

## 환류 다이오드를 고찰한 BLDCM 특성 해석

김태형, 신현정, 박진수  
LG 전자(주) 리빙시스템 연구소

### Characteristic Analysis of BLDCM considered Feedback Diodes

Tae-Heoung Kim, Hyun-Jung Shin, Jin-Soo Park  
LG Electronics Inc. Living System Lab.

**Abstract** - The inverter circuit of brushless dc motor(BLDCM) needs feedback diodes to protect the switching element from counterelectromotive force.

In this paper, we describe the computational method of characteristic analysis of BLDCM with feedback diodes by using the FEM.

#### 1. 서 론

직류 브러시리스 모터(BLDCM)는 구동회로를 필요로 하기 때문에 유도모터에 비해 고가이므로, OA 및 FA 기기 분야에 주로 사용되어 왔다. 그러나 최근들어 반도체의 가격이 저렴해지고, 고 내전압소자가 개발되어 제어성 및 내구성이 향상 됨에 따라 급속히 가전분야에 보급되고 있다.

유한요소법(FEM)에 의한 BLDCM의 해석은 권선의 인덕턴스가 비교적 작고, 저전압, 고속 회전사양의 모터에서는 통전절환시 환류 다이오드에 흐르는 전류를 무시하여도 해석치와 실측치가 비교적 잘 일치한다. 그러나 가전용의 고전압, 저속회전 사양의 BLDCM은 고정자 권선을 가는 직경으로 많이 감을 필요가 있기 때문에 그 결과 인덕턴스가 크게 되므로 통전절환시 환류 다이오드에 흐르는 전류를 고찰하여 해석을 하여야 한다.[1]

본 논문에서는 전압을 구동함수로 하는 유한요소법을 이용하여 통전절환시 환류 다이오드를 흐르는 전류를 고려한 120도 구형과 전압구동 BLDCM의 특성을 해석하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 구동회로와 환류 다이오드의 동작

###### 2.1.1 구동회로

그림 1과 같이 구동회로는 전기각으로 120도 간격으로 배치되어 있는 3개의 홀소자와 이 소자로부터 신호

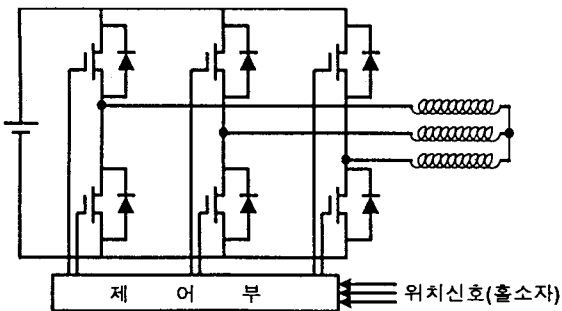


그림 1. 구동 회로 구성  
Fig 1. Structure of a drive circuit

를 받아 권선의 통전 타이밍을 결정하는 제어부, 그리고 인버터부로 구성된다. 특히 인버터부의 스위칭소자에는 통전절환시 소자의 파괴방지를 위하여 스위칭소자의 순방향과는 역방향으로 환류 다이오드가 꾸며져 있다.

###### 2.1.2 환류 다이오드의 동작

120도 구형과 통전방식의 BLDCM은 전기각으로 매 60도 마다 통전절환이 발생한다. 그림 2(a)는 통전절환이 일어나기 직전의 인버터 동작을 나타내고, 2(b)는 통전절환이 발생한 직후 권선에 축적된 에너지 ( $E = 1/2 L I^2$ )에 의해 환류 다이오드가 동작하여 또 하나의 전류루프가 발생함을 나타낸다.

