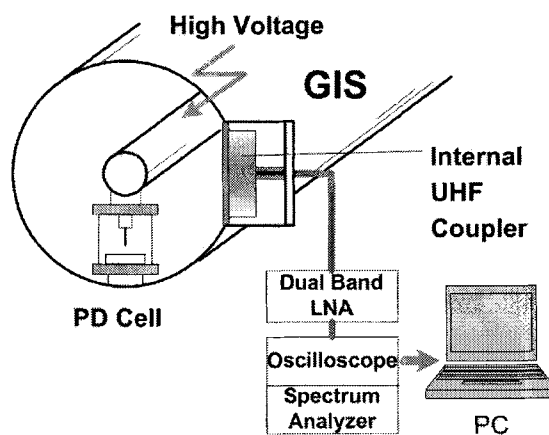
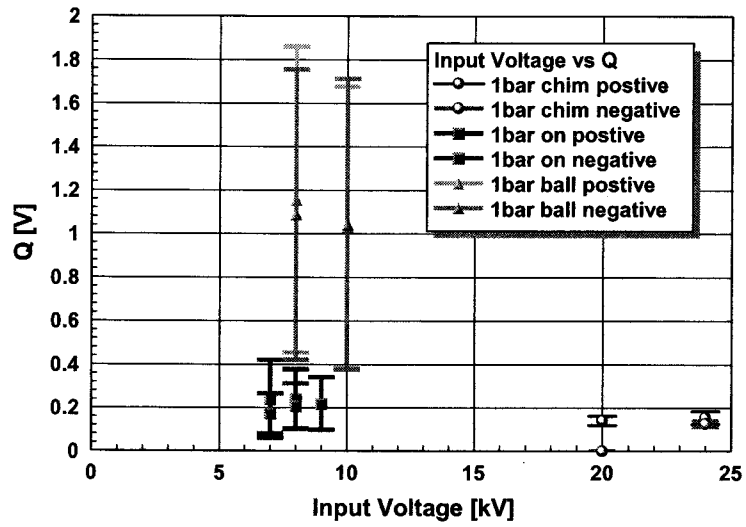


그림 3.2.56 GIS PD 검출용 실험장치도

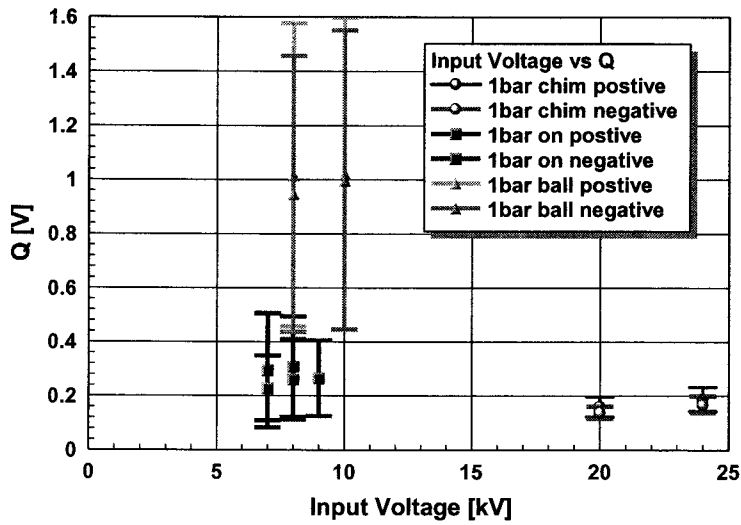
UWB UHF coupler, UWB LNA 그리고 오실로스코프로 구성되는, 제안된 UWB UHF PD 검출시스템을 이용한 부분방전 검출실험은 그림 3.2.56과 같이 362 kV mock-up

gas-insulated bus (GIB, 120/500 mm ϕ)에서 수행되었으며, 부분방전은 버스의 중심도체와 외함사이에 설치된 고정침, 절연물상 고정침 그리고 가동볼의 3가지 모의부분방전 cell로부터 발생되었다. 부분방전 검출실험은 0.1 MPa, 0.2 MPa 그리고 0.3 MPa의 세 종류의 가스압 조건하에서 상용 주파수 50주기에 걸쳐서 수행되었다. GIB의 관측창에 취부된 UWB UHF 커플러에 의해 검출된 부분방전신호는 UWB LNA에 의해 증폭되고 오실로스코프 (LeCroy, wavePro 960, 2 GHz / 16 GS/s, 16 Mpts)에 의해 분석 및 저장된다.

그림 3.2.57, 그림 3.2.58 그리고 그림 3.2.59는 가스압 0.1 MPa, 0.2 MPa 그리고 0.3 MPa에서의 입력전압에 따른 각 결합의 평균 부분방전량 특성을 각각 보이고 있다. 여기서 평균 부분방전량은 상용주파수 50주기분을 더하여 정주기와 부주기별로 평균을 구한 것이다. 고정침 결합의 경우 개시전압이 다른 두 종류의 결합보다 높게 나타났으며, 가동볼 결합의 경우 낮은 인가전압에서도 높은 방전량을 나타내었다. 그리고 절연물표면 고정침 결합의 경우 절연물 표면의 공간전하의 효과로 인하여 고정침 결합에 비하여 개시전압이 매우 낮았다. 각각의 가스압에서 입력전압에 따른 각 결합의 평균 부분방전량 특성에서 Full band와 High band 사이의 큰 차이는 나타나지 않았다. 그러나, 압력이 증가함에 따라 절연물표면 고정침 결합의 개시전압이 고정침 결합쪽으로 접근하는 것으로 나타났다.

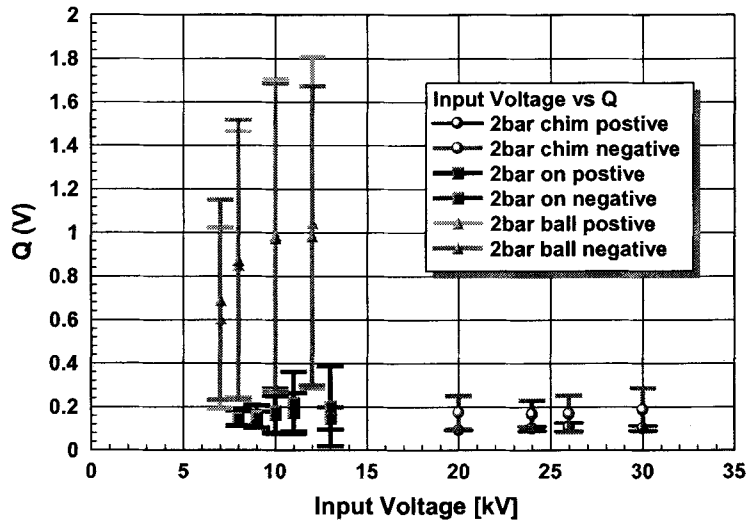


(a) Fullband

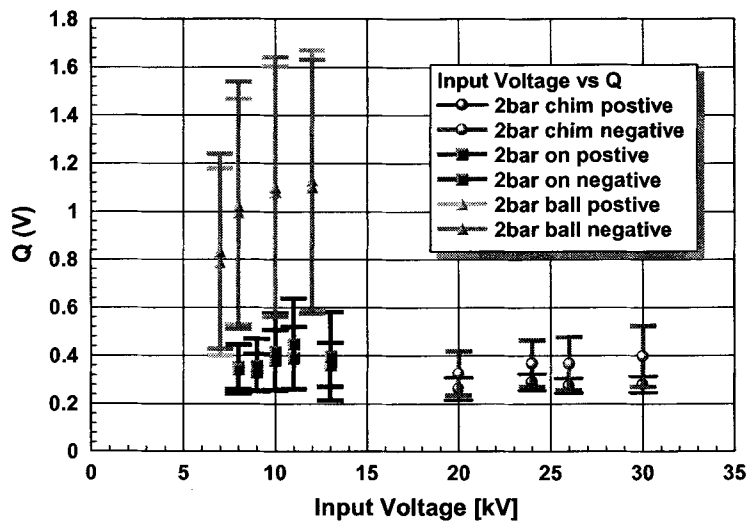


(b) Highband

그림 3.2.57 입력전압에 따른 각 결함의 평균 부분방전량 특성(0.1 MPa)

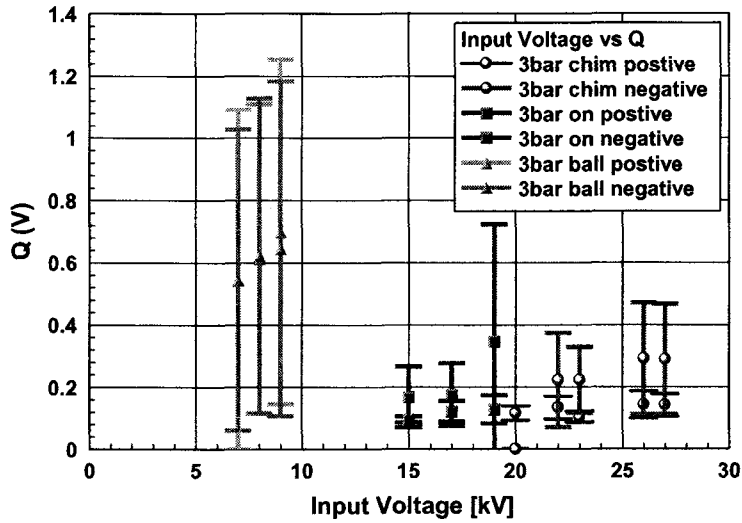


(a) Full band

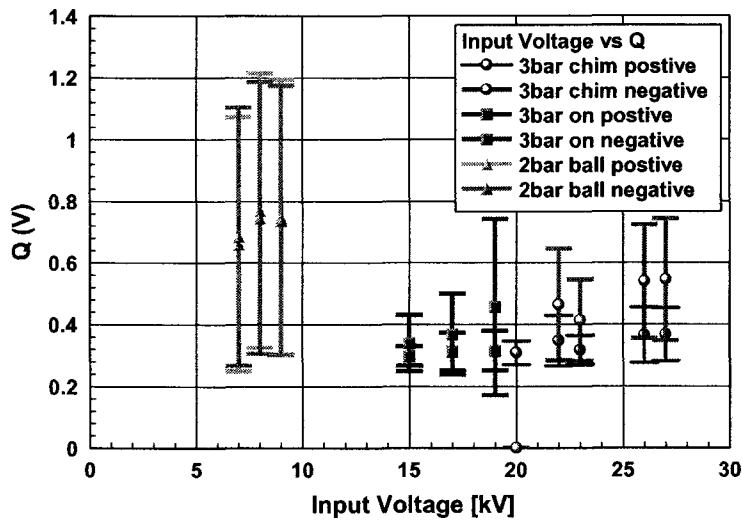


(b) Highband

그림 3.2.58 입력전압에 따른 각 결함의 평균 부분방전량 특성(0.2 MPa)



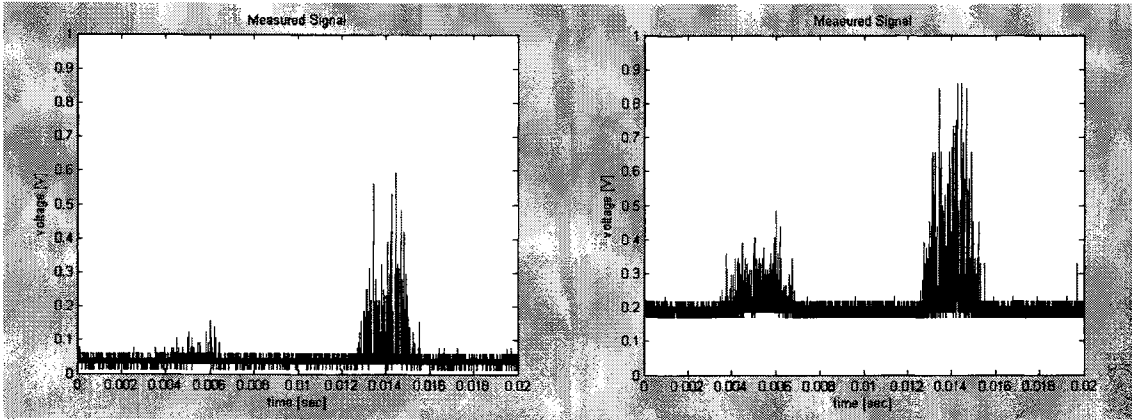
(a) Full band



(b) Highband

그림 3.2.59 입력전압에 따른 각 결함의 평균 부분방전량 특성(0.3 MPa)

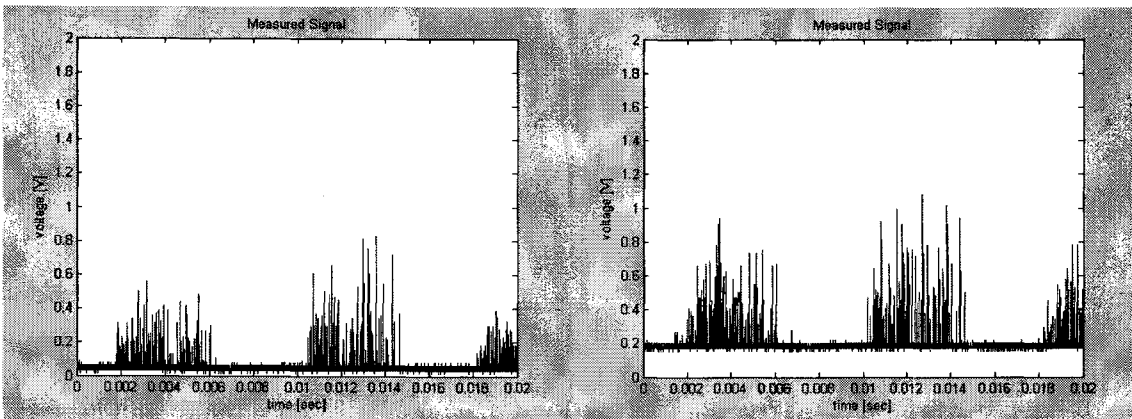
그림 3.2.60, 그림 3.2.61 그리고 그림 3.2.62는 가스압 0.2 MPa에서 고정침, 절연물상 고정침 그리고 가동볼의 결함으로부터 발생된 부분방전의 위상특성을 각각 보여주고 있다. 침전극 결함의 경우 가스중 코로나의 전형적인 위상특성을 보여주고 있으며, 절연물표면 고정침의 경우 절연물 표면의 공간전하로 인하여 극성효과가 많이 감소하였으며 발생위상이 고정침 결함에 비하여 앞쪽으로 이동한 것으로 나타났다. 그리고 가동볼 결함의 경우 전위상에 걸쳐 부분방전이 발생하고 있다.



(a) Full band

(b) High band

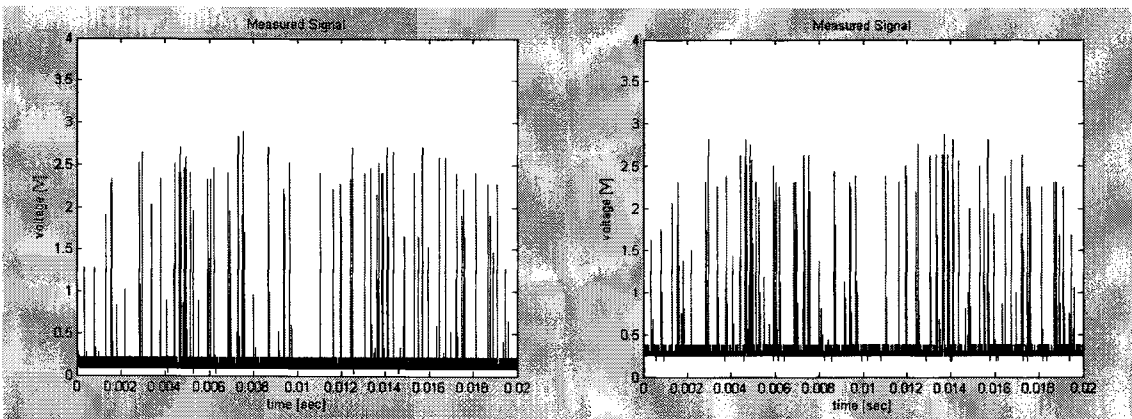
그림 3.2.60 고정침 결함의 부분방전 위상특성(26 kV, 0.2 MPa)



(a) Full band

(b) High band

그림 3.2.61 절연물표면 고정침 결함의 부분방전 위상특성(11 kV, 0.2 MPa)

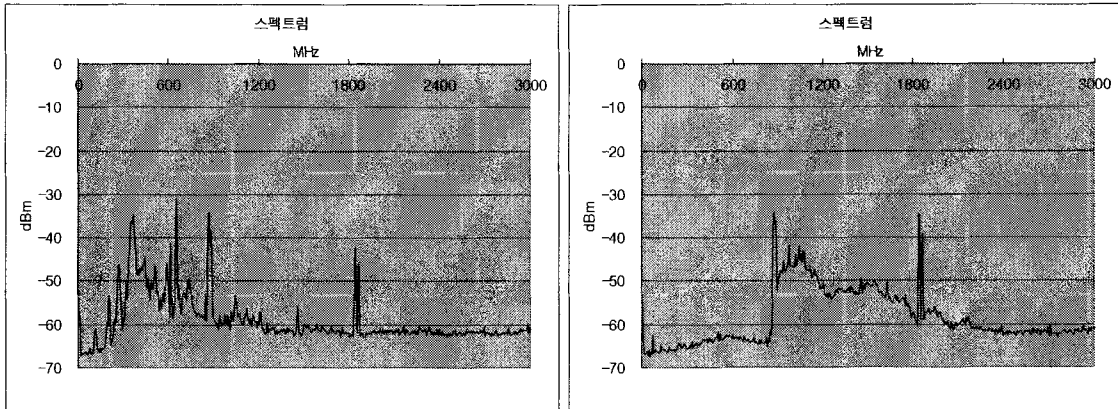


(a) Full band

(b) High band

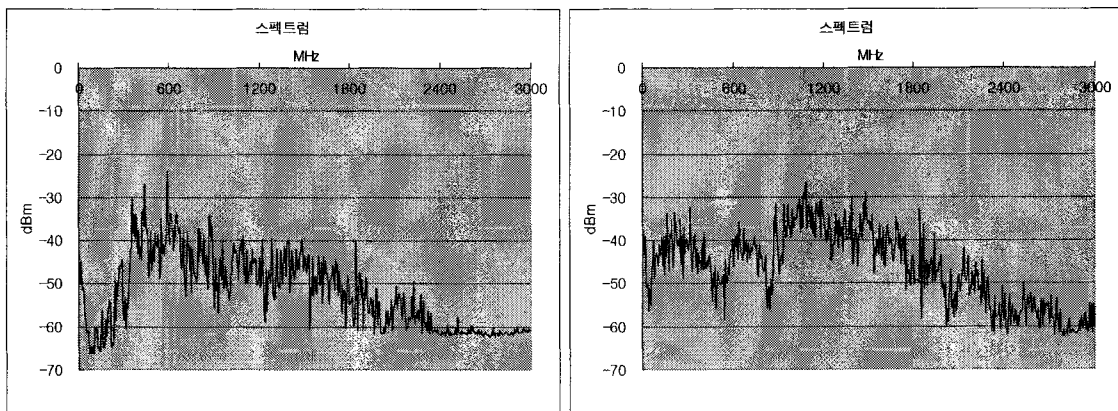
그림 3.2.62 가동볼 결함의 부분방전 위상특성(10 kV, 0.2 MPa)

그림 3.2.63은 결함이 없는 경우 측정시스템의 배경잡음의 스펙트럼특성을 보여주고 있으며, 그림 3.2.64, 그림 3.2.65 그리고 그림 3.2.66은 특정 가스압과 인가전압에 대한 고정침, 절연물표면 고정침 그리고 가동볼 결함의 스펙트럼특성을 각각 보여주고 있다.



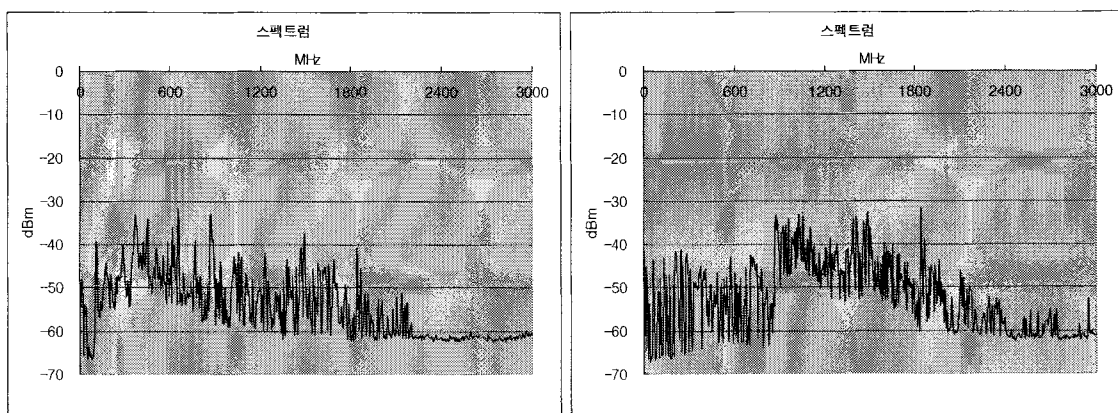
(a) Full band (b) High band

그림 3.2.63 측정시스템의 배경잡음의 스펙트럼특성



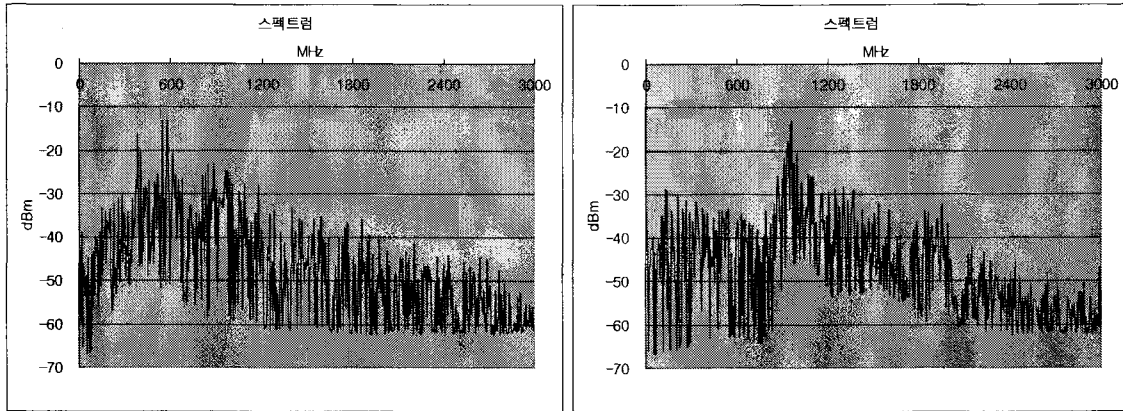
(a) Full band (b) High band

그림 3.2.64 고정침 결함의 스펙트럼특성(26 kV, 0. 2 MPa)



(a) Full band (b) High band

그림 3.2.65 절연물표면 고정침 결함의 스펙트럼특성(14 kV, 0.2 MPa)



(a) Full band (b) High band
 그림 3.2.66 가동불 결함의 스펙트럼특성(10 kV, 0.2 MPa)

4. GIS 부분방전 패턴화

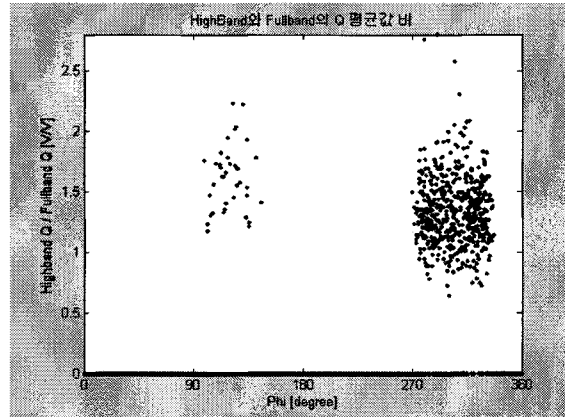
본 연구에서는 측정된 GIS 부분방전을 패턴화하기 위하여, 종래부터 사용되어온 부분방전 해석 인자인 부분방전량(q)과 발생회수(n)와는 별도로 Full band에 대한 High band의 출력비(이후 'HF 출력비'라고 기술함)를 제안하고, 그 출력비로써 부분방전신호의 검출특성을 분석하였다. HF 출력비는 다음과 같이 구해진다.

- 1) 측정된 파형에서 측정 조건별 노이즈레벨을 고려하여 피크를 검출한다.
- 2) 형성된 피크 데이터에서, 한주기(360도)를 4000개로 나눈 window하나당 부분방전량의 평균 $Q(V)$ 와 부분방전 횟수 N 값을 조건별로 중첩하여 구한 후, DataBase화 한다.
- 3) DB에서 읽어온 중첩된 평균 Q 값을, 같은 window상의 Full, High 대역별로 나누어 비를 구한다.(이때, 두 대역 중 어느 하나의 window라도 Q 값이 존재하지 않는다면 0으로 처리한다)

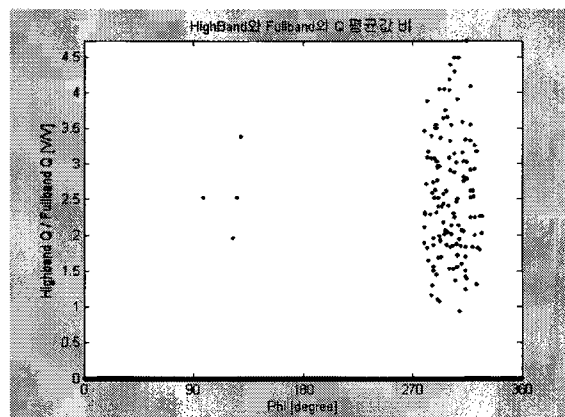
그림 3.2.67은 인가전압이 24kV일 때, 각 가스압조건에 따른 고정침의 부분방전특성으로서 HF출력비의 위상특성을 보여준다. 고정침 부분방전은 먼저 부주기의 피크에서 개시하며, 전압을 상승함에 따라 정주기와 부주기의 피크부분에서 집중적으로 발생하고, 동일 전압에서 압력이 증가함으로써 부분방전펄스의 발생개수가 감소하고, 정주기보다 부주기에 부분방전이 활발히 발생하는 등 가스중 침코로나의 전형적인 특성을 보여주고 있다.

그림 3.2.68은 인가전압이 각각 9kV, 13kV, 17kV로 증가할 때, 각 가스압조건에 따른 절연물 표면 고정침의 부분방전특성으로서 HF출력비의 위상특성을 보여준다. 절연물표면 고정침의 부분방전은 고정침의 경우보다 정주기와 부주기의 피크 앞부분에서 발생하고, 펄스의 분포가 큰 분산값을 나타내고 있으며, 정주기와 부주기에서 비슷한 펄스개수를 보임으로써 극성효과가 많이 감소한 양상을 보이고 있다. 절연물표면 고정침의 경우는 가스중 고정침과는 달리, 공간전하가 절연물표면에 축적되어 침부근의 전계를 국부적으로 강화하여, 부분방전개시전압을 낮추게 된다. 발생위상의 전진과 극성효과 감소의 원인도 이 공간전하효과로써 설명된다.

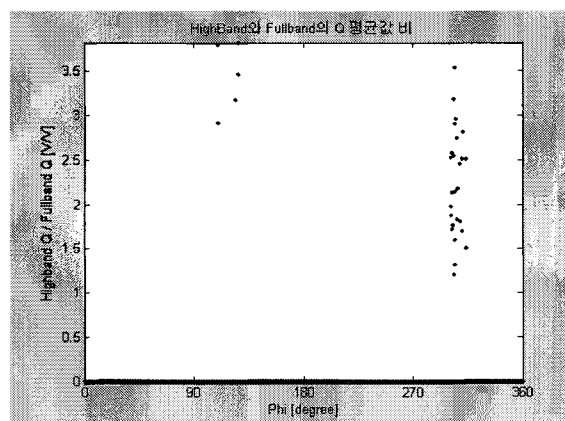
그림 3.2.69는 인가전압이 8kV일 때, 각 가스압조건에 따른 가동볼의 부분방전특성으로서 HF 출력비의 위상특성을 보여준다. 가동볼의 부분방전은 전위상에 고르게 발생하고 있으며, 극성효과도 전혀 보이지 않고 있다.



