

Disk형 단상 SRM의 기본 특성 해석을 위한 자화곡선 측정

이충원* 이종한* 이은웅* 오영웅*
충남대학교*

Magnetization Curves Measurement for Fundamental Characteristics Analysis of Disk-type Single Phase SRM

Chung-Won Lee*, Jong-Han Lee*, Eun-Woong Lee*, Young-Woong Oh*
Chungnam Nat'l Univ*

Abstract - Disk type Single Phase SRM(Switched Reluctance Motor) can be used axial direction magnetic flux and radial direction magnetic flux.

In this paper, the flux linkage was measured according as rotor positions of disk-type single phase SRM, which is designed and manufactured in previous research. From the measured data, we got the magnetization curves, inductance profile and Co-energy.

1. 서 론

최근 산업의 발전과 함께 자동화, 정밀화 등이 추진되면서 각종 부하에 적합한 특수 전동기의 개발이 요구되고 전력전자기술을 이용한 가변속 구동장치의 개발 등이 활발히 이루어지면서 스위치드 리렉턴스 모터(Switched Reluctanc Motor : SRM)의 개발과 응용이 활발하다.[1] 고정자의 각 극을 스위칭 멀스에 의해 순차적으로 여자시킬 때 회전자극과 여자된 고정자극 사이의 자기저항이 최소되는 쪽으로 토크가 발생하는 원리를 이용한 SRM은 구조가 간단하고, 견고하며, 또한 제어회로가 간단하여 타전동기에 비해 제작이 쉬워 생산적일 뿐만 아니라 단위 체적당 토크, 효율, 성능면에서도 우수한 특성을 갖기 때문에 공장자동화, 가전기기에 실용화되고 있고, 전기자동차 등의 구동용으로 연구되고 있다.[2][3]

특히 축방향 자속과 방사방향 자속을 함께 이용하여 단위체적당 에너지 밀도를 높이고, 축방향 길이를 짧게 할 수 있는 디스크형 단상 SRM은 설치장소가 좁고 유지보수가 어려운 장소, 그리고 저속운전이 필요한 곳에 적합하다.[4][5]

본 연구실에서는 축방향 자속과 방사방향 자속을 모두 사용하는 회전자극형 단상 SRM을 일반 회전기기 출력 방정식을 이용한 설계법을 참조하여 기본 설계 파라미터를 선정하고, 3차원 유한요소해석으로 대략적인 토크 특성을 구하여 시작기를 설계·제작하였다.[4][6]

본 논문에서는 앞선 연구에서 제작된 Disk형 단상 SRM 시작기의 회전자의 위치에 따른 쇄교 자속을 측정하여 자화곡선을 구하고, 그 자화곡선으로부터 인덕턴스 profile과 자기수반에너지를 구하여 기본특성을 구하고자 한다.

2. 쇄교 자속 측정

2.1 쇄교 자속 측정 방법

자화곡선을 측정하는 직접적인 방법은 전압방정식(1)에 의존한다.

$$v = Ri + \frac{d\psi}{dt}$$

$$= Ri + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{d\theta} \omega \quad (1)$$

여기서 v 는 권선의 단자전압, R 은 저항, i 는 전류, ψ 는 쇄교자속, L 은 인덕턴스, ω 는 각속도이다.

본 실험에서는 회전자의 위치가 고정된 상태에서 실험을 했기 때문에 위 식(1)의 세 번째 항($i \frac{dL}{d\theta} \omega$)은 고려하지 않았다.

식(1)의 쇄교자속 ψ 은 식(2)로 구한다.

$$\psi = \int (v - Ri) dt \quad (2)$$

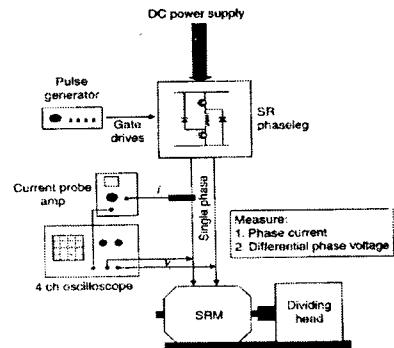


그림 1. 자화곡선 측정 장치

그림 1은 실험 구성도이다. 회전자의 위치를 조정하고 위치를 변화시키면서 실험을 할 수 있도록 시작기의 외함에는 기어를 이용하였다.

실험에 사용한 단상 SRM의 경우 코일을 고정자의 각 극에 여자 코일을 감은 것이 아니라 그림 2와 같이 하나의 단상 권선을 'ㄷ'형 고정자극 사이에 감아 각 극이 동시에 여자될 수 있도록 하였다. 이러한 구조는 고정자에 쇄교하는 자속을 측정하기가 곤란하여 본 실험에서는 고정자의 극에 서치코일을 별도로 감아 쇄교자속을 측정하였다.

