

<논 문> SAE NO. 96370054

## 연료량 변조법에 의한 연료분사식 가솔린엔진의 공연비 제어

### Modulated Fuel Feedback Control of a Fuel Injection SI Engine

박 경 석,\* 박 진 일,\* 고 상 근,\*\* 노 승 탁,\*\* 이 종 화\*\*\*  
K. S. Park, J. I. Park, S. G. Go, S. T. Ro, J. W. Lee

#### ABSTRACT

For the air-fuel ratio control in a fuel injection SI engine, the Jump-Ramp control algorithm has been widely adopted by using the on/off type oxygen sensor. But the Jump-Ramp control method has limitation on treating the frequency and amplitude of the air-fuel ratio oscillation. This study suggests another feedback control logic named modulated fuel feedback control, which has a concept of pre-tuned air-fuel ratio oscillation. In the modulation method, the oxygen sensor output is not treated as on/off signal but as analog signal for feedback. By using the modulation method, the frequency and the amplitude of air-fuel ratio oscillation can be adjustable to some extent for improving the conversion efficiency of the Three-Way Catalyst. The result shows that the performance of the modulation method is better than that of Jump-Ramp control method in reducing the amplitude of the air-fuel ratio oscillation as well as in increasing the frequency of the air-fuel ratio oscillation.

주요기술용어 : Air-fuel ratio control(공연비 제어), PI control(비례 적분 제어), modulated fuel feedback control(연료량 변조 피드백 제어), Conversion efficiency(변환 효율), Oxygen sensor(산소센서), Three way catalyst(삼원촉매장치)

#### 1. 서 론

가솔린 기관 차량에서 연료 제어시스템은 엄격

한 배기가스 유해 배출물 규제를 만족시키기 위해서 엔진으로 유입되는 공연비를 정밀하게 제어할 수 있어야 한다. 이를 위해 대부분 공연비 제어 시스템에서는 상용으로 널리 쓰이고 있는 스위치형 산소센서를 이용한 비례-적분 피드백 제어 방법을 사용해 오고 있다<sup>1),2)</sup>.

현재의 스위치타입 산소센서는 이런 공연비 근

\* 정회원, 서울대학교 대학원 기계공학과

\*\* 정회원, 서울대학교 기계공학과

\*\*\* 정회원, 아주대학교 기계공학과

처에서 출력이 급격히 변하는 비선형적 특성을 보이므로, 공연비의 정량적인 측정은 거의 불가능하고, 다만 이론 공연비 근처에서 열음과 진함밖에 구별할 수 없다. 이와 같은 산소센서의 특성으로 인해 전자제어 장치는 현재까지도 비례-적분 제어 방법을 피드백 제어로직으로 사용하고 있다. 엄밀히 말하자면, 현 비례-적분제어는 정량화된 에러를 피드백하는 제어가 아니므로, 정량화된 에러를 사용하는 일반적인 비례-적분제어와 구분하기 위해 Jump-Ramp 방법이라고 불리기도 한다.

이 Jump-Ramp 제어 방법은 적용하기에 비교적 간단하다는 장점이 있지만, 공연비 변화가 정상상태(steady state)에서 한계 사이클(limit cycle)에 부딪히게 된다는 단점도 또한 지니고 있다<sup>1),2)</sup>. 즉, 산소센서 출력 특성상 에러가 0이 되지 않기 때문에 연료량이 일정한 기간동안 줄었다가 늘어나는 형태만 계속적으로 되풀이 된다. 이에 따라 공연비 오차도 또한 더 이상 줄어들지 않고, 어느 일정 오차구간을 계속적으로 왕복하게 된다.

한편, 삼원촉매장치의 정화 효율에 관련되는 요소를 알아내거나 정화 효율을 증가시키기 위한 방법에 대해서도 몇 가지 연구가 이루어져 왔다<sup>3)~5)</sup>. 그 중 Matsunaga<sup>4)</sup>의 연구를 보면, 공연비가 이론 공연비근처에서 주기적으로 오실레이션 하는 경우, 공연비 오실레이션의 주파수가 커질수록 정화 효율은 좋아진다고 발표하였다. 또한 실제 차량에 대해 실험한 Adomaitis<sup>5)</sup>의 결과를 보면, 공연비 오실레이션 진폭이 낮을수록 그리고 주파수가 클수록 좋은 정화 효율을 나타냄을 발표하였다. 그러나, 이러한 측면에서 볼 때, 현재의 jump-ramp 방법은 한계 사이클 때문에 삼원촉매장치의 정화 효율에 영향을 미친다고 여겨지는 공연비 오실레이션의 진폭 및 주파수 특성의 최적화 또는 개선에는 어느 정도 한계를 가질 수 밖에 없다<sup>2)</sup>.

