

전동지게차용 스위치드 릴럭턴스 전동기 설계 및 특성해석

論 文
54B-11-2

Design and Characteristics Analysis of Switched Reluctance Motor for Electric Power Pallet Vehicle

吳周桓[†] · 李丙錫^{*} · 李春澤^{*} · 鄭雨容^{*} · 權丙一^{**}
(Ju-Hwan Oh · Byeong-Seok Lee · Choon-Tack Kim · Woo-Yong Jung · Byung-Il Kwon)

Abstract - This paper presents the design and drive characteristics of a switched reluctance motor for an electric power pallet vehicle. The designed switched reluctance motor is redesigned by using the finite element analysis(FEA) as a variation of the pole-arc angle for the purpose of an electric power pallet vehicle performance. The output power and torque characteristics of a switched reluctance motor are variable by switching angles of the commutator. Therefore this paper is studied about relationship between the output power and torque characteristics of a switched reluctance motor according to switching angles. The output power of the characteristic point of an electric power pallet vehicle has been shown by experiment. The designed motor drive system operates with the low voltage and high current with using the battery. The core and frame temperatures were described. In this paper, the designed motor is shown better drive characteristics than the DC motor from the rated to maximum, which is verified by the finite element analysis and experimental results.

Key Words : Switched Reluctance Motor, Electric Power Pallet Vehicle, Characteristic Point, Overlap Angle

1. 서 론

소음이 적고 청정한 환경을 조성하기 위해 산업분야에서 전기에너지를 이용하는 예가 증가되고 있는 실정이다. 그중 엔진 구동용 지게차를 전동 구동용 지게차로 대체 하고자 많은 연구가 시도되고 있으며 상용화되어 있다. 현재 전동 지게차의 구동용 전동기로써 DC전동기와 유도전동기를 사용하고 있다[1]. 지게차는 좁은 작업영역에서 순시적인 가감속으로 출력변화가 매우 심하기 때문에 현재 적용중인 DC전동기는 브러시나 contractor의 마모로 인해 교체의 필요성이 따르고 전기적인 spark의 위험성을 수반한다. 이러한 단점들을 없애기 위해 DC전동기에서 AC전동기로 바뀌는 추세이며 그중 유도전동기를 적용하여 상용화되고 있다. 하지만 복잡한 제어와 부수적인 전력변환장치가 필요하고 배터리를 사용하기 때문에 1층전 1작업량에서 낮은 효율을 지닌다[2][3]. 이러한 단점들을 줄이기 위해 고효율 BLDCM (brushless DC motor), PMSM(permanent magnet synchronous motor), SRM(switched reluctance motor) 등이 유력하나 유지보수 및 구동효율, 가격, 운전특성을 고려해볼 때 이 중 SRM은 이들 전동기들의 이점을 다수 지니고 있고, DC전동기와 유사한 속도-토크 특성을 갖는다[2]~[5].

본 논문에서는 DC전동기와 출력특성이 유사하고 기계적인 단점을 최대 줄일 수 있는 차세대 전동기중 SRM을 선정하였고, 전동지게차에 적용 가능한 SRM설계와 그 구동특성을 지게차에 실장착하여 그 가능성을 증명하고자 한다. SRM은 회전자에 영구자석이나 권선이 없으며 브러시 및 정류자가 없어 전동기 내구성고 유지보수성이 뛰어나다. 또한 한·두상의 고장이 있는 경우에도 낮은 출력으로 구동이 가능하고, 단위체적당 큰 토크 밀도를 얻을 수 있어 지게차 등 견인용에 필수적인 등판능력을 높일 수 있다. 고효율 소형경량화와 간단한 구조로 인해 전동지게차의 무게중심을 낮게 할 수 있고 저가격화를 실현할 수 있다. 하지만 SRM은 구동시 토크 리플 및 진동·소음이 DC전동기나 AC전동기보다 크므로 적용범위에 제한을 갖는다[8]~[10].

본 논문에서는 SRM에 대해 기본설계와 토크 리플 및 진동·소음을 줄이기 위해 자기형상 파라미터를 재설계 하였다. 정류(commutation)시 스위칭각 변화에 따른 출력특성을 FEA와 실제실험으로 고찰하여 그 각을 결정하였으며 전동지게차 구동용 전동기로써 가능성을 검증하였다.

2. 전동지게차 구동용 전동기

2.1 전동지게차 구동용 DC전동기 특성

전동지게차는 전동기와 배터리를 가지며 이를 제어함으로써 운전이 가능하다. 전동지게차에 전동기를 적용하기 위해서는 지게차에 부착할 수 있는 구조와 표준 배터리사용 그리고 기동 및 운전시 속도-토크 특성이 지게차 운전성능

[†] 교신저자, 正會員: 漢陽大學校 에너지변환시스템연구실
E-mail: ohjuhwan@ihanyang.ac.kr

^{*} 正會員 : (주) 두산인프라코어

^{**} 正會員 : 漢陽大學校 전자컴퓨터공학부 교수
接受日字 : 2005年 7月 7日
最終完了 : 2005年 9月 21日

을 만족해야 한다. 이러한 조건으로 현재 DC전동기가 주로 적용되고 있다. 그림 1은 현재 2.5 톤급 전동지게차에 적용되어지고 있는 13.4[kW] DC전동기의 특성결과이며 그림 2는 그 전동기의 단면도이다. 이 전동기는 계철외경 286 [mm], 계철두께 17[mm], 아마추어외경 165[mm], 축 외경 44[mm] 그리고 pole 외경 252[mm]의 사양을 갖추고 있다.

