

CEDM 구동용 Power Topology 설계

Design of Power Topology for CEDM Driving

이 중무*, 김 춘경**, 천 중민***, 박 민국****, 권 순만*****
 (J.M. Lee*, C.K. Kim**, J.M. Cheon***, M.K. Park****, S.M. Kwon*****)

Abstract - This paper deals with the design of power topology for nuclear power plants. Although rod control system is still classified into non-safety class, much attention on its reliability issue has been given so far because of its importance for the stable operation of the reactor in the plant. In terms of technical aspects, proposed design is reviewed to satisfy system requirements. This paper deals with a design of power topology for driving Control Element Drive Mechanism (CEDM) that is used to withdraw or insert control rods in nuclear reactor.

Key Words CEDM, control element drive mechanism, power topology, CEDMCS, PCS, power control system

1. 서론

국내의 원자력 발전 역사는 1978년 고리 원전을 효시로 현재 20기가 운용되고 있다. 이들 중에는 중수로형이 4기이며 나머지 16기는 경수로형으로 구성되어 있다. 경수로형 중에도 초창기에 건설된 8기는 제어봉 구동장치가 3 코일형으로 구성된 CRDM(Control Element Drive Mechanism)이 설치되어 있으며, 그 이후에 건설된 8기에는 제어봉 구동장치가 4 코일로 구성된 CEDM(Control Element Drive Mechanism)이 설치되어 있다. 현재 건설 중이거나 도입이 검토되고 있는 모든 원전의 제어봉 구동장치는 CEDM으로 결정되어 있으며 본 논문에서는 4 코일형의 CEDM을 대상으로 한다. 제어봉 제어시스템은 원자로 내에서 일어나는 핵 반응도를 제어하기 위한 것으로서 원자로 출력 조절기로 부터 제어봉의 이동 방향과 속도에 관한 제어신호를 입력 받아서 제어봉 구동장치를 제어하는 원전 1차계통의 핵심적인 제어장치 중의 하나이다. 본 논문에서는 위와 같이 중요한 기능을 수행하는 CEDM을 구동하기 위한 제어시스템을 국산화하기 위하여 CEDM을 구동하기 위한 Power Topology들을 설계하고 CEDM을 구동하기 위한 시스템의 요건과 기능에 부합되는지를 검토하고 또한 기존 시스템의 Power Topology와 비교 검토하여 더 진보된 제어봉 제어시스템을 개발하고자 한다.

같이 상부와 하부로 구성되어 있으며 각각은 Lift(올림)용 코일과 Gripper(집게)용 코일로 구성되어 있다. 각 코일에 적절한 일련의 전류를 흘려줌으로써 제어봉을 한 스텝씩 인출하거나 삽입시킬 수 있도록 되어 있으며, 제어봉에는 약 230여 개의 스텝이 있다.

2. 본론

2.1 제어봉 구동장치 개요

2.1.1 구성

4 코일로 구성된 제어봉 구동장치는 그림 1에 나타난 바와

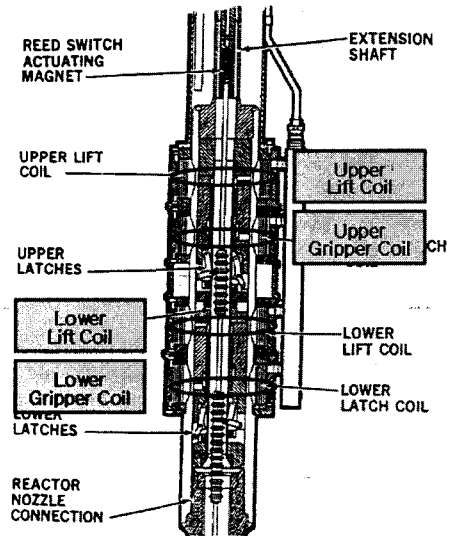


그림 1. 제어봉 구동장치

저자 소개

- * 한국전기연구원 계측제어연구그룹 선임연구원
- ** 한국전기연구원 계측제어연구그룹 선임연구원
- *** 한국전기연구원 계측제어연구그룹 연구원
- **** 한국전기연구원 계측제어연구그룹 책임기사
- ***** 한국전기연구원 계측제어연구그룹 책임연구원

2.1.2 동작

제어봉을 한 스텝씩 인출하거나 삽입하기 위해서는 제어봉 구동장치의 각 코일에 적절한 일련의 전류를 흘려주어야 한

다. 그림 2는 인출시 각 코일들(UL : Upper Lift, UG : Upper Gripper, LL : Lower Lift, LG : Lower Gripper)에 필요한 전류(혹은 전압) 명령을 나타낸다. 각 코일에는 3종류의 전류(혹은 전압) 명령이 있으며 각각 Full Current(High Voltage), Reduced Current(Low Voltage) 및 Zero Current(Zero Voltage) 이다. 제어봉의 이동속도는 스텝과 스텝 사이의 휴지시간을 조절함으로써 제어한다.