한편 현재와 같은 스위치타입 산소센서의 단점을 보완할 수 있는 센서로는 광영역 공연비 센서(Wide Range Air-Fuel Ratio Sensor)<sup>6)</sup>가 있으며, 이를 이용한 제어 방법도 또한 많이 연구되

고 있다<sup>7)~9)</sup>. 광영역 공연비 센서는 희박연소엔진에서의 공연비 제어와 같은 특수목적으로 일부 이용되고 있으나, 삼원촉매를 사용하는 시스템에 적용되기에는 가격이 비교적 높다는 점이 단점으로 생각된다. 또한 현재와 같은 스위치타입 산소센서를 이용하되 제어기법의 연구를 통해 정밀한 공연비 제어를 가능하게 한다면, 굳이 고가의 광영역 산소 센서를 엔진제어에 도입할 필요성이 없다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는, 현 스위치타입의 산소센서를 이용하지만, jump-ramp 방법의 단점을 극복하기 위한 새로운 방안으로서 연료량변조에 의한 피드백 제어 방법을 제안한다. 이 방법은 정상상태에서 현재 널리 적용되고 있는 Jump-Ramp 제어보다 공연비 변화폭을 줄일 수 있을 뿐 아니라 삼원촉매 장치의 정화효율을 고려하여 공연비 오실레이션의 주기를 조절할 수도 있다.

## 2. 연료량 변조에 의한 제어 방법

MPI엔진에서 연료량을 결정하는 가장 중요한 요소는 공기량이다<sup>10)</sup>. 일반적으로 공기량은 공기량센서로부터 측정 되는데, 흡기의 맥동, 유량계의 보정, 엔진 노후 등 여러 원인에 의해 오차가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 공연비 오프셋(offset)에러는 산소센서를 이용한 피드백 콘트롤에 의해 보정된다.

Fig.1은 Jump-Ramp 피드백에 의한 연료량 제어를 보여주는 대표적인 예이다. 정상상태

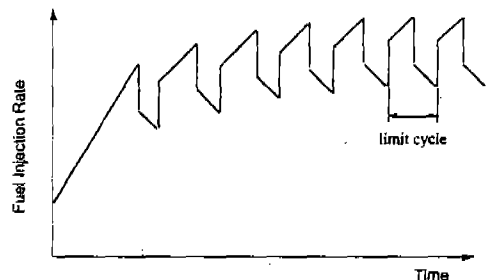


Fig.1 A typical variation of the fuel rate by the Jump-Ramp control logic.

가 유지되면서부터 연료량은 거의 일정하게 같은 형태만 되풀이 되는 한계 사이클 영역에 도달한다. 이 한계 사이클에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 바로 연료 분사량의 변화에 의해 나타나는 공연비 변화의 시간 지연(time delay)과 시간 상수(time constant)이다<sup>2)</sup>. 이들 중에서 시간 상수는 산소센서의 응답 특성 과도 관련이 있겠지만, 결정적으로 연료 전달 메커니즘에 달려있다. 즉, 흡기포트에서 연료 분사량을 갑자기 증가시키더라도 그 즉시 배기포트에서 그 효과가 나타나지는 않는다는 것이다. 산소센서의 출력 전압은 열은 공연비에서 대략 0.1V이고, 진한 공연비에서 대략 0.9V이다. 중간 전압인 대략 0.5V를 기준으로 하여 열음과 진함만을 구별하는 Jump-Ramp 로직에서는 순수전달지연시간 뿐만 아니라 이러한 시간 상수도 시스템의 시간 지연 효과에 큰 비중을 차지하게 된다. 따라서 연료공급방식을 개선하여 연료 전달 메커니즘을 빠르게 한다면, 제어 시스템의 제어 주기는 줄어들고, 한계 사이클의 주파수는 증가하게 될 것이다. 그러나 기존의 가솔린 연료분사시스템에서 연료 전달 메커니즘의 개선에 의한 제어 주기 향상은 연료의 특성 등에 의해 제한될 수 밖에 없다.

또한 위에서의 전체시간 지연(순수지연+시간 상수)의 효과로 인해 공연비의 오버슈트가 발생하게 된다. 이 전체 시간 지연은 엔진회전수의 역함수 형태인데, 실제 엔진에서 사이클시간으로 따지면 거의 10사이클 정도나 되기 때문에 엔진회전수가 높지 않을 때에는 산소센서가 열음 또는 진함 영역에서 오랫동안 포화된 출력을 나타내게 된다. 이 과도한 배기가스의 공연비 변화 진폭의 크기는 산소센서의 공연비 판단 가능 진폭보다 항상 훨씬 더 크게 된다. 물론 Fig.1에서 적분상수값을 반으로 줄여 공연비 변화폭을 줄일 수도 있겠으나, 그렇게 되면 한계 사이클의 주기 시간이 증가한다든가 시스템이 불안정해 지는 것 등의 효과도 수반하게 된다. 따라서 Jump-Ramp 제어 방식으로는 공연비 변화폭을 줄이면서 동시에 한계 사이클의 주파수를 크게 하기 어렵다.

