

(技術論文)

MPI 가솔린 엔진용 슬라이딩 모드 연료분사 제어기 설계 및 컴퓨터 제어

김종식* · 고용서** · 강건용** · 황이철***

(1990년 12월 8일 접수)

Design and Computer Control of a Sliding Mode Fuel-Injection Controller for MPI Gasoline Engines

Jong Shik Kim, Yong Seo Ko, Kern Yong Kang and I Cheol Hwang

Key Words : Sliding Mode Control(슬라이딩 모드 제어), Emission Control(배기가스 제어), Electronic Control Unit(전자 제어장치), MPI Fuel Injection(다-포인트 연료분사), O₂ Sensor(산소 센서)

Abstract

A robust sliding mode control method is proposed for the design of a fuel injection control system, which can maximize the conversion efficiency of three-way conversion catalysts. For the purpose of developing and evaluating a fuel-injection controller, the mass of air in the intake manifold and actual fuel rate entering the combustion chamber are chosen as state variables of a 4-cycle stroke MPI(Multi-Point Injection) gasoline engines. On the basis of the simulation results, we have manufactured the ECU(Electronic Control Unit) to operate the MPI gasoline engines and have experimented with 16-bit microprocessor computer. The experimental results show that the sliding mode fuel-injection controller can make the engine operate in the neighborhood of stoichiometric air/fuel ratio(14.7 ± 0.3) and can improve the conversion efficiency of three-way catalyst more than 90%. Thus, it can satisfy current strict regulations about the automotive exhaust emissions.

1. 서 론

자동차 배기가스의 유해물질에 의한 대기오염 문제가 심각한 사회문제로 대두됨에 따라 선진 각국에서는 자동차 배기가스에 관한 엄격한 규제법안을 제정하여 자동차 배기가스의 유해물질에 대한 규제를 시행하고 있으며, 이미 국내에서도 87년 7월부터

자동차 배기가스에 관한 규제⁽¹⁾를 대폭 강화하여 전 차량에 적용하고 있다. 이러한 국내의 추세에 따라, 최근 가솔린 엔진의 배기가스 규제치를 만족시키기 위해서 연소후 처리장치인 3원촉매 변환기를 가솔린 자동차에 장착하여 배기가스 중의 질소산화물(NO_x)를 환원시키고 탄화수소(THC)와 일산화탄소(CO)를 산화시킴으로써 유해물질을 감소시키고 있다. 그러나 일반적으로 3원촉매 변환기는 세라믹담체에 배기가스의 산화 및 환원 작용을 돕는 귀금속을 도포한 것으로서 귀금속 재료의 효율적인 사용과 배기가스 유해물질의 감소를 위해서는

* 정회원, 부산대학교 공과대학 기계설계학과
** 정회원, 한국기계연구소 내연기관연구실
*** 부산대학교 대학원

공기와 연료의 혼합비(공연비)를 이론공연비로 제어하는 것이 절대적으로 요구된다.

따라서 본 연구에서는 모델링오차나 외란 등의 불확실성에도 강인한 슬라이딩 모드 제어방법^(2,3)을 이용하여 새로운 연료분사 제어기를 설계하였다. 그리고 8253 타이머와 A/D 변환기, 인터페이스 회로 등으로 MPI가솔린 엔진용 전자 제어장치를 구성하여 슬라이딩 모드 연료분사 제어알고리즘을 실제 엔진에 적용시킴으로써 새로이 설계된 연료분사 제어시스템의 성능을 파악하였다. 엔진의 운전 상태를 여러가지 제어 모드로 분류할 수 있으나 엔진회전수가 2000rpm, 부하가 20N인 정상 모드 운전 상태에서 정상상태의 응답을 파악하였고, 20N의 일정한 부하 조건에서 엔진회전수를 1500rpm에서 2000rpm으로 변화시켰을 때의 과도상태 응답을 파악하였다. 이와같이 새로운 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템을 개발하여 3원촉매 변환기의 변환 효율을 극대화함으로써 배기가스의 유해물질을 최소화하는 것을 본 연구의 목적으로 하였다.

2. 엔진 모델링

4행정 4사이클 MPI 가솔린 엔진용 연료분사 제어기 설계를 위하여 사용될 엔진의 개략도는 Fig. 1과 같다. 그리고 연료분사 제어기 설계를 위하여 엔진을 다음과 같이 단순화하여 모델링한다. 공기유량 센서가 설치되어 있는 스로틀밸브 상류흐름 부분과 스로틀밸브 하류흐름 부분 사이에 존재하는 관의 동특성을 무시하고 흡입다기관의 동특성만을 고려한 흡입공기량에 관한 모델링 그리고 연료분사 장치의 동특성을 고려한 연료분사량에 관한 모델링만을 수행한다.

2.1 흡입공기량에 관한 모델링

흡입다기관 내에서 공기의 손실이 없다고 가정하면, 흡입다기관 내에서는 공기에 관한 질량보존의 법칙이 다음과 같이 성립한다.

$$\delta M_a = \delta M_{ai} - \delta M_{ao} \quad (1)$$

여기서 δM_a 는 임의의 순간동안 흡입다기관 내에 존재하는 공기질량, δM_{ai} 는 임의의 순간동안 흡입다기관 내로 들어오는 공기질량, 그리고 δM_{ao} 는 임의의 순간동안 흡입다기관을 빠져나가는 공기질량이다. 흡입다기관 내를 통과하는 공기흐름이 1차원 유동으로서 압축성 등엔트로피 성질을 갖는 준

-정상 상태의 이상기체라고 가정하면, δM_a 는 흡입다기관내의 압력과 온도의 함수로 표현할 수 있다⁽⁴⁾. 따라서 본 연구에서는 온도가 일정하다고 가정하고 식 (1)을 다음과 같이 표현하기로 한다.

$$K_m \delta P_m = \delta M_{ai} - \delta M_{ao} \quad (2)$$

여기서 δP_m 은 임의의 순간동안 흡입다기관 내의 압력변화량을 나타내며, K_m 은 일반기체상수, 기체분자량, 공기의 비열비 그리고 흡입다기관 내의 온도와 압력의 함수로 표현되는 비례상수이다. 다시 말하면, 임의의 순간동안 흡입다기관 내에 존재하는 공기량은 자체 내의 온도와 압력에 많은 영향을 받고 있으며, 상기에서 가정한바와 같이 일정한 온도하에서 임의의 순간동안 흡입다기관 내의 압력변화량은 임의의 순간동안 흡입다기관을 들어오고 나가는 공기량의 차에 비례함을 알 수 있다.

(1) 흡입다기관 내로 들어오는 공기량

식 (2)에 포함되어 있는 δM_{ai} 는 실제 엔진실험으로 측정된 실험데이터에 최소제곱 곡선맞춤 (least square curve-fitting)법을 사용하면 다음과 같은 실험식을 얻을 수 있다.

$$\delta M_{ai} = k_1 \theta^{k_2} (k_3 N + k_4)^{1/2} P_m^{-1} \quad (3)$$

여기서 θ 는 스로틀밸브의 각도, P_m 은 흡입다기관의 압력, N 은 엔진회전수 그리고 k_1, k_2, k_3, k_4 는 시스템 파라미터이다. 식 (3)으로부터 실제 흡입다기관으로 들어오는 공기량은 스로틀밸브의 각도와 흡입다기관의 압력 그리고 엔진회전수를 측정하여 구할 수 있다는 것을 알 수 있다.

(2) 실린더 내에 흡입되는 공기량

흡입다기관을 빠져나가 실제 실린더 내로 들어가

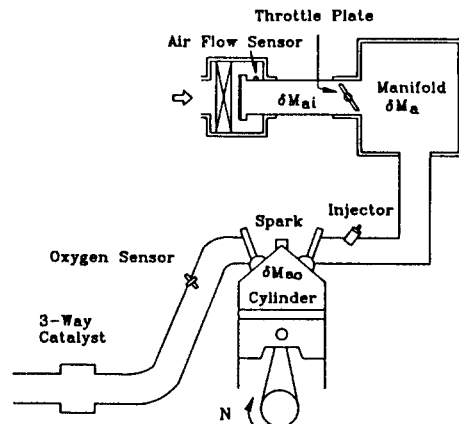


Fig. 1 Schematic diagram of the engine model

는 공기량을 구하기 위하여 엔진 실린더를 하나의 이상적인 펌프로 가정하였다. 일반적으로 δM_{ao} 는 엔진회전수와 체적효율 그리고 엔진변위의 곱으로 표시될 수 있으며⁽⁶⁾, 이때 체적효율은 주어진 작동 상태에서 실린더에 채워질 이론적인 공기량에 대한 실제 들어오는 공기량의 비를 나타내며 스로틀밸브와 흡입밸브에 의한 압력손실, 잔류가스에 의한 열손실 그리고 벽면마찰 등에 의한 마찰손실을 나타내는 용어로 사용된다. 따라서 체적효율은 실제 엔진의 동특성을 파악하는데 있어 매우 중요한 용어로서, 만약 잔류가스나 벽면마찰 등에 의한 제반 손실을 무시하면 흡입다기관의 압력과 엔진회전수의 함수로 표시할 수 있다⁽⁶⁾.

