

흡기포트 분사방식의 가솔린 엔진에서 냉시동시 혼합기 형성에 관한 연구

A Study on Mixture Preparation in a Port Fuel Injection SI Engine During Engine Starting

황승환*, 이종화**, 민경덕***
Seunghwan Hwang, Jonghwa Lee, Kyoungdoug Min

ABSTRACT

As the emission regulations on the automobiles have been increasingly stringent, precise control of air/fuel ration is one of the most important issues on the gasoline engines. Although many researches have been carried out to identify the fuel transport phenomena in the port fuel injection gasolines, mixture preparation in the cylinder has not been fully understood due to the complexity of fuel film behavior.

In this paper, the mixture preparation during cold engine start is studied by using a Fast Response Flame Ionization Detector(FRFID) In order to estimate the transportation of injected fuel from the intake port into cylinder, the wall wetting fuel model was used. The two coefficient(α , β) of the wall-wetting fuel model was determined from the measured fuel mass that was inducted into the cylinder at the first cycle after injection cut-in. α (ratio of directly inducted fuel mass into cylinder from injected fuel mass) and β (ratio of indirectly inducted fuel mass into cylinder from wall wetted fuel film on the wall) was increased with increasing cooling water temperature. To reduce a air/fuel ratio fluctuation during cold engine start, the appropriate fuel injection rate was obtained from the wall wetting fuel model. Result of air/fuel ratio control, air/fuel excursion was reduced.

주요기술용어 : Fuel transport phenomena(연료이송현상), Wall wetting fuel model(벽류연료모델), Cold engine start(냉시동), Air/fuel control(공연비 제어)

Nomenclature

[HC] : in-cylinder HC concentration

[HC]_{ex} : exhaust HC concentration

k : cycle number

M_{ind} : fuel mass inducted into cylinder

M_{inj} : fuel mass injected from injector

M_w : fuel mass accumulated on the wall

* 회원, 서울대학교 기계항공공학부

** 회원, 아주대학교 기계 및 산업공학부

*** 회원, 서울대학교 기계항공공학부

n	: number of moles
Y_r	: residual gas mole fraction at firing condition
$Y_{r,m}$: residual gas mole fraction at motoring condition
y	: H/C of fuel
α	: ratio of directly inducted fuel mass into cylinder from injected fuel mass
β	: ratio of indirectly inducted fuel mass into cylinder from wall wetted fuel film on the wall
ϕ	: fuel/air equivalence ratio

1. 서론

자동차 배기가스에 의한 지구환경문제가 심각해짐에 따라 세계 각국에서는 배기가스 규제법을 강화시키고 있으며, 특히 가솔린 자동차에서 발생하는 미연탄화수소는 대기중의 직접적인 오염원으로 인식되고 있어 그 규제치가 엄격한 수준으로 강화되고 있다.

흡기포트 분사 방식의 가솔린 엔진의 경우, 그 사이클에 분사된 연료는 모두 실린더로 유입되지 못하고 일부는 흡기포트에 연료액막을 형성하게 된다. 따라서 실린더로 유입되는 연료량은 그 사이클에 분사된 연료의 일부와 연료액막으로부터 증발한 연료를 합한 양이 된다.¹⁾ 분사한 연료중 실린더로 바로 유입되는 연료량과, 연료액막량은 흡기압, 포트 및 밸브의 온도등 여러 요인에 의해서 변하게 된다.²⁾ 정상상태의 경우 분사한 연료중 실린더로 바로 유입되는 연료량과 연료액막으로부터 증발되어 실린더로 유입되는 연료량이 일정한 비율로 유입된다. 따라서 분사한 연료량 만큼 실린더로 유입되어 비교적 공연비 제어가 간단하다. 하지만 과도상태인 경우 분사한 연료중 바로 유입되는 양과 연료액막량이 변하여, 분사한 연료량과 실린더로 유입되는 양에 차이가 발생하게 된다. 그 결과 공연비가 희박 또는 과농하게 되며, 심한 경우 부분연소 및 실화

