

하나로 NTD 구동장치 자동제어기술 개발

Development of Automatic Control Techniques
for HANARO NTD Driving Unit

KAERI

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 2002년도 “하나로에서의 NTD 실현 연구” 과제의 기술보고서로 제출합니다.

2002. 7.

주저자 : 정 환 성

공저자 : 김 영 기

최 영 산

우 종 섭

전 병 진

요 약 문

I. 제 목

“하나로 NTD 구동장치 자동제어기술 개발”

II. 목적 및 필요성

중성자 도핑(Neutron Transmutation Doping)은 연구용 원자로의 이용 분야 중 하나로 알려져 있다. 하나로에서는 대전력용 반도체 소자로써 널리 이용되고 있는 NTD-Si의 상업적 생산을 2003년부터 개시한다는 목표를 가지고 NTD 실현 연구를 수행하고 있다. NTD-Si 생산에서 가장 중요한 것은 균일 조사인데 이를 위해서는 Si ingot이 들어있는 조사통의 회전 및 위치를 결정하는 구동장치의 제어가 필요하다. NTD-Si의 목표 비저항 특성을 만족시키기 위하여 조사통 위치에서의 중성자속을 실시간으로 측정하고 조사량 적산 감시 및 목표 조사량의 자동제어가 필수적이다.

조사통 구동장치의 속도 및 위치제어를 위한 디지털 개념의 모터제어장치와 자기출력형 중성자검출기(Self-powered Neutron Detector : SPND)를 이용하는 중성자속 계측장치의 제작이 요구되었으며, PC를 이용한 자동제어 및 데이터 처리기술 개발을 착수하게 되었다.

III. 연구의 내용 및 범위

연구의 주요 내용은 및 범위는 다음과 같다.

1. 모터제어장치

- 가. 모터제어장치 설계요건 및 기술사양서 수립
- 나. 모터제어장치 설계/제작
- 다. 모터제어장치 성능시험

2. 중성자속 계측장치

- 가. SPND 건전성 확인시험
- 나. 신호증폭기 교정 및 성능시험
- 다. 입출력 모듈 및 신호지시기 기능시험
- 라. 원자로 출력운전을 통한 중성자속 측정시험

3. PC를 이용한 자동제어 및 데이터 처리 프로그램 개발

- 가. 제어 알고리즘과 인터페이스 프로그래밍
- 나. 데이터 처리 프로그래밍
- 다. 시스템 운전개념

4. 전력 공급 장치

- 가. 무정전 전원 공급 장치
- 나. UPS 운전

IV. 연구결과

2001년에 착수한 NTD 구동장치 제어기술 개발은 주로 모터제어장치, 중성자속 계측 장치의 개발 및 PC를 이용한 자동제어 및 데이터 처리 프로그램 개발 등에 관한 것으로써 중요한 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 모터제어장치

가. 실리콘 ingot의 수직위치 제어 및 회전제어를 독립적으로 그리고 동시 제어가능하도록 설계하였고 각각의 모터 회전속도는 제어컴퓨터를 통하여 임의 설정 가능하도록 하였다. 승강모터의 축에 엔코더를 설치하고 엔코더 신호를 모터제어장치로 궤환시켜 실리콘 ingot의 정확한 수직위치 제어가 가능하도록 하였다.

나. 모터제어장치 전면 판넬에 수동과 자동운전 선택스위치를 두어 제어컴퓨터를 이용한 자동제어뿐만 아니라 선택스위치를 이용한 수동운전이 가능하도록 하였다. 또한 전면 판넬의 VFD 지시기에 현재의 엔코더 궤환위치와 회전모터의 작동시간 등이 지시되도록 하여 구동장치의 운전상태를 감시할 수 있도록 하였다.

다. 단계별 현장시험을 통하여 모터제어장치의 성능을 확인하였고, 24MW 출력운전상태에서 실제 실리콘 ingot에 대한 조사시험을 통하여, 개발된 모터제어장치를 NTD-Si의 상업적 생산에 적용할 수 있음을 확인하였다.

2. 중성자속 계측장치

가. 실리콘 ingot의 총조사량 감시를 위하여 일반적으로 노내 중성자검출기로 널리 사용되고 있는 Rh형 SPND를 사용하였다. 조사관의 중앙부 2곳에 Rh-SPND를 설치하고 검출기 케이블을 수조 상부에 설치되어 있는 DC 신호증폭기 입력단으로 연결하였다. 4채널 신호증폭기는 SPND로부터의 미세 전류신호를 받아 적절한 형

태의 출력으로 전환하고 데이터 기록 또는 처리를 위하여 외부로 출력한다.

나. 높은 온도와 고방사선에 노출되는 SPND는 절연저항의 특성 유지가 매우 중요하므로 보유하고 있는 Rh-SPND의 절연저항 특성을 우선적으로 점검하여 문제가 없음을 확인하였다. 저전류발생기 등을 이용하여 DC 신호증폭기의 기능점검 및 교정을 실시하고 신호지시기와 출력전압의 건전성도 확인하였다.

다. NTD 조사장치 설계의 타당성을 확인하기 위한 시험조사를 통하여 SPND는 충분히 정확하고 안정된 중성자속 신호를 제공하고 있음을 확인하였고 해석에 의한 예측값과도 상당히 일치하고 있음을 알 수 있었다.

3. PC를 이용한 자동제어 및 데이터 처리 프로그램 개발

가. 모터 제어장치와의 통신을 위한 프로토콜을 정하고 컴퓨터로 NTD 장치를 제어할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 컴퓨터를 통하여 모터구동에 필요한 변수를 설정하고 모터를 여러 가지 모드로 구동할 수 있다. 또한 엔코더 신호와 조사시간 타이머 신호를 전송 받아 연속적으로 감시하는 기능도 수행한다.

나. NTD 구동장치 제어 프로그램에서는 목표 조사량을 맞추기 위하여 조사시간 또는 누적 조사량을 감시하여 실리콘을 인출 할 수 있게 개발하였다. 따라서 조건에 따라 종료 시간을 설정하거나, 누적 조사량으로 설정하여 운전이 가능하다.

다. 조사관에 설치된 SPND 신호와 제어봉 위치, 원자로 출력 신호를 아날로그 형태로 입력받아 디지털로 변환하여 처리하는 신호 수집 프로그램을 개발하였다. 신호는 실시간으로 감시되고 주기적으로 파일로 저장된다. 이 외에 NTD 구동 장치 제어 프로그램에서 감시하는 조사통 위치 신호는 공유 메모리를 통하여 디지털 형태로 수집하여 아날로그 신호와 함께 저장하여 분석이 용이하게 하였다.

라. 실제 조사를 통하여 프로그램을 시험하고 데이터를 수집하여 분석한 결과 자료 수집이 성공적임이 확인되었다. 또한 실제 조사에 NTD 구동 장치 제어 프로그램을 사용하여 통신이 원활하고 여러 가지 운전 절차로 제어가 가능함을 확인하였다. 또한 실제 조사를 통하여 기본적인 운전 절차를 확립하였다.

4. 전력 공급 장치

가. 무정전 전원 공급 장치를 설치하여 정전시에도 자료를 확보하고 조사중인 시료를 기준위치로 인출 할 수 있도록 하였다. 백업 시간은 약 20분으로 이 시간은 자료

저장과 시료 인출에 충분한 시간이다.

나. 정전시에 취하여야 할 절차를 확립하여 운전원이 안전하게 NTD 구동 장치 및 제어 컴퓨터를 사용할 수 있게 하였다.

5. 향후 업무

보고서에 소개한 구동장치 자동제어 관련 하드웨어 및 소프트웨어 기술은 NTD#2 조사를 위한 것으로써, 아직 개선하여야 할 부분이 많이 남아있다. 조만간 NTD#1 조사공 활용 연구도 시작될 예정이므로 현재의 문제점들을 충분히 개선한 새로운 자동제어장치의 개발을 준비하여야 할 것이다.

SUMMARY

I. Project Title

“Development of Automatic Control Techniques
for HANARO NTD Driving Unit“

II. Objective and Necessity

NTD(Neutron Transmutation Doping) has been known as a field of utilization of research reactor. A research of NTD realization is being carried out in HANARO, with a view to starting commercial production of the NTD-Si from 2003, which is widely used for high-power semiconductors. For uniform irradiation, a most important factor for the production of the NTD-Si, it is necessary to control the rotation speed and up/down position of the silicon ingot hanged down from the mechanical driving unit. For achieving the target resistivity, automatic control of the target irradiation fluence should be accomplished through the real-time measurement of the neutron flux at the irradiation site.

Based on the above necessity, it has been started to develop a digitalized motor control system, a neutron flux measurement system using SPND(Self-powered Neutron Detector) and a PC-based control and data acquisition system.

III. Contents and Scope

The contents and scope of the research activities are summarized below.

1. Motor Control System

- a. Establishment of design requirements and technical specifications
- b. Design and manufacturing of the motor control system
- c. Performance test of the motor control system

2. Neutron Flux Measurement System

- a. SPND integrity verification test
- b. Calibration and performance test of DC amplifiers

- c. Function test of I/O Module and indicators
- d. On-power neutron flux measurement test

3. PC-based Control and Data Acquisition System

- a. Control algorithm and interface programming
- b. Data acquisition programming
- c. System operation concept

4. Power Supply System

- a. Uninterruptible power supply system
- b. UPS Operation

IV. Results

The results of the research on the NTD automatic control techniques started from the beginning of 2001 are summarized as follows :

1. Motor Control System

- a. The motor control system is designed to operate with independent and simultaneous up-down and rotation of the silicon ingot motion and the setpoint of each motor speed could be easily adjusted by the control PC. By adopting an encoder to the up-down motor and sending the actual position back to the motor control system, a precise up-down position control has been fulfilled.
- b. With a selector switch on the front panel, both manual control by dedicated push buttons and automatic control by the control PC are available anytime. The current status of the driving unit like feedback position, motor actuating time etc., are always monitored on the fluorescent VFD display of the front panel.
- c. Taking a few steps of field test, its performance has been successfully verified. Then, through the actual irradiation with the real silicon ingot under 24MW of reactor power, it has been confirmed that the motor control system developed could be applied to the commercial production

2. Neutron Flux Measurement System

- a. Two set of Rh-type SPNDs, known as a in-core neutron detector are used for real-time monitoring of the accumulated neutron irradiation. They are installed around the center position of the irradiation sleeve and the cables are carefully routed up to the top of the pool for connection to the DC amplifier. The DC amplifier converts the low current signal from the SPNDs into appropriate voltage signals then outputs them to outside for data recording or acquisition.
- b. Considering the importance of the insulation characteristics of the SPND to be subjected to high radiation and high temperature, the insulation resistance was checked out first and it showed no remarkable sign of degradation. The DC amplifiers were functionally tested and calibrated using a pico-ampere current source. The signal indicators and I/O modules were finally tested and accepted.
- c. It has been verified, by the sample irradiation test for validation of the design that the neutron measurement system gives an accurate and stable signal, which shows a good consistency with the estimation.

3. PC-based Control and Data Acquisition System

- a. On the basis of a protocol for data communication to/from the motor control system, a PC-based software program for NTD service has been developed. Necessary parameters for motor control are established through the PC then the motors can be driven in various mode of operation. The encoder and irradiation timer signal are fed back to the PC and continuously monitored by the developed program.
- b. To precisely control the target fluence, the NTD control program has been designed so that the silicon ingot be automatically removed from its irradiation hole by the pre-defined irradiation time or accumulated neutron flux.
- c. Data acquisition program has been also developed for real-time monitoring and analysis of the analog signals, like SPND flux, control rod position and reactor power. The actual position of the silicon ingot is feedback from the motor control system via the digital communication port then used as a reference signal for the data analysis.

- d. It's been proved that a few times of sample irradiation tests under real condition that the NTD control software and the data acquisition program works satisfactorily and can be used for the commercial service next year. The overall operating procedure has been prepared based on the actual tests.

4. Power Supply System

- a. An Uninterruptible Power System(UPS) is provided for emergency data back-up and removal of the ingot in case of electrical failure. The back-up time is about 20 minutes, which is required for data saving and emergency removal of the silicon ingot from its irradiation site.
- b. For easy understanding and safe operation, an emergency operating procedure for electrical failure is suggested.

5. Future Work

Hardware and software design introduced has been developed for the NTD#2 irradiation hole and it still leaves room for further improvement. As the NTD application research for NTD#1 irradiation hole will start in the near future, a provision must be prepared to develop a more comprehensive control system implementing the improvements of the current deficiencies.

CONTENTS

Chapter 1.	Introduction -----	1
Chapter 2.	Development of Motor Control System -----	3
2.1	Design Requirements -----	3
2.2	System Design -----	5
Chapter 3.	Design of Neutron Measurement System -----	14
3.1	SPND Characteristics -----	14
3.2	Characteristics and Function Test of DC Amplifiers -----	17
3.3	SPND Signal Analysis -----	24
Chapter 4.	Development of PC-based Control and Data Acquisition System -----	29
4.1	Algorithm for Motor Control System -----	29
4.2	Protocols for Serial Communication -----	30
4.3	Control Computer -----	32
4.4	Operation Procedures for NTD Driving Unit -----	37
Chapter 5.	Power Supply System -----	39
4.1	Design of power supply system -----	39
4.2	Operation procedures -----	42
4.3	Operation of UPS -----	42
Chapter 6.	Conclusion -----	46
References	-----	47

목 차

제 1 장	서론	1
제 2 장	모터제어장치 개발	3
	2.1 설계요건	3
	2.2 장치의 설계	5
제 3 장	중성자 계측장치 개발	14
	3.1 SPND 동작 특성	14
	3.2 신호증폭기 특성과 성능시험	17
	3.3 원자로 출력운전을 통한 SPND 신호특성 분석	24
제 4 장	PC 기반 자동 제어 및 데이터 처리 프로그램 개발	29
	4.1 모터제어장치 알고리즘	29
	4.2 통신 프로토콜	30
	4.3 제어컴퓨터(PC)	32
	4.4 NTD 구동 장치 운전 절차	37
제 5 장	전원 공급 장치	39
	5.1 전원 공급 장치 구성	39
	5.2 정전 시 운전 절차	42
	5.3 UPS 운전	42
제 6 장	결론	46
참고 문헌		47

그 립 목 차

그림 2-1	하나로 NTD 계측제어장치 구성도	3
그림 2-2	모터제어장치의 기능도	5
그림 2-3	모터구동장치 제어모드별 기능 분류	6
그림 2-4	NTD 제어장치의 신호 개념도	9
그림 2-5	모터제어장치의 기기 구성도	10
그림 2-6	모터구동장치의 신호 연결도	12
그림 3-1	SPND의 구조	14
그림 3-2	하나로에 사용되고 있는 Rh-SPND 구조	15
그림 3-3	DC 4695A 증폭기 회로도	18
그림 3-4	DC 4695A 증폭기의 부품 조립도	20
그림 3-5	SPND 신호 채널 구성	24
그림 3-6	SPND 출력신호의 선형성 시험	25
그림 3-7	NTD 조사공이 물로 채워져 있을 경우의 SPND 신호변화	26
그림 3-8	NTD 조사공이 공기로 채워져 있을 경우의 SPND 신호변화	27
그림 3-9	IP3 조사공으로부터 RI시료를 인출하는 순간의 SPND 신호 변화	27
그림 3-10	IP3 조사공에 AI plug를 삽입하였을 때의 SPND 신호 변화	28
그림 4-1	모터제어장치 제어 알고리즘	29
그림 4-3	NTD 구동장치 제어 프로그램	34
그림 4-4	신호 연결 단자	35
그림 4-5	신호 연결 단자의 접속도면	35
그림 4-6	신호 수집 프로그램	36
그림 4-7	실리콘 시료 조사중의 신호 수집 결과	37
그림 5-1	NTD 전원 공급 구성도	40
그림 5-2	110V UPS	42
그림 5-3	220V UPS	44
그림 5-4	220V UPS 전면 조작부	44

표 목 차

표 2-1	종료 상태 정보(End Status Information)	8
표 3-1	SPND 에미터 종류의 특성	15
표 3-2	하나로 Rh-SPND 사양	16
표 3-3	하나로에서 보유 중인 SPND 성능 특성	17
표 3-4	DC 4695A 증폭기 사양	18
표 3-5	S/N 11589 증폭기의 교정성적서	23
표 3-5	S/N 11584 증폭기의 교정성적서	23
표 3-7	IP3 조사공 조건에 따른 NTD 중성자속 변화량 (24MW 운전상태)	28
표 4-1	모터 제어 장치에서 PC 로 보내는 명령	31
표 4-2	PC 에서 모터 제어 장치로 보내는 명령	31
표 5-1	UPS 사양	41
표 5-2	상태 표시등의 전압 표시	44

제 1 장 서론

중성자 도핑(NTD)은 연구로 이용 분야 중 비교적 큰 상업적 수익을 얻을 수 있는 분야이다. NTD-Si 단결정은 비저항이 큰 특성을 가지고 있고 순도와 품질이 뛰어나기 때문에 대전력용 반도체 소자의 제조에 이용되고 있다. 지금까지 NTD 서비스를 해 왔던 대부분의 연구로들이 노후화하여 장래가 불확실하고 또 매우 제한적이다. NTD 웨이퍼 생산을 주도하고 있는 몇몇 일본 회사들이 하나로에서의 NTD 서비스 가능성을 타진해 옴에 따라 하나로에서의 NTD 실현 연구가 본격적으로 시작되었고 2003년부터 상업적 생산에 돌입하는 것을 목표로 하고 있다.[1]

원통형 단결정이 반경 및 길이 방향으로 균일한 비저항을 가지도록 하는 것이 NTD의 가장 중요한 조건이다. 비록 균일도가 높다 하더라도 요구되는 목표 비저항을 만족시키지 못하면 쓸모가 없으므로 목표 비저항을 정확하게 달성하도록 조사시켜야 한다. 균일 조사 방법은 원자로의 구조나 특성에 따라 여러가지 방법이 사용되고 있는데 하나로에서는 반경 방향 균일도는 실리콘 ingot의 회전법을, 축 방향의 균일도는 중성자 스크린법을 사용하고 있다. 비저항을 결정하는 인자는 총조사량이므로 조사지점에서의 정확한 중성자속 측정과 조사시간의 감시가 매우 중요하다. 본 보고서에서는 기계구동장치의 이동 또는 회전운동을 제어하기 위한 모터제어장치, 중성자속 측정을 위한 중성자 계측장치 그리고 자동제어 및 중성자 총조사량 감시를 위한 PC 기반 제어장치 등의 설계, 제작, 시험에 관하여 기술한다.

NTD 구동장치의 자동제어를 위한 전자제어장치는 원자로 수조 상부에 설치되어 있는 중앙제어판넬과 중성자 계측판넬 등 2개의 판넬에 분산 설치되어 있다. 모터제어장치, 자동제어 및 데이터 처리를 위한 제어용 PC, 전원 상실 시 비상운전을 위한 무정전 전원장치 그리고 각종 경고등 등은 중앙제어판넬에 설치하였고 중성자 신호처리를 위한 신호증폭기, 신호지시기, 입출력 장치, 무정전 전원장치 등은 중성자 계측판넬에 설치하였다. 향후 NTD#1 조사공을 위한 제어장치가 추가될 예정인데 중성자 계측판넬은 공통 사용이 가능하지만 제어용 PC와 모터제어장치 등은 별도로 준비되어야 하기 때문에 이들을 수용하기 위한 NTD#1 중앙제어판넬이 추후 추가 설치될 것이다.

