

하나로의 중성자 이용 도핑 장치#2 제어

Control of HANARO NTD#2 Driving Unit

정환성, 김영기, 최영산, 우종섭, 전병진

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

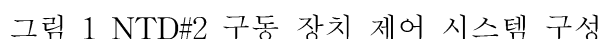
하나로 연구용 원자로에서 중성자를 이용하여 반도체 도핑을 하는 구동 장치#2을 제어하는 기술을 개발하였다. 이를 위하여 모터제어장치, 중성자속 계측장치 및 PC를 이용한 자동제어 및 데이터 처리 프로그램을 개발하였다. 실리콘 ingot의 수직위치 제어 및 회전제어가 가능하도록 하였고 각각의 모터 회전속도는 제어컴퓨터를 통하여 임의 설정 가능하도록 하였다. 단계별 현장시험을 통하여 모터제어장치의 성능을 확인하였고, 24MW 출력운전상태에서 실제 실리콘 ingot에 대한 조사시험을 통하여, 개발된 모터제어장치를 NTD-Si의 상업적 생산에 적용할 수 있음을 확인하였다. 실리콘 ingot의 총조사량 감시를 위하여 Rh형 SPND를 사용하였다. 시험조사를 통하여 SPND는 충분히 정확하고 안정된 중성자속 신호를 제공하고 있음을 확인하였다. 구동장치 제어 프로그램에서는 목표 조사량을 맞추기 위하여 조사시간 또는 누적 조사량을 감시하여 실리콘을 인출 할 수 있게 개발하였다. SPND 신호와 제어봉 위치, 원자로 출력 신호등의 신호 수집 및 처리 프로그램을 개발하였다.

Abstract

Automatic control system and control algorithm has been developed for Neutron Transmutation Doping System #2 (NTD#2) of HANARO research reactor. A motor control system, a neutron flux measurement system using SPND(Self-powered Neutron Detector) and a PC-based control and data acquisition system were developed. The motor control system was designed to control up-down and rotation of the silicon ingot motion and the set point of each motor speed could be easily adjusted by the control PC. 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. Rh-type SPNDs are used for real-time monitoring of the accumulated neutron irradiation. 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. 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 system has been also developed for real-time monitoring and analysis of the analog signals, like SPND flux, control rod position and reactor power.

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 오며 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 논문에서는 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 있으며 그림 1과 같은 구성을 하고 있다.



모터제어장치, 자동제어 및 데이터 처리를 위한 제어용 PC, 전원 상실 시 비상운전을 위한 무정전 전원장치 그리고 각종 경고등 등은 중앙제어판넬에 설치하였고 중성자 신호 처리를 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 Rh 타입의 자기출력형 중성자 검출기(Self-powered Neutron Detector : SPND)를 사용하였다. SPND를 포함한 신호증폭기, 입출력 장치, 신호지시기 등은 절연저항 시험, 선형성 시험, 조사 시험을 통하여 특성 등이 양호한 상태임을 확인하였고 원자로 운전상태에서의 중성자 측정신호도 안정성과 정확도를 충분히 유지하고 있음을 확인하였다[2][3][4]. 선형성 시험결과는 그림 2와 같다.

