

## EGR 밸브 용 모터 특성 분석

허준호<sup>1</sup>, 이선봉<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>계명대학교 일반대학원 기계공학과, <sup>2</sup>계명대학교 기계자동차공학과

### The Characteristic Analysis of EGR Valve Motor

Jun-Ho Heo<sup>1</sup>, Seon-Bong Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Keimyung University

<sup>2</sup>Division of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

**요약** EGR율이 증가할수록  $NO_x$  저감에는 효과적이거나, 과도한 EGR율은 오히려 불완전 연소의 주원인이 된다. 엄격한 배기규제를 만족하기 위해서는 엔진의 운행 조건에 최적화된 정밀한 EGR 밸브의 위치 제어가 뒷받침 되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 EGR 밸브 용 모터 특성 분석을 위해 수학적 모델링과 제어 이론에 대해 연구하고, 마이크로칩 개발 툴을 이용하여 EGR 밸브용 모터의 위치를 제어하기 위한 단계로서 PWM(Pulse Width Modulation)의 듀티(duty)비의 입력 값에 따른 밸브 위치를 측정하여 개폐 구간 별 EGR 밸브 모터 특성을 분석하였다.

**Abstract** An increase in EGR rate can reduce  $NO_x$  emissions. On the other hand, an excessive EGR rate is a major cause of incomplete combustion. Precise position control of the EGR valve that is optimized for the operating conditions of the engine should be supported to meet the strict emission regulations. Accordingly, this study performed mathematical modeling and control theory for characteristic analysis of an EGR valve motor. Because it is a step for controlling the position of the EGR valve motor using the Microchip development tool, this study analyzed the characteristics of the motor for each opening and closing section according to the input value of the duty ratio of PWM (Pulse Width Modulation).

**Keywords** : Characteristic analysis, EGR valve, Position control, PWM

### 1. 서론

지구온난화에 대한 수송 분야의  $CO_2$  규제가 강화되면서 유럽을 중심으로 디젤엔진이 중요한 대안으로 떠오르고 있다. 디젤엔진에서 환경 문제가 되는  $NO_x$ 를 저감하는 방법은 크게 EGR(Exhaust Gas Recirculation), LNT(Lean  $NO_x$  Trap), SCR(Selective Catalytic Reduction) 등이 고려되고 있으나, 승용 디젤 엔진에서는 EGR 시스템이 널리 쓰인다. EGR은 연소가스를 실린더 안으로 재순환시킴으로써 연소 시  $NO_x$ 의 생성을 저감하는 기술이다.[1-2]

배기가스를 완전히 방출시키지 않고 기관내부에 일부 잔류시키는 경우를 내부 재순환이라고 한다. 일부 재순환은 별도의 장치를 이용하여 배기가스 중의 일부를 배기다기관 하부에서 다시 흡기다기관으로 보내고, 연료/공기 혼합기에 혼합시켜 연소실로 유입되게 하는 시스템을 말한다. 배기가스를 재순환시키는 이유는 새 혼합기의 충진을 낮출 수 있고, 재순환된 배기가스에는  $NO_2$ 에 비해 열용량이 큰  $CO_2$ 가 많이 함유되어 있어, 동일한 양의 연료를 연소시킬 때 온도상승률이 낮다. 또 공기에 비해 산소함량이 적은 배기가스가 연소에 관여하게 됨으로 연소속도가 감소하여 연소최고온도가 낮아지게 된다.

\*Corresponding Author : Seon-Bong Lee(Keimyung Univ.)

Tel: +82-10-5180-5067 email: [seonbong@kmu.ac.kr](mailto:seonbong@kmu.ac.kr)

Received November 11, 2015

Revised January 13, 2016

Accepted February 4, 2016

Published February 29, 2016

그렇게 되면  $NO_x$ 의 양은 현저하게 감소한다. 그러나 배기가스 중의 HC와 CO의 양은 감소되지 않는다.[3-4]

EGR은  $NO_x$ 의 저감대책으로는 효과가 있으며, 배기가스를 냉각시켜 재순환시키면 효과가 더욱 크지만, 반면에 혼합기의 착화성을 좋지 않게 하고 기관의 출력은 감소한다. 또 EGR율이 증가함에 따라 배기가스 중의 CO, HC 그리고 연료소비율은 증가한다. EGR율이 증가할수록  $NO_x$  저감에는 효과적이거나, 과도한 EGR율은 오히려 불완전 연소의 주원인이 되어 PM(particulate matter) 배출이 증가하게 된다. 따라서 엄격한 배기규제를 만족하기 위해서는 엔진의 운행 조건에 최적화된 정밀한 EGR 밸브 제어가 뒷받침 되어야만 한다.[5-6]