(a) 0.1 MPa, 24 kV 인가시

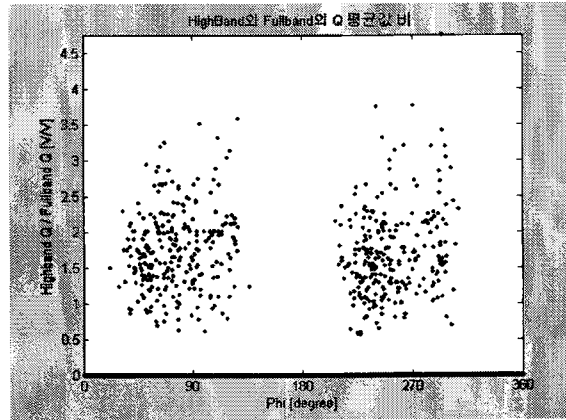


(b) 0.2 MPa, 24 kV 인가시

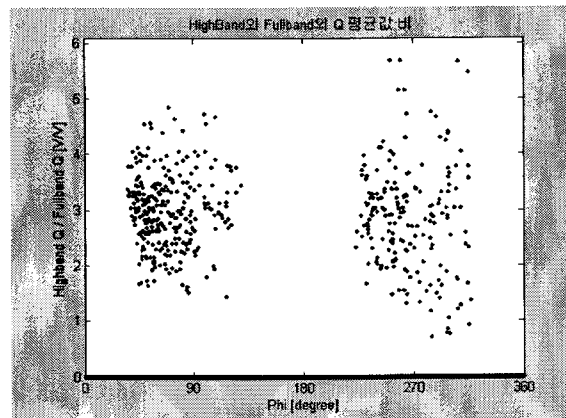


(c) 0.3 MPa, 24 kV 인가시

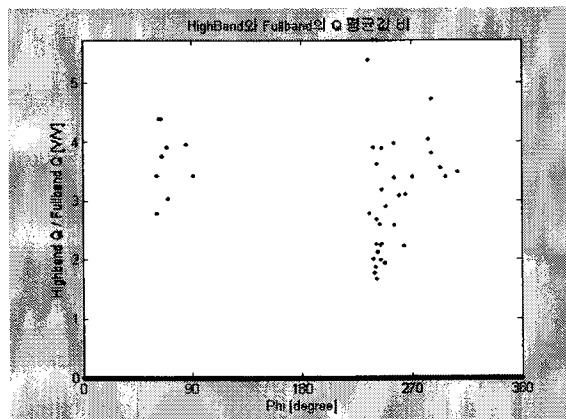
그림 3.2.67 고정침의 부분방전특성



(a) 0.1 MPa, 9 kV



(b) 0.2 MPa, 13 kV

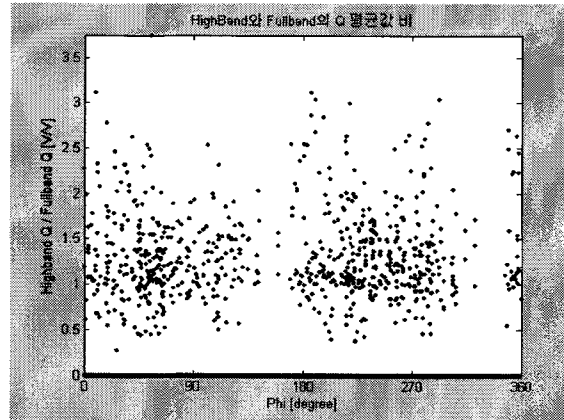


(c) 0.3 MPa, 17 kV

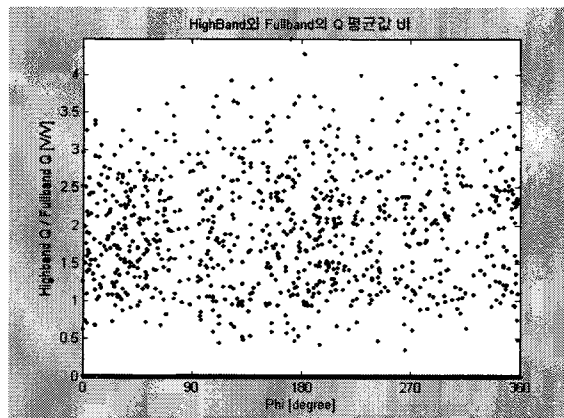
그림 3.2.68 절연물표면 고정침의 부분방전특성

그 원인으로서, 가동볼의 부분방전은 정전력에 의해 지배되어 가동볼이 구르게 될 때, 가동볼과 하부전극간의 미소갭에서 발생하므로, 전 위상에 걸쳐 부분방전이 나타나게 된다. 단, 1bar의 경우, 전압피크치를 중심으로 부분방전이 발생함을 관찰할 수 있는데, 이는 압력이 낮을 경우 가동볼

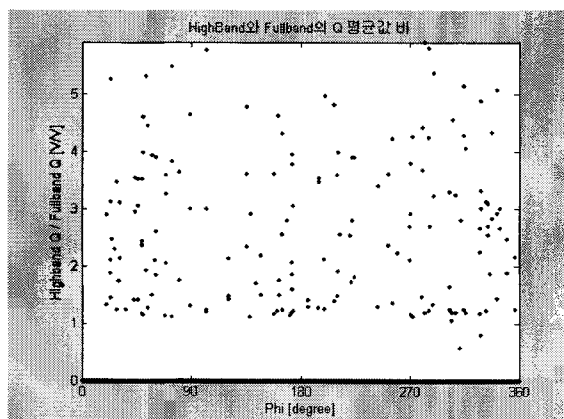
의 거동이 전압에 의존함을 알 수 있다.



(a) 0.1 MPa, 8 kV



(b) 0.2 MPa, 8 kV



(c) 0.3 MPa, 8 kV

그림 3.2.69 가동볼의 부분방전특성

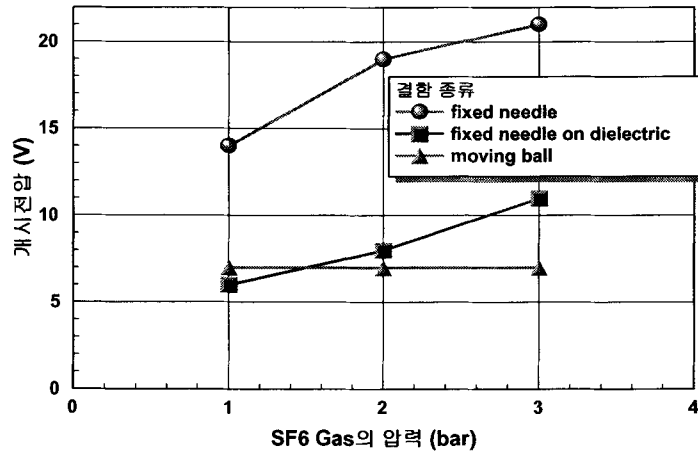


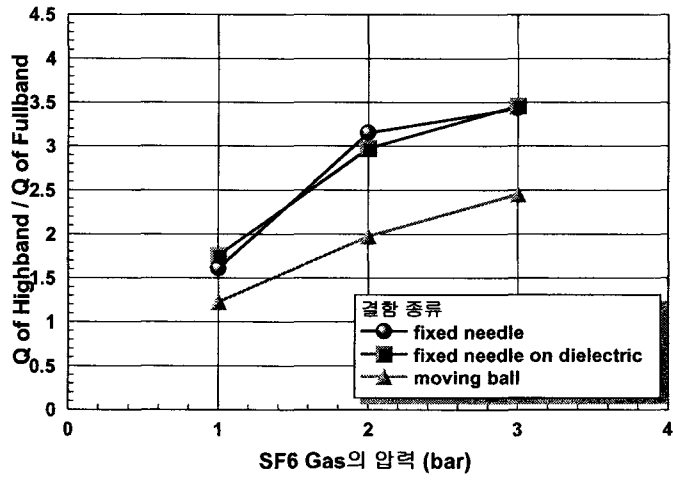
그림 3.2.70 결함별 개시전압

그림 3.2.70은 압력에 따른 결함별 개시전압을 보여준다. 고정침과 절연물표면 고정침의 경우는 압력이 증가함에 따라 개시전압도 증가하는 것을 보이며, 이 때 절연물표면 고정침이 가스중 고정침보다 낮은 개시전압을 보이고 있다. 이는 절연물표면에 축적된 공간전하에 의해 부분방전 개시전압이 낮아진 결과라고 사료된다. 또한 가동볼의 경우는 개시전압의 압력에 대한 의존성이 거의 없음을 알 수 있다. 이는 가동볼을 움직이는 정전력은 전압에 의존하고 압력에는 의존하지 않음을 설명한다.

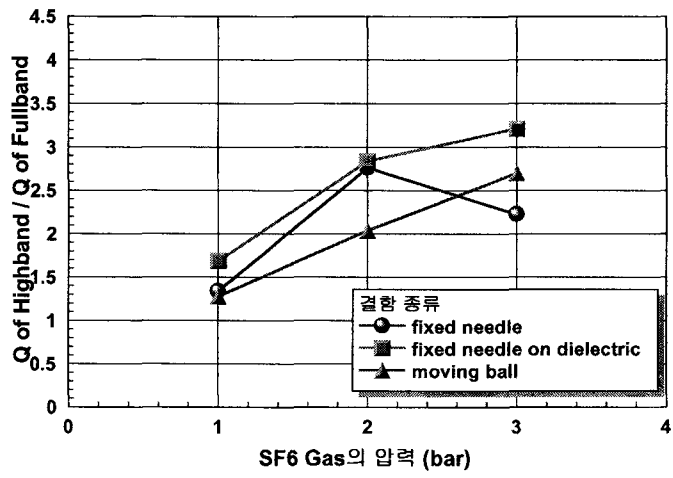
표 3.2.4 각 결함의 평균 HF출력비의 가스압특성

	결함종류	0.1 MPa	0.2 MPa	0.3 MPa
정주기	고정침	1.61	2.59	3.43
	절연침	1.76	2.97	3.67
	가동볼	1.29	1.93	2.57
부주기	고정침	1.34	2.54	2.23
	절연침	1.69	2.84	3.15
	가동볼	1.32	2.00	2.70

표 3.2.4는 각 결함의 평균 HF출력비의 가스압특성을 보여준다. 이를 그래프로 그리면 그림 3.2.71과 같다. 전체적으로 압력이 증가함에 따라 HF 출력비가 증가함을 확인할 수 있다. 이것은 가스압이 증가함으로써 고주파성분이 증가함을 보여준다.



(a) 정주기



(b) 부주기

그림 3.2.71 HF출력비의 압력특성

제 3 절 부분방전 감시 및 진단을 위한 광역네트워크 기술

1. 전체 시스템 구성

GIS, 변압기와 같은 전력기기를 포함하는 모든 산업기기는 광역화, 고속화, 유연성, 접근성 및 저비용의 특성을 지닌 정보통신 기반기술을 접목하여 기존 시장을 유지 내지 확장하기 위해 고부가가치, 고신뢰성, 저물류비를 추구하는 것이 기술 개발의 큰 흐름이 되고 있다. 특히 전력기기의 유지관리는 전기 에너지의 효율적, 안정적 이용이라는 측면에서 제어 자체의 디지털화와 더불어 감시/진단의 원격화 및 범용화를 위해 광역 네트워크로 대표되는 인터넷을 보다 효율적으로 이용해보고자 하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 대부분의 최신 전력기기 감시/진단 장치의 경우 일부 저급의 장비를 제외하고는 이미 PC 기반화되면서 네트워크 어댑터로 통칭되는 네트워킹 인터페이스 모듈을 통하여 네트워크로의 연결이 자연스럽게 일어나고 있으며, 보편화된 정보통신망을 이용함으로써 특정 기기의 경우 제어 및 감시/진단 데이터의 송수신이 실시간에 가깝게 실현되고 있어서 일반 전력기기의 감시/진단 시스템의 원격화 및 지능화가 가속될 전망이다. 이와 같은 흐름은 네트워킹 기술의 친숙함과 더불어 현재 생활 전반에 걸쳐 광범위하게 변화되고 있는 디지털 전자기기의 지식화 추세와 같다고 볼 수 있으며, 이는 결국 전력기기의 감시/진단도 네트워크화 방향으로 진전되어 감시/진단 과정이 시간적 공간적 제약 없이 이루어질 수 있도록 전력기기 원격 감시/진단 분야의 어떤 인프라가 형성되어야 함을 뜻한다. 이 인프라 형성을 위해서는 홈 네트워크와 같이 기존의 거대한 수요처를 통합해주는 범용 네트워크라는 표준의 큰 틀 속에 전력기기 감시/진단 시스템이 어떠한 속성을 가지고 참여할 수 있는가하는 길과 전력기기 감시/진단 시스템 고유의 특성을 잘 표현해 줄 수 있는 방법이 무엇인가 그리고 수요자의 자발적인 참여를 위한 저가의 네트워크 솔루션 즉, 플랫폼을 어떻게 구현할 것인가에 대한 연구가 진행되고 있다. 실수요자가 쉽게 채택할 수 있는 전력기기 감시/진단 전용의 네트워크 플랫폼(IVM: Instrument specific virtual machine)을 개발하기 위해서는 우선적으로 이 플랫폼이 범용성을 가져야 한다. 현재 서로 다른 마이크로프로세서, 서로 다른 운영체제 그리고 서로 다른 네트워크 환경 하에서 사용되며 서로 다른 프레임 속도 및 요구 정밀도를 가지는 수많은 전력기기 감시/진단 시스템에 대한 개별 솔루션은 아무리 가격대성능비가 우수하더라도 결코 최종 솔루션이 될 수 없다. 따라서 이들을 통합할 어떠한 범용 솔루션이 필요하며, 이는 원격 장치(Remote device)의 하드웨어를 재구성하여 극히 제한적인 하드웨어와 펌웨어만 남겨두고 대부분을 원격 감시장치(Remote host)단으로 이동시키고, 원격장치에는 소프트웨어를 다운로드받을 수 있는 공간을 설치하여 원격장치 자체가 지능화 될 수 있는 길을 열어 줌으로서 범용화를 실현할 수 있다. 이를 위해서는 통합된 네트워크 연결기술이 요구되어지므로 네트워크 환경을 개발하기 위해 우선적으로 적절한 컴퓨터 언어가 선정되어야 한다. 임베디드 콘트롤러 시장에서 C/C++과 더불어 양대 축의 하나를 형성하고 있는 자바(Java) 언어는 그 뛰어난 이식성과 유연성 그리고 공개성 때문에 우리나라나 중국과 같은 소프트웨어 후발주자에겐 상당한 혜택과 비전을 제공해 주는 선택이라 할 수 있다. 또한 자바 테크놀로지는 전력기기의 감시/진단 시스템을 네트워크의 일원으로 만들어 주기 위

해, 그리고 전력기기 자체 또는 전력기기에 부착되는 각종 센서 및 제어기기를 네트워크의 일원처럼 사용할 수 있도록 하기 위해 필수적으로 개발되어야 할 가상 네트워크 진단/감시 시스템을 보다 유연하고 컴팩트하게 제작할 수 있는 길을 제시해 줄 수 있다^{[37][38]}.

본 연구에서는 GIS 및 변압기와 같은 전력기기의 온라인 진단을 위해 VM(virtual machine) 기반 모니터링 시스템을 개발하고자 한다. 개발하고자 하는 진단 플랫폼은 전력기기의 부분방전 파형을 측정하고 측정된 부분파형의 결과를 분석하여 전력기기 상태를 온라인 상태에서 인터넷을 통해 실시간으로 모니터링이 가능하도록 설계하였다. 진단 플랫폼의 개념적인 동작 개요를 그림으로 나타내면 그림 3.3.1과 같다.

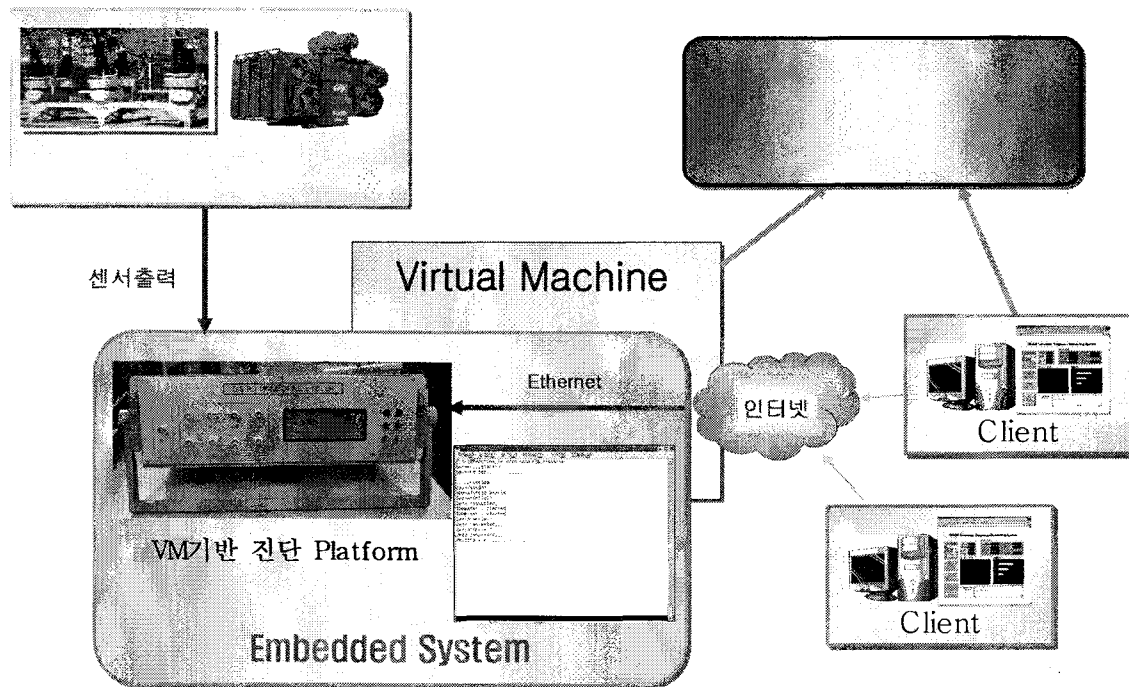


그림 3.3.1. VM기반 진단플랫폼의 동작개요

그림 3.3.1에서 나타낸 바와 같이 VM기반 진단플랫폼은 전력기기의 센서 출력을 입력으로 하여 입력된 신호를 처리하여 전력기기의 상태를 진단한다. 또한, VM을 기반으로 하여 인터넷에 접속되어 있어 전력기기의 상태 진단 결과를 보고자하는 client들에게 진단된 결과를 진단 API를 통해 서비스할 수 있도록 하였다. 1차 연도에서 개발된 1차 시작품은 신호 처리를 위한 신호처리모듈과 인터넷 서비스를 위한 VM 플랫폼 모듈로 구성되어 있다. 1차 연도에서 개발된 시작품에서는 GIS 진단 알고리즘과 변압기 진단 알고리즘에 대한 성능 평가와 VM 모듈 개발을 위한 연구가 병행될 수 있도록 각각의 플랫폼을 개발하여 개발된 모듈을 독립적으로 개발한 후 개발된 모듈을 연계하여 그 전체적인 동작성능을 시험하였다. 개별적으로 개발된 모듈은 향후 진행되는 연구에서 하나의 플랫폼에 적용될 수 있도록 할 계획이다.

전력기기 진단 알고리즘을 적용하기 위한 모듈은 아날로그 입력을 받을 수 있어야 하며 받은 입력에 대하여 신호처리 알고리즘을 적용할 수 있어야 한다. 전력기기 진단에 사용

되는 아날로그 입력 신호는 부분방전 신호를 사용하므로 고속 아날로그 인터페이스가 가능해야 하며 신호처리 또한 고속으로 이루어져야 한다. 이러한 특성을 만족시키기 위해서 신호처리 모듈에 대한 플랫폼은 부동소숫점 연산이 가능한 DSP(Digital Signal Processor)를 기반으로 하여 설계하였다. 웹 서비스 기능을 수행하기 위한 VM 모듈은 java VM의 포팅이 가능한 OS가 지원되어야 하며 또한 TCP/IP 프로토콜 스택 및 ethernet 인터페이스가 용이한 플랫폼이어야 한다. 따라서 본 연구에서는 VM 모듈의 플랫폼은 Linux 지원이 가능하며 현재 PDA(Personal Digital Assistants)에 적용되어 ethernet 인터페이스가 용이한 StrongArm계열의 프로세서인 SA1110을 기반으로 하여 설계하였다. 1차 시작품의 구성도는 그림 3.3.2와 같다.

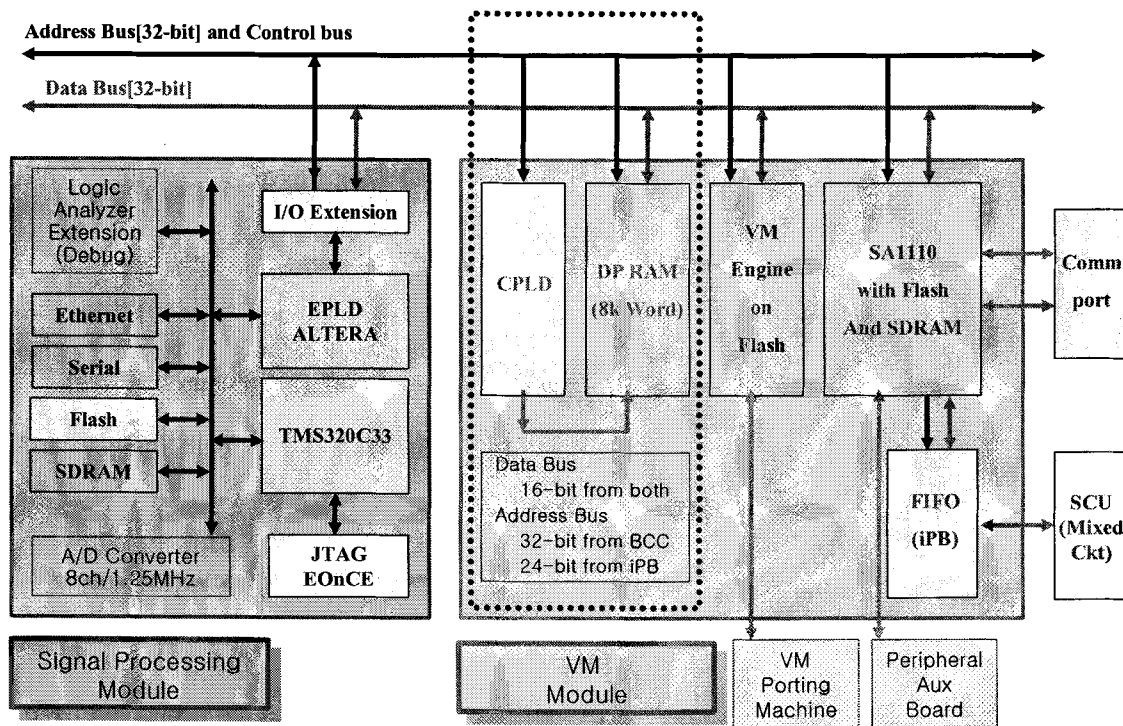


그림 3.3.2. 진단 플랫폼 구성도

그림 3.3.2의 진단 플랫폼 구성도에 나타난 바와 같이 신호처리 모듈은 입력된 신호를 처리하기 위한 아날로그 입력부와 통신을 위한 통신 모듈, 외부 인터페이스를 위한 확장입출력(I/O extension)부, 내부 디바이스 제어를 위한 EPLD부, 고속 신호처리를 위한 DSP(TMS320C33)부, 프로그램 디버깅을 위한 JTAG부로 구성되어 있다. 인터넷 서비스를 위한 VM 모듈은 StrongArm(SA1110) 프로세서를 기반으로 하는 플랫폼과 java interpreter 실행을 위한 VM 엔진부로 구성되어 있다.

신호처리 모듈의 입력부인 아날로그 입력 부분은 전력기로부터 측정된 부분방전 신호의 특성에 맞추어 설계하였다. 진단 플랫폼에 입력되는 부분방전 신호는 안테나로부터 수신된 부분 방전신호를 Peak Detect 모듈을 거친 후의 신호로 크기는 0V ~ 3.0V를 가지며 진폭(Pulse Width)는 20uSec인 신호이므로, 아날로그 입력 부분은 단방향 입력전압 범위(0V ~ 3.6V)와 최대 150kHz의 변환속도를 가지도록 하였다. 부분방전 신호의 위상 측

정을 위해 기준 신호 입력을 TTL 신호로 받을 수 있도록 별도의 입력 채널을 할당 하였다.

그림 3.3.3은 제작된 시작품의 전면부 사진이다. 전면부 구성은 입력신호의 기준을 제시하기 위한 기준신호(reference)입력과 센싱된 PD신호를 읽어 들이기 위한 8개의 입력 등 모두 9개의 아날로그 입력 채널과 시스템 동작을 제어하기 위한 6개의 버튼 입력을 가지고 있으며 시스템의 상태를 표시하기 위한 LCD 패널을 설치하였다.

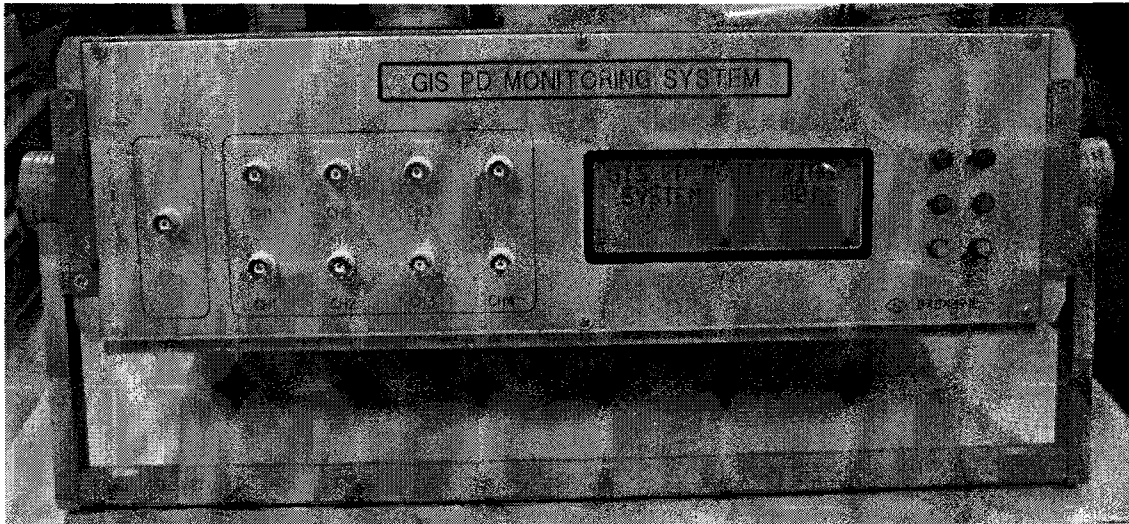


그림 3.3.3. 진단 플랫폼 (전면부)

그림 3.3.4는 진단 플랫폼의 내부 사진이다. 크게 전원부와 신호처리부, A/D 변환부, VM 모듈부로 구성되어 있다. 전원부는 220V 상용 교류전원을 24V 직류 전원으로 변환한 뒤 각각 직류 5V, $\pm 15V$ 로 변환하는 SMPS 모듈로 구성되어 있다. 5V 직류 전원은 신호처리 모듈과 VM 모듈의 전원으로 사용되며 직류 $\pm 15V$ 전원은 아날로그 채널의 전원으로 사용된다. AD 변환부는 전면 패널에 부착되어 있으며 입력 아날로그 신호의 변형을 최소화하기 위하여 아날로그 입력채널에 직결되어 있다. AD 변환 결과는 신호처리 모듈의 버스에 접속되어 디지털 형태의 신호로 신호처리 모듈에 전달되도록 하였다. 신호 처리 모듈은 VM 모듈과 직렬 통신 버스로 연결되어 있다. 신호 처리 모듈에서 입력된 센서 신호를 진단 알고리즘에 적용시켜 진단 상태를 결과로 VM 모듈에 전달하게 된다. 전달된 진단 결과는 VM 모듈에서 인터넷을 이용해 볼 수 있도록 서비스 된다. 제작된 시스템의 전체 사양을 표 3.3.1과 같다.

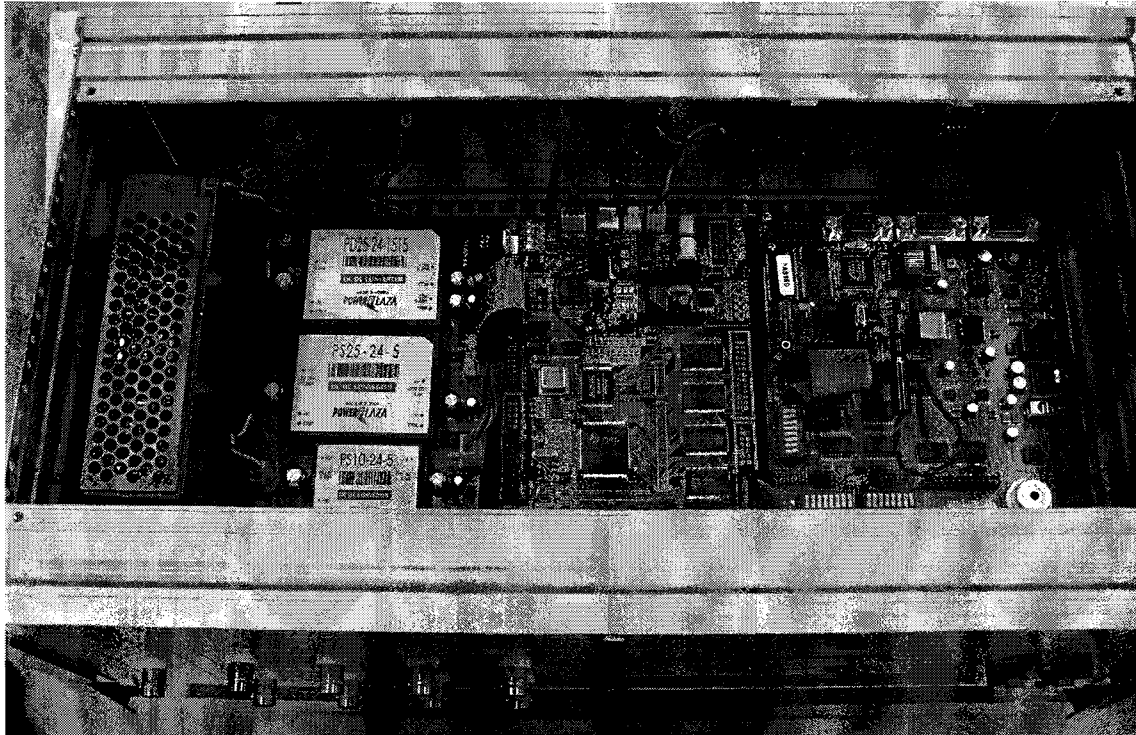


그림 3.3.4. 진단 플랫폼 (내부)

표 3.3.1. 진단 플랫폼 사양

항목		사양
입력 전원		220Vac/60Hz
아날로그 입력	센서 입력	8 채널, 1.25 MS/s, 0V ~ 3.6V
	기준 입력	1 채널, TTL
통신	Ethernet	1 port, 10baseT/100baseT
	Serial	RS-232C 1port, 56000 bps
	Debug	JTAG 1port
User Interface	출력	16 × 4 LCD
	입력	2 × 3 key-in
Case		19inch rack
Virtual Machine	java IVM	java ME 1.2, 2Mbytes
	OS	Linux Kernel Ver 2.4
	processor	StrongArm SA1110
	protocol	TCP/IP

2. 진단용 JVM 모듈

가. 자바 가상 머신(Java Virtual Machine)

자바가상머신을 기반으로 하는 자바 플랫폼은 고도의 상호작용성과 역동성, 안전성을 갖춘 애플릿과 애플리케이션들을 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에서 사용할 수 있도록 하는 새로운 소프트웨어 플랫폼이다. 자바 플랫폼은 기존 플랫폼의 최상부에 위치하여 바이트코드를 실행하는 데, 이 코드들은 특정 기기에 종속되지 않는 가상 기기를 위한 명령어이다. 자바로 작성된 프로그램들은 자바 플랫폼이 존재하는 모든 장소에서, 그리고 모든 운영체제하에서 동작될 수 있도록 바이트코드 파일로 컴파일된다. 즉, 동일한 파일은 자바 플랫폼을 운영하는 모든 운영체제상에서 실행된다. 이러한 이식성은 자바 플랫폼의 핵심에 자바가상머신이 있기 때문에 가능하다.

자바 언어 개발 환경은 그림 3.3.5와 같이 컴파일 타임과 런타임 환경을 동시에 가지고 있다. 자바 플랫폼은 런타임 환경에 의해 표현된다. 개발자들은 자바 언어 소스 코드(.java 파일)를 작성하고 그것을 바이트코드(.class 파일)로 컴파일해야 한다. 이러한 바이트코드는 자바가상머신에 대한 명령어가 된다^[39].

