

# BLDC 모터를 이용한 전동커튼시스템 설계 및 구현

추연규\* · 김봉기\*\*

\*진주산업대학교 전자공학과 · \*\*진주산업대학교 컴퓨터공학부

The Design and Implementation of Electromotion Curtain System using BLDC

Motor

Yeon-Gyu Choo\* · Bong-Ki Kim\*\*

Jinju National University

E-mail : ygchhoo@jinju.ac.kr

## Abstract

The electrical curtain is an electronic product which is most suitable for the sphere of intelligent home network. It provides the basic feature of intelligent home network such as the followings; various functions, powerful control. It also becomes the ideal technology with inexpensive power-line protocol, energy saving and solar power generation. Generally it is a suitable motor for BLDC to move the electrical curtain, because it provides the maintenance without difficulty, long-lived use with good efficiency. On this paper, we proposed the BLDC motor controller designed by CDM(Coefficient Diagram Method) and evaluated its performance with a simulation of the plant, designed the electrical curtain using BLDC motor and power-line protocol.

**key word** : Electrical curtain, BLDC motor, Power-line protocol, CDM

## 1. 서 론

최근들어 쾌적한 주거환경을 추구하는 문화가 확산되면서 종래 주택보다는 첨단 IT, 정보화 기술 등이 적극적으로 채용된 아파트 주거환경이 폭발적으로 늘고 있다. 또한 건강중심의 웰빙 문화와 에너지 비용의 급상승으로 인하여 향후 주택설계에서는 위의 두가지 요소가 미래 주택의 설계, 형태, 생활양식에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 따라서 자연채광을 극대화하고 자연광의 에너지를 최대한 활용하는 주택 구조를 도입하기 위해서는 이들 기능을 수용하는 지능형 홈 관련기술이 중요한 기술로서 등장하고 있는 실정이다. 특히 전동커튼의 경우에는 제어기가 고속일 필요가 없기 때문에 기존의 TCP/IP 기반의 고비용 통신방식을 이용할 필요가 없으므로 기존의 전력선 통신방식과는 차별화된 저비용 통신방식인 Power Modulation 기술을 이용한 통신방식을 제안하고 이를 응용하여 네트워크 환경에서 각종 가전기기 제어, 감시 등 업무의 생산성을 높이고 자연친화환경 조성, 에너지 절감에 적합한 전동커튼시스템을 구현하기 위하여 전동커튼을 작동하기 위해 동력을 전달하는 전동기의 구동 기술, 전동기 구동을 위해 공급되는 전력 공급장치 기술, 전력선 네트

워크를 이용하여 이를 제어할 수 있도록 하드웨어로 구현한다. 본 연구에서는 현재 지능형 홈 네트워크 관련 분야에서 강조되고 있는 Power modulation 방식의 저비용의 전력선 통신 관련 기술과 BLDC 모터 구동 및 제어기술이 필요하다. 커튼을 상하로 이동시키는 핵심적인 부품인 모터는 정류자 및 브러시가 없어 유지보수가 용이하고 저소음, 긴수명의 장점 등으로 인하여 다양한 분야에서 사용되고 BLDC 모터를 사용하여 있다.

본 논문에서는 전동커튼시스템의 핵심부품인 BLDC 모터를 위하여 CDM(Coefficient Diagram Method) 방식의 제어기를 설계하여 전력선 네트워크를 이용하여 이를 제어할 수 있도록 하드웨어로 구현하여 성능을 확인한다.

## 2. 전동커튼시스템

전동커튼은 커튼의 동작을 전동기의 동력에 의존하는 기본적인 형태를 가지며, 커튼을 구동하기 위한 커튼 구동용 전동기, 커튼 구동과 관련된 각종 기구부 등으로 구성된다.

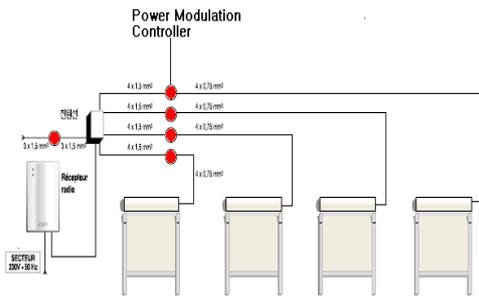


그림 1. 전동커튼 시스템 구성도

빌딩, 사무실, 공장 등 여러 개의 전동커튼이 운전되는 경우에는 이들을 제어하기 위한 중앙통제시스템을 필요로 한다. 주로 TCP/IP 프로토콜 또는 직렬통신의 기술을 응용하여 중앙통제기능을 수행하는 것이 일반적이다. 그림 1은 본 논문에서 구현하고자 하는 자동 전동커튼 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

### 3. 제어기 설계

하나의 고정자를 가지는 BLDC 모터의 식은 다음과 같다.<sup>(1)</sup>

$$v_1 = R_1 i_1 + p(L_1 i_1 + L_{21} i_2 + L_{31} i_3) + e_1 \quad (1)$$

여기서  $v_1$ 은 고정자 전압,  $R_1$ 은 고정자 저항이다. 그리고  $L$ 은 고정자 inductance,  $e_1$ 은 역기전력(back-EMF)이다. 역기전력은 로터 각속도의 비례식으로 표현가능하다.