배기가스 규제가 점차 엄격해지면서 EGR 밸브의 위치를 보다 신속하고 정밀한 제어를 사용하는 시스템의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 다사로봇 주식회사 박종승이 제안한 ‘디씨모터구동 제어방법’에 따르면, 지령 위치정보와 현재 위치정보를 입력받아 PID제어기를 통하여 토크 지령 값을 출력하고, H-브릿지 회로를 통해 DC모터에 전류를 흘려준다. DC모터 및 기어가 회전하게 되고, DC모터의 위치정보를 PID제어기로 위치정보를 받아 새로운 토크 지령 값을 출력하여 DC모터 구동을 제어하는 방법을 연구하였다.[7]

또한, 아진에스텍 주식회사 성광주가 제안한 ‘네트워크 기반 모터 제어 시스템온칩 및 모터제어방법’에 의하면, 네트워크 기반 모터제어 시스템은 네트워크부와 태스크를 처리하는 프로세서를 포함한다. 로직화된 펌웨어 기반의 시스템온칩을 이용하여 모터의 정확한 위치를 제어한다. 모터의 현재 위치와 초기 기준위치가 동일하면 프로세서에 인터럽트 신호를 보내고 이에 의해 모터가 정확한 위치로 이동하였음을 알리고, 현재 위치와 초기 기준 위치가 상이하면 모터의 위치가 변경되도록 제어하는 방법에 대해 연구하였다.[8]

본 연구에서는 마이크로칩 개발 툴을 이용하여 EGR 밸브 용 모터를 구동하고 모터에 인가되는 PWM(Pulse Width Modulation)의 듀티(duty)비 입력 값으로 변화시키며 EGR 밸브의 위치를 측정한다. PWM 듀티비는 1byte 단위로 0~255의 값을 입력하고, 입력 값에 대한 EGR 밸브 피드백 센서 값을 측정한다. EGR 밸브의 최대 열림 값까지 밸브의 개폐 구간을 0~100%로 정하고 PWM 듀티비 입력 값과 피드백 센서 값의 비를 이용하여 EGR 밸브의 위치를 실측한다. 최종적으로 PWM 입

력 값에 따른 EGR 밸브의 위치를 계산하여 EGR 밸브 용 모터의 특성을 분석하고자 한다.

## 2. EGR 밸브 용 모터의 이론적 배경

### 2.1 모터의 수학적 모델링

모터를 표현하기 위해서는 Fig. 1과 같이 등가회로도 를 사용한다. 전기자는 인덕턴스  $L_a$ 에 직렬로 연결되어 있는 저항  $R_a$ 와 회전자가 회전할 때 전기자에서 생기는 역기전력을 나타내는 전압원  $e_b$ 로 이루어진 회로로 모델링한다. 전동기변수와 파라미터는 다음과 같이 정의된다.[9]

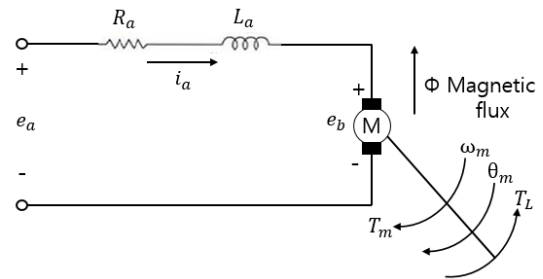


Fig. 1. Equivalent circuit diagram of the motor

$i_a(t)$ = 전기자전류	$L_a$ = 전기자 인덕턴스
$R_a$ = 전기자저항	$e_a(t)$ = 인가전압
$e_b(t)$ = 역기전력	$K_b(t)$ = 역기전력상수
$T_L(t)$ = 부하토크	$\phi$ = 공극에서의 자속
$T_m(t)$ = 전동기토크	$w_m(t)$ = 회전자각속도
$\theta_m(t)$ = 회전자변위	$J_m$ = 회전자관성
$K_i$ = 토크상수	$B_m$ = 점성마찰계수

선형해석을 위하여 전동기에 의해 발생된 토크는 공극자속과 전기자 전류에 비례한다고 가정하여 식(2.1)과 같이 나타내고,  $\phi$ 는 일정하므로 식(2.2)와 같다.

$$T_m(t) = K_m \phi i_a(t) \quad (2.1)$$

$$T_m(t) = K_i i_a(t) \quad (2.2)$$

여기서  $K_i$ 는 단위 N-m/A, lb-ft/A, 또는 oz-in./A로 나타낸 토크상수이다.