이러한 성질을 이용하여 측정된 실험데이터에 대해서 최소제곱 곡선맞춤법을 실시하면, 실제 실린더 내로 들어오는 공기량에 관한 모델식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\delta M_{ao} = k_5 \theta^{k_6} (k_7 N + k_8)^{1/2} P_m^{-1} \quad (4)$$

여기서 k_5, k_6, k_7 그리고 k_8 는 시스템 파라미터이다. 그리고 지금까지 발표된 연구사례에 의하면 δM_{ao} 는 엔진회전수와 흡입다기관의 압력에 관한 함수만으로 표현되고 있지만⁽⁷⁾, 본 연구에서는 엔진실험을 통하여 식 (4)와 같이 흡입다기관의 압력과 엔진회전수를 그리고 스로틀밸브 각도의 함수로 표시하였다.

그러나 본 연구에서는 흡입다기관의 동특성을 고려하기 위하여 다음과 같이 모델링하여 δM_{ao} 를 구하기로 한다. 식 (2)를 살펴보면 δM_{ao} 를 구하기 위해서 δM_{ai} 와 주어진 엔진 작동상태에서 흡입다기관의 압력변화량을 알아야 한다. 그리고 실제 엔진의 운전범위가 넓으므로 엔진의 동특성을 이산적으로 생각하는 것이 편리하므로 편미분 개념을 사용하기로 한다. 식 (2)를 임의의 순간동안 변화한 양으로 표시하면 다음과 같다.

$$\delta M_{ao} = \delta M_{ai} - K_m \delta \dot{P}_m \quad (5)$$

식 (3)과 (4)에서 알수 있듯이 δM_{ai} 와 δM_{ao} 는 스로틀밸브의 각도, 흡입다기관의 압력 그리고 엔진회전수의 함수로 표시되어 있으므로 임의의 순간동안 각각의 질량 변화량은 다음과 같다.

$$\delta \dot{M}_{ai} = \frac{\partial}{\partial \theta} (\delta M_{ai}) \delta \theta + \frac{\partial}{\partial P_m} (\delta M_{ai}) \delta P_m + \frac{\partial}{\partial N} (\delta M_{ai}) \delta N \quad (6)$$

$$\delta \dot{M}_{ao} = \frac{\partial}{\partial \theta} (\delta M_{ao}) \delta \theta + \frac{\partial}{\partial P_m} (\delta M_{ao}) \delta P_m$$

$$+ \frac{\partial}{\partial N} (\delta M_{ao}) \delta N \quad (7)$$

이제 식 (6)과 (7)를 식 (5)에 대입하여 흡입다기관의 동특성을 나타내는 모델식을 얻을 수 있다.

$$K_m \tau_m \delta \dot{P}_m + \delta P_m = K_\theta \delta \theta + K_N \delta N \quad (8)$$

여기서 K_θ 와 K_N 는 시스템 루프게인 그리고 τ_m 는 흡입다기관의 동특성을 나타내는 시간상수로서 각각 다음과 같이 표현된다.

$$\tau_m = \left\{ \frac{\partial}{\partial P_m} (\delta M_{ao}) - \frac{\partial}{\partial P_m} (\delta M_{ai}) \right\} \quad (9)$$

$$K_\theta = \left\{ \frac{\partial}{\partial \theta} (\delta M_{ai}) - \frac{\partial}{\partial \theta} (\delta M_{ao}) \right\} \tau_m \quad (10)$$

$$K_N = \left\{ \frac{\partial}{\partial N} (\delta M_{ai}) - \frac{\partial}{\partial N} (\delta M_{ao}) \right\} \tau_m \quad (11)$$

위 식으로부터 임의의 순간동안 흡입다기관의 압력 변화량은 스로틀밸브 각도 변화량과 엔진회전수의 변화량으로부터 구할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같은 흡입공기량에 관한 동특성을 블록선도로 표시하면 Fig. 2와 같다.

2.2 연료분사량에 관한 모델링

본 연구에서는 인젝터에서 분사된 연료가 흡입다기관의 벽면에 액체막을 형성하지 않는 것으로 가정하고 세가지 형태의 시간지연 요소를 다음과 같이 고려한다.

(1) 컴퓨터의 연료분사 명령으로부터 인젝터가 구동되어 연료가 인젝터에서 분사될 때까지의 시간지연

(2) 인젝터에서 분사된 연료가 실제 실린더 내로 들어오기까지 소요되는 시간지연

(3) 흡입밸브가 닫힌 후에 분사된 연료에 기인하는 시간지연

위에서 고려한 세가지의 시간지연 요소 중에서 흡입밸브가 닫힌 후에 분사되는 연료가 없다고 가정하면 연료분사량 동특성은 1차 지연필터의 형태로 단순하게 모델링할 수 있다⁽⁸⁾.

$$\tau_f \delta \dot{M}_{fi} + \delta M_{fi} = \delta M_{fc} \quad (12)$$

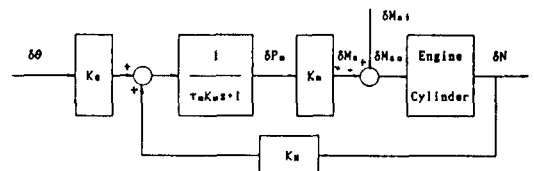


Fig. 2 Block diagram of intake air flow dynamics

여기서 δM_{fc} 는 컴퓨터 명령에 의한 연료분사량, δM_{fi} 는 실제 실린더로 들어가는 연료분사량, 그리고 τ_f 는 연료분사의 특성을 나타내는 시간상수이다. 이와같은 연료분사량에 관한 동특성을 블록선도로 표시하면 Fig. 3과 같다.

2.3 시스템 파라미터의 선정 및 고찰

흡입공기량과 연료분사량에 관한 모델식에 포함되어 있는 시스템 파라미터들을 선정하기 위하여 본 연구에서는 2000cc MPI 엔진실험을 수행하였으며, 그 결과 얻은 시스템 파라미터들이 Table 1에 요약되어 있다.

이와같이 선정된 시스템 파라미터들을 포함한 모델식은 엔진 전자제어장치, 특히 연료분사 제어시스템을 설계할 때 엔진의 각 운전모드와 사용하는 센서 그리고 엑츄에이터의 종류 등에 따라 서로 다른 형태로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 특히 흡입공기량에 관한 모델식은 운전 모드에

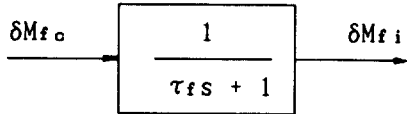


Fig. 3 Block diagram of fuel dynamics

Table 1 System parameters for an engine

System parameter	Numerical value
k_1	1.737
k_2	0.287
k_3	0.0042
k_4	-1.36
k_5	0.967
k_6	0.486
k_7	0.0042
k_8	-3.16
K_θ	$\tau_m P_m^{-1} \{ 0.5 \theta^{-0.713} (0.0042N - 1.36)^{1/2} - 0.47 \theta^{-0.513} (0.0042N - 3.16)^{1/2} \}$
K_N	$\tau_m P_m^{-1} \{ 0.0037 \theta^{0.287} (0.0042N - 1.36)^{-1/2} - 0.0021 \theta^{0.486} (0.0042N - 3.16)^{-1/2} \}$
τ_m	$-P_m^{-2} \{ 0.967 \theta^{0.486} (0.0042N - 3.16)^{1/2} - 1.737 \theta^{0.287} (0.0042N - 1.36)^{1/2} \}$
τ_f	$0.05 + 1170.73 \delta M_{fc} / N (\text{sec})$

따라 간단하게 표시될 수도 있다. 공전속도(idle speed)를 제어하고자 할 때나 혹은 가감속시에는 흡입다기관의 동특성을 고려한 식 (8)을 사용해야 한다. 하지만, 일정한 속도이상의 정상 운전 모드에서 공연비를 제어하고자 할 때에는 흡입다기관의 동특성을 무시하고 실린더 내로 들어가는 공기량이 흡입다기관으로 들어오는 공기량과 같다고 가정하고 연료분사 제어시스템을 설계하여도 큰 모델링오차를 야기시키지는 않을 것이다.

