

## INTERIOR 영구자석 BLDC MOTOR의 역기전압과 토오크에 관한 분석

성부현<sup>1</sup>, 구자남, 김창준, 이진원, 김성민, 배건웅  
삼성전자(주) 기반기술센타

### Analysis of Back EMF and Torque in Interior Permanent Magnet BLDC Motors

Sung Bu Hyun, Ku Ja Nam, Kim Chang Jun, Lee Jin Won, Kim Sung Min, Bae Gun Woong  
Core Technology Research Center, Samsung Electronics Co., Ltd

#### Abstract

In this study, we developed the efficient brushless DC motor for a compressor of air conditioner. The characteristics of motor are under the control of the material of some parts and the shape of magnet. Especially we compared the interior shape to the surface shape of the magnet. And we optimized the parameters like the temperature and the materials of magnet and core by tool for more efficient motor.

#### 1. 서론

에어컨 컴프레샤의 구동을 위하여 사용되는 모터는 컴프레샤내의 고온고압의 환경下에서 최대 7000 rpm이상의 회전수로 회전한다. 기존의 컴프레샤용 모터는 AC유도기가 주종이었으나 최근에 와서는 제어성이 우수하고 효율이 높은 BL(Brushless) DC 모터가 사용되고 있다. [1]

BLDC모터중에 Inner Rotor형은 영구자석을 Rotor표면에 부착하는 방식이 일반적으로 사용되어 왔다. 하지만 이 방식은 제작이 용이한 반면에 고회전수에서 영구자석의 이탈 및 자석 부스러기들에 의한 기계적 마찰등의 문제점들이 발생하기가 쉽다. 따라서 고회전하는 컴프레샤 모터는 이러한 문제를 피하기 위하여 최근에는 Rotor를 Can으로 씌우거나 Core내부로 영구자석을 삽입하는 Interior 형식을 사용하고 있다. [1] [2] [3] [4]

또한 컴프레샤의 고온고압의 환경은 일반적인 BLDC모터에 이용되는 위치센서의 사용을 불가능하게 하므로 Sensorless방식의 채용을 불가피하게 한다. 따라서 본 논문은 이러한 여러 가지의 제약조건 하에서 사용되는 Single로터리 컴프레샤용 모터를 Sensorless BLDC의 Interior형식으로 개발하고자 이에 관한 연구를 진행하였다.

첫째, Sensorless의 Sensing방법인 역기전압 출력의 증대를 위하여 영구자석을 3가지 형상으로 용융, 변형시키어 비교분석하였다.

둘째, 컴프레샤의 내부온도가 100°C 이상의 고온이므로 상온과 고온에서의 모터출력의 변화를 연구하였다.

셋째, 모터의 복싱에 따른 영향을 미치는 영구자석과 Core의 세밀을 고급재료의 사용에 의한 효율의 증대를 분석하였다.

본 연구는 유한요소법(Finite Element Analysis)에 의하여 그 특성들을 해석하였으며 사용된 Tool은 Maxwell 전자기장 해석 프로그램이다. [5]

#### 2. 에어컨 System의 기술 현황

선진에어컨의 기술추세는 크게 다음의 3가지로 요약할 수 있다.

1) Powerful화 2) 절전화 3) 정음화, 이러한 기능을 위하여 요구되는 기술로서는 컴프레샤의 Twin로터리화, BLDC화, 구동부의 인버터화 등이 있다.

그림.1에서는 맥동토크의 변화비율 3.4:1과 맥동주파수의 비율 1:2를 나타내었는데 이 맥동토크는 컴프레샤내에서의 Gas의 압축 및 토출력에 의하여 발생한다. Twin은 Single에 비하여 약 1/13정도의 저진동 특성을 갖게 된다. [6]

