

자기저항 동기전동기의 유한요소 모델링 및 정수 측정

홍정표 . 한성진 . 주수원
 동아대학교 전기공학과

Finite Element Modeling and Parameter Measurements of Synchronous Reluctance Motor

J.P.Hong, S.C.Hahn, S.W.Joo
 Dept. of Elec.Eng Dong-A Univ.
 e-mail : schahn@daunet.donga.ac.kr

Abstract - The Synchronous reluctance motor is a sinewave ac motor and it has cylindrical surfaces on both sides of the air gap. The stator is a conventional polyphase ac stator, while the rotor has internal flux barriers shaped to maximize the ratio of d-axis to q-axis reactance . This paper presents the finite element analysis and parameter measurement of the synchronous reluctance motor(SRM). The model motor is a 3-phase SRM with the segmental rotor and its rating is 0.175kw. The torque characteristic is analysed by finite element method and compared with that from measurement.

1. 서 론

일반적으로 자기저항 전동기는 낮은 출력과 나쁜 역률을 가진다는 단점에도 불구하고 가격이 싸고 속도나 위치를 정확하게 변화시키고 기계적으로도 견고하며 고속회전과 고온에서 우수하여 신뢰성이 높다는 장점에서 전기 시계, 동기스위치, 방직기, 원자로내의 제어봉 조정등에 이용되고 있다.

자기저항 전동기의 단점^[2]인 높은 토크맥동의 발생과 위치센서의 필요, 심한 노이즈 등의 개선점들을 보완하기 위해 시도해 왔지만 약 20여년이 지난 지금에 와서도 위치센서에 관한 문제점만이 개선되었을뿐, 나머지 문제점들에 대해서는 실효를 거두지 못하고 있다. 특히, 노이즈와 토크 맥동을 개선하기 위해서는, 이런 전동기의 효율과 전력밀도를 개선시켜 공극을 증가시켜야만 해결될 수 있는 문제이다.

지금껏 그다지 중요하게 여기지 않았던 다른 전동기중의 하나가 자기저항 동기전동기이다. 이 전동기는 고정자가 유도전동기와 거의 동일한 구조인 원통형으로 되어있고 회전자만이 돌극형태라는 점에서 가변 스위치드 자기저항 전동기와는 다르다. 자기저항 동기전동기와 유도 전동기의 고정자는 스위치드 가변저항 전동기에 비해 제조공정이 동일하다는 잇점있다. 또한 자기저항 동기전동기도 매우

오래전부터 이용되어왔고, 가변속이 주 사용목적이므로 방적 시설이 급증할 무렵인 1960년대 가장 많이 이용되었다.

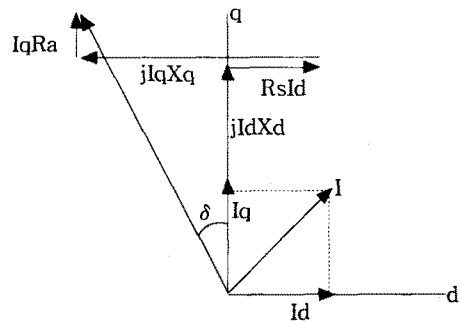
자기저항 동기전동기는 고정자 주파수에 정확히 동기되어 동작하기 때문에 속도 조절용 직류전동기나 유도전동기보다 우수한 제품을 생산해 낼 수 있다.

스위치드 자기저항 전동기에서는 개선되기 어려운 문제점인 토크 맥동이라든가 노이즈와 같은 문제점들은 유도기와 같은 고정자를 가진 자기저항 동기전동기에서 개선할 수 있다.

자기저항 동기전동기의 회전자에 따른 종류로 절편형 회전자와 성층 회전자 flux-bar를 가진 회전자 등이 있다. 본 논문에서는 절편형 회전자를 가진 자기저항 동기전동기를 모델로 하여 해석 및 정수 산정을 하고 비교 분석하여 회전자를 개선시킨다면 전동기의 성능을 현저히 향상시킬 수 있을것이라 본다.