그리고 실제 엔진에 대한 모델링을 더욱 정확하게 수행하고자 한다면 보다 많은 상태변수들이 고려된 정밀한 모델링이 요구된다. 그러나 본 연구에서는 배기가스 압력이나 배기가스 순환율(EGR), 엔진부하를 결정하는 동력전달장치 등 많은 상태들을 고려하지 않은 점에서 다소 부족한 점은 있지만 모델식의 각 부분은 실험적으로 결정된 식이므로 무시된 상태변수들이 어느정도는 고려되었다고 보는 것이 타당하리라 사료된다.

3. 슬라이딩 모드 연료분사 제어기 설계

공연비를 $\delta M_{ao}(t) / \delta M_{fi}(t)$ 로 정의하고, 먼저 Fig. 4와 같은 산소 센서의 출력전압 특성⁽⁹⁾을 on/off 형태로 가정하는 경우와 포화형태로 가정한 경우에 대해서 슬라이딩 모드 연료분사 제어기를 설계하기로 한다. Fig. 4에 표시된 λ 는 실제 공연비를 이론 공연비(14.7)로 나눈 값이다.

제어목적은 3원촉매 변환기의 변환효율이 90% 이상 유지하도록 정상 운전상태에서 공연비가 항상 이론공연비 근처값(14.7 ± 0.3)으로 제어하는 것이다. 즉,

$$\frac{\delta M_{ao}(t)}{\delta M_{fi}(t)} = 14.7 \pm 0.3 \tag{13}$$

그리고 슬라이딩 표면식을 다음과 같이 선정한다.

$$s(t) = \delta M_{ao}(t) - 14.7 \delta M_{fi}(t) \tag{14}$$

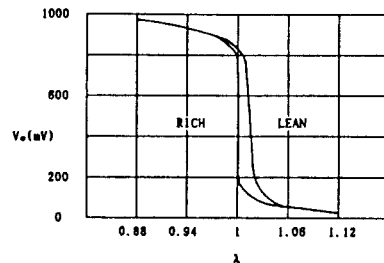


Fig. 4 Typical characteristics of O₂ sensor

제어 목적이 $s(t) \rightarrow 0$ 이므로 위 식이 의미를 갖기 위해서는 다음 식이 만족되어야만 유한한 시간 내에 모든 궤적이 슬라이딩 표면으로 끌려들어오게 되어 제어목적이 실현된다⁽²⁾. 즉,

$$\dot{s}(t) = -\eta \text{sgn}(s(t)), \quad \eta > 0 \quad (15)$$

또한 모델링오차를 다음과 같이 고려하기로 한다.

$$\delta \dot{M}_{ao}(t) = (1 + \mu_a(t)) \delta \dot{\bar{M}}_{ao}(t) \quad (16)$$

$$\tau_f(t) = (1 + \mu_f(t)) \bar{\tau}_f(t) \quad (17)$$

여기서 ‘ \sim ’는 공칭값을 의미하며 $\mu_a(t)$ 와 $\mu_f(t)$ 는 각각 흡입공기량과 연료분사장치의 시간상수에 대한 모델링오차로서 시간의 함수이다.

이제 식 (14)를 미분하여 식 (15)에 대입하면 다음과 같다.

$$\delta \dot{M}_{ao}(t) - 14.7 \delta \dot{M}_{fi}(t) = -\eta \text{sgn}[s(t)] \quad (18)$$

그리고 식 (16)을 미분한 식과 식 (12)를 식 (18)에 대입하여 제어법칙 $\delta M_{fc}(t)$ 를 다음과 같이 선정한다.

$$\begin{aligned} \delta M_{fc}(t) = & \delta \bar{M}_{fi}(t) + \frac{\bar{\tau}_f}{14.7} \{ \delta \bar{M}_{ao}(t) + \{ \mu_a(t) \\ & + \mu_f(t) + \mu_a(t) \mu_f(t) \} | \delta \bar{M}_{ao}(t) | \\ & + (1 + \mu_f(t)) \dot{\mu}_a(t) \delta \bar{M}_{ao}(t) \\ & + \eta \text{sgn}(s(t)) \} \end{aligned} \quad (19)$$

여기서 $\delta \bar{M}_{ao}(t) = d/dt(\delta \bar{M}_{ao}(t))$ 을 의미하며, 모델링오차 $\mu_a(t)$, $\mu_f(t)$ 그리고 $\dot{\mu}_a(t)$ 의 크기가 아직 결정되어 있지 않으므로 이들의 크기를 다음과 같이 최대한계로 표시하기로 한다.

$$\begin{aligned} \mu_a(t) & \leq \mu_{a, \max} \\ \mu_f(t) & \leq \mu_{f, \max} \\ \dot{\mu}_a(t) & \leq \dot{\mu}_{a, \max} \end{aligned} \quad (20)$$

위 식에서 최악의 상태 즉, 모델링오차가 최대로 되는 상태를 고려하여 제어입력 $\delta M_{fc}(t)$ 를 선정하면 다음과 같다.

$$\delta M_{fc}(t) = \delta \bar{M}_{fi}(t) + \frac{\bar{\tau}_f}{14.7} \{ \delta \bar{M}_{ao}(t) + K(t) \text{sgn}(s(t)) \} \quad (21)$$

여기서

$$\begin{aligned} K(t) = & (\mu_{a, \max} + \mu_{f, \max} + \mu_{a, \max} \mu_{f, \max}) \\ & | \delta \bar{M}_{ao}(t) | + (1 + \mu_{f, \max}) \dot{\mu}_{a, \max} \delta \bar{M}_{ao}(t) \end{aligned} \quad (22)$$

실제 강인성 파라미터 $K(t)$ 는 식 (15)에서 정의된 η 를 포함하고 있으나 이것을 무한히 작은 값으로 가정하고 무시하였다. 모델링오차에 관한 시스템 파라미터의 최대 한계값 $\mu_{a, \max}(t)$, $\mu_{f, \max}(t)$, $\dot{\mu}_{a, \max}(t)$ 가 강인성 파라미터 $K(t)$ 에 포함되어 있으

므로 이 값들에 의하여 시스템의 불확실성에 대한 강인성 문제가 $\text{sgn}[s(t)]$ 함수를 통해 고려된다. 그리고 $s(t)$ 의 값은 산소 센서의 출력으로부터 얻어지는데 일반적으로 공기가 연소실에 들어가 연소한 후 배기관의 산소 센서에 감지되는 시간이 소요되므로 적어도 크랭크 2회전에 해당하는 시간 지연이 발생된다⁽¹⁰⁾. 이것을 고려하면 식 (21)은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \delta M_{fc}(t) = & \delta \bar{M}_{fi}(t) + \frac{\bar{\tau}_f}{14.7} \{ \delta \bar{M}_{ao}(t) \\ & + K(t) \text{sgn}(s(t - \Delta t)) \} \end{aligned} \quad (23)$$

여기서 Δt 는 산소 센서 출력 측정시에 발생하는 지연시간이다.

그리고 Fig. 4에 표시되어 있는 산소 센서의 출력특성을 포화형태로 가정할 경우에는 식 (23)에서 $\text{sgn}[s(t - \Delta t)]$ 를 $\lambda = 1 \pm 0.01$ 에서 포화가 발생하는 포화형태의 함수 $\text{sat}[s(t - \Delta t)]$ 로 대체시켜 제어입력 $\delta M_{fc}(t)$ 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta M_{fc}(t) = & \delta \bar{M}_{fi} \frac{\bar{\tau}_f}{14.7} \{ \delta \bar{M}_{ao}(t) \\ & + K(t) \text{sat}[s(t - \Delta t)] \} \end{aligned} \quad (24)$$

위와 같이 설계된 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템을 블록선도로 표시하면 Fig. 5와 같다. 그리고 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템에 관한 시뮬레이션 결과는 본 연구를 수행하기에 앞서 발표한 논문⁽¹¹⁾이나 연구보고서⁽¹²⁾를 참조하기 바란다.

