

스켈리턴 형상을 갖는 2상 BLDC 모터의 특성향상에 관한 연구

류세현\*, 임태빈\*, 정종기\*, 하근수\*, 장홍순\*\*, 백수현\*\*  
 \*전자부품연구원, \*\*동국대학교

A Study on the Performance Improvement for Skeleton type 2-Phase BLDC Motor

S.H. Rhyu\*, T.B. Im\*, J.K. Chung\*, K.S. Ha\*, H.S. Chang\*\*, S.H. Back\*\*  
 \*Korea Electronics Technology Institute, \*\*Dong-kuk University

**Abstract** - Recently, the skeleton type 2-phase brushless DC motor has been used in electric home appliance for low price and low energy consumption. In this paper, we analyzed a skeleton type 2-phase BLDC motor using time-step finite element method. And the validity of analysis is confirmed by measuring the flux distribution on the surface of permanent magnet and back-EMF. As well, we have calculated the dynamic characteristics of target motor considering the Hall sensor position. So, we have found the optimum switching position, and improved efficiency of 2-phase BLDC motor.

**Key Words** - skeleton type, back-EMF

1. 서 론

최근에 가전기기 분야의 구동원으로 사용되어지는 소형모터는 소비 전력의 저감화를 요구하기 때문에 영구자석을 갖는 BLDC 모터의 사용을 증가시키고 있다. 일반적으로 BLDC 모터는 고에너지 밀도의 영구자석을 사용할 수 있기 때문에 효율을 증대시킬 수 있고, 소형화와 장수명의 특성을 기대할 수 있다. 특히, 스켈리턴 형상의 코어를 갖는 2상 BLDC 모터는 구조가 간단하여 생산성이 유리하고 제조단가가 저렴하기 때문에 관심이 집중되고 있으며, 많은 부분에서 연구가 진행되어 지고 있다.[1]

일반적으로 스켈리턴 형상의 2상 BLDC 모터는 구조적 제약으로 인하여 효율이 다소 떨어지는 특성을 갖는다. 따라서, 본 논문에서는 스켈리턴 형상 코어를 갖는 2상 BLDC 모터에 대한 성능향상 연구의 일환으로써 냉장고 냉각팬 구동용으로 사용되어지는 모터를 대상으로 2차원 시간차분 유한요소법을 이용하여 홀 센서의 위치이동으로 인한 스위칭 시점의 변화에 따른 정확한 동특성 해석을 하였다. 이로부터 효율향상을 위한 적정의 스위칭 포인트를 찾을 수 있었으며, 또한 실제로 제작한 모델을 대상으로 실험을 통하여 연구의 타당성을 검증할 수 있었다.

2. 2상 BLDC 모터의 유한요소 해석

2.1 해석모델

그림 1은 본 논문의 해석대상 모델인 2상 BLDC모터의 구조도를 나타낸다. 그림을 보아 알 수 있듯이 모터의 스테이터부는 스켈리턴 형상의 코어로 이루어져 있으며, 회전자에는 영구자석 일체형으로 되어있다. 회전자와 접한 스테이터 내경면에는 초기 마그네트의 위치를 설정하도록 디텐트 구를 가지며, 각상의 여자를 변환하기 위

하여 회전자의 위치를 검출할 수 있는 위치센서(Hall sensor)를 가지고 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 2는 구동을 위한 두 상에 대한 여자 순서도를 나타내며, 이로부터 두 상이 전기각으로 180° 마다 순차적으로 여자가 됨을 알 수 있다.

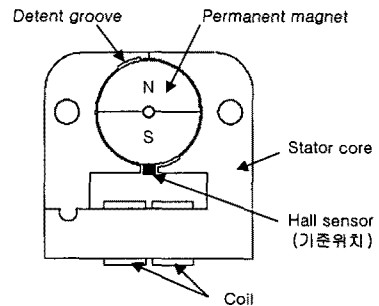


그림 1. 해석모델 구조도  
 Fig. 1 Configuration of analysis model

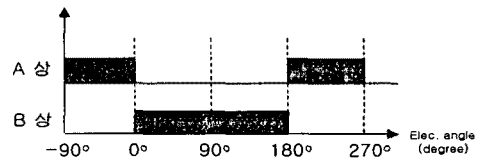


그림 2. 여자 순서도  
 Fig. 2 Excitation sequence

다음의 표 1은 연구대상 모델의 전기적 및 기계적 제원을 나타낸다.