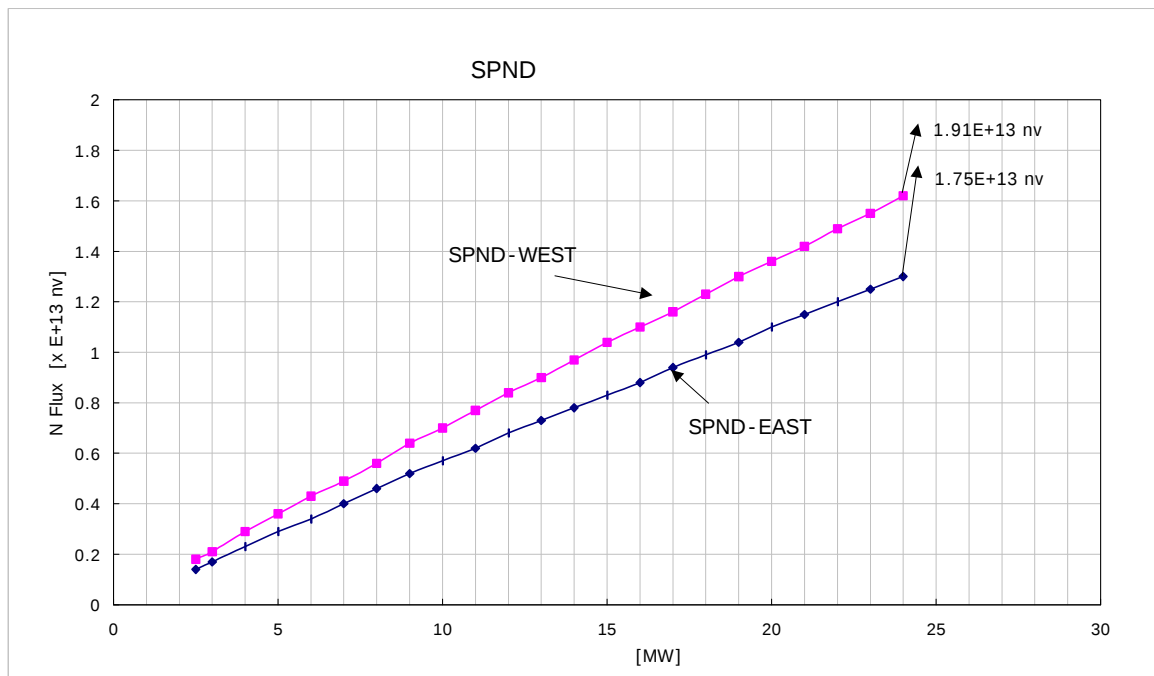


그림 2 SPND 선형성 시험 결과

모터제어장치는 2개 모터의 구동신호를 발생시키는 드라이버 부분과 외부 기기와의 인터페이스 기능을 담당하는 제어 모듈로 구분된다. 하나로 NTD#2 구동장치에 적합한 요건에 따라 장치의 설계, 제작이 수행되었으며 수동운전을 위한 조작 스위치를 전면부에 부착하여 제어컴퓨터 없이 수동 조작으로 조사시험이 가능하도록 하였다. 개발된 모터제어장치는 그림 3과 같은 구성으로 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.

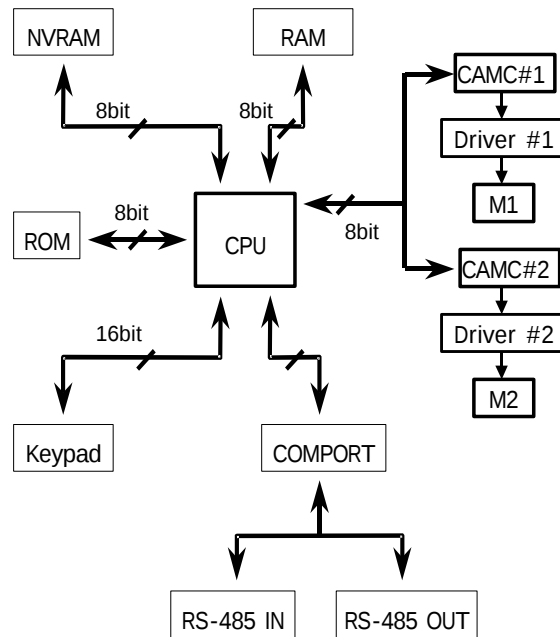


그림 3 모터제어장치 기능도

성능시험 과정에서 엔코더 신호의 노이즈 현상이 발견되기도 하였으나 이는 모터제어 장치의 문제가 아니라 함께 포설된 모터 제어 케이블로부터 유기된 것으로 확인하였고 엔코더 케이블을 별도의 전선관으로 독립시킨 후 문제가 해결되었다. 약 3개월 이상에 걸쳐 시행된 예비 조사시험 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[5]. 데이터 수집을 위한 다기능 보드는 16bit 해상도의 333khz의 샘플링 속도를 가지고 있다[6]. 프로그램은 Visual Basic 과 Delphi로 작성하였다[7][8]. 실제 조사시험에 제어 프로그램과 데이터 처리 프로그램을 적용한 결과 통신이 원활하고 요구되는 요건에 따라 제어가 가능함을 확인하였다. 그림 4와 그림 5는 제어 컴퓨터의 사용자 인터페이스를 보여준다.

