

감자 특성을 고려한 왕복동형 압축기용 BLDC모터의 회전자 설계

유용민\*, 김대경\*\*, 권병일\*  
\*한양대학교, \*\*전자부품연구원

A Rotor Design of a BLDC motor used for Reciprocating Compressor Considering Demagnetization

Yong-min.You\*, Dae-kyong Kim\*\*, Byung-il Kwon\*  
\*Hanyang University, \*\*Korea Electronics Technology Institute

**Abstract** - This paper design a rotor shape of a BLDC motor used for reciprocating compressor. Demagnetization analysis of a basic model is performed by 2D finite element method. This type improved demagnetization characteristics and showed good performance to resist partial demagnetization of ferrite magnet.

1. 서 론

백색 가전 분야에서 모터 단품 및 적용 세트의 에너지 효율 개선을 위해 페라이트 마그네트를 이용한 BLDC 모터의 생산량이 급속도로 증가하고 있다. 특히 냉장고의 냉매 압축을 위한 왕복동형 압축기용 모터의 경우, 기존 단상 유도기의 성능을 개선하기 위한 BLDC 모터의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이와 같이 페라이트 마그네트의 사용량이 급속도로 증가하는 것은 우수한 자기특성 뿐만 아니라 다른 자성 재료에 비해 값이 저렴하기 때문이다[1].

냉장고는 여러 제조업체에 의해 생산되어 전 세계에서 사용되어지고 있기 때문에, 사용 전원과 동작 조건이 매우 다양하며 가혹한 조건에서 사용되어 지기도 한다. 특히 러시아와 같이 추운 지방에서 냉장고가 사용되어지는 경우, 압축기의 BLDC 모터에 적용된 페라이트 마그네트는 쉽게 감자될 수 있다. 또한 압축기에 흡입 및 토출되는 냉매가스에 의한 토크 백동으로 인해 순간적인 큰 전류가 발생되어 페라이트 마그네트가 감자 될 수 있으므로, 이를 고려한 설계가 이루어져야 한다[2].

BLDC 모터의 페라이트 마그네트의 특성이 저하되면 냉장고의 냉동능력 역시 저하되어 냉장고의 기본적인 냉장 및 냉동 기능을 수행하지 못하게 된다. 따라서 왕복동형 압축기의 BLDC 모터의 경우 페라이트 마그네트의 감자 특성에 대한 연구가 매우 중요하다. NdFeB 자석의 고온에서의 감자 특성에 관한 연구는 진행되고 있으나 [3], 페라이트 마그네트의 저온 감자 특성에 관한 연구는 미비한 상태이다.

본 논문에서는 냉장고용 왕복동형 압축기에서 사용되고 있는 BLDC모터의 페라이트 마그네트의 다양한 온도 조건에서의 역자계에 의한 영향을 소개하였다. 감자 특성 해석을 위해 2차원 유한요소 해석을 이용하였으며, 해석 프로그램의 검증을 위해 성능 평가 결과와 비교하였다. 또한 기존 모델의 감자 특성 개선을 위한 회전자 형상 설계를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 기본 모델의 감자 특성 해석

왕복동형 압축기의 경우 압축기 내부에 냉매가 잔류하는 조건하에서 BLDC 모터가 기동하게 된다. 따라서 모터의 기동특성 개선을 위해 제어기에서 제한하는 trip 전

류 레벨을 가능한 크게 설정해야 하지만, 기동 시 발생되는 순간적인 큰 peak 전류에 의해 영구자석은 쉽게 감자될 수 있다. 따라서 제어기의 trip 전류 레벨 설정을 위한, 영구자석 감자 특성의 검토가 필요하다.

2.1.1 기본 모델의 사양

왕복동형 압축기용 BLDC의 고정자 권선 형태는 분포 권 방식을 주로 사용하였으나, 현재는 제조공정이 간단하고 생산비용을 절감할 수 있는 집중권 권선방식을 많이 사용하고 있다. 또한 회전자는 영구자석이 회전자 표면에 부착된 SPM 타입을 주로 사용하였으나, 킬러턴스 토크를 이용하여 모터 토크와 효율을 증가시킬 수 있는 장점 때문에 IPM 타입이 점점 증가하고 있다.

그림 1은 감자특성 해석을 위한 BLDC 모터의 기본 모델 구조를 나타내고 있다. 고정자는 3상의 코일이 감겨 있는 6슬롯 집중권 형태로 구성되어 있으며, 회전자는 영구자석이 회전자 코어 내부에 삽입되는 4극 IPM의 형태이다.

