

정현파 역기전력 특성을 갖는 브러시리스 동기전동기의 모델링 및 특성해석

論 文

49B-6-2

The Modelling and Characteristic Analysis of Brushless Synchronous Motor with Sinusoidal back EMF

金一男* · 白壽鉉** · 金澈珍*** · 孟仁在[§] · 尹信容^{§§}

(Il-Nam Kim · Soo-Hyun Baek · Cherl-Jin Kim · In-Jae Maeng · Shin-Yong Yoon)

Abstract- This paper presents the mathematical modelling analysis of Brushless Synchronous Motor(BLSM). The dynamic and the steady state characteristics of BLSM are simulated and analyzed : electromagnetic torque, speed, line voltage, and current. We used mathematical modelling to model of BLSM with sinusoidal back EMF, namely the shaft transformation referencing rotor frame from a, b, c three phase frame to d-q two phase frame. Therefore, the BLSM induced a sinusoidal back EMF requires sinusoidal current to produce constant torque like synchronous motor. The experiment result has already similar to compare with simulation result : torque error about 7%, speed error about 5%. The validity of proposed modelling and analysis was confirmed by the experimental result.

Key Words : Modelling of Brushless Synchronous Motor, d-q Axis transformation, Sinusoidal Back EMF, Equivalent Circuit Modelling

1. 서 론

산업의 발달에 따라 FA, OA의 각종 산업 분야에서 다양한 형태의 제어가 가능한 전동기와 제어시스템에 대한 요구가 더욱 중요시되고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 브러시리스 전동기는 전력용 IC인 전자기술의 발달에 따라 종래의 브러시를 갖는 전동기에 비해 노이즈와 소음 특성이 우수하며 유지보수가 불필요할 뿐만 아니라 효율이 높고 속도 및 토크 제어가 용이한 장점을 지니고 있다[1].

전동기의 역기전력 파형은 기계적인 구조의 공극자속 분포에 따라 정현적인 경우와 비정현적인 형태로 분류할 수 있다. 사다리꼴 형태의 비정현적인 역기전력을 갖는 3상 구동용 브러시리스 직류전동기의 경우는 a, b, c 3상에서 인덕턴스가 비정현적으로 변하므로 축 변환시 인덕턴스가 상수로 되지 않기 때문에 축 변환에 따른 잇점이 없으며 모델링 과정에서 3상의 변수를 그대로 사용한다[2,3].

한편, 정현적인 역기전력을 갖는 영구자석형 브러시리스 동기전동기 (Brushless Synchronous Motor, BLSM) 의 경

우는 제동권선이 없고 영구자석에 의해 여자되는 것을 제외하면, 일반적인 동기전동기와 동일한 형태가 된다. 따라서 3상 동기전동기를 d-q축의 2상으로 변환하는 것이 가능하므로 축 변환시 a, b, c상에서 정현적으로 변하는 모든 인덕턴스를 상수로 만든다[4,5].

비정현파 역기전력 특성을 갖는 전동기는 구동시 회전자 절대위치를 전기각으로 60° 마다 검출하여 제어를 실시해야 하는 반면 정현파 역기전력의 전동기는 d-q축 좌표 변환에 의한 모델을 사용하여 직접제어가 가능하다. 특히 BLSM의 경우는 정현파 역기전력과 구동 정현파 전류를 동기화시켜 제어할 수 있다[6-8].

정현파 역기전력 특성을 갖는 정현파 전류구동 방식은 비정현파 역기전력 특성을 나타내는 구형파 전류구동 방식에 비해 토크 리플이 적고 고속, 정 토크의 발생이 가능하므로 본 연구에서는 이러한 장점을 갖는 정현파 역기전력 특성을 나타내는 영구자석형 브러시리스 동기전동기의 기계적 모델링 및 특성해석을 대상으로 하여 적합한 모델을 제시하고 실험을 통하여 이에 대한 해석의 타당성을 입증한다.

