

플러그인 도어용 BLDC 전동기 제어

천장성*, 황상연*, 김원일**, 이정식**, 임승관**
(주)티에스에이*, (주)디유에이엔아이**

BLDC Motor Control for Plug-In Door

Jang-Sung Chun*, Sang-Yeon Hwang*, Won-Il Kim**, Jung-Sik Lee**, Seung-Kwan Im**
TSA Co., Ltd.*, DUANI Co., Ltd.**

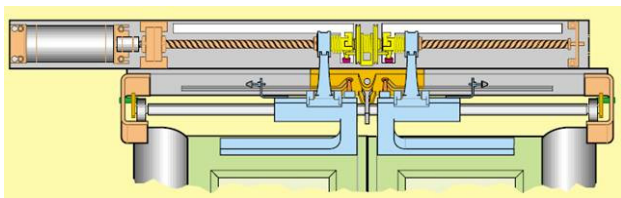
Abstract - 본 논문에서는 전동차용 전기식 플러그인 도어를 구동하기 위해 영구자석형 무정류자 직류전동기(Brushless DC Motor)를 적용하였다. BLDC 전동기의 속도제어를 위해 사용되어지는 홀센서 신호를 속도제어로만 사용하는 것이 아니라 이러한 홀센서 파형을 검출, 위치제어를 위한 신호로 활용하였으며 실제로 도어시스템에 적용, 실험하여 그 가능성을 확인하였다.

1. 서 론

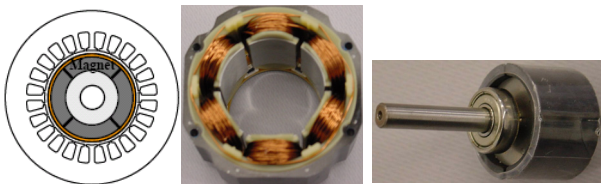
최근 선진국을 중심으로 에너지 저감, 저소음 요구의 증가, 승객의 안전성 제고 및 전력전자 기술의 발전에 따라 전동차에 전기식 플러그인 도어시스템이 개발, 적용되고 있다.(그림 1) 통상 승객용 출입문에 사용되는 전기식 외부 플러그인 도어 시스템은, 각 차량에 8세트의 승객용 출입문이 있으며, 각 출입문은 1개의 도어 오퍼레이터에 좌우 두개의 도어 판넬(Panel)이 컨넥팅 브라켓(Connecting Bracket)에 의해 연결되어 있고, 각 도어엔진은 도어 구성품의 상태를 진단(Diagnostic)하여 그 정보를 열차종합제어장치(TCMS, Train Control and Monitoring System)를 통해 운전자에게 전달하고 운전자의 명령신호를 받아 구성품을 제어, 동작시킬 수 있는 마이크로프로세서를 갖춘 도어 제어장치 (Door Control Unit, DCU로 칭함)를 갖고 있다. 또한, 출입문 장치는 승객의 안전을 위한 장애물 감지 및 비상 수동개방 장치 등의 시스템으로 구성되어 있어 차량운행 시 안전사고를 방지할 수 있다.

이러한 다양한 기능 요구에 부합하기 위해서는 인버터 기술을 이용한 가변속 위치 제어 시스템의 개발 및 적용이 필수적인데, 이러한 가변속 시스템에 사용되는 전동기로는 유도전동기 등에 비해 효율이 높고, 저속에서도 고 토크를 내는 등 토크 및 소음 특성 등이 우수한 브러시리스 직류 전동기(Brushless DC Motor ; BLDC) 전동기가 주로 이용되고 있다.

