

PC-SRD를 이용한 8/6 SRM 특성 해석

조범규*, 정도영*, 이상호*, 이봉섭*, 하정호*, 오홍석**, 최경호***, 천동진****
 *삼척대학교, **이맥스하이테크, ***영남대학교, ****삼척시청

Characteristics Analysis of 8/6 Switched Reluctance Motor Using PC-SR

Cho B.K*, Jung D.Y*, Lee S. H*, Lee B. S, Ha J.H, Oh H.S**, Choi K.H***, Chun D. J****
 *Samchok National University, **Emacsht Ltd, ***Yeungnam University, ****Samchok City Hall

Abstract - The switched reluctance motor (SRM) has a simple motor construction with no rotor windings. It also has simple concentrated windings on the stator windings. Thus, it is expected to be a lower cost machine to manufacture than other motors. This paper has computed an optimal parameters asking for SRM drives using by PC-SRD that was programmed by T. J. E. Miller/M. Mcgilp. According to advanced angle and dwell angle, the output, efficiency, currents and torque were computed. The experiments with 8/6 SRM have tested.

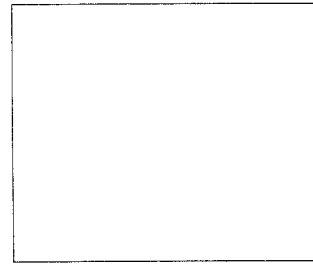


그림 1. 8/6 SRM 구조

1. 서 론

SRM(Switched Reluctance Motor: 이하 SRM)은 다른 어느 전동기보다도 간단한 구조를 가지고 있어 제작 단가가 저렴하고, 기계적으로 견고하며, 고온등의 열악한 환경에서도 신뢰성이 높으며, 브러시등이 없어 유지비가 거의 들지 않는 장점을 지니게 된다. 또한 광범위한 변속 범위를 가지고 있으며 초고속 운전이 용이하고, 단위체적당 토크 및 효율면에서는 유도 전동기보다도 우수한 것으로 나타나 있다.[1]-[2] 그러나, SRM은 인덕턴스가 전류의 크기와 회전자와 고정자의 상대적 위치에 따라 매우 비선형적으로 변하는 특성을 지니고 있으며, 또한 토크는 이 인덕턴스의 기울기에 비례하여 발생하기 때문에 비선형 토크 특성을 가지므로 제어에 많은 어려움이 있다. 이를 개선하기 위해서는 SRM의 정확한 특성해석 기법의 연구와 체계적인 설계 기법이 절실히 요구된다.[6]-[10]

본 연구에서는 T. J. E Miller/M Mcgilp 교수들에 의해 만들어진 PC-SRD 상용 프로그램을 사용하여 SRM 운전에 요구되는 최적의 파라미터들을 계산하였다. 특히 최적의 토크와 효율을 구하는 방법을 제시하고, 8/6 SRM을 사용하여 실험하였다.

2. SRM 동작원리

2.1. SRM 구조

SRM은 고정자극과 회전자모두가 돌극형 구조로 되어 있으며, 그림 1은 8/6극 SRM 구조를 나타낸다.

SRM의 동작 원리는 그림 1에서, 여자된 고정자와 근접한 회전자는 정렬이 되려는 방향으로 움직이게 되며, 즉 회전자 위치의 변화에 따라 인덕턴스가 달라지므로 토크는 여자권선의 인덕턴스가 최대가 되는 점에서 발생하게 된다. 상의 여자는 기존의 여자되고 있는 상이 회전자와 완전히 정렬되기 이전에 인가 전압을 OFF시키고, 인접한 다른상을 여자하게 되면 같은 원리에 의해 가장 근접한 회전자가 고정자와 정렬되는 방향으로 회전력을 얻게 된다. 이러한 여자를 순차적으로 상별로 행하게 되면 회전자는 연속적인 회전력을 얻게 된다.

2.2. 전압, 인덕턴스, 토크 방정식

SRM의 토크는 리럭턴스가 최소로 되려는 방향, 즉 여자되는 코일의 인덕턴스가 최대가 되는 방향으로 토크가 발생된다. 그림 2는 토크 발생영역을 나타낸다.

