

PHEV(Plug in Hybrid Electric Vehicle) 의 클러치 구동 시스템을 위한 BLDC 모터의 위치제어기

진용신¹, 신희근², 김학원³, 목형수⁴, 조관열[†]

Position Controller for Clutch Drive System of PHEV(Plug in Hybrid Electric Vehicle)

Yong-Sin Jin¹, Hee-Keun Shin², Hag-Wone Kim³, Hyung-Soo Mok⁴, and Kwan-Yuhl Cho[†]

Abstract - Plug-in Hybrid Electric Vehicle is driven by the engine, the primary traction motor, and the secondary auxiliary motor generating the electric power for battery charging. Secondary auxiliary motor should be connected to the engine or separated from the engine by the clutch system. This paper presents the position controller of the BLDC motor for the clutch system of Plug-in Hybrid Electric Vehicle. The BLDC motor can be applied to the clutch system in spite of its low accuracy of the position control due to high gear ratio between the clutch and the motor. Since the attachment and the detachment between the motor and the engine should be carried out within 0.3 seconds, the position controller with fast acceleration and deceleration is implemented. For the torque control with braking operation for the BLDC motor, the modified bipolar PWM method with low current ripple compared to the conventional unipolar PWM is presented. The position control performance of the BLDC motor for the clutch system is verified through the simulation and experiments.

Keywords : Position control, BLDC motor, Clutch, PHEV, PWM

1. 서 론

최근 환경 문제와 유가 폭등의 이유로 내연 기관 자동차를 전기 자동차로 대체하기 위한 연구가 진행되고 있다. 현재 전기 자동차는 배터리 사용시간 및 급속 충전, 배터리 충전 인프라 구축 등의 이유로 인해 제한적으로 사용되고 있으며, 엔진과 전기 모터를 같이 사용하는 하이브리드 자동차(Hybrid Vehicle)에 집중하고 있다. 그러나 기존 병렬 구조의 하이브리드 자동차는 주행 중에는 배터리를 충전할 수 없는 단점을 가지고 있다. 한편, 플러그인 하이브리드 자동차는 기존의 하이브리드

자동차와 달리 플러그를 이용하여 상용전원의 전기 에너지를 배터리에 충전할 수 있기 때문에 큰 용량의 배터리를 사용하며, 그로 인해 전기 모터도 더 큰 용량의 모터를 사용할 수 있어 전기 모터만으로 자동차를 구동할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 연비를 높이고, 매연 배출도 줄일 수 있으므로^[1,2] 기존 하이브리드 자동차의 단점을 보완할 수 있는 복합형 구조의 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle)를 개발하고 있다. 그러나 복합형 구조의 PHEV의 경우 엔진과 전기모터를 직렬로 연결하거나 또는 엔진과 전기모터의 연결을 끊을 수 있는 클러치 시스템의 개발이 필요하다.

플러그인 하이브리드 자동차의 클러치는 엔진에 전기모터를 빠른 시간 내에 결합 및 분리를 위해 급가감속에 의한 빠른 위치응답 특성이 요구되며, 고효율의 모터 적용이 필수적이다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위해서는 고효율 및 서보제어용의 영구자석형 브러쉬 없는 전동기가 가장 적합하다. 영구자석형 브러쉬 없는 전동기는 유기전압 및 상전류 파형의 형태에 따라 BLDC(Brushless DC) 모터와 PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor)로 구분할 수 있다. 정현파

Paper number : TKPE-2012-17-2-11

ISSN : 1229-2214

[†]Corresponding Author : kycho@cjnu.ac.kr, Dept. of Control & Instrumentation Eng., Korea University of Transportation

Tel : +82-43-841-5329 Fax : +82-43-841-5320

¹ Dept. of Control & Instrumentation Eng., Korea University of Transportation

² Technology Research Lab., VCTech.

³ Dept. of Electrical Eng. Konkuk University

Manuscript received Nov. 29, 2011; accepted Jan. 27, 2012

— 본 논문은 2011년 전력전자학술대회 외부장학금 수혜논문임

의 역기전력을 갖는 PMSM의 경우 상전류를 정현파로 제어하기 위해 회전자 위치정보의 분해능이 높아야 하며, 이에 따라 높은 정밀도의 레졸버(Resolver) 또는 절대 각 엔코더(Absolute encoder)를 사용해야 한다.^[4,5] 이러한 고 분해능의 위치센서는 가격상승의 주요인이 된다. 반면에 BLDC 모터는 역기전력이 사다리꼴(Trapezoidal)의 형태를 가지므로 모터의 상전류를 구형파(Rectangular waveform)로 제어한다.^[3] 따라서 BLDC 모터는 상전류의 정류(Commutation)을 위해 전기적으로 60도의 위치정보가 필요하며, 회전자 위치센서로 저가격의 홀센서(Hall sensor)를 사용한다.

