

제어봉 구동장치 제어기기의 시험 환경 구축

이 종무, 김 석주, 김 춘경, 박 민국, 김 국헌
한국전기연구원

Test Facilities for the Development of Control Rod Control System

J.M. Lee, S.J. Kim, C.K. Kim, M.K. Park, K.H. Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In this paper, we describe a set of test facilities for the development of CRCS (Control Rod Control System). The test facilities consist of a code simulator, CRDM (Control Rod Drive Mechanism) mockup, an input/output simulator for validation work and R-L load to simulate CRDM mockup.

1. 서 론

국내의 원자력 발전 역사는 1982년 고리 원자력을 효시로 현재 16기가 운용되고 있다. 제어봉 구동장치 제어기(CRCS : Control Rod Control System)는 원자로 내에서 일어나는 반응도를 제어하기 위한 것으로서 원자로 출력 조절기로 부터 방향과 속도에 관한 제어신호를 입력 받아서 제어봉 구동장치(CRDM : Control Rod Drive Mechanism)를 제어하는 장치이다. 위와 같이 중요한 기능을 수행하는 CRCS를 국산화 개발하기 위해서는 시험 환경을 구축할 필요가 있다. 시험 환경은 실제 발전소와 유사한 상황을 모의하는 코드 시뮬레이터, CRDM Mockup, CRDM을 전기적으로 근사화 한 R-L 부하 및 입출력 시뮬레이터로 구성되며, 이러한 시험환경은 원자력 발전소용 CRCS의 인허가를 위한 Validation Tool로서도 활용될 예정이다. 본 논문에서는 이들 시험 환경 구축과 그 운용에 관해 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 코드 시뮬레이터

2.1.1 시뮬레이터의 구성

시뮬레이터는 그림 1과 같이 실제 발전소와 유사한 상황을 모의하는 소프트웨어 및 이를 운영하는 주컴퓨터와 운전원에게 발전소의 상태 및 CRCS의 상태를 나타내는 운전제어반 및 CRT 기반의 그래픽 표시장치 등으로 구성되어 있다. CRCS는 제어기와 전력변환기로 구성되어 있으며, 국내에서 운전되고 있는 16기중 8기는 제어봉 구동장치가 3 Coil로 되어 있고 제어봉 구동장치의 이름이 CRDM이며, 나머지 8기는 4 Coil로 되어 있고 제어봉 구동장치의 이름이 CEDM(Control Element Drive Mechanism)이다. 제어봉 구동장치의 영문 이름이 상이한 것은 Maker에 따른 차이를 나타내지만 그 동작 Mechanism은 Magnetic Jack 형식으로 동일하다. 본 논문에서 다루고자 하는 시스템은 3 Coil 형식을 대상으로 하고 있으며 CRCS를 구성하는 전력변환기의 출력을 CRDM Mockup에 연결하여 시뮬레이터의 환경을 구축하고자 한다.

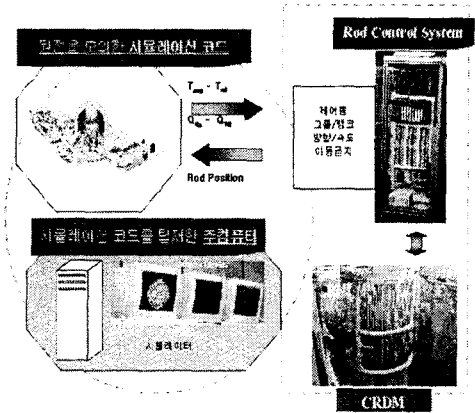


그림 1. 시뮬레이터 구성

2.1.2 원자력 발전소 계통 구성

실제 원자력 발전소와 유사한 상황을 모의하는 시뮬레이션 코드에는 아래와 같은 계통들을 포함하고 있다.

- 1) 원자로 냉각수 계통
 - 원자로 용기
 - 노심 및 제어봉 구동장치
 - 원자로 냉각수 계통
- 2) 화학 및 체적제어 계통
 - 정상 유출 및 충전 계통
 - 밀봉수 계통
 - 비상 유출 계통
 - 원자로 보충수 계통
- 3) 잔열제거 계통 및 비상 노심 냉각 계통
- 4) 급수 계통
 - 복수 및 주급수 계통
 - 주급수 계통
 - 보조급수 계통
- 5) 증기 및 터빈 계통
- 6) 발전기 계통
- 7) 보조 계통
 - 원자로 기기 냉각수 계통
 - 기기냉각 해수 계통
 - 소내용 및 계기용 압축 공기 계통
- 8) 경보 및 보호 계통
 - 경보 계통
 - 원자로 보호 계통

2.2 CRDM Mockup

CRCS의 시험 환경 구축에서 중요한 역할을 담당하는 CRDM Mockup의 구조, 동작 Mechanism, 전기적 특성 및 기타 고려 사항에 관하여 살펴 보기로 한다.