제어입력전압  $e_a(t)$ 로 시작하여 전동기회로에 대한 인과관계 방정식은 식(2.3)~식(2.6)에 나타내었다.

$$\frac{di_a(t)}{dt} = \frac{1}{L_a}e_a(t) - \frac{R_a}{L_a}i_a(t) - \frac{1}{L_a}e_b(t) \quad (2.3)$$

$$T_m(t) = K_i i_a(t) \quad (2.4)$$

$$e_b(t) = K_b \frac{d\theta_m(t)}{dt} = K_b w_m(t) \quad (2.5)$$

$$\frac{d^2\theta_m(t)}{dt^2} = \frac{1}{J_m} T_m(t) - \frac{1}{J_m} T_L(t) - \frac{B_m}{J_m} \frac{d\theta_m(t)}{dt} \quad (2.6)$$

여기서  $T_L(t)$  쿨롱마찰과 같은 부하마찰토크를 나타낸다.

이 시스템에서 상태변수는  $i_a(t)$ ,  $w_m(t)$ ,  $\theta_m(t)$ 로 정의하고, DC모터 시스템의 상태방정식을 식(2.7)과 같이 벡터행렬식으로 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_a(t)}{dt} \\ \frac{dw_m(t)}{dt} \\ \frac{d\theta_m(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K_b}{L_a} & 0 \\ \frac{K_i}{J_m} & -\frac{B_m}{J_m} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a(t) \\ w_m(t) \\ \theta_m(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} e_a(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{J_m} \\ 0 \end{bmatrix} T_L(t) \quad (2.7)$$

전동기변위와 입력전압 사이의 전달함수는 식(2.8)과 같고  $T_L(t) = 0$ 으로 가정한다.

$$\frac{\Theta_m(s)}{E_a(s)} = \frac{K_i}{L_a J_m s^3 + (R_a J_m + B_m L_a) s^2 + (K_b K_i + R_a B_m) s} \quad (2.8)$$

Fig. 2는 모터 시스템의 블록선도를 나타낸 것이다.

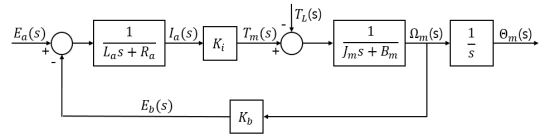


Fig. 2. Block diagram of the motor system

### 2.2 모터 제어이론

계자전류(field current)가 일정한 전기자(armature) 제어 모터를 Fig. 3에 나타내었고, 시스템 파라미터는 다음과 같다.[10]

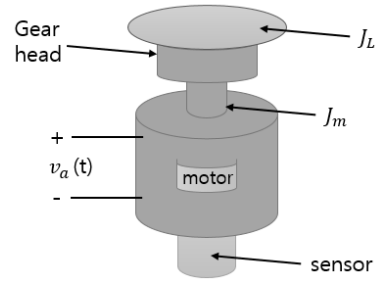


Fig. 3. Armature control motor

- $R_a$  = 전기자 저항       $L_a$  = 전기자 인덕턴스
- $v_a$  = 인가된 전압       $v_b$  = 역기전력
- $\theta$  = 모터축의 각변위       $T$  = 모터에서 발생하는 토크
- $T_L$  = 외부 부하토크       $J_m$  = 모터의 관성모멘트
- $J$  = 등가모멘트       $n$  = 기어비
- $K_i$  = 속도센서 이득       $B_m$  = 등가 선형마찰력

Fig. 4는 전기자제어 모터의 블록선도를 나타내었고, 모터의 속도에 비례하는 역기전력이 피드백 되어 그 자체가 피드백 시스템이 된다. 외란 토크  $T_L$ 과 같은 발생 가능한 외부부하의 영향을 포함하고, 모터 제어 시스템을 입출력 형태로 식(2.9)에 나타내었다.

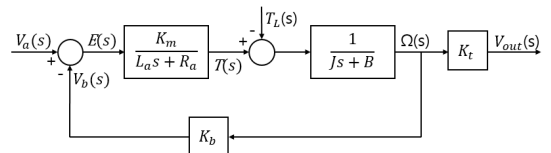


Fig. 4. Block diagram of Armature control motor

$$\Omega(s) = \frac{\frac{K_m}{R_a J_m}}{\left(\frac{L_a}{R_a}\right)s^2 + \left(1 + \frac{BL_a}{R_a J_m}\right)s + \frac{K_m K_b + R_a B}{R_a J_m}} V_a(s) - \frac{1 + s\left(\frac{L_a}{R_a}\right)/J_m}{\left(\frac{L_a}{R_a}\right)s^2 + \left(1 + \frac{BL_a}{R_a J_m}\right)s + \frac{K_m K_b + R_a B}{R_a J_m}} T_L(s) \quad (2.9)$$

### 2.2.1 속도 제어

모터의 출력속도는 토크  $T_L$  값에 의해 결정되고 속도의 성능은 비례피드백 제어를 사용하여 향상시킬 수 있다. Fig. 5는 전기자제어 모터의 피드백제어로서, 속도를 감지하는 센서와 이득  $K$ 를 가지는 증폭기로 구성되어 있고, Fig. 6에는 시스템의 블록선도를 나타내었다.

