

2001 춘계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

**SMART CEDM의 전자석 장치에 대한 추력시험**  
**The Test for Electromagnet of Control Element Drive Mechanism**  
**for SMART**

조대회, 정군석  
한라산업(주)  
부산광역시 사하구 다대동 1509-2

김지호, 허형, 김종인  
한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

**요 약**

SMART의 볼스크류형 제어봉구동장치에 설치된 전자석은 비상시 제어봉을 신속히 삽입하는데 필요한 부품이다. 정상운전 중에는 전자석의 힘으로 가동부를 잡고 있다가, 비상시 전자석에의 전원을 차단함으로써 가동부가 자중의 힘으로 급속히 삽입되도록 하는 기능을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 기능을 가진 전자석의 시제품 시험을 통해 앵커사이의 간격, 공급되는 전류밀도의 크기, 주변 유체온도 등에 따른 전자석 추력을 구하였다. 또한 유한요소 해석결과와 비교 분석하여 시험결과의 타당성을 검증하였다. 이러한 전자석 시험결과는 전자석 설계를 위한 참고자료로 사용될 수 있다.

**Abstract**

The electromagnet installed in the ball-screw type control element drive mechanism for SMART is the necessary parts for quick insertion of the control element into the core on scram state. The electromagnet is the state holding on to the moving parts by electromagnet force during normal operation, but on the scram situation, the moving parts are quickly inserted by gravity force by turning off the power supplied to the electromagnet. In this paper, by the pre-making part test of the electromagnet the electromagnet thrust forces by the air gap between anchors, the size of current density supplied and the circumferential fluid temperature are obtained. The results by this test are compared with those by the finite element analysis. The test results can be used as a reference data for electromagnet design.

**1. 서 론**

볼스크류 제어봉 구동장치에는 비상신호가 들어오면 68mm 만큼 긴급히 수직 하강할 수

있는 긴급삽입장치가 설치되어 있다. 긴급삽입장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 고정앵커, 이동앵커 및 권선블럭으로 이루어진 전자석, 이동앵커와 볼너트를 연결해주는 볼베어링, 그리고 긴급삽입장치의 삽입여부를 감지하기 위한 상,하부 한계스위치로 구성되어 있다. 초기 기동시 스텝모터의 회전력이 감속기어를 통하여 볼너트집합체(볼너트-스플라인-볼베어링집합체)로 전달되면 스크류는 해제스프링력 및 가동부위 자중등으로 상승하지 못하고 대신 볼너트집합체만이 상승하게 된다. 68mm 만큼 상승하면 볼너트집합체의 상단에 붙어있는 이동앵커가 전자석의 고정앵커에 붙게 되며 이 이후로는 스텝모터의 회전축의 회전운동이 스크류의 상하운동으로 바뀌게 된다. 비상시에는 이 전자석에의 전원을 차단함으로써 전자석의 힘만으로 매달려 있던 볼너트집합체가 스크류와 함께 가동부위의 자중 및 해제스프링의 힘으로 1초 이내에 68mm 만큼 낙하하여 노심을 제어하게 된다.[1,2]

이런 역할을 하는 전자석 장치의 시제품을 제작하여 추력시험을 했으며 전자석 시험 장치는 인장시험기에 설치하여 수행하였다. 본 논문은 전자석 시제품의 추력시험 결과를 토대로 전자석 장치의 설계방향을 제시하기 위한 것이다.

