

Pallet Truck용 1.2kW급 SRM 구동시스템

이주현, 안영주*, 안진우
 경성대학교, 부경대학교*

Drive System of 1.2kW SRM for Pallet Truck Application

Ju-Hyun Lee, Young-Joo An*, Jin-Woo Ahn
 Kyungsung University, Pukyong National University*

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.

1. 서 론

현재 사용되고 있는 전기 지게차용 전동기는 저전압으로 구동되고 부하의 변동에 속응하는 직류 직권의 특성을 가지는 전동기구를 사용하고 있다^[1]. 그러나 직류 직권전동기는 회전자에 연결되는 브러시를 가짐으로서 사용 연한이 제한되고 브러시 마모 시 교체 등의 결점을 가지게 된다. SRM은 이러한 단점을 해결하는 방안으로써 전동기 구동효율, 가격, 운전특성 등이 고려될 때 유력한 견인전동기로 대두되고 있다^[2].

본 연구에서는 기존 소형지게차에 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 지게차에 적용하기 위해 실험을 행하고, 그 적용성 및 효율성을 확인한다.

2. 지게차용 SRM 시스템의 개발

2.1 SRM의 설계

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

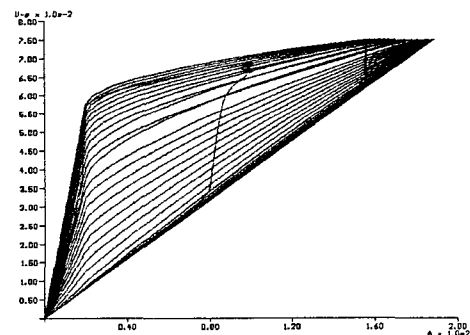


그림 1 설계에 따른 전류-자속 곡선
 Fig. 1 Current flux-linkage curve

그림 1은 설계에 따른 전류-자속 곡선을 나타낸다. SRM의 상 스위치 소자의 정격 및 경제성을 고려하여, 상당 전류의 최대치가 가능한 낮게 되도록 설계하였다^[4].

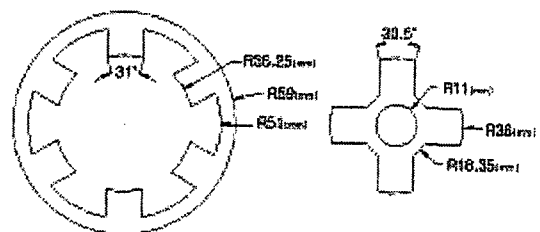


그림 2 설계된 고정자와 회전자형상
 Fig. 2 Designed stator and rotor

이상의 설계요인을 고려한 시작전동기 설계에 의해 제작된 SRM의 형상과 치수는 그림 2와 표 1에, 전류에 따른 인덕턴스 프로파일은 그림 3에 나타내었다.

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.]

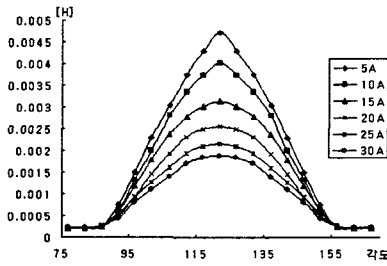


그림 3 전류에 따른 인덕턴스 프로파일
Fig. 3 Inductance profiles

설계에 의해 제작된 SRM과 기존 지게차에 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 소형화할 수 있어 기존 시스템에 장착하기 용이하게 되었다. 또한 SRM은 자속밀도를 높일 수 있어 크기를 줄일 수 있기 때문이다^[2]. 또한 설치에 따른 공간을 축소할 수 있어 지게차를 소형, 경량화 할 수 있다. 제작된 시작품과 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]

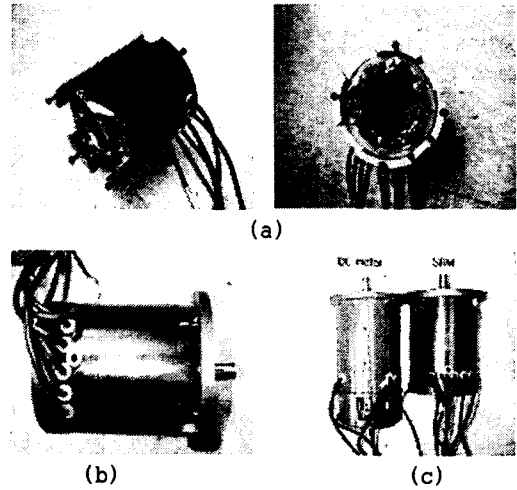


그림 4 SRM 시제품과 동급 직류직권 전동기
(a)고정자, (b)조립된 SRM, (c) 직류기와 비교
Fig. 4 Prototype SRM and DC series motor
(a)stator, (b)assembled SRM, (c)DCM and SRM

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°의 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.

