

자기동이 가능한 2상 SRM의 자기적 특성에 관한 연구

(The Study on Magnetic Characteristics of 2 Phase SRM with Self-Starting Capability)

이치우 · 오석규*

(Chee-Woo Lee · Seok-Gyu Oh)

요 약

중소형 가변속 전동기구는 성능뿐만 아니라 가격경쟁력이 중요한 요인 중에 하나로 인식되고 있다. 가변속 전동기중에서 SRM을 중소형 전동기로써 적용할 때 가격경쟁력 측면에서 보면 단상이나 2상이 적합하다. 그러한 이유로 전력용량이 비교적 작은 가정용 전동기구에는 거의 단상 혹은 2상 SRM이 연구되고 있다. 그러나 단상 SRM은 근본적으로 발생토크가 불연속적이어서 운전특성이 떨어지고 자기동능력이 없어 기동을 위한 보조적인 장치가 항상 필요하다. 또한 2상 SRM은 연속적인 토크를 만들 수 있으나 기동에 관해서는 아직도 많은 문제점을 안고 있다.

제안한 2상 6/3 SRM은 일반적인 다른 SRM과 달리 고정자 철심에 자속의 교번 없이 구동이 가능하여 철손을 줄일 수 있다. 또한 일반적으로 단상과 2상의 SRM에서 실용화에 있어서 가장 장애가 된 자기동이 안 되는 문제점을 회전자의 비대칭 형상을 이용하여 구동특성의 저하없이 자기동 능력을 가지게 되었다. 특성 해석을 위해 FEM 해석프로그램인 FLUX2D를 사용하였다.

Abstract

Cost reduction requires lowering number of power devices used in the converter driving SRM. This is quite feasible in SRM drive systems than in other drive systems. This paper deals with analysis and simulation of a novel two phase SRM. A novel two phase SRM has high performance, self-starting capability, high efficiency, and low manufacturing cost. Additionally, the stator back iron does not experience any flux reversal as the flux is in the same direction whether phase A or B is excited leading to a greater reduction in core losses. The magnetic analysis and design considerations of the novel two phase SRM have been obtained by the finite element analysis (FEM).

Key Words : A Novel Two Phase Srm, Self-Starting Capability, Flux Reversal

* 주저자 : 진주산업대학교 메카트로닉스공학과 부교수

Tel : 055-751-3385, Fax : 055-751-3389

E-mail : sgho@jinju.ac.kr

접수일자 : 2008년 6월 5일

1차심사 : 2008년 6월 10일

심사완료 : 2008년 7월 3일

1. 서 론

소용량의 펄스형 전원의 개발로 1970년대는 VR형 스텝핑 전동기가 실용화되었고, 1980년대 초에는 대용량의 전력용 반도체의 실용화 개발로 인하여 킬러

자기동이 가능한 2상 SRM의 자기적 특성에 관한 연구

턴스 토오크로 구동하는 Switched Reluctance Motor(SRM)가 효율성을 인정받기에 이르렀다[1].

SRM의 실용화 개발의 전제조건으로는 기존의 범용전동기인 유도전동기의 운전성능 대비 제작비보다 낮아야 한다는 것이다. 즉, SRM의 전자기적 구조의 단순함으로 인한 제작비를 절감하고 구동전원인 스위칭 인버터를 단순화 시켜야 한다. 따라서 가능한 한 SRM에서 구동에 사용되는 전력 스위치 소자의 수를 줄이는 것이 필요하다. SRM은 이런 면에서는 다른 구동시스템보다 유연하다. SRM은 고정자 극과 회전자극의 다양한 조합이 가능하여 단상 혹은 2상 SRM의 구성으로 중소형전동기 분야에 적용이 검토되고 있다[1-2].

단상 SRM은 하나 혹은 두 개의 스위치가, 2상 SRM은 3개 혹은 4개의 스위치가 사용된다. 따라서 가변속 전동기구에서 전동기 제작비가 비슷하다면 인버터의 제작비용에 있어서 SRM이 상당한 가격 경쟁력을 가지게 된다.