가 발생하여 미연탄화수소 배출량을 증가시키게 된다.³⁾ 따라서 정확한 공연비 제어를 통한 미연탄화수소 배출량을 줄이기 위해서는 과도상태에서의 정확한 공연비 측정방법과 연료액막 거동분석을 통한 정확한 공연비 제어알고리즘의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 과도상태에서 각 사이클별 공연비를 측정하기 위해서 고속응답 미연탄화수소 측정장치(FRFID: Fast Response Flame Ionization Detector)를 이용하여 실린더내 미연탄화수소 농도로부터 공연비를 측정하는 방법에 대하여 연구하였고, 엔진 시동시 연료 이송현상에 관한 연구를 수행하기 위하여 벽류연료모델을 사용하여 온도에 따른 연료 이송현상에 관한 연구를 수행하였다. 이때 벽류연료모델의 각 계수는 고속응답 미연탄화수소 측정장치로 실린더내 미연탄화수소 농도를 측정하여 구하는 방법을 연구하였다. 그리고 벽류연료모델을 이용하여 엔진 시동시 공연비 제어 실험을 수행하였다.

2. 실험장치

본 연구에 사용한 엔진은 4기통 1.5리터 DOHC 가솔린 엔진이며, 흡기 밸브 개폐시기는 IVO: BTDC 8°, IVC: ABDC 42°이다. 흡기 포트내의 압력을 측정하기 위하여 절대압 센서(Kistler, 4045A)를 설치하였으며, 공연비는 광역산소 센서(Horiba, Mexa-8120)를 사용하여 측정하였다. 4번 실린더의 흡기 밸브와 흡기 포트의 온도를 측정하기 위해서 열전대를 설치하였고 연료 소비량을 측정하기 위해서 연료 유량계(AVL, 730)를 설치하였다. 연구 목적상 모터링이 가능한 동력계(AVL, APA-102)를 설치하였으며 엔진 제어를 위해서 PC-ECU를 설치하였다.

실린더내의 미연탄화수소 농도를 측정하기 위해서는 응답성이 매우 빨라야하며 샘플되는 가스의 양이 연소에 영향을 미치지 않아야 한다. FRFID는 기존의 FID보다 응답성이 매우 빠르며 (3-4ms) 미연탄화수소 농도를 거의 실시간으로

측정할 수 있다. 실린더내의 미연탄화수소 농도를 측정하기 위하여 FRFID(Combustion Ltd., HFR400)를 4번 실린더에 설치하였고, FRFID에 일정한 유량의 샘플링가스가 공급될 수 있도록 정압실(Constant Pressure Chamber)을 대기에 노출시켰다. 이때 정압실과 연소실(Flame Chamber)의 압력 차는 0.07bar로 하였다.⁴⁾ FRFID를 사용하여 배기 가스의 미연탄화수소 농도를 측정하기 위해서 4번 배기 밸브로부터 50mm떨어진 곳에 샘플 프르부가 위치하도록 설치하였다. 실험시 각 물리량은 A/D 컨버터에 의해 1도 간격으로 측정되어 PC에 저장된다.(Fig. 1)

3. 벽류연료모델 및 공연비 측정

3.1 벽류연료모델

연료 이송 모델로 많이 알려진 것은 2변수 모델인 벽류연료모델(Wall Wetting Fuel Model)이다.⁵⁾ 이 모델에서 실린더로 유입되는 연료량은 그 사이클에서 분사된 연료중 직접 유입되는 양과 흡기포트와 밸브주위에 존재하는 연료액막량으로부터 증발된 양의 합으로 나타낸다. 이것을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$M_{ind}(k) = \alpha M_{inj}(k) + \beta M_w(k-1) \quad (1)$$

$$M_w(k) = (1 - \alpha) M_{inj}(k) + (1 - \beta) M_w(k-1) \quad (2)$$

식에서 분사된 연료량은 연료유량계를 이용하여 측정할 수 있으며, 연료액막량은 엔진모터링중 분사한 연료량과 실린더로 유입된 연료량의 차를 적분하여 구할 수 있다. 이때 유입된 연료량은 FRFID를 이용하여 실린더의 미연탄화수

