

프로토타입 원자로 중성자 검출기 구동시스템 구동프로그램 설계

김석곤\*, 이은용\*\*, 신창훈\*, 송성일  
\*전력연구원 \*\*충남대학교

Programming Design for Operation  
of Proto-type In-core Neutron Detector Drive System

S.G Kim\*, E.W Lee\*\*, C.H Shin\*, S.I Song\*  
\*KEPRI, \*\*Chungnam Univ.

**Abstract** - The neutron controls a nuclear fission in the core of reactor. In-core neutron detector drive system is a equipment that drives detector and cable to survey neutron flux in the reactor. The program introduced by this paper governs proto-type drive system. The basic function of drive system is the insert and the withdraw of a cable, and the control of the movement speed. Also, this program have a special function, test, auto operation, to increase the capacity of drive system.

1. 서론

원자력발전소에서 전력을 생산하는 가장 중요한 설비인 원자로는 우라늄등이 주재료인 핵연료의 핵분열을 이용하여 전력을 생산하게 된다. 원자로 노심내에서 핵분열을 제어하는 것이 중성자이며, 노내의 이 중성자속을 정확히 측정하는 것이 매우 중요하다. 노내 중성자 검출기 구동기는 노심내의 중성자속을 탐지하기 위한 검출기와 케이블을 구동시키는 장비이다. 본 고에서 소개된 구동시스템 구동용 프로그램은 시작품으로 제작된 프로토타입 구동시스템의 제어를 위한 것이다. 구동기의 기본기능은 케이블의 삽입 및 인출이며, 각각에 대한 속도조정이 가능해야 하므로 제어용 프로그램은 이러한 기능외에 구동시스템의 성능개선을 위해 여러 가지 시험이 가능하도록 특별한 기능들이 추가되어 설계되었다. 본 논문에서는 구동기를 운전하기 위한 터치판넬의 디스플레이 설계 및 각 기능별 구성을 소개하고자 한다.

2. 계측용 구동기의 제어 메카니즘

2.1 구동시스템의 구성

구동시스템이라 함은 원자력발전소 노내 중성자 계측기를 구동하는 구동기와 이를 제어하는 콘트롤러와 컨버터, 입출력 장치 등을 말한다.

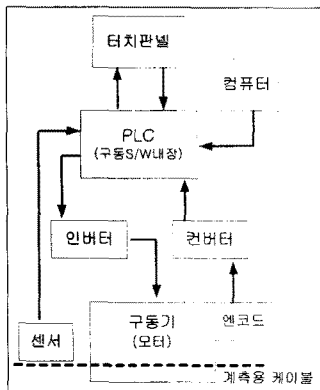


그림 1 구동시스템 구성도

원자로는 원자력발전소 1차계통에서 핵분열을 일으키는 핵심기로서 노심을 제어하기 위해 계측기가 원자로 하부에서 상하운동을 하며 필요한 데이터를 수집한다.

원자로내에서 핵분열을 하는 우라늄은 중성자에 의해서 조절되며, 이러한 중성자의 생성 비율을 계측기가 탐지하여 중앙제어실에 정보를 제공한다.

구동기는 케이블을 구동 시키기위한 구동부와 동력원으로서의 모터와 기어, 케이블의 저장을 위한 스토리지 휠등으로 구성되어 있다. 터치판넬은 구동기에 대한 명령을 내리고 구동기의 동작상태와 케이블이 이송위치를 확인하도록 입/출력의 기능을 갖는다. 구동부의 제어는 PLC가 인버터를 거쳐서 담당하며 내부에는 구동부제어와 디스플레이를 위한 소프트웨어가 내장되어 있다. 또한 케이블의 이동위치는 센서를 통해 PLC에 전달된다.

2.2 구동기의 제어목표 및 프로그래밍

구동기의 제어대상은 삽입/인출을 연속적으로 반복하는 케이블이다. 케이블은 표면에 나선형의 나사가 돌출되어 있어 헬리컬 기어등에 의해서 미끄러짐 없이 이송이 가능하다. 케이블의 길이는 약 40여 미터 정도이며, 케이블의 코어에 신호를 전달하는 와이어의 표면을 둘러싸는 절연용 피복을 제외하고는 대부분이 금속으로 이루어져 있어 케이블자체의 무게가 20~30kg에 달하므로 케이블이 구동기에서부터 원자로 내부까지의 튜브를 지날때는 적지 않은 저항을 받게 된다.