중성자 검출기는 자기출력형 중성자 검출기(Self-powered Neutron Detector : SPND)를 사용하였다. SPND를 포함한 신호증폭기, 입출력 장치, 신호지시기 등은 1988년부터 1992년까지 연구소 중성자 물리실에서 NTD 기술개발 과제를 수행할 당시 이미 구매하였던 것으로 구성하였다. 오랫동안 사용하지 않고 보관하였기 때문에 SPND의 성능이 우려되었으나 절연저항 특성 등이 양호한 상태임을 확인하였고 원자로 운전상태에서의 중성자 측정신호도 안정성과 정확도를 충분히 유지하고 있음을 확인하였다.

모터제어장치는 2개 모터의 구동신호를 발생시키는 드라이버 부분과 외부 기기와의 인터페이스 기능을 담당하는 제어 모듈로 구분된다. 하나로 NTD 구동장치에 적합한 기술사양에 따라 장치의 설계, 제작이 수행되었으며 수동운전을 위한 조작 스위치를 전면부에 부착하여 제어컴퓨터 없이 수동 조작으로 조사시험이 가능하도록 하였다. 성능시험 과정에서 엔코더 신호의 노이즈 현상이 발견되기도 하였으나 이는 모터제어장치의 문제가 아니라 함께 포설된 모터 제어 케이블로부터 유기된 것으로 확인하였고 엔코더 케이블을 별도의 전선관으로 독립시킨 후 문제가 해결되었다. 약 3개월 이상에 걸쳐 시행된 예비조사시험 과정에서 모터제어장치는 한 번의 고장도 발생시키지 않고 안정된 기능을 보여 주었다.

모터제어장치의 제어 및 데이터 처리 프로그램은 펜티엄 II급 일반 PC를 사용하여 구현하였다. 모터제어장치와의 통신을 위하여 RS-485 통신 및 자체 개발 프로토콜을 사용하였고 자동모드로 설정되어 있을 때 제어컴퓨터를 통하여 설정 및 원격 구동이 가능하도록 하였다. 제어 프로그램은 목표 조사량 및 목표 비저항을 정확하게 제어하기 위하여 조사시간 또는 누적 중성자속을 실시간으로 감시하고 설정값에 도달하였을 때 자동으로 실리콘 ingot을 인출한다. 구동장치의 상태와 관련된 정보는 통신 포트를 통하여 데이터 처리 프로그램으로 전달되어 자동 저장된다. 실제 조사시험에 제어 프로그램과 데이터 처리 프로그램을 시범 적용한 결과 통신이 원활하고 요구되는 요건에 따라 제어가 가능함을 확인하였다. 또한 외부 정전 등과 같은 비상 사태에 대비하기 위하여 무정전 전원장치를 설치하였다. 비록 정전이 발생하더라도 약 20 분 정도의 백업 시간이 제공되므로 이 시간 동안 지금까지의 데이터를 저장시키고 조사중인 실리콘 ingot을 조사공으로 부터 안전한 위치까지 상승시킬 수 있도록 하였다.

자동제어장치의 구성이 완료된 후 조사통 중성자 스크린 설계검증, 구동장치의 현장 성능시험, 모터제어장치의 성능 확인, 중성자 계측장치의 신호 검증 등을 종합적으로 증명하기 위하여 24MW 운전 중 조사시험을 여러 번 수행하였다. 종합성능시험 진행 중 구동장치 회전 모터의 문제점과 모터제어장치 엔코더 신호잡음 문제 등 몇 가지 문제점이 발견되어 설계변경이 진행 중인 사항도 있고 개선 조치가 완료된 사항도 있다. 조사시험은 예상했던 바와 마찬가지로 일부 부족한 면도 있었지만 전체적으로 양호한 결과를 보여 주었다. 발견된 기술적 미비점들을 보완하고 조사 시작부터 종료 시까지의 절차를 문서화하여 체계적으로 업무를 수행한다면 2003년부터는 목표한 바와 같이 상용 서비스에 도입할 수 있을 것으로 확신한다.

제 2 장 모터제어장치 개발

2.1 설계요건

하나로의 NTD 구동장치는 기계구동장치와 전자제어장치로 나뉘어진다. 기계구동장치는 실리콘 단결정의 회전 및 승강운동을 수행하는 2개의 스텝핑 모터와 기어, 체인, 및 리미트 스위치 등으로 구성되고 전자제어장치는 중성자속을 측정하는 중성자 계측장치, 측정된 중성자 조사량을 계산하고 NTD 구동장치의 종합적인 제어를 담당하는 제어 컴퓨터 그리고 2개 스텝핑 모터의 구동신호 출력 및 각종 신호 처리를 수행하는 모터제어장치로 나뉘어진다. 그림 2-1은 NTD 계측제어장치의 구성을 도표로 나타낸 것이다.

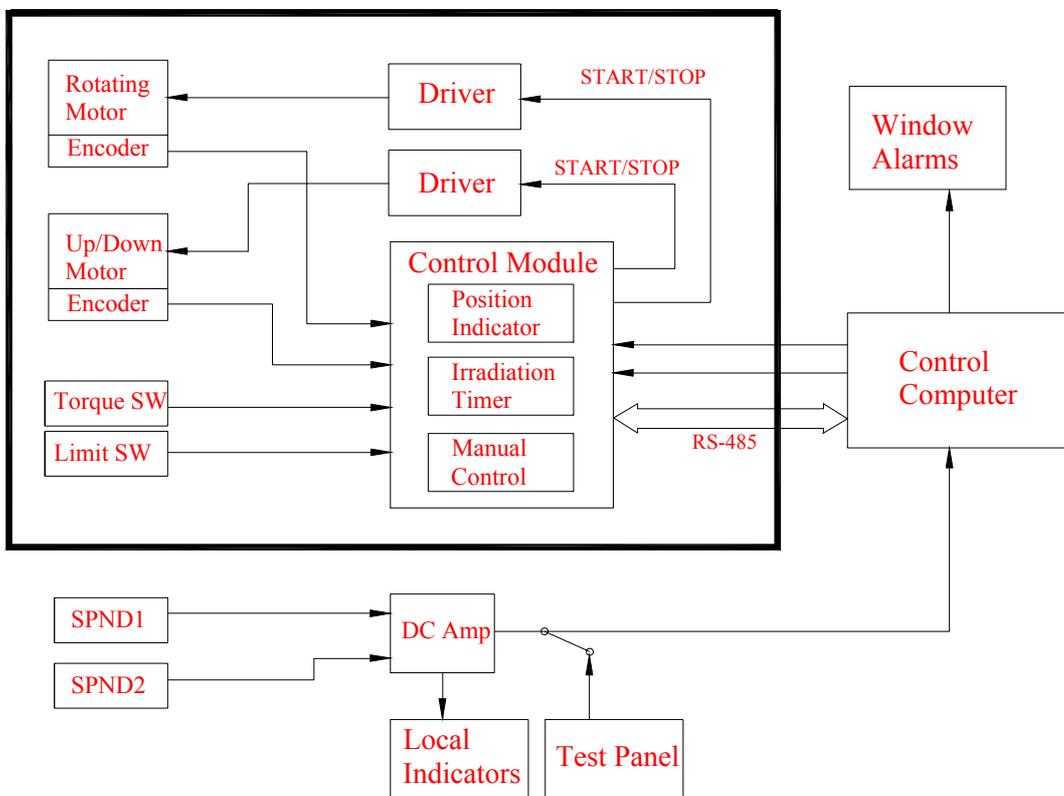


그림 2-1 하나로 NTD 계측제어장치 구성도

모터제어장치는 그림 1에서 굵은 선 안에 표시된 부분이다. 2개의 모터와 엔코더는 기계구동장치 속에 설치되어 있지만 모터제어장치와의 신호선이 서로 연결되는 부분이어서 그림에 함께 포함시켰다. 모터제어장치는 모터 구동신호를 생성하는 드라이버 부분과 외부 기기와의 인터페이스를 담당하는 제어모듈로 구분된다. 이들 장치에 대한 설계요건은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- NTD 구동장치에는 2개의 스텝핑 모터가 있으므로 모터제어장치는 2개의 모터를 독립적으로 제어할 수 있는 2개의 드라이버가 필요하다. 편의상 실리콘 단결정의 회전운동을 수행하는 스텝핑 모터를 회전모터, 상하운동을 수행하는 스텝핑 모터를 승강모터라 부르기로 한다. 2개의 모터 드라이버는 기능적 독립성이 유지되도록 설계되어야 한다. 즉, 운전 중 하나의 드라이버에 고장이 발생되더라도 나머지 모터 드라이버는 정상적으로 모터를 구동할 수 있어야 한다.

- 구동장치의 회전속도는 10 ~ 20 rpm 정도이면 문제가 없으나, 임의의 회전속도 설정이 가능하도록 설계한다. 승강모터의 상하 이동속도는 2 m/min정도가 적당하지만 마찬가지로 이동속도의 설정 변경이 가능하도록 설계한다.

- 스텝핑 모터에는 엔코더가 내장되어 있거나 또는 모터 축에 별도의 엔코더를 설치하여야 하고 엔코더로부터의 위치신호가 모터제어장치의 드라이버로 궤환되어야 한다. 엔코더 신호를 이용하여 현재의 실리콘 단결정 위치를 계산하고 디지털 위치지시기에 계산된 위치를 표시하여야 한다. 또한 디지털 위치지시기의 지시범위는 0 ~ 8000 mm 이어야 하고 리셋 기능을 포함하여야 한다.

- 모터제어장치는 PC 제어장치로부터의 START/STOP 신호에 의하여 미리 정해진 속도로써 회전모터 및 승강모터를 독립적으로 기동 또는 정지시킬 수 있어야 한다.

- 실리콘 단결정의 조사시간을 실시간으로 디지털 타이머에 표시하여야 한다. 조사시간은 기준위치에서 조사위치로 이동을 시작하는 시각부터 미리 설정된 시간까지 계속 표시되어야 한다. 디지털 타이머는 리셋 기능을 포함하여야 하고 지시범위는 00시간 00분 00초로 표시한다.

- 운전모드 스위치(자동/수동)의 설정에 따라 자동 또는 수동으로 각각의 모터를 구동할 수 있어야 한다. 자동으로 설정하였을 때에는 제어컴퓨터의 구동 명령신호에 의해서 모터가 구동되어야 하고, 수동으로 설정하였을 때에는 별도로 마련된 수동조작 스위치에 의하여 모터가 기동 또는 정지되어야 한다.

- 제어 모듈은 RS-485 통신 포트를 이용하여 제어컴퓨터에게 각종 제어상태 및 지시신호를 제공하여야 한다. 통신 포트를 통하여 제어컴퓨터로 보내는 신호의 종류는 최소한 다음과 같은 것들이 포함되어야 한다.
 - 모터 비정상 상태
 - 토크 스위치 작동상태
 - 리미트 스위치 작동상태
 - 승강모터 구동(상승 또는 하강)/정지 상태

- 회전모터 회전/정지 상태
- 실리콘 단결정의 현재 위치신호

□ 모터제어장치는 19인치 Rack에 설치할 수 있도록 제작되어야 한다.

□ 모터제어장치는 현재 승강모터와 회전모터의 작동상태를 알 수 있도록 외부의 지시등 동작을 위한 적절한 형태의 신호를 출력하여야 한다.

2.2 장치의 설계

모터제어장치는 그림 2-2와 같이 전체 시스템의 제어를 총괄하는 주제어기(main CPU)와 각 축별 즉, 승강모터와 회전모터 각각의 구동을 담당하는 부제어기(sub-controller : CAMC), 각 제어기의 현재상태 및 위치정보, 모드 설정값 등의 정보를 저장하고 있는 RAM, 제어컴퓨터와의 정보 교환을 위한 RS-485 통신 포트, 엔코더 신호 및 각 모터의 현재상태를 지시하는 VFD 지시창 등으로 구성되어 있다.

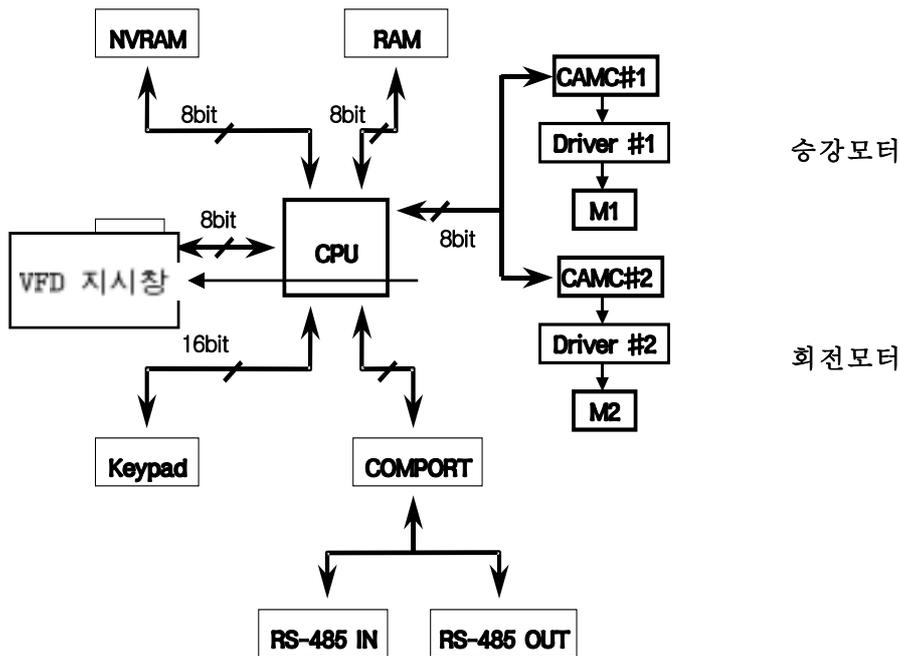


그림 2-2 모터제어장치의 기능도

2.2.1 프로그램의 구성

CAMC 프로그램은 원격제어모드와 수동모드로 구성된다. 원격제어모드는 PC로 구현된 제어컴퓨터로부터의 명령에 따라 자동 제어되는 방식이고 수동모드는 사용자의 임의

선택에 의하여 각각의 모터를 독립적으로 구동하는 방식이다. 그림 2-3은 2 개 모드 별 기능을 도표로써 나타낸 것이다.

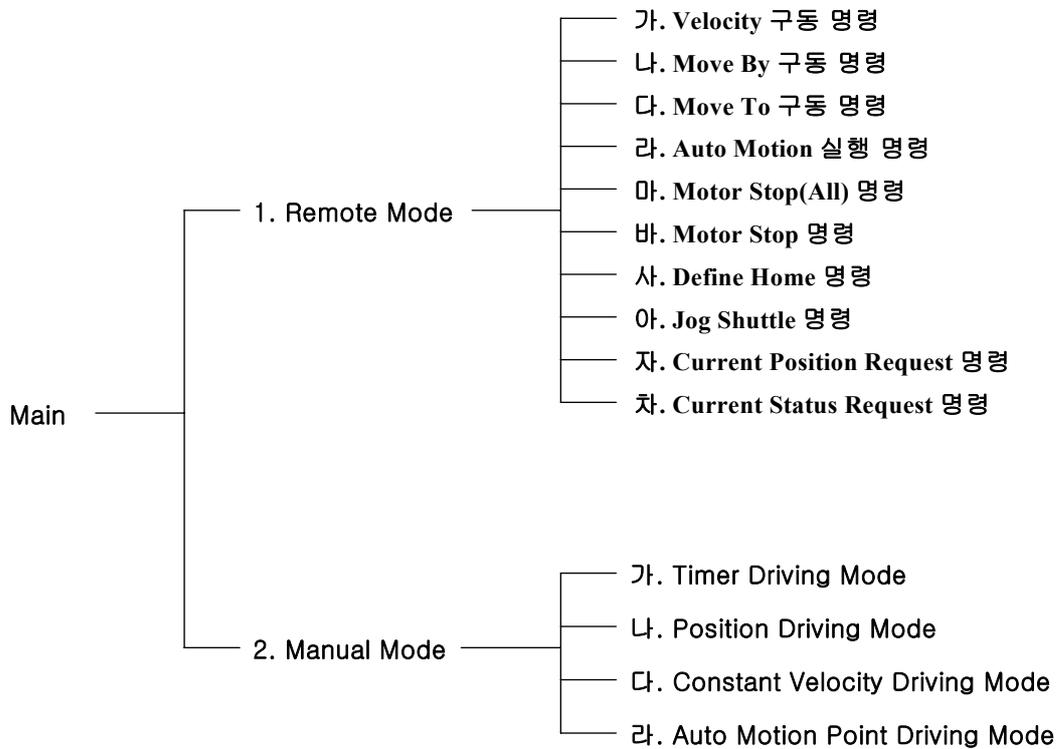


그림 2-3 모터구동장치 제어모드별 기능 분류

가. 원격제어모드(Remote Control Mode)

원격제어모드는 RS-485 통신방식을 이용하여 각축별 모터의 동작 수행에 필요한 제어명령을 PC상의 응용프로그램을 통하여 전달하는 방식이다. 원격제어모드 각 기능을 간략하게 기술한다.

- Velocity 구동명령(지정속도 구동 명령)

원격제어모드에서 지정속도 구동명령은 PC로부터 전달되는 속도와 가속도 값에 대한 데이터를 통하여 지정된 가속구간과 속도 값으로 구동하는 명령이다.

- Move By 구동명령(상대속도 구동 명령)

구동하고자 하는 속도 값과 상대위치 값 및 가속구간에 대한 정보를 PC로부터 전달받아 현재위치에서 상대위치로의 구동을 실행하는 명령이다. 데이터는 상대위치정보(Relative Position), 가속구간(Acceleration interval Data), 속도정보(Velocity)이며 각각 4 Byte로 구성된다.

- Move To 구동명령(절대위치 구동명령)

구동하고자 하는 속도 값과 절대위치 값 및 가속구간에 대한 정보를 PC로부터 전달받아 이에 대한 값으로 현재위치에서 영점을 기준으로 한 절대 위치로의 구동을 실행하는 명령이다. 데이터는 절대위치정보(Absolute Position), 가속구간(Acceleration interval Data), 속도(Velocity)으로 각각 4 Byte로 구성된다.

- Auto Motion 실행명령

NVRAM에 저장된 절대위치 지점으로 구동하는 명령으로써 기억된 모든 지점으로 순서대로 구동한다. 이 명령의 경우 사용자가 정의한 Motion Point로 기억된 순서대로 이동을 하게 된다.

- Motor Stop(All) 명령

모터 정지명령의 경우 모든 모터에 대한 동시정지 명령과 각축별 모터 정지명령으로 구분된다. 모터 정지방법으로는 Slow Down Stop과 Emergency Stop이 있다.

- Define Home 명령(영점지정명령)

현재 위치를 기준점(영점, Zero Position)으로 설정하는 명령이다. 따라서 현재위치에서 영점지정명령을 실행할 경우 절대위치의 값은 Zero로 설정된다.

- Jog Shuttle 명령

구동하고자 하는 모터를 선택한 후에 Jog shuttle 키에 의하여 일정 속도로 좌·우로 구동할 수 있도록 하는 기능이다.