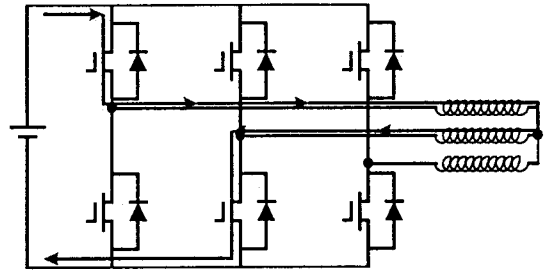


그림 2(a). 통전절환 직전의 전류루프

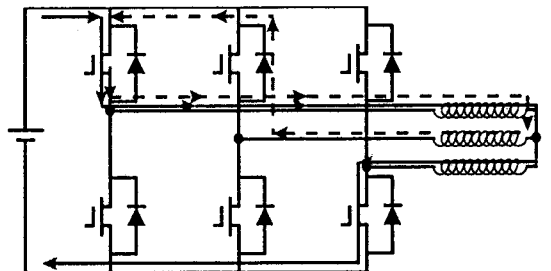


그림 2(b). 통전절환 직후의 전류루프

Fig 2. A function of feedback diodes.

##### 2.2 유한요소 해석

###### 2.2.1 해석 모델

해석 모델은 ring type의 영구자석이 다극착자원 Outer rotor type이며, Stator의 권선저항은 12 ohm, 권선의 상 인덕턴스는 35.2 mH이고 영구자석은 3700 Gauss의 잔류자속 밀도를 갖는 등방성 Ferrite 이다.

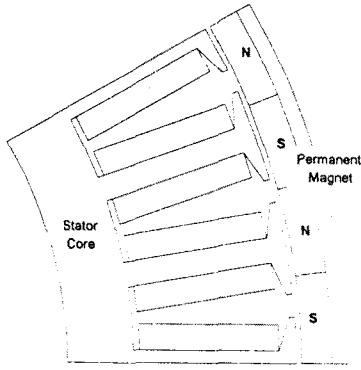


그림 3. 해석 모델  
Fig 3. Analysis model

### 2.2.2 환류 다이오드를 고려한 해석 수법

자기벡터 포텐셜을 계변수로한 2차원 유한요소법의 지배방정식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J_0 - \nu_0 \left( \frac{\partial M_y}{\partial x} - \frac{\partial M_x}{\partial y} \right) \quad (1)$$

여기서,  $A$  : 자기벡터 포텐셜  
 $\mu$  : 재료의 투자율  
 $\nu_0$  : 공기의 자기저항률  
 $J_0$  : 강제 전류밀도  
 $M_x, M_y$  : 자화  $M$ 의 x,y축 성분

전압을 구동함수로 하는 유한요소 해석은 식(1)의 정식화로부터 구성되는 system 방정식과 구동회로의 전압방정식을 연립하여 자기벡터 포텐셜과 각 상의 전류를 구하게 된다.

동전질환시 환류 다이오드에 흐르는 전류를 고려하기 위하여 아래와 같이 전압방정식을 구성하였다. 그림 2(a)에서 처럼 120도 구형파 전압구동 BLDCM에서는 환류 다이오드가 도통하지 않을때는 전류루프가 하나만 존재하기 때문에 식(3),(5),(7)의 하나의 전압방정식을 이용해 전류를 구하게 된다. 그러나 환류 다이오드가 도통하고 있을때는 그림 2(b)에서 볼 수 있듯이 전류루프가 하나더 존재하게 되므로 식(2),(4),(6)과 같이 두개의 전압방정식을 구성하면 환류 다이오드에 흐르는 전류를 구할 수 있다.[2]

$0 \leq \theta < 60$  :

환류 다이오드 ON :  $I_a + I_b + I_c = 0$

$$\begin{aligned} R_a I_a + \frac{d\Phi_a}{dt} + L \frac{dI_a}{dt} \\ - R_b I_b - \frac{d\Phi_b}{dt} - L \frac{dI_b}{dt} &= V_{dc} \\ R_c I_c + \frac{d\Phi_c}{dt} + L \frac{dI_c}{dt} \\ - R_b I_b - \frac{d\Phi_b}{dt} - L \frac{dI_b}{dt} + V_d &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

환류 다이오드 OFF :  $I_a = -I_b$

$$\begin{aligned} R_a I_a + \frac{d\Phi_a}{dt} + L \frac{dI_a}{dt} \\ - R_b I_b - \frac{d\Phi_b}{dt} - L \frac{dI_b}{dt} &= V_{dc} \end{aligned} \quad (3)$$

