

## 가솔린 엔진의 비정상 상태에 대한 Map 구성과 공기 및 연료 모델 개선

### Construction of Map for Transient Condition of a SI Engine and Refinement of Intake Air Model & Fuel Model

심연섭\*, 강태성\*, 강승표\*, 고상근\*\*  
Yonsob Shim, Taeseong Kang, Seungpyo Kang, S. Ken Kauh

#### ABSTRACT

For gasoline engines, a three-way catalytic converter that has the maximum efficiency at stoichiometric air/fuel ratio is used to clean up the exhaust gas. So a precise air/fuel ratio control is necessary to maximize the catalytic conversion efficiency. For a transient condition, a feed-forward air/fuel ratio control method that estimates the air mass inducted into a cylinder is being used. In this study, a fuel injection map that makes an accurate air/fuel ratio control possible was constructed for the very same transient condition. For the same condition above, intake air model and fuel model were refined so that fuel injection values based on air mass through a throttle valve and intake manifold pressure are equal to the map values.

주요기술용어 : Integration type ultrasonic flow meter(적분형 초음파 유량계), Air/fuel ratio control(공연비 제어), Transient condition(비정상 상태 조건), Fuel injection map(연료분사량 맵)

#### Nomenclature

$c_i$  : fuel fraction inducted directly to cylinder  
 $n$  : stroke index (1 stroke is 180° crank angle)  
 $\dot{m}$  : mass flow rate  
 $m_f$  : mass of fuel film  
 $m_{fi}$  : mass of fuel inducted into cylinder  
 $m_i$  : mass of fuel injected  
 $M$  : air mass  
 $p$  : pressure

$r$  : compression ratio  
 $\frac{c}{R}$  : gas constant of air  
 $T$  : temperature  
 $V$  : volume  
 $\eta_m$  : proportional constant of pressure  
 $\chi$  : air model parameter  
 $\tau_v$  : fuel evaporation constant

#### Subscripts

c : cylinder  
m : manifold  
th : throttle

\* 회원, 서울대학교 대학원 기계항공공학부

\*\* 회원, 서울대학교 기계항공공학부

## 1. 서론

가솔린 엔진의 경우 삼원촉매변환장치(three way catalytic converter)의 효율을 극대화 시키기 위해 정밀한 공연비 제어가 필요하다. 엔진이 정상 상태로 운전될 때에는 배기 매니폴드에 설치된 산소센서를 이용한 피드백 제어가 가능하나 엔진의 회전수와 부하가 급격하게 변하는 비정상 상태에서는 연료 분사량 계산시의 공기량과 실제 실린더 유입 공기량에 사이에 차이가 존재하므로 feed-forward 제어를 수행해야 한다.

선행 연구에서 적분형 초음파 유량계를 사용하여 스로틀 밸브를 통과하는 공기량을 측정하고, 공기량 모델과 one fuel film 모델을 적용하였다.<sup>1)</sup> MPI 엔진의 경우 closed valve injection에서는 연료 분사 시점과 혼합기 유입 시점 간에 차이가 존재하는데, 본 연구에 사용된 PC-ECU의 제어 알고리즘에서는 연료 분사량 계산 시점과 혼합기 유입이 끝나는 시점 간에 2행정 시간 지연이 존재한다. 이를 고려하여 PC-ECU를 이용해 비정상 상태 공연비 제어를 수행하였을 때, 상용 ECU로 제어하는 경우에 비해 전반적으로 우수한 공연비 제어가 가능하였으나 스로틀이 열리는 비정상 상태 조건에서 여전히 공연비의 희박, 농후 오차가 발생하게 된다.

본 연구에서는 동일한 비정상 상태 조건에 대해 반복 실험을 수행한 후, 광역산소센서의 시간 지연을 고려하여 비정상 상태 영역에서 발생하는 공연비의 최대 희박 오차와 최대 농후 오차를 줄일 수 있는 연료 분사량 맵을 작성하였다. 이렇게 작성된 맵을 동일한 비정상 상태 조건에 적용하여 정상 상태 공연비 제어와 비슷한 수준의 정밀한 제어 결과를 얻은 후, 이 연료 분사량 맵을 이용하여 공기량 모델과 연료 모델의 계수를 개선하였다.

