

# Injector에 따른 가·감속시 공연비 변동에 관하여

## Effects of Injectors on the A/F Variations during Acceleration and Deceleration

이 종 수\*    조 석 구\*\*  
J. S. Lee,    S. K. Cho

### ABSTRACT

Wall wetting phenomenon in the intake port of an MPI engine was investigated with different kinds of injectors by an A/F step response test and analysis was done based on the simple wall wetting model to find out a certain correlation between wall wetting and A/F variations.

It was found that (1) At fully warmed condition of 90°C water temperature, around 40~60% of injected fuel was wall wetted, (2) At cold condition of 45°C Water temperature, around 68~80% of injected fuel was wall wetted, and (3) A/F variations during acceleration and deceleration were influenced by the wall wetting area, the fuel droplet size, and the amount of wall wetting fuel.

주요기술용어 : A/F Step Response(공연비 응답성), Wall Wetting(벽면흡착), A/F Variations(공연비 변동)

### 1. 서    론

차량의 과도 특성을 향상시키기 위해서 가·감속시의 공연비를 정밀하게 제어할 필요가 있으며, 과도운전시 공연비 정밀 제어를 위한 연구의 하나로 흡기 Port 내에서의 혼합기의 거동에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

본 연구에서는 흡기 Port 내의 혼합기 거동에 대한 단순화된 Model을 세우고, 이를 기초로 몇가지 다른 사양의 Injector를 사용하여 A/F Step Input에 대한 Response 시험을 수행하여

Wall Wetting 현상에 대하여 파악하고, Throttle Valve 급개·폐시의 A/F 변동과 Wall Wetting 현상과의 연관성을 알아보았다.

### 2. A/F Step Response 시험

#### 2.1 Model

Fig.1에서 볼 수 있듯이 t cycle에서  $F_i(t)$  만큼의 연료가 분사되어, 그 중 일부는 Intake Port내에 잔류되고, (t-1) cycle에서 잔류되어 있던 연료,  $MF(t-1)$ 과 분사된 연료,  $F_i(t)$  중에

\* 정희원, 현대자동차

\*\* 현대자동차

서 일부만이 Cylinder 내로 유입된다고 생각하면, Cylinder 내로 유입되는 연료량,  $F_o(t)$ 와 흡기관 내에 잔류되는 연료량  $MF(t)$ 에 관하여 다음과 같은 식이 성립된다.

$$F_o(t) = \beta [MF(t-1) + F_i(t)] \quad 0 < \beta < 1 \quad (1)$$

$$MF(t) = (1-\beta) [MF(t-1) + F_i(t)] \quad (2)$$

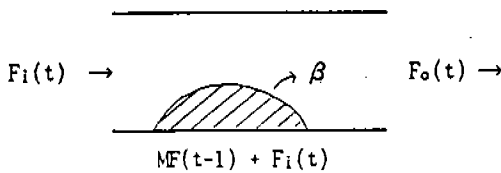


Fig.1 Schematic Diagram of Model

여기서,  $MF(t)$ 는 t Cycle에서 Cylinder 내로 유입되지 못하고 흡기관 내에 잔류하고 있는 연료량을 의미한다.

식 (1), (2)로 부터  $\beta$ 값을 구하면, 분사된 연료중 얼마만한 부분이 Cylinder 내로 유입되는지 알 수 있게 된다.

### 2.2 $\beta$ 값 계산 방법

A/F Step Input을 주었을 때의 측정할 수 있는 A/F Response는 Fig.2, Fig.3과 같다. 이를 측정하여 각 Cycle에 대하여 식 (1), (2)를 적용하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$(1-\beta)^n = \frac{mf_m1 - mas/af_n}{mf_m1 - mf_m0} \quad (3)$$

- $mf_m0$  : 시작 시점의 연료 분사량
- $mf_m1$  : 종료 시점의 연료 분사량
- $mas$  : 공기량
- $n$  : Cycle수
- $af_n$  : n Cycle의 공연비 값

시작시점과 종료시점이란 각각 공연비가 변화하기 전후에 분사되는 연료량을 뜻하며, A/F Step Response 시험시는 엔진 회전속도 및 엔진

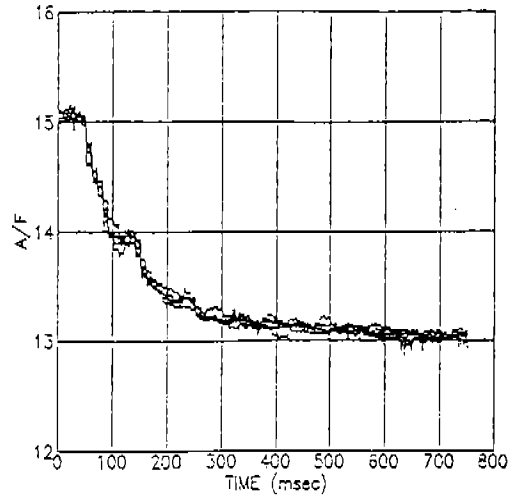


Fig.2 A/F Step Response (Injector 1)