2. 정현파 역기전력을 갖는 BLSM의 모델링

그림 1은 영구자석형 BLSM과 인버터 구동시스템을 나타낸 것으로 전동기의 고정자권선은 Y결선이며 3상의 각 고정자 권선은 전기각으로 상호 120°의 위상차를 갖는다. 고정자 권선은 정현적으로 분포되므로 이상적인 경우 각상의

* 正 會 員 : 東 西 京 大 學 電 氣 科 教 授
** 正 會 員 : 東 國 大 電 氣 電 子 工 學 部 教 授 · 工 博
*** 正 會 員 : 漢 拿 大 電 氣 電 子 通 信 工 學 部 教 授 · 工 博
§ 正 會 員 : 東 國 大 電 氣 工 學 科 博 士 修 了
§§ 正 會 員 : 東 國 大 產 業 技 術 研 究 員 傳 任 研 究 員 · 工 博
接 受 日 字 : 1999年 9月 1日
最 終 完 了 : 2000年 4月 1日

저항과 인덕턴스는 동일하며, 해석에 나타내는 복잡함을 피하기 위해 철손, 기계적인 손실 및 자속의 포화는 무시한다 [9-11].

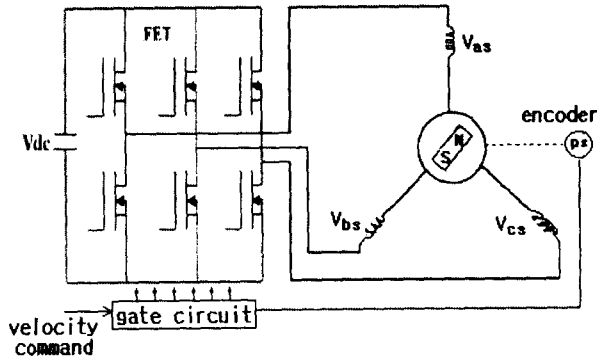


그림 1 브러시리스 동기전동기 및 구동 시스템
Fig. 1 Brushless synchronous motor and driver system

한편, a, b, c, 3상 교류를 고정부분과 회전부분인 고정 직교좌표계 또는 회전 직교좌표계로 변환하는 2상의 d-q축 좌표계로 변화하면, 그림 1의 영구자석형 동기전동기 모델에 대한 등가회로는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

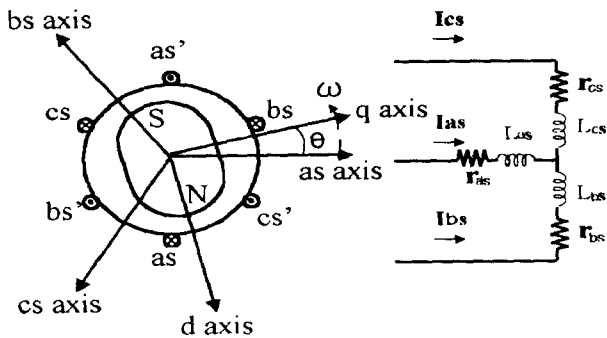


그림 2 브러시리스 동기전동기 및 등가회로 모델
Fig. 2 Brushless synchronous motor and equivalent circuit model

철손과 기계적인 손실을 무시한 그림 2의 BLSM은 회전자가 영구자석으로 되어 있기 때문에 회전자의 유도전류가 없으므로 식 (1)과 같이 전압방정식을 나타낼 수 있다 [1][10][11].

$$V_{abc} = r_s i_{abc} + p \lambda_{abc} \quad (1)$$

여기서,

$$(V_{abc})^T = [V_{as} \ V_{bs} \ V_{cs}] \quad (2.1)$$

$$(i_{abc})^T = [i_{as} \ i_{bs} \ i_{cs}] \quad (2.2)$$

$$(\lambda_{abc})^T = [\lambda_{as} \ \lambda_{bs} \ \lambda_{cs}] \quad (2.3)$$

식 (1)의 전압방정식에서, V_{abc} 는 각각 전기각으로 120°의 위상차를 갖는 a, b, c상의 고정자 전압을 의미하며 회전자의 각속도는 ω , 고정자권선의 저항은 r_s , 미분연산자 p 는 d/dt 를 각각 의미한다. 또한 각상의 쇄교자속 λ_{abc} 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_{abc} = L_s i_{abc} + \lambda_m \quad (3)$$

