

독립 3상 BLDC 전동기의 특성해석에 관한 연구

趙瑄^{*}, 吳珍錫[†]

Characteristic Analysis of Independent 3 phase BLDC Motor

Kwan-Jun Jo and Jin-Seok Oh

요 약

본 논문은 전기추진시스템에 사용되는 BLDC 전동기 중에서 최대 토크 특성을 갖는 독립상 BLDC 전동기의 제어 특성에 대하여 기술하고자 한다. 독립 상 전동기는 각 상이 전기적으로 분리된 형태로 구성된 것이 특징이다. 이러한 특징을 분석하기 위하여 Y결선 3상 BLDC 전동기와 독립 3상 BLDC 전동기를 모델링하고, 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 시뮬레이션 결과 Y결선 3상 BLDC 전동기에 비하여 독립 3상 BLDC 전동기가 상전압이 높았다. 고정자 저항 및 인덕턴스가 일정할 때, 높은 상전압은 최대 상전류의 증가를 가져왔고, 이러한 전류 증가는 최대 토크를 증가시킨다. 그러므로 독립상 BLDC 전동기의 상전류를 제어함으로써 독립상 BLDC 전동기의 전류 맥동이 저감됨을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper describes independent phase BLDC motor with a maximum torque among BLDC motor used for electric propulsion system. Independent phase BLDC motor has characteristic that phases of stator are independent electrically. This paper is modeling two type of 3 phases BLDC motors, one has Y-connection type and the other has independent type, and it shows simulation of them, compares its characteristics. As a result of simulation, phase voltage of independent 3 phase BLDC motor is higher than Y-connection three phase BLDC motor. When the stator resistance and inductance are stable, high phase voltage causes an increase in maximum phase current and an increases in it serially causes an increase of maximum torque. It is also found that the current pulsation of independent phase BLDC motor was decreased by controlling phase current of independent BLDC motor.

Key Words : BLDC(Brushless DC) motor, Permanent magnet propulsion motor, H-bridge inverter, Hysteresis current control, current limit control

1. 서 론

전기 추진 선박은 기존의 디젤 선박에 비하여 진동 및 소음 측면에서 유리한 점을 갖는다. 현재 이러한

전기 추진 선박은 특수선 분야에서 각광을 받고 있다. 특히 특수선 분야 중 수중함의 추진 시스템에서는 전기 추진 시스템이 주로 사용되고 있다.^[1]

수중함은 전기 추진 전동기 중 부피가 가장 작은 영구자석형 추진 전동기(Permanent Magnet Propulsion Motor)를 주로 사용한다. 수중함의 전원 시스템은 AIP(Air Independent Propulsion)시스템 또는 축전지 전원을 기반으로 한 직류 전원 체계를 사용하고 있다. 이러한 직류 전원을 사용하는 영구자석 전동기로

[†]교신저자 : 정희원, 한국해양대 선박전자기계공학부 교수
E-mail : ojs@hhu.ac.kr

^{*}정희원, 한국해양대 대학원 메카트로닉스 박사과정
접수일자 : 2007. 3. 8 1차 심사 : 2007. 4. 10
2차 심사 : 2007. 5. 19 심사완료 : 2007. 5. 24

BLDC 전동기가 수중합의 추진 전동기로 주로 사용되고 있다. 오늘날 잠수함이 대형화 되고 고속화에 따라 추진 전동기의 추진 토크가 대단히 중요하다.^{[2][3]} 그러므로 수중합의 추진 전동기는 동일 크기, 동일 무게에서 더 큰 최대 토크가 요구 되고 있다.

본 논문은 최대 토크 증가를 위한 방법으로 독립상 형태의 전동기를 제안한다. 제안한 전동기를 수학적 모델링과 시뮬레이션을 통하여 그 특성을 분석하고자 한다.

2. 독립 3상 BLDC 전동기

독립 3상 BLDC 전동기는 Y결선 3상 BLDC 전동기의 중성점으로 분리한 형태의 전동기이다. 그러므로 회전자의 자극 위치와 권선의 고유 성질은 동일하다. 그림 1은 BLDC 전동기의 등가회로를 나타낸 것이다.

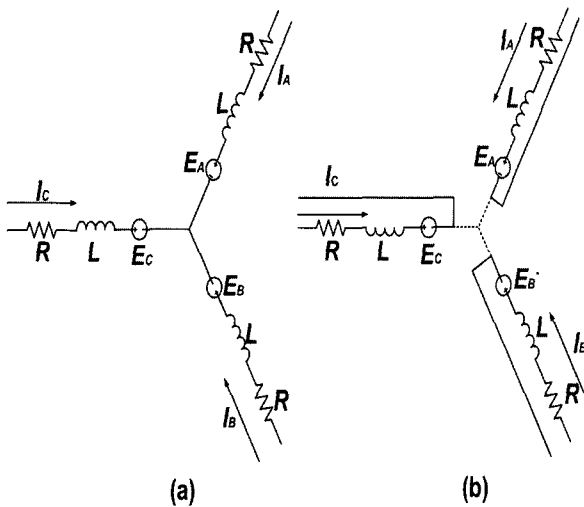


그림 1 3상 BLDC 전동기의 등가회로
(a : Y 결선 // b: 독립상)
Fig. 1 Equivalent circuit of 3 phase BLDC motor
(a : Y-connected // b : Independent phase)

그림 1에서 독립상과 Y결선의 등가회로 결선의 차이를 알 수 있다. 독립상은 Y결선과 비교 할 때, 각상의 고유 성질은 변화하지 않지만 전동기의 등가회로와 전압 방정식은 변화하게 된다.

