

차량용 Built-in 청소기용 SRM 드라이브 시스템 개발

이영수, 노정민, 김재혁
원광대학교

Development of SRM Drive System for Built-in Car Vacuum Cleaner

Young-Soo Lee, Jeongmin Noh, Jaehyuck Kim
Wonkwang University

ABSTRACT

본 논문은 차량용 Built-in 청소기용 SRM(Switched Reluctance Motor) 드라이브 시스템 개발에 대하여 설명한다. 기존의 청소기용 모터는 대부분 영구자석을 사용하는 PMSM 또는 BLDCM이다. 그러나 영구자석의 주 원료인 희토류 광물 가격의 상승으로 인해 영구자석형 모터를 대체할 비 희토류 모터(SRM)에 대한 관심이 커지고 있다. 본 논문에서는 제작된 차량용 Built-in 청소기용 SRM의 유한요소해석 데이터를 바탕으로 한 Matlab/Simulink 시뮬레이션 및 실제 실험을 통하여 가능성을 검증하였다.

차량용 built-in 청소기의 요구 출력, 속도, 부하조건을 고려하여 채택된 2상 4/2 SRM의 구조는 그림 1과 같으며 설계제원은 표 1에 표시된 바와 같다. 제작단가 및 효율을 고려하여 2상 토폴로지를 채택하였고 토크리플 및 효율을 고려하여 표 2에 표시된 2상 SRM에서 가능한 고정자 및 회전자 극수 조합을 나타내었고 4/2 조합으로 최종 선정하였다.^[2]

표 1 2상 4/2 SRM의 설계제원
Table 1 Specification of two-phase 4/2 SRM

Parameter	Value	Unit
Rated Torque	0.045	Nm
Phase Current	8.85	A _{rms}
Rated Output Power	300	W
Rated Speed	32,000	rpm
Efficiency	75	%

1. 서 론

가족단위의 야외활동 및 다양한 레저 활동이 증가함에 따라 차량용 편의장비와 자동차 기술에 관련된 산업이 증가하고 있다. 이와 관련하여 차량용 built-in 청소기의 필요성이 대두되고 있으나, 국내에서는 적용된 사례가 없고 관련 개발 움직임도 전무한 상태이다. 해외에서 개발된 기존의 차량용 built-in 청소기의 경우 소비자가 만족할 만큼의 흡입력을 가지지 못하며, 필요에 따른 사용 편리성도 떨어져 고성능의 차량용 built-in 청소기의 개발이 요구되고 있으며, 이에 따라 회전자 권선 및 영구자석이 없어 초고속 회전에 견고하면서도 구조적으로 간단하여 가격 경쟁력의 이점^[1]을 가지고 있는 SRM을 차량용 built-in 청소기에 적용하기 위하여 구동 시스템 개발을 진행하였다. 또한 개발된 구동 시스템의 시뮬레이션 및 흡입력시험을 통하여 SRM의 차량용 built-in 청소기 분야에서의 경쟁력을 확인하였다.

표 2 고정자 및 회전자 극수 조합 표
Table 2 Available combination of stator and rotor poles

No. of Phases	No. of Poles		Stroke	
	Stator	Rotor	Angle	No./Rev.
2	4	2	90°	4
	6	3	60°	6
	8	4	45°	8
	6	9	20°	18
	8	10	18°	20

2. 차량용 built-in 청소기용 2상 4/2 SRM

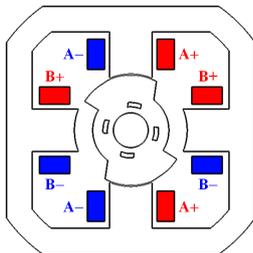


그림 1 2상 4/2 SRM의 구조
Fig. 1 Structure of two-phase 4/2 SRM

3. 2상 SRM 구동을 위한 컨버터

차량용 built-in 청소기용 2상 4/2 SRM의 구동을 위하여 그림 2와 같이 한 상당 2개, 총 4개의 전력반도체 스위치가 사용되고 모터의 각 상이 독립적으로 제어되어 상간 독립성이 우수하여 단락고장이 없는 비대칭 하프 브리지 컨버터를 채택하였다.

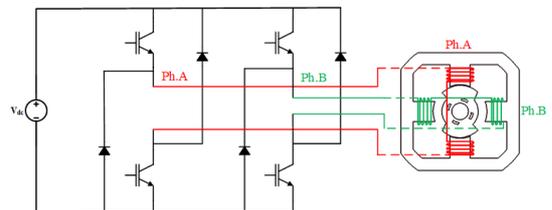


그림 2 2상 비대칭 하프 브리지 컨버터
Fig. 2 Two-phase asymmetric half bridge converter

4. 시뮬레이션 결과

2상 4/2 SRM 드라이브의 동적 특성 및 성능을 검증하기 위하여 Matlab/Simulink를 통한 시뮬레이션을 수행하였다. SRM의 경우 그림 3과 같이 턴-온 및 턴-오프 각에 따라 상전류의 파형이 변화하게 되며 이는 모터의 성능에 영향을 주게 된다. 따라서 본 논문에서는 드라이브에 적용되는 2상 4/2 SRM의 최적의 성능을 내기 위한 스위칭 각($\theta_{adv} : 40^\circ$, $\theta_{com} : 40^\circ$)을 정격속도 32,000rpm, 정격토크 0.045N-m 조건에서의 시뮬레이션을 통하여 표 3과 같이 선정하였고 그에 따른 시뮬레이션 파형은 그림 4와 같다.