- Current Position Request 명령

PC로부터 현재위치를 요청하는 명령으로 이에 대한 응답으로 기준점으로부터의 절대위치를 알려준다.

- Current Status Request 명령(현재상태 요청 명령)

현재 제어기의 종료 원인(End Status Information)에 대한 8 Bit 정보를 요청하는 명령이다. End Status 정보에 대한 내용은 표 2-1과 같다.

표 2-1 종료 상태 정보(End Status Information)

D7	Data Error End
D6	Alarm Signal End
D5	Emergency Stop Command End
D4	Slow Down Command End
D3	Emergency Limit Signal End
D2	Slow Down Stop Signal End
D1	Emergency Limit Signal End
D0	Slow Down Limit Signal End

나. 수동 모드(Manual Mode)

수동 모드는 크게 4가지 모드로 나누어지며 각 모드의 기능을 간략하게 기술한다.

- Timer Driving Mode(타이머 구동모드)

타이머 구동모드의 경우 NVRAM(Non-Volatile RAM)에 저장된 각 축별 구동시간과 속도 및 가속도 값을 통하여 일정시간 동안 지정속도로 구동하는 기능을 수행하며 사용자가 수동으로 각 축별 구동시간과 속도 및 가속도를 설정할 수 있다.

- Motion Driving Mode(모션 구동모드)

모션 구동모드는 다시 자동모드와 수동모드로 구성되며 이동되어질 위치 값은 현재위치에서 이동하고자 하는 절대위치로의 상대 값을 구하여 이동하게 된다. 자동 모션 포인트구동(Auto Motion Point Driving)의 경우 현재위치에서 영점을 기준으로 NVRAM에 저장된 모션포인트(절대위치 값)들로 저장된 순서대로 자동으로 Motion Point 인덱스를 증가하면서 구동한다. 수동 모션 포인트구동의 경우는 모터의 현재위치에서 특정 Motion Point로의 상대위치를 계산하여 계산된 상대위치값으로 이동하는 구동방식이다.

- Constant Velocity Driving Mode(지정속도 구동모드)

지정속도 구동모드는 상대위치구동과 절대위치구동으로 나누어지며 엔코더 사용여부 및 엔코더의 Half/Full 모드 선택 기능으로 구성되며 상대위치구동의 경우 정·역방향을 선택할 수 있는 기능이 있다. 또한 선택되어진 모터의 동시 구동이 가능하다.

- Mode 선택 기능 : Move By, Move To
- Encoder Setting 기능 사용여부

- Half/Full 선택
- 선택되어진 모터의 동시 구동 기능

2.2.2 하드웨어 구성

2.2.1절에서 소개한 제어회로뿐만 아니라 모터제어장치는 외부 기기와의 정보교환을 위한 입출력 회로와 케이블, 2개 모터의 자동 또는 수동제어를 위한 스위치 등을 포함하고 있다. 모터제어장치는 제어컴퓨터, 무정전 전원장치 등과 함께 19인치 중앙제어판넬에 설치되어 있다. 그림 2-4는 NTD 제어장치의 신호 개념도이고 그림 2-5는 모터제어장치의 기기 구성도이다.

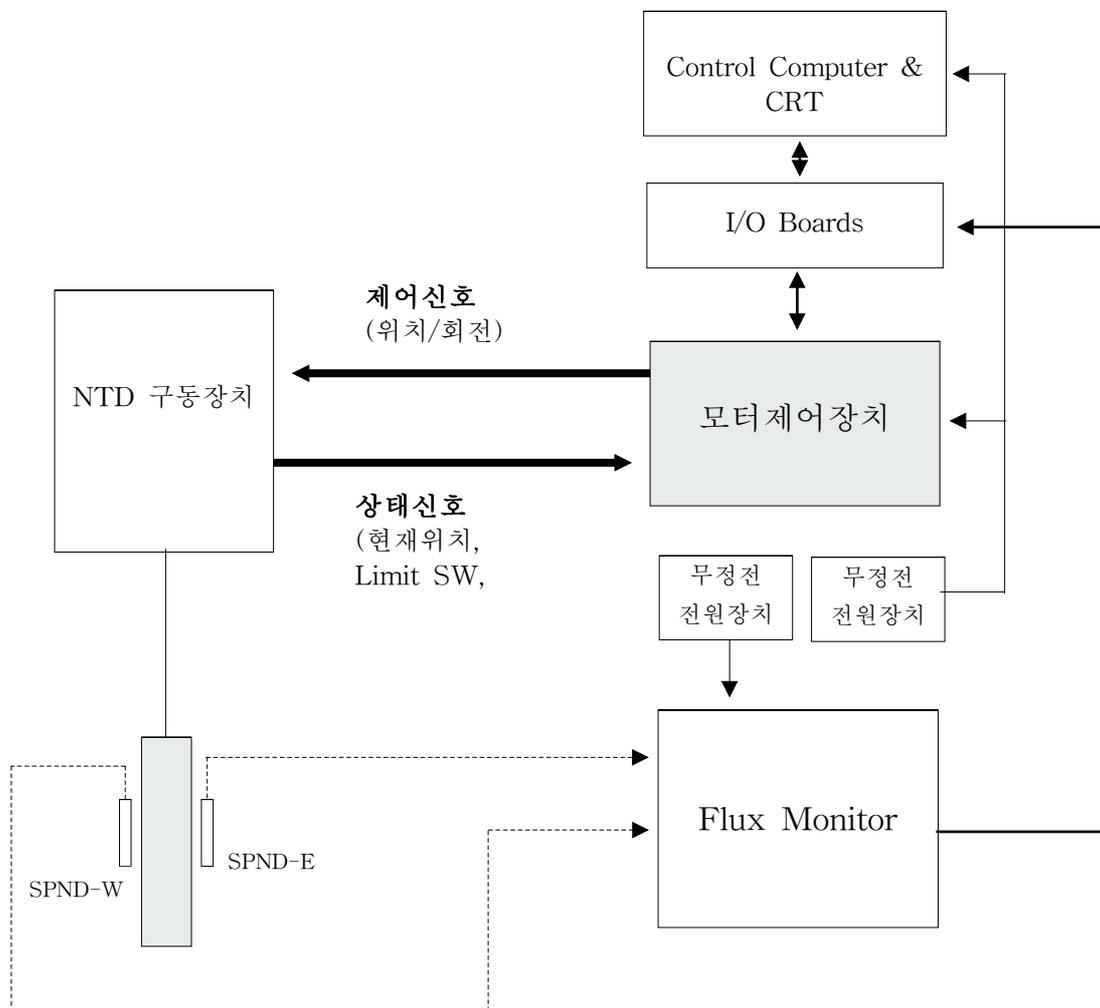


그림 2-4 NTD 제어장치의 신호 개념도

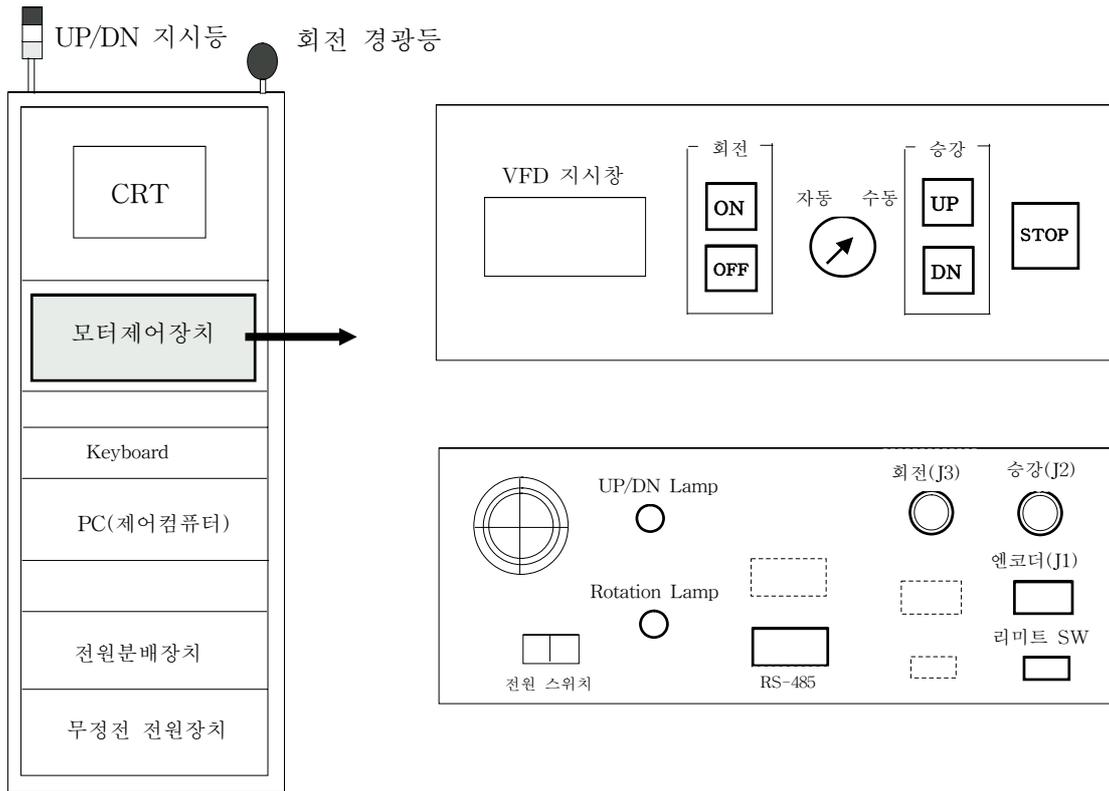


그림 2-5 모터제어장치의 기기 구성도

모터제어장치로 연결되는 신호 케이블은 승강모터 엔코더 신호선(J1)과 2개의 모터 구동 신호선(J2, J3), 리미트 스위치 신호 루프 구성을 위한 24N DC 전력 신호선, 제어컴퓨터 통신을 위한 RS-485 신호선, 그리고 2개 모터의 상태지시를 위한 접점출력 신호선 등이 있다. 중앙제어판넬은 원자로 수조의 북서쪽에 설치되어 있다. 모터제어장치로부터의 J1, J2, J3 3개 케이블과 2개의 리미트 스위치 케이블 등 5가닥의 케이블은 난간을 타고 원자로 수조 정 북쪽 케이블 피트를 통하여 수조 위로 포설되어 기계구동장치에 설치되어 있는 각각의 콘넥터로 연결된다. 구동장치를 사용하지 않을 때는 이들 케이블은 북쪽 케이블 피트 속에 집어넣어 보관한다.

모터구동장치의 좌측 전면에 설치되어 있는 VFD(Vacuum Fluorescent Display) 지시창은 아래와 같은 형식으로 모터의 현재상태를 지시한다.

```

M1<ST>[T]M2<ST>
ENCOD +499868 [PS]
MOV.P +1759 [mm]
TIMER 49 : 50 33

```

M1과 M2는 각각 승강모터와 회전모터를 의미하며, <ST>는 모터의 운전상태를 나타

내며 의미는 다음과 같다.

ST : 모터의 정지

L+ : DOWN 스위치 작동

L- : UP 스위치 작동

UP : 상승 중

DN : 하강 중

RR : 모터가 오른쪽(CW)으로 회전 중 (구동장치는 반대 방향임)

RL : 모터가 왼쪽(CCW)으로 회전 중 (구동장치는 반대 방향임)

가운데 있는 [T]는 현재 조사통의 위치(엔코더 위치)가 있는 지역을 다음과 같이 나타낸다.

Z : 조사통이 기준위치 보다 높은 위치에 있음

R : 조사통이 기준위치에 있음

T : 조사통이 기준위치와 조사위치 사이에 있음

ENCOD는 승강모터 엔코더로부터 케환된 모터회전 펄스 수를 의미하며 MOV.P는 엔코더 펄스를 거리로 환산한 값이다. 마지막 TIMER는 회전모터가 회전을 시작한 시점 즉, NTD 조사가 시작된 시점부터의 경과시간을 의미한다.

모터구동장치와 외부 기기와의 신호선 연결은 추후 콘넥터 보수를 위하여 꼭 필요한 정보이므로 그림 2-6에 자세히 나타내었다.

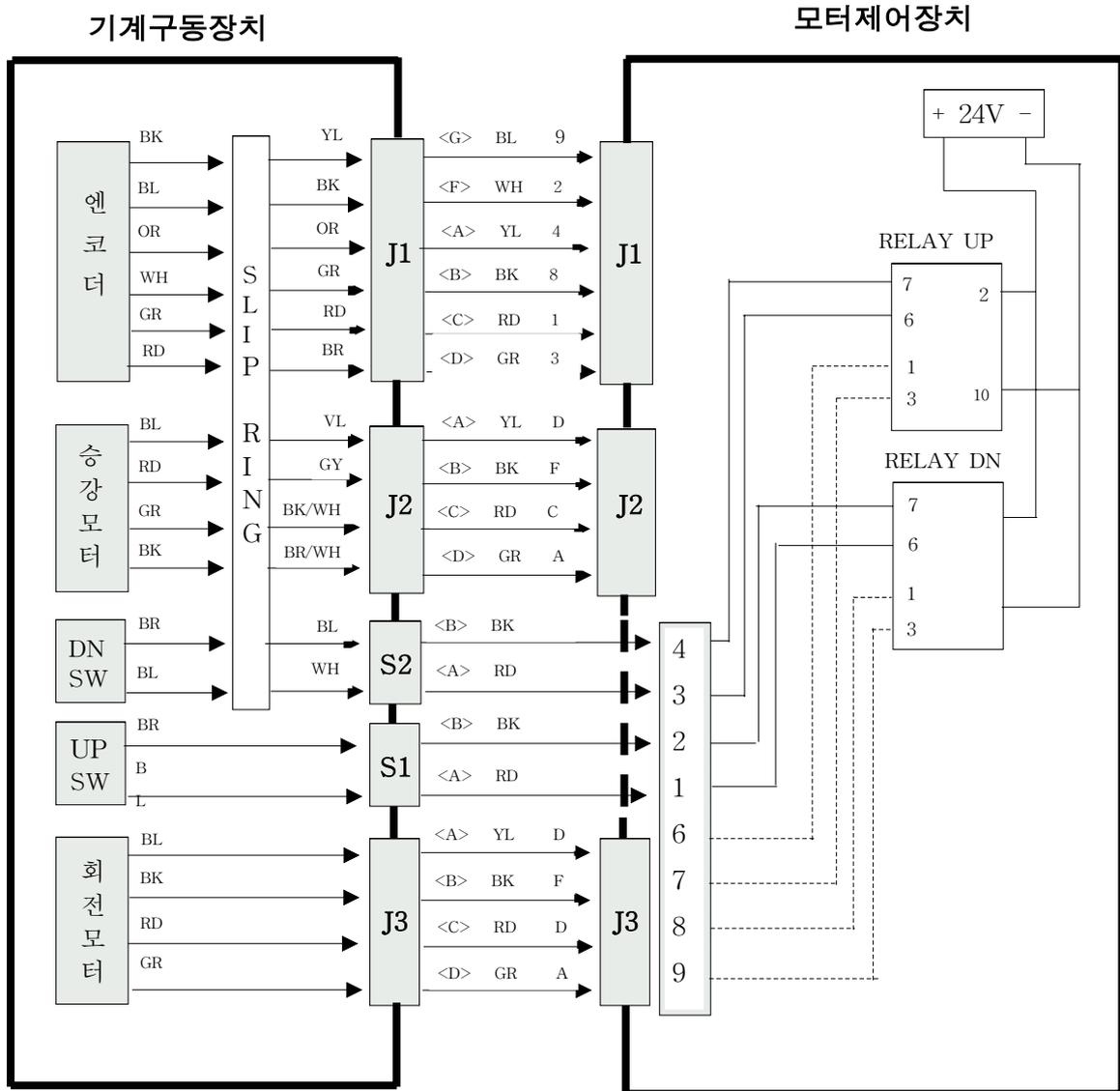


그림 2-6 모터구동장치의 신호 연결도

2.2.3 특기사항

기계구동장치로부터 모터제어장치까지의 신호선은 승강모터 제어선, 회전모터 제어선, 승강모터 엔코더 신호선, UP/DOWN 스위치 신호선 등 모두 4종류인데 이중 UP/DOWN 신호선 2가닥을 묶어 하나의 전선관에 집어넣었고 나머지 3개의 신호선은 함께 하나의 전선관에 집어넣어 포설하였다. 기계구동장치와 모터제어장치의 통합성능시험을 수행하는 과정에서 원인을 알 수 없는 엔코더 신호의 변화현상이 발견되었다. 실리콘 ingot이 특정한 위치에서 상하 이동없이 회전운동만을 하고 있는데 승강모터의 엔코더 신호가 변화하였다. 엔코더 신호의 비정상적 변화는 불규칙적으로 발생되었다. 어떤 경우는 엔코더 신호가 증가하는 방향으로 변화하였고 또 어떤 경우는 감소하는 방향으로 변화하였다.

이러한 신호의 변화는 항상 발생하는 것이 아니고 비정기적으로 발생하는 경향을 보이기도 하였다. 중요한 것은 과연 실제로 실리콘 ingot이 상하방향으로 이동되는가의 문제이었다. 실제로 위치가 변화한다면 이는 균일조사 목적을 해칠 수 있는 커다란 문제점이기 때문이다. 회전운동을 진행시키면서 수중에 카메라를 집어넣어 실리콘 ingot의 위치를 관찰한 결과 실제로는 전혀 위치의 변동이 발생되지 않았다. 결론적으로 엔코더 신호의 비정상적인 변화는 전기적 노이즈에 의한 것임을 확인하였다.

엔코더 신호는 약 5V 펄스신호이므로 노이즈에 쉽게 노출될 수 있는 특성을 가지고 있음에 주안점을 두고 원인을 분석한 결과 한 가지 가능성을 발견하였다. 기계구동장치와 모터제어장치 사이의 신호선 중 엔코더 신호와 2개 모터 제어선을 같은 전선관에 집어넣어 포설하였다. 모터 제어선은 스텝핑 모터의 회전방향과 속도를 제어하기 위하여 약 48V 펄스형태의 전압신호를 지속적으로 ON/OFF 하기 때문에 이로부터 유기되는 전기적 노이즈 가능성을 의심하게 되었다.

전기적으로 유기되는 노이즈를 차단하기 위해서는 물리적인 이격이 가장 효과적이기 때문에 같은 전선관에 모터 제어선과 함께 포설하였던 엔코더 신호선을 분리하여 별도의 독립 전선관에 포설하였다. 물리적으로 이격시키고 나서 수 차례에 걸쳐 시험조사를 실시하였으나 더 이상의 엔코더 신호 변화는 발생되지 않았다. 향후 수행할 NTD#1 조사공에 대한 모터제어장치 설치 시에도 반드시 엔코더 신호선은 모터 제어 신호선과는 완전히 격리시켜 포설하여야 할 것이다.