2.1 Y 결선 BLDC 전동기

Y결선 3상 BLDC 전동기는 2상 여자 방식으로 구동된다. 이상적인 경우에서 Y결선 3상 BLDC 전동기는 그림 2와 같은 상전류와 역기전력 파형을 갖는다. 이

때 각 상의 상전류의 합은 0이 된다.

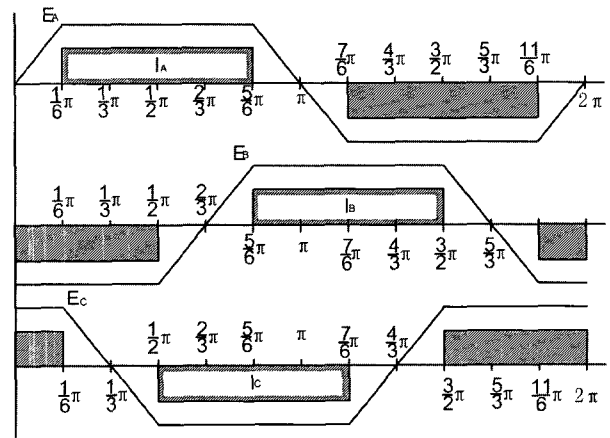


그림 2 이상적인 BLDC 전동기의 역기전력과 상전류 파형
Fig. 2 Back-EMF and phase current waveforms of ideal BLDC motor(Y-connected)

2상 여자 방식으로 두 상에 상전류가 흐르는 형태가 될 경우 그림 3과 같이 등가회로로 나타낼 수 있다. 등가회로의 어느 한 시점에서 두상에 전류가 흐르고 한 상에는 전류가 흐르지 않는다. 그러므로 전류가 흐르는 상을 중심으로 등가회로를 구성하면 그림 3의 (B)와 같다.^[4]

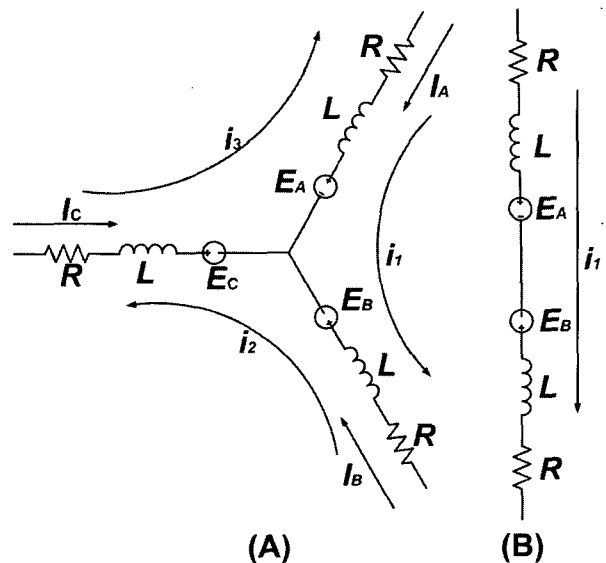


그림 3 Y결선 3상 BLDC 전동기 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit of 3 phase BLDC motor (Y-connected)

그림 3의 i_1, i_2, i_3 를 선간 전류, E_a, E_b, E_c 를 상 역기전력, L 을 동기인덕턴스, V_a, V_b, V_c 를 상전압 R 을 고정자 저항이라 한다. 이를 선간 전압(V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}) 선간 고정 저항(R_l), 선간 동기인덕턴스(L_l), 선간 역기전력(e_{ab}, e_{bc}, e_{ca})의 식으로 나타내면 식(1)과 같다.^{[5][6]}

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_a - V_b, \quad V_{bc} = V_b - V_c, \quad V_{ca} = V_c - V_a \\ e_{ab} &= E_a - E_b, \quad e_{bc} = E_b - E_c, \quad e_{ca} = E_c - E_a \\ R_l &= 2R \\ L_l &= 2L \\ I_a &= i_1 - i_3, \quad I_b = i_2 - i_1, \quad I_c = i_3 - i_2 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스의 값이 일정한 이상적인 전동기로 가정하면, Y결선 BLDC 전동기의 전압 방정식은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} V_{ab} &= R_l i_1 + L_l \frac{di_1}{dt} + e_{ab} \\ V_{bc} &= R_l i_2 + L_l \frac{di_2}{dt} + e_{bc} \\ V_{ca} &= R_l i_3 + L_l \frac{di_3}{dt} + e_{ca} \end{aligned} \quad (2)$$

