2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

유한요소법과 프라이자흐모델이 결합하는 해석기법을 이용한 PMASynRM과 SynRM의 효율특성 비교

윤태원* , 김영현* , 이중호*
한밭대학교 전기공학과

Efficiency Evaluation of PMASynRM vs. SynRM Using Coupling FEM & Preisach Modeling

Tae-Won Yun* , Young-Hyun Kim* , Jung-Ho Lee*
Dept. of Electrical Eng., Hanbat National University

Abstract -- This paper deal with the efficiency evaluations in a Synchronous reluctance motor(SynRM) Vs. PMASynRM using a coupled transient finite element methed(FEM) and preisach modeling, which is presented to analyze the characteristics under the effect of saturation and hysteresis loss.

The focus of this paper is the efficiency evaluation relative to hysteresis loss, copper loss, etc. on the basis of load condition in a SynRM and PMASynRM. Computer simulation and experimental result for the efficiency using dynamometer shoe the propriety of the proposed method.

1. 서 론

고속운전 시 SynRM의 철손은 출력 저감의 중요한 원인이 될 수 있다. 그러므로 일반적인 기기에서 철손에 대한 개략적인 산정이 가능한 반면, SynRM에서의 설계 시 철손은 보다 정밀한 산정을 요구한다.

프라이자흐 모델링은 히스테리시스 현상을 가장 정밀하게 수치 묘사가 가능한 모델로서 세부적으로 많이 연구 되고 있다.

동기형 릴럭턴스 전동기의 개선방향으로 영구자석을적절하게 삽입한 영구자석 매입형 동기 릴럭턴스 전동기(PMASynRM)는 토크밀도와 역률을 크게 향상 시킬수 있다.

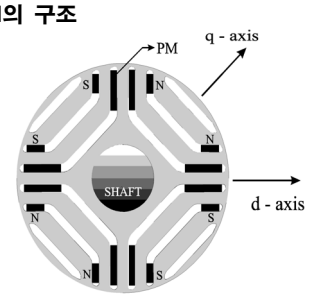
그러나, PMASynRM은 추가된 자석의 자속밀도로 인해서 SynRM보다 자기 포화가 더 크다.

본 논문에서는 PMASynRM과 SynRM을 해석대상으로 해서 프라이자흐 모델링이 결합된 유한 요소법을 이용하여 포화의 영향과 히스테리시스 손실을 고려한 특성분석을 수행하였고, 동일 부하상태의 PMASynRM과 SynRM의 철손과 동손등의 효율을 평가 하였다.

또한, TMS320C31 DSP를 실험 장치 및 동력계를 설치하고 장착하는 실험을 수행할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션과 효율성에 대한 실험 결과는 제안한 유한 요소 분석 및 프리자흐 모델링의 타당성을 보여준다.

2. PMASynRM모양과 분석방법

2.1 PMASynRM의 구조



<그림 1> PMASynRM의 회전자 단면도

그림 1은 PMASynRM의 회전자 단편을 보여준다. 일반 동기 릴럭턴스 전동기(SynRM)는 유도기 보다 적은 역률에서 동작한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 회전자에 q축 자속 상쇄 방향으로 영구자석을 삽입하였다.

2.2 PMASynRM과 SynRM의 지배방정식

맥스웰의 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla\times\vec{H}=\vec{J}_0 \tag{1}$$

$$\nabla\cdot\vec{B}=0 \tag{2}$$

$$\vec{B}=\frac{1}{v_0}\vec{H}+\vec{M}\quad \vec{B}=\frac{1}{v_0}\vec{H}+\vec{M}_{PM} \tag{3}$$

여기서, $\vec{M}$, $\vec{M}_{pm}$ 은 각각 자계강도 $\vec{H}$에 대한 자성체와 영구자석의 자화의 세기이며, $\vec{M}$은 프라이자흐 모델로부터 구해진다. 자기벡터포텐셜 $\vec{A}$와 등가자화전류 $\vec{J}_m$, $\vec{J}_{PMm}$은 다음과 같이 표현된다.