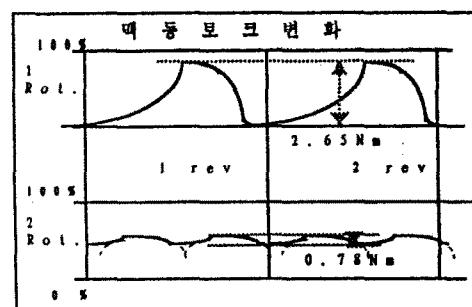


그림.1 Twin 로터리와 Single로터리의 맥동토크

#### 3. 이론적 배경

##### 3.1 유한요소를 위한 기본 방정식

자장(磁場)의 방정식들은 아래와 같은 맥스웰방정식과 그 보조방정식에 의하여 유도된다.

$$\nabla \times H = J \quad (1)$$

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (2)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3)$$

$$M = \chi H + M_r \quad (4)$$

여기서  $H$  : 자기장의 세기,  $J$  : 전류밀도,  $\mu_0$  : 전공의루자율,  $B$  : 자속밀도,  $\chi$  : 자화율,  $M$  : 자화량,  $M_r$  : 잔류자화량이다. 윗식에서  $B = \nabla \times A$ 로 정의 되는 벡터퍼텐셜을 이용하여 식 (1)을 정의하면

$$\nabla \times (\nu \nabla \times A) = J - \nabla \times \nu r M_r \quad (5)$$

### 3. 2역기전력(逆起電力)

넥터피랜셜로부터 자속을 계산할 수 있으므로 자속에서 역기전력을 계산한다. 이때 한상당의 전압은,

$$Ep = - \frac{d\Psi}{dt} = - j\omega_s \Psi \quad (6)$$

여기서  $E$  : 역기전압,  $p$  : 극수,  $\Psi$  : 한상당의 쇄교자속수,  $\omega_e$  : 회전자의 전기 각속도

### 3.3 토오크

토오크계산은 다음식과같이 폐곡면에 대한 표면 적분으로 계산된다.  $\Gamma$ 를 회전자의 중심에서 적분경로로의 임의의 지점까지 반지름 방향벡터 이라고  $dS$ 는 표면의 수직벡터이다. 하면 2차원 유한요소법에 의한 표면적분은 다음과 같은 선적분으로 된다.

$$T = \frac{I}{\mu_0} \oint_r B \cdot d\Gamma \cdot L \quad (7)$$

여기서  $B_1$ 와  $B_n$ 은 적분방향에서의 자속밀도의 접선성분과 수직성분이고,  $L$ 은 모타의 축방향 길이이다.

#### 4. 연구방법

#### 4. 1 형상비교

본 논문에서 분석한 Motor는 그림. 2 에 나타나 있는 3가지 (A, B, C) type이다. 세가지 Type에 있어서 모타의 Rotor 및 Stator의 크기는 모두 같은 설계작 되었다.



### 그림. 2 영구자석형상의 종류

#### 4.2 온도비교

에어컨 컴프레셔 내부에 장착되는 BLDC 모터는 이미 밝혔듯이 에어컨 내부의 고온 고압의 환경으로 인하여 Sensorless 방식으로 제작하였다. 또한 내부온도는 최고 130 °C까지 상승하므로 영구자석의 감자특성을 의한 모터의 열화특성을 미리 고려하여 모터를 설계하지 않으면 안된다. 따라서 본 연구에서는 상온 20 °C와 고온 100 °C에서의 모터 특성 변화를 비교 분석하였다.

#### 4. 3자석의 재질비교

본 연구에 이용된 영구자석은 TDK의 재료로서, 모델명은 FB6II와 FB6N이다. 두 모델의 자기특성은 표 1 과 같다.

표 1 연구자석의 재료특성

	FB6N	FB6II
Br (KG)	440	400
Hc (KOe)	3.25	3.8
BHmax (MGoe)	4.6	3.8

#### 4.4 Core 재료비교

본 연구에 이용된 Core의 재료는 가와사끼의 재료로써 그 특성은 표. 2 와 같다.