전동기의 손실과 인덕턴스에 의한 영향을 무시하는 이상적인 경우를 가정하면 전동기에서 발생하는 토크는 식(3)과 같다.

$$T_{total} = \frac{E_a i_1 + E_b i_2 + E_c i_3}{w_m} \quad (3)$$

식 (3)에서 T_{total} 은 전동기에서 발생하는 총 토크, w_m 은 전동기의 회전 각속도를 나타낸다.^[7]

2.2 독립상 전동기

독립 3상 전동기는 기존의 전동기와 고유한 성질은 유사하나 중성점으로 분리되어 있는 것과 분리되어 있지 않은 전동기의 구조적 측면에서 차이를 갖는다. 이러한 구조적 차이로 인하여 전동기의 등가회로 및 전동기의 전압 방정식의 차이가 발생한다. 그림 4는 독립 3상 BLDC 전동기의 등가회로를 나타낸다. 그림 4의 I_A, I_B, I_C 를 상전류, V_A, V_B, V_C 를 상전압, L_A, L_B, L_C 를 동기인덕턴스, E_A, E_B, E_C 를 역기전력, R 을 고정

자 저항이라 한다. 전동기의 구조에서 각 상의 전기적 위치는 Y결선 3상 BLDC 전동기와 동일하다.

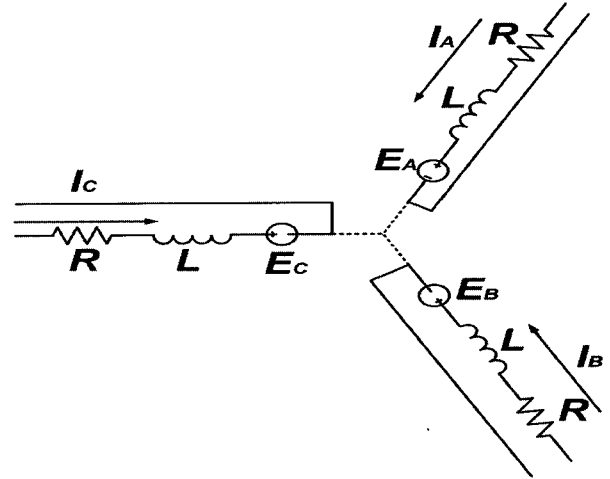


그림 4 독립 3상 BLDC 전동기 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of 3 phase BLDC motor (Independent phase)

독립상 BLDC 전동기는 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스의 값이 일정한 이상적인 전동기로 가정하며, 독립상 BLDC 전동기의 상전류 제어에 있어서 각 상의 상전류 합을 0이 되도록 제어한다. 식 (4)은 독립상 BLDC 전동기의 전압 방정식을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} V_A &= RI_A + L \frac{dI_A}{dt} + e_A \\ V_B &= RI_B + L \frac{dI_B}{dt} + e_B \\ V_C &= RI_C + L \frac{dI_C}{dt} + e_C \end{aligned} \quad (4)$$

독립상 전동기의 전압 방정식은 Y결선 전동기의 등가회로와 다르게 전동기의 각 상의 상전압과 상전류에 의하여 구성되는 것을 알 수 있다.

전동기의 고정자 저항, 역기전력, 동기인덕턴스 등의 값은 전동기의 구조 변화에 영향을 받는 것이기 때문에 전동기의 결선의 변화에 영향을 받지 않는다. 그러므로 독립상 전동기의 역기전력과 상전류 파형은 Y결선 형태의 전동기와 동일하다. 또한 독립상 전동기도 전동기의 손실과 인덕턴스에 의한 영향을 무시하는 경우 전체 발생토크는 식 (3)과 동일하다.

2.3 인버터

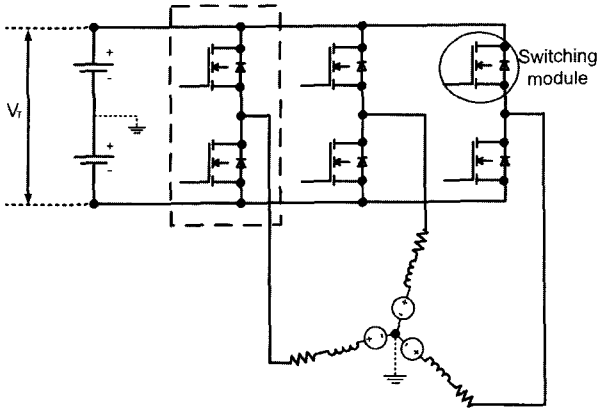


그림 5 Y결선 3상 BLDC 전동기의 인버터 결선도
 Fig. 5 Inverter schematic diagram of Y-connected 3 phase BLDC motor

그림 5는 일반적인 Y결선 3상 전동기용 인버터 결선도를 나타낸 것이다. 각 상은 두 개의 스위칭 모듈로 제어된다. Y결선의 경우 두 상에 동시에 전류가 도통되는 구조로 구동하게 된다. 그림 6은 독립 3상 BLDC 전동기의 인버터 결선도를 나타낸 것이다.

