

# 세탁기용 외전형 SRM의 특성해석

박보량, 김아란, 안진우, 이동희  
경성대학교 메카트로닉스 공학과

## Characteristic Analysis of Outer-Rotor Type SRM for Washing Machines

Bo Ryang Park, A Ran Kim, Jin Woo Ahn, Dong Hee Lee  
Dept. of Mechatronics Engineering, Kyungsung Univ.

### ABSTRACT

본 논문에서는 세탁기의 DD Motor로 사용되고 있는 BLDCM을 대신하여 세탁기의 부하에 따른 세탁모드와 탈수모드의 특징에 만족시키는 외전형 SRM을 설계하였다. 이와 같은 특징을 고려하여 외전형 SRM의 극 조합으로 12/8, 18/12, 36/24 극에 대해 설계하고 유한요소해석법을 통해 외전형 SRM의 특성을 해석하였다.

본 논문에서는 세탁기용 전동기에 알맞은 구조로 18/12극이 적절한 것으로 평가되었다.

### I. 서론

최근에 생활패턴 변화에 따라 세탁기의 저소음화를 요구하여 종래에 사용되는 풀리를 이용하여 전동기의 토크를 벨트로 연결하여 세탁하는 방식이 아닌 기어 및 벨트를 제거한 직접 구동방식이 사용되는데 이때 필요한 전동기를 Direct Drive(DD) Motor라고 부른다. DD Motor는 기어 및 벨트가 없어 기계음과 진동이 줄어들고 효율이 증가하게 된다. 현재 DD Motor 방식으로 사용되는 세탁기에 주로 사용되는 모터는 BLDC 모터가 큰 비율을 차지하고 그 외로 IPMSM, 3상 유도기 등이 현재 연구되어지고 있다.

가전분야 및 산업분야에서의 용용에 대한 관심이 높아지고 있는 SRM(Switched Reluctance Motor)은 구조의 단순성, 경제성, 기계적인 견인성과 단순한 전력변환기, 고속운전 특성을 가지고 있다. 특히 고속 운전 특성을 요구하는 송풍기 및 팬과 같은 응용분야에서 SRM을 이용하여 활용이 점점 증가되고 있다.

본 논문에서는 DD Motor로 요구되는 세탁기의 저속 고투크인 세탁모드와 고속 저토크인 탈수모드, 이 두 가지 모드의 조건을 만족시키는 특성을 가진 외전형 SRM으로 선정하였다. 선정된 SRM을 통해 극수에 따른 모터의 효율과 모터의 출력, 그리고 토크 리플을 비교해 보고자 하였다

## II. 외전형 SRM의 특성해석

### 1.1 세탁기 운용 모드

세탁기용 전동기를 설계 할 때에는 세탁기의 부하 특성을 파악한 후 설계한다. 세탁기에서 사용되는 두 가지 모드는 다음 표1과 같이 세탁을 하는 Washing mode와 탈수를 하는 Spinning mode가 있다.

표 1 세탁기 운용 모드

Table 1 The operation mode of washing machines

MODE	Speed[rpm]	Torque[N m]
Washing	45	20
Rating*	100	20 / 40(max)
Spinning	1500	2~3

Rating\* 설계에 적용한 정격

### 2.1 Outer Diameter

현재 사용되어지고 있는 DD Motor의 사이즈는 최대 300mm로 연구되고 있다. 이를 만족시키며 세탁기의 운용모드 중 다수의 시간을 차지하는 Washing mode를 기준으로 하되 두 가지 모드를 동시에 만족할 수 있는 Rating Speed 100rpm을 선정하여 Outer Diameter를 설계하였다.

Outer Diameter는 다음 식(1)에서 선정하였다.

$$D = \sqrt[3]{\frac{P_d}{k_e k_d k_1 k_2 B A_s N_r}} \times 1000 \quad (1)$$

$$D_{outer} = D / 0.53 \quad (2)$$

여기서,  $P_d$ 는 출력,  $k_e$ 는 효율,  $k_d$ 는 듀티사이클,  $k_1$ 는 상수,  $k_2$ 는 인덕턴스 기울기 비,  $B$ 는 자속밀도,  $A_s$ 는 전기적인 부하, 그리고  $N_r$ 은 속도이다.

위의 계산식에 의해 Outer Diameter는 232mm로 선정하였다. 다음 표 2는 제안된 외전형 SRM의 Spec.을 보여준다.

표 2 제안된 외전형 SRM의 Spec.

Table 2 Design Spec. of Proposed Outer Rotor SRM

Parameter	Value[Unit.]	Parameter	Value[Unit.]
Motor Structure	Outer Rotor	Rated Torque	20 [N.m]
Rated Voltage	AC 220 [V] DC 280 [V]	Max Torque	40 [N.m]
Outer Diameter	232 [mm]	Rated Speed	100 [rpm]
Stack Length	50 [mm]	Max Speed	1500 [rpm]

### 2.2 외전형 SRM 극 조합 설계

각각 극 조합에 따라 외전형 SRM의 Outer Diameter의 치수, 회전자, 고정자의 Pole Arc, Yoke를 설계하였다. 회전자, 고정자의 Pole Arc, Yoke의 값은 다음 식(3), (4), (5), (6)을 통

해 선정하였다.

