

세탁기용 외전형 SRM의 설계 및 특성 해석

김아란*, 이동희*, 안진우*
경성대학교

Design and Characteristics Analysis of Outer Rotor-Type SRM for Washing Machine

A-Ran Kim*, Dong-Hee Lee*, Jin-Woo Ahn*
Kyungsoong Univ *

Abstract - 본 논문에서는 세탁기용 DD모터로 사용되고 있는 BLDC를 대신하여 외전형 Switched Reluctance Motor (SRM) 타입으로 세탁기의 부하에 따라 저속/고토크인 세탁모드, 고속/저토크인 탈수모드의 특징에 만족시키는 전동기를 설계한다. 이와 같은 특징을 고려하여 외전형 SRM의 극 조합을 12/8, 18/12, 30/20, 36/24에 대해 설계하고 FEM을 통해서 특성을 해석한다. 이 중 세탁기용 전동기에 알맞은 구조를 선정하고자한다.

1. 서 론

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 Motor(DD Motor)라고 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 외로는 IPMSM, 3상 유도기 등이 현재 연구되어지고 있다.

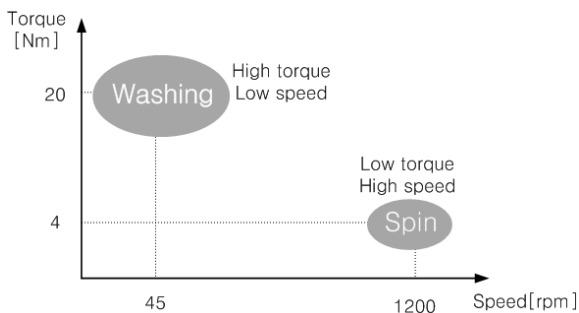
가전분야 및 산업분야에서의 응용에 대한 관심이 높아지고 있는 SRM(Switched Reluctance Motor)은 구조의 단순성, 경제성, 기계적인 견인성과 단순한 전력변환기, 고속운전 특성을 가지고 있다. 특히 고속 운전 특성을 요구하는 송풍기 및 팬과 같은 응용분야에서 SRM을 이용하여 활용이 점점 증가되고 있다.

본 논문에서는 드럼 세탁기 부하에 따라 세탁모드 저속/고토크, 탈수모드 고속/저토크의 특징을 가지고 있다. 이 특징을 만족 할 수 있는 전동기인 외전형 SRM은 SRM의 특징인 견인성, 고속운전 특성을 이용하여 세탁모드 저속/고토크, 고속/저토크를 만족하여 내전형 SRM이 아닌 외전형 SRM을 선정하여 설계를 수행 하였다.

2. 본 론

2.1 세탁기용 전동기 특성

세탁기용 전동기를 설계 할 때에는 세탁기의 부하 특성을 파악한 후 설계한다. 세탁기 부하는 세탁물의 상태와 처리에 따라 세탁모드, 탈수모드로 나눌 수 있다. 세탁모드는 45[rpm]의 속도에서 큰 부하 토크가 발생하기 때문에 20[Nm]의 토크가 필요로 한다. 탈수모드는 세탁모드와 달리 1200[rpm], 4[Nm]정도의 고속운전을 한다. 즉, 세탁물 내에 있는 이물질 제거해야 하는 세탁모드에서는 저속/고토크가 필요로 하지만 탈수모드에서는 세탁물 내에 있는 수분을 제거해야 함으로 고속/저토크가 필요하다. 다음 그림은 세탁기의 일반적인 부하특성을 나타내고 있다.



<그림 1> 세탁기부하 특성

<Fig 1> Load characteristics of washing machine

2.1.1 세탁기용 외전형 SRM의 요구 성능

세탁기용 전동기는 각각의 모드의 특징을 만족할 수 있는 정격을 선정하기에는 애매한 부하조건을 가지고 있다. 세탁모드에 맞게 정격을 선정하면 탈수모드인 1200[rpm]일 때 만족할 수 없다. 따라서 세탁 모드와 탈수 모드를 동시에 만족하는 속도가 선정이 필요하다. 본 설계에서는 동시에 만족하면서 세탁모드에 중점을 두어 정격 속도를 100[rpm] 선정하여 다음 <표 1>와 같이 설계하였다.