이러한 BLDC 전동기는 가변속 운전과 제어가 용이하며 동시에 구조적으로 기계적인 정류자와 브러시가 없기 때문에 소음과 분진, 스파크 등이 없어서 사용 환경에 제약이 없고, 토크 대 관성의 비가 매우 높아 소형으로 높은 출력을 낼 수 있다.[1-2] 그림 2에 일반적인 BLDC 전동기의 구조를 나타내고 있다. 일반적으로 BLDC 전동기는 속도제어형으로 개발된 저가의 제어형 전동기이나 구동을 위해 내장된 홀센서 신호를 활용하여 적절한 수준의 위치제어를 함으로써 본 논문에서와 같이 전동차 도어 시스템에서의 적용가능성을 확인하였다.



〈그림 1〉 전동차의 플러그인 도어 시스템

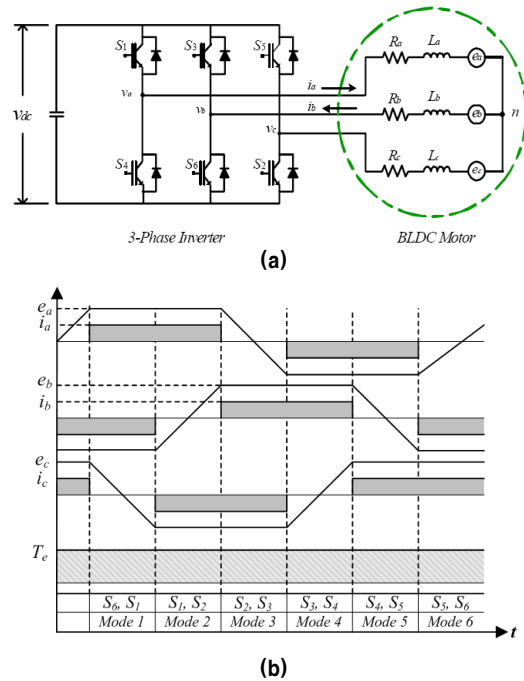


〈그림 2〉 BLDC 전동기의 구조

2. 본 론

2.1 BLDC 전동기의 시스템 모델링

BLDC 전동기는 일반적으로 120도 간격으로 발생하는 사다리꼴 형태의 역기전력이 평탄한 구간에 구형파의 전류를 흘려줌으로서 토크 맥동이 없는 원활한 구동을 할 수 있다. 그림 3은 3상 2여자 방식의 BLDC 전동기에 대한 정상적인 구동에 대한 시스템 등가회로와 특성을 보여준다.



〈그림 3〉 일반적인 BLDC 전동기 구동 시스템 (a) 등가회로 (b) 역기전력, 상전류, 발생토크 파형

BLDC 전동기는 식 (1)과 같은 전압 방정식으로 나타낼 수 있으며, 발생 토크는 식 (2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

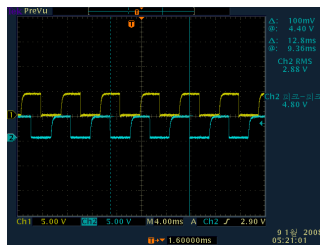
$$\begin{aligned} &+ \begin{bmatrix} L_s & 0 & 0 \\ 0 & L_s & 0 \\ 0 & 0 & L_s \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \\ T_e &= \frac{(e_a \cdot i_a + e_b \cdot i_b + e_c \cdot i_c)}{\omega_m} \quad (2) \end{aligned}$$

여기서, V_a, V_b 와 V_c 는 상전압, R_s 는 상당 전기저항, i_a, i_b 와 i_c 는 상전류, L_s 는 상당 전기자 인덕턴스, e_a, e_b 와 e_c 는 상당 역기전력, ω_m 은 각속도이다.

2.2 위치제어를 위한 위치 신호 발생

전절에서 언급한 바와 같이 본 논문에서는 도어 구동을 위한 위치제어를 위해 BLDC 전동기에 기본적으로 내장되어 있는 홀센의 신호를 이용하여 제어를 행하였다. 일반적인 영구자석 전동기에서 위치제어를 하기 위하여는 회전자의 위치에 맞는 펄스를 만들기 위해 엔코더가 필요하다. 즉, 90도 위상지연된 A상과 B상 펄스를 적절히 이용하여 전동기 구동 및 위치제어에 필요한 신호로 활용하게 되는 것이 일반적이다.