기본 모델의 사양은 표 1과 같다. 기동 시 BLDC 모터의 기동특성 확보를 위해 제어기의 Trip 전류 레벨은 DC Peak 5.5[A] 이상으로 설정하였다. 코어 재질은 와전류손 저감을 위해 S18급의 날장 두께 T0.35의 전기강판을 사용하였다.

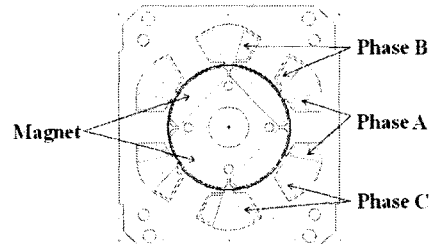


그림 1 기본 모델의 구조

표 1. 기본 모델의 사양

항 목	단 위	사 양	
정격 전압	V	AC 220	
Trip 전류 (Peak)	A	DC 5.5	
코어 재질	-	S18 (T0.35)	
적 층	層數	50	
고정자 외곽 (가로×세로)	mm	100×108	
회전자 외경	mm	Ø55.0	
공 극	mm	0.5	
코 일	도체 외경	mm	Ø0.6
	슬롯당 턴수	turns	205
영구자석	잔류자속밀도	T	0.41
	보자력	kA/m	294

### 2.1.2 해석 프로그램의 정확성 검증

모터의 감자 특성을 해석하기 위한 해석 방법으로써 2차원 유한요소해석 프로그램을 사용하였다. 해석 프로그램의 정확성 검증을 위해 그림 2와 같이 기본 모델의 시작품을 제작하였다.

그림3은 제작된 시작품의 성능 평가를 수행하기 위한 시험 장치를 구성을 나타내고 있다. Dynamometer를 이용하여 3,600[rpm]의 일정한 속도로 제작된 시작품을 회전시킨 후, 시작품의 각 상으로부터 유기된 역기전력 파형을 오실로스코프를 이용하여 측정하였다.

해석과 실험의 결과 비교는 그림 4와 같다. 3,600[rpm]에서 역기전력의 해석 결과는 84.92[Vrms]이고, 실험 결과는 87.37[Vrms]로써 2.8[%]의 근사한 결과 차이를 보임을 알 수 있다.

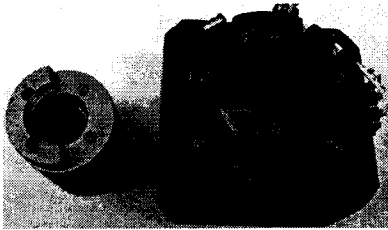


그림 2. 기본 모델의 시작품 외관

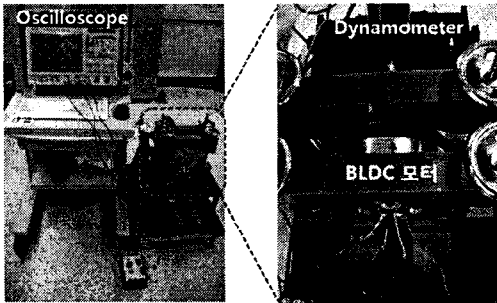
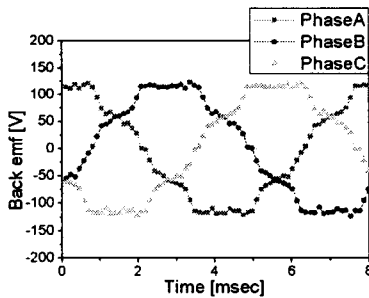
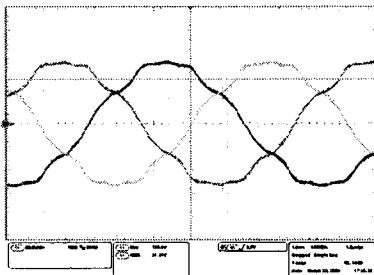


그림 3. 기본 모델의 시험 장치 구성



(a) 해석 결과



(b) 시험 결과

그림 4. 기본 모델의 역기전력 파형 비교 (3,600[rpm])