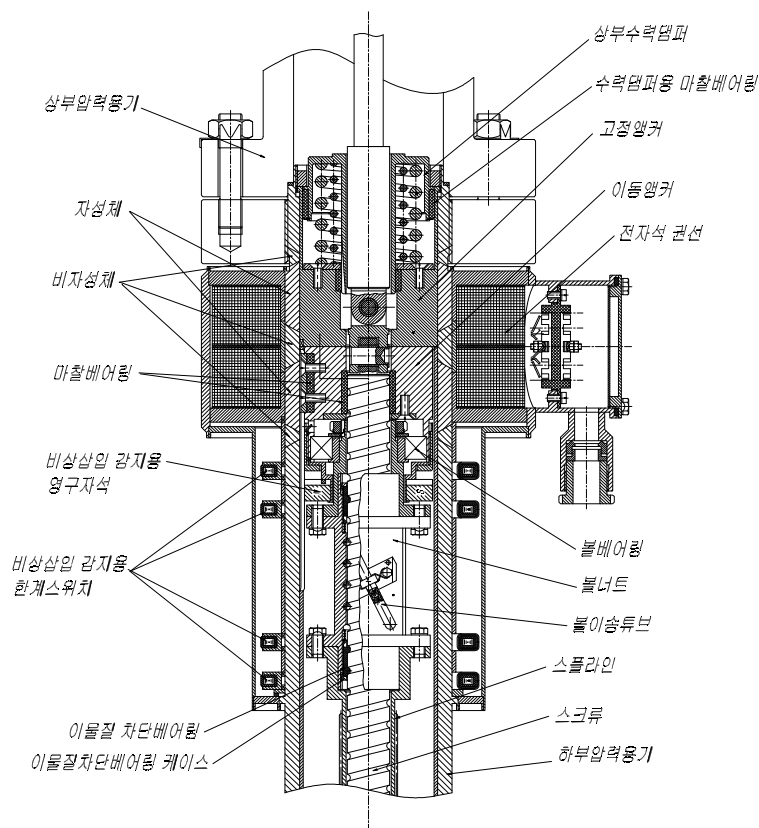


그림 1 전자석의 설치

## 2. 시험장치 및 시험방법

전자석 시험장치의 구조는 그림 2와 같다. 전자석 시험장치 구조의 부품 명칭은 표 1에 나타내었다.

전자석 시험장치의 설치는 그림 3과 같이 전자석 장치의 Base 부분을 인장시험기 하부에 고정시키고 Load Rod 부분을 상부에 연결한다. 그리고, 주변 기기로 전류를 공급하는 Power Supply와 전압을 측정하는 Multimeter, 전자석 내부의 온도를 측정하는 Thermometer, 컴퓨터와 인터페이스 되어 있는 PC등이 있다. 전자석 시험방법으로 테스트를 시작하면 인장시험기의 스크류가 이동하면서 전자석 시험장치의 이동앵커와 고정앵커 부분의 간극이 벌어지게 된다. 이 간극이 생기면서 전자석 추력이 변하는데 이 변위에 대한 추력의 변화를 PC에서 데이터로 받아 저장하였다.