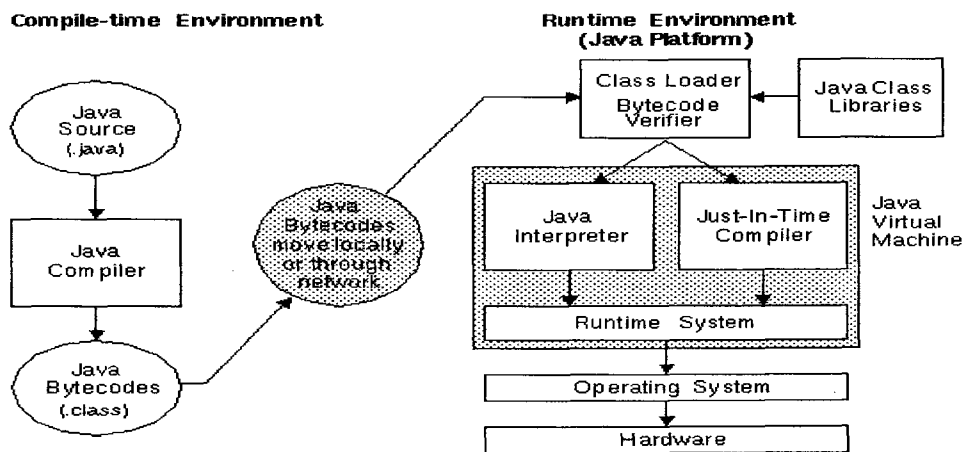


그림 3.3.5. 자바 플랫폼의 구성도

각각의 기반 플랫폼들이 자체적으로 자바가상머신을 갖추고 있지만, 자바가상머신의 사양은 하나밖에 없다. 따라서 자바 플랫폼은 모든 하드웨어의 애플릿과 애플리케이션에 대해 표준적이고 통일된 프로그래밍 인터페이스를 제공할 수 있다. 결과적으로 자바 플랫폼은 하나의 프로그램을 전 세계에 있는 모든 컴퓨터에서 사용할 수 있어야 하는 인터넷에 적합하다. 자바 플랫폼 및 개발 환경에 대한 자세한 사항은 자바소프트의 웹 사이트(<http://www.java.sun.com>)의 □□개발자 코너□□를 참조한다.

계측기 OS와 결합하기 위해 자바가상머신 분야에서 선행 연구가 필요하거나 검토되어야 할 사항들은 다음과 같다.

- ① 소형 자바가상머신으로는 PVM의 사양을 사용하되, CLDC(Connected Limited

- Device Configuration)를 위해 KVM의 RI(Reference Implementation)를 참조.
- ② 계측기의 하드웨어를 고려하여 자바가상기계의 configuration과 porting을 위해서 고려되어야 할 프로세서와 메모리와 관련된 system API set를 검토.
 - ③ 계측기 네트워크와의 연동을 위한 자바가상머신 인터페이스의 연구
 - ④ 계측기 OS와 자바가상머신과의 결합에 대한 검토
 - ⑤ 자바가상머신의 Configuration을 OS 레벨에서의 설정 검토
 - ⑥ 계측기 OS용 자바가상머신 구현

나. 플랫폼 하드웨어 개발

플랫폼 하드웨어는 스트롱암 기반의 테스트 베드를 사용하였다. 그림 3.3.6은 플랫폼 개발 시 사용된 시스템을 보여 주고 있다.

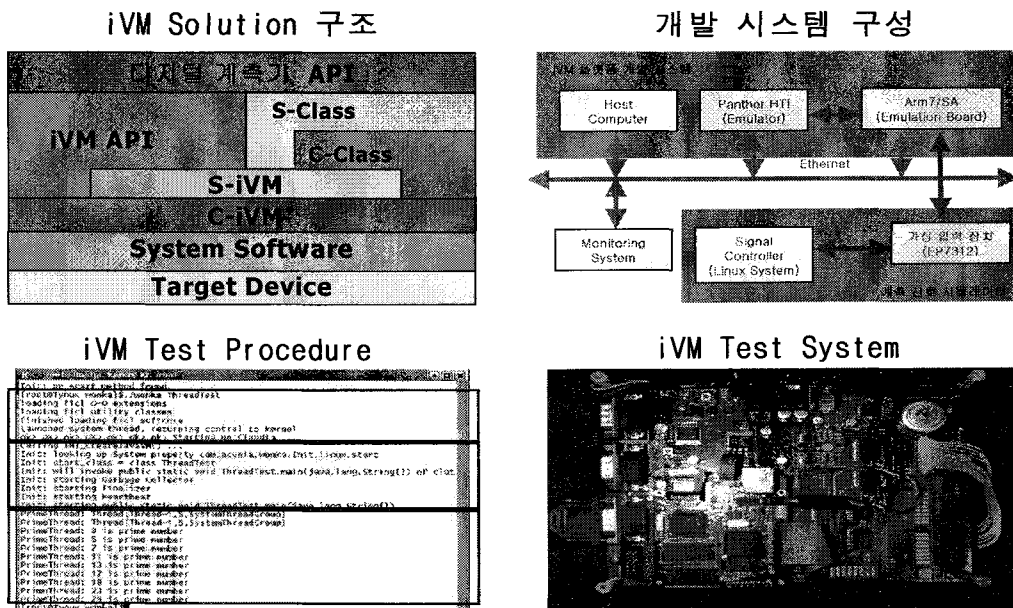


그림 3.3.6. 플랫폼 개발 시스템 구성도

플랫폼 보드의 형태는 3U정도 사이즈인 Single Board Computer(SBC) 형태로 통신부를 통해 확장이 용이하게 설계하였으며, 주요 사양은 아래와 같다.

<메인보드 규격:>

- Intel XScale 204 CPU 200MHz 이상
- Flash Memory: 64MB
- SDRAM: 64MB
- 32bit data bus
- Serial I/O: 2 RS232 ports
- Digital: 24 I/O lines through DIN: 8 DIO, 16 GPIO
- Analog: 4 GP inputs, 1 stereo audio

- Display: 24x80 Char LCD with outside supporter
- Power: 5.0DCV, 1A Peak Power
- Dimension: 3U Class
- Ethernet : 10BaseT / 100BaseT
- JTAG port 1
- USB port 1

다. 계측기 OS용 네트워크 컨피규레이션 개발

계측기 OS나 계측기 플랫폼에서 사용되는 자바가상머신은 계측기 장비의 제약을 받기 때문에 소형이어야 하며, 계측기용 애플리케이션의 프로그래밍 프로세스는 단순해야 한다. 그리고 계측 대상이 되는 장비는 아주 다양하기 때문에, 계측 대상의 컨트롤러 주변 장치들 어렵지 않게 접근할 수 있도록 인터페이스를 제공해야 한다. 또한 컨트롤러 주변 장치 인터페이스를 기반으로 일반적인 인터페이스를 포함할 수 있는 공용 컨피규레이션이 제공되어야 한다^[39].

그림 3.3.7은 계측기 OS를 위해서 필요한 자바 플랫폼 기반 공용 자바 컨피규레이션의 구성요소를 나타내고 있다. 계측용으로 사용되는 공용 자바 컨피규레이션을 위해서 코어 API를 필요로 하는데, 코어 API는 기본적으로 모든 자바 플랫폼에서 이용 가능한 형태로 구성되어야 하기 때문에 자바의 사양을 충실히 따를 수 있어야 한다. 그리고 디지털 계측용 자바 플랫폼을 위한 디지털 계측 컨피규레이션이 포함될 수 있다. 따라서 디지털 계측기용 공용 컨피규레이션은 다음과 같이 두 가지 요소를 지녀야 한다^[38].

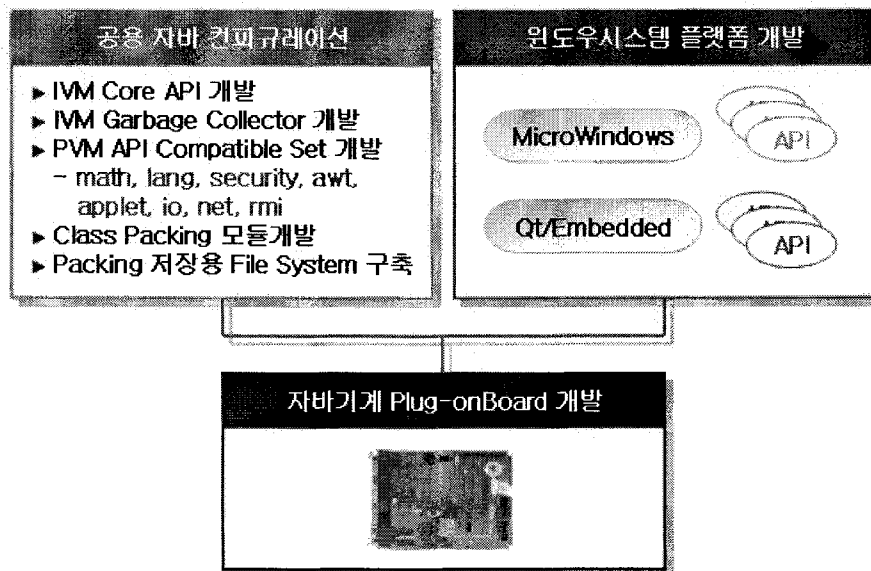


그림 3.3.7. 계측기 OS용 자바 플랫폼 구성 요소

- 표준 자바 Core API : 자바 플랫폼의 표준 스펙을 준수해야 한다.
- 디지털 계측용 자바 Core API : 디지털 계측을 위해 기본적으로 필요한 API 로 구성

될 수 있으며, 자바 스펙을 준수해야 한다.

그림 3.3.8은 표준자바 Core API와 디지털 계측기용 자바 Core API의 소프트웨어적인 아키텍처를 나타내고 있다^{[38][39]}.

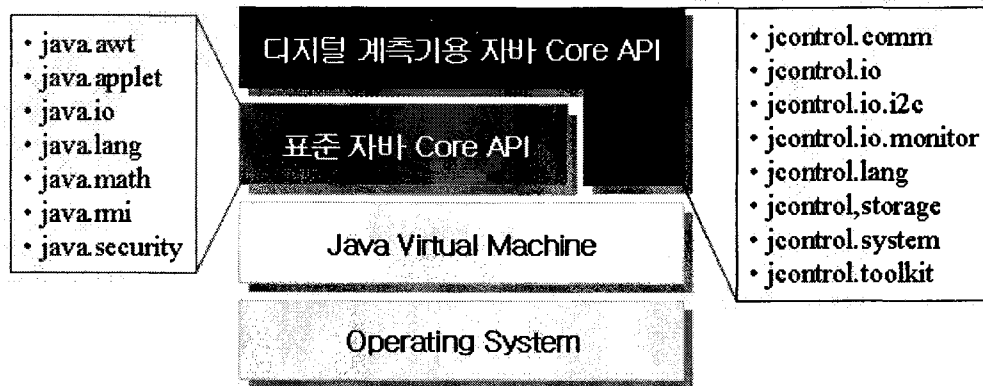


그림 3.3.8. 표준 자바와 디지털 계측기용 Core API 소프트웨어 아키텍

(1) 표준 자바 Core API

자바 플랫폼에서 가장 기본적으로 제공해야 할 패키지로서, 모든 자바 프로그램의 근간이 된다. 가장 중요한 클래스는 실행시 클래스의 인스턴스, 클래스, 그리고 클래스의 계층 구조의 루트는 Object 클래스이다. 이러한 Object 클래스와 더불어 Integer, String, System, Thread, Throwable와 같은 클래스들이 포함되며, 객체 배열을 표현할 수 있는 vector 클래스도 자바 패키지에 존재한다.

• java.awt

사용자 인터페이스의 작성 및 그래픽과 이미지의 페인트용의 모든 클래스를 포함한다. 사용자 인터페이스 오브젝트는, AWT 용어로서 컴퍼넌트라고 한다. Component 클래스는 모든 AWT 컴퍼넌트의 루트이다. 일부 컴포넌트는 사용자가 컴포넌트와 상호 작용할 때 이벤트가 발생한다.

• java.applet

애플릿의 작성, 및 애플릿과 애플릿 문맥과의 통신에 사용하는 클래스의 작성에 필요한 클래스를 제공한다. 애플릿 프레임워크는 애플릿과 애플릿이라는 두개의 엔티티를 포함한다. 애플릿은 몇 개의 extra method를 가지는 임베디드 윈도우로서, 애플릿 문맥이 애플릿을 초기화, 기동 및 정지하기 위해서 사용할 있다. 애플릿 문맥은 애플릿의 로드와 실행을 하는 애플리케이션이다.

• java.io

데이터 스트림, 직렬화, 및 파일 시스템을 통한 시스템 입출력을 제공한다.

- java.lang

Java 프로그램 언어의 설계에 대한 기본적인 클래스를 제공한다. 가장 중요한 클래스는 클래스 계층 루트 객체와 실행시의 클래스를 나타내는 인스턴스 클래스이다. 객체와 같은 프리미티브 타입의 값을 나타내는데 필요하며, Boolean, Character, Integer, Long, Float 및 Double과 같은 래퍼 클래스(wrapper class)들이 이 목적으로 사용된다.

- java.math

임의 정밀도의 정수 연산 (BigInteger), 및 임의 정밀도의 10 진수 연산 (BigDecimal)을 실행하기 위한 클래스를 제공한다.

- java.net

네트워크 어플리케이션을 구현 하기 위한 클래스를 제공한다. 소켓 클래스를 사용해서 인터넷의 서버와의 통신이 가능하게 해준다. 다수의 클래스들은 인터넷상의 데이터를 취득 하기 위해서 URL 사용을 쉽게 하도록 한다.

- java.rmi

RMI (Remote Method Invocation)의 패키지를 제공합니다. RMI 는 Java Virtual Machine 에 있는 오브젝트로부터, 다른 Java Virtual Machine 에 있는 오브젝트의 메소드를 호출할 수 있도록(듯이) 한다.

- java.security

보안 프레임워크에 대한 클래스와 인터페이스를 제공한다. 쉽게 설정하고, 좋은 접근 제어 보안 아키텍처를 구현하는 클래스들을 포함하고 있다.

- java.util

이 패키지에는 컬렉션 프레임워크, 레거시 컬렉션 클래스(legacy collection class), 이벤트 모델, 날짜와 시간등과 같은 다양한 유틸리티 클래스가 포함되어 있다.

Package	Description
java.awt	사용자 인터페이스를 작성하는 기능 제공
java.applet	애플릿을 위한 기본적인 기능 제공
java.io	기본적인 입출력 기능 제공
java.lang	자바 프로그램의 기본 요소들을 제공
java.math	간단한 수학적 연산을 위한 기능 제공
java.net	네트워크를 위한 기능 제공
java.rmi	원격 메소드 호출을 위한 기능 제공
java.security	보안 기능 제공
java.util	벡터와 해쉬 테이블을 위한 기능 제공

(2) 계측기 OS용 컨피규레이션

낮은 프로세싱 능력과 적은 메모리를 가진 시스템에서 소형이면서 컴팩트한 임베디드 자바 솔루션을 제공한다. 이것은 다양한 I/O나 필드버스와 같은 계측이나 제어에 있어서 자바 프로그래밍 언어의 이점을 가질 수 있는 애플리케이션을 작성할 수 있도록 한다.

공용 컨피규레이션 패키지는 다음과 같이 구성되어 있다.

- 통신

컨피규레이션의 복합적인 통신기능을 제공하며, 하드웨어 포트 RS232 포트를 선택 및 연결하고 RS232 통신을 지원하고 있다. 또한 FT1.2 프로토콜과 ConsoleOutputStream도 지원한다.

- I/O와 주변기기의 제어

계측을 위한 시스템의 사용가능한 기본적인 입/출력과 주변기기를 제어한다. 아날로그를 디지털로 변환하는 변환기, 플래쉬 메모리, 포트핀, 펄스폭 등 하드웨어적인 제어를 제공한다.

- 저장 시스템

계측기 플랫폼의 데이터 저장 공간의 제어와 관리를 제공한다. 플래쉬 메모리 데이터를 읽기/쓰기, 스트림의 열고/닫기 등과 같은 기능을 위한 메모리 저장 시스템을 지원하고 있다.

- Configuration의 코어와 확장

계측 시스템으로의 새로운 자바 클래스 다운로드를 관리하고 에러를 처리한다. 그리고 시스템 관리 함수, 실시간 클럭(RTC)를 제어하고 날짜와 시간에 대한 사항들도 제공한다.

Package	Description
comm	복합체 통신 기능을 제공한다.
io	기본적인 I/O 와 주변기기 제어를 위한 클래스들을 제공한다.
io.i2c	특정 I2C 과 Smbus 디바이스를 접근하기 위한 클래스를 제공한다.
io.monitor	PC 마더보드 모니터링을 위한 클래스를 제공한다.
lang	자바 프로그래밍 언어의 설계에 있어 기초가 되는 대체 클래스를 제공한다.
storage	상이한 메모리 저장 시스템의 지원을 제공한다.
system	코어 클래스와 자바 확장을 제공한다.
toolkit	프로그래머를 위한 다양한 유틸리티

라. iVM Loader 개발

개발하고자 하는 최종 플랫폼의 주 운영체제를 임베디드 리눅스로 선정하였기 때문에 Loader를 포함한 VM 포팅에 필요한 모든 소프트웨어는 임베디드 리눅스 환경하에서 구축되는 것이 바람직하다. 이러한 방향이 당장은 시간과 경비가 많이 드는 작업이나 1단계 완료나 2단계에서도 계속하여 리눅스 환경을 적용해야만 하므로 단계 목표 달성에는 유리하다고 볼 수 있다.

iVM을 플랫폼에 순조롭게 로딩하기 위해 운영체제의 일부를 수정하여야 하는데 이는 다음과 같은 Linux Kernel 재구성을 통해 수행된다. 먼저 Embedded RT-Linux를 기반으로 안정화된 Kernel과 Device Driver를 Hardware 규격에 최적화시켜 개발하였고, 이를 바탕으로 네트워크 스택과 어플리케이션을 개발하였다. Kernel은 MontaVista사의 Hard-Hat Linux Version 1.2를 사용하였으며, 최근 Kernel 2.4로 릴리즈된 Ver 2.0은 호환성과 안정성을 확인한 후에 적용을 결정하였다. 참고로 Hard-Hat Linux O/S는 아래와 같은 기능을 지원한다.

- ▷ Over 200 software packages and 75+ LSPs
- ▷ 5 target CPU families
- ▷ Target Configuration Tool
- ▷ File System Populator
- ▷ Library Optimizer Tool
- ▷ Hardware Kernel Debug Support
- ▷ Standard Java support across all CPU families
- ▷ Enhanced Flash support and JFFS file system
- ▷ ATM, wireless, and other communications protocols
- ▷ Power Management
- ▷ Squashed GTK & eQT
- ▷ Pre-emptible RT-Kernel
- ▷ New Linux and VMware development hosts
- ▷ Professional and Journeyman Editions product structure

iVM Loader는 VM을 서로 다른 플랫폼에 순조롭게 탑재시키기 위해 만들어 졌지만, 다음과 같은 모듈을 포함하고 있기 때문에 플랫폼에 탑재하기 전에 동작 테스트를 할 수 있다.

- ▷ iVM/Loader
 - dynamic linker module
 - primordial loader
 - instance loader
 - class lookup module

- ROMizing package
- ▷ iVM/Engine
 - byte code interpreter
 - profiler
 - class initializer
 - dynamic scheduler
 - dynamic stack handler
 - dynamic garbage canceler
- ▷ iVM/EE
 - runtime data area
 - java stack
 - heap manipulation module
 - method area
 - native stack
 - context switcher
 - channel switch
 - c-code stack
 - JNI module

그림 3.3.9는 VM의 구조와 플랫폼 상에서의 VM의 위치를 나타낸다. VM은 OS입장에서 하나의 응용 프로그램이고 이 응용 프로그램이 또 다른 응용 프로그램을 수용하는 형태로 플랫폼 상에 존재하며, VM을 포팅하는 과정에서 하드웨어(엄밀하게는 프로세서)의 상당 부분을 추상화함으로써 VM을 통해 하드웨어 독립성을 구현할 수 있다.

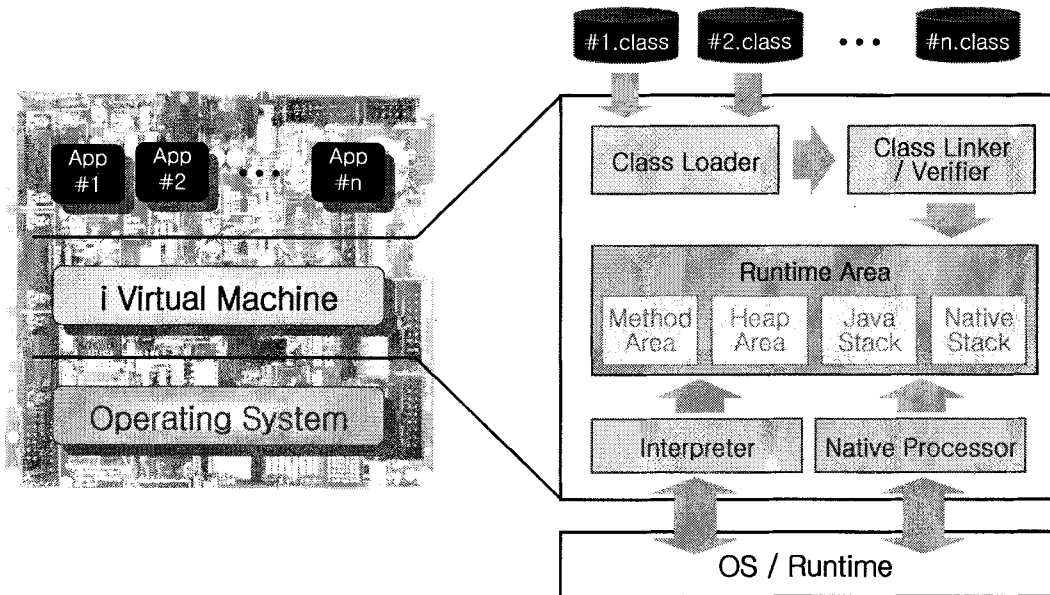


그림 3.3.9. VM 구성도

그림 3.3.10은 VM의 동작 테스트 과정을 보여 주고 있다.

IVM 포팅 테스트 시스템

그림 3.3.10. VM 동작 테스트 과정

마. iVM 구조

iVM의 소프트웨어적인 구조 자체는 그림 3.3.11과 같이 기존의 Virtual Machine과 동일하나, 각 모듈의 내용면에서 조금 다르다.

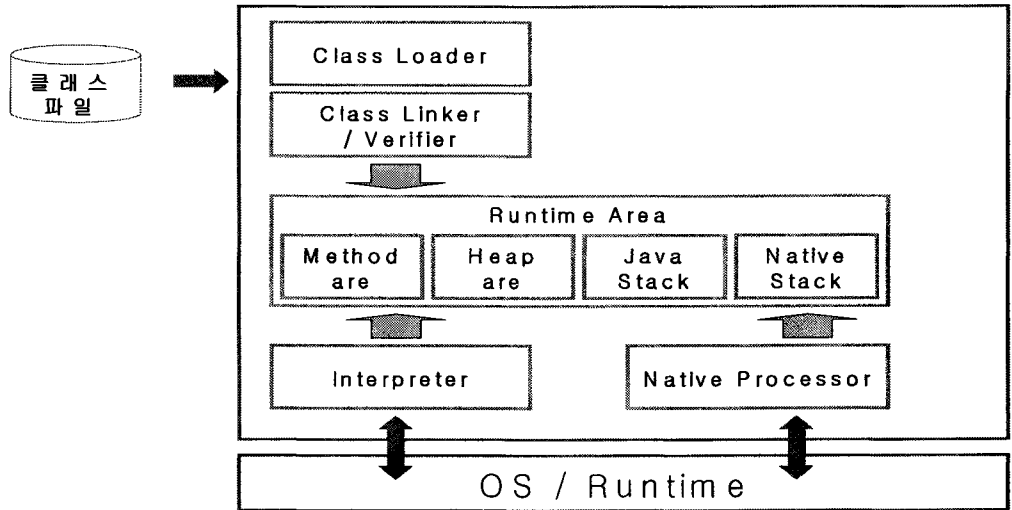


그림 3.3.11. Virtual Machine의 구조

(1) iVM 세부시스템별 개발 내역

IVM Kernel	Size 2164 KB Source 20101 lines
-------------------	------------------------------------

.....

Memory Allocation Support Functions Module	Size 792 KB Source 4526 lines
---	----------------------------------

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
gcFuncs.c	Methods to implement gc-related activities of objects and classes	594	74
gcRefs.c	Maintain set of references in the garbage collector root set	187	56
methodCache.c	A faster way to find a translated method given a pc	231	54
stackTrace.c	Handle stack trace for the interpreter or translator	187	62
string.c	Manage strings	486	67
utf8const.c	Handle UTF-8 constant strings. These are intern'ed into a hash table	411	68
...

(가) Class Loader/Linker 모듈(559 KB)

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
baseClasses.c	Handle base classes	301	76
classMethod.c	Dictionary of classes, methods and fields	2407	109
classPool.c	Methods dealing with the class entry pool	380	67
findInJar.c	Search the CLASSPATH for the given class or property name	519	72
inflate.c	JAR inflater	835	53
itypes.c	Internal types	215	51
jar.c	Handle JAR input files	343	70
readClass.c	Read in a new class	198	61

(나) Class File Verifier 모듈(210 KB)

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
code.c	Process a new code attribute	148	57
code-analyse.c	Analyse a method's bytcodes	2120	107
verify.c	Perform stages 2 & 3 of class verification	138	46

(다) Native Processor 모듈(216 KB)

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
jni.c (inline asm포함)	Java Native Interface	4403	216

(라) Interpreter 모듈(387 KB)

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
exception.c	Handle exceptions for the interpreter or translator	628	71
external.c	Handle method calls to other languages	387	66
fp.c	Floating point routines	248	46
hashtab.c	"Intern" hash table library	267	40
soft.c	Soft instruction support	1001	83
support.c	Native language support (excluding string routines)	1037	81

(마) iVM supporting modules

- Heap Management/Garbage Collection 모듈

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
gc.c	The garbage collector	34	87
object.c	Handle create and subsequent garbage collection of objects	181	60

- Monitor Support 모듈

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
locks.c	Manage locking system	522	71

- Thread Support 모듈

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
thread.c	Thread support	618	74

- Debug Support 모듈

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
debug.c	A dynamic debugging framework for Kaffe	364	39
stats.c	stats reports support	293	47

- Memory Allocation Support Functions 모듈

파일명	기능	소스라인(줄)	모듈크기(KB)
gcFuncs.c	Methods to implement gc-related activities of objects and classes	594	74
gcRefs.c	Maintain set of references in the garbage collector root set	187	56
methodCache.c	A faster way to find a translated method given a pc	231	54
stackTrace.c	Handle stack trace for the interpreter or translator	187	62
string.c	Manage strings	486	67
utf8const.c	Handle UTF-8 constant strings. These are intern'ed into a hash table	411	68
sha.c	Start up VM module	418	33

(2) iVM에 사용되는 각종 알고리즘

(가) Check class 알고리즘

Verifyclass 에서는 methodblock, fieldblock 구조와 cp_item_type union을 사용한다. 현재 이 부분은 사실상 호출되지 않으며 verify 옵션을 주었을 경우 실행되는 부분이다.

Ex) pjava verify bootclasspath . HelloWorld

처음으로는 constant_pool 에 대한 검증을 시작한다. onstant_pool 검증은 위해 Constant_pool 개수(29)를 구하며, utf8_resolved 값(129)을 구한다.

이 검증 2단계를 거친다.

◆ 1단계 : 타입이 올바른지 검증.

저장된 Constant_pool의 type(10) 값을 가져온뒤 Constant_pool의 인덱스 값을 가져온다. 가져온 인덱스 값이 Constant_pool의 범위(개수)에 벗어나는지 확인한다.

◆ 2단계 :

constant_class, constant_fieldref, constant_methodref, constant_interfacemethod ref, 에

대한 각각의 name_and_type의 index값과 해당되는 name, descriptor값을 확인하여 올바른 형태로 되어있는지 검증한다.

constant_pool 검증이 끝나면 is_legal_fieldname를 통해 <init>인지 확인한 뒤 is_legal_method_signature를 통해 우선 메소드가 '('로 시작하는지 확인한다. Signature '(' 다음부터는 skip_over_field_signature를 호출한다. skip_over_field_signature에서는 () 내에 있는 부분을 skip_over_fieldname를 통해 skip한다.

Ex) Ljava/lang/string;)V 는 skip_over_fieldname를 통해;)V 값을 반환한다.

결국 skip_over_field_signature를 통해 ')' 전까지의 모든 부분을 검증한 뒤 제거하여) 이 후부분만 가져온다. ')V' 그 후 ')' 다음 값을 가져온 뒤 다시 제거한 뒤 마지막 값이 '/0'로 끝나는지 확인한다.

그리고 마지막으로 code에 대한 검증을 하기 위해 check_code.c 내에 있는 check_codes() 함수를 호출한다.

