

최종 보고서

원전용 LPMS 및 IVMS 국산화

Development of LPMS / IVMS For Nuclear
Power Plant

주관연구기관

(주) 우진

과학기술부

제 출 문

과 학 기 술 부 장 관 귀하

본 보고서를 “원전용 LPMS 및 IVMS 국산화” 과제의 최종 연구보고서로 제출합니다.

2000년 12월 14일

주관 연구기관명 : (주) 우진
주관 연구책임자 : 류 계현
연 구 원 : 성 주현
 김 건명
 은 성훈
 곽 진구

위 탁 기 관 명 : 한국 원자력 연구소
위 탁 연구 책임자 : 김 정수
위 탁 기관 연구원 : 함 창식
 김 태완

요 약 문

I. 제 목

원전용 LPMS 및 IVMS 국산화

II. 연구개발의 중요성 및 필요성

금속파편 감시계통(Loose Parts Monitoring System; LPMS)은 원자력발전소 핵증기 공급계통 중 설치된 부품의 이완 또는 이탈현상에 의한 금속파편을 조기에 진단함으로써, 이들 파편이 다른 구조물에 충격을 가하여 핵증기 공급계통 구성기의 파손 및 성능저하를 가져오는 것을 방지하기 위한 감시 시스템이다. 기존 발전소에 있는 금속파편 감시 시스템은 원자로 냉각재계통 주요 기기의 압력경계 외부의 충격에 민감한 센서(Accelerometer, A.E. Sensor)를 부착하여 압력경계 내부구조물에 금속파편이 부딪칠 때, 내부구조물을 따라 전파하는 충격파를 감지함으로써 미리 설정된 경보준위를 초과하는 충격신호의 발생을 주 제어실에 알려주는 정도에 불과하다. 그러므로, 충격신호 검출, 저장, 분석 등 일련의 작업이 컴퓨터에 의해 수행되어 발생된 금속파편의 위치 및 특성들을 파악할 수 있는 자동화된 금속파편 감시 시스템이 절실히 요구되고 있다. 내부 구조물 감시 계통(Internal Vibration Monitoring System : IVMS)은 가압경수로형 원자로의 내부구조물의 원자로 내부에 흐르는 고온 고압의 냉각수에 의한 유동 유발 진동(FIV: Flow-induced Vibration)이 항상 존재하여 내부 구조물간의 체결력이 저하되기도 하고, 체결부품이 파손, 이탈되어 냉각재 유로를 따라 이동함으로써 노심 유로를 차단할 뿐만 아니라 타기기에 손상을 주기도 한다. 이러한 손상을 조기에 탐지하고 보수하여야 원전의 중대 사고를 예방할 수 있고 안전성을 확보할 수 있으므로 주기적인 감시 및 진단활동이 필수적이라 하겠다. 기존 발전소의 내부구조물 감시계통은 노외 중성자 신호를 이용하여 내부 구조물에 대한 건전성을 감시하는 시스템이다.

또한 감시시스템의 핵심 알고리즘인 진단 알고리즘은 현재 설치된 시스템에서는 운전원에게 정확한 정보를 전달해 주기 어려운 실정이다. 그러므로 이러한 LPMS & IVMS 계통에 대한 많은 정보를 운전원에게 전달할 수 있는 진단 알고리즘의 국산화가 필요하다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. LPMS 시작품 설계 및 제작

가. SCU(Signal Conditioning Unit)

- 신호조절기 보드
 - 입력신호 정규화, 증폭
 - 원격 설정(시스템 테스트 I, II)

나. AMU(Audio Monitoring Unit)

- 프리앰프
- 파워앰프

다. LSU(Local Station Unit)

- 다기능 데이터 수집 보드
 - 아날로그-디지털 변환, 디지털-아날로그 변환
 - 디지털 입력, 출력
- 다기능 데이터 수집 보드 인터페이스 프로그램
 - Device Driver
 - API
- 응용 프로그램
 - Loose Part 이벤트 검출
 - Database
 - 네트워크 통신

라. ACU(Analysis Computer Unit)

- 응용 프로그램
 - 디지털 신호 처리
 - Loose Part 알람 검출
 - Loose Part의 위치 및 질량 분석
 - Database
 - 네트워크 통신

2. IVMS 시작품 설계 및 제작

가. SCU(Signal Conditioning Unit)

- 신호조절기 보드
 - 입력신호 증폭 및 필터링
 - 이득 및 필터 대역폭 원격 설정

나. LSU(Local Station Unit)

- 데이터 수집 보드
 - 아날로그-디지털 변환
- 데이터 수집 보드 인터페이스 프로그램
 - Device Driver
 - API
- 응용 프로그램
 - 실시간 데이터 수집
 - 디지털 신호 처리
 - Database
 - 네트워크 통신

다. ACU(Analysis Computer Unit)

- 응용 프로그램
 - 분석 데이터 수집 및 모니터링
 - Database
 - 네트워크 통신

IV. 연구개발 결과

본 과제로 LPMS/IVMS의 각 유닛별 설계, 제작 및 핵심 진단 알고리즘 개발하였다.

기존 IVMS 시스템은 단순히 기본 분석도구만을 제공하기 때문에 전문가가 아니면 해석이 어렵지만, 개발 시스템은 원자로 BARREL의 진동을 모델링 하여 알려주는 진보된 기능을 가지고 있다. 또한 LPMS 시스템 역시 Loose Part의 질량을 추정하는 알고리즘을 탑재하고 있으며, 이 분석 알고리즘을 실제 발전소(영광)의 시운전 데이터에 적용한 결과 오차율이 약 20%내외의 신뢰성을 보였다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

본 과제의 목표는 금속파편 충격신호를 이용한 충격위치/질량 추정기법 및 원자로 내부구조물의 진동모드 변화 진단기법을 활용하여 시스템 전체를 국산화하는 것이다. 앞으로 이 시스템을 발전소 현장에서 이미 사용하고 있는 제품을 대체하거나 보조설비로 활용할 수 있도록 할 예정이다.

또한, NIMS 중 이번에 개발되지 못한 나머지 부분인 ALMS(Acoustic Leak Monitoring System), RCPVMS(Reactor Coolant Pump Vibration Monitoring System)도 개발하여 한국형 NIMS 계통을 국산화할 계획이다.

현재 산업체 전반에 걸쳐 설비 진단 시스템의 중요성이 부각되고 있으며, 관련 업체들도 점차적으로 설비진단 시스템을 확충·투자하려고 노력하고 있다. 따라서 본 과제의 수행물인 LPMS 및 IVMS 제품을 설비 진단관련 산업 현장에 적용시킨다면, 현재의 설비진단 시스템의 기능을 상당히 향상시킬 수 있을 것으로 예상되며 여기서 축적된 기술을 CMS 개발 및 기능향상에도 활용할 계획이다.

SUMMARY

I. Title

Development of LPMS / IVMS for nuclear power plant

II. Objectives and Importance of the Project

The primary function of loose part monitoring system (LPMS) is to detect the occurrence of any loose part in the primary coolant system caused by being parted or loosened from the mechanical structure during normal operation and refueling times. The existing LPMSs generates an alarm when the detected signal from the accelerometer sensors attached to the surface of the primary pressure boundary was bigger than the alarm threshold value.

The internal vibration monitoring system (IVMS) senses a change of vibration of the reactor vessel internal structure using the ex-core neutron signals. The vibrations of internal mechanical structure are caused by the high velocity flow of the pressurized primary coolant. If the flow-induced vibration forces to loosen the internal components supporting the fuel assembly, the safety of nuclear reactor will be affected. The IVMS provides the information of abnormality in the vibration pattern and amplitude for plant operators to take proper actions against the abnormal condition for Nuclear Power Plants (NPPs).

Because the current LPMS and IVMS installed in the nuclear power plants were supplied from oversea manufacturers, there are difficulties in the aspect of maintenance and system improvement. Also, the diagnostic functions included in the current systems cannot provide the detail information about the loose part in a proper manner. Therefore, it is necessary to develop and secure the improved hardware and software for the LPMS and IVMS systems including more functional performances than the current systems. An advanced LPMS should be capable to identify the physical characteristics of the potential loose part from the detected signal. Those improved diagnostic functions will be the capabilities to analyze the detected signal and to estimate the expected impact position and mass automatically.

III. Scope and Contents of the Project

The scope and contents performed during the project are as follows:

(1) LPMS Prototype Design and Construction

A) SCU(Signal Conditioning Unit)

- Signal conditioning board
 - Normalization, Amplification
 - Remote configuration of System test-I, II

B) AMU(Audio Monitoring Unit)

- Pre-amplifier
- Power Amplifier

C) LSU(Local Station Unit)

- Multi-function board
 - Analog to Digital Conversion
 - Digital to Analog Conversion
 - Digital Input, Output
- Interface program
 - Device Driver
 - API
- Application program
 - Real-time data acquisition
 - Event detection of the loose part
 - Database
 - Communication

D) ACU(Analysis Computer Unit)

- Application program
 - Digital signal processing
 - Alarm detection of the loose part
 - Analysis the position and energy of the loose part
 - Database

- Communication

(2) IVMS Prototype Design and Construction

A) SCU(Signal Conditioning Unit)

- Signal conditioning board
 - Amplification, Filtering
 - Remote configuration of the gain and filter band width

B) LSU(Local Station Unit)

- Data acquisition board
 - Analog to Digital Conversion
- Interface program
 - Device Driver
 - API
- Application program
 - Real-time data acquisition
 - Digital signal processing
 - Database
 - Communication

C) ACU(Analysis Computer Unit)

- Application program
 - Analysis data archive and inquiry
 - Database
 - Communication

IV. Result of the Project

The technologies and methods of estimation for impact mass and position as well as a new modeling method of reactor internal vibration modes were developed and provided to Woojin Co. from Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI). Based on the transferred technologies, Woojin Co. has designed the hardware systems of LPMS and IVMS. Some of the hardware components were integrated and the hardware-oriented software modules were also developed and designed.

V. The Plan of Applications

The improved design and algorithms of LPMS and IVMS developed in this project will be used for replacement and upgrade of the old systems in NPPs. The developed software and algorithms are able to be used for analysis of raw impact signals measured from nuclear plants. The Acoustic Leak Monitoring System and Reactor Coolant Pump Vibration Monitoring System among the NSSS (Nuclear Steam Supply System) Integrity Monitoring Systems(NIMSs), are also required to be newly developed and designed to accommodate various improved performances as well as LPMS and IVMS.

Contents

| | |
|--|-----|
| Chapter 1. Introduction | 1 |
| Chapter 2. State of Art | 5 |
| 1. Loose Part Monitoring System | 5 |
| 1.1 Developing status of other country | 6 |
| 1.2 Developing status of domestic | 13 |
| 2. Internal Vibration Monitoring System | 14 |
| 2.1 Developing status of other country | 14 |
| 2.2 Developing status of domestic | 16 |
| Chapter 3. Contents and Scope of the development project | 17 |
| 1. Contents of the Theory | 17 |
| 1.1 LPMS | 17 |
| 1.2 IVMS | 25 |
| 2. Design | 33 |
| 2.1 LPMS | 33 |
| 2.1.1 Hardware design & spec. | 34 |
| 2.1.2 Software design & spec. | 56 |
| 2.2 IVMS | 60 |
| 2.2.1 Hardware design & spec. | 61 |
| 2.2.2 Software design & spec. | 66 |
| 3. Result of design | 68 |
| 3.1 LPMS | 68 |
| 3.1.1 Hardware results | 68 |
| 3.1.2 Software results | 98 |
| 3.2 IVMS | 115 |
| 3.2.1 Hardware results | 115 |
| 3.2.2 Software results | 121 |
| 4. Result | 133 |
| Chapter 4. Result of the Development Study | 134 |

| | |
|---|-----|
| Chapter 5. Recommended Applications of the Result | 138 |
| Chapter 6. References | 141 |
| Appendix | 146 |

목 록

| | |
|----------------------------|-------|
| 요약문 | IV |
| Abstract | VII |
| 그림목차 | XVIII |
| 표목차 | XIX |
| | |
| 제 1 장 서론 | 1 |
| | |
| 제 2 장 국내의 기술개발 현황 | 5 |
| 제 1절 LPMS 기술개발 현황 | 5 |
| 1. 국외 기술개발 현황 | 6 |
| 가. 프랑스의 기술개발 현황 | 6 |
| 나. 독일의 기술개발 현황 | 8 |
| 2. 국내 기술개발 현황 | 13 |
| 제 2절 IVMS 기술개발 현황 | 14 |
| 1. 국외 기술개발 현황 | 14 |
| 가. 미국의 기술개발 현황 | 14 |
| 나. 독일의 기술개발 현황 | 14 |
| 다. 프랑스의 기술개발 현황 | 15 |
| 라. 기타 국외의 기술개발 현황 | 15 |
| 2. 국내 기술개발 현황 | 16 |
| | |
| 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 | 17 |
| 제 1 절 연구개발 수행내용 | 17 |
| 1. 관련 이론 | 17 |
| 가. 금속파편 감시시스템 | 17 |
| (1) 충격위치 추정 알고리즘 | 17 |
| (가) 삼각법을 이용한 충격위치 판별 | 17 |
| (2) 질량 추정 알고리즘 | 20 |
| (가) 입력값 삽입 | 20 |
| (나) 반주기 조정 | 21 |
| (다) 충격파의 파형속도 정의 | 22 |
| (라) 진폭감소 특성에 대한 보상 | 22 |

| | |
|----------------------------------|----|
| ① 거리의 진폭감소 보상 | 22 |
| ② Damping 진폭감쇠 보상 | 23 |
| (마) 직경, 질량, 에너지 계산 | 24 |
| 나. 내부구조물 감시시스템 | 25 |
| (1) PWR 노외중성자 잡음신호 분석기술 개발 | 25 |
| (가) 기존의 신호분석 방법 | 26 |
| ① 노심지지원통의 beam 진동 모드 | 27 |
| ② 노심지지원통의 shell 진동 모드 | 27 |
| ③ 핵연료 집합체 bending 모드 | 27 |
| (나) 모드 분리 기법 | 28 |
| 2. 연구수행내용 | 33 |
| 가. 금속파편 감시시스템 | 33 |
| (1) 시스템 구성도 | 33 |
| (2) 하드웨어 기술 규격 | 34 |
| (가) SCU | 34 |
| (나) AMU | 43 |
| (다) LSU | 48 |
| (라) ACU | 53 |
| (3) 소프트웨어 기술 규격 | 56 |
| (가) SCU | 56 |
| (나) LSU | 56 |
| (다) ACU | 59 |
| 나. IVMS | 60 |
| (1) 시스템 구성도 | 60 |
| (2) 하드웨어 기술 규격 | 61 |
| (가) SCU | 61 |
| (나) LSU | 63 |
| (3) 소프트웨어 기술 규격 | 66 |
| (가) SCU | 66 |
| (나) LSU | 66 |
| (다) ACU | 67 |
| 제 2절 연구 수행 결과 | 68 |
| 1. 금속파편 감시시스템 | 68 |
| 가. 하드웨어 결과물 | 68 |

| | |
|--|-----|
| (1) SCU | 68 |
| (가) Main Control Module | 68 |
| (나) System Test I Module | 76 |
| (다) Signal Conditioner Module | 78 |
| (라) Preamp Power Supply Module | 81 |
| (2) AMU | 83 |
| (가) Input Selector Module | 83 |
| (나) Preamp Module | 83 |
| (다) Poweramp Module | 85 |
| (라) Power Supply Module | 87 |
| (3) LSU | 88 |
| (가) DSP를 이용한 Signal processing module | 88 |
| (나) DAS 보드를 이용한 Signal processing module | 92 |
| (다) Main Control Module | 95 |
| (라) Digital Input/Output Module | 96 |
| (마) LSU 설계도면 | 97 |
| (4) ACU | 97 |
| (가) ACU 설계도면 | 97 |
| 나. 소프트웨어 결과물 | 98 |
| (1) SCU | 98 |
| (2) LSU | 100 |
| (3) ACU | 108 |
| 2. 내부구조물 감시시스템 | 115 |
| 가. 하드웨어 결과물 | 115 |
| (1) SCU 구성도 | 115 |
| (2) LSU | 119 |
| (가) DAS 보드를 이용한 Signal processing module | 119 |
| (나) Main Control Module | 120 |
| (다) LSU 설계도면 | 120 |
| 나. 소프트웨어 결과물 | 121 |
| (1) SCU | 121 |
| (2) LSU | 122 |
| (3) ACU | 138 |
| 제 3절 결 론 | 133 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 제4장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도 | 134 |
| 제 1절 목표달성도 | 134 |
| 1. 금속파편 감시 시스템 | 134 |
| 가. 대비표 | 134 |
| 2. 내부 구조물 감시 시스템 | 136 |
| 가. 대비표 | 136 |
| 제 2절 대외 기여도 | 137 |
| 제5장 연구개발 결과의 활용계획 | 138 |
| 제1절 연구개발 결과의 활용계획 | 138 |
| 1. 국내 원자력발전소에 적용 | 138 |
| 2. 국내 진단관련 시스템에 적용 | 138 |
| 3. 추가연구 필요성 및 내용 | 140 |
| 참고문헌 | 141 |
| 부록 | 146 |
| 1. 설계도면 | 146 |
| 2. 각 Unit별 실물 사진 | 155 |

그림 목 차

| | |
|---|----|
| 그림 1.1.1 원자로 및 냉각재 계통 기기 | 2 |
| 그림 2.1.1 프랑스 금속파편 감시 시스템에 설치된 | 7 |
| 그림 2.1.2 KÜS 95 발전소에 설치된 시스템 | 8 |
| 그림 2.1.3 KÜS 95의 전체구성도 | 9 |
| 그림 2.1.4 KÜS 95의 Event Classification 흐름도 | 10 |
| 그림 2.1.5 KÜS 95의 충격위치 추정에 대한 화면 | 10 |
| 그림 2.1.6 KÜS 95의 질량추정 화면 | 11 |
| 그림 2.1.7 영광 2호기에 설치된 금속파편시스템의 전체구성도 | 13 |
| 그림 3.1.1 삼각법을 이용한 충격위치 | 18 |
| 그림 3.1.2 충격위치를 계산하기 위한 흐름도 | 19 |
| 그림 3.1.3 질량 추정 알고리즘의 흐름도 | 20 |
| 그림 3.1.4 반주기 조정 순서도 | 21 |
| 그림 3.1.5 거리 감쇠 보상에 대한 순서도 | 23 |
| 그림 3.1.6 가압경수로 원전의 일반적인 노외중성자의 위치 및 | 31 |
| 그림 3.1.7 노심지지원통 집합체의 진동모드 형상 | 32 |
| 그림 3.2.1 금속파편 감시시스템의 전체 구성도 | 33 |
| 그림 3.2.2 SCU-DM 외형도 | 34 |
| 그림 3.2.3 SCU-MCM 외형도 | 35 |
| 그림 3.2.4 SCU-STIM 외형도 | 37 |
| 그림 3.2.5 SCU-SCM 외형도 | 38 |
| 그림 3.2.6 SCU-SPSM I/II 외형도 | 40 |
| 그림 3.2.7 SCU-PPSM 외형도 | 41 |
| 그림 3.2.8 AMU-ISM 외형도 | 43 |
| 그림 3.2.9 AMU-PrAM 외형도 | 44 |
| 그림 3.2.10 AMU-PoAM 외형도 | 45 |
| 그림 3.2.11 AMU-SM 외형도 | 46 |
| 그림 3.2.12 AMU-SPM 외형도 | 47 |
| 그림 3.2.13 LS-SPM 블록도 | 48 |
| 그림 3.2.14 내부 구조물 감시시스템의 전체 구성도 | 60 |
| 그림 3.2.15 LS-SPM 블록도 | 63 |
| 그림 3.3.1 SCU-MCM의 전체 회로도 | 68 |

| | |
|--|-----|
| 그림 3.3.2 SCU-MCM중 CPU회로도 | 69 |
| 그림 3.3.3 SCU-MCM중 Memory 회로도 | 70 |
| 그림 3.3.4 SCU-MCM중 직렬통신 회로도 | 71 |
| 그림 3.3.5 SCU-MCM중 ADC회로도 | 72 |
| 그림 3.3.6 SCU-MCM중 디스플레이 제어 회로도 | 74 |
| 그림 3.3.7 SCU-MCM중 I/O버스 인터페이스 회로도 | 75 |
| 그림 3.3.8 SCU-STIM 전체 구성도 | 76 |
| 그림 3.3.9 SCU-STIM중 contact output 회로도 | 76 |
| 그림 3.3.10 SCU-SCM중 전체 구성도 | 77 |
| 그림 3.3.11 SCU-SCM중 정규화 및 증폭 회로도 | 77 |
| 그림 3.3.12 SCU-PPSM 전체 구성도 | 81 |
| 그림 3.3.13 SCU-PPSM중 레귤레이션 회로도 | 81 |
| 그림 3.3.14 AMU-ISM 전체 구성도 | 83 |
| 그림 3.3.15 AMU-PrAM 전체구성도 | 84 |
| 그림 3.3.16 AMU-PoAM 전체 구성도 | 85 |
| 그림 3.3.17 AMU-PoAM중 Front-end 회로도 | 85 |
| 그림 3.3.18 AMU-PoAM중 스피커 보호 회로도 | 86 |
| 그림 3.3.19 AMU-PoAM중 전류증폭 회로도 | 86 |
| 그림 3.3.20 AMU-PSM 전체구성도 | 87 |
| 그림 3.3.21 DSP를 이용한 LS-SPM 구성도 | 88 |
| 그림 3.3.22 DAS 보드를 이용한 LS-SPM 구성도 | 92 |
| 그림 3.3.23 DIOM 구성도 | 96 |
| 그림 3.3.24 SCU에 대한 프로그램 흐름도 | 99 |
| 그림 3.3.25 LSU의 프로그램 흐름도 | 105 |
| 그림 3.3.26 LPMS LSU 채널 3 모니터링 화면 | 105 |
| 그림 3.3.27 LPMS LSU 전 채널 Barchart 모니터링 화면 | 106 |
| 그림 3.3.28 LPMS LSU 파라미터 설정 화면 | 106 |
| 그림 3.3.29 LPMS LSU 운전 모드 설정 화면 | 107 |
| 그림 3.3.30 ACU의 프로그램 흐름도 | 111 |
| 그림 3.3.31 ACU의 파라미터설정화면 및 분석화면 | 112 |
| 그림 3.3.32 SCU 구성도 | 115 |
| 그림 3.3.33 LS-SPM 구성도 | 119 |
| 그림 3.3.34 SCU의 프로그램 흐름도 | 121 |
| 그림 3.3.35 LSU의 프로그램 흐름도 | 126 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 그림 3.3.36 LSU의 개발화면 | 127 |
| 그림 3.3.37 ACU의 프로그램 흐름도 | 131 |
| 그림 3.3.38 ACU 화면 | 132 |

표 목 차

| | |
|--|-----|
| 표 1.1.1 국내 PWR 원전 NSSS 건전성 감시계통 설치 및 설치예정 현황 ... | 4 |
| 표 2.1.1 프랑스의 금속파편 감시시스템 비교 | 6 |
| 표 2.1.2 KÜS 95 설치운영중인 발전소 | 12 |
| 표 3.1.1 수정된 반주기 조정범위 및 조정값 | 21 |
| 표 3.3.1 설비진단 시스템(CMS)의 산업별 적용 분야 | 139 |

제 1 장 서 론

원자력발전소의 안정성은 아무리 강조하여도 지나침이 없다. 특히 원자로 노심 및 일차 냉각재 계통의 건전성은 방사능물질의 외부 누출과 관련된 중요한 문제이다. TMI(Three Mile Island)사고 이후 운전 중에도 일차 계통의 건전성을 감시하려는 요구와 규제가 제기되어 왔다. 이를 위한 계통이 핵증기 공급계통의 건전성 감시계통(NIMS : NSSS Integrity Monitoring System)이다.

NIMS는 대개 음향누설 감시계통(ALMS : Acoustic Leak Monitoring System), 금속파편 감시계통(LPMS : Loose Part Monitoring System), 원자로 내부 구조물 감시계통(IVMS : Internal Vibration Monitoring System), 원자로냉각재펌프진동감시계통(RCPVMS : Reactor Coolant Vibration Monitoring System)을 통칭한다. ALMS는 고압의 냉각재가 소량 누출 시에 발생하는 초음파 음향신호를 이용하여 원자로 냉각재 계통의 누출을 탐지하고, LPMS는 일차 냉각재 유로에 떠돌아 다니는 금속파편의 유무를 감지하며, IVMS는 노외 핵계측기의 중성자 검출 신호를 이용하여 원자로용기 내부구조물의 결함으로 인한 이상 진동을 감지하며, RCPVMS는 원자로냉각재펌프 진동, 축 변위 및 베어링 하우징의 프레임 진동을 감시한다[1].

금속파편 감시계통(Loose Parts Monitoring System; LPMS)은 그림 1.1.1에서와 같이 원자력발전소 핵증기 공급계통의 고온, 고압, 고속의 냉각재 유동으로 인해 설치된 부품의 이완 또는 이탈현상에 의한 금속파편을 조기에 진단함으로써, 이들 파편이 다른 구조물에 충격을 가하여 핵증기 공급계통 구성기의 파손 및 성능저하를 가져오는 것을 방지하기 위한 시스템이다[2,3,4]. 원자력발전소 일차 냉각재 계통의 압력경계 내부에 금속파편이 존재할 경우, 이들은 냉각재와 함께 이동하면서 다른 내부구조물과 충돌하여 손상을 입히거나, 냉각재 유로를 차단하여 발전소의 안전성을 저해하는 요인이 된다. 따라서 금속파편이 존재할 때 이를 조기에 감지하여 운전원 또는 관련기술자에게 그 크기와 위치 및 충격 에너지등 정보를 제공하여 줌으로써, 해당 금속파편에 의한 영향을 평가하고 조기제거 여부를 결정할 수 있게 해야한다.

기존발전소에 있는 LPMS의 경우, 원자로 냉각재 계통 주요 기기의 압력경계 외부에 충격에 민감한 센서(Accelerometer, A.E.Sensor)들을 부착하여 압력경계 내부구조물에 금속파편이 부딪칠 때, 내부구조물을 따라 전파하는 충격파를 감지함으로써 미리 설정된 경보준위를 초과하는 충격신호의 발생을 주 제어실에 알려주도록 구성되어있다.

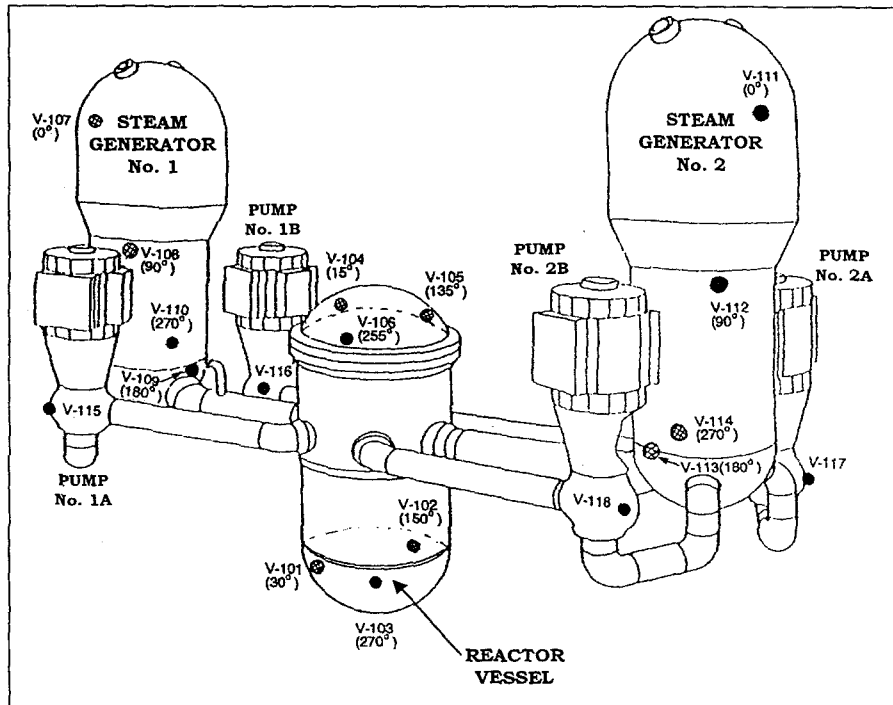


그림 1.1.1 원자로 및 냉각재 계통 (RCS; Reactor Coolant System) 기기

현재까지 LPMS가 설치 운영되고 있는 발전소로는 고리 3 & 4호기, 영광 1 & 2 호기, 영광 3 & 4 호기, 울진 3 & 4호기 등에 설치 운영되고 있다. 하지만 이들 시스템들은 신호진단기술에 대한 인식 부족 및 조기 사고예방에 대한 결핍 등으로 인해 발전소 운전 시 이상신호가 발생한 경우에도 LPMS를 적절히 활용하지 못하고 있는 실정이다. 이 LPMS가 운영되고 있는 실태를 간단히 살펴보면, 금속파편에 의해 이상신호가 발생한 경우 제어실에 경보가 작동하고 자기테이프를 동작시켜 이상신호가 발생한 시점 이후의 데이터를 기록한 뒤, 이 데이터를 바탕으로 시운전시 기록하였던 데이터와 비교 분석하여 그 위치와 파편의 특성 등을 평가하여 조치를 취하고 있다. 그러나 현재의 수행방식으로는 빠른 대응을 요하는 큰 결함이 일어났을

경우 운전원의 경험부족으로 인해 오판을 하게되는 경우에 심각한 문제가 야기될 수 있다. 또한 이들 시스템은 정상 운전 중에 이상신호가 발생한 경우 그 위치를 찾아내지만 이 위치를 알아내어 이 물질을 제거하기 위해서는 발전소 유지보수기간 또는 발전소를 정지시켜 이 물질을 제거해야 하는데, 이 경우 발전소를 정지시키는 시점에 이 물질이 찾아낸 위치에 있지 않고 냉각재의 흐름에 따라 그 위치가 이동될 수 있다. 또한 이 물질에 대한 충격량 정보(이 물질에 대한 질량) 역시 상당히 중요하다. 따라서, 충격에 의한 정보신호가 발생한 즉시 컴퓨터에 의해 그 신호가 기억되고, 그와 동시에 바로 충격신호가 분석되어 발생된 금속파편의 위치 및 특성들을 파악할 수 있는 자동화된 처리방식의 개선된 LPMS 가 절실히 요구되고 있다. 표 1.1.1 국내 PWR 원전 NSSS 건전성 감시계통 설치 및 설치 예정 현황.

또한 내부 구조물 감시 계통(IVMS: Internal Vibration Monitoring System)은 가압경수로형 원자로의 내부구조물의 원자로 내부에 흐르는 고온 고압의 냉각수에 의한 유동 유발 진동(FIV: Flow-induced Vibration)이 항상 존재하여 내부 구조물간의 체결력이 저하되기도 하고, 체결부품이 파손, 이탈되어 냉각재 유로를 따라 이동함으로써 노심 유로를 차단할 뿐만 아니라 타기기에 손상을 주기도 한다. 따라서 원자로내의 FIV영향을 평가하여 원자로 내부 구조물의 건전성을 입증하는 것은 원전의 설계 및 건설에 반드시 요구되는 사항(CVAP: Comprehensive Vibration Assessment Program)이 되었다. 그러나 진동평가 프로그램에 의해 원자로 내부 구조물의 구조적 건전성이 입증된 후 운전이 시작되었더라도, 운전 년수가 증가하면 구조물간의 체결력 저하 또는 상실, 부품의 파손과 그에 따른 노심 유로 차단, 또는 비정상적인 진동등 여러 가지 열화 현상이 발생한다. 이러한 손상을 조기에 탐지하고 보수하여야 원전의 중대 사고를 예방할 수 있고 안전성을 확보할 수 있으므로 주기적인 감시 및 진단활동이 필수적이라 하겠다.

내부구조물 감시계통은 기존 원자로 내부 구조물의 진동특성을 감시하는 계통으로 일반적으로 노외 핵 계측계통의 중성자 신호를 주파수 대역별 스펙트럼으로 분석하여 내부 구조물에 대한 건전성을 감시하는 시스템이다.[5]. 90℃ 간격으로 설치된 노외 핵 계측기에 수신되는 잡은 신호는 핵적요인, 열수력학(Thermo-hydraulic)요인, 기계적인 진동, 용기등의 물체

Attention 특성 변동 등의 조건에 따라 그 특성이 변화한다. 본 IVMS는 주파수 스펙트럼 및 Power Spectrum, Density Function 해석 뿐만 아니라, 중성자 신호를 진동 형태별로 독립적으로 모델링하여 모드별 진동의 크기를 추출하는 알고리즘을 국제 공동연구인 “원자로 잡음을 이용한 결합진단 기술개발”에서 개발된 기술을 이전 받았다.[6]

표 1.1.1은 국내 PWR 원전의 NIMS 설치 현황을 도표로 나타낸 것이다 (RCPVMS는 제외).

| Plant | IVMS | LPMS | ALMS |
|--------|------|------|------|
| KR - 1 | — | — | ● |
| - 2 | — | — | ● |
| - 3 | - | △ | ● |
| - 4 | - | △ | ● |
| YG - 1 | △ | ▲ | ● |
| - 2 | △ | ▲ | ● |
| - 3 | ● | ● | ● |
| - 4 | ● | ● | ● |
| - 5 | ○ | ○ | ○ |
| - 6 | ○ | ○ | ○ |
| UJ - 1 | ● | △ | ● |
| - 2 | ● | △ | ● |
| - 3 | ● | ● | ● |
| - 4 | ● | ● | ● |
| - 5 | ● | ● | ● |
| - 6 | ● | ● | ● |

구분 : — <미설치> ○ <설치예정> △ <교체예정> ▲ <교체완료>
● <기설치>

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1절 LPMS 기술개발 현황

국내의 경우 고리3호기에 처음 LPMS가 설치되기 시작하여 지금은 고리3 & 4호기(WH), 영광1 & 2호기(WH), 영광 3 & 4(CE)호기, 울진 3 & 4(한국형 원자로), 영광5 & 6(설치예정), 울진5 & 6호기(설치 예정)에 설치 또는 설치예정에 있다. 그러나 이들 시스템들은 신호 진단기술에 대한 인식부족 및 조기 사고예방에 대한 개념결핍 등으로 인해 발전소 운전시 이상신호가 발생한 경우에도 이러한 시스템을 적절히 활용하지 못하고 있는 실정이다. 또한 기존의 LPMS는 충격신호가 발생시 운전자 혹은 관련 기술자에게 경보를 알리는 수준이고 정확한 분석은 전문가가 가지고 있는 경험에 의해 분석을 함으로써 진단시간이 상당히 길어 효율적으로 대처하지 못하고 있는 실정이다. 그리고 국내의 일부 원전(영광 1& 2호기)에서도 금속파편 충격신호의 감시계통을 위한 하드웨어 장치는 기능을 강화한 시스템으로 교체 중에 있으나, 이러한 시스템에 적용 가능한 진단 알고리즘 및 시스템을 효율적으로 지원할 수 있는 소프트웨어 및 통합 시스템구축은 아직까지 미흡한 형편이다. 또한 규제측면에서는 원자력 안전기술원의 “원자력 냉각재 계통 금속파편 감시지침(안)”[1] 등이 나와있다.

선진 외국에서의 기존 원전 시스템의 감시계통은 국내의 실정과 크게 다를 바가 없으나, 원전 감시계통으로 인한 조기진단의 중요성을 인식한 이후 이에 대한 연구가 현재 활발히 진행 중에 있고, 실제로 독일에서 KÜS'95와 KAP'90, 프랑스에서 PSAD라는 개선된 LPMS 시스템을 개발하여 현장 발전소에 적용하여 운영 중에 있다.

1. 국외 기술개발 현황

가. 프랑스의 기술개발 현황[2,3]

프랑스에서는 두 종류의 다른 감시계통이 현재 발전소에 설치 운영되고 있다. 즉, 900 MW 계열의 감시계통은 DEVIANT이고, 1300 MW 계열은 SDECE가 설치되어있다. 그리고 최근 프랑스에서는 PSAD라는 새로운 금속과편 감시계통을 개발하였다.

표 2.1.1 은 EDF에서 사용되고 있는 DEVIANT, SDECE, PSAD를 비교하였다. 이 표에서 보는 바와 같이 기존 아날로그 시스템보다 최근에 개발한 시스템이 알람 및 분석 저장기능등이 많이 보장되어 있음을 알 수 있다.

표 2.1.1 프랑스의 금속과편 감시시스템 비교

| | DEVIANT (900 MW) 1981년 | SDECE (1300 MW) 1988년 | PSAD 1997년 |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|
| Signal to Noise 비 관련 기능 | 없음 | High Pass Filter/ 아날 로그 필터 | High Pass Filter 및 주파수 감소 기법을 이용한 디지털 필터 |
| 데이터 취득 | 아날로그 | 아날로그 | 디지털 |
| 과도특성 | 없음 | 아날로그/ 디지털 결합 | 디지털 |
| 분석방법 | 없음 | 센서와의 시간차 | 과도특성을 이용한 시간차 |
| 경보 발생 | 있음(2채널) | 있음(5개 채널동시) | 모든 채널 동시 |
| 저장기능 | 없음 | 아날로그/디지털 | 디지털 |
| 분석기능 | 없음 | 단순기능 | 분석에 필요한 기능이 모두 있음 (평균, RMS등) |
| 진단기능 | 없음 | 있음 | 있음 |
| 경보발생시 자동 기록기능 | 있음, Analog magnetic recorder | 있음, Analog magnetic recorder | 있음, Digital AutoTape recorder |

그림 2.1.1은 프랑스 LPMS에 설치된(900 MW, 1300 MW, 1450 MW) 시스템의 전체 구성도를 나타내고 있다. 이 그림에서 운영 방법은 경보 발생시 Audio Tape에 연속적으로 기록되는 신호를 현장 운전원이 먼저 분석한다. 이후 필요시 전문가의 진단이 요구될 때 다음과 같은 업무를 수행한다. 첫번째로 이상 신호에서 나타나는 모든 채널에 대해 신호분석을 수행한다. 두번째로, 과도특성이 일어나는 신호에 대해 집중적으로 분석한다. 신호분석을 위해 모든채널에 대해 Graphic plotter 또는 Spectral Analyzer 및 Audio Player 등을 이용한다. 일반적인 진단의 경우에는 실제 80 가지의 경험자료를 이용하여 분석하도록 되어있다.

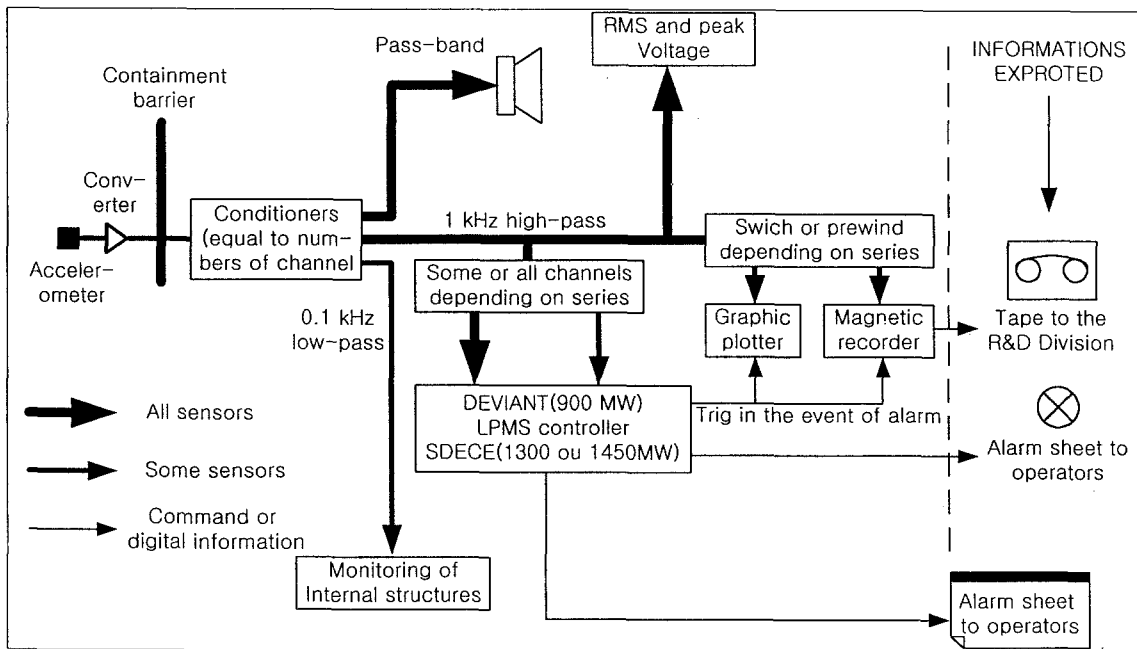


그림 2.1.1 프랑스 금속과편 감시 시스템에 설치된 (900 MW, 1300 MW, 1450MW) 시스템의 전체 구성도

나. 독일의 기술개발 현황[4,5,6]

KÜS 95는 독일의 금속파편 감시 계통으로 최근 개발되었으며 실제 여러 발전소에 설치 운영되고 있다. 그림 2.1.2는 발전소에 실제 설치되어 운영중인 KÜS 95에 대한 전체 시스템을 보여주고 있다.

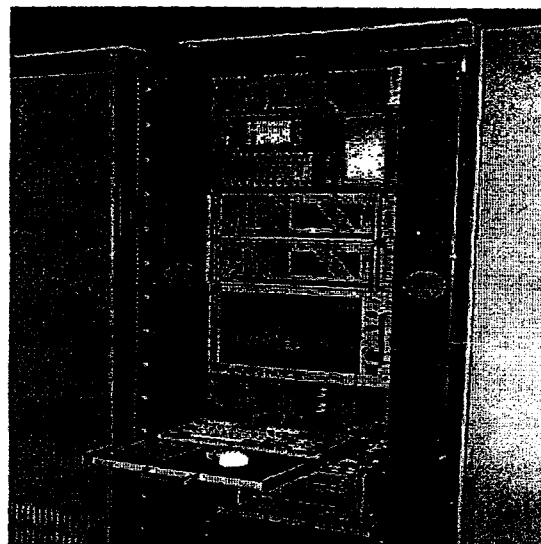
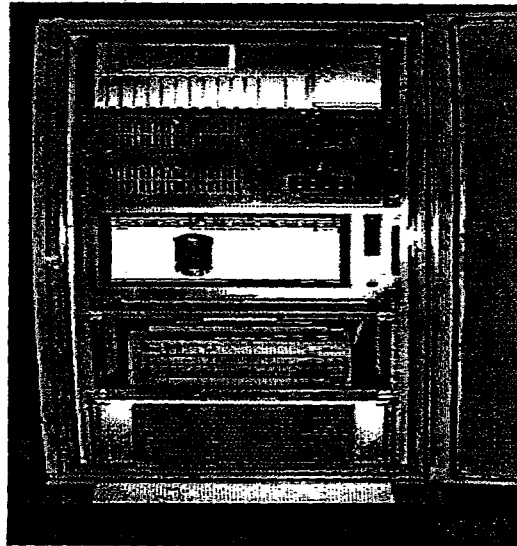


그림 2.1.2 KÜS 95 발전소에 설치된 시스템

그림 2.1.3은 KÜS 95에 대한 전체 구성도를 나타내고 있다. 이 구성도는 신호를 수집하는 센서 및 전치증폭기 부분, 신호 처리 부분, 분석컴퓨터와 통신부분, 마지막으로 분석 소프트웨어가 포함된 분석 부분이 있으며, 이

외에 Calibration 할 수 있는 Calibration 부분이 있다.

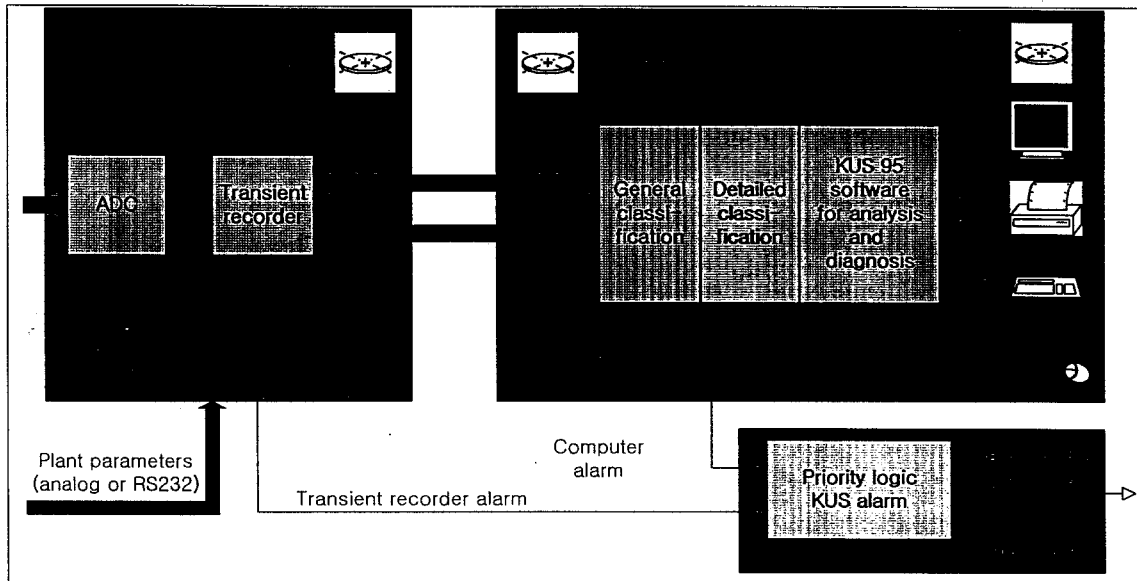


그림 2.1.3 KUS 95의 전체구성도

그림 2.1.4는 KUS 95의 event classification 흐름도이다. KUS 95의 장점으로는 분석에 의한 event classification부분으로, 일반적인 분류와 좀더 자세한 event 분류부분 두 가지로 나눈다. Event 분석을 Fuzzy 논리를 이용하여 Event의 상승시간 및 하강시간 최대 크기 등을 pattern matching 시켜서 실제 금속파편 신호인지 또는 아닌지를 판별할 수 있다. 그리고 이러한 분류를 거친 후 경보를 발생함으로써 거짓경보 등을 줄일 수 있다. 분석방법은 운전자가 상승시간, 최대 신호크기, 통계적인 기능 등을 이용하여 사용할 수 있다.

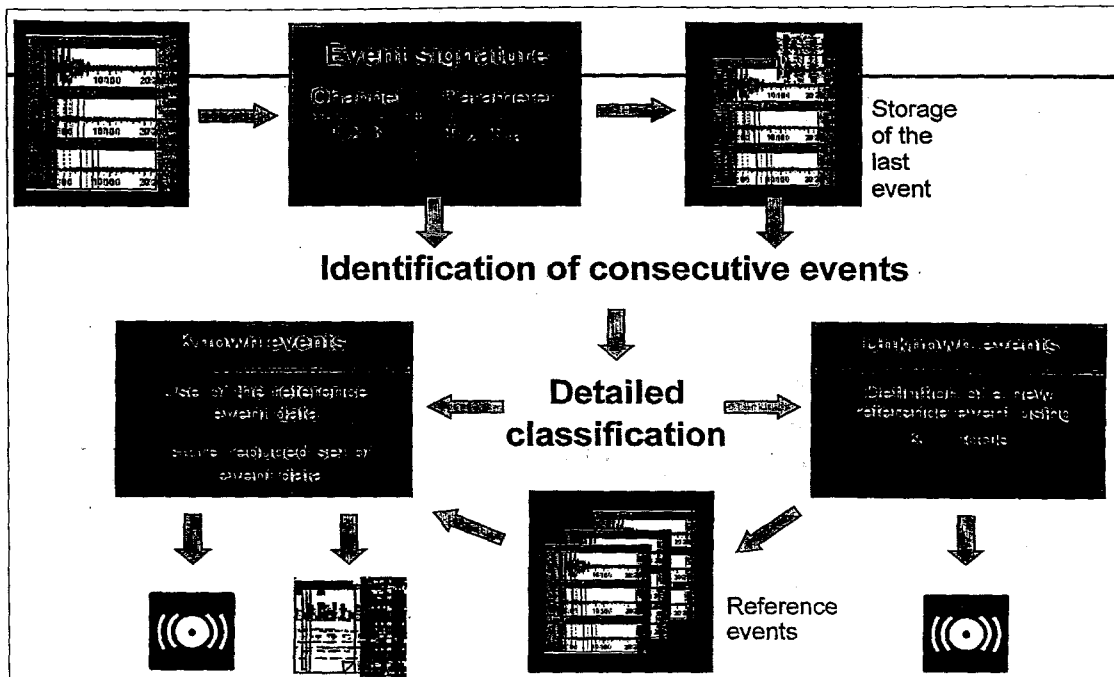


그림 2.1.4 KUS 95의 Event Classification 흐름도

그림 2.1.5는 Graphic 적으로 운전원에게 충격신호를 보여주고 있다. 운전원은 cursor를 이용하여 충격신호의 상승시간, 최대크기 등을 알 수 있다. 이를 이용하여 시간차 공식에 대입하여 충격위치를 추정할 수 있다.

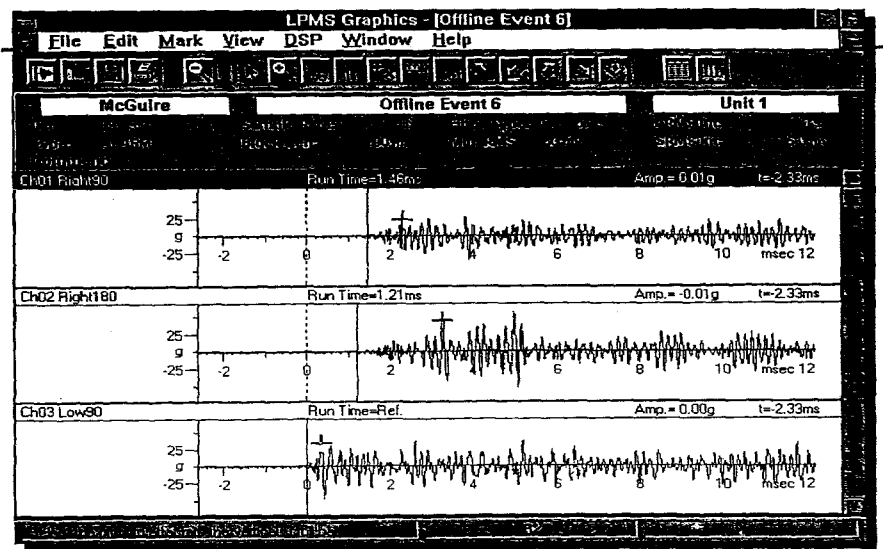


그림 2.1.5 KUS 95의 충격위치 추정에 대한 화면

충격에 대한 질량 추정은 주파수 스펙트럼을 이용하여 추정할 수 있다.