표 1. 해석모델 사양  
 Table. 1 Specification of the motor

구분	사양	단위
구동전압	12	V
정격속도	2400	rpm
스테이터 내경	31.2	mm
스테이터 적층폭	10	mm
권선수/상	434	turns/phase
마그네트 종류	Ferrite	
회전방향	CCW	
부하	38(fan-4blade)	gcm

2.2 전압원을 고려한 유한요소 정식화

해석대상 모델을 2차원 유한요소 해석하기 위한 지배방정식은 다음의 식(1)과 같다.

$$\frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial^2 A_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} \right) = -J \quad (1)$$

$$- \frac{1}{\mu_r} \left( \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial M_{rx}}{\partial y} \right)$$

여기서,  $A$  는 자기벡터포텐셜을 나타내며,  $J$  는 권선의 전류밀도를 나타낸다. 해석대상 모델이  $z$  축 방향으로 무한하다고 가정하면,  $A$  와  $J$  는  $z$  축 방향으로만 존재하게 된다. 또한,  $M_r$  은 잔류자화량을 나타내며,  $x, y$  성분만 존재한다고 본다.

식(1)을 Galerkin법을 사용하여 해석영역 각각의 요소에 정식화하고 이로부터 얻어낸 각각의 요소방정식을 전 요소에 대하여 조립하면, 식(2)와 같은 각 절점에 대한 자기벡터 포텐셜과 각 상전류에 대한 선형 연립방정식을 얻을 수 있다.

$$[[S] [C]] \begin{bmatrix} [A] \\ [I] \end{bmatrix} = [G] \quad (2)$$

여기서,  $[S]$  는 절점의 위치와 투자율에 관계된 계수 행렬,  $[C]$  는 각 상권선에 흐르는 강제전류밀도의 계수 행렬,  $[G]$  는 등가 자화전류 밀도에 해당하는 구동 행렬을 나타낸다. 식(2)에서 미지수로 나타나는 각 상전류 값을 구하기 위하여 다음과 같은 각 상의 전압방정식을 이용하였다.

$$\frac{d}{dt}(\psi) + [L_o] \frac{d}{dt} (I) + [R](I) = [V] \quad (3)$$

여기서,  $[V]$  는 각상의 전압을 나타내며,  $[I]$  는 각상의 권선 전류,  $[R]$  은 각상의 권선저항,  $[L_o]$  는 각상 코일 단부의 누설인덕턴스를 나타내며,  $(\psi)$  는 각상 권선의 쇄교 자속량을 나타낸다.

식(2)와 식(3)을 결합한 후 시간미분항을 후퇴차분법으로 근사시키면 각 절점의 자기벡터 포텐셜  $[A]$  와 각상의 권선에 흐르는 전류  $[I]$  를 미지수로 하는 식(4)와 같은 시스템 matrix를 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} [S] & [C] \\ [Q] & [L_o] + \Delta t [R] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [A]^{n+1} \\ [I]^{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [0] & [0] \\ [Q] & [L_o] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [A]^n \\ [I]^n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [G]^{n+1} \\ [V]^{n+1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 3. 2상 BLDC 모터의 특성 분석

#### 3.1 역기전력 특성분석

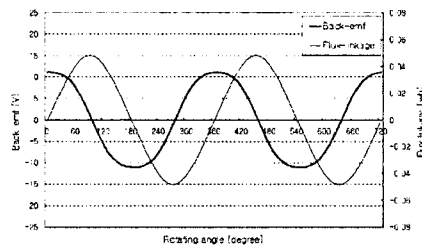
일반적으로 영구자석을 갖는 모터의 경우 마그네트의 착자요크 및 방법에 따라 자화분포의 많은 차이를 보이며, 실제로 모터의 특성을 변화하는 큰 요인으로 작용하게 된다. 정확한 해석을 위한 영구자석의 자화분포를 알아내고자 많은 연구가 진행되어지고 있다.[1][2]

그림 3은 해석을 통하여 얻어낸 마그네트 표면에서의 자속밀도 분포를 실측치와 비교한 것이며, 해석결과 파형이 실측한 특성파형과 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 또한, 그림 4는 표 1의 제원을 갖는 해석대상 전동기에 대하여 속도 2400(rpm)으로 회전시킬 경우 나타

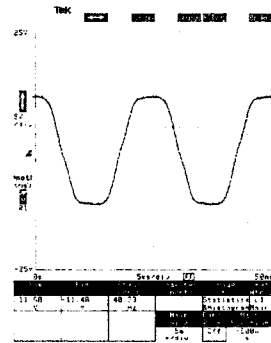
나는 역기전력 특성을 보이고 있다. 그림을 보아 알 수 있듯이 실험치에서 보이는 역기전력의 최고치 값과 파형의 양상이 시뮬레이션 결과와 비슷하게 일치함을 알 수 있다.



