

# 이중고정자 횡축 12/10 SRM의 설계 및 특성 해석

## Design and Characteristic Analysis of Double Stator Axial Field 12/10 SRM

손 동 호\* · 안 진 우\*  
(Dong-Ho Son · Jin-Woo Ahn)

**Abstract** - This paper aims to design of a double stator axial field 12/10 SRM. Conventional and single stator axial field SRMs were reviewed to apply for automotive cooling fan. The axial field SRM has the advantage of shorter flux path, higher torque per volume and lower iron loss. However, there is axial eccentricity in single stator axial field SRM due to one side excitation. Therefore, a double stator type is designed in this paper to reduce the axial eccentricity. And the trapezoidal pole shape of the stator increases the flow of magnetic flux from stator to rotor and the torque region. The torque and efficiency are compared and tested with experiments.

**Key Words** : Cooling fan, SRM, Axial field, Double stator, Eccentricity

### 1. 서 론

자동차용 냉각시스템의 냉각성능은 연비와 효율에 많은 영향을 주고 있어 자동차용 냉각팬의 중요성이 증가되며 저비용 고효율 냉각팬의 개발이 급속히 확대되고 있다[1].

자동차의 냉각시스템에 사용되고 있는 냉각팬은 DC 또는 BLDC 전동기이며 BLDC 전동기는 높은 신뢰성 및 유지보수가 필요 없고 소형화가 가능한 장점을 가진다. 또한, 정 속도 및 가변속 제어가 가능한 장점이 있다. 하지만 회전자에 영구자석이 있으며 페라이트 자석을 사용할 경우 가격경쟁력을 보완할 수 있는 장점이 있지만 단위 체적당 토크가 낮은 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 희토류계 자석과 반도체 재료를 사용하여 결점을 보완하면 비용이 높아진다는 단점을 가지고 있다[2].

본 연구에서는 자동차용 냉각시스템에 적용하기 위해 기존의 방사형 12/8극 구조를 갖는 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM)와 단일 고정자 횡축 12/10극 구조를 갖는 SRM을 설계하여 그 구조 및 성능특성을 비교하였다. 기존의 방사형 12/8극 SRM은 축방향 길이가 짧은 공간의 제약이 따르는 경우 단위 체적당 발생토크 면적이 회전자 표면의 유효 단면적으로 한정되어 고 토크를 발생시킬 수 없고 효율이 낮은 단점을 가진다. 단일 고정자 횡축 12/10극 SRM(AFSRM)은 짧은 자속 경로를 가지며 단위 체적당 발생 토크 면적이 높아 고 토크 발생으로 효율이 높다는 장점을 가진다. 하지만 단 방향 횡축

의 경우 고정자 권선의 여자시 회전자 Z축 방향으로 당겨지면서 회전하므로 편심이 발생하여 토크 리플 및 고정자와 회전자 접촉 등의 문제점이 발생한다. 이를 보완하기 위해서는 회전자 회전자의 편심이 발생하지 않도록 부가적인 구조를 고려해야하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 단 방향 횡축 여자에 의해 발생하는 편심을 줄이기 위한 이중 고정자 횡축 12/10 SRM을 제안하였다. 또한 자속흐름을 고려하여 고정자 극의 형상을 직사각형에서 사다리꼴 형상으로 설계하였다.

사다리꼴 극의 형상은 고정자의 자속포화가 줄어드는 반면 회전자 극의 자속밀도는 증가하게 되어 자속이 회전자의 극으로 집중되는 효과로 인해 토크가 증가된다. 하지만, 회전자의 극에 집중되는 자속밀도 증가로 인한 회전자 극의 자속포화를 고려해야 한다. 이를 위해 회전자 극의 크기를 횡축으로 증가시켰다. 사다리꼴의 고정자 극의 형상으로 설계하면 슬롯 면적이 작아지면서 권선면적 또한 작아지게 된다. 권선면적이 줄어들면 입력 전류의 증가로 인해 효율이 줄어들기 때문에 효율을 고려하여 슬롯 형상을 비대칭으로 설계 하여 기존의 슬롯면적과 제안된 구조의 비율을 고려하여 권선면적을 동일하게 연도록 설계하였다.

제안된 구조의 특성해석을 위해 유한요소해석(FEA)을 통하여 기존의 구조와 비교하고 실험을 통해 그 성능의 타당성을 검증하였다.

### 2. 기존 SRM 구조 및 특성

#### 2.1. 기존의 방사형 12/8 SRM

SRM을 차량용으로 적용한 사례는 방사형 구조인 방사형 12/8 SRM과 단일 고정자 횡축 12/10 SRM이 있다.

† Corresponding Author : Dept. of Mechatronics Engineering, Kyungshung University, Korea.  
E-mail: jwahn@ks.ac.kr

\* Dept. of Mechatronics Engineering, Kyungshung University, Korea.