그림 2.1.6은 KÜS 95를 이용하여 Mass 추정된 결과를 보여주고 있다. 추정 방법은 주파수 비에 의한 추정방법을 이용하고 있다.

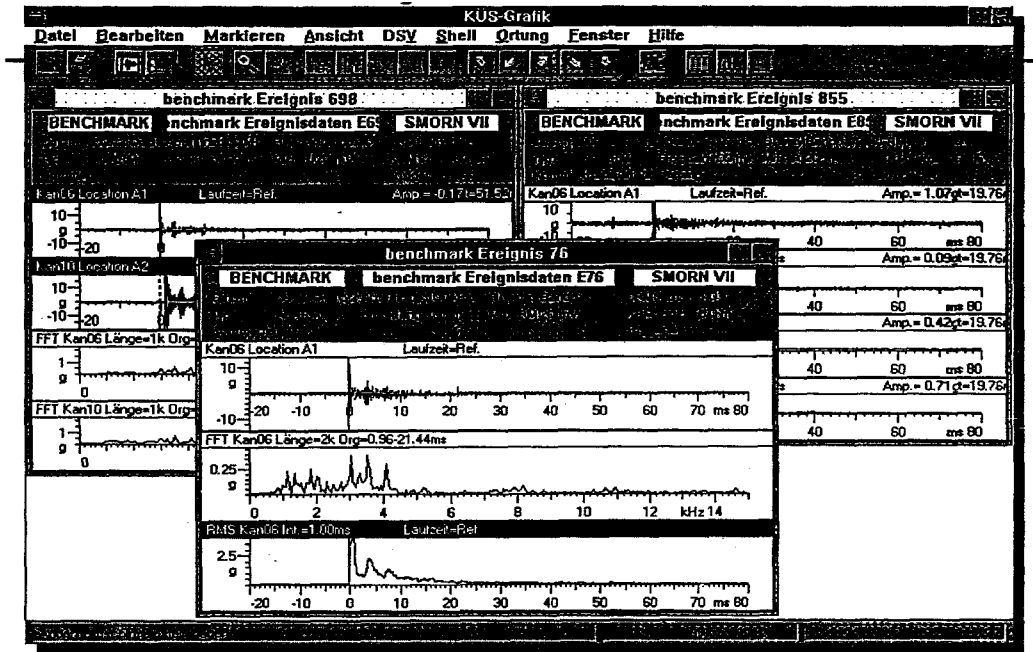


그림 2.1.6 KÜS 95의 질량추정 화면

하지만 KÜS 95의 질량 추정 방법은 운전원이 직접 검색하여 계산을 해야하며, 또한 주파수 비에 의한 질량 및 에너지 추정은 에러율이 높은 것으로 알려져 있다.

진단방법은 다음과 같다. 과도기록계에 저장된 처음 사건을 찾아낸다. 다음으로 분석컴퓨터는 이 신호와 비슷한 형태의 기준신호가 있는지를 확인한다. 만약 비슷한 신호가 있다면 알고 있는 신호로 분류하고 기준신호의 진단내용을 채택한다. 이 신호의 진단 내용이 적절하지 않는 신호로 되어 있으면, 사건의 진행을 끝마치고 "Event Known and not dangerous" 로 분류하여 자료를 저장한다. 그리고 진단 내용이 "Known and dangerous" 라면 경보를 발생시킨다. 비슷한 신호 기준이 없어서 자동진단이 되지 않는 경우에는 "Event not yet known"라고 표기하고 자료를 저장한다. 이것은 사용자가 신호내용을 평가해야 하는 것으로 "Operator?"로 명기되어 event 목록에 기록된다. 이러한 경우는 적절한 평가 내용이 아직 생성되어 있지

않기 때문에 Precautions경보를 발생시킨다. 이들 신호에 대하여 적절한 평가가 이루어지면 이들 내용을 저장한다.

표 2.1.2는 KÜS 95가 설치 운영되고 있는 발전소를 보여 주고 있다. 이 설비는 운영에 소요되는 시간 등을 상당히 줄여줌으로써 성능이 많이 향상된 시스템이다. KÜS 95의 제작 목적은 첫번째로 금속파편 초기 탐지로 손상을 최소화 두번째로 거짓신호의 제거용이, 세번째로 연속적인 손상 방지 네번째로 검사비용 절감 및 방사능 노출 감소 등이다. 하지만 이외의 지역(미국이나 체코 등 동구권 국가)에도 다수 설치되어 있는 것으로 알려져 있다.

표 2.1.2 KÜS 95 설치운영중인 발전소(독일의 경우)

| 국 가 | NPP type | KÜS 95 Data of delivery | NPP manufacture | KÜS Type |
|-----|---------------------------|-------------------------|-----------------|----------|
| 독 일 | Obrighem NPP(PWR) | 1977 | KWU | Analogue |
| | Biblis A NPP(PWR) | 1999 | KWU | KÜS 95 |
| | Biblis B NPP(PWR) | 1997 | KWU | KÜS 95 |
| | Neckarwestheim 1 NPP(PWR) | 1995 | KWU | KÜS 95 |
| | Unterweser NPP(PWR) | 1995 | KWU | KÜS 95 |
| | Grafenrheinfeld NPP(PWR) | 1997 | KWU | KÜS 95 |
| | Philippsburg 2 NPP(PWR) | 1984/89 | KWU | PC KÜS |
| | Grohnde NPP(PWR) | 1984 | KWU | Analogue |
| | Brokdorf NPP(PWR) | 1996 | KWU | KÜS 95 |
| | Isar 2 NPP(PWR) | 1995 | KWU | KÜS 95 |
| | Emsland NPP(PWR) | 1997 | KWU | KÜS 95 |
| | Neckarwestheim 1 NPP(PWR) | 1988/95 | KWU | KÜS 95 |
| | Philippsburg 1 NPP(BWR) | 1999 | KWU | KÜS 95 |
| | Krummel NPP(BWR) | 1984/94 | KWU | KÜS 95 |

2. 국내 기술개발 현황

국내의 경우, 한국 원자력 연구소 MMIS 팀에서 “첨단 계측제어 기술 개발” 에서 금속파편충격시스템을 개발하기 위해 Mock-up 시스템을 이용하여 충격 신호를 모의적으로 발생시켜 연구하여 위치 및 질량을 추정할 수 있는 분석 알고리즘을 개발하였고, 일부 기업에서는 금속파편 시스템 개발하여 영광 2호기에 금속파편 시스템[7]을 설치하여 운영 중에 있다. 그림 2.1.7은 설치된 전체 구성도이다.

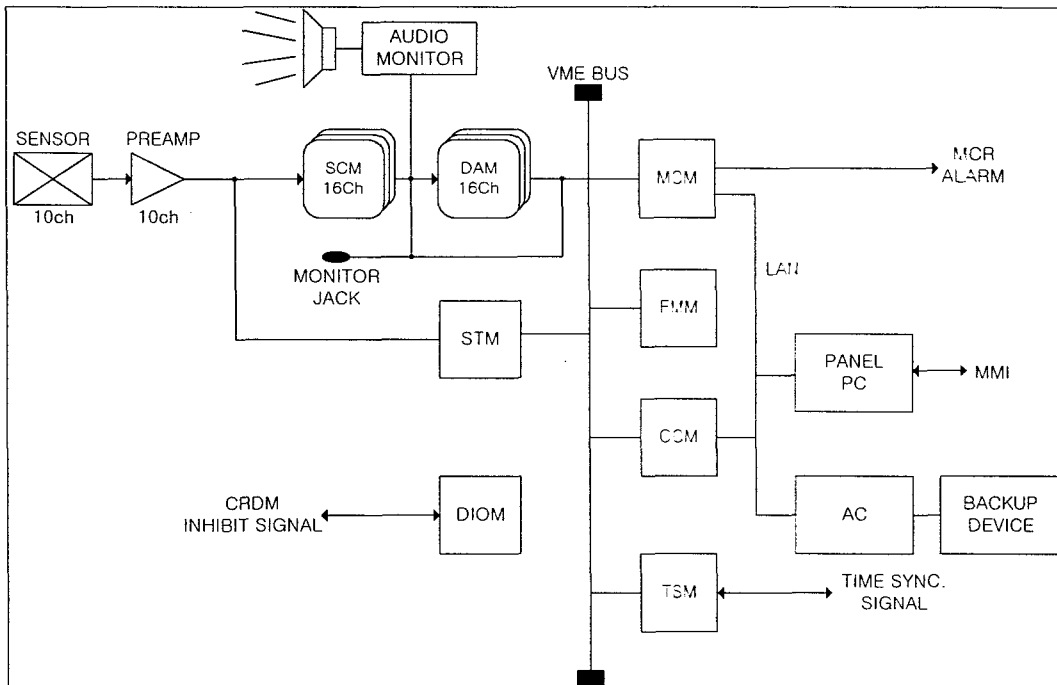


그림 2.1.7 영광 2호기에 설치된 금속파편시스템의 전체구성도

이 시스템의 진단 방법은 6단계의 검출 알고리즘이 이용하여 거짓정보를 검출하고 이러한 판별 알고리즘을 이용하여 충격위치 및 질량 등을 추정한다. 이러한 방법들은 Siemen 의 K? 95의 진단 방법과 거의 유사한 방법이다. 한편 원자력 안전 기술원은 1997년 11월 영광 2호기 금속 파편이 발생한 이후로 원자력 발전소의 안전성을 향상하기 위해 전 발전소에 금속파편에 관한 운영 절차서를 강화하고, 금속 파편시스템이 노후화되었거나, 설치되어 있지 않은 발전소에도 금속파편 시스템을 새로이 설치 할 것을 권고하는 추세이다.

제 2절 IVMS 기술개발 현황

1. 국외 기술개발 현황

원자로 잡음해석이 최초로 시도된 것은 1947년 F. de Hoffman(1946)이 원자로 출력에 미소변동(Fluctuation)이 있으며 이는 중성자의 연쇄반응에 기인함을 밝힌 것이다. 그 후 많은 연구/개발을 통하여 원자로 내부구조물의 구조적 건전성을 진단하거나, 노심의 열수력학적인 특성 변화를 탐지하는데 유용한 도구로 응용되었다[8](J.A. Thie, 1979). 특히 중성자속(neutron flux)의 잡음을 이용한 원자로 내부구조물의 진동분석 및 이상진단이 두드러지고 있다.

가. 미국의 기술개발 현황

미국의 경우 EPRI(Electric Power Research Institute)와 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)을 중심으로 오래 전부터 원자로 잡음해석과 관련한 연구활동이 꾸준히 수행되어 오고 있으며[9,10,11,12], 최근에는 기기 공급자 측과 함께 연속감시 및 자동화 시스템의 개발에 주력하고 있다[13,14]. 그 결과 Westinghouse사는 1988년에 ADPMS(Advanced Diagnostic and Predictive Maintenance System)을 개발하여 일부 발전소에 운용하고 있으며, 최근에는 RICMS(Reactor Internals and Core Support Monitoring System)를 개발하여 현장에 적용하고 있다.

잡음해석과 관련된 기술표준으로는 ASME/ANSI OM5(Core Support Barrel 진동감시, 1981)이 제정되어 적용되고 있으며 그 외에도 OM11(열교환기 진동감시), OM12(Loose Part 감시) 및 OM14(회전기기 진동감시)등이 제안되어 있다.

나. 독일의 기술개발 현황

독일의 경우 GRS(Gesellschaft fuer Reaktorsicherheit)와 Hannover 공대를 중심으로 원자로 잡음해석 기술개발을 수행하고 있으며[15,16,17,18], 최근에는 Neural Network을 활용하는 연구를 하고 있는 단계이다[19,20]. 또 미국과 마찬가지로 Siemens/KWU 등과 함께 자동화에 노력하여 1986년에 SÜS(Internal Vibration Monitoring System)를 개발하여 원전설비에 장착하였으며[21,22] 계속 개선 중에 있다. 원자로 잡음해석과

관련된 기술표준으로는 DIN 25475[39](금속과편감시계통 표준안)가 있고, IVMS 관련의 표준은 현재 개발 중에 있다.

다. 프랑스의 기술개발 현황

프랑스는 EdF와 Framatome사를 중심으로 원자로 잠음해석과 관련하여 가장 다양한 감시계통 및 기술이 연구 개발되고 있는 국가이다[23,24,25,26]. 특히 EdF는 현재 54개의 900MW 및 1300MW PWR을 운영하고 있는데 모두 원자로 잠음감시계통을 설치/운용하고 있다[27,28,29].

라. 기타 국외의 기술개발 현황

캐나다와 일본 역시 IVMS를 설치/운용하고 있으며 원자로 계통의 각종 잠음 신호를 이용하여 원자로내부구조물의 결함 감시 및 상태 진단을 꾸준히 수행하고 있다 [30,31,32,33,34,35,36,37,38].

2. 국내 기술개발 현황

국내에서는 1990년도에 이르러 원자로 내부구조물 감시계통에 대한 체계적인 연구가 한국원자력연구소에서 수행되었다. 원자로구조 검사실에서는 한전기술원과의 공동으로 울진 1호기의 내부구조물 감시계통에 시스템구성을 수행하여 RIVMOS(Reactor Internals Vibration Monitoring System)을 개발하였다[40]. 이를 울진 1호기에 설치하여 성공적으로 운용하고 있으며 이 결과를 국제회의(SMORN VII)에 발표하였다[41]. 또한 진동연구실에서는 이러한 감시계통으로부터 나오는 잡음신호와 구조물의 진동 특성과의 상관관계에 대한 분석기술을 정립하고 울진 1호기의 내부구조물 진동특성을 밝혀내었으며, 결함을 진단할 수 있는 PC용 소프트웨어(Pro-mind)를 개발하였다[42]. 이 결과 또한 국제회의(SMORN VII)에 발표하여 국내의 원자로 잡음해석 관련 연구활동을 국제적으로 알리는 계기를 마련하였다[43,44]. 최근에는 한국원자력연구소에서 과기부가 주관하는 원자력 국제공동연구의 일환으로 '원자로 잡음을 이용한 결함진단 기술개발' 과제를 수행하여 원자로 내부구조물 감시를 위한 신호분석 기법을 체계화하였으며, 국내·외(한국 및 독일) 가압경수로형 원자로의 데이터베이스를 구축하고 RENAS(Reactor Noise Analysis System)라는 휴대용 원자로잡음신호분석 시스템을 개발한 바 있다. 또한 독일과 공동으로 CANDU 원자로 내부구조물에 대한 감시기법을 개발해 놓고 있다[45].

원자로내부구조물 감시계통의 신호분석 기법에 대한 국내기술수준은 이제 선진국에 가까이 접근한 상태라 할 수 있으나, 결함증상에 관한 다양한 데이터베이스 및 상세 진단을 위한 전문가 판단기준 설정 등과 같은 분야에서 지속적인 연구가 필요한 실정이다. 신호처리는 할 수 있으나 이에 대한 물리적인 설명이나, 기준 데이터와 차이가 발생할 경우 이를 판독할 수 있는 능력은 아직 부족한 실정이라 하겠다. 그리고, 현장 설비의 운영경험 부족과 원자로 잡음 분석기술에 필수적인 결함사례 및 결함증상과 관련된 데이터베이스의 부족 등으로 선진국에 비하여 동 분야의 기술격차를 줄이지 못하고 있는 형편이다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 수행내용

1. 관련 이론

가. 금속파편 감시시스템

(1) 충격위치 추정 알고리즘

(가) 삼각법을 이용한 충격위치 판별

증기발생기 내부에서 발생한 금속파편이 증기발생기 외벽에 충돌하면 그 충격파는 증기발생기의 외벽을 통하여 전파된다. 충격에 의한 표면파의 전파모드는 크게 S_0 모드파와 A_0 모드파의 두 가지로 나뉜다. A_0 모드파는 의사세로파라고도 불리며 파의 진행 방향과 매질의 운동 방향이 수직이다. 이 의사세로파의 전파 속도는 어떠한 매질에서도 변하지 않는다. 그리고 운동 방향과 진행 방향이 수직이므로 전파속도가 느리고 진폭이 크다. S_0 모드파는 굽힘파라고도 불리며 파의 진행 방향과 매질의 운동 방향이 같다. 따라서 전파 속도는 빠르나 진폭이 작아 실제 신호에서는 잡음에 묻혀 구분이 힘들다. 또한 전파되는 매질의 성질이나 두께 등에 의해 전파되는 속도도 달라진다. 본 연구에서는 진폭이 커서 잡음에 강하고 매질에 따른 전파 속도가 일정한 A_0 모드파를 이용하여 삼각법을 적용, 충격 위치를 판별하였다.

삼각법에 의한 충격위치 평가[1,2]는 센서에 유입된 충격신호의 도달시간차와 충격파의 전파속도를 이용하는 방법이다. 충격신호의 전파속도가 알려져 있을 때, 3개의 센서에 신호가 유입된 시각 정보에서 각 센서 사이의 신호도달 시간차를 계산하여 삼각법에 적용, 충격위치를 구한다.

삼각법을 이용하여 충격위치를 평가하기 위해서는 적어도 3개 이상의 센서로부터의 충격신호 정보가 필요하다. 영광 3호기의 각 증기발생기에는 4개의 센서가 설치되어 있는데, 3개는 증기발생기 하부에, 1개는 증기발생기 상부에 설치되어 있다. 본 보고서에서는 하부에 설치된 3개의 센서를 이용하여 금속파편의 충격위치를 판별한다.

그림 3.1.1은 삼각법에 의한 충격위치 평가방법의 예를 보여주고 있다. 그림의 위쪽에는 센서 1, 2, 3에 들어오는 충격신호와 도달지연시간이 나타내고, 아래쪽에는 이를 이용하여 충격위치를 구하는 방법이다. 충격 신호가

발생하면 센서 1과 센서 2, 그리고 센서 1과 센서 3 사이의 충격신호 도달 시간차 $\Delta t_{1,2}$, $\Delta t_{1,3}$ 를 구한 다음 이를 식 (1)과 (2)에 적용하여 충격 위치를 구한다.

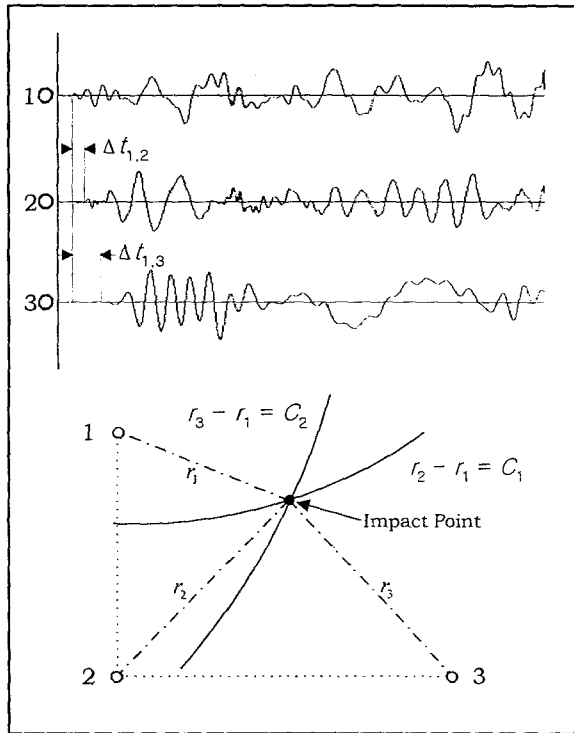


그림 3.1.1 삼각법을 이용한 충격위치
평가방법 예

$$r_2 - r_1 = V_g \cdot \Delta t_{1,2} \quad (1)$$

$$r_3 - r_1 = V_g \cdot \Delta t_{1,3} \quad (2)$$

여기서, r_1, r_2, r_3 는 센서와 충격위치까지의 거리를 나타내고, V_g 는 충격파의 전파속도, 그리고 $\Delta t_{1,2}$, $\Delta t_{1,3}$ 는 센서 사이의 충격파 도달시간차를 나타낸다.

그림 3.1.2는 충격위치 판별과정을 나타낸 흐름도이다. 증기발생기 표면에 충격 신호가 발생하면 충격파는 증기발생기의 표면을 따라 전파하여 각 센서에 유입된다. 운전원은 유입된 충격파 신호를 분석하여 각 센서에 충격파가 유입된 시간 정보를 입력한다. 각 센서별 충격파 도달 시간 정보

가 입력되면 먼저 충격파가 각 센서에 도달한 순서가 입력받은 시간에 의해 자동으로 계산된다. 다음, 가장 먼저 신호가 도달한 센서의 시간을 다른 센서의 도달시간에서 뺀다. 이 과정을 거쳐 각 센서 사이의 충격신호 도달 시간차($\Delta t_{1,2}$, $\Delta t_{1,3}$)가 계산되고 이를 이용하여 충격위치가 자동으로 계산된다.

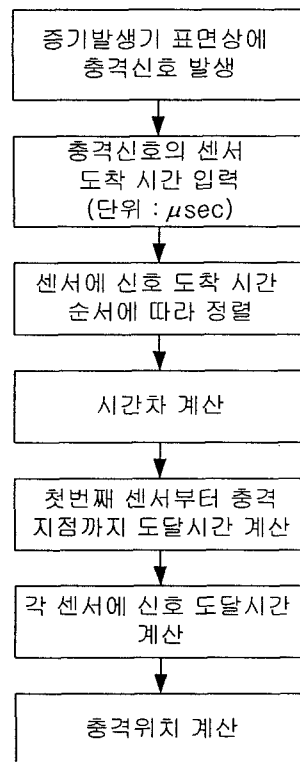


그림 3.1.2 충격위치를 계산하기 위한 흐름도

(2) 질량 추정 알고리즘

충격파의 질량에 대한 기본 알고리즘은 Hertz이론[3]을 근간으로 한다. 이 Hertz 이론은 무한한 평면에 강구를 충격시켰을 때 나오는 충격파를 모델로 하여 이론을 정립하였다. 하지만 실제 원전의 경우, 유한한 평면이고 여러 환경적인 요인에 의한 충격파의 왜곡현상이 발생되므로 이러한 기본 이론을 바탕으로 실제 원전에 맞게 추정알고리즘을 수정하였다. 그림 3.1.3은 수정된 질량 추정 알고리즘의 흐름도를 보여주고 있다.



그림 3.1.3 질량 추정 알고리즘의 흐름도

(가) 입력값 삽입

그림 3.1.3에서 삽입하는 입력변수는 충격파의 최대 진폭 (m/s^2)과 그에 따른 반주기(sec), 충격지점과 데이터를 받는 센서와의 거리 (m), 강구의 충격속도(m/s), 증기발생기 외벽의 두께(m)등이다. 충격파의 진폭 및 반주기는 충격신호의 데이터에서 신호분석 프로그램을 이용하여 구하고, 충격지점과 센서와의 거리는 측정을 통해 얻게 되며, 평판두께 및 충격속도는 증기발생기의 충격을 가한 하부의 두께와 냉각재 유속에서 얻게 된다.

(나) 반주기 조정

강구의 충격 접촉시간인 반주기(T_d)는 기본 알고리즘(Hertz 이론)에서 제시한 식을 그대로 사용할 경우, 실제 계산된 출력값이 많은 차이를 보인다. 왜냐하면, Hertz이론과 정현파 가정에서 유도된 반주기는 평판이 무한히 넓다는 가정 하에 유도된 식인데 반해 실제 원전의 증기발생기는 유한한 원통형 구조로 되어 있기 때문이다. 따라서 모의실험을 분석하여 반주기의 주기에 따라 서로 다른 가중인자를 반주기에 곱하여 입력되는 반주기의 값을 수정하였다. 반주기의 조정 범위에 따른 가중인자와 조정값이 표 3.1.1에 있으며 그림 3.1.3의 반주기 조정(1)에 대한 순서도는 그림 3.1.4에 보였다.

표 3.1.1 수정된 반주기 조정범위 및 조정값

| 반주기 범위 | 가중인자 | 조정값 |
|---------------------------|------|----------------------------|
| 0.00005sec 미만 | 10 | 반주기(T_d) \times 10 |
| 0.00005sec 이상, 0.00009 미만 | 0.67 | 반주기(T_d) \times 0.67 |
| 0.00009sec 이상 | 0.4 | 반주기(T_d) \times 0.4 |

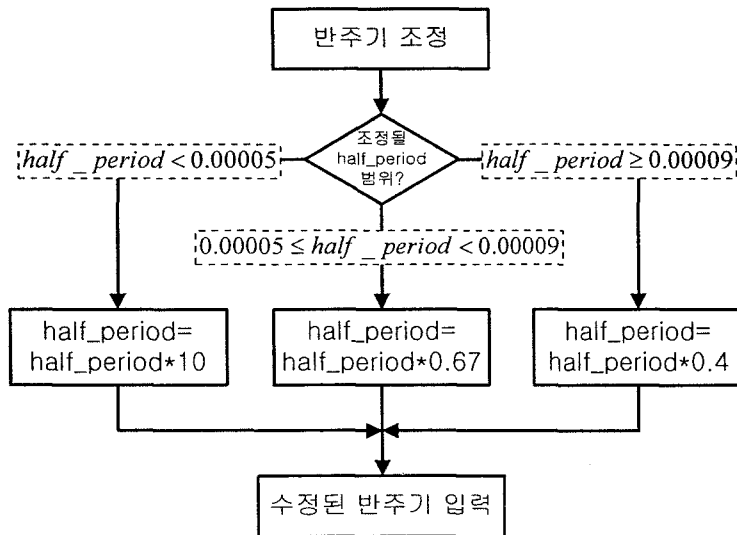


그림 3.1.4 반주기 조정 순서도

(다) 충격파의 파형속도 정의

그림 3.1.3 에서 보인 파형속도 계산은 정확한 금속질량의 유효 질량을 구하기 위한 것이다. 실제 충격파는 임펄스파(Impulse Wave)와 비슷하며 여러 가지 주파수를 포함하고 있기 때문에 좀더 정확한 계산을 하기 위해서는 두 파의 속도를 이용한 군속도(Group Velocity)라는 포괄적인 개념의 속도를 이용해야 한다. 충격파 군속도(Impact Wave Group Velocity) C_g 는 다음과 같이 계산된다.

$$C_g = \frac{3.6C_{LI}^2hf}{C_b(C_{LI}+9hf)} \quad (3)$$

여기서 C_{LI} 는 의사세로파의 속도, C_b 는 굽힘파의 속도, h 는 평판의 두께, 그리고 f 는 주파수(Hz)를 말한다.

(라) 진폭감소 특성에 대한 보상

그림 3.1.3에서 거리감쇄 보상방법과 Damping 보상방법을 나타내고 있다. 거리감쇄 및 Damping 보상을 하는 이유는 다음과 같다. 충격 신호의 데이터는 일반적으로 충격지점에서 어느 정도 떨어져 있는 센서로부터 얻은 정보를 분석하게 되므로, 충격지점에서부터 센서까지 충격파가 전파되는 동안 매질의 종류와 매질 내부의 물질 등 여러가지 감쇠 영향에 의해 충격파의 진폭이 감소하여 충격 정보를 잃게 된다. 따라서 정확한 충격 질량을 추정하기 위해서는 위의 감쇠 요인을 보상하여 질량을 추정해야 한다.

① 거리의 진폭감소 보상

거리에 의한 진폭감쇠란 충격점과 센서사이의 거리에 의해 충격파가 전파되는 동안 진폭이 감소하는 현상이며, 헨켈함수(Hankel Function)를 이용하면 충격위치로부터 거리 r 에서의 진폭 $D_distance(r)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$D_distance(r) = D_0[H_0(kr) - H_0(-jkr)] \quad (4)$$

$$H_0(kr) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} j \ln(kr) , & |kr| \ll 1 \\ \left(\frac{2}{\pi} kr\right)^{0.5} e^{-\left(x-\frac{\pi}{4}\right)j} , & |kr| \gg 1 \end{cases}$$

여기서, D_0 는 충격위치에서의 진폭, k 는 $2\pi f / C_b$, H_0 는 2차 헨켈 함수를 말한다. 그림 3.1.3 에 보인 거리감쇠 보상(2)의 상세한 순서도는 그림 3.1.5 와 같다.

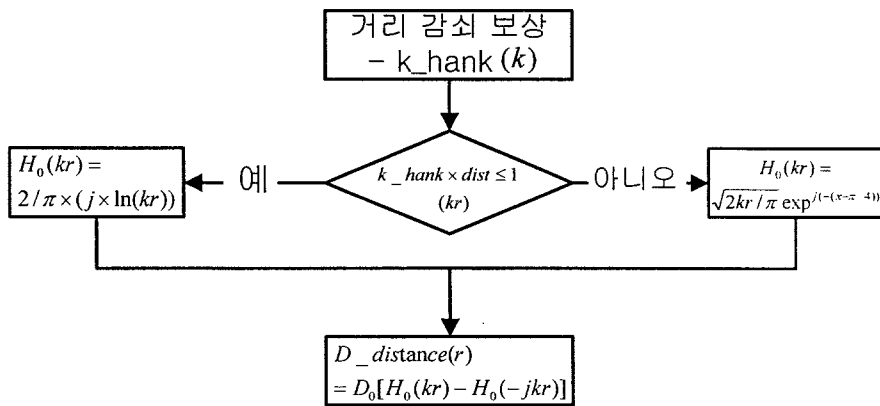


그림 3.1.5 거리 감쇠 보상에 대한 순서도

② Damping 진폭감쇠 보상

Damping에 의한 진폭감쇠 매질 및 매질 주변물체인 냉각재에 의해 발생되며, 이는 주변유체 밀도, 주파수, 금속판의 두께, 밀도 등 몇 가지 변수를 이용하여 보상할 수 있다. Damping에 의한 진폭감쇠를 보상하면 충격위치로부터 거리 r 만큼 떨어진 위치에서의 진폭은 다시 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$D_{damping}(r) = D_0 e^{-\left(\frac{\pi n f}{C_g}\right)r} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{\rho_0 c_0}{2\pi f \rho_s h} \cdot \frac{M_f}{\sqrt{M_f^2 - 1}}$$

여기서, ρ_0 는 주변유체 밀도, c_0 는 주변유체에서의 음속, f 는 전파 주파수, ρ_s 는 금속판의 밀도, h 는 금속판의 두께, M_f 는 C_b / c_0 이며, η 는 감소계수를 말한다.

위의 두 감쇠요인을 더하면, 총 진폭감소를 보상하는 식을 구할 수 있으며 식 (6)과 같이 나타낸다.

$$D(r) = D_distance(r) + D_damping(r) \quad (6)$$

(마) 직경, 질량, 에너지 계산

앞에서 기술한 식들을 이용하면, 충격위치에서의 신호의 최대 변위와 충격접촉시간을 계산할 수 있다. 이를 다시 금속판의 정보로 바꾸어 강구로 가정한 금속파편의 반경을 계산하면 아래의 식에 의해서 직경과 질량 및 에너지를 계산할 수 있다. 금속파편의 직경을 계산하는 식은 식 (7)과 같다.

$$R = \left(\frac{3.6D_0\pi^3 C_{LI} h^2 f K_h^{2.2}}{1.33\pi V_0^{1.6} \sqrt{\frac{1.8hf(C_{LI} + 9hf)}{C_{LI} + 4.5hf}}} \right)^{\frac{1}{2.6}} + 0.003 \quad (7)$$

여기서, R은 금속파편의 직경, h는 금속판의 두께, D₀는 충격위치에서 충격파의 최대진폭, K_h는 Hertz의 충돌계수, C_{LI}는 A₀ 모드파의 전파속도, f는 충격파의 주파수, V₀는 금속파편의 충격속도를 말한다. 금속파편의 질량을 계산하는 식은 식 (8)과 같다.

$$m = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_{steel} \quad (8)$$

여기서, m은 금속파편의 질량, R은 금속파편의 직경, ρ_{steel}은 금속파편의 밀도를 말한다. 금속파편의 충돌시의 에너지는 식 (9)로 구할 수 있다.

$$E = 0.5m(V_0)^2 \quad (9)$$

여기서 m은 금속파편의 질량, V₀는 금속파편의 충격속도를 말한다.

나. 내부구조물 감시시스템

(1) PWR 노외중성자 잡음신호 분석기술 개발

가압경수로형 원자로의 노외중성자 신호는 본래 노심보호계통의 입력신호로 사용되고 있으며, 부수적으로 원자로 내부구조물의 진동상태 감시/진단에 일반적으로 많이 사용되고 있다. 그림 3.1.6은 원자로 노외 중성자를 감지하는 센서의 위치를 나타내고 있으며, 원자로 압력용기 외부 들레에 동일 평면으로 약 90° 간격으로 설치되어 있으며, 노심의 상부와 하부 또는 상부, 중심부, 하부에 각각 4 개씩 설치되어 있다. 노외중성자 잡음은 그 특성에 따라서 핵적(neutronic) 요인, 열수력학적 요인, 기계적 운동 요인, attenuation 변동 요인 및 기타 noise 등으로 나누어지며 각각의 요인은 아래와 같다.

- 핵적 요인
 - Boron 농도의 변화.
 - 중성자 kinetics.
- 열수력학적 요인
 - 냉각수의 온도 및 압력 변화.
 - 냉각수의 유량 변화.
- 기계적 운동 요인
 - 핵연료 집합체의 상하운동 및 횡방향 진동.
- Attenuation 요인
 - 원자로 압력용기의 흔들림 운동.
 - 노심지지원통의 횡방향 진동.

이를 감안하여 노외중성자의 잡음신호를 적절히 신호처리하면 원자로 내부구조물의 진동과 관련된 부분을 추출해 낼 수가 있으며, 이를 통하여 원자로 내부구조물의 결함을 감시/진단할 수가 있다. 여기서는 노외중성자 신

호를 이용하여 원자로 내부구조물의 진동성분을 추출하는 기존의 주파수 방법에 대하여 기술하고 개발한 기법인 모드분리 기법에 대하여 기술했다.

(가) 기존의 신호분석 방법

노외중성자 신호를 이용한 진동모드 추출을 위해서는 FFT (Fast Fourier Transformations) 기법을 이용한 주파수 분석을 수행해야 한다. 이때 사용되는 주파수분석 변수들로서는,

- APSD(Auto Power Spectral Density function)
- CPSD(Cross Power Spectral Density function)
- Phase
- Coherence

등이 있다. 여기서 APSD는 측정된 채널신호의 단위 주파수별 파워(mean square)를 주파수별로 나타낸 것으로서 peak 주파수의 유무를 통하여 주요 성분을 판단한다. CPSD는 동시에 측정된 두 채널신호간의 상관관계를 크기 및 위상으로 구분하여 주파수 성분별로 표현한 것으로서 복소수 형태로 나타난다. 위상은 동시에 측정된 두 채널사이의 시간영역에서의 shift 또는 delay를 표현한 것으로서 그 값이 0° 인 경우에는 in-phase, 180° 인 경우에는 out-of-phase로 정의한다. 마지막으로 Coherence는 동시에 측정된 두 채널신호사이의 선형적인 상관관계를 무차원화 한 것으로서 두 신호사이에 선형적인 인과관계가 전혀 없을 경우에는 “0”, 인과관계가 완전하거나 두 신호가 동일한 경우에는 “1”의 값을 갖는다. 즉 두 신호간의 CPSD를 각 신호의 APSD로 무차원화 한 개념이다. 각 파라미터들에 대한 수학적 정의는 참고문헌들[4,5]에 상세히 설명되어 있다.

노외중성자 신호분석을 이용하여 알 수 있는 원자로 계통의 진동주파수로는 원자로 압력용기의 흔들림 모드, 노심지지원통의 beam 및 shell 진동 모드, 핵연료집합체의 bending 모드 주파수 등이 있으며, 제어봉의 진동 모드 및 원자로냉각재 펌프에 의한 압력가진 주파수 등도 간접적으로 확인할 수가 있다. 특히 원자로 내부구조물과 관련한 노심지지원통의 beam 및

shell 진동 모드 그리고 핵연료집합체의 bending 모드는 다음과 같은 방법을 이용하여 확인할 수 있다.

① 노심지지원통의 beam 진동 모드

그림 3.1.6(a)에서 보는 바와 같이 그 진동방향에 따라서

- 인접한 노외중성자 신호사이의 phase가 0° 또는 180° 이면서 coherence가 높다.
- 반대편 노외중성자 신호사이의 phase는 항상 180° 이면서 coherence가 높다.
- 상하의 노외중성자 신호사이의 phase가 0° 이면서 coherence가 높다.

② 노심지지원통의 shell 진동 모드

그림 3.1.6(b)에서 보는 바와 같이 그 진동모드 형상에 따라서,

- 인접 중성자 탐지기 신호사이의 phase가 180° 이면서 coherence가 비교적 높다.
- 반대쪽 중성자 탐지기 신호사이의 phase가 항상 0° 이면서 coherence가 높다.
- 상하의 중성자 탐지기 신호사이의 phase가 0° 이며 coherence가 매우 높다.

③ 핵연료 집합체 bending 모드

핵연료 집합체 bending 모드는 노심내의 reactivity의 변동 요인으로 작용하며,

- 인접 중성자 탐지기 신호사이의 coherence가 매우 약하다.
- 반대쪽 중성자 탐지기 신호사이의 phase가 180° 부근이다.

이러한 위상의 차이 및 coherence 값의 상대적인 크기에 근거하여 중성자

신호의 APSD에 나타나는 peak값들을 검토하면 위와 같은 진동모드들을 구별할 수가 있다. 그러나 원전에 따라서 CSB의 beam 진동 모드 성분 및 핵연료집합체의 고차 bending 모드주파수가 근접하는 경우에는 위상 및 coherence관계가 성립되지 않을 수가 있다[6,7,8]. 핵연료 집합체 진동모드의 경우에는 핵연료집합체의 노심평면 위치에 따라서 노외중성자간의 coherence 값의 차이가 크게 나타나므로 노외중성자 만으로는 핵연료집합체의 bending 모드를 정확하게 분리하기가 힘들다. 그리고 노외중성자 잡음에는 원자로 내부구조물의 진동성분 뿐만 아니라 다른 여러 요인들도 포함되어 있다. 따라서 최근에는 노내중성자 잡음과 압력변동신호 그리고 원자로 계통의 가속도신호등을 동시에 분석함으로써 노외중성자 잡음신호분석 결과를 보완하고 있다.

(나) 모드 분리 기법

신호분석 이론에 의하면, 어떤 시스템으로부터 n 개의 신호를 동시에 측정함으로써 n 개의 서로 독립된 시스템의 고유특성을 알 수 있다. 이 점에 착안하여 원자로 압력용기의 둘레에 약 90° 간격으로 설치된 4 개의 노외중성자 신호를 동시에 측정, 분석함으로써 노외중성자 신호의 특성을 4 개의 독립된 성분으로 모델링 할 수가 있다. 따라서 앞에서 정의한 노심지지원통의 beam 및 shell 진동모드 성분의 위상 특성에 근거하여, 동일평면에 위치하는 4 개의 노외중성자 신호를 다음과 같이 모델링 한다[7].

$$x_1(t) = g(t) + b_1(t) + b_2(t) + s(t) \quad (10)$$

$$x_2(t) = g(t) - b_1(t) + b_2(t) - s(t) \quad (11)$$

$$x_3(t) = g(t) - b_1(t) - b_2(t) + s(t) \quad (12)$$

$$x_4(t) = g(t) + b_1(t) - b_2(t) - s(t) \quad (13)$$

여기서 $g(t)$, $b_1(t)$, $b_2(t)$, $s(t)$ 는 각각 global 모드 성분(모든 방향으로 in-phase를 보이는 성분), 노심지지원통의 beam1 진동모드 성분, beam2 진

동모드 성분, 그리고 노심지지원통의 shell 진동모드 성분을 의미한다. 이와 관련된 그림은 그림 3.1.7에 나타내고 있다. 위 모델로부터 측정값 $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, $x_4(t)$ 를 이용하여 각각의 분리된 모드 성분을 추출할 수가 있다. 즉, 위의 식 (10)~식(13)으로부터 각 모드 성분에 대하여 연립방정식을 풀면

$$g(t) = \frac{1}{4} \{ x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) + x_4(t) \} \quad (14)$$

$$b_1(t) = \frac{1}{4} \{ x_1(t) - x_2(t) - x_3(t) + x_4(t) \} \quad (15)$$

$$b_2(t) = \frac{1}{4} \{ x_1(t) + x_2(t) - x_3(t) - x_4(t) \} \quad (16)$$

$$s(t) = \frac{1}{4} \{ x_1(t) - x_2(t) + x_3(t) - x_4(t) \} \quad (17)$$

로 표현된다. 여기서 각 신호에 대한 FFT(Fast Fourier Transformation) 결과는

$$G(f) \equiv F[g(t)] \quad (18)$$

$$B_1(f) \equiv F[b_1(t)] \quad (19)$$

$$B_2(f) \equiv F[b_2(t)] \quad (20)$$

$$S(f) \equiv F[s(t)] \quad (21)$$

와 같이 정의하면, 분리된 진동 모드 성분들의 APSD는 아래와 같이 쉽게 얻을 수가 있다.

$$\begin{aligned}
P_{gg}(f) &= G(f) \times G^*(f) \\
&= \frac{1}{16} \{X_1(f) + X_2(f) + X_3(f) + X_4(f)\} \{X_1(f) + X_2(f) + X_3(f) + X_4(f)\}^* \\
&= \frac{1}{16} [G_{11}(f) + G_{22}(f) + G_{33}(f) + G_{44}(f) + \\
&\quad 2\text{Re}\{G_{12}(f) + G_{13}(f) + G_{14}(f) + G_{23}(f) + G_{24}(f) + G_{34}(f)\}] \quad (22)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{b_1 b_1}(f) &= B_1(f) \times B_1^*(f) \\
&= \frac{1}{16} \{X_1(f) - X_2(f) - X_3(f) + X_4(f)\} \{X_1(f) - X_2(f) - X_3(f) + X_4(f)\}^* \\
&= \frac{1}{16} [G_{11}(f) + G_{22}(f) + G_{33}(f) + G_{44}(f) + \\
&\quad 2\text{Re}\{-G_{12}(f) - G_{13}(f) + G_{14}(f) + G_{23}(f) - G_{24}(f) - G_{34}(f)\}] \quad (23)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{b_2 b_2}(f) &= B_2(f) \times B_2^*(f) \\
&= \frac{1}{16} \{X_1(f) + X_2(f) - X_3(f) - X_4(f)\} \{X_1(f) + X_2(f) - X_3(f) - X_4(f)\}^* \\
&= \frac{1}{16} [G_{11}(f) + G_{22}(f) + G_{33}(f) + G_{44}(f) + \\
&\quad 2\text{Re}\{G_{12}(f) - G_{13}(f) - G_{14}(f) - G_{23}(f) - G_{24}(f) + G_{34}(f)\}] \quad (24)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{ss}(f) &= S(f) \times S^*(f) \\
&= \frac{1}{16} \{X_1(f) - X_2(f) + X_3(f) + X_4(f)\} \{X_1(f) - X_2(f) + X_3(f) + X_4(f)\}^* \\
&= \frac{1}{16} [G_{11}(f) + G_{22}(f) + G_{33}(f) + G_{44}(f) + \\
&\quad 2\text{Re}\{-G_{12}(f) + G_{13}(f) - G_{14}(f) - G_{23}(f) + G_{24}(f) - G_{34}(f)\}] \quad (25)
\end{aligned}$$

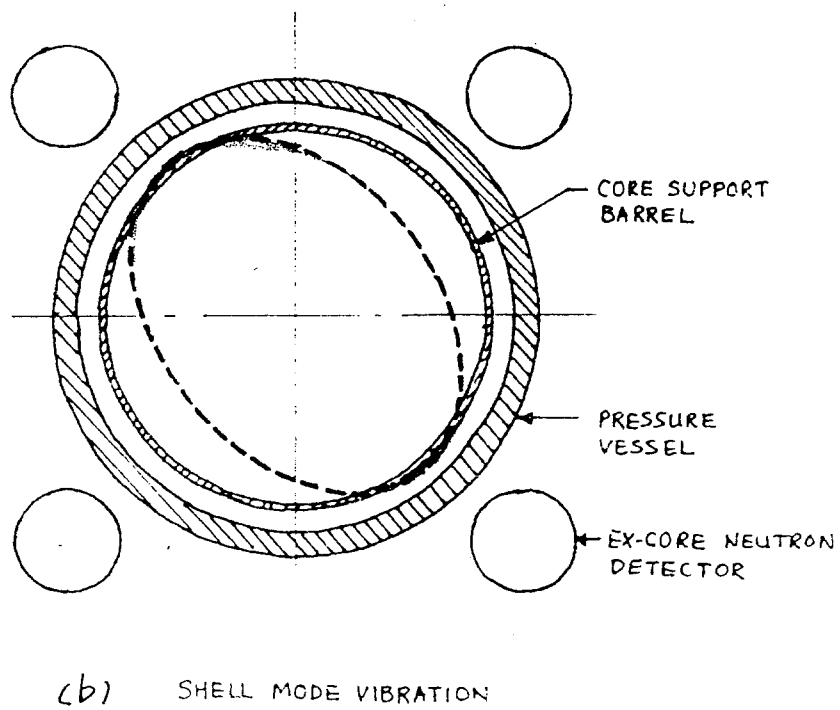
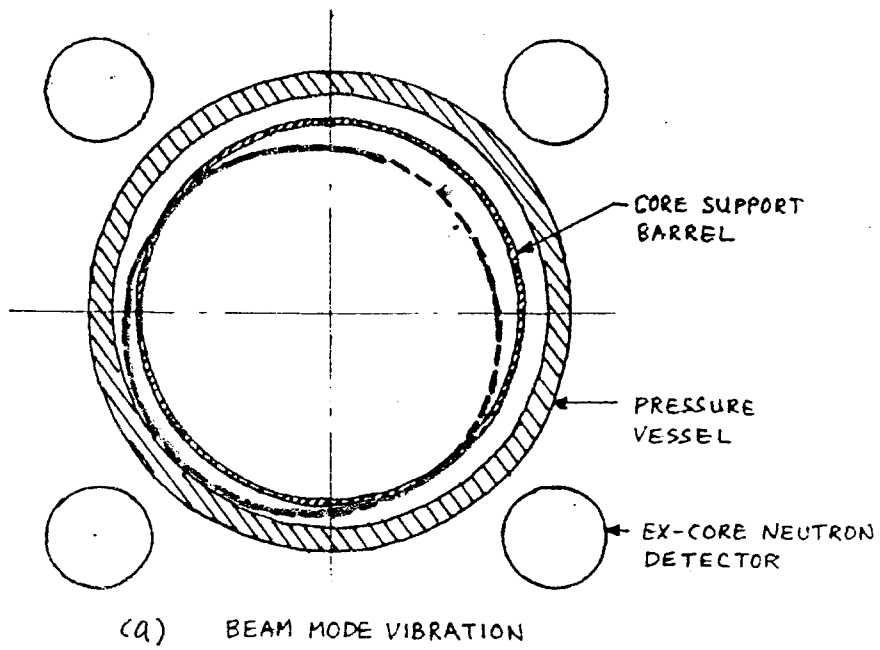
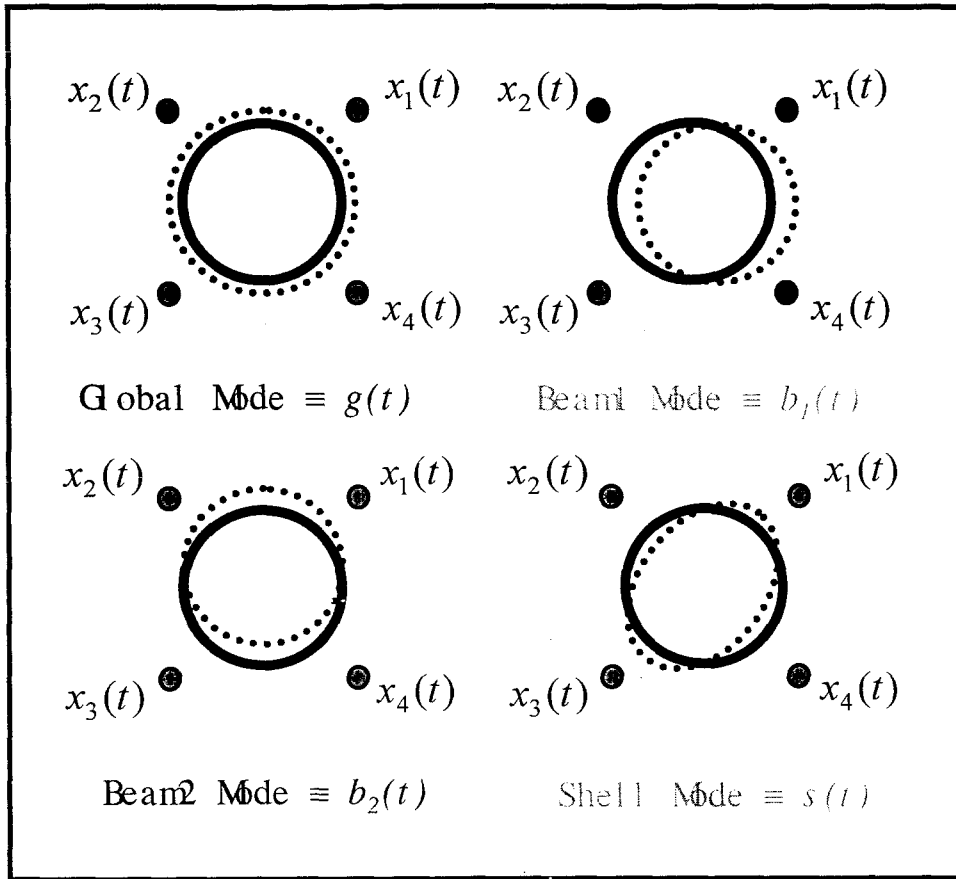


그림 3.1.6 가압경수로 원전의 일반적인 노외중성자의 위치 및 노심지지원통의 진동모드

원자로 Core Supported Barrel의 진동 Mode



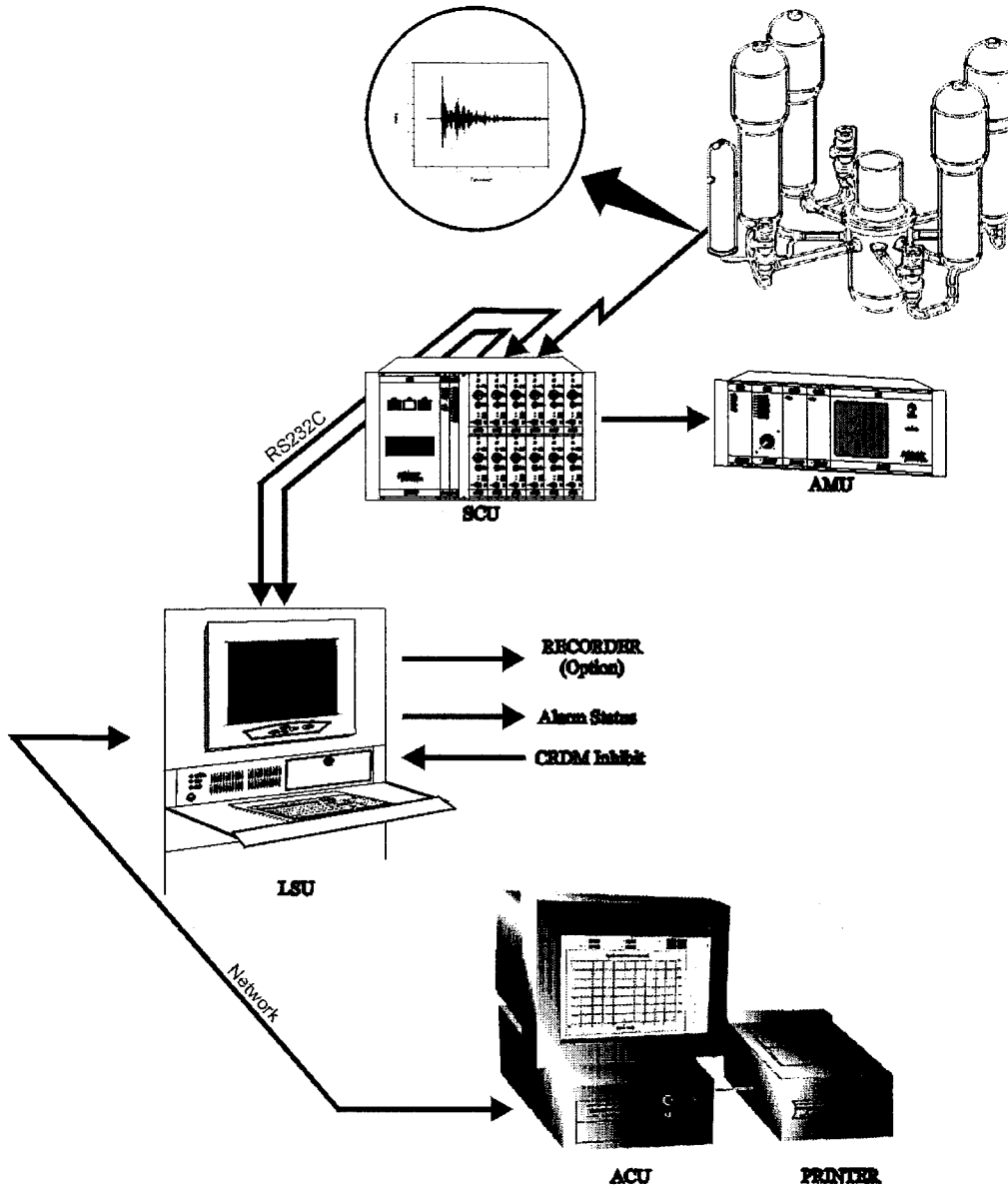
($x_i(t)$: i 번째 중성자 신호)

그림 3.1.7 노심지지원통 집합체의 진동모드 형상

2. 연구수행내용

가. 금속파편 감시시스템

(1) 시스템 구성도



- SCU : Signal Conditioning Unit
- LSU : Local Station Unit
- ACU : Analysis Computer Unit
- AMU : Audio Monitoring Unit

그림 3.2.1 금속파편 감시시스템의 전체 구성도

(2) 하드웨어 기술 규격

(가) SCU

① 개요

SCU는 SCU-DM(SCU Display Module), SCU-MCM(SCU Main Control Module), SCU-STIM(SCU System Test-I Module), 및 12 채널의 SCU-SCM(SCU Signal Conditioner Module)와 SCU-SPSM I/II(SCU System Power Supply Module I/II), SCU-PPSM(SCU Preamp Power Supply Module)등의 7가지 모듈과 이를 장착하기 위한 19" 6U Subrack으로 구성되어 있으며 12채널 각각의 현장 가속도 센서의 신호를 전치증폭기로부터 입력받아 이를 정규화 및 증폭하여 LSU, AMU, Patch단자 등에 출력한다. 또한 전치증폭기의 동작에 필요한 $\pm 12 \sim 15\text{VDC}$ 의 정전원과 현장 가속도 센서의 건전성 테스트에 필요한 24V Weighted contact 신호를 전치증폭기에 출력한다.

