

영구자석 배열에 따른 극변환 메모리 모터의 특성 분석

김영현*, 서 준*, 이중호*
한밭대학교*

Characteristics Analysis of Pole Changing Memory Motor According to Arrangement of magnet

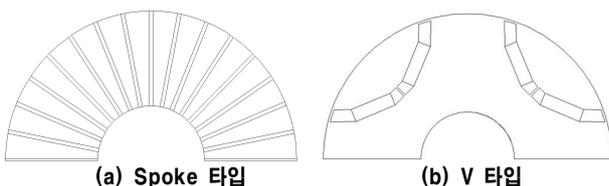
Young-Hyun Kim*, Seo Jun*, Jung-Ho Lee*
Hanbat National University*

Abstract - This paper deals with a characteristic that varies the number of magnetic pole in permanent magnet (PM) motor in order to reduce energy consumption. The pole changing memory motor (PCMM) can change the number of magnetic poles and produce two types of torque. When the motor operates with eight poles, it produces a magnetic torque at low rotational speeds. When the motor changes to four poles, it produces both magnetic torque and reluctance torque at high speeds. The paper explain the principle and basic characteristics of the motor by using a finite element method magnetic-field analysis, which consists of a PM magnetized by a pulse d-axis current of the armature winding. The results of our experiment show that the proposed motor reduces core loss by 10% and 55% under no-load and load conditions, and doubles the speed range of the motor.

1. 서 론

전기 에너지를 운동에너지로 변환하는 장치의 전동기는 산업 현장 및 가정 등 어느 곳에서도 사용하여 일상생활에서는 필수 불가결한 존재가 되어있다. 최근에는 생활 가전 분야 또는 자동차 분야 등에서 고속 저토크 또는 저속 고토크 등의 넓은 범위의 가변속 운전 조건을 요구하는 고효율 전동기의 개발이 이루어지고 있다. 이전 연구는 영구 자석 전동기의 가변속 운전을 가능하게 쇠교 자속을 변화시키는 방법을 제안 했다[1]-[10]. Weschta는 고속에서 영구 자석에 유도된 전압을 줄이기 위해 감자에 의해 변화하는 자속의 영구자석 전동기를 제안 했다[1]. Ostovic는 고정자 펄스를 이용하여 영구 자석에 극수 및 자속을 변화할 수 있는 기기(메모리 모터)의 개념을 제시하였다. 이 메모리 모터는 AlNiCo 및 ferrite 자석을 사용하여 압착된 자속 형태의 매입형 영구자석 전동기이다[2]-[3]. Liu는 메모리 전동기에 자체 분석을 수행하였고 [4], 그리고 Sakai는 영구 자석의 감자 및 재자화에 의해 자속이 변화될 수 있는 가변 자기력 모터를 제안했다[5]-[8]. Lee는 프라이어호 모델링을 사용하여 극변환시의 영구자석의 감자 전류 산정 및 특성 해석을 하였다[9]-[10], Sakai는 실험 결과 및 분석에 의한 기초로 전동기 부하에 자속을 변화할 수 있음을 확인 했다[5]-[6].