## 2. 엔진 모델링

### 2.1 공기량 모델링

엔진이 비정상 상태일 때 공연비 제어를 위해서는 실린더 유입 공기량을 정확하게 계산하는

것이 매우 중요하다. 피스톤의 왕복 운동으로 인해 맥동 유동과 역방향 유동이 존재하는 흡기관 내에서 공기량을 정확하게 계산하기 위해서는 빠른 응답성을 갖고 역방향 유동을 감지할 수 있는 유량계가 필요하다. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위하여 공기청정기와 스로틀 바디 사이에 적분형 초음파 유량계를 설치하였다. 초음파 센서의 발신부와 수신부를 유동에 대한 순방향과 역방향으로 각각 설치하고, 발신부는 공통 신호를 사용하여 동시에 같은 위상과 같은 전압으로 초음파를 발사한다. 순방향 유동의 경우에는 발신부로부터 수신부까지 초음파가 도달하는데 걸리는 시간이 감소하고, 역방향 유동의 경우에는 반대로 그 시간이 증가하게 된다. 본 연구에 사용된 초음파 유량계는 두 경로의 음파의 전달 시간차를 이용해 유량을 계산한다. 그리고 1행정 동안의 센서 출력 전압을 하드웨어적으로 적분함으로써 1행정 동안 스로틀 밸브를 통과하는 공기량을 계산하였다. 한편, 흡기 매니폴드에 압력 센서를 설치하여 흡기관의 압력을 측정하였다.

스로틀 밸브부터 흡기 밸브까지를 검사체적으로 설정해 질량 보존의 법칙을 적용하면 다음의 관계식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dM_m}{dt} = \frac{V_m}{RT_m} \frac{dp_m}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_c \quad (1)$$

$$\frac{V_m}{RT_m} (p_{m,n} - p_{m,n-1}) = M_{th,n} - M_{c,n} \quad (2)$$

식 (2)는 1행정의 시간 간격에 해당하는 시간 스텝 n-1에서 n까지 식 (1)을 적분한 것이다. 결국 비정상 상태에서 스로틀 통과 공기량과 실린더 유입 공기량의 차이는 흡기 매니폴드의 압력 변화로 나타난다는 것을 의미한다.

한편, 흡기 행정 말기에는 흡기 밸브 양단의 압력, 즉 실린더 내부 압력과 흡기 매니폴드의 압력이 비슷해지므로 열역학적인 접근을 통해 실린더 내 공기량을 식 (3)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 은 실린더 내부 압력과 흡기 매니폴드 압력 사이의 비례 상수이다.

$$M_{c,n} = \frac{(P_{m,n} - P_r / \eta_m) V_d}{RT_m} \eta_m \frac{r_c}{r_c - 1} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 식 (2)의 압력 항을 소거하고 정리하면 실린더 내로 유입되는 공기량을 다음의 식으로 표현할 수 있다.<sup>1)</sup>

$$M_{c,n+1} = k M_{c,n} + (1 - \chi) M_{th,n+1} \quad (4)$$

$$k = \frac{V_m}{V_m + V_d \eta_{ch}}, \quad \eta_{ch} = \eta_m \frac{r_c}{r_c - 1}$$

공기 모델의 변수인  $\chi$ 는  $\eta_m$ 의 함수이지만  $\eta_m$ 이 10% 변할 때  $\chi$ 는 1.4% 밖에 변하지 않으므로  $\chi$ 를 상수로 생각할 수 있다.

## 2.2 연료 모델링

흡기 포트 내에서의 연료의 거동을 모델링하는 방법은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 두 개의 변수를 이용하여 비교적 정확하게 연료의 거동을 설명할 수 있는 one fuel film 모델을 사용하였다. 이것은 분사된 연료 중 일부는 직접 실린더로 유입되고 나머지는 흡기 포트에 액막(fuel film) 형태로 존재하다가 기화하여 다음 사이클에 실린더 내로 유입된다고 가정하는 것이다.<sup>2)</sup>

각각의 실린더를 독립적으로 고려하였을 때 분사된 연료량으로부터 실린더 유입 연료량을 계산하는 과정은 다음과 같다.

$$\frac{dm_f}{dt} = \dot{m}_d - \dot{m}_v \quad (5)$$

여기서  $m_f$ 는 흡기 포트의 벽면에 액막 형태로 존재하는 연료량,  $\dot{m}_d$ 는 인젝터에서 분사된 연료 중 벽면에 흡착되는 연료량,  $\dot{m}_v$ 는 연료 액막에서 기화하는 연료량을 의미한다.