(나) Classloader 알고리즘

HelloWorld 로딩과정

① ClassClass * FindClass(struct execenv *ee, char *name, bool_t resolve)

⇒ name: HelloWorld

resolve: 1

② FindClassFromClass(struct execenv *ee, char *name, bool_t resolve, ClassClass *from)

③ FindClassFromClassLoader(struct execenv *ee, char *name, bool_t resolve,

struct Hjava_lang_ClassLoader *loader,

bool_t throwError, bool_t fromClass_trusted)

⇒ 여기서 찾고자 하는 클래스가 배열인 경우를 체크

Locked_FindArrayClassFromClassLoader()

메소드 호출(X)

④ FindLoadedClass(char *name, struct Hjava_lang_ClassLoader *loader)

⇒ 현재 로마이징 되어서 로딩되어 있는 1444개의 ClassClass형의 배열에

서 HelloWorld라는 이름의 클래스를 찾음 (찾지못함)

⑤ LoadClassLocally(char *name)

⇒ 클래스를 찾기 위해 sysGetBootClassPath()를 통한 클래스패스를 가져옴

⑥ 클래스패스의 타입이 CPE_DIR인가? CPE_ZIP?인지를 체크

case CPE_DIR: LoadClassFromFile(sysNativePath(path), cpe->u.dir, name)

case CPE_ZIP: LoadClassFromZip(path, cpe->u.zip, name)

⑦

CPE_DIR(클래스패스가 디렉토리인 경우)	CPE_ZIP(클래스패스가 디렉토리인 경우)
LoadClassFromFile() OpenCode(): 클래스파일에 대한 file포인터 리턴 sysRead(): 바이트코드를 읽어옴 allocClassClass() : 클래스파일 저장용 class createInternalClass() : Class형 자료구조를 위한 메모리할당	LoadClassFromZip() zip_stat() bsearch() : zip파일의 압축을 해제한 후 생성된 배열에서 class파일을 찾는다. zip_get() : 찾은 클래스파일을 가져 옴 allocClassClass(): createInternalClass() :

⑧ createInternalClass()메소드에서 createInternalClass1()호출

⑨ createInternalClass1()는 클래스를 메소드영역(Method_Area)의 내부자료구조를 생성하기 전에 measureAndVerifyClass()우선 클래스파일에 대한 검증을 실시한다. (classloader_main.doc참조)

⑩ createInternalClass0()는 메소드영역의 내부자료구조를 나타내는 Classjava_lang_Class형의 자료구조에 클래스파일을 파싱하면서 필드들을 채운다. (classloader_main.doc참조)

⑪ createInternalClass0()는 클래스파일을 파싱하면서 skip4bytes_quick(), get2bytes(), getAsciz (), getAscizFromclass(), InitializeStaticVar (), ReadInCode(), ReadExceptions(), Signature2ArgsSize ()메소드를 호출한다. (classloader_main.doc참조, classloader_fn.doc참조)

(다) Interpreting Algorithm

■ 자바 가상 기계 명령어 분석

바이트코드 명령어는 수행 동작을 구별하기 위한 한 바이트 크기의 연산코드(opcode)부분과 수행에 필요한 값을 정의하는 피연산자(operand)부분으로 구성된다. 대부분의 자바 가상 기계는 각 명령어들이 필요로 하는 피연산자를 스택으로부터 가져오고 또한 결과 값을 스택에 저장한다.

다음은 자바 가상 기계 명령어를 기능별로 분류한 것이다.

① 로드(load) 및 저장 명령어들

지역 변수에서 스택으로 값을 읽어오거나 스택에 저장된 값을 지역 변수에 저장하기 위해 사용하는 명령어들이다. 로드의 경우에는 명령어의 피연산자 부분이 가리키는 지역 변수가 각 명령어에 적합한 형의 데이터를 저장하고 있어야 하고, 저장의 경우에는 스택에 각 명령어에 적합한 형의 데이터가 저장되어 있어야 한다.

명령어	피연산자	실행 전 스택	실행 후 스택
iload_n	n:byte형		해당 형에 해당하는 값
lload_n			
fload_n			
dload_n			
aload_n			
istore_n	n:byte형	해당 형에 해당하는 값	
lstore_n			
fstore_n			
dstore_n			
astore_n			

▶ iload_n의 알고리즘

- i. 지역 변수_n의 내용을 스택에 넣는다.
- ii. 프로그램 카운터를 증가시킨다.
- iii. 스택포인터를 증가시킨다.

▶ istore_n의 알고리즘

- i. 스택 top의 내용을 지역변수_n에 저장한다.
- ii. 프로그램 카운터를 증가시킨다.
- iii. 스택 포인터를 감소시킨다.

② 산술 연산 명령어들

오퍼랜드 스택으로부터 각 산술 연산 명령어에 적합한 개수의 자료형 값을 꺼내서 산술 연산한 결과 값을 다시 오퍼랜드 스택에 넣는 명령어들이다.

명령어	피연산자	실행 전 스택	실행 후 스택
iadd	없음	해당 산술 연산 명령 수행에 필요한 자료형의 값들	산술 연산 결과 값
isub			
imul			
idiv			
irem			
ineg			
fadd			
fsub			
fmul			
fdiv			
frem			
ladd			
lsub			
lmul			
ldiv			
lrem			
lneg			
dadd			
dsub			
dmul			
ddiv			
drem			
iinc			
wide			

▶ iadd의 알고리즘

- i. 각 형에 대한 산술연산자에 따라 연산에 필요한 개수만큼 스택으로부터 피연산자를 꺼낸다.
- ii. 연산 후 그 결과 값을 다시 스택에 넣고, 프로그램 카운터를 증가시키고, 스택포인터를 감소시킨다.

③ 자료형 전환 연산 명령어들

오퍼랜드 스택으로부터 명령어에 적합한 자료형의 값을 꺼내어서 다른 자료형의 값으로 변환하여 그 결과 값을 다시 오퍼랜드 스택에 넣는 명령어들이다.

명령어	피연산자	실행 전 스택	실행 후 스택
i2l	없음	해당 자료형 전환 연산 명령 수행에 필요한 자료형의 값들	전환 연산 결과 값
i2f			
i2d			
l2i			
l2f			
l2d			
l2i			
l2f			
l2d			
f2i			
f2l			
f2d			
d2i			
d2l			
d2f			
i2b			
i2c			
i2s			

▶ i2f의 알고리즘

- i. 자료형 변환 연산에 따라 필요한 피연산자 개수만큼 스택으로부터 꺼낸다.
- ii. 연산을 수행 후 그 결과 값을 다시 스택에 넣는다. 단, 광역화 혹은 협소화 형변환에 따라 스택 포인터의 변화가 이루어진다.

④ 제어 이동 명령어들

명령어	피연산자	실행 전 스택	실행 후 스택
ifeq	offset값	int형 값	
ifne			
iflt			
ifle			
ifgt			
ifge			
if_icmpeq	offset값	int형 값	
if_icmpne			
if_icmplt			
if_icmple			
if_icmpgt			
if_icmpge			
lcmp	없음	제어 이동 연산에 필요한 자료형의 값	비교 연산 결과 값
fcmpl			
fcmpg			
dcmpl			
dcmpg			
goto	offset값		
goto_w			

오퍼랜드 스택으로부터 각 명령어에 적합한 개수의 자료형 값들을 꺼내고 이 값들의 연산 결과에 따라 피연산자의 값을 이용해서 분기할 곳의 주소를 계산하여 제어의 흐름을

이동시키는 명령어들이다.

명령어	피연산자	실행 전 스택	실행 후 스택
ifeq	offset값	int형 값	
ifne			
iflt			
ifle			
ifgt			
ifge			
if_icmpeq	offset값	int형 값	
if_icmpne			
if_icmplt			
if_icmple			
if_icmpgt			
if_icmpge			
lcmp	없음	제어 이동 연산에 필요한 자료형의 값	비교 연산 결과 값
fcmpl			
fcmpg			
dcmpl			
dcmpg			
goto	offset값		
goto_w			

▶ fcmpl의 알고리즘

- i. 스택으로부터 두개의 피연산자 값을 꺼내어서 서로 비교하여 두 값이 같으면 0를 스택에 넣고, 1이 r보다 크면 1을 스택에 넣고, 반대이면 1을 스택에 넣는다.
- ii. 프로그램 카운터를 증가시키고, 스택 포인터를 감소시킨다.

⑤ 메소드 호출 및 리턴 명령어들

명령어	피연산자	실행 전 스택	실행 후 스택
invokespecial	constant pool index값	객체에대한 참조 및 매개 변수들	
invokevirtual			
invokestatic			
invokeinterface			
ireturn			
lreturn	리턴 값		
freturn			
dreturn			
areturn			
return			

메소드나 생성자(constructor)를 호출하는 데 사용되는 명령어들이다. 오퍼랜드 스택에 객체에 대한 참조 및 매개 변수 등이 저장되어 있어야 하고, 각 명령어에 대해 주어진 피연산자를 이용하여 명시된 메소드나 생성자를 가리키는 포인터를 찾게 된다.

▶ invokevirtual의 알고리즘

- i. 피연산자로 주어진 값을 조합하여 constant pool index를 구하고, index에 명시된

constant pool entry가 CONSTANT_Methodref_info인지를 검사한다. 이를 사용하여 constant pool resolution을 수행한다.

ii. resolution이 성공적으로 이루어지면, 스택으로부터 객체에 대한 참조와 매개변수를 꺼낸다.

iii. 자바 스택에 스택 프레임을 추가한다.

스택 프레임의 자료 구조에 값을 채운다.

iv. 자바 메소드를 실행한다.

⑥ 스택 관련 연산 명령어들

오퍼랜드 스택으로부터 각 명령어에 적합한 자료형을 꺼내거나 꺼낸 값을 복사하거나 교환하는 명령어와 오퍼랜드 스택에 주어진 자료형의 값을 넣는 명령어들이다.

명령어	피연산자	실행 전 스택	실행 후 스택
pop	없음	해당 자료형의 값	
pop2			
dup			
dup2			
dup_x1			
dup_x2			
dup2_x1			
dup2_x2			
swap		두개의자료형 값	
bipush	byte형 값		byte형 값
sipush	int형 값		int형 값

▶ bipush의 알고리즘

- i. byte형의 피연산자 값을 integer형으로 변환하여 스택에 넣는다,
- ii. 프로그램 카운터를 증가시키고, 스택 포인터를 증가시킨다.

⑦ 객체 관련 연산 명령어들

객체를 생성하거나 객체 내의 필드들을 참조하는 명령어들이다.

명령어	피연산자	실행 전 스택	실행 후 스택
new	constant pool index값		객체에대한 참조
getfield	constant pool index값	객체에대한 참조	필드 값
getstatic			
putfield	constant pool index값	필드 값 및 객체에 대한 참조	
putstatic		필드 값	

▶ new의 알고리즘

- i. 피연산자로 주어진 값을 조합하여 constant pool index를 구하고, 이를 사용하여 constant pool resolution을 수행한다.
- ii. 그 결과로 참조되는 클래스를 얻고, 클래스를 로드한다. 로드된 클래스에 대한 객체를 생성하고, 힙에 할당한다.

iii. 객체에 대한 참조를 스택에 넣고, 스택 포인터와 프로그램 카운터를 증가시킨다.

⑧ 스레드 동기화 관련 명령어들

멀티스레드 환경에서 객체에 대한 접근을 제어하기 위한 명령어들이다.

명령어	피연산자	실행 전 스택	실행 후 스택
monitorenter		객체에 대한 참조	
monitorexit			

▶ monitorenter의 알고리즘

- i. 스택으로부터 객체에 대한 참조를 꺼내어서 lock을 설정한다. 다른 스레드가 그 객체에 대해 lock을 설정하지 않았다면 lock을 설정하고, lock이 설정된 상태라면 unlock될 때까지 기다린다. 만약 객체에 대한 참조가 null이면 NullPointerException이 발생한다.
- ii. 연산 수행 후 프로그램 카운터를 증가시키고 스택포인터는 감소시킨다.

(라) JavaStack Algorithm

■ 자바스택 초기화(InitializeJavaStack)

생성된 자바스택(stack)을 주어진 실행환경 값(ee)으로 초기화 하여 이전의 자바스택(previous_stack)에 추가한다.

▶ 자바스택 초기화 알고리즘

- i. 생성된 자바스택의 실행환경 필드가 주어진 실행환경 값(ee)을 가리키도록 함
- ii. 생성된 자바스택(stack)의 prev 필드가 이전 자바스택을 가리키도록 지정하고,
- iii. 다음 자바스택 포인터는 Null(0)을 가리키도록 한다.
- iv. 생성된 현재 자바스택을 이전 자바스택에 연결하고 chunk 메모리 계산한다. Chunk 메모리는 이전 자바스택의 chunk 메모리와 현재 chunk 메모리의 합계
- v. 현재 자바스택의 마지막 데이터 주소를 end_data 항목에 지정한다.

■ 자바스택 생성(CreateNewJavaStack)

새로운 자바스택(stack)을 메모리로부터 할당하여 실행환경 값 지정과 기존의 자바스택(previous_stack)에 추가하기 위해 InitializeJavaStack 함수를 호출한다.

▶ 자바스택 생성 알고리즘

- i. 생성할 자바스택의 크기(size)를 정한다.
- ii. 새로운 자바스택을 메모리로부터 할당하여 이를 stack에 할당한다.
- iii. 생성된 자바스택을 초기화 한다.

■ 초기 자바스택 생성(CreateFirstJavaStack)

주어진 쓰레드에 대한 첫번째 자바스택 세그먼트를 생성하여 초기화 한다.

▶ 초기 자바스택 생성 알고리즘

최초의 쓰레드로 시작하면 새로운 자바스택을 생성하여 초기화 하고 그렇지 않으면 현재의 자바스택을 초기화 한다.

■ 실행환경 초기화(InitializeExecEnv)

새로운 쓰레드의 실행환경(ExecEnv)을 초기화 한다. 이 함수는 새로운 쓰레드가 시작될 때마다 수행되어야 하며 실행환경의 초기 자바스택에 새로 생성한 자바스택을 지정한다.

▶ 실행환경 초기화 알고리즘

- i. 실행환경 변수(ee)의 모든 항목을 0으로 초기화 한다.
- ii. 실행환경 변수의 쓰레드 항목에 새로운 쓰레드 정보를 지정한다.
- iii. 쓰레드를 위한 초기 자바스택을 생성하여 실행환경 변수에 지정한다.

■ 자바스택 메모리 삭제(FreeJavaStackMemory)

링크드 리스트로 연결된 자바스택을 하나씩 차례로 제거한다.

▶ 자바스택 생성 알고리즘

- i. 링크드 리스트로 연결된 자바스택을 하나씩 차례로 끝까지 탐색하면서 삭제

■ 자바스택 생성(CreateNewJavaStack)

실행 환경을 제거한다. EE는 자바스택이 해제되는 동안 스택에 대한 포인터를 갖지 않는다. 따라서 자바스택을 삭제하여 적은 메모리 사양이 요구되는 기계를 위한 메모리에 저장한다.

▶ 자바스택 생성 알고리즘

- i. 실행환경이 가리키는 자바스택을 떼어낸 후, stack에 지정한다.
- ii. 이후의 자바스택을 모두 삭제한다.
- iii. JNIRootFrame을 제거하기 위해DeleteJNIRootFrame 함수를 호출

■ 자바스택 확장(ExpandJavaStack)

▶ 자바스택 확장 알고리즘

- i. 확장에 필요한 메모리를 구한다.
- ii. 자바스택(stack)의 다음 자바스택이 null이 아니고 required_size가 다음 자바스택 마지막 데이터 끝주소 실제 데이터의 시작주소 값보다 크면 현재(마지막?) 자바스택을 제거한다.

(마) Link 및 Initialize 알고리즘

Link 및 Initialize 관련 부분은 ClassInitialize.c, ClassResolve.c, ClassRuntime.c 이 세 파일에서 다루고 있다. FindClassFromClass() 메소드를 호출함으로써 Link 및 Initialize의 전반적인 과정을 수행한다. 다음 표에서 FindClassFromClass() 메소드가 호출하는 메

소드들을 도식화 했다.

- ① Locked_InitializeClass() : 초기화 과정을 하기 전에 넘겨오는 매개변수에 대한 어떤 초기화 과정을 할 것인지 결정하는 부분이 주류를 이룬다. 밑에 보는 것과 같이 여러 종류의 클래스 파일이 매개변수로 넘어오는데 각각 해당하는 항목에 대한 Action 이 취해지게 된다.
- ② Locked_LinkClass() : 실제 Link 과정이 일어나는 부분이다.
- ③ Classresolver.c 에서 구현된 Early Resolution 과정 (classresolver.c 167 line)
- ③-1 ResloveFields : 해당 필드 수 체크(2000 Over 시 에러 발생) 해당 필드 수 만큼 오프셋과 타입의 크기에 대한 오류검증

- Initialize 시 타입에 따른 클래스의 다른 처리들

Type	Meaning	Action
CLS_RESLV_INIT_CLASS	java/lang/Class	MakeClassSticky FindStickySystemClass
CLS_RESLV_INIT_OBJECT	java/lang/Object	MakeClassSticky
CLS_RESLV_INIT_REF	sun/misc/Ref	SoftRef 로 셋팅
	" java/ " 혹은 " sun/ "	SysLock 로 셋팅

③-2 ResolveMethods : 해당 메소드 수 만큼 오프셋 , 인덱스 관련 체크. 해당 메소드의 접근권한을 이용한 체크. 슬롯의 크기가 2^16 Over 인지 체크 -> InternalError. Method Table 을 새로 만들어서 Offset 값과 Index 값을 이용한 체크. -> OverflowError 체크

③-3 ResolveInterfaces : ResolveMethods 랑 유사.

그들 자신의 인터페이스를 구현하지 않는 클래스의 경우 부모 클래스의 imethodtable 을 상속 받을 수 있다. 클래스가 구현한 모든 인터페이스를 resolve 한다. 그리고 모두 인터페이스가 맞는지 검증한다.

③-4 InitializeInvoker(classruntime.c) 를 이용한 메소드 수만큼 해당 메소드의 여러 접근 권한 비교. 마지막으로 Verify 가 되었는지 체크하고 Linked 변수를 Set 함으로써 Link 과정 종료.

④-1 Classinitialize.c 에서 구현된 Late Resolution 과정

⑤-2 Locked_ResolveClassConstant(classinitialize.c) : Constant Pool 인덱스를 이용 해당 타입을 읽어와서 type_table 에 저장. 각 type 에 따른 각각의 처리부.

i. Constant_Class : 해당 인덱스 값을 읽어 와서 (name_index값이 읽힘) name 값을 구하고, FindClassFromClass 를 호출 => load, link, initialize 여부를 체크.

ii. Constant_String : 해당 인덱스를 읽어 와서(String 값이 읽힘) Str2ID(Util.c) 메소드를 이용, String Hash Table 에서 정이된 값인지 체크 , 아닐 경우 메모리 할당 및 관련 String 처리부 (HelloWorld 프로그램 실행시, 아닐 경우는 1번이며, 아마 " HelloWorld ! " 라는 스트링일 때 일 것이다.)

iii. Constant_NameAndType : 해당 name 과 type 을 읽어서 hash 값으로 변환 후 컨스턴트 풀 해당 인덱스 값에 저장시킴.

iv. Constant_InterfaceMethodRef, FieldRef, MethodRef :
Locked_ResolveClassConstantField 에서 처리.

3. 신호 처리 모듈

신호 처리 모듈의 기본 구성은 그림 3.3.12와 같다. 그림 3.3.12에 표시한 바와 같이 신호 처리 모듈은 아날로그 입력을 통해 센서 입력을 읽어 들이고 읽어들이는 센서 입력을 진단 알고리즘에 적용하여 계산된 결과를 직렬통신을 통해 VM 모듈로 전송하는 기능을 한다.

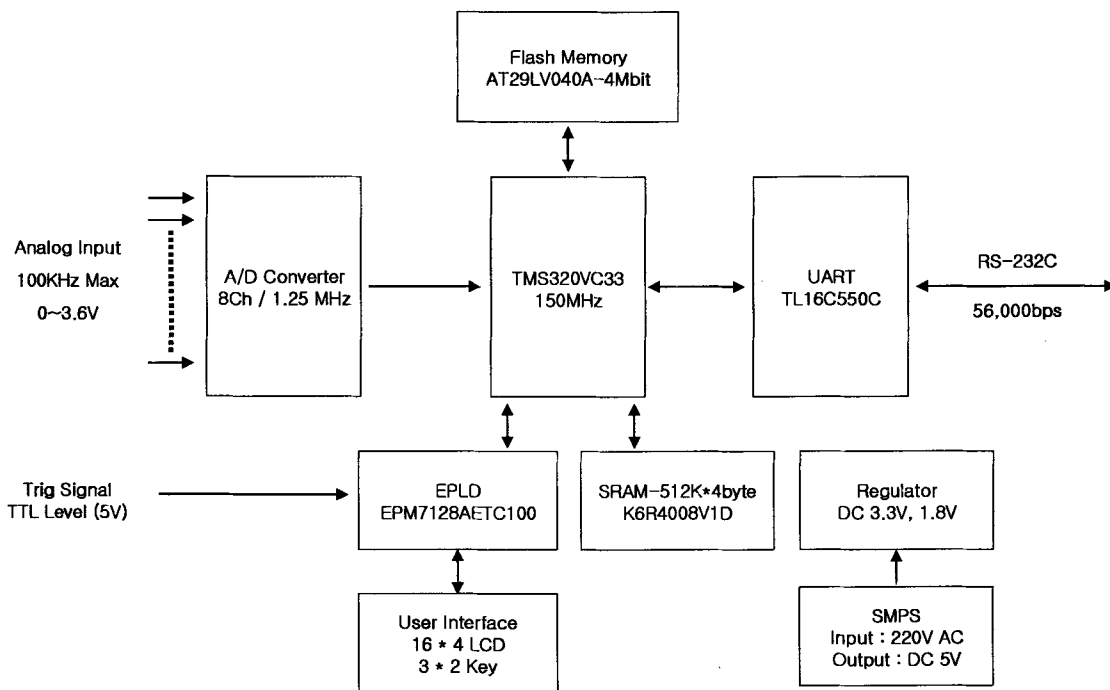


그림 3.3.12. 신호 처리 모듈 구성

신호 처리 모듈의 아날로그 입력은 최대 bandwidth를 100kHz로 하였으며 입력전압의 범위는 단방향 3.6V로 설정하였다. 아날로그 입력 채널의 총수는 모두 8채널이며 8채널 입력 데이터를 샘플링하기 위하여 8채널 입력에 최대 1.25MHz의 변환시간을 가지는 ADC를 사용하였다. 트리거 신호 입력은 TTL 신호를 입력 받을 수 있도록 하였으며, 위상을 측정하는 기준 신호로 사용한다. 출력은 RS-232C를 사용하였으며 통신 속도는 56,000 bps로 설정하였으며 속도는 설정에 따라 변경시킬 수 있도록 하였다. user interface를 위해 LCD 패널과 key-in이 가능하도록 하였다. 입력된 센싱 신호의 신속하고 정확한 연산을 위하여 floating point 연산을 지원하는 TMS320C33 프로세서를 사용하였다. 신호 처리 모듈의 내부 알고리즘은 그림 3.3.13과 같다.

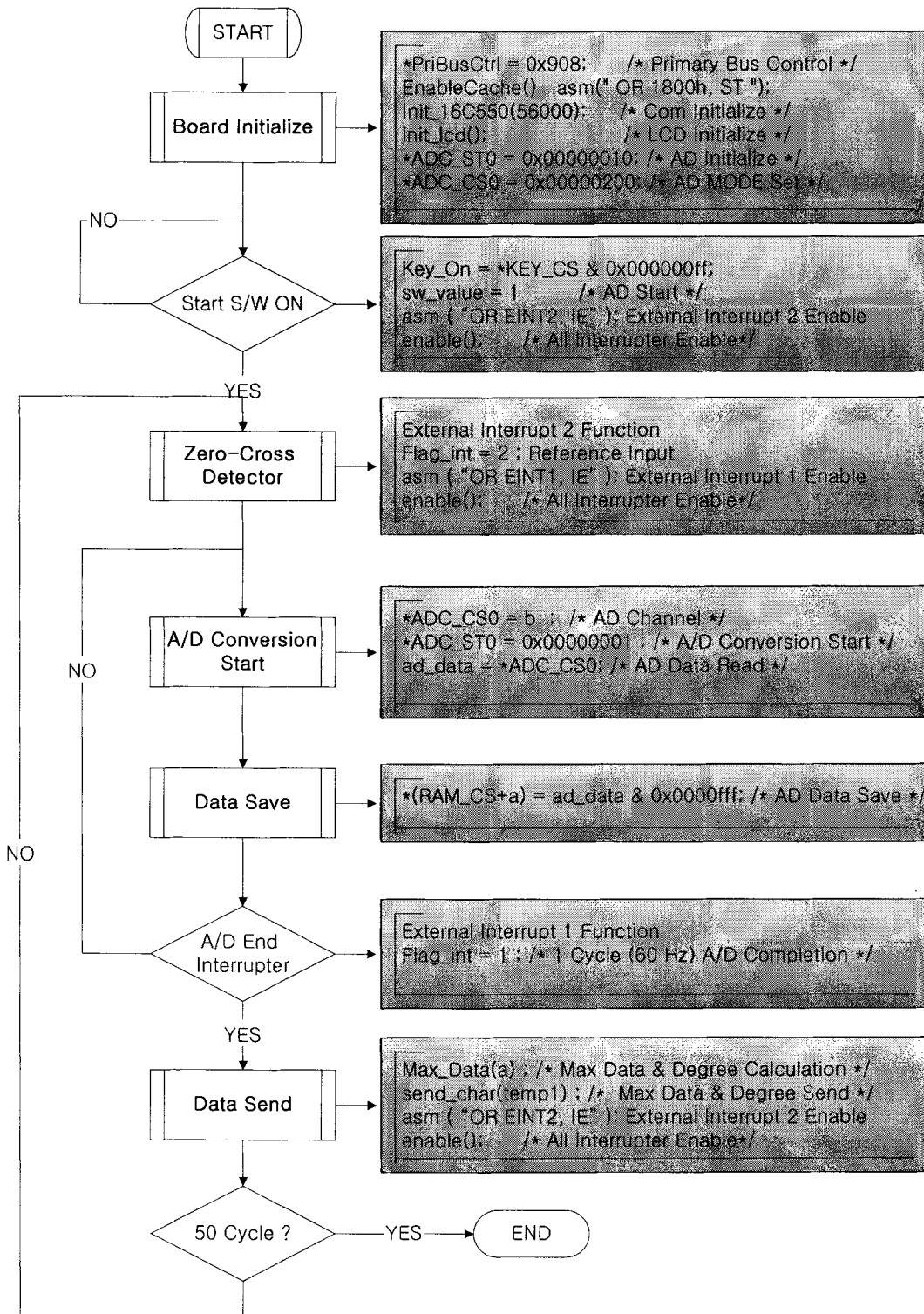


그림 3.3.13. 신호 처리 모듈의 동작 알고리즘

그림 3.3.13의 신호 처리 모듈의 동작 알고리즘에 나타난 바와 같이 신호 처리 모듈은 power-on 후 시스템 초기화 모듈을 실행 한다. 시스템 초기화 모듈에서는 직렬통신을 위한 속도설정 및 출력 LCD 모듈 초기화, AD 변환을 위한 AD Converter 초기화 기능을 수행 한다. 초기화 모듈의 실행이 종료된 후에는 start key 입력이 들어올 때까지 시스템

은 대기 상태를 유지한다. start key 입력이 들어온 후에는 트리거를 위한 기준 신호가 들어오기를 기다린 후 기준 신호 입력의 트리거를 통해 입력 신호의 AD 변환이 시작된다. AD 변환은 각 채널별로 100kHz sample/sec의 속도로 이루어지며 모두 50주기 동안 변환이 이루어지게 된다. 변환된 데이터는 메모리에 저장된 후 진단 알고리즘 연산에 사용된다. 진단 알고리즘의 연산 결과가 직렬 통신을 통해 VM 모듈로 전송되게 된다.

4. 시험용 API 구성

VM 모듈이 탑재된 플랫폼은 직렬통신을 통해 전송한 데이터를 이더넷 영역으로 재전송해 주는 게이트웨이 역할을 하고 있다. 따라서 전력기기 시스템에 대한 모니터링은 클라이언트가 진단 플랫폼으로 접속함으로써 가능하며, 진단 플랫폼으로의 접속방법은 웹 브라우저를 이용한 이더넷 통신으로 누구든지 접속이 가능하다. 이때 진단 플랫폼의 모니터링을 위해 필요한 애플리케이션(S/W)는 진단 플랫폼에 접속함과 동시에 클라이언트에게 다운로드 되어진다. 진단 플랫폼의 기본 동작 시험을 위해 제작된 API는 플랫폼의 IP 주소와 port 번호를 설정하는 부분과 입력 데이터를 보기 위해 채널 선택창과 선택된 채널에서의 주요 진단 파라미터를 보기위한 그래픽 출력창으로 구성되어 있다.

애플리케이션의 모듈 구성은 그림 3.3.14와 그림 3.3.15이다. 그림 3.3.14는 타겟 시스템의 진단 모니터링을 위해 필요한 각종 모듈로서 크게 시스템 초기화 모듈, 데이터 입출력 모듈, 데이터 쓰레드 모듈, 데이터 모듈로 구성된다.

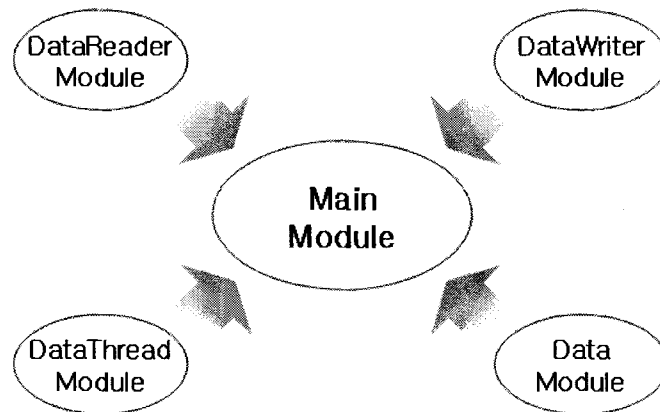


그림 3.3.14. API 모듈 구성

Main Module은 System Operation을 시작하는 starting point 로서 DataReader, DataWriter, DataThread Module을 쓰레드로서 시작하고 종료하는 관리모듈이다. 시스템 초기화 모듈에서는 클라이언트와 진단 플랫폼과의 상호작용을 위해 필요한 각종 정보를 위한 초기화 모듈이 있다. 그리고 신호 처리 모듈과 VM 모듈 사이의 직렬통신을 위한 환경 정보 초기화 모듈 또한 포함되어 있다. 데이터 입출력 모듈은 직렬통신을 통한 데이터 입력모듈과 이더넷으로의 데이터를 출력모듈 두 가지로 구분되고 있으며, 이들의 데이터를 관리하기 위한 데이터 관리 모듈 또한 포함되어 있다. 데이터 관리 모듈에서는 Serial Comm. To Ethernet Comm. 수행시에 데이터의 손실을 방지하기 위한 데이터 임

시 저장 역할을 담당한다. 그리고 시리얼로부터 입력되는 원시 데이터(Native Data)를 핸들링하여 클라이언트 영역에서 사용하기 편한 형태로 데이터를 변환하는 기능도 수행한다.

그림 3.3.15는 진단 모니터링의 결과를 사용자에게 보여주는 유저 인터페이스(User Interface:UI) 부분으로, 진단 플랫폼 정보 UI, 그래프 UI, 시스템 상태정보UI 로 이루어져 있다. 진단 플랫폼 정보 UI는 신호 처리 모듈과 VM 모듈을 동작시키기 위한 시스템 정보 및 환경 정보를 설정하기 위한 부분이다. 그래프 UI는 진단 결과를 사용자에게 보다 알기 쉽게 인지 가능하도록 하는 그래프 타입의 UI이다. 시스템 상태 정보 UI는 진단 플랫폼이 전체적으로 동작함에 있어서 발생될 수 있는 이상유무의 상태를 나타내기 위한 UI이다.