② 구성요소

㉞ SCU-DM(SCU Display Module)

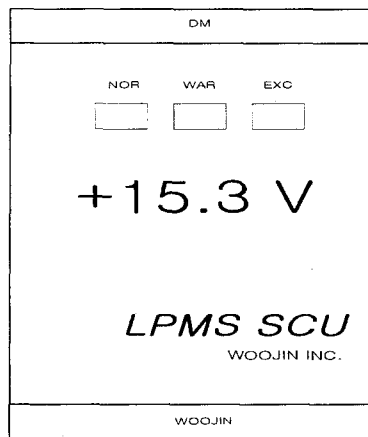


그림 3.2.2 SCU-DM 외형도

㉞. 기능

- 전치증폭기에 공급되는 정전압 값을 실시간 표시한다.
- 전치증폭기에 공급되는 정전압 값이 설정된 기준전압치 이상이거나 또는 이하일 경우 각 상태에 따라 녹색, 황색, 적색의 램프를 점등하여 이를 운전원에게 시각적으로 알린다.

- 이상 전압 발생시 부저를 울려 운전원에게 이를 알린다.

ㄴ. 규격

- 전치증폭기[9]에 공급되는 정전압 값은 소수점 1자리까지 표시 가능하도록 한다.
- 표시장치는 운전원이 멀리서도 쉽게 식별 가능하도록 대형 고휘도의 세븐 세그먼트를 사용한다.
- 전치증폭기에 공급되는 정전압 값을 최소치, 경고치, 초과치, 최대치 등의 4가지 기준값으로 설정하여 각 상태에 따른 시각적, 청각적 정보를 제공할 수 있도록 한다.

㉔ SCU-MCM(SCU Main Control Module)

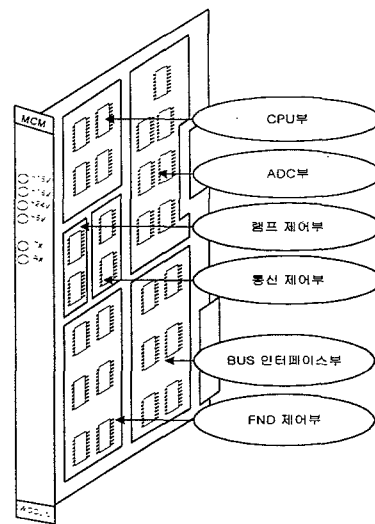


그림 3.2.3 SCU-MCM 외형도

ㄱ. 기능

- LS-MCM으로부터 실시간 명령을 전송 받아 전치증폭기에 24VDC Weighted Contact 신호를 출력함으로써 시스템 시험 I(가속도 센서의 건전성 테스트)을 수행한다.
- LS-MCM으로부터 실시간 명령을 전송 받아 레코더로부터 모의 충격신호를 입력받아 시스템 시험 II (LPMS 건전성의 테스트)을 수행한다.
- LS-MCM으로부터 명령을 전송 받아 SCU-SCM의 증폭

이득을 설정한다.

- 전치증폭기에 공급하는 $\pm 12\sim 15\text{VDC}$ Bias 전압을 감시하여, 이를 SCU-DM에 표시하고 또한 일정시간 간격으로 LS-MCM으로 전송한다.
- 전치증폭기에 공급되는 Bias 전압에 단락 또는 과전압 등의 중대한 오류가 발생할 경우 이를 LS-MCM에 전송하여 신호 분석을 중단하고 경보음을 발생시키도록 한다.

나. 규격

- CPU는 회로 설계가 용이하도록 8 Bit, 16 MHz 급 이상의 One Chip Type의 것을 사용한다.
- 메모리는 향후 기능 추가 등을 위하여 32KB 이상의 충분한 용량을 가진 Read/Write Cycle 100,000회 이상의 Flash Type (프로그램, 데이터 메모리로 동시 사용 가능)의 것을 사용한다.
- Bias 전압 모니터링을 위한 ADC는 20,000 스텝 이상에서 ± 1 스텝/Full Scale 이하의 정밀도를 갖는 정밀급 이중적분형의 것을 사용한다.
- 이중 적분형 ADC 회로에 사용되는 적분 콘덴서와 제로 기준 콘덴서는 누설전류가 적고 정전용량변화가 적으며 유전체 흡수가 적은 폴리프로필렌 계열의 것을 사용한다.
- ADC 회로에 사용되는 모든 기준 전압은 전원 노이즈, 온도 드리프트 등의 오차 요인을 감안하여 고 정밀급의 것을 사용한다.
- ADC 회로에 유입되는 디지털 노이즈 방지를 위해서 모든 아날로그 단과 디지털 단은 전기적으로 격리시킨다.
- 회로에 사용되는 모든 전원에는 바이패스 콘덴서를 최적의 위치(ART WORK시)에 사용하여, 노이즈로 인한 오동작을 방지한다.
- 통신 포트는 RS232, RS485를 선택적으로 사용할 수 있어

야 하며 LS-MCM과의 통신을 위한 전송속도, 시작 비트, 데이터 비트, 정지 비트, 패리티 비트 등의 변수등을 설정할 수 있어야 한다.

- 회로 점검이 용이하도록 중요 신호패스 부위에 시험 단자를 설치한다.

㉔ SCU-STIM(SCU System Test-I Module)

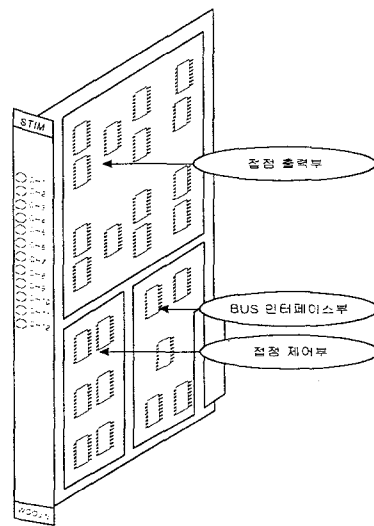


그림 3.2.4 SCU-STIM 외형도

ㄱ. 기능

- 전차증폭기에 각 채널별로 DC Weighted Contact Signal 또는 Dry Contact Signal을 출력함으로써 시스템 시험 I(가속도 센서 건전성 테스트)을 수행한다.

ㄴ. 규격

- 출력 릴레이는 현장의 여러 조건을 만족시키기 위해 접점 용량 20W 이상의 C접점 Type를 사용한다.
- 출력 릴레이의 보호를 위해 접점 보호용 다이오드를 사용한다.
- Contact Signal 출력시의 스파이크 현상을 줄이고 인터페이스 장비의 보호를 위해 출력단에 스파이크 흡수장치를

사용한다.

- 다양한 형식의 인터페이스를 고려하여 A접점 출력, B접점 출력 그리고 Dry Contact, Weighted Contact 출력을 선택적으로 사용할 수 있도록 한다.
- 안정된 회로 동작을 위해서 버스인터페이스 회로부와 접점 출력부는 전기적으로 격리시킨다.
- 회로 점검이 용이하도록 중요 신호패스 부위에 시험 단자를 설치한다.

㉠ SCU-SCM(SCU Signal Conditioner Module)

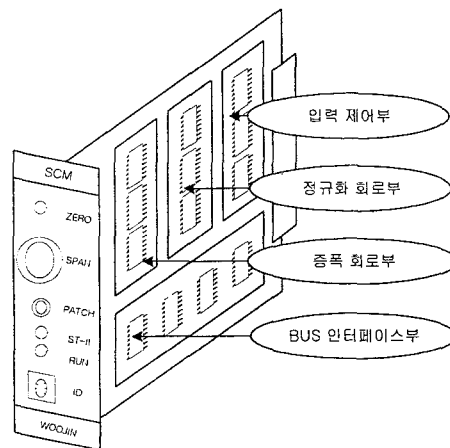


그림 3.2.5 SCU-SCM 외형도

㉠. 기능

- 각 채널의 전치증폭기로부터 현장 가속도 센서의 신호를 입력받는다.
- 모의 충격 신호인 시스템 시험 II 입력 신호를 받는다.
- 전치증폭기부터 입력된 각 채널의 가속도 센서 신호 및 시스템 시험 II 신호를 AMU(Audio Monitoring Unit) 입력에 적합한 신호형태로 변환하여 이를 AMU에 공급한다.
- 전치증폭기로부터 입력된 각 채널의 가속도 센서 신호 및 시스템 시험 II 입력 신호를 SCU-SCM의 전면 패치 단자에 공급한다.

- 전치증폭기로부터 입력된 각 채널의 가속도 센서 신호 및 시스템 시험 II 신호를 AC 신호 성분만을 추출하여 100mV / g로 정규화 한다.
- 정규화된 신호를 LSU(Local Station Unit)의 LSU-SPM의 입력 범위에 맞도록 선택적으로 1, 2, 4, 8배 증폭한다.
- 증폭된 신호를 가속도 센서의 공진 주파수 범위 내인 1Hz~20KHz 정도의 유효 신호 범위에서 대역제한 필터링 하여 이를 LSU에 출력한다.

ㄴ. 규격

- 센서신호 입력 / 모의 충격신호 입력의 스위칭에는 고속, 고정밀급의 아날로그 스위치를 사용한다.
- 신호 입력단은 고정밀급의 연산증폭기와 저항으로 이루어진 차동증폭기로 구성하여 100dB 이상의 높은 CMRR (Common Mode Rejection Rate)을 구현한다.
- 회로에 사용되는 모든 연산증폭기는 50 μV 이하의 낮은 입력 오프셋 전압과 0.25 $\mu V / ^\circ C$ 이하의 온도 드리프트를 갖는 고정밀급의 것을 사용하여 교정 주기를 최대로 할 수 있도록 한다.
- 신호의 정규화는 Potentiometer를 사용한 회로로 구성하되 각 채널의 Potentiometer의 눈금 설정은 해당 가속도 센서의 감도와 선형적으로 매칭될 수 있도록 한다.
- 각 채널의 선형 교정을 위한 Zero, Span 조정이 가능하도록 한다.
- 입력된 가속도 센서 신호를 AMU와 패치 단자에 출력시 상호 영향이 없도록 한다.
- 센서 입력 신호의 최대 범위에 따라 증폭 이득 조정이 가변될 수 있도록 한다.
- SCU의 신호 입.출력단은 BNC 커넥터를 사용하여 연결되 신호 대 잡음비를 저하시키지 않도록 신뢰성이 충분히

입증된 고품질의 제품을 사용한다.

- 디지털 노이즈 방지를 위해서 아날로그부와 디지털부는 전기적으로 격리시킨다.
- 회로 점검이 용이하도록 중요 신호패스 부위에 테스트 포인트 단자를 설치한다.

㉔ SCU-SPSM I/II(SCU System Power Supply Module I/II)

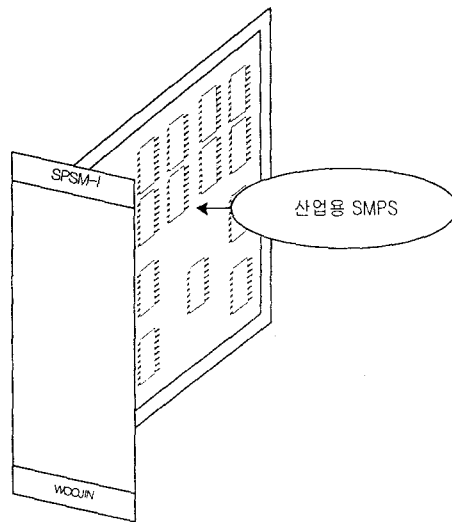


그림 3.2.6 SCU-SPSM I/II 외형도

ㄱ. 기능

- SCU의 동작에 필요한 $\pm 15\text{VDC}$, $+5\text{VDC}$, $+24\text{VDC}$ 의 전원을 공급한다.

ㄴ. 규격

- 아날로그 전원부에 사용되는 전원은 $\pm 15\text{VDC}$, 500mA 이상의 충분한 용량과 부하 조정 특성이 뛰어난 신뢰성이 충분히 입증된 것을 사용한다.
- 디지털 전원부에 사용되는 전원은 $+5\text{VDC}$, 1A 이상의 충분한 용량의 것을 사용한다.
- FND, 램프, 릴레이 등의 구동에 사용되는 전원은 $+24\text{VDC}$, 2A 이상의 충분한 용량의 것을 사용한다.

- 사용되는 모든 SMPS(Switching Modulation Power Supplier)는 과전압, 과전류 보호회로가 내장된 것을 사용한다.
- 시스템에 공급되는 모든 전원은 Backplane 보드상에서 공급될 수 있도록 한다.

㉔ SCU-PPSM(SCU Preamp Power Supply Module)

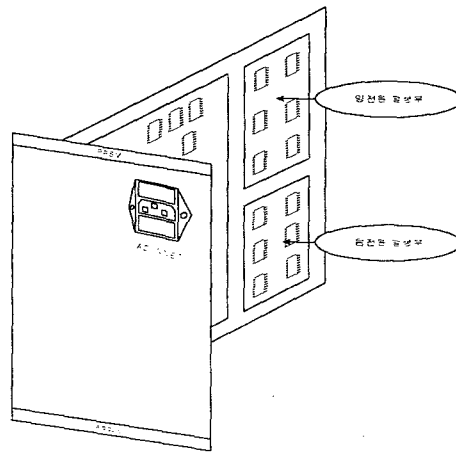


그림 3.2.7 SCU-PPSM 외형도

ㄱ. 기능

- 전치증폭기의 동작에 필요한 $\pm 8 \sim 15\text{VDC}$ 의 양전원을 전치증폭기에 공급한다.

ㄴ. 규격

- 공급전원은 $\pm 8 \sim 15\text{VDC}$ 사이에서 가변 가능하여야 한다.
- 전치증폭기의 소비전류가 최대 25mA 정도이므로 $25\text{mA} \times 12\text{EA}$ 즉 550mA 이상의 충분한 용량을 갖도록 한다.
- SMPS보다 전원의 질이 양호한 드로퍼 방식의 선형 파워 공급장치를 구현한다.
- 출력 리플은 최대부하에서 1mV 이하가 되도록 한다.

㉠ Subrack

ㄱ. 기능

- SCU의 각 구성 모듈을 3개, 6개의 크기별로 전/후면에 수납한다.

ㄴ. 규격

- 각 모듈은 착탈이 용이하도록 한다.
- 각 모듈에 유도잡음이 유입되지 않도록 섀시 그라운드, 설딩 등의 적절한 조치를 취한다.
- 범용의 캐비닛에 설치가 용이하도록 산업표준인 19" Sub-rack을 사용한다.

(나) AMU

① 개요

AMU는 운전원이 음향적 정보를 사용하여 충격 신호의 진위 여부를 판별하기 위한 장비로서 이에 필요한 AMU-ISM(AMU Input Selector Module), AMU-PrAM(AMU Preamp Module), AMU-PoAM(AMU Poweramp Module), AMU-SM(AMU Speaker Module) 및 AMU-PSM(AMU Power Supply Module) 등의 5가지 모듈과 이를 수납하기 위한 19" 4U Subrack으로 구성되어 있으며 12채널 각각의 현장 가속도 센서의 신호를 SCU로부터 입력받아 선택된 채널의 신호를 증폭하여 스피커 또는 헤드폰으로 출력한다.

② 구성요소

㉞ AMU-ISM(SCU Input Selector Module)

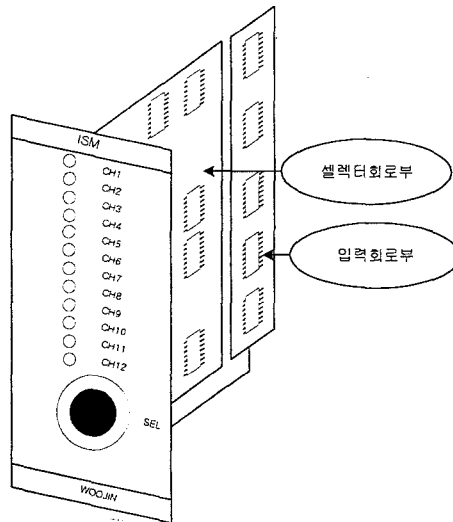


그림 3.2.8 AMU-ISM 외형도

㉟ 기능

- 선택된 채널의 신호를 AMU-전치증폭기에 출력한다.

㊱ 규격

- 신호 입.출력단은 RCA 커넥터를 사용하여 연결하되 신호대 잡음비를 저하시키지 않도록 신뢰성이 충분히 입증된 고품질의 제품을 사용한다.

- 채널 선택 회로에 채용하는 릴레이 또는 아날로그 멀티플렉서는 오디오 신호 패스에 적합한 것을 사용한다.
- 노이즈 유입을 막기 위해서 릴레이 구동부와 출력부는 전기적으로 격리시킨다.

㉔ AMU-PrAM(AMU Preamp Module)

ㄱ. 기능

- 입력된 신호를 전압증폭 하여 AMU-PAM에 출력한다.
- 스피커 출력의 음량을 조절한다.
- 입력된 신호를 전압증폭 하여 헤드폰 단자에 출력한다.

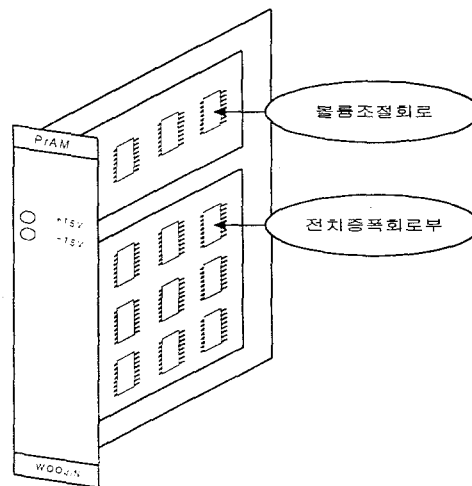


그림 3.2.9 AMU-PrAM 외형도

ㄴ. 규격

- 볼륨 조절과는 별도로 게인 조절 기능을 가지고 있어야 한다.
- 전압증폭 이득은 10 dB ~ 20 dB까지 가변할 수 있어야 한다.
- 볼륨조절은 0 dB ~ -60 dB 까지 가변할 수 있어야 하며 Mute 기능을 가지고 있어야 한다.
- 3 dB 대역폭은 최소한 20~20,000 Hz의 범위를 만족하여야 한다.
- THD(Total Harmonic Distortion)은 0.1% 이내로 한다.

- 출력단 커플링 콘덴서는 누설전류가 적고 정전용량변화가 적으며 유전체 흡수가 적은 필름계열의 것을 사용한다.
- 신호 입.출력단은 RCA 커넥터를 사용하여 연결하되 신호대 잡음비를 저하시키지 않도록 신뢰성이 충분히 입증된 고품질의 제품을 사용한다.
- 회로 점검이 용이하도록 중요 신호패스 부위에 시험 단자를 설치한다.

㉔ AMU-PoAM(AMU Poweramp Module)

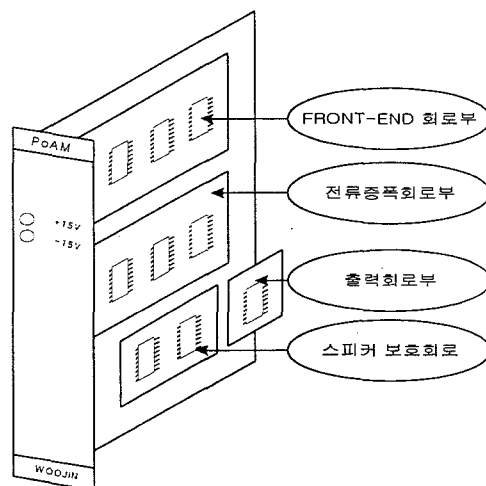


그림 3.2.10 AMU-PoAM 외형도

ㄱ. 기능

- 입력된 신호를 Front-end 처리한 후 전류를 증폭하여 스피커에 출력한다.
- Power on 혹은 off 시 발생하는 Plop 현상으로부터 스피커를 보호한다.

ㄴ. 규격

- 8Ω 스피커 사용 시 앰프의 출력은 최대 10W 까지 구동할 수 있어야 한다.
- 바이어스 전압을 가변하여 A급 증폭, AB급 증폭을 선택할 수 있도록 한다.

- THD(Total Harmonic Distortion)은 0.1% 이내로 한다.
- 스피커 보호회로를 구현하여 Plop 현상으로부터 스피커를 보호한다.
- 전류증폭용 IC에는 충분한 용량의 Heat sink를 부착하여 소자를 보호한다.
- 신호 입력단은 RCA 커넥터를 사용하여 연결하되 신호대 잡음비를 저하시키지 않도록 신뢰성이 충분히 입증된 고품질의 제품을 사용한다.
- 회로 점검이 용이하도록 중요 신호 부위에 시험 단자를 설치한다.

㉔ AMU-SM(AMU Speaker Module)

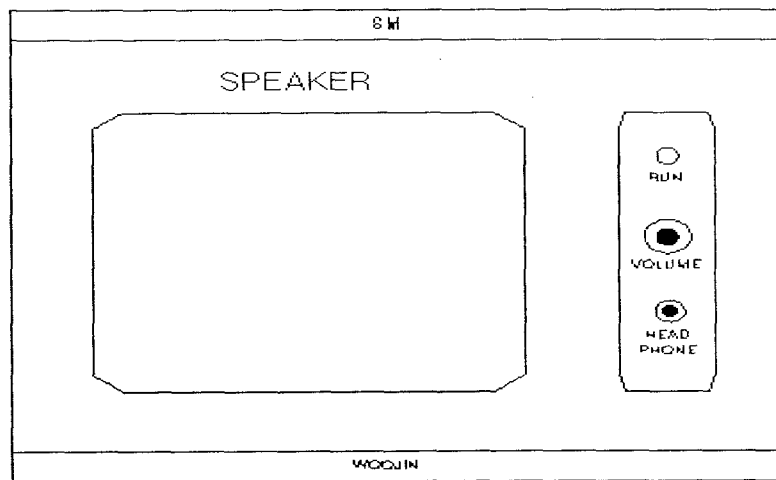


그림 3.2.11 AMU-SM 외형도

ㄱ. 기능

- 충격 신호를 패널 전면의 스피커를 통하여 출력한다.

ㄴ. 규격

- 8Ω 10W의 스피커를 사용한다.

㉔ AMU-PSM(AMU Power Supply Module)

ㄱ. 기능

- AMU의 구동에 필요한 각 전원을 공급한다.

ㄴ. 규격

- 사용하는 트랜스포머는 앰프의 최대 출력을 고려하여 적어도 2배 이상의 용량이 되는 것을 사용한다.
- 누설자속으로 인한 신호의 왜곡을 막기 위해 모든 전원 트랜스는 에폭시 몰딩하여 사용한다.

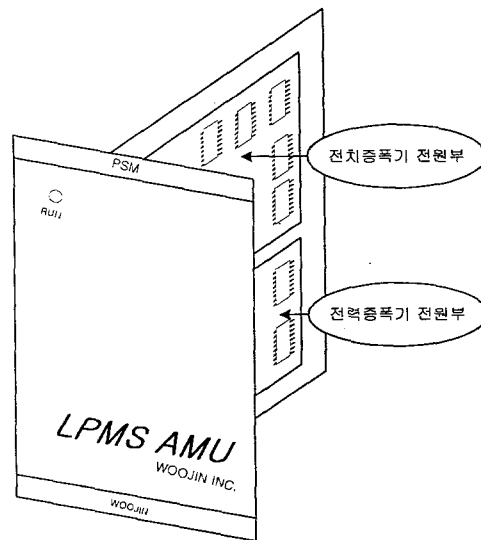


그림 3.2.12 AMU-SPM 외형도

㉕ Subrack

ㄱ. 기능

- AMU의 각 구성 모듈을 19", 4U의 랙에 수납한다.

ㄴ. 규격

- 각 모듈은 착탈이 용이하도록 한다.
- 각 모듈에 유도잡음이 유입되지 않도록 셋시 그라운드, 쉴딩 등의 적절한 조치를 취한다.
- 범용의 캐비닛에 설치가 용이하도록 산업표준인 19" Sub-rack을 사용한다.

(다) LSU

① 개요

LSU는 MCM(Main Control Module), DIO Module 및 12 채널의 신호 처리 모듈로 구성된 산업용 워크스테이션으로 SC-SCM의 LSU출력신호를 입력받아 이벤트 검출 알고리즘을 수행한다. 이벤트 신호일 경우 이를 ACU (Analysis Computer Unit)에 LAN(Local Area Network)을 통해 전송한다. 또한 ACU로부터 이벤트 신호의 분석결과를 전송받아 배전반 및 주제어실에 경보를 발생시킨다.

② 구성요소

㉞ LS-SPM(Signal Processing Module)

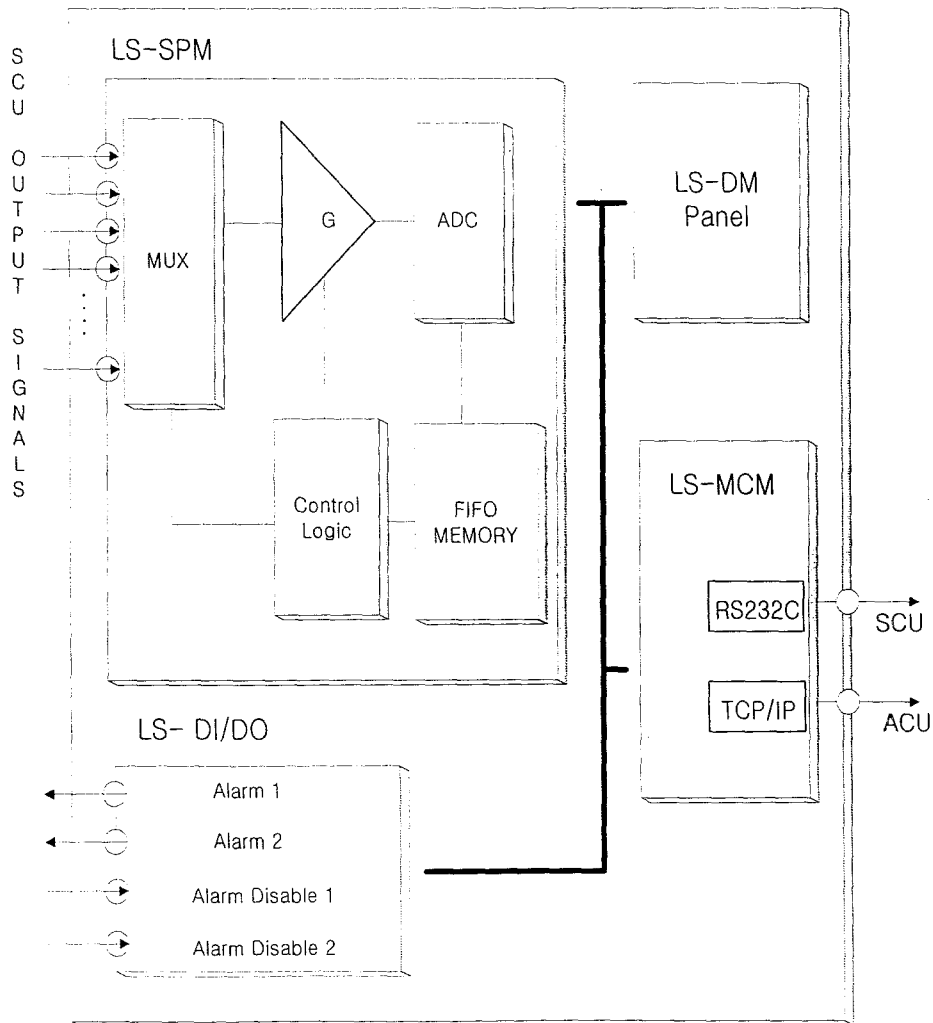


그림 3.2.13 LS-SPM 블록도

1

ㄱ. 기능

- 64K FIFO(Circular Buffer) 메모리에 10us간격으로 각 채널의 신호 데이터를 저장한다.
- 채널 설정에 따라 Circular Buffer에 저장된 각 채널의 신호 데이터는 Motorola DSP 56301에 의해 고속 PCI Bus에 전송되어 LS-MCM의 메모리에 전송한다.

ㄴ. 규격

- 아날로그 입력 채널 : 12CH
 - Differential Inputs
 - Programmable Gain control
 - High Speed Parallel interface
 - Sampling Rate : 50Khz/CH
 - Resolution : 14bit
 - Input Range : $\pm 10V$
 - FIFO Size : 64KB
- PCI Controller : Motorola 56301 DSP
 - 24bit 66Mhz
 - PCI Bus Operation to 33MHz
 - PCI Purposed 2.1 Compliant Target/Slave Device
 - High Speed Parallel interface
- 아날로그 출력 채널 : 2CH
 - Sampling Rate : 100KHz
 - Resolution : 12bit
 - High Speed Parallel Interface
 - Voltage Output : $\pm 10V$

㉔ LS-MCM(Main Control Module)

ㄱ. 기능

- 실시간으로 센서 신호 데이터를 수집, 처리, 전송한다.
- LS-SPM으로부터 받은 센서 신호 데이터를 이용하여 이벤트 검출 알고리즘을 수행한다.
- 이벤트 검출 시, 각 채널의 센서 신호 데이터 블록(32KB or 16KB)을 MCM의 하드디스크에 저장 및 LAN을 통해 ACU에 전송한다.
- ACU에 전송되는 센서 신호 데이터는 각 채널의 배경잡음, short term value, long term value등을 전송한다.
- 전송한 이벤트 신호의 진위여부를 ACU로부터 전달받아, 참 정보일 경우, 배전반 및 주제어실 패널에 경보를 발생시킨다.
- ACU로부터 LSU 및 SCU의 각 구성 모듈의 운영 변수 등을 받는다.
- MMI(Man-Machine Interface)를 위한 각종 정보를 표시한다.

ㄴ. 규격

- CPU : Intel Pentium-III 800 MHz
- RAM memory : 256MB
- VGA : AGP-VGA Controller C&TR 69000 AGP-VGA, on-board 2 MB SGRAM memory included,
- LAN : 100Mbps
- Floppy disk drive : 1 floppy disk drive
- PCI Enhanced IDE : 4IDE drives
 - HDD : 30GB 이상
- Serial port : 2 RS-232 ports
1 port(RS-422/485 selection)
- Parallel port : SPP/ECP/EPP
- DMA channels : 7 channels

- Mouse : 6-pin mini-DIN connector
- Keyboard : 6-pin mini-DIN connector
- 기타 :
 - Power supply voltage : +5V, ±12V
 - Maximum Power : +5V@12A(266MHz),
+12V@20mA,
-12V@20mA Consumption

㉔ LS-DIOM(Digital Input / Output Module)

ㄱ. 기능

- 제어봉 제어계통으로부터 데이터 취득 금지신호를 입력받아 LS-MCM에 전달하고 제어봉 구동램프를 점등 시킨다.
- 이벤트 검출 시 Annunciator의 경고 릴레이를 동작시켜 배전반 및 주제어실에 경보를 발생시킨다.
- 이벤트 검출 시 주제어실에 경고 신호를 전송한다.
- 정보발생 금지 신호를 입력받아 LS-MCM에 보내고 정보 발생 금지램프를 점등시킨다.

ㄴ. 규격

- Input Channel : 8 Ch
- Input Interface Type : TTL
- Output Channel : 8 Ch
- Output Interface Type : TTL

㉕ LS-DM(Display Module)

ㄱ. 기능

- 대형 15" TFT Color 액정 모니터를 사용하여 운전자에게 편리함을 제공한다.
- 시스템 운용 변수 설정 화면 제공
- 시스템 운용 정보 화면 제공

- 이벤트 검출 알고리즘 변수 설정 화면 제공
- 충격신호에 대한 판정결과에 대한 화면 제공

ㄴ. 규격

- Display Type : 15" TFT Color LCD
- Max. Resolution : 1024 X 768dots
- Display : VGA/SVGA
- Power Supply : 100/220VAC

㉓ LS-PSM(Power Supply Module)

ㄱ. 기능

- LSU 구성모듈들을 충분히 동작시킨다.

ㄴ. 규격

- Input Voltage : 110/220VAC
- Output Voltage : +5V, $\pm 12V$, +3.3V
- Maximum Power : +5V-12A, $\pm 12V$ -20mA

(라) ACU

① 개요

LSU로부터 전송되어진 이벤트 신호의 진위 여부를 알람 판정 알고리즘을 수행하여 이를 LSU에 알린다. 알람 신호로 판정시 각 채널의 상태값(long term short term value, background noise)과 함께 데이터 베이스화하여 저장한다.

또한, 필요시 저장된 데이터 베이스 자료를 데이터 백업모듈에 백업한다. 알람 판정 시 데이터를 자동 진단 알고리즘을 이용하여 시간, 주파수 영역에서 다양한 분석으로 금속파편의 위치 및 질량, 충격 에너지, 이동경로 등 사용자가 원하는 형태의 최종정보를 제공한다.

② 구성요소

㉠ AC-MCM(Main Control Module)

ㄱ. 기능

- SCU의 시스템 시험(1) 명령, 시스템 운용 변수를 전송한다.
- 센서공급의 바이어스 전압상태를 제공한다.
- LSU의 이벤트 판정 알고리즘의 설정 변수를 전송한다.
- 알람 판정 알고리즘 설정 변수, 채널 그룹등을 설정한다
- 자동 진단 알고리즘 관련 변수를 설정한다.
- 이벤트 신호로 판정되어진 센서신호를 알람 판정 알고리즘을 통해 각 채널의 센서신호의 정보를 구하고, 그 값들을 데이터 베이스화하여 DBM(Database Backup Module)에 저장한다.
- 알람 판정 시, 자동 진단 알고리즘을 통해 금속파편의 위치, 질량, 충격 에너지 등을 사용자에게 제공한다.
- 진단 결과 및 관련 정보는 리포트 형식으로 출력한다.
- 저장된 데이터를 데이터베이스모듈에서 백업을 할 수 있다.

ㄴ. 규격

- CPU : Intel Pentium-II 400MHz
- RAM memory : 256MB
- VGA :
AGP-VGA Controller C&TR 69000 AGP-VGA,
on-board 2 MB SGRAM memory included
- LAN : 100Mbps
- Floppy disk drive : 3.5" floppy disk drive
- PCI Enhanced IDE : 4 IDE drives
 - HDD : 6.4GB
- Serial port : 2 RS-232 ports
1 port(RS-422/485 selection)
- Parallel port : SPP/ECP/EPP
- DMA channels : 7 channels
- Mouse : 6-pin mini-DIN connector
- Keyboard : 6-pin mini-DIN connector

㉔ AC-DBM(Database Backup Module)

ㄱ. 기능

- DVD-RAM과 같은 고속 고용량의 백업 기기를 사용하여 데이터베이스를 백업한다.

ㄴ. 규격

- 인터페이스 : Fast SCSI-2
- 미디어 지원 : Read/Write DVD-RAM, Read Only DVD-ROM,
- Data Transfer Rate :
DVD-RAM - 1,385 KB/sec
DVD-ROM - 2,770 KB/sec (2X)
CD-ROM - Up to 3,000 KB/sec (20X)
- Buffer Memory : 2 MB

- 저장 매체 :
 - DVD-RAM Disc : LM-DB26, LM-DA52
 - 용 량 : 2.6GB (single-sided), 5.2GB (double-sided)

㉔ AC-DM(Display Module)

ㄱ. 기능

- 대형 15" TFT 칼라 액정 모니터를 사용하여 운전자에게 편리함을 제공한다.
- 시스템 운용 변수 설정 화면 제공
- 시스템 운용 정보화면 제공
- 이벤트 검출 알고리즘 파라미터 설정 화면 제공
- 충격신호에 대한 판정결과에 대한 화면 제공
- 원자로 잠음신호 분석도구 화면 제공
- 원자로 내부 구조물의 진동상태 화면 제공

ㄴ. 규격

- Display Type : 15" TFT Color LCD
- Max. Resolutions : 1024 X 768dots
- Display : VGA/SVGA

㉕ AC-PSM(Power Supply Module)

ㄱ. 기능

- ACU 구성모듈들을 충분히 동작시킨다.

ㄴ. 규격

- Input Voltage : 110/220VAC
- Output Voltage : +5V, ±12V, +3.3V
- Maximum Power : +5V-12A, ±12V-20mA

(3) 소프트웨어 기술 규격

(가) SCU

① 바이어스 전압 전송

전송 요구받은 해당 채널의 바이어스 전압 전송

② 채널 증폭 이득(×1, ×2, ×4, ×8) 선택

㉠ 해당 채널의 증폭 이득 전송

㉡ 전송 받은 값으로 해당 채널의 증폭 이득 변경

③ 입력 모드 선택

㉠ 정상 운전 모드

입력 스위치 변경 (센서/레코더)

㉡ 시스템 테스트(I) 모드

입력 스위치 변경 (센서/레코더)

24Vdc weighted contact(D/O) 출력

㉢ 시스템 테스트(II) 모드

입력 스위치 변경 (센서/레코더)

(나) LSU

① 운전 모드 전송

㉠ 정상 운전 모드

㉡ 시스템 테스트(I) 모드

㉢ 시스템 테스트(II) 모드

② 시스템 환경 설정

㉠ 데이터 취득 정보 설정

○ 샘플링율 (50KHz)

○ Event buffer size (80ms/160ms)

○ Pre-triggering size (20~80%)

○ Long term constant (10~1000)

㉡ 알람 출력(D/O) 여부 선택

○ 제어봉 억제(CRDM Inhibit) 신호 시

- 알람 억제(Alarm Disable) 신호 시
- 시스템 테스트(Ⅱ) 모드 시
- ㉔ 채널 정보 설정
 - 센서 이름
 - SCU 증폭 이득(×1, ×2, ×4, ×8)
 - SPM 증폭 이득(×1, ×2, ×4, ×8)
 - 채널 사용 여부
 - 이벤트 검출 관련 파라미터 설정
 - Fixed level setpoint
 - Floating offset
- ③ 외부 신호 인터페이스
 - ㉕ 제어봉 억제(CRDM Inhibit) 신호 (D/I)
 - ‘제어봉 동작중’ 상태 출력 (D/O)
 - ‘제어봉 동작중’ 상태 전송
 - ㉖ 알람 억제(Alarm Disable) 신호 (D/I)
 - ‘알람 억제중’ 상태 출력 (D/O)
 - ‘알람 억제중’ 상태 전송
- ④ 이벤트 검출
 - ㉗ 이벤트 검출 알고리즘 수행
 - Instant peak 갱신
 - Short term average 계산 및 갱신
 - Short term average peak 갱신
 - Long term average 계산 및 갱신
 - Floating level 계산 및 갱신
 - Floating level peak 계산 및 갱신
 - Fixed Event 검사
 - Floating Event 검사
 - ㉘ 이벤트 데이터 전송
 - Event data
 - Instant peak

- Short term average
- Short term average peak
- Long term average
- Floating level
- Floating level peak
- Event 종류 (Fixed/Floating/All)

⑤ 알람 출력

ACU의 분석결과가 '알람'이면 알람 출력 (D/O)

⑥ 모니터링 화면

㉓ 통신 파라미터

- RS232C 파라미터
- TCP/IP 파라미터

㉔ 이벤트 파라미터

- Instant value
- Instant peak
- Short term average peak
- Floating level peak
- Background noise
- Preamplifier bias voltage
- Fixed level setpoint
- Floating level setpoint

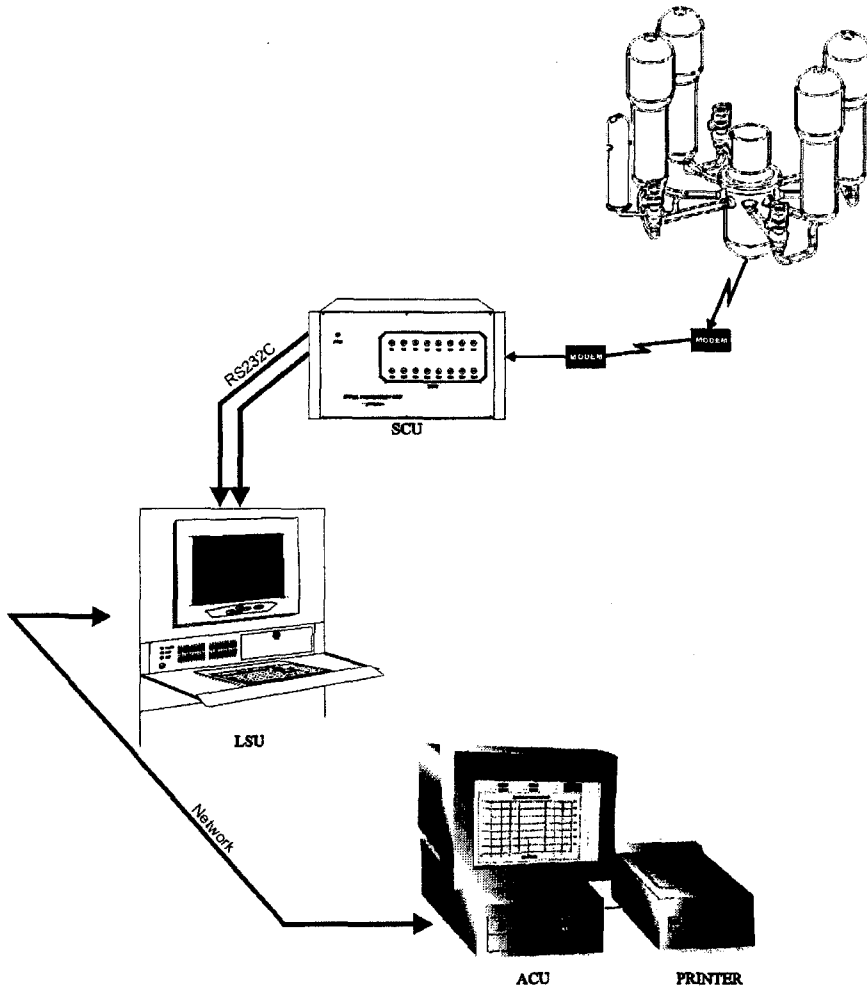
㉕ 이벤트가 검출된 센서 위치 표시

(다) ACU

- ① 시스템 환경 설정
 - ㉠ 채널 그룹 설정
 - ㉡ 알람 판정 알고리즘 관련 파라미터 설정
 - RMS Ratio threshold
 - Amplitude Ratio threshold
 - Significant Ratio threshold
 - Ringing Frequency threshold
 - Inter Channel Delay threshold
 - Impact Duration threshold
 - Event Period, Event count
 - ㉢ 자동 진단 알고리즘 관련 파라미터 설정
 - 센서 좌표 (원통/구좌표, 직교좌표)
 - 구조물 두께, 밀도, 반지름
 - 유속, wave 전달 속도
- ② 알람 판정 알고리즘 수행
 - ㉠ RMS Ratio Comparison Test
 - ㉡ RMS Ratio Comparison Test
 - ㉢ Amplitude Ratio Test
 - ㉣ Ringing Frequency Test
 - ㉤ Collection Zones Test
 - ㉥ Inter Channel Delay Test
 - ㉦ Impact Duration Test
 - ㉧ Event Period Test
- ③ 자동 진단 알고리즘 수행
 - ㉠ 충격 위치
 - 삼각법
 - ㉡ 충격물 반지름, 충격 질량, 충격 에너지
- ④ 분석 결과 및 관련 정보 리포트 출력
- ⑤ 데이터 저장 및 백업

나. IVMS

(1) 시스템 구성도



- SCU : Signal Conditioning Unit
- LSU : Local Station Unit
- ACU : Analysis Computer Unit

그림 3.2.14 내부 구조물 감시시스템의 전체 구성도

(2) 하드웨어 기술 규격

(가) SCU

① 개요

SCU는 SCU-MCM(SCU Main Control Module) 및 12 채널의 SCU-SCM(SCU Signal Conditioner Module)와 SCU-SPSM I(SCU System Power Supply Module I)등의 3가지 모듈과 이를 수납하기 위한 19" 6U의 Subrack으로 구성되어 있으며, 12채널 각각의 노외 중성자 검출기의 신호를 입력받아 이를 증폭 및 필터링하여 LSU에 출력한다.

② 구성요소

㉠ SCU-MCM(SCU Main Control Module)

ㄱ. 기능

- LS-MCM으로부터 명령을 전송 받아 SCU-SCM의 증폭 이득 및 필터링 범위를 설정한다.

ㄴ. 규격

- CPU는 8 Bit급 On-Chip Micro-processor를 사용한다.
- 메모리는 향후 기능 추가 등을 위하여 32KB 이상의 충분한 용량을 사용한다.
- 통신 포트는 RS232C를 이용하며, LS-MCM과의 통신을 위한 전송속도, 시작 비트, 데이터 비트, 정지 비트, 패리티 비트 등의 변수를 설정할 수 있어야 한다.

㉡ SCU-SCM(SCU Signal Conditioner Module)

ㄱ. 기능

- 각 채널의 Ex-core Neutron Detector 신호를 입력받는다.
- 신호를 LSU(Local Station Unit)의 LSU-SPM의 입력 레인지에 맞도록 선택적으로 10, 20, 40, 80배 증폭한다.