본 논문에서는 클러치의 요구사양을 만족하는 저가격의 BLDC 모터 위치 제어기를 제안한다. 엔진과 발전기용 보조 모터의 빠른 연결 및 차단을 위해 클러치는 빠른 시간 내에 위치제어가 필요하므로 클러치용 BLDC 모터는 빠른 가속운전 및 제동운전이 필요하다. 일반적으로 BLDC 모터의 전압제어 방식은 인버터의 상단 또는 하단의 스위치만 PWM 제어를 하는 유니폴라(Unipolar) PWM 방식과 인버터의 상단 및 하단 스위치를 모두 PWM 제어하는 바이폴라(Bopolar) PWM 방식이 있다.^[3,7,8,11] 바이폴라 PWM 방식은 인버터의 상단 및 하단 스위치가 동시에 PWM 스위칭을 하므로 모터의 순간전압은 인버터의 스위칭 상태에 따라 $V_{dc} - V_{dc}$ 의 값을 가질 수 있다. 따라서 빠른 위치제어 응답특성을 얻기 위해 양(Positive)의 토크에 의한 가속운전 모드에서 음(Negative)의 토크에 의한 제동운전 모드로 전환하기 위해 필요한 양/음의 토크를 발생시킬 수 있다^[9]. 반면 유니폴라 PWM 방식은 인버터의 상단 또는 하단 스위치만 PWM 스위칭을 하므로 모터의 전압명령에 따라, 모터에 인가되는 순간 전압은 V_{dc} , 0의 값을 갖는다. 따라서 유니폴라 PWM 방식의 경우 상전류의 리플(Ripple)은 바이폴라 PWM에 비해 작게 나타나는 반면 제동운전을 위해 역기전력과 반대 방향으로 전류를 흘려주어야 하나 음의 전압을 인가하는 것이 어려워 제동토크를 발생하기가 어렵다^[9,11]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 바이폴라 PWM 방식처럼 제동운전이 가능하면서 상 전류리플은 유니폴라 PWM 방식과 같이 작은 PWM 방식이 제안된 바 있다^[11]. 그러나 이 논문에서는 BLDC 전동기의 위치제어 응용에 대한 구체적인 언급이 없고, 위치제어에 대한 실험결과가 제시되지 않았다.

본 논문에서는 PHEV의 클러치 시스템용 BLDC 모터의 빠른 응답특성을 갖는 위치제어기를 제안한다. 제안된 위치제어기의 응답특성이 PHEV 클러치 시스템의 요구사양을 만족함을 실험으로 검증한다.

2. PHEV 클러치용 BLDC Motor의 위치제어

2.1 PHEV의 구조 및 동작 원리

그림 1은 PHEV의 구조를 나타낸다. 기존의 HEV의

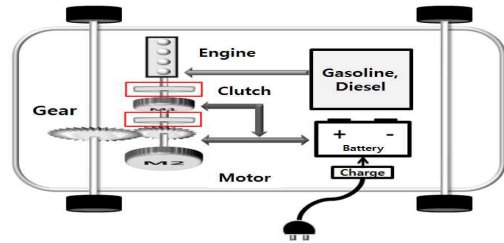


Fig. 1 Structure of PHEV

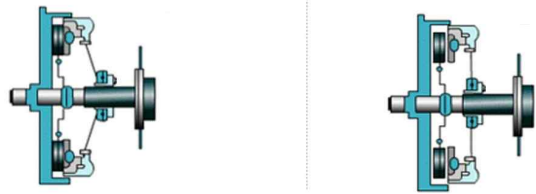


Fig. 2 Structure of clutch

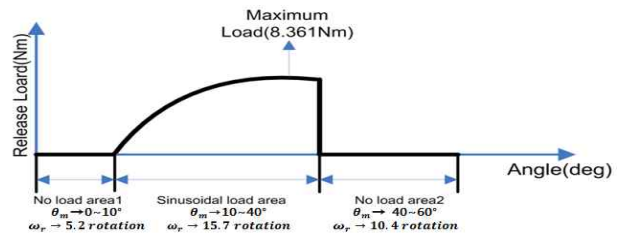


Fig. 3 Load profile of clutch

구조는 병렬 형 구조로 되어 있지만 PHEV의 구조는 배터리의 충전 모드에 따라, 직렬 형 구조와 병렬 형 구조를 선택적으로 사용할 수 있는 복합 형 구조로 되어 있다. 그림 1에서 모터 2는 항상 자동차를 구동하는 구동축에 연결되지만, 모터 1은 클러치 동작에 따라 구동축을 구동하는 전동기 또는 배터리를 충전하기 위한 발전기로 선택적으로 작용한다. 클러치는 엔진과 모터 1의 연결 또는 차단을 담당하는 역할을 한다. 클러치가 차단이 되면 모터 1은 전동기 모드로 동작하게 되어 모터 1과 모터 2는 병렬 형 구조가 된다. 반대로 클러치가 연결되면 모터 1은 발전기 모드가 되어 배터리를 충전하는 직렬 형 구조가 된다.

그림 2는 PHEV용 엔진 클러치의 구조를 나타낸다. BLDC 모터가 다이어프램 스프링을 누르게 되면 엔진축과 연결된 압력 판이 떨어지면서 클러치는 차단되고 반대로 누르지 않게 되면 다이어프램 스프링에 연결된 압력 판에 의해 클러치는 연결된다.^[12]

압력판은 BLDC 모터에 의해 동작되며 모터의 회전각에 따라 압력판에 작용하는 힘이 달라진다. 클러치용 BLDC 모터에 걸리는 부하는 그림 3과 같이 압력판의 위치, 즉 클러치 구동용 모터의 회전각도에 따라 클러치의 다이어프램 스프링에 의해 곡선 형태로 나타난다. 초기에는 부하가 걸리지 않고 클러치가 발전기용 보조모터를

Table 1 Specs. of BLDC motor

BLDC motor	Phase resistance	0.067 mΩ
	Phase inductance	0.0133 mH
	Moment of inertia	0.0085 gm ²
	Rated voltage	12 V
	Maximum current	10.4 A
	Number of poles	2
	Maximum speed	10,300 rpm
	Rated speed	9,050 rpm
	Maximum torque	0.11 Nm
Load	Time for position control	0.3 sec/60°
	Load maximum torque	8.4 Nm
	Gear ratio	188.9 : 1

엔진에 부착시킬 때 정현파에 가까운 부하가 걸리는 반면 일정각도(40°) 이상이 되면 클러치용 모터에는 부하가 걸리지 않는다.