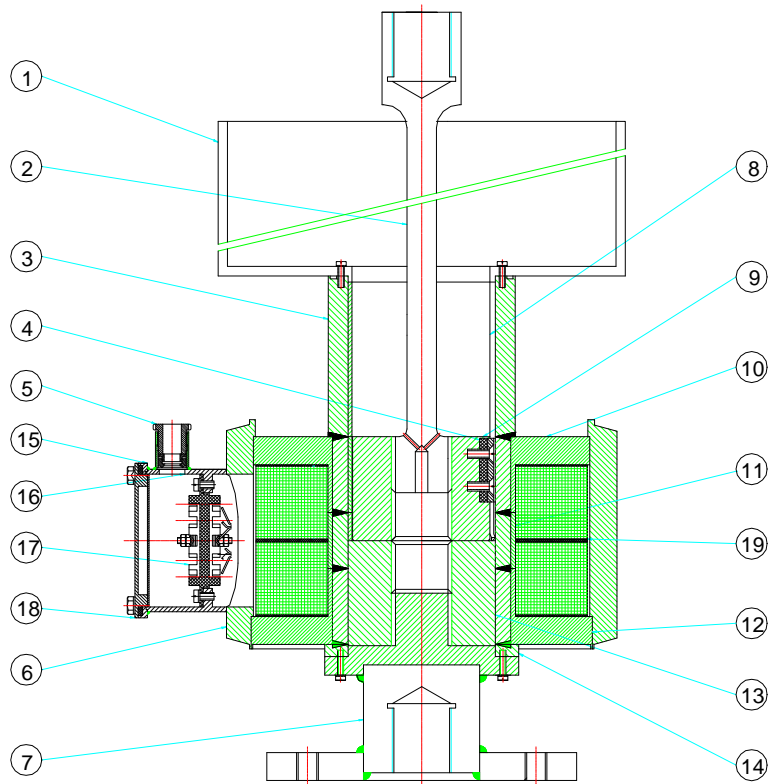


그림 2 전자석 시험장치 구조

표 1 전자석 시험장치의 명칭

No.	부품명	재 질
1	WATER CHAMBER	STS304
2	LOAD ROD	STS304
3	PRESSURE HOUSING	STS304,A582T430F,SA279T321
4	BEARING	흑연테프론
5	SOCKET	STS304
6	HOUSING	S20C
7	BASE	STS304
8	SLEEVE	STS304,A582T430F,SA279T321
9	이동앵커	A582T430F
10	HOUSING	S20C
11	SLEEVE	SA279T321
12	HOUSING	S20C
13	고정앵커	A582T430F
14	FIX RING	STS304
15	ADAPTER	STS304
16	BODY	STS304
17	TERMINAL	MC
18	COVER	STS304
19	INSULATOR	CAF



그림 3 인장시험기에 설치된 전자석 장치

### 3. 시험결과

#### 3.1 전류밀도에 따른 전자석 추력

그림 4는 Power Supply에서 전류밀도가  $1.5 A/mm^2$ 가 되도록 전류를 공급하여 인장실험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 이 그래프에서 전류밀도가  $1.5 A/mm^2$ 인 경우 전자석에 발생하는 최대추력이  $550 Kg_f$  정도의 값을 갖고 최대추력 도달지점 이후부터 추력이 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 전류밀도를  $0.5 \sim 3 A/mm^2$  사이에서 여러 가지로 공급한 경우에 대한 추력곡선을 나타내고 있다. 전류밀도가  $0.5 \sim 3 A/mm^2$ 의 범위에 있을 때 최대추력은  $400 \sim 600 Kg_f$  사이의 값을 가짐을 알 수 있다.

