

Pallet Truck용 6/4 SRM의 설계 및 운전특성

安珍雨[†], 宋賢洙^{*}, 李東熙^{**}

Design and Drive Performance of 6/4 SRM for Pallet Truck Application

Jin-Woo Ahn, Hyun-Soo Song, and Dong-Hee Lee

요 약

본 연구는 최근 관심이 높아지고 있는 스위치드 릴럭턴스 전동기(SRM)를 적용한 소형 지게차의 구동시스템 개발에 관한 연구이다. SRM은 스위칭 전원에 적절한 전동기구조로서, 전력전자기술의 발달에 힘입어 최근 연구가 활발히 이루어지고 있다.

본 연구에서는 기존 소형 전지지게차에 사용되어지고 있는 직류직권 전동기를 경제적이고 고효율, 견고성, 넓은 범위의 속도제어가 가능한 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM)로 대체하기 위해 저전압용 전동기를 설계하고 이 전동기를 구동하기 위한 구동 시스템을 개발하였다. 또한 실제 전기 지게차에 적용하기 위하여 구동시스템의 운전특성을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper is to research about design and drive system of a switched reluctance motor for a pallet truck application. SRM is suitable for a pulse type source and is researched for home and industrial applications owing to the advance of power electronics technology.

An SRM for a pallet truck drive is developed and tested. The drive system has to operate with low voltage and high current. The small size, robustness and high efficiency make it possible to replace with DC motor which is used in a pallet truck conventionally. Test results show that pallet truck with SRM has better drive characteristics than that of the DC motor performance.

Key Words : Pallet Truck, SRM, Design, Drive.

1. 서 론

최근 대기 오염에 대한 관심이 고조되고 작업환경의 개선을 위해 산업현장 내에서도 배기가스를 발생하지 않는 장타들을 사용하는 경향이 높아지고 있다. 그 중에서도 산업현장 전 분야에서 활용되고 있는 밧데리를 전

원으로 하는 전기 지게차의 사용이 확대 되고 있다.

현재 사용되고 있는 전기 지게차용 전동기는 저전압으로 구동되고 부하의 변동에 속응하는 직류 직권의 특성을 가지는 전동기구조를 사용하고 있다^[1]. 그러나 직류 직권전동기는 회전자에 연결되는 브러시를 가짐으로서 사용 연한이 제한되고 브러시 마모시 교체등의 결점을 가지게 된다. 이러한 단점을 해결하는 방안으로 브러시리스 타입의 교류전동기가 검토되고 있다. 이러한 요구조건을 만족하는 전동기로 유도전동기, BLDC 전동기, SRM 등이 거론되고 있으나 전동기 구동효율, 가격, 운전특성 등이 고려될 때 SRM이 유력한 견인전동기로 대두되고 있다^[2].

[†] 교신저자 : 정회원, 경성대 전기전자컴퓨터공학부 교수
E-mail : jwahn@ks.ac.kr

^{*} 학생회원, 경성대대학원 전기전자공학과 석사과정

^{**} 정회원, 경성대 전기전자컴퓨터공학부 Post Doc.

접수일자 : 2003. 8. 27 1차 심사 : 2003. 9. 19

2차 심사 : 2003. 10. 21 심사완료 : 2003. 11. 10

본 연구에서는 기존 소형지계차에 적용되고 있는 직류 직권 전동기를 경제적이고 고효율, 견고성, 넓은 범위의 속도제어가 가능한 스위치드 릴럭턴스 전동기 (Switched Reluctance Motor, 이하 SRM이라 함)^{[3]-[6]}로 교체하기 위해 저전압용 전동기의 설계와 드라이브 시스템을 개발하고 실제 전기 지계차에 적용하기 위해 실험을 행하고, 그 적용성 및 효율성을 확인하였다.