제 3 장 중성자 계측장치 개발

NTD 조사과정에서 중성자 총조사량을 정확히 측정, 감시하는 것은 목표비저항의 달성을 위하여 매우 중요하다. 중성자의 절대 조사량을 실시간 측정, 감시 목적으로 가장 널리 사용되는 것은 자기출력형 중성자 검출기(Self-Powered Neutron Detector : SPND)이다. 제어봉의 위치 변동에 따른 중성자속의 분포 변화를 효과적으로 감시하기 위하여 조사관에 출력감도가 뛰어난 2개의 Rh형 SPND를 설치하였다. SPND를 이용하는 중성자 계측장치는 DC 증폭기와 A/D변환을 통한 출력신호를 저장 감시하는 제어컴퓨터로 구성된다. 현재 사용하고 있는 SPND와 DC 증폭기 등은 스웨덴 R-2 원자로에서 검출감도를 교정하여 납품된 것이다.[2][3] 절연저항 측정시험 등을 통하여 SPND의 성능을 확인하였고 표준계측장비를 이용하여 DC 증폭기의 교정시험을 수행하였으며 시스템 구성을 완료한 후 실제 원자로에서의 시험조사 과정을 통하여 SPND 신호의 건전성을 확인하였다. 중성자 계측시스템의 구성과 동작원리에 대하여 상세히 설명하였다.

3.1 SPND 동작 특성

SPND는 에미터(emitter)와 콜렉터(collector)가 그림 3-1과 같이 동축 형태로 되어 있고 그 중간은 금속산화물의 분말 형태 절연체로 채워져 있다. 에미터로서는 Rh, V, Co, Cd 등이 이용되고 있으며 (n, β) 또는 (n, ν ,e) 반응에 의한 전자 방출로 인하여 외부 전원 없이도 에미터-콜렉터 사이에 흡수 중성자에 비례하는 전류가 흐르는 원리를 사용한다.

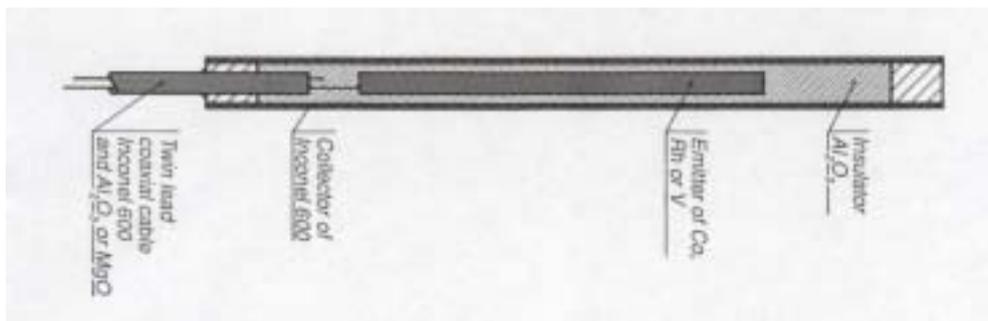


그림 3-1 SPND의 구조

SPND의 에미터는 높은 열중성자 검출 감도를 가져야 하고 응답시간이 빨라야 하며 열중성자 이외의 방사선에 대한 감도는 낮아야 한다. 표 3-1은 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 SPND 에미터의 특성을 간략하게 요약한 것이다.

표 3-1 SPND 에미터 종류의 특성

Emitters	Detection Mechanism	Activation Cross Section [barn]	Neutron Sensitivity [A/nv-cm]	Response Time (0-63%)	Half Life	Burnout Rate in 10^{13} nv (%/month)
Rh-103	(n, β)	139	1.2×10^{-21}	1.1 min	44 sec	0.23
V-51	(n, β)	4.88	7.7×10^{-23}	5.5 min	3.75 min	0.013
Co-59	(n, ν ,e)	37	1.7×10^{-23}	-	10.4 min	0.094
Cd	(n, ν ,e)	500	1.6×10^{-22}	-		1.3

표에서 보는 바와 같이 에미터의 요건을 모두 만족시키고 있는 것은 없다. 출력 감도는 Rh이 우수하지만 감손율이 낮은 단점이 있고 V와 Co는 감손율과 수명 측면에서는 유리하지만 응답시간이 느리다. NTD 조사에서 가장 중요한 조건이 정확한 조사량 측정이므로 중성자 감도가 좋고 응답특성이 우수한 Rh-SPND를 하나로 사용하기로 결정하였다. Rh-SPND의 단점이 될 수도 있는 감손율은 적절한 방법으로 보정이 가능할 것으로 판단된다.

컬렉터는 (n, β) 반응으로 background 신호에 영향을 미치는 Mn 함량이 매우 낮고 내식성이 우수한 Inconel 600을 사용한다. 에미터-컬렉터간 또는 Inconel sheath 내에 충전되는 절연물질로는 Al_2O_3 또는 MgO 등의 금속산화물이 주로 사용되는데 저항특성은 MgO가 우수하지만 방사선에 의한 swelling으로 인하여 컬렉터나 Inconel 피복이 파괴되는 사례가 보고되고 있어 하나로 SPND의 경우는 Al_2O_3 를 채택하였다. 그림 3-2는 하나로에 사용되고 있는 Rh-SPND의 구조와 크기를 보여주고 있다.

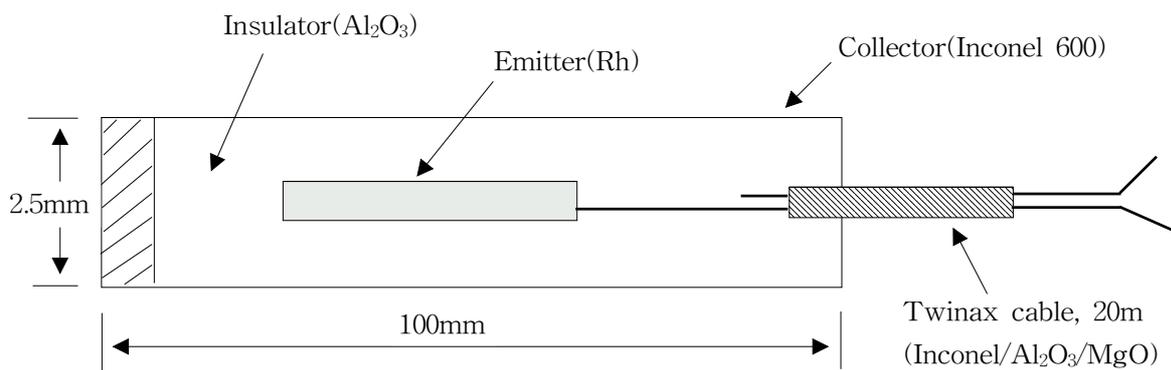


그림 3-2 하나로에 사용되고 있는 Rh-SPND 구조

SPND는 피복관의 미세 결함을 통한 수분 흡수 등으로 저항 특성이 저하되는 경우

가 발생될 수 있으므로 구입 시 철저한 X-선 비파괴 검사 및 He 누설 검사 등을 통한 엄격한 품질보증과 아울러 초기 특성을 잘 측정해 두고 사용 중에도 정기적으로 이들을 검사하여야 한다. 하나로에 사용되는 Rh-SPND의 사양은 표 3-2와 같다.

표 3-2 하나로 Rh-SPND 사양

항 목	사 양
Emitter	
- 재질 :	Rhodium
- 크기 :	Φ0.7 mm x 60 mm
- 무게 :	약 0.29 g
Collector	
-재질 :	Inconel 600
-크기 :	Φ2.5 mm x 0.25 mm x 100 mm
절연재료 :	Al ₂ O ₃
검출감도 :	1.0 x 10 ⁻²⁰ A/nv ± 2%
Burn-up rate at 10¹⁴n/cm² · sec :	3.9%/month
절연저항 :	≥10 ¹² Ω at 20℃ ≥10 ⁸ Ω at 400℃
Connector :	LEMO FE 1302

검출 감도는 에미터의 크기에 따라 다소 차이가 있으며 절연저항 역시 조금씩 차이가 있음을 현장 실측을 통하여 확인하였다. SPND는 약 20 미터 길이의 케이블이 검출기에 연결되어 있고 그 끝에 LEMO 콘넥터가 붙어 있다. 실제 사용에서는 또 다른 20 미터의 케이블이 추가로 연결되어 junction box를 거쳐 DC 증폭기로 연결된다. 따라서 절연저항을 어디에서 측정하느냐에 따라 값이 크게 달라진다. 가장 정확하게 SPND의 절연저항을 측정하기 위해서는 가능한 한 케이블의 길이를 짧게 하는 것이 바람직하다. 그러나 하나로에 사용되는 SPND는 수조 속의 조사위치를 감안하여 검출기에 결합되는 케이블의 길이를 20미터로 정하여 구매하였기 때문에 검출기에 연결된 케이블의 최종단 콘넥터에서 절연저항을 측정하였다. 검출기 사양에 따르면, 20℃에서의 절연저항은 10¹²Ω 이상이어야 하지만 실제 측정값은 약 10¹¹Ω 정도이었다. 이는 검출기에 연결된 20 미터 길이의 케이블과 콘넥터 그리고 절연저항 계측기의 리드선 접촉에 따른 영향 등으로 인하여 절연상태가 저하되는 것으로 판단된다.

현재 하나로에서 보유하고 있는 SPND는 모두 10개인데 이들의 성능 특성은 표 3-3

과 같다.

표 3-3 하나로에서 보유 중인 SPND 성능 특성

SPND S/N	Emitter		Detector Outer Dia. [mm]	Sensitivity [A/nv]	절연저항 [Ω]		비 고
	Diameter [mm]	Length [mm]			at 20°C	at 400°C	
V-960	2.0	100	3.5	5.33×10^{-21}	$> 10^{12}$	E-C: 1.5×10^8 D-C: 1.6×10^8	
V-970	2.0	100	3.5	5.80×10^{-21}	$> 10^{12}$	E-C: 0.9×10^8 D-C: 1.0×10^8	
Rh-57	0.7	100	2.5	1.76×10^{-20}	$> 10^{12}$	E-C: 1.0×10^8 D-C: 1.2×10^8	
Rh-89	0.7	60	2.5	1.017×10^{-20}	$> 10^{12}$	E-C: 1.7×10^8 D-C: 1.9×10^8	
Rh-90	0.7	60	2.5	1.053×10^{-20}	$> 10^{12}$	E-C: 1.6×10^8 D-C: 1.8×10^8	
Rh-91	0.7	60	2.5	1.064×10^{-20}	$> 10^{12}$	E-C: 1.8×10^8 D-C: 2.2×10^8	
Rh-93	0.7	60	2.5	1.052×10^{-20}	$> 10^{12}$	E-C: 3.0×10^8 D-C: 3.5×10^8	
Rh-94	0.7	60	2.5	1.068×10^{-20}	$> 10^{12}$	E-C: 1.1×10^8 D-C: 1.2×10^8	NTD#2 사용 중
Rh-95	0.7	60	2.5	1.046×10^{-20}	$> 10^{12}$	E-C: 1.2×10^8 D-C: 2.3×10^8	NTD#2 사용 중
Rh-97	0.7	60	2.5	1.052×10^{-20}	$> 10^{12}$	E-C: 1.5×10^8 D-C: 2.0×10^8	

E : Emitter D : Compensator C : Collector

3.2 신호증폭기 특성과 성능시험

3.2.1 신호증폭기의 동작특성

하나로에 사용하고 있는 DC 증폭기는 스웨덴의 Studsvik사가 제작한 4695A 형식이다. 4695A 증폭기는 4채널의 SPND 저준위 전류신호를 받아들여 전압출력신호로 전환하여 외부로 내보낸다. 증폭기에는 2개의 이득조정단자가 있는데 미세 조정단자는 전면에 설치되어 있고 거시 조정단자는 증폭기 내부회로에 설치되어 있다. 0~10 V 출력전압 기준으로 conversion factor(CF)는 2×10^7 V/A이다. 증폭기는 0~10 V, 0~5 V, 0~10 mV, 0~1 mA(adjustable) 등 모두 4개의 서로 다른 신호를 출력한다. 표 3-4는 DC 4695A 증폭기의 사양을 보여주고 있다.

표 3-4 DC 4695A 증폭기 사양

항 목	사 양
Conversion Factor (Gain)	2×10^7 V/A
Fine Adjustment	x 2
Coarse Adjustment	x 5
Response Time	35 msec
Linearity	≤ 0.25 %
Accuracy	≤ 0.1 %
Temp. Drift	≤ 10 pA/°C
Long-term Stability	≤ 0.2 nA/month
Outputs	0~10 V 4 Ω 0~5 V 5.1 k Ω 0~10 mV 10 Ω 0~1 mA Adjustable
Power	± 24 VDC 0.2 A
Front Panel Switch	
- Position E	Emitter Lead Current
- Position D	Emitter Current
- Position C	Compensating Lead Current

증폭기 회로는 주증폭기 회로 부분과 출력회로 부분 등 2 부분으로 나누어져 있다. 주증폭기 회로는 다시 2 개의 증폭회로로 구성되어 있는데, 첫번째 증폭회로는 SPND 2 개의 리드선으로부터 입력되는 전류차를 증폭하기 위한 고임피던스 FET 증폭기이고 두 번째 증폭회로는 첫번째 증폭회로의 출력을 증폭하기 위한 전압 증폭기이다.[4]

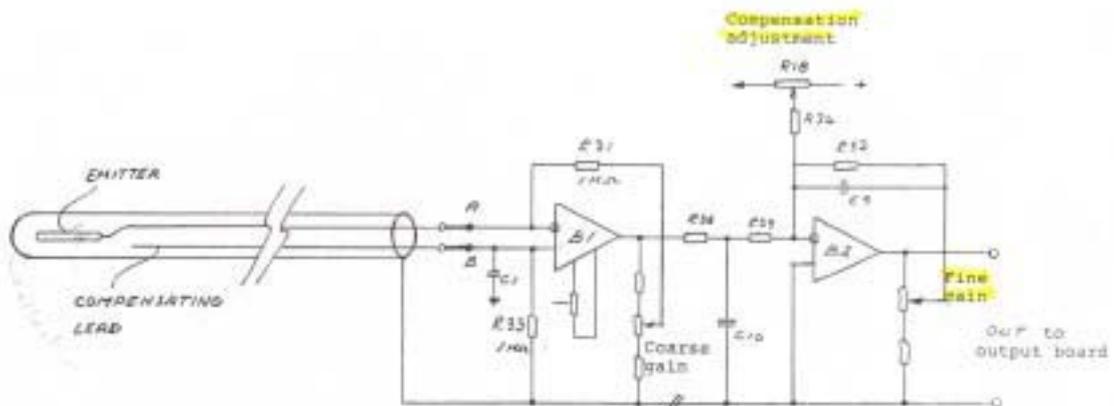


그림 3-3 DC 4695A 증폭기 회로도

그림 3-2의 SPND 구조에서 알 수 있듯이 검출기 내부에는 에미터에 연결되어 있는 신호선 외에 또 하나의 리드선(compensating lead)이 함께 증폭기 위치까지 포설된다. 이 compensating lead 선은 매우 미세한 전류가 흐르는 신호선의 잡음 영향을 보상하기 위하여 준비되었다. 증폭기의 전면에는 4개 채널 각각에 대하여 선택스위치가 설치되어 있다. 선택스위치는 'C', 'D', 'E'로 표기되어 있는 3개의 위치를 선택할 수 있도록 되어 있다. 'E'를 선택할 경우에는 SPND 에미터로부터의 전류만을 선택하여 처리하고 'C'를 선택할 경우에는 compensating lead로부터의 전류만을 선택한다. 그리고 'D'를 선택할 경우에는 에미터와 compensating lead의 전류 차이를 처리한다. 따라서, 정상적인 위치는 전류 차이를 처리하는 'D' 위치이지만 잡음이 전혀 없는 환경에서는 'D' 또는 'E' 어디에 놓든 출력신호의 차이는 없을 것이다.

그림 3-3의 증폭기 회로에서 SPND로부터의 2개 신호선이 증폭기 B1의 A, B 입력단에 각각 연결되어 있다. B1 증폭기는 2개 신호선의 전류차를 증폭하여 B2 증폭기로 보내는 역할을 수행한다. B2 증폭기는 입력된 전압신호를 적절하게 처리하여 4개의 서로 다른 전압 또는 전류형태로 출력신호를 외부로 내보낸다. 그림에서와 같이 거시이득조정은 B1 증폭기에서, 미세이득조정은 B2 증폭기에서 조정된다. 그림 3-4는 DC 4695A 증폭기의 부품도를 나타낸다. 그림 3-4에는 주증폭 회로 부분만 있고 출력회로 부분은 나타나지 않았다.

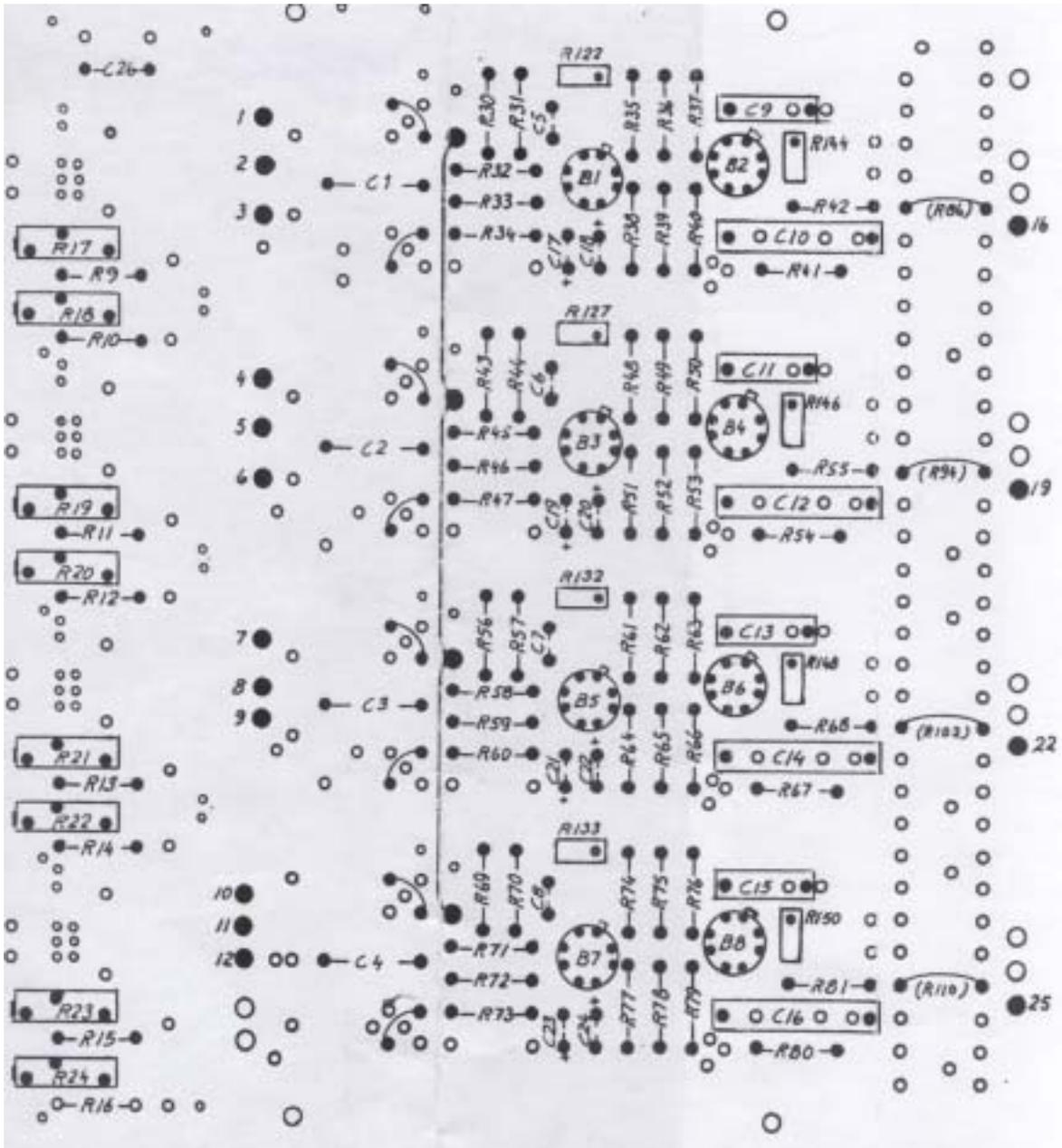


그림 3-4 DC 4695A 증폭기의 부품 조립도

3.2.2 DC 증폭기의 교정

신호증폭기는 SPND로부터의 미세 전류를 증폭하여 전압출력으로 전환하기 위하여 높은 이득(2×10^7 V/A)을 가지는 특성이 있기 때문에 신호의 교정은 거시조정과 미세조정의 두 단계를 거쳐 이루어진다. 교정의 원리를 설명하는 것보다는 실제 현장에서 적용한 상세 교정절차를 기술하는 것이 향후 참고자료로써 활용할 수도 있어 바람직하다고 판단된다.