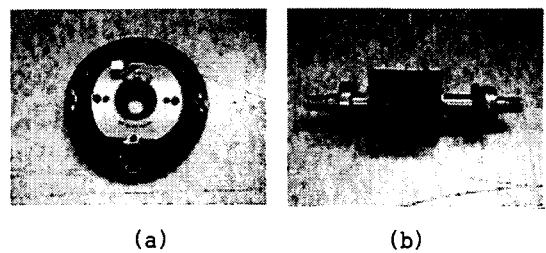


그림 5 엔코더부와 회전자
(a)홀센서, (b)8극 마그네트가 부착된 회전자
Fig. 5 Encoder with Hall sensor and rotor
(a)Hall sensor, (b)8 poles magnet on the rotor

그림 5는 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. 그림5의 엔코더에 의한 회전자 신호를 이용하여 정역 방향의 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.

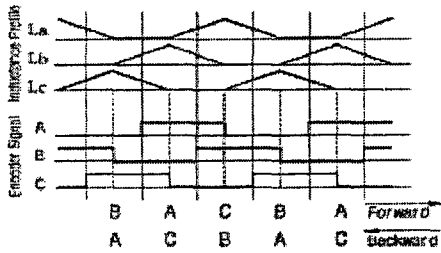


그림 6 인덕턴스 프로파일과 엔코더 신호
Fig. 6 Inductance profile and encoder signal

2.3 구동시스템

설계에 의해 제작된 전동기 및 제어기로 구동시스템을 구성하였다. 그림 7은 시스템 전체 블록도이다. 각 상의 스위칭은 그림 6의 엔코더 출력신호를 받아 상 신호로 디코더 되어 행하게 된다. 속도 명령은 가변저항방식의 외부 조절레버에 의하여 발생하며, 상신호와의 조합에 의하여 최종 출력 신호로 발생되게 된다.

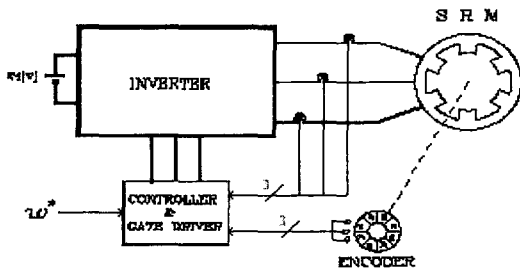


그림 7 구동 시스템의 블록도
Fig. 7 Block diagram of the drive system

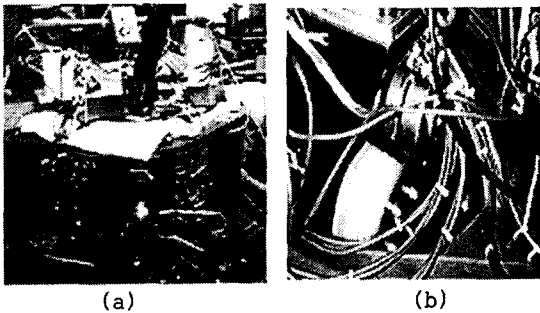


그림 8 장착된 전체 시스템
(a) 전체 시스템 (b) 전동기가 장착된 회전부
Fig. 8 SRM drive system
(a)entire system (b)front view with motor

그림 8은 지게차에 실제 장착한 사진이다. 직류직권 전동기에 비해 길이 및 체적이 작으므로 장착 시 적은 공간을 요구한다. 또한 기존 직류전동기에서는 정역회전의 전환을 위해서 마그네트형의 대용량의 스위치가 필요하였다. 그러나 본 시스템에서 적용한 속도조절레버는 정·역 각각 방향으로 가변저항으로 구성되어 시계·반시계방향으로 회전함에 따라서 쉽게 정역신호 및 속도지령치를 구현할 수 있다. 조절레버에 의한 신호를 컨트롤러부에서 처리하도록 하여 정회전 및 역회전을 행하게 된다.

3. 실험 결과

전동기 구동을 위한 장치는 견실한 운전을 위해 비대칭형 인버터를 사용하고, 여자신호는 펄스모드로 운전한다.

그림 9는 전동기 상전류를 보여준다. 각 부하모드에서 적절한 전류형상을 보여준다.

