

'01 추계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

## SMART CEDM에 장착되는 회전형 스텝모터의 성능시험

김지호, 허형, 김종인  
한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

정연호, 강도현  
한국전기연구원  
경남 창원시 성주동 28-1

### 요 약

대안으로 검토되고 있는 SMART용 볼스크류형 CEDM의 구동모터인 회전형 스텝모터의 시제품을 제작하여 권선 내부 온도시험 및 정토크 특성 시험을 수행한 후, 시험결과를 바탕으로 스텝모터를 재설계하는 과정을 기술하였다. 시험결과, 스텝모터 권선 내부의 최대온도는 해석결과보다 높게 측정되었으며, 홀딩토크의 최대값은 해석 결과에 비해 약 20% 정도 낮게 측정되었다. 이러한 시험 결과를 바탕으로 공간상의 제약, 주변 기기들과의 연결성, 온도조건 등을 고려하여 스텝모터의 최적 설계를 수행하였으며, 권선창 단면적을 약 70%, 치 폭을 약 30% 증가시키는 경우, 토크요건을 만족하는 것으로 나타났다.

### Abstract

A performance test and re-design procedure of the rotary step motor of SMART CEDM is described. Coil temperature test and holding torque characteristic test are performed for the motor which was sized and manufactured based on the first stage basic design results. The test results show that the measured coil temperatures are higher and the holding torque is less than those by analysis. By means of re-design which is performed based on FEM analysis and using the test results, it is necessary to increase coil window area and the stator and rotor teeth width by 70% and 30%, respectively, in order to satisfy the design requirements for the step motor.

### 1. 서론

SMART용 볼스크류형 CEDM의 구동모터로 채택된 회전형 스텝모터는 4상 2여자 방식의 비동기성 회전형 스텝모터로서 제어봉구동장치를 실제 구동하는 매우 중요한 역할을 하는 기기이다. 회전형 스텝모터의 주요 구조는 Fig.1에서 보는 바와 같이 압력용기 및 압력용기 내부에 용기의 일부로 만들어진 외부 고정자 치, 그리고 독립적인 4상의 권선으로 이루어진 외부 고정자, 용기중심에 들어 있는 내부 고정자, 두 고정자 사이에서 회전하는 회전자로 구성되어 있다. 권선은 압력용기(외부고정자 치)를 감고

있는 형태이며 고정자 및 회전자 치는 12개이다. 압력용기의 역할도 하는 외부고정자 치구조물은 자계의 형성을 원활히 하기 위하여 각 상권선 사이를 비자성 용접재로 용접하며 유니폴러형 자계가 형성된다. 회전자와 고정자의 치(齒)는 다단식 구조로서 각 상당 2단씩 모두 4개의 상으로 구성되어 있으며 모든 상이 동일 피치로 되어 있으나 회전자의 각 상은 인접 상과 7.5°의 위상각을 가지고 있다. 따라서 스텝모터의 한 펄스당 회전자 회전각은 7.5°가 된다. 회전자는 실린더 형으로서 비자성체와 자성체가 번갈아 용접되어 있다.

스텝모터 설계시 고려되어야 할 요소들은 구동해야 할 하중, 기계적/전기적 손실, 구동 속도, 권선온도 등 여러 가지가 있다. 김지호 등[1]은 이러한 요소들을 고려하여 스텝모터의 크기결정을 위한 해석결과를 발표한 바 있으며, 강도현 등[2]은 동일한 스텝모터 개념에 대해 영구자석형과 비영구자석형 모터를 개발하고 이에 대한 설계 방법론을 제시하였다. 또한 김동욱 등[3]은 CEDM이 큰 동적하중을 받는 경우, CEDM이 안정적 거동을 보이기 위한 스텝모터의 구동토크 요건을 해석적으로 평가하였다. 본 논문에서는 이러한 연구결과를 바탕으로 초기 기본설계된 스텝모터를 실제 제작하여 성능시험을 거친 후, 시험결과를 반영하여 재설계를 수행하는 과정을 기술하고자 한다.

## 2. 스텝모터 초기 기본설계 및 시제품 제작

SMART CEDM의 회전형 스텝모터의 주요 기본설계 요건은 다음과 같다.