표. 2 Core의 재료특성비교

	SORM700	SORM400
Thickness (mm)	0.5	
Coreloss (W/Kg)	1.5	0.83
Flux Density (T)	1.73	1.68

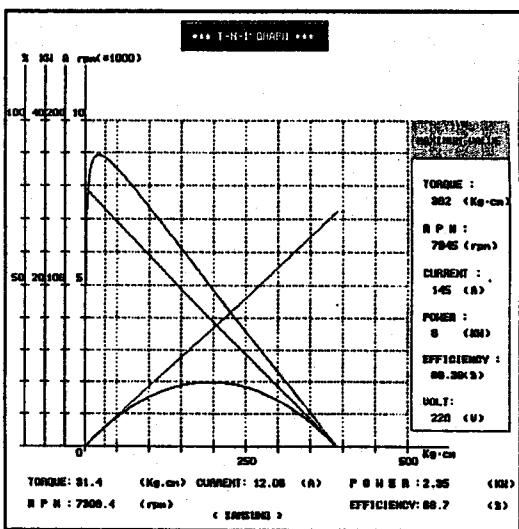
### 5. 결과(結果)

### 5.1 기본 모타의 특성설계

앞에서의 System과의 매칭판례로 Single 썽프레샤용 모터에 요구되는 기본사양은 표 3 와 같다. 이것을 그래프로 표시한 것이 그림. 3 이다. 모터에 입력되는 최대전류는  $100 \text{ A}$  이상이나 실제로는 구동부의 과전류방지를 위하여  $30 \text{ A}$  이하로 제한 시킨다. 그래서 그 때의 토크를 최대로오크로 정의한다. 그림. 3 의 그래프 하단부의 값은 정적 약  $30\text{kgcm}$  일때의 각 값들이다.

표 3 모타의 기본특성

	항 목	조 건	규격
1	무부하 회전수	정격전압, 무부하에서	7,000 rpm 이상
2	정격부하 회전수	정격부하 (SeI)에서	3600 rpm
3	무부하전류	정격전압, 무부하에서	2 A 이하
4	정격전류	정격부하 (SeI)에서	15 A 이하
5	최대전류	정격전압, 전류제한	30 A 이하
6	최대토크	정격전압에서	55 kgfcm 이상



### 그림. 3 기본사양에 의한 TN1그래프

## 5.2 형상에 따른 Flux분포 및 토오크의 변화

그림.4 에는 A와 B Type의 자속의 분포도를 나타내었다.

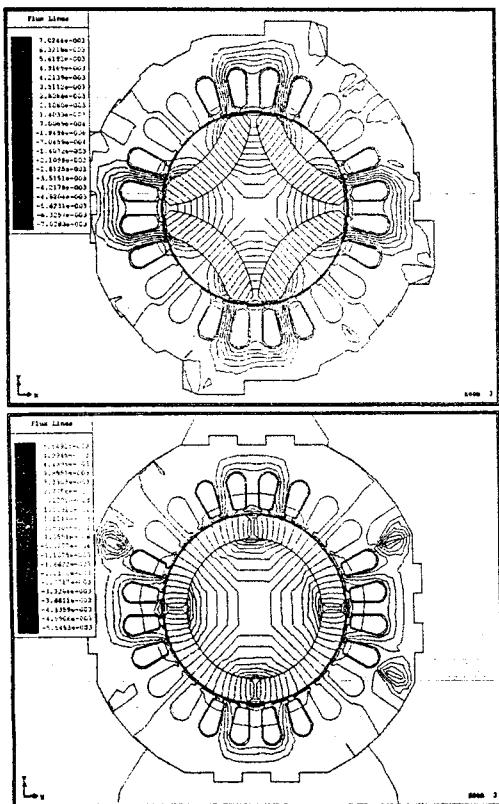


그림.4 A와 B 모터의 Flux (명령상태)

(상) Interior (하) Surface

다음은 모터상수  $K_t$ 의 차이를 그림.5에 나타내었다.