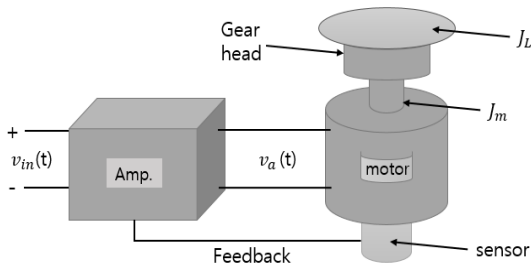


Fig. 5. Feedback control of armature control motor

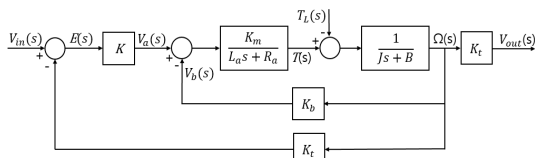


Fig. 6. Velocity control block diagram of armature control motor

입력과 출력을 쉽게 비교 할 수 있도록, 회전속도계 이득  $K_f$ 를 이용하여 속도 제어시스템 식(2.10)에 나타내었다. 이때 입력 전압  $V_\infty$ 을 속도  $\Omega_\infty$ 으로 치환하고  $L_a = 0$ 이라 가정한다.

$$\Omega(s) = \frac{\frac{K_t K_m K}{R_a J_m}}{s + \left(\frac{K_m K_b + R_a B + K_t K_m K}{R_a J_m}\right)} \Omega_{in}(s) - \frac{\frac{1}{J_m}}{s + \left(\frac{K_m K_b + R_a B + K_t K_m K}{R_a J_m}\right)} T_L(s) \quad (2.10)$$

계단입력  $\Omega_\infty = A/s$ 와 외란 토크값  $T_L = D/s$ 일 경우의 출력을 식(2.11)에 나타내었다.

$$\omega(t) = \frac{AKK_m K_t}{R_a J_m} \tau_c (1 - e^{-t/\tau_c}) \quad (2.11)$$

여기서  $\tau_c = \frac{R_a J_m}{K_m K_b + R_a B + K_t K_m K}$ 는 시스템의 기계 시정수이고, 정상상태 응답을 식(2.12)에 나타내었다.

$$\omega_{fv} = \left( \frac{AKK_m K_t}{K_m K_b + R_a B + K_t K_m K} - \frac{R_a D}{K_m K_b + R_a B + K_t K_m K} \right) \quad (2.12)$$

여기서  $K \rightarrow \infty$ 이면  $\omega_{fv} \rightarrow A$ 이다. 따라서 속도제어는 외란의 영향을 줄일 수 있다.

### 2.2.2 위치 제어

페루프 위치응답은 속도응답을 적분하여 구할 수 있고 개루프 전달함수를 식(2.13)에 나타내었다.

$$\frac{\Theta(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{s(L_a J_m s^2 + (L_a B + R_a J_m)s + R_a B + K_m K_b)} \quad (2.13)$$

여기서 전체 관성  $J$ 를 사용하고, 이 경우  $L_a$  값이 작을 때의 시간응답은 식(2.14)와 같다.

$$\theta(t) = \frac{A}{K_b} (t + \tau_m e^{-t/\tau_m} - \tau_m) \quad (2.14)$$

이것은 모터축이 멈추지 않고 일정한 정상상태 속도로 회전한다는 것을 의미한다. 모터축의 위치제어를 위한 간단한 방법은 이득  $K$ 를 가지는 비례제어기를 사용하는 것이다. Fig. 7은 페루프 시스템의 블록선도를 보여준다.

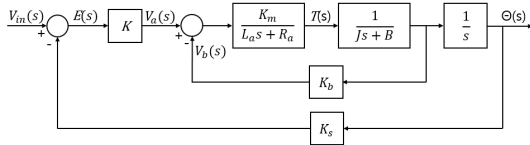


Fig. 7. Velocity control block diagram of armature control motor

시스템은 위치각 센서로 구성되어 있다. 시스템을 간략화하기 위해 입력전압을 위치입력  $\Theta_{\in}(s)$ 의 값에 따라 정하면 입력과 출력은 같은 단위와 비율을 갖게 된다. 또한 출력은 센서의 이득 값을 이용하여 전압으로 변환할 수 있다. 이 경우의 페루프 전달함수는 식(2.15)와 같다.