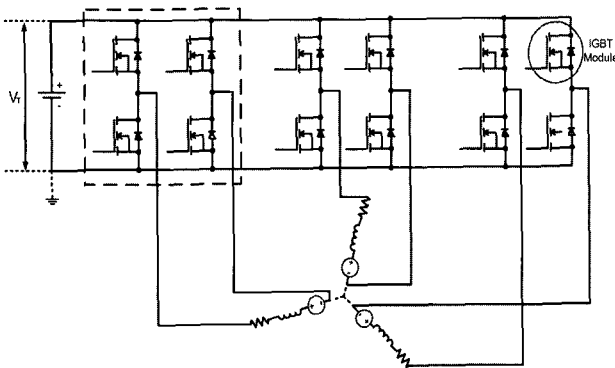


그림 6 독립 3상 BLDC 전동기의 인버터 결선도
 Fig. 6 Inverter schematic diagram of independent 3 phase BLDC motor

그림 6에서 각 상은 인버터를 통하여 전기적으로 분리되어 있는 형태의 전동기이다. 독립상 BLDC 전동기의 각상은 1개의 H-bridge Inverter를 통하여 제어된다. 독립상 구조는 각 상이 전기적으로 독립되어 있으므로 인버터의 전체 전압이 한 상에 인가된다. 반면 Y결선 구조는 두 상이 직결 연결된 상태로 전류가 흐르

게 되고 한 상에는 전체 전압의 절반 전압이 인가된다. 상전압의 증가는 한상에 흐를 수 있는 최대 상전류의 증가를 가져 온다. 전동기의 고정 저항 및 동기 인덕턴스가 동일하기 때문에 상전압이 증가하면 최대 상전류가 증가하게 된다.

$$T_{total} \propto I_A I_B I_C \quad (5)$$

식 (5)와 같이 전동기에서 발생하는 토크는 상전류에 비례하게 된다.^[3] 그러므로 최대 상전류의 증가는 최대 토크의 증가를 가져 온다.

3. 독립상 BLDC 전동기 Hysteresis 전류 제어 알고리즘

독립상의 Hysteresis 전류제어는 크게 두 부분으로 상전류 도통 구간과 상전환 구간으로 나눈다. 상전류 제어는 도통 구간에는 기존의 Y결선 3상 BLDC 전동기에 적용하는 Hysteresis 전류 제어 알고리즘을 변형하여 제어 하였다. 또한 상전환 구간(Commutating Period)에는 전류값을 제한하는 알고리즘으로 제어 하였다.

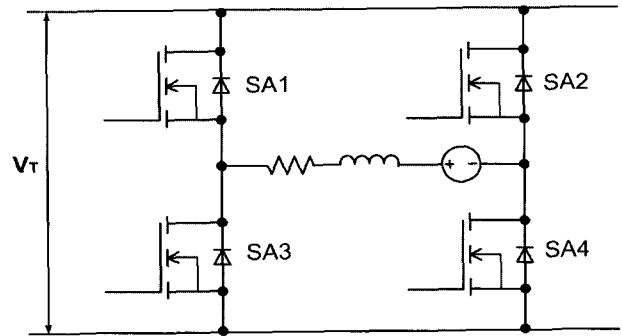


그림 7 독립상 BLDC 전동기 H-bridge(A phase) inverter 결선도

Fig. 7 H-bridge inverter(A-phase) schematic of diagram of independent phase BLDC motor

그림 7은 독립 3상 BLDC 전동기의 A상 한상의 결선도를 나타낸 것이다. 상전류의 제어는 SA1과 SA4, SA2와 SA3가 동시에 스위칭 하여 제어한다. 반드시 SA1과 SA3, SA2와 SA4는 동시에 스위칭 되지 않도록 제어 한다. 그림 8은 독립 3상 BLDC 전동기 A상의 Hysteresis 전류 제어 알고리즘과 스위칭 패턴을 나타낸 것이다.

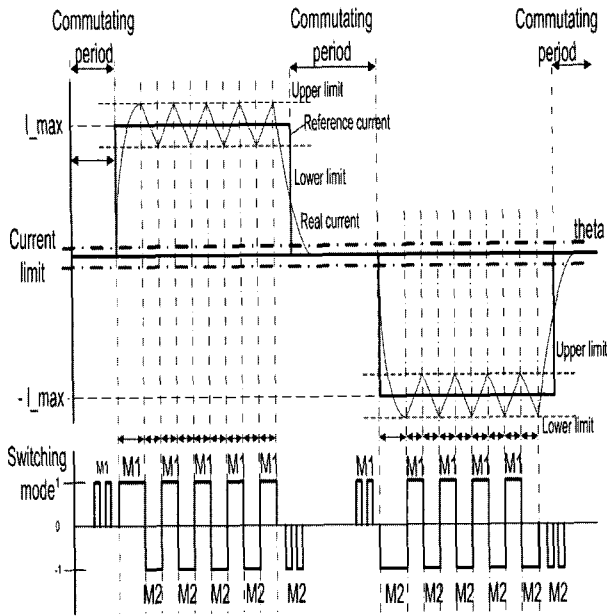


그림 8 A상의 Hysteresis 전류 제어(독립상 구조)
 Fig. 8 Hysteresis current control for phase A (independent phase)

