

동기 발전기 여자 시스템에서의 비접촉 회전형 변압기에 대한 설계 및 특성분석

손동혁, 이종갑, 김도선, 조윤현*
 동아대학교

Design and characteristics analysis of brushless rotary transformer for synchronous generator

Donghyeok Son, Jonggab Lee, Dosun Kim, Yunhyun Cho*
 Dong-A University

Abstract - 동기발전기 회전 계자형에서 비접촉 회전형 변압기를 제한함으로써 브러쉬와 슬립링을 이용하는 기존의 방식이 갖는 유지 보수와 정기적인 점거에 대한 문제점을 보완한다. 동기발전기 여자 시스템에 부합하는 비접촉 회전형 변압기를 설계하고 유한 요소법으로 특성을 해석하였다. 시제품 제작을 제작하고 실험함으로써 제안된 변압기의 타당성을 검증하였다.

어 있다. 1차측과 2차측은 분리되어 있고 2차측은 변압기의 회전축에 부착되어 있다. 이 회전축은 동기발전기의 회전축과 연결한다. 그러므로 동기발전기의 회전자와 변압기의 2차측은 같은 속도로 회전한다. 변압기의 코어가 분리되어 있기 때문에 쇠교자속은 코어가 분리된 곳의 공극을 통해서 2차측으로 전달하므로 공극의 크기가 변압기의 특성에 영향을 미친다.

1. 서 론

발전기 여자 시스템의 기본 기능은 발전기 계자 권선에 직류 전류를 공급하여 발전기의 출력단자전압을 일정하게 유지 또는 조정하는 것이다. 여자시스템은 구성되는 기기 및 제어장치에 따라서 3종류로 분류된다. 첫째로 직류발전기를 이용한 직류여자기 방식, 여자변압기와 사이리스터 변환기로 구성된 정지형 여자방식, 교류 여자발전기와 다이오드 정류기로 구성된 교류여자기 방식이다. 여자발전기는 여자방식에 따라 타여자 방식과 자여자 분권으로 나눌 수 있다. 타여자 방식은 회전 전기자형 교류 발전기를 주발전기 회전축에 연결하여 그 출력을 같은 회전축에 부착된 정류기에서 직류로 변환하여 주발전기에 계자 전류를 공급하는 방식이다. 교류여자시스템은 정지형 반도체 정류기를 이용하여 회전 계자형 여자 발전기 출력을 정류해서 주 발전기 계자 권선에 공급하는 정류자 없는 교류여자시스템과 회전전기자형 교류여자 발전기 출력을 축상에 설치된 회전 정류기를 통해서 주발전기 계자 코일에 직류 전류를 공급하는 브러쉬없는 여자 시스템이다. 교류 여자 시스템에서 브러쉬없는 여자 시스템은 산업용과 비상용에 일반적으로 사용된다. 브러시리스형이므로 유지 및 보수가 거의 없으며 넓은 전압조정 범위를 갖는다.

2.2 유한요소 및 인덕턴스

정자계에서 인덕턴스를 구하기 위해서 자속밀도를 벡터포텐셜로 표현하고 맥스웰 방정식을 이용하여 자계를 전류밀도로 표현한다.

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \nabla \times \vec{A} \\ \vec{J} &= \nabla \times \vec{H} \end{aligned} \quad (1)$$

\vec{J} 은 전체 전류 밀도로서 와전류와 변위전류도 포함한다.[2] 에너지 관점에서 인덕턴스를 자계로 표현하면 다음과 같다.

$$L = \frac{1}{I^2} \int_{vol} \vec{B} \cdot \vec{H} dv = \frac{1}{I^2} \int_{vol} \vec{H} \cdot (\nabla \times \vec{A}) dv \quad (2)$$

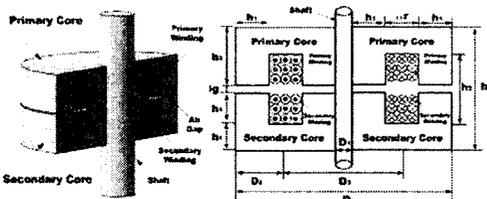
벡터등식을 사용하여 계산하여 발산정리를 적용한다. 그러면 인덕턴스는 다음과 같이 표현할 수 있다.[3]

$$L = \frac{1}{I^2} \int_{vol} \vec{A} \cdot \vec{J} dv \quad (3)$$

전류밀도 \vec{J} 는 도체에서만 존재하므로, 도체밖에서 식(3)의 적분값은 0이다. 식(3)에서 적분해야 하는 부피는 권선이 감긴 면적이다. 한편, 자계에너지는 대부분 공극에 저장된다. 그러므로 자계에너지를 이용하여 누설 인덕턴스를 근사적으로 구할 수 있다. 자화 인덕턴스는 $L = \frac{N^2}{R}$ 을 이용하여 자화 인덕턴스를 구하면[4]