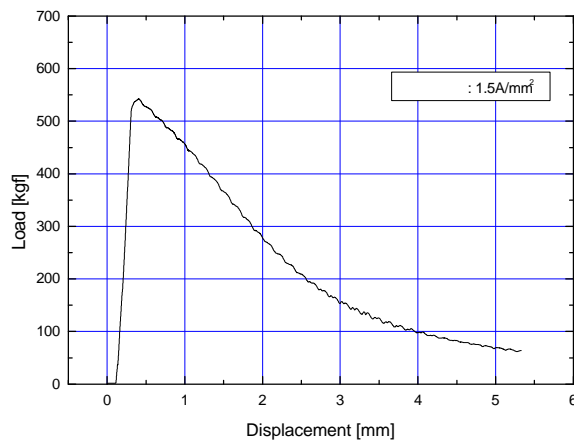


그림 4 전류밀도를  $1.5 A/mm^2$ 로 공급한 경우에 대한 추력곡선

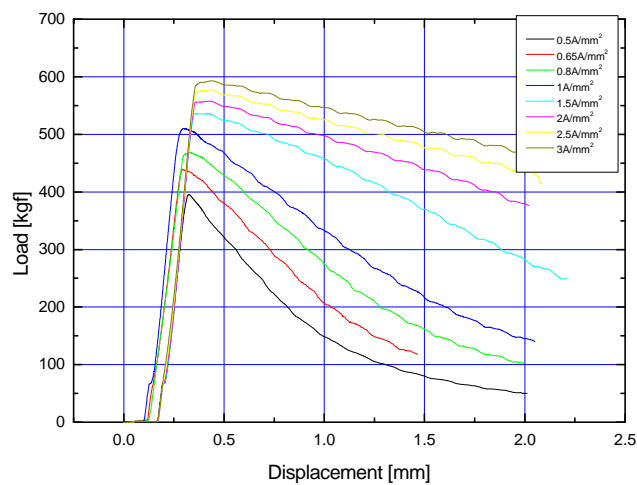


그림 5 여러 전류밀도에 대한 추력 곡선

### 3.2 해석결과와의 비교

그림 6은 전류밀도에 따른 최대전자기력에 대해 해석값과 실험값을 비교하여 나타낸 것이다. 여기서, 해석은 전자장 수치해석용 툴인 Flux-2D를 이용하였고 해석좌표계는 Axisymmetric이다. 순간삽입용 전자석의 고정앵커와 이동앵커 사이에 작용하는 자기력이 설계추력에 적합하도록 단위 면적당 최대추력을 얻기 위하여 각 설계변수의 추력발생 경향을 유한요소법으로 해석하여 설계최적치를 계산하였다. 축대칭 문제이기 때문에 2차원 등가 변환하여 해석하였다. 이 축대칭 문제는 좌우 대칭이기 때문에 전체 해석중 절반만 계산하였다.

이 그래프에서 해석값이 실험값보다 더 크게 나오는 것을 볼 수 있다. 그리고, 전류밀도가  $1 A/mm^2$  이후부터는 5% 이내로 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

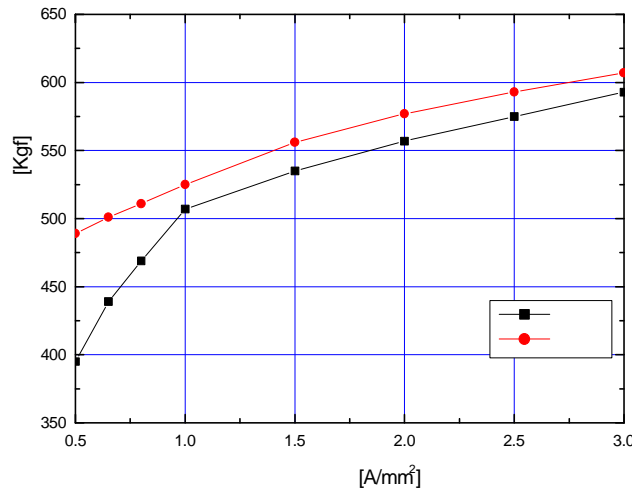


그림 6 실험과 해석결과 비교

### 3.3 상·하권선 여자에 따른 추력변화

그림 7은 전류밀도를  $1.5 A/mm^2$ 로 준 상태에서 상권선, 하권선 각각 따로 여자를 한 경우와 상·하권선 동시에 여자한 경우의 추력 변화를 나타낸 것이다. 상권선 또는 하권선에 각각 여자를 한 경우는 같은 추력값을 보이고 있고 상·하권선 동시에 여자를 한 경우가 하나의 권선에만 여자한 경우보다 약 15%만큼 큰 추력을 보이고 있다. 이처럼 추력이 크게 변하지 않는 것은 이미 자료가 포화되었기 때문인 것으로 추정된다.

### 3.4 온도에 따른 전자석 추력의 변화

그림 8는 전류밀도를  $3 A/mm^2$ 로 주고 전자석 내부 온도가  $28^{\circ}C$ 일 때와  $146^{\circ}C$ 인 경우의 추력변화 곡선을 나타낸 것이다. 여기서, 전류밀도를  $3 A/mm^2$ 로 일정한 전류를 공급하면 전자석 내부 온도가 시간에 따라 올라간다. 이 때 온도가  $146^{\circ}C$ 에 도달한 지점에서 인장시험을 하여 추력을 얻었다. 이 선도에서 추력의 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 이 결과로부터 전자석 내부 온도는 추력에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