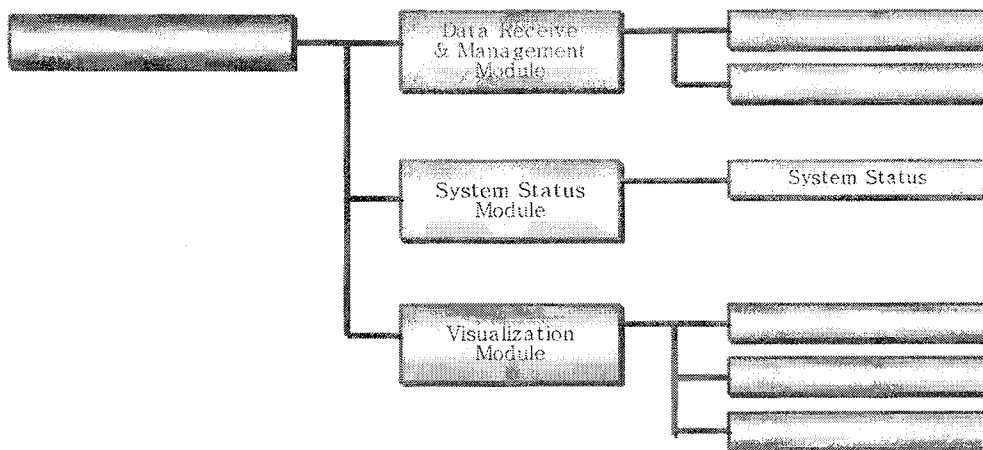


그림 3.3.15. 사용자 인터페이스 시스템

그림 3.3.16은 전력기기 진단 플랫폼의 전반적인 실행 동작 과정을 하드웨어 시스템 구성을 기반으로 하여 나타내고 있다. 여기에서 직렬통신 환경에서 이더넷 통신 환경으로 데이터를 전송하는 Data Manage 부분은 그림 3.3.17과 같은 수행과정을 통해서 이루어진다.

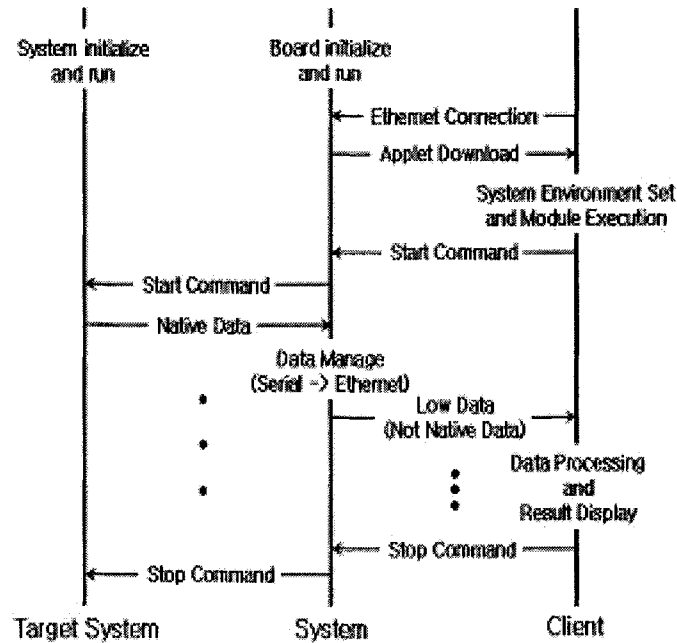


그림 3.3.16. 전력기기 진단 플랫폼의 실행

데이터 입력모듈에 해당하는 DataReader Module은 신호 처리 모듈과 DataReader Module 사이의 직렬 통신을 담당하고 있으며, 직렬 통신 초기화를 먼저 수행한다. 그리고 수신된 데이터의 정규화를 검증할 뿐만 아니라 검증된 데이터를 데이터 큐에 저장하고 신호 처리 모듈로의 제어를 위한 제어 데이터를 송신한다. 그리고, 실제 데이터를 관리하는 Data Thread Module은 수신된 데이터를 ethernet 통신으로 라우팅하는 동안의 데이터를 잠시 관리하는 역할을 한다. 기본적으로 데이터의 추가, 삭제, 데이터 크기 정보 등에 대한 연산을 처리할 수 있으며, 내부적으로는 Data Module을 포함하고 있다. Data Module은 실제로 Data가 저장되는 vector type의 데이터 저장공간이다. 데이터 출력모듈인 DataWriter Module ethernet 통신을 주로 담당하는 모듈로서, 큐 데이터 구조에 저장된 데이터를 ethernet 통신으로 전송하고, 전송된 데이터는 큐 데이터 구조에서 삭제하는 연산을 한다.

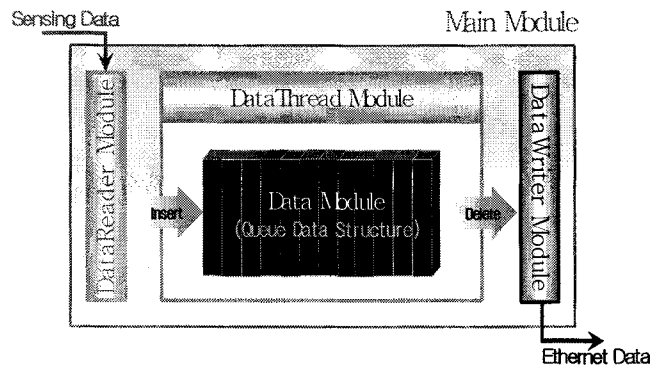


그림 3.3.17. 데이터관리를 위한 Structure

그림 3.3.18과 그림 3.3.19는 전력기기 진단 플랫폼 API의 실행을 나타내고 있다. 먼저 전

전력기기 진단 플랫폼에 접속하면 전력기기 진단 플랫폼을 모니터링하기 위해 필요한 소프트웨어 모듈을 웹환경에서 다운로드하여 클라이언트의 실행환경을 구성한다. 그리고 전력기기 진단 플랫폼 API의 실행을 시작하면 그림 3.3.18과 같다. 전력기기 진단 플랫폼에서 전송되는 시리얼 통신의 바이너리 데이터를 전력기기 진단 플랫폼에서 다시 웹환경(이더넷환경)으로 라우팅하게 된다. 클라이언트에서는 그림 3.3.19와 같은 실행화면을 볼 수 있다. 제작된 API는 기본 동작 시험을 위해 구성된 모듈이며 실제 진단 플랫폼의 API 설계 및 개발은 2차 연도에서 이루어질 예정이다.

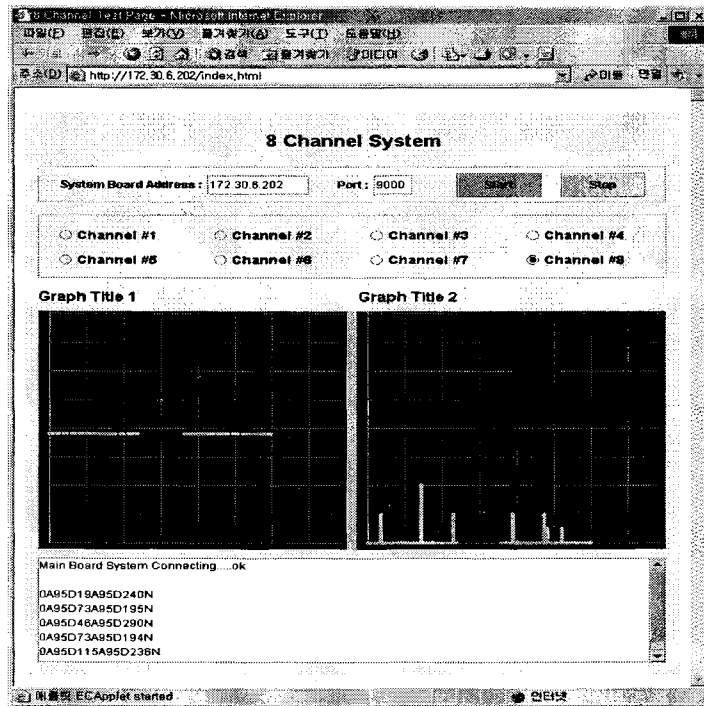


그림 3.3.18. 전력기기 진단 플랫폼 웹 실행화면

5. 실험 결과

전력기기 진단 플랫폼의 동작 확인을 위해서 두 가지 입력 파형을 플랫폼에 인가하여 그 결과를 살펴보았다. 기본적인 동작 확인을 위해서 PD 신호가 일정한 위상에서 발생한다고 가정하고 검출된 PD 신호를 펄스 형태로 인가하였다. 트리거 신호를 위해서 기준 신호를 만들어 ref 입력단에 인가하였으며 트리거 신호를 기준으로 일정 시간 시지연을 가지는 펄스 신호를 만들어 채널 8번에 인가하였다. 인가된 신호와 트리거 신호는 그림 3.3.20, 그림 3.3.22와 같으며 각각의 경우에 진단 API의 출력 결과는 그림 3.3.21, 그림 3.3.23과 같음을 확인 하였다.

인가된 테스트 신호의 특성은 다음과 같다.

TestCase 1 : delay 1msec, pulse width 100usec

TestCase 2 : delay 4msec, pulse width 50usec

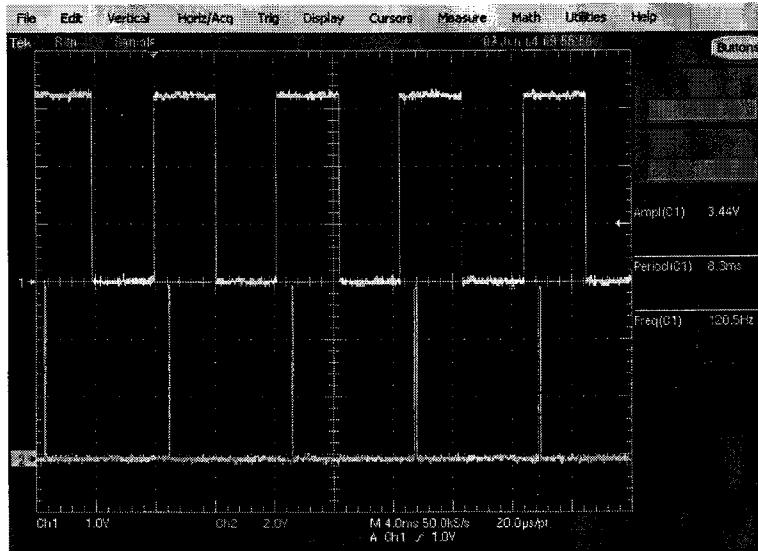


그림 3.3.19. Test Case 1의 입력 파형

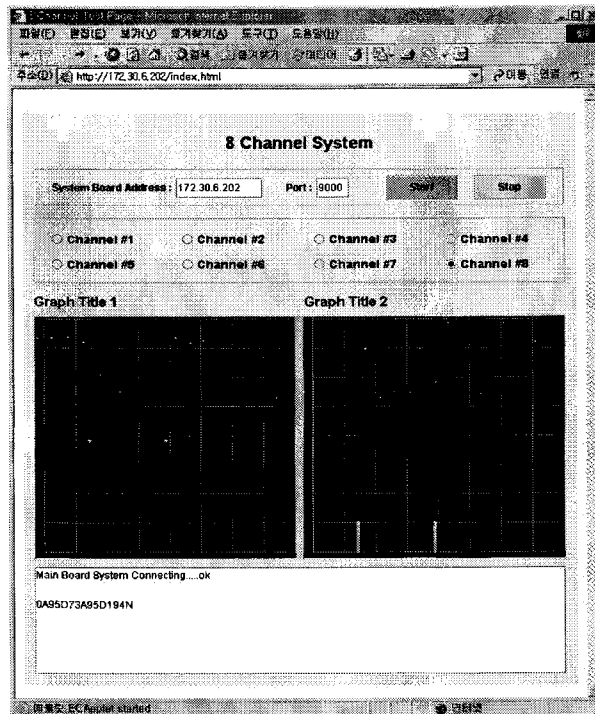


그림 3.3.20. Test Case 1에서의 웹 화면

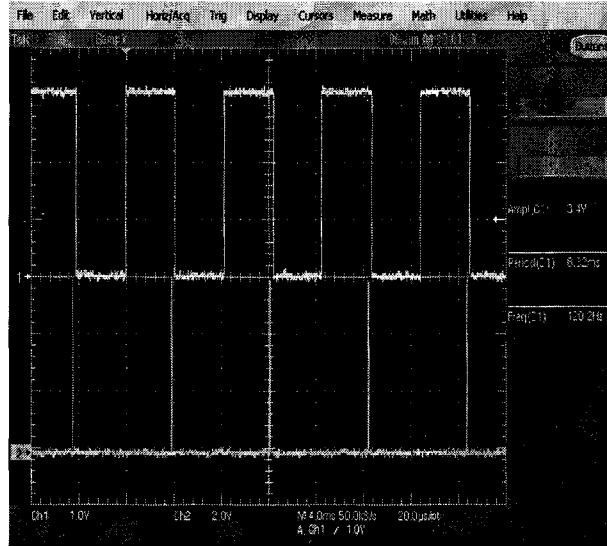


그림 3.3.21. Test Case 2에서의 입력 파형

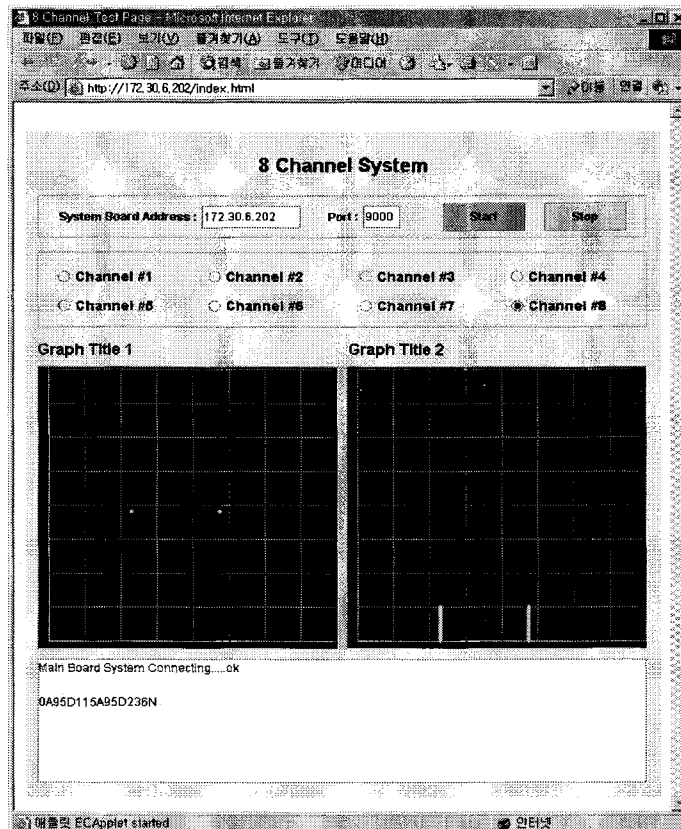


그림 3.3.22. Test Case 2에서의 웹 화면

6. 결론

당해년도에서는 진단 플랫폼 제작을 위한 기본 구성을 설계하였으며, 기본 구성에 따라 1차 시작품을 제작하여 기본 동작을 확인하였다. 진단 플랫폼의 기본 구성은 진단 신호의 처리를 위한 신호처리 모듈과 VM을 이용한 웹 서비스를 위한 VM 모듈의 두 부분으로 하였으며 각 모듈간에는 직렬 통신을 이용하여 주요 데이터를 전송할 수 있도록 하였다. 고속 신호 처리를 위해서 DSP를 사용하였으며 제작된 신호 처리 모듈은 트리거 입력과 8개의 신호 입력이 가능하도록 하였다. 각 신호 입력은 100kHz의 bandwidth를 가지도록 설계되었다. 진단 플랫폼의 user interface를 위하여 각각 입출력 도구로 LCD와 key-in 모듈을 사용하였다. VM 모듈은 하드웨어 플랫폼과 IVM의 소프트웨어 모듈로 구성되었다. VM 모듈의 하드웨어는 StrongArm 기반으로 구성하였으며 IVM 모듈이 설계, 제작되어 포팅되어 그 기본 동작을 시험하였다. VM 플랫폼은 java 기반의 API가 실행되는 기능과 이더넷 게이트웨이의 기능을 수행하도록 설계하였다. 각각의 기능 수행을 확인하기 위하여 테스트용 API를 제작하여 전체시스템의 동작을 확인하였다. 차기년도에서는 당해연도에서 제작된 시작품에 대한 정밀한 시험을 수행한 후 미진한 부분을 수정한 2차 시작품을 제작할 예정이며 진단 결과를 visual하게 표시할 수 있는 API를 개발할 계획이다. 또한, 정밀한 진단을 위한 진단 알고리즘에 대한 연구가 진행되어 신호 처리 모듈에 포팅하여 진단 결과에 대한 정확도를 높이는 연구가 병행 될 것이다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구평가 착안점 및 달성도

1. 연구평가의 착안점 및 척도

가. 연구개발 종료시 최종평가의 착안점 및 척도

△ 변압기 광역 감시진단을 위한 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술

변압기에서 20(pC)수준의 부분방전량을 다중안테나 방식으로 VM에 의한 원격측정시스템으로 측정하고 결함의 종류, 위험도 및 결함위치를 인공지능형 프로그램에 의해 분석하는 수준의 기술 및 시스템개발여부

△ GIS 광역감시진단을 위한 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술

GIS에서 5(pC) 수준의 부분방전량을 UHF 안테나 방식으로 VM에 의한 원격측정시스템으로 측정하고 결함의 형태, 위험도 및 결함이 위치한 구획을 인공지능형 프로그램에 의해 분석하는 수준의 기술 및 시스템 개발여부

나. 단계별/연차별 평가의 착안점 및 척도

【1단계 연차별 평가의 착안점 및 척도】

구분	세부 연구목표	가중치	평가의 착안점 및 척도
1차년도 (2003년)	변압기 부분방전 전자파특성연구	30	결함별 부분방전 펄스의 스펙트럼의 DB여부 및 변압기내 전자파분포 계산실적
	GIS 부분방전 상태 분석 기술 연구	30	부분방전 상태 분석을 위한 패턴방식의 DB구축여부
	전력기기 진단용 VM모듈 개발	20	네트워크공용 소형 JVM개발 여부
	- 인터넷 홈페이지 구축 - 광역진단 연구회 설립 - 국내 학술대회(심포지움, 워크샵) 년 1회 개최 - 국내 논문 2편 이상 발표 - 국내 특허출원 1건 이상	20	목표수행 및 달성여부

2. 연구 계획대비 달성도

구분	세부 연구목표	달성 연구내용
1	변압기 부분방전 전자파특성연구	- 변압기의 절연결합에 따른 부분방전 펄스의 스펙트럼의 특성측정 및 분석 - 변압기내 전자파분포 계산과 특성의 분석 - 변압기 부분방전 측정용 안테나 설계 및 특성계산과 제작
2	GIS 부분방전 상태 분석 기술 연구	- GIS 부분방전 감도를 높이기 위한 발룬의 개발 - 부분방전의 신알고리즘을 위한 부분방전 측정용 앰프의 설계와 제작 - GIS의 결합에 따른 부분방전의 상태 분석을 위한 패턴 신알고리즘 개발 및 DB구축 - 부분방전의 결합구분을 위한 신평가 방법의 개발
3	전력기기 진단용 VM모듈 개발	- VM기반 진단용 플랫폼(JVM) 설계 및 제작 - VM 구축을 위한 하드웨어(DSP+네트워크)의 설계와 제작 - VM 구축을 위한 소프트웨어(계측용 OS, 자바 API)의 프로그램 개발
4	- 인터넷 홈페이지 구축 - 광역진단 연구회 설립 - 국내 학술대회(심포지움, 워크샵) 년 1회 개최 - 국내 논문 2편 이상 발표 - 국내 특허출원 1건 이상	- 인터넷 홈페이지 구축 - 전기설비 진단연구회의 설립(2003. 9.26, 회원 : 약 100명) - 2회에 걸친 진단연구 발표회(2003. 9.26, 2004. 6.9 - 6.10) - 국내 논문 2편, 학술발표회 논문(국제, 국내) - 특허출원 1 건 - 프로그램 등록 2 건

3. 대표적 연구성과

가. GIS UHF 이중 대역법에 의한 부분방전 측정 및 진단기술 개발

- GIS에서 부분방전은 발생조건에 따라 펄스의 크기, Rising Time 및 인가전압에 대한 위상 특성이 다르게 나타난다. 지금까지 개발되어 On-Line 상태에서 사용되고 있는 방법은 펄스의 크기와 위상특성으로 평가하는 것이 일반적이다. 특별한 경우는 스펙트럼 분석기를 사용하면 Rising Time 특성을 알 수 있지만, 정량적인 평가와 고가의 장비가 요구되는 단점이 있으므로 이것을 해결하기 위하여 부분방전의 측정시 초광대역으로 측정하고 주파수 대역을 분할함으로써 부분방전의 펄스의 크기, Rising Time 및 인가전압에 대한 위상 특성을 동시에 평가가 가능한 기술을 개발하였다.

이상과 같은 부분방전 측정기술을 개발하기 위해서 초광대역 측정이 가능한 UWB안테나(커플러)와 이중 대역용 초광대역 앰프(0.5 - 2GHz/1 - 2GHz)를 설계 제작하고 측정된 신호를 처리하는 기술과 신 진단 알고리즘인 비 값에 의한 분석 기법을 개발하였다.

나. 광역 감시 및 진단을 위한 VM 기술의 개발

부분방전의 광역감시와 진단을 위해서는 네트워크와 결합시키면 범세계적으로 적용할 수 있으므로 이와 같은 구실을 할 수 있는 VM 방식의 진단용 플랫폼의 기본적인 기술을 개발하였다. 이 플랫폼은 신호처리 부분과 통신부분으로 크게 나눌 수 있으면, 현재의 개발 수준은 신호처리부분과 VM형 네트워크로 개발하였다. 계속적인 연구를 통하여 두 가지가 하나로 통합된 기술로 개발하고 각각의 진단특징에 맞는 프로그램을 계속적으로 개발할 것이다.

4. 기타 계획하지 않은 연구성과

본 연구에서 GIS UHF 부분방전 측정기술을 현장에 적용을 시도하였고, 그 결과는 충분히 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 대상이 된 변전소는 한국전력의 여수에 있는 용성변전소의 154kV급 GIS의 신설 제품(일진전기)에 2차에 걸친 적용 시험(2004. 1.27-1.28/5.11)을 하였다.



변전소 현장에서 개발하고 있는 UHF 부분방전 측정기술 적용 장면

제 2 절 연구결과의 관련 분야에의 기여도

본 연구 결과는 전력공급의 신뢰도 향상과 신전력기기의 개발에 상품화의 기술로 발전시켜 나간다.

1단계의 연구

1단계 연구에서는 2 단계의 실전력기기에 적용이 가능한 상품화를 위한 기반 기술을 확보하는 것임.

- 변압기 및 GIS의 부분방전 측정 및 진단기술의 신알고리즘을 개발하여 상업화가 가능한 수준으로 높이고 현장에 적용하는 것으로 함.
- 부분방전의 측정 및 진단에 핵심인 Data Base의 구축과 이를 인공지능에 의한 진단기술의 개발하여 현장기술자와 진단시스템의 상용화에 적용할 수 있는 기반을 확보하는 것임.
- 전력기기를 광역 감시 및 진단을 할 수 있는 VM개발의 핵심인 시스템의 구성과 설계에 대한 기초기술을 확보하고 적용을 검토하고 관련 기본 Hardware와 Software의 기반 기술을 확보하는 것임.

2단계 연구

본 연구에서 상품화 기술이 개발되면 국내의 전력기기 제작업체 및 진단전문업체의 최대 현안인 문제점을 해결함.

- 변압기 및 GIS의 디지털 보호 제어부분과 융합한 신상품의 개발이 가능하고 국내 업체의 경쟁력의 향상과 선진기술보유를 하게됨.
- 광역 진단 시스템이 부착된 전력기기를 생산함으로써 국내에 설치된 기기뿐만 아니라, 국외로 수출된 전력기기를 실시간으로 관리가 가능함으로 이에 따른 신산업의 발전을 이루게 될 것임.
- 국내업체의 기술경쟁력이 선진업체의 기술력과 대등한 관계로 발전이 가능함.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구개발 기대성과

1. 기술적 측면

- 변압기, GIS 등의 전력기기의 고장예방에 필요한 핵심기술인 절연진단 기술을 확보가 본 기술로 가능함.
- 변압기에 대한 부분방전측정기술이 세계적으로 확보되어 있지 않으므로 본 연구에서는 20pC 수준의 기술을 개발함으로써 세계 최고의 기술확보가 가능함.
- 진단기능이 첨가된 신전력기기의 개발이 가능한 돌파구가 열림.
- 국내 산업체의 전력기기의 보수 및 유지기술의 기술향상의 가능.
- 전력기기를 광역 감시 및 진단을 할 수 있는 VM기술력을 세계 최초로 확보함으로써 국내 전력 기기 산업의 국제화 및 선진화가 가능함.

2. 경제 산업적 측면

- 광역 부분방전 감시 및 진단의 전력기기 진단기술을 확보함으로써 선진국으로부터 기술종속탈피 및 국제경쟁력의 확보(수입대체 효과 : 100억원/년)
- 차별화된 진단형 전력기기 개발로 국내생산업체의 위상제고와 수출촉진(1000억원/년)
- 전력기기의 경제적인 보수, 유지 및 교체로 경비절감(6000억원/년간)
(한국전력의 연간 수선유지비 및 감가상각비는 1조 9342억원과 4조 2417억임, 2002년)
- 전기 재해 대형사고, 전기화재, 정전으로 인한 산업체의 생산손실과 공공시설의 사회적 손실의 예방(1조원/년간)
- IT산업과 연계된 진단산업의 신장출과 고부가가치화

3. 사회·문화적 측면

- 지하철 철도 대형백화점 및 공중이용설비의 안정적인 전력공급으로 사회의 불안전 해소와 주민의 생명보호
- 고장 및 사고의 파급과 전력기기의 불필요한 교체 억제로 공해 및 폐기물 발생의 감소에 기여

제 2 절 연구개발 활용계획

1. 활용분야

에너지공급 : 화력, 원자력 수력 발전소의 변전소, 전력계통의 변전소

공공시설 : 지하철, 고속철도, 하수종말처리장, 배수펌프장, 등의 변전소

일반산업분야 : 제철, 정유, 반도체 제조, 조선, 등의 전기에너지 대량소비설비

일반용 : 상업건물, 아파트 등의 대량 전기 에너지 소비설비

국내의 적용대상 변전소 수 :

2. 활용방안

◎국내의 노후화된 전력설비의 고장예방과 효과적인 보수 및 교체로 국내산업의 경쟁력 향상에 활용

- 변압기, GIS와 같은 전력기기의 절연상태의 정확한 진단으로 운전의 신뢰성과 보수의 경제성을 유지할 수 있음.
- 많은 설비의 진단에 전문가 부족을 해결할 수 있는 광역 진단기술의 개발로 진단기술 활용의 확산이 가능하게 됨.
- 전력기기의 불시고장의 예방으로 운전의 신뢰성 향상과 환경오염방지 및 자원절약을 할 수 있으며 산업의 정전피해를 감소시킬 수 있음.
- 진단을 전문으로 하고 서비스를 행하는 벤처산업의 육성이 가능함.

◎ 진단형 신전력기기의 개발로 전력기기 제작사의 기술력 향상과 국제시장의 경쟁력 향상

- VM을 적용한 진단기술을 전력기기와 융합함으로써 광역 진단형 전력기기의 생산과 수출이 가능
- 세계시장에서 선진 기술력의 구사로 국내 전력기기의 이미지 상승

◎ 전기설비 진단연구회 구성

- 한국전기연구원 중심으로 국내 주요 산업체, 학계 및 연구소에 종사하는 전력기기 설계, 제작, 운영과 보수, 진단 및 시험평가 분야의 Community 구성을 통해 기술교류 및 기술이전의 활성화
- 전력기기의 진단 보수유지 및 운영의 기술개발 관련 정기적인 기술 세미나 개최
- 회원(사) 상호간의 자재, 설비, 연구결과 등의 정보공유 및 상호지원
- 전력기기 진단분야 관련 기술 인력의 양성과 기술력의 향상
- 당 연구원이 보유한 시험, 평가, 진단 장비의 공동 활용.

◎ 기술이전 대상업체

- 전력기기 제작사 : 효성 중공업, LG산전, 현대중공업, 일진전기, 대한전선, LG전선,
- 진단전문업체 : 태광이엔시, 피에스디테크, 젤파워, 한빛EDS 등
- 진단기술활용업체 : 한국전력공사, 한국수자원공사, 각 발전회사, 한전기공 등

제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 RCM 기반 전력설비 진단 기술

1. 진단기술의 변천

산업이 발달함에 따라 산업체나 일반 가정에서 전기에 대한 의존도가 날로 증가하고 있으며, 또한 전력설비의 대형화, 밀집화, 다기능화로 전력설비의 고장으로 인한 전기사고 발생시에는 사회적 혼란을 비롯하여 경제·산업적 피해가 막대하다. 특히 반도체와 같이 산업체의 생산 설비에 공급되는 전력의 품질이 생산하는 제품의 성능이나 불량률에 영향을 크게 미치는 고 정밀 산업에 있어서는 전력설비의 자그마한 고장까지도 수출차질로 인한 국가적인 이미지 손상은 물론 막대한 경제적 손실을 가져올 수 있기 때문에 전력설비의 신뢰성이 크게 요구되고 있는 실정이다. 그 한 예로 1996년과 2003년에 각각 발생한 미국의 캘리포니아, 뉴욕 및 캐나다 정전사태는 전력산업구조 개편 이후의 투자기피에 따른 설비의 노후화에 의한 원인이 가장 컸으며, 최근의 미국의 동부지역의 전력공급의 중단으로 엄청난 재산적인 손실과 주민들이 불안한 사회생활을 하게 되어 집단적인 안전의 위협을 받아 와 전력계통의 불안정성과 전력인프라의 노후화는 국가적인 재난으로 이어질 수 있음을 보여 주었다. 이는 신뢰성 있는 전기에너지의 공급이 사회와 경제에 매우 중요한 역할을 한다는 것을 시사하고 있으며, 적절한 전력설비의 진단은 전기에너지 공급의 신뢰성을 향상시키기 위하여 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다.

