2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집(2001.4.19~21)

돌극형 회전자 단상 SRM의 쇄교자속 측정

김준호* · 이은웅* · 오영웅* · 이민명**
충남대학교*, 한밭대학교**.

Measurement of Flux Linkage in Salient Pole Rotor Type Single Phase SRM

Kim, Jun-Ho · Lee, Eun-Woong · Oh Young Woong · Lee Min Myung
Chungnam Nat'l Univ.*, Hanbat Nat'l Univ.**

Abstract - Salient pole rotor type single phase SRM(switched reluctance motor) uses the magnetic fluxes of radial and axial direction at the same time.

Therefore the output power per unit volumn is very high and shaft length can be shorter than any other types of SRM with same output. Also, It can be manufactured with low cost thanks to simple structure and driving circuit.

We already designed and manufactured prototype using the dynamic output equation of general rotating machine but the effect by salient pole structure was not considered.

The most optimal design parameters for salient pole rotor type single phase SRM will be selected by comparing and analyzing the results from 3D FEM analysis, experimental values of the torque versus speed characteristics, and the flux linkage of prototype. Results for the former 3D FEM analysis and torque vs. speed characteristics were already obtained.

Finally, we will measure the flux linkage of salient pole rotor type single phase SRM.

1. 서 론

돌극형 회전자 단상 SRM은 구조 및 구동장치가 간단하여 내구력 및 경제성이 뛰어나다. 또한, 축방향 자속과 방사방향 자속을 동시에 이용하므로 단위 체적당 에너지 밀도가 높아 동일한 체적의 다른 모터에 비해 축방향 길이를 줄일 수 있는 장점도 가지고 있다. 그러므로, 축방향 길이가 작은 비좁은 곳 등 특수 목적용 전동기로 실용화가 가능하다.[1][2]

일반적인 회전기기 출력방정식과 3상 SRM의 설계 파라미터를 이용하여 돌극형 회전자 단상 SRM의 파라미터를 산출하고 3차원 유한요소해석으로 이를 수정, 보완하여 시작기를 설계 및 제작하였다.[3]

그리고, 3차원 유한요소해석을 통한 시뮬레이션으로 시작기의 토오크 특성 및 동작 특성을 확인하고, 시작기 구동을 위한 전용의 전류원 및 전압원 구동드라이버를 설계, 제작하여 속도 특성 및 토오크 특성을 실험하였다.[4][5][6]

하지만, 시작기 모델의 구조 및 특성에 대한 이해가 부족한 상태에서 회전기기 출력방정식 및 3상 SRM의 설계파라미터만으로 시작기 모델을 설계하여 최적 설계가 이루어지지 않았다.

3차원 유한요소해석을 통한 이론적인 결과와 실험을 통해 측정한 속도 및 토오크 특성, 그리고 시작기의 쇄교자속을 측정하여 얻는 결과를 비교, 분석하여 돌극형 회전자 단상 SRM의 구조와 특성에 적합한 설계 파라미터의 선정 및 최적 설계를 위한 기본 자료로 활용하려고 한다.

그래서, 본 논문에서는 돌극형 회전자 단상 SRM의 쇄교자속을 측정하고자 한다.

2. 단상 SRM의 쇄교자속

2.1 단상 SRM의 인덕턴스 변화

그림 1과 같은 돌극형 회전자 단상 SRM에서 기동토오크의 발생 여부, 인덕턴스의 변화 등 SRM의 특성에 많은 영향을 미치는 극호에 대한 조건은 다음과 같다.[7]

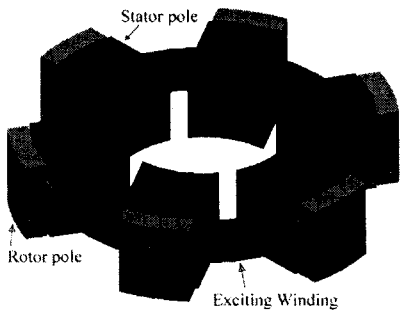

그림 1. 회전자 돌극형 단상 SRM의 구조

$$\beta_r,\ \beta_s > \frac{2\pi}{qN_r} \tag{1}$$

$$\beta_r + \beta_s \le \frac{2\pi}{N_r} \tag{2}$$

$$\theta_i = \frac{2\pi}{N_r} \tag{3}$$

여기서, β_r은 회전자 극호, β_s는 고정자 극호, θ_i는 인덕턴스 변화 주기, q는 상수이다.