본 논문에서 제시하는 2상 6/3 SRM은 고정자 철심에서 자속의 교번이 없고 자속의 통로길이가 다른 SRM에 비해 2/3정도로 짧아 고정자 철심이 작고 SRM의 가장 큰 단점 중에 하나인 소음진동 문제도 상당 부분 줄일 수 있다. 또한 실제 적용함에 있어서 큰 장애가 되는 기동능력이 없는 문제는 비대칭 회전자 구조를 갖도록 함으로써 해결할 수 있었다. 제시한 2상 6/3 SRM에 대해 자기적 구조를 해석하고 이를 증명하기 위해 유한요소법에 의한 시뮬레이션으로 특성을 분석하였다.

2. 고정자내에서의 자속분포 해석

SRM은 단방향 여자방식으로 순차적으로 각 상을 여자함으로써 회전을 하게 된다. 이때 각 상권선에 전압은 펄스형으로 인가되고 고정자내의 각 부위에 흐르는 자속 분포가 각각 다르게 나타난다. 특히 고정자 철심내에서의 자속의 교번은 철손을 유발하여 효율에 지대한 영향을 미친다. 이러한 고정자내의 자속 분포를 알아보기 위해 SRM에서 실용적으로 많이 사용되어지는 4상 8/6 SRM, 3상 6/4 SRM, 그리고 2상 4/2 SRM의 고정자내 각 부분에 대해 자속

분포를 해석하였다.

2.1 3상 6/4 SRM의 자속분포

일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 3상 6/4 SRM에서 A상이 여자되었을 때 자속의 통로를 그림 1에서 점선으로 표기하여 보여주고 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 3상 6/4 SRM은 고정자의 마주보는 두 극과 회전자의 두 극을 기준으로 병렬로 두 개의 자속 통로를 형성하고 있다.

철손은 자속 밀도뿐만 아니라 스위칭 주파수와도 밀접한 관련이 있다[3]. SRM에서 한 상의 주파수는

$$f_{ph} = P_r \omega / 60 \quad (1)$$

와 같고 여기서 P_r 은 회전자 극수이고 ω 는 회전자 속도[rpm]이다. 그리고 전체 스위칭 주파수 f_s 는 다음과 같다.

$$f_s = q P_r \omega / 60 \quad (2)$$

여기서 q 는 상수이다. 그리고 한 스위칭에 회전하는 회전자 각 θ_{stroke} 은

$$\theta_{stroke} = \frac{360}{q P_r} \quad (3)$$

이다. 따라서 3상 6/4 SRM은 1회전에 필요한 스위칭 수는 한 상당 4회, 총 스위칭 수는 12회이며 한 스위칭당 회전자의 회전각은 30[°]이다.

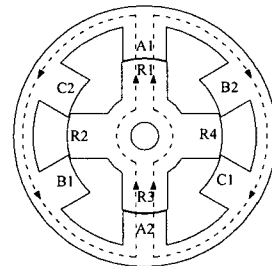
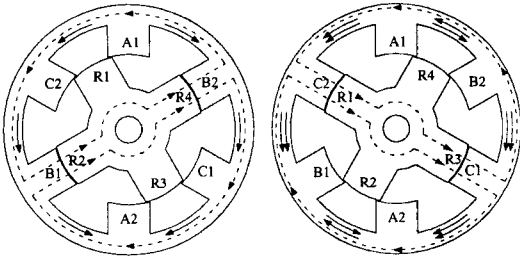


그림 1. 3상 6/4 SRM의 자속의 통로
Fig. 1. Flux path for 3 phase 6/4 SRM



(a) B상이 여자될 때 (b) C상이 여자될 때

그림 2. 3상 6/4 SRM에서 B, C상의 자속 통로
Fig. 2. Flux paths of B, C phase in 3 phase 6/4 SRM

그림 2는 B상과 C상을 여자하여 30[°]씩 회전하여 각 상에 정렬하였을 때에 자속 통로를 보여주고 있다. 그림 2에서 이전 스위칭을 하였을 때의 자속방향도 함께 표기하였다. 그림 2 (b) 경우, 고정자 요크(yoke)부분에서 가장 안쪽의 화살표는 그림 1의 점선으로 표기된 자속방향, 두 번째 화살표는 그림 2 (a)의 점선으로 표기된 자속방향을 각각 보여주고 있다.