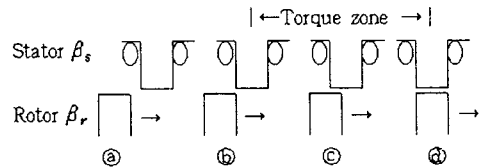


그림 2. 토크 발생영역

아래의 수식 (1)은 SRM의 전압 방정식을 나타내며, 전압수식은 고정자 권선의 저항에 의한 강하분과 자기회로에 축적성분, 그리고 기계로 변환되는 성분으로 나타낼수 있다.

토크는 수식 (2)에서와 같이 토크 발생구간에서는 리럭턴스가 감소하고 전동기의 작용 인덕턴스 $L(\theta, i)$ 가 증가함으로 기자력 전류 $i(\theta)$ 가 완만해지면서 토크가 발생된다. 토크의 크기와 극성은 식 (1)에서 알 수 있는 바와 같이 고정자에 대한 회전자의 상대적 위치에 따른 인덕턴스 변화와 전류의 크기에 직접 연관된다.

$$V = Ri(\theta) + \frac{d\lambda(\theta, i)}{dt} \quad \text{----- (1)}$$

$$= Ri(\theta) + \frac{d\lambda(\theta, i)}{di} \frac{di}{dt} + \frac{d\lambda(\theta, i)}{d\theta} \omega$$

- 첫째항 : 고정자 권선의 저항 손실성분
- 둘째항 : 자기회로에 축적되어지는 에너지 변환성분
- 셋째항 : 기계에너지로 변환되는 성분

$$T = \frac{1}{2} i(\theta)^2 \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} \quad \text{----- (2)}$$

여기서, T , $d\theta$, i 는 각각 토오크, 고정자에 대한 회전자의 변위, 순시 전류 값이며, $L(\theta, i)$ 는 고정자와 회전자의 인덕턴스이다.

3. 특성 해석

PC-SRD를 이용하여 파라미터의 변화에 따른 SRM의 출력, 실효치 상전류, 토오크를 구하기 위하여 표 1과 같은 SRM을 사용하였다. (TRIDELTA의 Model: M124-005A001-14)

표 1. LSM의 제원

출력	375[W]	회전수	4000[rpm]
토오크	0.895[Nm]	전압	170[V]
상수	4		
고정자 극수	8	회전자 극수	6
고정자 지름	140[mm]	회전자 지름	70[mm]
고정자 치폭	13.8[mm]	회전자 치폭	14[mm]
고정자 계철 두께	12.4[mm]	회전자 계철 두께	14.5[mm]
고정자 슬롯 깊이	19.75[mm]	회전자 슬롯 깊이	17[mm]
고정자 극호	22.6[deg]	회전자 극호	23.2[deg]
축 지름	9.5[mm]	공극	0.25[mm]
스택길이	38.5[mm]	전체길이	63[mm]

그림 3은 PC-SRD로 시뮬레이션한 인덕턴스 프로파일, 전류파형 및 토오크 파형을 나타낸다.

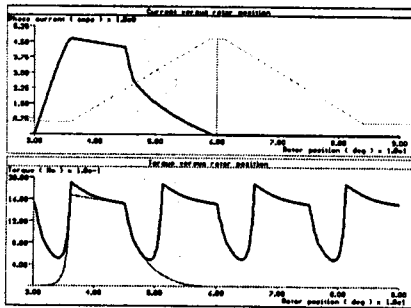


그림 3. 전류, 인덕턴스 프로파일 및 토오크 곡선

3.1 어드밴스각 변화에 따른 특성

그림 4와 그림 5는 회전속도 4,000(rpm)에서 Turn-off각을 45°로 일정하게 두고, Turn-on각을 변화시켜 어드밴스각을 조정하여, 그 변화에 따른 출력, 효율 곡선과, rms 상전류 파형과 토오크 파형을 보여준다.