2. 지계차용 SRM 시스템의 개발

소형 지계차용 SRM의 개발에서의 유의 사항은 기존에 일반적으로 개발되었던 비교적 높은 전압 및 낮은 전류에서 구동되는 SRM과는 달리, 낮은 전압과 비교적 높은 전류에서 구동되는 SRM을 설계 제작하여야 된다. 또한, 전원의 구성이 24[V], 60[A] 급의 비교적 높은 전류에서 SRM이 구동되어지므로 이에 따라 경제적인 인버터의 설계와 전동기 및 인버터의 온도 상승과 냉각에 대해 검토해야 된다.

2.1 SRM의 설계

SRM의 설계에서 전동기의 축은 표준 생산 치수를 사용하였고, 전체적인 체적은 기존 직류직권 전동기의 체적 및 치수를 고려하여, 최대출력이 나올 수 있도록 설계에 적용하였다. 또한 위치검출용 엔코더의 장착을 위해 전동기내에 여유공간을 두었다.

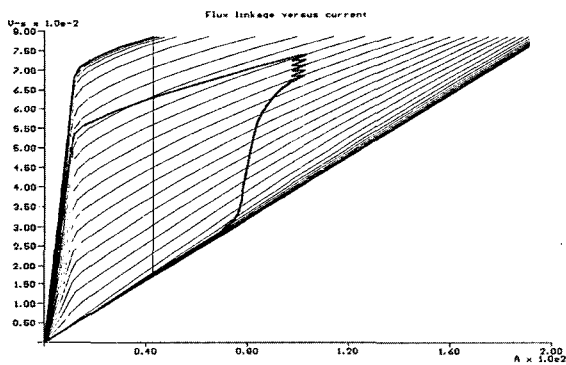


그림 1 설계에 따른 전류-자속 곡선
Fig. 1 Current flux-linkage curve

그림 1은 설계에 따른 전류-자속 곡선을 나타낸다. SRM의 상 스위치 소자의 정격 및 경제성을 고려하여, 상당 전류의 최대치가 가능한 낮게 되도록 설계하였다^[4]. 이상의 설계요인을 고려한 시작전동기설계에 의해 제작된 SRM의 형상과 치수는 그림 2와 표 1에, 전류에 따른 인덕턴스 프로파일은 그림 3에 나타내었다.

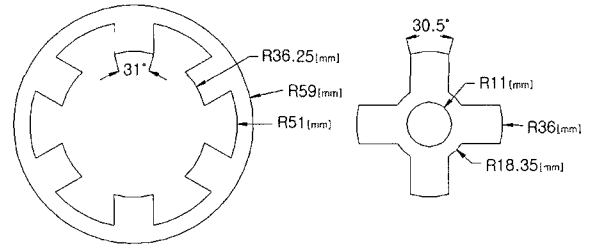


그림 2 설계된 고정자와 회전자형상
Fig. 2 Designed stator and rotor

표 1 전동기의 치수

Table 1 Parameters of designed motor

No. of stator/rotor pole	6/4
rotor yoke thickness	11[mm]
rotor diameter	36[mm]
stator yoke thickness	8[mm]
stator diameter	59[mm]
air gap	0.25[mm]
stack length	75[mm]
turns/pole	24
rotor pole arc.	30.5 [deg.]
stator pole arc.	31[deg.]

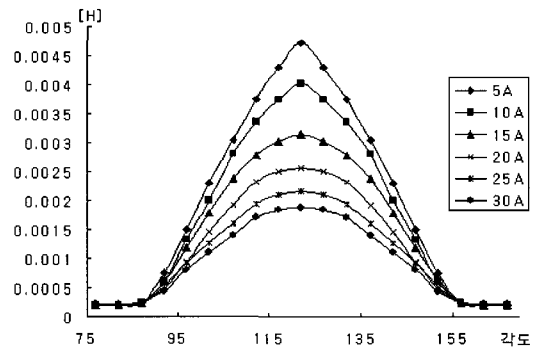


그림 3 전류에 따른 인덕턴스 프로파일
Fig. 3 Inductance profiles

설계에 의해 제작된 SRM과 기존 지계차에 사용된 직류직권 전동기의 제원은 표 2와 같다. 직권전동기에 필수적인 브러시 부분을 제거함으로써, 마그네틱 엔코더를 추가하고도 직권전동기와 동일 출력을 얻으면서 전동기의 길이를 60[mm]정도 축소하여 설계되었으며, 그 결과 전동기를 소형화 할 수 있어 구동바퀴에 장착하기 용이하게 되었다. SRM은 브러쉬부분을 제거할 수 있으며, 자속밀도를 높일 수 있어 크기를 줄일 수