나. 규격

- 신호 입력단은 고정밀급의 연산증폭기와 저항으로 이루어진 차동증폭기로 구성하여 100dB 이상의 높은 CMRR (Common Mode Rejection Rate)을 구현한다.
- 회로에 사용되는 모든 연산증폭기는 50 μV 이하의 낮은 입력 오프셋 전압과 0.25 $\mu V / ^\circ C$ 이하의 온도 드리프트를 갖는 정밀급의 것을 사용하여 Calibration의 주기를 최대화할 수 있도록 한다.
- 센서 입력 신호의 최대 범위에 따라 증폭 이득 조정이 가능할 수 있도록 한다.
- LS-MCM으로부터 실시간 명령을 전송 받아 SCU-SCM

(나) LSU

① 개요

LSU는 MCM(Main Control Module), DIO Module 및 12 채널의 신호 처리 모듈로 구성된 산업용 워크스테이션으로 SC-SCM의 LSU출력신호를 입력받아 원자로 잡음신호를 위상 분리(Phase Separation) 알고리즘을 구현한 후, 그 결과 값을 ACU(Analysis Computer Unit)에 LAN을 통해 전송한다.

② 구성요소

㉞ LS-SPM(Signal Processing Module)

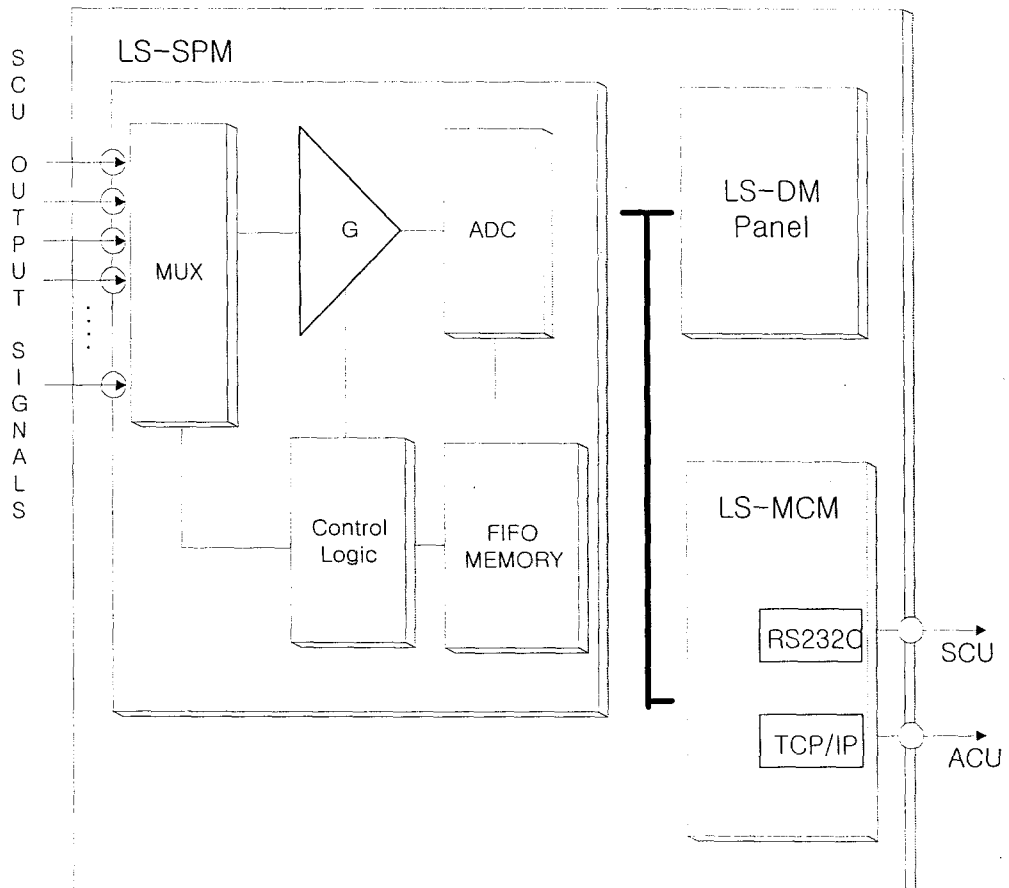


그림 3.2.15 LS-SPM 블록도

ㄱ. 기능

- 64K FIFO(Circular Buffer) 메모리에 10us간격으로 각 채널의 신호 데이터를 저장한다.
- 채널 설정에 따라 Circular Buffer에 저장된 각 채널의 신호 데이터는 Motorola DSP 56301에 의해 고속 PCI Bus에 전송되어 LS-MCM의 메모리에 전송한다.

ㄴ. 규격

- 아날로그 입력 채널 : 12CH
 - Differential Inputs
 - Programmable Gain control
 - High Speed Parallel interface
 - Sampling Rate : 50Khz/CH
 - Resolution : 14bit
 - Input Range : $\pm 10V$
 - FIFO Size : 64KB
- PCI Controller : Motorola 56301 DSP
 - 24bit 66Mhz
 - PCI Bus Operation to 33MHz
 - PCI Purposed 2.1 Compliant Target/Slave Device
 - High Speed Parallel interface

㉔ LS-MCM(Main Control Module)

ㄱ. 기능

- 실시간으로 중성자속 센서 신호 디지털 데이터를 LS-SPM으로부터 전송받는다.
- LS-MCM에 의해 처리된 신호처리 및 위상 분리 알고리즘을 적용된 그 결과는 ACU로 전송한다.
- 원자로 잡음신호는 MCM의 고속 프로세서를 이용하여 디지털 주파수 필터링(FIR), AUTO/CROSS, Phase 스펙트럼과 같은 디지털 신호 처리를 수행한다.
- 위상 분리 알고리즘을 적용하여 원자로 운동 모드에 따른

원자로의 주파수 특성을 실시간으로 분석한다.

- 실시간으로 얻어진 운동 모드별 특성은 LS-MCM의 메모리 블록으로 저장한다.
- 위상 분리 알고리즘을 적용하여 원자로 운동 모드에 따른 원자로의 주파수 특성을 실시간으로 감시한다.
- 운전원 요구에 따라 원자로 운동 모드에 따른 결과를 점점 신호로 제공한다.
- ACU로부터 LSU 및 SCU의 각 구성 모듈의 운영 변수를 전송 받는다.
- TFT Screen을 통해 LSU 및 SCU의 각 구성 모듈의 운영 변수를 설정하고 관리한다.
- MMI를 위한 각종 정보를 표시한다.

ㄴ. 규격

※ LPMS LS-MCM 사양과 상동

㉔ LS-DM(Display Module)

ㄱ. 기능

- 대형 15" TFT 칼라 액정 모니터를 사용하여 운전자에게 편리함을 제공한다.
- 시스템 운용 변수 설정 화면 제공
- 시스템 운용 정보화면 제공
- 디지털 신호처리를 위한 파라미터 설정 화면 제공
- 원자로 운동 모드에 따른 결과 화면 제공

ㄴ. 규격

※ LPMS LS-DM 사양과 상동

㉕ LS-PSM(Power Supply Module)

ㄱ. 기능

- LSU 구성모듈들을 충분히 동작시킨다.

ㄴ. 규격

※ LPMS LS-PSM 사양과 상동

(3) 소프트웨어 기술 규격

(가) SCU

- ① 해당 채널의 증폭 이득 전송
- ② 전송 받은 값으로 해당 채널의 증폭 이득 변경
(×10, ×20, ×40, ×80)

(나) LSU

- ① 시스템 환경 설정
 - ㉠ 센서 위치, 이름
 - ㉡ 분석 윈도우 정보
 - 윈도우 종류
(Rectangular, Hanning, Triangular, Flat-Top)
 - 윈도우 길이 (512, 1024, 2048, 4096)
 - 윈도우 중첩 길이 (0, 256, 512, 1024, 2048)
 - ㉢ 주파수 범위 (64, 128, 256Hz)
 - ㉣ Average 횟수 (1~300)
 - ㉤ 증폭 이득 (×1, ×2, ×4, ×8)
 - ㉥ FIR 필터 정보
 - 필터 종류
 - 대역폭
- ② 주파수 영역 신호처리
 - ㉠ Auto spectrum
 - ㉡ Cross spectrum
 - ㉢ Phase spectrum
 - ㉣ Spectrum average
- ③ 진동 모드별 주파수 특성 추출
 - ㉠ Global mode
 - ㉡ Beam mode 1
 - ㉢ Beam mode 2

- ㉠ Shell mode
- ④ 주화면 표시
 - ㉡ Time domain signal trend
 - ㉢ Auto spectrum trend
 - ㉣ Cross spectrum trend
 - ㉤ Phase spectrum trend
 - ㉥ Phase separation trend
 - ㉦ 네트워크 연결 상태

(다) ACU

- ① 분석 과정 모니터링
 - ㉡ Phase separation trend
 - ㉢ 분석 도구 파라미터
 - 윈도우 종류
 - 윈도우 길이
 - 윈도우 중첩 길이
- ② 분석 결과 저장
- ③ 분석 결과 조회
 - 분석 결과 History
 - 분석 데이터 Trace
 - 선택 영역 확대

제 2절 연구 수행 결과

1. 금속과편 감시시스템

가. 하드웨어 결과물

(1) SCU

(가) Main Control Module

① 전체 Schematic

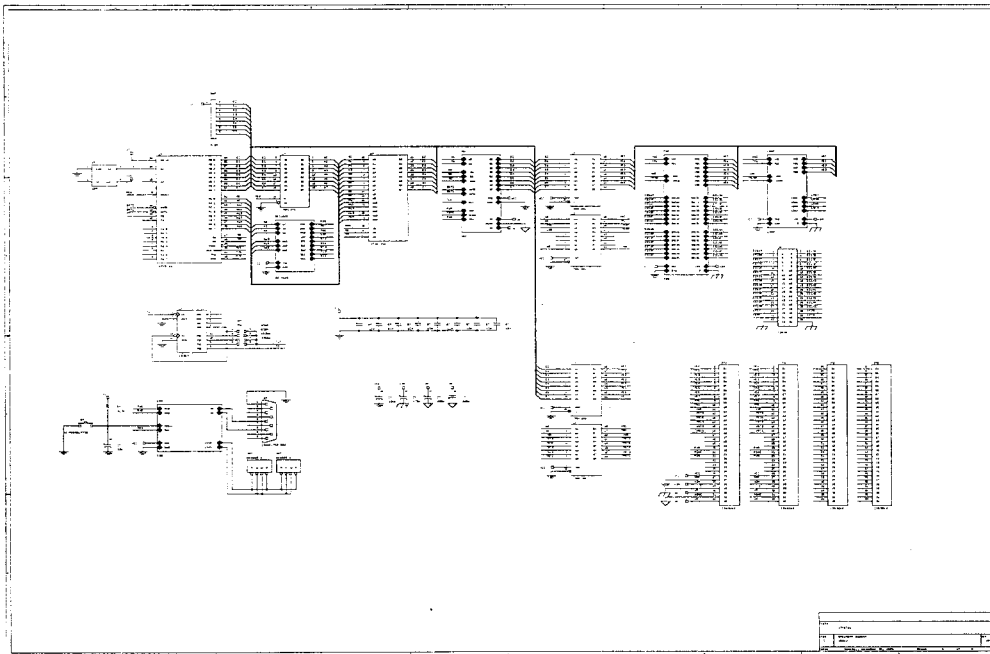


그림 3.3.1 SCU-MCM의 전체 회로도

② SCU-MCM 주요 세부회로

㉞ CPU 회로

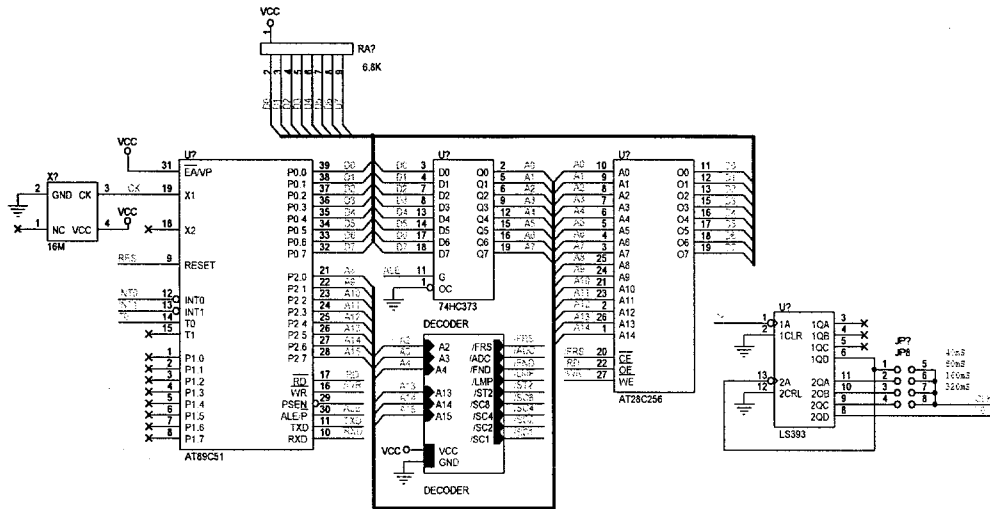


그림 3.3.2 SCU-MCM중 CPU회로도

㉞. 설계방향

- CPU는 회로 설계가 용이하도록 8 Bit, 16 MHz 급 이상의 On-Chip Type의 것을 사용한다.
- 메모리는 향후 기능 추가 등을 위하여 32KB 이상의 충분한 용량을 가진 Read/Write Cycle 100,000회 이상의 Flash Type (프로그램, 데이터 메모리로 동시 사용 가능)의 것을 사용한다.

㉞. 주요부품 규격

- CPU
 - 4KB of In-System Re-programmable Flash Memory
 - Endurance : 1,000 Write/Erase Cycles
 - Fully Static Operation : 0 ~ 24MHz
 - 128 × 8 Bit Internal RAM
 - 32 Programmable I/O Lines
 - Two 16 Bit Timer/Counters

- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Memory
 - Fast Read Access Times - 150 ns
 - Endurance - 10,000 ~ 100,000 Cycles
 - Data Retention - 10 Years

⊕ Memory, Peripheral 및 I/O 디코더 회로

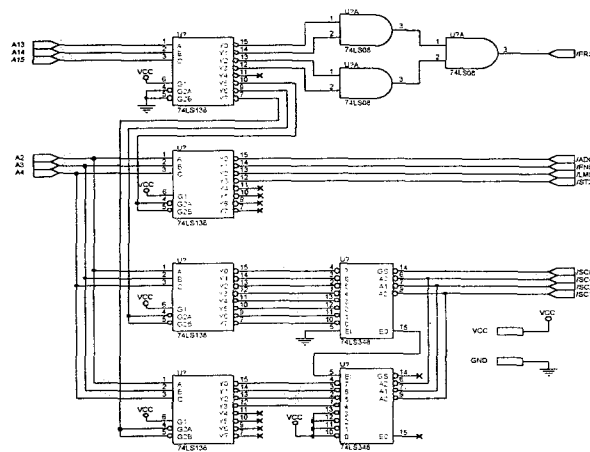
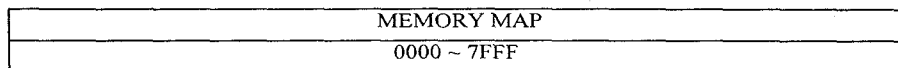


그림 3.3.3 SCU-MCM중 Memory 회로도

ㄱ. 메모리 맵



ㄴ. Peripheral 및 I/O 맵

| I/O MAP | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|--------------|------------------|--------------|--------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| ADC | | | | | | | | | | | | |
| A000 ~ A003 | | | | | | | | | | | | |
| FND | | | | | | | | | | | | |
| DIG4 A004 | DIG3 A005 | DIG2 A006 | | DIG1 A007 | | | | | | | | |
| LAMP | | | | | | | | | | | | |
| NORMAL A008.0 | WARNING A008.1 | | EXCESS A008.2 | | | BUZZER A008.3 | | | | | | |
| STIM | | | | | | | | | | | | |
| CH0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 | CH11 | |
| A009.0 | A009.1 | A009.2 | A009.3 | A009.4 | A009.5 | A009.6 | A009.7 | A00A.0 | A00A.1 | A00A.2 | A00A.3 | |
| SCM | | | | | | | | | | | | |
| CH0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 | CH11 | |
| GAIN | C000 | C004 | C008 | C00C | C010 | C014 | C018 | C01C | E000 | E004 | E008 | E00C |
| MUX | C001 | C005 | C009 | C00D | C011 | C015 | C019 | C01D | E001 | E005 | E009 | E00D |

㉔ 직렬통신 회로

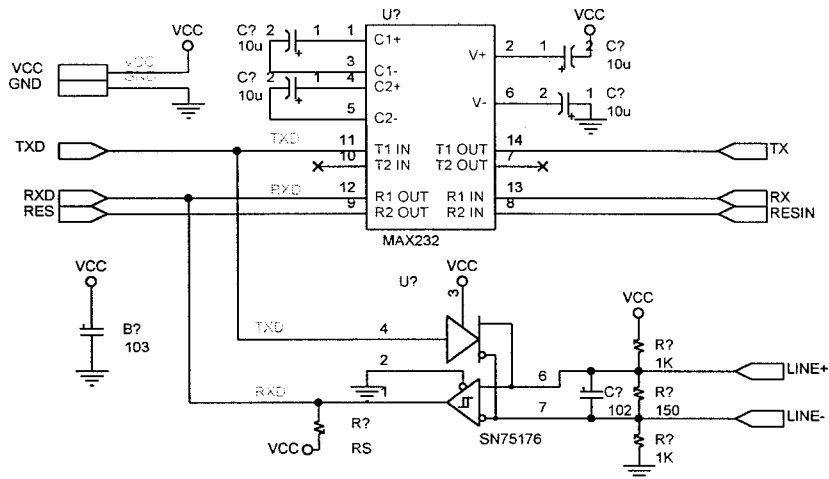


그림 3.3.4 SCU-MCM중 직렬통신 회로도

ㄱ. 설계방향

- 통신 포트는 RS-232C를 기본 인터페이스로 제공하고 장거리 전송 시에는 Common Mode Noise 등의 잡음에 대한 대책으로 RS-485를 선택적으로 사용하게 할 수 있도록 한다.
- 향후 RS-485의 멀티 드롭을 사용한 SCU의 확장을 고려

하여 통신 프로토콜을 준비한다.

ㄴ. 주요부품 규격

○ RS-232C

- 최대선로길이 - 15 m
- 최대전송속도 - 20,000 bps
- 최소수신전압 - 1.5 V
- 통신방법 - 일대일 통신만 가능

○ RS-485

- 최대선로길이 - 30 m
- 최대전송속도 - 20,000 bps
- 최소수신전압 - 1.5 V
- 통신방법 - 멀티 통신 가능

㉠ ADC 회로

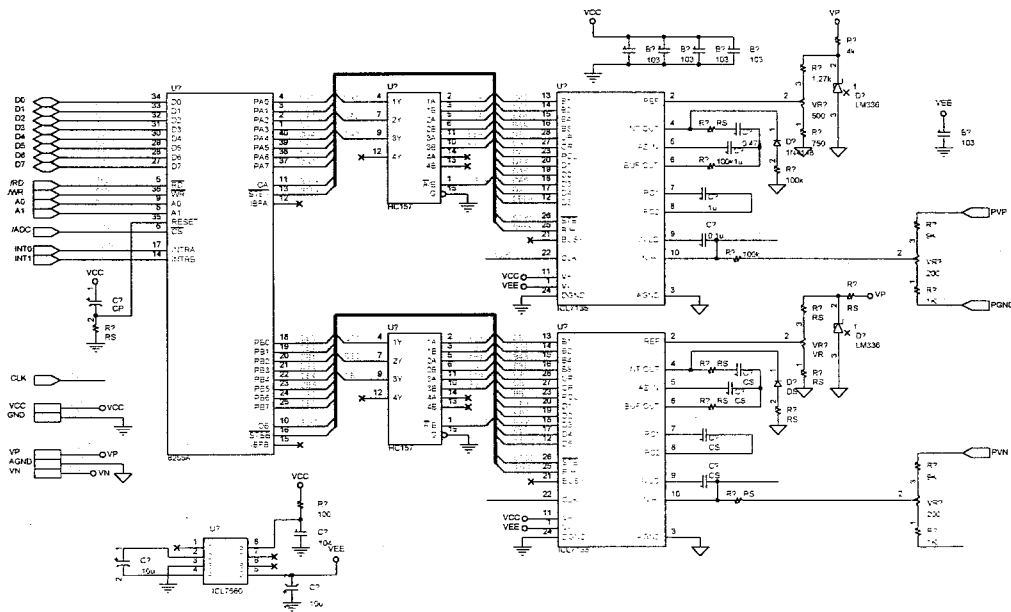


그림 3.3.5 SCU-MCM중 ADC회로도

ㄱ. 설계방향

- ADC는 20,000 스텝 이상에서 ± 1 스텝/최대 범위 이하의 정밀도를 갖는 정밀급 이중 적분형의 것을 사용한다.
- 이중적분형 ADC 회로에 사용되는 적분 콘덴서와 제로 기준 콘덴서는 누설전류가 적고 또한 정전용량변화가 적으며, 유전체 흡수가 적은 폴리프로필렌 계열을 사용한다.
- ADC 회로에 사용되는 모든 기준 전압은 전원 잡음, 온도 드리프트 등의 오차 요인을 감안하여 고정밀급의 것을 사용한다.
- ADC 회로에 유입되는 디지털 잡음 방지를 위해서 아날로그 단과 디지털 단은 전기적 격리시킨다.

ㄴ. 주요부품 규격

- ADC
 - Accuracy - ± 1 Count Over Entire $\pm 20,000$ Counts
 - Guaranteed Zero Reading for 0V Input
 - True Differential Input
 - Multiplexed BCD Outputs
- Voltage Reference Diode
 - Low Temperature Coefficient
 - 0.2Ω Dynamic Impedance
 - $\pm 1\%$ Initial Tolerance Available
 - Easily Trimmed for Minimum Temperature Drift

㉓ 디스플레이 제어 회로

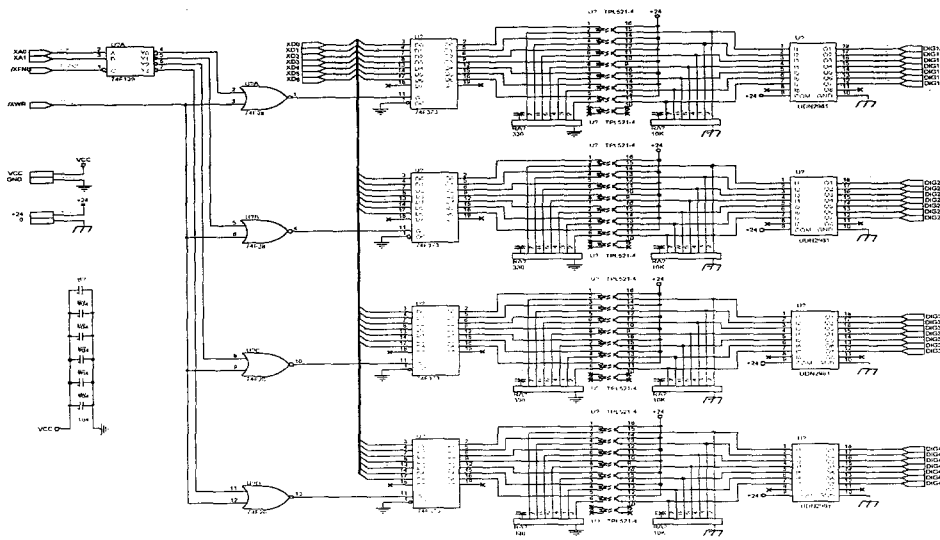


그림 3.3.6 SCU-MCM중 디스플레이 제어 회로도

ㄱ. 설계방향

- Dynamic Drive 방식은 소비전류가 적고 현장 노이즈에 강하다는 장점을 가지고 있지만 제어 타이밍 회로가 복잡하므로 구현방법이 간단한 Static Drive 방식을 적용한다.
- 세븐 세그먼트 제어부회로부와 구동회로부는 전기적 격리를 시켜 잡음 유입을 방지한다.

ㄴ. 주요부품 규격

○ Photo Coupler

· LED

Forward Current - 25 mA

Reverse Voltage - 5 V

· DETECTOR

Output Current - 8 mA

Output Voltage - 0 ~ 15 V

· Isolation Voltage - 2,500 Vrms

㉔ I/O 버스 인터페이스회로

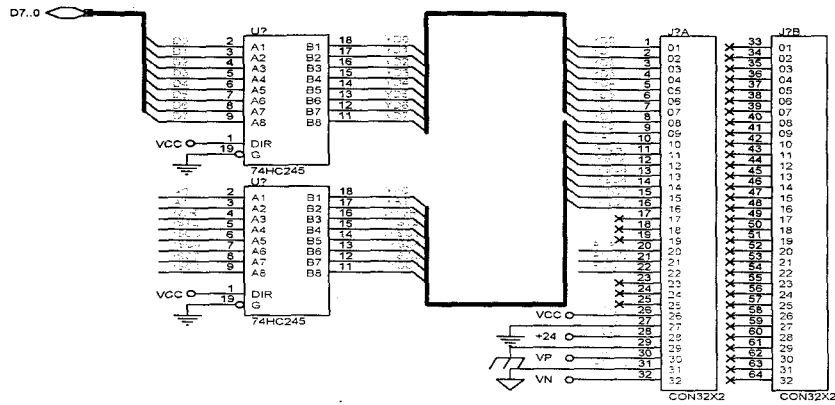
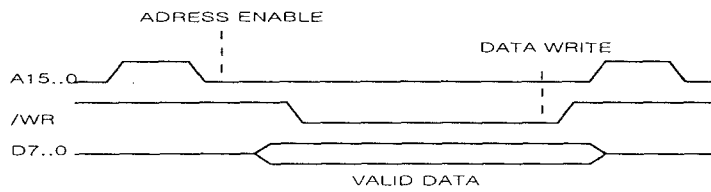


그림 3.3.7 SCU-MCM중 I/O버스 인터페이스 회로도

ㄱ. 설계방향

- 각 IC 소자간의 딜레이 타임을 고려하여 F, LS, HC Type의 IC 소자를 적절히 사용한다.
- 13개 이상의 I/O 포트를 사용하므로 사용하는 각 IC의 최대 Fan Out을 고려하여 Bus Transceiver를 적절히 사용한다.

ㄴ. I/O Write Timing



(나) System Test I Module

① 전체 Schematic

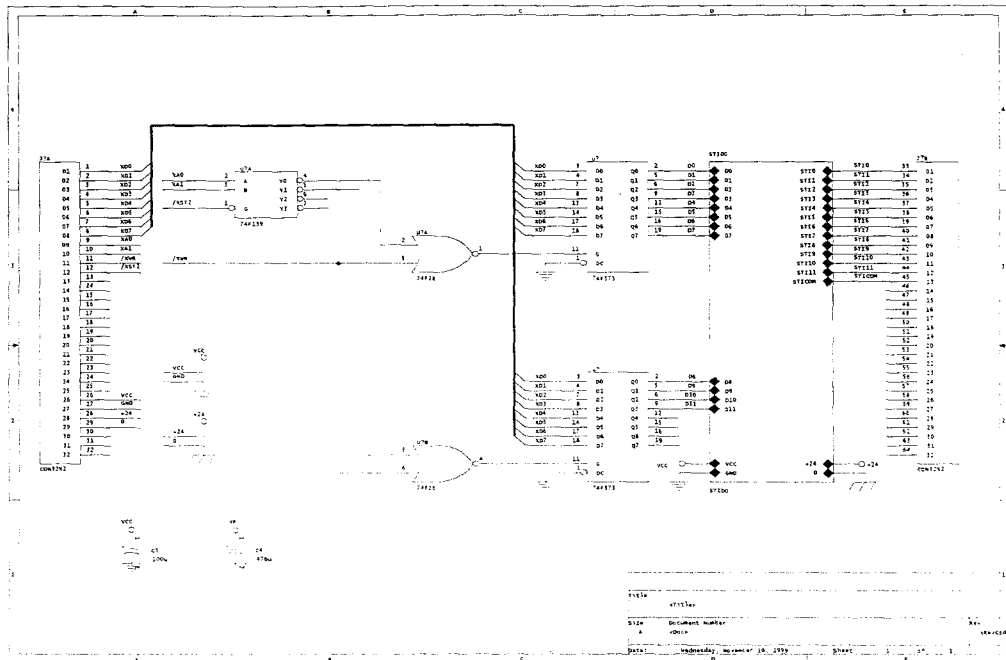


그림 3.3.8 SCU-STIM 전체 구성도

② SCU-STIM 주요 세부회로

가 Contact Output 회로

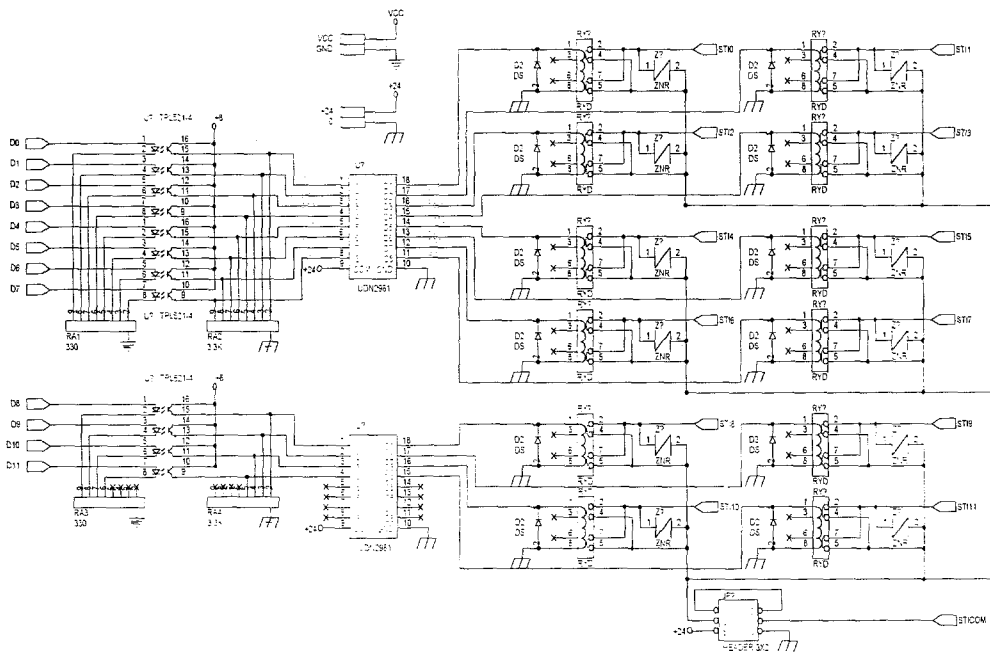


그림 3.3.9 SCU-STIM중 contact output 회로도

ㄱ. 설계방향

- 출력 릴레이는 현장의 여러 조건을 만족시키기 위해 접점 용량 20W 이상의 C접점 Type를 사용한다.
- 다양한 형식의 인터페이스를 고려하여 A접점 출력, B접점 출력 그리고 Dry Contact, Weighted Contact 출력을 선택적으로 사용할 수 있도록 한다.
- 출력 릴레이의 보호를 위해 접점 보호용 다이오드를 사용한다.
- Contact 신호 출력시의 스파이크 현상을 줄이고 인터페이스 장비의 보호를 위해 출력단에 스파이크 앵쇼버를 사용한다.
- 안정된 회로 동작을 위해서 버스인터페이스 회로부와 접점 출력부는 전기적 격리를 시킨다.

ㄴ. 주요부품 규격

- Relay
 - 접점구성 - 1c 접점
 - 접점재질 - Au 합금
 - 접점용량 - AC 110V/0.3A, DC 20V/1A
 - 동작시간 - 3 ms 이하
 - 복귀시간 - 2 ms 이하
 - 구동전압 - 24 VDC

(다) Signal Conditioner Module

① 전체 Schematic

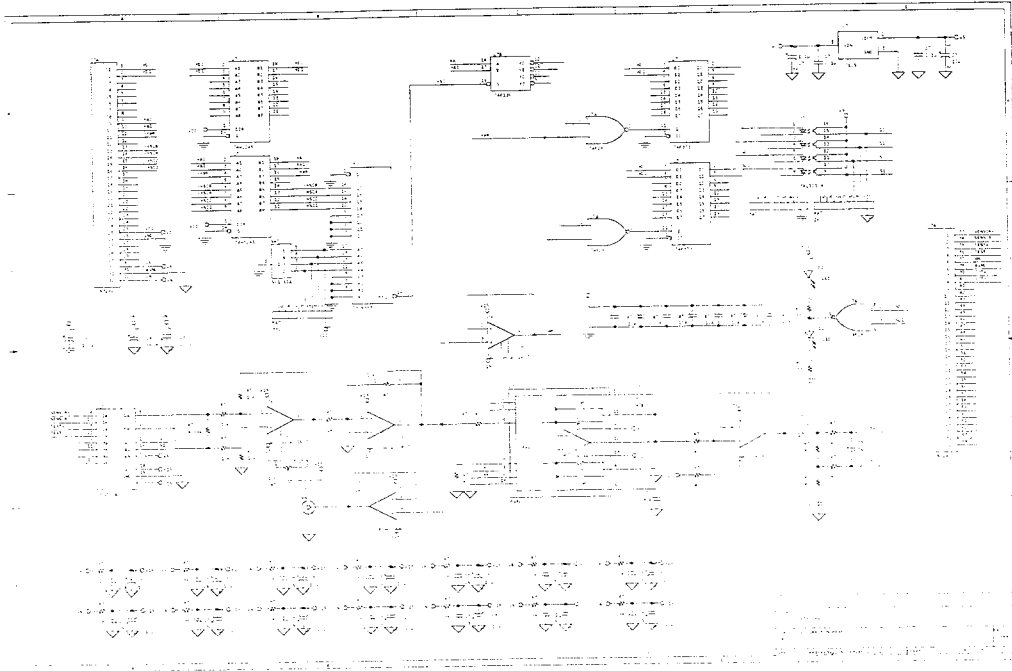


그림 3.3.10 SCU-SCM중 전체 구성도

② SCU-SCM 주요 세부회로

㉑ 정규화 및 증폭회로

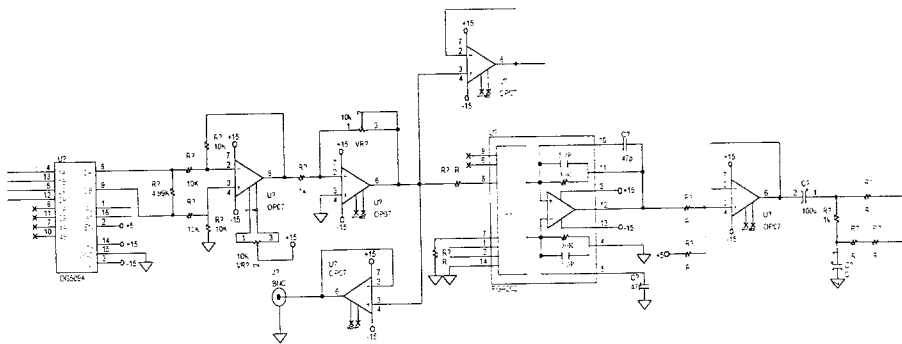


그림 3.3.11 SCU-SCM중 정규화 및 증폭 회로도

㉒. 설계방향

- 신호 입력단의 신호 스위칭에는 고속, 고정밀급의 아날로그

스위치를 사용한다.

- 신호 입력단은 고정밀급의 연산증폭기와 저항으로 이루어진 차동증폭기로 구성하여 100dB 이상의 높은 CMRR (Common Mode Rejection Rate)을 구현한다.
- 회로에 사용되는 모든 연산증폭기는 50 μV 이하의 낮은 입력 오프셋 전압과 0.25 $\mu V / ^\circ C$ 이하의 온도 드리프트를 갖는 정밀급의 것을 사용하여 드리프트에 대한 오차를 최소화 할 수 있도록 한다.

ㄴ. 주요부품 규격

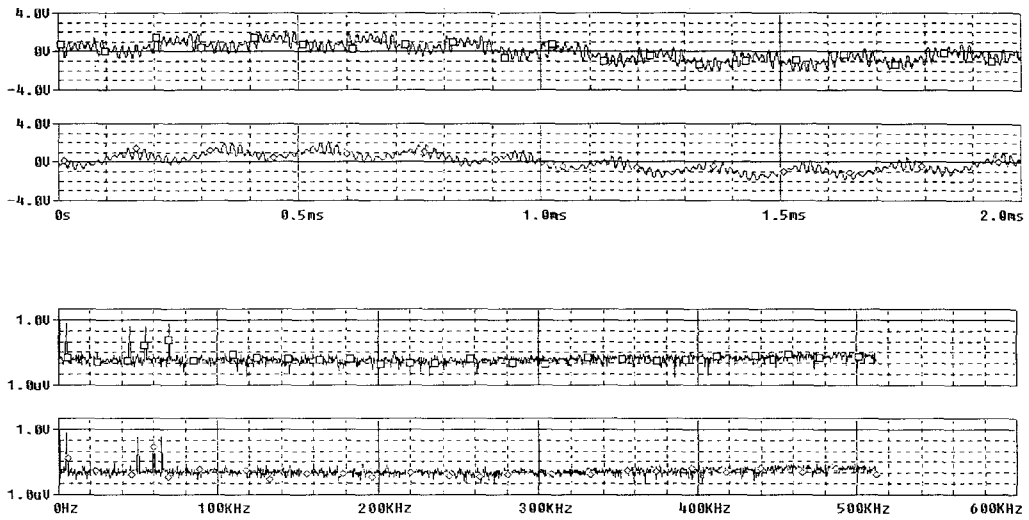
- Analog Switch
 - Switching Time - 0.6 μs
 - Analog Signal range - -15 ~ +15 V
 - Drain Source On Resistance - Max 450 Ω
- Opamp
 - Offset Voltage - Max 50 μV
 - Drift - Max 0.25 $\mu V / ^\circ C$
 - CMRR - Min 115 dB

㉔ SCU-SCM 기능별 테스트

ㄱ. 입력파형

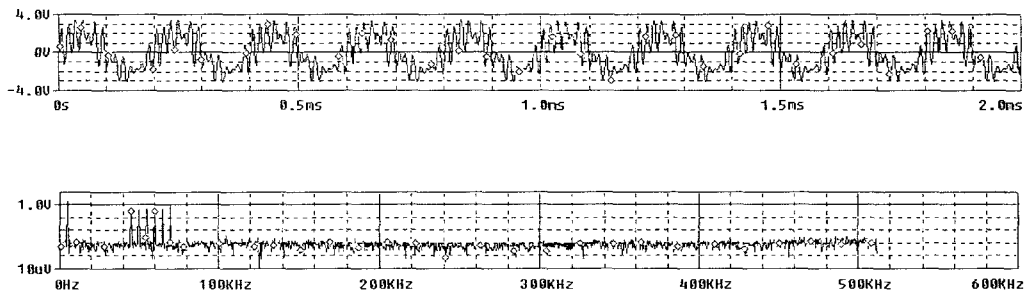
Input : 1[Vpp] 5[KHz] Signal + 2[Vpp] 500[Hz]

Common-mode Signal + Noise



ㄴ. 증폭단 출력

Gain : 2



(라) Preamp Power Supply Module

① 전체 Schematic

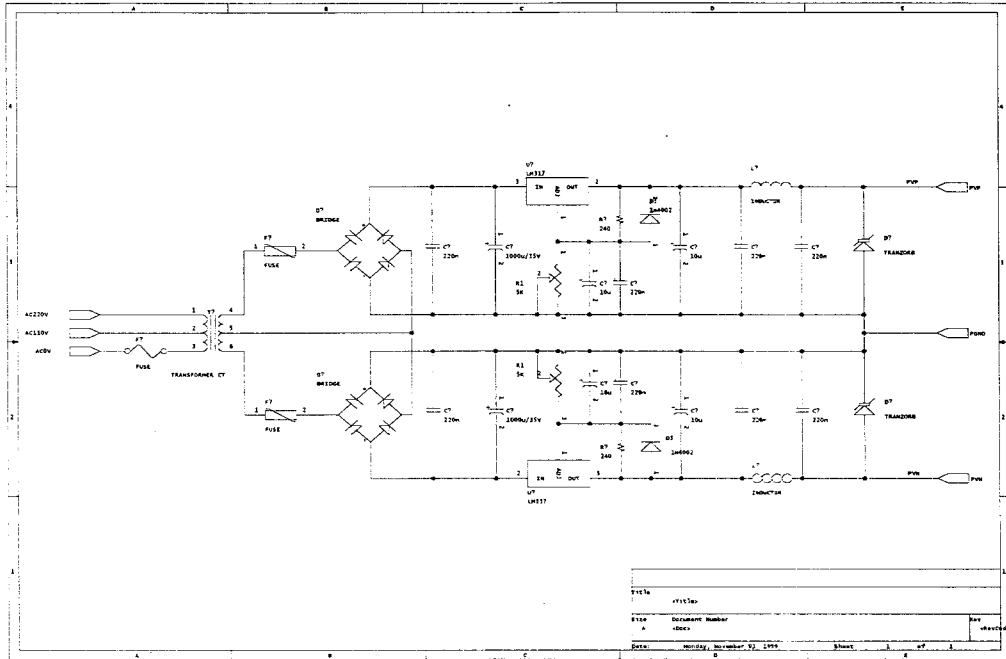


그림 3.3.12 SCU-PPSM 전체 구성도

② SCU-PPSM 주요 세부회로

㉑ 레귤레이션회로

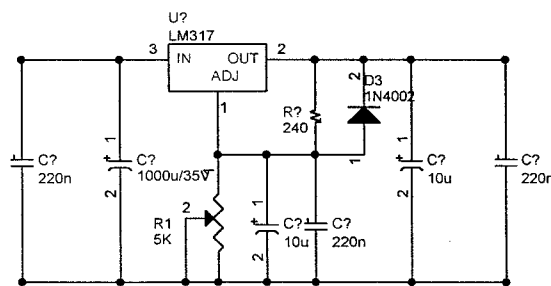


그림 3.3.13 SCU-PPSM중 레귤레이션 회로도

㉒. 설계방향

- 공급전원은 $\pm 8 \sim 15$ VDC사이에서 가변 가능하여야하며 550 mA 이상의 충분한 용량을 갖도록 한다.

- 출력 리플은 최대 부하에서 1mV 이하가 되도록 한다.

ㄴ. 주요부품 규격

- Regulator
 - Output Voltage Tolerance - 0.1 %
 - Line Regulation - Max 0.01 %
 - Load Regulation - Max 0.3 %
 - Output Current - 1.5 A
 - Ripple Rejection - 80 dB

(2) AMU

(가) Input Selector Module

① Schematic

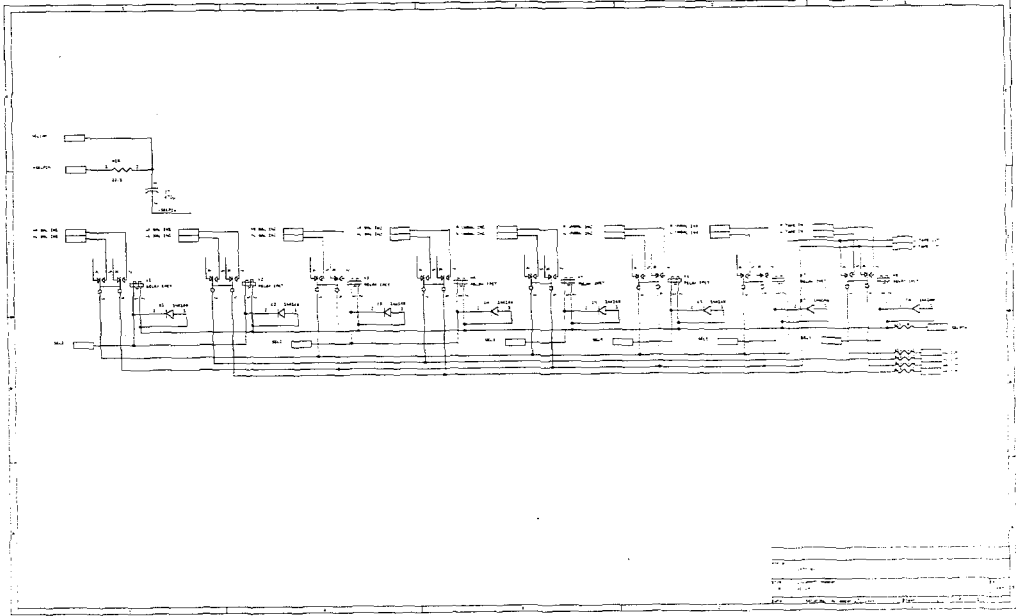


그림 3.3.14 AMU-ISM 전체 구성도

② 설계방향

- ㄱ. 채널 선택 회로에 채용하는 릴레이 또는 아날로그 멀티플렉서는 오디오 신호 페스에 적합한 것을 사용한다.
- ㄴ. 노이즈 유입을 막기 위해서 릴레이 구동부와 출력부는 전기적 격리를 시킨다.

(나) Preamp Module

① 설계방향

- ㄱ. 전압증폭 계인은 10dB ~ 20dB까지 가변할 수 있어야 한다.
- ㄴ. 볼륨조절은 0dB ~ -60dB 까지 가변할 수 있어야 하며 Mute 기능을 가지고 있어야 한다.
- ㄷ. 3dB 대역폭은 최소한 20~20,000Hz의 범위를 만족하여야 한다.

다.

ㄷ. THD(Total Harmonic Distortion)은 0.1% 이내로 한다.

② Schematic

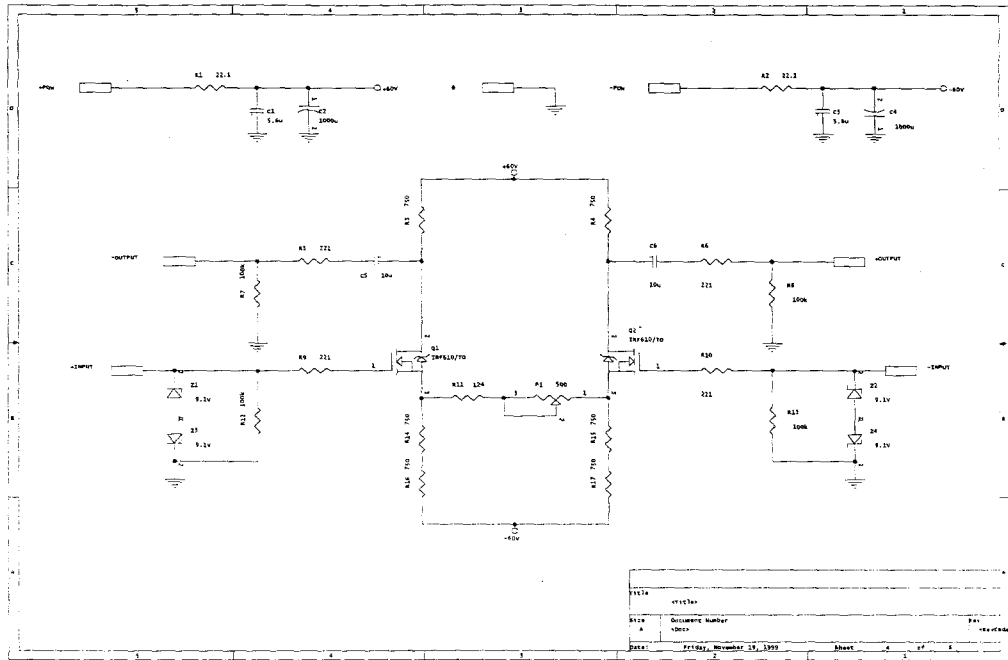


그림 3.3.15 AMU-PrAM 전체구성도

(다) Poweramp Module

① 전체 Schematic

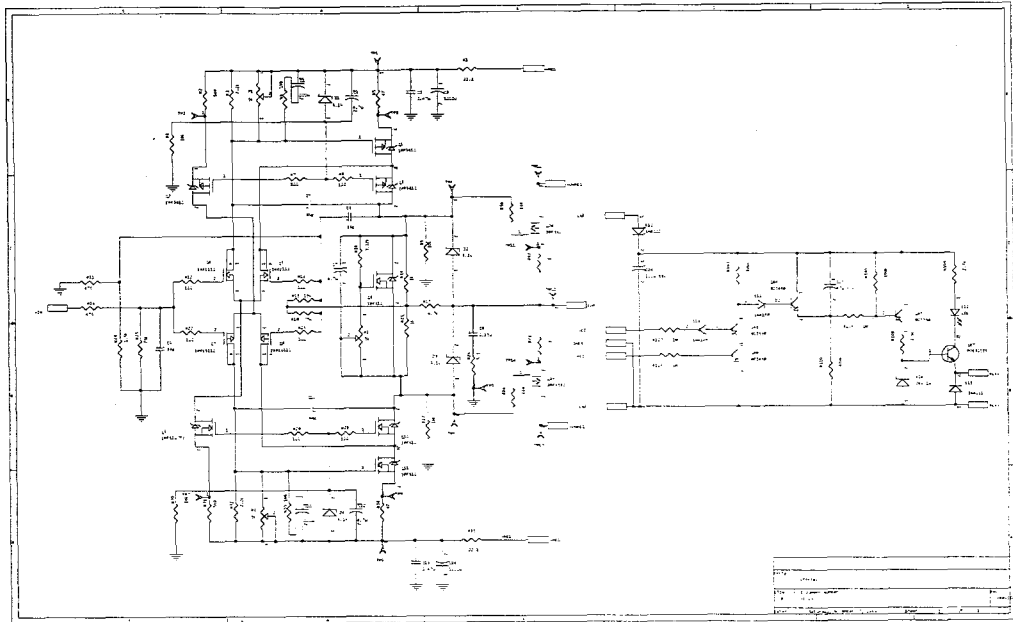


그림 3.3.16 AMU-PoAM 전체 구성도

② Front-end 회로 Schematic

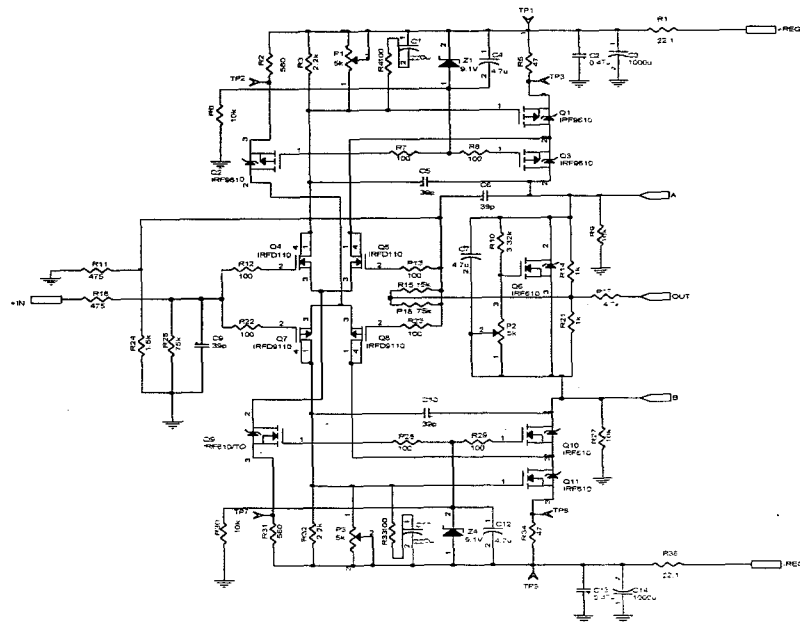


그림 3.3.17 AMU-PoAM중 Front-end 회로도

③ 스피커보호회로 Schematic

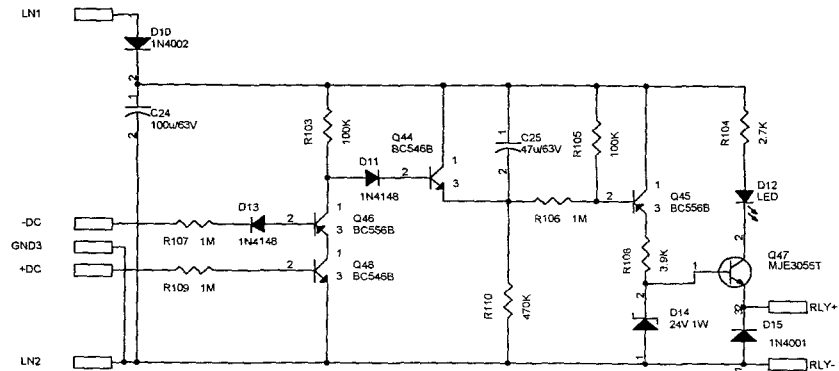


그림 3.3.18 AMU-PoAM중 스피커 보호 회로도

④ 전류증폭회로 Schematic

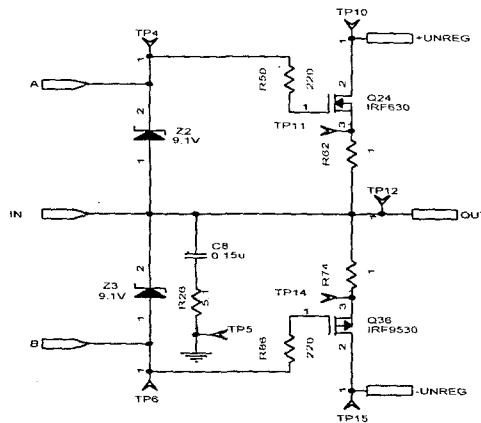


그림 3.3.19 AMU-PoAM중 전류증폭 회로도

⑤ 설계방향

- ㄱ. 8Ω 스피커 사용 시 앰프의 출력은 최대 10W 까지 구동할 수 있어야 한다.
- ㄴ. 바이어스 전압을 가변하여 A급 증폭, AB급 증폭을 선택할 수 있도록 한다.
- ㄷ. THD(Total Harmonic Distortion)은 0.1% 이내로 한다.
- ㄹ. 스피커 보호회로를 구현하여 Plop 현상으로부터 스피커를 보호한다.