소 농도를 측정하고 식 (3)을 사용하여 유입된 질량으로 환산하여 구하였다.⁶⁾

$$M_{ind} = \frac{([HC]_k - [HC]_{k-1,ex} Y_{r,m}) M_{inj,s}}{1 - Y_r} \cdot \left\{ 1 + \frac{(1 + \frac{Y}{4}) \cdot 4.773}{\phi} \right\} \quad (3)$$

(3)식에서 모터링시 잔류가스 물분율은 모델링을 사용하여 구하였으며,⁷⁾ 배기 가스의 미연탄화수소 농도는 FRFID를 사용하여 측정하였다.

모델계수(α , β)는 다음의 방법으로 구할 수 있다. 엔진운전중 첫 번째 연료분사를 한 사이클에서 연료액막량(M_w)이 '0'이므로 식 (1)에서 β 항은 무시되고 α 에 의한 항만 남게 된다. 정상상태에서 모델계수 α 와 β 가 상수라고 생각할 수 있으므로 연료분사를 한 후 첫 사이클에서 분사한 연료량과 실린더로 유입된 연료량으로부터 식 (4)와 같이 α 를 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{M_{1,ind}}{M_{inj}} \quad (4)$$

연료분사 후 첫 번째와 두 번째 사이클의 실린더로 유입된 연료의 차이는 첫 번째 사이클에서 실린더로 유입되지 못한 연료액막으로부터 증발되어 유입한 연료이므로 첫 번째 사이클과 두 번째 사이클의 연료유입량을 연료액막량으로 나누어 식 (5)와 같이 β 를 구할 수 있다.(Fig. 2)

$$\beta = \frac{M_{2,ind} - M_{1,ind}}{M_{inj} - M_{1,ind}} \quad (5)$$

3.1 공연비 측정

일반적으로 공연비는 배기 가스 분석장치와 광역산소센서로 측정하고 있으나 배기 가스 분석기는 응답지연시간이 수초이며, 샘플링된 가스가 분석기에 도달하는 동안 혼합되기 때문에 사이클별 공연비를 측정할 수 없다. 또한 광역산소센서는 그 응답시간이 100ms로 다소 빠른 편이나 급격한 공연비 변화와 부분연소가 발생한 사이클에서는 정확한 공연비를 측정할 수 없

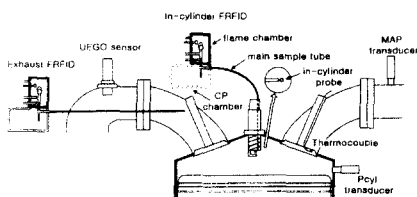


Fig. 1 Schematic diagram of experimental engine

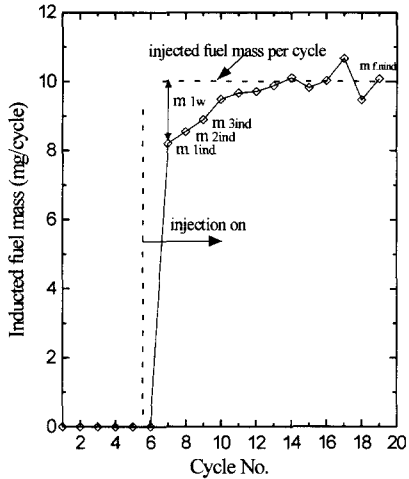
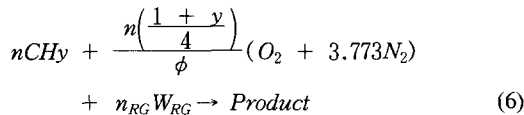


Fig. 2 Illustration of method to calculated wall wetted fuel mass, α and β after injection on

기 때문에 엔진 시동시와 급가감속과 같은 과도 상태에서는 정확한 공연비를 측정하는데 다소 문제점을 가지고 있다. 따라서 엔진 시동시 사 이클별 공연비는 FRFID로 실린더내 미연탄화 수소 농도를 측정하여 다음의 식으로부터 구하였다.