있기 때문이다^[2]. 또한 구동바퀴의 회전을 위한 공간을 축소할 수 있어 지게차를 소형, 경량화 할 수 있다. 제작된 시제품과 동급 직류전동기의 형상은 그림 4에서 보여준다.

표 2. 전동기의 제원 비교
Table 2 Comparison of DCM and SRM

전동기 종류	직류직권 전동기	SRM
정격 전압	24[V]	24[V]
정격 전류	60[A]	60[A]
정격 속도	2150[rpm]	2150[rpm]
정격 연속시간	1[hr]	1[hr]
전동기 외경	126[mm]	130[mm]
전동기 길이	290[mm]	230[mm]

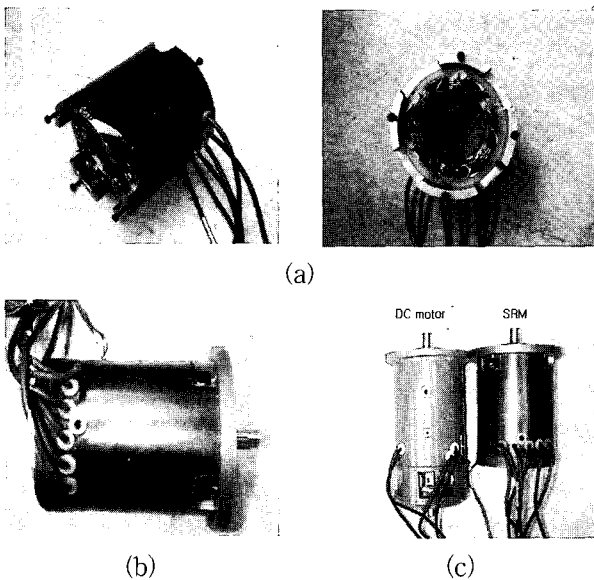


그림 4 SRM 시제품과 동급 직류직권 전동기
Fig. 4 Prototype SRM and DC series motor
(a)stator, (b)assembled SRM, (c)DCM and SRM

2.2 SRM용 엔코더의 설계

6/4극 SRM에서 회전자의 위치정보는 필수적이다. 엔코더는 전동기의 기동 및 최대부하에서 운전이 가능하도록 설계가 되어야 한다. 본 개발에서는 그림 5와 같이 8극 링형 자석과 3개의 홀센서를 사용하였다.

엔코더의 3개의 홀센서에서 나오는 신호는 전기각 90°씩 대칭형 주기로 발생하도록 위치시켰으며, 발생된 신호는 도통각 30°, 토오크각 15°의 대칭형 상 스위칭 신호가 나오도록 제어기에서 처리하였다. 이러한 대칭형 상 스위칭 신호로서 효과적인 정방향 및 역방향 운전이 가능하며 정방향 및 역방향의 운전에 있어서 같은 출력을 낼 수 있는 장점이 있다.