$$e_1 = K_{E1} \omega_r(t) \quad (2)$$

여기서  $K_{E1}$ 은 역기전력 상수를 말한다. 3상 코일의 인덕턴스를 상수로 가정하면,

$$\begin{aligned} L_1 &= L_2 = L_3 = L_s \\ L_{12} &= L_{31} = L_{32} = M \end{aligned} \quad (3)$$

따라서 3상 BLDC 모터의 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R00 \\ 0R0 \\ 00R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_s & MM \\ ML_s & M \\ MML_s & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서  $R$ 은 상(phase)당 고정자 저항이며, 세상의 값은 같다고 가정한다.

만약 고정자전류가  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ 으로 유지한다면 식 (4)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R00 \\ 0R0 \\ 00R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L00 \\ 0L0 \\ 00L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$L = L_s - M$$

모터의 전력은 식 (6)과 같다.

$$P_{out} = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3 = T_e \omega_r \quad (6)$$

발생토크  $T_e$ 는 식(7)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} T_e &= e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3 \\ &= K_{E1} i_1 + K_{E2} i_2 + K_{E3} i_3 \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 BLDC 모터의 식을 쓰면 식 (8)과 같이 정의할 수 있다.

$$T_e = T_L + B \omega_r + J \frac{d}{dt} \omega_r \quad (8)$$

여기서,  $T_e$  : 발생토크,  $T_L$  : 부하토크,  $\omega_r$  : 회전자 각속도,  $J$  : 회전자 관성,  $B$  : 마찰계수이다.

전동커튼에 적용되는 BLDC 모터의 동특성과 주변 파라미터에 대한 변화를 시뮬레이션을 통해 확인해보기 위해 우선 CDM 기반으로 설계된 제어기를 적용하였다. CDM을 사용하여 설계된 제어기는 단위계단 응답에 대해 안정성, 그리고 강인성을 가지고 있다. 그림 2는 SISO(Single-Input Single-Output)에 대해 CDM을 이용하여 설계된 제어기의 기본 구성도를 나타낸다.<sup>(2)(3)</sup>

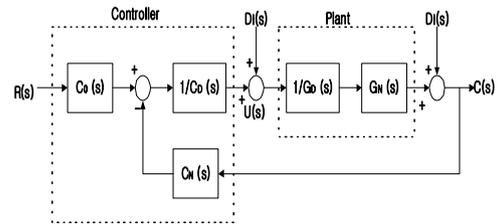


그림 2. CDM를 이용한 제어기 구성도

그림 2에서 보여준 제어시스템의 특성 다항식은 식 (9)과 같다.

$$\begin{aligned} P(s) &= C_D(s) G_D(s) + C_N(s) G_N(s) \\ &= a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0 \\ &= \sum_{i=0}^n a_i s^i \end{aligned} \quad (9)$$

BLDC 모터의 특성 시뮬레이션은 CDM 제어기에 부하가 없는 상태와 일부 파라미터를 변경하여 부

하상태로 구분하여 실시하였다. 그림 3는 CDM 제어기에 적용된 BLDC 모터의 제어시스템 구성도를 나타낸 것이다.

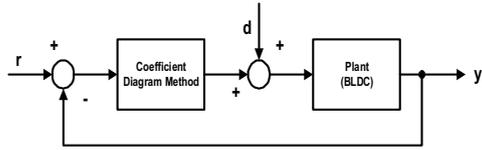
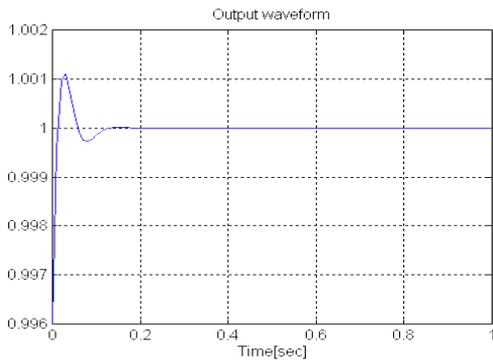
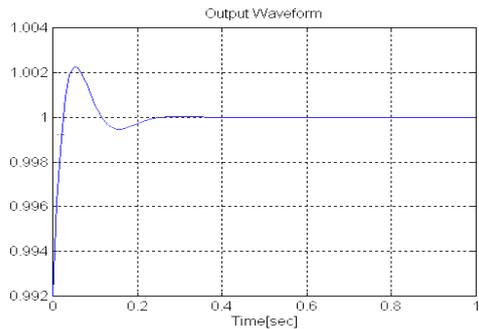


그림 3. BLDC 모터의 제어시스템 구성도

무부하시 시뮬레이션 결과는 그림 4(a)에서 보는 것과 같이 빠른 속도응답과 비교적 적은 오버슈트를 보여주었으나, 파라미터 J와 R값을 변화시켜 부하상태로 변경하였을 때는 그림 4(b)와 같이 다소 느린 속도응답과 큰 오버슈트를 나타내었다. 전동시스템 설계시 이러한 BLDC 모터의 특성을 고려하여 부품선택이 이루어져야하며 또한 적절한 속도제어를 위해서는 CDM 기반의 제어기 시뮬레이션을 통해 적합한 파라미터를 선정해야 한다.



