

노내 핵계측 검출기 안내관 인출 및 삽입 장비 제어시스템의 개발

변승현, 조병학, 박준영, 이재경
한전 전력연구원 I&C그룹

Development of Control System for Thimble Handling Equipment for Neutron Flux Mapping

Seung-Hyun Byun, Byung-Hak Cho, Joon-Young Park, and Jae-Kyung Lee
KEPRI, I&C Group

Abstract - 검출기 안내관은 노내 핵계측 계통의 중성자 분포 측정을 위한 이동형 검출기의 이동경로를 제공할 뿐만 아니라 원자로 냉각수 계통의 압력경계를 유지하는 안전성 등급의 중요한 설비이다. 그러나, 인출과 삽입을 위한 검출기 안내관 취급은 의외로 낙후되어 작업자의 인력에만 의존하고 있는 실정이며, 원자로 격납용기 내부에 위치한 고방사선 지역에서 작업이 수행되고 있는 실정이다. 따라서 노내 핵계측 계통의 검출기 안내관의 안정적인 관리를 위해 검출기 안내관을 일정한 힘으로 인출하고 삽입할 수 있는 자동화시스템의 개발이 이루어지고 있다. 전력연구원에서 개발한 안내관 취급기구는 롤러에 의해 안내관을 파지하고, DC 모터 구동에 의해 안내관을 인출하고 삽입하는데, 본 논문에서는 안내관 취급 기구의 제어 시스템 구성과, 롤러와 안내관 사이에 발생하는 슬립을 고려한 제어기 구조를 제안하고, 실험을 통해 구현한 제어 시스템의 효용성을 보인다.

1. 서 론

노내 핵계측 계통은 가압 경수로형 원전의 내부부 이동형 검출기를 사용하여 원자로 내의 지정된 안내관(Thimble)을 따라 상하로 이동하면서 중성자속의 분포를 측정하는 설비로서 취득된 정보는 원자로 노심 설계 파라미터 확인에 활용되어진다. Thimble은 원자로 냉각수 계통의 압력경계를 유지하는 안전성 등급의 중요한 설비임에도 불구하고 인출과 삽입을 위한 Thimble의 취급은 의외로 낙후되어 작업자의 인력에만 의존하고 있는 실정이며, 원자로 격납용기 내부에 위치한 고방사선 지역에서 작업이 수행되어 작업자의 방사선 조임량이 많은 실정이다. 또한 Thimble을 인출하고 삽입할 때, 열악한 환경으로 인해 수직으로 일정한 힘을 유지하는 것은 현실적으로 불가능하여 Thimble이 손으로 잡아 힘을 가하는 위치에서 굽혀지게 되고 삽입시에는 굽혀졌던 부분이 Thimble 안내관과 접촉하면서 다시 펴지게 되어 굽힘과 펴지는 동작의 반복으로 Thimble의 파손 위험이 있다. 따라서 노내 핵계측 계통의 Thimble의 안정적인 관리를 위해 Thimble을 일정한 힘으로 인출하고 삽입할 수 있는 자동화 시스템의 개발이 절실히 요구되어 왔고, 이에 따라 핵계측 검출기 안내관 인출 및 삽입용 자동화 시스템 개발이 이루어지고 있다. 전력연구원에서 개발한 노내 중성자 검출기 안내관의 인출 및 삽입을 위한 안내관 취급 기구는 DC 모터를 적용한 Chained Double Winch Roller 방식으로 본체 Frame, 장비 Clamping 기구, 안내관 Clamping 기구, 2개의 구동 Winch Roller와 2개의 아이들 Winch Roller 등으로 구성되어진다. 이 장치의 2개의 DC모터는 동기 구동되어 Winch Roller를 구동하며, 광학식 엔코더가 DC모터와 아이들 Roller에 장착되어 있어 슬립이 발생하더라도 정밀 위치 제어가 가능하도록 구현되었다. 본 논문에서는 슬립을 고려한 정밀 모터 제어를 위한 제어 시스템을 제안하고, 제안한 제어 시스템을 구현하여, 실험을 통해 구현한 제어 시스템의 효용성을 보여준다.