4. MPI 엔진용 전자제어장치

4.1 전자제어장치 구성

MPI 엔진용 ECU(Electronic Control Unit)는

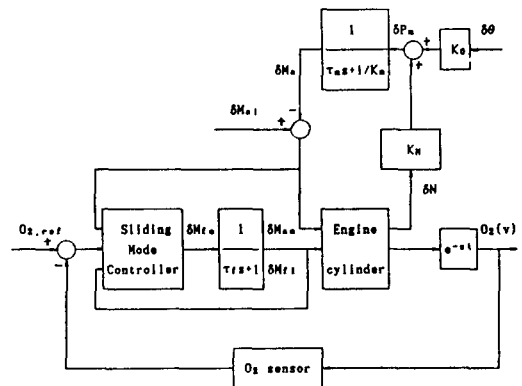


Fig. 5 Block diagram of the sliding mode fuel-injection controller

엔진에 장착된 각종 센서로부터 전기적 신호를 받은 후 운전상태에 적합한 연료분사량, 분사시기, 점화시기 그리고 공전시의 회전수를 제어하고, 엔진이 가열된 후 산소센서로부터 배기가스 중의 산소농도를 읽어와 연료분사량을 자동으로 조절하는 기능을 갖는다. Fig. 6과 Fig. 7은 각각 본 연구에서 구성한 ECU의 구성도 및 완성된 ECU를 나타내는 그림이다. 이것은 IBM/PC AT 컴퓨터와 8253 타이머(timer) 카드, A/D 변환기 그리고 인터페이스 회로로 구성되어 있다. 인터페이스 회로는 클럭 펄스(clock pulse) 발생장치, 게이트(gate) 신호, 연료분사 출력장치 및 증폭장치 그리고 점화신호 및 점화신호 증폭 장치 등이 내장되어 있다. 그리고 Fig. 6에 표시된 아날로그 입력신호 T_c , T_{in} , P_a , θ , V_{bat} 는 각각 냉각수온도, 흡입공기온도, 대기압, 스톱틀위치, 축전지전압을 의미하며, 디지털 입력신호 CA, TDC, M_{in} , EGO, IDLE, IG는 각각 크랭크각, 상사점, 흡입공기량, 산소센서신

호, 공전신호, 점화신호를 의미한다.

4.2 전자제어장치의 구동장치

(1) 연료분사 제어장치

연료분사장치는 12볼트 전원에 연결된 인젝터의 GND를 파워 트랜지스터(power transistor)가 스위칭시킴으로써 인젝터를 구동한다. 8253 타이머(timer)의 6가지 모드 중에서 모드 1에 해당하는 programable one-shot 기능을 이용하여 원하는 시기에 필요한 펄스폭을 갖도록 인젝터를 구동하였다. 즉, 클럭 펄스와 게이트 신호를 필요한 시기에 발생시키면 타이머의 출력단자에 원하는 펄스가 발생한다.

타이머의 해상도는 입력되는 클럭의 주파수와 게이트 신호의 정도에 따라 결정되는데, 본 연구에서는 1.83MHz의 수정 발진자를 사용한 회로를 통하여 클럭 펄스를 공급함으로써 최소 펄스폭 $0.54\mu\text{sec}$ 의 정확도를 갖게 하였다. 그리고 크랭크각 센서는 각 실린더의 BTDC 75° 에서 시작되어 BTDC 5° 에서 끝나는 70° 의 크랭크각 길이를 갖는 구형 신호로서 엔진의 기준시간으로 이용되는데, 이 신호가 끝나는 지점 즉 BTDC 5° 에서 게이트 발생회로의 방전 지연시간을 이용하여 $50\mu\text{sec}$ 의 펄스폭을 갖는 게이트 신호를 발생시켰다. ECU로부터 발생되어 분사 모드 제어회로를 통과한 각 기통별 인젝터 구동신호가 인젝터 코일로 전달되었을 때에 플런저가 움직여서 니들밸브를 연다. 이때 니들 밸브의 양정이 고정되어 있어 인젝터에서 분사되는 연료량은 니들 밸브가 열려있는 시간에 비례하게 되므로 ECU에서 전달되는 구동신호의 펄스폭을 엔진운전 상태에 따라서 바꾸면 연료분사량의 제어가 가능하게 된다.

(2) 점화시기 제어장치

점화시기 제어장치는 엔진에 장착된 센서로부터 흡입공기량, 엔진회전수, 부하상태 그리고 엔진온도 등을 검출하여 ECU에서 점화신호를 발생시킨다. 점화신호를 발생하기 위하여 인젝터 구동신호 발생방법과 마찬가지로 8253타이머의 모드 1기능을 이용하였지만, 타이머 출력신호에서 임의의 진폭으로 발생된 펄스를 이용하여 인젝터를 구동시키는 인젝터 구동신호 발생방법과는 다른 방법을 사용하였다. 펄스의 진폭동안 점화를 지연시킨 후, 점화코일의 1차 전류를 차단하는 또 하나의 펄스를 발생시켜 점화장치를 구동하는 방법으로 점화신호를

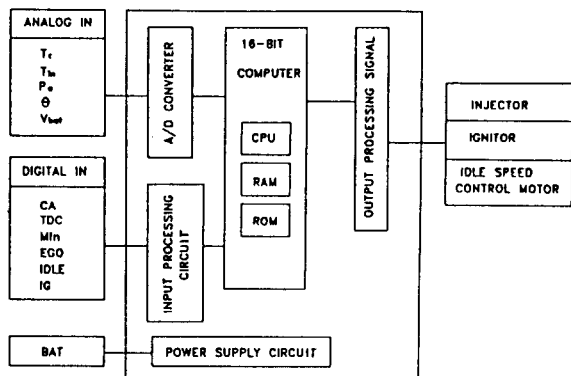


Fig. 6 Schematic diagram of the ECU for MPI engines

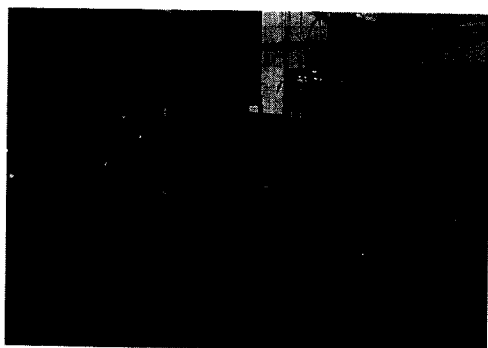


Fig. 7 Photograph of the completed ECU

발생시켰다. 연료분사 제어에서와 마찬가지로 8253 타이머의 클럭 펄스는 1.83MHz의 수정발진자를 이용하였고, 트리거 신호는 크랭크각 신호의 rising edge(BTDC 75°) 순간에서 발생하는 게이트 신호를 제작하여 사용하였다.

점화 지연 펄스 신호가 끝나는 지점에서 필요한 점화코일의 1차 전류 차단 신호는 게이트 신호 발생 방법과 같은 방법으로 만들어지며, 가변저항(100kΩ)을 변화시켜 1차 전류 차단 펄스폭을 0.5~10msec로 조절될 수 있도록 만들었다. 최적의 전류 차단 펄스폭은 실제 엔진 점화실험을 통하여 결정하였다. 엔진의 통상 운전 모드에서는 8253 타이머가 최적의 점화진각에 해당하는 펄스 진폭을 발생시켜, 점화신호가 끝나는 지점에서 발생하는 1차 코일의 차단펄스로 점화신호가 결정되는 제어모드를 갖는다. 그러나 시동모드에서는 8253 타이머를 이용하지 않고 점화진각이 BTDC 5°로 고정되므로, 크랭크각 센서의 drop edge에서 발생하는 1차 코일의 차단전류로 점화신호가 결정되는 제어모드를 갖는다.

4.3 MPI 엔진 제어시스템 조절용 프로그램

MPI 엔진 제어시스템을 제어하기 위한 전체 흐름도(flow chart)는 Fig. 8과 같다. 컴퓨터를 사용하여 제어시스템을 효율적으로 제어하기 위해서 데이터의 모든 입출력 기능은 어셈블리 언어로, 매뉴 방식과 모니터의 출력기능은 터보 파스칼로 프로그램을 구성하였다. 프로그램 수행 중 컴퓨터의 키보드 입력을 통하여 엔진의 각 제어변수를 연속적으로 혹은 임의로 값을 조절할 수 있도록 하였고, 엔진의 각종 상태가 화면에 출력되도록 하였다.

Fig. 8의 ECU 조절용 프로그램의 흐름을 요약하면 다음과 같다.

(1) 초기에 타이머 및 컴퓨터에 있는 모든 데이터를 리셋시킨 후, 제어시스템에 전원을 공급하면 연료분사 제어장치와 점화시기 제어장치의 작동 준비가 완료된다.