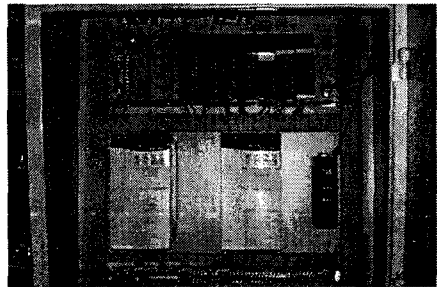


그림 2 제어 판넬 내부의 PLC 및 인버터

구동기는 케이블의 이송을 제어함에 있어서 인출 혹은 삽입에 대하여 어느 정도의 충분한 토크를 가져야 하며, 여러단계의 속도설정이 가능해야 한다.

구동 소프트웨어는 PLC N700 시리즈와 호환성을 가진 FPST 소프트웨어를 이용하였으며, 이 소프트웨어의 프로그래밍은 Ladder Symbol Edit 방식을 이용하였다. 또한 이 소프트웨어는 여러 가지 디버그 조정기능을 포함하고 있어 편집 및 운용에 많은 편리함을 가지고 있다. 래더도상에서 어드레스나 명령을 찾을 수 있는 검색기능과 래더도상에서 점점의 ON/OFF상태를 한눈에 확인할 수 있는 래더 모니터링 기능이 있고 임의의 데이터를 한곳에 모아 일괄적으로 모니터 할 수 있는 데이터 모니터링 기능을 포함하고 있다. 프린터로 출력 가능한 항목으로는 Ladder Diagram Non-Ladder, Relay List, S/W Configuration 등이 있다.

PLC의 운전은 RAM 운전방식을 채택하였으며, 이방식은 CPU 유니트내에 내장되어 있는 RAM으로 운전하며, 프로그램 메모리선택 스위치를 OFF로 한다. 프로그램의 실행은 RAM에 저장되어 있는 프로그램을 그대로

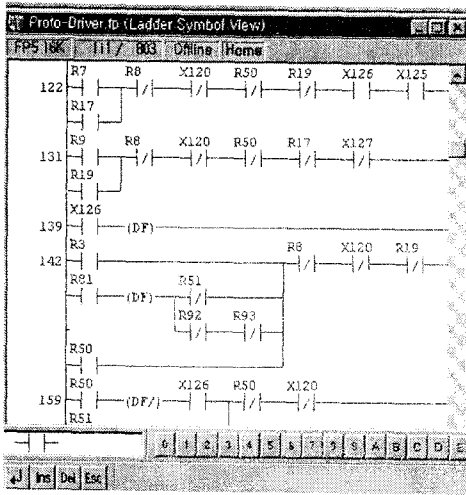


그림 3 구동기 제어를 위한 PLC 프로그램

구동하며, 프로그램 및 시스템 레지스터, 연산용 메모리 등 RAM에 입력된 내용은 정전시에 모두 전지어 의해 백업된다.

2.3 제어시스템의 구성

2.3.1 콘트롤러(PLC)

구동기의 제어는 인버터를 거쳐 PLC를 이용하여 이루어지며 입력장치로는 터치판넬을 이용하여 손쉽게 명령을 전달할수 있도록 설계하였다. 본 논문에서 실험한 PLC의 사양은 아래와 같다.

- 기종 : FARA PLC N700 시리즈
- 처리속도 : 0.04 μs
- 최대 입출력 : 8,192점
- 프로그램 용량 : 120 k step(기본30 k 내장)
- 시퀀스명령 처리속도 : 40 ns
- 타이머명령 처리속도 : 280 ns

PLC로의 프로그램 로딩은 컴퓨터를 통해 이루어지며, PLC와 컴퓨터간의 접속케이블은 RS232C를 이용하였다. RS232C를 이용한 통신의 전송속도는 9600 bps로 설정하였다.

2.3.2 인버터 및 모터

모터의 구동제어는 PLC를 이용하였으며, 모터의 효율적인 동작과 유연한 속도조절을 위해 인버터를 채용하였다. 인버터의 채용은 모터의 동작 상승시간 제어를 용이하게 할뿐만아니라, 소비전력의 감소에도 큰 효과가 있어 시스템의 운영에 매우 효율적이다.

구동기의 제어에 이용한 모터 및 인버터의 사양은 아래와 같다.

- 모터
  - 출력 : 0.75 kW
  - 주파수/회전수 : 60 Hz/1690 rpm
  - 전압/전류 : 220V/3.8A
  - 효율 : 75 %
- 인버터
  - 출력정격용량 : 3.1 kVA
  - 정격전류 : 8 A
  - 제어방식 : Soft-PWM제어
  - 출력주파수 범위 : 0.2 ~ 400 Hz
  - 입력 다단속도선택 신호 : 최대 15속
  - 동작허용온도 : -10° ~ 50°

또한, 모터의 전단에는 감속기를 설치하여 원하는 속도에서 충분한 토크전달이 이루어지도록 하였으며, 구동기가 설치되는 장소는 밀폐구조이기 때문에 인버터의 동

작허용온도가 가장 높은 것을 선택하였다.

