

속응 여자식 초전도 발전기 열전자 차폐막의 전자 차폐 특성 해석

이 홍 배, 배 동 진, 김 석 환, 한 성 진*, 차 귀 수**, 한 송 업
서울대학교 전기공학과 * 동아대학교 전기공학과
**순천향대학교 전기공학과

Magnetic Shielding Effects of the Electrothermal Shield of a Superconducting Generator with Quick-Response Excitation

H. B. Lee, D. J. Bae, S. Wh. Kim, S. C. Hahn*, G. S. Cha**, S. Y. Hahn
Dept. of Electrical Eng., Seoul National Univ.
*Dept. of Electrical Eng., Dong - A Univ.
**Dept. of Electrical Eng., Sun Cheon Hyang Univ.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a new electrothermal shield model with slits for the purpose of applying to the Superconducting Generator with Quick-Response Excitation.

Via experimental and finite element analysis, we compared the magnetic shielding effects of the proposed electrothermal shield model with the conventional one. It is considered that the proposed models meet the needs for the electrothermal shields of the Superconducting Generator with Quick-Response Excitation.

1. 서론

초전도 동기발전기는 상전도 발전기에 비해 효율 향상, 소형 경량화 및 종래기의 용량 한계를 넘는 대용량화의 가능성을 보여 주고 있어 차세대 발전기로 연구개발이 진행중이다. 또한 저 동기 리액턴스화가 가능하기 때문에 계통에 연계운전시 계통의 안정도 향상과 송전용량 증대효과를 가져 올 수 있을것으로 기대된다. [1]-[3]

한편 이러한 특성을 가지는 초전도발전기는 계자 권선에 직류 초전도선을 사용하기때문에 주로 정전압 여자방식으로 운용되나 과도 안정도 향상을 도모하여 실제 설치 운전되기 위하여는 계자전압의 신속한 변화가 가능한 속응여자 방식(Quick Response Excitation)의 발전기가 기대되는 바이다.

이와같은 관점에서 저속응여자 증용량은 도시근교에 설치하여 DSS(Daily Start and Stop)운전이 가능하도록 하며, 초속응여자 대용량은 원격지에 설치하고 여자변화에 견딜 수 있는 초전도선을 계자권선에 사용하여 과도안정도를 향상시키고자 하는 연구가 진행중이다. [4]-[6]

즉, 속응여자가 매우 필요한 대용량기에서는 저온 덤퍼(혹은 열전자 차폐막)를 제거하여 여자변화에 따른 변동자속이 쉽게 전기자에 미치도록 하며 증용량은 상온덤퍼(혹은 덤퍼)와 저온덤퍼(혹은 열전자 차폐막)를 동시에 가지는 이중차폐의 구조로 설계하여 계자권선에 미치는 변동자속의 영향을 적극적으로 줄이는 노력을 하고 있다.

본 연구에서는 새로운 구조의 속응여자식 초전도 발전기(Superconducting Generator with Quick Response Excitation) 열전자 차폐막을 제작하여 저온 실험을 통한 자기차폐효과를 측정하고 유한요소법에 의한 해석결과와 비교 검토한다. 이 결과는 향후 속응 여자방식 초전도 발전기 설계의 기초자료로 이용될 수 있을 것이다. 유한요소 해석 시 차폐막에 관한 여러 정수중 본 연구에서는 틈새(slits)갯수 만큼 고려하여 실험및 해석하였다.

2. 해석이론

2.1 지배방정식[7]

변위전류를 무시한 전자계 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \times H = J_0 + J_0 \quad \text{-----(1)}$$

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad \text{-----(2)}$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad \text{-----(3)}$$

이고

$$B = \mu H, \quad J_0 = \sigma E \quad \text{-----(4)}$$

의 관계를 갖는다.