(2) 키보드를 통하여 시작신호를 주게되면 점화시기는 BTDC 5°로 고정되고, 연료분사는 동시분사 모드로 작동하는 엔진 시동 모드로 작동하기 시작한다.

(3) 엔진회전수가 기준치보다 높아지면 엔진의 제어 모드는 가열 모드로 되어, 연료분사 방식은 순차분사 방식으로 변하게 되고, 점화시기도 가변

하는 개루프 제어방식으로 작동된다.

(4) 엔진의 냉각수온도 및 산소 센서의 온도가 정상 작동범위를 만족하게 되면 엔진의 제어 모드가 정상 모드로 되어 점화시기 및 연료분사 시기는 폐루프 제어방식으로 조절된다.

(5) 그리고 스토틀밸브의 급격한 증가가 있을 경우에는 가속 모드로, 스토틀밸브가 닫혔을 때는 공전 모드로 운전하게 되면서, 엔진의 통상운전시의 연료분사량과 점화시기를 효율적으로 제어하게 된다.

(6) 엔진이 정지할 때는 연료장치 및 점화장치에 전원을 차단함으로써 연료의 누출을 방지하고 프로그램의 수행을 마치게 된다.

여기서 컴퓨터의 인터럽트 기능을 이용하여 각종 센서의 출력을 컴퓨터에 입력함으로써 엔진의 상태를 판정할 수 있다. 냉각수온도 센서, 흡기온도 센서, 산소 센서 그리고 대기압 센서 등의 데이터 입력 주기는 20msec로, 스토틀 위치센서의 데이터 입력 주기는 5msec로 결정하여 각종 엔진의 운전 상태를 파악하였으며, 엔진회전수는 1번 실린더

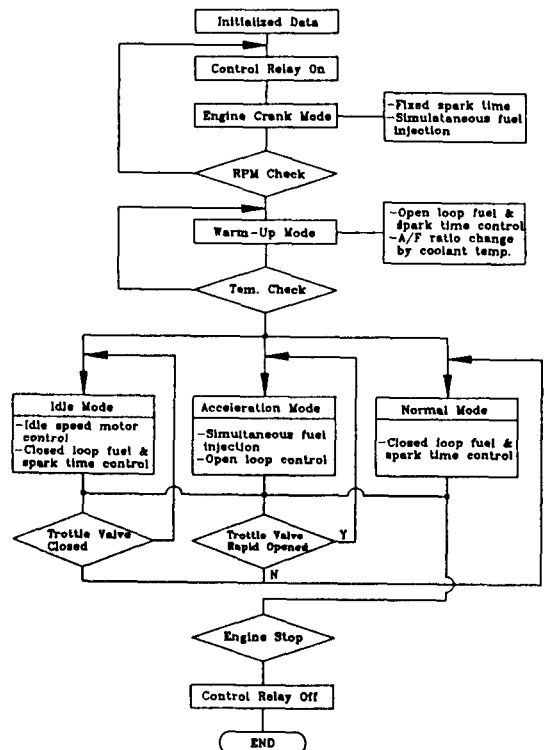


Fig. 8 Flow chart of the ECU program for MPI engines

TDC 센서의 출력 주기를 읽어와 계산하였다. 컴퓨터의 키보드를 통한 연료분사량 및 점화시기의 변화는 미세조정할 시에는 클럭 펄스와 인터럽트 기능을 사용하여 인젝터의 구동신호 및 점화시기의 구동 펄스를 조정하였다.

5. 엔진모사 실험

본 연구에서는 ECU의 하드웨어 구성, ECU를 구동할 수 있는 소프트웨어 작성 그리고 센서 특성 실험을 통하여 완성된 ECU를 이용하여 엔진모사 실험을 수행하였다. 엔진모사 실험의 목적은 완성된 ECU의 신뢰성을 검토하고 인젝터 및 점화플러그 등의 액츄에이터 특성을 분석함으로써 실제 엔진장착 시에 발생될 문제점을 해결하는 데 있다.

5.1 엔진모사 실험장치 및 실험방법

MPI 엔진용 ECU를 이용하여 구성한 엔진모사 실험장치는 Fig. 9와 같이 연료분사 특성을 실험할 수 있는 장치와 점화특성을 실험할 수 있는 장치로 구성되었다. 엔진의 속도범위는 600rpm에서 6000rpm까지 조절할 수 있도록 하였으며, 크랭크각 센서 및 1번 실린더 TDC센서의 출력이 ECU에 입력되도록 하여 실제 엔진조건과 유사하도록 하였다.

실험은 저속 및 고속영역에서 연료분사 제어 모드에 따른 연료분사특성 측정, 점화플러그의 방전

현상 관찰 그리고 점화플러그의 고압방전으로 인한 ECU 회로 및 인젝터의 영향 등을 오실로스코프를 통하여 관찰하였다. 특히 연료분사의 특성실험에서는 엔진회전수를 2000rpm으로 고정하고, 순차분사 모드에서 분사 구동펄스 주기의 변화에 따른 인젝터의 연료분사량을 측정하였다. 그리고 구동 펄스폭이 3msec인 순차분사 모드에서 엔진회전수 변화에 따른 연료분사량의 변화를 측정하였다.

5.2 엔진모사 실험결과 및 고찰

Fig. 10은 엔진회전수 2000rpm, 순차분사 모드 방식에서 분사 구동신호의 펄스주기 변화에 따른 인젝터 연료분사량의 변화를 보여주고 있다.

연료분사량은 구동 펄스폭의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가하므로 컴퓨터를 이용하여 쉽게 연료분사량을 조절할 수 있다. 구동 펄스폭이 작을 경우에는 인젝터가 구동되지 않고 어느 일정한 값 이상이 될 때 인젝터가 구동되어 연료분사가 이루어진다. 인젝터를 구동하기 위한 최소 구동펄스폭은 인젝터 안에 있는 솔레노이드 밸브의 스프링 상수와 연료압력으로 결정된다.

Fig. 11은 구동 펄스폭 3msec의 순차분사 모드 방식에서 엔진회전수 변화에 따른 연료분사량의 변화를 보여주고 있다.

1000rpm에서 0.06cc/sec이고, 6000rpm에서 0.46cc/sec로서 엔진회전수의 증가에 따라 연료분사량이 거의

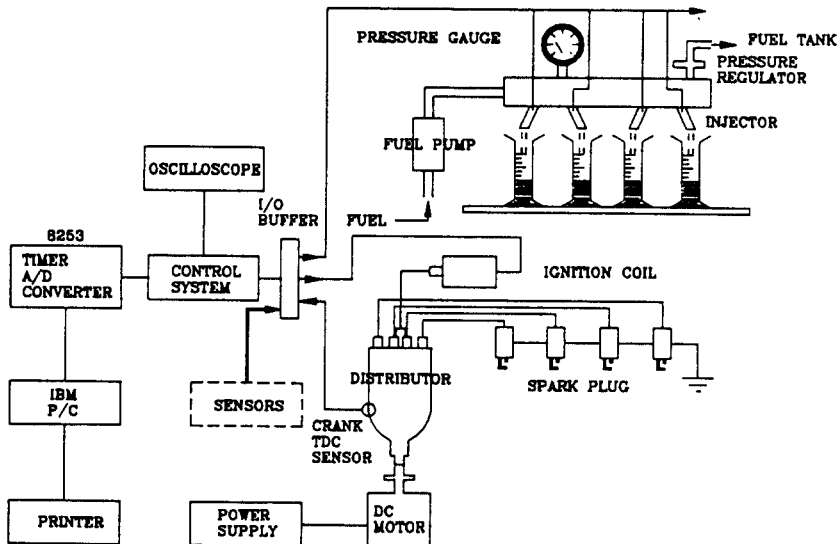


Fig. 9 Schematic diagram of the experimental system for an imitated engine

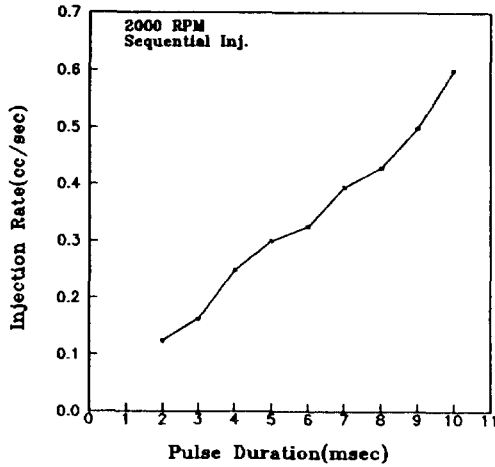


Fig. 10 Variations of fuel-injection mass rate according to pulse duration

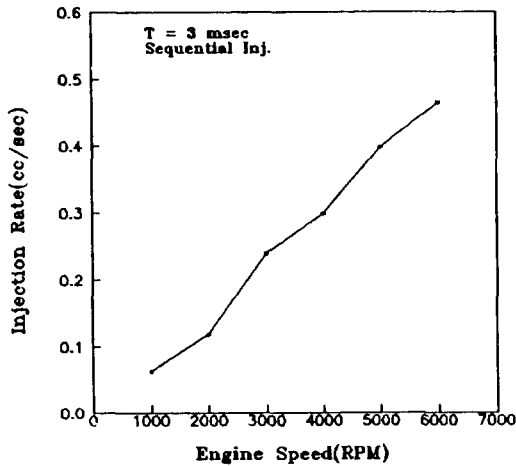


Fig. 11 Variations of fuel-injection mass rate according to engine revolution

선형적으로 증가하고 있다. 이는 엔진회전수가 증가하면 크랭크각 센서의 신호 주기가 증가하기 때문이다. 따라서 인젝터는 공전상태부터 6000rpm까지 컴퓨터 신호에 따라 안정적으로 조절될 수 있