$$\frac{\Theta_m(s)}{\Theta_{\in}(s)} = \frac{\frac{KK_m K_s}{R_a}}{(\tau_e s + 1)[J_m s^2 + (B + \frac{K_b K_m}{R_a} s) + \frac{KK_m K_s}{R_a}]} \quad (2.15)$$

여기서  $K_s$ 는 센서 이득이고  $L_a$ 가 작을 경우  $\tau_e = (L_a/R_a)$ 은 무시할 수 있기 때문에 전달함수는 식(2.16)과 같다.

$$\frac{\Theta_m(s)}{\Theta_{\in}(s)} = \frac{\frac{KK_m K_s}{R_a J}}{s^2 + (\frac{R_a B + K_b K_m}{R_a J_m} s) + \frac{KK_m K_s}{R_a J_m}} \quad (2.16)$$

### 3. EGR 밸브 용 모터 특성 분석

#### 3.1 실험 장치 구성

본 연구에서는 현재 K사에서 양산되고 있는 EGR 밸브 시스템을 기준하여 사양을 결정하였다. Fig. 8에는

EGR 밸브를 나타내고, Table 1과 Table 2에는 EGR 밸브의 모터 제원과 밸브의 제원을 나타내었다.



Fig. 8. EGR valve

Table 1. Specifications of DC motor

Item	Specifications( $\Omega$ )
Coil resistance	2.2 ~ 2.6 (20°C)

Table 2. Specification of sensor

Item	Specifications(V)
Voltage during open (6mm)	0.6 ~ 1.3
Voltage during close	3.6 ~ 4.3

Fig. 9에는 EGR 밸브의 회로도를 나타내었다.

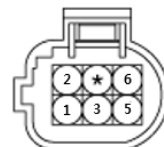
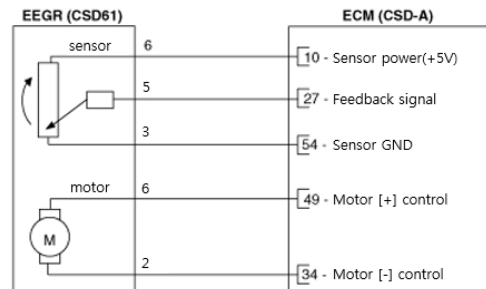


Fig. 9. Circuit of EGR valve

EGR 밸브용 모터를 제어하기 위해서 Fig. 10과 같이 마이크로칩사의 F1 LV 플랫폼(platform) 개발 툴을 이용한다. F1 LV 플랫폼은 PIC16LF1947 8bit MCU를 포함하고 풀-브리지(full-bridge) 구동 회로를 구성하고 있다. 또한, PWM 제어방식을 접목시킨 가변저항을 이용하여 모터를 제어할 수 있다.

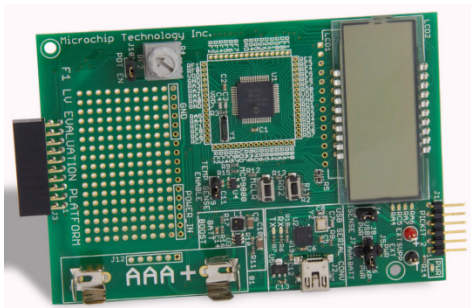


Fig. 10. F1 LV evaluation platform

모터 드라이브는 마이크로칩사의 F1 BDC 모터 애드온(add-on) 개발 툴을 이용한다. Fig. 11과 같이 BDC 모터 애드온은 모터 전류를 제한 조정할 수 있고, 디버그 헤더와 모터 및 전원 공급용 핀 헤더 커넥터를 포함하고 있다.



Fig. 11. F1 BDC Motor add-on

실험 장치 구성은 Fig. 12에 나타내었으며, A는 EGR 밸브이고, B는 F1 LV 플랫폼 개발 툴, C는 F1 BDC 모터 애드온 개발 툴, D는 전원공급기이다. E는 디버깅 때 사용할 마이크로칩사의 Pickit 3 툴이다.



Fig. 12. Experimental equipment configuration

EGR 밸브 용 모터는 F1 BDC 모터 애드온과 연결하여 12V 전원을 공급하고, 센서는 전원공급기를 이용하여 5V 전원을 공급하여 실행하였다.

PWM 듀티비 입력 값에 따른 EGR 밸브의 위치를 확인하기 위해 F1 LV 플랫폼의 LCD를 이용한다. Fig. 13과 같이 EGR 밸브 센서 피드백 선을 F1 LV 플랫폼의 ADC 점퍼(jumper)인 A에 연결하고, F1 LV 플랫폼 GND(ground)인 B에는 5V 전압을 공급하였다.