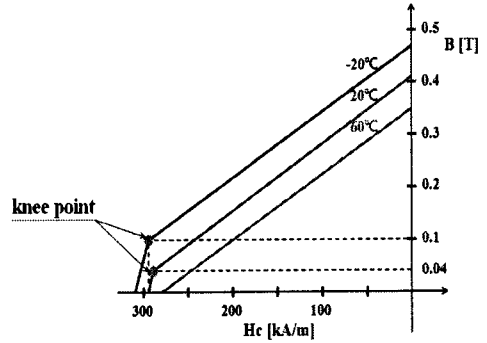


그림 5 온도에 따른 감자 특성 곡선

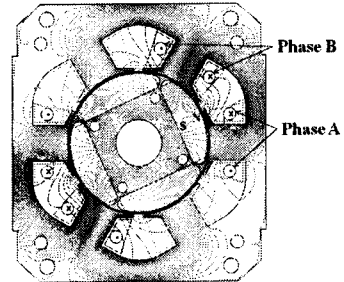


그림 6 기본 모델의 감자 해석시의 전류 여자 및 자속 분포도

### 2.1.3 기본 모델의 감자 특성 해석

그림 5는 본 연구의 기본 모델에 사용된 페라이트 마그네트의 온도별 감자 특성을 나타내고 있다. 온도 조건 20℃일때 잔류자속밀도와 보자력은 각각 0.41[T]와 294 [kA/m]이며, 온도조건 -20℃일때의 잔류자속밀도와 보자력은 각각 0.46[T]와 310 [kA/m]이다. 이와 같이 페라이트 마그네트는 사용 온도가 낮아질수록 잔류자속밀도와 보자력은 증가하게 된다.

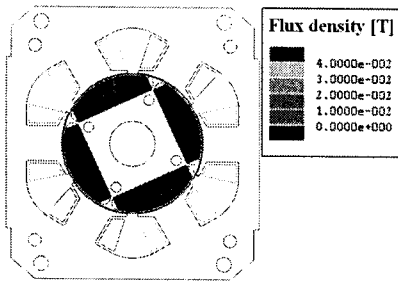
하지만 knee point에서의 자속밀도 값을 살펴보면 온도조건 20℃와 -20℃일때 각각 0.04[T]와 0.1[T]이다. 따라서 온도가 낮아질수록 knee point에서의 자속밀도 값이 증가하기 때문에, 온도가 낮은 조건하에서 페라이트 마그네트의 감자가 더욱 쉽게 발생할 수 있음을 알 수 있다. 실제로 냉장고가 실내의 정상적인 온도조건 뿐만 아니라, 추운 주위 환경에서도 사용될 수 있기 때문에, 페라이트 마그네트의 감자 특성은 상온에서 뿐만 아니라, 저온 조건에서의 해석이 필요하다.

본 연구에 사용된 BLDC모터 제어기의 Trip 전류 레벨은 DC Peak 5.5[A]이다. 하지만 양산시의 마진을 고려해야하므로, BLDC모터에 사용되는 페라이트 마그네트는 최소 DC Peak 8[A]에서 감자 특성에 문제가 없어야 한다.

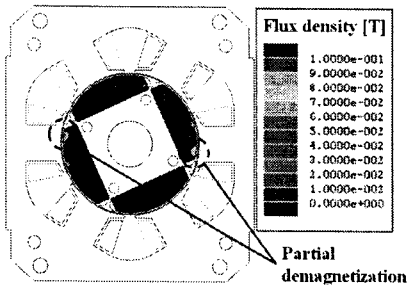
따라서 기본 모델의 감자 특성은 20℃와 -20℃의 각각의 온도조건하에서 DC Peak 8[A]의 역자제가 인가되었을 때를 가정하여 해석을 진행하였다. 본 연구에서 사용된 제어 방식은 구형파 제어를 사용한 2상 통전 방식이며, 감자 특성 해석시의 전류 여자 및 자속 분포는 그림 6과 같다.

그림 7은 최대 토크가 발생하는 기계각에서의 감자 특성 해석 결과를 나타내고 있다. 20℃의 온도조건에서 본 연구에 사용된 페라이트 마그네트의 knee point에서의 자속밀도는 0.04[T]이며, DC Peak 8[A]인가 시 감자 특성에 문제가 없음을 그림 7(a)와 같이 알 수 있다.

그림 7(b)는 -20℃의 온도조건에서 페라이트 마그네트의 knee point에서의 자속밀도는 0.1[T]이며, DC Peak 8[A]인가 시 마그네트의 끝단 외곽부에서 부분 감자가 발생함을 보여준다.



(a) 20°C, 8A (knee point: 0.04[T])



(b) -20°C, 8A (knee point: 0.1[T])

그림 7 기본 모델의 감자특성 해석 결과

## 2.2 개선 모델

기본 모델의 감자특성을 개선하기 위한 페라이트 마그네트와 회전자 코어의 형상을 제안하였다. 제안한 마그네트의 형상은 일본의 마쓰시다 등에서 이미 사용하고 있는 역호상의 형태이지만[4], 본 연구의 모델에 적합하도록 재설계하였다. 재설계된 페라이트 마그네트와 회전자 코어 형상의 개선된 감자 특성을 검증하기 위해, 기본 모델의 특성 해석 조건과 동일한 온도와 여자 조건에서 감자 특성 해석을 진행하였다.