2. 본 론

2.1 회전형 변압기의 구조



(a) 외형도 (b) 단면도
 <그림1> 비접촉 회전형 변압기의 구조

기존의 발전기 여자시스템은 전력변환기를 사용하여 계자전류를 전달하였다.[1] 변압기는 Pot Core 구조로 되

이 때 $u_m l_g \gg u_0 l_m$ 이므로 $u_m l_g + u_0 l_m \cong u_m l_g$ 이다. 자화 인덕턴스는 다음과 같다.

$$L_m \cong \frac{u_0 A_m N^2}{l_g} \quad (5)$$

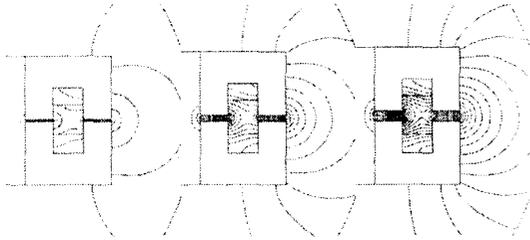
A_m 은 자계회로의 단면적이다.

$$A_m = \pi \left[\left(\frac{D_3}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_3}{2} + \frac{\Delta r}{2} \right)^2 \right] \quad (6)$$

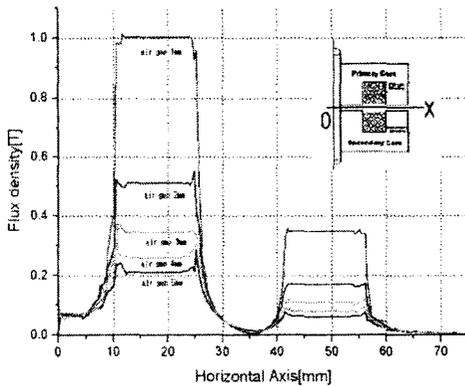
그림1의 (b)에서 샤프트 축의 지름을 D_1 [mm], 회전축에서 코어 외곽까지의 길이를 D_1 [mm], 권선의 지름은 Δr [mm]이다.

2.3 특성해석 및 고찰

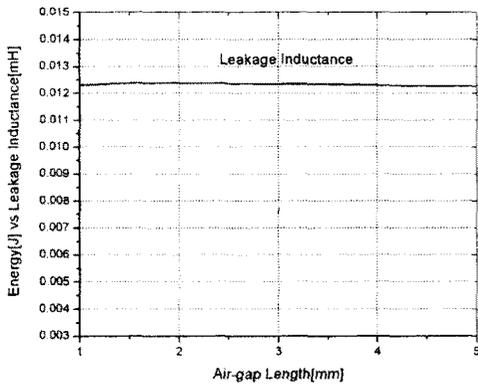
비 회전 상태에서 공극 간격 또는 공극 길이 변화에 따른 자속밀도의 변화, 공극 자속밀도, 누설 인덕턴스, 자화 인덕턴스, 2차측에 유기되는 전압을 해석하였다.



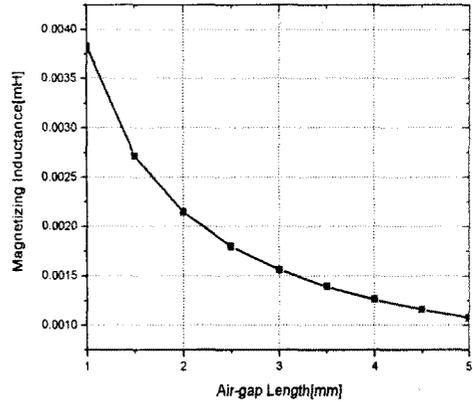
(a)1[mm] (b)3[mm] (c)5[mm]
 <그림2> 공극 길이에 따른 자속분포도



<그림3> 공극의 크기에 따른 경방향 자속밀도



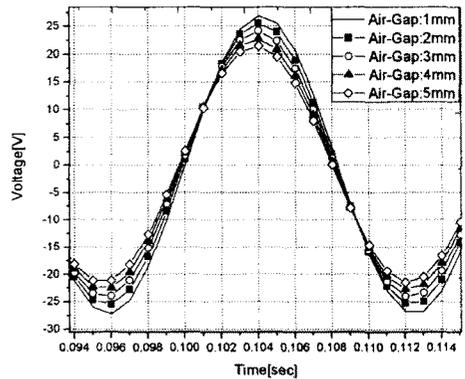
<그림4> 공극 크기의 변화에 따른 누설인덕턴스



<그림5> 공극 크기의 변화에 따른 자화인덕턴스

그림3은 회전축으로부터 떨어진 거리에 대한 자속밀도를 나타낸 그림이다. 횡축구간 10[mm] ~ 25[mm]와 40[mm] ~ 55[mm]를 비교하면 자속밀도의 차이가 크다. 그 이유는 그림2에서 나타나듯이 공기 중으로 누설되는 자속량이 회전축으로 누설되는 양보다 많기 때문이다.