그림 3은 삽입시 각 코일들에 필요한 전류 명령을 나타낸다.

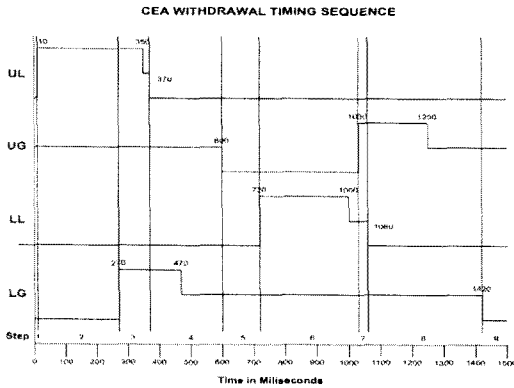


그림 2. 인출시 전류(전압) 명령

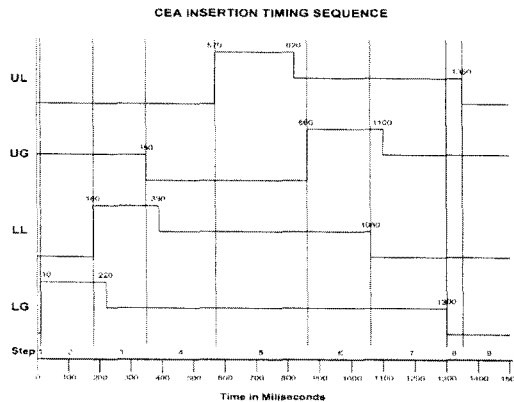


그림 3. 삽입시 전류(전압) 명령

표 1은 제어봉 인출시 각각의 코일과 관련된 여자상태, 이동자의 이동 방향과 이동 거리 및 제어봉의 이동 방향과 이동 거리를 나타낸다. 표에서 스텝 란은 그림2에서 구분된 구역들을 나타내며 한 스텝을 인출하기 위하여 9가지의 구분동작으로 이루어지고 있음을 알 수 있고 또한 초록색 부분은 코일이 여자된 상태를 나타낸다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 UL의 이동자는 7/16인치를 LL의 이동자는 3/8 인치를 이동하며 Gripper는 제어봉의 마디와 집게가 얼마나 떨어져 있는지의 Clearance를 나타낸다. 제어봉의 한 스텝은 3/4인치로 가공되어 있다.

표 1. 인출시 제어봉의 이동 방향 및 이동 거리

Step	UL		UG		LL		LG		Shaft
	여자상태	이동	여자상태	유격	여자상태	이동	여자상태	유격	
1				0					
2		↑ 7/16		0					↑ 7/16
3				0					
4		↓ 7/16		13/32					↓ 1/32
5									0
6						↑ 3/8			↑ 3/8
7				1/32					0
8				0		↓ 3/8			↓ 1/32
9				0					
총 이동 거리									↑ 3/4

표 2는 제어봉 삽입시 각각의 코일과 관련된 여자상태, 이동자의 이동 방향과 이동 거리 및 제어봉의 이동 방향과 이동 거리를 나타낸다.

표 2. 삽입시 제어봉의 이동 방향 및 이동 거리

Step	UL		UG		LL		LG		Shaft
	여자상태	이동	여자상태	유격	여자상태	이동	여자상태	유격	
1				0					
2				0					11/32
3				1/32		↑ 3/8			↑ 1/32
4									0
5		↑ 7/16							0
6				11/32					0
7				0		↓ 3/8			↓ 1/32
8				0					
9		↓ 7/16		0					↓ 7/16
총 이동 거리									↓ 3/4

2.1.3 시스템 요건

제어봉 제어시스템의 시스템 요건 중 제어봉 구동장치 구동을 위한 Power Topology 설계에 영향을 미치는 사항들에 대하여 살펴본다.

- 서브 그룹 : 제어봉 구동장치 4개로 구성되어 있으며 서브 그룹 내의 제어봉 구동장치는 동시에 운전된다.

- 개별 운전 : 서브 그룹 내의 4개의 제어봉 구동장치들 중 하나씩 선택하여 개별 운전을 할 수 있어야 한다.

2.2 Power Topology 설계

2.2.1 기존 시스템 Power Topology

기존의 제어봉 제어시스템인 CEDMCS에는 각각의 제어봉 구동장치 코일마다 Thyristor를 사용한 3상 반파제어 정류기가 설치되어 있다.

2.2.2 제안하는 Power Topology

기존 시스템에는 각각의 코일들 마다 3상 반파제어 정류기가 설치되어 있으므로 인하여 Thyristor의 수가 많다는 단점이 있다. 본 논문에서는 상기의 시스템 요건을 만족하면서 스위칭 소자의 수를 획기적으로 감소시킬 수 있는 새로운

Power Topology를 제안한다. 제안하는 Power Topology의 기본 구성을 그림 4에 나타내며 그 특징은 다음과 같다.