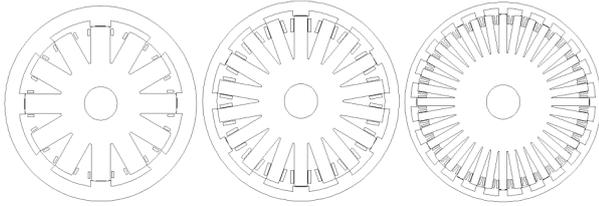
$$Pole\ arc_{Rotor} = 2(D_{Outer})\sin\left(\frac{\beta_r}{2}\right) \quad (3)$$

$$Pole\ arc_{Stator} = 2(D_{Outer} + Air\ gap)\frac{\beta_s}{2} \quad (4)$$

$$Yoke_{stator} \geq 0.7Pole\ arc_{stator} \quad (5)$$

$$Yoke_{Rotor} \geq 0.7Pole\ arc_{Rotor} \quad (6)$$

설계된 외전형 SRM은 다음 그림1에 나타난다.



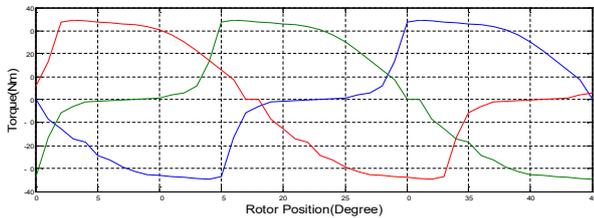
(a) 12/8극 (b) 18/12극 (c) 36/24극

그림1 외전형 SRM의 극 조합

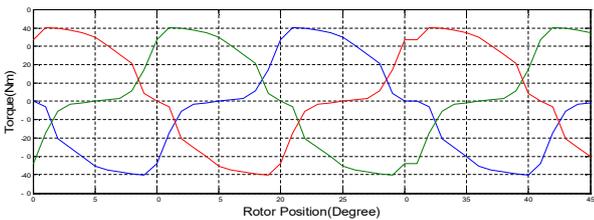
Fig.1 Pole combination of Outer rotor type SRM

### 2.3 설계된 외전형 SRM 토크 프로파일

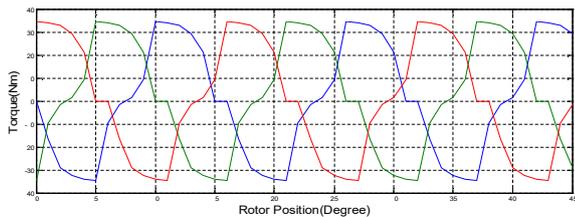
제안된 외전형 SRM이 세탁기의 Washing mode에서 Rated speed 100rpm이고 정격전류가 4A일 때, 유한요소 해석법을 통해 얻은 토크 프로파일은 아래의 그림2와 같이 나타난다.



(a) 12/8 극



(b) 18/12 극



(c) 36/24

그림 2 외전형 SRM의 토크 프로파일

Fig.2 Torque profile of Outer-rotor type SRM

그림2의 토크 프로파일을 보면, 내전형 SRM의 특성과 같이 극 조합이 늘어날수록 토크리플이 줄어들음을 보여준다. 아래의 표 3에서 극 조합에 따라 A Turn이 다르기 때문에 최대토크는 서로 다른 값을 나타내고 있다. 이를 토대로 극 조합이 많은 외전형 SRM보다는 극 조합이 적은 외전형 SRM이 고속에서도 유리함을 알 수 있었다.

표 3 극 조합에 따른 최대토크, 최소토크 그리고 평균토크  
Table 3 Max Torque, Min Torque and Average Torque of Difference Pole combination

Stator	Rotor	Max Torque	Min Torque	Average Torque
12	8	26.143	6.919	21.195
18	12	30.260	3.819	22.225
36	24	21.359	2.778	19.341

아래의 그림3은 설계된 값을 CAD를 이용해 계산한 효율을 나타낸 것이다.

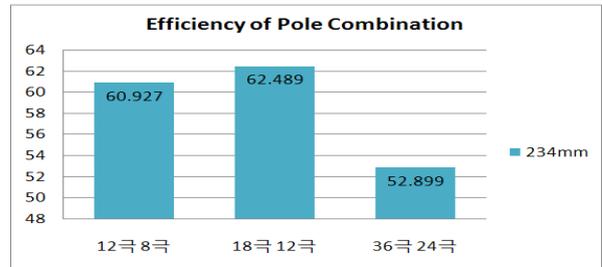


그림 3 외전형 SRM의 극 조합에 따른 효율

Fig 3 Efficiency of difference Pole combination

모터에서 극수가 증가할수록 토크 리플이 작아지면서 효율이 증가한다. 하지만 그만큼 철심도 증가하게 된다. 따라서 36극 24극 모터에서는 극수에 따른 효율 증가보다 철심이 더 크므로 전체 모터 효율은 감소됨을 알 수 있었다.

### III. 결론

본 논문에서는 세탁기용 DD Motor에서 필요로 하는 세탁 모드와 탈수모드의 성능을 고려하여 외전형 SRM을 선정하고 외전형 SRM을 세탁기 부하모드를 고려하여 기초설계부터 Outer Diameter, 극 조합, 고정자, 회전자의 Pole Arc, Yoke를 선정하여 모터의 출력과 토크 특성을 유한요소해석법을 통해 살펴보았다.

본 논문에서 설계된 외전형 SRM의 모터의 출력과 토크특성 결과를 통해 극 조합이 18/12인 경우에 세탁기용 전동기인 DD Motor로써 사용가능성이 높음을 보여주고 있다.

### 참고 문헌

- [1] 안진우 저 “스위치드 릴럭턴스 전동기”
- [2] Anton Dianov, Sang Taek Lee, “Novel IPMSM drive for compact washing machine”, 31st International Telecommunications Energy Conference, 2009. PP(s): 1 7 2009.10.