< DC 4695A DC 신호증폭기 교정 절차 >

표준계측장비 : 디지털 멀티미터

저전류 발생기

저전류 측정장치

Step 1 : 전원공급 상태 점검

- Output board의 B5 단자(또는 pin 26)에서 전압을 측정한다. [$+15V \pm 5\%$]
- Output board의 B6 단자(또는 pin 25)에서 전압을 측정한다. [$+15V \pm 5\%$]

Step 2 : 오프셋 조정(Offset Adjustment)

- 오프셋 조정을 실시하기 전에 약 1시간 이상 증폭기를 ON상태로 유지한다.
- 전면의 선택스위치를 'D' 위치로 조정한다.
- 증폭기 입력단을 모두 접지단자로 연결한다.
- Main board의 pin 16(또는 output board의 pin 17)에서 전압을 측정한다.
- 측정 전압이 0.000V가 되도록 가변저항 R144를 조정한다.
- 최종 측정 전압을 기록한다.
- 입력단을 접지단자로부터 분리한다.

Step 3 : 거시 이득조정(Pre-amplifier Check for Coarse Gain Verification)

- 전면의 선택스위치를 'E' 위치로 전환한다.
- 저전류 발생기 출력을 100nA로 설정하고 증폭기 emitter 단자로 공급한다.
- Main board의 B1-pin 6에 멀티미터를 연결한다.
- 측정값이 최소가 되도록 가변저항 R122를 조정한다. [최소값 $\approx -0.4V$]
- 최종 측정값을 기록한다.
- 측정값이 최대가 되도록 가변저항 R122를 조정한다. [최대값 $\approx -2.4V$]
- 최종 측정값을 기록한다.
- 저전류 발생기 출력을 500nA로 증가시킨다.
- 측정값이 -4.5V가 되도록 가변저항 R127을 조정한다.
- 최종 측정값을 기록한다.

Step 4 : 미세 이득조정(Post-amplifier Check for Fine Gain Verification)

- 전압 측정값이 -1.0V가 되도록 저전류 발생기 출력을 조정한다.
- 멀티미터를 main board의 pin 16(또는 output board의 pin 17)으로 옮긴다.
- 측정값이 최소가 되도록 GAIN(R17)을 조정한다. [최소값 $\approx 2.0V$]
- 최종 측정값을 기록한다.
- 측정값이 최대가 되도록 GAIN(R17)을 조정한다. [최대값 $\approx 4.0V$]

- 최종 측정값을 기록한다.

Step 5 : Conversion Factor 확인

- 저전류 발생기의 출력 전류를 500nA로 증가시킨다.
- 측정값이 10.0V가 되도록 GAIN(R17)을 조정한다.
- 최종 측정값을 기록한다.

Step 6 : 차등증폭기 기능 점검(Differential Amplifier Check)

- 전면의 선택스위치가 'E' 위치에 있는지 확인한다.
- 50nA 전류를 emitter 와 compensator 입력단에 동시 공급한다.
- Main board의 B1-pin 6에 멀티미터를 연결하고 전압을 측정한다. [1.0V]
- 전면의 선택스위치를 'D'로 전환한다.
- 측정전압이 $\pm 10\text{mV}$ 이하인지를 확인한다.
- 저전류 발생기 출력 전류를 500nA로 증가시킨다.
- 측정전압이 $\pm 50\text{mV}$ 이하인지를 확인한다.

Step 7 : 응답시간 점검(Response Time Check)

- 스텝 입력을 증폭기 입력단에 인가한다.
- Main board의 pin 16(또는 output board의 pin 17)을 오실로 스코프에 연결하고 스텝 입력에 대한 출력펄스를 저장한다.
- 출력 펄스가 최종 입력값의 50%에 도달할 때까지의 시간을 확인한다.

Step 8 : COMP Trimmer 기능 점검

- 저전류 발생기 전류를 500nA로 설정한다.
- 전면의 선택스위치를 'E'로 전환한다.
- Main board의 pin 16(또는 output board의 pin 17)에 멀티미터를 연결한다.
- 측정값이 최소 또는 최대값이 되도록 전면의 COMP(R18)를 조정한다.
[최소값 $\approx 5.0\text{V}$, 최대값 $\approx 10.0\text{V}$]

특기사항 : GAIN(R17)을 조정하면 zero 값이 함께 달라지므로 이때 COMP(R18)를 이용하여 다시 zero 값을 영(0)으로 조정한다.

Step 9 : 교정상태 확인

- 모든 조정이 완료되면 저전류발생기의 출력전류를 0nA, 100nA, 200nA, 300nA, 400nA, 500nA 등으로 변화시키면서 그때의 출력을 확인하여 충분한 정확도를 유지하는지 확인한다.

위에 기술한 교정절차에 따라 2개의 DC 신호증폭기를 교정하여 현재 NTD 조사시험에 사용하고 있다. 10여 차례에 걸친 조사시험을 통하여 신호증폭기는 양호한 정확도를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 현장에서 사용하고 있는 2개 신호증폭기에 대한 교정성적서를 표 3-5와 3-6에 나타내었다.[5]

표 3-5 S/N 11589 증폭기의 교정성적서

표준입력	표준출력	CH.1 출력		CH.2 출력		CH.3 출력		CH.4 출력	
		10V	5V	10V	5V	10V	5V	10V	5V
0	0.0	-0.8 mV	-0.7 mV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.016	0.009
100	2.0	1.996	0.999	2.014	1.005	1.994	0.997	2.012	1.007
200	4.0	4.012	2.008	4.012	2.003	4.01	2.005	4.01	2.005
300	6.0	6.01	3.008	6.01	3.000	6.01	3.003	6.01	3.003
400	8.0	8.01	4.008	8.01	3.998	8.01	4.002	8.00	4.001
500	10.0	10.00	5.01	10.00	5.000	10.0	5.00	10.00	5.00

주 : 1) 증폭기에는 10V, 5V 출력 외에 10mV 및 1.0mA 출력도 있으나 이들은 NTD 조사시험에 사용되지 않기 때문에 제외시켰다.
 2) **S/N 11589 증폭기의 CH.1과 CH.2가 NTD#2 조사시험에 이용되고 있다.**

표 3-5 S/N 11584 증폭기의 교정성적서

표준입력	표준출력	CH.1 출력		CH.2 출력		CH.3 출력		CH.4 출력	
		10V	5V	10V	5V	10V	5V	10V	5V
0	0.0	0.015	0.007	0.014	0.007	0.018	0.008	0.018	0.009
100	2.0	2.011	1.006	1.993	0.997	2.005	2.014	2.014	1.005
200	4.0	4.01	2.005	4.009	2.005	4.012	2.003	4.012	2.002
300	6.0	6.01	3.004	6.01	3.003	6.01	2.999	6.01	2.998
400	8.0	8.00	4.003	8.01	4.003	8.01	3.997	8.01	3.994
500	10.0	10.00	5.00	10.00	5.00	10.00	4.99	10.00	4.99

※ 증폭기에는 10V, 5V 출력 외에 10mV 및 1.0mA 출력도 있으나 이들은 NTD 조사시험에 사용되지 않기 때문에 제외시켰다.

3.3 원자로 출력운전을 통한 SPND 신호특성 분석

3.3.1 SPND 출력신호

2개의 SPND로부터의 신호선은 4채널 신호증폭기로 입력된다. 신호증폭기는 SPND로부터의 전류를 적절한 형태의 전압신호로 변환하여 기록계, 지시계 등으로 출력한다. 하나로 NTD 조사시험의 SPND 신호채널은 그림 3-5 와 같이 구성하였다.

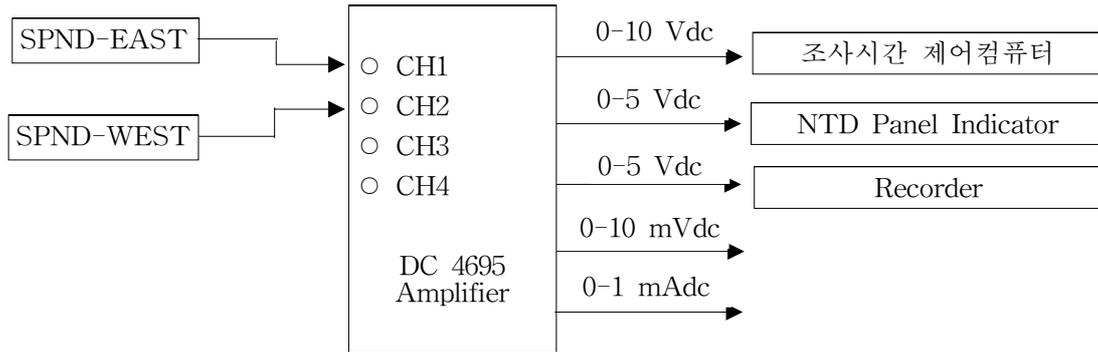


그림 3-5 SPND 신호 채널 구성

NTD#2 조사관 상단부에 2개의 SPND를 대칭으로 설치하였는데 노심에 가까운 것을 SPND-WEST, 노심에서 멀리 떨어진 것을 SPND-EAST로 표기하였다. 노심에 더 가까운 SPND-WEST가 좀 더 높은 중성자속 신호를 출력하고 있음을 여러 번의 조사시험을 통하여 확인하였다. 그림 3-5에서 보는 바와 같이 0-10Vdc 출력신호는 제어컴퓨터로 입력되어 총조사량 계산에 사용되고 0-5Vdc 출력신호는 지시기와 기록계로 각각 보내어져 사용된다. 신호증폭기 출력신호에 대한 conversion factor(CF)는 다음과 같다.

10V 출력에 대한 $CF = 2.0 \times 10^7 \text{ V/A}$

5 V 출력에 대한 $CF = 1.0 \times 10^7 \text{ V/A}$

하나로 NTD 조사장치에 설치한 SPND의 sensitivity(G)는 약 $1.0 \times 10^{-20} \text{ A/nv}$ 이므로 다음과 같이 계산식을 만들 수 있다.

$$V_{out} = \text{Neutron Flux} \times G \times CF$$

$$\text{Neutron Flux} = V_{out} / (G \times CF)$$

예를 들어, 10V 출력신호가 4.2V를 나타낼 때 실제 중성자속은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{Neutron Flux} &= 4.2 / 1.0 \times 10^{-20} \times 2.0 \times 10^7 \\ &= 2.1 \times 10^{13} \text{ nv} \end{aligned}$$

3.3.2 SPND 신호의 선형성 측정 결과

원자로 출력을 1MW씩 단계적으로 상승시키면서 그때의 신호증폭기 지시값을 기록하고 원자로 출력에 대한 SPND 출력신호를 그래프로 그려 그림 3-6에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이, SPND 출력신호의 선형성은 매우 양호한 것으로 분석되었다. 앞서 설명한 바와 같이, 서쪽에 설치한 SPND 신호가 동쪽에 설치한 것 보다 약 20% 정도 더 크게 측정되었다.

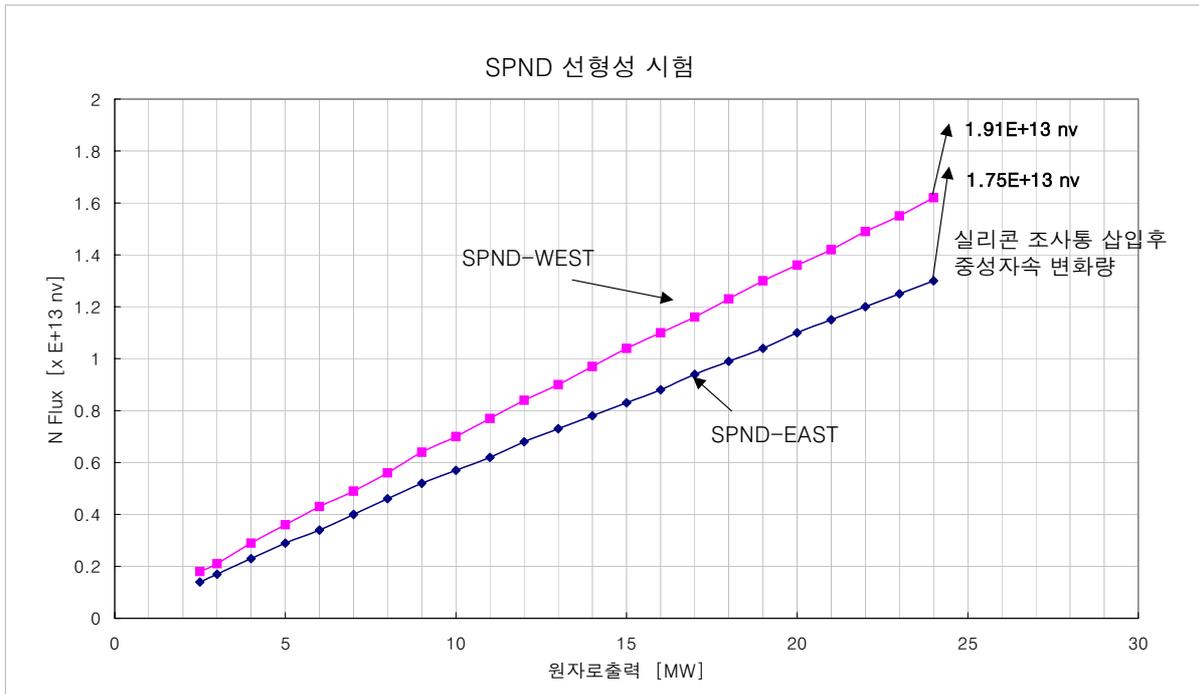


그림 3-6 SPND 출력신호의 선형성 시험

3.3.3 SPND 신호의 응답특성

원자로 출력 24MW 상태에서 NTD 조사시험을 수행하면서 SPND 신호 응답특성을 분석하였다. 원자로 출력이 24MW로 안정되어 있는 상태에서 NTD 조사통이 조사공 속으로 삽입 또는 인출될 때 SPND 중성자 신호변화를 관찰하였으며 또 조사공에 인접하고 있는 IP3 조사공 속에 동위원소 시료가 장전되어 있을 때와 물로 채워져 있을 때 그리고 알루미늄 플러그 즉, 공기가 채워져 있을 때 각각의 중성자 신호변화의 차이를 분석하였다.

1) NTD 조사공이 물로 채워져 있을 경우의 SPND 신호변화

NTD 조사공에 아무것도 채워지지 않은 상태 즉, 조사공이 물로 채워져 있는 상태에서 조사시험을 수행하였다. 2002년 6월 14일 19:00부터 21:00까지 원자로 출력 24MW 상

태에서 조사통이 조사공으로 삽입되는 순간부터 2시간의 조사가 종료될 때까지 2개 SPND로부터의 중성자 신호를 기록하였다. 그림 3-7은 조사공이 조사통으로 삽입될 때 발생하는 SPND 신호 변화상태를 나타낸 그래프이다.

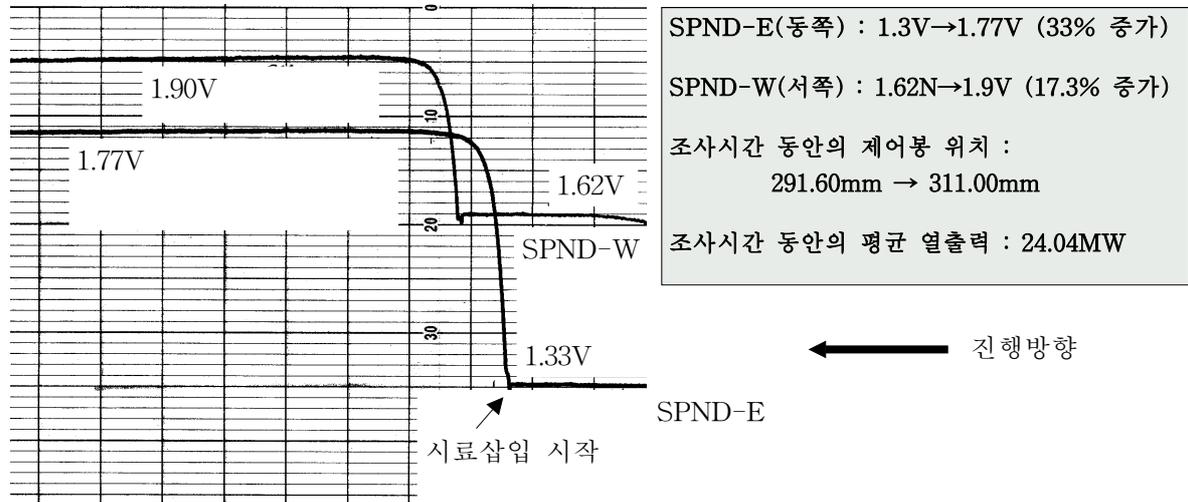


그림 3-7 NTD 조사공이 물로 채워져 있을 경우의 SPND 신호변화

조사통이 조사공으로 삽입되는 순간 중성자 신호가 순간적으로 감소하였다가 다시 증가하는 모양을 보여주고 있는데 이에 대한 원인은 조사통의 기하학적 구조와 관련이 있다. 조사통이 조사공 속으로 삽입되고 난 후의 SPND 신호는 삽입되기 전보다 크게 증가하였다. 조사통의 동쪽에 위치한 SPND는 약 33% 증가하였고 조사통 서쪽에 있는 SPND는 약 17.3% 증가하였다.

2) NTD 조사공에 AI Plug를 설치하였을 때의 SPND 신호변화

2002년 6월 19일 IP3 조사공에 AI plug를 장전한 상태에서 조사시험을 실시하였다. 원자로 출력 24MW 상태에서 16:33분부터 20:33분까지 4시간 동안 조사를 진행하면서 동일한 방법으로 SPND 신호를 기록하였다. IP3 조사공이 공기로 채워진 상태에서 조사통의 삽입 전후 중성자 신호는 그림 3-8과 같이 IP3 조사공이 물로 채워져 있을 때와는 다르게 변화하였다.