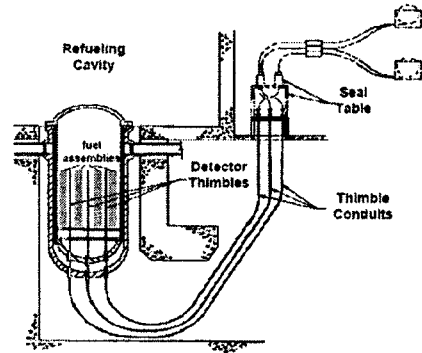
2. 본 론

2.1 노내 핵계측 검출기 안내관 개요

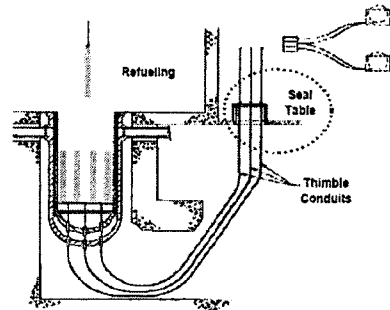
원자로 노내 중성자 분포 측정 시스템은 원자로 내부에서의 연료 연소에 따라 변화하는 중성자의 분포를 주기적으로 측정하여 노심의 상태를 확인하는 기능을 수행한다. 중성자 분포 측정은 검출기를 통해서 이루어진다. 노내 중성자 분포 측정용 검출기 안내관은 원자로 하부에 용접되어 밀봉 테이블까지 연결되어 있는 Conduit 관을 통해서 원자로 용기속으로 들어가게 된다. 원자로 용기 속으로 들어간 안내관의 끝은 막혀있으며, 안내관의 내부는 보통 건조하며, 안내관은 원자로 냉각재 압력과 대기 사이에 압력경계 역할을 한다. 노내 핵계측 계통의 검출기 안내관은 그림 1과 같이 원자로 내부에서의 중성자 분포를 측정하는 검출기의 이동경로를 제공하다가, 핵연료 교체시에는 그림 2와 같이 밀봉 테이블에서 핵연료 높이인 4m 정도까지 인출된다. 원자로 압력용기의 내부는 운전 중 압력이 높고 검출기 안내관 내부는 대기압 상태이므로 원자로 냉각수의 누출을 막기 위해 원자로 압력용기 하부부터 밀봉 테이블까지 연결되어 있는 안내관 Conduit와 검출기 안내관사이에 걸리는 압력차를 밀봉 테이블에서 밀봉하게 된다.

2.2 핵계측 검출기 안내관 취급 기구

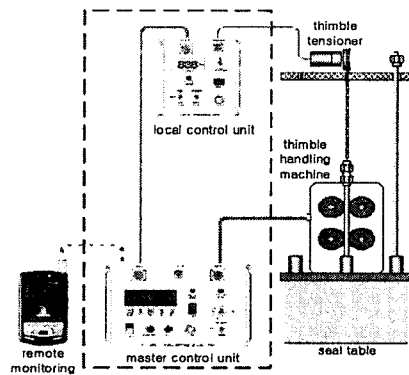
검출기 안내관 자동 취급 시스템은 그림 3과 같이 크게 안내관 취급 기구와 안내관 취급 기구 제어를 위한 제어 시스템 그리고 원격 감시 장치 등으로 구성되어진다.



<그림 1> 원자로 운전 중 검출기 안내관의 위치



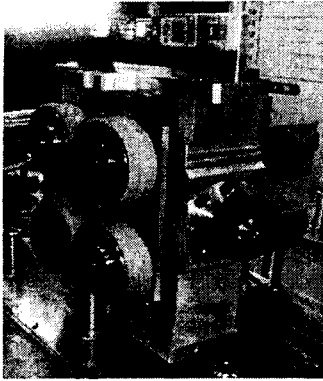
<그림 2> 핵연료 교체시 검출기 안내관 위치



<그림 3> 검출기 안내관 자동 취급 시스템의 구성

안내관 취급 기구는 안내관을 인출/삽입하기 위해서 파지하고, 안내관을 인출하고 삽입하는데 이용되어진다. 노내 중성자 검출기 안내관의 인출 및 삽입을 위한 취급장비는 원전 안전성 등급의 설비를 취급대상으로 하고 있고, 고 방사선 환경에서 운전된다. 이와 같은 점을 고려하여 신뢰도가 높고 사용자 편의성이 높은 취급 기구 개발을 위해 collet chuck 방식의 안내관 파지기구와 공압 diaphragm 방식의 안내관 취급 기구, single winch roller 방식의 안내관 취급 기구 및 double winch roller 방식의 안내관 취급기구 등 다양한 방식들이 고려되었다. 검토 결과 double winch roller 방식을 안내관 취급 장비의 매커니즘으로 선택하였다. double winch roller 구동 매커