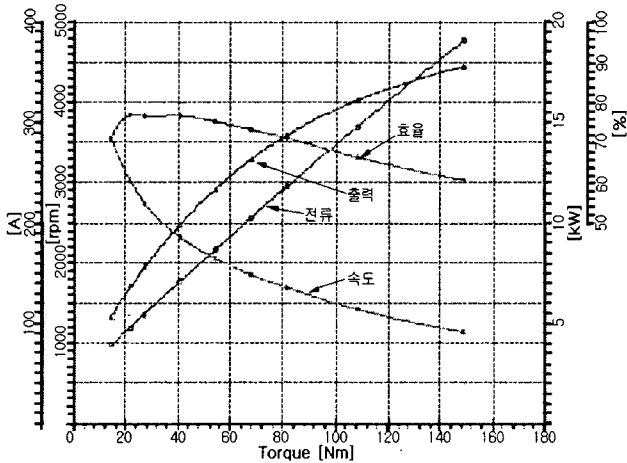


그림 1 13.4[kW]급 DC전동기 특성
Fig. 1 13.4[kW] series DC motor characteristic

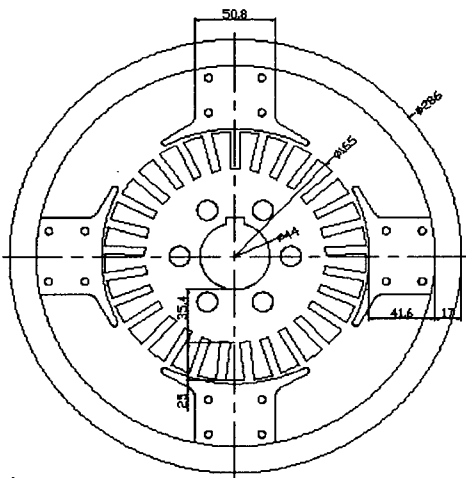


그림 2 13.4[kW] DC전동기의 단면도
Fig. 2 Diagram of 13.4[kW] DC motor

기존에 DC전동기의 속도-토크 특성이 유사하고, 유도전동기보다 간단한 구조를 지니며 제조비용 측면에서 저렴한 전동기중 본 연구에서는 SRM를 선정하였다. 표 1은 본 연구에서 기존 DC전동기와 유사한 구동특성을 갖는 전동지게차 구동용 SRM의 요구사양을 나타내었다.

표 1 전동지게차 구동용 SRM의 요구사항
Table 1 The require specification of SRM

정격출력[kW]	13.5
정격 전압[V]	80
공극[mm]	0.5
정격 속도[rpm]	1800
무부하 최고속도 (A점)	3850RPM / 11.4Nm
최대부하 최대속도(B점)	3120RPM / 22.4Nm
정격부하 정격속도(C점)	1800RPM / 71.6Nm

2.2 전동지게차 구동용 SRM 기본설계

전동지게차 구동용 SRM 설계시 입력전압과 각상권선에 흐르는 전류는 중요한 파라미터이다. 일반 범용 SRM에 흐르는 정격전류는 수십[A]정도에 달하지만 전동지게차 및 전기자동차와 같은 전인용 SRM은 표준 배터리를 사용하기 때문에 정격전류가 수십에서 수백[A]에 달한다.

전동지게차용 SRM 설계목표 및 요구사항은 속도 1800[rpm]이며, 토크 71[Nm], 출력 13.5[kW]급이다. 제약 조건은 전동기 외경이 286[mm]이며, 입력전압은 72[V]~80[V]이다. 형상설계는 전기장하와 자기장하를 고려한 출력방정식으로부터 SRM의 외경, 회전자의 직경, 축 방향 길이를 설계하고 전동기의 내부치수인 고정자와 회전자의 슬롯 깊이, 극폭 그리고 공극을 설계한다. 회전자의 회전력/체적 T_v [kNm/m³]은 식 (1)과 같다.

$$T_v = \frac{T}{\frac{\pi}{4} \cdot D_r^2 \cdot L_{str}} \tag{1}$$

SRM에 대한 출력방정식은 식 (1)로부터 식 (2)와 같이 정의한다. 식 (2)에서 토크 T와 회전자 외경 D_r , 그리고 축 방향 길이 L_{str} 중 제약조건을 고려하여 두 개의 미지수를 선정한다. 이것은 설계될 전동기의 사용목적에 의하여 결정한다[4].

$$T = K \cdot D_r^2 \cdot L_{str} \tag{2}$$

여기서, 출력계수 $K = T_v \cdot \frac{\pi}{4}$ 이며, T_v 는 재질과 가변속 구동을 고려하여 식 (3)의 범위에서 선택하였다.

$$15 \leq T_v \leq 50 \tag{3}$$

고정자 외경 D_s 는 설계 제약조건으로부터 주어지며, 더 큰 토크를 발생하기 위해서는 회전자 반경을 늘려야한다. 그러나 회전자 반경이 늘어난 만큼 고정자의 권선영역 면적은 줄어들게 되고 기자력(mm²)은 감소하게 된다. 따라서 고정자 외경은 식 (2)에서 구한 회전자 직경의 1.9배의 비율로 결정하였다.

