

SMART용 제어봉구동장치에 장착되는 위치측정기의 전자장해석

허 흥*, 김건중**

*한국원자력연구소, **충남대학교

Electromagnetic Analysis of Angular Position Detector
for SMART Control Element Drive Mechanism

Hyung Huh*, Kern-jung Kim**

*Korea Atomic Energy Research Institute, **ChungNam National University

Abstract - An advanced angular position detector (APD) for the SMART CEDM (control element drive mechanism) was designed. The APD is required to be small size with high resolution for angular displacement of rotary step motor. Unfortunately the proximity sensors can not be adopted to SMART CEDM because the motor shaft is located in the pressure boundary cylinder filled with the primary coolant under high temperature and pressure. This paper describes the electromagnetic finite element analysis for the design of advanced angular position detector for the SMART CEDM. The electromagnetic properties obtained will be used as input for the optimization analysis of the APD.

1. 서론

일체형원자로 SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor)는 기동시 핵반응 열을 이용하고, 무봉산 노심설계의 채택으로 반응도제어가 제어봉으로 수행되어야 하므로 미세조정이 가능하여야 한다. 따라서 현재 개발중인 CEDM에 쓰이는 제어봉 위치측정기는 미세변위를 측정할 수 있어야 하고 빈번한 제어봉의 이동에도 변위측정 성능을 유지해야 한다. SMART CEDM의 상하이동추력은 상용원자로와는 달리 회전형스텝모터로 공급하는데 설계요건상 회전축은 원자로의 일차 냉각수 속에 잠겨서 회전하기 때문에 고온과 고압의 경계에 둘러쌓여있다. 그러므로 근접센서 등을 회전축에 설치할려면 고압과 고온의 경계면을 뚫고 설치하여야 하기 때문에 센서를 설치 후에 패킹 혹은 가스켓 등으로 누수방지를 하여야 한다. 이와 같이 근접센서로 전동기의 회전속도를 측정하기에는 여러 가지 어려운 문제가 있다. 고온 및 고압에 사용할 수 있는 센서 선정이 어려울 뿐 아니라 센서의 부착방법과 부착 후에 누수방지 장치가 별도로 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 싱크로 원리를 이용한 마그네신형 위치측정기를 설계하였다.

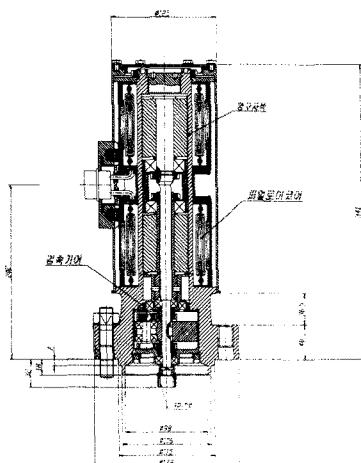


Gráfico 1 위치측정기의 구조

2. 본론

가. 위치측정기 작동원리

위치측정기의 구조는 그림 1과 같이 회전자는 영구자석을 SUS321로 된 캔 속에 넣고 밀봉된 형태로, 이 것은 고온, 고압($100^{\circ}\text{C}/15\text{MPa}$)의 1차 냉각수로 채워있는 실린더 내부에서 회전하며(Max. 90 rpm), 고정자는 원환형 페일로이를 적층하여 알루미늄 캔으로 밀봉시켜 그래스에 폭시로 제작된 절연물 지지대로 12등분한 형태로 1차권선은 코어둘레 전 부위를 고르게 감고, 2차권선은 Y-결선 형태로 한 상당 서로 마주보는 2개 쟈션, A상과 \bar{A} 상으로 구성된다. 1차권선에는 $115[\text{V}]/60[\text{Hz}]$ 의 교류를 공급한다. 작동원리는 가포화리액터 즉, 독립한 제어가 가능한 자화력을 주고, 자기회로의 포화현상을 이용하여 교류출력회로의 인덕턴스를 변화시켜 전압-전류의 특성을 조정하는 방법으로 영구자석만으로는 코어가 포화가 되도록 설계하여야 하며, 영구자석과 1차권선에 의해서 코어가 포화가 되도록 설계하여야 한다[1,2,3].