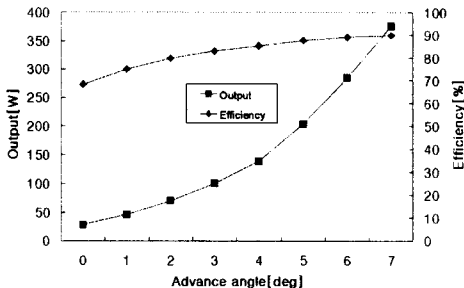


그림 4. 어드밴스각 변화에 따른 출력, 효율곡선

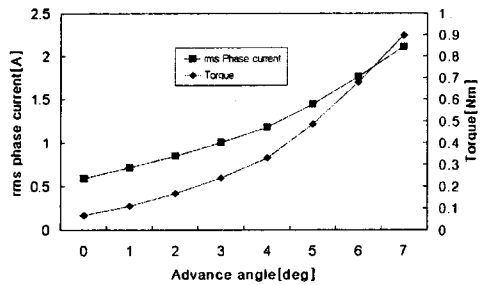


그림 5. Advance각 변화에 따른 전류, 토오크곡선

그림 4와 5에서, 일반적으로 어드밴스각이 클수록 전류확립이 빨리 이루어지므로, 토오크는 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 어드밴스각이 작은 영역(0~3.5도)보다 큰 영역(4~7.5도)에서 출력과 토오크의 상승이 빠른 것을 알 수 있다.

3.2 드웰각 변화에 따른 특성

그림 6과, 그림 7은 회전속도 4,000(rpm)에서 Turn-on각을 30°로 일정하게 두고, Turn-off각을 45°에서 1°씩 감소시켜 가면서 드웰각을 조정하였을 때 출력, 효율 곡선과, rms 상전류 파형과 토오크 파형을 나타낸다. 그림 6과 7에서 드웰각이 클수록 출력과 토오크는 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

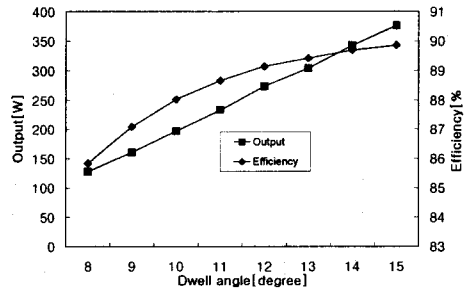


그림 6. 드웰각 변화에 따른 출력, 효율곡선

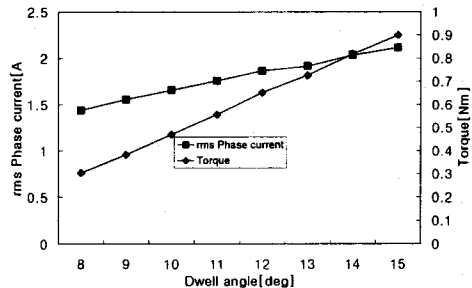


그림 7. 드웰각 변화에 따른 rms전류, 토오크곡선

3.3 어드밴스각과 드웰각 변화에 따른 특성

그림 8은 어드밴스각 0°~7°와 드웰각 8°~15°의 변화에 따라서 토오크를 발생하기 위하여 적정 어드밴스각과 드웰각을 선정하는 방법을 나타낸다.

그림 9는 최대 토오크를 발생하기 위한 rms 전류값을 나타낸다.

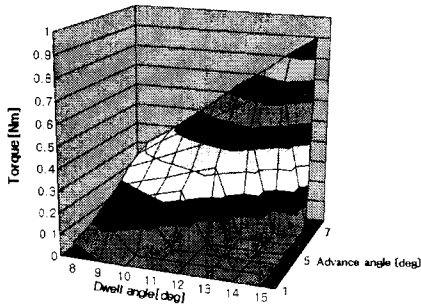


그림 8. 어드밴스각과 드웰각 변화에 따른 토크특성

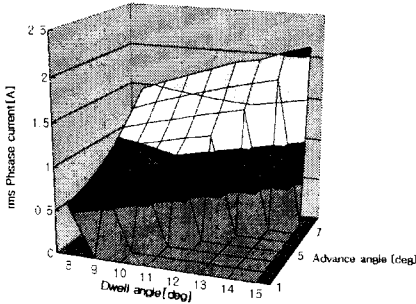


그림 9. 어드밴스각과 드웰각 변화에 따른 전류특성

3.4 실험

그림 10은 실험에 사용된 드라이브 회로로써, 스위칭 소자를 6개를 이용하였다. T_A, T_B 는 초펄스 트랜지스터이며, T_1, T_2, T_3, T_4 는 전류 트랜지스터이다.

