자동차 쿨링팬용 스위치드 릴럭턴스 전동기 성능비교

정광일, *안영주, 안진우
경성대학교, *부경대학교

Comparative Performance Analysis of Switched Reluctance Motors for Automotive Fan

Kwang-Il Jeong, *Young-Ju An, Jin-Woo Ahn
Kyungsung University, *Pukyong National University

ABSTRACT

본 논문은 자동차 쿨링팬용 스위치드 릴럭턴스 전동기(이하, SRM) 설계 및 성능 비교에 관한 논문으로 기존의 유니버설 및 브러쉬리스 전동기를 대체하기 위해 3상 6/4극 및 12/8극 그리고 4상 8/6극 SRM을 설계하였으며 성능을 비교를 통해 적용 및 대체 가능성을 검증하였다. 각 구조의 성능은 시뮬레이션을 통해 성능을 예측하였으며 예측된 성능을 시험을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 일본 수출 규제 및 중국의 희토류 수급과 비용문제로 SRM에 대한 관심이 점점 증가하고 있다. SRM의 장점은 고정자에 권선이 있고 회전자에는 영구자석이나 권선이 존재하지 않는 단순한 구조를 가지는 것이 특징으로 가격경쟁력 및 열악한 환경에 적용하기 적합한 전동기이다.

일본의 경우 중국과의 사회적 문제로 희토류를 사용하지 않는 SRM의 연구 및 개발을 적극적으로 주도하고 있으며 특히, 전기자동차 등의 적용하기 위해 지속적인 연구 및 개발이 이루어지고 있다[1]. 일본의 영향을 많이 받는 국내 기업들은 일본에서 수입되는 전동기를 대체하기 위해 SRM 연구 및 개발 사례가 점점 증가하는 추세다. 그중 자동차 쿨링팬의 경우 유니버설 전동기 및 브러쉬리스 전동기로 적용하였으나 영구자석의 분진 및 경기에 따른 변동으로 이를 극복하고 대체 가능성을 검증하기 위해 SRM 중 가장 신뢰성이 높은 3상 6/4극 및 12/8극 그리고 4상 8/6극 SRM 설계 및 시작품을 제작하였다. 제작된 시작품을 실험을 수행하였으며 그 가능성을 검증하였다.

2. 본문

2.1 기존의 자동차 쿨링팬 설계 목표

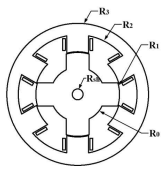
표 1은 설계파라미터를 보여준다. 제어기와 전동기, 임펠러로 구성되어 있으며 제어기는 전동기와 일체형으로 구성되어 있다. 표 1에서 개발 대상의 설계 파라미터 및 설계 목표 값은 기존 구조의 입력 전압 12V, 효율 80%, 정격 속도 2,800rpm 그리고 고정자 외경의 경우 105mm, 스택 길이 35mm로 설계 목표 값을 만족하는 3가지 극 구조를 갖는 3상 6/4극 및 12/8 그리고 4상 8/6극 SRM을 개발하고자 한다.

표 1 설계 파라미터
Table 1 Design parameters

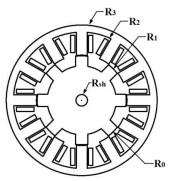
Parameter	Value	Unit
고정자 외경	105	mm
스택 길이	35	mm
입력 전압	12	V
정격 속도	2,800	rpm
효 율	80	%
자동차 쿨링팬		

2.2 제안된 SRM의 구조

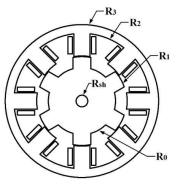
그림 1은 제안된 3가지 전동기의 구조를 보여준다. 제안된 3가지 SRM의 구조 설계에서 가장 큰 차이가 있는 점은 극 호각 및 요크이다. 극 호각의 경우 고정자 극 보다 회전자 극이 크도록 설계한다. 그 이유는 극 조합이 낮을수록 데드존이나 토크리플 등의 충분한 토크를 얻기 어려운 단점을 가지기 때문에 극 조합에 따라 달리 설계 되었다. 그리고 회전자 요크의 경우 6/4극 조합은 12/8극에 비해 집중된 기자력을 얻기 때문에 충분한 토크를 얻을 수 있으나 12/8극의 경우 6/4극 조합의 2배로 기자력이 분포된 구조를 갖기 때문에 6/4극에 비해 충분한 토크를 얻기 어려운 구조를 갖는다. 이를 해결하기 위해 짧은 자속 자로를 갖도록 회전자 요크의 크기를 증가시켜 만족한 토크를 얻도록 하였다.



3상 6/4극 SRM



3상 12/8극 SRM



4상 8/6 SRM

그림 1 제안된 3상 및 4상 SRM
Fig. 1 Propsed 3-phase and 4-phase SRM

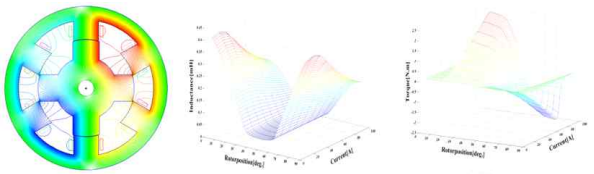
표 2는 제안된 SRM의 파라미터를 보여준다. 3상 6/4극 SRM의 경우 다른 두 타입에 비해 집중된 기자력을 얻기 때문에 큰 고정자 요크를 얻는다. 다른 두 타입의 경우 낮은 요크를 얻기 때문에 3상 6/4극에 비해 권선 점유율을 확보할 수 있는 장점을 가진다.