한편, i 권선의 자기 인덕턴스를 L_{ii} , i, k 권선의 상호 인덕턴스를 L_{ik} , 영구자석에 의한 쇄교자속의 크기를 λ_m 라 하면, 고정자측의 인덕턴스 L_s 와 영구자석에 의한 쇄교자속 λ_m 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L_s = \begin{bmatrix} L_{ii} & L_{ij} & L_{ik} \\ L_{ji} & L_{jj} & L_{jk} \\ L_{ki} & L_{kj} & L_{kk} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\lambda_m = \lambda_{m0} \begin{bmatrix} \sin \theta_r \\ \sin(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 θ 는 회전에 고정된 기준축의 a상 축과 q축이 이루는 위상차를 의미하므로, 식 (3)에 대한 3상의 쇄교자속 λ_{abc} 은 다음의 식 (6)으로 표현이 가능하다.

$$\lambda_{as} = L_{ii} i_{as} + L_{ij} i_{bs} + L_{ik} i_{cs} + \lambda_{m0} \sin \theta_r \quad (6.1)$$

$$\lambda_{bs} = L_{ji} i_{as} + L_{jj} i_{bs} + L_{jk} i_{cs} + \lambda_{m0} \sin(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \quad (6.2)$$

$$\lambda_{cs} = L_{ki} i_{as} + L_{kj} i_{bs} + L_{kk} i_{cs} + \lambda_{m0} \sin(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \quad (6.3)$$

영구자석에 의한 쇄교자속을 무시하고 누설 인덕턴스를 L_b , 권선의 평균 인덕턴스를 L_a , 공극이 일정하지 않을 경우 발생하는 인덕턴스를 L_b 라 하면 인덕턴스를 나타내는 식 (4)는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{ii} = L_b + L_a - L_b \cos 2\theta_r \quad (7.1)$$

$$L_{ij} = L_{ji} = -\frac{1}{2} L_a - L_b \cos 2(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \quad (7.2)$$

$$L_{ik} = L_{ki} = -\frac{1}{2} L_a - L_b \cos 2(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \quad (7.3)$$

$$L_{jk} = L_{kj} = -\frac{1}{2} L_a - L_b \cos 2(\theta_r + \pi) \quad (7.4)$$

$$L_{jj} = L_b + L_a - L_b \cos 2(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \quad (7.5)$$

$$L_{kk} = L_k + L_a - L_b \cos 2(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \quad (7.6)$$

따라서 전기적인 토크 T_e 를 에너지법(energy method) 을 사용하여 나타내면 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$T_e = \frac{P}{2} \left\{ 2 L_b \left[(i_{as}^2 - \frac{1}{2} i_{bs}^2 - \frac{1}{2} i_{cs}^2 - i_{as} i_{bs} - i_{as} i_{cs} + 2 i_{bs} i_{cs}) \sin 2 \theta_r + \frac{\sqrt{3}}{2} (i_{bs}^2 - i_{cs}^2 - 2 i_{as} i_{bs} + 2 i_{as} i_{cs}) \cos 2 \theta_r \right] + \lambda_m \left[(i_{as} - \frac{1}{2} i_{bs} - \frac{1}{2} i_{cs}) \cdot \cos \theta_r + \frac{\sqrt{3}}{2} (i_{bs} - i_{cs}) \sin \theta_r \right] \right\} \quad (8)$$

또한 전동기의 극수 P , 회전자와 부하의 관성모우먼트 J , 점성마찰계수 B_m , 회전자의 전기적인 각속도 ω , 부하 토크 T_L 로 하여 발생토크 T_e 를 표현하면 토크는 다음의 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_e = J \left(\frac{2}{P} \right) \frac{d\omega}{dt} + B_m \left(\frac{2}{P} \right) \omega + T_L \quad (9)$$

전압방정식에서 시변 인덕턴스를 제거하기 위하여 고정자 상의 변수를 회전자 기준좌표로 이용하여 변환하는 경우 a, b, c 3상의 좌표를 q, d, o의 회전자 기준좌표로 변환시키면 회전자 기준좌표에서의 전압방정식은 식 (10)과 같이 표현 된다.

$$V_{qds}^r = r_s i_{qds}^r + \omega \lambda_{qds}^r + p \lambda_{qds}^r \quad (10)$$

여기서,

$$(\lambda_{qds}^r)^T = [\lambda_{ds}^r \quad -\lambda_{qs}^r \quad 0] \quad (11)$$

$$\lambda_{qds}^r = \begin{bmatrix} L_q & 0 & 0 \\ 0 & L_d & 0 \\ 0 & 0 & L_{ks} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs}^r \\ i_{ds}^r \\ i_{os}^r \end{bmatrix} + \lambda_m^r \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