스위칭 패턴 M1은 SA1과 SA4가 on이고 SA2와 SA3가 off 동작이다. 스위칭 패턴 M2는 SA2와 SA3가 on이고 SA1과 SA4가 off인 동작이다. 기준 전류는 제어기에서 이론적으로 구현 하고자 하는 전류이며 실제 전류는 인버터의 스위칭에 의한 전류를 나타낸다.

표 1 Hysteresis 전류제어기에 따른 스위칭 패턴
 Table 1 Switching pattern of hysteresis current controller

Current state		Switching	
I _a > 0	I _a < Lower limit	M1	
	I _a > Upper limit	M2	
	Lower limit < I _a < Upper limit	$\frac{d}{dt} I_a > 0$	M1
		$\frac{d}{dt} I_a < 0$	M2
I _a < 0	I _a < Lower limit	M2	
	I _a > Upper limit	M1	
	Lower limit < I _a < Upper limit	$\frac{d}{dt} I_a > 0$	M2
		$\frac{d}{dt} I_a < 0$	M1

상전류 도통 구간의 경우 표 1과 같은 방법으로 스

위칭 한다. 기준 전류에 상위와 하위로 일정 범위를 두고(상위제한, 하위 제한) 현재 전류가 해당하는 범위와 현재 전류의 기울기를 판단하여 스위칭 패턴을 정하게 된다. 표 1은 상전류 도통 시점에서의 스위칭 패턴을 나타낸 것이다.^[5]

상전류 도통 구간에서의 기존의 3상 Y결선 BLDC 전동기의 Hysteresis 전류 제어 알고리즘과 유사하다. 하지만 기존의 3상 Y결선의 경우 상전환 구간에서는 한 상을 제어하기 위하여 스위칭 하지 않는다. 하지만 중성점에 의하여 스위칭하지 않는 상의 전위는 일정하게 유지 된다.

하지만 독립상의 경우, M1과 M2의 두 가지 스위칭 패턴 중 어느 한가지로도 스위칭 하지 않을 경우 스위칭하지 않는 상의 전위는 불분명한 상태가 되며 역기전력에 의하여 발생하는 전위로 인하여 적은 상전류가 흐르게 된다. 이러한 상전류 흐름은 전체 상전류의 맥동을 가져 온다. 상전류의 흐름은 이론적인 제어에 있어서 그림 1과 같이 되어야 하며, 이를 위해 역기전력이 발생하는 반대 방향으로 전압을 스위칭 하여 상전류의 흐름을 억제하는 스위칭 기법을 제안하고, 특성을 알아보기 위하여 시뮬레이션 하였다.

4. 시뮬레이션 모델링

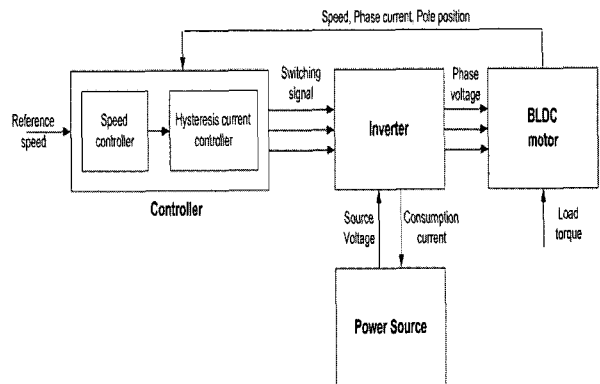


그림 9 BLDC 전동기 시스템 구성도
 Fig. 9 Block diagram of BLDC motor System

그림 9는 BLDC 전동기의 시스템 구성도를 나타낸다. 시스템은 제어기, 인버터, 전원, BLDC전동기로 구분된다. Y결선 3상 BLDC전동기와 독립 3상 BLDC 전동기는 전류 제어 알고리즘을 구성한 제어 부분과 전동기의 모델링에서 큰 차이를 갖는다.