Received : January 19, 2018; Accepted : April 24, 2018

그림 1은 방사형 12/8 SRM의 시작품이며 선행 연구로 자동차 냉각팬에 적용하기 위해 제작하였다. 그림 2는 정격 부하 조건에서 12/8 SRM의 동작 특성을 FEA해석을 통하여 나타낸 결과이다. 정격전압은 11.5[V], 정격 전류는 50[A]이며 정격 속도 2,800[rpm]에서 해석하였다. 시뮬레이션은 0~4[ms]까지는 정지 상태에서 정상상태로 가는 시간이며 정상상태로 동작하는 시간인 4[ms]부터 해석한 결과를 보여준다.



그림 1 방사형 12/8 SRM의 시작품  
Fig. 1 Prototype of conventional radial 12/8 SRM

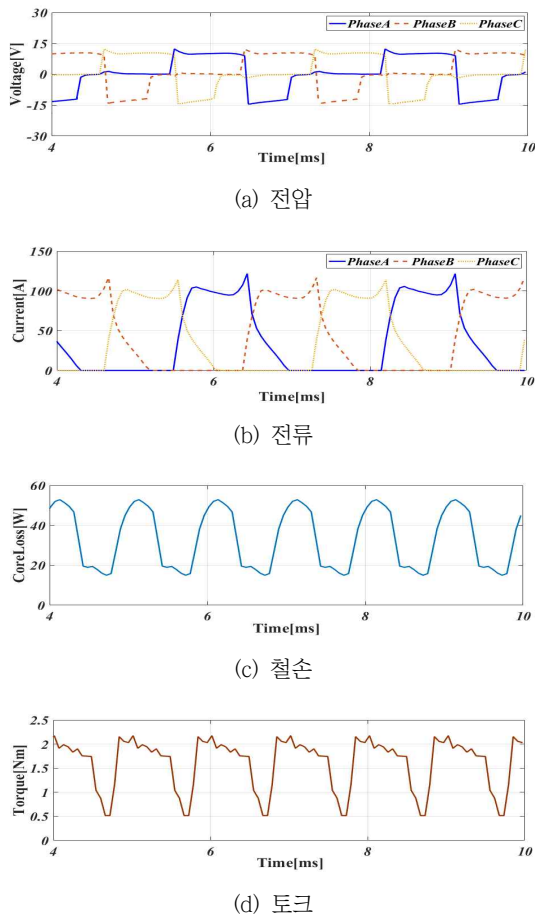


그림 2 정격 부하 조건에서 12/8 SRM의 동특성  
Fig. 2 Dynamic characteristics of 12/8 at rated load

## 2.2 단일 고정자 횡축 12/10 SRM

방사형 전동기의 단점은 냉각팬에 적용되는 전동기 중에서 축 방향 길이가 제한된 경우 더 좋은 성능을 제공할 수 없다. 기존의 방사형 12/8 SRM의 단점을 해결하기 위해 그림 4와 같은 하나의 고정자와 분절회전자를 가지는 횡축 12/10 SRM이 선행연구 되었다[3].

외경, 스택 길이는 자동차 냉각팬에 사용되고 있는 BLDC 전동기와 비교하기 위해 같은 치수를 선정하여 설계하였다. 고정자, 회전자의 내경은 같게 설계 하였으며 고정자 극의 각도에 따라 회전자 사이의 길이가 정해졌다. 공극은 0.25[mm]이며 스택길이는 36[mm]이다. 그림 4는 단일 고정자 횡축 12/10 SRM의 시작품이다. 횡축 SRM의 장점을 검증하고자 제작을 하였으며 실험과 시뮬레이션을 비교하여 타당성을 검증하였다.

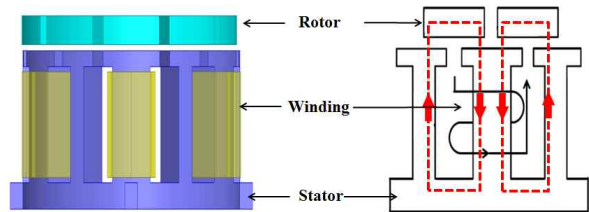


그림 3 단일 고정자 횡축 12/10 SRM의 형상과 자속경로  
Fig. 3 Flux path of single stator axial field 12/10 SRM

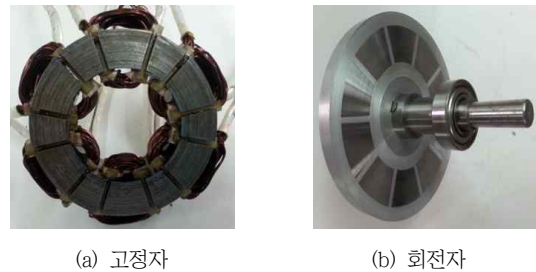


그림 4 단일 고정자 횡축 12/10 SRM 시작품  
Fig. 4 Prototype of single-stator axial field 12/10 SRM

그림 5는 정격 부하 조건에서 단일 고정자 횡축 12/10 SRM의 동작 특성을 나타낸 것이다. 정격 속도 2,800[rpm]에서 정격전압은 11.5[V], 정격전류는 50[A]이며 회전자의 위치에 따라 ON/OFF 제어를 통하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 6은 Z축 Force를 해석한 그림이며 비 정렬위치에서 정렬위치로 해석했으며 정렬위치에서 가장 높은 흡입력을 가졌다. 단일 고정자 횡축 12/10 SRM은 하나의 회전자를 가져 높은 편심이 발생하는데 이 편심을 줄이기 위한 새로운 구조물이 필요하다. 편심은 고정자에서 여자 되어 자속의 흐름이 회전자로 가는 방향이다. 한 상만 여자가 되었을 때 한 극에서 공극이 작아지면 작아진 공극에서 더 큰 편심이 발생하게 되고 다음 상을 여자할 경우 같은 현상이 발생하고 그 결과 고정자와 회전자가 부딪히는 현상이 발생한다.