식(12)에서 우변 두 번째 항은 속도 기전력을 세째 항은 변압기 기전력을 각각 나타내며, 이를 기준좌표에 대한 전압 방정식으로 다시 나타내면 다음과 같다.

$$V_{qs}^r = (r_s + p L_q) i_{qs}^r + \omega L_d i_{ds}^r + \omega \lambda_m^r \quad (13)$$

$$V_{ds}^r = (r_s + p L_d) i_{ds}^r - \omega L_q i_{qs}^r \quad (14)$$

$$V_{os}^r = (r_s + p L_{ks}) i_{os}^r \quad (15)$$

여기서, $L_q = L_{ks} + \frac{3}{2}(L_a - L_b)$ 이고

$$L_d = L_{ks} + \frac{3}{2}(L_a + L_b) \text{의 관계를 갖는다.}$$

이때 전기적인 토크 T_e 는 식 (16)과 같이 나타낸다.

$$T_e = \left(\frac{3}{2} \right) \left(\frac{P}{2} \right) [\lambda_{ds}^r i_{qs}^r + \lambda_{qs}^r i_{ds}^r] \quad (16)$$

원통형 회전자의 경우는 전동기내에서의 공극이 일정하므로 식(7)에서 L_b 가 0이며, $L_d = L_q$ 가 성립하므로 전기적인 토크는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$T_e = \left(\frac{3}{2} \right) \left(\frac{P}{2} \right) [\lambda_m^r i_{qs}^r + (L_d - L_q) i_{qs}^r i_{ds}^r] \quad (17)$$

따라서 전동기의 전압방정식을 기준으로 그림 3과 같이 BLSM의 동적회로를 나타낼 수 있으며 정상상태에서는 d-q 축 전류는 일정하므로 d-q축으로 전동기를 모델링한 동적회로는 그림 4와 같이 표현할 수 있다.

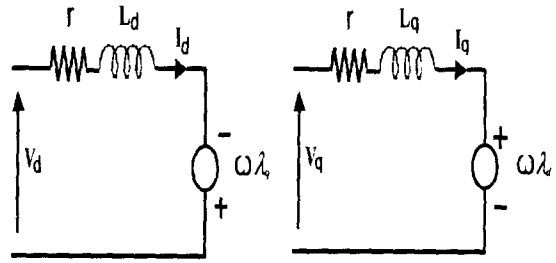


그림 3 BLSM의 동적 동가회로
Fig. 3 Dynamic equivalent circuit of BLSM

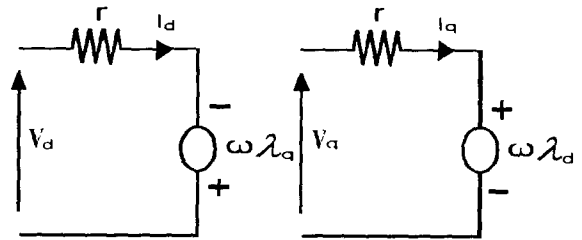


그림 4 정상상태의 동가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of state steady

이와 같이 정현과 역기전력 특성을 나타내는 동기전동기의 축변환은 정지, 회전 또는 동기회전 좌표 중의 하나에 의해서 상태변수들을 d-q축으로 변환시킬 수 있으며, 인덕턴스는 시변 상태에서 상수가 되므로 수식적인 표현이 간단해지고 연산에 소요되는 시간을 경감할 수 있는 장점을 지니고 있는 이 방법을 적용한다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

본 연구에서는 BLSM의 수학적 모델링에 대한 시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교 검토하기 위하여 본 연구에서 구성한 제어시스템과 전동기의 기본사양을 제시하면 표 1과 같다[3].