요구사항에 맞는 SRM의 기본 설계파라미터를 식 (2)로부터 결정하였으며, 설계 및 해석은 상용프로그램인 MAXwell를 이용하여 기본설계 및 해석을 하였다. 표 2는 요구되어지는 설계사항에 의해 기본 설계된 SRM의 주요자기형상치수를 나타내었으며, 그림 3은 표 2에서 제시한 치수에 의해 설계된 SRM의 단면도이다.

기본 설계된 SRM은 FEA해석을 통하여 최적의 성능을 가질 수 있도록 재설계 하고자 한다.

표 2 설계된 SRM의 주요사항

Table 2 The specification of the designed SRM

Design Motor Parameter	Stator	Rotor
Number of poles	8 pole	6 pole
Pole arc [deg]	20	24
Outer diameter[mm]	252	133
Stack length	127	127
Steel	S-40	
Number of phase	4	
Turns per pole[turn]	10	
Air gap[mm]	0.5	
Frame diameter[mm]	286	

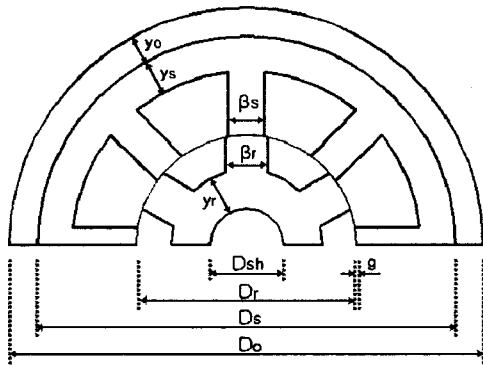


그림 3 설계된 SRM의 단면도

Fig. 3 Diagram of the designed SRM

2.3 극호각 변화에 따른 토오크 리플 특성

토오크 리플 및 소음·진동을 저감하기 위해 세부 자기형상치수를 결정하였다. 주로 SRM은 회전자 및 고정자의 극호각 변화에 따라 많은 영향을 미치는데, 본 논문에서는 기본설계 과정을 통한 회전자 극호각을 초기값으로 하고 고정자 및 회전자 각각의 극호각 β_s, β_r 을 변경해 가면서 SRM의 출력특성을 고찰하였다. β_s 와 β_r 은 식 (4)을 만족시켜야 하며, 이 관계를 그림 4와 같이 도식적으로 나타낼 수 있다[4].

$$(\beta_r + \beta_s) \leq \frac{2\pi}{N_r} \quad (4)$$

고정자와 회전자 극호각의 합은 회전자 극간격보다 작아야 하며 그림 4에 xyz영역이 고정자와 회전자 극호각의 설계범위가 된다. x점은 15[deg]가 되고, w점은 30[deg]가된다. x점과 w점의 중간각은 22.5[deg]가된다. 그림 5는 x점과 w점 위치에 따른 토오크 특성 해석결과를 보여주고 있다. 이 결과로부터 토오크리플 감소를 위해 15[deg]부터 22.5[deg]대역에서 극호각을 재설계하였다.

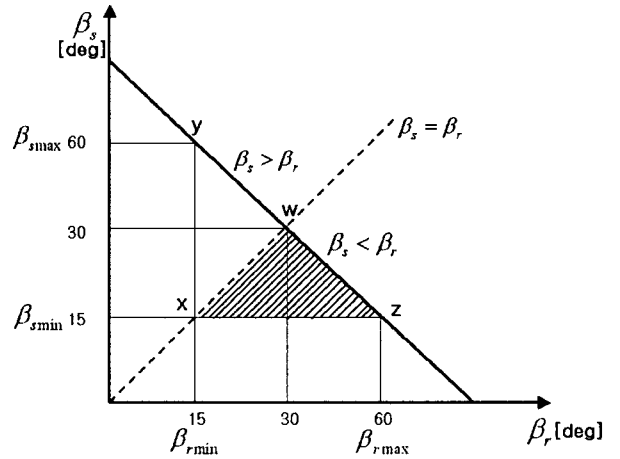


그림 4 설계가능한 극호각 조합의 삼각형 범위(8/6극)