실린더내에서 혼합기와 잔류가스가 반응하는 화학방정식을 나타내면 식 (6)과 같다.



미연탄화수소의 물분율 [HC]정의로부터,

$$[HC] = \frac{n}{n + 4.773 * \frac{n(1 + \frac{y}{4})}{\phi} + n_{RG}} \quad (7)$$

잔류가스 물분율(Y_r)정의로부터,

$$Y_r = \frac{n_{RG}}{n + 4.773 * \frac{n(1 + \frac{y}{4})}{\phi} + n_{RG}} \quad (8)$$

로 표시될 수 있다. 식 (7)과 식 (8)을 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\phi = \frac{4.773 * (1 + \frac{y}{4})}{\frac{(1 - Y_r)}{[HC]} - 1} \quad (9)$$

위의 식과 같이 당량비는 사용연료의 H/C비와, [HC], Y_r 의 함수로 정의된다. 이때 연료의 H/C비로는 1.87을 대입하였으며, [HC]는 FRFID에 의한 측정값을 대입하였다. 잔류가스량은 엔진이 정상적으로 운전될 때의 실린더내의 미연탄화수소 농도와 점화신호만을 끊은 후 실린더내의 잔류가스가 모두 제거되고 혼합기만으로 채워졌을 때의 농도차로부터 구할 수 있다.⁷⁾ 이때 혼합기의 동질성(homogeneity), 틈새(crevice)에 들어가거나, 연료가 오일에 녹는 영향을 제거하기 위하여 기체연료인 프로판 가스를 이용하여 측정하였다.

프로판을 연료로 사용한 정상상태 운전조건에서 광역산소센서로 측정한 공연비와 실린더내 미연탄화수소 농도로부터 계산한 값을 Fig. 3에 나타내었다.

정상상태에서 두 결과가 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다.

4. 실험 결과 및 고찰

가솔린 연료의 경우 여러 탄화수소 혼합물로 구성되어 있다. 일반적으로 표준 대기압에서 가솔린 연료의 증발온도는 30~200℃이다.⁸⁾ 그러

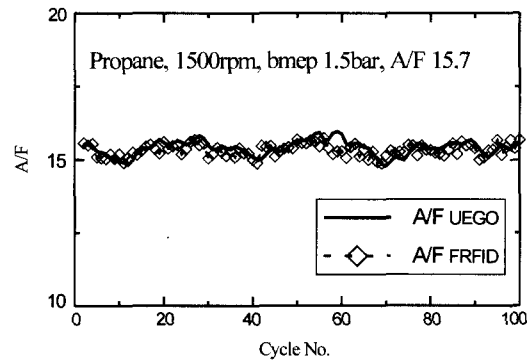


Fig.3 Comparison of A/F measured by UEGO and estimated from the HC concentration by FRFID

므로 엔진의 온도에 따라 연료액막량, α 와 β 가 변하게 되어 연료 이송현상이 변하게 된다. 온도에 따른 연료 이송현상을 알아보기 위해서 900 rpm, 흡기압 0.3bar에서 냉각수 온도를 30, 50, 70, 90 $^{\circ}$ C로 변화시키며, 연료분사량을 7mg/cycle로 일정하게 분사시켜 연료액막량과 α 와 β 의 변화를 살펴보았다. 이때 분사시기는 압축 상사점을 기준으로 BTDC120 $^{\circ}$ 로 하였으며 5회 반복실험을 하였다.

Fig. 4에 각 온도에 따라 5회 측정된 연료액막량의 평균값을 나타내었다.