$\dot{m}_v$ 이  $m_f$ 에 비례한다고 가정하면,

$$\dot{m}_v = \frac{1}{\tau_v} m_f \quad (6)$$

이다. 여기서  $\tau_v$ 는 연료의 기화 시상수이다. 1 사이클의 시간( $\Delta t$ ) 동안 각 인젝터에서 1회 연료 분사가 이루어지므로, 식 (5)와 (6)을  $\Delta t$ 동안 적분

하면 다음과 같다.

$$m_{f,n} = m_{f,n-1} + \dot{m}_d \Delta t - m_{v,n} \quad (7)$$

$$m_{v,n} = \frac{\Delta t}{\tau_v} m_{f,n-1} \quad (8)$$

하첨자  $n$ 이 1시간 스텝(1/4 사이클)을 가리키므로 4기통 엔진이 사용된 본 연구에서는 위 식과 같이 적분된다.

인젝터에서 분사된 연료 중에서 직접 실린더로 유입되는 연료의 비율을  $c_i$ 라고 하면, 매 흡기 행정시에 실린더로 유입되는 연료량은 결국 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$m_{fi,n} = c_i m_{i,n} + (\Delta t / \tau_v) m_{f,n-1} \quad (9)$$

여기서  $m_{fi,n}$ 과  $m_{i,n}$ 은 각각 실린더로 유입되는 연료량과 인젝터에서 분사된 연료량을 의미한다.

## 3. 실험 장치

### 3.1 실험 장치

본 연구에 사용된 엔진은 4실린더, 1500cc MPI 엔진이며 실험장치의 구성은 Fig. 1과 같다. 스로틀 밸브를 통과하는 공기량을 측정하기 위해 적분형 초음파 유량계를 스로틀 밸브 상류에 설치하였고, 이 유량계로부터 나온 신호가 적분기를 거쳐 PC-ECU에 입력된다. 엔진의 회전수와 부하 조절을 위해 크랭크축에 EC-type dynamometer를 직접 연결하였다. 스로틀 밸브에 직접 장착된 스테퍼 모터에 의하여 스로틀 밸브의 개폐가 제어된다. 한 펄스마다 0.72° 회전하는 5상 스테퍼 모터를 사용하여 미세한 각도 조절이 가능하도록 했으며, 자체 제작한 스테퍼 모터 제어기를 사용하여 회전 속도와 각도를 제어하였다. 공연비 제어 결과를 확인하기 위하여 배기관의 통합 지점에 광역산소센서를 부착하였다. 엔진을 제어하기 위하여 PC-ECU를 제작하였고, 이를 ISA-BUS를 통해 IBM-PC에 연결하여 엔진을 제어하고 데이터를 획득하였다.

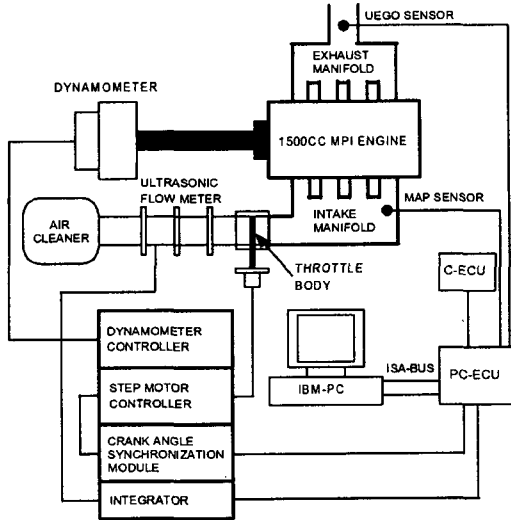


Fig. 1 Experimental setup

### 3.2 동일한 비정상 상태 구현

본 연구의 핵심은 스로틀이 열리는 비정상 상태에서 공연비의 희박, 농후 오차가 발생하지 않도록 하는 최적화된 연료 분사량 맵을 작성하는데 있었다. 따라서 다음과 같이 동일한 비정상 상태가 구현되도록 스로틀을 제어하였다.