Fig. 4 Feasible triangle for 4-phase 8/6 pole motor

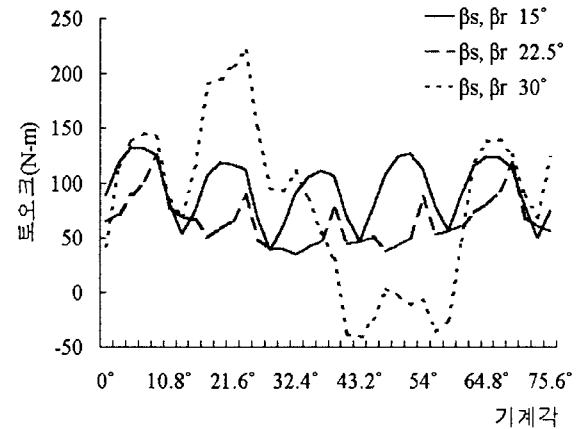


그림 5 선분 xw의 토오크 특성

Fig. 5 Torque characteristics of the xw line

2.4 상 전압 듀티비에 따른 토오크 리플 특성

SRM은 스위칭각 변화에 따라 출력특성의 변화가 큰 전동기이다. 따라서 인가되는 스위칭각 변화를 고려하여야 한다. 이와 같이 스위칭각을 고려한 동특성해석은 FEA을 이용하여 운전조건에 따른 상태를 해석하였으며, SRM 구동 컨버터를서는 비대칭 컨버터를 적용하였다. 본 논문에서는 외부구동회로를 사용하여 동특성해석이 가능한 상용프로그램인 MAXwell을 이용하였다. 각상의 스위치가 오프된후 전류 소호시간이 길어지면 부토오크 영역에서도 상당량의 전

류가 흐르게 되므로 부토크 영역이 나타나기 전에 전류를 완전히 소호시키거나 아주 적은량이 되도록해야 한다. 그림 6은 상 전압 듀티비 57.7[%], 53.3[%], 50.0[%]일 때에 토크 리플 특성을 보여주고 있다. 토크의 발생과 부토크영역을 고려하여 듀티비가 53.3[%]일 때 가장 적은 토크리플을 나타남을 보여준다.

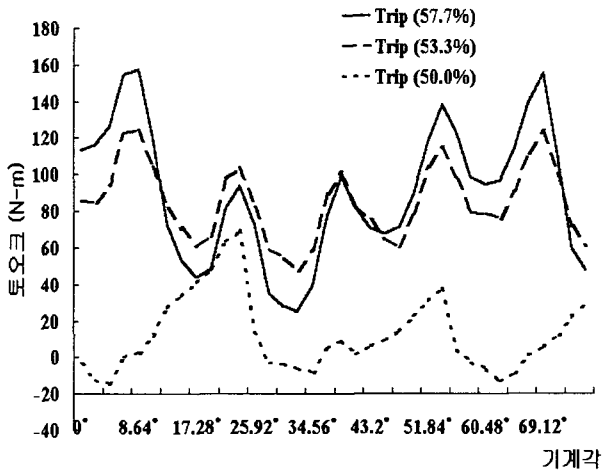


그림 6 듀티비에 따른 토크 특성
Fig. 6 Torque characteristics according to duty ratio

전체적인 설계과정과 스위칭 방법에 따른 FEA결과로부터 그림 7과 같이 선행각을 8°, 전류의 중첩각을 5°를 주었으며, 300[A]의 전류초평(chopping)을 고려하였다. 속도가 1800[rpm]으로 일정할 때, 인가된 전류에 대한 토크 파형을 그림 8에 나타내었다. 해석한 결과 평균 토크는 86.4 [Nm], 토크 리플은 식 (5)에 의해서 9.5[%]였으며, 그 토크 파형에 대한 고조파 분석은 그림 9와 같다.

$$\text{토크 리플} = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N T_n^2}}{T_0} \times 100 [\%] \quad (5)$$

여기서 n : 고조파 차수, T_0 : 평균 토크 이다.

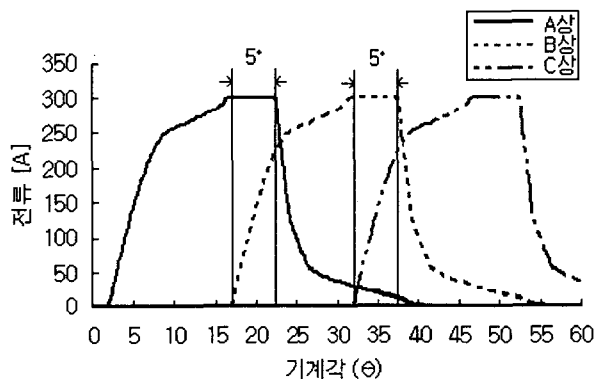


그림 7 전류특성
Fig. 7 Current characteristics

설계된 SRM의 해석결과 평균토크는 86.4[Nm]로 실차에 요구되어지는 평균 토크값 80[Nm]에 충분함을 알 수 있었다. 표 3은 동특성을 통하여 재설계된 SRM의 설계파라미터를 요약하여 보여주고 있다.