1.3V

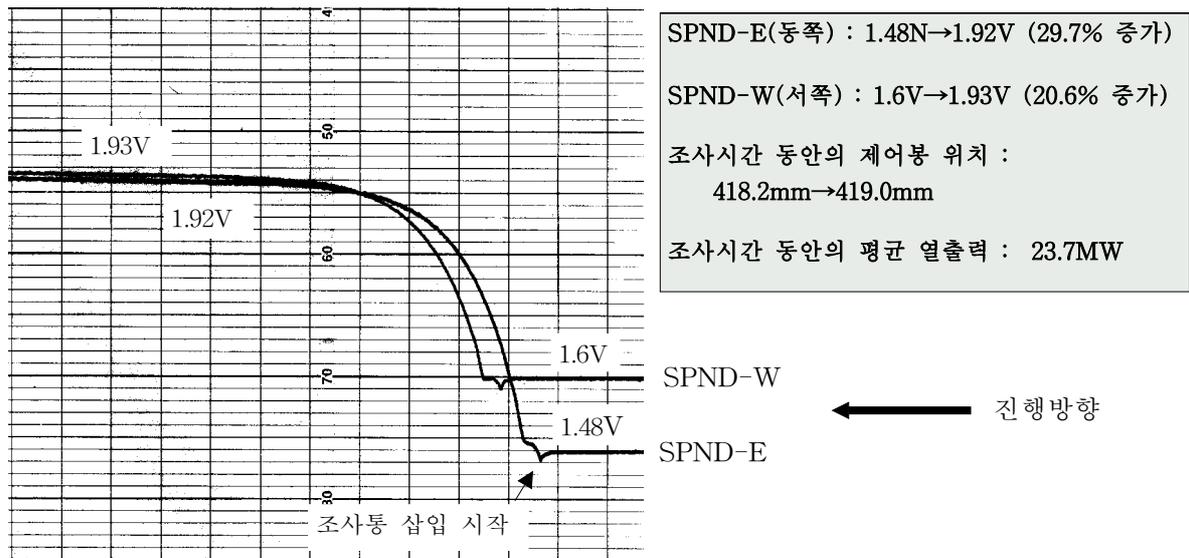


그림 3-8 NTD 조사공이 공기로 채워져 있을 경우의 SPND 신호변화

3) IP3 조사공 조건에 따른 중성자 신호변화

원자로 출력을 24MW로 유지하고 있는 상태에서 IP3 조사공에 장전되어 있는 RI 시료를 인출하는 순간 조사공 SPND 신호가 감소하다가 다시 조금 증가하여 안정되었다. IP3 조사공에 Al plug를 장전하고 난 후에는 SPND 신호가 증가하였다. IP3 조사공 조건에 따른 중성자 신호의 변화는 2개 SPND 중 동쪽에 설치되어 있는 SPND가 훨씬 민감하게 반응하였다. 이는 IP3 조사공이 동쪽에 설치된 SPND에 가깝기 때문인 것으로 추정되었다. 이들 각각에 대한 중성자 신호 변화를 그림 3-8과 그림 3-9에 나타내었다.

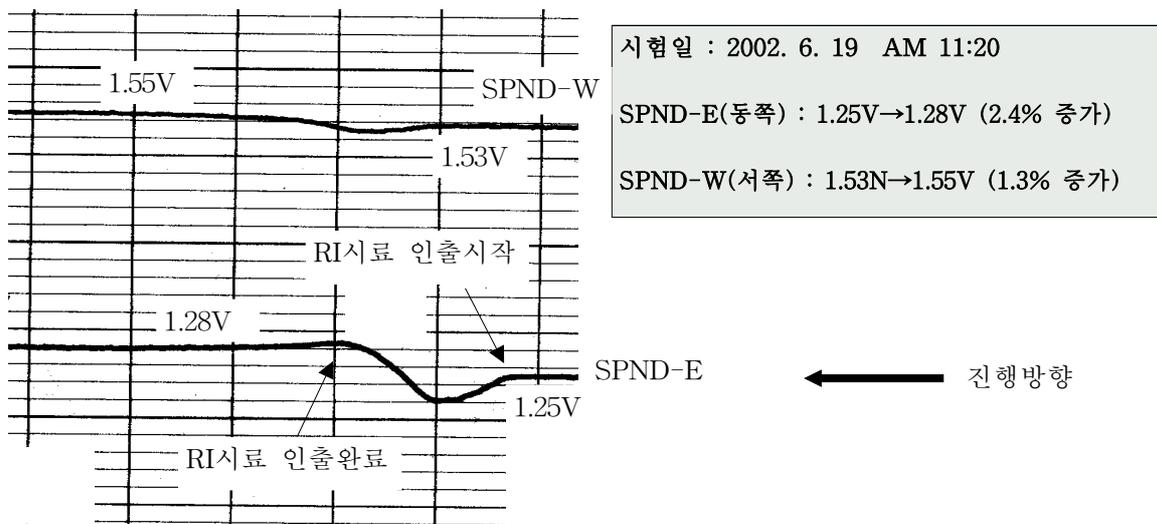


그림 3-9 IP3 조사공으로부터 RI시료를 인출하는 순간의 SPND 신호 변화

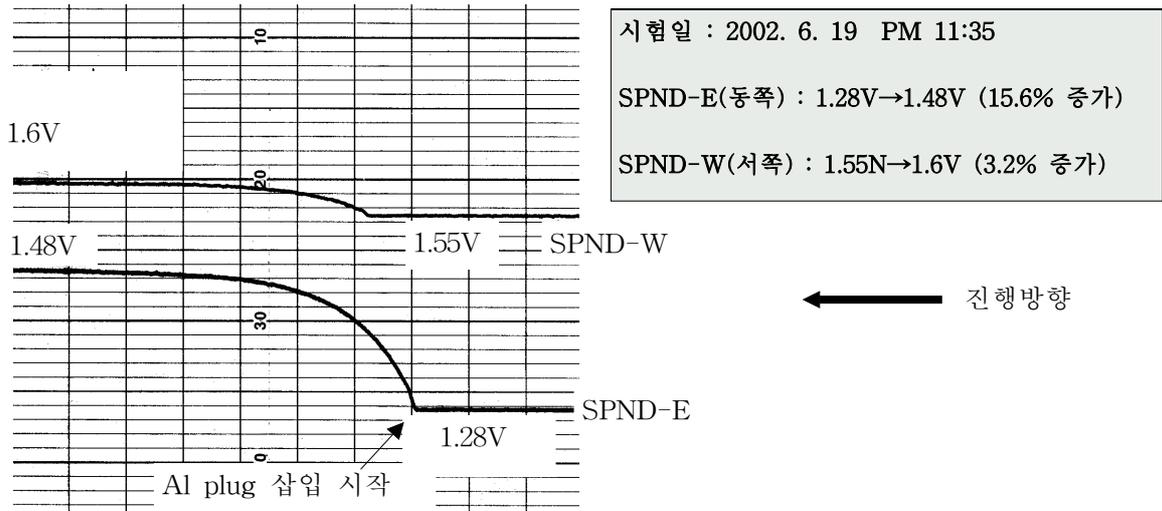


그림 3-10 IP3 조사공에 Al plug를 삽입하였을 때의 SPND 신호 변화

원자로 출력 24MW에서 NTD 조사통이 조사공에 장전되어 회전하고 있는 상태에서, IP3 조사공에 Al plug를 장전하였을 때와 장전하지 않았을 때(IP3 조사공이 물로 채워져 있을 경우)의 중성자 신호 차이는 아래 표 3-7과 같았다. 중성자 신호는 원자로 열출력 또는 제어봉의 위치에 따라 차이가 있지만 증감율은 의미가 있을 것으로 판단되어 표에 나타내었다.[6]

표 3-7 IP3 조사공 조건에 따른 NTD 중성자속 변화량 (24MW 운전상태)

	IP3 조사공이 물로 채워져 있을 경우	IP3 조사공에 Al plug가 장전되어 있는 경우	증감율
SPND-E	1.77×10^{13} nv	1.92×10^{13} nv	8.47% 증가
SPND-W	1.90×10^{13} nv	1.93×10^{13} nv	1.60% 증가

제 4 장 PC 기반 자동 제어 및 데이터 처리 프로그램 개발

4.1 모터제어장치 알고리즘

NTD 기계구동장치 내에 설치된 스테핑 모터는 2장에서 기술한 모터제어장치에 의하여 구동된다. 모터제어장치는 원격 자동 구동 모드와 수동 모드로 작동된다. 원격 제어 모드는 제어컴퓨터(PC)로부터 명령받아 구동되며 수동 모드는 모터제어장치 전면에 설치된 스위치에 의하여 구동된다. 모터제어장치는 모터에 장착된 엔코더 신호를 피드백 받아 처리하는 일을 수행한다. 이러한 일들을 처리하기 위하여 그림 4-1과 같은 알고리즘을 적용하였다.

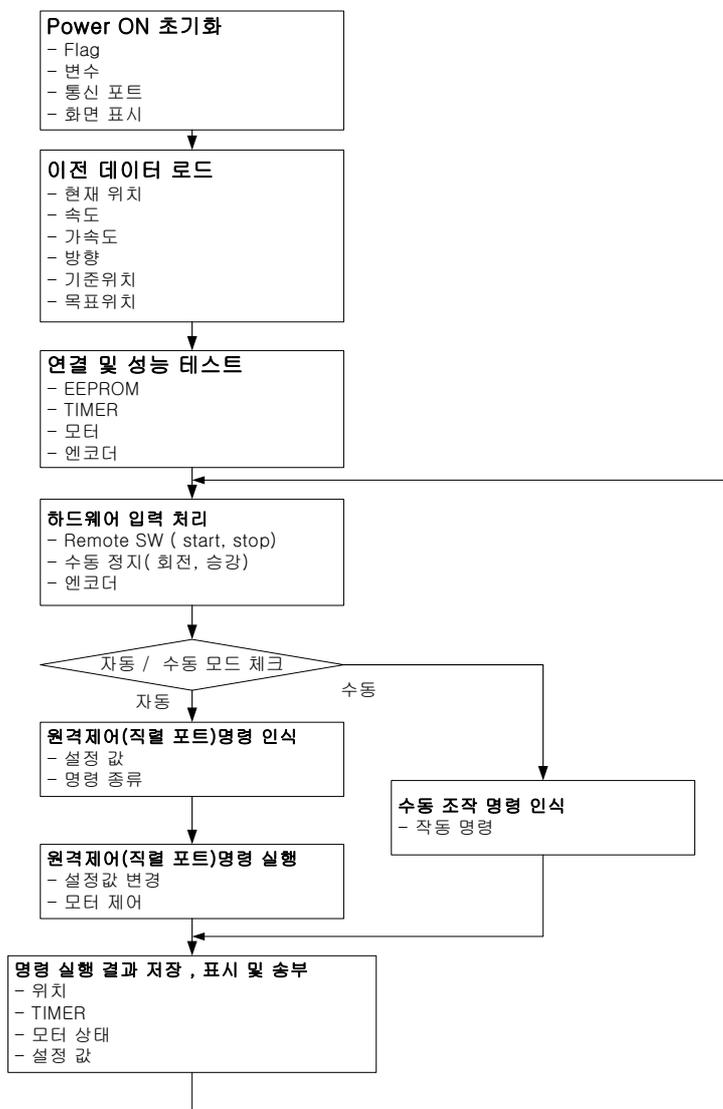


그림 4-1 모터제어장치 제어 알고리즘

수동 모드에서는 실리콘 조사통을 회전시키거나, 상하 이동을 시작하고 정지하는 기능이 가능하고, 자동운전 중이라도 회전 및 상하 이동의 정지가 가능하다. 그리고 제어 컴퓨터와 독립적으로 작동된다. 수동 모드에서는 원격제어가 차단된다. 일반적인 모터제어 장치는 전면 패널에 위치, 속도, 회전 방향, 가속도 등을 설정할 수 있는 버튼을 제공하고 있으나 NTD용은 복잡도를 줄이기 위하여 이 기능을 원격으로만 가능하도록 하였다. 따라서 수동 모드에서는 회전 방향이 일정하고 상하 이동은 설정된 구간 내에서만 가능하다. 따라서 수동 운전 모드는 실리콘 ingot 조사통을 구동장치에 매달 때나, 이동장치로부터 떼어낼 때 주로 사용한다.

4.2 통신 프로토콜

모터제어장치는 모터의 이동 속도, 가속도, 이동거리 등을 삭제/기록이 가능한 EEPROM에 저장하여 사용한다. ROM 에 저장된 값은 프로그램 시 또는 실행 중에 프로그램적으로 변경하여야 한다. 그러나 모터제어장치에는 설정할 수 있는 입력장치를 두지 않았으므로 외부(컴퓨터)로부터 입력받아야 한다. 외부와의 통신은 RS-485나 RS-232를 사용하여 이루어진다. 통신을 통하여 정보를 송수신하기 위하여 개발한 프로토콜은 다음과 같다.[7]

STX | EQUIPMENT ID | MOTOR ID | COMMAND | DATA SIZE(N) |
DATA(1) - (N-1) | CHECKSUM | ETX

STX(1byte) : 0x10

EQUIPMENT ID(2 byte) : 모터제어기에서 보낼때는 99, 모터제어기로 보낼때는 01

MOTOR ID(1byte) : 명령의 대상이 되는 모터 번호(0: 승강, 1: 회전)

COMMAND(2byte) : up to 99 (십진법 숫자를 high , low 나누어 기술)

DATA SIZE(2byte) : up to 99 (byte 단위를 high, low 로 나누어 기술)

DATA : data size 에서 규정한 개수의 데이터

CHECKSUM : 16진법으로 STX 부터 DATA 까지를 더한 값

ETX : 0x18

모터제어장치에서 PC로 보내는 명령은 표 4-1 과 같고 PC 에서 모터제어장치로 보내는 명령의 종류는 표 4-2와 같다.

표 4-1 모터 제어 장치에서 PC 로 보내는 명령

번호	전달내용		비고
	Motor Controller -> PC	데이터	
01	Current Position	Data(3 Byte) : 24 Bit Position Data)	Hex format
02	Timer Value	Data (6 Byte) : hh(2), mm(2), ss(2)	Ascii Format
03	ACK	Data(2 Byte)	
04	End Status	Data(4 Byte)	
05	Motor Status	Data(2 Byte)	

표 4-2 PC 에서 모터 제어 장치로 보내는 명령

번호	전달 내용		비고
	PC-> Motor Controller	데이터	
01	-	-	
02	-	-	
03	MOVE UP	No data	
04	MOVE DOWN	No data	
05	UP-DOWN STOP	No data	
06	ROTATE START	Data(1Byte) : Direction(1)	0=Left 1=Right
07	ROTATE STOP	No data	
08	INFORMATION LOAD	Data(30 Byte) : M1 Start/Stop Speed(4), M1 Object Speed(4), M1 Rate(4), M2 Start/Stop Speed(4), M2 Object Speed(4), M2 Rate(4), Desired Position(6)	
09	HOME SET	data(1Byte) :Motor number(1)	
10	HALF-FULL SET	data(2Byte) : M1(1), M2(1)	0=Half 1=Full
11	MOTOR ENABLE SET	data(2Byte) : M1(1) M2(1)	0=Disable 1=Enable
12	END STATUS REQUEST	No data	
13	POSITION REQUEST	No data	
14	ENCODER SET	Data(16 Byte) : External Counter (8), Internal Counter(8)	
15	MOTOR STATUS REQUEST	No data	
16	INFORMATION STATUS REQUEST	No data	

4.3 제어컴퓨터(PC)

제어 컴퓨터는 구동장치를 제어하며 동시에 중성자속을 측정하는 SPND 신호 등을 수집해야 하므로 다중 작업을 수행한다. 물론 일반적인 워드 프로세서나 인터넷도 사용이 가능하다. NTD 조사와 관련한 프로그램으로는 NTD 구동장치 제어 프로그램과 신호 수집 프로그램을 개발하였다. NTD 장치를 제어하고 수집하기 위하여 컴퓨터에 장착한 하드웨어는 다기능 보드와 RS-485 통신용 보드이다. 그 이외의 하드웨어는 일반적인 것으로서 컴퓨터 사양은 Pentium II 400Mhz , 128M RAM이다.

4.3.1 NTD 구동 장치 제어 프로그램

제어 컴퓨터는 모터제어장치를 통하여 NTD 기계구동장치를 제어한다. 제어 컴퓨터에서는 모터제어장치가 자동 모드에 있을 때만 설정 및 구동이 가능하다. 즉 모터 구동 장치는 자동 모드에서만 직렬통신을 통하여 정보를 수신한다. 모터제어장치는 수동 모드에서도 위치, 시간 등의 정보 송신은 계속하므로 표시는 연속적으로 가능하다.

모터제어장치의 제어는 RS-485 통신과 프로토콜에 의하여 이루어진다. 컴퓨터에서는 여러 가지 명령으로 모터의 구동과 관련된 다음 사항을 모터제어장치에 설정한다.

- 시작/정지 속도
- 가속도
- 목표 속도
- 회전 방향
- 스텝 모드(Half/Full)
- 고장 선언
- 현재 위치 설정 (zero, 임의위치)
- 기준 위치 설정
- 목표 위치 설정

모터제어장치에서는 다음과 같은 명령이 가능하다.

- 상승
- 하강
- 상승/하강 정지
- 회전
- 회전 정지
- 정보 송신 요청(모터상태, 설정 상태, 현재 상태)

모터제어장치를 제어하기 위하여 보내는 명령은 event-driven 방식으로 임의 시간에 통신으로 보내도록 프로그램하였다. 모터제어장치로부터 송신되는 정보는 다중 처리 및 고속 수행을 위하여 별도의 쓰레드(thread)를 생성하여 처리한다. 이 쓰레드는 상승 및 하강 모터의 위치 및 조사 시간 등을 연속적으로 감시하고, 설정한 조사시간이나 목표 조사량에 이르면 조사통을 인출하는 동작을 자동으로 수행한다.

구동장치와 관련된 정보는 데이터 수집 프로그램으로 전달되어 파일로 저장된다. 이와는 반대로 SPND 신호 즉 중성자속 신호는 데이터 수집 프로그램에서 구동장치 제어프로그램으로 전달된다. 이러한 데이터의 전달은 속도가 빠르고 상호 간섭을 줄이기 위하여 공유 메모리를 사용하여 이루어진다. 즉 데이터를 메모리를 통하여 중계하는 그림 4-2와 같은 Dynamic Link Library (DLL)를 개발하여 이용하였다. 이 DLL을 통하여 중성자속 측정 신호와 구동장치 신호가 상호 교환된다. DLL의 장점은 한쪽의 프로그램에 오류가 생기더라도 다른 프로그램의 실행에는 지장을 주지 않는 것과 프로그램 언어를 다르게 사용할 수 있다는 것이다. 예를 들면 구동장치 제어 프로그램에 오류가 생겨 실행이 중단되더라도 신호 수집 프로그램은 계속 실행된다. 물론 상호 전달되는 데이터는 갱신되지 않는 문제점은 있다.