전력설비의 진단은 1950년대부터 시작됐다고 할 수 있다. 1950년대에 이르러 산업에 사용되는 기계설비들은 이전의 기계설비들에 비해 매우 다양해지고 복잡해졌다. 산업체는 이러한 기계설비에 점점 더 의존하기 시작하였으며 의존성이 커짐에 따라 설비의 고장으로 인한 운행 정지가 큰 문제로 대두되었다. 이에 따라 설비의 고장을 예방할 수 있는 유지보수 방법을 찾고자 노력하게 되었고 이는 곧 예방보수(PM : Preventive Maintenance)라는 개념에 이르게 되었다. 60년대 예방보수는 일정한 간격으로 실시되는 설비의 분해점검으로 이루어졌다(TBM:Time Based Maintenance). 그리고 예방보수로 인한 유지보수비가 다른 운용비용에 비해 급격히 증가하자 유지보수에 대한 계획과 통제시스템에 대한 발전이 뒤따르게 되었다. 이러한 발전이 유지보수를 통제하에 놓이게 하였고 현재의 유지보수 관행의 일부를 이루고 있다. 그러나 기존 예방보수 기법은 설비의 상태에 관계없이 스케줄에 따라 유지 보수를 함으로써, 비용적인 측면에서도 비효율적이었으며, 설비 고장 예방에도 많은 한계가 있었다. 즉, 예방 보수 기법은 설비의 노화에 따라 고장 발생 가능성이 높아지는 특성을 가진 비교적 간단한 설비에 대한 방법으로는 유용하지만 이러한 설비의 비율이 점점 줄어들고 있다. 현재 사용되고 있는 설비들은 구조가 매우 복잡하며 설비의 고장은 설비를 구성하는 각 요소들의 복합적인 요인으로 인하여 발생하게 되고 그 발생 가능성이 시간에 따라 증가하는 특성을 가지지 않는 경우가 대부분이기 때문에 기존의 예방보수 기법을 사용하는 것은 오히려 초기 고장의 가능성을 크게 하여 설비 보수에 역효과를 가져올 수 있으며 불필요한 보수 작업을 하도록 하여 비용을 증가시킬 수

있다. 최근 도입되고 있는 상태기반의 유지보수(CBM : Condition-based Maintenance)는 설비의 상태를 감시, 분석하여 유지보수를 함으로써 진일보되었으나, 기술적·비용적인 문제로 전면적인 도입이 힘든 상황이다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 최근 신뢰성을 기반으로 한 전력설비의 진단기술(RCM:Reliability Centered Maintenance)에 대한 관심이 고조되었다. RCM은 기존의 유지보수기술을 모든 설비에 대하여 획일적으로 적용하는 것이 아니라 대상 부품의 중요성과 안전상 등을 고려하여 유지보수비용 및 수명을 유지할 수 있는 최적의 보수기술을 사용하게 된다. 이와 같은 진단기술의 변천을 도표로 나타내면 그림 6.1.1과 같다.

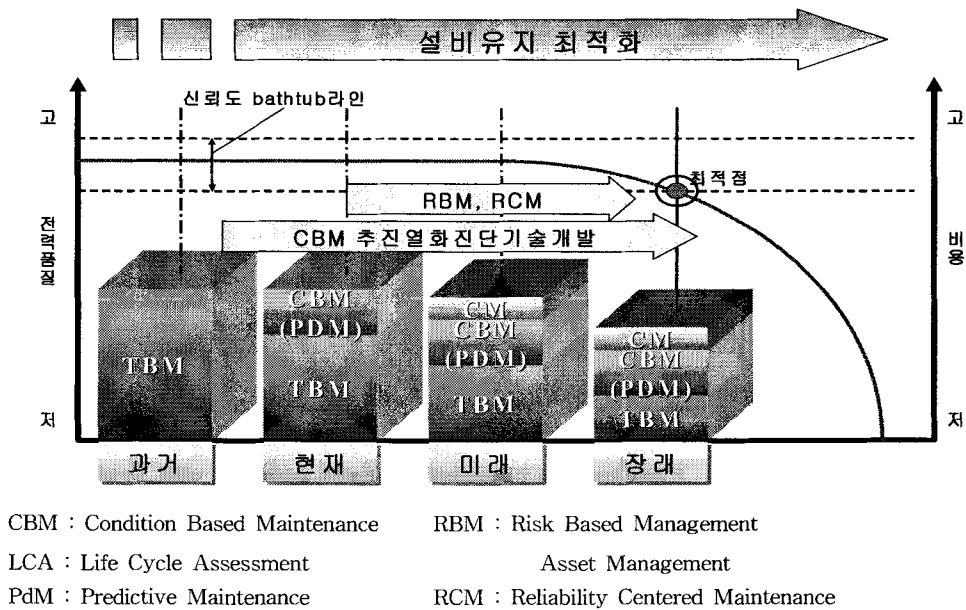


그림 6.1.1 전력설비 보수기술의 변천

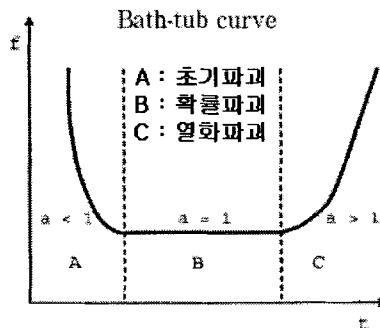
또한 최근 디지털 기술 및 IT기술의 발전에 힘입어 원격 진단 및 감시가 용이하고 인공지능기술의 발전에 따라 분석 및 고도의 진단이 가능하게 되고 광역화됨으로써 이 분야 기술발전이 급격히 이루어질 것으로 전망되지만, 진단을 위해서는 장기간에 걸친 기술개발을 필요로 하는 어려운 점이 있다.

2. RCM 기반 보수관리기술

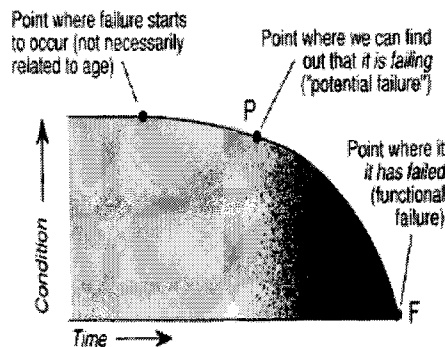
RCM은 신뢰성이 중요한 우주항공 산업에서 1960년대에 미국에서 시작되었으며, 전력 산업에 적용은 부분적으로는 이루어져 왔으나, 체계적이지 못하고 단편적으로 이루어졌다고 볼 수 있습니다. RCM은 사용자 및 제작자가 모두 참여해야 가능한 방법이다. 이 방법은 기기들의 운전 중에 발생하는 고장의 종류 및 양태와 설계 및 제작시의 기술적인 설계기준 등을 고려하여 고장 발생시 보수의 우선순위 또는 시기를 결정하고 이 결과를 생산하고 있는 제품의 설계 및 제작에 반영시켜 신뢰성이 더 높고 경제성이 좋은 제품을 생산하는 것이다.

가. 시간에 대한 설비의 열화

일반적으로 기기의 사고율의 시간특성은 그림 6.1.2 (a)에 있는 것처럼 Bath-tub curve 형으로 표현되고 있다. A의 부분이 초기고장부분에 해당하고, B의 부분이 확률적인 파괴 즉 통상의 수명을 유지하는 바, 그로부터 최종적으로는 이와 같은 형으로 C에서 보이는 열화파괴의 확률이 증가해 간다. 요점은 이 bath-tub curve와 기기의 유지, 진단, 보전의 레벨과의 관계, 특히 C의 열화파괴의 영역에 있어서 여하히 보전해 가는가, 이것이 금후의 큰 포인트라고 생각된다. 그림 (b)를 보면, 이것은 때때로 P-F(Potential Failure) Curve라고 불려지며, 횡축이 시간축이고 종축이 Condition축이다. 이 P점에서 bath-tub curve에서 보인 열화가 눈에 보이는 형으로 개시하고, 이것을 검지하는 것이 가능하다. 최종적으로는 이것이 진전해 가면 기기의 기능이 정지하게 되지만, 기능이 정지하기까지 이 curve단계에서 여하히 효율적으로 또 경제성을 고려해 보전, 운용해 가는가라고 하는 것이 새로운 수법과 함께 요구되는 바입니다.



(a) 사고율의 시간특성



(b) 기기의 고장의 개시, 검지 및 기능정지 (P-F Curve)*

* J.Moubray : Reliability Centered Maintenance, Industrial Press Inc.

그림 6.1.2 기기열화의 Bath-tub 곡선과 P-F 곡선

나. 설비유지기술의 분류

그림 6.1.3에 보이는 것은 CM (Corrective Maintenance), CBM (Condition-Based Maintenance), TBM (Time-Based Maintenance), 그리고 RCM (Reliability Centered Maintenance) 의 관계를 설명한 것으로 보수관리수법을 분류한 것이다. 우선,

Maintenance 전체가 기기의 중요성을 고려하는가, 고려하지 않는가의 두개로 나누어진다. 그 다음에 기기의 진단을 하는가, 하지 않는가로 분류된다. 종래는 CM이라는 형이었지만, 이제부터는 기기를 진단하고 그것에 근거하여 기기를 활용해 가는 것과 그것만이 아니고 기기의 중요성과 시스템의 중요성을 결들여서 그것을 판단해 가는 새로운 RCM수법의 방향으로 옮겨가는 것이라고 생각하고 있다.

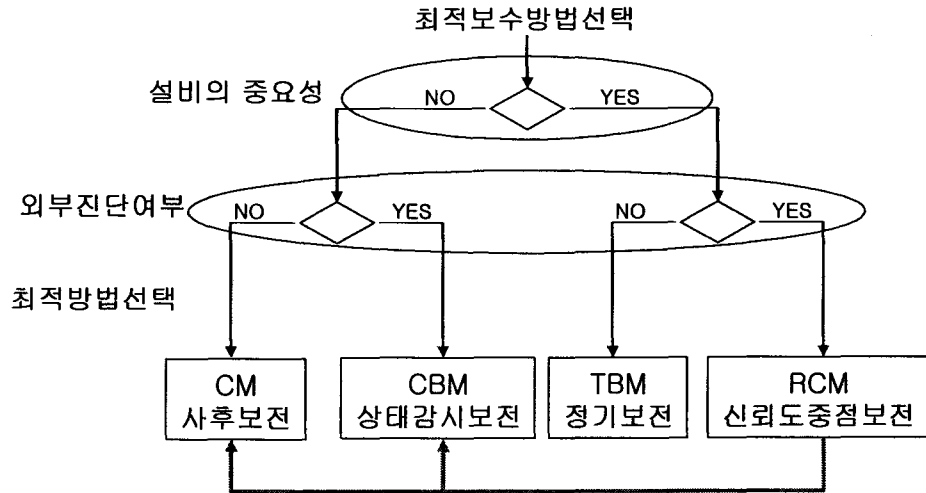


그림 6.1.3 설비유지기술의 분류

RCM을 적용하게 되면 일정목표까지 수명을 연장시키기 위하여 중요성이 높은 기기는 중요성이 낮은 기기에 비하여 상대적으로 비용이 많이 소요되고 중요성이 낮은 기기는 비용이 적게 소요되지만 평균적으로는 전체의 비용이 절감된다. 그림 6.1.4는 그림 6.1.3에서 분류된 4가지의 보수기술에 대한 유지보수 비용과 전력기기의 수명시간과의 관계를 보여주고 있다. 이 그림에서 횡축이 각 보수 기술을 사용했을 때의 전력기기의 수명 시간이 되고 종축이 보수비용이 된다, 이 그림 에서와 같이 보전비용을 가능한 한 억제한 다음 Lifetime을 연장해 가기 위해서는 CBM 혹은 그것에 기기나 시스템의 중요성을 결들인 RCM이 효과적인 것으로 나타나고 있다.

다. RCM의 적용

RCM(Reliability Centered Maintenance)은 설비 신뢰성 중심의 유지 보수 방법론으로서 각 설비의 특성 파악과 운용 환경에 따른 설비의 중요도 및 파급효과 분석(FMEA : Failure Modes And Effects Analysis)을 통해 설비의 목표 신뢰도를 유지하기 위한 가장 효율적이고 경제적인 유지 보수 기법을 결정한다. 즉, RCM은 완전히 새로운 유지보수 기법이 아니라 안전성과 경제성을 바탕으로 하여 기존의 PM, CBM 등을 가장 효율적으로 조합하여 설비를 유지보수 하는 기법을 도출하는 것이다. 이러한 RCM 수행 흐름을 일반적인 기기를 대상으로 해서 그림 6.1.5에 나타내었다. 이 흐름도에서와 같이 유지보수 기술과정은 대상 기기의 고장이 주위 환경에 미치는 영향이나 기기의 수행임무, 경제적인 손실 등을 고려하여 유지보수기술을 적용하게 된다.

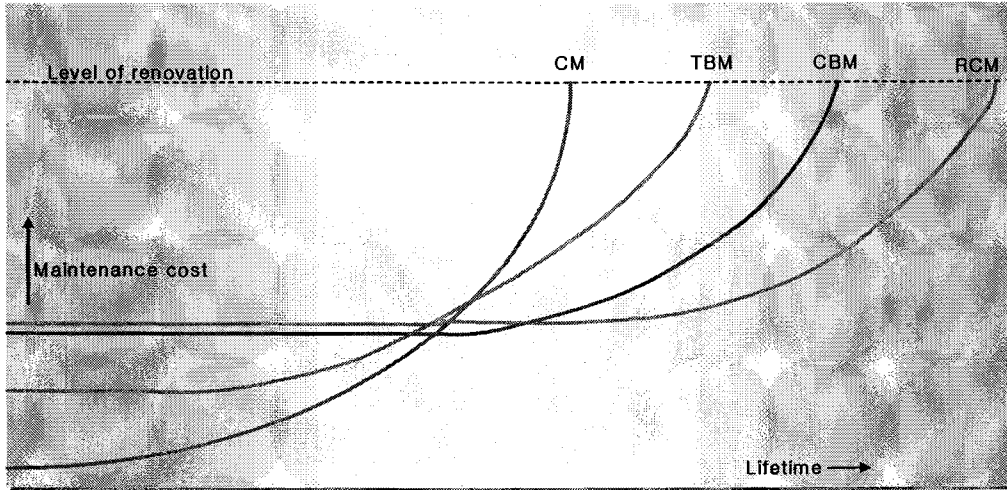
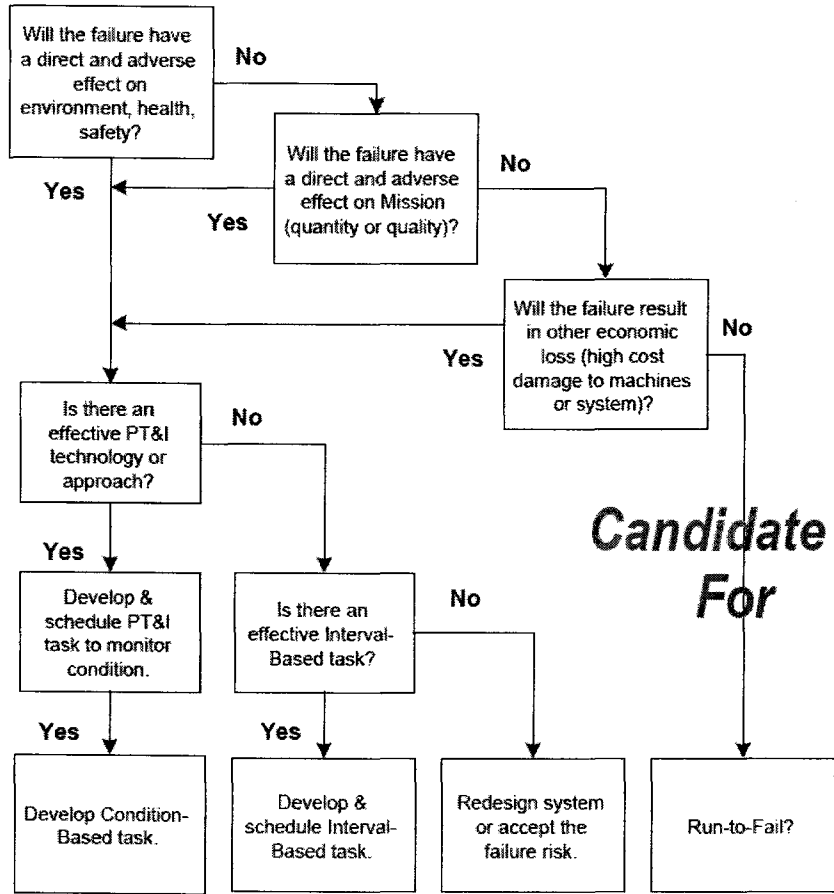


그림 6.1.4 설비유지기술과 비용과의 관계

RCM은 설비진단 이력 데이터를 기반으로 신뢰성 데이터를 산출하기 때문에 설비의 유지보수 이력을 DB화하여야 한다. 또한 RCM은 한번 도출된 유지보수 기법을 언제까지나 사용하는 것이 아니라 그 동안의 설비 운전을 통해 취득하고 DB화한 데이터를 기반으로 보다 효율적인 기법을 계속해서 도출해 내고 설비 유지보수에 적용하도록 한다.

라. RCM과 전력설비 진단

‘가’항에서도 언급하였듯이 RCM은 데이터베이스를 기반으로 하여 수행되며 신뢰성 있는 데이터베이스의 구축이 RCM 적용기술에 큰 영향을 미치게 된다. RCM을 전력기기의 진단에 적용하기 위해서는 검출기술과 측정기술 그리고 센싱기술의 발전, 즉 기기진단기술의 기초가 되어야 한다. 그림 6.1.6은 대표적인 전력기기 진단기술을 나타내고 있다.



< RCM Decision Logic Tree >
 그림 6.1.5 RCM 결정 흐름도

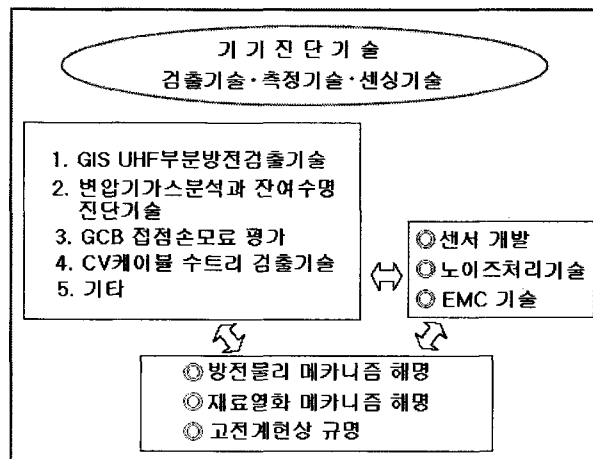


그림 6.1.6 기기진단기술

그림 6.1.6의 좌측에 있는 것처럼 현재 보고 되고 있는 것 중에는, 예를 들면 GIS 중에

서의 부분방전을 UHF주파수대에서 검출하는 UHF 부분방전 검출기술, 유입변압기에서는 유중의 가스분석을 행하여 잔여수명의 진단을 하려는 기술, 혹은 가스차단기의 접점의 소모량의 평가기술, CV 케이블에 있어서는 수트리의 검출기술 등, 매우 많은 새로운 기술이 보고 되고 있다. 이와 같은 것과 이 그림의 우측에 있는 센싱기술의 개발, 노이즈를 처리하여 주위의 EMC와도 공존하여 측정정도를 향상시키는 기술, 또한 부분방전의 메카니즘과 재료열화의 메카니즘이든지 고전계 현상이라는 복잡한 현상을 규명하여 이들을 서로 연계시키고 지능화를 시킴으로써 기기진단기술이 성립될 것이다. 이와 같은 기술과 앞에서 설명한 새로운 RCM 기술을 연계하는 것이 진단에 의한 유지보수기술의 합리화로 이어진다고 생각된다.

이것을 조금 더 구체적으로, 그림 6.1.7과 같은 부분방전의 측정기술을 예로 생각해 보면 부분방전이라는 것은 매우 미소한 초고속의 전자현상이며, 또 전하거동이 매우 복잡하고 이것을 검지하기 위해서는 정교하고 고도의 측정기술을 필요로 한다. 현재, 감도의 향상과 물리 메카니즘에 기초한 센싱의 개발, 검출기술의 개발 그리고 전기적/화학적 데이터의 유기적인 결합, 선택적인 측정기술을 통하여 절연파괴예측 혹은 수명추정기술위한 연구가 수행되고 있다. 조금 더 그것을 자세히 살펴보면 그림 6.1.8과 같다. 우선 기본으로는 물리메카니즘의 해명을 해야 하고, 그러기 위해서는 계측기술의 개발되어야 한다. 이 양자가 연계하여 먼저 절연파괴가 예지되고, 수명추정이 되며 더 나아가 CBM과 RCM에 이어진다고 생각된다. 최근 엄청난 기술의 진보가 있었지만, 이 물리현상에 기초해 파괴가 예지가능한가, 혹은 수명이 추정가능한가라는 것에 대해서는 아직 현상규명이 불충분하다고 사료됩니다.

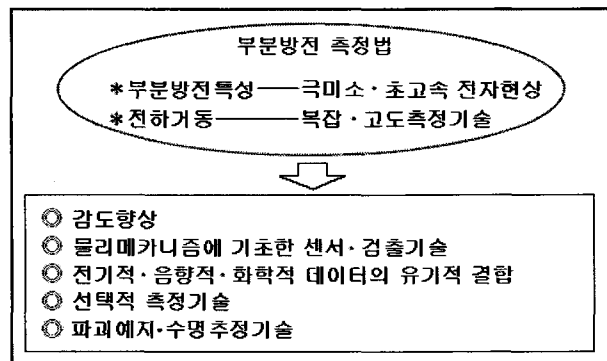


그림 6.1.7 부분방전 측정기술

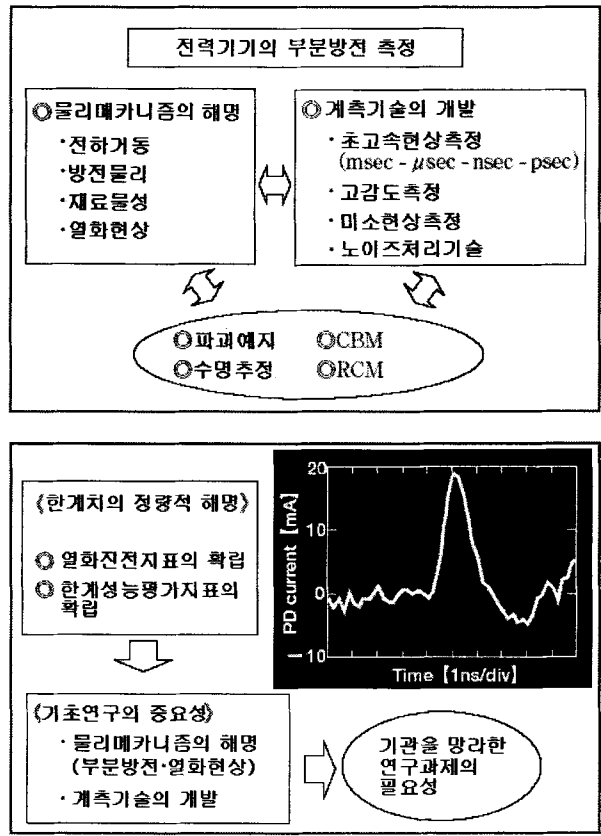


그림 6.18 전력기기의 부분방전측정

예를 들면 여기에 있는 것처럼 ms- μ s-nsec-psec로 쓰여 있지만 부분방전의 전류펄스의 측정이라는 것은 이전은 milli초에서 행하고 있었던 것이 최근은 micro초 더욱 nano초 pico초 레벨까지 매우 빠른 영역까지 들어와 있습니다. 이것은 물리현상이 거기까지 해명이 가능해지고 있다는 것이다. 예를 들면, nano초에서 이러한 부분방전의 전류파형을 정밀하게 측정하는 것이 가능한 곳까지 와 있지만, 아직 한계치의 정량적 해석과 이것에 근거하여 「열화진전지표」의 확립과 「한계성능평가지표」가 아직 확립되어 있지 않다. 이러한 것을 정량적으로 확립해 가기 위해서는 기초연구가 매우 중요하다고 사료되며, 물리메카니즘의 해명 또는 계측기술의 개발이라는 것은 단독으로는 좀처럼 이루기 어려운 것으로 기관을 망라하여 이 분야에 대하여 이 분야에서 지금부터 연구과제를 추진해 가는 것이 필요하다고 생각된다.

마. RCM의 외국의 적용사례

석유화학·정유·가스시설 등 장치산업시설에 대한 기계장치의 설비 신뢰도 자료는 최근 미국 및 유럽에서도 일부 연구가 진행되었다. 또한, ABB, SIEMENS 등의 전력기기 제조 회사 등에서는 디지털형 진단용 IED를 개발하기 시작하였으며 개방형 광역화 시스템에 적용을 시도하고 있다. 특히, 전력기기에 계측기능과 진단기능을 기본적으로 탑재하기 시작하였다.

◆ 미국

- 미국의 EPRI(Electric Power Research Institute)와 MPC(Material Properties Council) 연구팀들에 의해 주도적으로 수행되어 주로 발전설비(원자력, 화력) 및 석유화학시설을 대상으로 고온재료의 재료물성 Data Base를 구성하고 이를 최적 진단 및 정량적 위험 평가(Quantitative Risk Analysis, QRA) 기술에 적용하도록 하고 있다. EPRI에서 1985년에서 1987년까지 3군데 발전소에 Pilot 적용하면서 화력 발전소에 RCM 방법 중 하나인 Stream Lined 방법을 확대 적용하기 시작하였다.
- 1998년, 1999년 배전 지중선로(distribution underground line)에 RCM 프로그램이 도입되어, 고객당 정전 회피 비용을 기존 유지 보수 기법보다 85% 이상 절감할 수 있었다.
- MIT에서는 미국의 7개 전력회사와 공동으로 변압기 진단장치인 TAPS를 개발하여 시범 운영 중에 있다. EPRI의 경우 변압기를 중심으로 한 진단 및 수명예측기술 개발에 중점을 두고 있으며 매년 Diagnostic Conference를 개최하고 있다.
- EPRI 자료에 의하면 진단을 포함한 전력 인프라를 구축하기 위하여 10년 내에 연간 20억불의 연구비를 투입할 예정이다.

◆ 영국

민간기업인 AEAT(Atomic Energy Authority Technology)에서 정부를 대신하여 MHIDaS (Major Hazard Incidents Data Service)라는 사고관련 Data Base를 제작·운영하며 이를 활용하여 대규모 가스시설에 대해 위험정도에 따라 차등적인 검사를 실시하는 RBI(Risk-Based Inspection)기법에 근거한 NIT(Non Intrusive Testing) 프로그램을 개발하였다. 이를 적용하면 설비의 안전을 보다 더 고도화하면서도 연속운전기간을 종전의 1년에서 현재는 3년으로 늘이는 방법을 개발 적용중이다.

그리고, 1999년 영국 전력회사의 지상선로(overhead line)에 RCM 시범 사업이 진행되었다. RCM을 도입할 경우 기존 유지 보수 기법보다 90%의 유지 보수 비용 절감이 가능하다는 결과가 도출되었다.

◆ 독일

1999년 ABB가 주축이 되어 독일 전력회사의 8000 여 전력설비에 RCM을 도입하여 전체적인 전력설비 신뢰도 향상 및 Scheduled Maintenance 대비 70%, Condition-based Maintenance 대비 40%의 유지 보수비용의 절감을 이룩했다. 현재 ABB는 중요 설비의

원격 설비진단 시스템을 보유하고 있으며, RCM 관련 S/W 및 H/W를 지속적으로 개발하고 있다.

◆ 일본

전력회사인 동경전력, 중부전력 등에서는 전력기기 제작사인 TMT&D, JAEPS(Japan AE Power Systems)등과 진단시스템을 개발하고 현장에 적용을 시도하고 있으며, 전력기기 제작사인 Hitachi, Toshiba 등은 대학, 중소기업과 협력하여 개발을 추진하고 있다.

3. 장래의 전력설비 진단기술

지금까지 현재 운전되고 있는 기기에서 사용되고 있는 진단기술에 대하여 논하였지만, 지금부터 개발되는 장래의 새로운 기기에 대하여 어떻게 대처해야 하는가에 대하여 살펴보고자 한다. 그림 6.1.9에 장래의 기기개발에 필요한 조건을 간략히 요약했다. 이 그림에서와 같이 전력기기가 한층 고전계화 되어가는 것과 같이하여 이상진단이나 진단·예지수명기술을 기기의 개발단계부터 도입해 가는 것이 장래에 대한 준비라고 생각합니다. 여기에 그림 6.1.10과 같은 개념의 LCC/LCA에 기초한 기기개발이 물론 필요하게 됩니다. 장래 이와 같은 기기가 개발되기 위해서는 지금까지의 기기와는 다른 새로운 기기개발 개념이 요구된다. 예를 들면, 기기의 설계·제조·운전·수명·회수를 통합으로 고려한 통합 관리·통합 비용이라는 시점에서 기기를 생각해 가는 것이 가장 필요하다. 두 번째는 진단기술도입을 기기설계·제조기술에까지 반영할 필요가 있다. 지금까지는 그들이 독립된 형태로 존재해 있었으며, 비용 대 효과라는 면에서 충분히 효과를 올리고 못하고 있다고 생각된다. 이제부터의 기기라는 것은 그런 진단기술을 준비하고 있는 것에 기초하여 설계라든지 제조기술이 변해가야 된다. 세 번째는 데이터의 일원화 혹은 데이터의 관리라는 것을 들 수 있다. 네 번째는 시스템협조로, 시스템 전체로서 기기와 구성요소를 포착해 가는 것이 필요하다. IT활용은 이들 전체를 지원하게 된다.