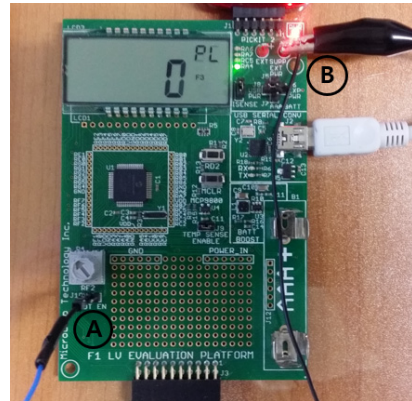


Fig. 13. ADC jumper and GND of F1 LV evaluation platform

### 3.2 모터 특성 분석

본 연구에서는 EGR 밸브 용 모터 특성 분석을 위해 PWM 듀티비를 이용하였다. MPLAB X IDE 소프트웨어를 이용하여 PWM 듀티비에 따른 EGR 밸브의 위치를 측정하였다. Fig. 14와 같이 PWM 듀티비를 변경하기 위해 'pot\_byte' 함수를 이용하여 0~255의 값을 입력하도록 코드를 작성하였다.



```

void SpeedManager(void)
{
    unsigned char pot_byte;
    unsigned char speed;
    unsigned int duty_cycle;
    unsigned long commTime;

    ServiceCommunicator();

    if(!TMRO_duty_flag) return; // hold off for 10 ms

    TMRO_duty_flag=0;
    if(--TMRO_duty_timer) return; // wait until timer times out

    TMRO_duty_timer = timebase_duty_count; // reset timer

    if(OpenLoopFlag)
    {
        // detect and debounce button push action
        if (SpeedButton == 0)
            if (LastSpeedButton == 1)
                SingleStep = 1;
            LastSpeedButton = SpeedButton;
    }
    else
    {
        //pot_byte = pot_value>>2;
        pot_byte=0;
        if(SpeedReady) // process PC only when new data has been entered
        {
            speedrequest = InputData.bytes.high;
            SpeedReady = 0; // clear handshake flag
        }
    }
}

```

Fig. 14. Motor control program source code-1

```

int sensor_out=0; ①

void main(void)
{
    Init_I0();
    i2c_init();
    lcd_init();
    rtcc_init();
    mcp9800_init();

    InitSystem();
    DetermineAddOnType();
    step_mode = WAVE;
    lcd_mode = LCD_WAIT;
    battery_timer = 1;
    time_set = 0;
    NV_Variables_Read();
    TMRI_comm_time.word = 1;
    SpeedManagerInit();

    while(1) {
        CLRWDI();
        if(stop_flag) InitSystem();
        TimeBaseManager();
        RunControl();
        SpeedManager();
        BrakeControl();
        DemoTasks();
        sensor_out=get_adc(SPEED_CHANNEL); ②
        display_pot(sensor_out); ③
        Update_LCD(); ④

        // Run and loop speed indicator
        RunLED = !RunLED;
    }
} // end main

```

Fig. 15. Motor control program source code-2

EGR 밸브의 위치를 확인하기 위해 Fig. 15와 같이 코드를 작성하였다. 우선 Fig. 15의 ①과 같이 메인문 밖에 전역변수 ‘sensor\_out’을 선언하고, PWM 듀티비 입력 값을 읽을 수 있도록 ②와 같이 코드를 작성하였다. ③과 같이 PWM 듀티비 입력 값을 LCD에 나타내고, ④와 같이 LCD를 초기화하도록 코드를 작성하였다.

마지막으로 ‘Update\_LCD’ 함수부분에 LCD에서 PWM 듀티비 입력 값을 읽을 수 있도록 Fig. 16과 같이 코드를 작성하였다.

```

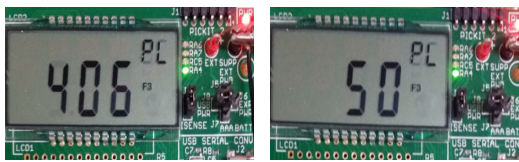
void Update_LCD(void)
{
    // call this routine upon sensing WA rising edge
    switch(display_mode)
    {
        case MODE_TIME:
            display_time(TRUE);
            break;
        case MODE_TIME_24:
            display_time(FALSE);
            break;
        case MODE_TEMPERATURE:
            display_temp(FALSE);
            break;
        case MODE_TEMPERATURE_F:
            display_temp(TRUE);
            break;
        case MODE_RPM:
            display_rpm(rpm);
            break;
        case MODE_POT:
            display_pot(sensor_out);
            break;
        case MODE_ADDON:
            //suppress display changes
            if(LCDNotSuppressed)
            {
                if(default_reset_flag)
                {
                    display_default();
                    default_reset_flag = 0;
                }
                else
                {
                    display_motor_type();
                    // Clear F_4 and light the LOGO the first time through MODE_ADDON
                    LCDNotSuppressed = 0;
                    F_4 = 0;
                    LOGO = 1;
                }
            }
    }
}

```

Fig. 16. Motor control program source code-3

### 3.3 실험 결과

PWM 듀티비 입력 값이 0일 때와 255일 때, 즉 pot\_byte=0일 때와 pot\_byte=255일 때 LCD를 이용하여 피드백 센서 값을 측정하여 Fig. 17에 나타내었다. LCD에는 10mV 단위로 측정되어, 406은 4.06V이고 50은 0.5V이다.