2.4 제어용 S/W의 (메뉴)구성

2.4.1 구동기의 윈도우 구성

구동기는 원자로 노심내 중성자 검출기를 구동시키는 데 있어서 최고의 성능을 나타내는 시스템을 찾아내기 위해 A 타입과 B 타입 두 종류로 제작되었다. 그렇기 때문에 구동기 제어를 위한 터치판넬의 윈도우 구성은 크게 3종류로 나누진다. 각각의 구동기 A와 B를 제어하기 위한 윈도우 2개와 각각의 구동기에 대한 파라미터를 설정하기 위해 파라미터 설정 메뉴 1개가 그것이다. 화면상의 OPERATOR A 및 B는 구동기 A 및 B를 운전을 위한 메뉴이며, A 구동기의 운전명령을 수행한 후, B 구동기 동작명령을 주어 동시에 2대의 구동기를 운전할 수 있도록 설계하였다.

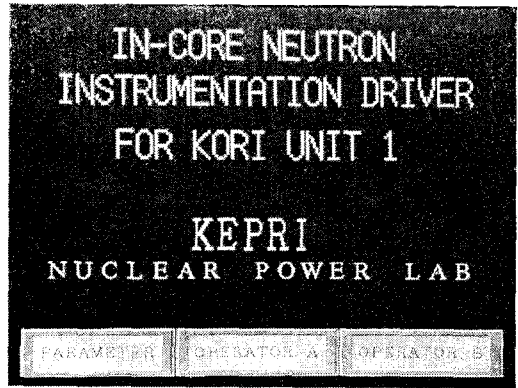


그림 4 프로토타입 구동시스템 터치판넬 초기화면

2.4.2 파라미터 구성

파라미터 설정을 위해 메뉴의 구성은 크게 구동기 A와 B를 설정할 수 있도록 DRIVER A와 DRIVER B 두 개의 메뉴로 나누었다. 구동기 A에는 엔코드가 1개 장착되었으며, 구동기 B에는 케이블 구동부의 회전량 측정뿐만아니라 실제 케이블의 삽입 또는 인출 위치를 파악할 수 있도록 엔코드 2개가 장착되어 있다. 각각의 DRIVER 메뉴에는 엔코드의 분해능력에 따라 펄스당 진행거리를 설정할수 있는 셋업 윈도우와 구동부의 삽입/인출속도를 설정할수 있도록 저속과 고속을 선택할 수 있도록 하였다.

PARAMETER		INITIAL	
<b>DRIVER A</b>		<b>DRIVER B</b>	
ENCODER 1		ENCODER 1	
275	mm/pulse	0.757	
		ENCODER 2	
		0.757	
		mm/REV	
SPEED (mm/sec)		SPEED (mm/sec)	
SLOW	200	SLOW	40
HIGH	500	HIGH	200
RANGE LOW		RANGE LOW	20
RANGE HIGH		RANGE HIGH	700

그림 5 구동기 파라미터 설정화면

2.4.3 파라미터 설치치 입력 및 수정

파라미터 설정치는 크게 엔코드에 관한 펄스당 진행거리 설정과 케이블의 초당 진행속도 설정치 두가지로 나

누어져 있는데, 구동부에 위치한 구동용 헬리컬기어의 원주길이와 엔코드의 펄수를 환산하여 엔코드 1개의 펄당 이동거리를 계산한 값을 입력할 수 있게 하였다. 설정치의 입력은 붉은색으로 디스플레이 되는 설정값을 터치하면, 그 값을 변경 할 수 있는 숫자로 구성된 새로운 윈도우가 뜬다.

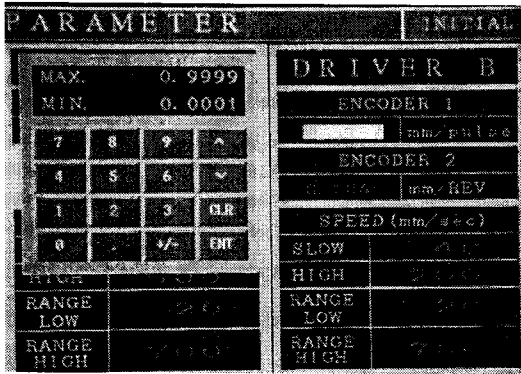


그림 6 파라미터 설정 값 입력화면

케이블의 이동속도 설정은 크게 High, Slow 속도로 구분하여 시스템 이용자가 원하는 값을 설정할 수 있도록 하였으며, 지나친 속도의 운전으로 시스템의 파손을 방지하기 위해 제한값을 설정할 수 있도록 하였다. 제한값은 Range Low와 Range High 두 가지로 설정토록 하였다.