그림 3은 3상 6/4 SRM의 고정자 각 부분에서의 자속분포를 보여주고 있다. 이 때 각상이 중첩이 되지 않는다고 가정하였고 A1C2는 그림 1에서 고정자극 A1와 C2 사이의 고정자 철심에서의 자속 분포를 의미한다. 자속은 병렬회로로 자속 통로는 2개이어서 고정자 요크에서의 자속은 고정자극에서의 자속의 절반에 해당한다.

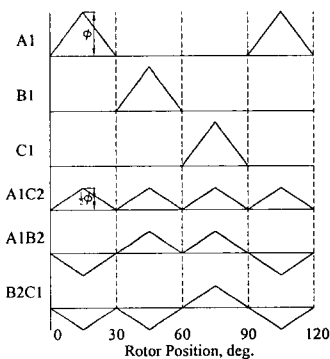


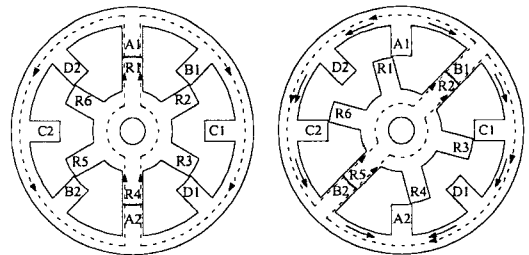
그림 3. 3상 6/4 SRM의 자속 분포
Fig. 3. Flux distribution of 3 phase 6/4 SRM

그림 3에서 0~30[°]사이의 자속분포는 그림 1의 A 상을 여자하였을 때를 보여주고 있고 그림 2 (a)는 그림 3의 30~60[°], 그림 2 (b)는 그림 3의 60~90[°]사이의 자속분포를 각각 보여주고 있다. 그림 3에서 보듯이 고정자 요크부위 A1C2(A2C1)에서의 자속 교변이 없으나 A1B2(A2B1) 그리고 B2C1(B1C2) 부분은 회전자가 회전함에 따라 부분적으로 자속의 교변이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이러한 자속의 교변은 철손을 유발하고 있다.

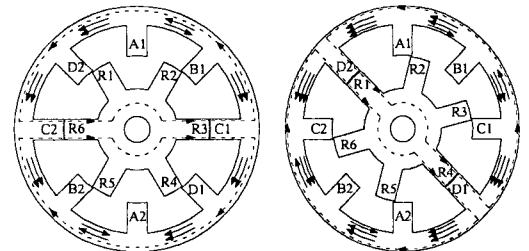
2.2 4상 8/6 SRM의 자속분포

4상 SRM은 고정자극이 8개이고 회전자극이 6인 8/6 SRM이 사용되고 있다. 그림 4는 4상 8/6 SRM이 각 상을 순차적으로 여자하였을 때의 자속 흐름을 보여주고 있다. 4상 8/6 SRM은 1회전에 필요한 스위칭 수는 한 상당 6회, 총 스위칭 수는 24회이며 한 스위칭당 회전자의 회전각은 15[°]이다

그림 5는 4상 8/6 SRM의 고정자내의 각 부분의 자속분포를 보여주고 있다. A1D2(A2D1)부분만이 자속의 교변이 없고 A1B1(A2B2), B1C1(B2C2), 그



(a) A상이 여자될 때 (b) B상이 여자될 때



(c) C상이 여자될 때 (d) D상이 여자될 때

그림 4. 4상 8/6 SRM의 자속의 통로
Fig. 4. Flux paths for 4 phase 8/6 SRM

짜개동이 가능한 2상 SRM의 짜개적 특성에 관한 연구

리고 C1D1(C2D2)는 주기적으로 자속의 교번이 생기는 것을 알 수 있다.