다. 그리고 각 기통간의 연료분사량 분포는 특정 인젝터에 불순물이 끼여 있을 때를 제외하고는 거의 같은 양으로 분사되었으며, 동시분사 모드에서는 같은 구동 펄스폭의 순차분사 모드 연료분사량의 4배가 되었다. 그리고 인젝터에서의 채터링 현상은 오실로스코프로 솔레노이드 밸브의 전압변화를 측정할 결과 거의 나타나지 않았다.

점화장치의 구동특성은 비교적 낮은 엔진회전수 범위 내에서 각 기통의 점화플러그 방전현상을 육안으로 관측하여 파악하였다. 점화는 배전기를 통하여 점화플러그에서 1-3-4-2기통 순서로 안정하게 발생되었으며, 고전압으로 인한 점화특성의 변화는 거의 없는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서 제작한 ECU의 신뢰성은 충분하리라 생각한다.

6. 연료분사 제어시스템의 성능실험

6.1 엔진장착 실험장치 및 실험방법

Fig. 12는 엔진장착 실험장치에 대한 구성도를 나타내는 그림이다. 엔진에 장착된 ECU의 구동은 16-bit IBM PC/AT 컴퓨터를 이용하였으며, 동력계를 사용하여 엔진회전수 및 엔진부하 등의 실험조건을 결정하였다. 또한 각종 실험 데이터들을 측정하기 위한 장치로서 공연비 측정장치, 배기가스 측정장치, 엔진 흡입공기 온도와 냉각수 온도, 배기가스 온도를 측정하는 장치들을 사용하였으며, 센서의 출력변화를 측정하기 위하여 오실로스코프 등을 사용하였다.

그리고 엔진 및 각종 실험장치들을 충분한 시간 동안 워밍업시켜 엔진의 실험 운전조건들이 Table 2와 같이 되도록 하고, 산소 센서의 출력을 피드백하지 않는 개루프 제어시스템과 산소 센서의 출력을 피드백하여 설계한 슬라이딩 모드 페루프 제어시스템에 대한 성능실험을 수행하였다. 여기서 개루프 제어시스템은 Fig. 13에 표시된 엔진회전수와 부하에 따른 연료분사량에 의하여 만들어진 맵

Table 2 Experimental conditions

Engine state	Numerical value	Engine state	Numerical value
Engine Speed	2000rpm	Intake Air Temp.	25℃
Engine Load	20N	O ₂ Sensor Temp.	450℃
Atm. Pressure	740mmHg	Cooling Water Temp.	80℃
Emission Temp.	420℃		

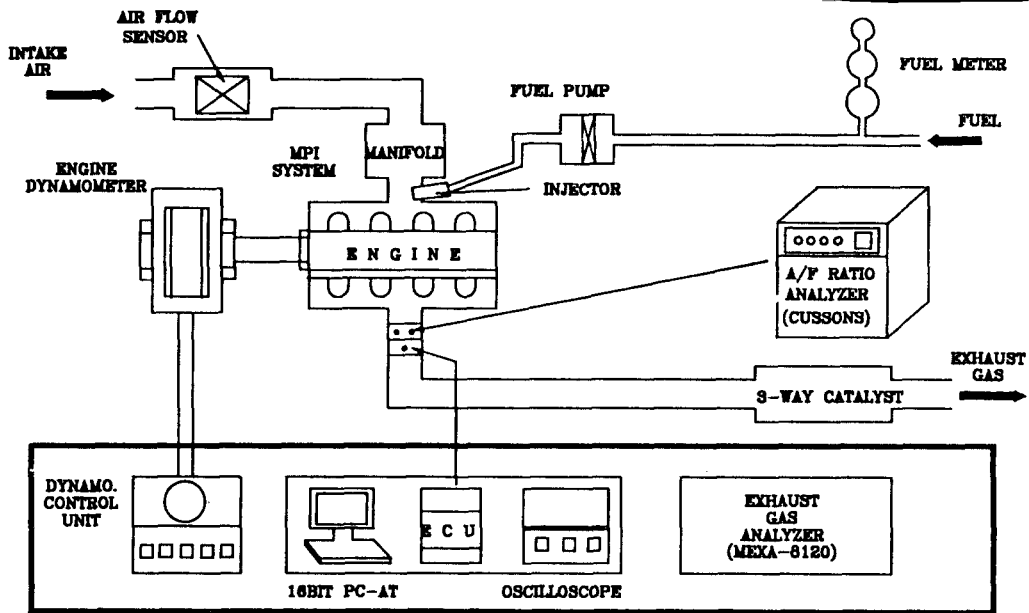


Fig. 12 Schematic diagram of the experimental system for the MPI engine

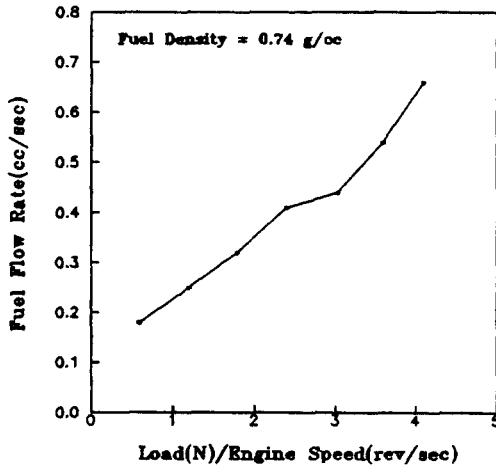


Fig. 13 Fuel-injection rate according to the ratio of load(N)/engine speed (rev/sec)

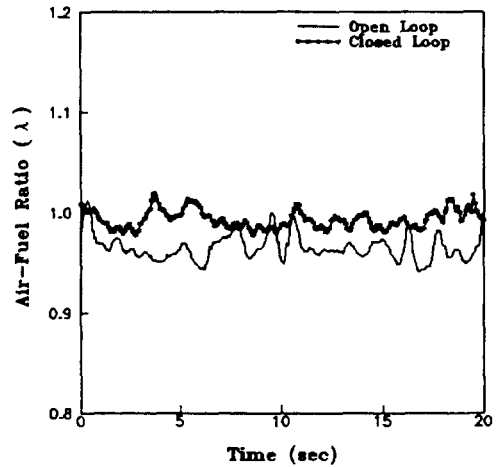


Fig. 14 Time responses of λ for the open-loop and closed-loop fuel-injection control systems

(map)을 이용하여 설계되었다.

정상상태의 응답특성을 파악하기 위하여 엔진회전수 2000rpm, 부하 20N인 정상 모드에서 공연비, 산소 센서의 출력전압 특성 그리고 배기가스 유해성분을 각각 측정하였다. 그리고 과도상태 응답특성을 파악하기 위하여 같은 운전조건에서 엔진회전수를 1500rpm에서 2000rpm으로 갑자기 변화시켜

그 때의 공연비와 회전수를 측정하였다.

6.2 엔진장착 실험결과 및 고찰

(1) 정상상태 응답특성

Fig. 14는 엔진회전수 2000rpm 부하 20N로 한 정속 모드의 운전 조건에서 개루프 및 폐루프 연료분사 제어시스템의 λ 에 관한 시간응답을 나타낸

그림이다.