벡터 포텐셜 A는 식 (3)으로부터

$$B = \nabla \times A \quad \text{-----(5)}$$

로 표현되며 식(5)는 식(2)와 더불어

$$E = - \frac{\partial A}{\partial t} - \nabla \phi \quad \text{-----(6)}$$

로 표현된다. 따라서 위의 식으로부터 다시

$$\nabla \times - \nabla \times A = J_0 + \sigma \left(- \frac{\partial A}{\partial t} - \nabla \phi \right) \quad \text{-----(7)}$$

의 식을 얻게되고 이식은 정현적으로 변화하는 계에 대해서는

$$\nabla \times - \nabla \times A + j\omega \left(- \frac{\partial A}{\partial t} - \nabla \phi \right) - J_0 = 0 \quad \text{-----(8)}$$

혹은, $\nabla \cdot A = 0$ 인 Columb Gauge를 적용하고

투자율이 상수로 주어진다면

$$-\nabla^2 A + j\omega \left(- \frac{\partial A}{\partial t} - \nabla \phi \right) - J_0 = 0 \quad \text{-----(9)}$$

의 복소 포와슨 방정식으로 표현되는 지배방정식을 얻게된다.

따라서 경계가 주어진 해석 대상 영역을 삼각형 요소로 분할하고 식(9)에 Galerkin Scheme을 적용하여 유한요소 정식화[8]를 행한후 각 절점에서의 벡터 포텐셜 값을 구하게 된다. 본 연구에서는 정현적으로 변화하는 전자장 문제를 일반적인 가정하에 2차원 해석을 행하였다.

2.2 해석 MODEL

유한요소 해석 및 실험에 이용한 MODEL은 그림 1과 같다.

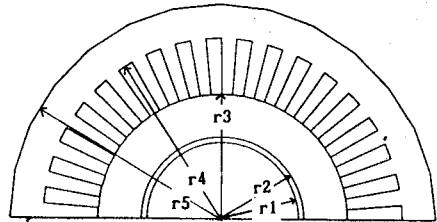


그림 1. 적용 모델

그림에서 나타난 전자차폐막은 두께 1.8mm, 전도도는 $\sigma = 2.569 \times 10^8$ [s/m]인(70k) 동 파이프를 사용하였다. 표1에 model의 제원을 나타내었으며 유한요소 해석시 삼각형 요소수는 2018개, 절점수는 1031개이며 복소 ICCG법(complex incomplete conjugate gradient method)를 사용하였다.

표 1. 적용 모델의 제원

r1 : 25.0 [mm]	열전자 차폐막의 내경
r2 : 26.8 [mm]	열전자 차폐막의 외경
r3 : 41.0 [mm]	전기자의 내경
r4 : 59.0 [mm]	전기자의 외경
r5 : 70.0 [mm]	외부 차폐층의 외경
No. of slots : 36	
No. of turns : 36	

3. 해석 및 검토

본 연구에서는 틸새가 없는 차폐막과 본 연구팀이 제안한 틸새가 각각 4, 6 개의 전자 차폐막을 제작하였다.

초전도 발전기의 전자차폐막과 같은 분위기를 만들기 위하여 FRP용기내에 차폐막을 설치하고 액체 질소로 냉각하였다. 3상 60Hz 의 전원을 고정자에 공급하고 내용기의 안쪽에 search coil을 부착하여 전압을 측정하고 이를 자속밀도로 환산하였다. 표2는 반경방향에 대한 자속밀도의 측정값과 유한요소법에 의한 계산값을 보여준다.

표 2. 반경 방향에 대한 자속 밀도값의 비교

CASE	CASE 1	CASE 2	CASE 3
자속밀도	(full Cu)	(4 slits)	(6 slits)
측정값	130.7	376.1	440.3
계산값	129.4	426.9	480.8

그림2는 반경 이 19mm 인 점의 원주방향에 따른 자속밀도의 값을 나타낸다.

그림2에서는 틸새의 수가 적을수록 자속밀도의 변화폭이 크를 볼수 있는데 이는 전자차폐막 설계시 고려하여야 할 사항으로 생각된다.