㉑. 전류중폭용 IC에는 충분한 용량의 Heat sink를 부착하여 소자를 보호한다.

(라) Power Supply Module

① Schematic

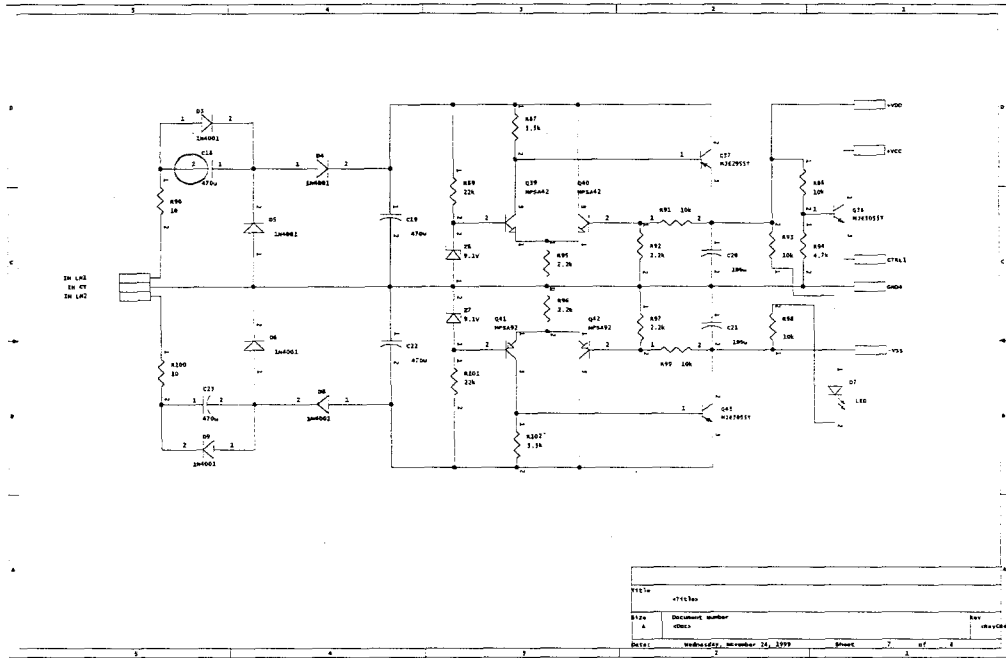


그림 3.3.20 AMU-PSM 전체구성도

② 설계방향

- ㄱ. 사용하는 트랜스포머는 앰프의 최대 출력을 고려하여 적어도 2 배 이상의 용량이 되는 것을 사용한다.
- ㄴ. 누설자속으로 인한 신호의 왜곡을 막기 위해 모든 전원 트랜스는 에폭시 몰딩하여 사용한다.

(3) LSU

(가) DSP를 이용한 Signal processing module

① 구성도

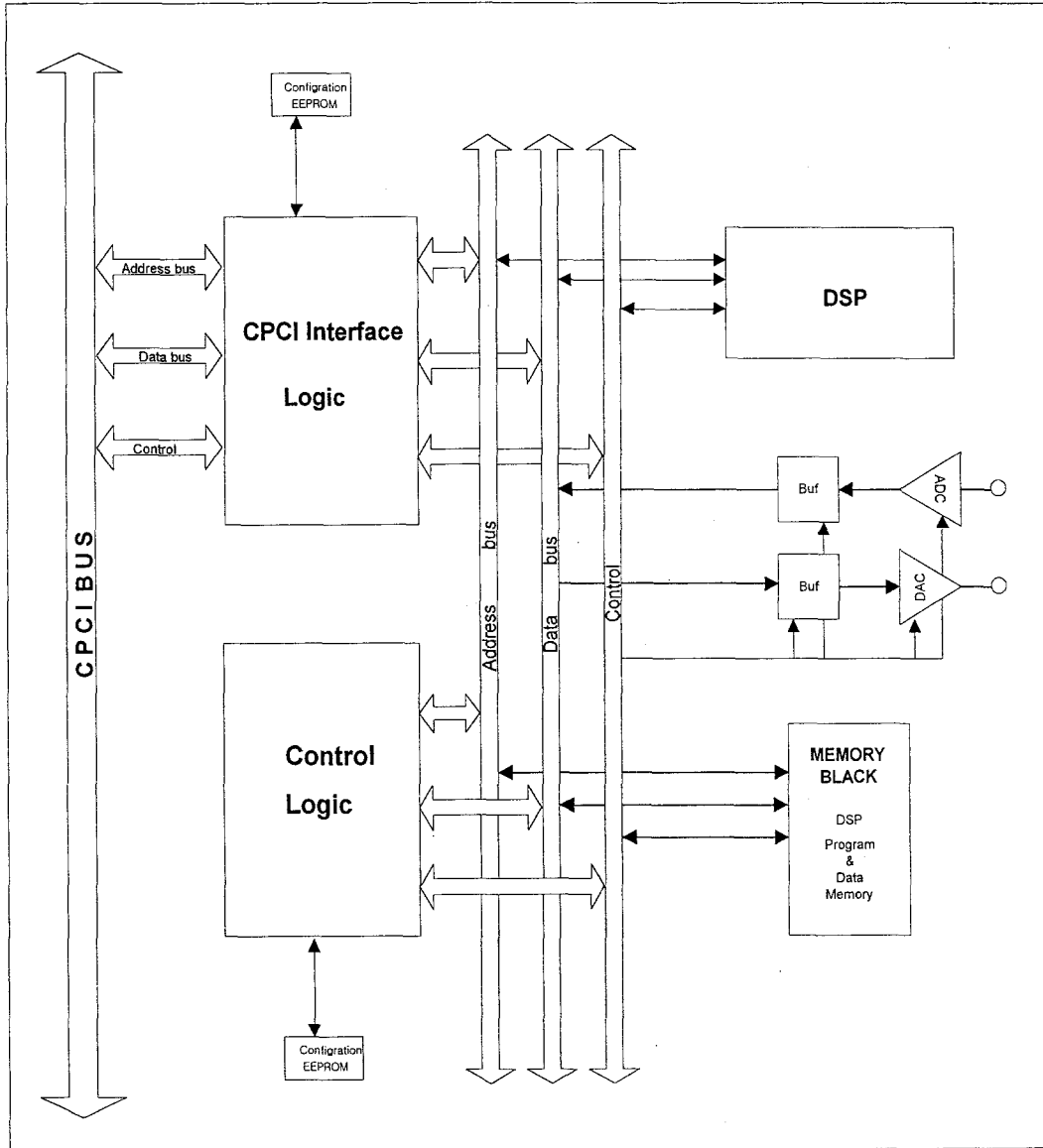


그림 3.3.21 DSP를 이용한 LS-SPM 구성도

② SPM 주요 사양

㉞ Analog Input

- ㄱ. Sampling Rate : 100khz
- ㄴ. Resolution : 16bit
- ㄷ. Input Range : $\pm 10V$

㉟ Analog Output

- ㄱ. Sampling Rate : 100khz
- ㄴ. Resolution : 16bit
- ㄷ. Output Range : $\pm 10V$

㊱ CPCI Slot

- ㄱ. PICMG 2.0 Rev2.1 CompactPCI Specification compliant

㊲ PCI Controller 회로

- ㄱ. PCI Controller : AMCC S5920

㊳ Memory Block 회로

- ㄱ. DSP Program/Data Area 64KB \times 32bit
- ㄴ. Event Data Area 256KB \times 32bit

㊴ 신호처리 전용 프로세서 회로

- ㄱ. S/W 주파수 대역 필터링
- ㄴ. 이벤트 검출 알고리즘
- ㄷ. 이벤트 검출시 이벤트 정보를 SPM-Controller에 알린다.

㊵ SPM-Control 회로

- ㄱ. PCI-Controller AMCC S5920에서 제공하는 멀티플렉서 된 32Bit 어드레스와 데이터를 디코딩한다.
- ㄴ. PCI-Controller AMCC S5920에서 제공하는 제어신호 및 상태 신호등을 입력받는다.
- ㄷ. 40MHz OSC 신호를 입력받아 신호처리 전용 프로세서 Clock 신호, A/D 및 D/A 제어신호를 제어한다.
- ㄹ. SRAM 메모리와 메모리 버퍼를 제어한다.
- ㅁ. ADC에서 변환된 데이터는 SRAM 메모리 블록에 10 μ sec 주기로 저장한다.

- 브. DAC는 SRAM 메모리 블록에 저장된 데이터를 출력한다.
- 스. 이벤트 검출시 SRAM 메모리 블록에 저장된 이벤트 데이터를 MCM의 메모리에 고속 전송하도록 제어한다.

③ 기능 실험

㉞ Analog Input 실험 :

입력 전압 : $\pm 5V$

| CH 입력 주파수 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------|------|------|------|------|
| 5k | 그림 a | | | |
| 10K | | 그림 b | | |
| 20k | | | 그림 c | |
| 40k | | | | 그림 d |

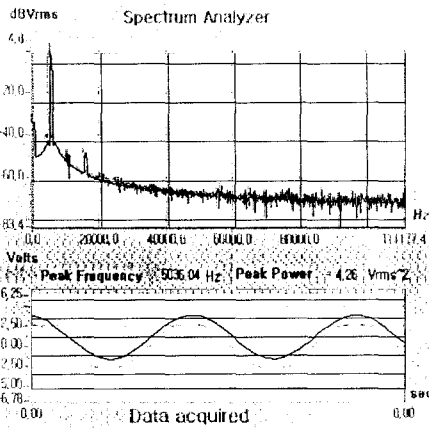


그림 a

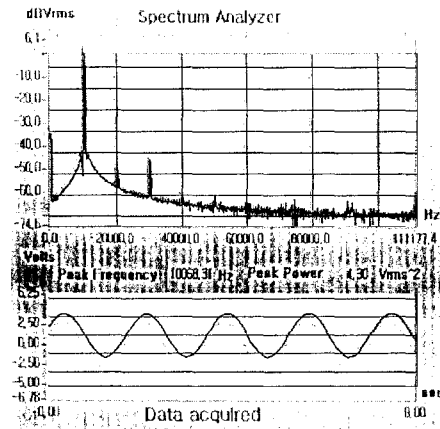


그림 b

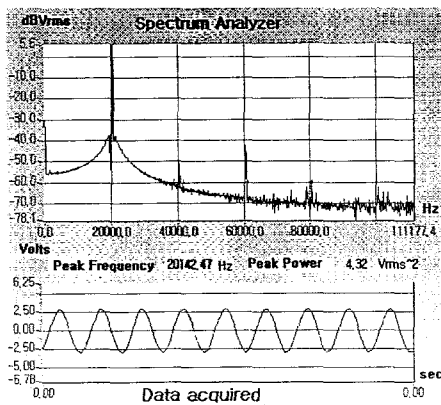


그림 c

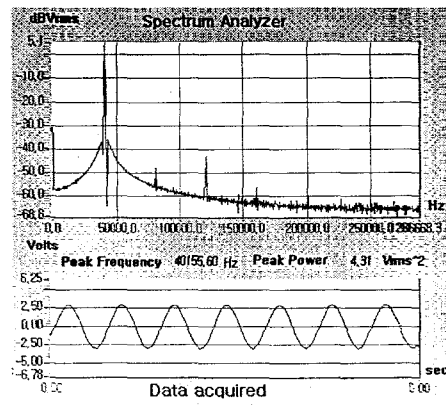


그림 d

㉞ Analog Output 실험

출력 전압 : $\pm 5V$

| 출력 주파수 CH | 5k | 10k | 20k | 40k |
|--------------|------|------|------|------|
| 1 | 그림 e | | | |
| 2 | | 그림 f | | |
| 3 | | | 그림 g | |
| 4 | | | | 그림 h |

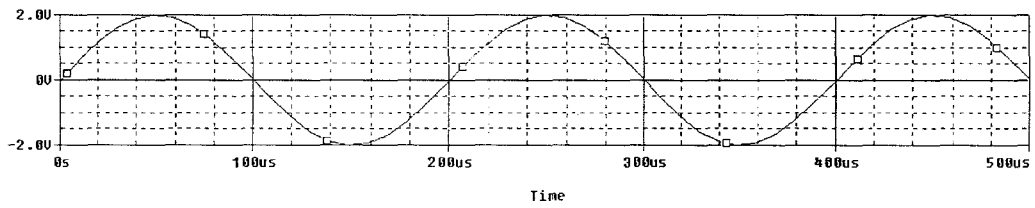


그림 e

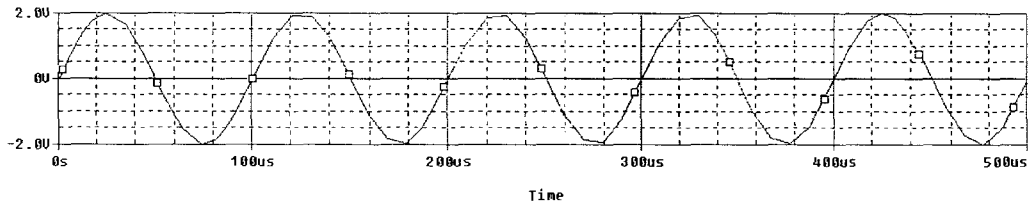


그림 f

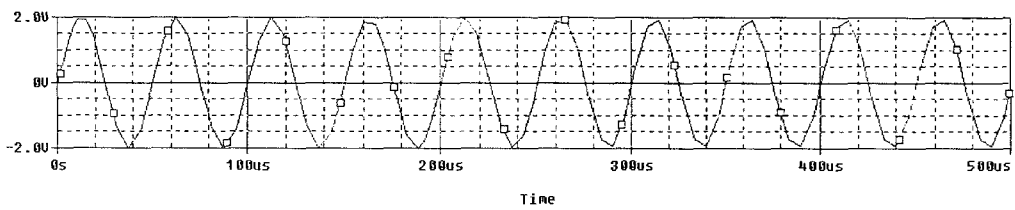


그림 g

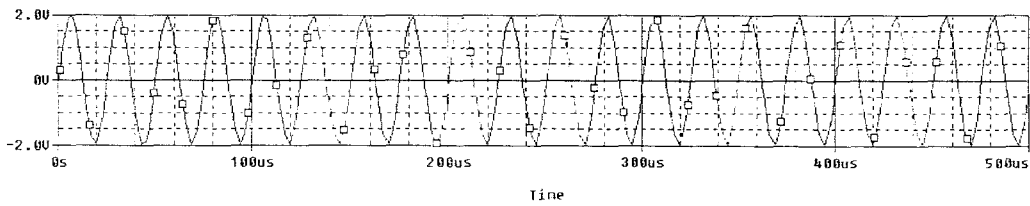


그림 h

(나) DAS 보드를 이용한 Signal processing module

① 구성도

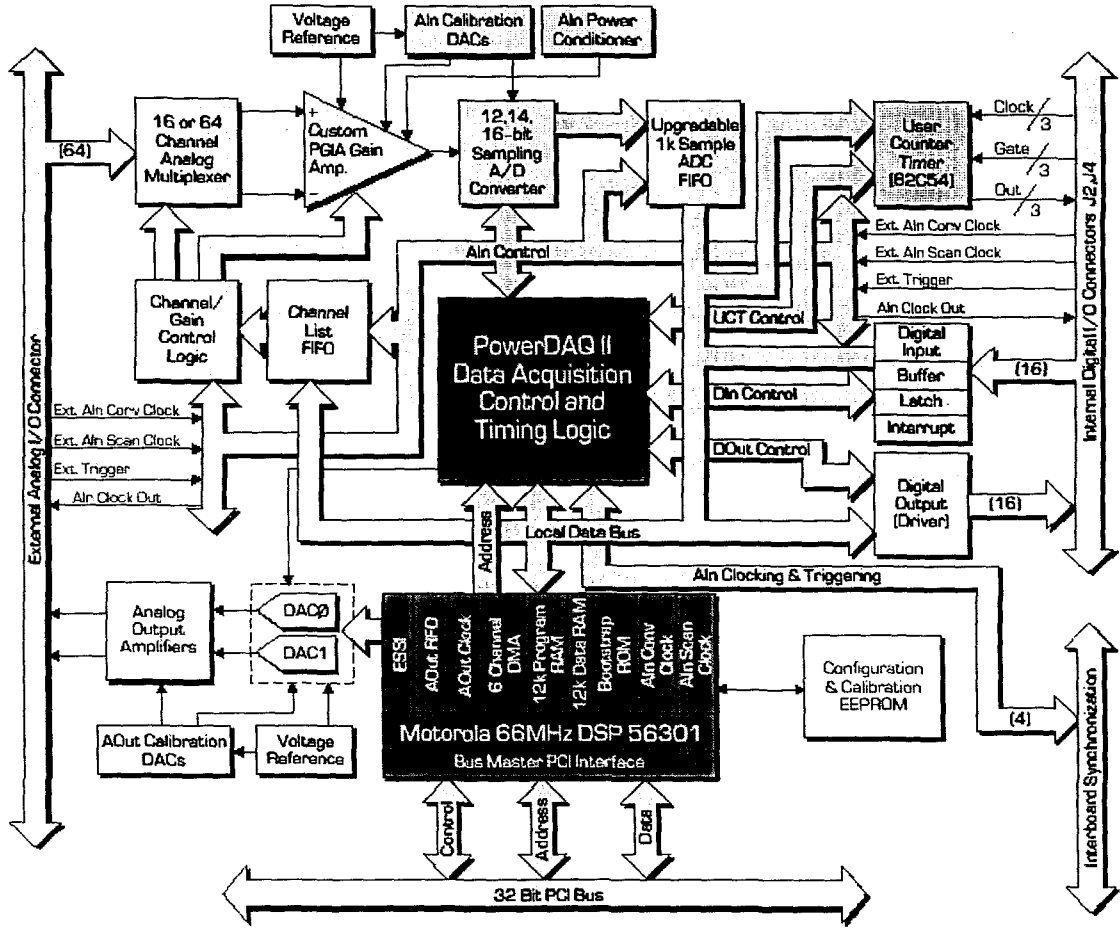


그림 3.3.22 DAS 보드를 이용한 LS-SPM 구성도

② DAS 보드 기능 실험

㉞ Analog Input 실험 :

입력 전압 : $\pm 5V$

| CH 입력 주파수 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------|------|------|------|------|
| 5k | 그림 i | | | |
| 10K | | 그림 j | | |
| 20k | | | 그림 k | |
| 40k | | | | 그림 l |

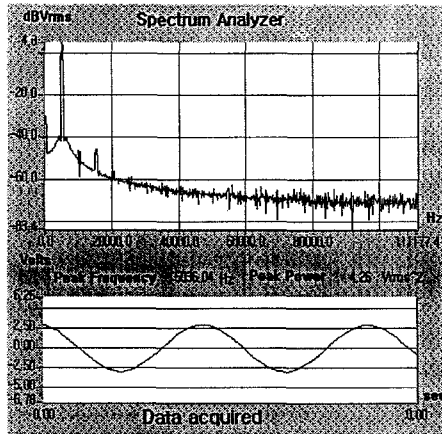


그림 i

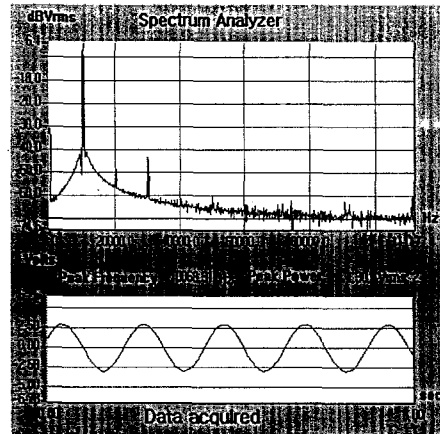


그림 j

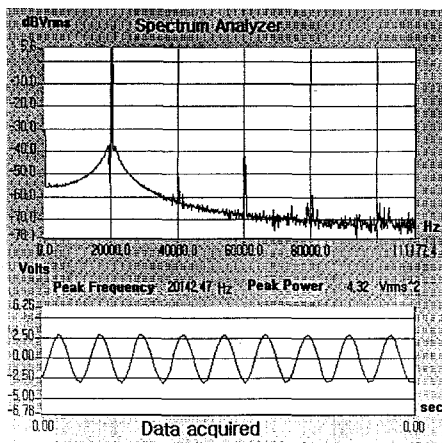


그림 k

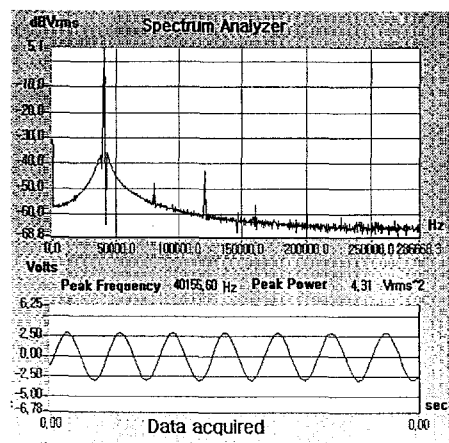


그림 l

㉞ Analog Output 실험

출력 전압 : $\pm 5V$

| | | | |
|----|--------|----|------|
| | 출력 주파수 | 5k | 10k |
| CH | | | |
| 1 | 그림 m | | |
| 2 | | | 그림 n |

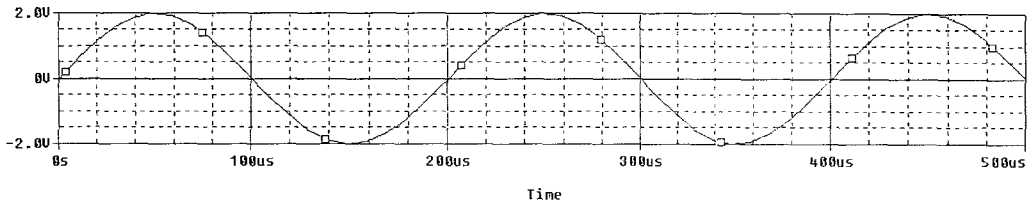


그림 m

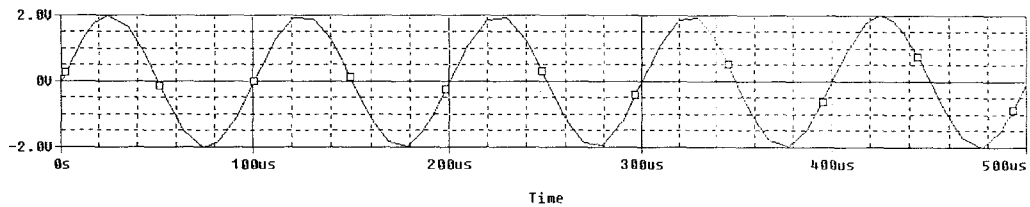


그림 n

㉟ Digital Input 실험 : 입력 상태 확인

초기 상태 : Normal OFF

| | | | | | | | | |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CH | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 입력 상태 | | | | | | | | |
| on | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 확인 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

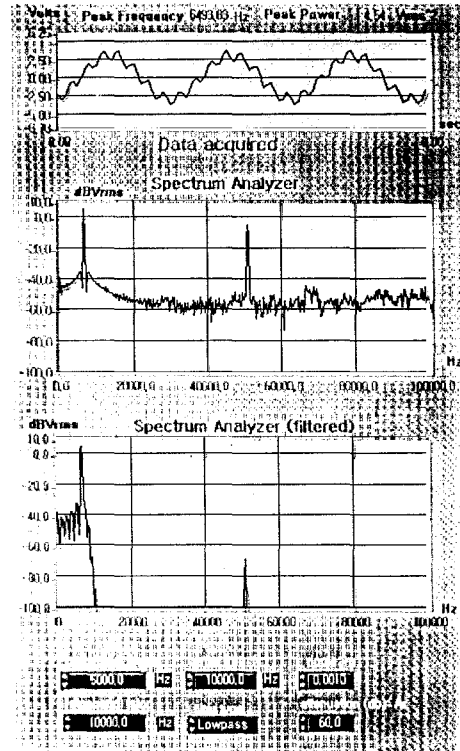
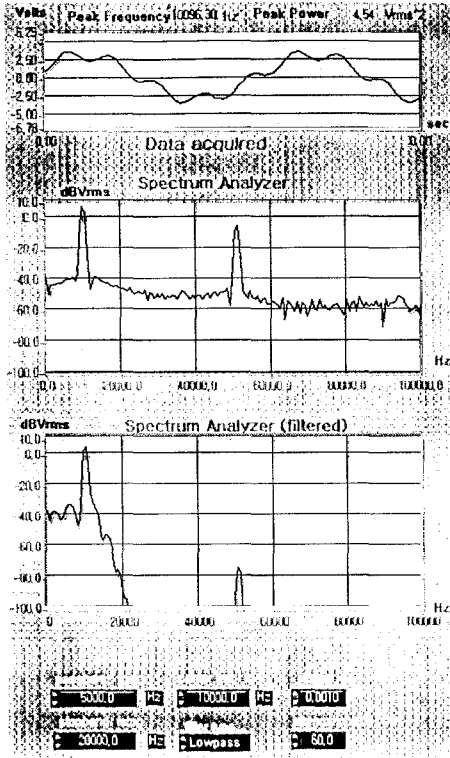
㊱ Digital Output 실험 : 출력 상태 확인

초기 상태 : Normal OFF

| | | | | | | | | |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CH | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 출력 상태 | | | | | | | | |
| on | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 확인 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

(다) Main Control Module

① Bandpass filtering 실험



② LAN 통신 실험 확인

㉞ 데이터 전송

- ㄱ. 이벤트 검출시, 각 채널의 센서 신호 데이터 전송
- ㄴ. 배경 잡음 전송
- ㄷ. 경보 신호 전송
- ㄹ. 시스템 파라미터 전송

③ 경보 실험 확인

- ㄱ. 이벤트 검출시, 경보 신호 발생
- ㄴ. 제어봉 제어계통 구동시

(라) Digital Input/Output Module

① 구성도

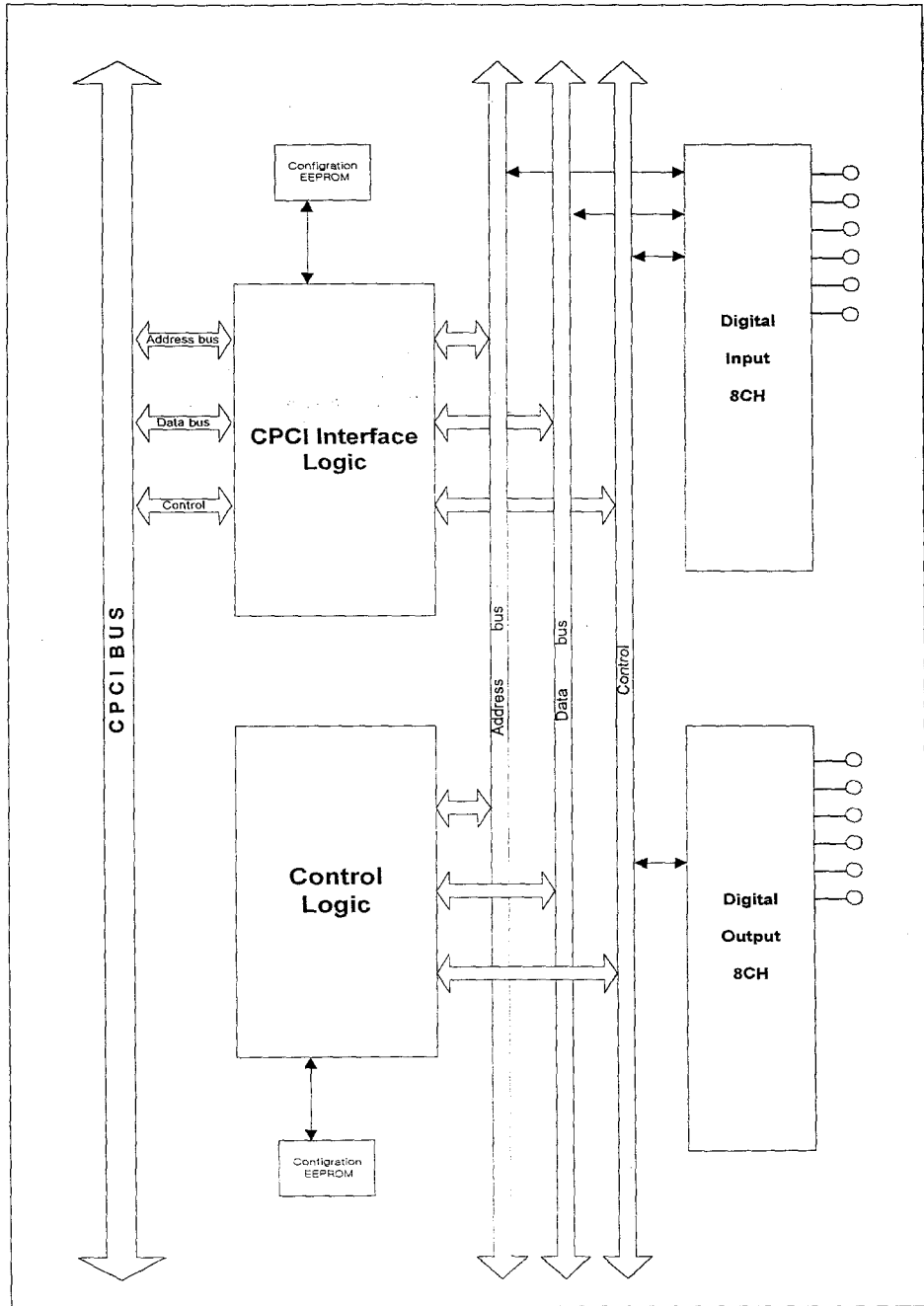


그림 3.3.23 DIOM 구성도

② SPM 주요 사양

ㄱ. 입력 채널 : 8CH

입력 방식 : Optical-Isolated Input

입력 전압 : 5V / 24V

ㄴ. 출력 채널 : 8CH

출력 방식 : SPDT Form A(Optical-Isolated output)

출력 전압 : 24V(Weighted Voltage)

③ 기능 결과

ㄱ. Digital Input 모듈 실험 : 입력 상태 확인

초기 상태 : Normal open

| CH 입력 상태 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| on | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 확인 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

ㄴ. Digital Output 모듈 실험 : 출력 상태 확인

초기 상태 : Normal open

| CH 출력 상태 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| on | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 확인 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

(마) LSU 설계도면

부록 1. 설계도면 참조.

(4) ACU

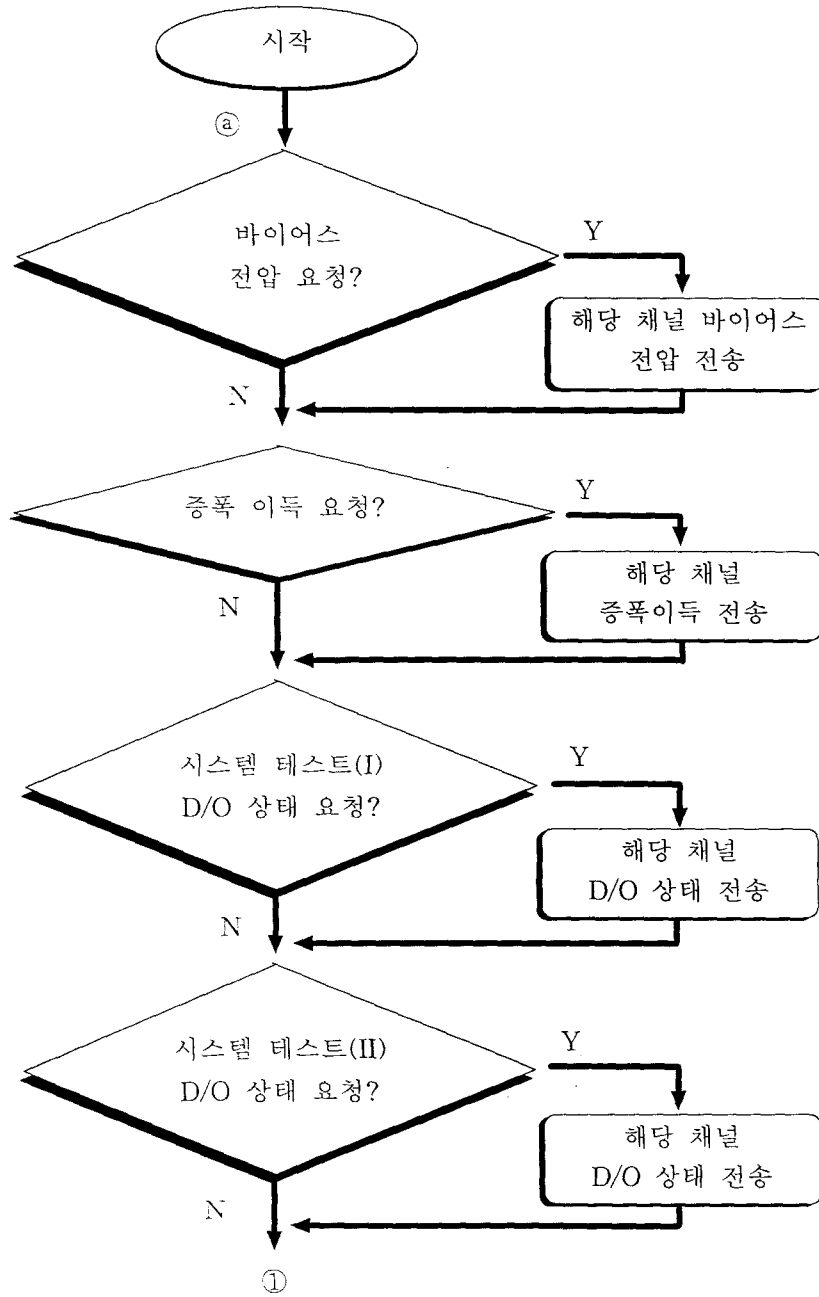
(가) ACU 설계도면

부록 1. 설계도면 참조.

나. 소프트웨어 결과물

(1) SCU

(가) 프로그램 흐름도



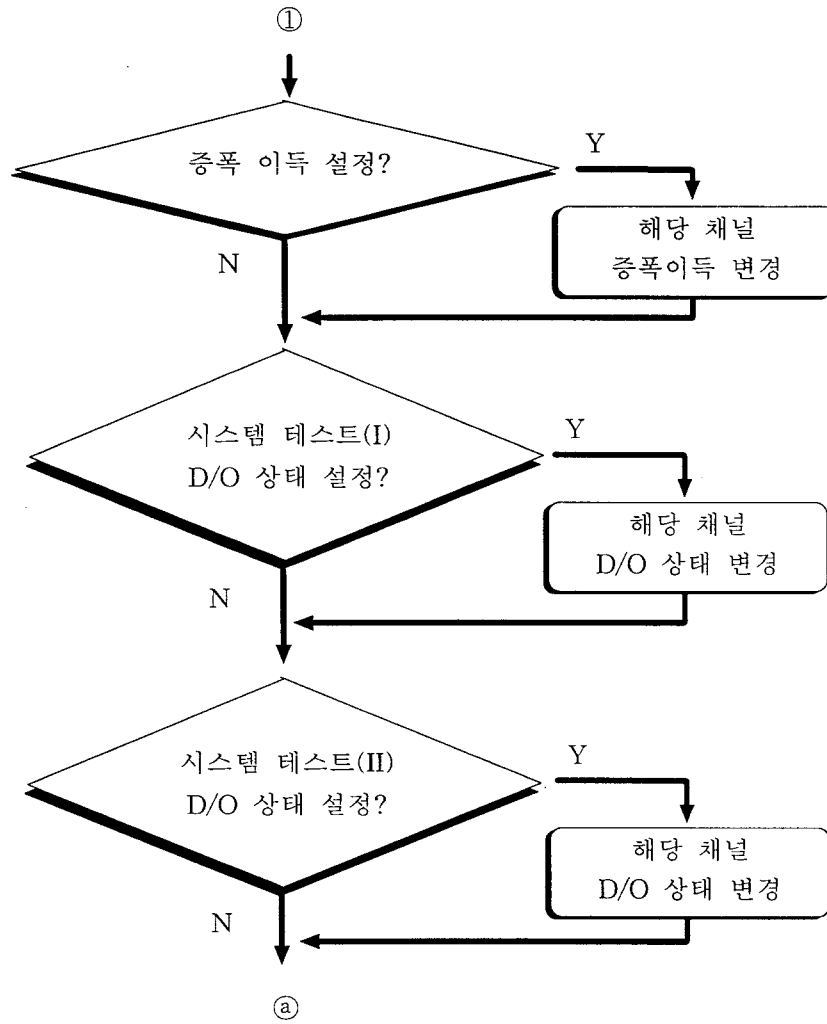
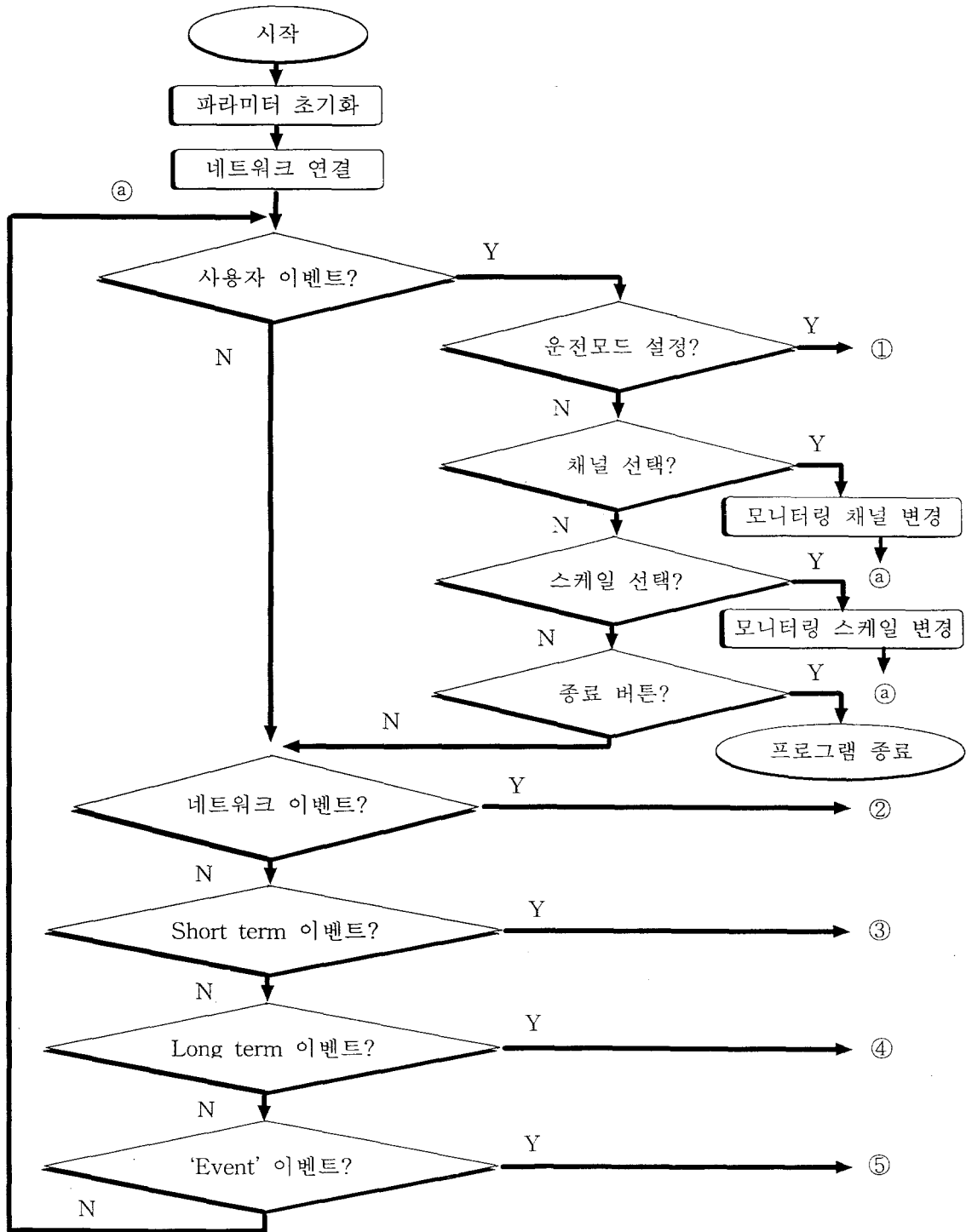
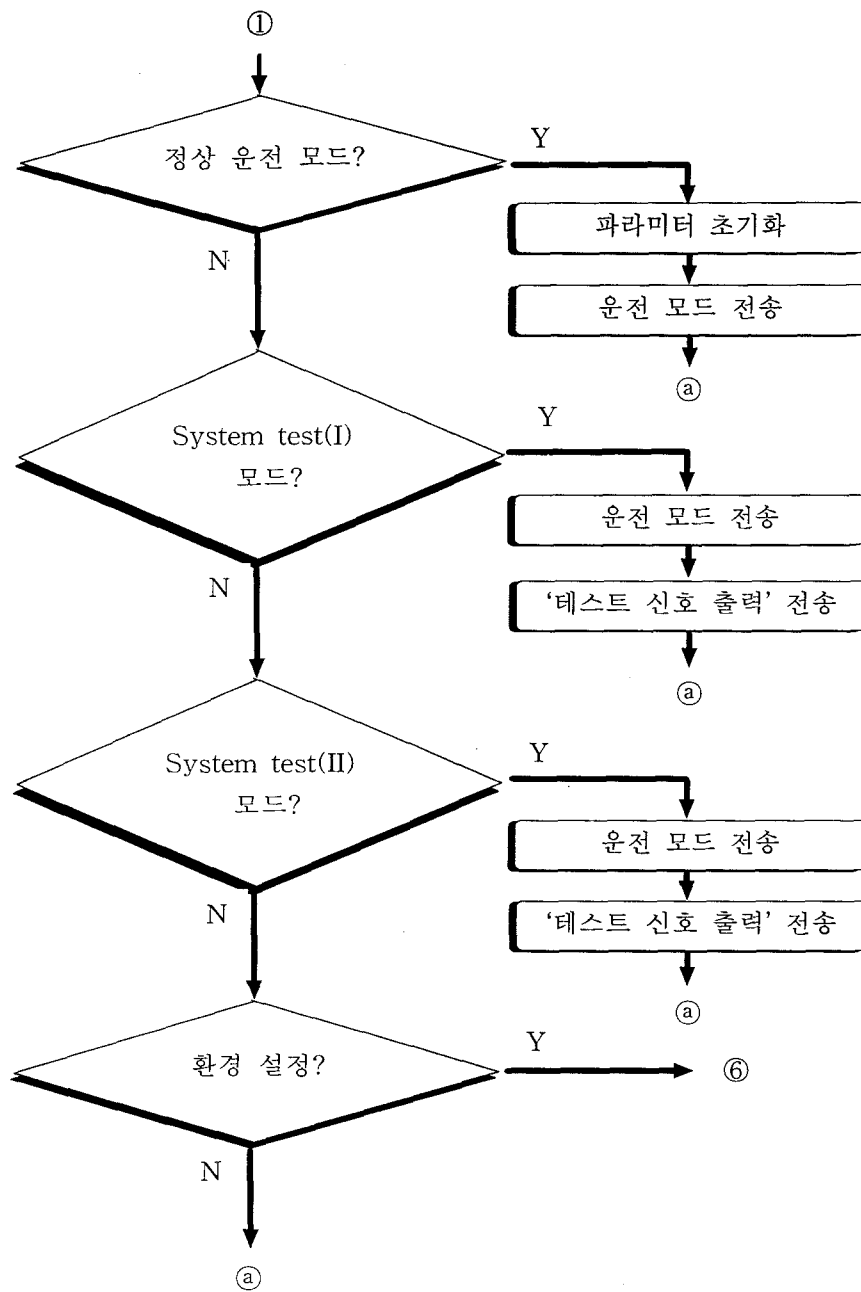