식(2)에서 저항 R 은 작으며 권선에서 발생하는 열로 인한 저항의 변화는 무시하였다.

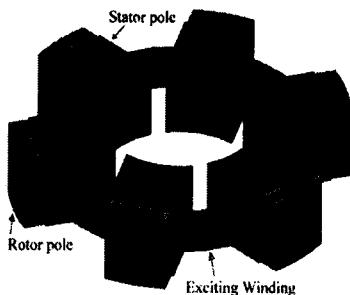


그림 2. 시작기 모델

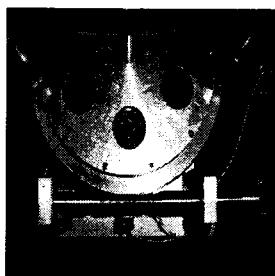
2.2 측정 장치 구성

2.2.1 측정 장치

각 고정자와 회전자의 위치에 따른 쇄교자속을 구하기 위해서는 식(1)에 의해서 전류에 따른 기전력을 회전자에 따른 기전력을 동시에 측정할 수 없으므로 그림 3과 같이 회전자의 위치를 고정시킬 수 있고, 위치를 변화시킬 수 있는 Dividing 장치를 하였다.



(a) 측면 사진



(b) 정면 사진

그림 3. 시작기 모형

2.2.2 구동회로

타 전동기에 비해 구조적으로 간단하고 제어성능이 다양한 단상 SRM의 구동회로를 그림 4와 같이 설계하여 제작하였다. 토오크가 전류의 방향과 무관하고 단상 정전압원을 여자전원으로 사용하기 때문에 구동 부분은 IGBT를 사용하였고, 원하는 위치에서 IGBT를 on/off 하는 제어신호를 발생시키기 위해 DSP를 사용하였다.

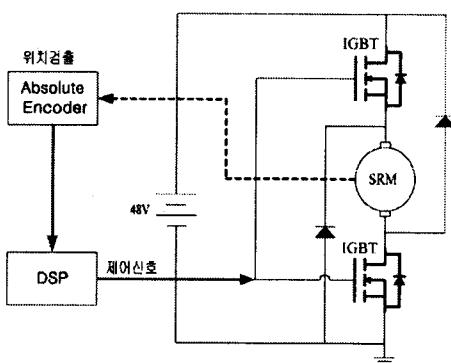


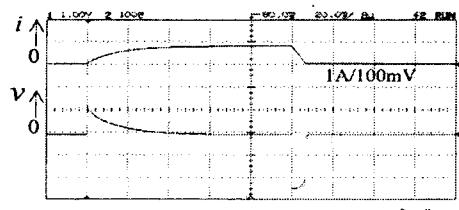
그림 4. 구동회로

2.2.3 측정 방법과 측정치

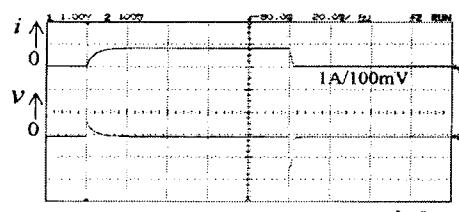
고정자와 회전자가 정렬위치에 있을 때를 0° 라고 하고, 그림 3의 Dividing 장치를 이용하여 고정자에 대한 회전자의 위치를 정렬위치에서부터 5° 씩 변화시키며 5[V], 15[A] DC power supply를 이용하여 권선을 여자시키고 상전류 i 와 서치코일에 유기되는 기전력 v 를 측정하였다.

상전류 i 는 정렬위치와 비정렬 위치에서 최대 7.81 25[A], 기전력 v 는 정렬위치에서 최대 106.25[mV], 비정렬위치에서 최대 62.5[mV]였다.

그림 5는 정렬위치와 비정렬 위치에서 권선에 흐르는 전류와 서치코일에 나타나는 기전력이다. 그림 5에서 전압이 음의 값으로 떨어지는 것은 전류가 감소하여 나타나는 역기전력이다.



(a) 정렬 위치



(b) 비정렬 위치

그림 5. 권선에 흐르는 전류와 서치코일에 나타나는 기전력

3. 자화 곡선

3.1 위치와 전류에 따른 자화곡선

그림 3의 Dividing장치와 그림 4의 구동회로를 이용해서 각 위치에서 권선에 흐르는 전류와 서치코일에 나타나는 기전력을 측정하고, 그 data를 통해 식(2)에 적용하여 각 위치와 전류에 따른 자화곡선을 구하면 그림 6과 같다.