표 1 전동기 사양

Table 1 The motor specification

기호 [단위]	수치
정격 출력 P [w]	1075
전류 I [A]	5
정격 토크 T [kgf·cm]	42
선간 저항 R [Ω]	0.95
인덕턴스 L_s [mH]	7.3
회전자 관성 J [$kg \cdot m^2 \times 10^{-4}$]	7.48
정격 속도 N [rpm]	2500
영구자석의 쇠교자속 λ_{mo} [wb]	0.25
역기전력 상수 K_e [V s/rad]	0.822
토크 상수 K_t [Nm/A]	0.820

제시한 BLSM의 모델과 표 1의 전동기 사양을 기준으로 전압, 정격전류, 토크 및 속도특성을 시뮬레이션한 결과는 그림 5~8과 같이 나타낸다. 그림 5는 7 [kgf·cm]의 부하 토크에서 선간 전압을 시뮬레이션한 결과이며, 여기서 세로축 전압은 100 [V/div]이며, 가로축은 시간 0.03 [s/div]을 나타낸다. 그림 6은 선간 전류의 해석결과로서 기동전류는 약 19.5 [A]이며 약 50 [ms] 정도의 과도 시간이 경과된 후 정상 상태에 도달한다. 여기서 세로축 전류는 5 [A/div]이며, 가로축 시간은 0.03 [s/div]을 나타낸다.

그림 7은 동일한 부하 조건에서의 토크 특성을 나타낸 것으로서 기동 시에는 정상 상태의 정격 토크에 비해 약 20 [%]정도의 토크 상승이 발생하고 있다. 여기서 세로축 토크는 10 [kgf·cm /div]이며, 가로축 시간은 0.03 [s/div]을 나타낸다.

그림 8은 정격 속도를 2,500 [rpm]으로 지정한 경우의 속도 응답 특성을 나타낸 결과로서 정격 속도에 도달할 때까지는 약 50 [ms] 정도의 시간지연이 발생하고 있다. 여기서, 세로축은 속도 800 [rpm/div]이며, 세로축 시간은 0.03 [s/div]을 나타낸다.