식(1)은 다상 SRM에서 회전자의 위치에 관계없이 기동토오크를 발생시킬 수 있는 조건이므로 단상 SRM과는 관련이 없는 수식이다. 식(2)는 비정렬위치에서의 인덕턴스 값을 최소로 하기 위한 조건으로 고정자 극호와 회전자 극호의 크기에 따른 인덕턴스의 변화와 밀접한 관련이 있다. 식(2)를 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

X 위치에서의 인덕턴스 변화는 그림 3(a)와 같다. 회전자 극호와 고정자 극호의 크기가 같기 때문에 휴지구간(dead zone)이 존재하지 않고, 극호의 길이가 고정자 극호 피치에 비해 작아서 최소 인덕턴스 구간이 존재한다.

극호의 크기가 Y점 또는 Z점으로 이동하면 휴지구간은 점점 늘어나고 최소 인덕턴스 구간은 점점 줄어든다.

Y점 또는 Z점에서는 최소 인덕턴스 구간이 사라지고 휴지구간이 최대가 된다. Y점 또는 Z점에서의 인덕턴스 변화는 그림 3(b)와 같다.

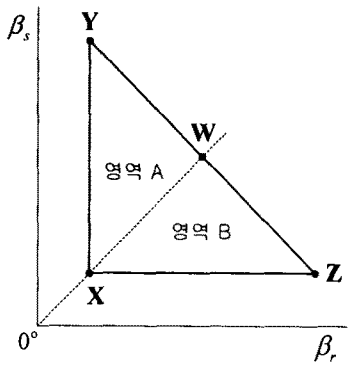

그림 2. 회전자 극호와 고정자 극호와의 관계

고정자의 극호와 회전자의 극호가 인덕턴스 변화 주기의 1/2인 W점으로 극호의 크기가 접근할수록 최소 인덕턴스 구간이 줄어들어 W점에서는 그림 3(c)처럼 휴지구간 및 최소 인덕턴스 구간이 없는 인덕턴스 변화가 나타난다.

그림 3(d)는 식(2)의 조건을 만족하지 못하는 경우로 비정렬위치에서도 쇄교자속이 많아 최소 인덕턴스가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

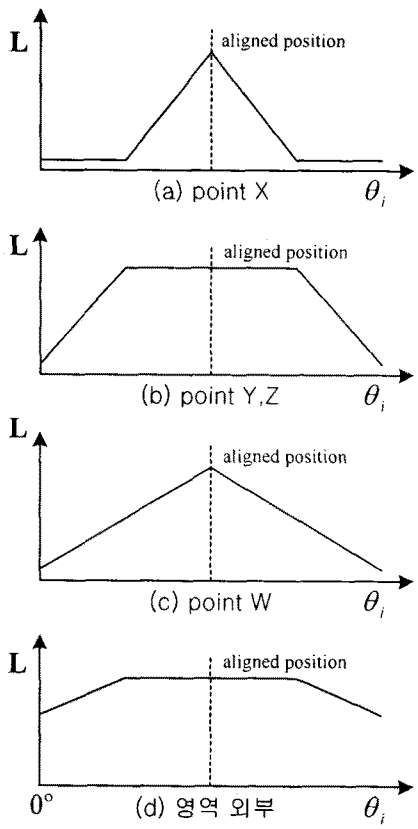

그림 3. 극호의 크기에 따른 인덕턴스 변화

고정자 및 회전자 극호가 30°보다 작고 6개의 극을 가진 일반적인 단상 SRM의 인덕턴스 변화 곡선은 그림 4와 같다.

