

# BLDC 모터를 이용한 전자 스로틀 밸브 제어

권용찬, 박종원, 조학래, 손정기, 권순재  
 부경대학교, 효성전기, GM대우자동차, 한국항만 연수원, 부경대학교

## Electronic Throttle Valve Control Using BLDC Motor

Yong-Chan Kwon, Jong-Won Park, Hag-Lea Cho, Jeong-Ki Son, Soon-Jae Kwon  
 Pukyong National Univ. Hyoseong Electric, GM-Deawoo Automobile, Korea Port Training Institute

### ABSTRACT

Electronic throttle control(ETC) is critical to drive ability, fuel economy and emission performance of present day passenger vehicles. Until now, many automobile engineer and company have been development electronic throttle controller and control algorism, such as adaptive control, sliding control, nonlinear and so on. But there are almost electronic throttle control using DC motor or stepping motor. This paper is the design of an electronic throttle controller and electronic throttle valve control using BLDC motor instead of DC motor.

### 1. 서론

최근 자동차관련 분야에서는 전통적인 기계기술에 전기 전자 기술을 부가한 고부가가치의 첨단 제품에 대한 연구 및 생산이 진행되고 있는 실정이다. 기계적 링크 구조를 탈피하여 전기적 신호의 연결로 구동 시스템을 구성하는 X-by-Wire 기술은 특히 많은 연구가 진행되고 있고 있으며, 이 X-by-wire 기술은 가까운 미래의 자동차 제조기술에 큰 변혁을 일으킬 것이며 차량의 지능화 및 연료절감 등에서 X-by-Wire의 형태로 전환이 필요하다. 현재 진행되고 있는 X-by-wire 기술 중에는 Throttle -by - wire, Brake - by- wire, Steer - by- wire, Shift-by-wire 등이 있으며 이 중 Throttle-by-wire는 전자제어 스로틀의 보급과 함께 응용 사례가 증가하고 있다. 전자식 스로틀 제어(ETC) 장치는 Throttle-by-wire 기술에 있어 필수적인 요소이다. ETC는 최적의 엔진 성능을 확보할 수 있도록 보다 정확한 스로틀 입력을 가능케 하고, 흡기량을 조정하여 부하 변화를 보정할 수 있는 장치로써 현재 여러 업체에 의해 ETC를 장착한 차량이 출시되고 있다. ETC의 구성요소 중 모터는 필수적인 구동원이다. 차량의 경우 엔진룸은 최악의 조건을 갖고 있으므로 정류작용 시 브러시의 스파크를 발생시키는 DC 모터, 정밀각제어가 어려운 스텝핑 모터를 대신하여 수명, 효율, 소음 등에서 우수한 BLDC 모터의 사용이 필요하다. 따라서 본 논문은 기존 차량의 엑셀레이터 신호에 따른 스로틀 밸브의 포지션 변화를 기준으로 엑셀레이터 신호에 따라 BLDC 모터를 이용하여 스로틀 밸브의 포지션 및 속도 제어에 중점을 두고 있다.

### 2. 본론

#### 2.1 시스템의 구성

ETC는 스로틀 밸브에 포텐서미터가 장착되어 있어 밸브의 위치를 파악하고 사용자의 요구 위치에 맞는 전압을 발생하기 위하여 일정한 Duty의 PWM파형을 발생시켜 제어 한다.

본 논문에서는 실제 차량 장착시 ETC에 고려되어지는 사항과 비선형적 요소, 즉 초기 위치, 기어비, 백-래쉬, 스프링, 온도에 따른 특성 변화 등은 배제하거나 선형적 상수로 처리하였다.

그림 1은 ETC 시스템의 제어루프를 나타낸 블록 다이어그램이다.