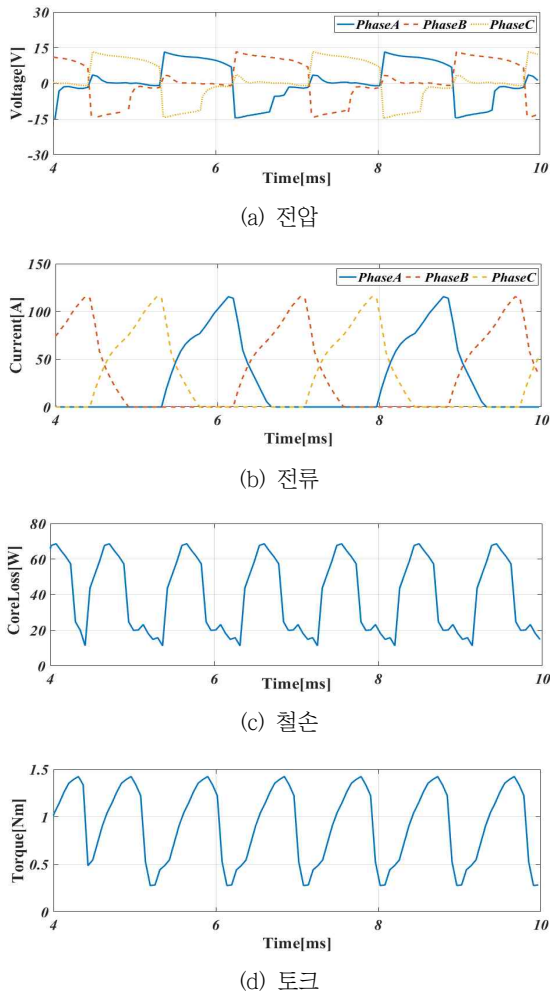


그림 5 정격 부하에서 단일 고정자 횡축 SRM의 동특성  
 Fig. 5 Dynamic characteristics of AFSRM at rated load

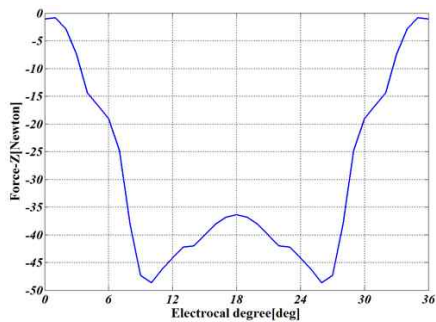


그림 6 단일 고정자 횡축 12/10 SRM의 Z축 힘  
 Fig. 6 Z-Force of single stator axial field SRM

표 1은 기존의 방사형 12/8극 및 단일 고정자 횡축 12/10극의 SRM의 특성을 보여준다. 단일 고정자 횡축 12/10극의 SRM이 기존의 12/8 SRM보다 효율이 높음을 알 수 있다.

표 1 방사형 및 단일 고정자 횡축 SRM의 특성  
 Table 1 Characteristics of conventional and AFSRM

| Parameter        | conventional radial 12/8 type | single stator axial 12/10 type |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Rated speed(rpm) | 2800                          | 2800                           |
| Rated torque(Nm) | 1.7                           | 1.7                            |
| Copper loss(W)   | 82.05                         | 74.18                          |
| Core loss(W)     | 37.1                          | 31.15                          |
| Output power(W)  | 501.3                         | 497.21                         |
| Input power(W)   | 620.45                        | 603.66                         |
| Efficiency(%)    | 80.8                          | 82.4                           |

### 3. 제안된 이중고정자 횡축 SRM

#### 3.1. 자속경로 및 토크 발생원리

그림 7은 이중 고정자를 갖는 횡축 12/10 SRM의 구조를 보여준다. 제안된 구조의 자속경로는 단일 고정자의 자속경로를 기반으로 하며 두 개의 고정자를 사용하기 때문에 양쪽의 각각 2개의 자속경로가 발생하며 총 4개의 자속경로가 발생한다. 이 자속경로는 토크 발생시 기존의 단일 고정자 횡축 12/10 SRM의 문제점인 편심을 극복할 수 있다. 단일 고정자 및 2중 고정자 횡축 12/10 극의 SRM과 비교하기 위해 외경, 스택, 턴 수는 동일하고 자속 포화 등을 고려하여 고정자 및 회전자 극 구조를 단일 고정자 횡축 12/10 극과 달리 설계하였다. 본 구조는 3상으로 고정자는 12극, 회전자는 10극을 가지며 자속은 주 극에서 보조 극으로 흐르는 방식이다.