- 유지보수의 편의를 위하여 서랍형으로 제작한다.
- 고장시 상부와 하부의 Gripper 코일을 동시에 구동한다.
- 제어봉 구동장치 코일들을 4개씩 묶어서 구동한다.
- 스위칭 소자로 IGBT를 사용한다.
- 상부와 하부 코일들을 분리하여 단일 고장에 의한 제어봉 낙하를 방지한다.
- 전력함(Power Cabinet) 하나로 제어봉 구동장치 16개를 구동한다.

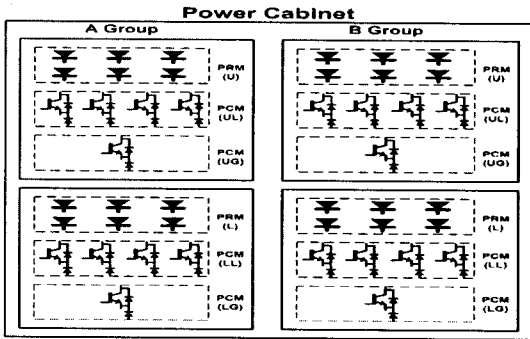


그림 4. 제안하는 Power Topology

2.2.3 개별 운전 검토

서브 그룹내의 제어봉 구동장치 개별 운전시 구동하지 않아야 할 제어봉 구동장치의 움직임을 살펴본다. 단순히 Lift (올림)용 코일의 전류(혹은 전압)만 인가하지 않을 때에는 제어봉 인출시 표 3과 같이 개별 운전하는 제어봉이 한 스텝씩 인출될 때 마다 움직이지 않아야 할 제어봉이 한 스텝씩 삽입된다.

표 3. 인출시 개별운전

Step	UL		UG		LL		LG		Shaft
	여자상대	여동	여자상대	여동	여자상대	여동	여자상대	여동	
1				0					
2	11/32			0					
3	여자상대			0				11/32	
4				0				11/32	
5								0	11/32
6								0	
7				13/32				0	
8				13/32				0	
9				0					13/32
총 이동 거리									3/4

이를 개선하기 위하여 움직이지 않아야 할 제어봉 구동장치의 Lower Lift 코일을 정상적으로 동작하는 제어봉 구동장치와 마찬가지로 여자시키면 표 4와 같이 제어봉의 움직임은 있지만 한 스텝씩 삽입되지는 않는다. 제어봉의 삽입시에도 상기의 현상이 나타난다.

표 4. 인출시 개별운전 개선

Step	UL		UG		LL		LG		Shaft
	여자상대	여동	여자상대	여동	여자상대	여동	여자상대	여동	
1				0					
2				0					
3				0				11/32	
4				0				11/32	
5								0	11/32
6								3/8	3/8
7				1/32				0	
8				0				11/32	1/32
9				0					
총 이동 거리									0

2.2.4 이중유지 동작 검토

정상 동작시 제어봉은 제어봉 구동장치의 Upper Gripper 코일에 전류를 흘려줌으로서 제어봉을 정위치에 유지하고 있다. 만약 Upper Gripper 회로의 고장시 제어봉을 낙하하지 않도록 하기 위해 상부와 하부의 Gripper(집게)용 코일에 동시에 전류를 인가하여야 하며 이중유지 동작의 해제시에는 제어봉의 의도하지 않는 움직임을 방지하기 위하여 표 5의 시퀀스를 따른다.

표 5. 이중유지 동작 검토

Step	UL		UG		LL		LG		Shaft
	여자상대	여동	여자상대	여동	여자상대	여동	여자상대	여동	
Hold				0					
Fault				0					11/32
D/H								0	
D/H								0	
해제	해제시 UG 회로 시퀀스 후 아래 Sequence 투입								
1								3/8	3/8
2				1/32				0	
3								3/8	11/32
4									1/32
총 이동 거리									0

3. 결론

본 논문에서는 원전용 4 코일형의 제어봉 구동장치를 구동하기 위한 새로운 Power Topology를 제안하고 제안하는 회로가 시스템의 요건을 만족하는지를 검토하였다. 검토 결과 시스템의 요건을 만족함을 알 수 있었고 기존 시스템에 비하여 스위칭 소자의 수를 획기적으로 감소시킬 수 있는 새로운 Power Topology를 제안하였다. 향후 제어봉 제어시스템을 설계하여 제어봉 구동장치 Mockup을 대상으로 상기의 검토 결과가 맞는지 확인하고자 한다.

참고 문헌

- [1] 이종무 외, "원전용 제어봉 구동장치 원형 설계", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, 638~640P, 2002
- [4] 이종무 외, "제어봉 구동장치 제어시스템용 전력함 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, D권, 2274~2276P, 2003