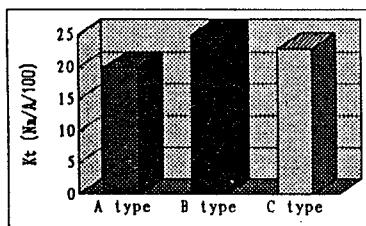


그림.5 모터종류별 모터상수

표.4 해석에 의한 B모터의 평균 토오크

(전류 : 20A, 단위 : Kgcm)

	온도 (°C)	SORM700	SORM400
FB6N	100	56.0	-
	20	69.6	72.0
FB6H	20	60.0	68.0

## 5.3 모오크특성의 변화 분석

고온에서는 영구자석의 자속밀도가 감소하므로 모터에서 발생하는 토크의 출력도 감소하게 된다. B Type의 모터를 분석한 결과 100 °C에서의 토크 출력은 상온(20 °C)에 비하여 약 15-20 % 정도의 감소를 보인다. 영구자석의 특성에 따른 출력의 변화를 B Type의 구조에 관하여 분석한 결과 예상되었던 것처럼 자석의 Br값이 큰 FB6N을 이용했을 때 FB6H보다 토크값이 약 13% 정도 크게 나타남을 표.4으로부터 알 수 있다. Core도 영구자석과 마찬가지로 재료의 특성상 칠손이 적은 SORM400이 SORM700보다도 토크값이 약 13% 정도 더 우수하게 나타남을 표.4로부터 알 수 있다.

## 6. 결론

에어컨의 고기능화를 위하여서는 저속영역에서의 진동 및 소음의 원인이 되는 회전 불균일의 제어를 위하여 컴프레샤 모터를 BLDC 모터로의 채용을 불가피하게 한다. 그리고 컴프레샤 내부의 고온고압의 환경과 모터의 고회전수는 모터를 Sensorless 구동 및 Interior형의 영구자석으로 적용케 한다. Interior 형식에서, 영구자석의 구조를 다양하게 변화시킬 수 있음에 의하여 모터의 특성을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 유한요소법에 의하여 세가지의 형상을 분석하였는데 그 중에서 B Type의 형상이 토크 및 역기전압 발생 그리고 영구자석의 재료선정측면에 있어서 가장 장점이 있다는 사실을 알 수 있었다. 이것은 자석의 형상이 B Type과 같이 변화가능해짐에 따라서 자석의 재질도 저보자력 및 고자속밀도의 재질의 선정도 가능하여짐으로서 토크 및 역기전압의 향상에 더욱 유리하게 된다는 사실인 것이다. 그리고 고온(100 °C)에서는 상온시에 비하여 약 15%의 토크 마진을 고려하여 모터를 설계하여야 함을 알았다. Core재료측면에 있어서는 저칠손재료에 의한 토크 저하의 값을 구할 수가 있었다. 그런데 Single 컴프레샤는 자체의 특성한계를 갖고있기 때문에 Twin 또는 스크루 컴프레샤에 적용할 경우에는 본 BLDC의 개발은 더욱 용이해 질것이다.

## 7. 참고문헌

- [1] 谷本茂也, '에어컨 컴프레샤용 브러시리스 DC 모터' '94모터기술 심포지엄, CS-1, p. 1-16, 1994.4
- [2] Station, D. A.; Mcglip, M. I.; Miller, T. J. E. 'Interactive computer aided design of permanent magnet DC Motors', conference record of the 1993 IEEE industry application, p. 217-24, vol. 1
- [3] Binns, K. J.; Hameed, A. A. K.; Chaaban, F. B., 'A canned solid rotor permanent magnet machine with skewed-radial neodymium-iron-boron magnets', Conference on electrical machines and drives, IEE, No. 310, p. 57-60, 1989
- [4] Z. Q. Zhu, D. Howe and Z. P. Xia, 'Prediction of open-circuit airgap field distribution in brushless machine having an inset permanent magnet rotor topology', IEEE Transaction on magnetics, vol. 30, No. 1, p. 98-107, 1994. 1
- [5] K. J. Binns, M. S. N. Al-Din, P. J. G. Lisboa, 'Use of Canned rotors in high-field permanent magnet machine', IEE proc-B, vol. 139, no. 5, p. 471-477, 1992. 9
- [6] 長友繁美, "실외기 컴프레샤에서 본 저진동, 저소음화 기술", NIKKEI Mechanical 1993. 2. 22 p. 80-86