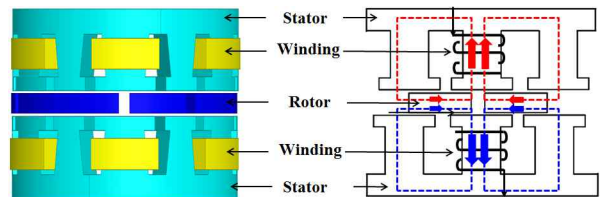
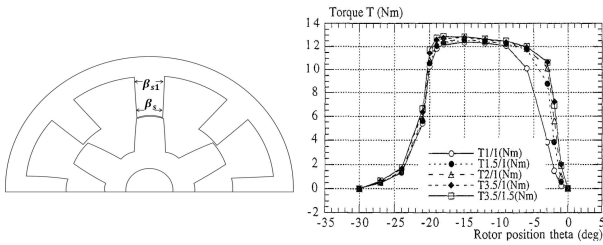


그림 7 자속경로 및 토크 발생기구 설계  
 Fig. 7 Design of flux path and torque generating mechanism

#### 3.2. 개선된 이중고정자 형상 설계

정 토크 부분을 증가시키기 위해 기존의 직사각형 극의 슬롯 형상 대신 사다리꼴 형상의 고정자 극을 제안한다. 이는 고정자에서 회전자로 흐르는 자속의 흐름을 증가시키는 방법이다. 자속 밀도는 동일 하지만 자속의 증가로 사용가능한 정 토크부분 또한 증가되어 전동기의 효율을 증가 시킨다. 그 예로 그림 8은 고정자 극의 형상이 변경될 때의 결과이다. 등가회로의 저항은 감소되고 회로의 자속은 증가 된다. 그 결과 토크가 증가되고 자기회로가 선형 동작 범위에 있을 경우 이러한 효과는 더욱 뚜렷하게



(a) SRM의 극 형상 및 각도 (b) 고정자 각도에 따른 토크

그림 8 고정자 극 형상과 토크

Fig. 8 Stator pole shape and torque

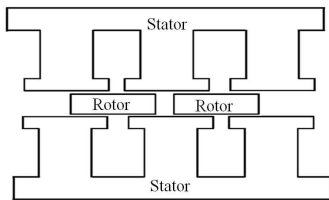


그림 9 1차 설계된 이중 고정자 횡축 12/10 SRM

Fig. 9 First designed double stator axial field SRM

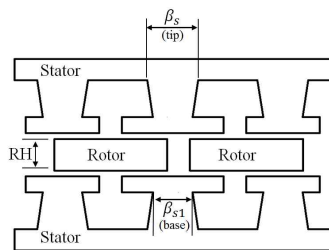
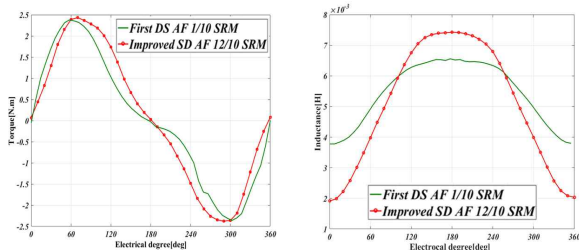


그림 10 개선된 이중 고정자 횡축 12/10 SRM

Fig. 10 Improved double stator axial field SRM



(a) 토크 비교

(b) 인덕턴스 비교

그림 11 기존과 개선된 횡축 12/10 SRM 비교

Fig. 11 Conventional vs. improved axial field 12/10 SRM

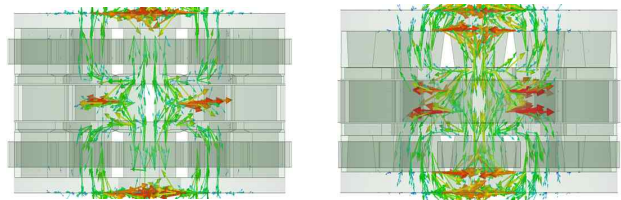
나타난다.

그림 9는 1차 설계된 고정자 및 회전자 극을 보여준다. 고정자 극 구조의 슬롯이 직사각형을 갖는다. 그림 10은 제안된 이중 고정자 구조를 보여준다. 고정자의 슬롯이 1차 설계된 구조와 달리 사다리꼴 형상을 갖는다. 고정자 극의 구조는  $\beta_s$ (tip)와  $\beta_{s1}$

(base)의 비를 조절하여 자속의 흐름을 회전자 극으로 집중하도록 설계하였다. 주 극과 보조 극의 고정자 극이 다른 이유는 주 극의 자속의 흐름을 더 집중 하는 것과 슬롯 면적을 1차 고정자 극 구조와 동일하게 유지하기 위해서이다.