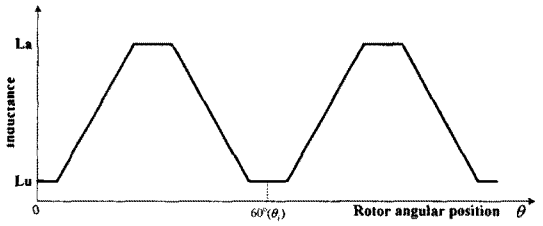

그림 4. 단상 SRM의 인덕턴스 변화

2.2 단상 SRM의 쇄교자속

토오크의 크기를 결정하는 인덕턴스의 변화는 고정자와 회전자의 쇄교자속과 밀접한 관련이 있다. SRM의 전압방정식은 식(3)과 같다.[8]

$$v = Ri + \frac{d\Psi}{dt} \tag{4}$$

식(4)를 적분하여 Ψ에 대하여 정리를 하면 식(5)가 된다.

$$\Psi = \int (v - Ri)dt \tag{5}$$

여기서, v는 단자전압, R은 권선저항, i는 상전류이다.

3. 쇄교자속의 측정

3.1 쇄교자속 측정 장비의 구성

측정 장비는 그림 5와 같이 단상 SRM, 여자전원 DC 파워 서플라이, 여자된 단상 SRM을 강제로 회전시키는 DC 모터, 그리고 계측장비로 구성되어 있다.

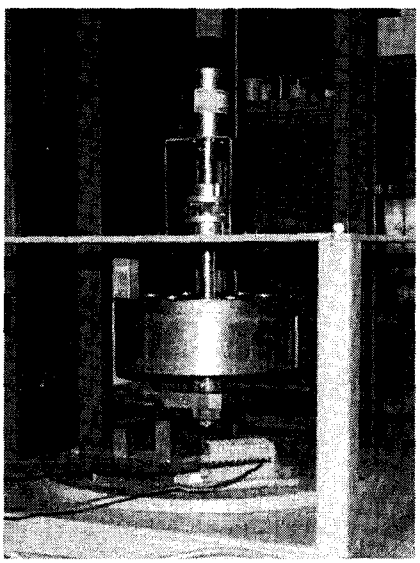

그림 5. 쇄교자속 측정 장비 세트

3.2 단상 SRM의 쇄교자속

단상 SRM에 약 5.5[A]의 전류원 DC 파워 서플라이로 여자를 시켰으며, 여자된 상태에서 상부에 설치된 DC 모터를 이용하여 약 180rpm의 속도로 SRM을 강제로 회전시키면서 단자전압 v와 상전류 i, 그리고 권

선저항 R을 측정하였다. 권선에서 발생하는 열로 인한 저항의 변화는 무시하였다.

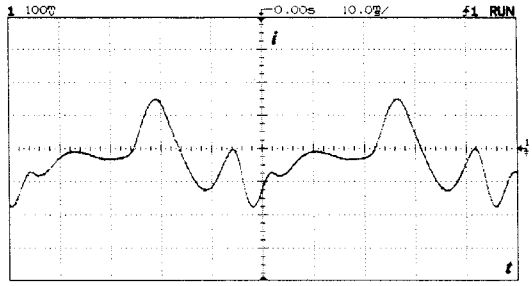

그림 6. 상전류 파형

상전류는 5.484[A]를 기준으로 약 ±0.7[A]의 진폭으로 진동하고 단자전압은 약 4.3[V]에서 -0.8[V]까지 전류에 비해 진동하는 것을 알 수 있다.

GPIB 카드를 이용하여 오실로스코프로 측정한 단자전압 및 상전류 파형을 500개의 데이터 값으로 저장하고 식(5)를 계산하는 프로그램에 측정한 데이터를 입력하여 쇄교자속 곡선을 구하였다.