개루프 제어시스템의 경우는 λ 가 약 0.965 ± 0.03 (공연비: 14.2 ± 0.45)으로서 조금 농후한 공연비로 엔진이 작동되고 있다. 이는 Fig. 13에 의하여 설정된 연료분사량이 다소 농후하게 선정되어 있음을 의미한다. 그리고 슬라이딩 모드 페루프 제어시스템이 경우는 λ 가 약 1 ± 0.02 (공연비: 14.65 ± 0.3)으로서 평균 공연비가 이론 공연비 근처에서 작동하고 있으므로 '설계사양을 만족하고 있다.

본 연구에서 설계된 슬라이딩 모드 페루프 제어시스템은 단지 연료분사량만을 피드백 제어하고 있다. 그렇지만 공연비의 변화를 더욱 감소시켜 보다 안정된 엔진 상태가 되도록 하기 위해서는 많은 실험을 통하여 엔진 작동시에 미치는 여러 상태변수들의 효과를 정확히 파악하여 연료분사량과 점화시기를 동시에 결정해야할 것이다. 다시 말하면 여러 가지 상태변수들을 계속적으로 파악하여 학습치를 계산하고 그 학습치에 따라 엔진을 작동시키는 학습제어(learning control)를 해야할 것으로 사료된다.

이제 이러한 공연비 상태에서 배기가스 유해물질의 절대량과 3원촉매 변환기의 변환효율에 대하여 알아보기로 한다. Table 3은 개루프 및 페루프 제어시스템의 배기가스 유해성분 즉, CO, THC, 그리고 NO_x의 절대량을 비교, 분석하기 위하여 3원촉매 변환기 전후에서 측정된 배기가스 유해성분에 관한 실험결과 및 배기가스 규제치를 나타내고 있다.

3원촉매 변환기의 앞에서는 개루프 및 페루프 제어시스템에 관한 배기가스 유해성분의 절대량이 배기가스 규제치보다 많은 양을 배출하고 있으며, 개루프 제어시스템은 페루프 제어시스템보다 CO와 THC가 약 15% 그리고 NO_x가 약 6% 정도 배기가스를 더 배출하고 있다.

그러나 3원촉매 변환기를 통과하였을 경우에는 통과하기 전보다 개루프 제어시스템의 경우는 CO가 약 1/2.3, THC가 약 1/2.9 그리고 NO_x가 약 1/175로 감소하였으며, 슬라이딩 모드 페루프 제어시스템 경우에는 CO가 약 1/10.4, THC가 약 1/10 그리고 NO_x가 약 1/220로 감소하였다. 따라서 3원촉매 변환기를 통과하였을 경우 슬라이딩 모드 페루프 제어시스템은 개루프 제어시스템보다 CO가 약 5.2배, THC가 약 4배 그리고 NO_x가 약 1.3배에 달하는 양의 배기가스 유해물질의 감소효과를 가져왔으며, 또한 배기가스 CO, THC, NO_x의 절대량이 모두 Table 3에 표시된 배기가스 규제치를 만족하였다.

그렇지만 CO와 THC의 절대량이 다소 크므로, 이를 좀 더 감소시킬 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 유해 배기가스의 배출량은 일반적으로 공연비의 영향뿐만 아니라 엔진 설계체원이나 운전 상태 등 여러 인자들에 의하여 영향을 받고 있다.

따라서 유해 배기가스의 배출량을 감소시키기 위해서는

- (i) 연소실에서의 압축비 적정화, 연소실 표면적과 용적비의 적정화, 밸브오버랩의 적정화,
- (ii) 흡기계통에서의 흡입다기관 형상개량, 자동 온도조절식의 에어크리너의 채용, 배기가스의 재순환장치 사용,
- (iii) 연료계통에서의 연료분사 장치 사용, 감속시 제어장치 등의 사용,
- (iv) 점화계통에서의 점화장치 개량, 점화시기 제어장치 개발,
- (v) 배기계통에서의 3원촉매 변환기의 사용, 2차 공기 공급장치 사용, 산소 센서의 설치 등과 같은 복합적인 장치의 사용이 수반되어야 한다.

그러나 본 연구에서 구성한 ECU의 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템은 배기가스 규제치를 만족하고 있으므로 본 연구의 설계 목적을 만족시키고

Table 3 Exhaust Emissions of the open-loop and closed-loop fuel-injection control systems

System	Open loop		Closed loop		Regulation value
	Before	After	Before	After	
TWC Catalyst					
CO(%)	1.8	0.78	1.56	0.15	1.2
THC(ppm)	4600	1600	4000	400	400
NO _x (ppm)	700	4	660	3	990

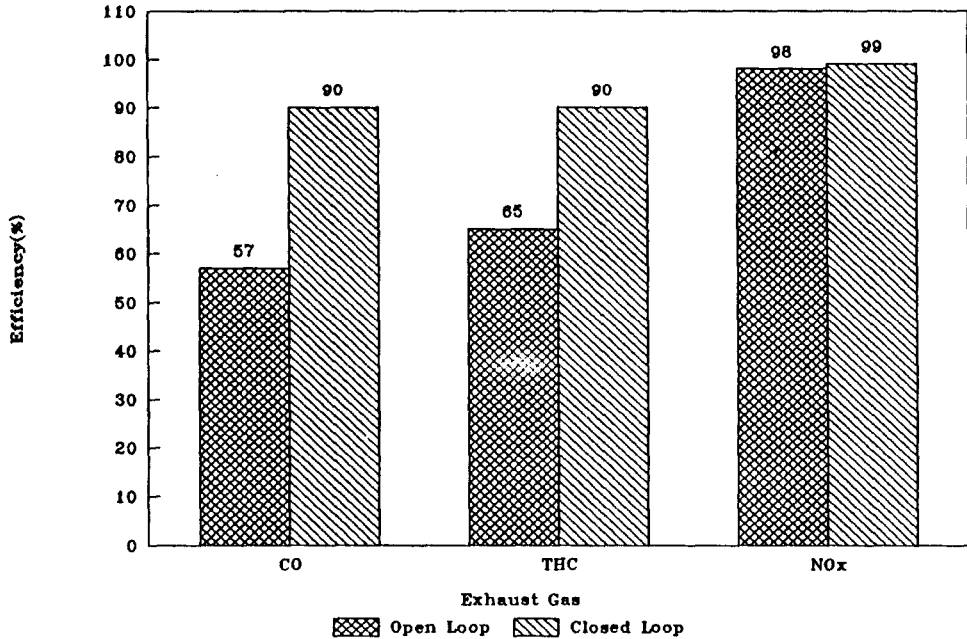


Fig. 15 Conversion efficiency of 3-way catalyst for the open-loop and closed-loop fuel-injection control systems

있다. 그리고 Fig. 15는 Table 3의 배기가스 유해성분의 절대량을 3원촉매 변환기의 변환효율로 표시한 그림이다. 이 그림에서 슬라이딩 모드 페루프 제어시스템은 3원촉매 변환기의 변환효율을 90% 이상으로 유지시켜 주고, 개루프 제어시스템보다 CO가 약 1.6배, THC가 약 1.4배 그리고 NO_x는 1.03배 정도의 높은 효율 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 Fig. 14의 공연비에 관한 정상상태 시간응답과 Fig. 16의 유해성분 CO, THC, NO_x에 관한 3원촉매 변환기 변환효율의 일반적인 경향⁽¹³⁾으로부터 충분히 그 결과를 예측할 수 있다.

(2) 과도상태 응답특성

Fig. 17은 정상상태 응답특성 실험과 같은 엔진 운전조건에서 엔진회전수를 1500rpm에서 2000rpm으로 갑자기 변화를 주었을 때 즉, 흡입공기량이 갑자기 많이 들어왔을 때에 개루프 및 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템의 공연비 과도응답 성능을 나타낸다.

이와같이 흡입공기량이 급격히 변화하여도 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템은 그에 상응하는 연료분사량을 분사하여 공연비를 항상 이론 공연비 근처(14.7±0.3)의 값으로 유지시켜 주고 있다.