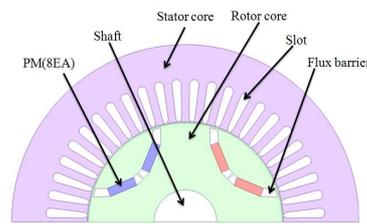
유도전동기는 구조가 간단하고, 제작 단가가 영구자석 전동기보다 저렴하므로 가변속 전동기를 가능하게 하는 일반적인 방법이다. 그러나 유도 전동기는 영구자석 전동기보다 효율적이지 못하다. 전형적인 영구자석 전동기는 항상 같은 극수를 유지하고 있으며, 어떤 속도에서 일정한 주파수로 동작한다. 만약, 영구자석 전동기가 메모리 모터의 원리로부터 동작한다면, 농형 유도기와 같이 간단하게 극수를 변환할 수 있다. 극변환 하는 영구 자석 전동기는 가변속 드라이브 시스템에서 에너지가 효율적으로 증가한 결과를 얻는다. 극변환 하는 영구자석 전동기는 고정자 권선으로부터 감자전류가 공급된다. 전형적인 영구자석 전동기는 정상 동작 조건에서는 감자를 막도록 설계하는 반면, 메모리모터의 동작은 짧은 고정자 전류로 영구자석의 자화량을 변화시킬 수 있는 특성을 기초로 한다. 영구자석의 자화량이 고정자 펄스에 의해 지속해서 어떻게 변화되는지에 대한 설명은 기존의 연구자료와 참고문헌에 나타나 있다 [1]-[10].



<그림 1> PCMM의 구성도

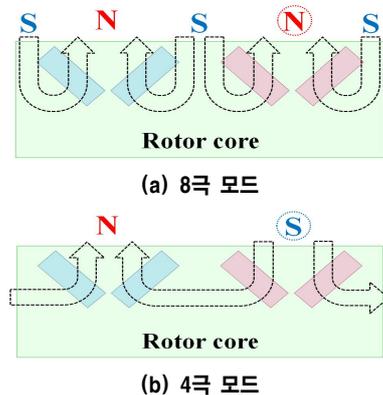
2. 본 론

2.1 극변환 메모리 모터의 동작원리



<그림 2> PCMM의 구성도

그림 2는 극변환 메모리 모터(PCMM)의 재질 및 기본적인 구성을 나타낸다. 극변환 메모리 모터의 회전자는 영구 자석을 V-형상으로 회전자 철심에 매입하여 기계적으로 강인한 회전자 구조를 가지도록 하였다. 고정자 전기자 코일은 슬롯에 8극과 4극으로 이중권 구조로 권선법을 채택하였다. 메모리 모터는 8극 PM모드와 4극 IPM모드로 나뉜다. 극수에 따라 d축, q축 인덕턴스 차이에 의해 발생한 토크가 마그네틱 토크와 결합하여 단위 체적 당 발생하는 토크가 타 전동기에 비해 큰 장점을 가진다. 메모리 모터에 삽입된 영구자석 AlNiCo9는 낮은 보자력으로 인해 극변환을 가능하게 한다.



(b) 4극 모드

<그림 3> PCMM의 극수를 바꾸는 방법

그림 3은 극수 및 토크의 모드 변환 원리에 관해 설명한다. 여기에서 회전자에 삽입된 8개의 영구 자석은 모두 같은 자화 방향을 가질 때 그림 3(a)과 같이 8극을 형성한다. 8극에서 4극으로 바꾸기 위해서 전기자 권선의 연결은 8극 권선에서 4극 권선으로 전환하게 된다. 그림 3(b)은 전기자 권선이 4극으로 재접속 된 후 짧은 펄스 전류(10[ms])로 인해

일부 자석의 극성이 반대로 바뀌고 4극을 형성하는 것을 나타낸다.

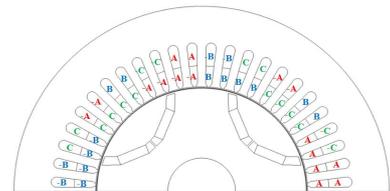
2.2 극변환의 특성

2.2.1 FEM 분석을 사용한 모터 모델

표 1은 분석 모델의 사양을 보여준다. 그림 6에서 보듯이 영구자석은 V자 형태이고 전기자 코일은 고정자 슬롯에 배열되어 있고, 그림 4은 8극 및 4극의 권선을 보여준다.