본 연구에서 제안하는 연료량변조방법의 기본 개념은 먼저 산소센서의 출력을 취급하는 방법에 있어서 Jump-Ramp 제어 방식과 다르다. 연료량변조방법은 산소센서의 출력을 on/off로 보지 않고 아날로그신호로서 취급한다. 그러나 산소센서의 아날로그 출력특성은 비선형성이 매우 크기 때문에 아날로그 출력측정값 각 점마다 공연비 계산을 할 수는 없다. 따라서 몇 점의 평균값으로 평균적인 공연비를 계산하는 것이 비교적 신뢰성 있는 방법이다. 그러나 이러한 계산이 쉬운 것은 아니다. 왜냐하면, 산소센서가 진한 쪽 또는 열은 쪽으로 포화하게 될 경우, 아날로그 정보를 더 이상 이용할 수 없기 때문이다. 따라서 평균값 계산을 위해서는 어느쪽으로도 포화되지 않은 상태를 만드는 일이 중요하다. 여기서, 한 가지 주목할만한 점이 있는데, 그것은 바로 산소센서의 응답시간이 비교적 빠르다라는 것이다. 즉, 실제로 높은 엔진회전속도에서 실험해 본 결과, 산소센서 자체는 연료 전달 시간 지연과 시간 상수값보다 훨씬 적은 시간 상수값을 가진다. 따라서 만약, 연료량에 작은 변화라도 있으면, 그 변화는 시간이 지난 뒤에 대략적으로 산소센서에 나타나는 것이다. 이러한 사실을 바탕으로, 연료량 변조 방법은 미리 정해진 주파수와 크기를 가지는 연료량의 고의적인 교란을 삽입한다. 즉, 비교적 짧은 주기를 갖는 미소 진폭의 연료량 변화를 고의적으로 본연료 분사량에 합하여 연료를 분사하는 것이다.

연료량변조는 두가지 중요한 의미를 가진다. 첫째는 연료량변조를 통해 산소센서가 포화되는 것을 방지하여 전자제어 장치가 대강의 평균적인 공연비를 정량적으로 계산할 수 있도록 한다는 것이다. 두번째는 여기서 고의적으로 삽입한 연료량 모듈레이션주기를 현 jump-ramp 방법의 시간 지연값보다 훨씬 짧게 하여 삼원촉매정화장치에 정화 효율 향상을 위해 공연비 오실레이션 주파수를 크게 만들 수 있다는 것이다. 뿐만 아니라 모듈레이션 진폭을 작게 하여 공연비변화폭을 더욱 줄일 수 있다. 본 연구에서는 이 방법을 연료량모듈레이션에 의한 피드백 제어라고 명명한다.

아래의 식 (1)과 같이 연료량 모듈레이션을 정의하고 그림으로 간략하게 나타내면 Fig.2와 같다.

$$T_{inj} = T_{base} + T_m + T_{fb}$$

$$T_m = T_a, \text{ if } 0 \leq t < \frac{t_f}{2}$$

$$T_m = 0, \text{ if } \frac{t_f}{2} \leq t < t_f \quad (1)$$

- $T_{inj}$  : 1회 분사시 총 연료 분사량(ms/stroke)
- $T_{base}$  : 공기량 센서에 의한 기본 분사량(ms/stroke)
- $T_m$  : 모듈레이션에 의한 연료량(ms/stroke)
- $T_{fb}$  : 산소센서에 의해 피드백되는 연료량(ms/stroke)
- $T_a$  : 모듈레이션 크기(ms/stroke)
- $t_f$  : 모듈레이션 주기(stroke)
- $t$  : 시간(stroke)

연료 분사량은 일반적으로 인젝터 구동 시간에 선형적으로 비례하므로 연료량을 인젝터 구동 시간으로 나타내었다. 총 연료 분사량은 세부분으로 구성된다. 첫째는 기본 분사량으로서 스토름바디에 위치한 유량계에서 측정된 흡입 공기량에 따른 연료량이다. 두번째는 고의적으로 주어지는 모듈레이션 연료량으로서 이것은 실험적으로 결정할 수 있는데, 시스템의 안정성과 촉매의 정화 효율 등을 고려하여 최적의 값을 선정한다. 마치

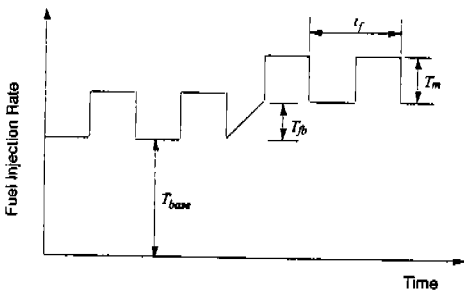


Fig.2 Variation of the fuel rate by the modulation method.

막으로는 피드백 연료량으로 산소센서에 의해 정량적으로 측정된 값을 평균하여 계산한다. 이 피드백 계산 주기는 모듈레이션 1사이클당 1회인데, 이것은 모듈레이션 효과에 의해 나타나는 공연비의 정량적인 값을 평균하여 사용하기 위함이다. 즉, 산소센서 출력평균값( $V_{avg}$ )은 연료량 모듈레이션 1주기 동안 샘플링한 산소센서 출력값을 평균한 값이다. 따라서 산소센서 출력평균값( $V_{avg}$ )은 매 모듈레이션 주기마다 변하게 되는데, 출력목표치와 출력평균값의 차이, 즉 에러값( $V_{err}$ )은 1 또는 0이 아닌 정량적인 값을 갖는다. 이 에러값을 피드백하는 제어로직은 Jump-Ramp가 아니라 식 (2)와 같은 전형적인 비례-적분(Proportional-Integral)제어가 된다.