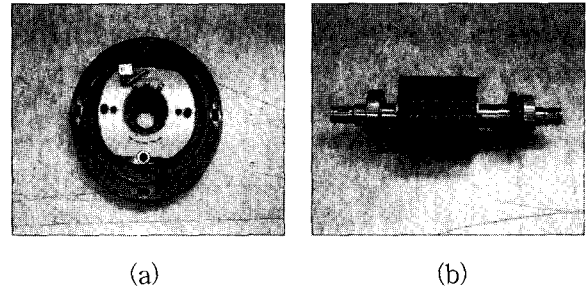


그림 5 엔코더부와 회전자
Fig. 5 Encoder with Hall sensor and rotor
(a)Hall sensor, (b)8-poles magnet on the rotor

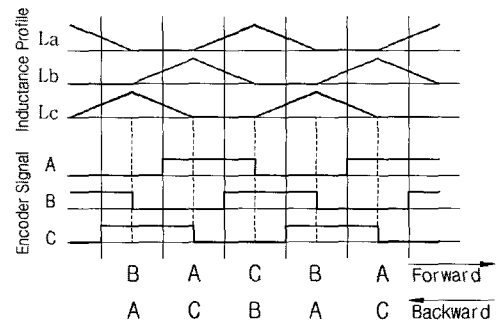


그림 6 인덕턴스 프로파일과 엔코더신호
Fig. 6 Inductance profile and encoder signal

그림 6은 제작된 엔코더의 신호 출력부와 신호출력을 위한 8극 마그네트를 보이고 있다. 회전자에 의한 자속의 왜곡과 열적인 문제를 해결하기 위하여 마그네트는 회전자와 일정한 거리를 두고 위치하도록 하였다.

그림 6에서는 이상적인 인덕턴스 프로파일에 따른 8극 엔코더에서의 출력신호를 보이고 있다. 그림 5의 엔코더에 의한 회전자 신호를 이용하여 정역방향의 운전을 위한 신호를 쉽고, 견실하게 생성할 수 있다. 즉 정방향은 엔코더 신호를 이용하여 'A→C→B'의 순서로, 역방향은 'A→B→C'의 순서로 여자하는 경우이다.

2.3 구동시스템

설계에 의해 제작된 전동기 및 제어기로 구동시스템을 구성하였다. 그림 7은 시스템 전체 블록도이다. 각 상의 스위칭은 그림 6의 엔코더 출력신호를 받아 상신호로 디코더 되어 행하게 된다. 속도명령은 가변저항 방식의 외부 조절레버에 의하여 발생하며, 상신호와와의 조합에 의하여 최종 출력 신호로 발생되게 된다.

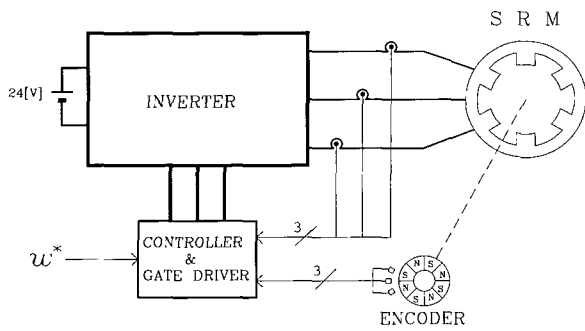


그림 7 구동 시스템의 블록도
Fig. 7 Block diagram of the drive system

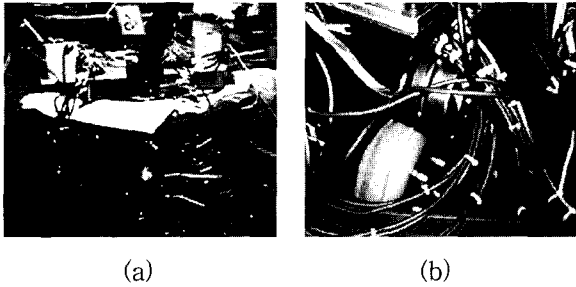


그림 8 장착된 전체 시스템
(a) 전체 시스템 (b) 전동기가 장착된 회전부
Fig. 8 SRM drive system (a) Entire system (b) Front view equipped with sr motor