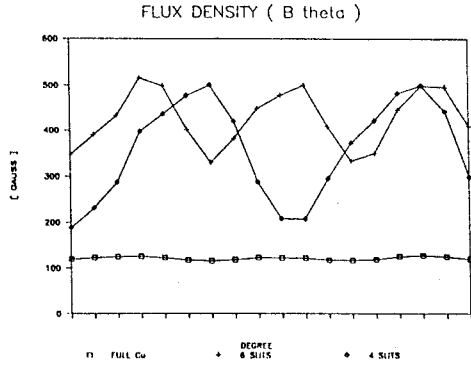
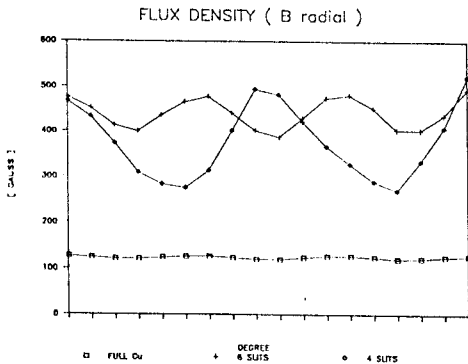


그림 2. (b) 원주 방향의 자속 밀도

표 3. 주파수 변화에 따른 자속 밀도의 평균값

주파수 자속 밀도	2 Hz		60 Hz		120 Hz	
	Br	B _θ	Br	B _θ	Br	B _θ
CASE 1	484.5	469.4	129.4	120.8	63.6	61.9
CASE 2	488.1	476.8	376.1	358.3	297.9	291.2
CASE 3	488.4	477.2	440.3	425.6	375.9	361.8

표3은 주파수 변화에 따른 각 경우의 자속밀도의 평균값이다.

표3에서도 역시 그림2에서와 마찬가지로 slit 수가 많을수록 자속의 통과가 많아 자속밀도가 높아짐을 볼 수 있으며 또한 주파수가 낮을수록 역시 그러함을 볼 수 있는데 이는 충분히 예측할 수 있는 결과이다. 한편 슬릿이 전혀 없는 전자 차폐막은 주파수가 높아질수록 차폐효과가 커지기 때문에 속응여자방식의 발전기에서 요구되는 계자전류의 변화에 대한 변동 자속이 신속히 전기자에 전달되어야 하는 특성에는 맞지 않아 슬릿이 있는 전자 차폐막의 이용 가능성을 보여준 다 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 속응 여자 방식 초전도 발전기에의 적용을 목적으로 새로운 열전자 차폐막 모델을 제안하였으며 실험 및 유한요소 해석을 통하여 기존의 슬릿이 없는 열전자 차폐막과 슬릿이 있는 새로운 모델의 자기 차폐 효과를 비교하였다.

속응여자 방식 초전도 발전기의 열전자 차폐막은 열전도도가 우수하며 또한 제자자속의 변화를 신속히 전기자에 전달할 것을 요구하는바, 제안된 모델은 이 특성을 만족 할 수 있을 것이다. 아울러 차폐막의 두께와 위치, 슬릿의 폭 변화를 고려한 속응여자 초전도 발전기의 과도 특성 개선에 관한 연구가 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- (1) J.L.Smith, Jr., "Overview of the Development of Superconducting Synchronous Generators", IEEE Trans. on Mag, Vol. MAG-19, No. 3 May 1983, pp. 522-528
- (2) 한 송업, "초전도 교류발전기의 개발현황과 문제점" 대한기계학회지 Vol. 27, No. 3, 1987, pp. 180-185
- (3) 한성진, 차귀수, 한송업외, "Finite Element Modelling of Electromagnetic Shields in Superconducting AC Generator" MT-11, Vol. 1, pp. 540-544
- (4) T. Tanaka, et. al, "Current Situation of R & D on Superconducting Generators carried out by Engineering Research Association for Superconductive Generation Equipment and Materails", ibid, pp. 556-561
- (5) T. Okada, et. al, "Design and Manufacture of Superconducting Generator with High Response Excitation", ibid, pp. 562-567
- (6) P. J. Lawrenson, T. J. E. Miller, J. M. Stephenson, "Damping and Screening in the Synchronous Superconducting Generator" Proc. IEE, Vol. 123, No. 8, 1978
- (7) W. K. H. Panofsky, M. Phillips, "Classical Electricity and Magnetism" 2nd Ed., A-W, 1978
- (8) G. Dhatt, G. Touzot, "The finite Element Displayed", John Wiley and Sons, 1984