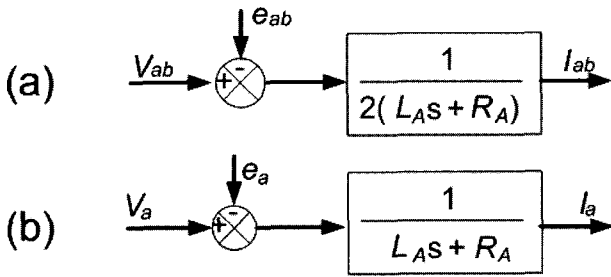


그림 10 BLDC 전동기 상전류 블록 다이어그램
(a: Y결선 b: 독립상)
Fig. 10 Block diagram of BLDC motor phase current
(a: Y-connected b: independent phase)

그림 10은 BLDC 전동기 모델링 중 상전류 블록 다이어그램을 나타낸 것이다. (a)는 Y결선 3상 BLDC 전동기를 나타낸 것이고, (b)는 독립 3상 BLDC 전동기를 나타낸 것이다.

전류제어 알고리즘에서 독립상 BLDC 전동기는 두상이 도통 되는 구간에서는 Y결선 BLDC 전동기와 동일한 스위칭을 한다. 하지만 상전환 구간에서 Y결선 BLDC 전동기는 스위칭 하지 않는 반면, 독립상 BLDC 전동기는 스위칭을 통하여 상전류의 맥동을 억제한다. 그림 11은 독립상 BLDC 전동기의 a상 Hysteresis 전류 제어 알고리즘을 표현한 시뮬레이션 블록이다.

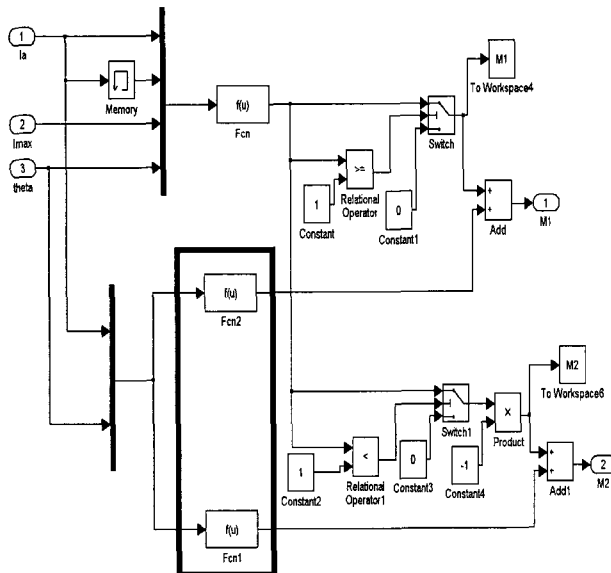


그림. 11 독립상 BLDC 전동기 a상 Hysteresis 전류 제어 시뮬레이션 블록
Fig. 11 Simulation block diagram of hysteresis current controller for phase a(Independent phase)

그림 11에서 표시된 부분은 상전환 구간에서 상전류의 흐름을 0.1A이하로 제한하도록 구성하였다. 전류 제한을 작게 할 경우 상전환시에 스위칭이 많아지게 되는 원인이 되어 실제 시스템의 구현의 문제점을 갖는다. 표 2는 3상 전동기의 특성 값을 나타낸 것이다. 표 3은 시뮬레이션 모델에서의 전원의 사양을 나타낸 것이다. 전동기 특성 값과 전원은 동일한 값을 사용하여 시뮬레이션 하였다.^[5]

표 2 3상 BLDC 전동기 특성 값
Table 2 Specification of 3 phase BLDC motor

Pole	4
Stator resistance	1.5[Ω]
Self-inductance	0.0061[mH]
Mutual inductance	0[mH]
Rotor inertia	8.2614*10 ⁻⁵ [kg·m ²]
Back EMF constant	0.21486[V/(rad/sec)]
Torque constant	0.21476[N·m]
Load Torque	0.662[N·m]

표 3 시뮬레이션에 사용된 전원 사양
Table 3 Power Source specification for Simulation

Capacitance	22000*10 ⁻⁶ μF
Frequency	60Hz
Input voltage	3Φ 220V
Initial voltage	100V

5. 시뮬레이션 결과

독립상 BLDC 전동기의 특성을 알아보기 위하여 동일한 조건에서 Y결선 형태의 독립상 전동기를 시뮬레이션을 통하여 비교 하였다. 또한 본 논문에서 제안하는 스위칭 기법을 알아보기 위해 기존의 Hysteresis 전류 제어 알고리즘을 적용한 독립상 시스템과 본 논문에서 제안하는 독립상 Hysteresis 전류 제어 알고리즘을 적용한 모델을 시뮬레이션 하였다.

그림 12는 Y결선 BLDC전동기의 상전압을 나타낸 것이다. 상전압은 도통 구간에서만 스위칭을 통하여 전압을 인가된다. 그림 13은 독립 3상 형태의 BLDC 전동기의 상전압을 나타낸 것이다.