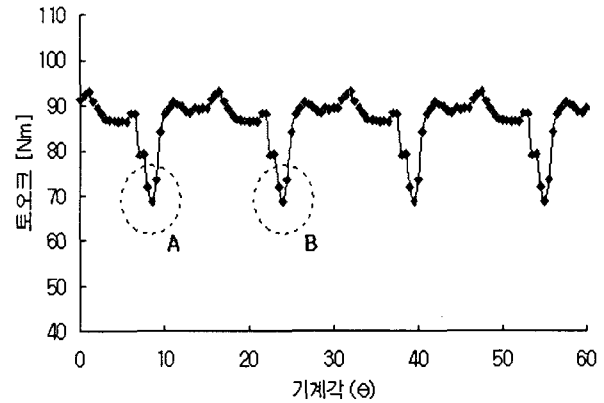


그림 8 토크 특성
Fig. 8 Torque characteristics

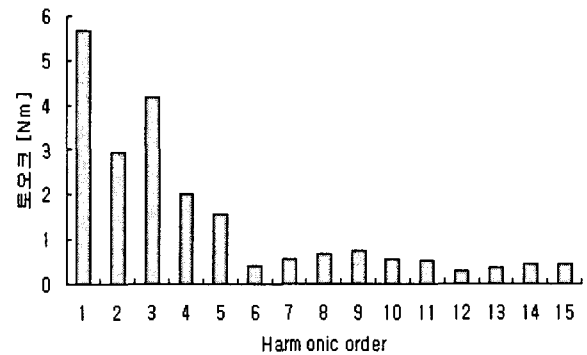


그림 9 토크 리플 고조파 특성
Fig. 9 Torque ripple harmonic components

표 3 8/6극 SRM 설계 파라미터
Table 3 Design parameters of SRM

정격출력[kW]	13.5
정격 전압[V]	80
공극[mm]	0.5
정격 속도[rpm]	1800
권선수[turn]	10
극수(고정자/회전자)[pole]	8/6
극호각(고정자/회전자)[deg]	18°/22°

3. 실험 결과 및 고찰

설계된 전동지게차 구동용 4상 8/6극 SRM에 대한 적합성을 검증하기 위해 시작품을 제작하였고 그 구동특성을 고

찰하였다. 그림 10은 본 논문에서 재설계된 8/6극 SRM의 시작품을 보여준다. 구동특성을 평가하기위해 사용된 다이 나모는 eddy current break형이며 사용 용량은 75[kW]급이다. 회전수는 4500[rpm]까지 가능하며 토오크센서와 속도센서가 부착되어 있어 속도-토오크 측정이 가능하다. SRM의 권선 및 프레임에 온도측정을 위해 YOKOGAWA사의 HR-1300을 사용하였다. 그림 11과 12는 실제 지게차에 장착된 SRM과 구동 컨버터이다.

전동지게차는 전동기에 대해 몇 가지 특성점을 요구한다. 표 1에서 특성점을 A, B, C점이라 하였으며 A점은 지게차가 짐을 싣지 않고 최고속도를 낼 수 있는지를 측정하는 점이고, B점은 지게차의 용량에 맞는 최대짐을 싣고 일정속도 이상을 낼 수 있는지를 측정하는 점이며, 마지막으로 C점은 정격점을 나타낸다. 표 4는 2.5톤급 지게차가 요구하는 각점에서 속도-토오크의 실험특성 결과를 보여준다. 이결과 지게차의 요구 수준을 모두 만족함을 알 수 있었다.

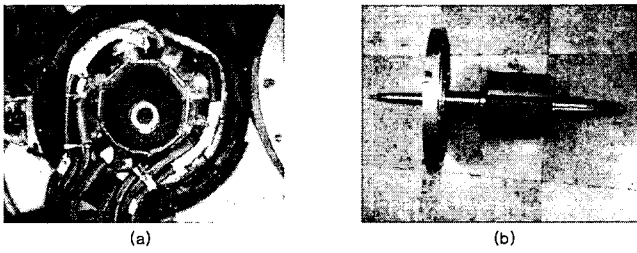


그림 10 전동지게차용 시작품 SRM (a)고정자, (b)회전자
Fig. 10 Prototype SRM (a) Stator, (b) Rotor

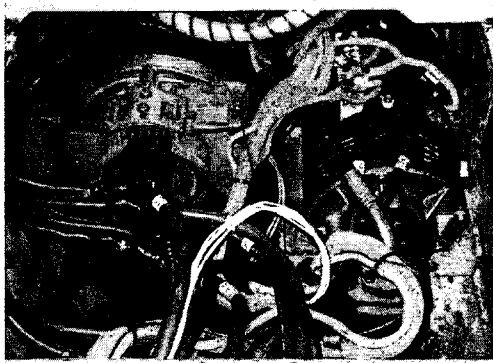


그림 11 지게차에 장착된 SRM(좌)
Fig. 11 Applied SRM on the pallet vehicle(left)