## 2.5 구동기의 수동 및 자동 운전

### 2.5.1 구동기의 수동 운전

구동기의 매뉴얼 운전은 구동기에 설치된 케이블의 인출/삽입을 운전자가 원하는 대로 제어 가능하도록 하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 이동속도는 Slow와 High 두 가지 속도를 선택 가능하게 하였고, 삽입 또는 인출에 대해 한 방향으로 진행 할 때는 터치패널을 누르고 있는 동안만 작동하도록 한 것과 한번 누른후에는 Stop 버튼이 눌러질 때까지 계속 작동하도록 한 것이 있다. 또한 Display 화면에는 현재 케이블이 튜브 내 어느위치까지 진행했는가를 알아볼 수 있도록 Position을 실시간으로 운전자에게 보여지도록 하였다.

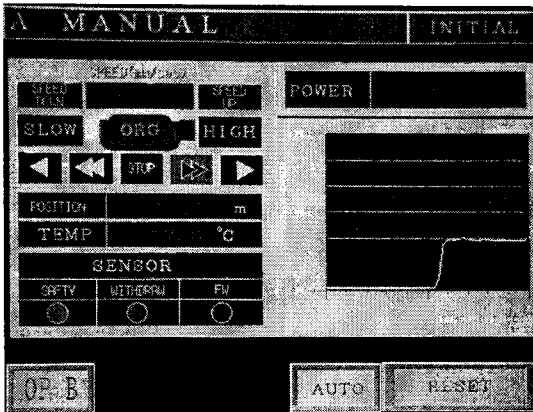


그림 7 구동기의 수동 연속운전 화면

판별상에는 구동 시스템이 위치한 환경의 온도를 감지할 수 있도록 하였고 중성자 검출기가 심블 튜브를 이탈

하지 않도록 근접센서를 이용하여 항상 감시하게 하였으며, 삽입을 위한 영점조정의 역할을 하는 지점에 근접스 위치를 부착하여 운전을 훨씬 용이하게 하도록 했다. 또한, 구동기의 운전 혹은 정비 중에 중성자 검출기가 최최 삽입의 시작점이 되는 영점의 위치에 쉽게 찾아갈 수 있도록 ORG 기능을 부가 하였다. 이 버튼을 누르게 되면 어느 위치에서든 한번의 터치로 검출기가 영점의 위치로 이동하게 한다.

### 2.5.2 구동기의 자동 운전

구동기의 자동운전은 매뉴얼 운전시 삽입 및 인출을 위해서 삽입버튼과 STOP 버튼 그리고 인출버튼을 번갈아 가며 수행해야 하는 번거로움을 해소하고 구동기의 성능 시험을 위해 무한루프로 동작될 수 있도록 하였다. 특히, 중성자 검출기가 노심내에서 어느 특정 위치내에서만 삽입, 인출을 할 수 있도록 설정이 가능하며, 삽입, 인출의 반복횟수를 999번까지 수행이 가능하도록 설계하였다.

## 3. 결 론

노내 중성자 검출기 구동시스템은 원자력발전소의 안정적인 운전을 위해 매우 필수적인 장비이다. 구동시스템의 고장은 원자로 노심내 중성자를 검출하는 검출기 케이블의 동작이 불가능하게 되어 노심내 핵분열의 제어가 불가능하게 되므로 결국은 원자로의 운전정지로 이어진다. 앞 절에서 소개된 프로토타입 구동시스템은 점점 노후화 되어가는 원자력발전소 노내 중성자 검출기 구동 설비를 좀 더 향상된 기능과 안정성을 가지는 신형 설비를 제작하기에 앞서 시제품으로 제작된 설비이다. 본 논문에서 다룬 구동용 소프트웨어는 제어대상이 프로토타입 시스템이긴 하지만, 실제 발전소에 설치될 설치원형 구동시스템의 제어 프로그램으로 수정/응용 할 수 있으며, 향후 제작될 노내 중성자 검출기 구동 및 제어 시스템의 시운전을 위한 Mock-up 장비에 그대로 적용 될 것이다. 본 소프트웨어가 Mock-up 장비와 통합되어 수많은 시운전을 훌륭히 수행하여 실제 발전소에 설치될 설치원형 구동시스템의 성능개선에 큰 역할을 담당하고 향후, 국내 원자력발전소의 신뢰성 향상 및 전력의 안정적인 공급에 큰 도움이 될 수 있기를 기대해 본다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 전력연구원, "고리1호기 노내 중성자 검출기 구동설비 국산화 개발", 중간보고서, 2000
- [2] 전력연구원, "고리1호기 노내 핵 계측 제어 논리 분석 보고서", TM, 1999
- [3] 전력연구원, "노내 핵 계측 설비 분석 보고서", TM, 1999
- [4] Westinghouse Nuclear Energy System, "Technical Manual for In-core Instrumentation", Ko-ri Unit 1, 1969