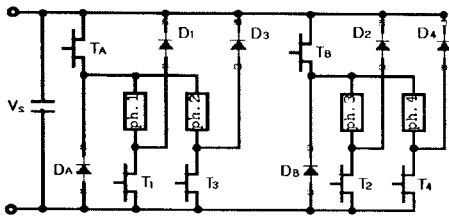


그림 10. 8/6 SRM 드라이브 회로

그림 11은 상당 전압파형과 전류파형을 나타내며, 실험에서 측정된 전류파형과 PC-SRD에 의하여 계산된 전류파형이 거의 일치함을 알 수 있다.

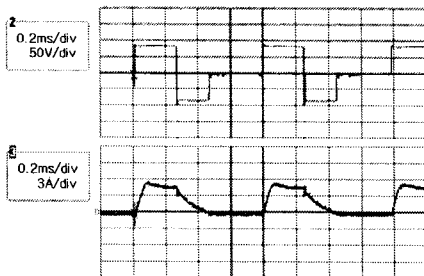


그림 11. 상당 전압과 전류파형

4. 결론

본 논문에서는 T. J. E Miller/M Mcgilp 교수들에 의해 만들어진 PC-SRD 상용 프로그램을 사용하여 SRM 운전에 요구되는 최적의 파라미터들을 제시하였다. 우선 8/6 SRM의 데이터를 입력하여 인덕턴스, 전류 및 토크 파형을 시뮬레이션하였다. 이것을 기초로 어드밴스각 및 드웰각을 조정하였을 때 최적의 토크와 효율을 구하는 방법을 제시하였다.

결론적으로, 어드밴스각이 토크와 출력에 미치는 영향은 어드밴스각이 작은영역($0^\circ \sim 3.5^\circ$)보다 큰 영역($4^\circ \sim 7.5^\circ$)에서 크게 나타났으며, 드웰각이 클수록 출력과 토크는 선형적으로 증가하였다.

실험을 통하여 단일펄스 전압에 의한 전류파형을 측정 한 결과 시뮬레이션값과 거의 일치하였다.

따라서, 본 연구의 결과는 향후 SRM의 최적 토크 운전에 활용도가 높아지리라 기대 된다.

(참 고 문 헌)

- [1] T.J.E. Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control", Magna Physics publishing and Clarendon Press, OXFORD, 1993.
- [2] G.E. Dawson, A.R. Eastham, J. Mizia, "Switched Reluctance Motor Torque Characteristics : Finite Element Analysis and Test Results ", IEEE Trans. Vol.IA.23. No.3 pp.532 ~ 537, 1987.
- [3] R.M. Davis, " A Comparison of Switched Reluctance Motor Structures ", IEEE Trans. Vol. IE.35. No.4 pp.524 ~ 529, 1988.
- [4] R.Arumugam, J.F. Lindsay and R. Krishnan, " Sensitivity of Pole Arc/Pole Pitch Ratio on Switched Reluctance Motor Performance ", IEEE, IAS, Vol.1, pp50-54, 1988.
- [5] Do-Young Jung etc. "Analysis of Switched Reluctance Motor Characteristics Considering Magnetic Nonlinearity", 전력전자학술대회 논문집, pp 517-520, 2000.
- [6] 천동진, 정도영, 이상호, 이봉섭, 박영록, "간단한 위치검 출기를 이용한 SRM 가변속 디지털 제어시스템 개발", 전력전 자학회 논문집, 제6권, 제2호, pp 202-208, 2001.