(a) 무부하 상태



(b) 부하상태 (파라메타 변화시)

그림 4. CDM제어기에 의한 BLDC 모터의 속도응답

#### 4. 전동커튼시스템 하드웨어 구현

전동시스템을 구성하는 기본적인 요소는 커튼을 상하로 이동시키기 위한 모터, 모터를 구동하고 제어하기 위한 모터 구동부 및 제어기, 각 전동커튼을 전체적으로 관리하는 중앙통제시스템과 원활한 통신을 수행하는 통신부 등으로 세분화될 수 있다. 그림 5는 제안된 전동커튼시스템의 동작 블록도를 나타낸 것이다.

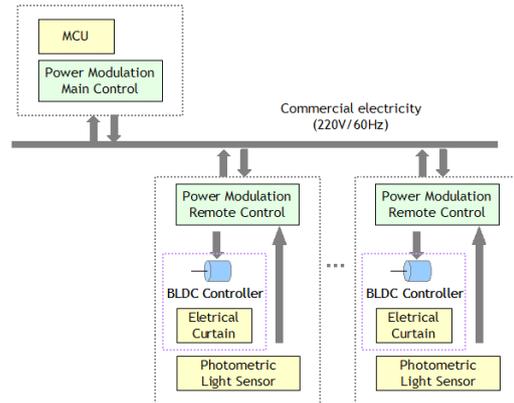


그림 5. 제안된 전동커튼시스템의 동작 블록도

구동모터로 채택되는 BLDC 모터는 CDM 제어기에 의해 제어함으로써 유지보수가 용이하고 전기 및 기계적인 잡음이 발생하지 않아 소음제한이 있는 곳이나 장시간 사용처, 특수공간에 서도 안전하게 사용할 수 있도록 하였다.

전력선 모듈레이션 기능을 제공하는 전력선 모뎀은 전동커튼의 실험을 위해서 그림 6에 보이는 바와 같이 BLDC 드라이브의 우측부분에 실장을 하여 실험을 실시하였다. 전력선 모듈레이션 회로의 송수신 속도는 ASK 모듈레이터 TDA5051에서 제공하는 전송속도로서 최대 600 bps로서 1차년도 개발목표로 설정한 1초 안에 데이터 송수신이 가능한 것으로 자체 실험결과 확인되었으며, 최대 접속가능 노드수는 50개로 목표를 설정하였으나 데이터 포맷과 전송중 에러보정을 위해 사용되는 CRC 코드 등의 영향으로 최대 32개까지 사용가능하도록 설계되었다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 전동커튼시스템에 사용되는 주요 부품인 BLDC 모터의 특성을 이론적으로 접근하고 CDM 방식 제어기 시뮬레이션을 무부하상태와 부하상태로 구분하여 실시하고 확인하였다.

또한 제안된 전동커튼시스템의 동작원리에서 설명한 것과 같이 기존의 네트워크 기술과 차별화된 저비용의 power modulation 전력선 통신기술과 연동하여 원격과 자율적인 동작이 가능한 시스템으로 개발을 진행할 수 있다.

본 논문에서 제안된 시스템의 실현을 위해서는 저비용 통신용 모듈 개발과 BLDC 모터 드라이버의 일체화, 중앙통제시스템과의 네트워크 구축 등의 과제가 진행되어야 할 것으로 사료된다. 모든 전동커튼에는 전력선 모듈레이션 회로를 내장하여 태양광/풍량 등의 각종 센서로부터 정보나 커튼의 동작상태 등을 송신하거나 중앙시스템의 동작지시를 수신하여 개별적으로 동작하는 전력선 네트워크 기반 전동커튼 시제품을 제작할 계획이다. 특히 태양광, 풍량, 습도, 온도에 따라 자동적으로 동작하는 인공지능형 알고리즘을 도입하여 적용하고 감성공학을 응용한 최적환경 제공할 수 있는 전동커튼시스템을 개발하여 상용화 할 수 있을 것이다.

## 6. 참고문헌

- [1] "Speed Control of Ultrasonic Motor using PDF controller designed by CDM", D.Isarakorn, T. Benjanarasuth, J. Ngamwiwit, N. Komine, pp.1378-1383
- [2] "Design of a Fuzzy P+ID controller for brushless DC motor speed control", ICCAS2004, Young-Sik Kim, Sung-Joong Kim, pp.627-630
- [3] "Adaptive Neuro-Fuzzy Controller for Improved Performance of a Permanent Magnet Brushless DC Motor", S. Ushakumari, IEEE 2001, pp.493-496