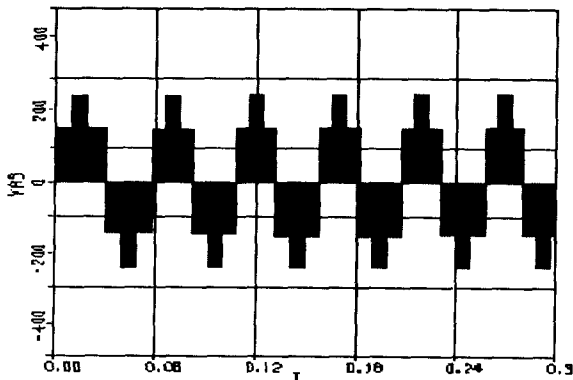


그림 5 선간전압의 파형
Fig. 5 The waveform of line voltage

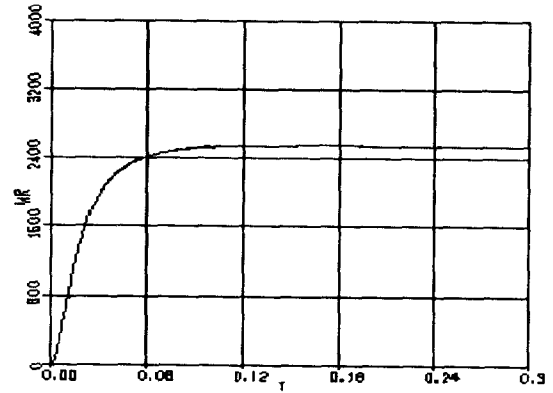


그림 6 선간전류의 파형
Fig. 6 The waveform of line current

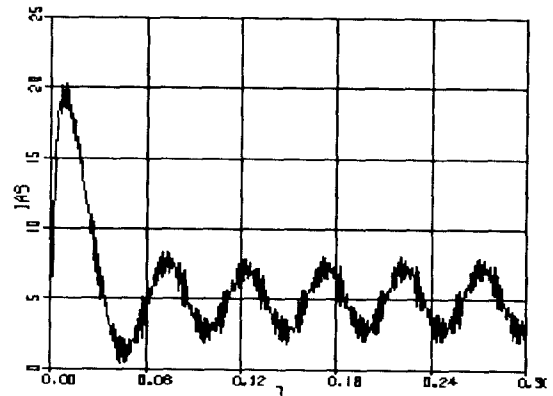


그림 7 토크의 특성
Fig. 7 The torque characteristics

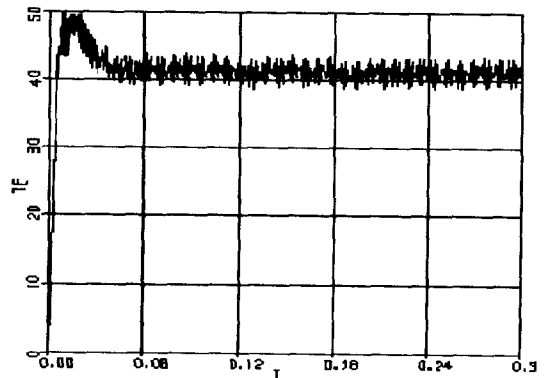


그림 8 속도의 특성
Fig. 8 The velocity characteristic

그림 9는 본 실험에 적용한 BLSM 및 제어시스템의 구성도를 나타낸 것으로, PI 제어를 적용함으로써 속도 및 토크 제어시 오차의 저감과 노이즈에 대한 강인성을 갖도록 제어장치를 구성하였다. 또한 위치검출을 위하여 고분해능 엔코더와 속도 검출용 F/V 컨버터를 사용하였으며 전류 검출용 센서(CT)를 사용하여 전류를 검출할 수 있도록 하였다.

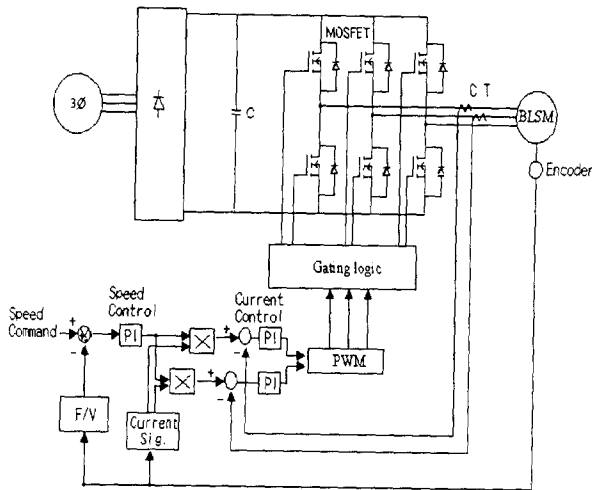


그림 9 전체 블록선도
Fig. 9 Total block diagram

그림 10은 그림 9에 제시한 실험장치의 블록선도에 표 1의 사양표 파라미터를 적용하여 제어대상 전동기에서 측정된 선간전압의 결과로서 그림 5의 시뮬레이션 결과와 일치하는 것을 알 수 있다. 여기서 세로축은 전압 100 [V/div]이며, 가로축은 시간 20 [ms/div]을 나타낸다.

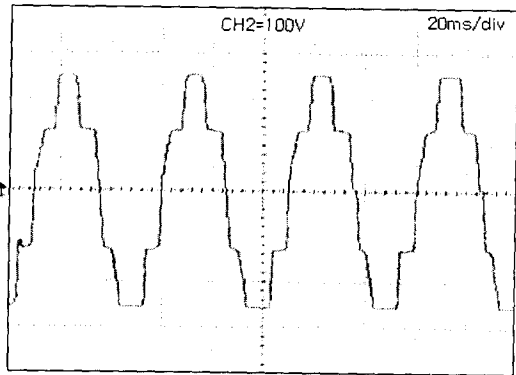


그림 10 선간전압의 실험파형
Fig. 10 The experiment waveform of line voltage

그림 11은 그림 10과 동일한 조건으로 약 7 [kgf·cm]의 부하토크를 인가한 경우의 선 전류 측정 결과이다. 여기서 세로축은 선간 전류 (5 [V/div]=5 [A/div])이며, 가로축은 시간 50 [ms/div]을 나타낸다.

이때 정상 전류 5 [A]에 비해 기동전류의 크기는 약 17[A] 이고 정상상태는 약 25[ms]정도에서 안정된 응답을 발생함을 알 수 있다. 그림 6의 해석결과와 일치하므로 제시한 해석모델이 적합한 것을 알 수 있다.