$$T_{fb}(i) = K_p \cdot V_{err}(i) + K_I \cdot \sum_{k=0}^i V_{err}(k) \quad (2)$$

- $K_p$  : 비례상수
- $K_I$  : 적분상수

그러나 이러한 정량적 PI제어는 모듈레이션 효과가 나타나는 정상상태에만 국한된다. 가속과 같은 비정상상태 후, 공연비가 당량비에서 떨어져 있다면, 산소센서는 계속 rich 또는 lean을 나타낼 것이고, 정량화된 에러값의 이용은 불가능하다. 따라서, 이 경우에는, 우선 적분상수값을 크게 하여 산소센서의 출력 평균값이 어느 범위에 들어올 때까지 기다려야 한다. 그 후, 정량화된 에러값의 이용이 가능해지면, 정상상태 적분상수값을 다시 사용한다. 이러한 상수값들은 각 엔진에 따라 실험적으로 구할 수 있을 것이다.

### 3. 제어 특성 실험

실험장치를 Fig.3에 간략하게 나타내었다. 엔진은 MPI(Multi Point Injection)타입으로서 스위치타입의 산소센서를 부착하고 있다. 상용 ECU(C-ECU)는 연료량, 점화시기, 공회전속도 등을 제어한다. 이 상용 ECU는 연료량 피드백

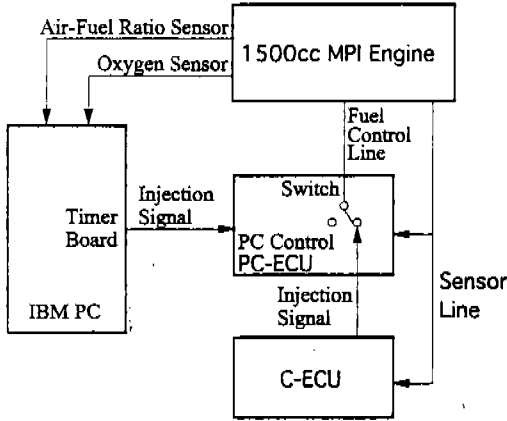


Fig.3 Schematic diagram of the experimental apparatus

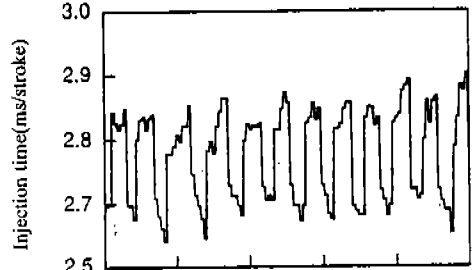
제어로직에서 Jump-Ramp제어를 사용한다. 이에 대해 특정실험을 위해 IBM PC를 바탕으로 한 전자제어 장치(PC-ECU)를 새로이 부착하였다. PC-ECU는 C-ECU의 기능을 대부분 대신하여 엔진을 제어할 수 있도록 설계되었는데, 모뎀레이션 제어 알고리즘은 이 PC-ECU에 의해 구현되었다. 제어라인은 PC-ECU 내부의 스위치에 의해 PC-ECU 또는 C-ECU로 전환될 수 있다.

산소센서만으로는 제어되는 정도를 비교하기가 어렵기 때문에 광영역 공연비 센서를 산소센서 근처에 부착하여 동시에 공연비를 측정하도록 하였다.

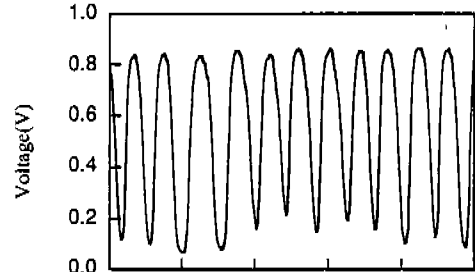
실험은 무부하 상태의 1400RPM 정도에서 수행하였다. 항상 이 조건이 유지되는 상태에서 인젝터 구동신호를 스위칭함으로써 PC에서 프로그램한 제어로직을 실험하였다.

3.1 정특성 실험결과

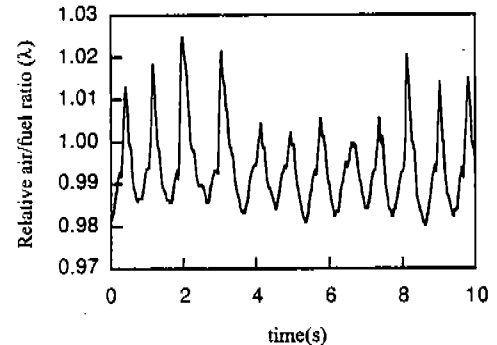
Fig.4은 정상상태에서 상용 ECU의 Jump-Ramp 피드백 제어 결과를 나타낸 것이다. Fig.4(a)의 연료분사시간의 변화를 보면, 약 0.25ms의 진폭을 보이면서 주기적으로 오실레이션함을 알 수 있다. 공기량의 작은 변동과 같은 영향으로 다소 불규칙하지만, Jump-Ramp제어의 전형적인 연료량변화 형태를 분명히 볼 수 있다. 또