$60 \leq \theta < 120$  :

환류 다이오드 ON :  $I_a + I_b + I_c = 0$

$$\begin{aligned} R_c I_c + \frac{d\Phi_c}{dt} + L \frac{dI_c}{dt} \\ - R_a I_a - \frac{d\Phi_a}{dt} - L \frac{dI_a}{dt} &= -V_{dc} \\ R_b I_b + \frac{d\Phi_b}{dt} + L \frac{dI_b}{dt} \\ - R_a I_a - \frac{d\Phi_a}{dt} - L \frac{dI_a}{dt} - V_d &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

환류 다이오드 OFF :  $I_a = -I_c$

$$\begin{aligned} R_a I_a + \frac{d\Phi_a}{dt} + L \frac{dI_a}{dt} \\ - R_c I_c - \frac{d\Phi_c}{dt} - L \frac{dI_c}{dt} &= V_{dc} \end{aligned} \quad (5)$$

$300 \leq \theta < 360$  :

환류 다이오드 ON :  $I_a + I_b + I_c = 0$

$$\begin{aligned} R_b I_b + \frac{d\Phi_b}{dt} + L \frac{dI_b}{dt} \\ - R_c I_c - \frac{d\Phi_c}{dt} - L \frac{dI_c}{dt} &= -V_{dc} \\ R_a I_a + \frac{d\Phi_a}{dt} + L \frac{dI_a}{dt} \\ - R_c I_c - \frac{d\Phi_c}{dt} - L \frac{dI_c}{dt} - V_d &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

환류 다이오드 OFF :  $I_c = -I_b$

$$\begin{aligned} R_c I_c + \frac{d\Phi_c}{dt} + L \frac{dI_c}{dt} \\ - R_b I_b - \frac{d\Phi_b}{dt} - L \frac{dI_b}{dt} &= V_{dc} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $V_{dc}$  : 인가전압(DC Link단 전압)

$L$  : 해석영역 외부의 인덕턴스

$V_a$  : 환류 다이오드의 전압강하

$R_a, R_b, R_c$  : 권선의 상저항

$\Phi_a, \Phi_b, \Phi_c$  : 권선의 쇄교자속

$I_a, I_b, I_c$  : 권선의 상전류

### 2.2.3 해석 및 실험 결과

그림 4는 입력전압 300V, 속도 200rpm일 경우, 환류 다이오드를 무시했을 때와 고려했을 때의 전류파형 해석결과를 나타낸다. 그림 5에서는 입력전압 300V, 속도 315rpm일 경우, 상전류의 해석치와 실험치를 비교하였고, 그림 7은 이때의 상전압과 상전류를 오실로스코프로 본 것이다. 또한 그림 6은 토크 리플을 분석한 것인데 환류 다이오드를 무시했을 때에 비해 고려한 경우가 토크 리플은 작아지면서 평균 토크가 커짐을 알 수 있다. 그림 8은 토크가 최대일때의 자속분포도이다.