(a) In case of pot\_byte=0 (b) In case of pot\_byte=255

Fig. 17. Feedback sensor value according to pot\_byte value

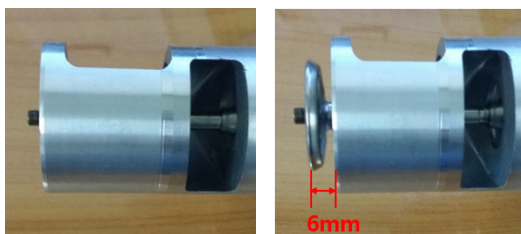
LCD에 측정된 피드백 센서 값이 실제 피드백 센서 값과 일치하는지 검증하기 위해 멀티미터를 이용하여 그 값을 측정한 결과 Fig 18과 같이 LCD에서 측정된 피드백 센서 값이 실제 피드백 센서 값과 일치한다는 것을 검증하였다.



(a) In case of pot\_byte=0 (b) In case of pot\_byte=255

Fig. 18. Feedback sensor value using multimeter

Fig. 19에는 PWM 듀티비 입력 값이 0일 때와 255일 때 EGR 밸브의 위치를 나타내었다.



(a) In case of pot\_byte=0 (b) In case of pot\_byte=255

Fig. 19. EGR valve Position according to pot\_byte value

PWM 듀티비 입력 값을 다르게 함으로서 피드백 센서 값과 EGR 밸브의 위치를 측정하였다. 그 결과 PWM 입력 값이 0~38 구간에서는 EGR 밸브가 열리지 않았고, 40에서 EGR 밸브가 열리기 시작하면서, 60부터는 EGR 밸브가 최대 6mm로 열리는 것을 확인하였다. PWM 입력 값에 따른 EGR 밸브의 위치를 측정하기 위해 피드백 센서 값을 이용하였다. EGR 밸브의 위치와 피드백 센서

값의 비례식을 이용하여 PWM 듀티비 입력 값에 따른 EGR 밸브의 위치를 Table 3과 Fig. 20에 나타내었다.

Table 3. Feedback sensor value and EGR valve position according to PWM input value

PWM input value	Feedback sensor value(V)	EGR valve position (mm)	EGR valve position(%)
36	4.06	0.00	0.0
38	4.06	0.00	0.0
40	3.94	0.20	3.4
42	3.85	0.36	6.0
44	3.78	0.48	7.0
46	3.54	0.89	14.7
48	3.33	1.24	20.7
50	3.10	1.64	27.3
52	3.02	1.77	29.6
54	2.94	1.91	31.8
56	2.85	2.06	34.4
58	2.12	3.31	55.1
60	0.54	6.00	100.0
62	0.54	6.00	100.0



Fig. 20. Feedback sensor value and EGR valve position according to PWM input value

#### 4. 결론

EGR 밸브는 EGR 콜러와 배기 라인 사이에 장착되어 있으며, 흡기 요구량과 엔진부하 등으로 계산된 ECM의 듀티 신호에 의해, 배기가스량을 제어하는 DC모터 구동 방식이다. EGR율이 증가할수록  $NO_x$  저감에는 효과적이거나, 과도한 EGR율은 오히려 불완전 연소의 주원인이 된다. 따라서 엄격한 배기규제를 만족하기 위해 엔진의 운행 조건에 최적화된 정밀한 EGR 밸브 제어가 뒷받침되어야만 한다. 따라서 본 연구에서는 EGR 밸브의 위치를 제어하기 위한 단계로 EGR 밸브 용 DC모터 특성을 분석하였다.



1. EGR 밸브 용 DC모터 특성 분석을 위해 수학적 모델링과 제어 이론에 대해서 연구하였다.
2. 모터를 구동하기 위한 MCU는 8bit PIC16LF1947을 포함하고 있고 F1 LV 플랫폼 개발 툴을 이용하고 모터 드라이브는 F1 BDC 모터 애드온 개발 툴을 이용하여 실험하였다.
3. EGR 밸브의 센서 피드백 선을 F1 LV 플랫폼의 ADC에 연결하고, PWM 입력 값에 의한 밸브의 위치를 LCD로 나타내었다.
4. 실험을 통해 구한 PWM 듀티비 입력 값과 피드백 센서 값의 비를 이용하여 EGR 밸브의 위치를 나타내었다.