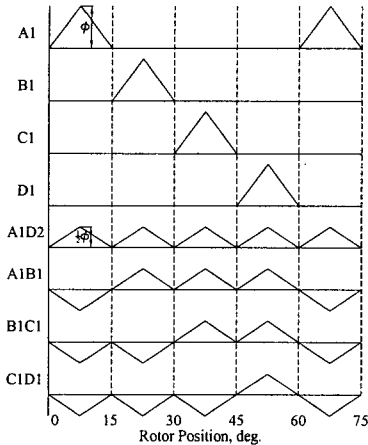
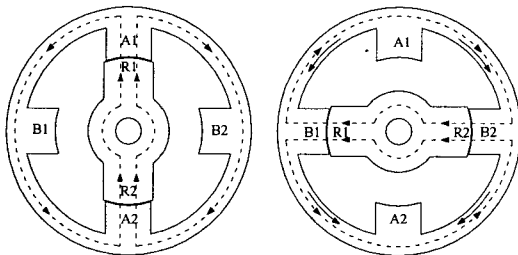


그림 5. 4상 8/6 SRM의 자속 분포
Fig. 5. Flux distribution of 4 phase 8/6 SRM

2.3 2상 4/2 SRM의 자속분포

일반적으로 2상 SRM은 고정자극이 4개이고 회전자극이 2개인 4/2 SRM이 많이 사용된다. 그림 6은 2상 4/2 SRM에서 A상과 B상이 각각 여자되었을 때 고정자와 회전자의 각 부분에서의 자속 흐름을 보여주고 있다. 2상 4/2 SRM는 1회전에 필요한 스위칭수는 한 상당 2회, 총 스위칭 수는 4회이며 한 스위칭당 회전자의 회전각은 90°이다



(a) A상이 여자될 때 (b) B상이 여자될 때

그림 6. 2상 4/2 SRM의 자속의 통로
Fig. 6. Flux paths for 2 phase 4/2 SRM

그림 7은 그림 6에서 보듯이 2상 4/2 SRM의 각상이 여자되었을 때 고정자 요크 부분의 자속 분포를

보여주고 있다. A1B2(A2B1) 부분은 자속이 교번되지 않는 부분이며 A1B1(A2B2)은 자속이 교번함을 알 수 있다.

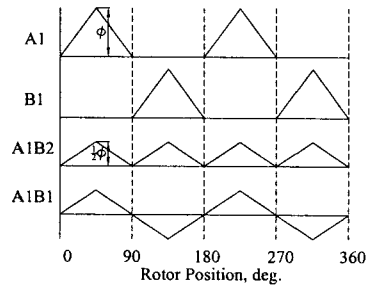


그림 7. 2상 4/2 SRM의 자속 분포
Fig. 7. Flux distribution of 2 phase 4/2 SRM

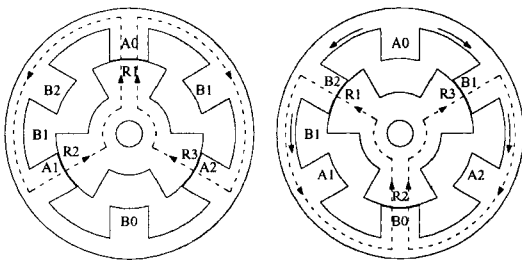
철손은 자속 밀도의 크기와 자속의 주파수에 밀접한 관련이 있다. 자속 밀도의 크기는 설계단계에서 적정 자속 밀도를 유지하기 위해 자속 통로를 설계함으로 철손은 상대적으로 자속 밀도의 크기보다는 자속의 주파수에 영향을 더 받는다. 이상에서 검토했듯이 고정자내에서 상당히 많은 부분이 자속의 교번이 일어나고 또한 각 부위에서 각기 부분적으로 다른 자속 분포를 보여주고 있다.

3. 2상 6/3 SRM의 특성 해석

중소형 가변속 전동기구는 성능뿐만 아니라 가격경쟁력이 중요한 요인 중에 하나로 인식되고 있다. SRM을 소형 전동기로서 적용할 때 가격경쟁력 측면에서 보면 단상이나 2상이 적합하다. 그러한 이유로 전력용량이 비교적 작은 가정용 전동기구에는 거의 단상 혹은 2상 SRM이 연구되고 있다. 그러나 단상 SRM은 근본적으로 발생토크가 불연속적이어서 운전특성이 떨어지고 자기동 능력이 없어 기동을 위한 보조적인 장치가 항상 필요로 한다. 또한 2상 SRM은 연속적인 토크를 만들 수 있으나 기동에 관해서는 아직도 많은 문제점을 안고 있다. 본장은 자기동 능력을 갖는 상 6/3 SRM의 특성해석을 하였으며 특성 해석을 위해 FEM 해석프로그램인 FLUX2D를 사용하였다.