2.2 PHEV 클러치용 BLDC 모터

BLDC 모터는 위치 센서 해상도가 낮아 주로 속도 제어용으로 사용된다. 반면, PMSM은 위치 센서 해상도가 높아 속도 및 위치 제어용으로 사용되지만, 제어가 복잡하고 사용되는 위치 센서가 고가라는 단점이 있다. PHEV용 클러치는 모터 출력 측에 감속비가 매우 큰 감속기가 연결되어 있다. 이런 조건에서는 전동기의 위치 해상도가 60도인 BLDC 전동기를 사용하더라도, 최종 기어 출력 측의 188.9:1의 기어비에 의해 제어 정밀도는 0.317°로 높아지므로 가격이 비싼 PMSM을 사용하지 않아도 된다. PHEV 클러치를 위해 적용된 BLDC 모터의 사양은 표 1과 같다.

2.3 BLDC 모터 위치제어를 위한 PWM^[11]

BLDC 모터를 응답 특성이 빠른 위치 제어용으로 사용하기 위해서는 속도의 빠른 가감속 운전이 요구되며, 따라서 제동운전이 가능한 PWM 방식을 사용하여야 한다. 그림 4는 BLDC 전동기가 구동될 때의 구동 로직이다. 그림과 같이 모터 구동 시는 역기전력이 양인 상의 경우 양의 전류가, 역기전력이 음인 상의 경우 음의 전류가 인가된다. 반대로 제동 시는 역기전력이 양인 상의 경우 음의 전류가, 역기전력이 음인 경우 양의 전류가 인가된다. 이를 위해 특정 상의 역기전력 상태에 관계없이 양의 전압과 음의 전압을 모두 인가할 수 있는 혼합형 바이폴라 PWM 방식을 사용한다.

PHEV 클러치 제어를 위한 PWM 방식의 비교를 위해 기존의 유니폴라 PWM 방식과 바이폴라 PWM 방식을 설명한다. PWM 동작은 그림 5와 같이 전동기가 1번 구동 상태일 때, 즉 A상의 역기전력이 양이고, B상의 역

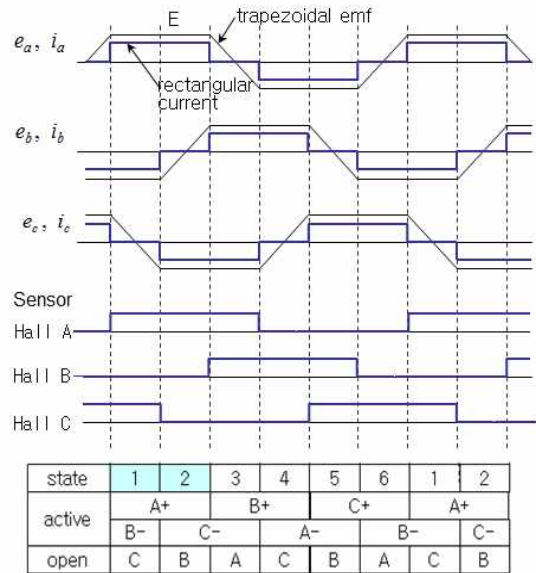


Fig. 4 Control Logic of BLDC Motor

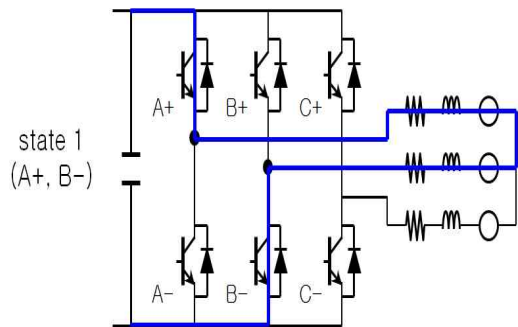


Fig. 5 Conduction State of PWM On (State 1)

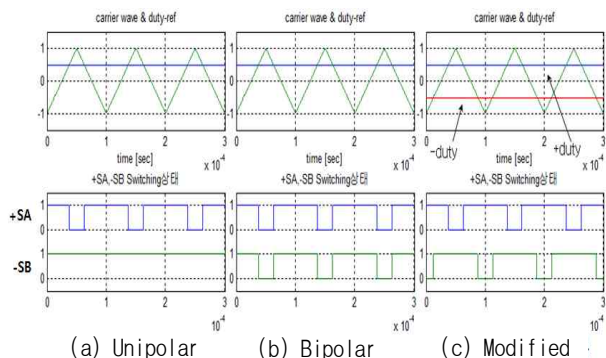


Fig. 6 Duty and switching function of PWM method

기전력이 음일 때 A상 상단스위치와 B상의 하단스위치가 켜져 있는 상태를 기준으로 설명한다.