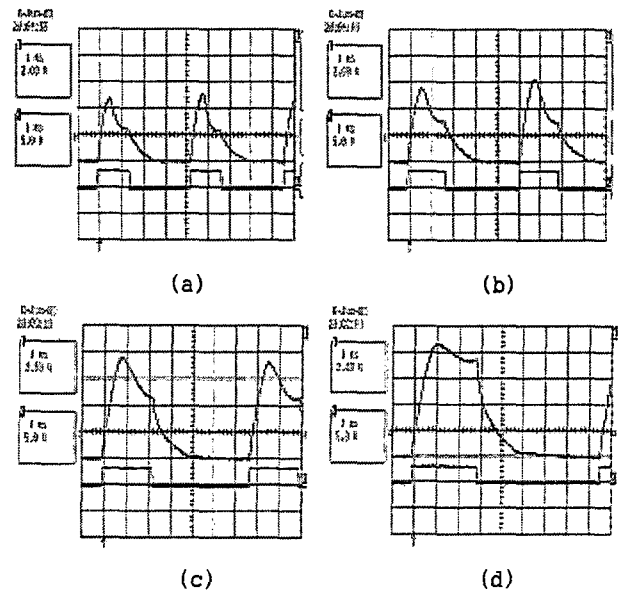


그림 9. 상전류파형 (a)1/3부하 (b)2/3부하 (c)정격부하 (d)과부하 (수평:1ms/div., 수직:20A/div.)

Fig. 9 Phase current (a)1/3 load (b)2/3 load (c)rated load (d)over load(Hor.:1ms/div., Ver.:20A/div.)

그림 10은 기존 직류전동기와 본 연구에서 개발된 전동기의 운전특성을 비교한 것이다. SRM이 토크, 출력 등이 직류기보다 우수하고 결과적으로 운전효율도 높다. 특히 경부하 시 효율이 높는데, 이는 경부하 시 손실의 큰 부분을 차지하는 브러시 마찰손실을 SRM은 제거할 수 있기 때문이다. 이것으로 SRM의 구동특성이 기존 직류전동기보다 우수하며, 그 결과 그림 11과 같이 출력 및 효율면에서도 유리하다는 것을 알 수 있다. 특히, 고속에

서 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 직권 특성은 기존 직류전동기보다 우수한 결과치를 보인다. 또한 효율 및 온도상승률에서도 기존 직류전동기에 비하여 SRM이 더 우수함을 알 수 있다.

의 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. 특성 비교 시험으로부터 시작 전동기는 기존의 직류직권 전동기와 유사한 구동특성을 가지며, 온도상승과 효율에서 기존의 직류 전동기보다 뛰어난 특성을 가짐을 확인하였다.

본 연구는 BE21의 지원에 의하여 수행되었음.

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", 오성미디어, 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" 공업기반기술 개발사업기술개발 보고서, 1997.
 [5] 안진우 외 2 : "Pallet Truck용 6/4 SRM", 전력전자 학술대회 논문집, pp844-847, 2003. 7
 [6] 안진우, 강유정: "SRM의 4상한 구동을 위한 전류제한 방식" 전력전자학회 논문지 8권3호, pp.285-291, 2003. 6

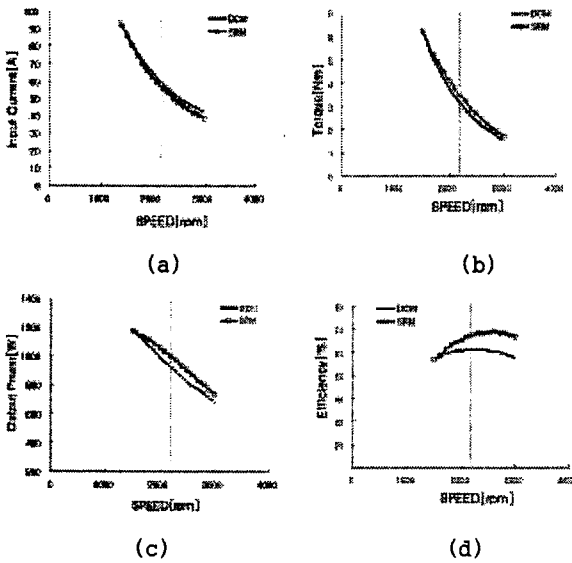


그림 10 직류직권 전동기와 SRM의 특성 비교
 (a)속도-입력전류, (b)속도-토크, (c)속도-출력, (d)속도-효율

Fig. 10 Comparison of SRM and DC Series Motor
 (a)Speed-Input current, (b)Speed-Torque, (c)Speed-Output power, (d)Speed-Efficiency

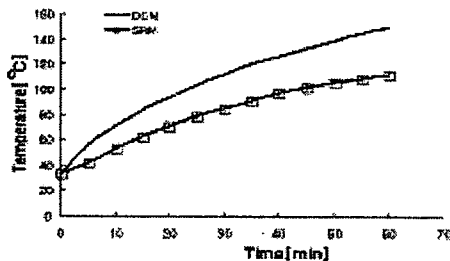


그림 11 온도상승특성 비교
 Fig. 11 Comparison of temperature characteristic

4. 결 론

설계된 SRM은 기존 직류직권 전동기에 비하여 브러시 부분이 없고, 마그네틱 엔코더 또한 전동기 내부에 포함되어 전동기의 길이가 짧아지게 된다. 이것으로 지게차 구동 및 제작에 용이하며, 브러시