<표 1> 분석 모델의 모터 사양

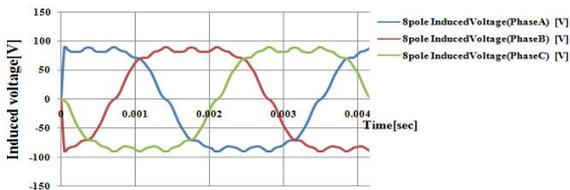
| 상수 | 3 | 정격 전류 | 5[Arms] |
|--------|---------|---------|-----------------------------|
| 극수 | 8극/4극 | 정격 주파수 | 240/120[Hz] |
| 턴수 | 32/14 | 슬롯수 | 48 |
| 고정자 외경 | 122[mm] | 영구자석 재질 | AlNiCo9(1.05[T], 120[kA/m]) |
| 회전자 외경 | 68[mm] | 영구자석 두께 | 3[mm] |
| 적층 길이 | 55[mm] | 영구자석 수 | 8 |
| 공극 | 0.5[mm] | 전기장관 재질 | 50PN800 |



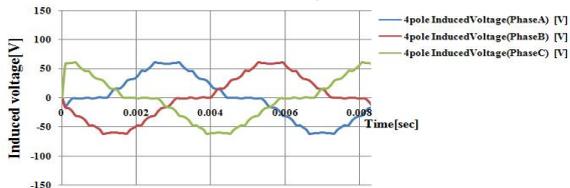
<그림 4> 극변환에 따른 전기자 코일의 배치

2.2.2 극변환과 가변 자속

FEM 자체 분석을 통해 회전자의 극변환을 증명하였다. 그림 5는 3600[rpm]에서의 역기전력의 변화 특성을 보여준다. 그림 5(a)의 유기전압은 71[Vrms]이고 그림 5(b)의 유기전압은 36[Vrms]이다. 모터가 8극에서 4극으로 변할 때, 유기 전압은 50%까지 줄어든다.



(a) 8극

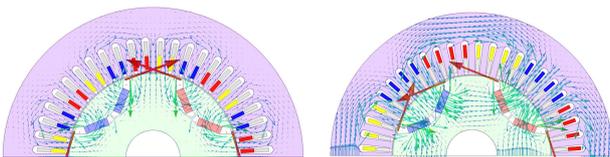


(b) 4극

<그림 5> 극변환에 의한 유기전압의 변화

2.2.3 모터의 자화 특성

알리코 자석은 자화-감자시 회전자 극수가 바뀌는 것을 가능하게 한다. 자체 분석은 영구 자석의 극성이 바뀔 수 있는지 없는지 증명하기 위해 수행되었다. 자화 전류가 모터의 전기자 권선을 통해 흐른 후, 모터의 영구자석의 자화를 분석한다. 자화 전류는 극에서의 자계를 발생한다. 그러므로 극변환 후에, 자화 전류는 새로운 극에서 d-축 전류가 된다. 또한, 이전에 했던 실험적 결과[7]에서는 자석 분석을 사용하여 얻은 모터에서 영구자석은 감자-자화될 수 있다. 그림 6은 회전자의 영구자석에서 극성이 바뀐 자화 벡터를 보여주고 있다.