2.2.1 구조

실제 발전소에 설치되어 운용되고 있는 3 Coil 형식의 CRDM 구조는 그림 2에 나타난 바와 같이 크게 Lift부와 Stationary Latch부로 나누어 지고, Lift부는 주 하중이 작용하는 제어봉 집합체를 삽입, 인출하는 Lift Armature와 Drive Shaft를 Latch 하는 Movable Gripper로 구성된다. Stationary Gripper부는 정지시 및 이동시에 Drive Shaft를 Latch 하게 되며 어떠한 한 순간에도 Movable Gripper와 Stationary Gripper 코일들 중 하나가 여자되어 Drive Shaft의 원하지 않는 낙하를 방지하도록 동작하게 된다. CRDM Mockup 개발시 이들 Coil 사이의 상호 간섭, 스프링 상수, 기계적인 마찰 등에 관한 사항들을 신중하게 검토하여야 한다.

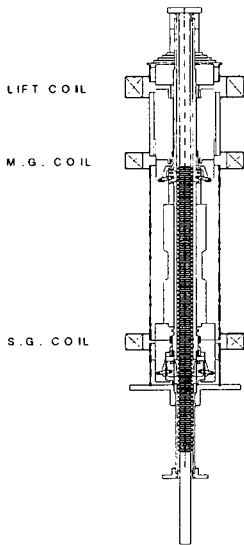


그림 2 CRDM의 구조

2.2.2 동작 Mechanism

CRCS의 기능을 시험하기 위한 CRDM Mockup은 1 Step의 길이가 16mm 이고 Stationary Gripper 코일을 8A로 여자하면 1.6mm 위로 움직이도록 설계되어 있다. 전체적으로 이동할 수 있는 Step 수는 총 20 Step이며, 상하한에 도달하면 기계적으로 접점이 동작하도록 제작되어 있다. 또한 실제 원자력 발전소에 설치되어 있는 CRDM의 부하를 고려하여 130Kg(20Kg 6개와 10Kg 1개로 구성)의 부하를 단계적으로 인가할 수 있도록 제작하였다. 제작한 CRDM의 인출과 삽입 동작은 각각 표 1과 같은 순서를 통해서 이루어 진다.

표 1 CRDM의 동작 순서

동작	순서	여자코일	여자전류 [A]	동작	이동거리 [mm]
인출 동작	0	SG Coil	4.0	-	0
	1	SG & MG Coil	8.0	↑	1.6
	2	SG Coil	0	↓	1.6
	3	L Coil	44.0	↑	16.0
	4	SG Coil	8.0	↑	1.6
	5	L Coil	16.0	-	0
	6	MG Coil	0	-	0
	7	L Coil	0	-	0
	8	SG Coil	4.0	↓	1.6
삽입 동작	0	SG Coil	4.0	-	0
	1	SG Coil	8.0	↑	1.6
	2	L Coil	44.0	-	0
	3	MG Coil	8.0	-	0
	4	L Coil	16.0	-	0
	5	SG Coil	0	↓	1.6
	6	L Coil	0	↓	16.0
	7	SG Coil	8.0	↑	1.6
	8	MG Coil	0	-	0
9	SG Coil	4.0	↓	1.6	

2.2.3 전기적 특성

제작한 CRDM의 전기적인 특성은 각 Armature의 움직임 여부에 따라 표 2와 같이 나타난다.

표 2. CRDM의 전기적 특성

	저항(Ohm)	인덕턴스(mH)	
		Open 시	Close 시
정지 Gripper Coil	9.4	137	183
이동 Gripper Coil	8.5	104	120
올림 Coil	1.3	45	60

2.2.4 기타 고려 사항

CRDM Drive Shaft의 이동에 따르는 위치를 추적하기 위한 위치 지시용 장치와 기계적인 상하한에 도달하였을 때 더 이상 움직이지 못하도록 하기 위한 리미트 스위치 등이 CRDM Mockup에 설치되어야 한다.

2.3 R-L 부하

원자력 발전소에 설치되어 CRDM의 수량은 발전소 용량에 따라 29개에서 73개 까지 다양하다. CRDM의 단위 가격이 비싸고, 또한 설치 공간, 요구 전력량 등의 한계로 인하여 최소한의 CRDM Mockup으로 시험 환경을 구축하고 추가로 필요한 CRDM Mockup은 CRDM Mockup을 다시 모의한 R-L 부하를 사용하도록 한다. 전기적인 R-L 부하 사용시 CRDM Mockup과의 차이는 기계적인 움직임에 따르는 인덕턴스의 변화 등을 모의할 수 없다는 것이다.