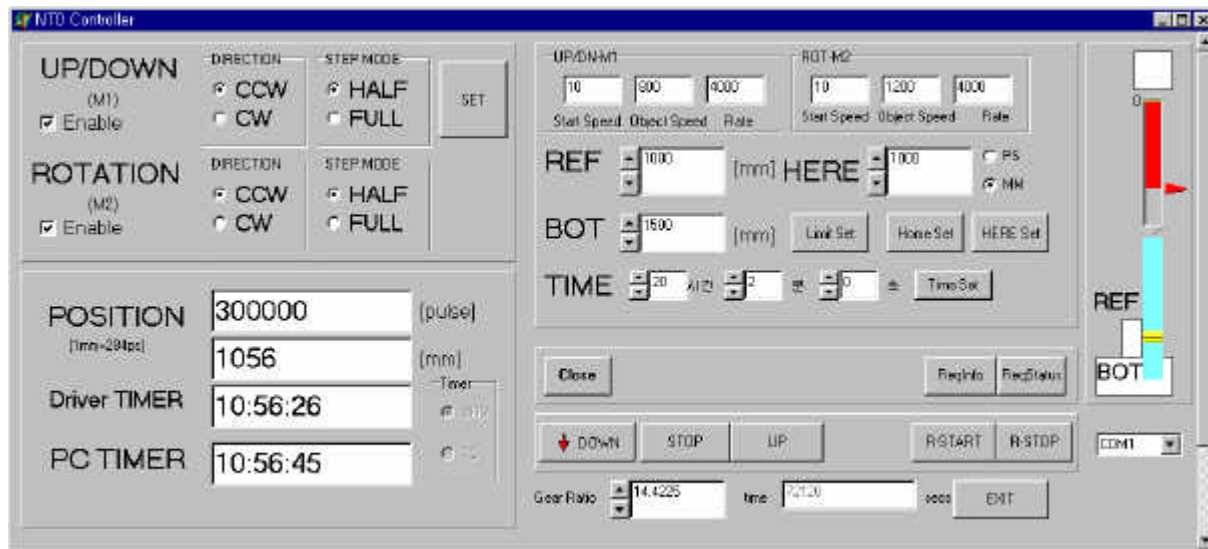


그림 4 NTD#2 구동장치 제어 프로그램

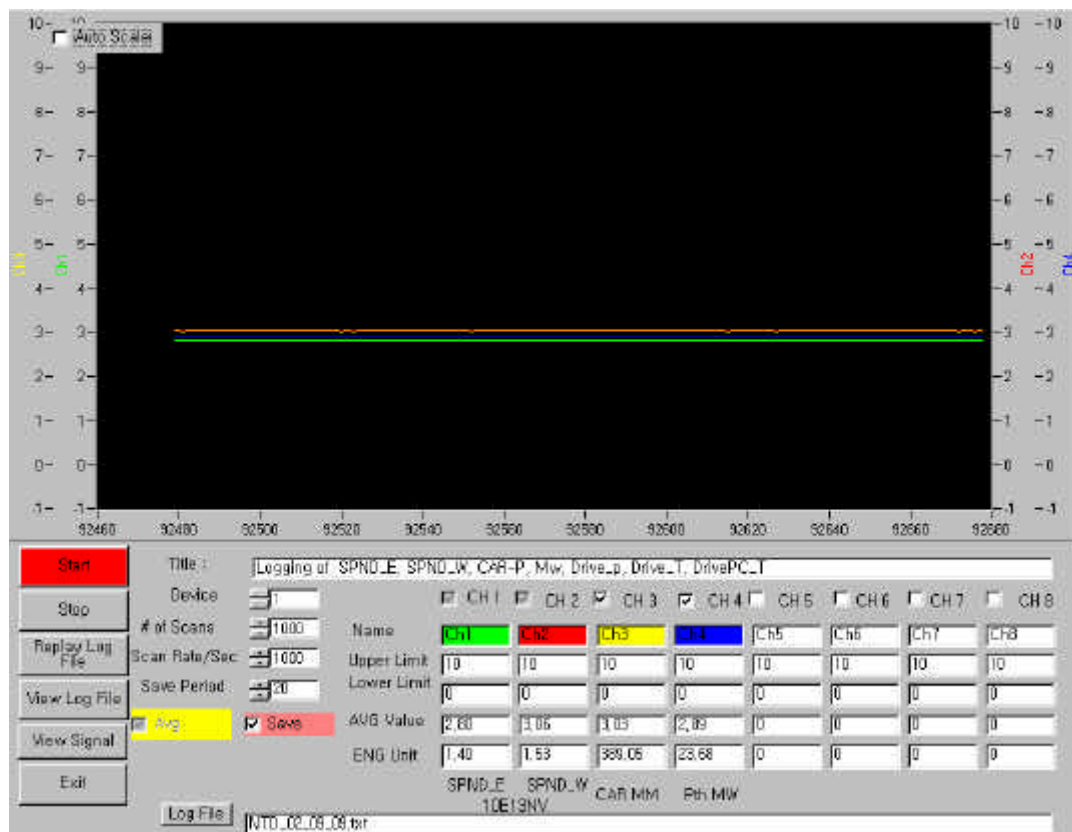


그림 5 NTD#2 신호 수집 프로그램

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 증

명하기 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[9][10].

3. 결론

하나로의 NTD#2 구동장치 자동제어기술 개발은 모터제어장치, 중성자속 측정계통 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.

본 논문에 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 자동제어장치가 개발될 것이다.

4. 참고 문헌

- [1] 전병진, “중성자 도핑”, KAERI/AR-604/2001, 2001. 9
- [2] Studsvik Instrument, “DC Amplifier 4695 A”
- [3] 김영기, “NTD 조사시험 - SPND 신호분석”, 내부통신문, HAN-RS-CR-01-680-017, 2002. 6. 17
- [4] 김영기, “NTD 조사시험 - SPND 신호분석”, 내부통신문, HAN-RS-CR-01-680-018, 2002. 6. 21
- [5] 정환성, NTD 구동장치 제어 소스 프로그램, 2002.7
- [6] National Instrument, “PCI-6052E User manual”
- [7] Marco Cantu, “Mastering Delphi 6”, Sybex, 2001
- [8] Microsoft press, “Microsoft 한글 Visual Basic 6.0 Programmer’s Guide”, 영진출판사,

2000

[9] 정환성 외, “하나로 NTD 구동장치 자동제어 기술 개발”, KAERI/TR-2247/2002, 2002.7

[10] 전병진 외. “하나로에서의 NTD 실현 연구”, KAERI/RR-2259/2002, 2002.7