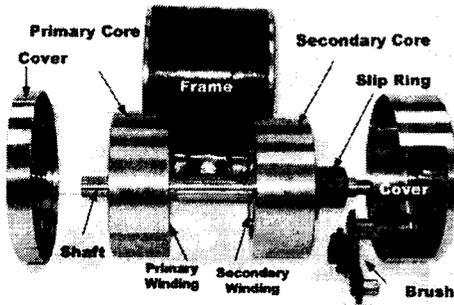
그림4에서 누설인덕턴스는 공극의 변화에 영향을 받지 않고 일정하다. 식(3)에서 누설 인덕턴스는 권선이 차지하는 부피의 적분값에 따라 달라진다. 그러므로 공극의 간격이 누설인덕턴스의 전체적인 양에는 영향을 미치지 않는다. 이와 달리 자화 인덕턴스는 공극의 크기에 영향을 받는다. 그림5에 나타나듯이 자화인덕턴스는 공극의 크기에 따라 인덕턴스의 양이 급감한다. 식(5)을 통해 자화 인덕턴스는 공극에 반비례함을 알 수 있다. FEM method는 상용프로그램 Flux2D를 이용하였다.



<그림6> 공극의 크기에 따른 2차측 유기전압

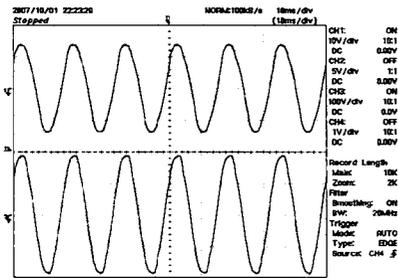
공극의 크기가 클수록 2차측에 유기되는 전압에 강하게 발생한다. 그 이유는 누설인덕턴스 때문이다. 자기회로에서 누설인덕턴스는 직렬로 나타나기 때문에 2차측에 전압강하가 나타나는 것이다.[5]

2.4 시작품 제작 및 실험

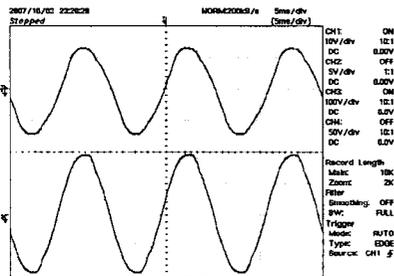


<그림7> 비접촉 회전형 변압기의 시작품

본 논문의 설계 및 해석의 타당성을 입증하기 위하여 시작품을 제작하고 실험하였다. 전압 검출용 브러쉬와 슬립링을 장착하여 전압을 측정하였다. 1800rpm으로 회전시키고 2차측 전압파형을 검출하여 비 회전시의 변압기의 전압파형과 비교하였다. 그림9에서 나타나는 것처럼 1, 2차측 전압 파형은 거의 유사한 형태로 출력되었다. 그러므로 변압기 회전 시 와전류에 대한 영향은 거의 없다.



<그림8> 무회전시 변압기의 1, 2차측 전압파형



<그림9> 1800rpm 회전시 변압기의 1, 2차측 전압파형

3. 결론

본 논문에서는 동기발전기 여자시스템에서의 비접촉 회전형 변압기 모델을 제안하였다. 회전형 변압기가 갖는 중요한 특징은 공극의 크기에 따라 변압기 특성이 결정된다는 것과 코어 내에서 자속밀도가 균일하게 분포되는 것이 아니라는 점이다. 회전시 와전류에 위해 2차측 전압 유기에 영향을 미치지 않음을 실험을 통하여 입증하였다. 그림2에서 나타난 누설자속을 줄이기 위한 변압기의 구조적 연구 또한 진행되어야 한다.

감사의 글

본 논문은 한국전력공사 전력기반조성사업센터에서 지원한 전력변환시스템 신기술 연구센터의 사업으로 수행되었음.

[참고 문헌]

- [1] Chunting Mi, Mariano Filippa, John Shen, and Narashim Natarajan.(2004) "Modeling and Control of a Variable-Speed Constant-Frequency Synchronous Generator With Brushless Exciter", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 40, No.2. pp 565-573.
- [2] Yu-Ting Huang, Chi-Jen Chen and Wen-Ben Shu "Finite Element Analysis on Characteristics of Rotary Transformers", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS.
- [3] William H.Hayt, Jr. John A. Buck "Engineering Electromagnetics" Mc Graw Hill.
- [4] Thomas A. Stuart, Roger J. King and Hassan A. Shamseddin.(1986) "Rotary Transformer Design with Fixed Magnetizing and Leakage Inductance", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System vol. AES-22, No.5. pp 565-572.
- [5] Konstantinos D. Papastergiou, and D. Ewen Machperson "Contact-less Transfer of Energy by mean of a Rotating Transformer", IEEE ISIE2005