첫째, 스로틀 밸브에 부착된 스텝퍼 모터가 일정한 크랭크 각도에서 회전하도록 하였다. 이는 한 사이클(cycle) 중 항상 일정한 시점에서부터 비정상 상태가 구현되도록 하기 위한 것이다. 본 연구에 사용된 PC-ECU는 크랭크 각도 센서 신호를 인터럽트 신호로 받아들여 제어를 수행한다. 크랭크 각도 6° 마다 하나의 펄스가 발생되므로 한 사이클은 총 120개의 펄스에 해당한다. 그런데 크랭크 각도 센서 신호에서 한 사이클 당 두 번, 동일한 지점에서 펄스가 사라지는 부분이 존재하는데, 이를 'Missing Tooth'라고 한다. Fig. 2에서 가장 위의 신호가 'Missing Tooth'를 포함한 크랭크 각도 센서 신호로서 'Missing Tooth'의 펄스 폭은 그 밖의 펄스 폭보다 2배 이상 크게 나타난다. 이러한 특성을 고려, 마이크로 컨트롤러(PIC16C74)를 사용하여 'Missing Tooth'를 검출할

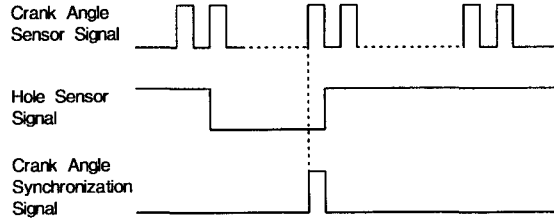


Fig. 2 The Principle of the creation of crank angle synchronization signal using crank angle sensor signal and hole sensor signal

수 있는 스텝퍼 모터 제어를 제작하였다. 한편, 홀 센서 신호는 항상 'High(1)'로 유지되다가 한 사이클 중 특정한 하나의 'Missing Tooth'를 포함한 영역에서만 잠시 동안 'Low(0)'로 떨어지게 된다. 이 두 센서의 신호를 이용하면 Fig. 2의 마지막 신호처럼 한 사이클 당 동일한 크랭크 각도에서 하나의 펄스를 발생시킬 수 있다. 이 신호를 '크랭크 각도 동기 신호'라 칭하였다.

둘째, 데이터 저장 시점으로부터 일정한 시점(50 사이클 후)에서 비정상 상태가 구현되도록 하였다. 이 과정을 Fig. 3에 나타내었다. 반복 실험을 통해 얻은 각 연료 분사량 맵을 앙상블 평균을 취했으므로, 데이터 저장 시점과 실제 스텝퍼 모터가 회전하여 비정상 상태가 구현되기까지의 시간 간격이 항상 일정해야 했다. 이 조건을 만족시키기 위해 데이터 저장 시점으로부터 정확히 50 사이클 후에 PC-ECU에서 스텝퍼 모터구동 예비 신호를 발생시키도록 하였다. 이 신호를 스텝퍼 모터 제어가 받아들인 후 바로 다음의 '크랭크 각도 동기 신호'를 트리거(trigger)로 하여 실제로 모터가 회전하도록 하였다.

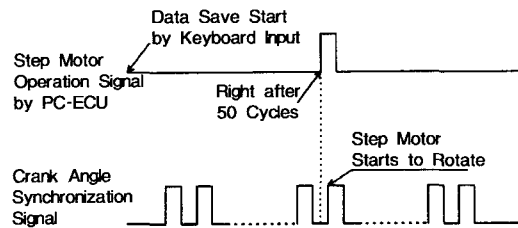


Fig. 3 Timing diagram of stepper motor operation

#### 4. 실험 방법 및 결과

##### 4.1 광역산소센서의 출력 특성

본 연구에서는 비정상 상태 공연비 제어를 위하여 여러 부사량 맵을 작성하기 위하여 배기 포트 합 지점에 설치한 광역산소센서의 출력을 이용하였다. 따라서, 본 연구에 사용된 실험 장치에서의 광역산소센서 응답시간을 정확하게 알 필요가 있었다. 센서의 응답시간은 배기가스 유량에 영향을 받는데 배기가스 유량은 엔진 속도와 부하에 영향을 받으므로 다양한 운전 조건에서 센서의 응답시간을 측정하였다.<sup>3)</sup>