(a) fuel rate



(b) oxygen sensor output

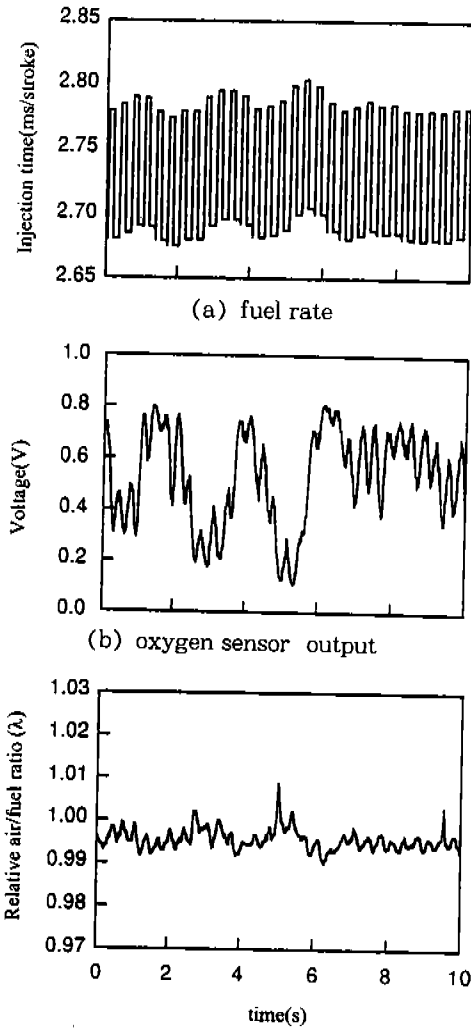


(c) wide band air-fuel ratio sensor output

Fig.4 Jump-Ramp control result by the C-ECU(1400rpm steady state)

한 이 변화는 Fig.4(b)의 산소센서출력과 동기되어 일어남을 알 수 있다. Fig.4(c)의 광영역 공연비 센서 출력을 보면, 공연비 오실레이션 주기가 약 1.2Hz, 공기과잉률( $\lambda$ )이 1.0을 기준으로 약  $\pm 2\%$  정도로 변하는 특성을 보인다.

Fig.5는 같은 조건에서 연료량 모뎀레이션에 의한 피드백 제어결과이다. fig.5(a)의 연료량 변화를 보면, 연료량이 모뎀레이션 된 것을 확실



(c) wide band air-fuel ratio sensor output

Fig.5 Modulation method result by the PC-ECU (1400rpm steady state)

히 알 수 있다. 전체적으로 연료량이 아래위로 조금씩 변하는 것은 Fig.5(b)의 산소센서 피드백에 의한 것이다. Fig.5(b)의 산소센서 출력을 보면, 출력 전압이 모듈레이션으로 인해 매우 불규칙하지만, Fig.4(b)에서 보다 포화 영역(출력 전압이 0.8V보다 크고 0.2V보다 작은 영역)에 머무는 시간이 적은 것을 알 수 있다. 이것은 평균적으로 보았을 때 공연비가 이론 공연비 근처

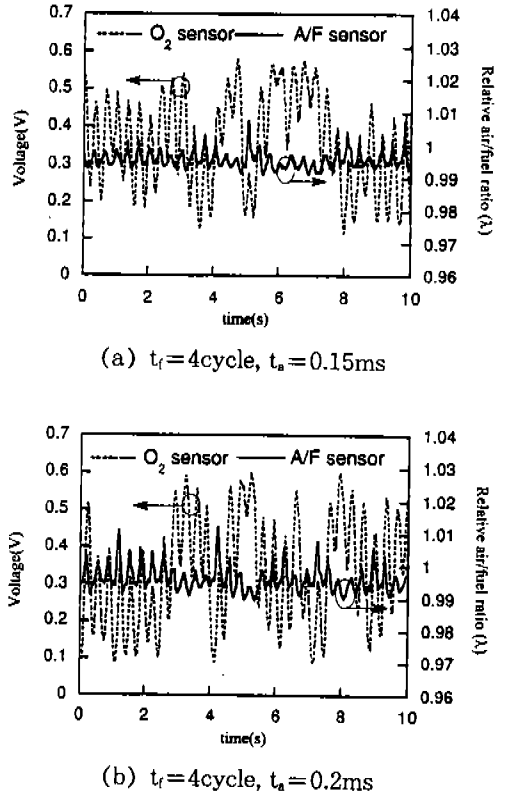
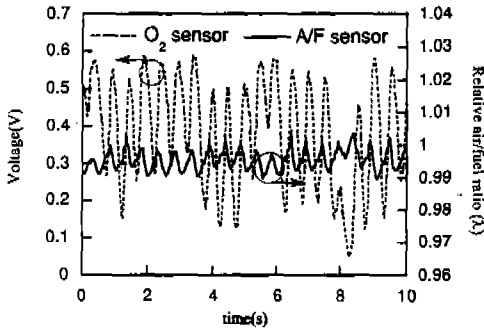