<표 1> 전동기 부하 특성 파라미터

<Table 1> Parameter for driving motor load

Parameter		Value
Washing Mode	Torque	20[Nm]
	Speed	45[rpm]
Rated	Torque/Max	20[Nm]/40[Nm]
	Speed	100[rpm]
Spin Mode	Torque	4[Nm]
	Speed	1,500[rpm]

2.2 외전형 SRM Design

세탁기용 전동기는 세탁기 부하 특성을 만족할 수 있는 저속/고토크, 고속/저토크의 외전형 SRM을 설계한다.

2.2.1 외전형 SRM 기본설계

외전형 SRM의 기본설계는 출력에 직접적인 연관을 가지는 회전자 직경과 적층길이의 선정, 즉 전동기의 체적의 결정에서부터 시작된다. 전동기의 출력방정식은 다음 식 (1)과 같이 k_e 효율, k_d duty cycle, 주기와 인덕턴스 기울기 비, 자속밀도와 회전자 직경, 속도의 곱으로 표현된다.

$$P = k_e k_d \left(\frac{\pi}{120} \right) \left(1 - \frac{1}{\sigma_s \sigma_u} \right) B A_s D^2 L N_r \quad (1)$$

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

일반적으로 전동기의 설계는 요구사항인 출력과 속도를 기반으로 설계시 전동기의 성능 조건 내에서 최대의 출력과 토크를 발생시키는 것을 목표로 하고 있다. 위의 식 (1), (2)을 이용해 계산된 D_{Outer} 을 산정 후 기본설계를 한다. <표 2>에서 산정된 치수를 나타내었다.

<표 2> 전동기 선정된 치수

<Table 2> Parameter of the design Motor

Parameter	Value
Motor Structure	Outer Rotor
Rated Voltage	220[AC] / 280[DC]
Outer Diameter	258[mm]
Stack Length	50[mm]
Air Gap	0.3[mm]
Shaft Diameter	40[mm]

2.3 외전형 SRM 극 조합

외전형 SRM의 Outer Diameter의 치수를 동일하게 258[mm]로 선정하고, Stator/Rotor의 극 조합은 다음 그림과 같이 12/8, 18/12, 30/20, 36/24로 선정하였다.

2.2.1 각 극 조합에 따른 회전자 및 고정자의 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)을 통해 선정하였다.

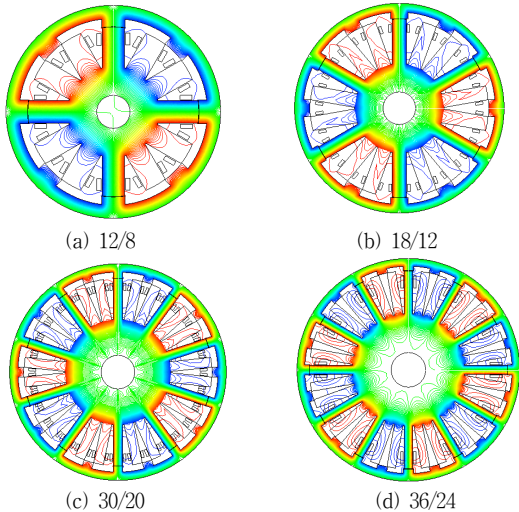
$$t_s = 2(D_{Outer})\sin\left(\frac{B_s}{2}\right) \quad (3)$$

$$t_r = 2(D_{Outer} + g)\sin\left(\frac{B_r}{2}\right) \quad (4)$$

여기서 B_s, B_r 고정자, 회전자의 Pole Arc를 이용하여 슬롯 깊이 t_s, t_r 를 얻게 되면 다음 식 (5)을 통해 Yoke를 선정하였다.