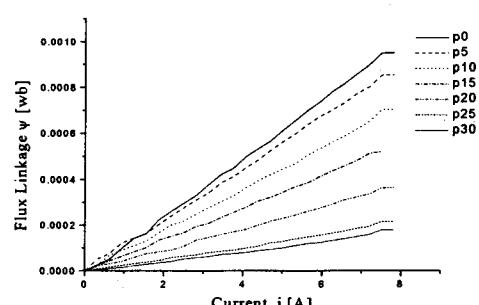


그림 6. 위치와 전류에 따른 자화곡선

그림 6에서 쇄교자속이 선형적으로 변한 것으로부터 자로가 포화되지는 않음을 확인하였다.

3.2 위치에 따른 인덕턴스 profile

인덕턴스 L 을 Ψ/i 의 비로 정의한다면 위치에 따른 인덕턴스 profile은 그림7과 같다. SRM의 자기수반에너지 W_c' 는 식(3), 토오크 T 는 식(4)로 구해진다.

$$W_c' = \frac{1}{2} i^2 L \quad (3)$$

$$T = \frac{\partial W_c'}{\partial \theta} = \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta} \quad (4)$$

여기서 i 는 상권선의 전류, L 은 인덕턴스이다. 식(4)에서 토오크는 전류의 제곱에 비례함으로써 상전류의 방향과 무관하게 토오크를 발생시킬 수 있으며, 인덕턴스의 기울기에 따라서 토오크의 부호가 달라지므로 회전방향에 대하여 역방향의 토오크인 부토오크 (Negative Torque)가 발생하는 회전자의 위치각도가 존재한다. 그렇기 때문에 SRM은 부토오크의 억제를 위하여 반드시 인덕턴스 L 이 증가하는 구간에서 회전자의 위치각에 따라 스위칭 여자를 해야 한다. 이러한 이유 때문에 인덕턴스 profile을 구하였다. 회전자 위치의 변화에 대해 $\frac{dL}{d\theta}$ 가 거의 일정하기 때문에 전류가 일정할 경우 토오크가 일정하게 발생할 수 있다.

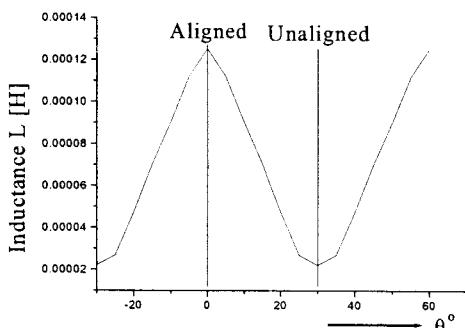


그림 7. 위치에 따른 인덕턴스 profile

3.3 위치와 전류에 따른 자기수반에너지

식(3)를 이용하여 자기수반에너지를 구하였다.

위치와 전류에 따른 자기수반에너지를 파형을 그림 9에 나타냈다.

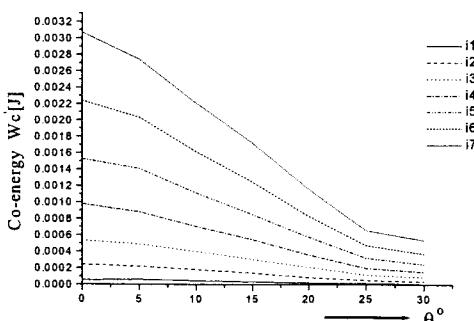


그림 8. 위치와 전류에 따른 자기수반에너지

4. 결 론

본 논문에서는 선행 연구에서 설계 및 제작된 Disk 형 단상 SRM의 기본 특성 해석을 위해 설계·제작한 측정장치를 부착하여 자화곡선을 측정하였고, 이를 이용하여 인덕턴스 profile과 자기수반에너지를 구하였다.

자화곡선은 포화되지 않고 선형적으로 변함을 확인하였고, 회전자의 변화에 대해 인덕턴스의 변화도 일정함을 확인하였다.

앞으로는 본 연구와 측정한 데이터를 토대로 토오크를 구하여 선행 연구된 이론적인 값과 실측값을 비교, 분석하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Wai S. Leung, James C.C. Chan "A New Design Approach for Axial Field Electrical Machines".
- [2] C.C. Chan "Single-phase switched reluctance motor", IEE, Proc., Vol.134, Pt.B, No.1, pp53-56, January 1987
- [3] 이종한, 이은웅, 조현길 "디스크형 단상 스위치드 릴렉턴스 모터의 기본 설계", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp9-11, 1996
- [4] 이종한, 오영웅, 임수생, 이은웅 "3차원 FEM해석에 의한 디스크형 단상 SRM의 시작기 제작과 특성해석", 대한전기학회 논문지, 48권 B, No.6, pp316-321, 1999
- [5] 이종한, 오영웅, 이은웅 "디스크형 단상 SRM의 구동 드라이브 제작과 성능 측정", 대한전기학회논문지, 49권 B, No.1, pp15-19, 2000
- [6] 이종한, 이은웅, 이동주 "포화를 고려한 디스크형 단상 SRM의 3차원 유한요소해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A권, pp325-327, 1998