그림 6는 구동 상태 1일 때 유니폴라(Unipolar) PWM, 바이폴라(Bipolar) PWM, 혼합형 바이폴라(Unified Bipolar) PWM 방법의 반송파, 듀티 지령 및

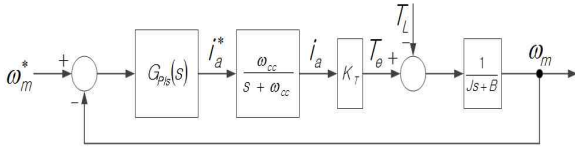


Fig. 7 System structure of speed controller

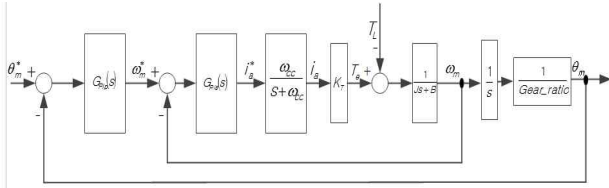


Fig. 8 Position controller of BLDC motor

스위칭 함수를 나타낸다. 유니폴라 PWM은 PWM On에서 Off로 전환 시, 켜져 있던 두 개의 스위치 중 하나의 스위치만 끄는 방법을 말한다. 그림 6(a)는 상태 1에서 a상의 +스위치를 꺼주는 방법을 나타내며, 듀티 지령의 값에 관계없이 두상의 선간 전압은 항상 양의 평균값을 가지므로 제동 운전 시 필요한 음의 전압의 생성이 불가능하여 제동 운전이 불가능하다. 한편, 그림 6(b)의 바이폴라 방식은 듀티 지령에 따라, A+와 B- 그리고 A-와 B+를 동시에 켜주거나 꺼주는 방법을 말한다. 이 방법은 듀티 지령이 0보다 크면 A+와 B-가 켜져 있는 시간이 A-와 B+ 스위치가 켜져 있는 시간보다 커서, ab상의 선간 전압은 양의 값이 된다. 또한 듀티 지령이 0보다 작으면 ab상의 선간 전압이 음의 값이 되어 제동 운전도 가능하지만, 전류 맥동이 큰 문제점을 가지고 있다. 그림 6(c)의 혼합형 바이폴라 방식은 a상을 위한 (+)의 듀티 지령과 b상을 위한 (-)의 듀티 지령이 각각 있으며, (-) 듀티 지령은 (+) 듀티 지령과 크기는 같고 부호가 반대로 인가하며, (+) 듀티 지령이 양의 값이면 ab상의 선간 전압이 양의 전압을 만들 수 있고, 음의 값이면 ab상의 선간 전압이 음의 전압을 만들 수 있어 전동기 및 제동 운전이 모두 가능하고, 전류 맥동이 작은 장점을 가지고 있다.^[11] 본 논문에서는 위치 제어를 위하여 혼합형 바이폴라 PWM 방법을 사용한다.

2.4 BLDC 모터의 속도 제어기 설계^[10]

그림 7은 클러치용 BLDC 모터의 속도제어 블록도를 나타낸다. 속도제어 시스템의 개루프 전달함수(Open loop transfer function)는 전류제어기의 대역폭(bandwidth) ω_{cc} 를 속도제어기의 대역폭 ω_{cs} 의 20배로 충분히 크게 설정하면 전류제어기의 이득을 1로 가정할 수 있으며, 속도제어기의 개루프 전달함수는 다음 식과 같이 간략화 시킬 수 있다.

$$G_s^o(s) \approx K_{ps} \cdot \frac{K_T}{Js + B} \quad (1)$$

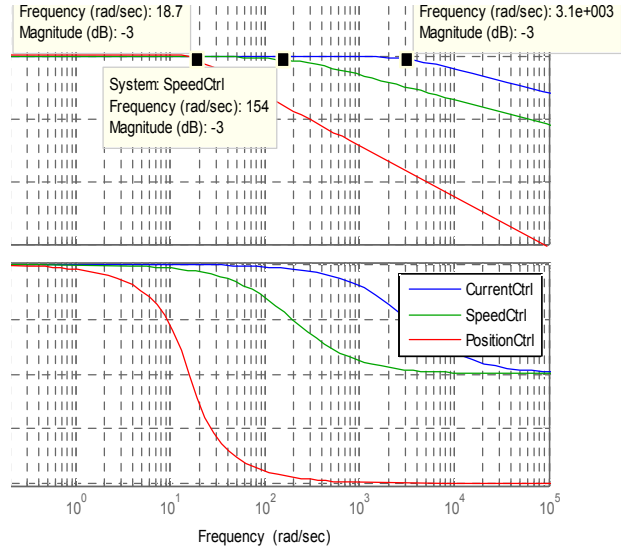


Fig. 9 Bode plot of BLDC motor control system

개루프 전달함수로부터 비레이득은 선정한 교차각 주파수로부터 다음 식과 같이 나타낸다.

$$K_{ps} = \frac{J\omega_{cs} + B}{K_T} \quad (2)$$

적분이득은 PI 절점 주파수를 충분히 낮게 선정하면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_{is} = K_{ps} \frac{\omega_{cs}}{5} \quad (3)$$

2.5 BLDC 모터의 위치 제어기 설계

그림 8은 클러치용 BLDC 모터의 위치제어 블록도를 나타낸다.