이에 따라 PWM 듀티비 입력 값에 따른 EGR 밸브의 위치를 측정할 수 있게 되었고, 그 때의 밸브가 0~100% 중 몇 퍼센트 정도 개폐되는지 측정할 수 있게 되었다. EGR 밸브 위치를 먼저 선정하면 그 때의 PWM 듀티비를 입력하여 원하는 위치만큼 밸브가 작동하게 된다. PWM이 40일 때부터 밸브가 열리기 시작하면서 PWM이 60일 때 밸브가 최대 6mm까지 열리게 되는 것을 알 수 있었다. 또한, 실험 과정을 통해 EGR 밸브 용 DC모터는 PWM 입력 값이 58일 때, 센서의 값이 급격히 떨어지고 밸브가 급격히 열리게 되는 것을 확인하였다. EGR 밸브 내부에 스프링이 있는데 밸브의 위치를 고정시켜주는 역할을 한다. DC모터에 인가되는 전류의 양이 스프링 한계치 값보다 더 커지게 되면 스프링이 그 힘을 버티지 못하고 EGR 밸브가 급격히 열리게 된 것이다.

본 연구는 EGR 밸브 용 DC모터의 위치를 제어하기 위한 하나의 단계로서 DC모터의 특성을 분석하였다. EGR 밸브 용 DC모터 정밀제어를 위해서는 속도제어, 토크제어를 수행하고 궁극적으로는 하드웨어인 모터의 관성 특성을 고려한 소프트웨어와의 최적 제어 상태를 설계하고, 실제 적용 가능하도록 응답시간(response time)에 대한 연구를 거쳐야 할 것으로 판단된다.

## References

- [1] H. J. Gong, I. G. Hwang, A. H. Ko, C. L. Myung, S. S. Park and C. S. Lim, "Effect of EGR Rate and Injection Timing on the Characteristics of Exhaust Emissions in Light-duty Diesel Engine", Transactions of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 20, No. 3, pp. 7-12, 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2012.20.3.007>

- [2] J. Y. Lee and C. H. Hyun, "Torque Control of DC Motor Using Velocity Profile Based Acceleration/Deceleration Control", Journal of Korean institute of intelligent systems, Vol. 22, No. 1, pp. 36-41, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5391/JKIS.2012.22.1.36>
- [3] C. O. Yang, S. C. Sin, J. S. Park, J. S. Kim, K. N. Park and M. H. Song, "Estimation of Rotating Speed Using the Frequency Analysis of Current of DC Motor", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 2010, No. 7, pp. 1635-1636, 2010.
- [4] I. H. Kim and Y. I. Son, "Design of a Robust Velocity Observer for Current Control of DC motor", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 2010, No. 7, pp. 1629-1630, 2010.
- [5] B. G. Oh, M. K. Lee, Y. S. Park, K. Y. Lee, M. H. Sunwoo, K. H. Nam and S. H. Cho, "Feedforward EGR Control of a Passenger Car Diesel Engine Equipped with a DC Motor Type EGR Valve", Transactions of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 19, No. 5, pp. 14-21, 2011.
- [6] Y. C. Shin, T. H. Kim, H. S. Lee and C. S. Park, "DC Motor Position controller Design for e-VGT with ATmega32", the Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 2012, No. 7, pp. 1244-1245, 2012.
- [7] K. J. Seong, "System on Chip for Controlling Motor Based on Network and Method for Controlling Thereof", Korea Institute of Patent Information, [www.kipris.or.kr](http://www.kipris.or.kr), 2013.
- [8] J. S. Park, "DC Motor Control Method", Korea Institute of Patent Information, [www.kipris.or.kr](http://www.kipris.or.kr), 2007.
- [9] H. S. Kang and D. H. Shin, "DC Motor Model Parameter Identification and Experimental Adjustment for Motor Controller Design", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 31, No. 12, pp. 1147-1154, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2014.31.12.1147>
- [10] Y. K. Son, "A Study on the Claw-Pole Stepping Motor Design to Improve the Torque Characteristics and Moving Accuracy", Master's Thesis, Hanyang University.

허 준 호(Jun-ho Heo)

[정회원]



- 2007년 3월 ~ 2014년 2월 : 계명대학교 기계자동차공학부 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

자동차 전자장치, 지능형 자동차

이 선 봉(Seon-bong Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 부산대학교 대학원  
기계공학 (공학박사)
- 2007년 2월 : 대구경북과학기술원  
지능형자동차 연구팀장
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교  
기계자동차공학과 교수
- 2009년 12월 : 대구경북자동차부품  
진흥원 원장

<관심분야>

자동차 전자장치, 지능형 자동차