그림 11은 기존의 고정자 형상과 개선된 고정자 구조의 토크 및 인덕턴스를 특성을 비교하였다. 그림 11에서 기존의 경우보다 개선된 구조의 인덕턴스의 기울기와 정 토크 부분이 증가한 것을 알 수 있다.

그림 12는 기존의 고정자 형상과 개선된 고정자 형상의 정렬 위치에서 자속흐름을 해석한 결과이다. 기존의 구조에 비해 개선된 구조의 경우 더 많은 자속이 흐르는 것을 확인할 수 있다.



(a) 1차 설계 DS AFSRM

(b) 개선된 DS AFSRM

그림 12 자속 해석결과

Fig. 12 Analysis result of flux path FEA

표 2는 고정자의 극이 직사각형일 때와 사다리꼴 형상의 구조일 때의 특성을 비교한 것이며 기존에 비해 개선된 구조의 제안된 사다리꼴의 형상의 효율이 3[%] 증가하였음을 알 수 있다.

표 2 고정자 형상에 따른 특성 비교

Table 2 Characteristics comparison according to stator shape

| Parameter         | Initial 12/10 poles SRM | Improved 12/10 poles SRM |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| Rated speed(RPM)  | 2800                    | ←                        |
| Rated torque(N.M) | 1.7                     | 1.71                     |
| Copper loss(W)    | 35.4                    | 30.8                     |
| Core loss(W)      | 76                      | 72                       |
| Output power(W)   | 498.2                   | 498.5                    |
| Input power(W)    | 630.7                   | 605.3                    |
| Efficiency(%)     | 79.4                    | 82.4                     |

### 3.3 적층 구조에 따른 특성 해석

#### 3.3.1 권철심형 적층 구조

그림 13은 권철심형 횡축의 적층된 전체 및 고정자를 보여준다. 제안된 구조의 경우 권철심형 구조로 제작을 해야 자속이 횡축 방향으로 자속이 흐르게 되며 구조의 특성으로 일반적인 3상 12/8극 SRM보다 높은 토크 및 효율을 얻을 수 있다. 하지만, 권철심형 구조는 제작하기 어려운 문제점이 있다. 그림 14는 정격속도 2,800 [rpm], 정격전압 11.6[V],정격전류 50[A]에서 회전자 위치에 따라 스위치의 ON/OFF 제어를 통한 정상상태 해석 결과이다.

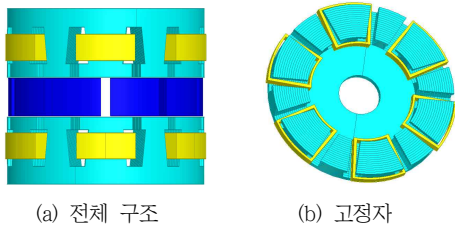


그림 13 권철심형 적층 구조 AFSRM  
 Fig. 13 Structure of wound laminated AFSRM

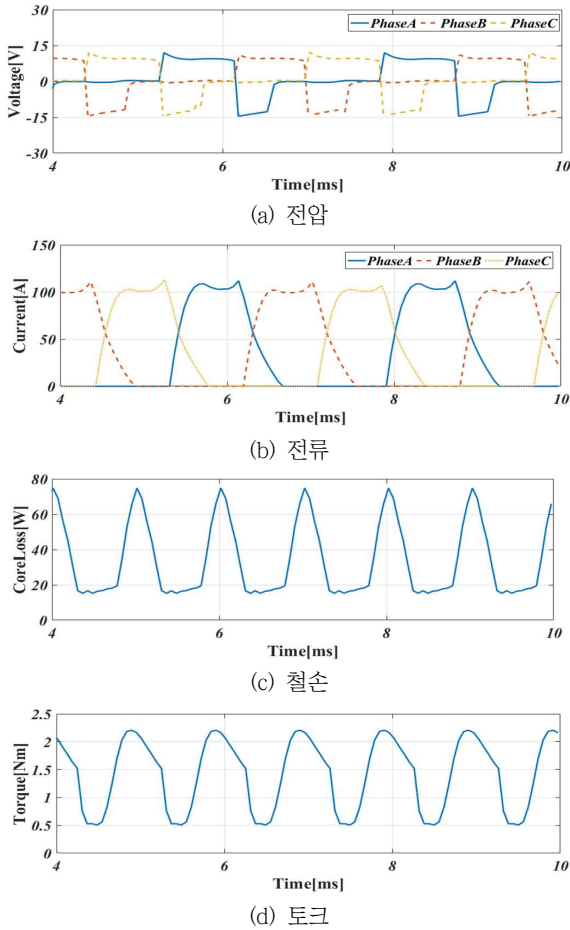


그림 14 정격 부하조건에서 권철심형 적층 구조 동특성  
 Fig. 14 Dynamic characteristics of wound laminated type

그림 15는 권철심형 이중 고정자 횡축 12/10 SRM의 Z축 가진력을 해석한 결과이다. 제안된 구조의 경우 단일 고정자 횡축 12/10 SRM과 달리 Z축의 가진력이 균형을 이루기 때문에 편심이 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