그림 4-2 데이터 공유 DLL

모터제어장치 구동 프로그램의 사용자 인터페이스 화면은 그림 4-3 과 같다. 이 프로그램은 Delphi를 이용하여 개발하였으며 자세한 사용 방법은 사용자 설명서에 기술하였다. [8]

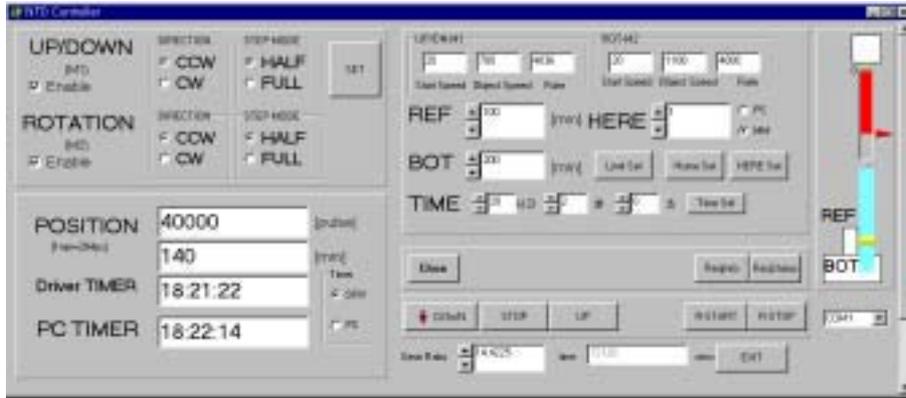


그림 4-3 NTD 구동장치 제어 프로그램

4.3.2 신호 수집 프로그램

1) 신호 수집 하드웨어

SPND 신호와 NTD 구동장치와 관련된 아날로그나 디지털 신호를 수집하기 위하여 다기능 보드(multi-function board)를 PC에 장착하고 이를 이용한 프로그램을 개발하였다. 아날로그 신호 입출력, 디지털 신호 입출력, 카운터 기능을 갖춘 다기능 보드는 다음과 같은 사양을 가지고 있다. [9]

- 모델번호 : NI PCI-6052E multi-function board
- Sampling rate : 333 kHz programmable
- Resolution : 16 bit
- AI channels : 16 채널 (8 difference)
- Programmable gain : 0.05 - 10 V
- AO channels : 2
- Counters : 2 up/down 24 bit resolution
- Digital I/O : 8

다기능 보드는 아날로그 입력/출력, 디지털 입력/출력, 타이머 입력을 할 수 있으나, NTD 장치에는 아날로그 입력만 사용하고 있다. 신호 연결은 그림 4-4와 같은 단자에 그림 4-5와 같이 연결한다. 아날로그 신호는 RSE(Referenced Single Ended) 방식으로 연결한다. 즉 신호 그라운드를 공통(-)으로 하고 신호선을 각 채널에 연결하는 방식이다.



그림 4-4 신호 연결 단자

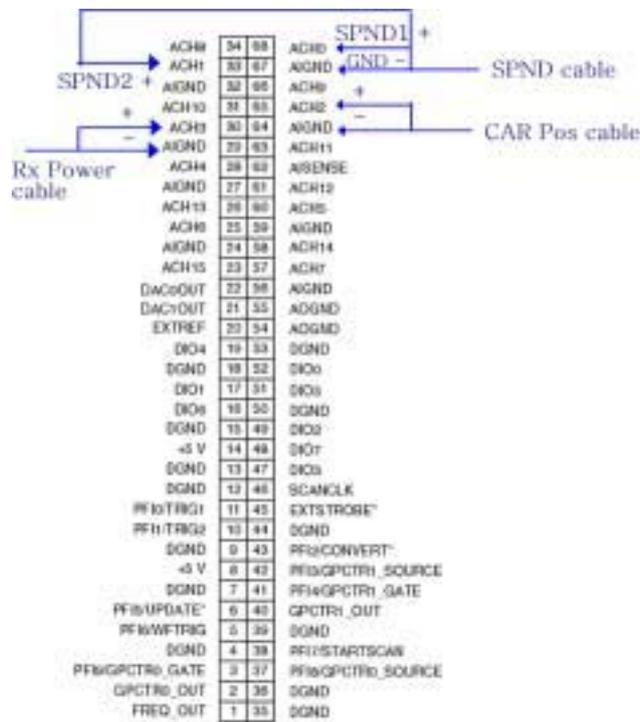


그림 4-5 신호 연결 단자의 접속도면

NTD에 필요한 아날로그 신호 수집은 여러 가지로 설정할 수 있지만 sampling rate 은 1000개/초로 하고 이득은 1(0 - 10VDC)로 설정하였다. 그리고 조사량 계산에는 초당 1000개의 신호를 평균하여 사용한다. 조사량 계산을 위한 고려사항은 다음과 같다.

- SPND 특성 (응답특성)
- SPND 신호 와 조사통 내의 시료에서의 중성자속과의 상관 관계
- 조사통 구동 특성 (이동 속도, 조사 위치)

또한 원자로 운전 조건에 따른 최적 조사 위치 설정에 필요한 고려사항은 다음과 같다.

- SPND와 원자로 출력과의 관계
- 제어봉 위치와 최적위치의 상관 관계
- 운전이력과 최적위치의 상관 관계

따라서 위에서 고려하여야 하는 사항 중에서 컴퓨터가 원자로 제어봉 위치 신호와 원자로 열출력 신호를 아날로그 신호로 수집하도록 하였다. 아직까지 시험 자료가 충분하지 않아 상관 관계가 밝혀지지 않았지만, 추후에는 이를 고려하여 조사시간, 최적위치 계산을 자동화할 것이다.

2) 신호 수집 소프트웨어

신호 수집 프로그램은 Visual Basic [10]으로 개발되었으며 전술한 대로 DLL 을 통하여 NTD 구동장치와 관련된 데이터를 공유하고, 데이터 파일에 자료를 같이 저장한다. 신호 수집 프로그램의 사용자 인터페이스는 그림 4-6과 같다.

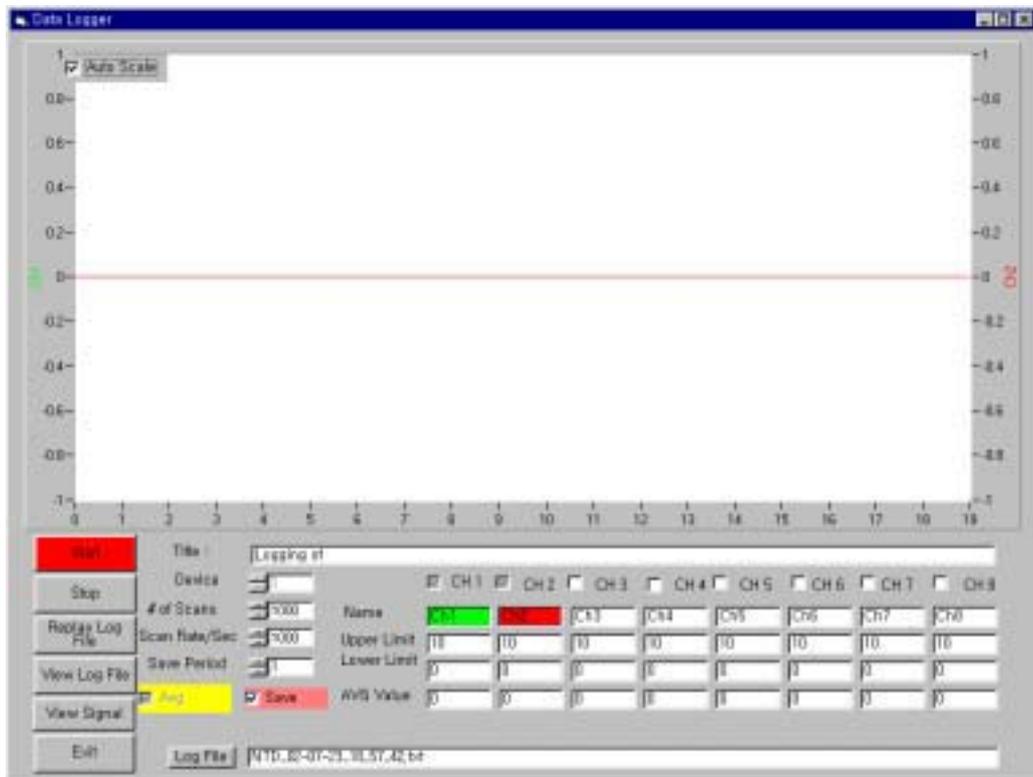


그림 4-6 신호 수집 프로그램

신호 수집 프로그램과 NTD 구동장치 제어 프로그램으로 수집한 실리콘 조사중의 자료는 그림 4-7 과 같다.

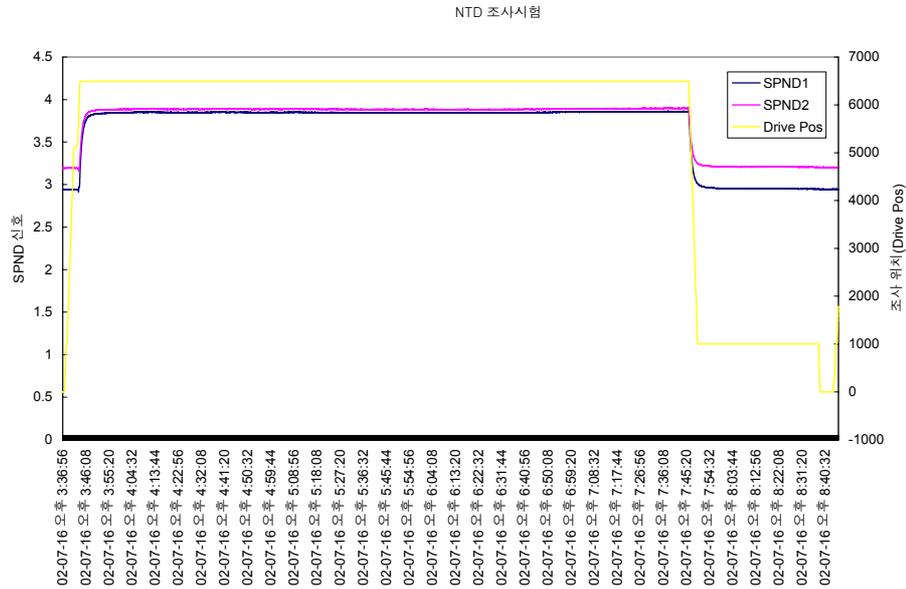


그림 4-7 실리콘 시료 조사중의 신호 수집 결과

4.4 NTD 구동 장치 운전 절차

모터제어장치와 제어 컴퓨터(PC)의 모터제어장치 제어 프로그램을 이용한 간략한 운전 절차는 다음과 같다.

- 1) 수조 덮개를 덮는다
- 2) 모터제어장치에 컨넥터를 연결한다
- 3) 전원을 연결하고, UPS가 꺼져 있으면 ON 시킨다.
- 4) 컴퓨터가 꺼져 있으면 컴퓨터를 켜다.
- 5) 모터제어장치의 자동/수동 스위치를 “자동”(AUTO)운전모드로 놓고 컴퓨터의 NTD 구동장치 제어 프로그램을 시작시킨다.
- 6) 컴퓨터의 신호 수집 프로그램을 실행시킨다.
- 7) "OPEN" 버튼을 눌러 제어기와 컴퓨터간의 통신 포트를 연결한다.
- 8) 현재 제어기의 구동속도, 기준위치, 조사위치를 알기 위해서는 "ReqInfo" 버튼을 누른다(잠시 후 화면에 설정된 값이 표시된다).
- 9) 시작하기 전에 구동속도, 회전속도, 기준위치(REF), 조사위치(BOT)를 확인하고, 필요시 "LIMIT Set" 버튼으로 재설정을 한다.
- 10) 위의 조사위치와 기준위치는 수조 상부에서부터의 거리를 의미하며 따라서 조사위치가 기준위치보다 큰 값을 가져야 한다.

- 11) 모터 제어 장치의 자동/수동 스위치를 “수동” 으로 놓고 체인이 약 1.7 m 가 되도록 “DOWN” 과 “STOP” 스위치로 하강시킨다. (체인이 끝까지 올라간 경우를 가정함)
- 12) 시료가 부착된 봉를 체인 후크에 걸고 후크를 구동장치 바로 아래로 이동 시킨다.
- 13) 모터제어장치의 “UP” 스위치로 zero 지점까지 상승시켜 후크에서 체인을 분리한다.
- 14) 후크를 구동장치에서 멀리(제자리로) 위치 시킨다.
- 15) 모터 제어 장치의 자동/수동 스위치를 “자동”(AUTO)운전모드로 놓고 기준위치와 조사 위치를 설정한다.
- 16) 설정이 확인되면 “DOWN” 버튼으로 조사통을 기준위치까지 하강시킨다.
(기준위치에서 정지된다.)
- 17) 기준위치에서 이동할 다음위치(BOT)를 설정하고 “DOWN” 버튼을 누르면 다음 위치까지는 회전하면서 하강한다.(자동으로 멈추고 회전은 계속한다)
- 18) 조사조건을 점검하여 BOT 위치를 변경 설정하고 ‘DOWN” 버튼 조작을 반복하여 최종 조사 위치까지 하강시킨다.
- 19) 조사 위치에 이르면 화면에서 인출 시의 기준 위치를 확인하고 설정한다.
- 20) 조사완료 시간을 입력하고 설정한다. (상관 관계를 파악하기 전까지는 시간으로 완료를 제어한다.)
- 21) 조사 장치는 자동으로 운전되어 설정 시간이 되면 조사장치가 기준위치까지 자동으로 인출된다.
- 22) 조사 완료 후 기준위치에 이르면 회전과 이동을 멈추고 정지한다.
- 23) 기준위치에서는 모터 제어 장치의 자동/수동 스위치를 “수동”(MANU) 운전모드로 놓고 이상이 없으면 “UP”스위치를 다시 눌러 최상부(Zero)까지 올린다.
- 24) 후크를 구동장치 아래로 이동시키고 수동으로 하강시켜 체인을 후크에 건다.
- 25) 체인이 후크에 걸리면 약 1.7 m 정도까지 내린다.
- 26) 후크를 맨브릿지 쪽으로 이동시키고 조사통을 맨브릿지로 이동시킨다.
- 27) 체인을 보관고리에 건다.
- 28) NTD 구동장치 제어 프로그램의 “CLOSE” 버튼을 눌러 통신을 종료하고 “EXIT” 버튼으로 종료시킨다.
- 29) 신호 수집 프로그램의 ‘STOP” 버튼으로 정지하고 “EXIT” 버튼으로 종료시킨다.
- 30) 데이터 파일을 분석하거나 관련자에게 송부하고 컴퓨터를 끈다.

제 5 장 전원 공급 장치

5.1 전원 공급 장치 구성

NTD 구동장치를 위한 모터제어장치, 중성자속 계측장치, 그리고 제어 컴퓨터는 정전 등의 비정상 상태에서도 최소한의 기능을 유지하거나 비상조치를 취할 수 있어야 한다. 하나로 원자로는 정전 시에는 자동으로 정지된다. NTD 조사공 내에서 실리콘 시료가 조사 중에 정전이 발생되면 즉시 시료를 인출하거나, 계속해서 구동장치와 계측장치를 정상적으로 유지시켜 조사량 파악과 균일도를 확보하여야 한다. 이렇게 정전 시에도 NTD 장치를 구동하기 위하여 무정전 전원 공급 장치(UPS)가 필요하다.

NTD 제어판넬의 각종 장치는 하나로 전기실에 설치된 전동기 제어반 E01(MCC, KM-542-E-E01-C3)으로 부터 4급, 460V 교류 전력을 공급받는다. 이 전원은 외부 정전에 직접 영향을 받는다. 따라서 모터제어장치가 있는 중앙제어판넬과 중성자 계측 판넬 하부에 UPS를 장착하여 정전 시에 대비할 수 있도록 하였다. 중앙제어 판넬은 220V 교류를 필요로 하고 중성자 계측 판넬은 110V 교류를 필요로 하여 460V를 220V와 110V로 강압하여 분배하는 변압장치를 중앙 제어 판넬에 장착하였다.

이상의 전원 연결을 그림으로 나타내면 그림 5-1과 같다. 중앙 제어 판넬에 설치된 UPS 는 220V 입력을 받아 220V , 1400VA 출력을 내며 정전시 백업 시간은 약 20분이다. 정전 회복 후 충전지 충전 시간은 약 7시간이다. 중성자 계측 판넬에 설치한 UPS 는 110V 입력, 110V, 1400VA 출력이며 정전 시 백업 시간은 약 20분이다. 정전 회복 후 충전지 충전 시간은 약 7시간이다. 110V 및 220V 용 상세한 사양은 표 5-1 과 같다.

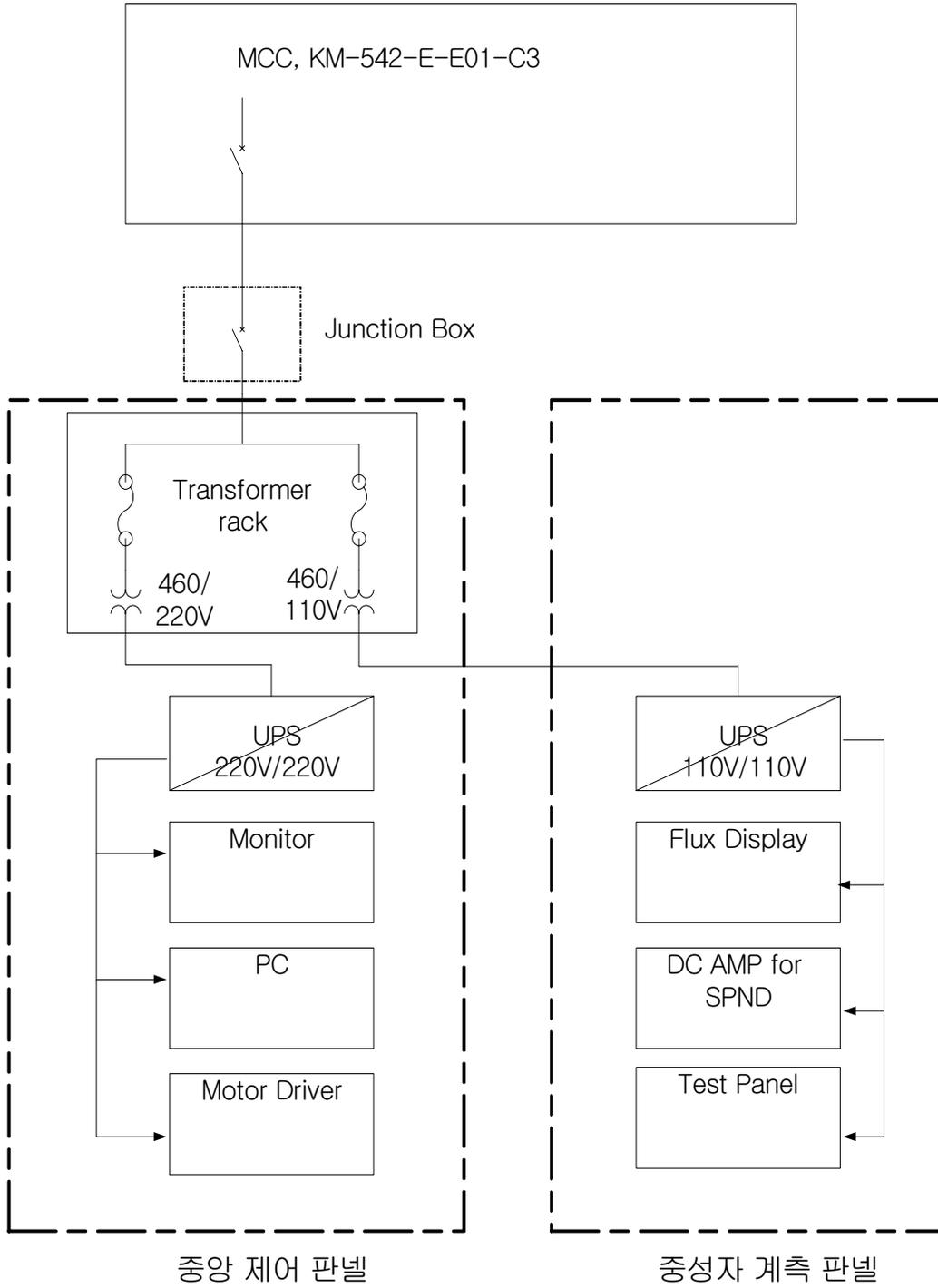


그림 5-1 NTD 전원 공급 구성도

표 5-1 UPS 사양

항목/용량		1400VA		비고
		110V	220V	
입력	상수	단상(2P + GND)		
	전압	110Vac	220Vac	
	주파수	50/60 Hz +/- 5%		주파수 자동선택
출력	상수	단상(2P+GND)		
	전압	200/220/230Vac		
	출력전류	12.8 Arms	6.4 Arms	1400VA/950W
	최대전류	19.2 Apeak 이상		
	파고율	3:1 이상		
	주파수	50/60 Hz +/- 0.1 Hz		
	파형	True Sine Wave		
	절체시간	4mSec typical		
	동기	입,출력 동기 일치된 상태에서 절체		
	전압변동율	+/- 5%		
	효율	95% 이상 (상용 100% 부하시)		충전 완료후
축전지	백업시간	20분 (실부하)		
	충전시간	7시간 이내 (90% 이상 충전)		
	전압	48V(12V 7Ah * 4 EA)		
	종류	무보수 밀폐형 연축전지 (ES type)		
연결단자	입력	power cord		
	출력	110V콘센트 2 구	220V콘센트 2 구	
	랜	D-sub 9 pin female		선택사양
기구	크기	482(W) * 430(D) * 177(H) mm		
	무게	22kg		
기타	주변온도	0-40℃(동작), 0-50℃(보관)		
	상대습도	0-95% (응결되지 않는 상태)		
	고도	해발 3 km(동작), 13.7 km (보관)		
	소음	48 db		1m 전방