3.1 2상 6/3 SRM의 자속분포

2상 4/2 SRM과 달리 고정자극에서 자속 교번이 없는 새로운 형태의 2상 SRM은 그림 8에서 보는 바와 같이 고정자극이 6개, 회전자극이 3개인 6/3 SRM이다. 1회전에 필요한 스위칭 수는 한 상당 3회, 총 스위칭 수는 6회이며 한 스위칭당 회전자의 회전각은 60°이다



(a) A상이 여자될 때 (b) B상이 여자될 때

그림 8. 2상 6/3 SRM의 자속의 통로
Fig. 8. Flux path for 2 phase 6/3 SRM

2상 6/3 SRM에서 A상이 여자할 때 자속은 고정자 주자극 A0와 2개의 보조자극 A1과 A2를 통과한다. 지금까지의 일반적인 SRM은 한상이 여자될 때 마주보는 두 개의 고정자극을 통해 자속 통로가 형성되고 있다. 그러나 2상 6/3 SRM은 3개의 고정자극을 통과하며 자속 통로길이도 다른 SRM의 2/3로 짧음을 알 수 있다. 이것은 또한 자기회로에서 자속통로의 자기저항(reluctance)이 작아 여자하는데 있어 장점이 되고 자속통로 길이가 짧아짐에 따라 철손을 줄일 수 있다.

2상 6/3 SRM은 한상이 여자할 때 회전자는 60°씩 이동한다. 그림 8에서 보듯이 보조극은 주자극의 자속의 절반이 흐를 수 있다. 따라서 이론적으로는 보조극의 극호를 주자극의 절반으로 줄일 수 있다. 이것으로 인하여 권선을 감을 수 있는 공간을 더 많이 얻을 수 있고 다른 6/4, 8/6 SRM에 비해 고정자철심을 절약할 수 있다. 그리고 구동회로는 용도에 따라 다양한 회로로 구성할 수 있다[4].

일반적인 SRM은 방사방향의 힘은 정 반대 방향으로 작용하여 고정자의 형상의 왜곡을 가져오고 이

는 소음과 진동의 직접적인 원인이 되고 있다. 그러나 2상 6/3 SRM은 그림 8과 같이 한상이 여자될 때 고정자극이 3개가 여자됨으로 방사방향의 힘이 3방향으로 작용하여 고정자 형상의 왜곡을 완화시켜 소음 진동을 저감시키는 효과를 가진다[4].

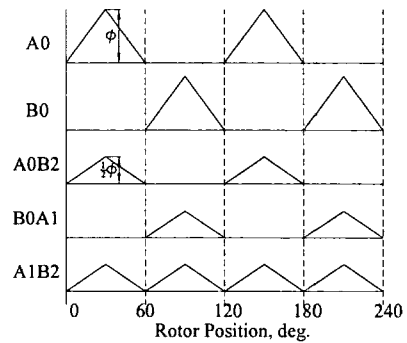


그림 9. 2상 6/3 SRM의 자속 분포
Fig. 9. Flux distribution for 2 phase 6/3 SRM

그림 9는 2상 6/3 SRM의 자속분포를 보여주고 있다. 한상이 여자할 때 전체 자속 통로의 2/3만을 사용하기 때문에 그림에서와 같이 A0B2(A0B1, B0A1, B0A2)는 두상 중 한상분만 자속이 차례로 통과하고 다른 상일때는 자속이 없음을 보여주고 있다. 그리고 그 외 부분인 A1B2(B1A2)는 그림에서와 같이 교번이 없는 자속 패턴을 보여주고 있다. 위와 같은 특징은 고정자에서 항상 자속이 흐르고 또한 교번이 있는 부분을 가지는 다른 일반적인 SRM에 비해 철손을 많이 줄일 수 있음을 보여주고 있다.