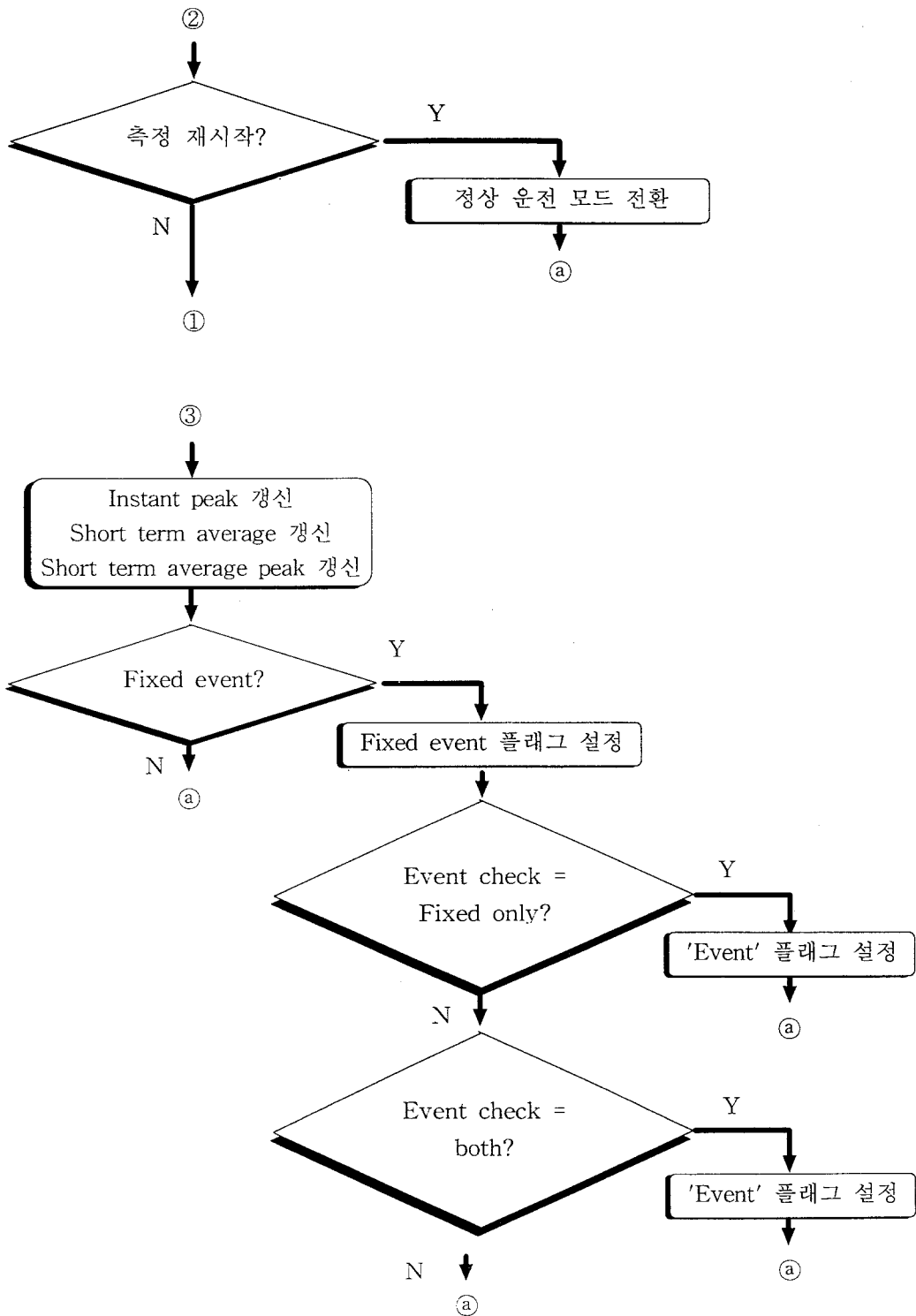
그림 3.3.24 SCU에 대한 프로그램 흐름도

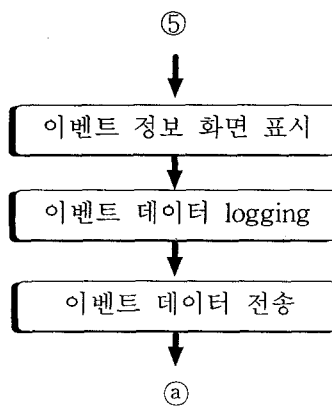
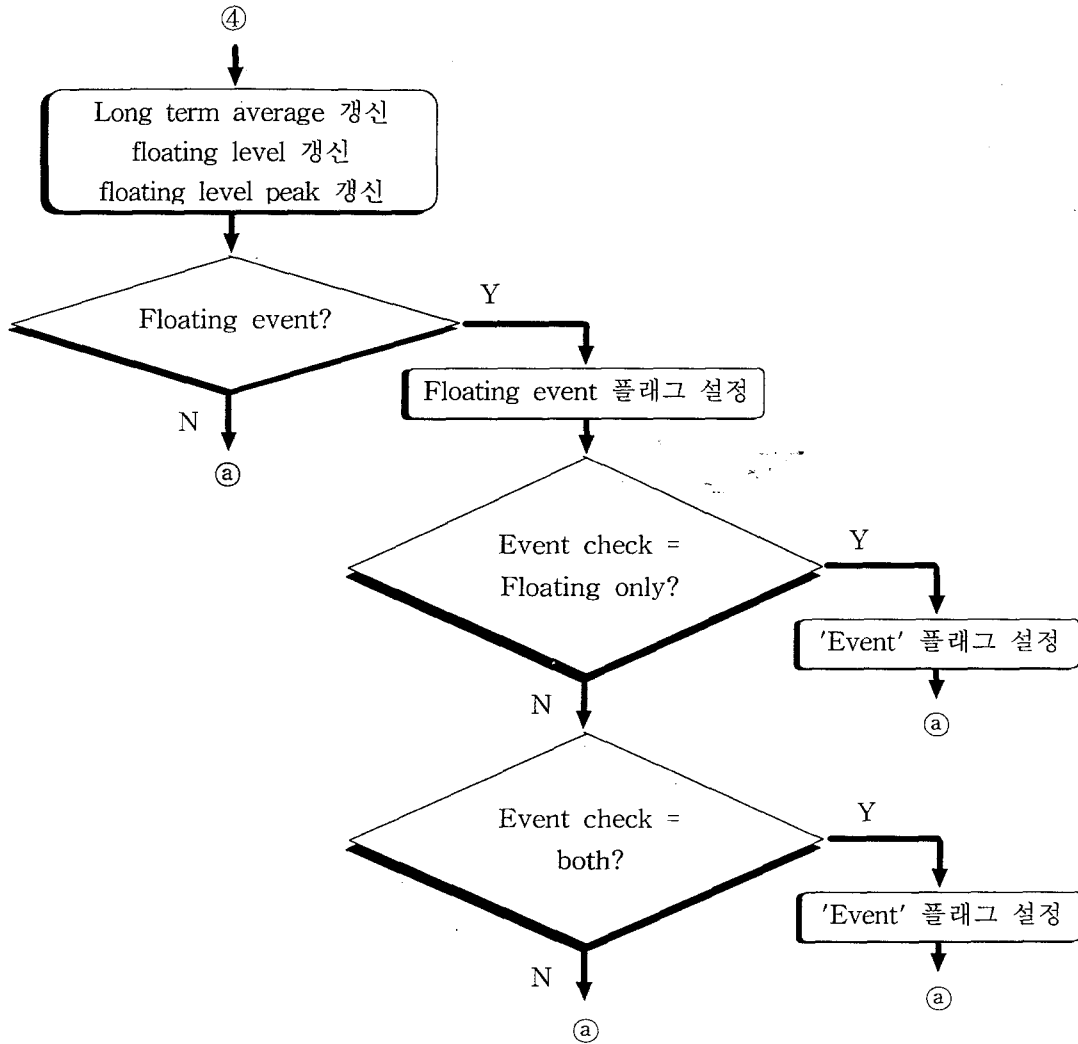
(2) LSU

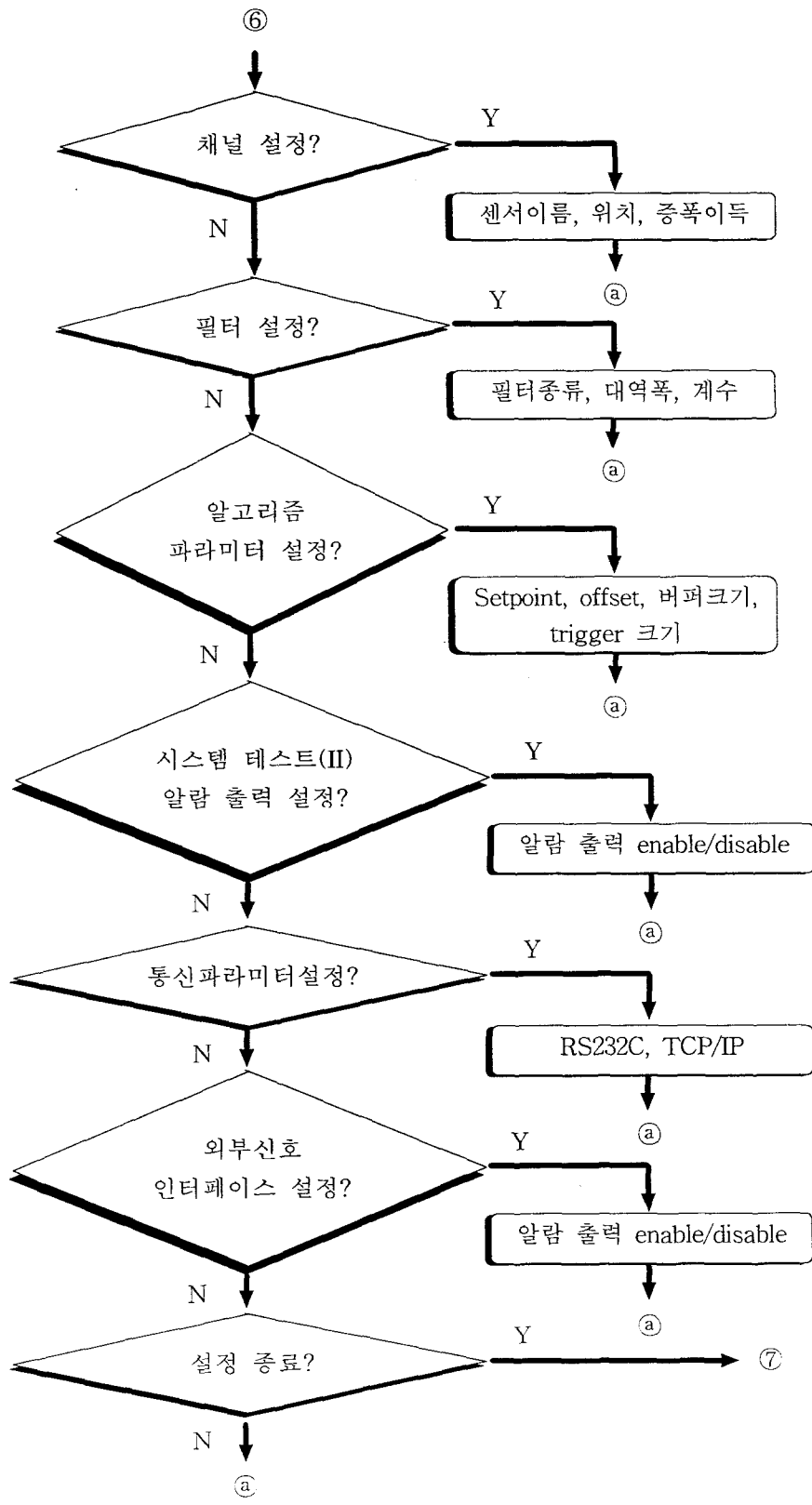
(가) 프로그램 흐름도











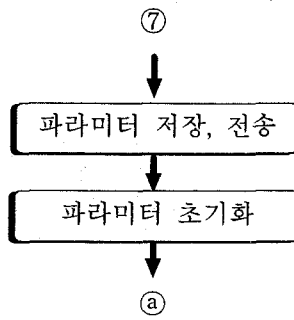


그림 3.3.25 LSU의 프로그램 흐름도

(나) 프로그램 화면

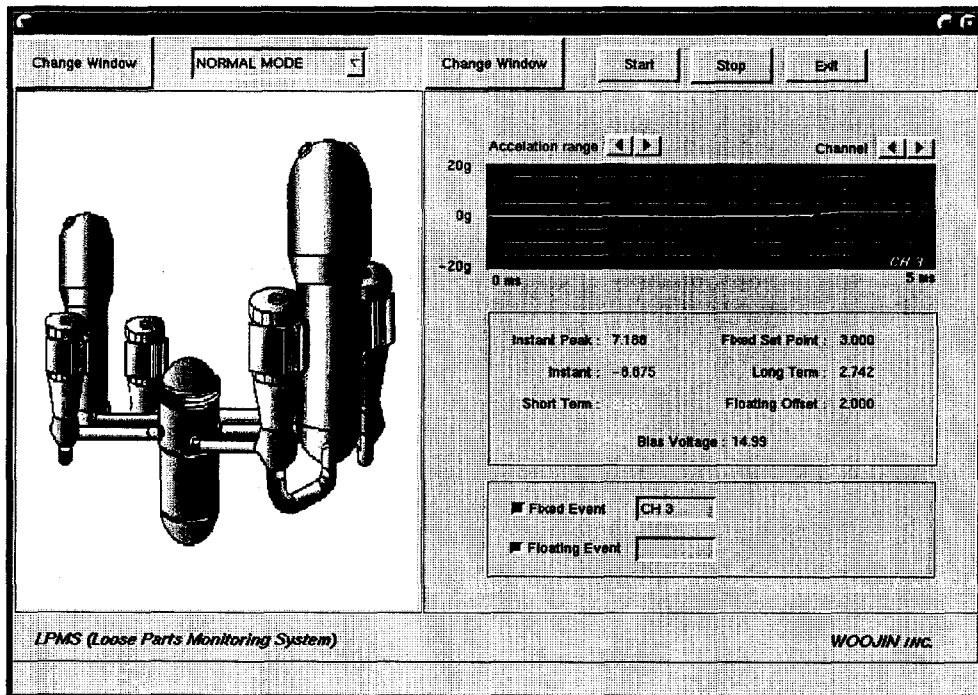


그림 3.3.26 LPMS LSU 채널 3 모니터링 화면 (오른쪽 윈도우)

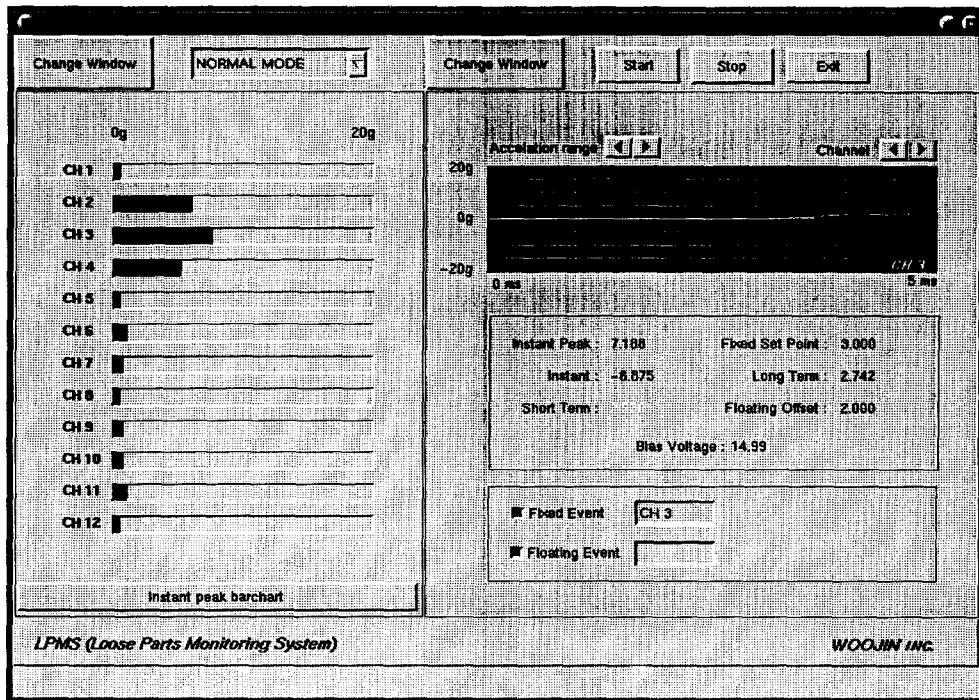


그림 3.3.27 LPMS LSU 전 채널 Barchart 모니터링 화면 (왼쪽 윈도우)

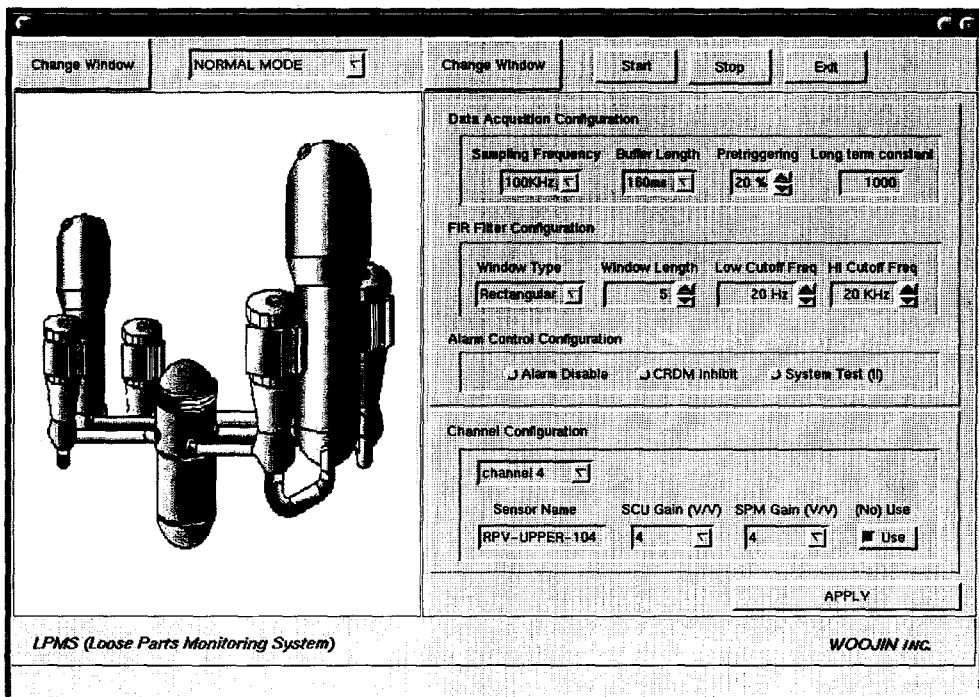


그림 3.3.28 LPMS LSU 파라미터 설정 화면 (오른쪽 윈도우)

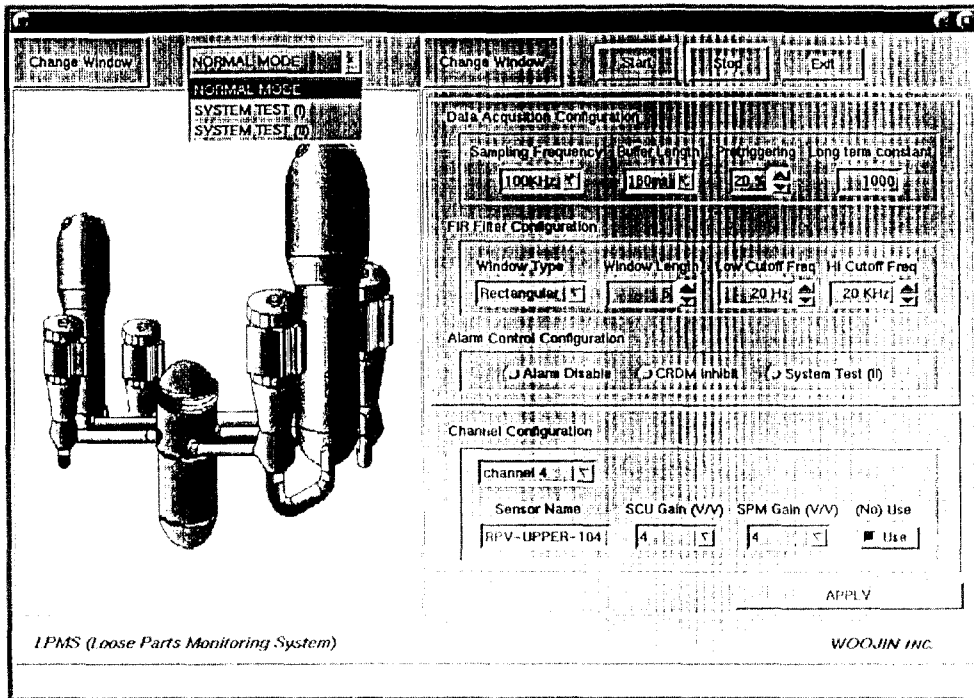
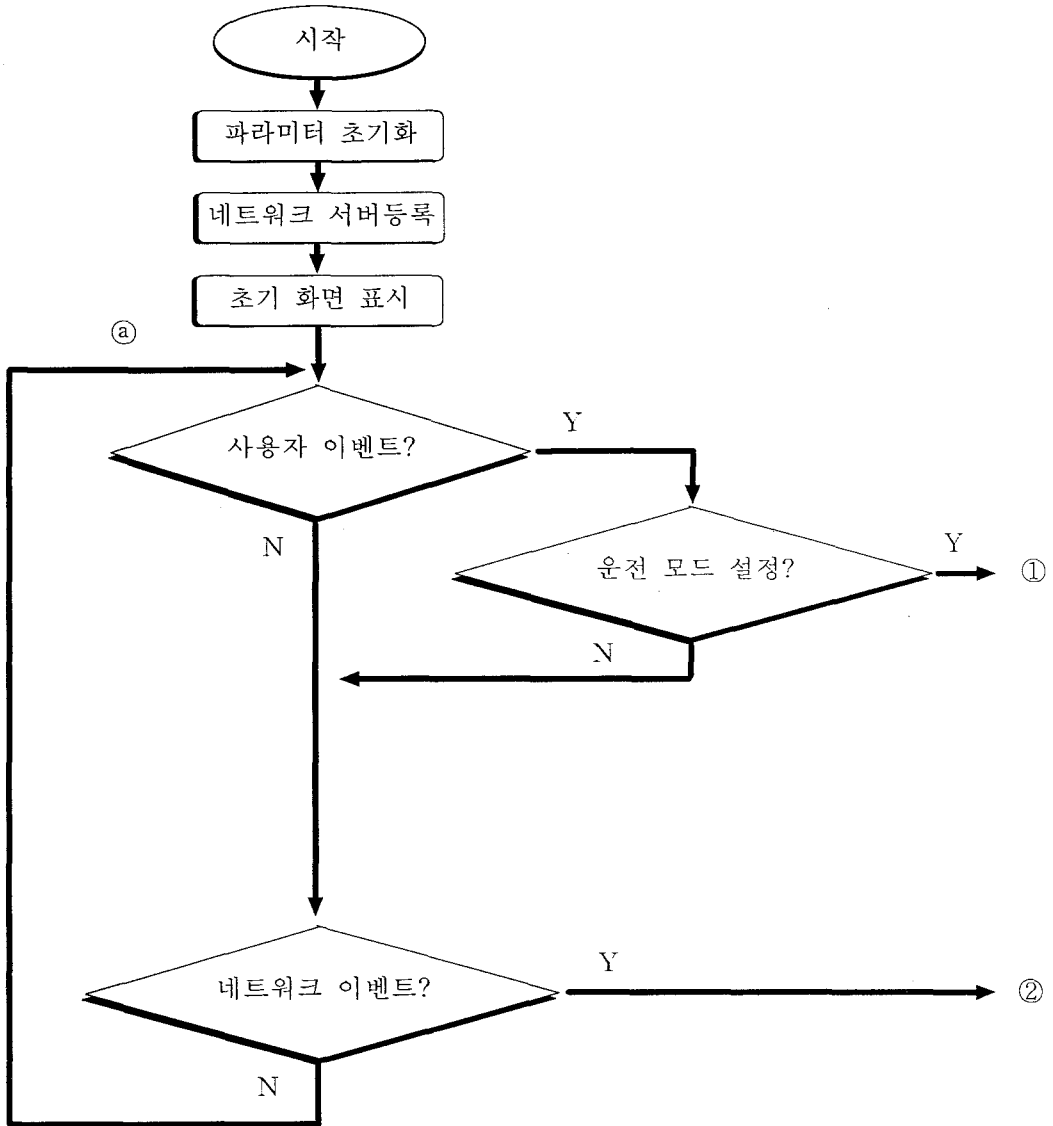
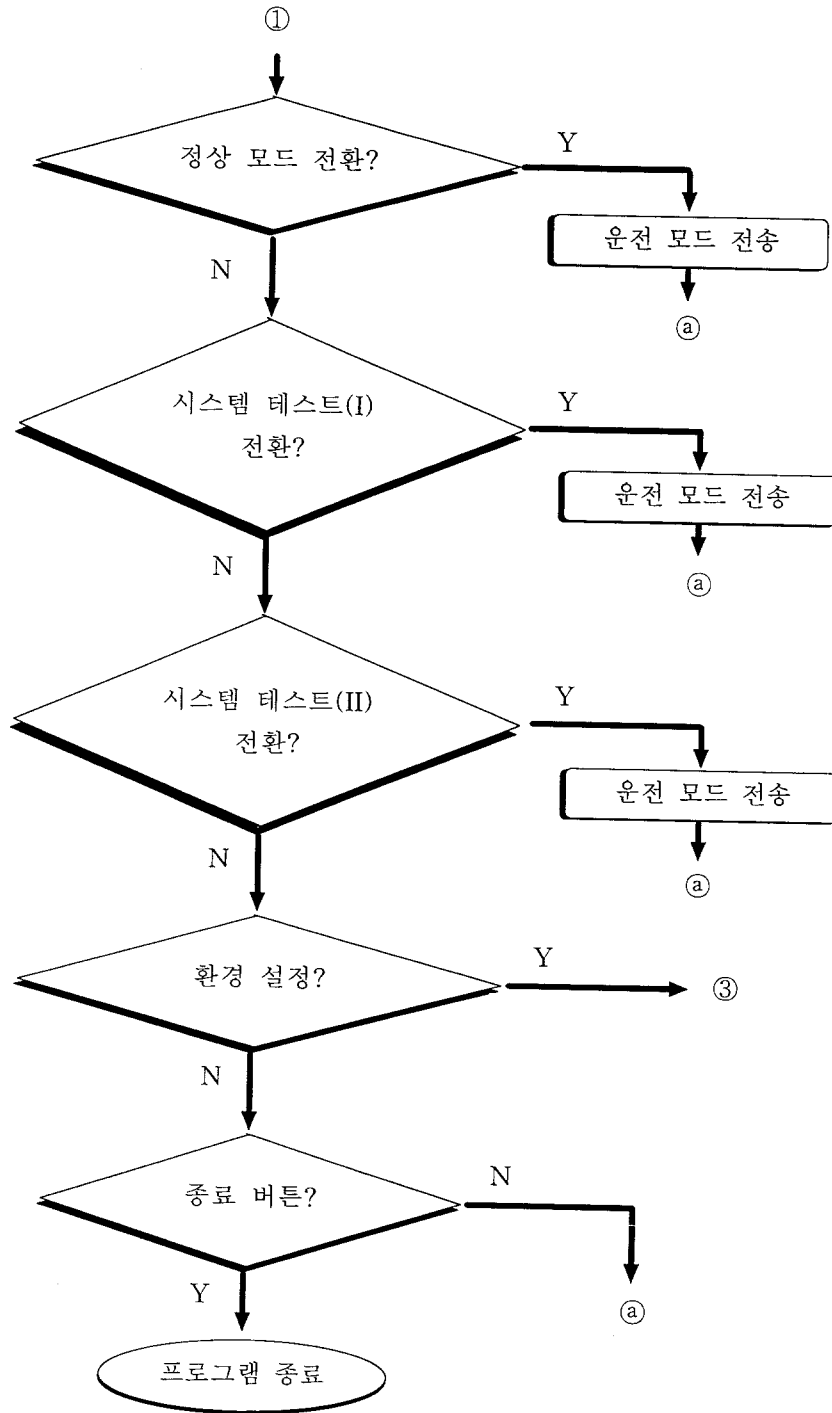


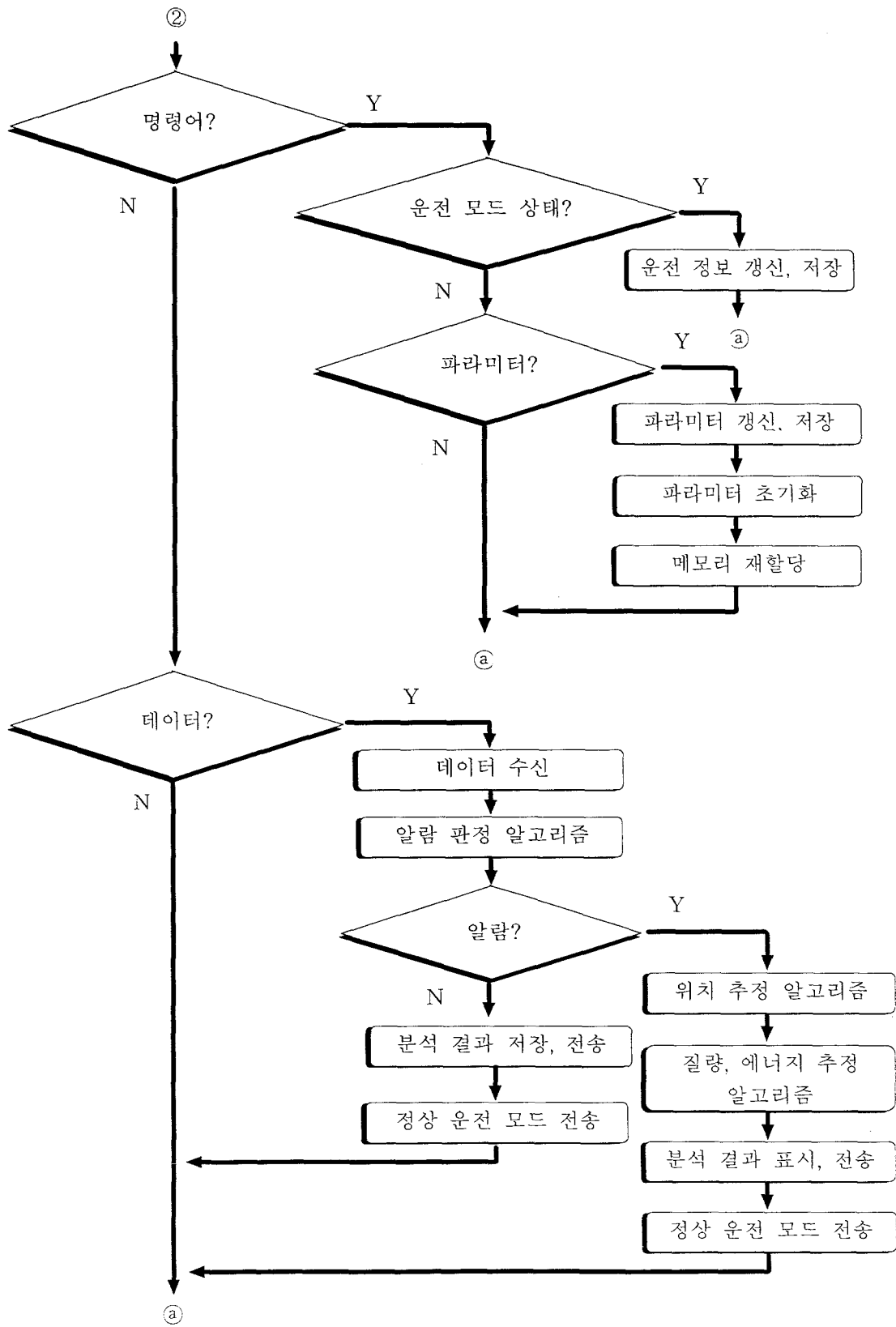
그림 3.3.29 LPMS LSU 운전 모드 설정 화면 (왼쪽 윈도우)

(3) ACU

(가) 프로그램 흐름도







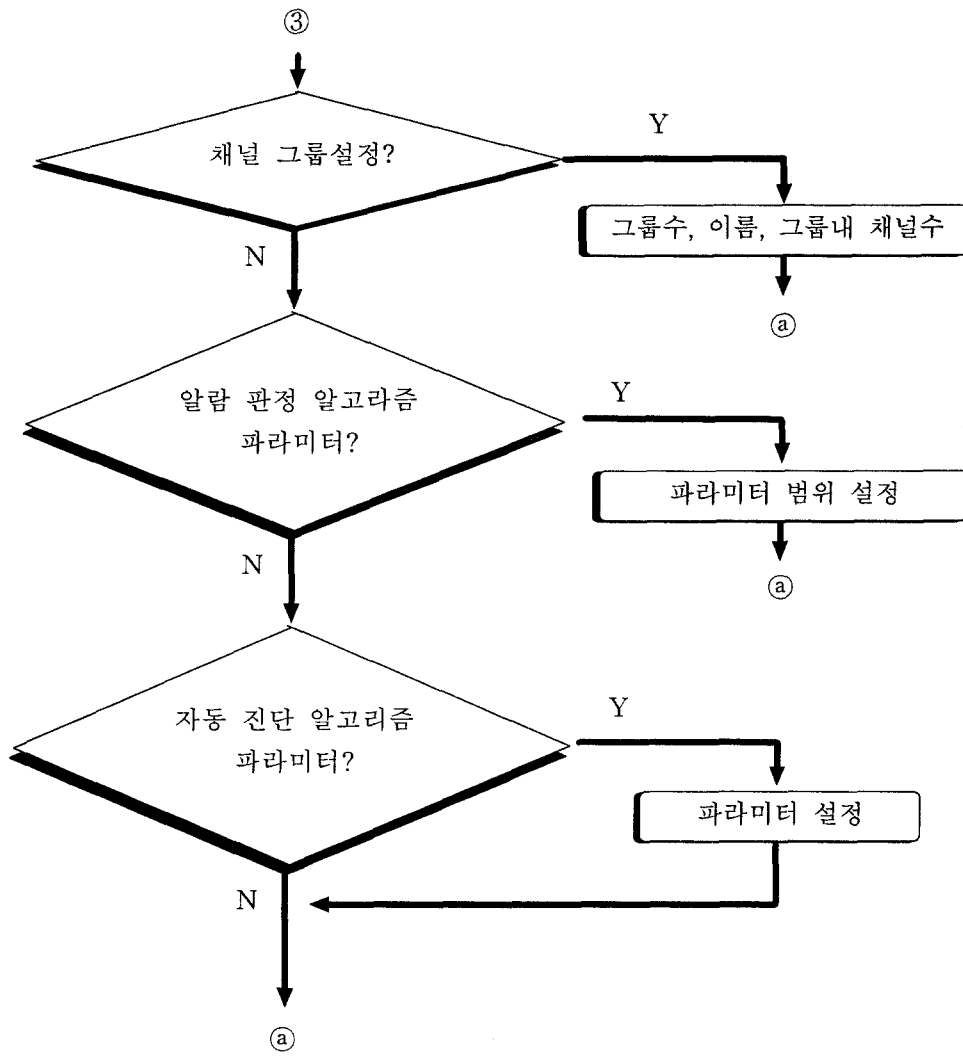
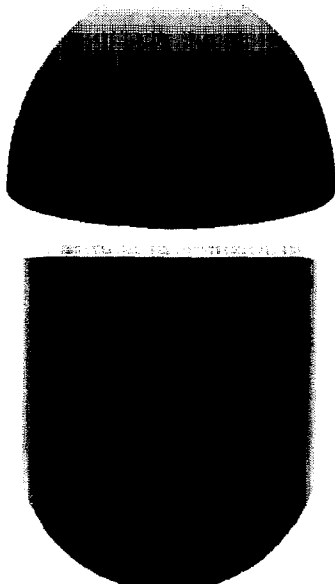


그림 3.3.30 ACU의 프로그램 흐름도

(나) 프로그램 화면

유진 유정 알자리움 파라미터 설정 - LPMS

파일(F) 운영 화면(O) 시스템 환경 설정(S) 보안(S) 도움말(H)



공통

| | | | |
|----------|-------------|-----------|-----------|
| 출력속도(유속) | 1.0844m/s | 유속 | 340m/s |
| 구조물 두께 | 0.18669m | 구조물 밀도 | 7860 |
| SOM 속도 | 5300m/s | A0파 속도 | 3400m/s |
| 증기발생기 높이 | 8.66832092m | 증기발생기 변지름 | 2.136775m |

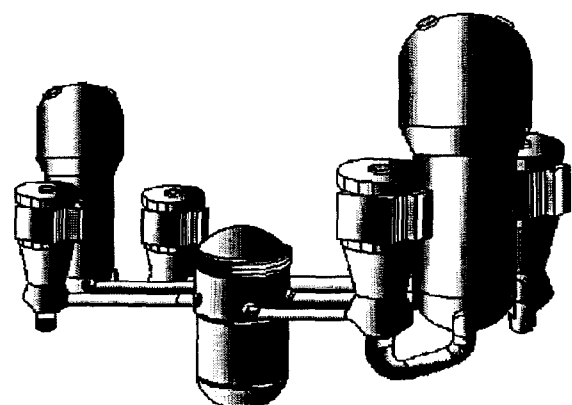
채널별 설정

| 채널 | 유형 | 원/구좌표 | 원/구좌표 | 원/구좌표 |
|----|----------------|-------|-----------|----------|
| 01 | SG1-UPPER-101 | 원/구좌표 | 0 | 0 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | 0 | 0 |
| 02 | SG1-MIDDLE-102 | 원/구좌표 | 2.136775 | 0 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | 2.136775 | 0 |
| 03 | SG1-LOWER-103 | 원/구좌표 | 2.136775 | 0 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | 2.136775 | 0 |
| 04 | SG1-LOWER-104 | 원/구좌표 | 2.136775 | 180 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | -2.136775 | 0 |
| 05 | PRV-UPPER-105 | 원/구좌표 | 2.264093 | 60 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | 1.960762 | 0 |
| 06 | PRV-UPPER-106 | 원/구좌표 | 2.264093 | 60 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | -0.980361 | 1.698069 |
| 07 | PRV-LOWER-107 | 원/구좌표 | 2.264093 | 60 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | 1.960762 | 0 |
| 08 | PRV-LOWER-108 | 원/구좌표 | 2.264093 | 60 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | -0.980361 | 1.698069 |
| 09 | SG2-UPPER-109 | 원/구좌표 | 0 | 0 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | 0 | 0 |
| 10 | SG2-MIDDLE-110 | 원/구좌표 | 2.136775 | 0 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | 2.136775 | 0 |
| 11 | SG2-LOWER-111 | 원/구좌표 | 2.136775 | 0 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | 2.136775 | 0 |
| 12 | SG2-LOWER-112 | 원/구좌표 | 2.136775 | 180 |
| | 원자로 Γ | 적각 좌표 | -2.136775 | 0 |

준비

유진 유정 알자리움 파라미터 설정 - LPMS

파일(F) 운영 화면(O) 시스템 환경 설정(S) 보안(S) 도움말(H)



채널별 Instant Peak

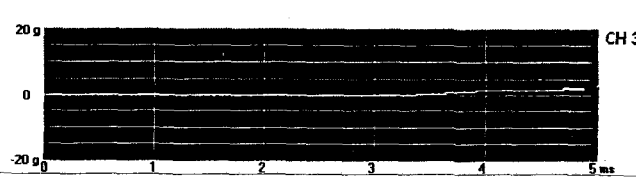
| | |
|----|--|
| 01 | |
| 02 | |
| 03 | |
| 04 | |
| 05 | |
| 06 | |
| 07 | |
| 08 | |
| 09 | |
| 10 | |
| 11 | |
| 12 | |

Instant Peak: 7.188 Fixed Set Point: 3.000

Short Term: 2.930 Long Term: 2.742

Floating Offset: 2.000

Bias Voltage: 14.99 V



CH 3

20g

0

-20g

0 1 2 3 4 5 ms

준비

그림 3.3.31 파라미터 설정화면 및 분석화면

(다) 통합실험 및 분석 결과

① 실험방법 : 녹취된 충격시험 데이터를 본 시스템에 연결하여 재생하여 자동(위치, 질량) 분석.

② 실험데이터 : 영광 시운전 강구 충격시험 데이터

㉠ 충격시험 데이터 녹취 조건

㉡. 1차계통의 RCP를 구동, 증기발생기 상온(100℃)설정

㉢. 충격위치 : 하부센서기준(8번.12번) - 좌측 : 1m,

상 : 80cm, 하 : 60cm 220g, 530g강구로 충격발생

㉣. 유속 : 1m/sec

㉤. 증기발생기 두께 : 7inch

㉥. 가속도계 센서 측정감도 : 10pC/g ~ 50pC/g

㉦. Recorder : RD-135T(TEAC)

4CH(CH/Sampling Frequency : 20KHz)

③ 실험결과

| 실험 번호 | | Event CH | 실제값 | 추정값 | 오차 |
|-------|----|----------|------|-------|--------|
| 01 | 위치 | X | 1m | 0.75m | -0.25m |
| | | Y | 0.8m | 1.06m | +0.26m |
| | 질량 | | 220g | 364g | +144g |
| | 위치 | X | 1m | 0.72m | -0.28m |
| | | Y | 0.8m | 1.14m | +0.34m |
| | 질량 | | 220g | 304g | +84g |
| 11 | 위치 | X | 1m | 0.7m | -0.3m |
| | | Y | 0.8m | 0.99m | +0.19 |
| | 질량 | | 220g | 397g | +177g |
| | 위치 | X | 1m | 3.27m | +2.27m |
| | | Y | 0.6m | 1.7m | +1.1m |
| | 질량 | | 530g | 513g | -17g |
| 11 | 위치 | X | 1m | 3.17m | +2.17m |
| | | Y | 0.6m | 3.5m | +2.9m |
| | 질량 | | 530g | 618g | +88g |
| | 위치 | X | 1m | 3.27m | +2.27m |
| | | Y | 0.6m | 1.76m | +1.16m |
| | 질량 | | 530g | 461g | -69g |
| 11 | 위치 | X | 1m | 3.24m | +2.24m |
| | | Y | 0.6m | 2.17m | +1.57m |
| | 질량 | | 530g | 574g | +44g |

| 실험 번호 | | | Event CH | 실제값 | 추정값 | 오차 |
|-------|----|------|----------|-------|--------|--------|
| 15 | 위치 | X | 3 | 1m | 0m | -1m |
| | | Y | | 0.6m | 1.17m | +0.57m |
| | 질량 | | | 530g | 394g | -136g |
| 16 | 위치 | X | 3 | 1m | 0.5m | -0.5m |
| | | Y | | 0.6m | 1.2m | +0.6m |
| | 질량 | | | 530g | 551g | +21g |
| 17 | 위치 | X | 3 | 1m | 0.31m | -0.69m |
| | | Y | | 0.6m | 1.17m | +0.57m |
| | 질량 | | | 530g | 461g | -70g |
| | 위치 | X | 3 | 1m | 0.28m | -0.72m |
| | | Y | | 0.6m | 1.2m | -0.6m |
| | 질량 | | | 530g | 457g | -73g |
| | 위치 | X | 3 | 1m | 0.4m | -0.6m |
| | | Y | | 0.6m | 1.17m | +0.57m |
| 질량 | | 530g | | 334g | -196g | |
| 18 | 위치 | X | 2 | 1m | 3.26m | +2.36m |
| | | Y | | 0.6m | 1.8m | -1.2m |
| | 질량 | | | 530g | 757g | +227g |
| | 위치 | X | 2 | 1m | 3.27m | +2.27m |
| | | Y | | 0.6m | 1.77m | +1.17m |
| | 질량 | | | 530g | 566g | +36g |
| | 위치 | X | 2 | 1m | 3.2m | +2.2m |
| | | Y | | 0.6m | 1.9m | +1.3m |
| | 질량 | | | 530g | 684g | +154g |
| | 위치 | X | 2 | 1m | 3.7m | +2.7m |
| Y | | 0.6m | | 1.76m | +1.16m | |
| 질량 | | 530g | | 540g | +10g | |

2. 내부구조물 감시시스템

가. 하드웨어 결과물

(1) SCU 구성도

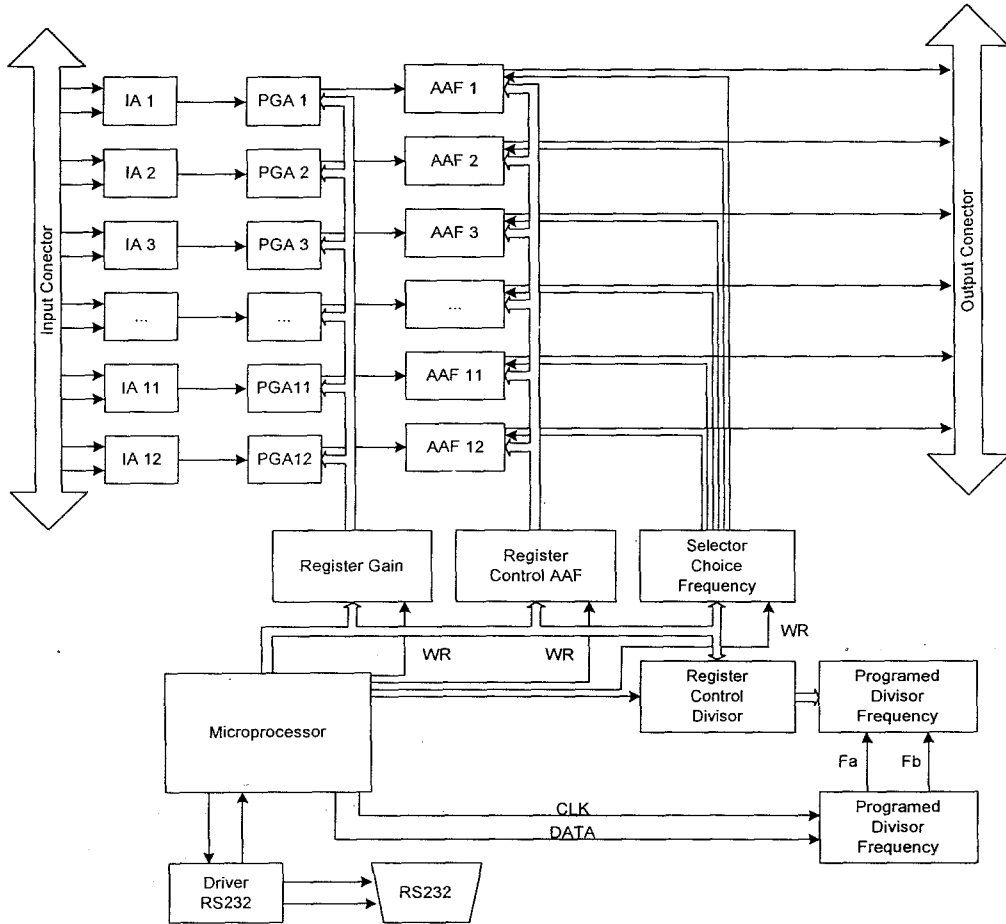


그림 3.3.32 SCU 구성도

(가) SCU-MCM(SCU Main Control Module)

① 통신 테스트 확인

② SCU-SCM gain 및 filter 설정 확인

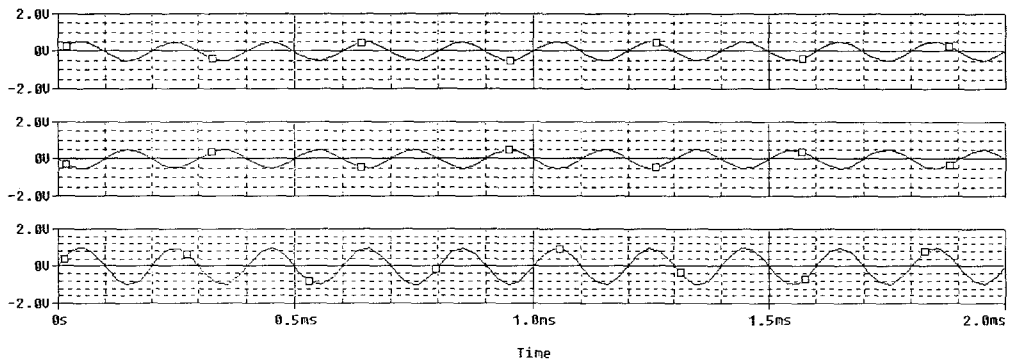
(나) SCU-SCM 기능 테스트

① IA(Instrumentation Amplifier) CMRR TEST

㉞ DIFFERENTIAL SIGNAL INPUT

INPUT+ : $0.5[V_{pp}]$ 5[KHz], INPUT- : $0.5[V_{pp}]$ 5[KHz]

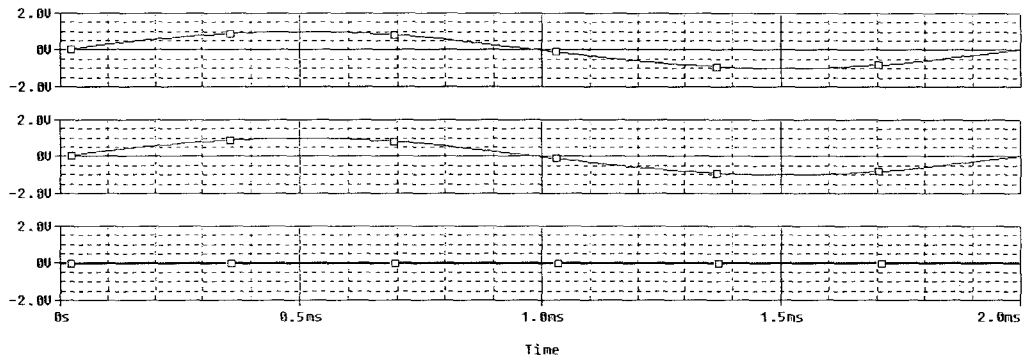
OUTPUT : $1[V_{pp}]$ 5[KHz]



㉞ COMMON-MODE SIGNAL INPUT

INPUT+ : $1[V_{pp}]$ 500[Hz], INPUT- : $1[V_{pp}]$ 500[Hz]

OUTPUT : $0[V_{pp}]$

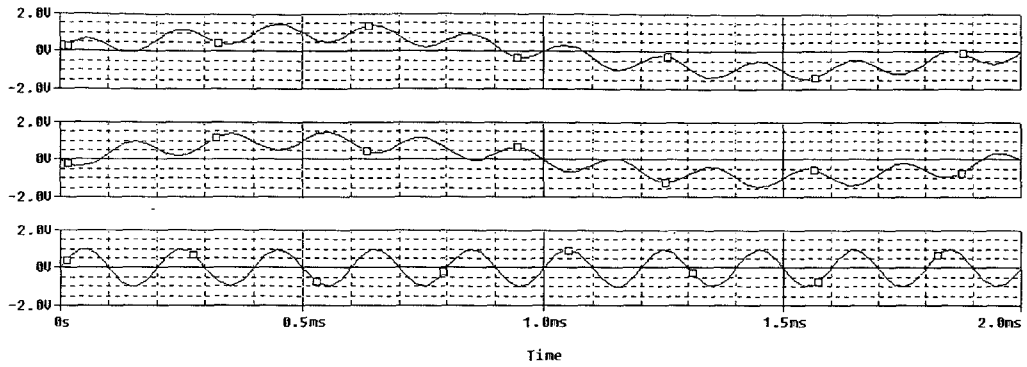


㉞ DIFFERENTIAL SIGNAL + COMMON-MODE SIGNAL INPUT

INPUT+ : $1[V_{pp}]$ 500[Hz] + $0.5[V_{pp}]$ 5[KHz]

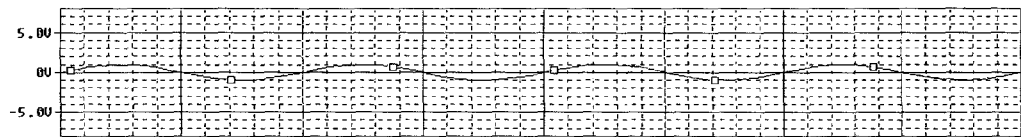
INPUT- : $1[V_{pp}]$ 500[Hz] + $0.5[V_{pp}]$ 5[KHz]

OUTPUT : $1[V_{pp}]$ 5[KHz]

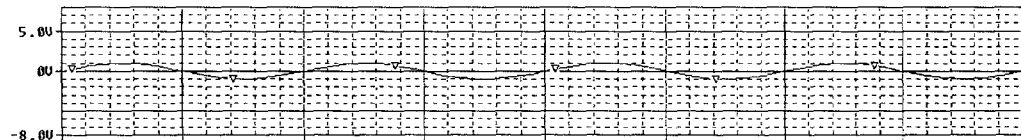


② PGA(Programmable Gain Amplifier) TEST

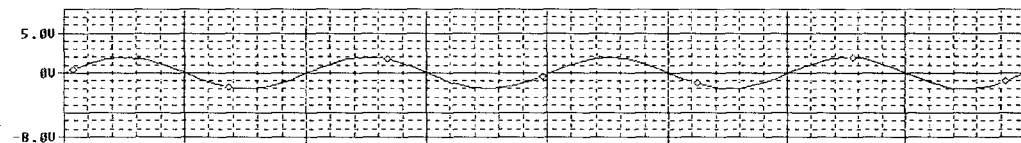
Input : 1[Vpp] 10[KHz]