2.4 입출력 시뮬레이터

서론에서 밝힌 바와 같이 이러한 시험환경은 원자력 발전소용 CRCS의 인허가를 위한 Validation Tool로서도 활용될 예정이며 Validation Tool로서 활용하기 위해서는 그림 3에 나타낸 바와 같이 입출력 시뮬레이터가 필요하다. CRCS의 출력과 입출력 시뮬레이터의 출력을 상호 비교하여 CRCS의 건정성을 확인하고자 한다.

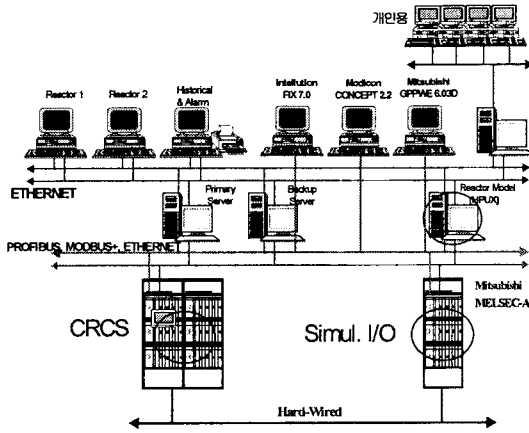


그림 3 입출력 시뮬레이터

2.5 CRDM 구동 시험

그림 4와 그림 5는 CRDM Mockup에서의 구동 시험 결과 파형을 나타내는 것으로서, 그림 4는 제어봉 인출시, 그림 5는 제어봉 삽입시에 각각 3개 코일에서의 전류 파형을 보여 주고 있다. Lift 전류파형에서 동작 완료시 발생하는 Glitch를 관찰할 수 있으며 이것을 판단하여 CRCS에서 필요한 기능을 수행하는 것이 주요한 특허로 등록이 되어 있다.

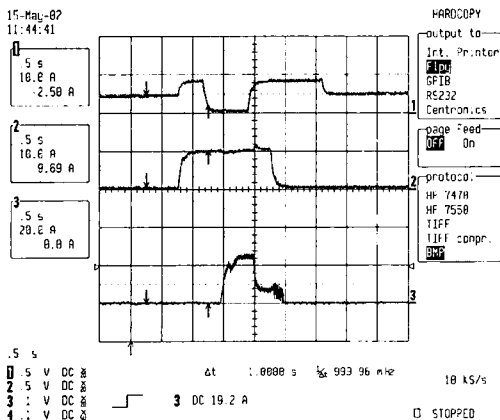


그림 4 제어봉 인출 시 CRDM 전류 파형
(위로부터 Stationary, Movable, Lift Coil)

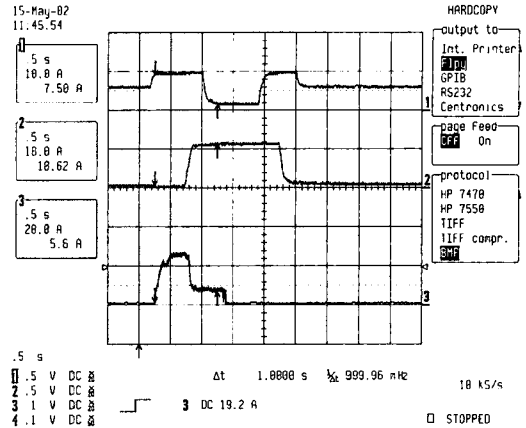


그림 5 제어봉 삽입 시 CRDM 전류 파형
(위로부터 Stationary, Movable, Lift Coil)

3. 결 론

CRCS를 국산화 개발하기 위해서는 시험 환경의 구축이 반드시 필요하게 된다. 본 논문에서는 시험 환경을 구축하기 위하여 필요한 코드 시뮬레이터와 CRDM Mockup 및 인허가시 필요한 Validation Tool로서 사용하게 될 입출력 시뮬레이터에 대하여 살펴 보았다. CRDM Mockup은 구동 시험을 통하여 시험 환경 구축에 필요한 사전 준비를 마쳤으며 또한 CRDM Mockup을 직접 구동하면서 앞에서 언급한 바와 같이 Glitch와 관련된 주요한 특허를 회피할 수 있는 환경을 구축하였다. 앞으로는 CRDM Mockup을 추가로 제작/설치하여 실제 원자력 발전소 운전시 필요한 Bank Overlap 운전, 그룹 운전 및 Staggered 운전 등을 직접 육안으로 확인할 수 있도록 시험 환경을 확대하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국원자력연구소, "Compact Nuclear Simulator", 1999.
- [2] Westinghouse, "RCS I&C Training Manual".
- [3] 한국전력공사, "제어봉의 제어계통", 1980
- [4] 한국전력공사, "제어봉 제어설비(I)", 1991.11
- [5] 한국전력공사, "제어봉 제어설비(II)", 1991.11
- [6] 한국전력공사, "제어봉 위치 지시 설비(I)", 1991.9.
- [7] 한국전력공사, "제어봉 위치 지시 설비(II)", 1991.9.