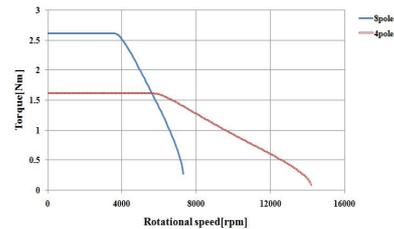
(a) 8극

(b) 4극

<그림 6> PCMM의 자화 벡터

2.2.4 토크-속도 특성

모터의 전류 자속과 주파수는 모터의 손실에 큰 영향을 미치기 때문에 모터의 효율과 손실은 극수에 따라 변한다는 것을 제시하는 것은 타당하다. 토크-속도 곡선은 자체 분석에 기반을 둔 FEM에 의해 얻어진다. 최대 전압의 크기는 125[Vrms]이고, 최대 전류의 실효값은 5[Arms]이다. 그림 7은 다양한 속도의 모터 성능을 나타낸다. 4극 모드 경우에는 릴럭턴스 토크 성분이 증가하기 때문에, I_d 의 절대값이 0 ~ 4000[rpm] 범위의 토크와 함께 증가한다. I_d 의 절대값이 회전속도 4000 ~ 14000[rpm] 범위에서 발생하는 것과 같은 방식으로 약계자 제어로 인하여 증가한다. 그림 16에서 나타난 바와 같이 결과적으로 회전속도는 6000[rpm] 이상으로 증가한다. 따라서 4극 모드 최대토크 조건에서의 최고 속도는 8극 모드 보다 대략 2배 정도인 것을 알 수 있다. 그러므로 4극 모드는 고속 영역에서 높은 출력용량으로 향상한다.



<그림 7> 가변속 드라이브 시스템에 의한 PCMM의 토크-속도

3. 결 론

본 논문은 극수를 변환할 수 있는 영구자석 전동기를 제안하였고, 극변환 메모리 모터의 원리 및 기본 특성에 대해 다뤘다. FEM 분석의 결과로 극변환 메모리 모터의 역기전력 변화는 50 ~ 100%로 다양하다. 게다가, 극변환 메모리 모터는 각각 무부하와 부하 조건에서 철손을 10%와 최대 55%까지 줄일 수 있다. 또한, 가변속 드라이브를 사용한 극변환 메모리 모터는 극변환에 따른 최대 토크 조건에서 속도 범위는 2배로 증가하고, 폭넓은 속도 범위를 가지는 것을 확인하였다. 그러므로 제안된 모터는 상황에 따라 극변환 하여 높은 성능과 효율을 가지는 가변속 드라이브 시스템에 사용할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] A Weschta, "Schwächung des erregterfeldes bei einer dauermagnetenerregren synchronmaschine", ETZ Arch., vol. 7, no. 3, pp. 79~84, 1985
- [2] V. Ostovic, "Memory Motors", IEEE Industry Applications Magazine, vol. 9, pp. 52~61, Jan/Feb. 2003
- [3] V. Ostovic, "Pole-changing permanent-magnet machines", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 38, no. 6, pp. 1493~1499, Nov/Dec. 2002.
- [4] H. Liu, H. Lin, Z. Q. Zhu, M. Huang, and P. Jin: "Permanent Magnet Remagnetizing Physics of a Variable Flux Memory Motor", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 46, no. 6, pp. 1679~1682, 2010.
- [5] K. Sakai, K. Yuki, Y. Hashiba, N. Takahashi, and K. Yasui, "Principle of the variable-magnetic-force memory motor", in ICEMS 2009, pp. LS6A-1.
- [6] K. Sakai, D. Misu, K. Yuki, K. Yasui, Y. Hashiba, and N. Takahashi, "New generation motor for energy saving", in Proc. 2010 International Power Electronics Conf., pp. 1354~1358
- [7] K. Sakai, H. Hashimoto, and S. Kuramochi, "Principle of hybrid variable-magnetic-force motors", in Proc. 2011 IEEE International Electric Machines and Drives Conf., pp. 53~58
- [8] K. Sakai, H. Hashimoto, and S. Kuramochi, "Principle and basic characteristics of hybrid variable-magnetic-force motors", in Proc. 2011 14th European Conf. on Power Electronics and Applications, paper 0087
- [9] J. H. Lee, J. P. Hong "Permanent Magnet Demagnetization Characteristic Analysis of a Variable Flux Memory Motor Using Coupled Preisach Modeling and FEM", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, no. 6, pp. 1550~1553, Jun. 2008.
- [10] J. H. Lee, S. C. Lee "Magnetization Characteristics Analysis in a Pole Changing Memory Motor Using Coupled FEM and Preisach Modeling", Journal of Magnetics, vol. 16, no. 4, pp. 386~390, Nov. 2011