연료액막량은 온도와 반비례하여 증가하는 경향을 보이고 있으며, 냉각수 온도가 30 $^{\circ}$ C 인 경우는 연료분사량의 약 17배 정도인 것으로 나타났다. 냉각수 온도가 90 $^{\circ}$ C일 때는 약 7배 정도로 30 $^{\circ}$ C보다 그 양이 약 2/5로 감소하였다. 모터링 상태에서 실험하였기 때문에 흡입 초기 과정동안 발생하는 역유동 가스의 온도가 낮아 실제의 경우보다 더 큰 값으로 나타났을 것으로 생각된다.

각 경우에 대한 α 와 β 의 5회 측정 평균값을 구하여 Fig. 5에 나타내었다.

α 와 β 모두 냉각수 온도가 증가 할 때 비례하여 증가하고 있으며, α 의 경우 30 $^{\circ}$ C일 때 0.38의 값을 나타내었으며, 90 $^{\circ}$ C 경우는 30 $^{\circ}$ C보다 약 1.3배 크게 나타났다. β 의 경우는 약 2배 정도 크게 나타났다.

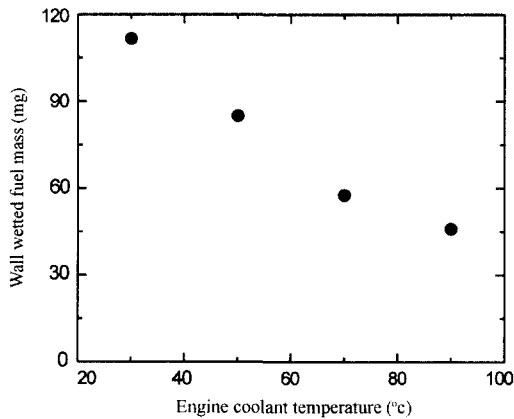


Fig. 4 Wall wetted fuel mass as a function of engine coolant temperature at 900rpm

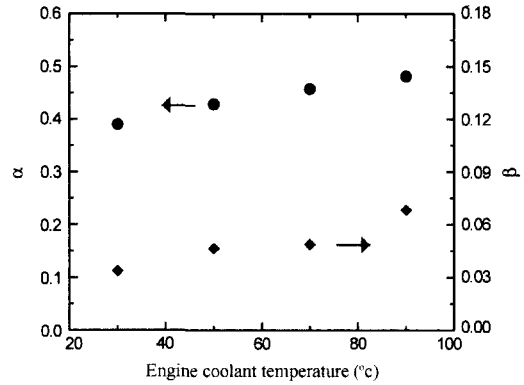


Fig. 5 α and β as a function of engine coolant temperature at 900rpm

앞의 실험 결과와 같이 엔진 시동시 엔진 온도가 낮기 때문에 분사한 연료의 일부만 유입되므로 연료를 보상하지 않는 경우 실화가 발생하게 된다. 엔진 시동 상태를 모사하기 위해서 900 rpm, 냉각수 온도 30 $^{\circ}$ C, 흡기압 0.3bar로 모터링하다 시동 3분 후 당량비가 14.6이 되는 연료량인 7.7mg/cycle을 분사하였다. 그 실험 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

연료분사후 첫 사이클에서 분사한 연료의 일부만이 유입되어 실린더내 미연탄화수소 농도가 낮게 나타나고 있다. 그 후 연료액막량의 증가에 따라 그로부터 증발되어 유입되는 연료량이 많아져 실린더내 농도가 증가하는 것을 알 수 있다. 약 6사이클후 첫 연소가 일어났으며, 연소가 일어나기 전까지 실화에 의해서 실린더내 혼합가스가 그대로 배출되어 배기가스내 미연탄화수소 농도가 높게 나타나고 있다. 첫 연소가 일어난 사이클 이후에도 부분연소와 실화가 부분적으로 발생하여 배기 가스의 미연탄화수소 농도가 높게 나타나고 있다.

Fig. 7에 광역산소센서와 실린더내 미연탄화수소 농도로부터 계산한 공연비를 나타내었다.