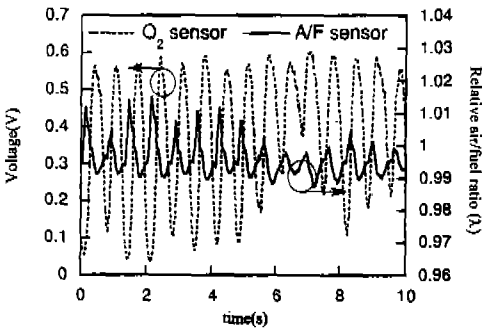
Fig.6 Modulation amplitude effect

에 있음을 나타내는 것이다. 따라서 부분적으로는 산소센서의 출력이 불안정해 보일지라도, 피드백은 안정성을 갖는다. Fig.5(c)는 모듈레이션 방법에 의한 제어 결과로 나타난 공연비 변화량을 나타낸 것이다. Fig.4(c)와 비교해 보면, 공연비 변화 주파수는 거의 두배 가량으로 증가된 반면, 공연비 변화 진폭은 매우 작다. 이 결과를 볼 때, 모듈레이션 제어가 Jump-Ramp 제어보다 우수함을 알 수 있다.

모듈레이션의 영향을 조사하기 위해 모듈레이션되는 연료량의 주파수와 진폭을 변화시켜 보았다. Fig.6은 일정한 모듈레이션 주기에 대한 진폭의 변화를 살펴 본 것이다. 예상할 수 있는 바와 같이, 모듈레이션 크기가 커지면 산소센서 신호의 주기적인 진폭 변화도 커지면서 안정은 되지만, 이에 따른 공연비 오차폭도 커짐을 알 수 있다. Fig.7은 모듈레이션 진폭 크기를 일정하게



(a)  $t_f=6\text{cycle}$ ,  $t_a=0.1\text{ms}$



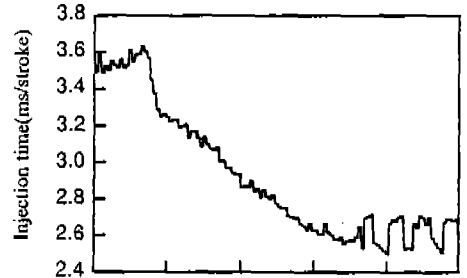
(b)  $t_f=8\text{cycle}$ ,  $t_a=0.1\text{ms}$

Fig.7 Modulation cycle period effect

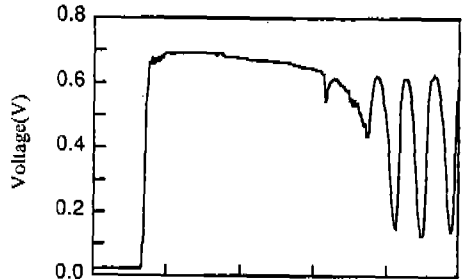
하고 모뮬레이션 주기의 변화에 따른 영향을 살펴본 것인데, Fig.6의 결과와 상응한다. 이러한 결과로 보아 모뮬레이션 제어 방법은 기존의 Jump-Ramp 제어보다 빠른 주파수로 연료량을 제어하는 동시에 공연비의 변화를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다. 다만 실제 이러한 방법을 적용하는데 있어서는, 삼원촉매장치의 정화효율과 시스템의 안정성을 고려하여 적절한 주파수와 진폭을 선택하여야 할 것이다.

3.2 과도특성 결과

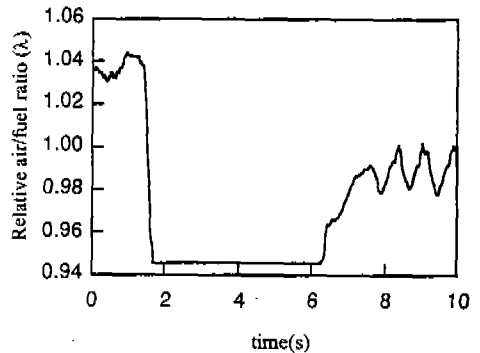
일반적으로 볼 때, 스톱/스타트의 급격한 변화를 수반하는 가속과 같은 비정상상태가 발생했을 때에는 공연비 오프셋 에러가 커지므로, 산소센서에 의한 피드백 제어는 불가능하다. 이러한 상황에서 연료량계산은 흡입 공기량의 변화에 의존할 수 밖에 없다. 따라서 비정상상태에 관한 연료량 제어는 본 연구에서 다루는 범위를 벗어나게 된



(a) fuel rate



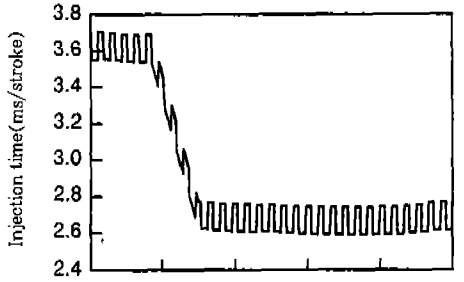
(b) oxygen sensor output



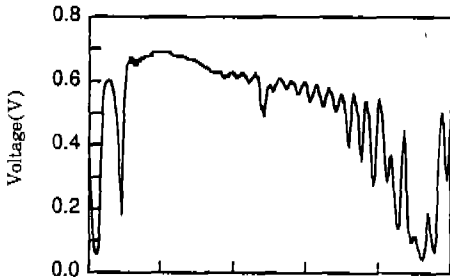
(c) wide band air-fuel ratio sensor output