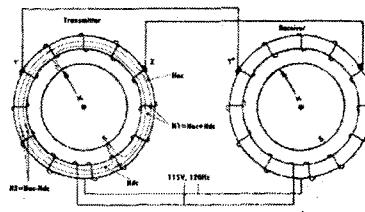


Gráfico 2 위치측정기 시스템

$$H_1 = H_{ac} + H_{dc}$$

$$H_2 = H_{ac} - H_{dc}$$

여기서, H_{ac} 와 H_{dc} 는 각각 교류인가시 1차권선에 의해 발생되는 기자력과 영구자석만으로 코어내에 발생된 기자력이며, H_1 과 H_2 는 코어내 합성기자력이다. 그림 3에서 B_{1dc} 와 B_{2dc} 는 영구자석만 있을 경우에 코어내의 자속밀도이다.

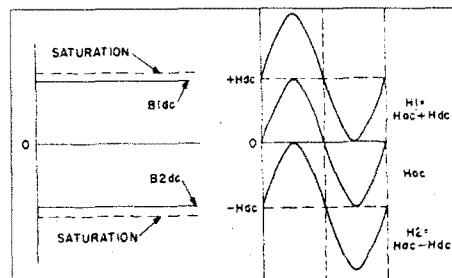


Gráfico 3 영구자석으로 약화된 자속과 교류인가시 기자력

$$B_1 = B_{ac} + B_x$$

$$B_2 = B_{ac} - B_x$$

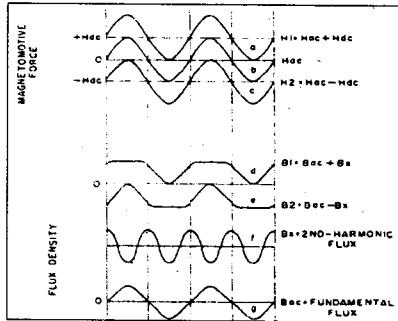


그림 4 코어내 기자력과 자속밀도 변화

여기서, B_x 는 H_{ac} 와 H_{dc} 에 의해 합성된 자속밀도이다.

$$B_x = \frac{B_1 - B_2}{2}$$

그림 4와 같이 주어진 주파수에 2배로 변화하는 결합된 제2 고조파 자속밀도 B_x 의 변화율에 비례적으로 제 2고조파 전류가 연속적으로 발생된다. 이 단방향성 자장은 수신자에 생기며 회전자를 발신자와 동기화시킨다.

나. 전자장해석

1) 정자장해석

표 1과 같이 결정된 조건에 대하여 Maxwell 2D를 이용하여 페멀로이 코어내 자속밀도분포를 계산하였다[4,5].

표 1 위치측정기 해석조건

회전수		0 ~ 90 [rpm]
권선	종류	폴리이미드 동선
	직경	Φ0.5 [mm]
	권선수	840 [turn]
	점적율	0.78
영구자석	종류	Alnico 5
	극수	2극
	μ_{rec}	3
	B_{r_s}	≈ 0.9 [Tesla]
	Tc	≈ 800 °C
코어	Tw	≈ 400 °C
	재료	Permalloy
	두께	0.5 [mm]
	높이	10 [mm]
암력용기		SUS316, $\mu=1.003$
Can		SUS316

계산결과 그림5와 같이 코어내부에 대한 자속밀도분포의 평균값은 약 0.6(Tesla)로 페멀로이 포화레벨과 상관관계를 보면 그림 6과 같이 평가되었다.