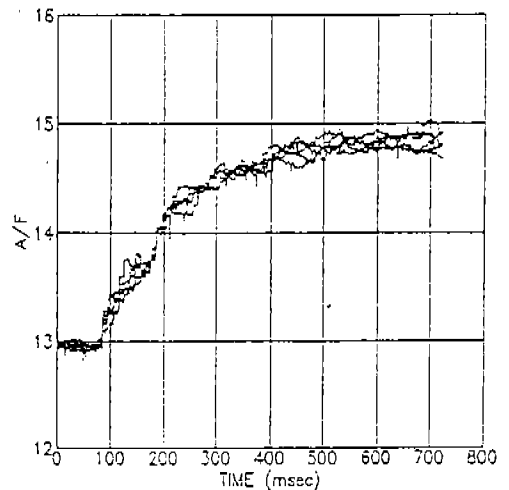


Fig.3 A/F Step Response (Injector 1)

부하를 일정하게 유지하면서, 공연비만을 변화시켰으므로 Cylinder 내로 유입되는 공기량  $mas$ 는 일정하다. 그리고, n Cycle이란 공연비가 변화하기 시작하는 시점부터 n번째 Cycle임을 나타낸다.

식 (3)을  $af_n$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$af_n = \frac{mas}{mf_m1 - (mf_m1 - mf_m0) (1-\beta)^n} \quad (4)$$

식 (4)에서 알 수 있듯이  $(mfm1 - mfm0) (1 - \beta)^n$  값이 A/F Step Input에 대한 Response를 방해하는 저항으로 작용한다. 과농 혼합기에서 희박 혼합기로 변화하는 경우는  $(mfm1 - mfm0) (1 - \beta)^n$  값이 0보다 적게 되는데, 이는 과농 혼합기 상태에서 Port내에 잔류되어 있던 연료가 증발하여, Cylinder 내로 유입되므로써 희박 혼합기로의 변화를 방해함을 나타낸다.

반면에, 희박 혼합기에서 과농 혼합기로 변화하는 경우는  $(mfm1 - mfm0) (1 - \beta)^n$  값이 0보다 크게 되는데, 이는 분사된 연료중 일부가 Port내에 잔류하므로써 Cylinder 내로의 연료유입이 적어져 과농 혼합기 상태로의 변화가 늦어짐을 나타내는 것이다.

### 2.3 시험 결과

#### 2.3.1 시험 Engine 제원 및 시험방법

SOHC, MPI Engine을 사용하여 시험하였으며, Engine 제원은 표 1과 같다.

분사되는 연료량을 Step으로 조절할 수 있는 Controller를 사용하여 공연비를 13 : 1에서 15 : 1로 변화시키면서 배기 Manifold에 장착되어 있는 A/F Sensor로부터 공연비를 측정할 후 Data 분석을 행하였다. 시험은 Engine 회전속도를 1200rpm으로 고정하여 행하였다.

Table 1. Test Engine Specification

Engine Type	L4-SOHC
Displacement	1495cc
Bore×Stroke	75.5mm×83.5mm
Compression Ratio	10.0
Fuel System	MPI

#### 2.3.2 희박 혼합기→과농 혼합기

희박 혼합기에서 과농 혼합기로 변화할 때 구한 A/F Response 계수  $\beta$ 값을 Fig.4에 나타내었다. Fig.4에서 볼 수 있듯이 냉각수 온도가 변화함에 따라  $\beta$ 값이 증가하는 것을 알 수 있으며, 기울기가 거의 일정하게 나타남을 볼 수 있다. 분사된 연료중 일부가 Port내에 잔류하기 때문에 과농 혼합기로의 변환이 늦어지는 것이므로 (1