### 3.3.2 방사형 적층 구조

그림 16은 방사형 적층으로 이중 고정자 횡축 12/10 SRM의

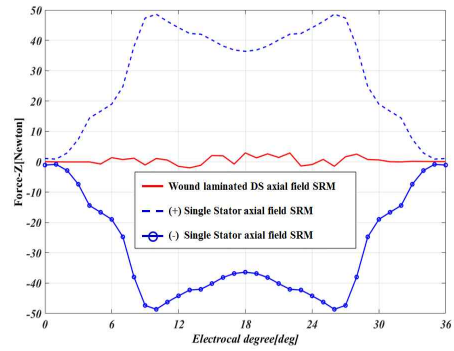


그림 15 권철심형 적층 SRM의 Z축 힘  
 Fig. 15 Z-Force in wound laminated SRM

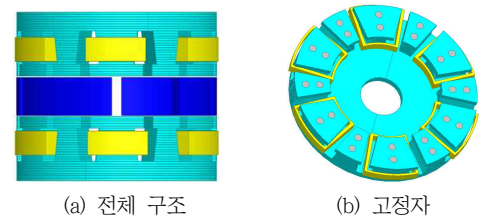


그림 16 방사형 적층 구조 AFSRM  
 Fig. 16 Structure of radial laminated AFSRM

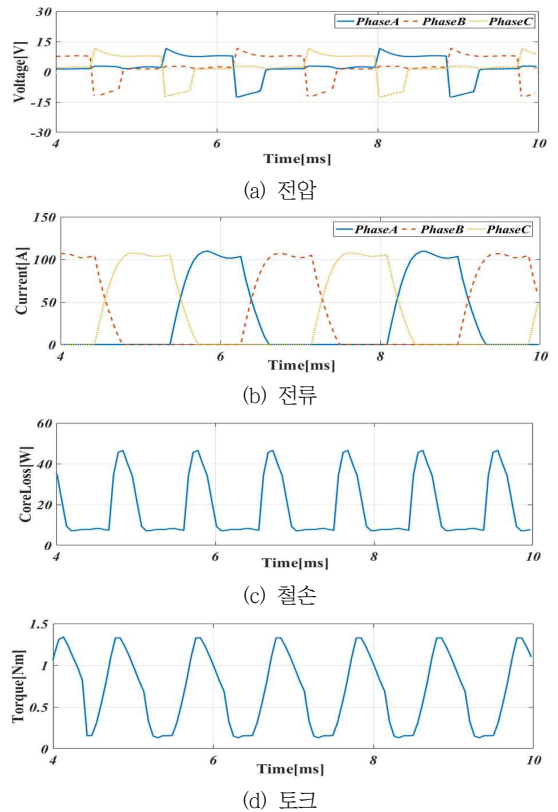


그림 17 정격 부하 조건에서 방사형 적층구조 동특성  
 Fig. 17 Dynamic characteristics of radial laminated type

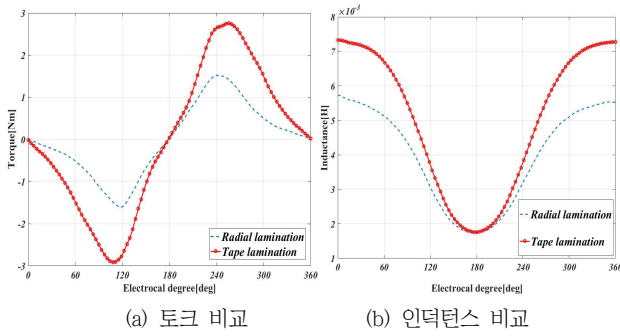


그림 18 적층에 따른 정특성 비교  
 Fig. 18 Static characteristics according to lamination

표 3 적층에 따른 전동기 특성

Table 3 Motor characteristics by laminated type

| Parameter         | Tape lamination | Radial lamination |
|-------------------|-----------------|-------------------|
| Rated speed(RPM)  | 2800            | ←                 |
| Rated torque(N.M) | 1.72            | 1.2               |
| Copper loss(W)    | 35.8            | 33.5              |
| Core loss(W)      | 72              | 187.5             |
| Output power(W)   | 503.96          | 351.6             |
| Input power(W)    | 611.76          | 591.89            |
| Efficiency(%)     | 82.3            | 59.4              |

3D 형상을 보여준다. 횡축의 구조를 방사형으로 제작하게 되면 자속의 흐름을 방해하는 릴럭턴스가 크기 때문에 토크 및 효율이 권철심형으로 제작한 구조보다 낮다.

그림 17은 방사형 적층 구조의 동적 특성을 해석한 결과이다. 정격속도 2800[rpm], 정격전압 11.7[V], 정격전류 50[A]이며 평균 토크는 1.2[Nm]이다. 방사형의 경우 높은 자기저항 특성을 갖게 되고 그 결과 낮은 토크를 얻게 된다. 그림 18은 권철심형 적층과 방사형 적층 구조의 토크 및 인덕턴스 특성을 보여준다. 자속의 흐름에 따른 결과는 권철심형이 방사형 적층 구조보다 40[%] 높은 특성을 얻는다.