Fig.8 Jump-Ramp control result by the C-ECU at transient state

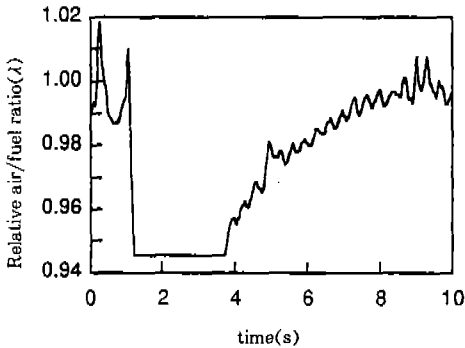
다. 그러나, 공기량에 의한 급격한 연료량의 변화 후에는 공연비 오프셋오차를 줄여 나가는 과도상태가 존재하고, 이 때부터 피드백 제어가 다시 수행된다. 이러한 관점에서 볼 때, 과도상태에 대한 모뮬레이션 방법의 적용가능성은 중요하므로 Jump-Ramp제어의 특성과 비교해 보았다. 상용 ECU의 Jump-Ramp 제어 특성을 보기 위해 일단 PC-ECU로써 공연비를 임의로 lean하게 만들어 상용 ECU의 연료량을 충분히 증가시



(a) fuel rate



(b) oxygen sensor output

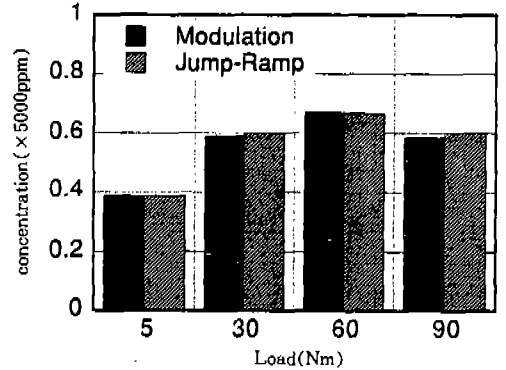


(c) wide band air-fuel ratio sensor output

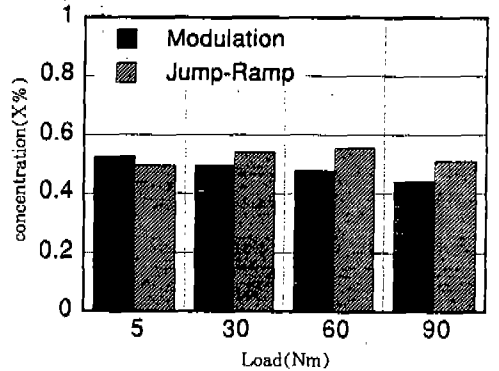
Fig.9 Modulation method result by the PC-ECU at transient state

킨 다음, 콘트롤을 상용 ECU 쪽으로 스위칭하였다. 이렇게 했을 때, Fig.8는 현 상용 ECU의 Jump-Ramp 제어결과이다. PC-ECU의 과도상태는 내부프로그램을 바꾸어서 같은 조건의 연료량 오프셋을 만든 후 수행하였는데, Fig.9이 그 결과이다.

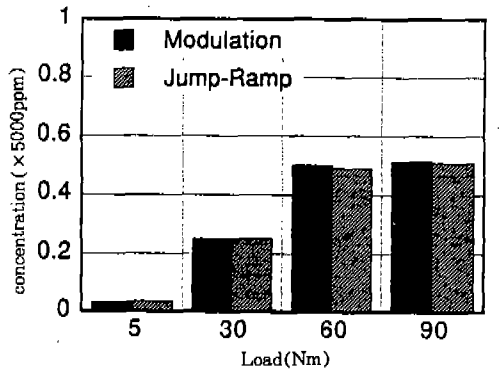
Fig.8(a)와 Fig.9(a)을 비교해 보면, 연료량의 초기오프셋은 거의 동일하다. 그러나 당량비 1.0으로의 세팅링시간을 비교해 보면, 모듈레이션



(a) THC



(b) CO



(c) NOx

Fig.10 Result of the exhaust gas analysis (1400rpm)

션 방법이 좀 더 빠르다. 이 이유는, 앞서 언급한 바와 같이, 산소센서가 포화되었을 때, 모듈레이션 제어의 적분상수값은 jump-Ramp의 Ramp 값보다 훨씬 컸기 때문이다. 그러나, 모듈레이션 제어의 적분상수값은 바꿀 수 있지만,



Jump-Ramp의 Ramp 값은 바꾸기가 쉽지 않은데, 그 이유는 Jump-Ramp제어에서는 공연비가 당량비 1.0에 근접했음을 정량적으로 알 수 없기 때문이다.

결과를 종합해 보면, 두 실험 방법에 조금 차이가 있고, 피드백 제어의 제어상수값이 다르므로 일반적으로 어느 방법이 좋다고 말할 수는 없다. 그러나 적어도 과도 상태시에도 연료량 모듈레이션에 의한 제어 방법이 가능함을 알 수 있다.