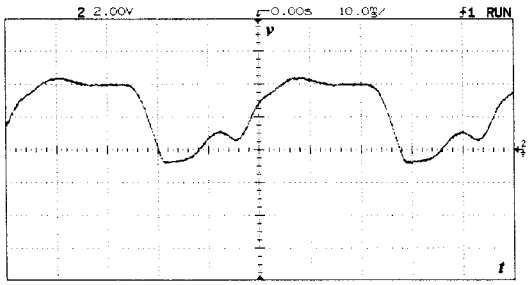

그림 7. 단자전압 파형

시작기의 고정자 극호 β_s와 회전자 극호 β_r의 비율이 1.3 : 1.4이고 고정자 극의 피치가 고정자 및 회전자의 극호보다 길다.[4] 그러므로, 쇄교자속 곡선은 휴지구간과 최소 인덕턴스 구간이 동시에 존재하는 그림 4와 비슷한 형태로 나타나야 한다. 하지만, 휴지 구간과 최소 인덕턴스 구간이 매우 짧고, 회전자에 설치된 돌극의 영향으로 그림 8과 같은 형태의 쇄교자속 곡선이 측정되었다.

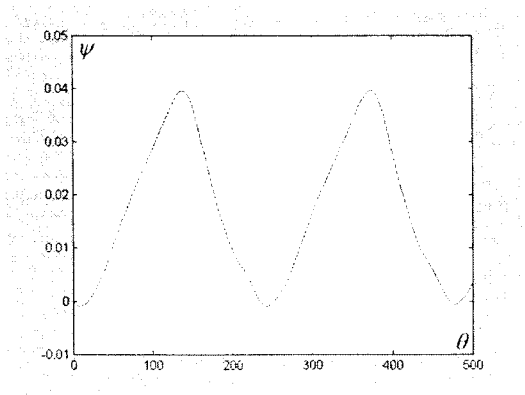

그림 8. 쇄교자속 파형

4. 결 론

쇄교자속을 측정하기 위한 실험 세트를 제작하여 회전자 돌극형 단상 SRM의 쇄교자속 곡선을 측정하였고, 돌극 등의 영향으로 설계 모델의 이론적인 쇄교자속 파형과 완전히 일치하지는 않지만 매우 유사한 것을 확인하였다.

앞으로는 기동용 정지자석이 쇄교자속에 미치는 영향에 대한 연구와 측정한 데이터를 토대로 토오크를 구하여 선행 연구된 이론적인 값과 실측값을 비교, 분석하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] C.C.Chanm, "Single-phase switched reluctance motor", IEE Proc., Vol.134, Pt.B, No.1, pp.53-56, January 1987.

[2] 이종한, 이은웅, 조현길, "디스크형 단상 스위치드 릴럭턴스 모터의 기본 설계", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.9-11, 1996

[3] 이종한, 오영웅, 이은웅, "3차원 FEM 해석에 의한 디스크형 단상 SRM의 시작기 제작과 특성해석", 대한전기학회 논문지, 48권 B, No.6, pp.316-321, 1999

[4] 이종한, 이은웅, 이동주, "포화를 고려한 디스크형 단상 SRM의 3차원 유한요소해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A권, pp.325-327, 1998

[5] 이종한, 오영웅, 이은웅, "디스크형 단상 SRM의 구동드라이브 제작과 성능측정", 대한전기학회논문지, 49권 B, No. 1, pp.15-19, 2000

[6] 김준호, 이은웅, 오영웅, "디스크형 단상 스위치드 릴럭턴스 모터의 토오크 측정", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B권, pp.678-680, 2000

[7] P. J. Lawrenson,, "Variable-speed switched reluctance motor", IEE Proc., Vol.127, Pt.B, No.4, pp.253-265, July 1980.

[8] Cossar, C. and Miller, T.J.E., "Electromagnetic testing of switched reluctance motors", International Conference on Electrical Machines, pp.470-474, September 15-17, 1992