첫 연소가 일어난 6번째 사이클의 공연비가 약 20정도를 나타내고 있다. 그 이후에도 연료액막량이 일정한 값으로 수렴되지 않아 공연비가 희박하게 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같은

이유에 의해서 첫 연소후 한동안 부분연소와 실화가 발생하는 것을 알 수 있다.

광역산소센서로 측정된 결과를 살펴보면 연소가 일어나기 전까지는 측정을 하지 못하고 있으며, 연소가 일어난 후에도 실린더내 미연탄화수소 농도로부터 계산한 결과보다 희박하게 나

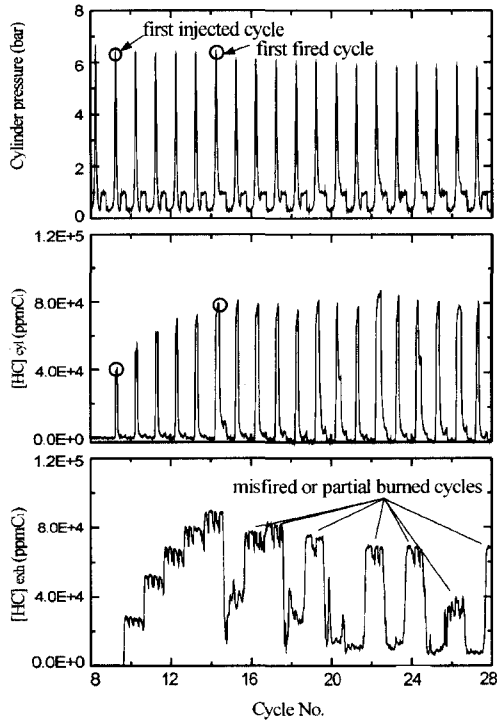


Fig. 6 Behavior of cylinder pressure, HC concentration measured by in-cylinder and exhaust FRFID during engine starting without fuel compensation

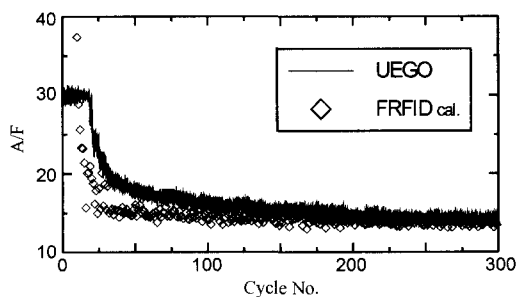


Fig. 7 Behavior of A/F measured by UEGO and A/F estimated from the HC concentration during

engine starting without fuel compensation

타나고 있다. 광역산소센서의 경우 그 응답지연 시간이 길고 또한 배기가스 중 산소 농도로부터 공연비를 계산하기 때문에 부분연소가 일어나는 구간동안 배기가스내의 산소농도가 정상연소보다 높게 나타나 희박하게 측정되는 것으로 판단된다. 따라서 엔진 초기 시동시와 같은 과도 상태에서 광역산소센서를 사용하여 공연비를 측정하는 것은 부적당함을 확인 할 수 있다.

엔진 시동시 공연비 제어를 위해서 벽류연료모델을 사용하여 분사 연료량을 구한 후 엔진 시동 모사 실험을 수행하였다. 실험 조건은 앞의 경우와 같으며, 벽류연료모델 계수는 시동전의 냉각수 온도인 30℃에서 구한 $\alpha : 0.38$ 과 $\beta : 0.045$ 를 사용하였다. 시동 후 엔진 온도 상승에 따른 계수값의 변화는 고려하지 않았다. 계산한 연료분사량과 연료액막량을 Fig. 8에 나타내었다.