### 2.2.1 개선 모델의 사양

그림 8은 기본 모델의 감자 특성을 개선하기 위한 페라이트 마그네트의 형상을 나타내고 있다. 개선된 페라이트 마그네트의 형상은 역호상 구조로써 기본 모델에 비해 큰 톨러턴스 토크를 이용할 수 있으며, 기본 모델에서 부분 감자가 발생하였던 영구자석 끝단부의 두께를 보완하였다. 제약조건은 재료비에 영향을 주는 영구자석의 체적으로 설정하였으며, 설계 결과는 표 2와 같다.

### 2.2.2 개선 모델의 감자 특성 해석

개선 모델의 온도 조건에 따른 감자 특성 해석결과는 그림 9와 같다. 온도 조건 20°C에서 역자계 8[A] 인가시의 감자 특성 해석 결과는 그림 9(a)와 같으며, 기본 모델의 해석 결과와 마찬가지로 영구자석의 감자는 발생하지 않았다.

온도 조건 20°C에 비해 감자가 더욱 쉽게 발생할 수 있는 온도 조건 -20°C에서의 역자계 8[A] 인가시의 감자 특성 해석 결과는 그림 9(b)와 같다. 기본 모델의 감자 특성 해석 결과인 그림 7(b)와 비교하였을 때, 기본 모델에서 발생하였던 영구자석 끝단 외곽부에서 발생하였던 부분 감자가 개선 모델에서는 발생하지 않음을 알 수 있다.

표 2. 기본 모델과 개선 모델의 영구 자석 형상 비교

항 목	단 위	기본 모델	개선 모델
영구 자석 두께	mm	중심부: 10.53 끝단부: 4.68	8.0
영구 자석 체적	mm <sup>3</sup>	1.419×10 <sup>4</sup>	1.359×10 <sup>4</sup>

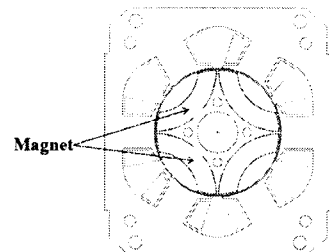
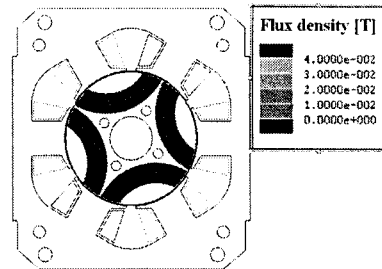
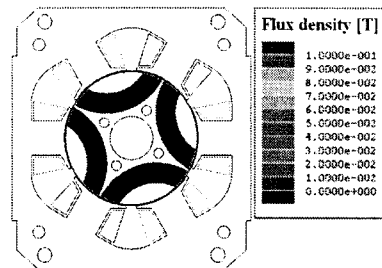


그림 8. 개선 모델의 구조



(a) 20°C, 8A (knee point: 0.04[T])



(b) -20°C, 8A (knee point: 0.1[T])

그림 9. 개선 모델의 감자특성 해석 결과

## 3. 결 론

본 논문에서는 냉장고의 왕복동형 압축기에 사용되고 있는 BLDC 모터용 페라이트 마그네트의 감자 특성을 2차원 유한요소 해석을 통해 수행하였다. 기본 모델의 페라이트는 -20°C 조건에서 역자계 8[A] 인가시 부분 감자 특성이 나타남을 알 수 있었다. 기본 모델의 부분 감자 특성을 개선하기 위해, 개선된 형태의 페라이트 마그네트와 회전자 코어 형상을 제안하였다.

연구 결과로써, 개선 모델의 페라이트 마그네트 및 회전자 코어 형상이 기본 모델의 형상에 비해 우수한 감자 특성을 가짐을 보여주었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 원종수, "페라이트 자석회전기의 설계", 동일출판사, pp. 19-21, 1995.
- [2] K. W. Lee, D. K. Kim, B. T. Kim, and B. I. Kwon, "A Novel Starting Method of the Surface Permanent-Magnet BLDC Motors without Position Sensor for Reciprocating Compressor", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 44, No. 1, pp. 85-92, Jan./Feb. 2008.
- [3] K. C. Kim, S. B. Lim, D. H. Koo, and J. Lee, "The Shape Design of Permanent Magnet for Permanent Magnet Synchronous Motor Considering Partial Demagnetization", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 42, No. 10, pp. 3485-3487, Oct. 2006.
- [4] TOSHIBA CORP., "Permanent magnet type motor", 日本特許廳, 特開1994-339238, 1994.