그림 8은 지게차에 실제 장착한 사진이다. 직류직권 전동기에 비해 길이 및 체적이 작으므로 장착시 더 적은 장착공간을 요구한다. 또한 기존 직류전동기에서는 정역회전의 전환을 위해서 마그네트형의 대용량의 스위치가 필요하였다. 본 시스템에서 적용한 속도조절레버는 정·역 각각 방향으로 가변저항이 들어있어서 시계·반시계방향으로 회전함에 따라서 간단하게 정역신호 및 속도지령치를 구현할 수 있었다. 그림 8(b)의 조절레버에 의한 신호를 컨트롤러부에서 처리하도록 하여 정회전 및 역회전을 행하게 된다. 그림 8(c), (d)는 구동바퀴 및 방향조정을 위한 회전부의 사진을 보여준다. 기존 직류기를 제거하여 공간이 충분히 남는 것을 확인할 수 있다. 향후 개발된 전동기를 채택한다면 지게차 전체 프레임을 줄일 수 있을 것이다.

3. 실험 결과

그림 9는 전동기 상전류를 보여준다. 견실한 운전을

위해 비대칭형 인버터를 사용하고, 여자신호는 펄스모드로 운전한다. 각 부하모드에서 적절한 전류형상을 보여준다.

그림 10은 기존 직류전동기와 본 연구에서 개발된 전동기의 운전특성을 비교한 것이다. SRM이 토크, 출력 등이 직류기보다 우수하고 결과적으로 운전효율

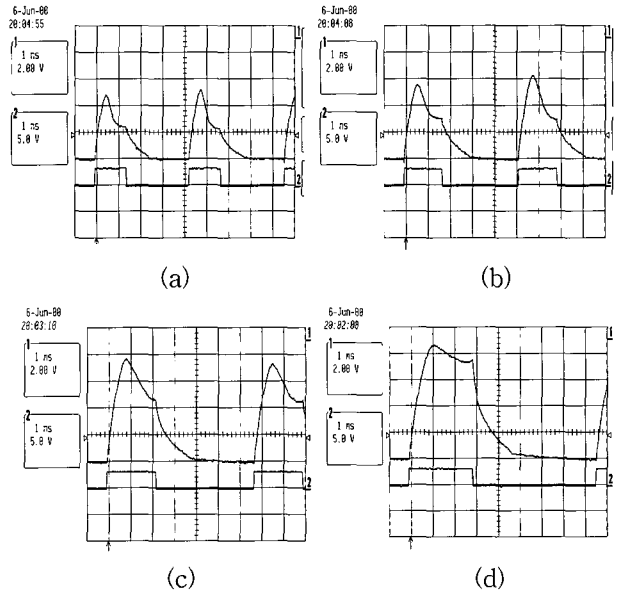


그림 9. 상전류파형
(a)1/3부하 (b)2/3부하 (c)정격부하
(d)과부하 (수평:1ms/div., 수직:20A/div.)
Fig. 9 Phase current
(a)1/3 load (b)2/3 load (c)ratedload
(d)over load(Hor.:1ms/div., Ver.:20A/div.)

도 높다. 특히 경부하시 효율이 높은데, 이는 경부하시 브러쉬손실이 큰 부분을 차지하는 데 SRM은 이를 제거할 수 있기 때문이다. 이것으로 SRM의 구동특성이 기존 직류전동기보다 우수하며, 그 결과 그림 11과 같이 출력 및 효율면에서도 유리하다는 것을 알 수 있다. 특히, 고속에서 운전효율이 높아 고속구동에 유리하다. 전동기의 온도상승도 직류기에 비해 상당히 낮아, 브러시를 제거하는 장점과 더불어 우수한 내구성 및 무보수의 특징을 가진다.

실험결과에서 알 수 있듯이, 기존 직류직권 전동기와 개발된 SRM을 비교하면, 부하특성 및 직권특성은 기존 직류전동기보다 우수한 결과치를 보인다. 또한 효율 및 온도상승률에서도 기존 직류전동기에 비하여 SRM이 더 우수함을 알 수 있다.