PC-ECU로 엔진을 제어하면서, 일정한 양의 연료를 분사하다가 어느 한 시점에서만 연료 분사량을  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$  변화시켰다. 연료 분사량 변화에 따라 공연비에 농후, 또는 희박 오차가 발생하며, 연료 분사량 변화 시점으로부터 최대 오차 발생 지점 사이에는 약간의 시간 지연이 존재한다. 본 연구에서는 이 시간 지연을 특히 광역산소센서의 응답시간이라고 지칭하였다.

엔진 속도는 1800, 2000, 2200rpm이고, 부하는 0.45, 0.70, 0.90bar인 영역에서 실험을 수행하였다. 연료 분사량 변화율이  $\pm 10\%$ 와  $\pm 20\%$ 로서 서로 달라도, 응답시간을 포함한 센서 출력의 전반적인 특성은 큰 차이가 없었다. 따라서 출력 양상의 보다 확실하게 얻을 수 있는  $+20\%$ 의 때의 결과만을 나타내었다.

Fig. 4는 엔진 속도가 2000rpm일 때 각각의 부하에서 광역산소센서의 출력을 나타낸 것이다. x 좌표가 2(싸이클)인 지점이 연료 분사량 변화 시점이다. 부하가 0.45bar일 때 응답시간은 약 3싸이클이며, 0.70, 0.90bar일 때는 모두 약 2.5싸이클이었다. 고부하시에 최대 오차가 약간 더 크게 나타나는 이유는 부하가 커진 만큼 증가된 배기가스의 유량 때문인 것으로 해석할 수 있다. 또한 고부하시 응답시간도 약간 단축됐는데, 이것은 고부하일수록 배기 가스가 실린더 내로부터 광역산소센서 설치 지점까지 이동하는데 걸리는 시간이 감소하기 때문이다. 한편, 0.70, 0.90bar에

서 응답시간이 같게 나타나는 이유는, 특정 부하 이상에서 센서 응답 속도가 더 이상 빨라지지 않기 때문인 것으로 사료된다.

엔진 속도가 1800rpm, 2200rpm인 경우에도 응답시간은 2000rpm일 때와 마찬가지로, 부하가 0.45bar 일 때 약 3 싸이클, 0.70, 0.90bar 일 때는 모두 약 2.5 싸이클이었다. 위의 결과를 통해 실험을 수행한 각 엔진 속도에서 싸이클 수로 계산한 광역산소센서의 응답시간은 거의 일치한다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 연료 분사량을 20% 증가시켰을 경우, 각 엔진 속도와 부하에서 광역산소센서의 응답시간을 시간(초)의 개념으로 표시한 것이다. 엔진 속도가 증가함에 따라 응답시간이 단축됐음을 확인할 수 있다. 연료 분사량을 20% 감소시켰을 경우에도 매우 유사한 결과가 나타났다. 실제로 엔진 속도가 증가하면 단위 행정 당 시간이 줄어들고, 배기 가스 유량이 증가하기 때문에 시간 개념으로서의 광역산소센서의 응답시간은 감소하게 된다.

Fig. 6은 연료 분사량을 20% 증가시켰을 경우의 응답시간을 각 엔진 속도에서의 싸이클 수로 나타낸 것이다. 부하가 0.70, 0.90bar일 때 응답시간은 모두 2.5 싸이클이며, 부하가 0.45bar일 경우에도 그 차이는 1/4~1/2 싸이클에 지나지 않는다. 이것은 본 연구에 사용된 PC-ECU가 크랭크 각