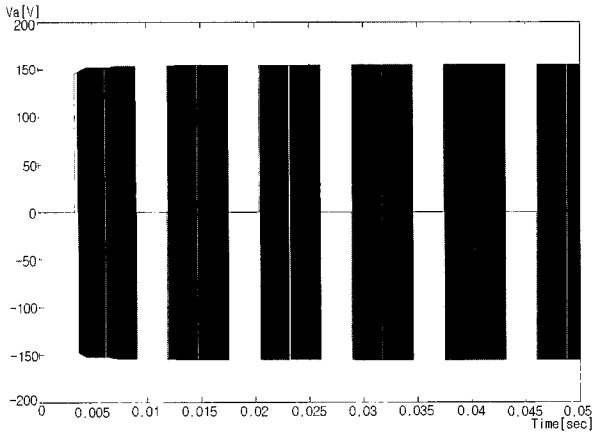


그림. 12 Y결선 3상 BLDC 전동기의 상전압(a상)
 Fig. 12 Phase voltage waveform of Y-connected 3 phase BLDC motor (a-phase)

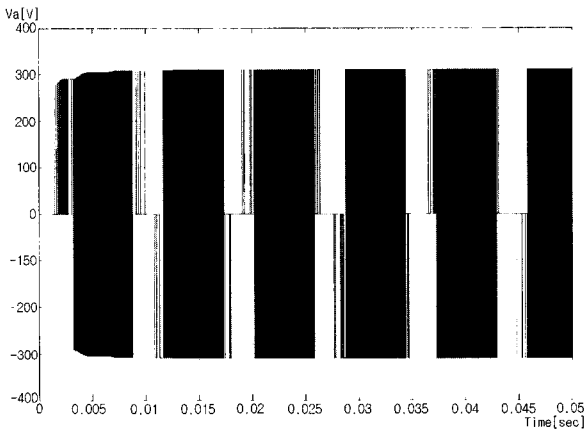


그림. 13 독립 3상 BLDC 전동기의 상전압(a상)
 Fig. 13 Phase voltage waveform of independent 3 phase BLDC motor (a-phase)

독립상 BLDC 전동기와 Y결선 BLDC 전동기의 경우 동일한 시스템 전압을 인가할 경우 독립상 BLDC 전동기가 Y결선 BLDC 전동기에 비하여 상전압이 약 2배 정도 높을 것을 알 수 있다. 상전압의 증가는 전동기의 고정 저항, 인덕턴스, 역기전력 등이 동일 할 경우 최대 상전류가 증가 하는 것을 의미한다. 최대 상전류의 증가는 최대 토크의 증가로 이어지게 된다.

그림 14은 Y결선 3상 BLDC 전동기의 3상 상전류를 나타낸 것이다.^[5] 그림 15는 독립 3상 BLDC 전동기를 상전환 구간에서 전류제어를 위한 스위칭을 하지 않는 경우의 상전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 16은 독립 3상 BLDC 전동기를 상전환 구간에서 전류제어를 위한 스위칭을 한 경우의 상전류 파형을 나타낸 것이다.

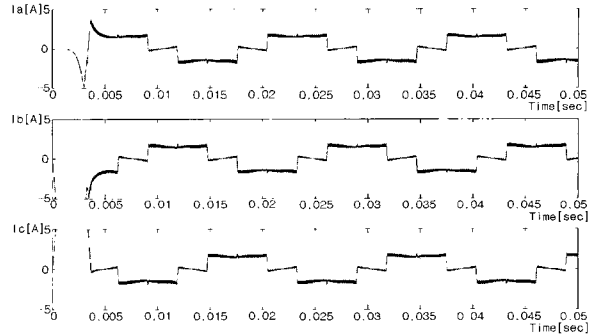


그림. 14 Y결선 BLDC 전동기의 상전류
 Fig. 14 Phase current waveform of Y-connected 3 phase BLDC motor (a-phase)

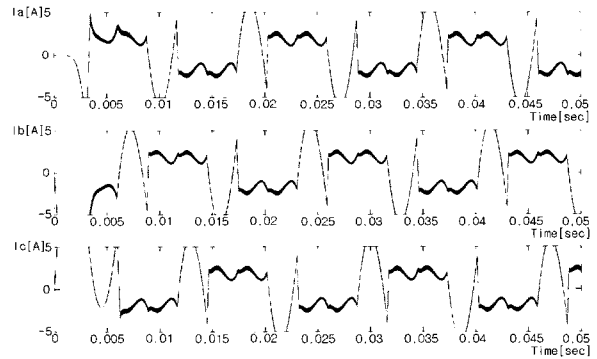


그림. 15 독립 3상 BLDC 전동기의 상전류 (상전류 제어 방법 미적용)
 Fig. 15 Phase current waveform of independent 3 phase BLDC motor (Exclude phase current control method)