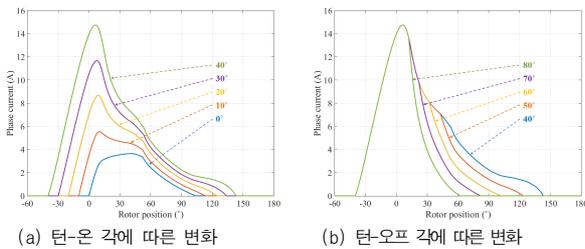


그림 3 턴-온 각 및 턴-오프 각 변화에 따른 상전류의 영향
Fig. 3 Effect of phase current according to turn-on and turn-off angle changes

표 3 2상 4/2 SRM의 최적 스위칭 각
Table 3 Optimal switching angle of two-phase 4/2 SRM

θ_{adv}	θ_{com}	Torque [N·m]	Torque Ripple [%]	I_{phrms} [A]	$\frac{Torque}{I_{phrms}}$
35	25	0.1464	376.5514	22.3581	0.006548
	35	0.0401	165.2056	6.1809	0.006488
	45	0.0395	163.8733	6.0885	0.006488
40	30	0.1786	313.0504	23.5190	0.007594
	40	0.0484	168.9369	7.0331	0.006882
	50	0.0452	175.2234	6.7611	0.006685
45	35	0.1935	302.7402	24.8807	0.007777
	45	0.0551	171.0061	7.8449	0.007024
	55	0.0499	186.7809	7.5978	0.006568

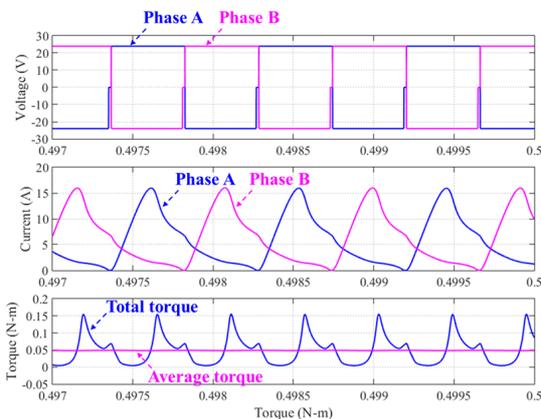


그림 4 스위칭 각에 따른 시뮬레이션 파형
Fig. 4 Simulation waveforms of switching angle

5. 성능시험

제작된 2상 4/2 SRM의 청소기 모터로서의 능력을 검증하기 위하여 그림 5와 같이 모터 흡입력 시험 장치를 통하여 흡입력 시험을 수행하였다. 최대의 흡입력을 내기 위하여 단일펄스 구동을 하였으며, 최적 스위칭 각 $\theta_{adv} : 40^\circ$, $\theta_{com} : 40^\circ$ 에서 최대의 흡입력 및 효율이 나오는 것을 확인하였다.

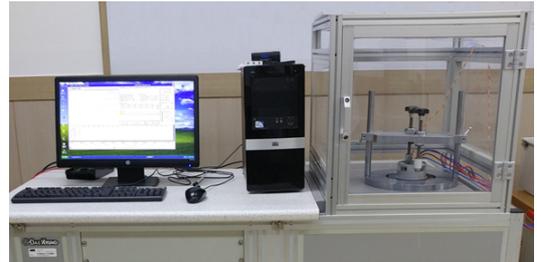


그림 5 모터 흡입력 시험 장치
Fig. 5 Motor suction power test equipment

표 1 스위칭 각의 변화에 따른 시험 결과
Table 1 Test results according to the change in the switching angle

Switching angle		DC input current	Suction power	$\frac{P_{suction}}{I_{DC,in}}$
$\theta_{adv} (^\circ)$	$\theta_{com} (^\circ)$	$I_{DC,in} (A)$	$P_{suction} (W)$	
25	40	10.08	87.85	8.715
30	40	10.22	92.50	9.051
35	40	11.83	113.68	9.609
40	40	13.08	129.82	9.923

6. 결론

기존의 차량용 Built-in 청소기용 모터를 대체할 SRM 드라이브의 개발을 위하여 Matlab/Simulink 시뮬레이션 및 실제 성능시험을 수행하였다. 개발된 SRM 드라이브의 동적 특성이 설계 사양에 맞게 도달하고 스위칭 각에 따른 흡입력 시험을 통하여 최적 스위칭 각에서 최적의 성능이 발휘되는 것을 확인하였고 차량용 Built-in 청소기 분야에서 충분히 경쟁력이 있는 것을 확인하였다.

본 연구는 교육부 재원으로 한국연구재단의 기본연구 지원 (2015R1D1A1A01050836)과 지역혁신창의인력양성사업 지원 (2015H1C1A1035928)으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] 임준명, "SRM의 가전 적용 사례", 전력전자학회지, 제7권, 제4호, 2002.8, 27-37 (5 pages)
- [2] Jaehyuck Kim and R. Krishnan, "High Efficiency Single-Pulse Controlled Switched Reluctance Motor Drive for High Speed (48k RPM) Application: Analysis, Design, and Experimental Verification", Industry Applications Society Annual Meeting, pp.1-8, 2008.
- [3] R. Krishnan, "Switched Reluctance Motor Drives", CRC, 2001.