$$\vec{B}=\nabla\times\vec{A} \tag{4}$$

$$\vec{J}_m=v_0(\nabla\times\vec{M}),\ \vec{J}_{PMm}=v_0(\nabla\times\vec{M}_{PM}) \tag{5}$$

식 (1)-(5)로부터 지배방정식은 (6)과 같다.

$$v_0=(\nabla\times\nabla\times\vec{A})=\vec{J}_0+\vec{J}_m+\vec{J}_{PMm} \tag{6}$$

2.3 System Matrix

시스템 방정식은 다음과 같이 쓸수 있다.

$$[K^{(e)}]\{A^{(e)}\}+\{F^{(e)}\}+\{M^{(e)}\}+\{M_{PM}{}^{(e)}\}=0 \tag{7}$$

여기서,

$$K^{(e)}=\frac{v_0{}^{(e)}}{4\triangle^{(e)}}(c_{ie}c_{je}+d_{ie}c_{je})F_i^{(e)}=-\triangle^{(e)}\frac{Ni}{3S}$$

$$M_i^{(e)}=v_0{}^{(e)}(M_x{}^{(e)}d_{ie}+M_y{}^{(e)}c_{ie})$$

$$M_{PMi}{}^{(e)}=v_0{}^{(e)}(M_{PMx}{}^{(e)}d_{ie}+M_{PMy}{}^{(e)}c_{ie})$$

이다. 따라서, 전체 모델은 식 (8)과 같은 시스템 행렬로서 표현된다.

$$[K]\{A\}+\{F\}+\{M\}+\{M_{PM}\}=0 \tag{8}$$

2.4 프라이자흐 모델의 응용

프라이자흐 모델은 M-H관계를 사용하였고, 모든히스테리시스 현상에 있어 인가자계와 자화량 사이에는 위상차가 있기 때문에 벡터적 해석을 필요로 한다.

그러나 벡터해석은 복잡하며 오차를 피할 수 없다. 그러므로 회전기기의 해석에 대한 새로운 알고리즘 개발이 필요하다. 회전자는 입력자계 각 θ를 따라 동기적으로 회전한다. 따라서 고정자의 영역은 x축 y축에 위에서는 0 혹은 π이다.

따라서 회전기기에 대한 프라이자흐 모델은 식(9)에서 볼 수 있는 바와 같이 스칼라 모델로서 표현 되어질 수 있다.

$$M(t) = \iint_{\alpha \geq \beta} \mu(\alpha,\beta)\gamma_{\alpha\beta}(H(t))d\alpha d\beta \qquad (9)$$
$$= \iint_{s+(t)} \mu(\alpha,\beta)d\alpha d\beta - \iint_{s-(t)} \mu(\alpha,\beta)d\alpha d\beta$$

보다 편리한 계산을 위하여 식(10)과 같이 Everett Plane 으로 대체하여 해석을 수행하였다.

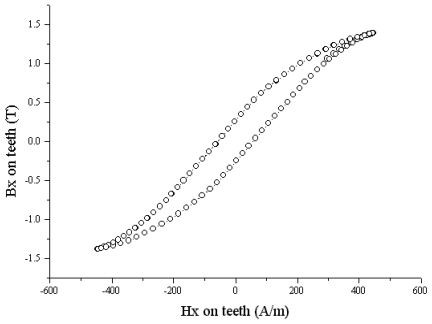
$$E(\alpha,\beta) = \iint_{\alpha \geq \beta} \mu(\alpha,\beta)\gamma_{\alpha\beta}(H(t))d\alpha d\beta \qquad (10)$$

Everett Plane에 재질 S40과 영구자석의 실험적인 데이터로부터 받아들인 M의 분포는 Gauss의 법칙을 갖는다.

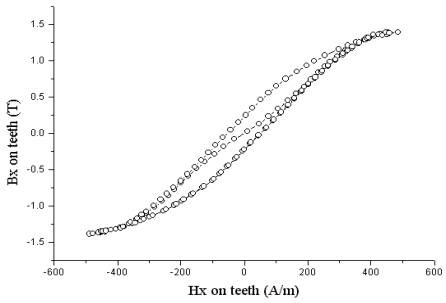
3. 해석 결과 및 분석

PMASynRM과 SynRM의 치부분의 요소의 히스테리시스현상을 그림 2, 3에 P.M은 0.4[T] 이고 전류i_d가 5[A]이고, 주파수가 25Hz일때 나타냈다.