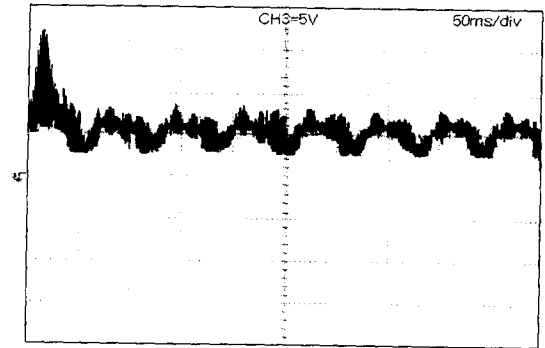


그림 11 선간전류의 실험 파형
Fig. 11 The experiment waveform of line current

그림 12는 위와 동일한 조건의 부하를 가한 경우 토크 응답특성을 나타낸 실험결과이다. 여기서 세로축은 토크 (2 [V/div]=15 [kgf·cm /div])이며, 가로축은 시간 50 [ms/div]을 나타낸다. 이때 정상상태에 도달할 때까지는 약 50[ms]의 응답시간을 나타낸다.

그림 12의 실험결과는 그림 7에 모델링된 대상 전동기의 해석결과와 비교하여 약 7 % 정도의 토크 오차가 발생하였지만 안정된 동특성을 얻을 수 있었으며 여기에 PI 제어를 적용한 결과 더욱 안정된 정 토크가 발생함을 알 수 있었다.

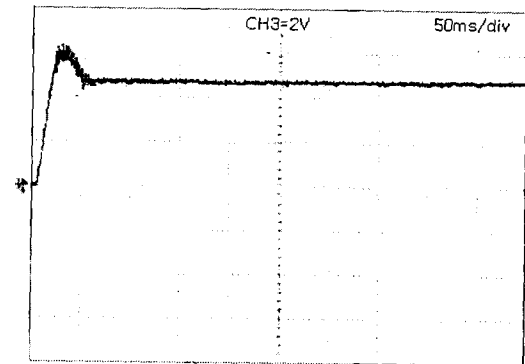


그림 12 토크 특성
Fig. 12 The torque characteristics

그림 13은 지령속도 2,500 [rpm]에 대한 제어대상 전동기의 속도응답 특성을 나타낸 것으로서 정상상태에 도달하는 응답시간은 약 50 [ms]로 양호한 특성을 나타내고 있다.

여기서 세로축은 속도 (5 [V/div]= 800 [rpm/div])이며, 가로축은 시간 50 [ms/div]을 나타낸다. 또한 그림 13의 실험결과는 그림 8의 모델링된 대상 전동기의 해석결과와 비교하여 정상상태의 속도오차가 약 5 % 정도 발생하였지만 PI 제어를 적용한 결과 정격속도에 더욱 잘 응답함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

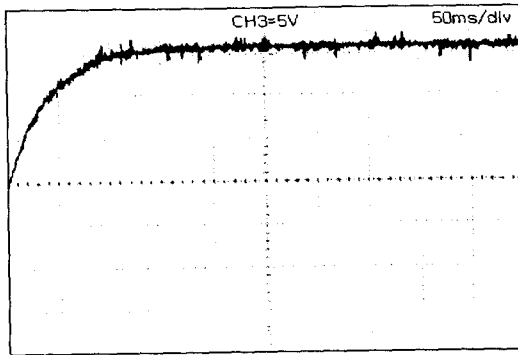


그림 13 속도 특성
Fig. 13 The velocity characteristic

그림 14는 본 논문에서 구성 전체 실험장치를 나타낸 것이다. 여기서 실험 대상 전동기는 동기형 브러시리스 전동기, 인버터 구동장치 및 DSP(TMS320c31)제어기를 사용하였다.

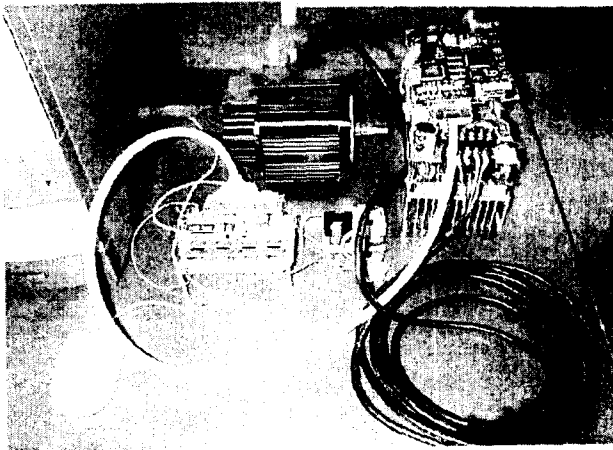


그림 14 전체 실험장치
Fig. 14 The total experiment system

4. 결 론

본 연구에서는 정현파 역기전력 특성을 갖는 BLSM에 대한 수학적 모델링을 제시하였다. 이때 BLSM는 d-q 변환을 통해 3상을 2상으로 변환하여 모델링 함으로써 모델을 간략화 하였으며 이로부터 모델링된 브러시리스 동기전동기는 전압, 전류, 속도 및 토크가 안정된 특성으로 발생함을 알 수 있었다.