$$y_s \geq 0.7t_s \quad y_r \geq 0.7t_r \quad (5)$$

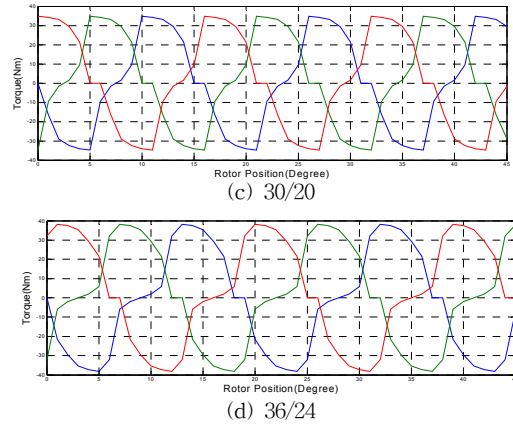
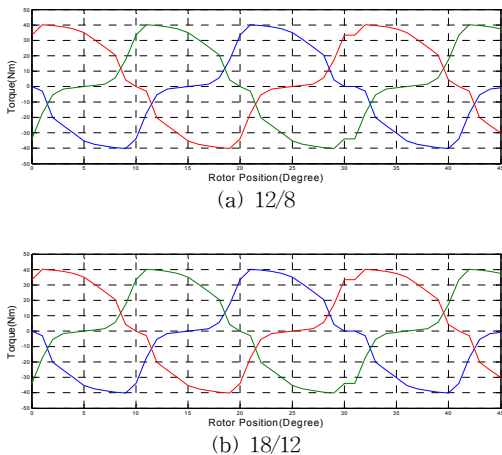
설계된 외전형 SRM은 다음 그림 2에 나타난다.



〈그림 2〉 외전형 SRM의 극 조합
〈Fig 2〉 Pole combination of Outer rotor Type SRM

2.2.2 설계된 외전형 SRM 토크 프로파일

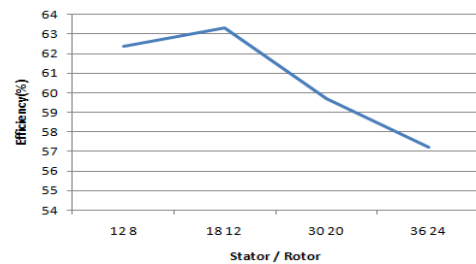
다음 앞에서 설계된 외전형 SRM을 FEM을 통해 얻은 토크 프로파일을 나타낸다.



〈그림 3〉 외전형 SRM의 토크 프로파일
〈Fig 3〉 Torque profile of Outer rotor Type SRM

위의 토크 프로파일을 보면 내전형의 특성과 같이 극 조합이 늘어날수록 토크 리플이 줄어드는 것을 보여준다. 하지만 극 조합이 늘어날수록 똑같은 Rotor Position에 스위칭 되는 값은 늘어나서 고속에서는 불리한 결과값을 얻을 수 있다. 최대토크는 각 조합에 따라 A·Turn이 다르기 때문에 다른 토크를 나타내고 있다. 이를 토대로 극 조합이 많은 외전형 SRM 보다는 고속에도 유리한 극 조합이 적은 외전형 SRM을 선정할 수 있다.

다음 그림 4는 앞에서 정격 속도 100[rpm]에서 설계된 값을 PC_SRD를 이용해 효율을 계산한 값이다. 여기서 보면 18/12의 외전형 SRM이 가장 좋은 효율을 가지는 것을 알 수 있다.



〈그림 4〉 극 조합에 따른 효율
〈Fig 4〉 Efficiency of difference Pole combination

3. 결 론

본 논문에서는 세탁기용 외전형 SRM을 세탁기 부하모드를 고려하여 기초설계부터 Outer Diameter, 극 조합, 고정자, 회전자의 Pole Arc, Yoke를 선정하여 토크 특성을 살펴보았다. 세탁기용 전동기에서 필요한 세탁모드와 탈수모드의 성능을 고려하여 정격 Speed 100[rpm]으로 선정하였다. 이를 기준으로 두 가지 모드를 모두 만족할 수 있는 외전형 SRM의 고정자, 회전자의 극 조합, 치수를 선정하고 FEM을 통해 토크 특성을 파악하였다.

이 논문에서는 외전형 SRM 기본적인 구조로 설계된 결과를 통해 세탁기용 전동기에 사용 가능성 보여 주고 있다. 그리고 이를 토대로 외전형 SRM을 세탁기용으로 적합하게 연구 할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 안진우 저 “스위치드 릴렉턴스 전동기”
- [2] Anton Dianov, Sang-Taek Lee, “Novel IPMSM drive for compact washing machine”, International Telecommunications Energy Conference, 2009. INTELEC Page(s): 1 - 7 2009. 31st
- [3] Jung-Hyo Lee; Tae-Woong Kong; Won-Chul Lee; Jae-Sung Yu; Choong-Yuen Won, “Load modeling for the drum washing machine system simulation”, 7th International Conference on Power Electronics, 2007. ICPE '07. Page(s): 861 - 865 2007
- [4] H. Bulent Ertan, L. Burak Yalmer “Performance calculation of SR motors for optimum design and a washing machine application”, 18th ICEM 2008. Page(s): 1 - 6 2008