그림 13(a)~(c)는 각각 특성점에 따른 실제 상전류 파형을 보여주고 있다. 그림 13(a)는 A점에서 실효치 전류가 약 68[A]이며, 최대전류는 약 120[A]이다. 고정자와 회전자간 비정렬 위치에서는 전류가 지령치의 절반정도까지 올라가며 회전자와 고정자가 정렬될수록 역기전력이 증가하여 전류는 점점 낮아지는 형태를 보여준다. 그림 13(b)는 B점에서 실효치 전류가 약 93[A]이며, 최대전류는 약 250[A]이다. 그림 13(c)는 C점에서 실효치 전류가 약 135[A]이며, 최대전류는 약 260[A]이다. 그림 14는 실제실험을 통하여 진상각 및 중

첩각에 따른 출력특성을 보여주고 있다. 중첩각 변화에서 증가해야할 지점에서 낮아지는 경우가 있는데, 이는 중첩각을 조절함에 있어 어느 정도의 범위 안에서는 출력변화가 크지 않기 때문이다.

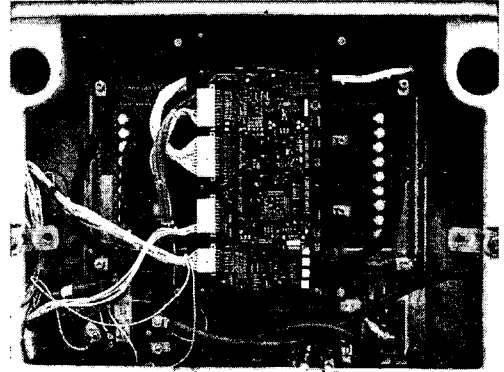
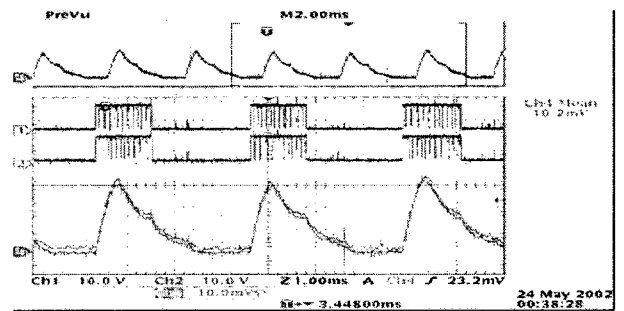


그림 12 지게차에 장착된 컨버터
Fig. 12 Applied converter on the pallet vehicle

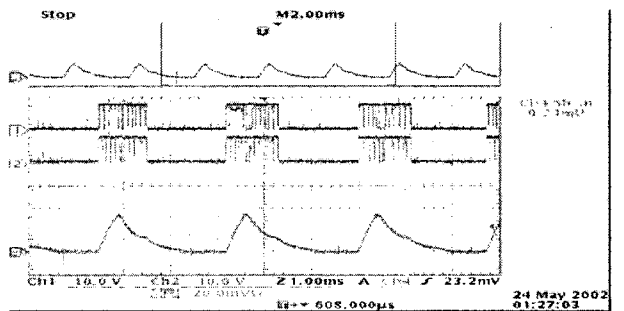
표 4 지게차 특성점에 따른 출력특성

Table 4 Power characteristics according to characteristic point

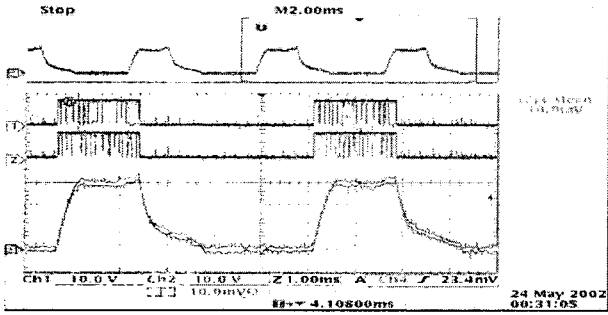
	기준	시험결과
A점	3850RPM / 11.4Nm	3850RPM / 16.3Nm
B점	3120RPM / 22.4Nm	3120RPM / 32.4Nm
C점	1800RPM / 71.6Nm	1800RPM / 80Nm



(a)



(b)



(c)

그림 13 특성점(A~C)에 따른 상전류 특성

Fig. 13 Phase currents according to characteristic points (A~C)

표 5는 회전속도별 출력에 대한 진상각과 중첩각을 실험적으로 최적값을 찾은 결과 값이다. 일정한 회전속도에서 출력을 증가시키기 위해서는 입력 전류지령을 증가시켜야 한다. 즉, 상전류를 빠르게 지령전류에 도달될 수 있도록 진상각을 증가시켜야 한다. 회전속도가 증가함에 따라서 진상각은 더 증가하고 상전류는 중첩을 이루게 된다.