2. 본 론

2. 1 자기저항 동기 전동기 토포크 방정식



[그림 2.1] 자기저항 동기전동기의 페이저도

정상상태 구동에서의 자기저항 동기전동기의 페이저도는 그림2.1와 같으며 다음과 같은 식을 유도

할수 있다.^[3]

$$\begin{aligned} V \cos \delta &= jX_d I_d + R_s I_a \\ V \sin \delta &= jX_q I_q - R_s I_a \end{aligned} \quad (1)$$

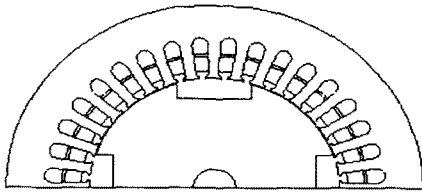
위 페이지도에서 자기저항 동기전동기의 토크 식은 다음과 같다.

$$T_e = \frac{1}{4\pi} (KmP) I^2 (L_{\max} - L_{\min}) \quad (2)$$

여기서 I 는 실효치 전류, P 는 극수, m는 상수, L_{\max} 와 L_{\min} 는 각각 인덕턴스의 최고치와 최소치를 나타낸다.

2. 2 해석 모델과 실험장치

본 연구에서 다룬 자기저항 전동기의 해석 모델은 그림2.2와 표2.1에 나타나 있다.

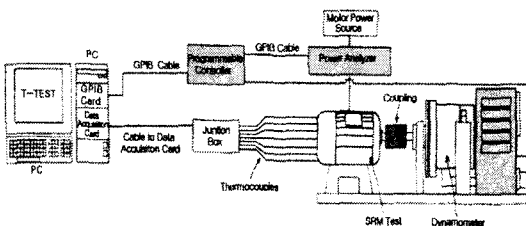


[그림 2.2] SRM의 해석 모델

[표 2.1] SRM 해석 모델 제원

고정자		회전자		전원
명칭	치수[mm]	명칭	치수[mm]	60Hz
매극매상권선수	42	외경	94.59	3상 120[V]
슬롯수	36	축의 직경	16.4	2.36[A]
외경	159.7	공극	0.33	175[W]
내경	95.25			

자기저항 동기전동기의 고정자는 유도기나 동기기와 같고 회전자는 권선이 없다. 또 이 전동기의 고정자 및 회전자는 모두 규소 강판을 성층하여 만든 것이다.



[그림 2.3] SRM 시험 장치

그림2.3의 SRM 시험장치는 Dynamometer, Power Analyser, Dynamometer Controller로 구성되어 있으며 모든 실험이 PC로 제어 가능하여 모터의 정밀을 요구하는 실험에서 정확한 데이터를 추출할수 있다는 특징을 가지고 있다. 본 논문에서는 이 실험 장치를 이용하여 회전자 구속 실험 및 무부하 실험을 행하였으며 이 실험을 통해 얻어진 데이터는 PC에 설치된 전용 인터페이스 카드로 전송하여 처리하였다.

2.3 인덕턴스 계산

코일면 위에서의 벡터 포텐셜의 평균값을 구하고 에너지 $\frac{1}{2} A \cdot J$ 을 계산하면 다음과 같은 식을 유도할 수가 있다.

$$L = \frac{\int 0.5 A \cdot J \, dS}{0.5 I^2} \quad \text{H/m} \quad (3)$$

2.4 Torque 계산

맥스웰 응력법을 이용하여 구한 응력텐서 P는 다음과 같다.

$$\vec{P} = \frac{1}{\mu_0} \left[(\vec{B} \cdot \vec{n}) \vec{B} - \frac{1}{2} B^2 \vec{n} \right] \quad (4)$$

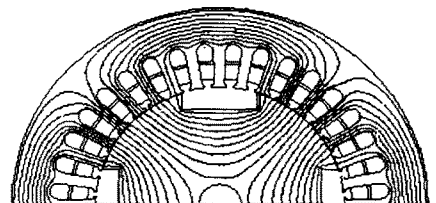
여기서 V는 표면적 S의 체적이고 \hat{n} 는 S의 단위 외향벡터이다. 이때 토크 T는

$$\vec{T} = \oint_S \vec{r} \times \vec{P} \, dS \quad (5)$$

로 쓸 수 있다.