- 설계압력 : 17MPa
- 설계온도 : 350°C
- 내부유체온도 : 120°C
- 외부공기온도 : 50°C
- 모든 손실을 고려한 구동토크 : 22Nm 이상
- 권선 내부 최대 온도 : 180°C 이하
- 구동속도 : 최대 80rpm
- 스텝당 회전각 : 7.5°

이 외에 원자로 상부에 설치된 CEDM의 유지 보수성을 위한 공간 확보를 위하여 CEDM의 크기는 최소화해야 한다는 요건이 추가된다.

이러한 요건에 부합되는 스텝모터의 크기 결정을 위하여 참고문헌 [1]의 결과를 활용하였으며 이를 통해 결정된 스텝모터의 주요 사양은 다음과 같다.

- 외경 : 171mm
- 고정자 및 회전자 치 폭 : 23mm
- 권선창 크기(세로x가로) : 44x16.5mm
- 고정자와 회전자 사이의 공극 : 0.35 mm
- 공급전류 : 7.7A (2800 AT)

스텝모터의 성능시험을 위하여 위에서 결정된 사양대로 스텝모터의 시제품을 제작하였다. Fig.2는 완성된 시험용 스텝모터의 사진이며 Fig.3는 온도시험을 위하여 부착된 열전대의 위치를 나타내고 있다. 열전대는 각 상에는 같은 위치에 2개씩 설치하였고, 권선내부의 반경방향 온도분포를 알 수 있도록 하기 위하여 상마다 다른 위치에 부착하였다.

## 3. 스텝모터 성능 시험

Fig.4는 시험용 스텝모터를 성능시험기에 설치하여 시험준비가 완료된 상태의 모습이다. 스텝모터 성

능시험기는 스텝모터 제어기, 다이ना모 메터, 신호처리기 및 DAS 등으로 구성되어 있으며 스텝모터의 정특성 및 동특성을 측정할 수 있다.

Table 1은 공급전류에 따른 스텝모터 권선의 온도시험 결과이다. 가운데 B,C상권선 온도가 A,D상권선의 온도보다 높게 측정되었는데 이는 B,C상권선의 경우, 위 혹은 아래로 열발산을 하지 못하기 때문이다. Table 1의 시험결과를 보면 주변온도가 25°C 내외임에도 불구하고 5A의 전류에서 이미 한계온도인 180°C에 도달함을 알 수 있는데 7.7A로 예상했던 해석결과와 비교하여 상당히 높게 측정되었다. 이는 권선저항에 의한 온도의 상승률이 예상보다 높고 권선 블록에서 외부로의 열전달이 잘 일어나지 않는다는 것을 의미한다. CEDM의 실제 운전중 주변온도는 50°C 이므로 이를 고려할 경우, 권선 한계온도 이하에서 운전하기 위해서는 공급전류를 4.3A(열량 42.56W) 이하로 유지해야 한다는 것을 알 수 있다.

Fig.5는 시험용 스텝모터의 한 상에 대한 정토크의 해석치와 시험치를 비교한 것이다. 평균토크를 기준으로 시험치는 계산치와 비교하여 4A일 때 약 25%, 6A일 때 약 22.4%, 8A일 때 약 20.2% 정도 작게 나타났다. 토크의 계산값은 3차원 FEM을 이용하여 해석된 것으로서 3차원 해석치는 보통 5~10%범위 이내에서 오차율을 나타내는데 이와같이 많은 차이를 보이는 것은 전기적, 기계적 손실이 예상보다 큼을 의미한다.

온도시험 결과에 의하면 공급할 수 있는 최대 전류값은 4.3A 이며, 이 전류를 공급할 경우 정특성 시험결과에 따라 최대 홀딩토크가 약 12Nm 정도 되므로 스텝모터 설계요건을 만족하기 위해서는 권선의 온도를 낮추고 토크를 증가시킬 수 있는 방향으로 스텝모터의 재설계가 필요하다.

#### 4. 스텝모터 재설계

스텝모터가 장착되는 CEDM의 주위 공간을 고려하면 스텝모터의 크기는 반경방향으로는 약 9mm 밖에 여유가 없으므로 수직 방향으로 크기를 증대시키는 방향으로 재설계를 수행하였다. 또한 스텝모터 위 아래에 위치하게 될 다른 기기들과의 연결을 고려하는 경우, 권선 온도를 줄이고, 토크를 증가시키는 최적의 방법은 권선 창 단면적을 증대시키는 것이다. 권선창 단면의 크기를 바꿔가면서 FEM 해석을 수행한 결과, 권선창 크기를 58x21mm<sup>2</sup> 로 설계하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났으며 이때의 주요 설계 변수들은 다음과 같다.