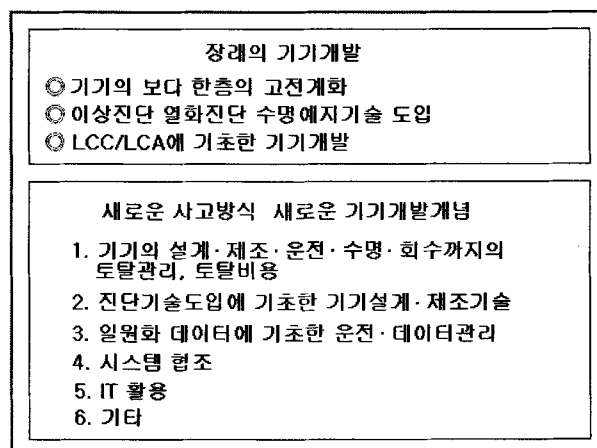
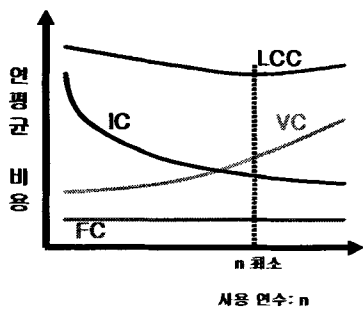


그림 6.1.9 장래의 기기개발



현재까지 LCC 평가(CIGRE식)

$$LCC = IC + (FC + VC) \times \frac{(1+P)^n - 1}{P \times (1+P)^n}$$

LCC: 현재까지 환산 life cycle비용
 IC: 초기비용
 FC: 연간점검보수비용
 VC: 연간수리비용
 n: 변전소 계획사용연수
 P: 이자율

그림 6.1.10 Life Cycle Cost을 이용한 비용 산정의 최적화 방안

이상과 같은 RCM을 이용한 전력설비의 유지보수 및 진단, 수명예측을 위해서는 다음과 같은 연구가 수행되어야 한다.

우선 제작사·사용자를 망라한 정보·데이터의 공유화·일원화·데이터마이닝, 데이터 베이스를 면밀히 운용, 활용해 가는 것이 필요하다. 두 번째는 life cycle cost(LCC)·life cycle management의 사고방식이 필요하다. 세 번째는 RCM을 도입되어야 한다. 네 번째는 기초물리현상(메카니즘)과 관련하여 기초현상규명과의 대응을 세우고 새로운 신뢰 가능한 「진단지표」를 확립해 가는 것이 필요하다. 다섯 번째는 환경적합성이라든가 사회적 수용성 위에 유통설비와 진단기술 혹은 그들의 life cycle management라는 것이 성립하기 때문에 이들을 포함하여 검토해 가는 것이 필요하다. 여섯 번째는 IT의 활용·원격 감시도 포함해야 한다. 일곱 번째는 장래기기에 대해서 현재 운용되고 있는 기기보다 이 상으로 새로운 보수와 진단의 사고가 도입되어야 합니다.

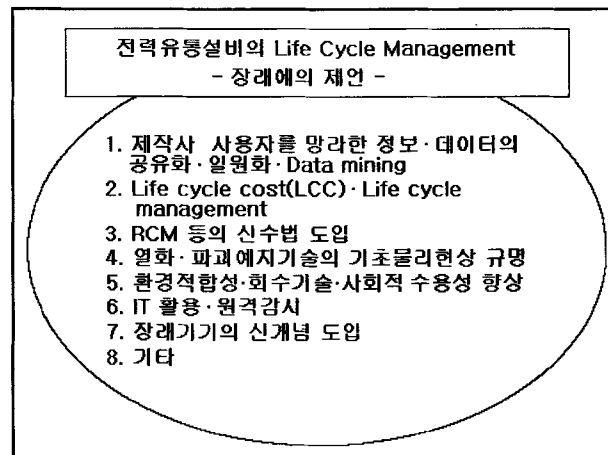
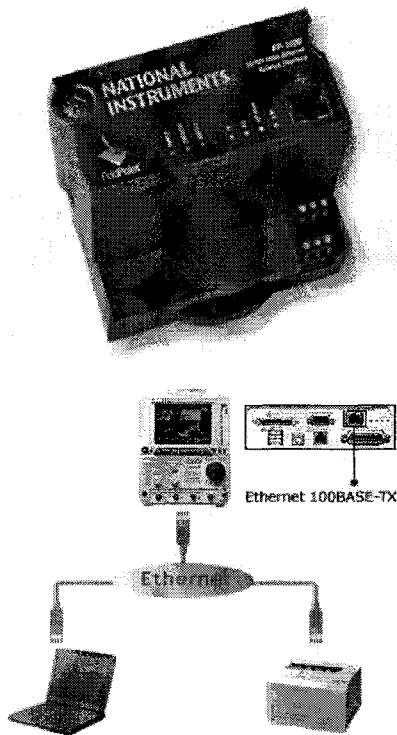


그림 6.1.9 전력설비의 Life cycle management

제 2 절 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 디지털 계측기

디지털 계측기의 경우 그 품목이 너무나 다양하고 계측 자체의 중요성 때문에 계측기 성능을 향상시키는 분야와 MMI(Man-Machine Interface)를 보다 편리하게 해 주는 분야에서 꾸준한 진보에도 불구하고, 계측 방식의 고정 개념을 깨고 정보통신의 거대한 네트워크를 통해 계측 자체를 클래스화 또는 객체화하기 위한 시도는 아직 보이지 않고 있다. 그러나 Tektronix, Agilent, Keithley Instruments, National Instruments, Yokogawa 등 메이저 계측기 회사들은 이미 어느 정도 고가의(USD5,000이상) 자사 제품에 이더넷과 같은 네트워크 포트를 포함시켜 계측기 네트워킹 시대를 대비하고 있고, 여러 벤처업체들은 저가의 웹 어댑터로서 계측기를 인터넷상에 접속시켜 도래할 네트워크 시대를 대비하고 있다. (그림 6.2.1 참조)



NI FP1600C Adaptor

- Fast Ethernet TCP/IP interface (100BaseTX (100 Mb/s), 10BaseT (10 Mb/s))
- Event-driven communications
- Network autoconfiguration
- Intelligent diagnostics and maintenance
- FieldPoint server software (OPC server, FieldPoint Explorer configuration utility Windows NT/9x)

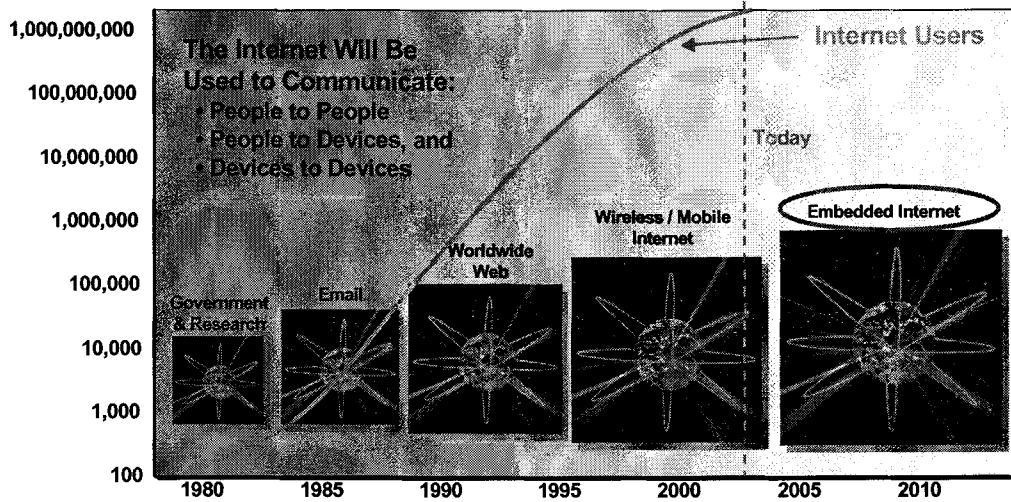
Yokogawa DL1740 Osc

- Data Transmission to/from a remote PC through FTP server function
- Network Printing on a remote network printer.
- Email Transmission : While the DL1740/DL1720 is operating, you can have it send waveform parameter measurement results and error information to a specified email address at designated intervals. You can also have GO/NO-GO determination results sent, or have messages sent as the ACTION of a trigger activation.

그림 6.2.1. 계측기 네트워크의 사례

계측기용 네트워크 경우 그 표준을 논하기에는 아직 보안성, 실시간 등 몇 가지 어려운 문제가 존재하므로 당장은 독자적인 네트워크 표준을 가질 수 없고, Ethernet/IP(Ethernet Industrial Protocol)와 같은 필드버스의 진화된 형태를 유지하게 될 전망이 지배적이다. 따라서, 정보통신 네트워크로 하여금 디지털 계측기를 진정한 네트워크 일원으로 받아들여 주도록 하기 위해서는 계측기 진영이 홈 네트워크와 같은 형태를 갖추지 않을 수 없다.

그림 6.2.2는 20년 역사의 인터넷이 시대의 흐름에 따라 개념적으로 어떻게 변화해 왔는가를 보여 주고 있다. 그림에서 보듯이 지금은 무선 인터넷을 지나 모바일 인터넷 시대이고 다가오는 시대는 임베디드 인터넷 시대이다. 굳이 임베디드 인터넷이라고 표현하지 않아도 이미 인터넷과 네트워크가 혼용되어 사용될 정도로 인터넷은 모든 네트워크의 싱크가 되어가고 있다^{[37][38]}.



Source: Network Wizards, Motorola, Microsoft, The State of the Net

그림 6.2.2. 인터넷의 개념 변화

2. 임베디드 OS

계측기의 입력부, 프로세싱부 등의 하드웨어적인 모든 구성요소가 갖추어 졌다면, 실제 디지털 계측기의 각 요소들을 구동시키고 제어하며, 사용자와의 입출력을 처리할 종합적인 소프트웨어가 있어야 하는데, OS가 이 역할을 한다고 볼 수 있다. 디지털 계측기의 사용 환경이 일반적으로 사용되고 있는 데스크 탑 컴퓨터와는 그 목적부터가 완전히 다르므로 계측기 OS는 당연히 많은 부분에서 데스크 탑과 달라야 한다.

계측기 OS는 계측기의 각 하드웨어 구성요소를 제어해야 하고, 실시간 스케줄링, 제한된 메모리 자원의 관리, 특히 네트워크 관련 서비스의 전송 등 디지털 계측기의 여러 기능을 관리하는 역할들이 위주가 되어야 한다. 물론 OS의 커널(kernel)은 그 크기가 작고 빠르게 반응해야 하고 안정적으로 동작해야 함은 물론이다.

응용소프트웨어를 지칭하는 계측기 OS 레벨에서의 API(Application Program Interface)의 제공 역시 중요한 부분으로서, 소프트웨어 개발자들에게 일관된 개발환경을 제공하는 목적 이외에도, OS 측면에서 볼 때 PC(Personal Computer)와는 달리 계측기 OS의 경우엔 사용자와 메시지 창으로 '대화'하는 부분이 거의 없게 마련이므로 다소 둔하더라도 탄탄한 프로그래밍 환경이 아주 중요하다. 이미 출시된 실시간 OS 종류에는 VxWorks, pSOSystem, Microware's DAVID OS-9, Microsoft's Windows CE, JavaOS, Linux 등 다양한 제품군들이 있다^[37-39].

3. 네트워크 관련 디바이스 드라이브

계측기 네트워크는 홈 네트워크와 마찬가지로 크게 통신 기술과 미들웨어 기술로 구분할 수 있으며, 통신 기술은 다시 유선 기술과 무선 기술로 나눌 수 있다. 현재 계측기 네트워크는 홈 네트워킹의 통신 기술개발을 적극적으로 추진하고 있는 그룹은 홈 RF워킹그룹(the Home Radio Frequency Working Group)과 VESA(Video Electronics Standards Association) 홈 네트워크로서, RF워킹그룹은 PC, 휴대폰, 가전제품 등을 무선으로 제어하는 기술들을 개발하고 있으며, VESA 홈 네트워크는 하나의 썬을 통해 PC, 주변기기, 가전제품 등 가정내의 기기를 통합, 제어하는 기술개발에 주력하고 있다.

홈 네트워크의 하드웨어 표준으로는 컴퓨터 및 가전업체를 중심으로 하비(HAVI: Home Audio-Video interoperability)가 제안되었고, 이를 기반으로 디바이스의 운영, 관리 및 제어를 위한 미들웨어(응용 소프트웨어) 기술 표준으로서 썬 마이크로시스템즈의 자바 기계를 기반으로 한 지니(Jini)가 발표되었으며, 마이크로소프트사에서는 지니에 대응하여 유피엔피(UPnP: Universal Plug and Play)를 개발하여 네트워크 표준기술 선점을 노리고 있다. 그리고, 이동 전화기나 PDA(Personal Digital Assistant), HPC(Handheld Personal Computer)의 경우도 WAP(Wireless Application Protocol) 등의 개발로 홈 네트워크 시장확보 경쟁에 참가하고 있다^[37-39].

4. 계측기 네트워크 미들웨어

기본적인 하드웨어 입출력, 주변장치 제어 및 네트워크 관리 등이 계측기 OS의 특징이라면, 언제나 다양한 종류의 계측, 신호처리 등을 처리하고, 다양한 종류의 서비스 특히 지니 등을 일괄적으로 지원하기 위한 중간 역할은 미들웨어에서 담당하게 된다.

사실 많은 수의 디지털 계측기 제조사들이 각자 고유의 하드웨어 플랫폼과 각 사의 개발환경에 맞는 OS등을 채택하고 있기 때문에, 통합 소프트웨어 표준을 잡기가 모호하다. 이러한 추세에 발맞춰 Open Architecture 지향의 중간응용 소프트웨어가 발표되기 시작하였는데, 이들 미들웨어들의 공통지향 운영범위는 HTML Machine, Java Virtual Machine, Script Interpreter 등이며, 대부분의 네트워크형 계측기에서 표준적으로 지원되어야 할 범위를 담고 있는 일종의 레이어 역할을 하게 된다. 아직 시장에 나타나진 않았지만, 디지털 계측기와 유사한 패턴인 셋탑 박스를 예로 들어 보면, Microsoft's TV PAK, OpenTV, Media Highway, eNavigator, PowerTV, PlanetTV 등의 제품군들이 이미 시장에 출시되어 적용을 기다리고 있다.

디지털 계측기의 네트워크와 가장 유사한 홈 네트워크 미들웨어는 소니·필립스·파나소닉·히타치 등 가전업체들이 주도하는‘하비(HAVi)’와 MS·인텔·스리콤 등 1,000여개사가 연합한‘유피엔피(UPnP)’진영 및 홈네트워크 솔루션인‘지니’를 선보인 선마이크로시스템스 진영이 표준화를 놓고 3파전의 양상을 띠고 있다. 홈 네트워크 표준화의 핵심 포인트는 ‘홈 네트워크의 중심을 어디에 두느냐’라는 기술적 차이에 있다. 가전업체들이 중심인 하비 진영은 디지털 가전제품을 중심으로 삼는 데 비해 UPnP는 PC와 주변기기에 초점을 맞추고 있다. 국내 업체들도 현재 다양한 기술표준에 복수 가입, 기술 표준화에 대비하는 한편 기술간 호환성을 높이는 데 주력하고 있다^[37-39].

◆ 지니(Jini)

썬 마이크로시스템즈가 개발한 홈 네트워크 응용 기술로 주변기기를 운영체제에 관계 없이 활용할 수 있어 단일한 운영체제에 의해 데이터가 제어될 때 발생하는 데이터 접속 부하를 줄여 네트워크 기기간의 분산환경을 강화하였다. 자바 언어를 이용한 이 기술은 네트워크 상에서 플러그 앤 플레이(Plug and Play) 기능을 제공하며, 모든 요소를 서비스로 처리하는 “서비스 기반 구조”를 활용하고 있다. 이 기술은 썬사를 필두로 한 13개 연합 그룹이 핵심기술을 확보하고 있다.

◆ UPnP(Universal Plug-and-Play)

마이크로소프트사의 UPnP는 복수의 디바이스를 상호 통신 및 접속을 가능하게 하는 소프트웨어 아키텍처로서, 훨씬 간편하며 소형인 드라이버 장치들을 개발해 소비자들이 HW와 장비들의 구성에 관여하지 않아도 될 수 있도록 계속적으로 연구되고 있다. 최근 무선 또는 전화선, 전력선 등을 통해 가정 내의 모든 장치들을 연결하기 위한 기술도 함께 개발되고 있다.

5. 계층기 OS와 API

계층기의 하드웨어, 계층기 OS, 그리고 미들웨어까지 구성되었다면 실기기 즉 대상 계층기에서 실제로 구동될 특화된 어플리케이션을 제작 혹은 이용하는 부분에는 API에 입각해 개발, 운용되어지는데, 계층기 OS에 따라 또 제공되는 미들웨어에 따라 어떠한 API를 지원하는지 달라진다. 어떤 API를 제공하는가 하는 점 역시 하드웨어적인 완성도 못지않게 중요하고, 보다 많은 콘텐츠를 쉽게 개발되어지게끔 하는 중요한 요소의 하나이다.

	현재(안)	차세대 플랫폼
개방성	UP&P, JINI	JINI
플랫폼 독립성	JINI	JINI
확장성	UP&P, JINI	JINI

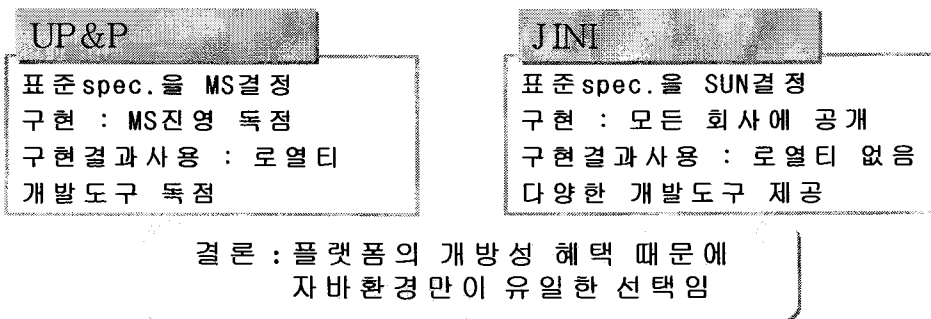


그림 6.2.3. 네트워크 미들웨어 표준화 동향

지니를 기반으로 하는 자바 솔루션은 그림 6.2.3에서 보듯이 자바의 개방성과 이식성 때문에 자바언어 기반의 프로그램 개발이 금융·검색·게시판·무선인터넷 등 인터넷 솔루션 분야로 확대되고 있다. 이처럼 대화형 프로그래밍 언어의 채택이 비즈니스분야로 확산되고 있는 것은 자바가 양방향 인터넷 애플리케이션을 구현할 수 있는데다 윈도우나 유닉스 등 운용체계에 상관없이 작동하는 등 그 활용 범위가 넓기 때문이다^[37-39].

6. 디지털 프로세서

디지털 계측기의 경우 계측기의 고유기능 운용을 위한 마이크로프로세서는 인텔과 모토롤라 계열의 임베디드형이 주종인 것으로 파악되었다. 그러나 계측기의 차세대 네트워킹을 대비해서는 인텔과 모토롤라의 일반적인 임베디드 마이크로프로세서보다 네트워킹 지향적인 특히 자바머신이 탑재하기 용이한 ARM 계열 또는 네트워크 기능이 강화된 모토롤라의 MPC 계열이 유리할 것으로 분석되었다^{[1][2]}.

디지털 계측기에 탑재되어 주 프로세서로 사용될 가능성 있는 범용 마이크로프로세서는,

① ARM : XScale 계열, Strong ARM 계열, ARM-7 및 ARM-9 계열

② Motorola : MPC8xx 계열, Dragon Balls MC68x 계열

의 두 부류로 대별될 수 있다.

표 6.2.1. ARM 코어 비교

Core	ARM7TDMI	ARM720T	ARM920T	ARM926EJ-S	ARM1020E	ARM11
Architecture Version	ARMV4T	ARMV4T	ARMV4T	ARMV5TE	ARMV5TE	ARMV6
Internal Structure	3 stage pipeline, unified I/D bus	3 stage pipeline, unified I/D bus	5 stage pipeline, discrete buses	5 stage pipeline, discrete buses	6 stage pipeline, discrete buses	8 stage pipeline
Typical Die Size	0.53mm ² (0.18u)	2.93mm ² (0.18u)	11.8mm ² (0.18u)	3.5mm ² (0.18u)**	10.3mm ² (0.13u)	
Power Consumption (Average)	0.25mW/MHz	0.65mW/MHz	0.8mW/MHz	1.8mW/MHz	0.5mW/MHz	0.4mW/MHz in 0.13μm
Clock Speed	60~100MHz	60~75MHz	220MHz	180~270MHz	400MHz	350~500MHz in 0.13μm
Cycle per Instruction	CPI - 1.9	CPI - 1.9	CPI - 1.5	CPI - 1.5	CPI - 1.2	
Caches	None	8k unified	16k I/D cached	Configurable	ARM1020T - 32Kb I&D cache	

ARM 코어는 여러 분야의 글로벌 파트너들과의 파트너십을 통해 자동차, 소비자용 제품, 엔터테인먼트, 이미지 처리, 산업 부문, 네트워크, 보안, 저장 매체 및 무선기기 등 여

러 시장에서 넓은 범위의 혁신적인 기술을 제공하고 있고, 특히 산업 부문에서는 제어 및 계측 장비(산업용 측정 장비와 의료용 계측 장비) 등에서 적용되고 있다. ARM은 표 6.21에서처럼 아키텍처에 따라 각각 다른 성능을 제공한다. ARM RISC 프로세서가 32비트로 설계되어 있지만 코드 크기를 줄이기 위해 16비트 Thumb 명령어를 지원한다. ARM DSP 명령어 확장은 Single-cycle 16x16 과 32x16 MAC 연산이 가능하고, Jazelle 기술은 하드웨어 자바 가속 기능을 제공하고, Media는 SIMD 명령어 추가를 통해 향상된 오디오·비디오 처리 성능을 제공한다.

표 6.2.2. ARM 아키텍처의 구성

아키텍처	기 능			
	Thumb	DSP	Jazelle	Media
V4T	○			
V5TE	○	○		
V5TEJ	○	○	○	
V6	○	○	○	○

ARM은 아래의 같이 각 아키텍처에 대해 로드맵을 제시하고 있다. 이 로드맵은 새로운 아키텍처의 등장으로 인해 기존의 프로세서가 교체되는 것이 아니라, 적용 분야의 요구에 따른 각 아키텍처 별로 프로세서가 공급된다는 것을 보여주고 있다.

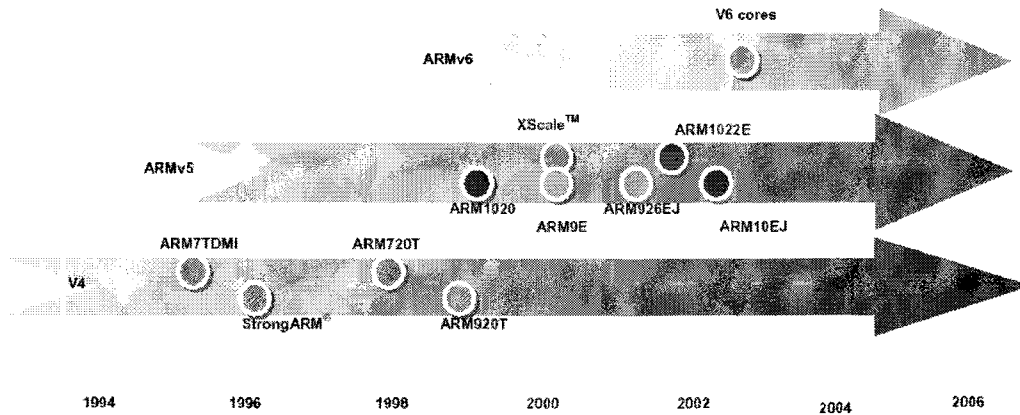


그림 6.2.4. ARM Architecture Revisions

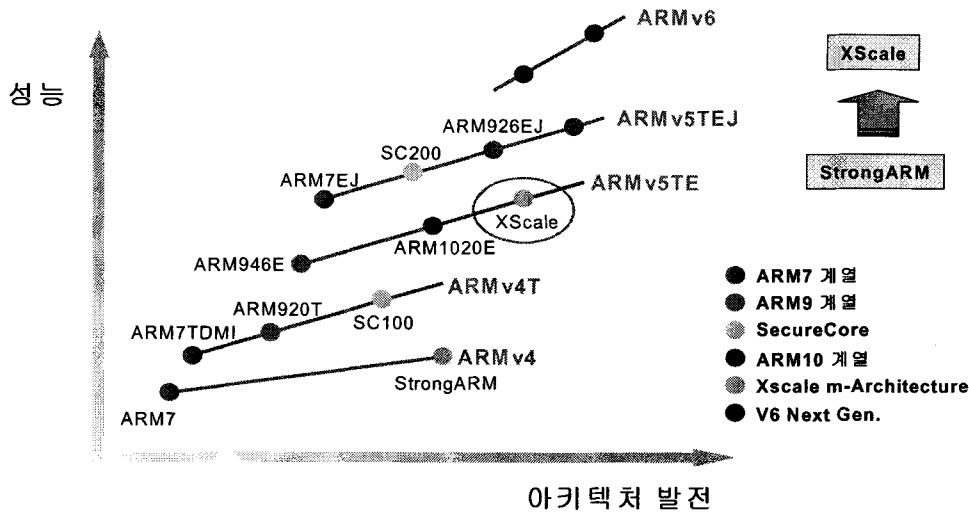


그림 6.2.5. Architecture 개선을 통한 성능향상

StrongARM은 ARM 프로세스의 명령어를 사용하는 디자인에 대한 ARM과 Digital 세미컨덕터의 작업 결과이지만 그것은 Alpha 시리즈의 칩 기술로 만들어졌고, StrongARM을 인텔이 디지털 세미컨덕터로부터 인수한 것이다. 이 프로세서는 ARMv4 아키텍처를 기반으로 한다. XScale은 노화된 디자인, 이전의 디지털 세미컨덕터 제조공정에서 생산을 제한했던 설계 결정, 그리고 StrongARM 업그레이드 경로의 부족으로 인해 ARMv5TE 아키텍처 기반의 프로세서로 인텔에서 구현한 것이다. XScale이 가지는 가장 큰 차이는 DSP의 지원과 16 비트 Thumb 명령어 지원이다. 현재 임베디드 기기에 ARMv5 아키텍처 기반의 프로세서(ARM9E, XScale)이 적용되고 있다. 그리고 인텔은 StrongARM에 대한 공급과 기술 지원을 중단하고 있다^{[37][38]}.

표 6.2.3. Strong ARM과 XScale 마이크로세서의 비교

프로세서	StrongARM	XScale
항목		
CPU 처리방식	32bits RISC	
Clock(MHz)	133, 206	200, 300, 400
연산능력(MIPS)	150 ~ 235	400 ~ 900
Cache Size (Inst/Data)	16KB / 8KB	32KB / 32KB
DSP	No	Yes
아키텍처	ARMv4	ARMv5TE

제 7 장 참고문헌

- [1] J. C. Devins, S. J. Rzad and R. Schwdbbe, "Breakdown and Prebreakdown Phenomena in Liquids", J. Appl. Phys., Vol. 52, pp. 4531-4545, 1981,
- [2] O. Lesaint and R. Tobazeon, "Streamer Generation and Propagation in Transformer Oil Under ac Divergent field Conditions", IEEE Trans. Elec. Insul., Vol. 23, pp. 941-954, 1988.
- [3] O. Lesaint and G. Massala, "Positive Streamer Propagation in Large Oil Gaps: Experimental Characterisation of Propagation Modes", IEEE Trans. Vol. 5, pp. 360-370, 1998.
- [4] P. Atten and A. Saker, "Streamer Propagation Over a Liquid/Solid Interface", IEEE Trans. Elec. Insul., Vol. 28, pp.230-242, 1993.
- [5] L. E. Lundgaard and O. Lesaint, "Discharges in Liquids in Point-Plane Gap Under ac and Impulse Stress", IEEE Int. Conf. on Elec. Insul. and Diel. Phen., (CEIDP), pp. 596-599, Virginia Beach, USA, 1995.
- [6] G. Massala and O. Lesaint, "Positive Streamer Propagation in Large Oil Gaps: Electrical Properties of Streamers", IEEE Trans. DEI, Vol. 5, pp. 371-381, 1998.
- [7] R. Bartnikas, "Effect of Pulse Rise Time on the Response of Corona Detectors", IEEE Trans. Elec. Insul., Vol. 7, pp. 3-8, 1972.
- [8] H. Borsi and U. Schroder, "Fundamental Investigations Concerning the Behavior of Partial Discharges (PD) in Dielectric Liquids", 10th IEEE Int. conf. on Cond. and Break. in Diel. Liq. (ICDL), Grenoble (France), pp. 490-494, 1990.
- [9] S. Sakamoto and H. Yamada, "Optical Study of Conduction and Breakdown in Dielectric Liquids", IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol. 15, pp. 171-181, 1980.
- [10] R. Bartnikas and E. J. Mc Mahon, Engineering Dielectrics, Vol. 1 Corona Measurement and Interpretation, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1979.
- [11] T. W. Dakin and P. J. Malinaric, "A Capacitance Bridge Method for Measuring Integrated Corona Charge Transfer and Power Loss per Cycle", Trans. AIEE PAS, 79, pp. 648-653. 1960.
- [12] H. Tsukioka et al., "Study on Gases Decomposed by Heating of Insulating Paper in Mineral Oil", JIEE 55-A70, 1980
- [13] "Methods of test for electric strength of solid insulating materials", IEC 60243-1, 1988
- [14] Sang-Hwa Yi et al. "Detection Characteristics of a Novel Coupler for GIS PD Detection", KIEE International Transactions on EA, Vol. 3-C, No. 6, pp. 224-229, 2003

- [15] H. Debruyne, "About the Significance of PD Measurements in Liquids", IEEE Trans. on DEI, Vol. 10, No. 3, June 2003
- [16] "High-voltage test techniques-Partial discharge measurements", IEC Pub. 60270, 2000
- [17] R. H. DuHammell and D. E. Isbell, "Broadband Logarithmically Periodic Antenna Structures", IRE Intern. Conv. Record, pp.119-128, 1957.
- [18] Y. Mushiake, "Self-Complementary Antennas", Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- [19] W.L. Stutzman and G.A. Thiele, "Antenna Theory and Design 2nd Edition", Canada, John Wiley & Sons, 1982
- [20] C. A. Balanis "Advanced Engineering Electromagnetics", John Wiley & Sons, 1989. IEC 60243-1
- [21] IEC 60270, "High-voltage test techniques - Partial discharge measurements", Third edition 2000-12
- [22] N. D. Kock, B. Coric and R. Pietsch, "UHF PD Detection in GIS - Suitability and Sensitivity of the UHF Method in Comparison with the IEC 270 Method", IEEE Electrical Insulation Magazine Vol.12, No.6 pp.20-26, 1996
- [23] R. Baungartner, B. Fruth and K. Pettersson : Partial Discharge-Part X:PD in GIS-measurement and Practical Considerations, IEEE Electrical Insulation Magazine Vol.8, No.1 pp.16-26, 1992
- [24] S.M. Berlijn and W.R. Rutgers : Evaluation of different partial discharge detection methods for usage in on-line monitoring and on-line inspection system for GIS, CIGRE 33-94(WG03)IWD
- [25] 若林誠二 外: GISにおける部分放電検出システム開発, T.IEE Japan, Vol. 117-B, No. 12, pp. 1575-1583, 1997
- [26] 渡辺弘行 外: GIS用 部分放電検出 センサの検出特性, T.IEE Japan, Vol. 116-B, No. 10, pp.1246-1251, 1996
- [27] 宮崎明延 外: 長距離GIL竣工試験向け部分放電試験(UHF センサによる実験), 電気學會技術報告 SP-96-70, HV-96-142, pp.81-88, 1996
- [28] 金万直弘 外: 外部アンテナ用いたGIS絶縁断方法, T.IEE Japan, Vol. 115-B, No. 10, pp.1200-1207, 1995
- [29] J. S. Pearson, B. F. Hampton and A. G. Sellars, "A Continuous UHF Monitor for Gas-insulated Substations", IEEE Trans. on EI, Vol. 26 No. 3, pp. 469 - 478, 1991
- [30] 金万直弘 外 : 外部アンテナ用いたGISの絶縁断方法, T.IEE Japan, Vol. 115-B, No. 10, pp.1200-1207, 1995
- [31] T. Hattori, etc., "A study on effects of conducting particles in SF₆ and test method", IEEE Power del. Vol. 3, No. 1, Jan. 1988 pp197-204

- [32] Li Ming etc., "behavior and effect of conducting spiral particles under ac voltage in a gas insulated electrode system", IEEE Power del. vol. 3 No. 1, Jan. 1988. pp 159-164
- [33] T. Kwamura etc., "Development of GIS diagnosis and on-site testing", CIGRE 23/33-01, 1992
- [34] A. P. Cracknell, "Ultrasonics", Wykeham Publications LTD, 1980
- [35] Balanis, C.A. (1982). ANTENNA THEORY, pp. 542 - 553. John Wiley & Sons, Inc. New York
- [36] David M. Pozar (1998). Microwave Engineering, pp. 288 - 290, John Wiley & Sons, Inc
- [37] 디지털 첨단 계측기기 개발사업 1차년도 중간 보고서, 산업자원부, 2002
- [38] 디지털 첨단 계측기기 개발사업 2차년도 중간 보고서, 산업자원부, 2003
- [39] Engel 저, 광용재 역, 자바 가상 머신 프로그래밍, 인포북, 2000
- [40] 전진홍 외, "네트워크 프로세서(MSC8101)을 이용한 광역 감시 진단용 플랫폼 개발", 대한전기학회 추계학술대회, pp. 503-506, 2003. 11.
- [41] 전진홍 외, "DC-DC 컨버터 진단을 위한 파라미터 추정", 대한전기학회 추계학술대회, pp. 177-180, 2003. 10.
- [42] A. Landi, L. Sani, "Modulating function testing the performance of switch mode converter", IEEE. SDEMPED 01, Pp195-200.
- [43] Amini Lahyani, etc, "Failure Prediction of Electrolytic Capacitors during Operation of a Switch mode Power Supply", IEEE Transaction on PE., Vol.13, No.6, Nov. 1998.
- [44] 김태진 외 "기생저항변화를 고려한 DC/DC 컨버터 열화 진단", 전력전자학술대회 논문집, 2003. 7, pp97-101
- [45] 전진홍 외, "시스템 식별 기법을 이용한 DC-DC 컨버터 파라미터 추정", 대한전기학회 추계학술대회, pp. 503-506, 2003. 11.