3.2 2상 6/3 SRM의 동작원리

일반적으로 SRM은 다양한 고정자극과 회전자극으로 구성되어 있고 고정자극/회전자극 혹은 회전자극/고정자극이 정수일때 자기동 능력이 결여되어 자기동을 위해 다른 보조장치를 붙이거나 자속을 왜곡시키는 방법으로 기동을 한다. 이러한 방법은 부가적인 비용이 들고 효율이 저하되고 구동특성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 2상 4/2 SRM이나 단상 6/6 SRM이 자기동을 하지 못한다. 제안한 2상 6/3 SRM은 비대칭 회전자 구조를 가짐으로서 운전성능

자기동이 가능한 2상 SRM의 자기적 특성에 관한 연구

의 손실 없이 자기동이 가능하다. 2상 6/3 SRM의 기본적인 구동원리를 설명하기 위한 이상적인 인덕턴스를 그림 10에서 보여주고 있다.

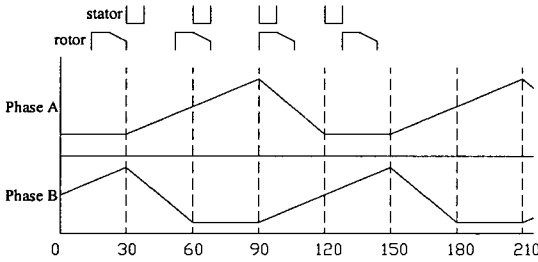
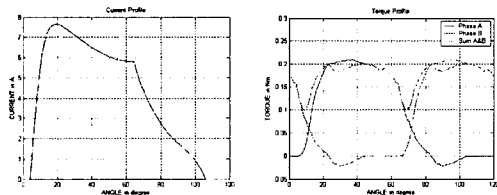


그림 10. 2상 6/3 SRM의 이상적인 인덕턴스
Fig. 10. Ideal inductance of 2 phase 6/3 SRM

그림 10의 2상 6/3 SRM은 고정자 주자극 극호는 30° , 고정자의 보조극 극호는 15° 이고 회전자극 극호는 60° 를 각각 가지고 있다. 그리고 회전자극은 공극의 길이가 일정한 부분과 공극이 점차 커지는 부분으로 나눌 수 있다. 회전자극의 비대칭 구조는 자기동을 가능케 한다. A상의 경우 30° 에서 고정자 주자극과 회전자극이 만난 이후에 인덕턴스는 상승함을 알 수 있다. 그리고 상승구간의 적절한 중첩을 통하여 연속적인 토크를 생산할 수 있다. 또한 반대방향으로 회전은 가능하지 않는 단방향의 회전만 하는 단점이 있음을 알 수 있다.

SRM은 펄스파 전압원을 상권선에 인가하여 상전류를 흐르게 되고 이때 발생하는 상전류는 동작조건에 따라 변하게 된다. 그림 11은 상전류와 이때 발생하는 토크를 보여주고 있다. 인덕턴스가 상승하는 구간의 전에 있는 최소인덕턴스 구간에서 권선을 여



(a) (b)

그림 11. 상전류 (a)와 토크 (b)
Fig. 11. Phase currents (a) and torque (b)

자하고 최대 인덕턴스 구간에 도달하기 전에 스위치 오픈한다. 그림 11 (b)에서 보듯이 일반적인 SRM의 제어와 유사하게 적절한 스위칭에 의해 원하는 토크를 얻을 수 있다.

4. 2상 6/3 SRM의 자기적 특성 해석

그림 12는 A, B 상의 전류와 이 때 고정자의 철손을 보여주고 있다. 다만 고정자에서의 자속의 교번의 영향을 비교하기 위해 고정자에서 자속이 교번하도록 그림 8 (b)와 달리 B상의 자속을 반대로 흐르도록 전류 방향을 바꾸었을 때의 철손을 보여주고 있다.