벽류연료모델로 계산한 첫 사이클의 연료분사량은 정상상태의 3.6배로 계산되었다. α 값에 의하면 약 2.6배를 분사해야 하나 첫 사이클에서는 연소한 잔류가스가 없기 때문에 잔류가스량만큼 공기가 채워져 있으므로 이의 영향을 반영하게 되면 연료분사량이 3.6배로 커지게 된다. 두 번째 분사량은 첫 번째 분사량의 3/5로 감소하게 되는데 이는 앞 사이클에서 증발하지 못한 연료에서 일정비율이 증발하게 되며, 또한 잔류가스의 성분이 연소가스이므로 잔류가스가 차지하는 몰수만큼 연료량을 분사하지 않아도 되기 때문이다. 그 다음 사이클부터 연료액막량으로부터 유입되는 연료량의 증가에 의해서 연료분사량이 서서히 감소하며 연료분사 후 약 30사이클 후부터 일정한 값으로 수렴하는 형태를 나타내고 있다.

연료액막량을 살펴보면 처음에 '0'에서 10사이클까지는 급격히 증가하는 형태를 보이고 있으며 약 30 사이클 후에 연료분사량의 약 12배 정도의 값으로 수렴되는 것을 알 수 있다.

모델로부터 구한 연료분사량을 사용하여 1회 실험한 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

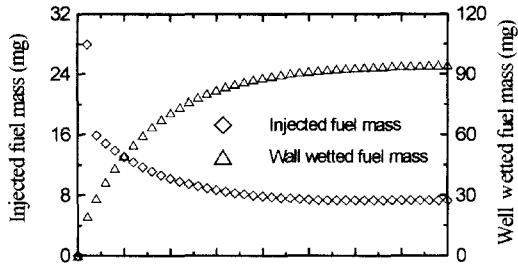


Fig. 8 Calculated injected fuel mass and wall wetting fuel mass to maintain the air/fuel ratio constant during engine starting

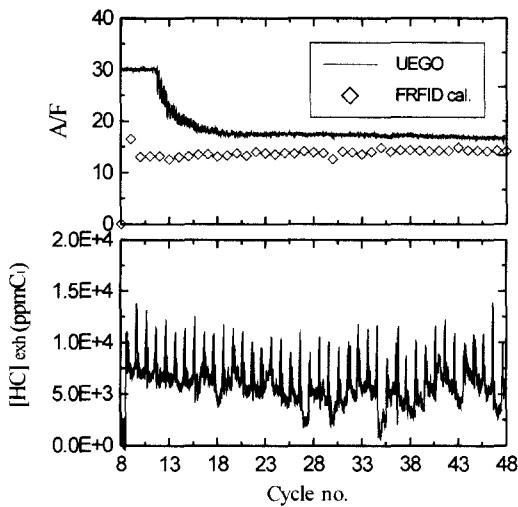


Fig. 9 Result of model based injection control during engine starting

벽류연료모델로 구한 연료분사량으로 제어한 결과 분사후 첫 사이클에서의 공연비는 16정도로 다소 희박하게 나타났으며, 2번째 사이클부터는 13.6정도로 조금 농후한 값을 나타내고 있다. 첫 사이클을 제외하고 전반적으로 공연비 14.6 근처의 값을 나타내고 있다.

광역산소센서로 측정된 공연비의 경우, 첫 사이클에서 정상연소가 일어났으나 첫 연료분사 후 10사이클까지 공연비를 정확히 측정하지 못하고 있다.

배기가스내 미연탄화수소 농도를 살펴보면 공연비의 농후나 부분연소에 의한 급격한 농도 증가

현상은 보이지 않으며, 첫 연소후 약 4000 ppmC₁의 농도에서 사이클이 지나갈수록 농도가 3000 ppmC₁으로 감소하고 있다. 하지만 엔진이 충분히 가열된 상태의 배출가스 농도보다는 여전히 높은 값을 나타내고 있다. 이는 초기에 액체 상태로 실린더로 유입된 연료로부터 배출되는 미연탄화수소와 연소율의 저하에 의한 것으로 판단된다.