[별지 제16호 서식]

특정연구개발사업 연구결과 활용계획서			
사업명	중사업명	특정연구개발사업	
	세부사업명	국가지정연구실 사업	
과제명	전력용 변압기와 GIS의 부분방전 광역감시 및 지능형 진단기술의 개발		
연구기관	한국전기연구원	연구책임자	김광화
총연구기간	2003년. 6월. 25일. ~ 2008 년. 6 월. 24일. (60개월)		
총 연구비 (단위 : 천원)	정부출연금	민간부담금	합계
	1,630,000	-	1,630,000
기술분야	대분류 : 100, 중분류 : 140, 소분류 : 143		
참여기업	없음		
공동연구기관	없음		
위탁연구기관	없음		
연구결과활용 (해당항목에(√) 표시)	1. 기업화 ()	2. 기술이전(√)	3. 후속연구추진()
	4. 타사업에 활용()	5. 선행 및 기초연구()	6. 기타목적활용(교육연구)()
		7. 활용중단(미활용)()	8. 기타()
<p>특정연구개발사업 처리규정 제 31조(연구개발결과의 보고) 제 2항에 의거 연구결과 활용계획서를 제출합니다.</p> <p>첨부 : 1. 연구결과 활용계획서 1부. 2. 기술요약서 1부</p> <p style="text-align: right;">2004 년 6 월 일</p> <p style="text-align: right;">연구책임자 : 김 광 화 (인) 연구기관장 : 권 영 한 (직인)</p> <p>과학기술부장관 귀하</p>			

[첨부1]

연구결과 활용계획서

1. 연구목표 및 내용

※ 당초 연구계획서상의 목표 및 내용을 간략히 기술(300자이내)

△ 변압기 광역 감시진단을 위한 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술

변압기에서 20(pC)수준의 부분방전량을 다중안테나 방식으로 VM으로 원격 측정하고 결함의 종류, 위험도 및 위치를 지능형 프로그램에 의해 분석하는 기술을 개발하는 것으로 1차 연도의 연구내용은 변압기 부분방전 펄스의 결함별 스펙트럼 분석과 안테나 센서설계 요소도출 및 제작임.

△ GIS 광역감시진단을 위한 On-Line 부분방전 감시 및 진단기술

GIS에서 5(pC) 수준의 부분방전량을 UHF 안테나 방식으로 VM으로 원격 측정하고 결함의 형태, 위험도 및 위치한 구획을 지능형 프로그램에 의해 분석하는 기술을 개발하는 것으로 1차 연도의 연구내용은 부분방전 상태분석을 위한 패턴 알고리즘개발, 부분방전 상태 분석용 DB구축과 부분방전 상태 평가방법 개발임.

2. 연구수행결과 현황(연구종료시점까지)

가. 특허(실용신안) 등 자료목록

발명명칭	특허공고번호 출원(등록)번호	공고일자 출원(등록)일자	발명자 (출원인)	출원국	비고
유전체가 삽입된 동축 테이퍼형 광대역 발룬	10-2003-0046273	2003. 7. 9	김광화, 최재구	한국	

나. 프로그램 등록목록

프로그램 명칭	등록번호	등록일자	개발자	비고
역전파이론을 적용한 부분방전 패턴인식용 프로그램	2003-01-12 -4164	2003. 08. 04	최재구, 김익수, 김광화	
초광대역 안테나 정합용 동축 테이퍼형 발룬의 설계 계산프로그램	2003-01-12 -4165	2003. 08. 04	최재구, 김광화, 이상화	
GIS 부분방전 모니터링 프로그램	2004-01-12 -1194	2004. 03. 13	최재구, 이상화, 김광화	

다. 노하우 내역

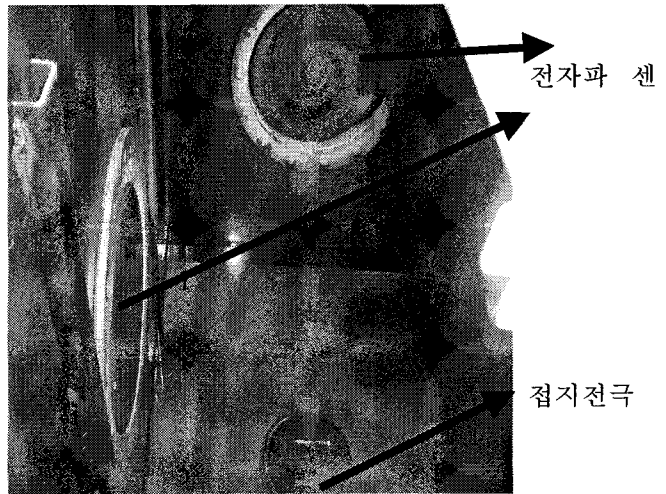
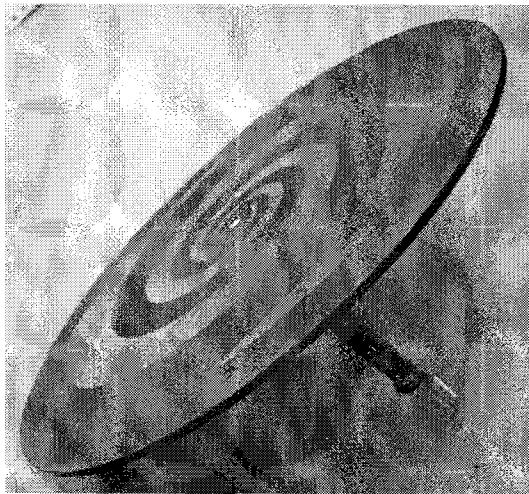
- 부분방전 측정 조건에 따라 안테나와 발룬을 설계 및 제작과 평가기술

GIS 나 변압기에서 부분방전을 측정하는 경우에 조건에 따라 안테나의 형상과 특성이 달라져야 하므로 이를 시뮬레이션에 의한 설계, 제작 및 평가하는 기술과 안테나에서 앰프로 신호를 유도하는 발룬을 환경에 맞도록 설계 및 평가하는 기술을 확보하고 있음.

- 부분방전용 결함을 조작하는 기술과 이를 쉽게 조정하는 기술

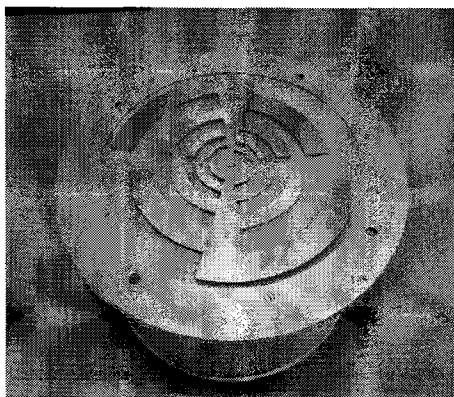
GIS 나 변압기는 대형의 구조물이므로 실제의 조건으로 실험을 하면 엄청난 비용과 시간을 소요하므로 실제의 조건과 같은 효과를 내면서 적은 비용과 짧은 시간에 많은 실험을 행할 수 있는 기술과 결함을 표준화하는 기술을 확보하고 있음.

라. 발생품 및 시작품 내역

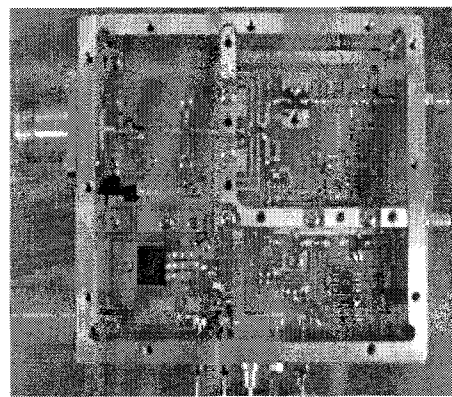


<제작된 변압기용 등각스파이럴 안테나>

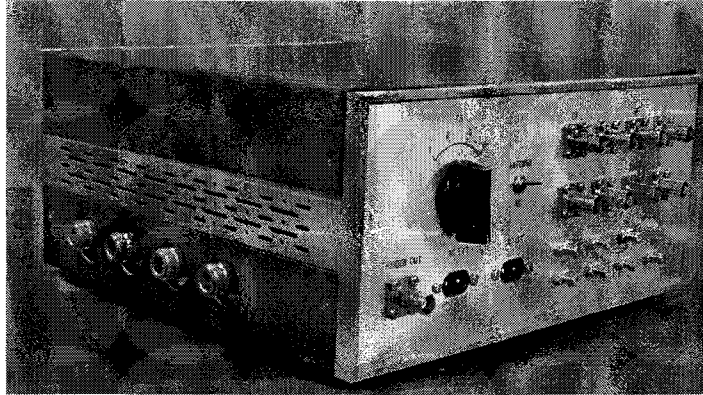
<모델변압기탱크에 설치된 안테나>



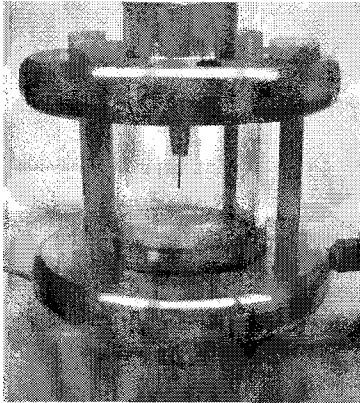
<GIS용 시제작된 대수주기 커플러>



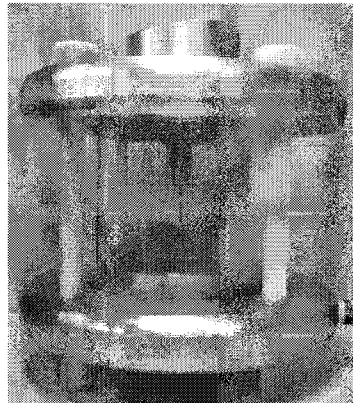
<개발된 GIS용 이중 대역출력 앰프>



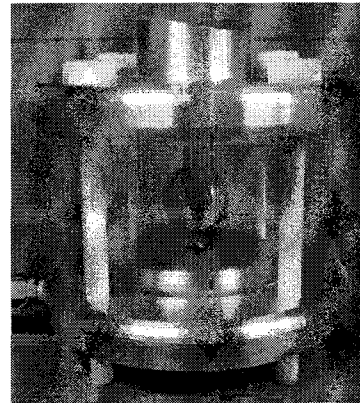
<GIS 부분방전 측정용 이중대역 UHF앰프시스템>



(a)고정침 결합



(b)절연물표면 고정침 결합

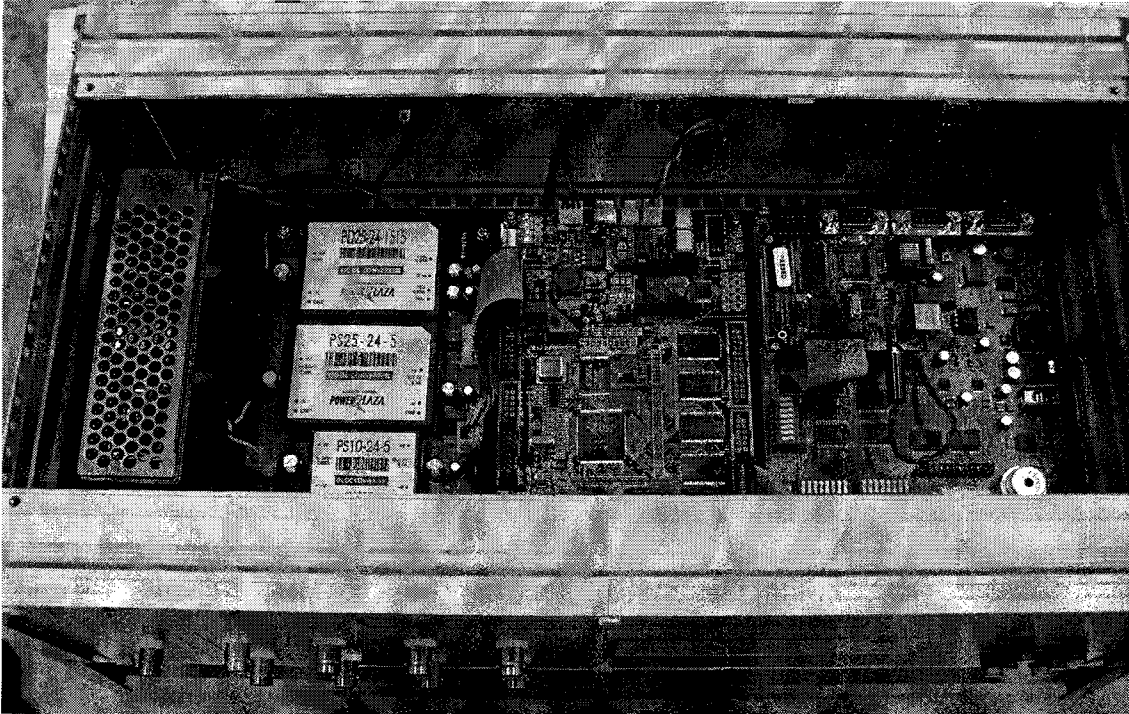


(b)가동볼 결합

<제작된 GIS용 결합의 셀의 종류>



<광역 진단용 플랫폼 (전면부)>



<광역 진단용 플랫폼 (내부)>

마. 논문게재 및 발표 실적

○ 논문게재 실적(필요시 별지사용)

학술지 명칭	제목	게재연월일	호	발행기관	국명	SCI게재 여부
Journal of KIEE	Detection characteristics of a novel coupler for GIS PD detection	2003년12월	3-C(6)	대한전기학회	한국	X
Journal of KIEE	A study on the tapered balun for the UWB coupler(KIEE, 2003.12)	2003년12월	3-C(6)	대한전기학회	한국	X
계: 2건수						

○ 학술회의 발표 실적(국내)

학술회의 명칭	제목	게재연월일	호	발행기관	국명
대한전기학회 하계학술대회	GIS 부분방전 측정용 UWB UHF 커플러에 관한 연구	2003년 7월 22일	C	대한전기학회	한국
대한전기학회 하계학술대회	변압기 열열화 모의 고장에 대한 유중가스 분포연구	2003년 7월 22일	C	대한전기학회	한국
전력설비 진단연구회	전력기기진단기술에 관한 국가기술로드맵	2003년9월 26일	1	대한전기학회	한국
전력설비 진단연구회	유입식 변압기 유중가스분석	2003년9월 26일	1	대한전기학회	한국

대한전기학회 추계학술대회	낮은 온도영역에서의 변압기 절연유 의 유증가스분포특성	2003년10월31일	1	대한전기학회	한국
대한전기학회 추계학술대회	UHF 법에 의한 GIS PD 검출용 스 파이럴 커플러에 관한 연구	2003년10월31일	1	대한전기학회	한국
대한전기학회 추계학술대회	GIS PD 검출용 UWB UHF 커플러 의 테이퍼형 발룬에 관한 연구	2003년10월31일	1	대한전기학회	한국
정보 및 제어학술대회	네트워크 프로세서(MSC8101)을 이 용한 광역 감시진단용 플랫폼 개발	2003년11월21일	1	대한전자학회	한국
대한전기학회 방전고전압연구 회 춘계학술대회	Propagation Characteristics of GIS PD Signals by Dual UHF Band Method(1)	2004년5월21일	1	대한전기학회	한국
전기설비위원회 04춘계학술대회	국내 유입식변압기의 유증가스분포 특성	2004년5월28일	1	대한전기학회	한국
전기설비위원회 04춘계학술대회	GIS PD 검출용 UWB UHF 커플러 의 테이퍼형 발룬	2004년5월28일	1	대한전기학회	한국
전기설비위원회 04춘계학술대회	Propagation Characteristics of GIS PD Signals by Dual UHF Band Method(2)	2004년5월28일	1	대한전기학회	한국
계: 12 건수					

○ 학술회의 발표 실적(국외)

학술회의 명칭	제목	게재연월일	호	발행기관	국명
03 IFAC	A Study on the Development of a Novel Coupler for GIS PD Detection	2003년9월17일	Vol .2	KIEE, CIGRE, IEEE	한국
03 IFAC	Neural Network Approach to Transformer Faults Diagnosis Using Dissolved Gas Composition	2003년9월17일	Vol .2	KIEE, CIGRE, IEEE	한국
03 K-J Joint Symposium	Dissolved gas compositions in oil for simulated transformer faults	2003년11월6일	1	KIEE, IEEJ	일본
03 K-J Joint Symposium	The characteristics of GIS partial discharges measured in two UHF bands	2003년11월6일	1	KIEE, IEEJ	일본
2004 IEEE PMC	Propagation Characteristics of GIS PD Signals by Two UHF Band Method	2004년5월25일	1	IEEE	미국
2004 IEEE PMC	Development of a Novel Tapered Balun for UWB UHF Coupler	2004년5월25일	1	IEEE	미국
계: 6건수					

3. 연구성과

가. GIS UHF 부분방전 측정기술의 현장적용

- 적용대상 : 한국전력의 여수 용성 변전소 154kV GIS(일진전기)
- 실시시기 : 사용 전 시험 : 2004. 1.27-1.28 사용 중 시험 : 5.11

나. 전력기기 광역 감시 및 진단기술의 정보제공

- 전자신문 : 인터넷을 이용한 전력기기 광역 감시시스템 개발에 관하여(2003. 6)
- 전기신문 : 진단기술 강국이 되기 위한 방안과 한국전기연구원의 위상(2003. 10)
- 에너지 경제신문 : RCM 기반 광역 전력설비 예방진단시스템 개발에 관하여 기술(2003. 12)
- 대한전기학회의 전기세계 : 국가기술지도에 있어서의 전력설비 진단기술(2003년 12월)

다. 기관들과의 기술협력

- 전력기기 광역진단 연구실이 주관하여 산학연 공동 “전기설비 진단연구회”를 설립과 운영
- 참여기관 : 전력연구원, 한국전력공사, 한국수자원공사, 교통공단, 철도청, 효성중공업, 현대중공업, LG 산전, 태광이엔시, 피에스디테크, 송실대, 한양대, 대진대, 등
- 제 1 회 기술세미나: 일시 : 2003년 9월 26일 , 장소 : 한국전기연구원, 논문발표수 : 12편
- 제 2 회 기술세미나: 일시 : 2004 6월9일 -10일 장소 : 무주리조트, 논문발표수 : 16편

4. 기술이전 및 연구결과 활용계획

가. 당해연도 활용계획

GIS UHF 부분방전 측정 및 진단기술은 여수 용성변전소의 현장측정용 기술로 활용

나. 활용방법

현재 GIS UHF 부분방전 측정기술은 1차 연도 연구에서 실험실적으로 개발되는 기술의 현장 적용에 한계를 가지므로 이를 보완하기 위하여 현장 측정용으로 활용하고 이때의 문제점을 도출하여 실용화가 가능한 수준으로 높여 관련 기업에 2단계 연구에서 공급할 수 있는 수준으로 함.

다. 차년도이후 활용계획

- 변압기의 부분방전 측정 및 진단기술은 1단계에서 측정과 진단 알고리즘을 개발하고 2단계의 연구기간 동안에 실용화 수준으로 높이기 위하여 잡음처리, 신호 처리 및 인공지능 분석기술을 개발하여 20pC 수준의 부분방전량을 측정할 수 있는 상용 가능한 기술을 확보하고 관련기업에 기술 시연 등을 통하여 기술제공을 함으로써 국내기업의 진단 기술력의 향상과 신제품의 출시에 기여 한다.
- GIS 부분은 1단계 연구에서 현장에서 적용 가능한 수준으로 5pC 방전량 측정 수준의

기술로 높이고 신호처리기술을 개발하며 2단계에서는 광역 측정 및 진단기술에 주력하여 부분방전의 결함의 종류, 발생위치 그리고 방전진행상태를 진단할 수 있는 수준으로 높인다. 그리고 이 기술을 시연 등을 통하여 관련업체에 기술제공을 함으로써 신제품의 출시와 사업화에 기여 할 것이다.

5. 기대효과

가. 기술적 측면

- 변압기, GIS 등의 전력기기의 고장예방에 필요한 핵심기술인 절연진단 기술을 확보가 본 기술로 가능함.
- 변압기에 대한 부분방전측정기술이 세계적으로 확보되어 있지 않으므로 본 연구에서는 20pC 수준의 기술을 개발함으로써 세계 최고의 기술확보가 가능함.
- 진단기능이 첨가된 신전력기기의 개발이 가능한 돌파구가 열림.
- 국내 산업체의 전력기기의 보수 및 유지기술의 기술향상의 가능.
- 전력기기를 광역 감시 및 진단을 할 수 있는 VM기술력을 세계 최초로 확보함으로써 국내 전력기기 산업의 국제화 및 선진화가 가능함.

나. 경제 산업적 측면

- 광역 부분방전 감시 및 진단의 전력기기 진단기술을 확보함으로써 선진국으로부터 기술종속탈피 및 국제경쟁력의 확보(수입대체 효과 : 100억원/년)
- 차별화된 진단형 전력기기 개발로 국내생산업체의 위상제고와 수출촉진(1000억원/년)
- 전력기기의 경제적인 보수, 유지 및 교체로 경비절감(6000억원/년간)
(한국전력의 연간 수선유지비 및 감가상각비는 1조 9342억원과 4조 2417억임, 2002년)
- 전기 재해 대형사고, 전기화재, 정전으로 인한 산업체의 생산손실과 공공시설의 사회적 손실의 예방(1조원/년간)
- IT산업과 연계된 진단산업의 신장출과 고부가가치화

다. 사회·문화적 측면

- 지하철 철도 대형백화점 및 공중이용설비의 안정적인 전력공급으로 사회의 불안전 해소와 주민의 생명보호
- 고장 및 사고의 과급과 전력기기의 불필요한 교체 억제로 공해 및 폐기물 발생의 감소에 기여

6. 문제점 및 건의사항(연구성과의 제고를 위한 제도·규정 및 연구관리 등의 개선점을 기재)

[첨부2]

기술 요약서

■ 기술의 명칭

전력기기 지능형 광역 감시진단기술

■ 기술을 도출한 과제현황

과제관리번호	M1-0302-00-0094			
과제명	전력용 변압기와 GIS의 부분방전 광역감시 및 지능형 진단기술개발			
사업명	특정연구개발 사업			
세부사업명	국가지정연구실 사업			
연구기관	한국전기연구원	기관유형	출연연	
참여기관(기업)				
총연구기간	2003년 6월 25일 - 2008년 6월 24일			
총연구비	정부(1,630,000)천원	민간()천원	합계(1,630,000)천원	
연구책임자 1	성명	김 광 화	주민번호	
	근무기관 부서	한국전기연구원 산업전기연구단	E-mail	khkim124@keri.re.kr
	직위/직급	그룹장/책임급	전화번호	055-280-1570
연구책임자 2	성명	선 종 호	주민번호	
	근무기관 부서	한국전기연구원 산업전기연구단	E-mail	ihsun@keri.re.kr
	직위/직급	선임연구원	전화번호	055-280-1578
실무연락책임자	성명	최재구	소속/부서	한국전기연구원 산업전기연구단
	직위/직급	선임연구원	E-mail	jgchoi@keri.re.kr
	전화번호	055-280-1534	FAX	055-280-1490
	주소	(641 - 120) 경남 창원시 성주동 28-1		

■ 기술의 주요내용

[기술의 개요]

전력기기 광역감시진단 기술은 전력공급의 핵심인 변압기, GIS 등과 같은 전력기기의 고성능화, 신뢰성 확보, 보수 및 유지의 경제성향상과 적정시기의 교체를 확보하는 기술로서 산업설비, 전력계통설비, 지하철, 고속철도등의 교통 및 수송설비와 하수종말처리장, 배수펌프장과 같은 환경 및 재해방지설비에 대해서 안정적이고 신뢰성이 있는 전력공급을 위한 핵심기술이다. 전력기기의 고성능화, 신뢰성 확보와 보수, 유지 및 교체의 경제성향상을 위해서 운전 중인 기기에 대한 감시진단 기술이 필수적이고 많은 전력기기의 시스템이 자동화 및 무인화가 되므로 광역감시진단 체제를 구축하는 기술이 필수적이다. 이를 위하여 변압기 및 GIS의 부분방전 광역 측정 및 지능형 진단 기술과 광역체제구축을 위한 진단네트워크용 가상기계(Virtual Machine)기술 개발이 핵심이다.

(1) 1단계

- 변압기의 부분방전 측정을 위한 부분방전 방사 전자파의 특성과 측정 알고리즘의 개발,
- GIS UHF 부분방전측정기술을 이용한 GIS의 결합상태분석을 위한 DB구축과 이의 지능화,
- 광역진단시스템에 적합한 가상기계의 알고리즘과 기본설계기술개발

(2) 2단계

- 가상기계형 네트워크를 적용한 GIS 및 변압기 부분방전 광역측정 및 지능형진단 기술

<기술적 특징>

- (1) GIS의 부분방전 측정은 측정에서 많은 정보를 얻기 위하여 초광대역(0.5-2GHz)으로 하고 주파수의 대역특성을 알기 위하여 전대역과 고주파대역(1-2GHz)으로 이중대역 방식을 세계최초로 도입하여 새로운 진단알고리즘을 개발하고 있다.
- (2) 변압기의 부분방전 측정은 안테나를 변압기 탱크 내부에 다중으로 설치하여 부분방전을 검출하는 기법으로 방전의 위치까지 추적이 가능하고 외부의 잡음을 최소화할 수 있는 방법으로 세계최초로 개발을 하고 있다.
- (3) 이상의 부분방전 측정과 진단기술을 원격에서 유연하게 행할 수 있는 VM형 네트워크 기술을 개발하여 어느 곳에서도 그결과를 볼 수 있고 현장의 조건에 따라 측정장치에 접근하지 않고 프로그램을 현장에 맞게 조정할 수 있는 기술을 개발하고 있다.

[용도 · 이용분야]

- (1) 산업체의 전력설비의 진단으로 고장예방과 경제적인 유지 및 교체로 설비의 신뢰성 향상 및 상업경쟁력의 향상
- (2) 기존의 전력기기와 결합한 긴 전력기기의 개발과 생산으로 국내 전력기기 제작사의 기술력 이미지향상과 수출 경쟁력의 향상 가능.
- (3) 진단을 전문 업종으로 하는 신규벤처산업의 활성화로 국내산업의 활성화와 신규고용시장의 확대가 가능
- (4) 전력기기의 디지털 보호제어 기술도입과 함께 광역진단기술의 융합으로 차세대 첨단 전력기기 개발 가능.

■ 본 기술과 관련하여 추가로 확보된 기술

기술명	
개발단계	<input type="checkbox"/> 연구개발 계획 <input type="checkbox"/> 연구개발 중 <input type="checkbox"/> 연구개발 완료
기술개요	

[기술을 도출한 과제현황]

과제명			
사업명			
세부사업명			
연구기관		기관유형	
참여기관(기업)			
총연구기간			
총연구비	합계 : ()백만원 - 정부 : ()백만원 민간 : ()백만원		
연구책임자	소속		성명
	전화번호		E-mail
연구개발 주요내용			