그림 8에서 속도제어기의 대역폭 ω_{cs} 를 위치제어기의 대역폭 ω_{cp} 의 20배로 충분히 크게 설정할 경우 속도제어기의 이득은 1로 가정할 수 있으며, 전류제어기의 이득 또한 1로 놓으면 위치 제어기의 개루프 전달함수는 다음 식과 같이 간략화 할 수 있다.

$$G_p^o(s) \approx K_{ps} \cdot \frac{K_T}{Js + B} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{Gear_ratio} \quad (4)$$

개루프 전달함수로부터 비레이득은 다음 식과 같다.

$$K_{pp} = \frac{J \cdot Gear_ratio \cdot \omega_{cp}^2}{K_T} \quad (5)$$

적분이득은 속도 제어기와 같이 PI 절점 주파수를 낮게 선정하여 다음 식과 같다.

$$K_{ip} = K_{pp} \frac{\omega_{cp}}{5} \quad (6)$$

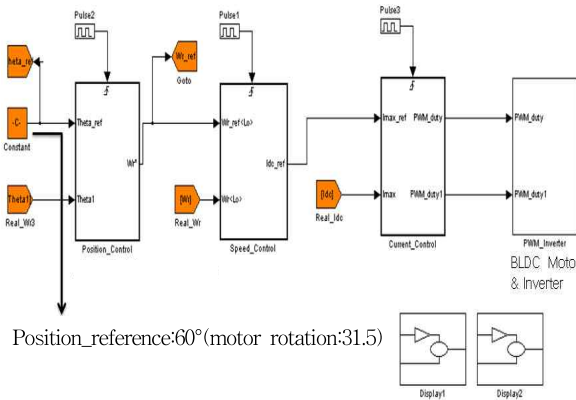


Fig. 10 Simulation model for position control

그림 9는 페루프 전달함수 특성을 보기 위한 위치, 속도, 전류 제어기의 보드 선도이다. 개루프 전달함수로부터 구해진 PI이득을 이용한 결과 정상상태오차가 없고 설정한 대역폭과 일지침을 확인 할 수 있었으며, 정해진 이득을 이용하여 실험을 진행 하였다.

3. 모의해석 및 실험

3.1 BLDC 모터의 위치제어 모의실험

그림 10은 PHEV를 위한 BLDC 전동기 위치제어 모의실험 블록도이다. 모의실험은 Matlab /Simulink를 이용하여 구현하였다. 위치지령과 회전자의 실제위치의 차이인 위치오차는 위치제어기를 거쳐 속도지령을 만든다. 속도제어기는 속도지령과 모터의 실제속도로부터 모터에 인가할 전류지령을 생성한다. 또한 전류제어기는 전류지령과 모터의 권선에 흐르는 전류로부터 모터에 인가할 전압의 듀티 지령을 발생한다. 듀티 지령과 캐리어 (Carrier) 파를 비교하여 인버터 스위치의 On/Off 상태를 결정한다.

그림 11은 듀티 신호와 홀 센서 신호를 이용한 스위칭 신호 발생기의 블록도이다. 여기서 +duty는 그림 6의 +duty를 의미하며, PWM 방식에 관계없이 존재하는 값이다. 반면 -duty는 그림 6의 -duty를 의미하며, -duty는 혼합형 바이폴라 방식에만 존재한다. 유니폴라 PWM 방식은 +듀티 지령에 따라 S1은 on/off를 반복하고 S4는 +듀티에 관계없이 항상 켜져있다. 그림 4의 홀 신호를 감안하여 스위칭 함수로 나타내면 아래의 식과 같다.

$$S_1 = (u[2] \cdot (!u[3])) \cdot u[1] \tag{7}$$

$$S_4 = (!u[2] \cdot (u[3])) \cdot 1 \tag{8}$$

여기서, u[2]는 A상 홀신호를, u[3]는 B상 홀신호를 의미하며 그림 4의 홀신호를 의미한다.. u[1]은 +듀티 지령과 반송파와 비교에 의해 만들어진 비교 결과로, 듀티 지령이 반송파보다 크면 1의 값을, 듀티 지령이 반송파

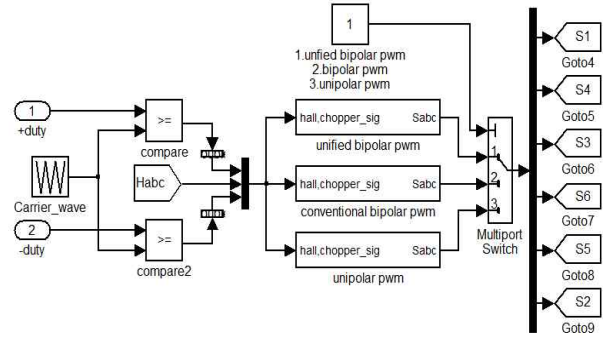


Fig. 11 Switching function generator of PWM method

보다 작으면 0의 값을 갖는다.

바이폴라 PWM은 +듀티에 따라 S1은 on/off를 반복하고, S4는 반전된 듀티에 따라 on/off된다. 그림 6(b)의 바이폴라 PWM을 홀 신호를 감안하여 스위칭 함수로 나타내면 아래의 식과 같다.

$$S_1 = (u[2] \cdot (!u[3])) \cdot u[1] \parallel (!u[2] \cdot u[3]) \cdot (!u[1]) \tag{9}$$

$$S_4 = (!u[2] \cdot u[3]) \cdot u[1] \parallel (u[2] \cdot (!u[3])) \cdot (!u[1]) \tag{10}$$

u[1]은 +지령에 의해 만들어진 듀티이며, !u[1]은 반전된 듀티이다.