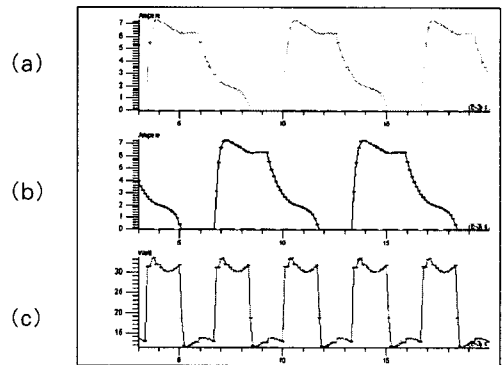


그림 12. 전류(a, b)와 철손(c)
Fig. 12. Currents(a, b) and iron loss(c) in stator

그림 13은 그림 8의 A1B2 부위에서 그림 12의 전류가 흘렀을 때 자속밀도를 보여주고 있다. 이 때의 자속밀도는 대략 $\pm 1.2[T]$ 이고 자속이 교번됨을 알 수 있다.

그림 14는 고정자에서 자속 교번이 없는 그림 8의 자속 흐름을 가졌을 때의 전류와 고정자에서의 철손을 보여주고 있다. 그림 12의 철손과 비교하였을 때 철손이 거의 절반수준으로 낮아진 것을 볼 수 있다. 이는 다른 조건을 같고 다만 자속의 교번의 여부에 따라 그 결과가 달라진 것을 알 수 있다. 따라서 앞서 검토한 자속의 교번이 있는 다른 SRM보다 고정자에서 철손이 많이 줄어들 수 있음을 알 수 있다.

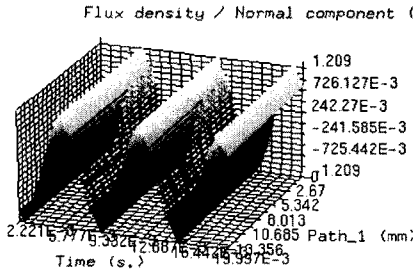


그림 13. 고정자요크에서의 자속밀도
Fig. 13. Flux density in stator yoke

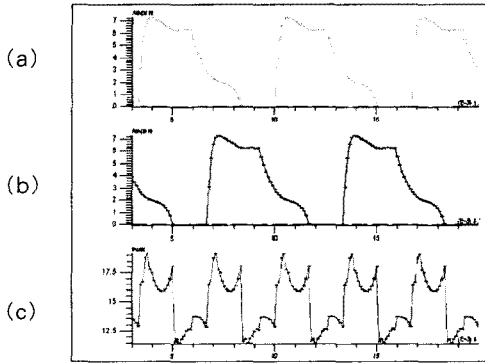


그림 14. 전류(a, b)와 철손(c)
Fig. 14. Currents(a, b) and iron loss(c) in stator

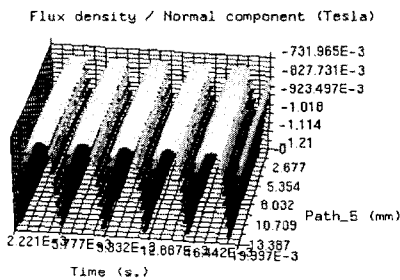


그림 15. 고정자요크에서의 자속밀도
Fig. 15. Flux density in stator yoke

그림 15는 그림 8의 A1B2 부위에서 그림 14의 전류가 흘렀을 때의 자속밀도를 보여주고 있다. 이 때의 자속밀도는 대략 0.8~1.2[T] 사이를 보여주고 있다. 이와 같은 결과에서 보듯이 6/3 SRM의 고정자에서 자속의 교변이 없이 한 방향으로만 자속이 흐른다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서 고정자에서 자속의 교변이 없는 2상 6/3 SRM의 특성을 해석하였다. 다른 SRM과 달리 제한한 2상 6/3 SRM은 고정자에서 자속의 교변이 없고 자속의 통로도 다른 SRM의 2/3정도로 짧아 철손이 현저히 작아진다. 또한 2상 SRM의 가장 큰 단점인 자기동 문제를 비대칭 회전자 구조를 채택함으로써 고성능 특성과 간단한 인버터 구성으로 저가의 제작비를 필요로 하는 소형전동기에 적합함을 확인할 수 있었다. 전동기의 특징은 다음과 같다.