- 외경 : 180mm
- 고정자 및 회전자 치폭 : 30mm
- 고정자와 회전자 사이의 공극 : 0.2mm
- 권선창 : 58\*21 mm<sup>2</sup>
- 공급전류 : 3.3A 이하 (1990AT)

이와같이 결정된 설계치수에 따라 홀딩토크의 해석치와 예상되는 실제토크 특성값을 그린 것이 Fig.6이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 재설계된 스텝모터의 홀딩토크 최대값은 26Nm로서 토크 요건을 약 15% 정도의 여유를 가지고 만족함을 알 수 있다.

#### 5. 결론

SMART CEDM에 장착되는 스텝모터 시제품의 성능시험을 통하여 온도 특성 및 토크손실항을 평가하고, 이를 반영하여 스텝모터의 재설계를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 시험용 스텝모터는 공급전류가 약 4.3A 일 때 한계온도인 180°C에 도달한다.
- 2) 시험용 스텝모터의 정토크 시험치는 해석결과와 비교하여 공급전류가 4A일 때 약 25%, 6A일 때 약 22.4%, 8A일 때 약 20.2% 정도 작게 나타난다.

3) 시험결과를 반영하여 재설계된 스텝모터의 주요 사양은 다음과 같다.

- 외경 : 180mm
- 고정자와 회전자 치 폭 : 30mm
- 권선창 크기(세로x가로) : 58x21mm
- 공극 : 0.2mm
- 공급전류 : 3.3A 이하 (1990AT)

#### 후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 김지호 외, "SMART CEDM용 회전형 스텝모터의 설계", 1999년 한국원자력학회 춘계 학술발표대회 논문집, 1999.5.
- [2] 강도현 외, "SMART 제어봉 구동용 회전형 전동기 설계에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술발표대회 논문집, 1999.8.
- [3] 김동욱 외, "일체형원자로 제어봉구동장치의 안정성 확보를 위한 스텝모터 설계요건 해석", 1999년 한국원자력학회 추계 학술발표대회 논문집, 1999.10.

Table 1 Measured Temperatures at Each Phase

		전류에 따른 온도			주변 온도 (°C)
		온도(°C)			
Phase		3A	4A	5A	(°C)
A-B	A	71	105	169	26
	B	76	112	179	
B-C	B	75	119	180	25-27
	C	74	117	177	
C-D	C	75	115	178	27.5
	D	76	116	180	
A-D	A	64	100	143	26
	D	69	107	154	