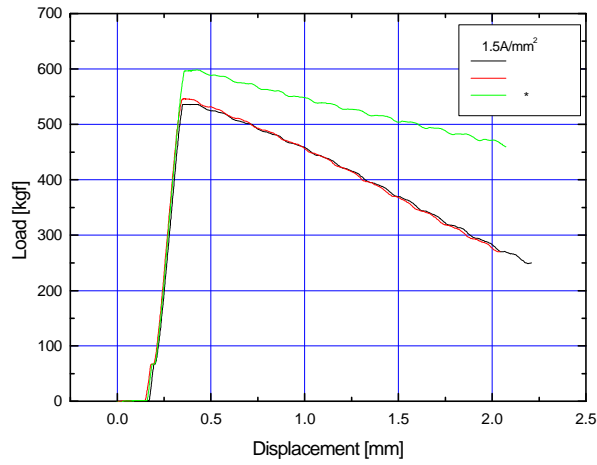


그림 7 상권선, 하권선 각각 따로 여자한 경우와 상\*하권선 여자한 경우

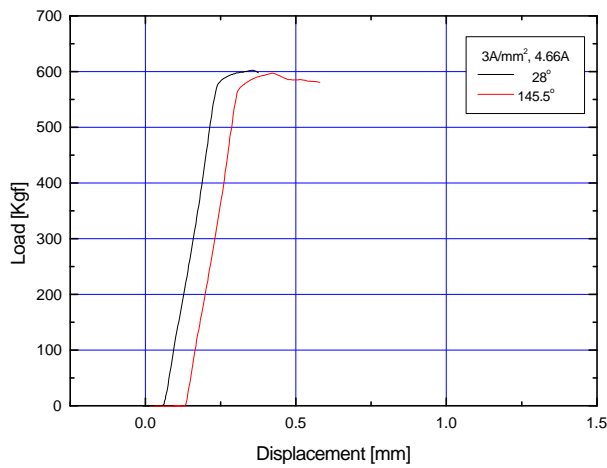


그림 8 상온과 146°C인 경우의 추력변화

### 3.5 시간에 따른 권선 중심 온도의 변화

그림 9는 전류밀도를  $1.5 A/mm^2$ 로 주고 최대하중이 걸리는 시점에서 변위를 멈추게 하고 그 시점부터의 시간에 대한 전자석 내부 온도변화를 나타낸 것이다. 전류밀도가  $1.5 A/mm^2$ 인 경우 전자석 내부 온도는 처음에 빠르게 상승하다가 점점 수렴하는 것을 알 수 있다. 전류밀도가  $1.5 A/mm^2$ 인 경우 전자석 내부 온도는  $70^\circ C$  근처에서 수렴한다.

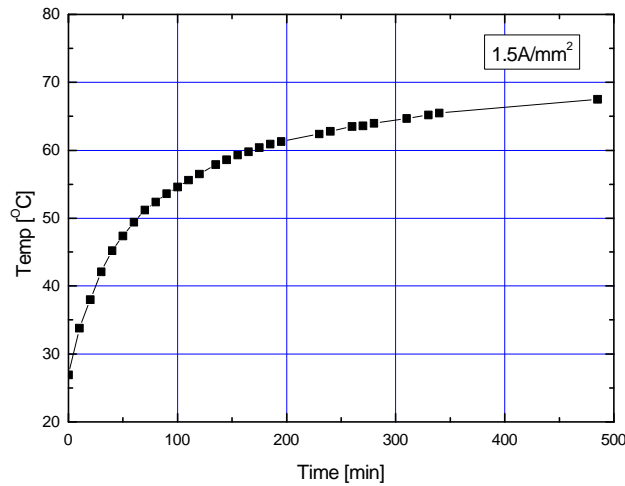


그림 9 시간에 따른 온도 변화

#### 4. 결론

제어봉 구동장치에 장착되는 전자석 장치에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

전자석 장치에 전류를 일정하게 공급하면 온도에 따른 추력의 변화는 없다. 온도가 증가함에 따라 권선저항이 증가하므로 전압이 증가한다.

온도가 100°C 상승함에 따라 전압이 약 20% 증가한다. 전류밀도를  $1.5 A/mm^2$ 를 공급하는 경우 권선온도의 증가량은 약 50°C 정도이다. 전류밀도에 따른 실험값과 해석값은 전류밀도  $1 A/mm^2$  이상인 경우 5% 이내로 일치하였다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

1. 허 형 외, “제어봉구동장치에 장착되는 전자석의 전자장 수치해석”, KAERI/TR-1352/99, 1999. 6.
2. 김지호 외, “볼스크류형 제어봉구동장치 개념설계”, KAERI/TR-1448/99, 1999.12.