표 3은 적층의 구조에 따른 이중 고정자 횡축 12/10 SRM의 특성을 보여준다. 권철심형 적층 구조가 방사형 적층 구조보다 효율이 23[%] 높음을 알 수 있다. 이는 횡축 자속을 갖는 전동기는 적층의 구조가 토크와 효율에 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다.

## 4. 시험 결과

### 4.1 시작 전동기

권철심형 적층 구조가 제작이 용이하지 않아 시작전동기는 방사형 적층 구조로 제작을 하였다. 그림 19는 고정자와 분절 회전자를 보여주며 이를 고정하는 재질은 비자성체 알루미늄 재질이



(a) 고정자 및 권선 (b) 분절회전자 및 몸체  
 그림 19 이중 고정자 횡축 12/10 SRM 시작품  
 Fig. 19 Prototype of double stator 12/10 AFSRM

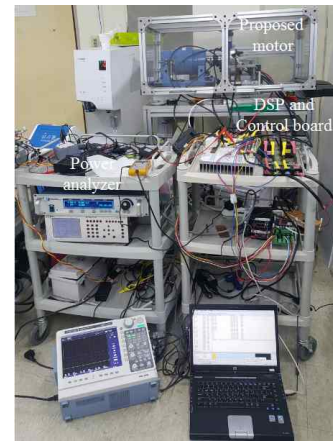


그림 20 실험 구성  
 Fig. 20 Experimental set-up

표 4 시작 전동기 치수

Table 4 Dimensions of prototype motor

| Parameter                  | Value | Unit |
|----------------------------|-------|------|
| Number of phases           | 3     | -    |
| Number of stator slots     | 12    | -    |
| Number of segmental rotors | 10    | -    |
| Rotor outside diameter     | 106   | mm   |
| Stator outside diameter    | 104   | mm   |
| Stack axial length         | 35.6  | mm   |
| Air gap length             | 0.25  | mm   |

며 이는 회전자의 무게와 관성을 감소시킨다.

### 4.2 인덕턴스 및 토크 측정 비교

전동기의 설계조건에서 정격토크는 1.7[Nm], 정격속도 2800 [rpm], 정격 전압 12[Vdc], 최대전류 110[A]이다. 그림 20은 시험환경을 보여준다. 인덕턴스와 부하 시험을 통해 효율을 측정하여 시험 결과와 시뮬레이션을 비교하여 설계의 타당성을 검증하고자 한다.

그림 21(a)는 방사형 적층의 시뮬레이션과 실험을 비교하여

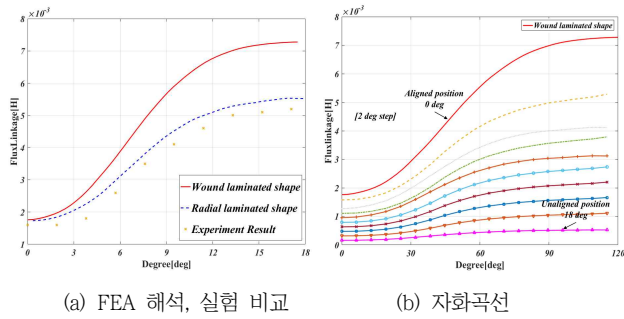


그림 21 시뮬레이션 대 실험 값  
Fig. 21 FEA analysis vs. experiment result

비 정렬위치 1.6[mH]에서 정렬위치 5.2[mH]까지 실험한 결과이며 시뮬레이션과 큰 오차가 없는 것을 확인할 수 있다. 그림 (b)는 전류에 따른 자화곡선을 보여주며 정렬위치 0°에서 비 정렬위치 18°까지 실험 결과를 보여준다. 그림 21의 굵은 선은 권철심형 적층의 시뮬레이션의 자속 쇄교수이며, 제안된 전동기를 권철심형 적층 구조로 제작하였을 때 실험결과는 권철심형의 시뮬레이션 결과와 비슷하다.

$$v(t) = R_s i(t) + \frac{d\psi(t)}{dt} \quad (1)$$

여기서  $v(t)$ 는 위상 순시 전압,  $R_s$ 는 위상 저항,  $i(t)$ 는 순시 전류,  $\psi(t)$ 는 순시 자속 쇄교수이다.

$$\psi(t) = \int_0^t v(t) - R_s i(t) dt + \psi(0) \quad (2)$$

제안된 전동기의 성능을 검증하기 위해 동적 시험도 진행하였다. 제어 방법은 속도제어를 기반으로 한다. 무부하 실험의 경우 PWM의 제어방식을 사용하고 전부하의 경우 선형각 제어방식을 사용한다. 그림 22는 제안된 전동기의 정격 속도 2800[RPM]에서 무부하와 최대 부하에서의 실험 결과를 보여준다. 그림 22의 (a)는 최대전류 40[A]이며 그림 22의 (b)는 토크 1.1[Nm]에서 최대전류 110[A], 전압11.5[V]의 실험 결과를 보여준다.