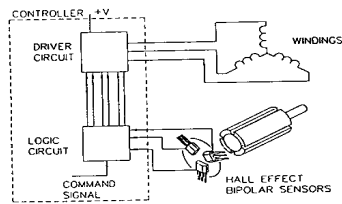
그러나, 본 논문에서는 BLDC 전동기 자체의 그림 4와 같은 홀센서 신호를 직접 활용하여 위치제어를 행하였다. 본 개발 전동기에서 발생하는 홀센서 신호의 개수가 24펄스/회전이고, 9:1 유성감속기를 사용하고 있어 도어시스템 정도의 위치제어로는 충분히 활용 가능하다.



〈그림 4〉 BLDC의 홀센서 파형

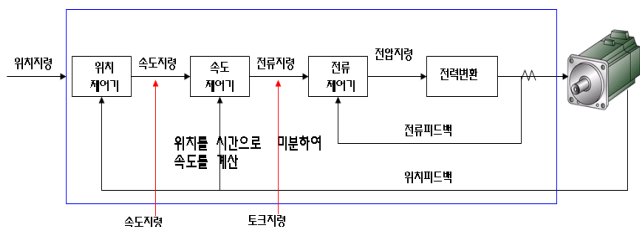
2.3 구동 DCU

일반적으로 3상 BLDC 전동기의 기본적인 구동회로 구성은 그림에 나타낸 바와 같이 위치검출을 위한 센서부, 구동로직을 발생시키는 로직부, 이 신호에 따라 전동기에 인가되는 전원을 스위칭해주는 DCU부로 구성된다.



〈그림 5〉 BLDC 전동기 구동회로 구성

3상 BLDC전동기의 구조를 살펴보면 회전자의 위치를 검출하기 위한 홀센서는 120° 간격으로 부착을 하고 그 신호를 로직회로의 입력으로 받아들인다. 그리고 그 신호에 동기 맞추어서 드라이브 회로에 있는 6개의 스위칭 소자에 입력신호로 주어 전동기의 A, B, C(U, V, W)상에 전류를 흘림으로써 전동기를 회전시키게 된다. 로직회로에서는 3개의 홀센서 신호를 받아서 6개의 구동신호를 주는 역할을 하게 되는데 제어 신호(정·역회전, 속도)에 따라서 여러 가지의 구동로직을 가지게 된다. 본 논문에서는 이러한 구동 로직을 그대로 활용하면서 홀센서의 신호를 위치제어를 위한 위치 F/B용으로 활용하여 위치제어를 하는 루틴을 기본으로 구성하고, 내부에 속도제어 및 전류제어까지 가능한 루틴을 추가하여 구성하였다.

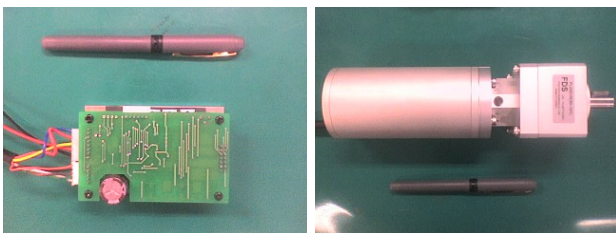


〈그림 6〉 위치제어용 구동회로 제어 로직

2.4 제작 및 실험 결과

2.4.1 시스템 제작

플러그인 도어 시스템에 적용하기 위해 모터 및 구동 DCU를 제작하고 시스템에 부착하여 운전특성을 분석하였다. 그림 7에 전동기 및 DCU의 실물을 나타내고 있다.