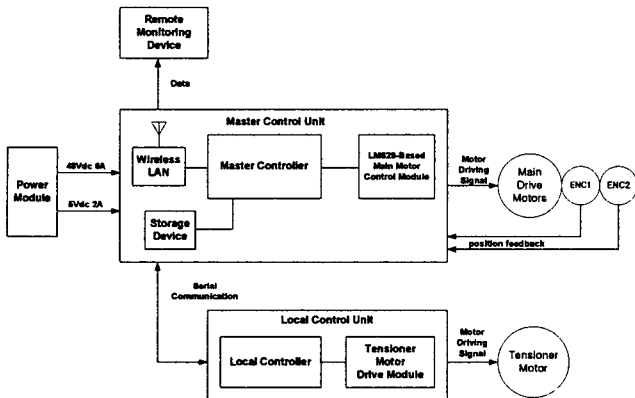
니즘을 이용하는 안내관 취급 기구는 그림 4와 같이 메인 프레임, 클램핑 부분, 2개의 DC 모터에 의해 구동되어지는 winch roller와 2개의 아이들 롤러 등으로 구성되어진다. 안내관 취급 기구에 장착된 2개의 DC 모터를 구동함으로써 안내관이 밀봉 테이블로부터 인출되거나 삽입되게 된다.



〈그림 4〉 검출기 안내관 취급 기구

2.3 제어 시스템

노내 핵계측 검출기 안내관 취급 기구의 제어 시스템은 그림 5에서 보는 바와 같이 크게 안내관 취급 기구를 제어 및 감시하는 마스터 제어 유닛과 밀봉 테이블 상부에 인출된 안내관을 고정시키는 목적으로 설치되는 안내관 거치대에 위치하는 로컬 제어 유닛 그리고 마스터 제어 유닛을 원격으로 감시하고, 데이터를 관리하는 원격 감시 장치 등으로 구성된다. 마스터 제어 유닛은 8비트 RISC 마이크로컨트롤러 기반의 임베디드 모듈, 무선 랜 제어기, 모터 구동 모듈을 포함한 모터 전용 프로세서인 LM629 기반 모터 제어기, 외함 등으로 구성되어진다. 마스터 제어 유닛의 외함은 사용자 인터페이스를 자체적으로 제공한다. 로컬 제어 유닛은 인출/삽입 중에 안내관이 흔들리지 않도록 일정한 장력을 인가하는 안내관 인장기를 제어하고, 안내관을 미세하게 인출/삽입할 수 있는 수동 모드 운전을 지원한다.