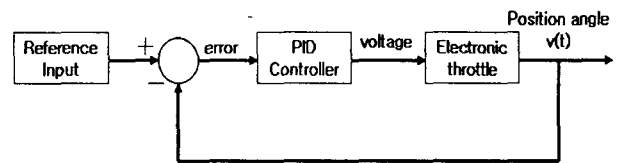


그림 1 ETC의 제어 시스템  
 Fig. 1 Electronic throttle valve position control system

#### 2.2 시스템 모델링

그림 2는 BLDC 모터의 등가모델을 표현하고 있다. 회전자의 영구자석은 일정한 계자전류가 흐르는 권선으로 치환되어 있고 고정자 권선은 전기적으로 120°간격의 3상 Y결선 구조로 되어 있다.

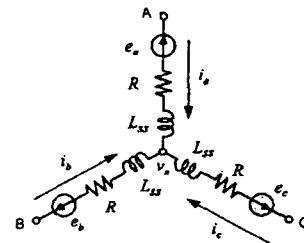


그림 2 Y-결선  
 Fig. 2 Y-connected phase winding

원통형 BLDC 모터에서 돌극성은 무시되므로 각 상의 자기

인덕턴스는 모두 동일하다는 가정에서 모터의 영구자석 회전자에 일정한 전류가 흐르는 권선으로 고려한 등가 모델로 표현할 때 BLDC 모터의 전압 방정식과 토크방정식 그리고 운동방정식은 식(1),(2),(3)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1.5L_s & 0 & 0 \\ 0 & 1.5L_s & 0 \\ 0 & 0 & 1.5L_s \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

단  $R$ : 저항,  $L_s$ : 인덕턴스,  $i$ : 전류  $e$ : 역기전력

$$\begin{aligned} T_e = & \left( \frac{P}{2} \right) \left( \frac{L_m - L_m}{3} \right) \left[ \left( i_a^2 - \frac{1}{2} i_b^2 - \frac{1}{2} i_c^2 - i_a^2 i_b^2 - i_a^2 i_c^2 + 2 i_b^2 i_c^2 \right) \sin 2\theta_r \right. \\ & \left. + \frac{\sqrt{3}}{2} \left( i_b^2 i_c^2 - i_a^2 i_b^2 + i_a^2 i_c^2 \right) \cos 2\theta_r \right] \\ & + \lambda_m \left[ \left( i_a - \frac{1}{2} i_b - \frac{1}{2} i_c \right) \cos \theta_r + \frac{\sqrt{3}}{2} (i_b - i_c) \sin \theta_r \right] \end{aligned} \quad (2)$$

단  $\lambda_m$ : 누설 자속 양  $L_m$ : 자기 인덕턴스,  $P$ : 극수

$$T_e = J \left( \frac{2}{P} \right) p \omega_r + B_m \left( \frac{2}{P} \right) \omega_r + T_L \quad (3)$$

단  $J$ : 회전자 관성,  $T_L$ : 부하토크,  
 $B_m$ : 마찰 계수,  $\omega_r$ : 회전 속도

시스템의 기구적 방정식은 식(4)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} T(t) = & J_m \frac{d}{dt} \omega_m(t) + B_m \omega_m(t) \\ & + \frac{1}{n} \left( J_{th} \frac{d}{dt} \omega_{th}(t) + B_{th} \omega_{th}(t) \right) + T_{fric} + T_{spr} \\ = & \left( J_m + \frac{1}{n^2} J_{th} \right) \frac{d}{dt} \omega_m(t) \\ & + \left( B_m + \frac{1}{n^2} B_{th} \right) \omega_m(t) + T_{fric} + T_{spr} \\ = & J_{eq} \frac{d}{dt} \omega_{eq}(t) + B_{eq} \omega_{eq}(t) + T_{fric} + T_{spr} \end{aligned} \quad (4)$$

단  $J_m, J_{th}$ : 관성모멘트,  $B_m, B_{th}$ : 마찰계수  
 $n$ : 기어비,  $T_{fric}$ : 마찰 토크,  $T_{spr}$ : 스프링토크

### 2.3 PID 제어의 이론적 배경

PID 제어는 산업 현장에서 많이 사용되고 있는 대표적인 제어기법으로서 전달함수는 식(5)와 같다.