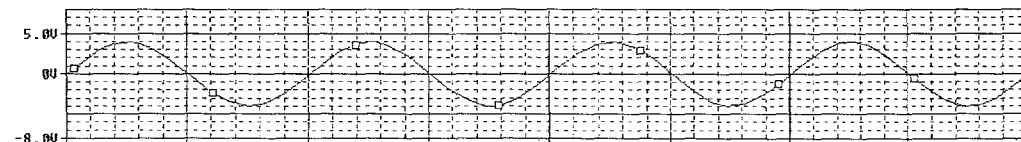
GAIN : 1 → Output : 1[Vpp] 10[KHz]



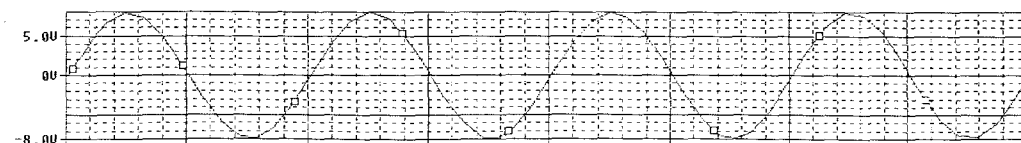
GAIN : 2 → Output : 2[Vpp] 10[KHz]



GAIN : 4 → Output : 4[Vpp] 10[KHz]



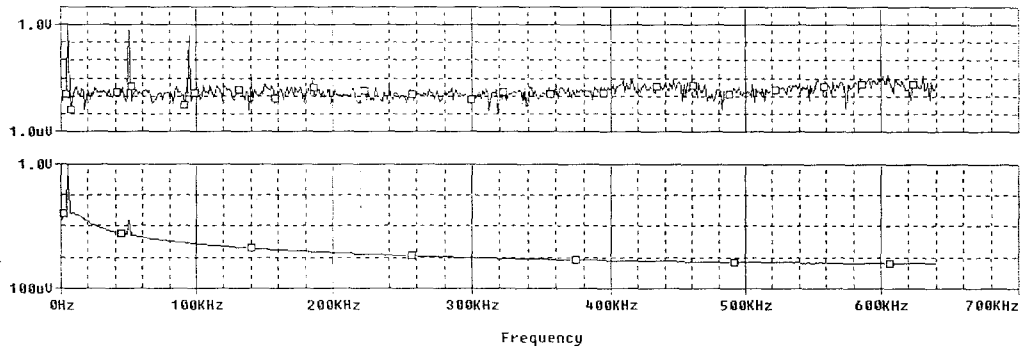
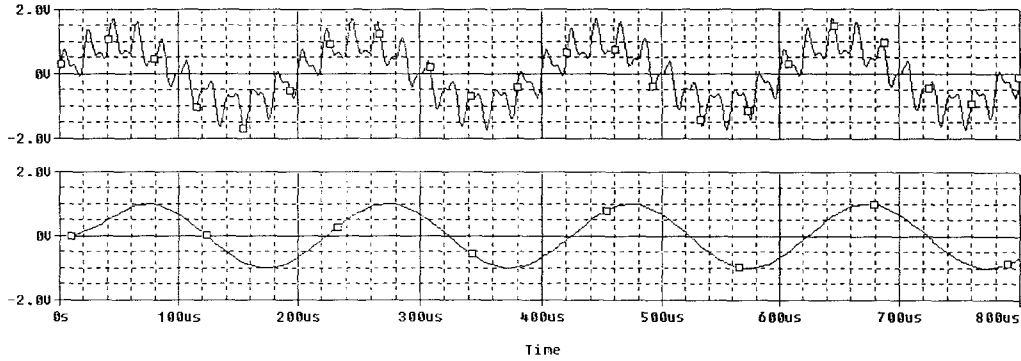
GAIN : 8 → Output : 8[Vpp] 10[KHz]



③ AAF(Anti-Aliasing filter) 테스트

Input : 1[Vpp] 5[KHz] + 0.5[Vpp] 50[KHz]
+ 0.25[Vpp] 95[KHz]

Outout : 1[Vpp] 5[KHz]



(2) LSU

(가) DAS 보드를 이용한 Signal processing module

① 구성도

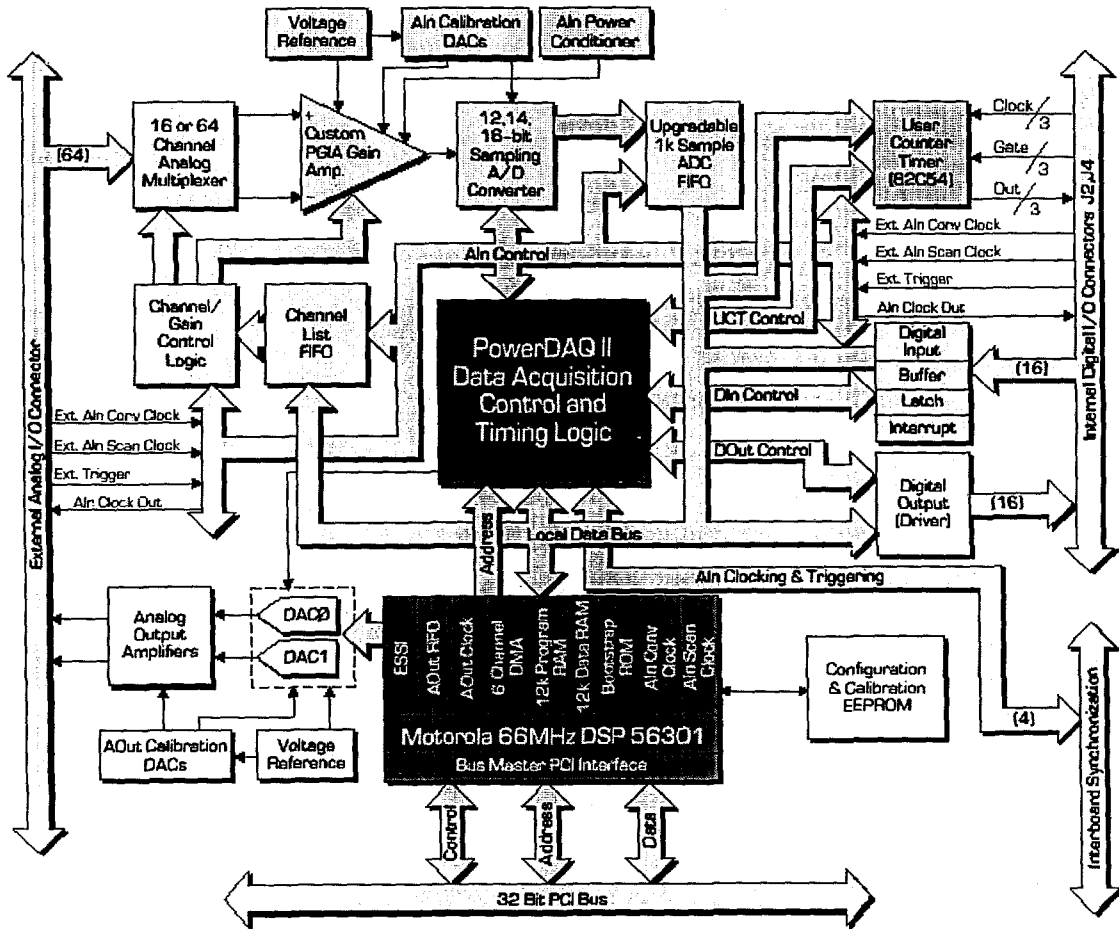


그림 3.3.33 LS-SPM 구성도

② DAS 보드 기능 실험

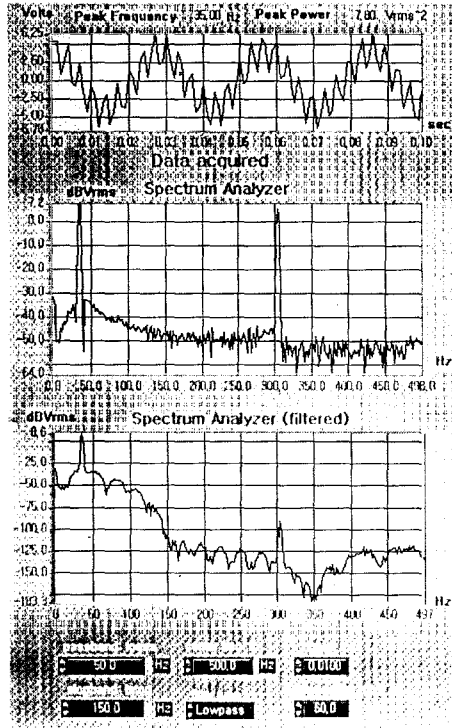
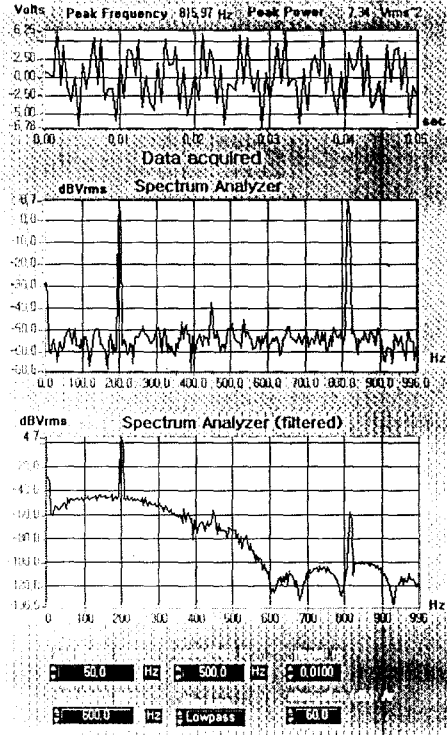
- ㉠ Analog Input 실험 :
- ㉡ Analog Output 실험 :
- ㉢ Digital Input 실험 : 입력 상태 확인
- ㉣ Digital Output 실험 : 출력 상태 확인

* LPMS LS-SPM과 출력 결과 상동

(4) Main Control Module

① Bandpass filtering 실험

㉞ FIR Filtering



② LAN 통신 실험 확인

㉞ 데이터 전송

- ㄱ. 분석 데이터 전송
- ㄴ. 시스템 파라미터 전송
- ㄷ. 경보 신호 전송

③ 경보 실험 확인

- ㄱ. 사용자 요구에 따른 경보 신호 발생

(다) LSU 설계도면

부록 1. 설계도면 참조.

나. 소프트웨어 결과물

(1) SCU

(가) 프로그램 흐름도

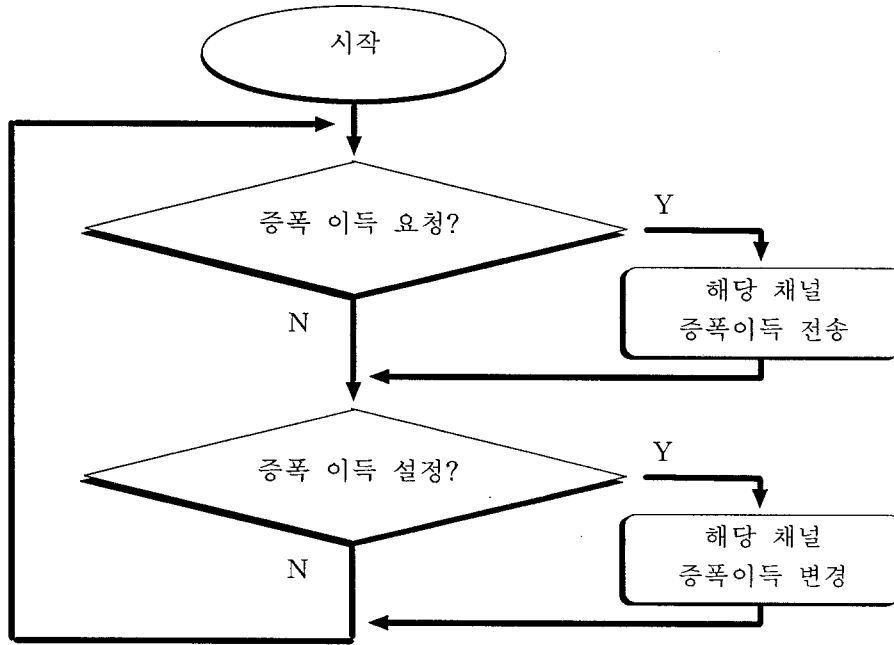
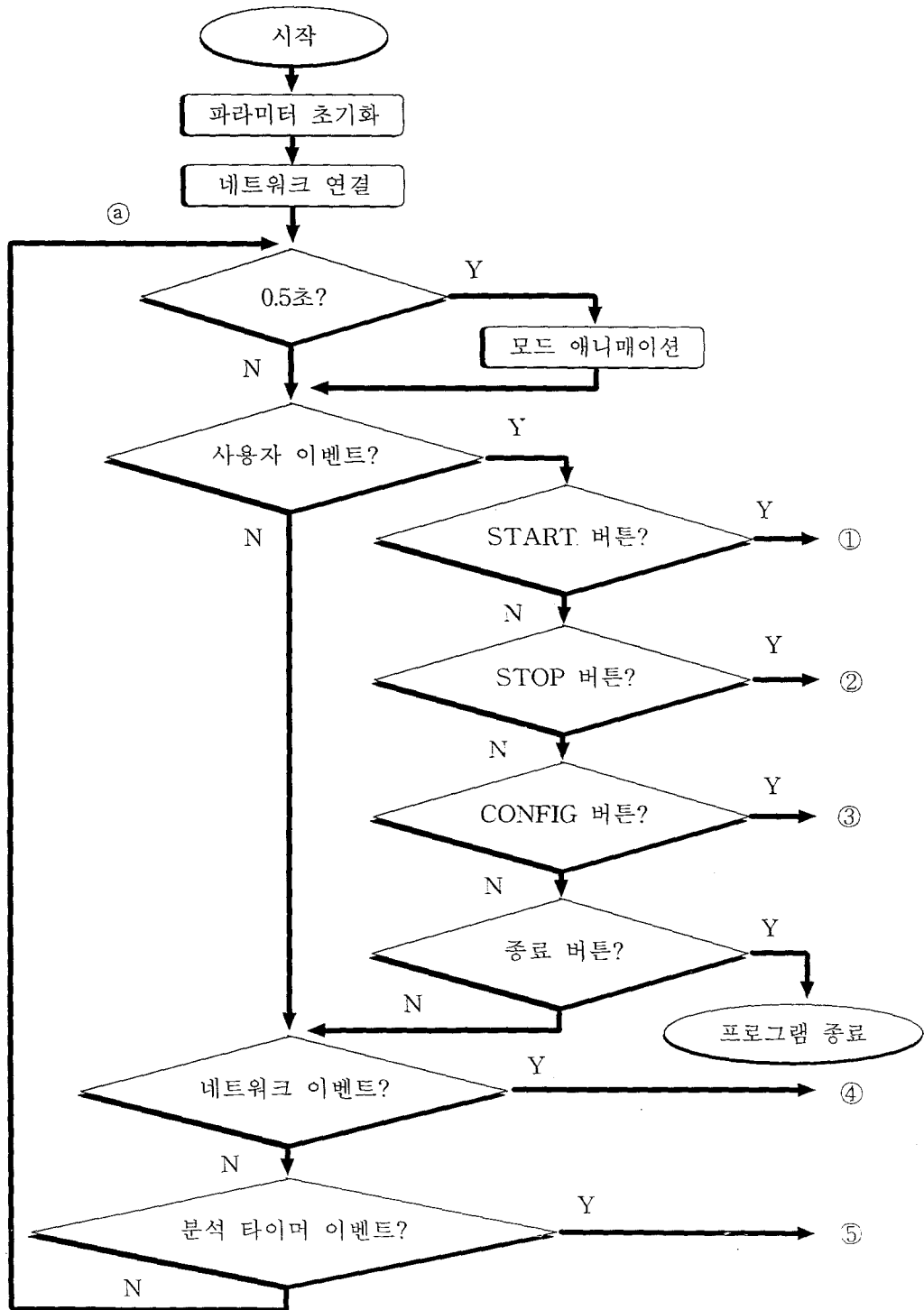
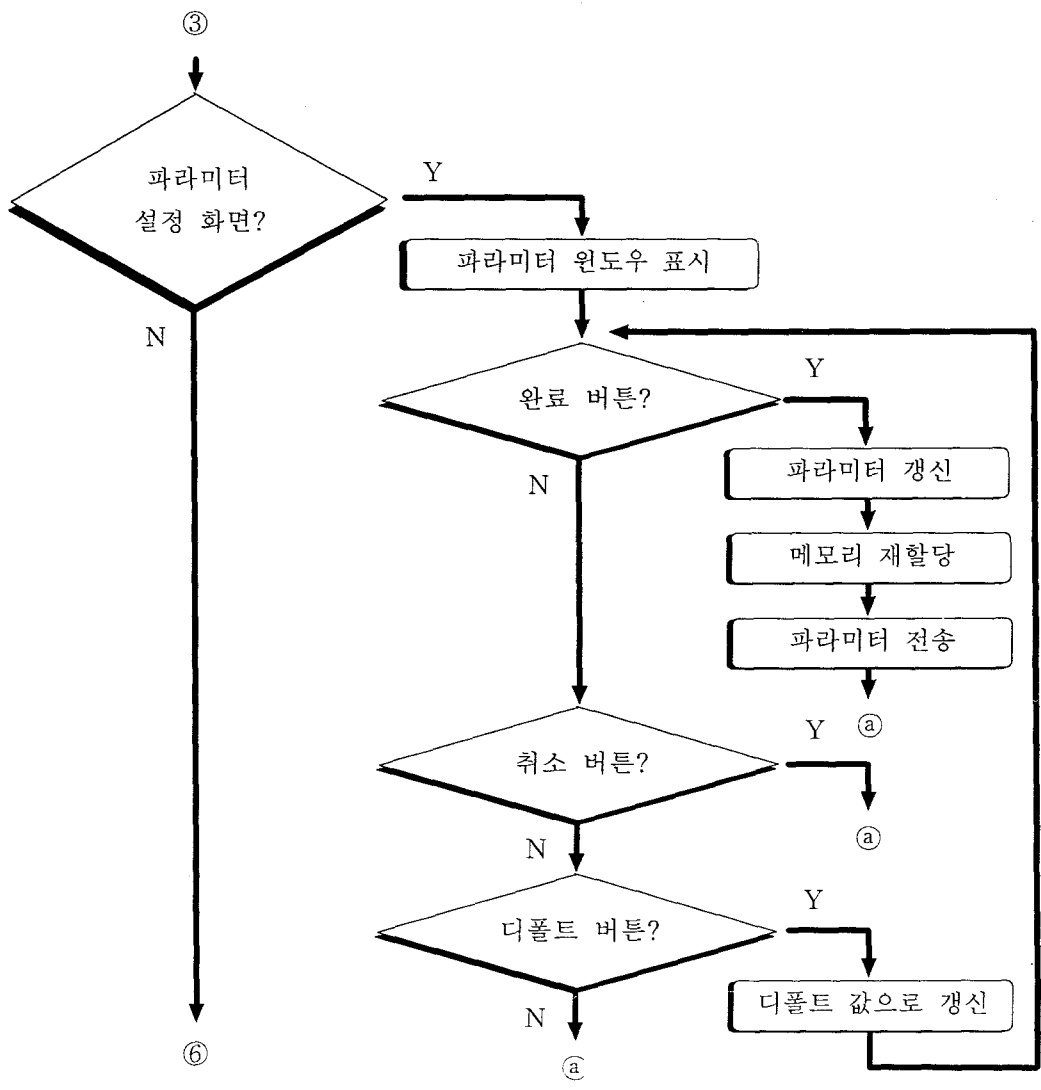
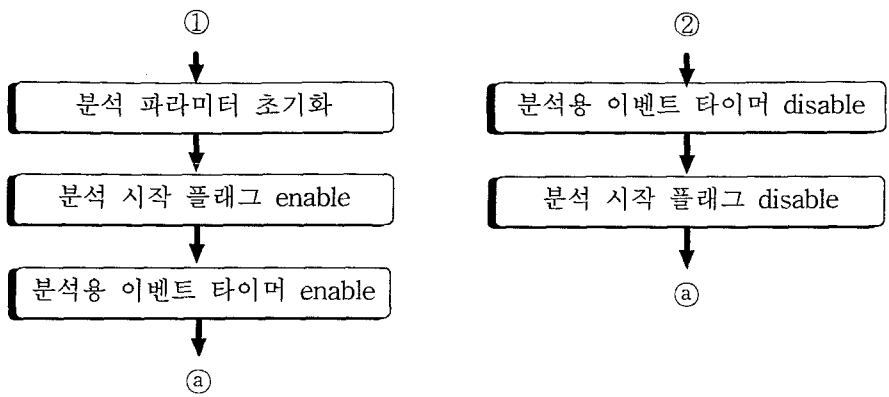


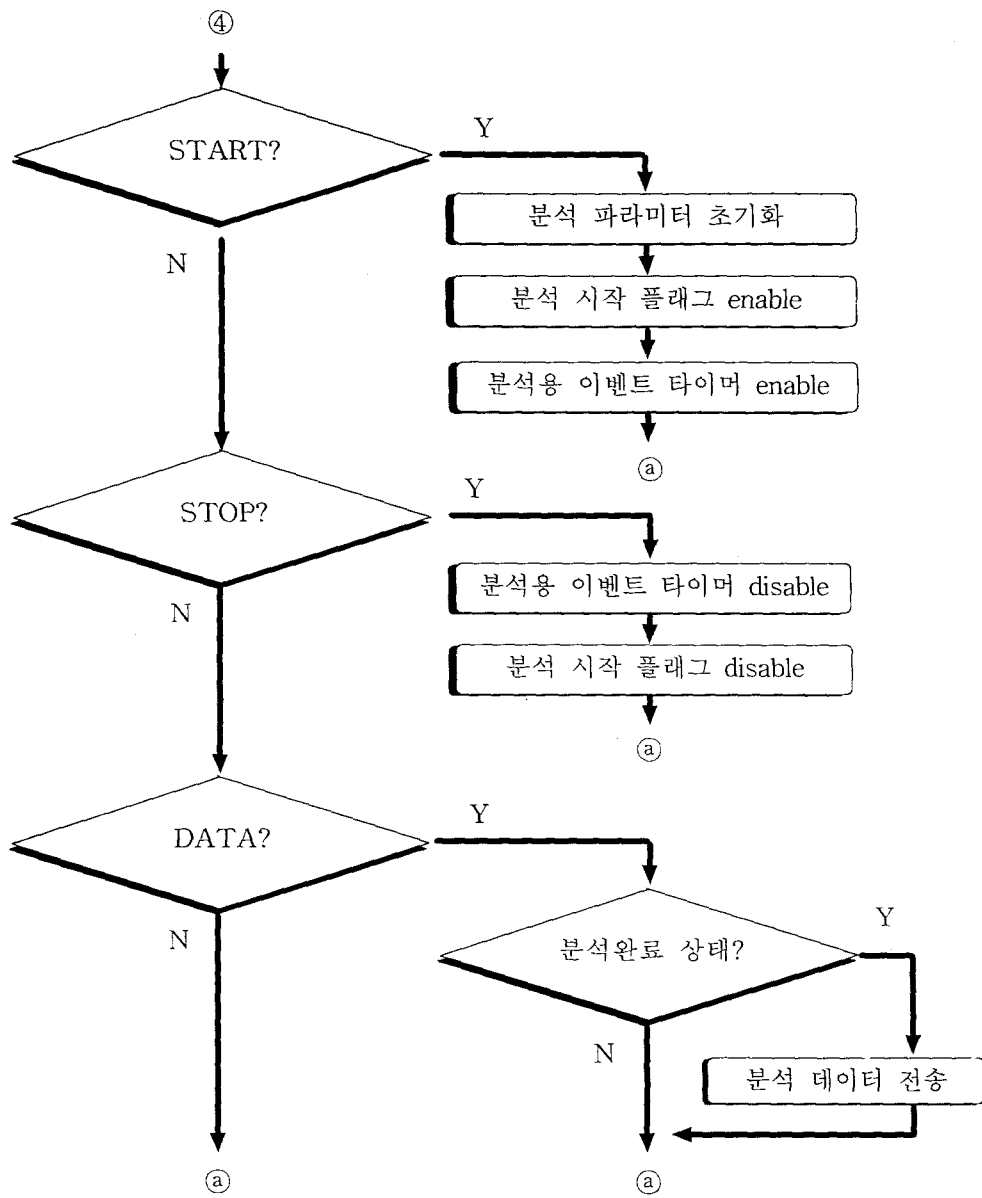
그림 3.3.34 SCU의 프로그램 흐름도

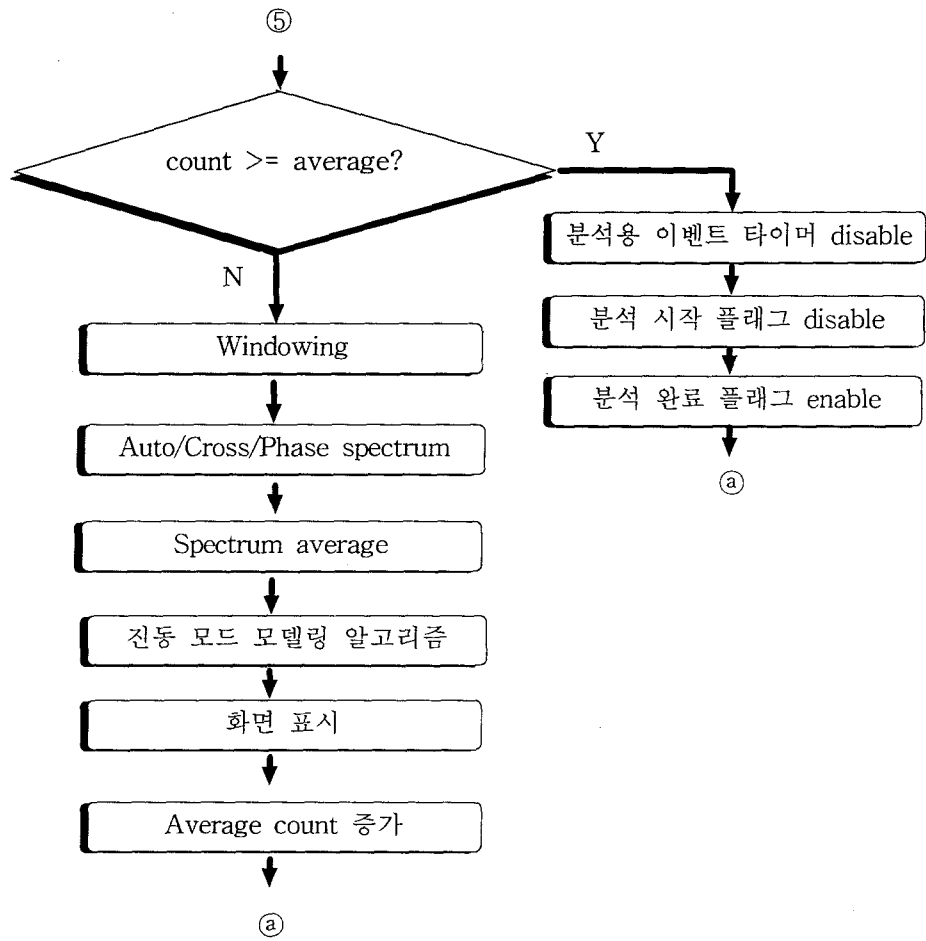
(2) LSU

(가) 프로그램 흐름도









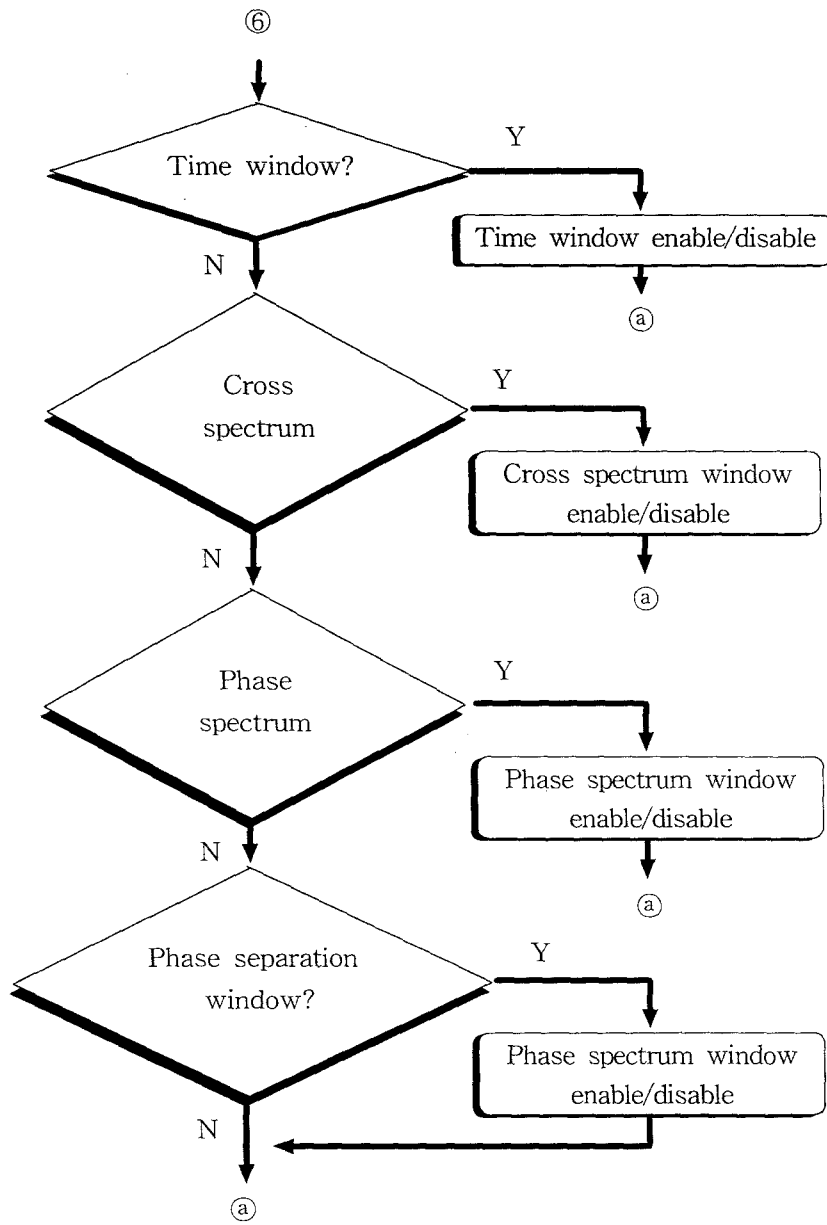


그림 3.3.35 LSU의 프로그램 흐름도

(나) 프로그램 화면

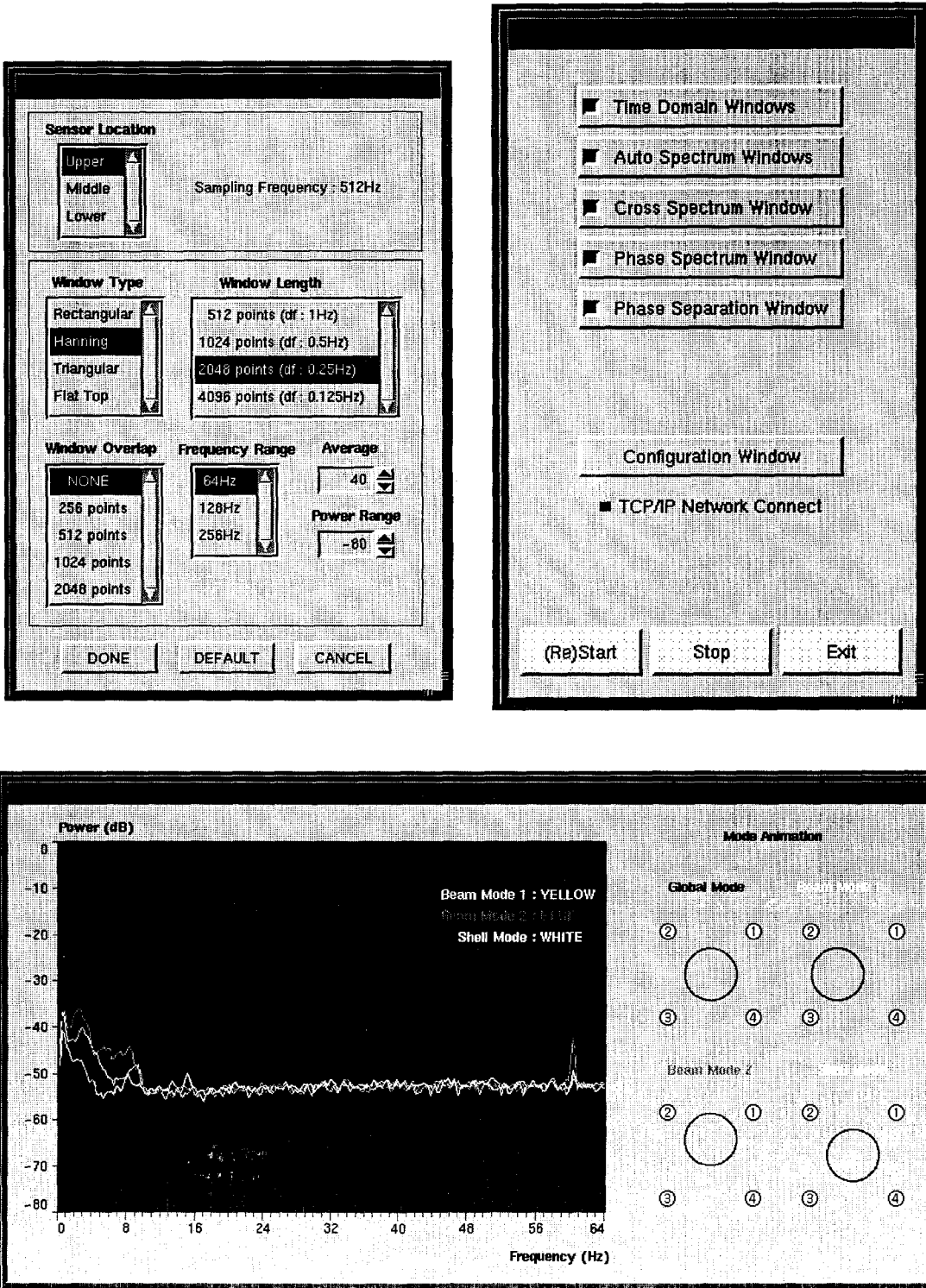
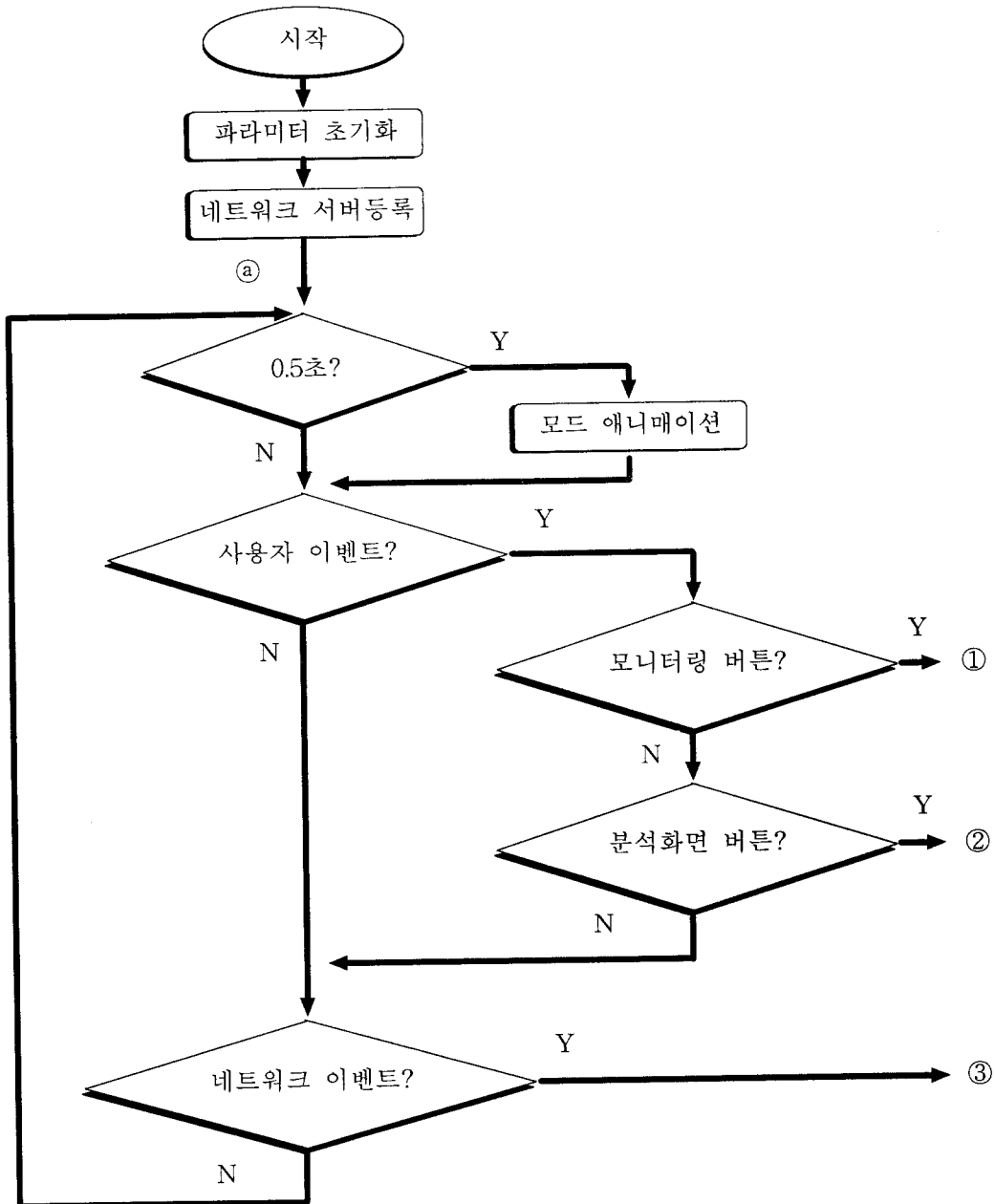
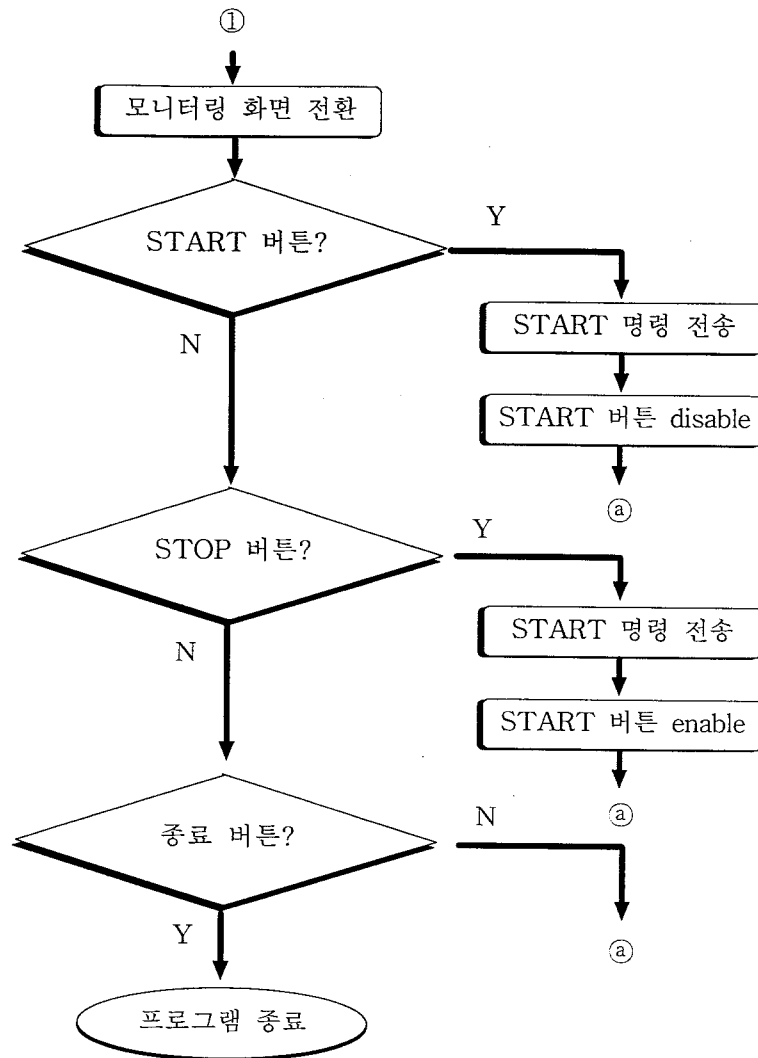


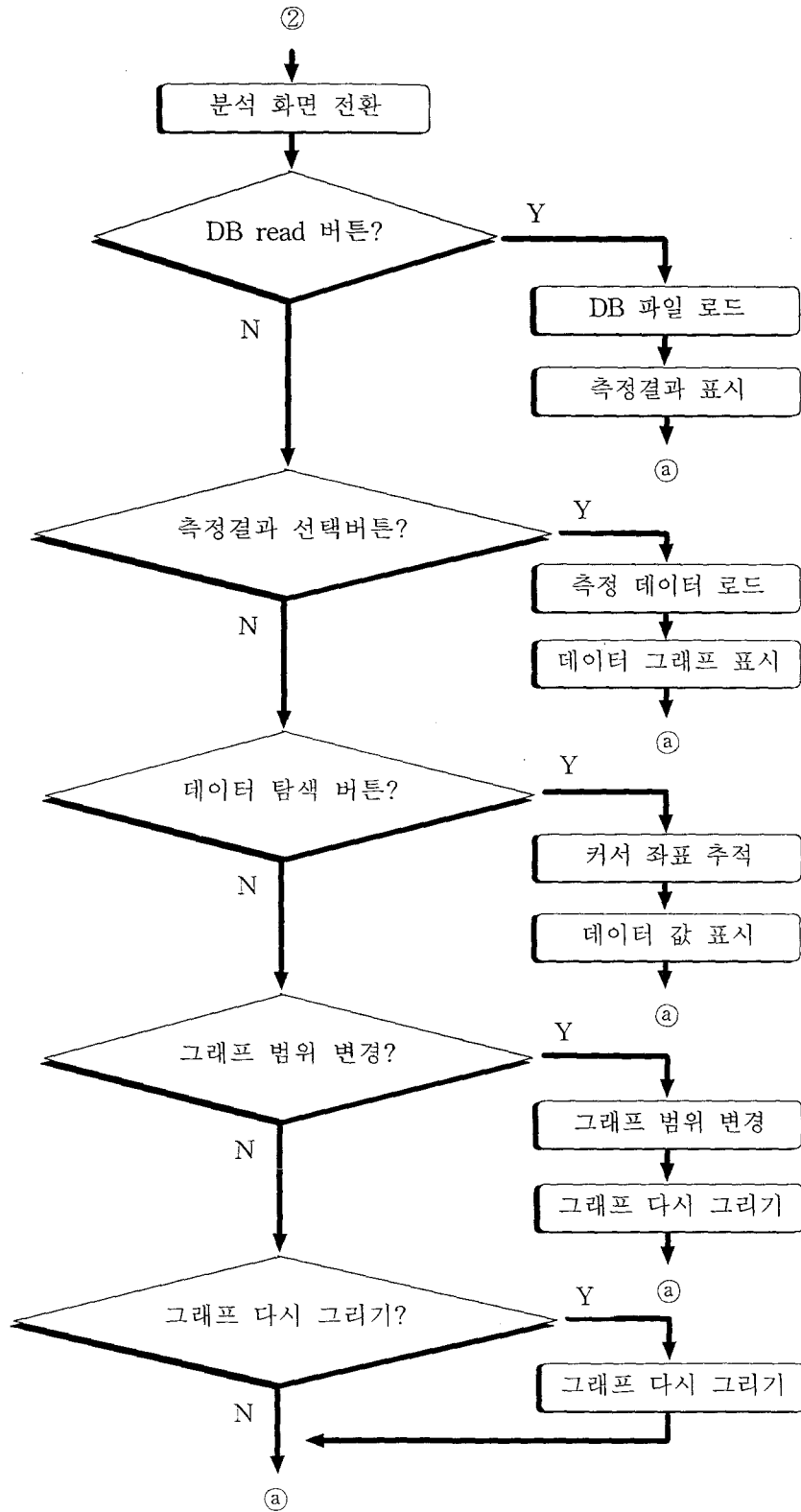
그림 3.3.36 LSU의 개발화면

(3) ACU

(가) 프로그램 흐름도







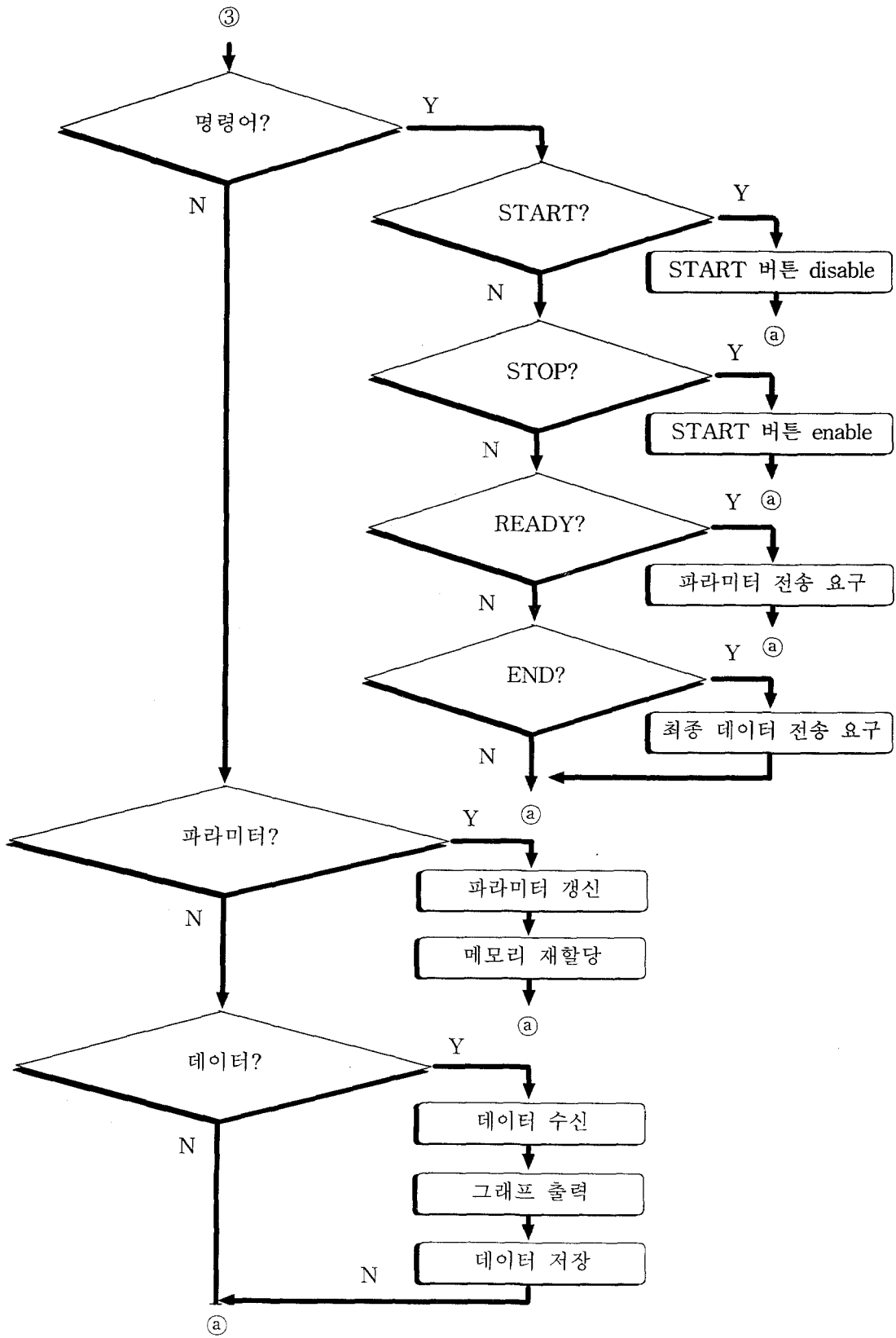


그림 3.3.37 ACU의 프로그램 흐름도

(나) 통합실험 및 모니터링 결과화면

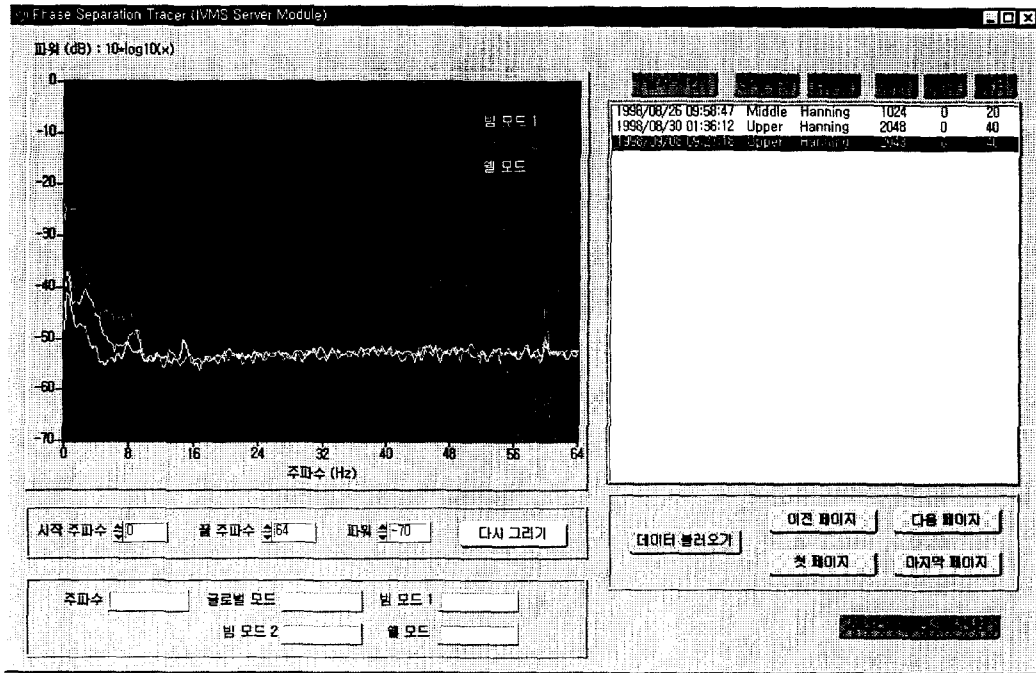


그림 3.3.38 ACU의 화면

제 3절 결 론

본 과제는 금속파편으로 인한 계통내의 구조물(핵연료, RCP, S/G 튜브 등)의 파손 및 내부구조물의 이상상태(구조물간 체결력 저하, 체결부품 파손 또는 이탈, 구조물변형 등) 등을 판단하여 사고를 예방할 수 있도록 하기 위해, 금속파편의 충격위치 및 충격질량 추정 알고리즘과 원자로 내부구조물의 진동 모드 모델링 등의 분석 활동을 수행할 수 있는 시스템을 국산화하였다. (알고리즘 개발 : 원자력 연구소)

분석 알고리즘은 원자력 연구소가 주관하여 개발하였으며, 실제 발전소 상황 및 시운전 데이터를 바탕으로 하였다. 하드웨어는 이 분석 알고리즘을 수행할 수 있는 각 시스템 모듈을 설계, 제작하여 마무리하는 것으로 계획되었다. 따라서 본 보고서는 분석 알고리즘 및 이를 수행하기 위한 하드웨어 개발 기술을 바탕으로 각 설계 요건을 설정하였으며, 개발된 전체 시스템에 대해 기술하였다. 하드웨어 출력물로는 LPMS 및 IVMS 통합 시스템의 구성물인 SCU, LSU, ACU, AMU 등이 각각 설계·제작되었고, 소프트웨어 출력물로는 충격위치 및 충격질량 추정 알고리즘, 내부구조물 진동모드 모델링 기법 등을 포함한 운영 프로그램이 개발되었다.