혼합형 바이폴라 PWM은 그림 4의 상태 1인 경우 +지령에 의해 만들어진 듀티(D)에 따라 S1은 on/off를 반복하고, S4는 반전된 듀티(1-D)에 따라 on/off된다. 그림 4의 상태 4에서는, -지령에 의해 만들어진 듀티에 따라 S1은 on/off를 반복하며, S4는 반전된 듀티에 따라 on/off된다.

$$S_1 = (u[2] \cdot (!u[3])) \cdot u[1] \parallel (!u[2] \cdot u[3]) \cdot u[5] \tag{11}$$

$$S_4 = (!u[2] \cdot u[3]) \cdot (!u[5]) \parallel (u[2] \cdot (!u[3])) \cdot (!u[1]) \tag{12}$$

u[1]은 +지령에 의해 만들어진 듀티를 의미하며, !u[1]은 반전된 듀티이다. u[5]는 -지령에 의해 만들어진 듀티이며, !u[5]은 반전된 듀티이다.

그림 12는 BLDC 모터의 PWM방식에 따른 위치제어에 대한 모의해석 결과이다. 모의해석은 클러치 부하조건에서 위치제어 응답이 목표로 하는0.3초 이내를 만족하는지 확인하였다. 모의해석 결과 BLDC 전동기의 실제 속도가 0.05초에 10000rpm까지 가속되고 0.1초간 유지되며 클러치가 완료되는 0.16초 이후부터는 빠르게 감속 되어 0.3초 이내에 속도가 지령위치에 도달하는 것을 확인할 수 있다.

모터의 위치가 (7500°, 회전수로 20 회전)이 되면 속도 명령은 위치 제어기의 제어 주기인 20ms마다 점차 줄어들며 이 시점부터는 모터가 운전 모드에서 제동 모드로 전환된다. 이 때 A상전류는 제동을 하기 위해 역기전력