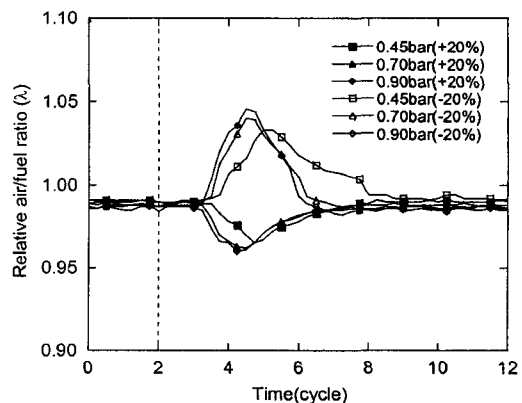


Fig. 4 Relative air/fuel ratio excursion when fuel injection is changed by(20% just once (2000rpm))

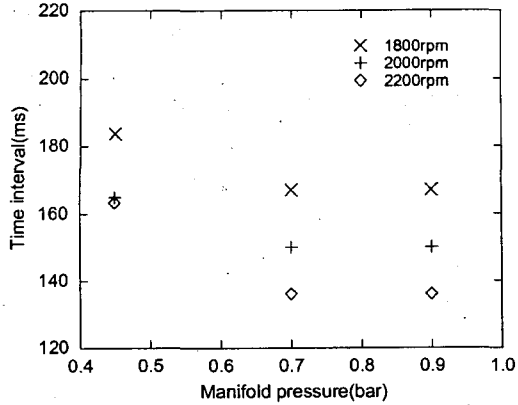


Fig. 5 Time interval represented by absolute time between fuel injection change and maximum deviation(20% increased fuel injection)

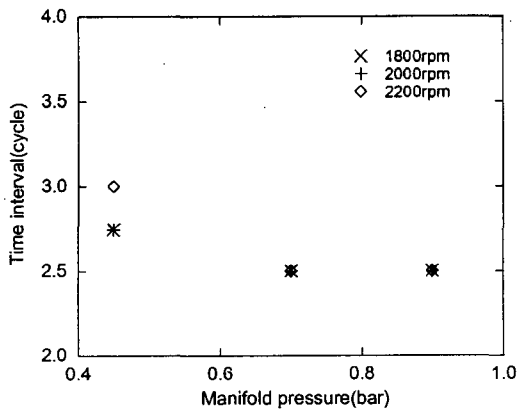


Fig. 6 Time interval represented by cycle of each engine speed between fuel injection change and maximum deviation(20% increased fuel injection)

도 센서 신호를 인터럽트 신호로 하여 구동하기 때문에, 각 엔진 속도에서 동일한 알고리즘으로 연료 분사량 맵을 작성할 수 있다는 이론적인 근거가 된다.

#### 4.2 연료 분사량 맵 작성

우선 PC-ECU를 이용하여 2장에서 설명한 모델링에 기반을 둔 비정상 상태 feed-forward 공연비 제어를 수행하면서 맵을 작성하는데 기본이 되는 연료 분사량, 상대공연비( $\lambda$ ) 등의 데이터를

획득하였다. 흡기 매니폴드의 압력 변화가 0.45~0.90bar가 되도록 하였고, 엔진 속도는 2000rpm으로 고정하였다. Fig. 7은 비정상 상태 실험 영역에서의 스로틀 위치 변화와 흡기매니폴드 압력의 변화를 나타낸 것이다. 스테퍼 모터의 회전 속도는 45°/sec이다.

광역산소센서의 응답시간을 고려하여 기초적인 연료 분사량 맵을 작성하고, 반복 실험으로부터 얻은 각 연료 분사량 맵의 양상불 평균을 취하여 평균적인 연료 분사량 맵을 작성하였다. 이렇게 작성된 연료 분사량 맵을 이용하여, 기초 데이터를 얻을 때와 동일한 비정상 상태에 대해 공연비 제어를 수행하면서 약간의 수정을 가해 비정상 상태 구간에서도 정상 상태에서와 비슷한 수준의 정밀한 공연비 제어를 할 수 있는 최적화된 연료 분사량 맵을 작성하였다.