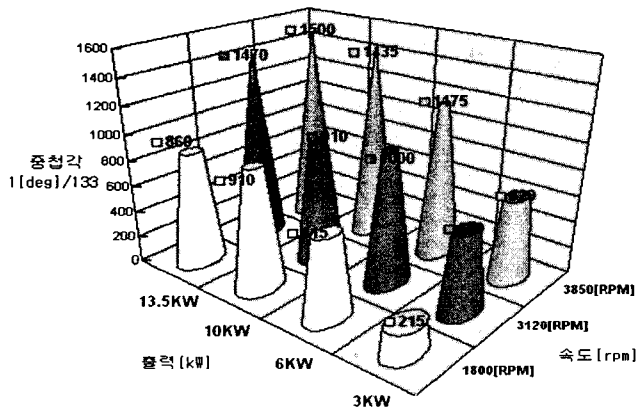
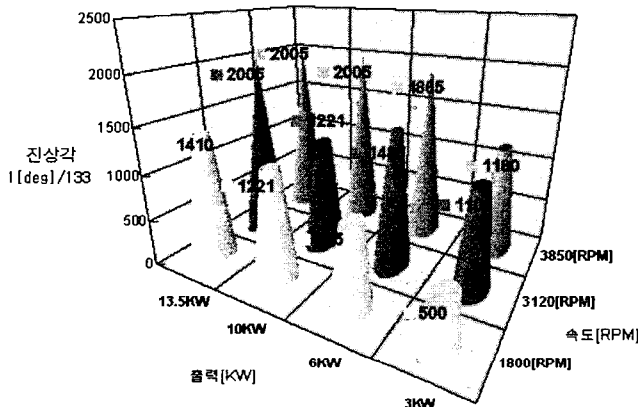


그림 14 진상각 및 중첩각에 따른 출력특성

Fig. 14 Output characteristics according to advance angle and overlap angle

그림 15는 표 4 전동지계차 특성점에 따른 SRM의 효율 변화량이다. 정격점인 1800[rpm], 71.6[Nm]에서 약86[%]의

효율을 보여준다. 또한 저속도 보다는 속도가 증가할수록 효율이 증가됨을 알 수 있었다.

그림 16은 SRM을 정격으로 1시간 동안 구동했을 때 권선과 프레임의 온도변화를 측정된 결과이다.

이와 같은 결과로부터 그림 1에서 DC전동기 출력특성보다 우수함을 보여주었다. 특히 회전수 변화에 따른 운전 효율이 높아 고속구동이 가능하고, 기존에 DC전동기에서 브러시로 인한 spark발생과 부가적인 부품 교체작업이 필요 없어 제한된 작업공간과 추가적인 유지보수를 줄일 수 있다.

표 5 출력별 진상각 및 중첩각

Table 5 Advance and overlap angles according to output power

	13.5KW		10KW		6KW		3KW	
	속도	토크	속도	토크	속도	토크	속도	토크
	[rpm]	[nm]	[rpm]	[nm]	[rpm]	[nm]	[rpm]	[nm]
진상각	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]
중첩각	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]
1800	1853	71	1859	53	1830	34	1800	16
[rpm]	1410	860	1221	910	895	615	500	215
3120	2880	41	3121	30	3057	20	3107	9
[rpm]	2005	1470	1221	910	1485	1000	1100	600
3850	3124	33	3475	25	3821	16	3820	7
[rpm]	2005	1500	2005	1435	1865	1175	1180	620

※ 1[deg]=133[deg]임.