그림 3. 자속밀도 분포도  
Fig. 3 Flux density distribution



(a) 해석파형



(b) 실측파형

그림 4. 역기전력 특성  
Fig. 4 Characteristics of Back-emf

#### 3.2 동특성 해석

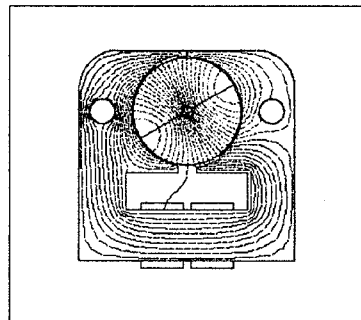


그림 5. 자속선도 분포도(30 도)  
Fig. 5 Flux line distribution(30 deg.)

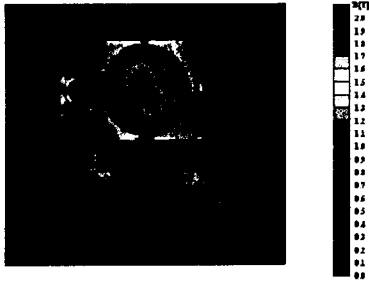


그림 6. 자속밀도 분포도(30도)  
Fig. 6 Flux density distribution(30 deg.)

그림 5와 6은 인가전압 12[V], 속도 2400[rpm]에서 홀 센서가 그림 1과 같은 기준위치에 있을 경우의 자속선도 및 자속밀도 분포도를 나타낸다.

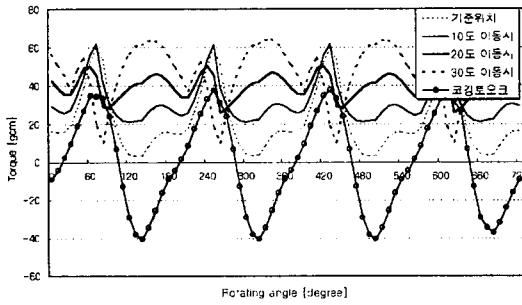


그림 7. 토크 특성곡선(2400rpm)  
Fig. 7 Torque waveform(2400rpm)

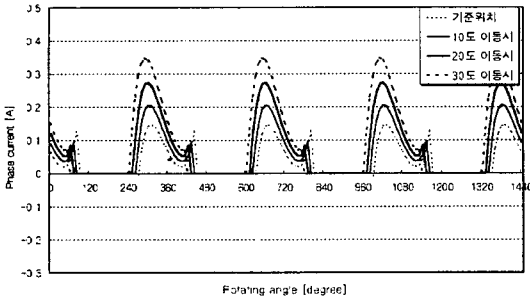


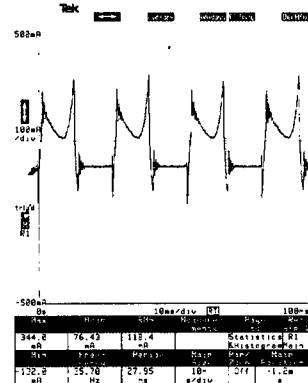
그림 8. 상전류 특성곡선  
Fig. 8 Phase current waveform(2400rpm)

그림 7과 8은 정격속도 2400(rpm)에서 홀 센서가 회전방향의 반대방향으로 이동함에 따라 나타나는 토크 및 상전류 특성에 대한 해석치 파형을 나타낸다. 그림 7에서 알 수 있듯이 홀 센서가 기준위치에 있을 때에는 토크리플도 크고 토크가 다른위치에서의 토크 값보다 다소 떨어짐을 알 수 있다. 이것은 코깅 토크로 인한 발생 토크의 저감을 막을 수 있는 전류의 확보시기가 다른 경우에 비하여 다르기 때문이라 사료된다. 이에 비하여 홀 센서가 20도의 위치에 놓여졌을 때 정격 토크 값을 얻을 수 있고, 토크 리플도 적게 나타남을 확인할 수 있다. 또한, 30도의 위치에서는 20도의 토크 값보다 최대치는 높지만, 평균치는 큰 폭의 증가율을 나타내지는 않았다.