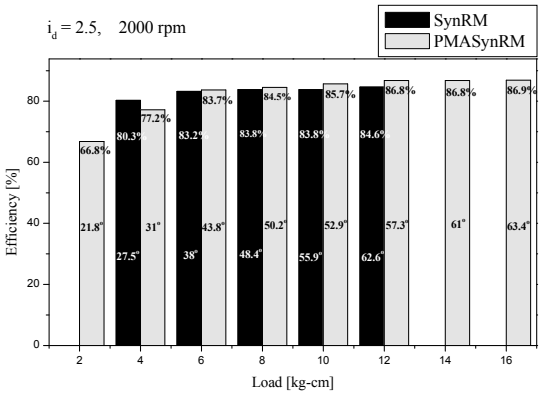
PMASynRM 은 SynRM 보다 포화되는 것을 알 수 있다. 그러나 영구 자석이 포함되어 있음에도 불구하고 유사한 히스테리시스 특성을 나타내고 있다.



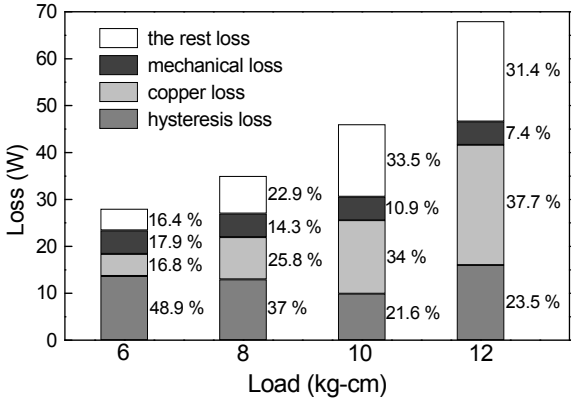
〈그림 2〉 SynRM의 치부분 B-H곡선



〈그림 3〉 PMSynRM의 치부분 B-H곡선



〈그림 4〉 부하에 따른 SynRM과 PMASynRM의 효율 및 전류각



〈그림 5〉 SynRM의 부하에 따른 손실분석

실험적인 비교는 SynRM의 전류특성과 출력전원이 주어졌고 PMASynRM의 부하에 따른 실험적인 비교는 그림 4에서 보여준다.

PMASynRM은 SynRM보다 고효율이 나타난다. 그림 5는 SynRM의 각부하 상태에 따라 전체 손실에서 각각의 손실비율을 보여준다.

더 자세한 분석을 통해 PMASynRM과 SynRM의 다양한 손실과 효율평가 들은 다음 논문을 통하여 보여주겠다.

[참 고 문 헌]

[1] A. Ivanyi, Hysteresis Model in Electromagnetic Computation, AKADEMIAI KIADO, BUDAPEST

[2] I. D. Mayeroyz, "Mathematical Model of Hysteresis. "IEEE Trans. In Magnetics, Vol. MAg-22, No.5, pp.603-608 Sept. 1986

[3] A. Visntin, Differential models of hysteresis,Applied Methematical Sciences, Springer, 1994.

[4] J. H. Lee, D. S. Hyun, "Hysteresis Analysis for permanent Magnet Assisted Synchronous Reluctance Motor by Coupled FEM & Priesach Modelling", IEEE Trans, Magn, Vol. 35, No. 5, pp. 1203-1206, May, 1999

[5] J. H. Lee, J. C. Kim, D. S. Hyun, "Effect of Magnet on Ld and Lq Inductance of Permanent Magnet Assisted Synchronous Reluctance Motor, IEEE Trans, Magn., Vol. 35. No. 5 pp. 1199-1202, May 1999.

[6] J. H. Lee, J. C. Kim, D. S. Hyun. "Dynamic Chatacteristic Analysis of Synchronous Reluctance Motor Considering Saturation and Iron Loss by FEM", IEEE Trans. Magn, Vol. 34, No. 5, pp. 2629-2632, Sep. 1998.