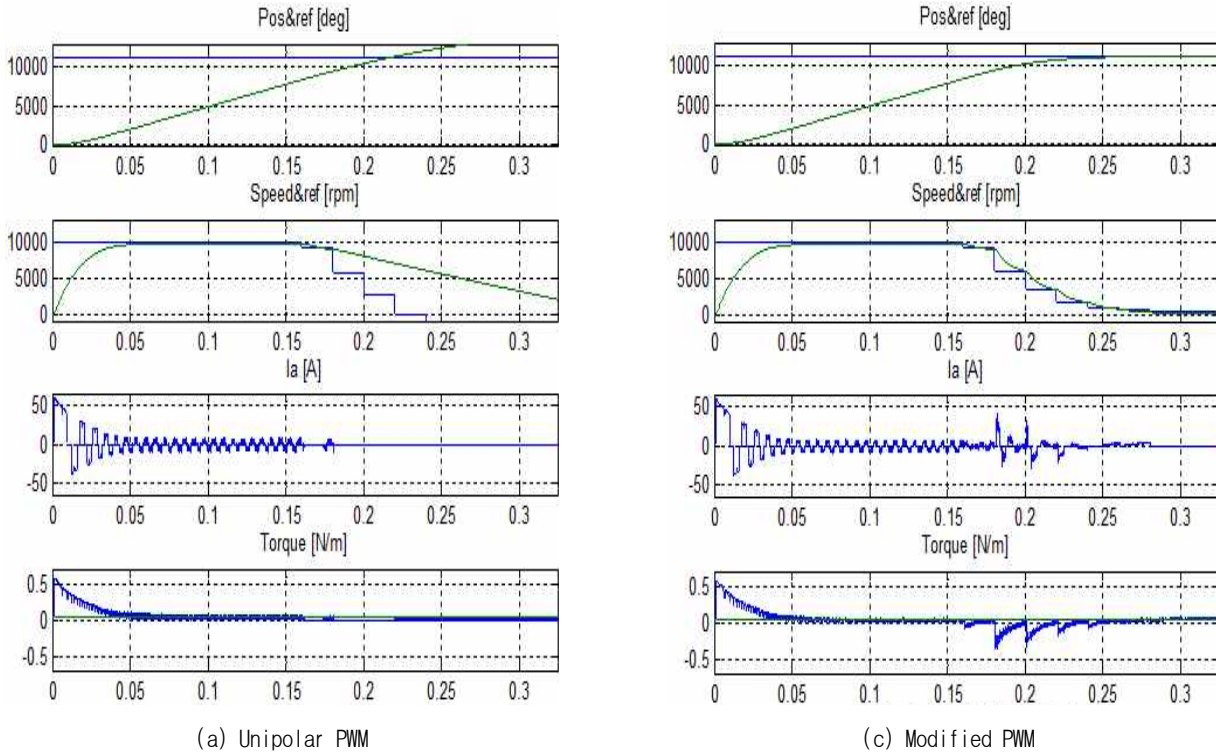


Fig. 12 Simulation result of the position control

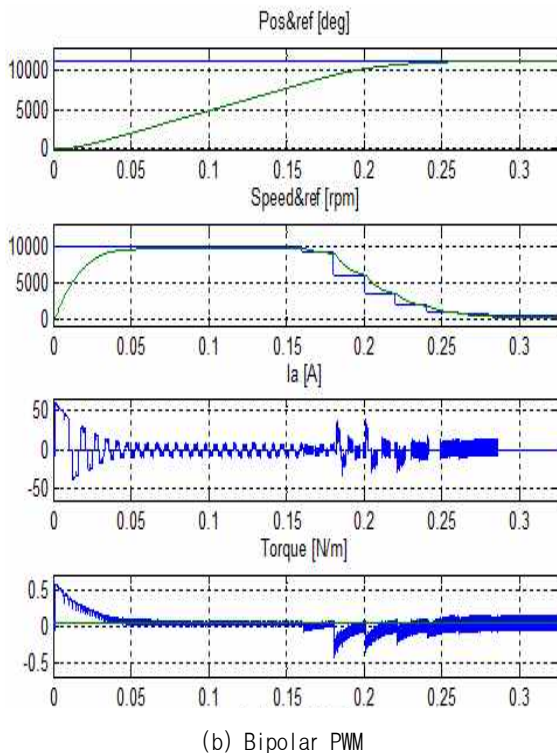
수 있다. 바이폴라 PWM 방식은 토크리플이 다른 PWM 방식에 비해 크다. 혼합형 바이폴라 PWM 방식과 유니폴라 PWM 방식은 토크 리플이 바이폴라 PWM 방식에 비해 작다. 이 결과로부터 혼합형 바이폴라 PWM 방식은 제동 응답 특성이 빠르고, 상전류와 토크 리플이 작다는 것을 알 수 있다.

3.2 BLDC 모터의 위치제어 실험

클러치 시스템의 구성은 클러치와 클러치에 연결된 BLDC모터, 그리고 BLDC 모터를 구동하기 위한 인버터 회로의 3부분으로 나누어 볼 수 있다. 클러치 구성은 그림 13과 같이 구성되어 있으며 BLDC 모터에 클러치의 기어가 연결되어 있다.

그림 14는 BLDC 모터의 abc상 전류 파형이며, 그림 15는 모터 구동 시 혼합형 바이폴라 PWM의 +A상과 -B상의 스위칭 신호와 a상전류 파형이다. A상과 B상의 선간 전압은 0 ~ Vdc의 양의 전압을 전류 맥동도 작다는 것을 알 수 있다. 또한 기존의 PWM방법에 비해 2배의 스위칭 주파수의 효과를 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

그림 16은 클러치용 BLDC 모터의 위치제어 실험결과를 나타낸다. 모의해석 결과와 유사하게 BLDC 모터의 위치제어가 초기 0.05초에 10000rpm까지 가속되고 0.16초 이후부터는 빠르게 감속되어 0.3초 이내에 지령 위치에 도달하는 것을 확인할 수 있다. BLDC 모터가 고속으로 동작하므로, 속도측정은 고속에서 측정이 유리한



(b) Bipolar PWM

과 반대의 전류로 전환 된다. 그림 12에서와 같이 혼합형 바이폴라 PWM 방식과 바이폴라 PWM 방식은 제동 응답 특성이 비교적 빨라 위치제어 동작이 0.3초안에 완료되는 것을 확인할 수 있다.

반면 유니폴라 PWM 방식은 제동 응답 특성이 느리고, 0.3초 이내에 지령 위치에 도달 하지 못하는 것을 알

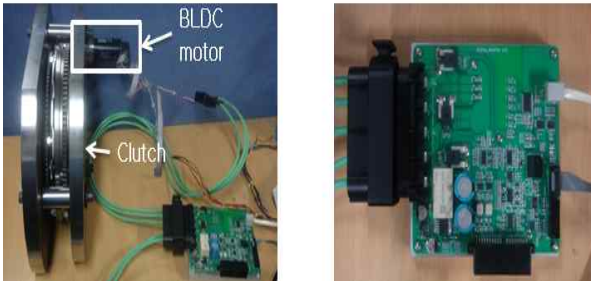


Fig. 13 Configuration of clutch system

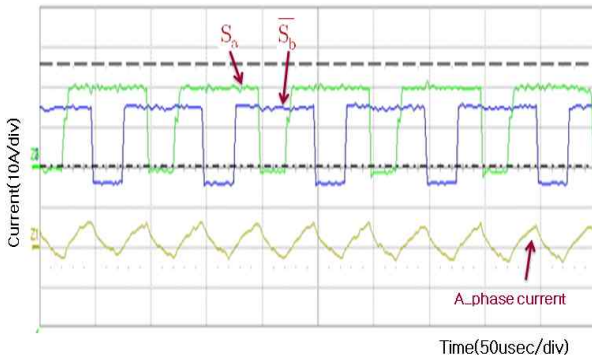


Fig. 15 Enlarged waveform of gate signal and a-phase current

일정 시간동안 홀 센서의 펄스 수를 세는 m방식을 사용하였다. 이 방식은 저속영역에서 속도측정 오차가 크다는 단점이 있다. 그러나 클러치가 기계 각 40°(모터 회전각 7,520°, 20.9회전) 근처에 도달하면 클러치 동작이 끝났으므로 속도에 낮은 리플이 있더라도 클러치 동작에 영향을 주지 않는다.

4. 결 론

본 논문에서는 플러그인 하이브리드 자동차의 클러치 구동 시스템을 위한 BLDC 모터의 위치제어를 제안하였다. 클러치 시스템에 사용되는 BLDC 모터의 구동은 Hall 센서로부터 검출된 회전자 위치정보를 이용하여 위치제어를 수행하였다. 혼합형 바이폴라 PWM을 사용하여 상전류 및 토크리플을 저감하였다. 또한 BLDC 모터를 10,000rpm의 고속으로 제어함으로써 클러치 시스템에서 요구하는 BLDC 모터의 위치제어 완료시간인 0.3초를 만족하였다.