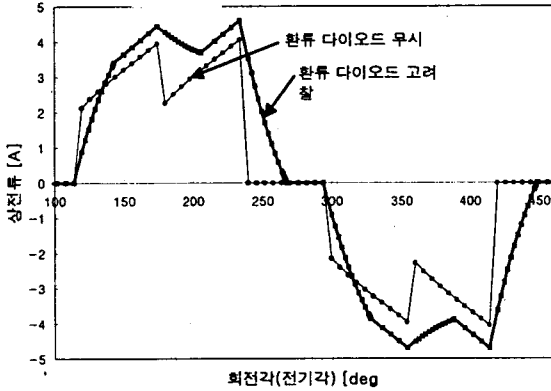


그림 4. 전류 파형(300V, 200rpm)  
Fig 4. Waveform of Phase Current

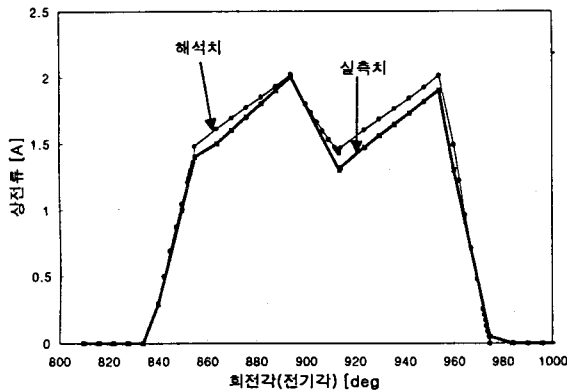


그림 5. 전류 파형(300V, 315rpm)  
Fig 5. Waveform of Phase Current

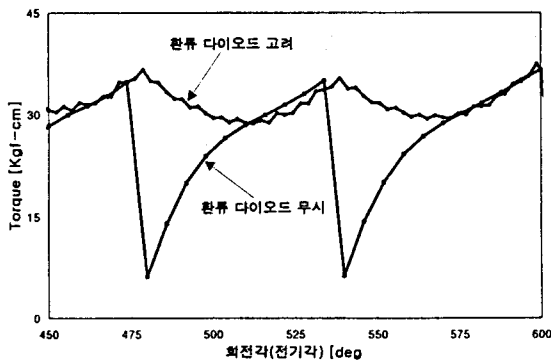


그림 6. 토크 리플 파형  
Fig 6. Waveform of Torque Ripple

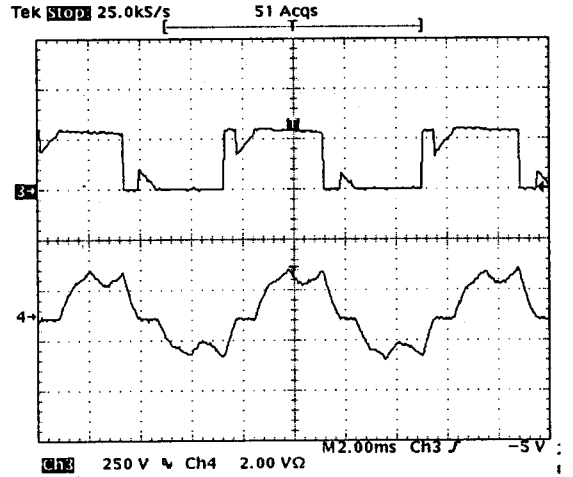


그림 7. 상전압 및 상전류 파형  
Fig 7. Waveforms of Phase Voltage and Phase Current

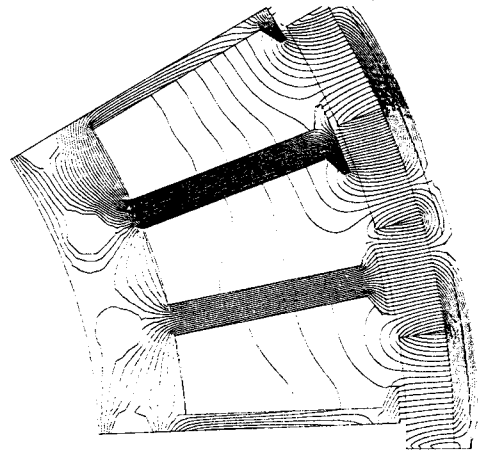


그림 8. 자속분포도  
Fig 8. Flux Distribution

### 3. 결 론

본 논문에서는 전압을 구동함수로한 유한요소법을 이용하여 통전절환시 환류 다이오드를 고찰한 BLDCM의 특성을 해석하였다.

상전류등의 해석결과가 실험치와 비교적 잘 일치함으로 해석 수법의 타당성을 알 수 있었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Shingo Kitamura, "Magnetic Field Analysis of DC Brushless Motor considered Volt-Ampere Characteristic of Feedback Diodes", IEEJ, 12, pp. 1268-1275, 1996
- [2] T. J. E. Miller, "Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives", CLARENDON PRESS, 1989