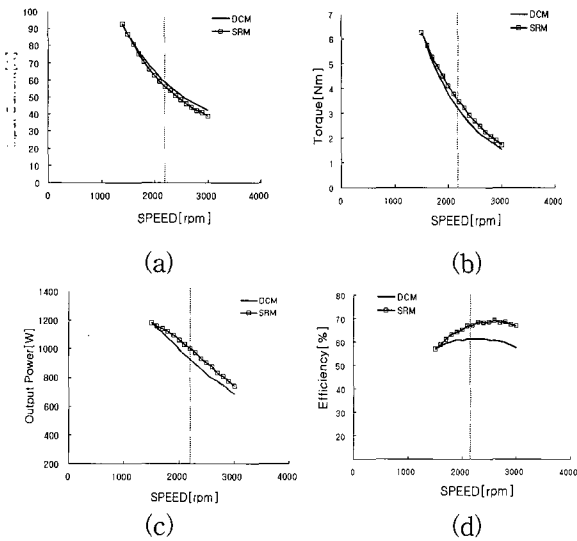


그림 10 직류직권 전동기와 SRM의 특성 비교
 (a) 입력전류, (b)토크, (c)출력, (d)효율
 Fig. 10 Comparison of SRM and DC Series Motor
 (a) Input current, (b) Torque,
 (c) Output power, (d) Efficiency

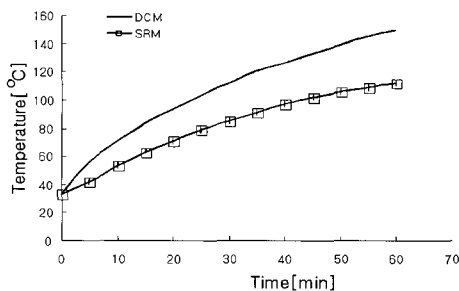


그림 11 온도상승특성 비교
 Fig. 11 Temperature characteristic

4. 결 론

설계된 SRM은 기존 직류직권 전동기에 비하여 브러시 부분이 없고, 마그네틱 엔코더 또한 전동기내부에 포함되어 전동기의 길이가 짧아지게 된다. 이것으로 지게차 구동 및 제작에 용이하며, 브러시의 마모 등에 의한 보수의 필요성이 없다. 또한 비교적 간단한 회로를 사용하여 제어기를 구현하여 신뢰성 및 경제성을 높일 수 있고 기존의 직류직권 전동기와 비교하여 고효율로 운전할 수 있다. 특성비교 시험으로부터 시작 전동기는 기존의 직류직권전동기의 구동특성을 가지며, 온도상승과 효율에서 기존의 직류 전동기보다 뛰어난 특성을 가짐을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Lawrenson, P.J. et al : "Variable-speed Switched Reluctance Motors", Proceedings IEE. Vol. 127. Pt. B. pp. 253~265.
- [2] 안진우 "스위치드 릴럭턴스 전동기 구동과 응용", 오성미 디어, 2001.
- [3] Euxibie, E. and Thenaisie, P. : "A Switched Reluctance Drive for Pallet Truck Applications", Intelligent Motion, Proceedings, pp. 88~100. June. 1990.
- [4] 안진우 "1.5kW급 스위치드 릴럭턴스 전동기 개발" 공업기반기술개발사업기술개발 보고서, 1997.
- [5] 안진우 외 2 : "Pallet Truck용 6/4 SRM", 전력전자학술대회 논문집, pp. 844~847, 2003. 7.
- [6] 안진우, 장유정 : "SRM의 4상한 구동을 위한 전류제한방식" 전력전자학회 논문지 8권 3호, pp. 285~291, June. 2003.

저 자 소 개



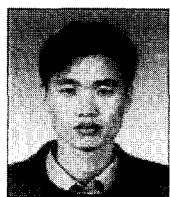
안진우(安珍雨)

1958년생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1995년 12월~1996년 2월 영국 글래스고우대 방문연구원. 1998년 8월~1999년 8월 미국 위스컨신대 방문교수. 1992년~현재 경성대 전기전자컴퓨터공학부 교수. 당 학회 학술이사.



송현수(宋賢洙)

1975년생. 2002년 경성대 전기전자공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



이동희(李東熙)

1970년생. 1996년 부산대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2001~경성대 Post Doc.