엔진 시동시 벽류연료모델을 사용하여 제어를 수행한 결과 첫 사이클을 제외하고 비교적 정확히 공연비를 제어할 수 있었다. 이 때 오차의 발생원인으로는 첫째 모델에 사용한 α 와 β 값이 첫 연소 후 실린더내 온도상승을 고려하지 않고 초기 온도인 30°C에서 구한 값을 사용하는 것과 둘째 실린더로 유입된 공기의 유량이 모터링 상태와 연소가 일어날 때 다르나 연소가 일어나는 경우에 구한 공기유량을 사용했다는 것, 셋째 흡기과정 초기에 발생하는 역유동의 온도가 모터링 상태와 연소가 일어날 때 다르므로 두 조건에서 역유동이 흡기포트에 존재하는 연료액막량과 유입되는 연료량에 미치는 영향이 변하게 되지만⁹⁾ 이를 고려하지 않은 것 등으로 판단된다.

위의 실험은 1회 측정된 실험 결과이지만 공연비는 흡입되는 연료량과 연료액막량에 미치는 인자들이 같으므로 이를 반복 실험하여도 유사한 결과를 얻을 것으로 생각된다. 하지만 엔진 초기 시동시 같은 공연비 변화를 나타내어도 연소특성은 차이가 심하게 나타나기 때문에 출력 및 배출되는 미연탄화수소량에는 차이가 발생할 것으로 생각된다.

5. 결론

흡기포트 분사방식의 가솔린 엔진에서 시동시 혼합기 형성과정의 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 실린더내 미연탄화수소농도를 사이클별로 측정하여 연료 이송현상을 분석할 수 있는 벽류연료모델의 계수를 구할 수 있었다.
- 2) 연료액막량은 냉각수온도와 반비례하여 감

소하였으며 냉각수 온도가 30℃인 경우 연료분사량의 17배 정도였다.

3) 분사한 연료중 그 사이클에 실린더로 유입되는 연료량의 비는 엔진의 온도와 비례하여 증가하였으며, 90℃인 경우는 30℃보다 약 1.3배 많았다.

4) 엔진 시동시 광역산소센서로 공연비를 측정할 경우 오차가 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 실린더내 미연탄화수소 농도로부터 공연비를 측정할 수 있었다.

5) 벽류연료모델로부터 구한 연료분사량으로 엔진 시동을 모사한 실험을 수행한 결과 비교적 정확히 공연비 제어가 가능하였다.

참 고 문 헌

- 1) Y. G. Shin, K. D. Min, W. K. Cheng, "Visualization of Mixture Preparation in a Port Fuel Injection Engine During Warm-Up," SAE 952481, 1995.
- 2) G. Almkvist, I. Denbratt, G. Josefsson, I. Magnusson, "Measurements of Fuel Film Thickness in the Inlet Port of an SI Engine by Laser Induced Fluorescence," SAE 952483, 1995.
- 3) E. W. Curits, C. F. Aquino, D. K. Trumpy, G. C. Davis, "A New Port and Cylinder Wall Wetting Model to Predict Transient Air/Fuel Excursions in a Port Fuel Injected Engine," SAE 961186, 1996.
- 4) T. Summers, N. Collings, "Modeling the Transit Time of a Fast Response Flame Ionization Detector During In-Cylinder Sampling," SAE 950160, 1995.
- 5) K. Horie, H. Takahasi, S. Akazaki, "Emission Reduction During Warm-Up Period by Incorporating a Wall-Wetting Fuel Model on the Fuel Injection Strategy During Engine Starting," SAE 952478, 1995.
- 6) 황승환, 이종화, 유재석, "가솔린엔진에서 FRFID를 이용한 액막 연료량 추정," 한국자동차공학회 논문집, 제6권 제3호 1998.
- 7) 조한승, 이종화, 유재석, 이귀영, "실린더내 잔류가스량 예측모델에 관한 연구 연구," 자동차공학회 논문집, 제7권 제3호, 1999.
- 8) K. Owen, T. Coley, "Automotive Fuels Reference Book," Society of Automotive Engineers, pp.161-170, 1995.
- 9) 황승환, "가솔린 엔진에서 흡기포트에 분사된 연료거동에 관한 연구," 아주대학교 박사학위논문, 2001.