Fig. 8에서 쇠선은 모델링에 기반을 둔 공연비 제어 수행시(즉, 기초 데이터를 획득할 때의 제어 방식)  $\lambda$ 의 추이를 나타내고, 실선은 최적화된 연료 분사량 맵을 적용하여 공연비 제어를 수행했을 때의  $\lambda$ 의 추이를 나타낸 것이다. Feed-forward 공연비 제어 수행시  $\lambda$ 의 최대 회박 오차값은 1.03, 최대 농후 오차값은 약 0.94였다. 그러나 맵을 이용하여 제어했을 때, 비정상 상태 구간에서도 1% 내의 정밀한 공연비 제어가 이루어졌음을 확인할 수 있다.

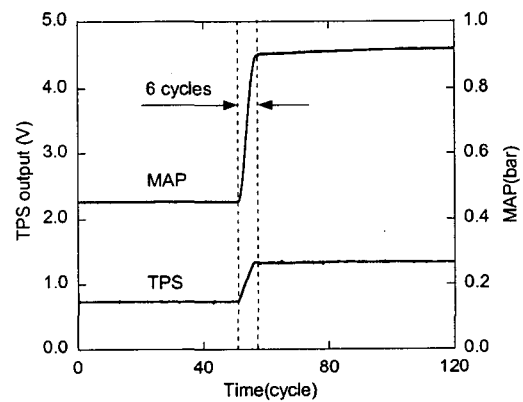


Fig. 7 The change of TPS and MAP at transient condition

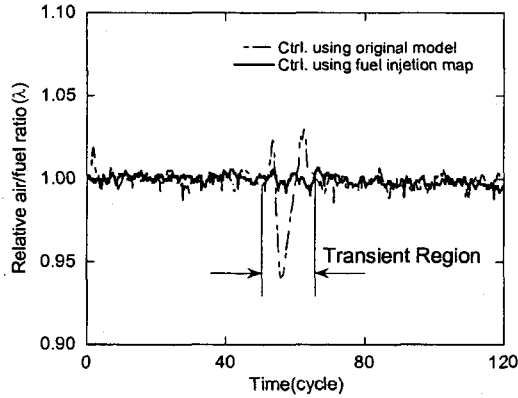


Fig. 8 Relative air/fuel ratio excursion during fast throttle opening, when controlled by optimum fuel injection map (2000rpm, 0.45~0.90bar)

### 4.3 모델 계수의 개선

본 연구의 최종 목적은 2장의 식 (4)와 (9)로 대표되는 공기량 모델과 연료 모델에 사용되는 계수들을 개선하는 것이었다.

각 모델에 사용되는 계수들은 엔진 운전 조건에 따라 그 값이 변하는 것으로 알려져 있다. 특히 기화 시상수  $\tau_i$ 는 냉각수 온도에 가장 큰 영향을 받는다. 그러나 본 연구에서는 엔진이 완전히 warm-up된 상태에서 실험을 수행했으므로 냉각수 온도의 영향은 무시할 수 있다. 또한 엔진 속도와 부하에도 영향을 받는데, 우선 부하 변동에 따른 값의 변화가 작은 편이다. 그리고 엔진 속도가 증가함에 따라  $\tau_i$ 는 감소하지만 그 만큼 한 사이클의 시간 역시 감소하므로 2000rpm 이상에서는  $\Delta t/\tau_i$ 가 거의 일정하다는 선행 연구 결과가 있다.<sup>4)</sup> 따라서 본 연구에서는  $x$ 와  $c_i$ 만을 고려 대상으로 삼았다.

연료 분사량 맵을 작성하는데 사용되었던 기초 데이터가 있으면 PC 프로그램 상에서 모델 계수를 바꿔 가며 새롭게 연료 분사량을 계산할 수 있다. 최적화된 연료 분사량 맵과 새로 계산한 연료 분사량을 비교하여 비정상 상태 구간에서 그 차이가 가장 작게 되는  $x$ 와  $c_i$ 를 결정할 수 있다.