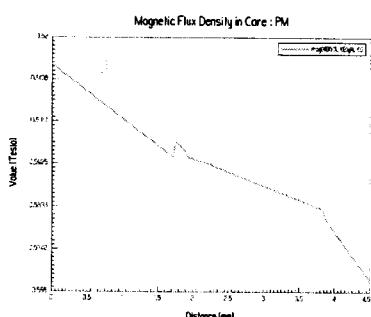


그림 5 페멀로이 코어내부의 자속밀도분포

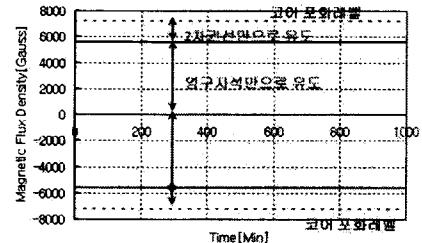


그림 6 영구자석/2차권선으로 유도되는 코어 내부의 자속밀도 레벨

2) 과도해석

표 2와 같이 계산된 해석조건을 이용하여 전자장해석을 하였다. 해석결과 페멀로이 코어가 포화됨에 따라 그림 9와 같이 유기되는 2차권선의 3상전류파형이 입력주파수에 2배가 됨을 알 수 있다.

표 2 위치측정기 과도해석조건

회전수		0 ~ 90 [rpm]
권선	직경	Φ0.5 [mm]
	권선수	840 [turn]
	저항	12 Ω (실현값)
	인덕턴스	0.13165 [H] (실현값)
2차권선	직경	Φ0.5 [mm]
	권선수	480 [turn]
	저항	4.12 Ω (실현값)
	결선방법	Y-결선
영구자석	종류	Alnico 5
	극수	2극
코어	재료	Permalloy
	두께	0.5 [mm]
	높이	10 [mm]
	입력전압	Input=115*sqrt(2)*cos(360*120*T)
Stop time		1[sec]
Time step		0.0024[sec]
Model depth		66[mm]
Symmetry multiplier		1
Mesh Generation		Direct / seed 6 level

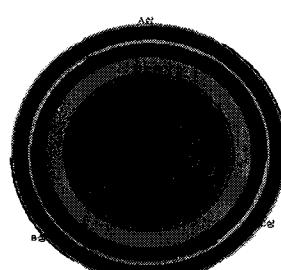


그림 7 위치측정기 2차원 과도 해석모델

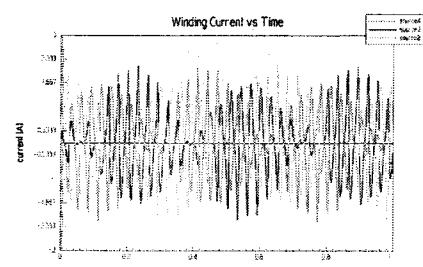


그림 8 위치측정기 3상 2차권선에 유기된 전류파형

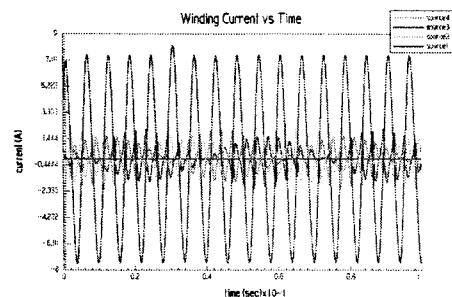


그림 9 유기된 기준주파수에 2배인 3상 전류파형

4. 결 론

일체형원자로 SMART의 제어봉구동장치에 장착되는 위치측정기의 설계와 관련하여 2차원 유한요소법을 이용하여 전자기해석을 수행하였다. 정자계 해석결과를 이용한 과도해석을 수행하여 발/수신기 회전자의 동기화힘을 발생시키는 second harmonic 전류 발생조건을 입증하였다. 여기서 구한 해석결과들은 추후 위치측정기 센서의 설계최적화를 위한 입력으로 활용될 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Philco Co., Industrial and Microwave Electrical Technology, Vol. 6
- [2] William H. Hayt, Engineering Electromagnetics, 4th edition, McGraw-hill, 1981
- [3] 임달호, 전기계의 유한요소법, 동명사, 1987
- [4] Maxwell 2D Field Simulator, A magnetic force problem, ANSOFT, 1996
- [5] 허형외, Electromagnetic analysis of RSPT for SMART CEDM, 2000 추계 한국원자력학회학술대회