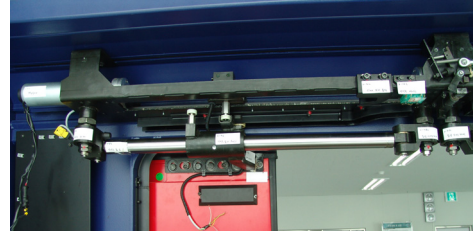


〈그림 7〉 제작 전동기 및 DCU

2.4.2 시스템 구동 실험

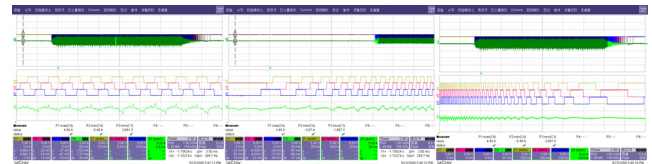
개발된 전동기 및 DCU를 이용하여 실제적인 도어시스템에의 적용가능성을 확인하기 위하여 구동 시험을 행하였다. 그림 8에 개략적인 도어 시스템을 나타내고 있는데, 이러한 도어 시스템의 개폐에 요구되는 전동기 성능은 다음과 같다.

- * 이동 거리 : 630 mm (열림 또는 닫힘 1회)
- * 회전수 : 15.75회전 (감속기 축단에서의 회전수)
- * 운전 시간 : 3.5 ~ 4초



〈그림 8〉 제작 전동기 부착 도어 시스템

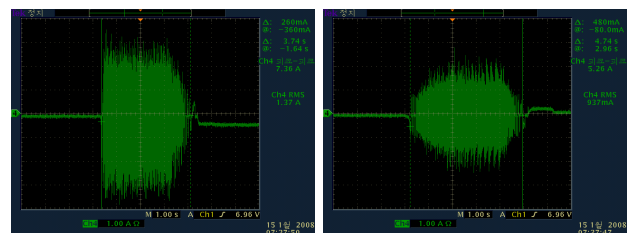
1행정 운전 실험, 즉 감속기 축단 기준 15.75회전을 진행한 경우에 그림 9에서와 같은 등속, 가속, 감속시에 전류 파형과 홀센서 파형을 얻을 수 있었다. 각각의 구간에 대하여 홀센서 파형이 구형파로, 전류파형 역시 리플을 수반한 구형파로 전형적인 BLDC 전동기의 특성 파형이 나타나고 있다.



(a) 등속 (b) 가속 (c) 감속

〈그림 9〉 운전시의 전류 및 홀센서 파형

또한 상기의 구동 조건에 얼마나 부합하는지를 확인하기 위하여 DCU에서 지령하는 속도명령치의 가속시간을 최소로 한 경우와 최대로 한 경우에 대하여 전동기에 투입되는 전류의 파형을 측정하였다. 그림 10에서 알 수 있는 바와 같이 가속시간 최소인 경우, 운전시간은 3.74sec, 전류는 7.37Ap-p로 측정되었고 가속시간 최대인 경우에는 4.74sec, 전류는 5.26Ap-p로 측정되었다. 따라서 가속시간이 길어지면 도어 개폐시간이 길어지는 대신에 부드러운 Soft Start로 인하여 가속시간 최소인 경우에 비하여 훨씬 적은 양의 전류가 투입됨을 확인할 수 있었다.



〈그림 10〉 가속시간 변화에 따른 전류파형 비교

3. 결 론

본 논문에서는 전동차용 전기식 플러그인 도어를 구동하기 위해 영구자석형 무정류자 직류전동기(Brushless DC Motor) 내부의 홀센서 신호를 위치제어에 이용하여 도어시스템을 개폐하였고, 실제적인 시스템에 부착하여 그 적용가능성을 확인하였다. 홀센서 분해능만큼의 위치제어가 가능하였으며, 가속시간 변화 등에 의해 개폐성능을 다양하게 구현할 수 있음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] R. C. Sen, "Electric Motor Drives and Control Past, Present, and Future", IEEE Trans. on Ind. Elec., vol 37, no. 6, pp. 562-575, Dec. 1990.
 [2] B. K. Bose, Power Electronics and Variable Frequency Drives Technology and Application, IEEE Press, 1996.