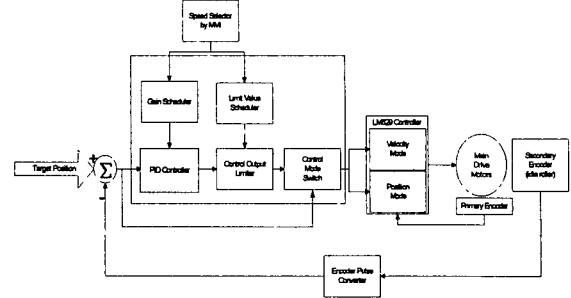


〈그림 5〉 검출기 안내관 취급 기구 제어 시스템의 구성

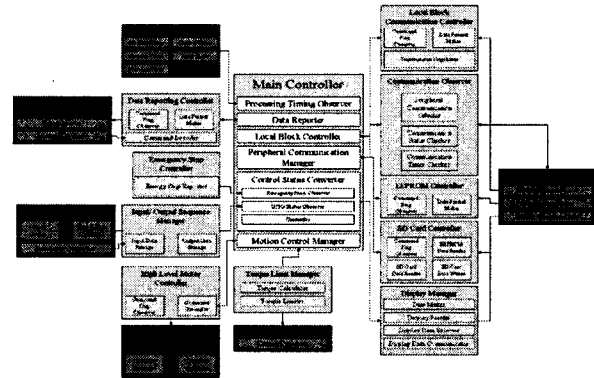
현장 전문가의 자문 등을 통해 선정된 안내관 취급 장비에 의해 안내관에 가해지는 최대 힘의 사양은 50kgf이며, 안내관의 인출/삽입 최대 속도 사양은 600 cm/min이다. winch roller는 합성수지 재질로 되어 있기 때문에, 인출/삽입 동작 중에 어느 정도의 슬립 발생을 수용하여야 한다. 따라서 안내관의 실제 이동 거리는 구동 모터의 샤프트에 설치된 광학식 엔코더로부터 계산된 이동 거리와 일치하지 않을 수 있으며, 실제로도 큰 힘이 가해졌을 경우에는 일치하지 않는다. 이러한 롤러와 안내관 사이의 슬립 현상을 극복하고, 안내관 인출/삽입 이동거리의 정확한 제어를 위해서 아이들 롤러에 엔코더를 추가로 장착하고, 정밀 제어의 위치 센서로 활용한다. 아이들 롤러는 안내관 이동에 따라 마찰 없이 회전하도록 설계되었다. 따라서 아이들 롤러에 장착된 엔코더로부터 안내관의 실제 위치를 얻을 수 있다. 2개의 엔코더를 이용하여 구성한 제어기의 구조는 그림 6과 같다. LM629는 모터 제어 기능이 있어 속도 제어 모드와 위치 제어 모드를 갖는다. 그림 6의 제어기 구조는 제어 초기에는 LM629 제어기 외부에 마스터 제어기를 취하여, 타겟 위치와 속도 설정 스위치 그리고 아이들 롤러에 장착된 엔코더 신호를 이용하여 LM629의 속도 제어 모드의 속도 설정치를 제어기 출력력으로 이용하여 모터를 제어하다가 위치 에러가 정해진 값 이하로 되면 모터 구동 롤러에 장착된 엔코더 신호를 이용하는 위치 제어 모드로 전환하는 구조를 갖는다. 그림 6과 같은 제어기 구조를 통해 안내관 인출/삽입 시 안내관과 롤러 사이에 슬립이 일어나더라도 정확한 위치 제어를 할 수 있게 된다. 그림 7은 구현한 제어 시스템의 소프트웨어 구조를 보여준다.

2.4 실험

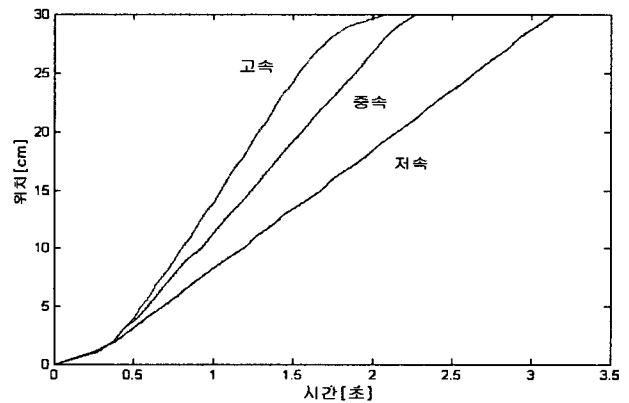
앞 절에서 기술한 제어 시스템을 구현하고, 50kg의 추를 이용한 검출기 안내관의 인출 시험 결과는 그림 8과 같다. 그림 8의 시험 결과는 인출 설정 위치를 30[cm]로 하고, 마스터 제어 유닛 외함의 사용자 MMI에서 속도 선택 스위치 6단계 중 저속, 중속, 고속에서의 인출 시험 데이터를 보여준다. 50kg의 추를 이용한 검출기 안내관 인출 및 삽입 시험 결과가 설계 사양을 만족함을 확인할 수 있었다.



〈그림 6〉 검출기 안내관 취급 기구 제어기의 구조



〈그림 7〉 제어시스템의 소프트웨어 구조



〈그림 8〉 50Kg의 추를 이용한 안내관 인출 시험 결과

3. 결 론

본 논문에서는 double winch roller 구동방식의 노내 핵계측 안내관 취급 기구의 제어를 위해 안내관과 롤러 사이의 슬립을 고려한 정밀 제어 시스템의 구성을 제안하였다. 또한 제안한 제어 시스템을 구현하고, 실험을 통해 제안한 제어 시스템의 효율성을 확인하였다.

후 기

본 논문은 산업자원부 전력산업연구개발사업에 의하여 개발 중인 노내 핵계측 검출기 안내관 인출 및 삽입용 자동화 시스템 개발에 관한 기술개발 결과임.

[참 고 문 헌]

- [1] "고리 1호기 노내 중성자 검출기 구동설비 국산화 개발", 최종보고서, 전력연구원, 2003
- [2] "노내 핵계측 검출기 안내관 인출 및 삽입용 자동화 시스템 개발", 중간보고서, 전력연구원, 2005
- [3] Technical Manual for In-Core Instrumentation Kori No. 1, Westinghouse Nuclear Energy Systems