### 3.3 배기가스 배출농도에 미치는 영향 고찰

본 연구에서 제시한 모듈레이션 제어의 배기가스에 대한 효과를 보기 위해 일정한 1400rpm에서 부하를 변화시켜 실험하였다. 제어 방법에 따른 영향을 되도록 쉽게 파악할 수 있도록 배기가스는 삼원촉매장치를 통과하기 전의 상태에서 추출하여 분석하였으며, 냉각수 온도는 섭씨 90도 정도로 충분히 워밍업 상태에서 측정하였다.

Fig.10은 모듈레이션 방법과 jump-ramp 방법의 배기가스 분석 결과를 보여준다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 제어 방법에 따른 배기가스 유해성분의 배출농도 차이는 그리 크게 보이지는 않다. 그러나 특이하게 일산화탄소의 배출농도는 모듈레이션 방법의 경우 현저히 줄어든 결과를 보여준다. 일반적으로 배기가스의 배출농도는 공연비에 따라 큰 영향을 받게 되는데 본 비교실험의 경우 평균 공연비는 공기과잉을 1.0으로 동일한 조건이다. 그러나 공연비의 변동폭은 모듈레이션 방법의 경우 공기과잉을  $1.0 \pm 1\%$ 로서, jump-ramp 방법의  $1.0 \pm 2\%$ 보다 훨씬 크다. 배기가스중 일산화탄소의 배출농도는 공기과잉율에 크게 지배를 받는데, 모듈레이션 방법에 의해 줄어든 것은 공연비의 진폭이 그만큼 더 작아졌기 때문이라고 판단된다. 촉매의 정화 효율 및 저온에서의 미연 탄화수소의 배출에 관한 특성비교등은 추후 검토하여야 할 것으로 생각되나, 본 비교실험 결과는 모듈레이션에 의한 연료량제어에 대한 적합성 검토단계에서 유해배기가스의 배출농도에 미치는 영향이 긍정적임을 보여준다.

## 4. 결 론

스위치타입의 산소센서를 사용한 피드백 제어를 위해 연료량 모듈레이션 방법의 실제 적용가능성을 정상상태와 과도상태 실험을 통해 검증해 보았다. 모듈레이션 방법에서는 산소센서의 출력을 jump-ramp 방법과는 달리 아날로그 신호로 처리하고자 공연비가 포화되지 않도록 연료 분사량에 일정한 주기의 변동량을 추가하였다. 이러한 산소센서의 출력을 이용하여 연료 분사량을 비례적분 방식으로 제어한 결과, 광영역 공연비 센서를 쓰지 않고서 전자 제어 장치 내의 소프트웨어 변경만으로 공연비를 더욱 정밀하게 제어할 수 있었다.

정상상태 및 과도상태에서의 공연비 측정결과로부터, 모듈레이션 방법이 지금까지 사용되어 온 Jump-Ramp 방법보다 더욱 우수한 가솔린 엔진의 연료량 제어 방법으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 모듈레이션에 의한 공연비의 오실레이션 주기 향상 및 변동량 감소는 삼원촉매장치의 정화 효율 향상을 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 서울대학교 터보동력기계연구센터의 지원에 의해서 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. McDonald, W. R. Feedback Carburetor Control electronic Design for Improved System Performance. SAE paper 780654, 1978.
2. Hamburg, D. R. and Shulman, M. A. A closed-Loop A/F Control Model for Internal Combustion engines. SAE paper 800826, 1980.
3. Falk, C. D. and Mooney, J. J. 1980, "Three-Way Conversion Catalyst: Effects

- of Closed-Loop Feed-Back Control and Other Parameters on Catalst Efficiency”, SAE paper 800462.
4. Mastunaga, S., Yokota, K., Muraki, H. and Fujitani, Y. Improvement of Engine Emissions Over Three-Way Catalyst by Periodic Operations. SAE paper 872098, 1987.
  5. Adomaitis, J. R. and Heck, R. M. Vehicle Control Strategies Effect on Catalyst Performance. SAE paper 881597, 1988.
  6. Yamada, T., Hayakawa, N., Kami, Y. and Kawai, T. Universal Air-Fuel Ratio Heated Gas Oxygen Sensor and Further Applications. SAE paper 920234, 1992.
  7. Bush, K. J., Adams, N. J., Dua, S., and Markyvech C. R. Automatic Control of Cylinder by Cylinder Air-Fuel Mixture Using a Proportional Exhaust Gas Sensor. SAE paper 940149, 1994.
  8. Ault, B. A., Jones, B. K., Powell, D., and Franklin, G. F. Adaptive Air-Fuel Ratio Control of a Spark-Ignition Engine. SAE paper 940373, 1994.
  9. Hasegawa, Y., Akazaki, S., Komoriya, I., Maki, H., Nishimura, Y., and Hirota, T. Individual Cylinder Air-Fuel Ratio Feed-back Control Using an Observer. SAE paper 940376, 1994.
  10. Hendricks, E. and Jensen, M. Chevalier, A., and Vesterholm, T. Conventional Event Based Engine Control. SAE paper 940377, 1994.