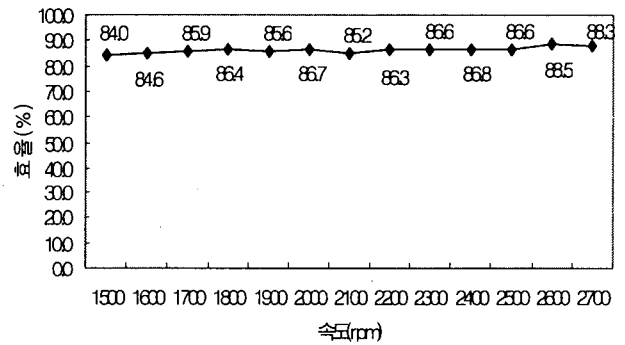


그림 15 설계된 8/6극 SRM의 효율특성

Fig. 15 Efficiency characteristics of proposed SRM

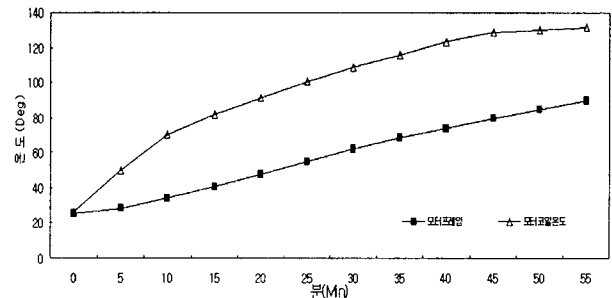


그림 16 SRM의 온도 특성

Fig. 16 Temperature characteristics of proposed SRM

4. 결 론

본 논문에서는 전동지게차 구동용 8/6극 SRM을 설계하였고 2D-FEA와 실험적으로 그 가능성을 보여주었다. 설계된 SRM은 브러시 및 contractor가 없기 때문에 유지보수가 필요 없고 기존의 DC전동기보다 부피가 적어질 수 있는 가능성을 보였다. 출력방정식을 이용하여 기본설계를 하였으며, 토오크리플 및 진동소음을 줄이기 위해 FEA를 통하여 고정자와 회전자 극호각 β_s, β_r 을 재설정하였다. SRM은 스위칭각 변화에 따라 출력특성에 많은 영향을 주기 때문에 FEA에 외부회로를 사용하여 그 구동특성을 확인하였다. 전동지게차에서 요구되어지는 구동특성점을 만족하기 위해 진상각 및 중첩각을 실험적으로 고찰하고 결정하였다. 속도와 부하에 따른 효율을 실험적으로 증명하였고 SRM 운전시 코일 및 프레임에 온도변화를 파형으로 보여주었으며, 그때 발생하는 온도변화량을 제시하였다. 설계된 SRM은 기존의 DC전동기에 비해서 높은 효율과 구동 특성점에서 강인한 구동능력이 증가되었음을 실험적으로 증명할 수 있었다. 본 논문을 통하여 고속운전용 SRM 그리고 진동소음에 큰 영향을 미치는 차량용 SRM설계에도 유용한 자료가 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Materu P.N., Krishnan R, "Steady-State Analysis of The Variable Speed Switched Reluctance Motor Drive", IEEE Trans., Vol. 36, No. 4, pp. 523-529, 1989
- [2] John M. Miller, Propulsion Systems for Hybrid Vehicles, IEE Power and Energy Series 45, 2004
- [3] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design, CRC Press LLC, 2005
- [4] TJE Miller, "Switched Reluctance Motors and their Control", Magna Physis Publishing and Clarendon Press, 1993
- [5] Shuanghong Wang, qionghua Zhan, Zhiyuan Ma, Libing Zhoum "Implementation of A 50kW Four Phase Switched Reluctance Motor Drive System for Hybrid Electric Vehicle", IEEE Trans., Vol. 41, No. 1, pp. 501-505, 2005
- [6] Feng Chieh Lin, Sheng Ming Yang, "Instantaneous Shaft Radial Force Control with Sinusoidal Excitations for Switched Reluctance Motors", IEEE IAS., Vol. 1, No. 1, pp. 424-430, 2004
- [7] Barrie c. Mecrow, Eyhab A, El-kharashi, John W. Finch, Alan G. Jack, "Preliminary Performance Evaluation of Switched Reluctance Motors with Segmental Rotors", IEEE Trans., Vol. 19, No. 4, pp. 679-686, 2004
- [8] Iqbal Husain, M. Ehsani, "Torque Ripple minimization in Switched Reluctance Motor Drives by PWM Current Control", IEEE Trans., Vol. 11, No. 1, pp. 91-98, 1996
- [9] 김창섭, 오석규, 안진우, "하이브리드 여자방식을 이용한 SRM의 진동소음 저감특성", 전기학회 논문지, 제 50B권 제9호, pp. 438-444, 2001
- [10] Funda Sahin, H. Bulent Ertan, Kemal Leblebicioglu, "Optimum Geometry for Torque Ripple Minimization of Switched Reluctance Motors", IEEE Trans., Vol. 15, No. 1, 2000

저 자 소 개



오 주 환(吳 周 桓)

1979년 5월 16일 생. 2002년 호남대학교 전기공학과 졸업. 2005년 한양대학교 전자전기제어계측과 석사 졸업. 현 동대학원 박사과정
Tel : 031-409-1277, Fax : 031-409-1277
E-mail : ohjuhwan@ihanyang.ac.kr



정 우 용(鄭 雨 容)

1973년 3월 28일 생. 1996년 고려대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년~현재 두산인프라코어(주) 중앙연구소 전자기술팀 선임연구원.
Tel : 032-760-1496
E-mail : wooyong.jung@doosan.com



이 병 석(李 丙 錫)

1964년 12월 26일 생. 1987년 서울대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 대우중공업(주) 중앙연구소 연구원. 2000년 미국 Virginia Tech 전기공학과 대학원 졸업(공학박사). 2001년~현재 두산인프라코어(주) 중앙연구소 전자기술팀 수석연구원.
TEL : 032-760-1487
E-mail : byeongseok.lee@doosan.com



권 병 일(權 丙 一)

1955년 5월 12일 생. 1981년 한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 동경대 대학원 졸업(공학박사). 1990년 도시바(주) 시스템 소프트웨어연구소 연구원. 1991년 한국 기계연구소 자기 부상 열차 사업단 선임연구원. 2001년 University of Wisconsin-Madison 객원교수, 1991년~ 현재 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 교수.
Tel : 031-400-5165, Fax : 031-406-5073
E-mail : bikwon@hanyang.ac.kr



이 춘 택(李 春 澤)

1967년 5월 1일 생. 1991년 인하대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년~현재 두산인프라코어(주) 중앙연구소 전자기술팀 선임연구원.
TEL : 032-760-6364
E-mail : choontack.kim@doosan.com