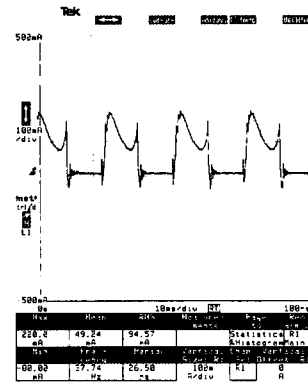
그림 8은 동일한 조건에서의 상전류 특성을 나타낸다. 홀 센서를 이동함에 따라 기준점에 위치하였을 때보다

여자 초기에 많은 전류를 확보하며, 여자 후반부에서의 전류파형이 완만하게 나타남을 보이고 있다. 이로부터, 발생 토크의 특성이 바뀌게 됨을 예측 할 수 있다. 위의 결과로부터 홀 센서가 회전방향의 반대방향으로 20도의 지점에 위치하였을 경우에 정격 토크 및 양호한 특성의 토크를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

다음의 그림 9는 실제의 팬 부하를 가지고 홀 센서를 이동하였을 경우 갖게되는 상전류 파형에 대한 실측파형을 나타낸다.



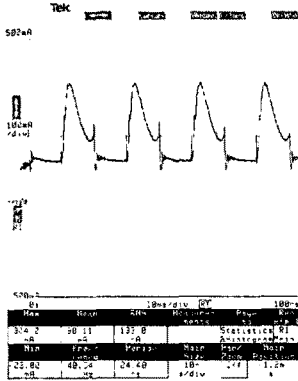
(a) 기준위치(2148rpm)



(b) 10도 이동시(2262rpm)



(c) 20도 이동시(2400rpm)



(d) 30도 이동시(2450rpm)

그림 9. 홀 센서 이동에 따른 상전류 특성  
Fig. 9 Characteristics of phase current with displacement of Hall sensor

그림 9의 실측파형이 보여주듯이 홀 센서를 이동함에 따라 기준점에 위치하였을 경우에 비하여 리플이 감소하며, 스위칭 초반부에 많은 양의 전류를 확보함을 알 수 있다. 실제로 홀 센서가 기준위치에 비하여 10도의 위치로 이동하였을 경우 전류치는 다른 위치보다 작은 값을 보이지만 정격속도에 미치지 못함을 알 수 있다. 이에 비하여 20도의 위치에서는 10도의 위치에서 보다 전류치는 약간 높게 나타나지만 다른 위치의 경우에 비해서는 작은 값의 크기를 갖으며, 정격속도 2400[rpm]을 갖게됨을 알 수 있다. 또한, 30도의 위치에서는 정격속도를 얻을 수 있지만, 전류치가 20도의 경우에 비하여 상대적으로 높게 나옴을 확인 할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 스켈리턴 형상의 코어를 갖는 2상 BLDC 모터에 대하여 2차원 시간차분 유한요소법을 이용한 특성해석을 하였다. 연구대상 모델이 갖는 코어 구조에 대하여 정격속도에서의 홀 센서 위치이동에 따른 토크 및 전류특성을 분석함으로써 코깁 토크로 인한 발생 토크의 저감을 막아 정격의 출력을 얻을 수 있는 최적의 스위칭 포인트를 얻어 낼 수 있었으며, 이로부터 특성이 양호한 모터의 제작을 가능하게 할 수 있었다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] S.C.Park, T.H.Yoon, B.I.Kwon, Y.S.Jin, "Finite Element Analysis of a Two-Phase Brushless DC Motor", SMIC'99, 1999
- [2] 정인성 외, "영구자석의 자화분포를 고려한 내전형 BLDC 모터의 유한요소 해석", 2000년도 전기기기연구회춘제학술대회 논문집, pp. 208-211
- [3] 임달호, 전기계의 유한요소법, 동명사, 1992
- [4] TJE Miller, Design of Brushless Permanent - Magnet Motors, OXFORD, 1994