제4장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

제 1절 목표달성도

1. 금속파편 감시 시스템

가. 대비표

| 사업계획내용 | | 목표달성내용 | 목표 달성도 | 비고 |
|---------|-----------------------|---|--------|----|
| 1. 하드웨어 | SCU 1) 설계 및 제작 | 1) 설계 및 제작 - SCM - STIM - MCM & BM - DM - SPSM I, II - PPSM | 100 | |
| | 2) Unit Case 설계 및 제작 | 2) Unit Case 설계 및 제작 - 모듈별 설계도면 - Unit 설계 및 제작 | 100 | |
| | AMU 1) 설계 및 제작 | 1) 설계 및 제작 - ISM - PrAM - PoAM - SM - PSM | 100 | |
| | 2) Unit Case 도면 설계 | 2) Unit Case 설계 - 모듈별 설계도면 - Unit 설계 및 제작 | 100 | |
| | LSU 1) 설계 및 제작 | 1) 설계 및 제작 - SPM - MCM - DIOM - LCD | 100 | |
| | 2) Unit Case 도면설계및 제작 | 2) Unit Case 설계 - 모듈별 설계도면 - Unit 설계 및 제작 | 100 | |
| | ACU 1) 설계 및 제작 | 1) 설계 및 제작 - MCM - DBM - LCD | 100 | |
| | 2) Unit Case 설계 및 제작 | 2) Unit Case 설계 - 모듈별 설계도면 - Unit 설계 및 제작 | 100 | |

| 사업계획내용 | | 목표달성내용 | 목표 달성도 | 비고 |
|----------|----------------------------|--|------------|----|
| 2. 소프트웨어 | SCU 1) 기능 설계 2) 프로그램 | 1) 흐름도 2) 프로그램 기능 - 통신 프로토콜 (RS232C) - 증폭이득 변경 - 바이어스 전압 감시 - 시스템 테스트(I) D/O 출력 - 시스템 테스트(II) D/O 출력 | 100 100 | |
| | LSU 1) 기능 설계 2) 프로그램 | 1) 흐름도 2) 프로그램 기능 - 통신 프로토콜 (RS232C, TCP/IP) - 환경 설정 - 이벤트 검출 - 파라미터 모니터링 | 100 100 | |
| | ACU 1) 기능 설계 2) 프로그램 | 1) 흐름도 2) 프로그램 기능 - 통신 프로토콜 (TCP/IP) - 환경 설정 - 알람 판정 - 충격 위치, 질량 추정 - 분석 결과 조회 | 100 100 | |

2. 내부 구조물 감시 시스템

가. 대비표

| 사업계획내용 | | 목표달성내용 | 목표 달성도 | 비고 |
|---------|----------------------|--|--------|----|
| 1. 하드웨어 | SCU 1) 설계 및 제작 | 1) 설계 및 제작 - SCM - MCM | 100 | |
| | 2) Unit Case 설계 및 제작 | 2) Unit Case 설계 및 제작 - Unit 설계 및 제작 | 100 | |
| | LSU 1) 설계 및 제작 | 1) 설계 및 제작 - SPM - MCM - LCD | 100 | |
| | 2) Unit Case 도면 설계 | 2) Unit Case 설계 - Unit 설계 및 제작 | 100 | |

| 사업계획내용 | | 목표달성내용 | 목표 달성도 | 비고 |
|----------|----------------------------|---|--|------------|
| 2. 소프트웨어 | SCU 1) 기능 설계 2) 프로그램 | 1) 흐름도 | 100 | |
| | | 2) 프로그램 기능 - 통신 프로토콜 (RS232C) - 증폭이득 변경 | 100 | |
| | LSU 1) 기능 설계 2) 프로그램 | 1) 흐름도 | 100 | |
| | | 2) 프로그램 기능 - 통신 프로토콜 (RS232C, TCP/IP) - 환경 설정 - 진동 모드 모델링 - 모드별 주파수 특성 모니터링 | 100 | |
| | | ACU 1) 기능 설계 2) 프로그램 | 1) 흐름도 2) 프로그램 기능 - 통신 프로토콜 (TCP/IP) - 분석 결과 조회 - 설정 파라미터 조회 | 100 100 |

제 2절 대외 기여도

우리나라 NIMS 시스템은 거의 외국제품으로, 일부 국내 업체 및 연구소에서 자체 기술 확보를 위해 노력하고 있는 중이다. 본 과제에서 개발한 LPMS 및 IVMS 시스템 국산화는 이런 국내 상황과 부합하며, 향후 국내 NIMS 시스템에 대해 국산화 할 수 있는 발판을 마련하였다. 또한, 진단 알고리즘을 이용하여 산업체의 설비 진단시스템에도 활용가능 할 것으로 예상된다.

제5장 연구개발 결과의 활용계획

제1절 연구개발 결과의 활용계획

1. 국내 원자력발전소에 적용

본 연구과제의 목표는 금속파편 충격신호를 이용한 충격위치 및 충격질량 추정기법 개발 및 원자로 내부구조물의 진동모드 변화 진단기법 등을 바탕으로한 LPMS, IVMS 진단 시스템 일체를 개발하였다.

현재의 감시 시스템은 NIMS 계통의 이상상태에 대한 검출, 저장, 분석 등 일련의 작업이 컴퓨터에 의해 자동으로 수행되어 발생된 금속파편의 위치 및 특성들에 대한 정보를 다양하게 파악할 수 있는 시스템이 요구되고 있다.

따라서 기존 시스템에 비해 우수한 하드웨어 및 분석 알고리즘이 탑재되어 있는 이번 개발 시스템을, 발전소 현장에서 이미 사용하고 있는 제품을 대체하거나 보조 설비로 활용할 수 있도록 할 예정이다.

또한, NIMS 중 이번에 개발되지 못한 나머지 부분인 ALMS, RCPVMS도 자체 개발하여 완전히 국산화된 NIMS 계통을 구축할 계획이다.

2. 국내 진단관련 시스템에 적용

최근 산업체 전반에 걸쳐 설비진단 시스템의 중요성이 부각되고 있으며, 관련 업체들도 점차적으로 설비진단 시스템을 확충·투자하려고 노력하고 있다.

따라서 본 과제의 수행물인 LPMS 및 IVMS 제품을 이런 산업체 현장에 적용시킨다면, 현재의 설비진단 시스템의 기능을 상당히 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

또한 당사는 이미 일본의 KAC(川鐵 Adantech Corp)사와 함께 국내 제철, 석유·화학, 전력, 가스 및 자동차 산업 등에 설비진단 시스템(Condition Monitoring System : CMS) 사업을 하고 있으므로, 이번 성과이전 사업으로 개발한 LPMS 및 IVMS 제품을 CMS 설비진단 시스템 사업에 적용 가능하며, 이를 구체화하기 위해 현장 특성 분석 및 활용방안 등을 적극 검토 중에 있다.

표 3.3.1 설비진단 시스템(CMS)의 산업별 적용 분야

| 산업분야 | 적용설비 | 대상업체 | 비고 |
|-------------|--|-------------------------------|----|
| 1. 제철 | <ul style="list-style-type: none"> - 소결 설비 - 고로 설비 - 제강 설비 - 연속 주조 설비 - 열간 압연 설비 - 냉간 압연 설비 - 연속 소둔 설비 - 전기도금 설비 - 봉간, 선재 압연 설비 | POSCO 강원산업 인천제철 동국제강 | |
| 2. 석유 화학 | <ul style="list-style-type: none"> - 열매체 순환 설비(펌프, 콤퓨레셔) - 유동체 순환 설비 - 교반기 - 원심 분리기 - 발전설비(터빈, 콤퓨레셔) | S·K 쌍용정유 LG Caltex정유 | |
| 3. 시멘트 | <ul style="list-style-type: none"> - 원료 분쇄 설비 - 소성 설비 - 콘베어 류 | 쌍용양회 아세아시멘트 | |
| 4. 자동차 | <ul style="list-style-type: none"> - 프레스 설비 - 용접 설비 - 도장 설비 - 기계가공 설비 | 현대자동차 대우자동차 기아 자동차 | |
| 5. 전력 가스 | <ul style="list-style-type: none"> - 원자력 발전설비의 보조 설비 - 화력 발전설비의 보조 설비 - 양수식 발전설비 | 한국전력 한국가스공사 한국송유관공사 | |
| 6. 반도체 | <ul style="list-style-type: none"> - 순수 설비 - 공조 설비 | 삼성 반도체 페어차일드 | |
| 7. 기타 | <ul style="list-style-type: none"> - 알루미늄 열간 압연 설비 - 알루미늄 냉간 압연 설비 - 펄프 제조 설비 | 대한 알루미늄 한솔제지 | |

3. 추가연구 필요성 및 내용

당사는 원자력연구소와 본 과제를 통해 제품 국산화에 있어서 진단 알고리즘 개발과 하드웨어 설계 및 제작을 마무리하였다.

이에 본 설비를 실제 발전소 현장에 설치하고 보조설비로 운영하여, 지금까지 개발된 진단 분석 프로그램을 계속 연구하여 정확한 분석정보를 발전소 운영자에게 제공하려고 한다.

| 개 발 제 품 | 내 용 | 비 고 |
|--------------|--|-----|
| LPMS IVMS | <ul style="list-style-type: none"> - 발전소 별 현장 데이터 수집 - 신뢰도 확인 및 검증을 위해 실제발전소 현장시험 - 충격데이터 및 현장정보의 DB화로 정확한 진단을 위한 프로그램 보완 | |

참고문헌

제 1 장

- [1] Combustion Engineering. Inc., "Instruction Manual; Operation - Maintenance Instructions for NSSS Integrity Monitoring System," Document No. 91691-ICE-15123.
- [2] 울진 3 & 4 호기 원자력 발전소 NIMS 신호 분석 및 진단, KOPEC /NED/TR/99-001. 1999. 2월.
- [3] EPRI. NP-5743, Loose Parts Monitoring Systems, Project No. 2642-1, Mar. 1988.
- [4] ASME-OM-SG-Part 12. Loose Part Monitoring in Light-Water Reactor Power Plants. 1997.
- [5] ANSI/ASME Operation and Maintenance Part 5-1981, Inservice Monitoring of Core Support Barrel Axial Preload in PWR.
- [6] 디지털 감시기술 개발, KAERI/RR-1705/96, 최종보고서, 한국원자력연구소, 1997.

제 2 장

- [1] "원자로 잡음해석을 이용한 원전 진단 기술에 관한 연구", KINS/AR-024, Dec. 1990.
- [2] J.C Benas, J.P.Cotte, D. Verney, "Experience Feedback on Loose Part Monitoring in France's 45 PWR's Particular Cases In the Secondary of a SG and in the Vessel", SMORN VII. 10.9, 1995.
- [3] Combustion Engineering. Inc., "Instruction Manual; Operation - Maintenance Instructions for NSSS Integrity Monitoring System," Document No. 91691-ICE-15123.
- [4] Siemens Monitoring and Diagnostic Systems, Siemens Seoul Presentation 자료, 1999 10. 28.
- [5] Kunze, Bechtold, " The New Loose Parts Monitoring System KÜS 95", SMORN VII, 10.9, 1995.
- [6] G. Castanie, et. al. "Recent Experiences in Loose Parts Monitoring of

Light Water Reactors," SMORN V Meeting, Munich, FRG, Oct. 1987.

[7] 이용호, "원전 금속파편 감시설비 개발" '97 추계원자력 학술 발표회 논문집, pp 284- 289, 1997.

[8] Thie, Power Reactor Noise, America Nuclear Society, 1981.

[9] B. T. Lubin, "Analysis of Internals Vibration Monitoring and Loose Part Monitoring Systems Data Related to the St. Lucie 1 Thermal Shield Failure," Reactor Noise-SWORN VI, Progress in Nuclear Energy, Vol. 21, 1988

[10] R. C. Kryter et al., "US Experience with In-Service Monitoring of Core Barrel Motion in PWRs Using Ex-Core Neutron Detectors," Proc. Int. Conf. Vibration in Nuclear Plants, BNES, London, 1978.

[11] D. N. Fry, "Experience in Reactor Malfunction Diagnosis Using On-line Noise Analysis." Nuclear Technology, Vol. 10. March 1971.

[12] F. J. Sweeney, "Utility Guidelines for Reactor Noise Analysis," EPRI NP-4970, 1987.

[13] W. T. Bogard, S. S. Palusamy and W. Ciaramitaro, "Apply Automation to Diagnostics, Predictive Maintenance in Plants." Power, May 1988.

[14] H. M. Hashemian, "Experience with a PC-Based System for Noise and DC Signal Analysis in PWR's," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[15] D. Wach, G. Kosaly, "Investigation of the Joint Effect of Local and Global Driving Sources in Incore Neutron Noise Measurements." ATKE, Vol. 24, 1974.

[16] D. Stegemann and J. Runkel, "Experience with Vibration Monitoring in German PWRs Obrigheim, Grohnde, Brokdorf and Emsland," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[17] J. Fiedler et al., "Vibration Measurements in the Argentine CANDU Reactor Embalse by Use of Neutron Noise Analysis," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[18] V. Bauernfeind, "Vibration and Pressure signals as Sources of

Information for an On-line Vibration monitoring System in PER Power Plants," Nucl. Engr. Design, Vol. 40, pp. 403, 1977.

[19] B. Olma, Y. Ding and R. Enders, "Operational Experiences with Automated Acoustics Burst Classification by Neural Networks," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[21] B. Bechtold, W. Knoblach and U. Kunze, "The New Loose Part Monitoring System KUS 95," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[22] G. Hessel, W. Schmitt and F-P. Weiss, "Acoustic Leak Monitoring with Neural Networks at Complicated Structures," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[22] L. Cleeman, F. Elfinger, " Acoustic Loose Part Monitoring System," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[23] L. Cai et al, "Separation between Vibration Modes in Internal Structure Monitoring Domain,"SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[24] F. Loisy, J. L. Germain and L. Chauvel, " Primary Circuit Leak Detection: An Application on PWR Vessel Head Penetrations," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[25] J. M. Favennec, G. Jossinet and p. Thomas, "Primary Flow and Temperature Measurements in PWRs using Non-invasive Techniques," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[26] G. Bignan, C. Lhuillier and A. Mariani, "New Development in Nuclear and Acoustic Instrumentation for the Vessel Water Level Monitoring in Accidental Situations," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[27] A. Trenty, "Operational Feedback on Internal Structure Vibration in 54 Franch PWRs during 300 Fuel Cycles," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

[28] J. C. Benas, J. P. Cotte and D. Verney, "Operational Feedback on Loose Part Detection in the French 54 PWR's: Particular Cases in the Secondary Part of a Steam Generator and in the Vessel," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.

- [29] A. Jousselein et al, "Monitoring and Aid to Diagnosis of French PWRs," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.
- [30] Y. Fujita and H. Ozaki, "Neutron Noise Monitoring of Reactor Core Internal Vibrations at PWRs In Japan," Progress in Nuclear Energy, Vo. 9, pp. 423-436, 1982.
- [31] J. Eklund et al., "Early Fault Detection and Diagnosis on Finnish NPP," Progress in Nuclear Energy, Vol. 21, 1988.
- [32] R. Baeyens et al., "Belgian Experience in Noise Monitoring of NPP," Progress in Nuclear Energy, Vol. 21 1988.
- [33] T. Umeda et al., "Experience of On-line Surveillance at Onagawa-1 BWR Plant," Progress in Nuclear Energy, Vol. 21, 1988.
- [34] J. Kott et al., "Systems of Operational Diagnostics on Czechoslovak NPP," Progress in Nuclear Energy, Vol. 21, 1988.
- [35] G. Por, P. Kantor and I. Sokolov, "Experiences with a Reactor Noise Diagnostics System for VVER-1000 MWe Type Russian Reactors." SMORN-VII, Avignon, France, 1995.
- [36] O. Glockler and M. Tulett, "Development and Application of Noise Analysis in CANDU Reactors: Ontario Hydro's Experience gained in the Past Three years," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.
- [37] S. Yoshikawa, et al., "Nuclear Power Plant Monitoring and Fault Diagnosis Methods based on the Artificial Intelligence Technique," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.
- [38] A. Peter, I. Jozsa and P. Szabo, "Continuous Leak Monitoring and Long Term Experiences at PWR NPP, Hungary," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.
- [39] DIN 25475 Part 1, Acoustic Monitoring for Loose Parts Detection: Characteristics, Design and Operational Procedures.
- [40] 이삼래 외, NSSS 진동/누설 감시 장치 개발(I): 중성자잡음신호를 이용한 원자로 내부구조물 진동감시장치개발, 한전기술연구원 최종보고서 (KRC-92N-J05), 1994.

- [41] Y. S. Joo et al., "Development of Reactor Internals Vibration Monitoring System (RIVMOS) using Excore Neutron Noise," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.
- [42] 김태룡 외, 중성자신호를 이용한 원자로 내부구조물 진단기술에 관한 연구, 한국원자력연구소 연구보고서(KAERI/RR-1386/93), 1994.
- [43] T. R. Kim et al., "Korean Experience in Neutron Noise Monitoring of NPP," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.
- [44] S. H. Jung et al., "Development of Fault Diagnostic PC-Based Software for Reactor Internals," SMORN-VII, Avignon, France, 1995.
- [45] 박진호 외, 원자로 잡음을 이용한 결함진단 기술개발, 한국원자력연구소 연구보고서(KAERI/RR-1908/98), 1999.

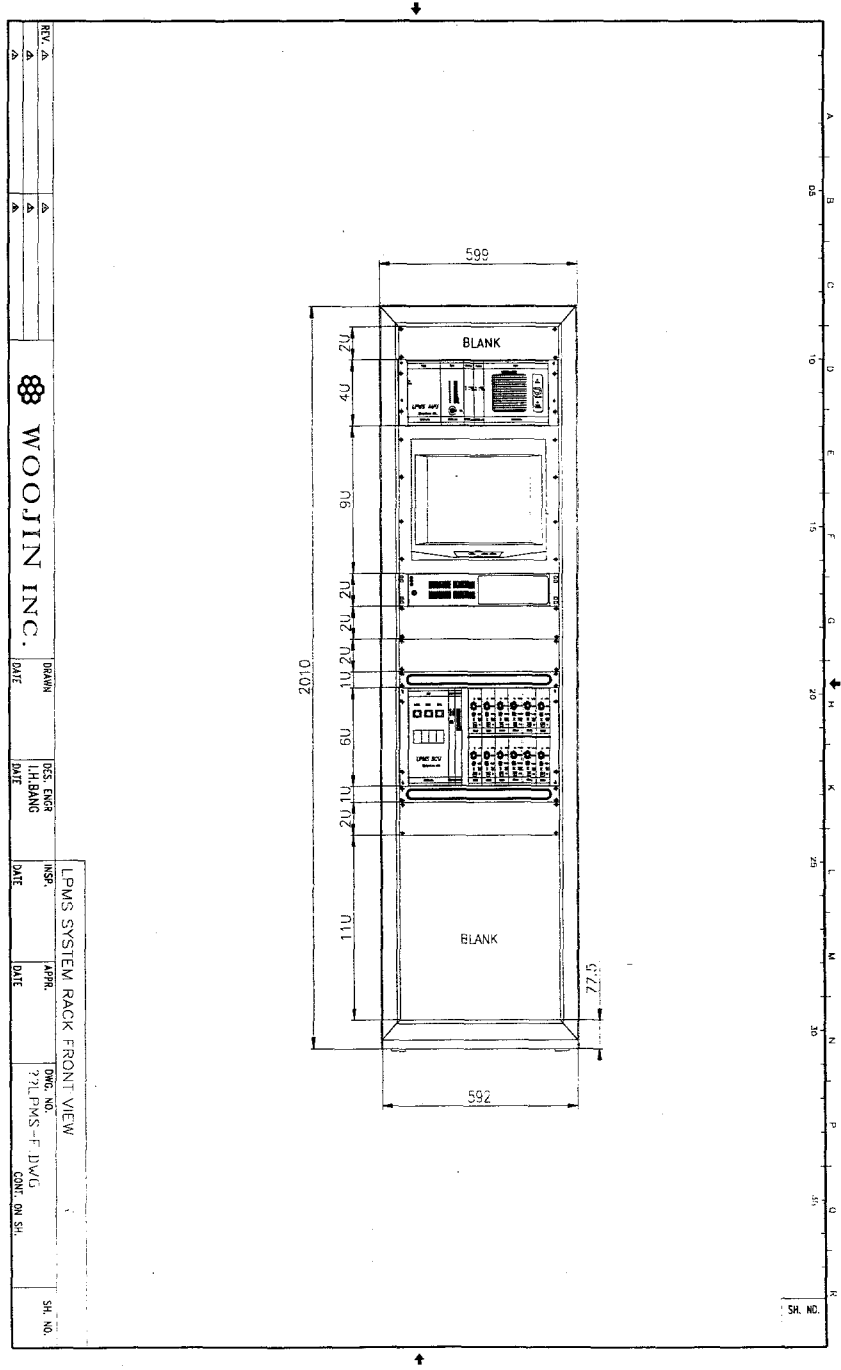
제 3 장

- [1] 고압구조물의 이상신호 발생위치 검출기술 개발, KAERI/CM-102/94, 위탁과제 1차년도 연차보고서, 한국원자력연구소, 1995.
- [2] 디지털 감시기술 개발, KAERI/RR-1705/96, 최종보고서, 한국원자력연구소, 1997.
- [3] Thie, Power Reactor Noise, America Nuclear Society, 1981.
- [4] EPRI. NP-5743, Loose Parts Monitoring Systems, Project No. 2642-1, Mar. 1988.
- [5] D. E. Newland, An Introduction to Random Vibrations, Spectral & Wavelet Analysis, Longman Scientific & tech., 3rd ed., 1993.
- [6] F. J. Sweeney, "Utility Guidelines for Reactor Noise Analysis," EPRI NP-4970, 1987.
- [7] 김태룡 외, 원자로 잡음을 이용한 결함진단 기술개발, 한국원자력연구소 연구보고서(KAERI/RR-1659/95), 1996.
- [8] 박진호 외, 원자로 잡음을 이용한 결함진단 기술개발, 한국원자력연구소 연구보고서(KAERI/RR-1908/98), 1999.

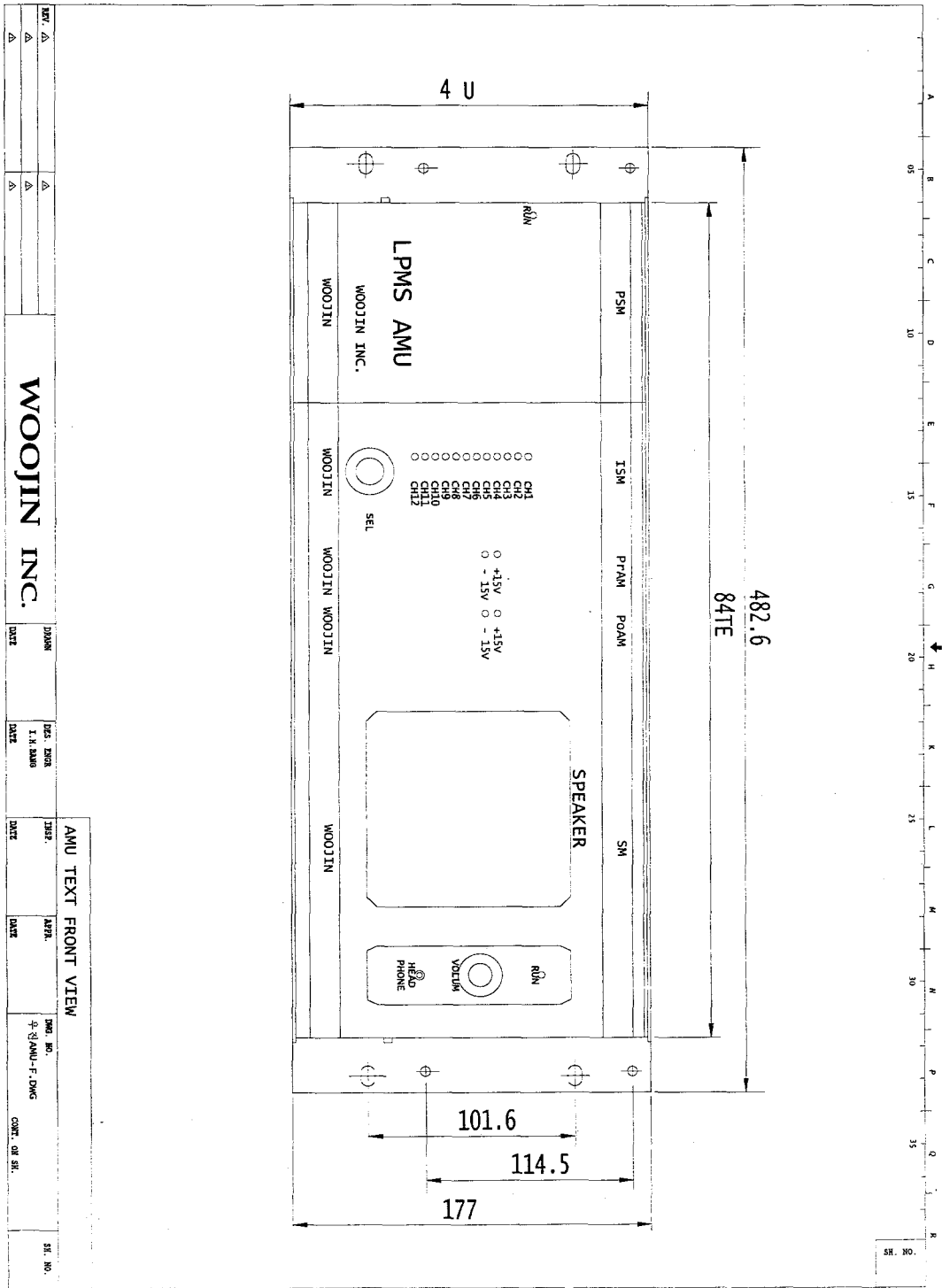
부록

1. 설계도면

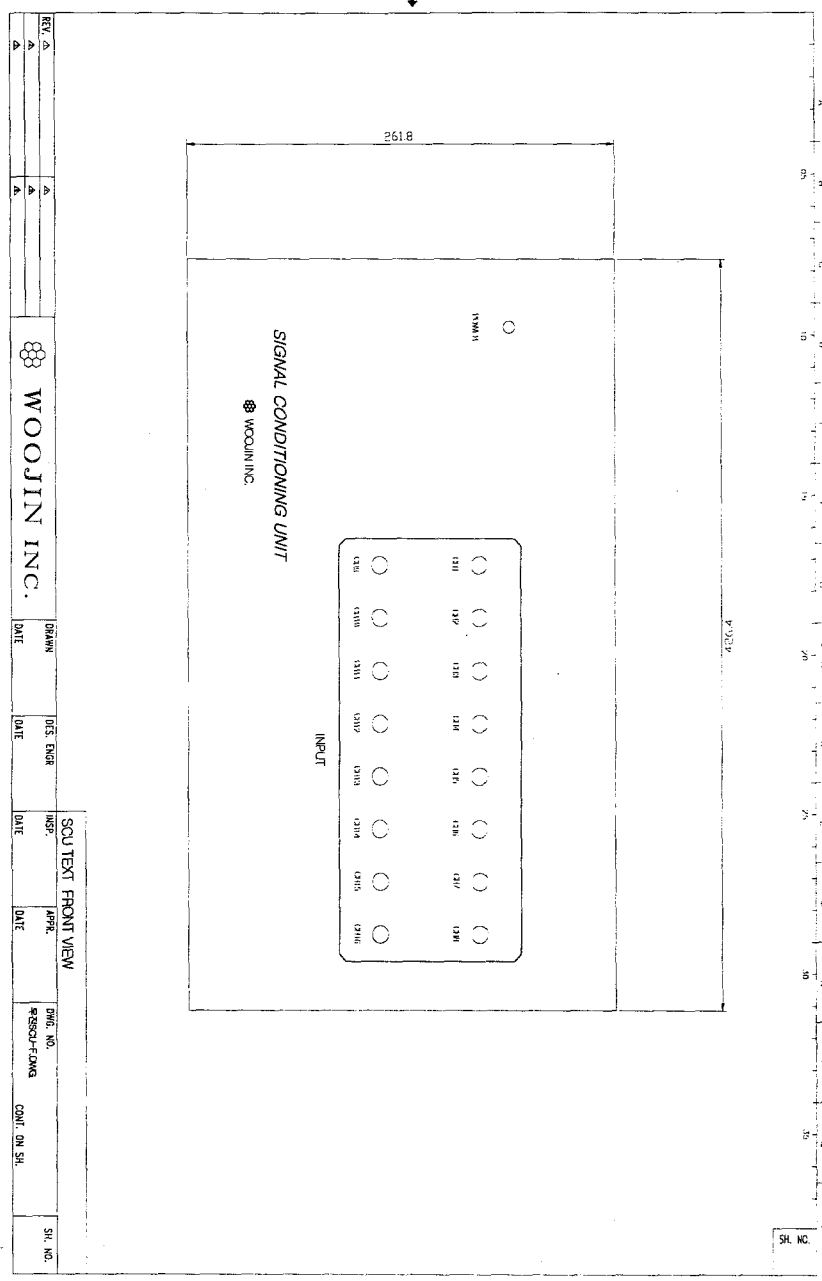
가. LPMS 시스템 설계도면



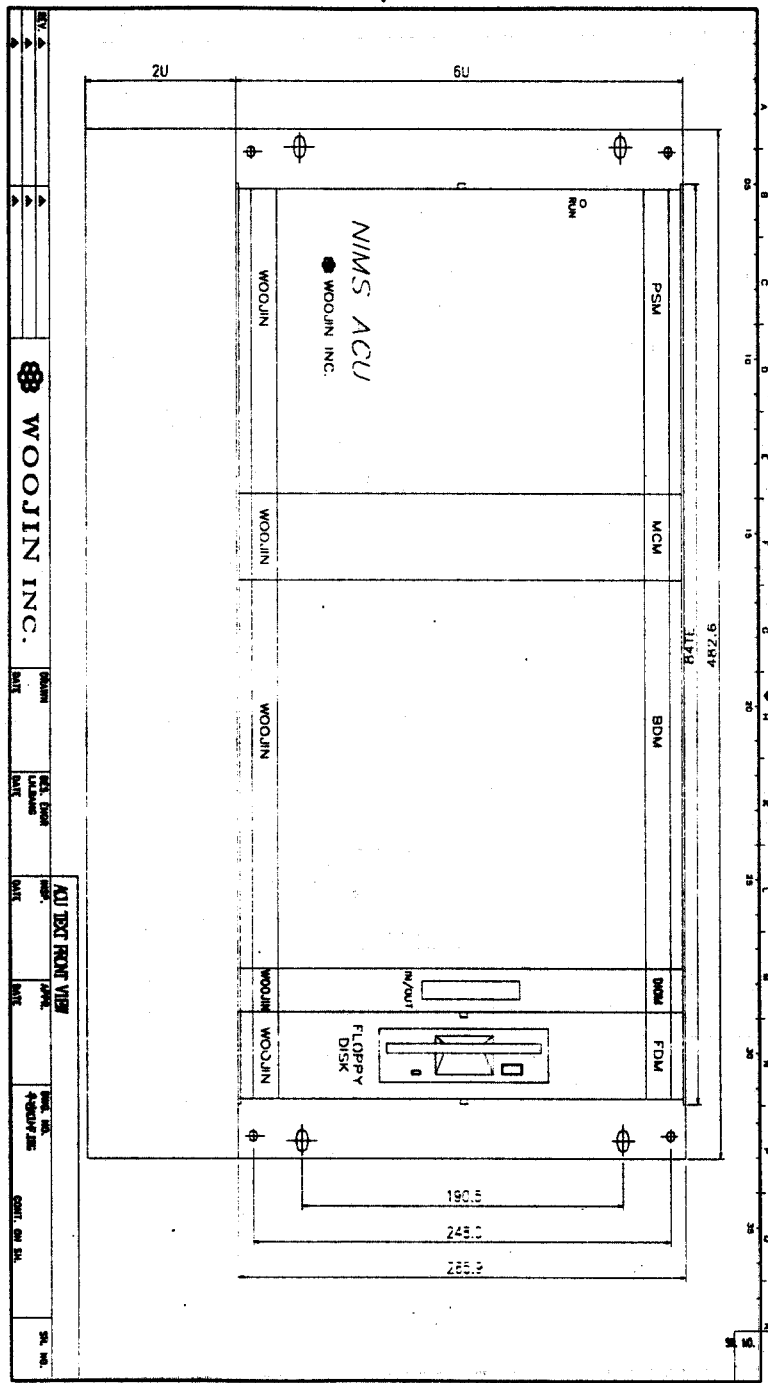
(2) AMU 설계도면



(1) SCU 설계도면



(1) ACU 설계도면

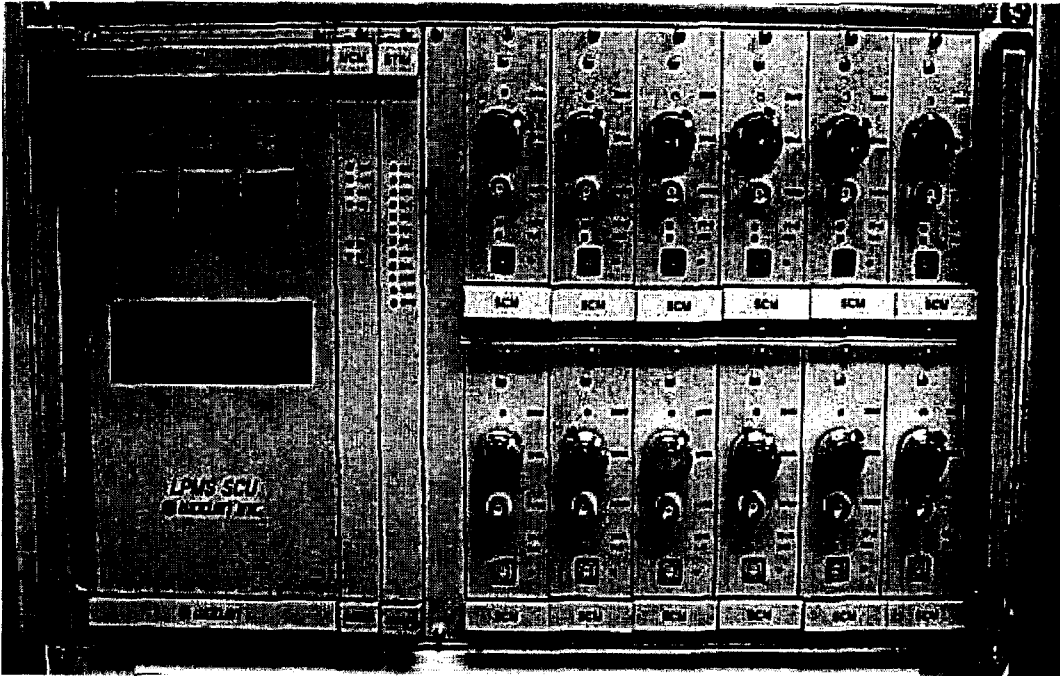


| | | | |
|----------------------------|------|----------|--------------|
| REV. NO. | DATE | BY | CHKD. |
| | | | |
| WOJIN INC. | | | |
| DESIGN | DATE | REV. NO. | DATE |
| | | | |
| ALL TEST FRONT VIEW | | | |
| TEST NO. | DATE | TESTER | CONF. ON SL. |
| | | | |
| SR. NO. | | | |

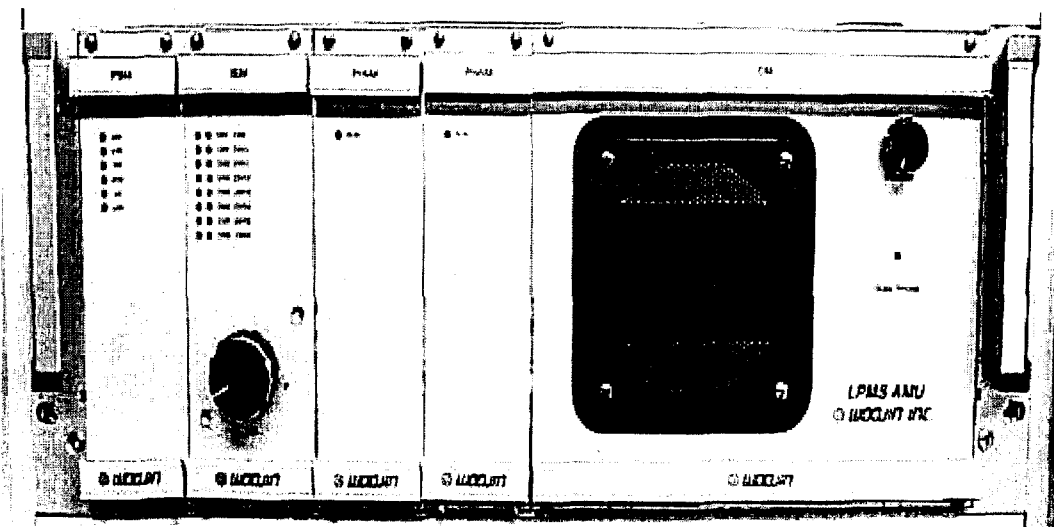
2. 각 Unit별 실물 사진

가. LPMS

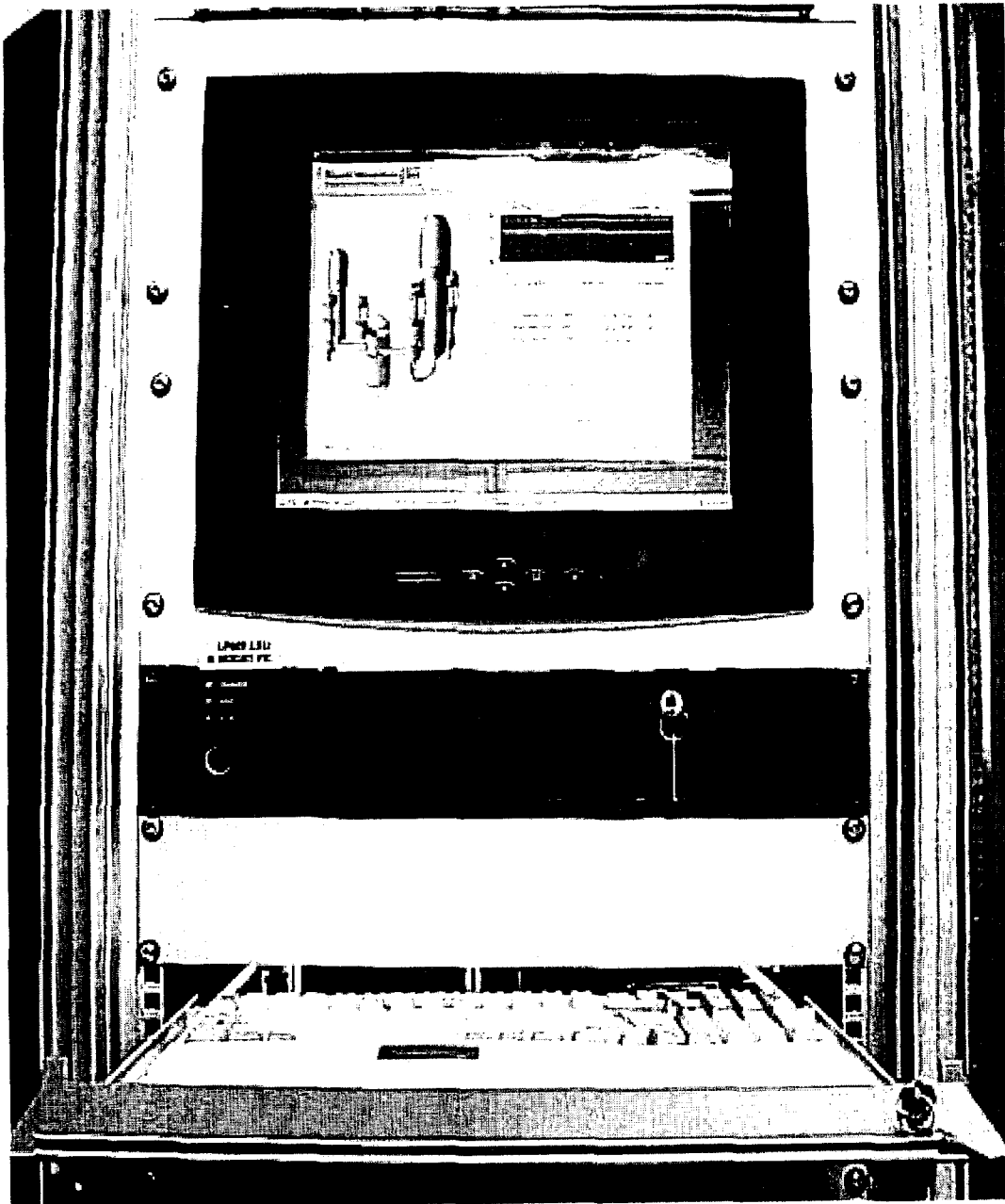
(1) SCU



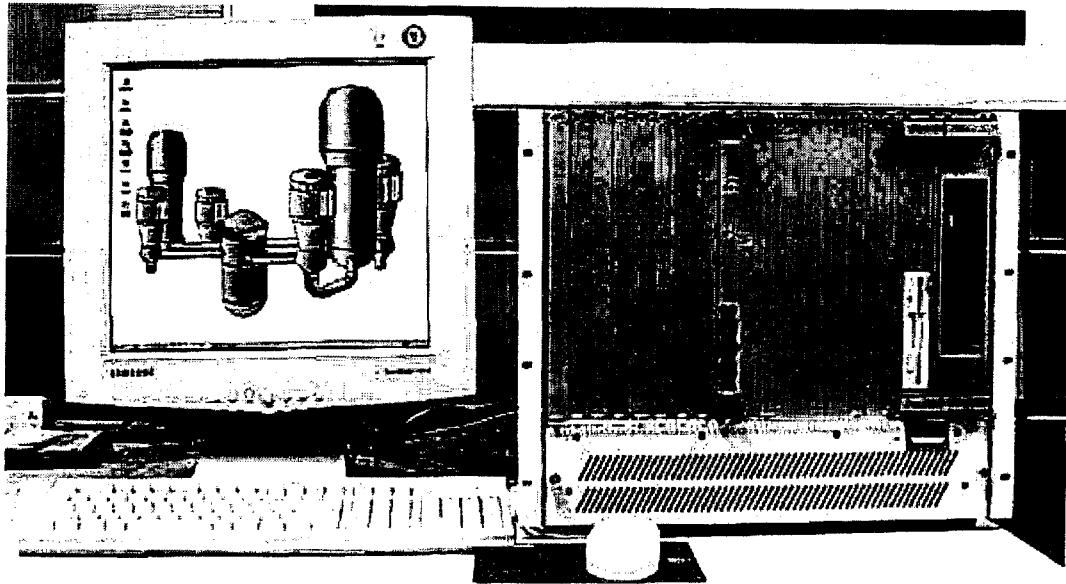
(2) AMU



(3) LSU

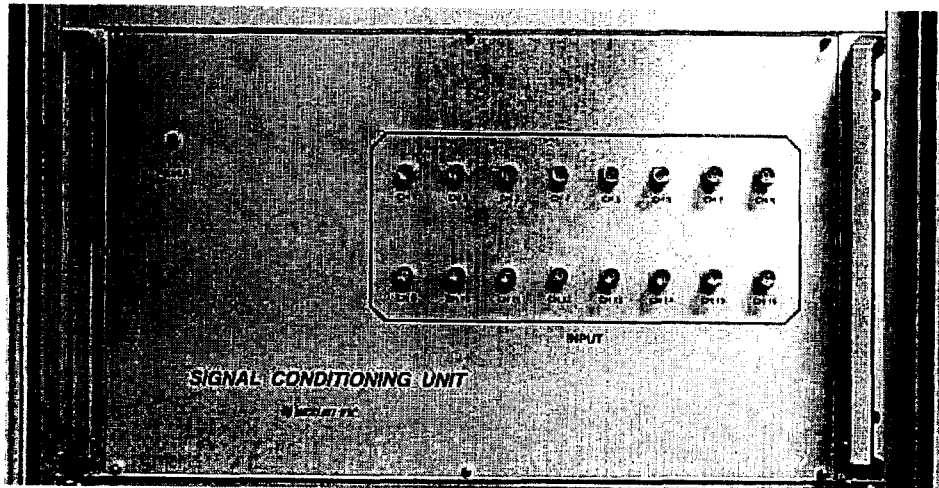


(2) ACU

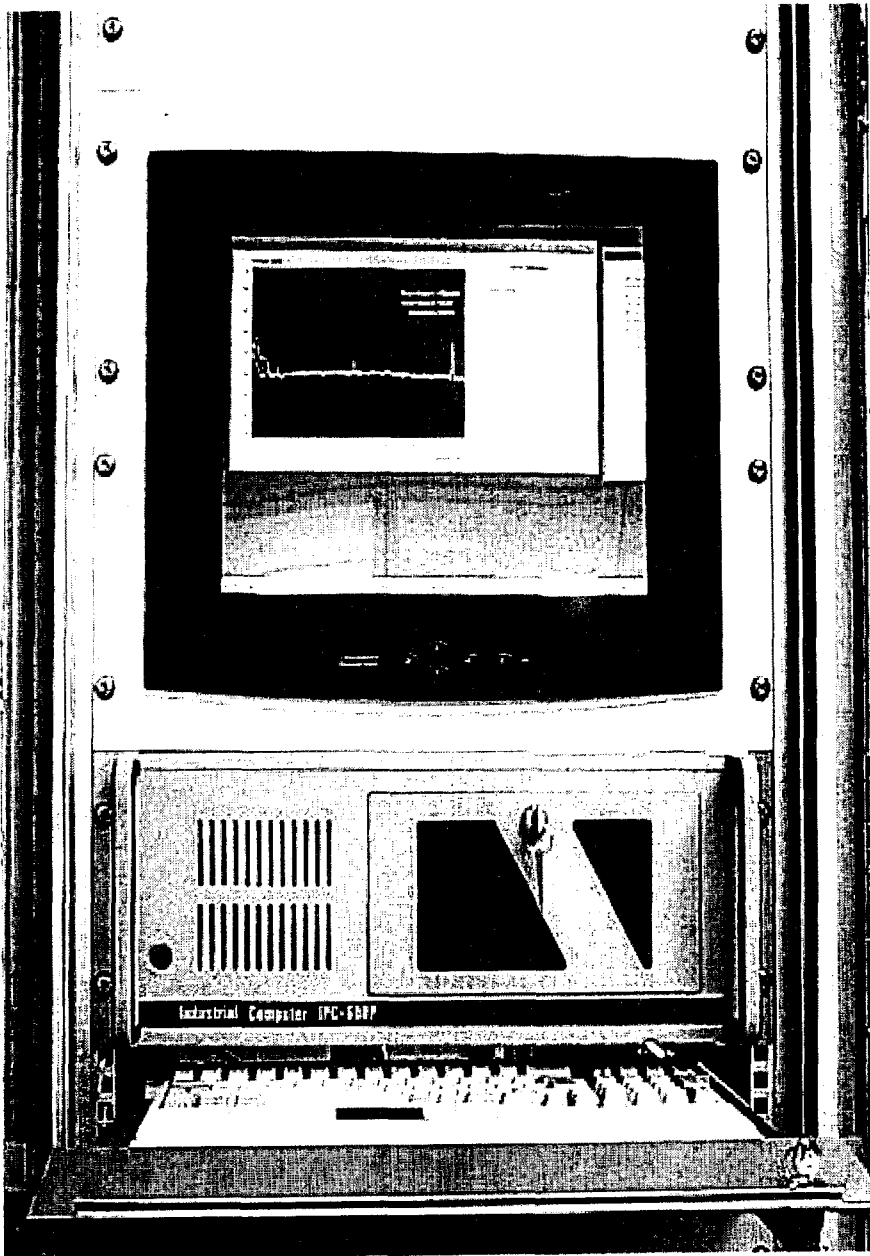


4. IVMS

(1) SCU



(2) LSU



다. System Rack에 장착한 LPMS/IVMS 실물 사진