본 논문은 (주)성암전기의 연구비 지원과 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구임. (No. 2011H100100110)

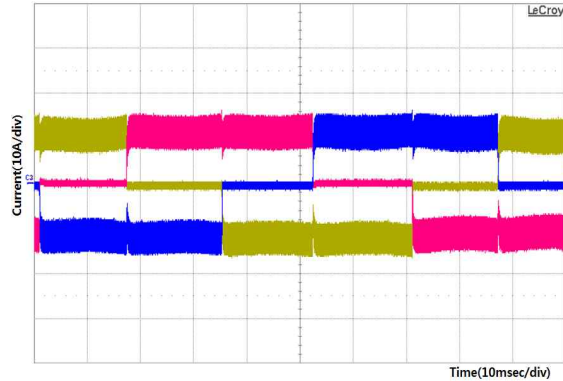


Fig. 14 wave form of abc phase current

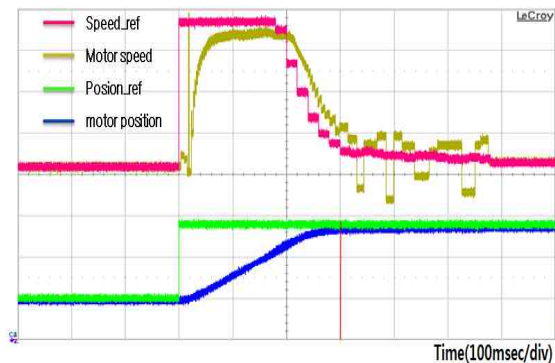


Fig. 16 Experimental result of the position control

참 고 문 헌

- [1] W. Li, J. Cao and X. Zhang, "Electrothermal analysis of induction motor with compound cage rotor used for PHEV", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 57, No. 2, pp. 660-668, 2010. Feb.
- [2] Y. S. Jin, H. K. Shin, H. W. Kim, K. Y. Cho and H. S. Mok, "Position controller for clutch drive system of PHEV(Plug in Hybrid Electric Vehicle)", *Annual Conference of the KIPE*, pp. 202-203, 2011. June.
- [3] C. S. Berendsen, G. Champenois, and M. Bolopion, "Commutation strategies for brushless DC motors: influence on instant torque", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 8, No. 2, pp. 231-236, 1993, April.
- [4] D. K. Kim, K. W. Lee, and B. I. Kwon, "Commutation torque ripple reduction in a position sensorless brushless DC motor drive", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 21, No. 6, pp. 1762-1768, 2006, Nov.
- [5] T. M. Jahns and W. L. Soong, "Pulsating torque minimization techniques for permanent magnet AC motor drives—a review", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 43, No. 2, pp. 321-330, 1996, April.
- [6] W. Kun, R. Junjin and T. Fabghau, Zhonohao, "A Novel PWM scheme to eliminate the diode freewheeling in the inactive phase in BLDC motor", *Proceedings of 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists*

Conference, Vol. 3, pp. 2282-2286, 2004.

- [7] G. Meng, H. Xiong, and H. Li, "Commutation torque ripple reduction in BLDC motor using PWM_ON_PWM mode," *Proceedings of ICEMS 2009*, pp. 1-6, 2009.
- [8] Z. Xiangjun and C. Boshi, "Influences of PWM mode on the current generated by BEMF of switch-off phase in control system of BLDC motor," *Proceedings of ICEMS 2001*, Vol. 1, pp. 579-582, 2001.
- [9] Y. Xu, Y. Tang, J. Zhu, J. Zou, and C. Ma, "Control of a BLDC motor for electromechanical actuator," *Proceedings of ICEMS 2008*, pp. 3266-3269, 2008.
- [10] S. H. Kim, DC, AC and BLDC motor control, Bogdoopress.
- [11] H. W. Kim, H. K. Shin, H. S. Mok, Y. K. Lee, and K. Y. Cho, "Novel PWM method with low ripple current for position control applications of BLDC motors", *Journal of Power Electronics*, Vol. 11, No. 5, pp. 726-733, 2011, Sep.
- [12] <http://blog.naver.com/akmvshiphop?Redirect=Log&logNo=100058179758>



진용신(陳庸信)

1986년 2월 15일생. 2011년 충주대 정보제어공학과 졸업. 2011년~현재 한국교통대(구 충주대) 대학원 제어계측공학과 석사과정.



신희근(申熙根)

1985년 2월 20일생. 2010년 충주대 정보제어공학과 졸업. 2012년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2012년~현재 브이씨텍 기술연구소 연구원.



김학원(金學源)

1968년 3월 30일생. 1989년 고려대 전기공학과 졸업. 1991년 한국과학기술원 전자전산학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전자전산학과 졸업(공박). 1991년~2008년 LG전자(주) 디지털 어플라이언스 연구소 책임연구원. 2008년~현재 한국교통대(구 충주대) 제어계측공학과 조교수. 당 학회 학술위원.



목형수(睦亨洙)

1963년 10월 31일생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1993년~1997년 서울과학기술대 제어계측공학과 조교수. 1997년~현재 건국대 전기공학과 교수.



조관열(趙官烈)

1964년 2월 20일생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기및전자공학과 졸업(공박). 1993년~2004년 LG전자(주) DA연구소 책임연구원. 2004년~현재 한국교통대(구 충주대) 제어계측공학과 부교수. 당 학회 기획이사.