$$K(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \quad (5)$$

단  $K_p$ : 비례 게인,  $K_i$ : 적분 게인,  $K_d$ : 미분 게인

비례요소  $K_p$ 는 플랜트에 발생한 정상상태오차를 제거시킴으로서 원하는 성능을 얻을 수 있지만, 너무 큰 값을 선정하게 되면 시스템에 심한 진동을 발생시킬 수가 있으며, 적분요소  $K_i$ 는 일정한 입력에 대하여 정상상태오차가 발생하지 않도록 하는 효과를 가지고 있지만 시스템의 안정도를 저하시키는 경향이 있으므로 적분 제어요소만 사용하는 경우는 극히 드물고, 주로 비례-적분 제어를 사용한다. 미분요소  $K_d$ 는 오차신호의 변화율을 가지고 제어하므로 오차신호가 커지기 전에 제어할 수 있다는 장점이 있으나 미분요소는 오차신호 변화율에 대하여 동작하므로 미분요소만으로는 사용할 수 없다.

### 2.4 시스템 장치 구성

전체 시스템은 그림 3과 같이 구성하였으며 액셀레이터 모듈은 쌍용자동차에 장착되고 있는 지멘스 VDO사의 제품을 이용하였고, 스로틀 바디는 보쉬사의 제품을 이용하였다. 그리고 BLDC 모터는 맥슨사의 모터를 이용하였다. 제어 마이크로프로세서로는 아트멜사의 ATmega128를 이용하여 제어 알고리즘을 구현하였다.

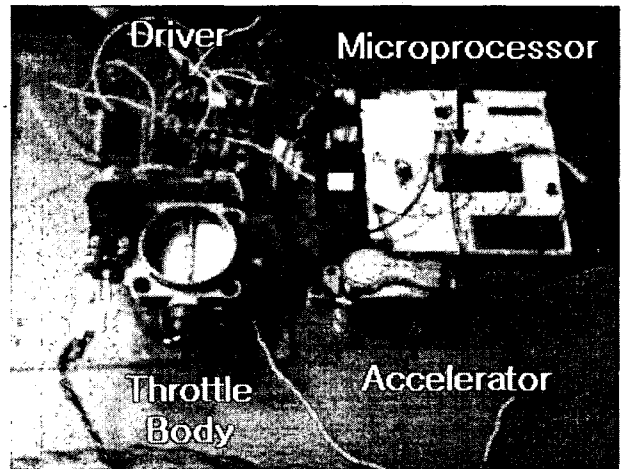


그림 3 시스템 장치 구성  
Fig. 3 System Configuration

아래 표1과 2는 실험에서 사용한 BLDC 모터의 파라미터와 액셀레이터 모듈, 스로틀밸브 모듈의 파라미터를 나타내고 있다.

표 1 BLDC 모터의 정격과 파라미터  
Table 1 Ratings and Parameters of BLDC motor

정격전압	V	12
정격 토크	mNm	480
정격 속도	rpm	15200
저항	$\Omega$	0.19
인덕턴스	mH	0.030

표 2 액셀레이터와 스로틀 바디 센서의 파라미터  
Table 2 Parameters of Accelerator and throttle Body sensor

	입력전압[V]	%V
액셀레이터	0~5	5.47
스로틀바디	0~5	33.6

액셀레이터 모듈이나 스로틀밸브 모듈에 정착되어 있는 포텐셜미터는 그 특성을 알 수 있는 파라미터에 관련한 자료를 제작사에서 제공을 하지 않는 관계로 실험을 통하여 특성 값을 유추하였다. 액셀레이터와 스로틀밸브의 초기 위치 전압은 각각 0.6V와 1.6V이며 최대 전압은 각각 4.8V와 3.8V였다.

### 2.5 실험결과

그림 4와 5는 PID 제어를 통한 시스템의 입력과 출력 파형을 나타내고 있다. 전체적으로 아직까지 시스템에 적당한 PID 게인을 값을 넣지 못하여 응답속도가 떨어짐을 알 수 있다. 이는 앞으로 Ziegler-nichols 법이라든지 simulink를 통하여 게인 값을 계속적으로 수정하여 개선해 나갈 것이다.