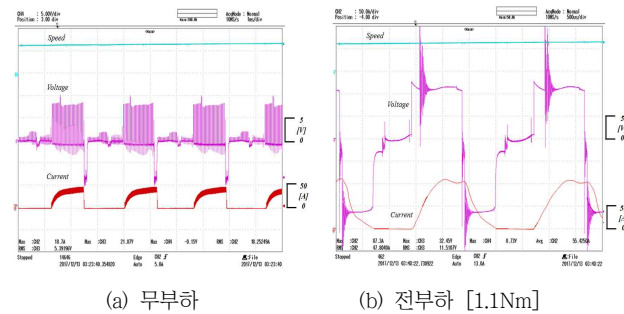


그림 22 제안한 시작 전동기의 구동시험  
Fig. 22 Experiment results of proposed motor at rated speed

표 5는 시뮬레이션과 시험 결과의 효율을 비교하였다. 기존의 12/8 SRM과 단일 고정자 횡축 12/10 SRM의 효율은 약 1~2[%] 차이가 발생 하지만 제안된 이중 고정자는 4[%] 오차가 발생함을 알 수 있다.

표 5 3종류의 전동기 특성  
Table 5 Characteristics of three types of motors

| Parameter                | Conven. 12/8 | Single stator | Tape lami. | Radial lami. |
|--------------------------|--------------|---------------|------------|--------------|
| Rated speed(RPM)         | 2800         | ←             | ←          | ←            |
| Rated torque(N.M)        | 1.7          | ←             | 1.7        | 1.1          |
| Copper loss(W)           | 88.8         | 93.8          | 72.0       | 187.5        |
| Core loss(W)             | 27.1         | 18.7          | 35.8       | 34.6         |
| Output power(W)          | 498.2        | 499.8         | 503.9      | 322.3        |
| Input power(W)           | 636.2        | 613.2         | 611.8      | 576.5        |
| Efficiency FEA(%)        | 80.8         | 82.4          | 82.3       | 59.4         |
| Efficiency Experiment(%) | 78.3         | 81.5          | -          | 55.1         |

### 5. 결 론

본 논문에서는 자동차 냉각팬에 적용하기위해 선행 연구된 단일 고정자 횡축 12/10 SRM의 단점인 단 방향 여자에 의한 높은 편심을 줄이고자 두 개의 고정자를 사용하여 이중 고정자 횡축 12/10 SRM을 설계하여 특성을 비교하였다. 이중고정자의 고정자 극의 형상을 사다리꼴 형상으로 설계하여 토크를 증가시켜 전동기 효율을 높이는 방식을 사용하였다. 이때, 고정자 슬롯의 면적이 줄어들면 권선면적 또한 줄어들어 슬롯을 비대칭으로 설계하여 슬롯 면적을 유지하였다. Z축 가진력을 해석하여 제안된 방식은 매우 낮은 가진력이 나오는 것을 확인하였다. 횡축 SRM은 권철심형 적층 구조로 제작하여야 하지만 제작이 용이하지 않아 방사형 적층 구조로 제작을 하였다. 방사형 적층 구조는 자속의 흐름이 원활하지 않아 설계된 효율보다 낮았다. 기존의 방사형과 단일 고정자 횡축 SRM과 특성을 비교하였고 시뮬레이션과 실험 결과의 효율은 약 1~4[%] 차이 나는 것을 확인하였다. 따라서 권철심형으로 제작하는 경우에도 시뮬레이션과 실험 결과도 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.]

### 감사의 글

본 논문은 2018년도 경성대학교 학술연구지원에 의하여 연구되었습니다.

## References

- [1] Kyu-Sang Lee, Seok-Yoon Jeong, Kyung-Hoon Kim, Chuyn-Han Yoon, Hee-Seok Choi, "Performance Experiment and Characteristics Analysis for an Automobile Cooling Fan", The Korean Society of Automotive Engineers, pp.1124-1129, Nov, 2002.
- [2] Kwang-Il Jeong, A-Ran Kim, Tae-Hyoung Kim, Jin-Woo Ahn, "Design and Analysis of 6/4, 12/8 and 8/6 SRM for Application of Automotive Cooling Fan", KIEE Summer Conference, pp. 658-659, Jul, 2012.
- [3] Bo Wang, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn, "Design and Characteristic Analysis for a Novel Axial Field SRM with Single Teeth and Segmental Rotor", KIEE Summer Confernece, pp. 945-946, Jul, 2013.

---

## 저 자 소 개



### 손 동 호 (Dong-Ho Son)

1991년생. 2016년 경성대학교 메카트로닉스 공학과 졸업, 2018년 동 대학원 메카트로닉스공학과 졸업(공학 석사)

Tel : 051-663-4779

E-mail : sdh3142@naver.com



### 안 진 우 (Jin-Woo Ahn)

1958년생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업, 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 경성대 기계메카트로닉스공학부 교수, 당학회 학술위원장(2011, 13), EMECS 부문화장(2015~16), 당학회 부회장(2015~17), EEE/ICEMS2013, ICIT2014, ITEC2016 General Chairman, JICEMS 편집위원장,

Tel : 051-663-4773

E-mail : jwahn@ks.ac.kr