- (1) 고 효율 : 가변속 구동시스템의 손실은 동손, 철손, 기계손뿐 만 아니라 컨버터의 스위칭 손실도 포함된다. 스위칭 손실은 스위칭 소자의 수와 스위칭 주파수에 비례한다. 2상 6/3 SRM은 일반적인 3상 6/4 SRM에 비해 1회전에 필요한 전체 스위칭 수는 절반에 불과하고 스위칭 소자의 수자도 2/3정도로 줄어든다. 고정자의 보조극에 있는 권선은 병렬로 연결되어 있어 주자극 권선에 비해 전류가 절반의 전류가 흐름으로 동손을 또한 줄일 수 있다. 철손은 스위칭 주파수와 자속 밀도와 밀접한 관계가 있다. 2상 6/3 SRM은 다른 SRM에 비해 스위칭 주파수가 적을 뿐만 아니라 고정자내에서 자속의 교변이 없고 자속 통로의 길이도 짧아 철손을 줄일 수 있다.
- (2) 저가의 구동시스템 : 전동기는 2상 인버터로 동작하기 때문에 6개의 스위칭 소자가 필요한 3상 6/4 SRM에 비해 3개 내지 4개의 스위칭 소자로 동작하기 때문에 저가로 인버터를 구성할 수 있다. 고정자 보조극의 권선에 흐르는 전류는 주자극 권선에 흐르는 전류에 비해 절반의 전류가 흐름으로 주자극의 권선에 비해 가는 권선을 사용하는 것이 가능하므로 권선에 사용되는 구리를 적게 할 수 있다. 또한 보조극의 극호는 주자극의 극호에 비해 절반으로 만들 수 있어 철심의 재료고 절약하고 권선을 감는 공간도 넓힐 수 있다.
- (3) 자기동 능력 : 단상이나 2상 SRM은 근본적으로 자기동 능력이 결여되어 있어 실용화에 결

림들이 되어왔다. 이들 SRM은 기동을 위해서는 부가적인 장치를 달거나 자기적 구조를 왜곡하여 기동을 시키고 있으나 이는 정상운전시의 특성을 자하시키는 결과를 가져온다. 그러나 2상 6/3 SRM은 회전자의 공극을 두 단계로 나누어 일반적인 SRM 처럼 공극이 최소로 일정한 구역과 공극이 비례적으로 커지는 구역으로 나누는 것으로 성공적으로 자기동능력을 가지게 되었다. 정상운전시에는 일반적인 SRM과 같은 제어방식과 특성을 가진다.

- (4) 단방향 회전 : 이 전동기의 단점은 양방향 회전이 안 되고 오로지 설계시에 결정되는 한 방향으로만 운전이 되는 것이 큰 단점이다.

References

- [1] P.J.Lawrenson, J.M.Stephenson, P.T. Blenkinsop, J.Corda and N.N.Fulton, "Variable-speed switched reluctance motors", Proc. IEE, Vol.127, Pt-B.
- [2] T.J.E Miller, Switched Reluctance Motor and Their Control, Clarendon Press. Oxford, pp.25-35, 1993,
- [3] Y.Hayashi and T.J.E. Miller, "A New Approach to Calculating Core Losses in the SRM", IEEE Trans. on IA, Vol.31, No.5, pp.1039-1046, 1995.
- [4] Keunsoo Ha, Cheewoo Lee, Jaehyuck Kim, Krishnan, R. and SeokGyu Oh, "Design and Development of Low-Cost and High-Efficiency Variable-Speed Drive System With Switched Reluctance Motor", IEEE Trans. on IA, Vol.43, pp703-713, May-june 2007.

◇ 저자소개 ◇

이치우 (李致雨)

1972년 10월 14일생. 1996년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1998년 부산대학교 전기공학과 대학원 졸업(석사). 1998~2003년 LG Electronics 선임연구원. 2005년~현재 Virginia Polytechnic Institute and State University 전기공학과 박사과정.

오석규 (吳錫奎)

1967년 6월 2일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동대학 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동대학 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993~1994년 현대중공업 사원. 2004년 8월~2006년 2월 미국 Virginia Tech. 전기공학과 방문교수. 1998년~현재 진주산업대 메카트로닉스공학과 부교수.