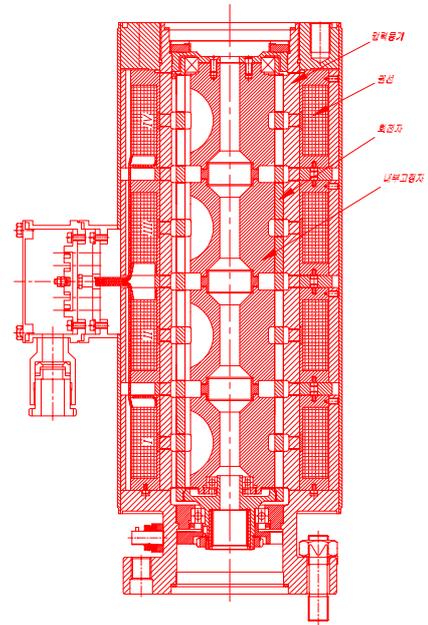


Fig.1 Rotary Step Motor



Fig.2 View of Step Motor

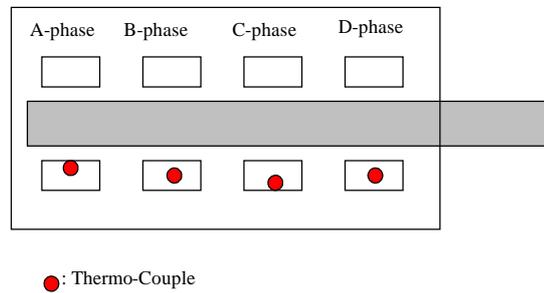


Fig. 3 Thermocouple Locations

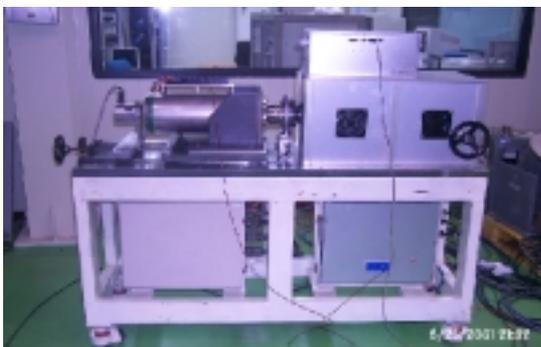


Fig.4 General View of Test Setup

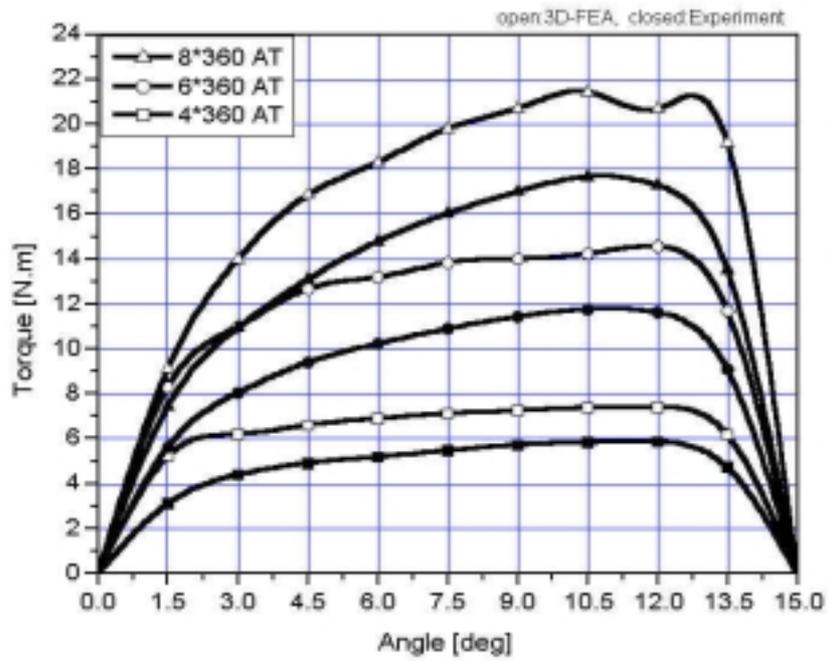


Fig.5 Comparison of Holding Torques

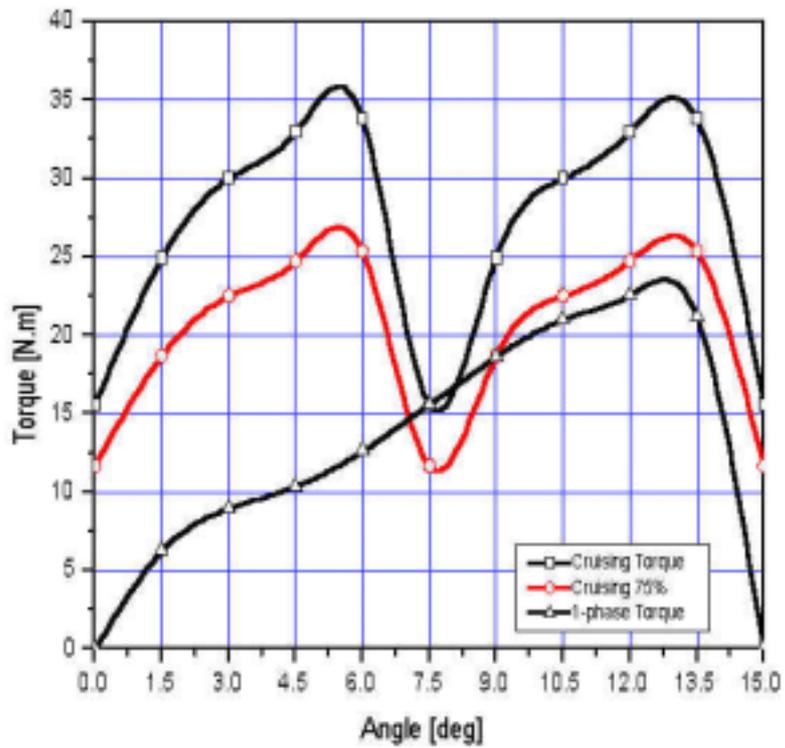


Fig.6 Holding Torque Characteristics of Redesigned Step Motor