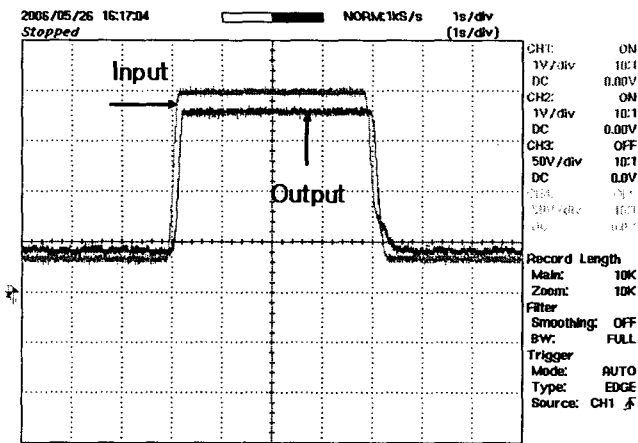


그림 4 시스템 입력 및 출력 파형, PD 제어  
Fig. 4 system input and output wave, PD control

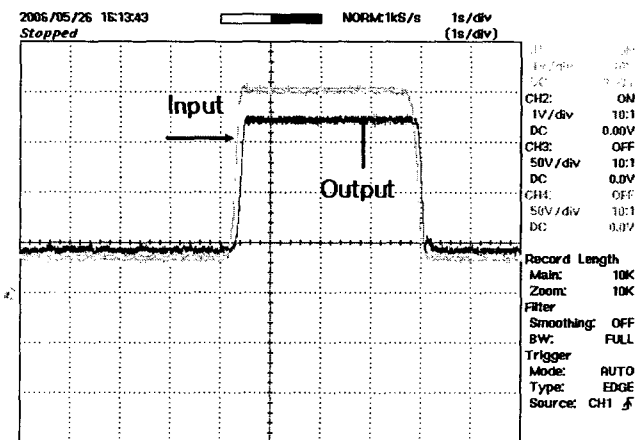


그림 5 시스템 입력 및 출력 파형, PID 제어  
Fig. 5 system input and output wave, PID control

### 3. 결론

본 논문에서는 BLDC 모터를 이용하여 전자 스로틀 밸브를 제어하였다. 실험을 통해 기존의 DC 모터를 이용한 스로틀밸브 제어의 응답속도와 비교하여 만족스러운 결과를 이끌어 내지는 못하였으나, PID 게인 값의 수정을 통하여 향상된 결과를 얻을 수 있을 거라 생각되며, 이를 확대시켜 X-by-wire의 시스템의 실현을 위해 CAN 네트워크 시스템이나 HILS 시스템을 활용하여 앞에서 제한으로 두었던 차량에 대한 고려사항을 추가하여 연구를 계속 진행할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] Daniel McKey, Gary Nichos and Bart Schreurs, "Delphi Electronic Throttle Control Systems for Model Year 2000; Driver Features, System Security, and OEM Benefits ETC for the Mass Market", SAE 2000 World Congress Detroit Michigan March 6-9, 2000.
- [2] Carlos Canudas de Wit, Ilya Kolmanovsky, Jing Sun Laboratoire d'Automatique de Grenoble " Adaptive Pulse Control of Electronic Throttle" Proceeding of the American Control Conference Arlington, VA June 25-27, 2001.
- [3] Chang Yang, Visteon Corporation " Model-Based Analysis and Tuning of Electronic Throttle Controllers" SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2004-01-0524.
- [4] Umit Ozguner, Sulgi Hong, and Yaodong Pan " Discrete- time Sliding Mode Control of Electronic Throttle Valve" Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control Oriando Florida USA, December 2001.
- [5] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D, Sudhoff"Analysis of Electric Machinery and Drive Systems" second edition PP109~136, PP 261~280.