표 2 제안된 SRM의 파라미터
Table 2 Parameter of proposed SRM

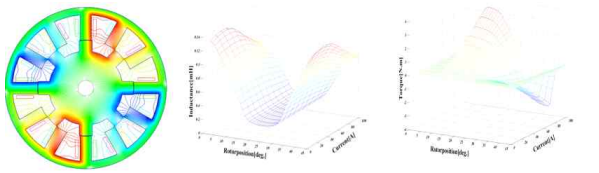
Parameter	Symbol	6/4	12/8	8/6	Unit
Shaft Radius	Rsh	5	←	←	mm
Outside Stator Radius	R3	52.5	←	←	mm
Inside Stator Radius	R2	44	46.5	47.5	mm
Outside Rotor Radius	R1	31	30.5	31	mm
Inside Rotor Radius	R0	20	23	24	mm
Stack length	Lstk	35	←	←	mm
Number of turns	Np	9	10	←	turns
Number of phase	m	3	4	3	-
Stator pole arc	Bs	30	21	14	°
Rotor pole arc	Br	32	23	16	°
Air-gab	g	0.25	←	←	mm
Slot area	As	293	210	284	mm^2

2.3 제안된 SRM의 특성해석

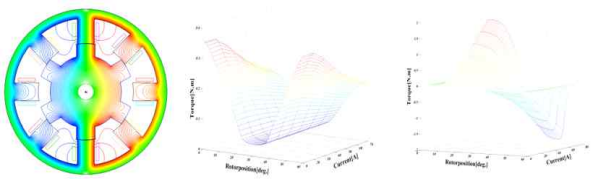
그림 2는 제안된 SRM의 특성해석 결과를 보여준다. 그림 2의 (a) 및 (b) 그리고 (c)는 자속밀도 및 인덕턴스 그리고 토크를 보여준다. 제안된 전동기의 자속밀도 특성은 1.8T에서 해석하였으며 재질 특성인 B-H 곡선에서 1.8T이하 일 경우 최대 효율을 얻기 때문이다.



(a) 3상 6/4극 SRM



(b) 3상 12/8극 SRM

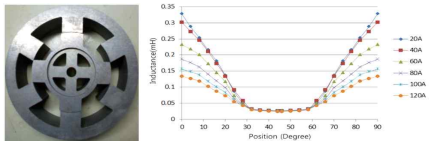


(c) 4상 12/8극 SRM

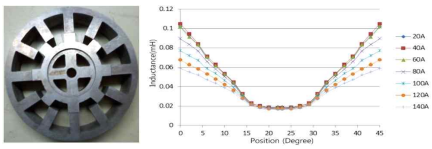
그림 2 제안된 3상 및 4상 SRM의 특성해석
Fig. 2 Characteristics of propsed 3-phase and 4-phase SRM

2.4 제안된 SRM의 시작품 제작

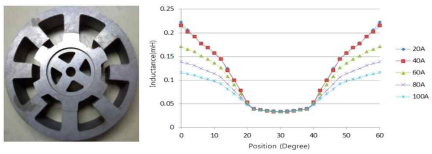
그림 3은 제안된 SRM의 시작품 및 인덕턴스 특성을 보여준다. 인덕턴스의 경우 3상 6/4극 및 12/8극 그리고 4상 8/6극 각각 최대 및 최소값은 0.0269mH 및 0.164mH, 0.0178 및 0.0732mH, 0.0376mH 및 0.1526mH이다. 최대 및 최소 비는 각각 6/4극 > 12/8극 > 8/6극으로 6/4극 SRM이 가장 높다.



(a) 3상 6/4극 SRM



(b) 3상 12/8극 SRM

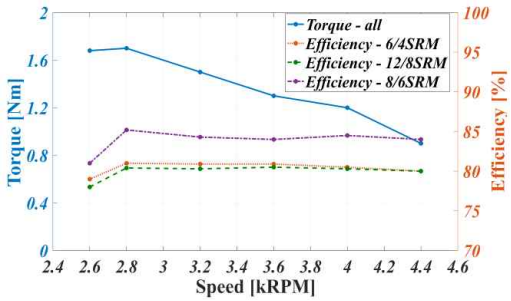


(c) 4상 12/8극 SRM

그림 3 제안된 3상 및 4상 SRM의 시작품 및 인덕턴스 특성
Fig. 3 Prototype and inductance characteristics of proposed SRM

2.5 제안된 SRM의 성능비교

그림 4는 제안된 SRM의 성능 비교 결과를 보여준다. 설계 목표값이 정격속도에서 2,800rpm, 정격토크 1.67Nm, 효율은 3상 6/4극 및 12/8극 그리고 4상 8/6 SRM의 경우 각각 81% 및 80.4% 그리고 85%를 얻었다.



3. 결론

본 논문에서는 일본규제 및 희토류 수급 및 비용문제 등을 해결하기 위해 기존의 자동차에 적용된 기존의 쿨링팬을 대체하기 위해 3상 6/4극 및 12/8극 그리고 4상 8/6극 SRM의 특성을 해석, 시작품 제작 그리고 성능을 비교하였다. 제안된 SRM의 성능비교를 통해 설계 목표 값을 만족하였으며 대체 가능성을 검증하였다.

본 논문은 한국연구재단의 고급인력양성사업의 연구비 지원으로 연구되었음. (No. 20164010200940)

참 고 문 헌

[1] Akira Chiba, Motoki Takeno, Nobukazu Hoshi, Masatsugu Takemoto, "Consideration of Number of Series Turns in Switched-Reluctance Traction Motor Competitive to HEV IPMSM", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 48 , Nom 6, Nov.-Dec. 2012