이를 입증하기 위한 실험장치의 구성을 통하여 대상 BLSM의 모델링에 대한 시뮬레이션 결과는 실험결과와 거의 일치함을 알 수 있었으며, 또한 모델링된 대상 전동기에 PI 제어를 적용할 경우 안정된 속도제어와 토크 제어가 가능함을 알 수 있었다. 따라서 실험결과 정현파 역기전력을 갖는 브러시리스 동기전동기의 모델링에 대한 타당성을 입증할 수 있었다.

[1] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk and Scott D. Sudhoff, "Analysis of Electronic Machinery," IEEE PRESS, 1987

[2] P. Pillay and R. Krishna, "Modeling Analysis and Simulation of a High Performance, Vector Controlled, Permanent Magnet Synchronous Motor Drive," IEEE IAS Annu. Meeting, Atlanta, 1987

[3] TJE Miller and J.R. Hendershot Jr, "Design of Brushless Permanent Magnet Motors," Clarendon Press Oxford, 1989

[4] T. Kenjo and S. Nagamori, "Permanent Magnet and Brushless DC Motors," Oxford, 1985

[5] Neyram Hemati and Ming C. Leu, "A Complete Model Characterization of Brushless DC Motors," IEEE IAS, 1990

[6] 윤병도의 2인, " 브러시리스 직류전동기의 모델링 및 정상상태 해석," 대한전기학회 논문지, 40권, 10호. pp1049-1055. 1991, 10.

[7] 설승기의 3인, " 저가형 BLDCM 구동장치를 이용한 정밀위치제어," 대한전기학회 논문지, 44권, 4호, pp447-451, 1995, 4

[8] 백수현외, " 브러시리스 DC 전동기의 모델링과 동특성 해석," 대한전기학회 하계학술대회(A), pp200-202, 1998, 7

[9] Hoang Le-Huy, Robert Perret and Pene Feuillet, " Minimization of Torque Ripple in Brushless DC Motor Drives," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-22, No.4, July/August. 1986

[10] Pragasen Pillay and Ramu Krishnan, " Modeling, Simulation, and Analysis of Permanent-Magnet Motor Drives, Part I : The Permanent-Magnet Synchronous Motor Drive," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 25, No.2, March/April. 1989

[11] Pragasen Pillay and Ramu Krishnan, " Modeling, Simulation, and Analysis of Permanent-Magnet Motor Drives, Part II : The Brushless DC Motor Drive," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.25, No.2, March/April. 1989

저 자 소 개



김 일 남 (金 一 男)

1942년 12월 10일생. 1967년 한양대 전기공학과 졸업. 1980년 동국대 전기공학과 졸업(석사), 1999년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1979년~현재 동서울대학 전기과 교수, 1999년~현재 대한전기학회 전문대학 분과위원장



맹 인 재 (孟 仁 在)

1968년 11월 18일생. 1991년 대전산업대 전기공학과 졸업. 1994년 동국대 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 박사과정 수료



백 수 현 (白 壽 鉉)

1947년 5월 2일생. 1972년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1977~현재 동국대 전기공학과 교수, 전기학회 평의원. 1999~현재 동국대 산업기술원장



윤 신 용 (尹 信 容)

1964년 9월 1일생. 1992년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1994년 동국대 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동국대 전기공학과 졸업(공학). 1994~1997년. 전자부품연구원 정밀기기 제어팀 연구원. 1997~1999년 8월 엘지토탈시스템 기술연구소 선임연구원. 1994~현재 동서울대학 겸임교수. 1999~현재 동국대 산업기술연구원 전임연구원



김 철 진 (金 澈 珍)

1958년 5월 10일생. 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1991~1994년 생산기술연구원. 1994~1996년 KETI 제어기기연구실 실장. 현재 한라대 전기전자통신공학부 부교수