5.2 정전 시 운전 절차

NTD 작업 중 정전이 발생되면 원자로는 자동 정지한다. 그러나 NTD 장치들은 UPS에 연결되어 있으므로 정전 전과 다름없이 운전 할 수 있다. 따라서 침착하게 다음과 같이 조치하면 된다. (제어 컴퓨터 운전 절차 및 UPS 운전 절차 참조)

- 1) 우선 정전이 발생되면 UPS에서 경고음과 LED 점멸로 경보가 발생되므로 경보를 해제한다.
- 2) 그리고 정전 후 20분 이내에 컴퓨터나 모터제어장치를 조작하여 시료를 조사통 상부 안내관 위로 인출시킨다.
- 3) 제어 컴퓨터 (PC)의 관련 프로그램을 종료한다.
- 4) 컴퓨터를 종료하고, 축전지 저전압 경보가 발생되고도 자동으로 꺼지지 않으면 축전지 방전을 방지하기 위하여 UPS를 정지시킨다.

5.3 UPS 운전

5.3.1 110V UPS

110V UPS 전면에는 조작과 시험을 위한 버튼과 표시등들이 그림 5-2와 같이 배치되어 있다. 각각의 기능은 다음과 같다.[11]

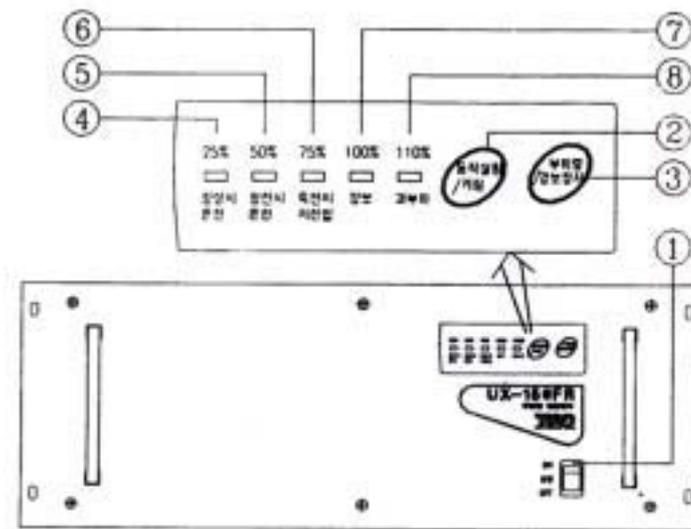


그림 5-2 110V UPS

1) 전원 스위치

무정전 전원 공급 장치의 제어전원 ON/OFF용 스위치이며 전원 스위치가 OFF 된 상

태에서는 입력 전원이 공급되어도 충전 부만 동작한다.

2) 동작 실험/켜짐 스위치

초기 동작 시에 전원 스위치가 켜진 상태에서 동작실험/켜짐 스위치를 누르면 동작을 시작한다. 무정전 전원 공급 장치가 동작 중에 동작 실험/켜짐 스위치를 누르면 정상 시 운전에서 약 4초간 정전 시 운전 상태로 동작한다.

3) 부하량/경보 정지 스위치

정상운전 상태에서 부하량/경보정지 스위치를 누르면 상태표시등 상단에 표기된 등급으로 사용하고 있는 부하량을 표시한다. 정전 운전 상태에서 부하량/경보정지 스위치를 누르면 부저음을 차단한다.

4) 정상 시 운전 표시등

무정전 전원 공급 장치의 입력 전원이 정상이면 정상 시 운전 표시등이 점등되고 입력 전원에 장애(정전, 저전압, 과전압 등)가 발생되면 소등된다.

5) 정전 시 운전 표시등

정전시 운전 표시등이 점등되면 무정전 전원 공급 장치의 입력 전원이 적정한 범위를 벗어난 상태로 축전지로부터 전원을 공급받고 있음을 나타낸다.

6) 축전지 저전압 표시등

정전 운전 상태에서 축전지 저전압 표시등이 연속적으로 점등되면, 잔여 축전지 백업 시간이 2분 이하임을 표시한다. 정상운전 상태에서 축전지 저전압 표시등이 점멸되면 축전지 상태가 비정상임을 나타내므로 약 7시간 정도 충전 후 동일한 상황이면 축전지를 교체해야 한다.

7) 경보 표시등

경보 표시등이 점등되면 무정전 전원공급 장치가 고장인 상태이므로 사용을 중단하고 수리 후 사용해야 한다.

8) 과부하 표시등

과부하 표시등이 점등되면 정격의 부하량을 초과한 상태이므로 부하량을 감소시켜야 한다.

9) 전압 표시등

동작실험/켜짐스위치와 부하량/경보정지 스위치를 동시에 누르면 상태 표시등 상단에 표기된 등급으로 입력 전원의 상태를 표 5-2와 같이 표시한다.

표 5-2 상태 표시등의 전압 표시

표시등	110V 용 UPS 입력 전압 [V]
25%	82-97
50%	98-114
75%	115-125
100%	126-150
110%	151-158

5.3.2 220V UPS

220V UPS 의 외형은 그림 5-3과 같고 조작부 확대 그림은 그림 5-4 와 같다. 조작방법과 표시등의 내용은 다음과 같다.[12]



그림 5-3 220V UPS

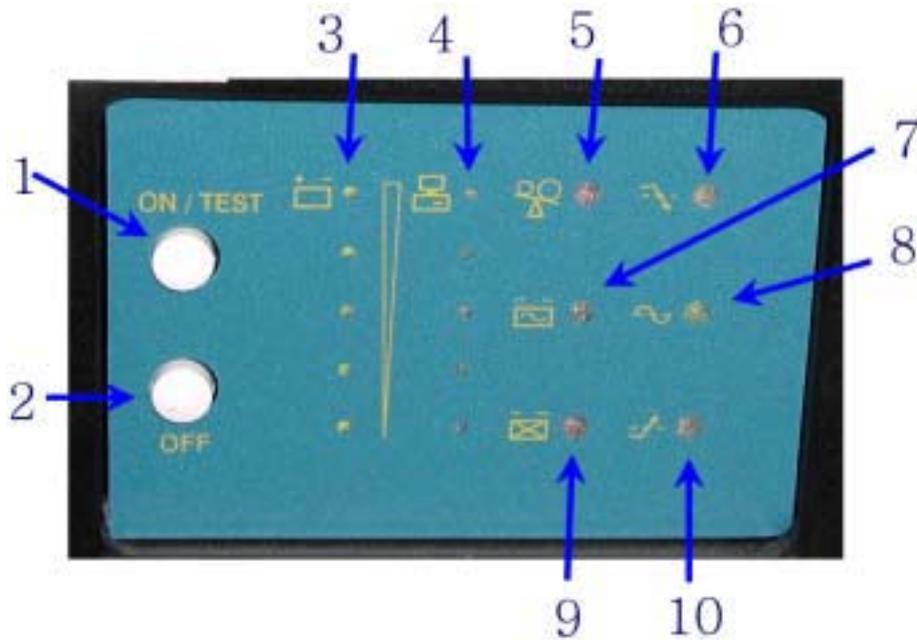


그림 5-4 220V UPS 전면 조작부

- 1) 켜짐/동작실험 스위치
초기 동작 시에 켜짐/동작실험 스위치를 누르면 동작을 시작한다. 무정전 전원 공급 장치가 동작 중에 켜짐/동작실험 스위치를 누르면 정상 시 운전에서 약 4초간 정전 시 운전 상태로 동작한다. 누를 때는 약 3-4 초간 눌러야 한다.
- 2) 꺼짐 스위치
무정전 전원 공급 장치의 제어전원 OFF용 스위치이며 전원 스위치가 OFF된 상태에서는 입력 전원이 공급되어도 충전부만 동작한다. 누를 때는 약 3-4 초간 눌러야 한다.
- 3) 축전지 충전량 표시등
축전지 충전량을 20% 단위로 표시한다.
- 4) 부하량 표시등
현재의 부하량을 20% 단위로 표시한다.
- 5) 과부하 표시등
과부하 표시등이 점등되면 정격의 부하량을 초과한 상태이므로 부하량을 감소시켜야 한다.
- 6) 높은 입력 전압을 내려줌 표시등
입력 전압이 너무 높으면 지능형 강하 기능으로, 내부 배터리를 사용하지 않고 정상전압으로 조정하여 준다.
- 7) 정전 시 운전 표시등
정전 시 운전 표시등이 점등되면 무정전 전원 공급 장치의 입력 전원이 적정한 범위를 벗어난 상태로 축전지로부터 전원을 공급받고 있음을 나타낸다.
- 8) 입력 정상 시 운전 표시등
무정전 전원 공급 장치의 입력 전원이 정상이면 정상 시 운전 표시등이 점등되고 입력 전원에 장애(정전,저전압,과전압 등)가 발생되면 소등된다.
- 9) 축전지 저전압 표시등
정전 운전 상태에서 축전지 저전압 표시등이 연속적으로 점등되면, 잔여 축전지 백업 시간이 2분 이하임을 표시한다. 정상운전 상태에서 축전지 저전압 표시등이 점멸되면 축전지 상태가 비정상임을 나타내므로 약 7시간 정도 충전 후 동일한 상황이면 축전지를 교체해야 한다.
- 10) 낮은 입력전압 올려줌 표시등
입력전압이 낮으면 지능형 승압 기능으로 내부 배터리를 사용하지 않고 정상전압으로 조정하여 준다.

제 6 장 결론

2001년에 착수한 NTD 구동장치 자동제어기술 개발은 모터제어장치, 중성자속 측정 계통 및 PC를 이용한 자동제어 및 데이터 처리 프로그램 개발 등으로서, 중요한 연구 결과는 다음과 같다.

- 실리콘 ingot 조사통의 수직위치 및 회전제어가 독립적으로 가능한 모터제어장치를 제작하였다. 제어컴퓨터를 통한 원격제어뿐만 아니라 장치에 부착한 스위치 조작에 의한 수동 제어가 가능하도록 하였다. 단계별 현장시험을 통하여 모터제어장치의 성능을 확인하였고 출력운전 상태에서의 조사시험을 통하여 2003년부터 예정된 NTD 실리콘의 상업적 생산에 충분히 적용 사용할 수 있음을 확인하였다.
- Rh형 SPND와 4채널 DC 신호증폭기로 구성된 중성자속 계측장치는 24MW 출력운전 상태에서 충분히 정확하고 안정된 출력신호를 제공하고 있음을 확인하였다.
- PC를 이용한 NTD 구동장치 제어 프로그램과 각종 신호를 실시간으로 감시, 기록, 저장할 수 있는 데이터 처리 프로그램을 개발하였다. 목표 조사량 또는 조사시간에 따라 제어 프로그램이 자동으로 조사통을 삽입 인출할 수 있도록 구성하였다. 실제 조사시험을 통하여 프로그램의 성능과 데이터 처리 기능이 만족스러움을 확인하였다.

보고서에 소개한 구동장치 자동제어 관련 하드웨어 및 소프트웨어 기술은 NTD#2 조사공을 위한 것으로써, 아직 개선하여야 할 부분이 많이 남아있다. 조만간 NTD#1 조사공 활용 연구도 시작될 예정이므로 현재의 문제점들을 충분히 개선한 새로운 자동제어장치의 개발을 준비하여야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 전병진, “중성자 도핑”, KAERI/AR-604/2001, 2001. 9
- [2] 김현준 외, “중성자 변환법에 의한 실리콘 도핑 기술 개발”, KAERI/RR-797/88, 1989. 5
- [3] 김현준 외, “중성자 변환법에 의한 실리콘 도핑 기술 개발”, KAERI/RR-912/89, 1990. 6
- [4] Studsvik Instrument, “DC Amplifier 4695 A”
- [5] 김영기, “NTD 조사시험 - SPND 신호분석”, 내부통신문, HAN-RS-CR-01-680-017, 2002. 6. 17
- [6] 김영기, “NTD 조사시험 - SPND 신호분석”, 내부통신문, HAN-RS-CR-01-680-018, 2002. 6. 21
- [7] 정환성, NTD 구동장치 제어 소스 프로그램, 2002.7
- [8] Marco Cantu, “Mastering Delphi 6”, Sybex, 2001
- [9] National Instrument, “PCI-6052E User manual”
- [10] Microsoft press, “Microsoft 한글 Visual Basic 6.0 Programmer’s Guide”, 영진출판사, 2000
- [11] “110V UPS 취급 설명서”, (주)영신엔지니어링
- [12] “220V UPS 취급 설명서”, (주)영신엔지니어링

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호		표준보고서번호	INIS 주제코드	
KAERI/TR-2247/2002					
제목 / 부제	하나로 NTD 구동장치 자동제어기술 개발				
주저자	정 환 성 (하나로운영팀)				
연구자 및 부서명	김영기, 최영산, 우종섭, 전병진 (하나로운영팀)				
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2002. 7
페이지	47 p.	도표	있음(o), 없음()	크기	29.7 cm
참고사항					
비밀여부	공개(o), 대외비(), ___급비밀		보고서 종류	기술보고서	
연구위탁기관			계약번호		
초록(15-20 줄 내외)					
<p>2001년에 착수한 NTD 구동장치 제어기술 개발은 주로 모터제어장치, 중성자속 계측장치의 개발 및 PC를 이용한 자동제어 및 데이터 처리 프로그램 개발 등에 관한 것이었다. 실리콘 ingot의 수직위치 제어 및 회전제어가 독립적으로 그리고 동시 제어 가능하도록 설계하였고 각각의 모터 회전속도는 제어컴퓨터를 통하여 임의 설정 가능하도록 하였다. 단계별 현장시험을 통하여 모터제어장치의 성능을 확인하였고, 24MW 출력운전상태에서 실제 실리콘 ingot에 대한 조사시험을 통하여, 개발된 모터 제어장치를 NTD-Si의 상업적 생산에 적용할 수 있음을 확인하였다. 실리콘 ingot의 총조사량 감시를 위하여 일반적으로 노내 중성자검출기로 널리 사용되고 있는 Rh형 SPND를 사용하였다. 조사관의 중앙부 2곳에 Rh-SPND를 설치하고 검출기 케이블을 수조 상부에 설치되어 있는 DC 신호증폭기 입력단으로 연결하였다. NTD 조사장치 설계의 타당성을 확인하기 위한 시험조사를 통하여 SPND는 충분히 정확하고 안정된 중성자속 신호를 제공하고 있음을 확인하였고 해석에 의한 예측값과도 상당히 일치하고 있음을 알 수 있었다. NTD 구동장치 제어 프로그램에서는 목표 조사량을 맞추기 위하여 조사시간 또는 누적 조사량을 감시하여 실리콘을 인출 할 수 있게 개발하였다. 조사관에 설치된 SPND 신호와 제어봉 위치, 원자로 출력 신호를 아날로그 형태로 입력받아 디지털로 변환하여 처리하는 신호 수집 프로그램을 개발하였다. 신호는 실시간으로 감시되고 주기적으로 파일로 저장된다. 실제 조사를 통하여 프로그램을 시험하고 데이터를 수집하여 분석한 결과 자료 수집이 성공적임이 확인되었다.</p>					
주제명 키워드 (10 단어 내외)	NTD, 모터제어장치, SPND, 실리콘 ingot, 목표 조사량, 조사관, 승강모터, 회전모터, DC 증폭기				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/TR-2247/2002					
Title / Subtitle		Development of Automatic Control Techniques for HANARO NTD Driving Unit			
Main Author		H.S. Jung(HANARO Operation Team)			
Researcher and department		Y.K.Kim, Y.S.Choi, J.S.Wu, B.J.Jun (HANARO Operation Team)			
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI	Publication date	2002. 7
Page	47 p.	Ill. & Tab.	Yes(o), No()	Size	29.7 cm
Note					
Classified	Open(o), Restricted(), __Class Document			Report Type	Technical Report
Sponsoring Org.				Contract No.	
Abstract(15-20 Lines)					
<p>The results of the research on the NTD automatic control techniques started from the beginning of 2001. The motor control system is designed to operate with independent and simultaneous up-down and rotation of the silicon ingot motion and the setpoint of each motor speed could be easily adjusted by the control PC. Taking a few steps of field test, its performance has been successfully verified. Then, through the actual irradiation with the real silicon ingot under 24MW of reactor power, it has been confirmed that the motor control system developed could be applied to the commercial production. Two set of Rh-type SPNDs, known as a in-core neutron detector are used for real-time monitoring of the accumulated neutron irradiation. They are installed around the center position of the irradiation sleeve and the cables are carefully routed up to the top of the pool for connection to the DC amplifier. It has been verified, by the sample irradiation test for validation of the design that the neutron measurement system gives an accurate and stable signal, which shows a good consistency with the estimation. To precisely control the target fluence, the NTD control program has been designed so that the silicon ingot be automatically removed from its irradiation hole by the pre-defined irradiation time or accumulated neutron flux. Data acquisition program has been also developed for real-time monitoring and analysis of the analog signals, like SPND flux, control rod position and reactor power. The actual position of the silicon ingot is feedback from the motor control system via the digital communication port then used as a reference signal for the data analysis. It's been proved that a few times of sample irradiation tests under real condition that the NTD control software and the data acquisition program works satisfactorily and can be used for the commercial service next year.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)		NTD, Motor control system, SPND, Silicon ingot, Target irradiation flux, Up/Down motor, Rotating motor, DC Amplifier			