또한 과도상태의 운전상태는 엔진이 가감속될 때와 같은 상황이므로 이론 공연비 제어보다는 회전

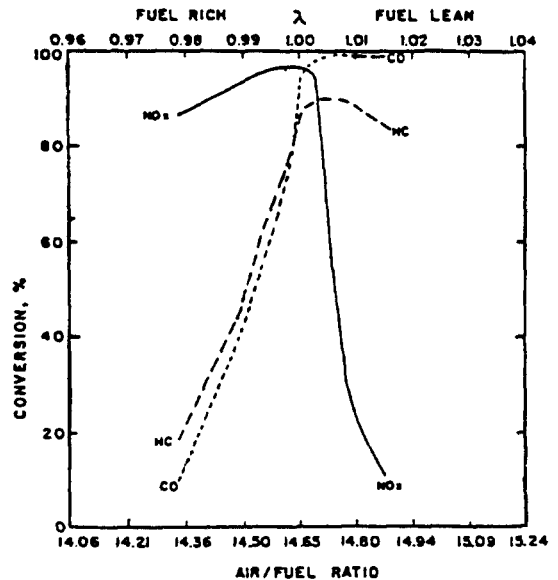


Fig. 16 Conversion efficiency of 3-way catalyst according to A/F ratio

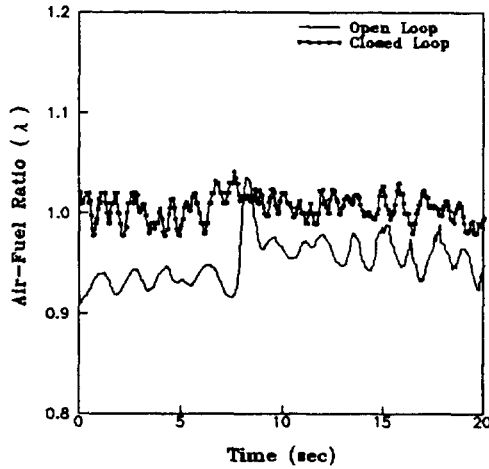


Fig. 17 Time responses of λ for the open-loop and closed-loop fuel-injection control systems (1500 \rightarrow 2000rpm)

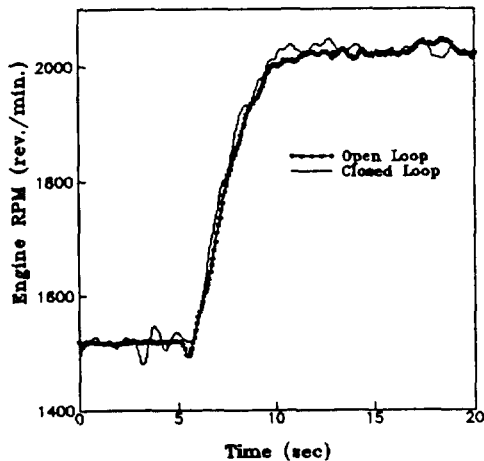


Fig. 18 Time responses of engine RPM for the open-loop and closed-loop fuel-injection control systems

수 추종성능에 그 제어목적이 있으므로 엔진회전수의 추종성능을 알아보면 Fig. 18과 같다.

여기서 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템은 아주 양호한 회전수 추종성능을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템은 흡입공기량이 급격히 변하는 과도상태에서도 바람직한 공연비 응답성능과 회전수 추종성능을 가지고 있다.

위와같은 엔진장착 실험결과로부터 슬라이딩 모

드 연료분사 제어시스템은 바람직한 정상상태 및 과도상태 응답성능을 가지고 있음을 알 수 있다. 그렇지만 배기가스 제어뿐만 아니라 연료소비율과 동력(power)을 엔진 모드에 따라 종합적으로 고려할 수 있는 제어시스템의 설계가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

7. 결 론

본 연구에서는 MPI 가솔린 엔진의 3원촉매 변환기의 변환효율을 최대화시킬 수 있도록 모델링오차나 외란 등의 불확실성과 비선형성에도 강인성을 가지는 슬라이딩 모드 제어방법을 도입하여 새로운 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템을 설계하였다. 먼저 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 슬라이딩 모드 제어방법의 유용성을 입증하고, 이러한 이론적인 근거를 바탕으로 공연비를 이상적으로 제어하면서 점화시기도 자동적으로 조절할 수 있는 ECU의 하드웨어 및 소프트웨어를 구성하였다. 그리고 완성된 ECU의 신뢰성을 확인하기 위하여 엔진모사 실험을 수행하였고, 실제 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템의 정상상태 및 과도상태 응답특성을 파악하기 위하여 엔진장착 실험을 수행하였다. 이러한 실험을 통하여 얻은 결과들을 요약하면 다음과 같다.

(1) 엔진모사 실험에 의하면, 전자 제어시스템의 인젝터 최소 구동 펄스폭은 1.7msec이고, 각 기통별 연료분사량의 분포는 균일하다.

(2) 구동 펄스폭의 증가에 따라 연료분사량은 엔진 작동회전수(600 \rightarrow 6000rpm)에서 거의 선형적으로 증가하므로 컴퓨터를 이용하여 쉽게 연료분사량을 제어할 수 있다.

(3) 실제 엔진장착 실험에 의하면, 정상 모드에서 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템은 엔진을 항상 이론 공연비 근처(14.7 ± 0.3)에서 작동하도록 하여 3원촉매 변환기의 변환효율을 극대화시킴으로써 유해 배기가스를 만족스럽게 감소시킬 수 있다.

(4) 또한 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템은 엔진회전수가 급격히 바뀌어도 양호한 엔진회전수 추종성능을 가지면서 이론공연비 근처의 값으로 제어하는 바람직한 과도응답 성능을 갖는다.

끝으로 본 연구에서 개발한 ECU는 단지 연료분사량만을 조절하여 공연비를 피드백 제어하고 있으므로, 배기가스의 유해성분을 이상적으로 감소시키는 것은 상당히 어려운 점이 많을 것으로 생각된

다. 따라서 실제 배기가스 유해물질의 감소는 공연비의 정확한 제어뿐만 아니라, 흡기계통, 배기계통, 연소실제통장치 등 모든 장치들의 개선, 그리고 공연비가 각 엔진 상태변수들의 영향을 받고 있으므로 슬라이딩 모드 연료분사 제어시스템이 보다 양호한 성능을 보이기 위해서는 많은 실험을 통하여 공연비에 미치는 각 상태변수들의 영향을 고려해야 하고, 아울러 노킹(knocking) 센서를 통한 점화시기 제어시스템의 개발, 산소 센서를 급속회박연소 센서나 광영역(wide-range) 공연비 센서로 대체하는 것 등으로 ECU의 하드웨어 및 소프트웨어를 보완하여야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정 연구 개발 사업으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) "배기가스 규제 및 대책", 현대자동차 보고서, 1987.
- (2) Slotine, J. J. E. and Sastry, S.S., 1983, "Tracking Control of Nonlinear Systems Using Sliding Surfaces with Applications to Robot", Int. J. of Control, Vol. 38, No. 2, pp. 465~492.
- (3) Slotine, J. J. E., 1984, "Sliding Controller Design for Non-Linear Systems", Int. J. of Control, Vol. 40, No. 2, pp 421~434.
- (4) Yuen, W.W. and Serati, H., 1984, "A Mathematical Engine Model including the Effect of Engine Emissions", SAE paper No. 840036.
- (5) Cook, J.A. and Powell, B.K., 1987, "Modeling and Analysis of Inherently Multi-Rate Sampling Fuel Injected Engine", Trans. of ASME, Vol. 109, pp. 405~413.
- (6) Boam, D.J., Finaly, I.C. and Martins, J.J. C., 1989, "A Model for Predicting Engine Torque Response during Rapid Throttle Transients in Port-injected Spark-ignition Engines", SAE paper No. 890565.
- (7) Olbrot, A. W. and Powel, B. K., 1989, "Robust Design and Analysis of Third and Fourth Order Time Delay Ststems with Application to Automotive Idle Speed Control", Proceedings of American Control Conference, Vol. 2, pp. 1029~1039.
- (8) Cho, D. I. and Hedrick, J. K., 1988, "Sliding Mode Fuel-Injection Controller: Its Advantage", The American Society of Mechanical Engineers, WA/DSC-38.
- (9) Shiga, H. and Mizutani, S., 1988, Car Electronics, Nippondenso Co.
- (10) Cho, D. I and Hedrick, J. K., 1988, "A Nonlinear Control Method for Fuel-Injected Automotive Engines", ASME Trans. J. of Eng. for Gas Turbines and Power, pp. 1~9.
- (11) 김종식, 황이철, 1989, "연료분사식 엔진을 위한 슬라이딩 모드 제어기 설계", 대한기계학회논문집 제 13권 제6호, pp. 1147~1155.
- (12) 성낙원 외 다수, 1989, "고성능 가솔린 엔진용 배기가스 감소기술 개발(1)", 한국기계연구소 연구보고서.
- (13) Falk, C. D. and Mooney, J. J., 1980, "Three-Way Conversion Catalysts: Effect of Closed-Loop Feedback Control and Other Parameters on Catalyst Efficiency", SAE Paper No. 800462.