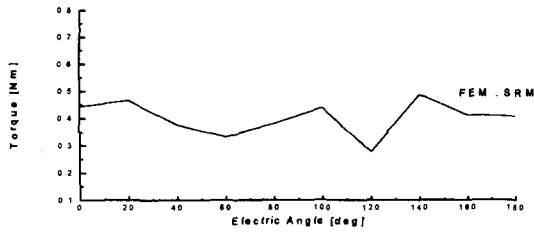
3 결과 및 검토

해석모델의 자속 분포를 유한요소법으로해서 본 결과 다음과 같은 그림3.1을 얻을 수 있다.

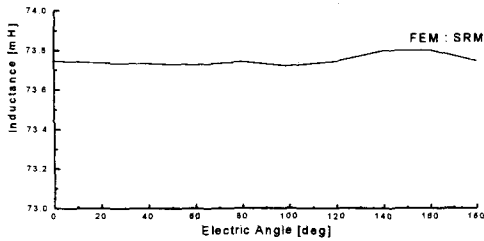


[그림 3.1] SRM 자속 분포

본결과와 같이 최소 공극으로 자속이 집중되는 것을 볼수 있는데 이는 자속이 리럭턴스가 작은 쪽으로 집중되는 것을 보여주는 것이다.

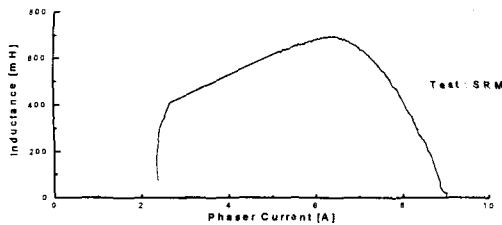


[그림 3.2] 위상에 따른 토오크

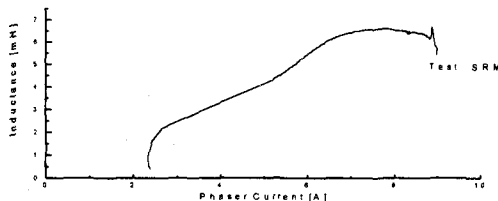


[그림3.3] 위상에 따른 인덕턴스

전기각변화에 따른 토오크와 인덕턴스를 계산한 결과치로 그림 3.2와 3.3을 얻을 수 있으며 이 결과로부터 전기각에 대한 인덕턴스 변화는 거의 일정하며 토오크는 약간의 리플이 있음을 보여주고 있다.



[그림3.4] 상전류에 따른 인덕턴스



[그림 3.5] 상전류에 따른 토오크

다음으로 회전자 구속실험을 통해 증가 전류에 대한 토오크와 인덕턴스의 변화는 그림3.4와 3.5에 나타내었고, 본 실험치로 전류가 증가함에 따라 인덕턴스도 증가하다가 약 7[A]에서 최대치를 나타내었고, 토오크 역시 약 7[A]에서 최대토오크가 발생하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 유한요소법과 실험을 통해서 해석 모델의 인덕턴스와 토오크를 구하여 비교 하였다. 이 전동기의 회전자의 모양은 극히 단순하여 절편형 회전자나 flux-bar를 가진 회전자보다도 낮은 효율과 나쁜 역율을 보였지만 본 논문을 통해서 유한요소법을 이용한 정수 산정 방법을 이용한다면 자기저항 동기전동기의 효율 개선을 위한 회전자 변형에 따른 정수를 예측할 수 있을 것이라 본다.

[참 고 문 헌]

- [1] David A.Staton,Wen L.Soong, "Unified Theory of Torque Production in Switched Reluctance and Synchronous Reluctance Motors", IEEE, vol 31.No 2 권호, P329 - P337, 1995.3/4
- [2] 리럭턴스의 모터 조사전문위원회, "스윗치드 리럭턴스 모터의 기술 동향", 기술조사 보고, 제8호, 1994.7
- [3] S.A.Nasar, I.Boldea, L.E.Unnewher, "Permanent Magnet, Reluctance, and Self-Synchronous Motors", CRC Press
- [4] Gordon R.Slemon, "Electric Machines and Drives ", Addison - Wesley, 1992.
- [5] D.A.Staton, T.J.E.Miller, S.E.Wood, "Maximising the saliency ratio of the synchronous reluctance motor", IEE proc., vol:140, No.4, 1993.4