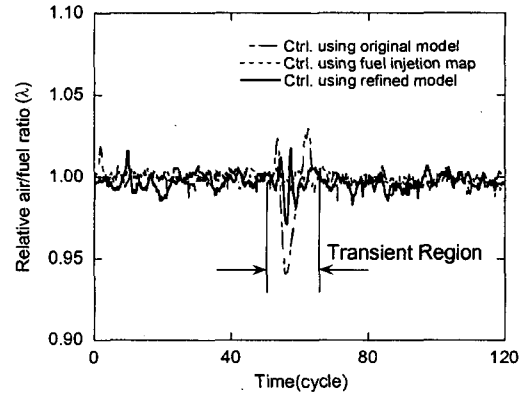


Fig. 9 Relative air/fuel ratio excursion during fast throttle opening, when controlled by refined model coefficients(2000rpm, 0.45~0.90bar)

이 작업이 프로그램 상에서 가능하므로 실제 실험을 통해 양질의  $x$ 와  $c_i$ 를 결정하는 것보다 훨씬 수월한 일이라 하겠다.

엔진 속도가 2000rpm으로 고정되어 있고 흡기 매니폴드의 압력이 0.45~0.90bar로 변할 때, 비정상 상태 구간에서 연료 분사량 맵과의 차이가 가장 작게 되는 경우는  $x=0.85$ ,  $c_i=0.67$ 일 때였다. Fig. 9는 새롭게 결정된  $x$ 와  $c_i$ 를 이용하여 동일한 비정상 상태에 대해 제어를 수행한 결과이다. 그림에서 실선이 개선된  $x$ 와  $c_i$ 를 이용하여 제어를 수행했을 때의 결과로서,  $\lambda$ 의 최대 농후 오차가 모델 계수 개선 전 0.94에서 0.97로 3% 정도 개선되었음을 확인할 수 있다. 그리고, 공연비의 응답속도는 개선 전보다 약 10사이클 정도 단축됨을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

적분형 초음파 유량계를 사용하여 스토틀 밸브를 통과하는 공기량을 측정하고, 실린더 유입 공기량 예측 모델과 one fuel film 모델을 적용하여 비정상 상태 공연비 제어를 수행하였다.

동일한 비정상 상태 조건에 대해 반복 실험을 수행한 후 광역산소센서의 응답시간을 고려하여 비정상 상태 조건에서 발생하는  $\lambda$ 의 희박, 농

후 오차를 크게 감소시킬 수 있는 연료 분사량 맵을 작성하였다. 동일한 비정상 상태에 대해 작성된 맵을 적용, 공연비 제어를 수행하여 정상 상태에서와 비슷한 수준의 정밀한 공연비 제어 결과를 얻을 수 있었다.

하나의 특정한 비정상 상태 조건에 최적화된 연료 분사량 맵을 이용하여, 공기량 예측 모델과 연료 모델에 사용되는 계수인  $x$ 와  $c_i$ 를 개선하였다. 개선된 모델 계수를 이용하여 비정상 상태에서 서 보다 향상된 공연비 제어 결과를 얻었다.

### 참 고 문 헌

- 1) 김중일, "적분형 초음파 유량계를 이용한 가솔린 엔진의 비정상상태 공연비 제어," 서울대학교 공학박사학위논문, 2000.
- 2) G. Almkvist, S. Eriksson, "An Analysis of Air to Fuel Ratio Response in a Multi Point Fuel Injected Engine Under Transient Condition," SAE 932753, 1993.
- 3) 박진일, "실린더별 공연비 차이를 고려한 광역산소센서의 출력 예측과 SI엔진의 공연비 제어," 서울대학교 공학박사학위논문, 1998.
- 4) P. J. Shayler, Y. C. Teo, A. Scarisbrick, "Fuel Transport Characteristic of Spark Ignition Engines for Transient Fuel Compensation," SAE 950067, 1995.
- 5) N. P. Fekete, U. Nester, I. Gruden, J. D. Powell, "Model-Based Air-Fuel Ratio Control of a Lean Multi-Cylinder Engine," SAE 950846, 1995.
- 6) J. S. Cowart, W. K. Cheng, "Throttle Movement Rate Effects on Transient Fuel Compensation in a Port-Fuel-Injected SI Engine," SAE 2000-01-1937, 2000.
- 7) 김중일, 장준석, 고상근, "적분형 초음파 유량계를 이용한 MPI엔진의 비정상상태 공연비 제어," 한국자동차공학회 논문집, 제7권 제9호, pp.36-47, 1999.
- 8) PIC Microcontroller User's Manual, Microchip, 1999.