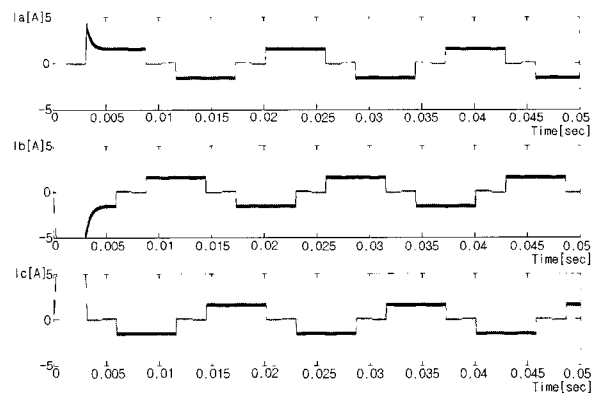


그림. 16 독립 3상 BLDC 전동기의 상전류 (상전류 전류 제어 방법 적용)
 Fig. 16 Phase current waveform of independent 3 phase BLDC motor (Include phase current control method)

Y결선의 경우 상전환 구간에서 중성점으로 연결되어 있으므로 일정 전위가 고정된다. 또한 중성점에 의한 연결로 인하여 상전환 구간에서 발생하는 상전류는 매우 적게 된다.

그림 15에서 독립상의 경우 상전환 구간에서 전류제한을 하지 않을 경우 역기전력에 의하여 발생하는 매우 큰 상전류 맥동을 가져 온다. 또한 상전류 맥동은 서로 상간에 영향을 주어 실제 도통 구간의 전류파형에 영향을 미친다. 그림 16에서와 같이 상전환 구간에서 상전류의 흐름을 억제하기 위한 스위칭을 한 경우 상전류의 맥동은 줄어들며 이론적인 구형파 형태의 상전류 파형에 근접하는 것을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구는, 기존의 Y결선 형태의 BLDC 전동기와 결선 방식이 다른 독립상 형태의 전동기를 제안하고, 독립상 형태의 전동기의 구동에 적합한 스위칭 알고리즘을 제안한다. 독립상 형태의 전동기 특성 해석을 위하여 수학적으로 모델링 하고 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 결과 독립 3상 BLDC 전동기가 Y결선 3상 BLDC 전동기보다 높은 상전압을 나타내었다. 또한 독립 3상 BLDC 전동기에 상전류 제어 방법을 적용하여 상전류 맥동을 저감 하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 고정자 저항과 동기 인덕턴스가 일정할 경우, 동일한 시스템 전압에서 독립 3상 BLDC 전동기가 더 높은 토크를 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한 상전류 제어 방법을 적용한 스위칭 방법을 통하여 전류 맥동을 저감하여 독립상 전동기를 안정적으로 제어하였다.

본 연구를 실제 전동기에 적용하기 위하여 인버터의 스위칭 데드 타임에 대한 고려, 스위칭 소자의 특성에 대한 고려가 필요하며, 실제 실험을 통한 전동기의 특성 연구가 계속되어야 한다.

본 논문은 수중 운동체 기술 특화연구센터의 지원으로 수행됨.

참 고 문 헌

[1] 공영경, "전기추진선박의 추진체계 발전방향", 한국마린엔지니어링학회지 제27권 5호, pp548-554,2003

[2] Cdr C. G. Hodge and Cdr D J Mattick, " The Electric Warship IV", TransIMarE, Vol.109, part2, pp. 25-30, 2001.

[3] Cdr Stuart Young, Cdr. John Newel and Cdr. Graeme Little, "beyond Electric ship", Naval Engineers Journal, pp. 79-92, 2001.

[4] P. Pillay and R. Krishnan, "Modeling, Simulation, and Analysis of Permanent -Magnet drives, Part 11:The Brushless DC Motor Drive,"IEEE Trans. on Ind. App, Vol. 5, No.2, 1989.

[5] Byoung - Kuk Lee, Mehrdad Ehsani, "Advamced Simulation Model for Brushless DC motor drives", Journal of Power Electronics, Vol 3, NO 2, 2003

[6] H. Le-huy, R. Perret, and R. Feuillet, "Minimization of Torque Ripple in Burshless DC motor Drive", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-22, No. 4 pp748-755,1986

[7] Marcelo Godoy Simões, Petronio Vieira, Jr. A High -Torque Low-Speed Multiphase Brushless Machine-A Perspective Application for Electric Vehicles IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 49, NO. 5, 2002.

저 자 소 개



조관준(趙琯濤)

1982년 5월 29일생. 2005년 한국해양대 선박전자기계공학부 선박전기전자전공 졸업. 2007년 동 대학원 메카트로닉스과 졸업(석사). 동 대학원 박사 과정. 현재 수중 운동체 특화 연구센터 연구보조원.



오진석(吳珍錫)

1960년 3월 21일생. 한국해양대 졸업(공학박). 영국ZODIAC 선박회사 엔지니어. 1989년~1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년~1996년 양산대 교수, 학과장. 1996년~현재 한국해양대학교 교수. 2001년~2002년 영국 CARDIFF대학 교환교수. 2002년~현재 산학연기술지원센터 소장. 2002년~2006년 한국마린엔지니어링학회 편집위원, 기획이사. 2002년~현재 한국산학연논문집 편집위원. 2003년~2006년 영국 K.O.Tech 연구원, 2005년~2006년 부·울 산학연 협의회 회장, 2007년~현재 수중특화연구센터 연구실장.