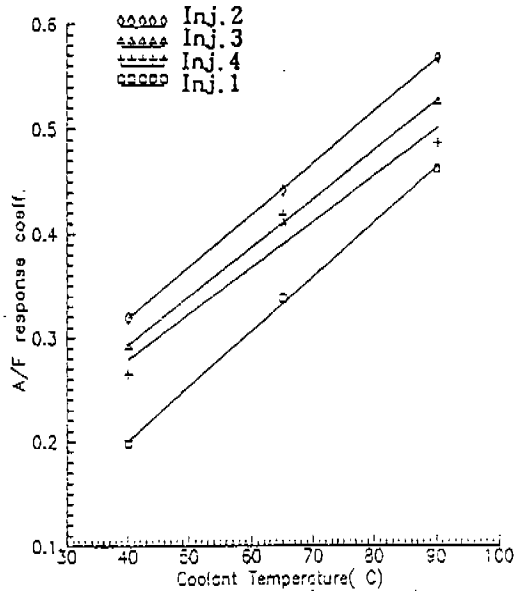


Fig.4 A/F Response Coefficient (Lean to Rich)

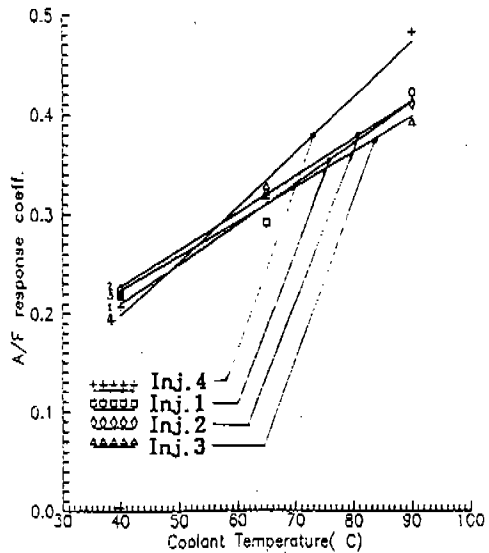


Fig.5 A/F Response Coefficient (Rich to Lean)

$-\beta$ ) 값은 Port내 분사된 연료량중 잔류하는 연료량을 나타내게 된다. 따라서, Fig.4에서 볼 수 있듯이 Port내에 잔류되는 연료량은 Inj. 2 < Inj. 3 < Inj. 4 < Inj. 1 순으로 많음을 알 수 있다.

### 2.3.3 과농 혼합기→희박 혼합기

과농 혼합기에서 희박 혼합기로 변화할 때 A/F Response가 늦어지는 원인은 과농 혼합기 상태에서 잔류되어 있던 연료가 증발하여 Cylinder 내로 유입됨으로써 생기는 것이므로, 냉각수 온도변화에 따라 증발율의 변화가 생기게 되어  $\beta$  값의 변화가 커지게 된다. Fig.5에서 보는 바와 같이 냉각수온도의 변화에 따라 Injector 4와 Injector 1의 증가율이 커짐을 알 수 있는데, 이는 Injector 4와 Injector 1의 Wall Wetting 면적이 크고, Droplet 크기가 작기 때문에 냉각수 온도의 증가에 따라 증발되는 연료량이 다른 Injector의 경우보다 많이 증가하기 때문이라 생각된다.

## 3. Throttle Valve 급개폐 시험

급가·감속시에 공연비 변화를 알아보기 위하여 Engine 회전속도를 2000 rpm으로 일정하게 유지하면서 Throttle Valve를 급격히 개폐할 때의 공연비 변화 추이를 살펴보았다. 공연비 측정은 배기 Manifold 이후에서 행하였다.

### 3.1 Throttle Valve 급전개

Throttle Valve 급전개시는 분사되는 연료량이 적은 상태에서 많은 상태로 급격히 변화하는 상황이므로 Wall Wetting되는 양이 많을 수록 Cylinder 내로 유입되는 연료량이 적어지게 되어 Lean Peak가 크게 발생하게 된다. 그런데, Fig.6과 Fig.7에서 볼 수 있는 바와 같이 Injector 4 < Injector 1 < Injector 2 < Injector 3 순으로 Lean Peak 발생량이 크게 나타난다. 이 결과는 A/F Step Response 시험에서 구한 Wetting 양의 과다와 다른 경향을 보이고 있는데, 이는 Engine 부하를 증가시키에 따라 공기유속이 증가하여 증발율을 변화시키기 때문에 발생하는 것으로 판단되며, Droplet 크기가 작고, Wall Wetting 면적이 넓을수록 공기 유속의 증가에 따른 증발율의 증가가 커지게 되므로 Lean Peak 발생량이 적어진 것으로 생각된다.

냉각수 온도 변화에 따른 Lean Peak 발생량 변화를 보면 Injector 4가 가장 변화가 적게 나

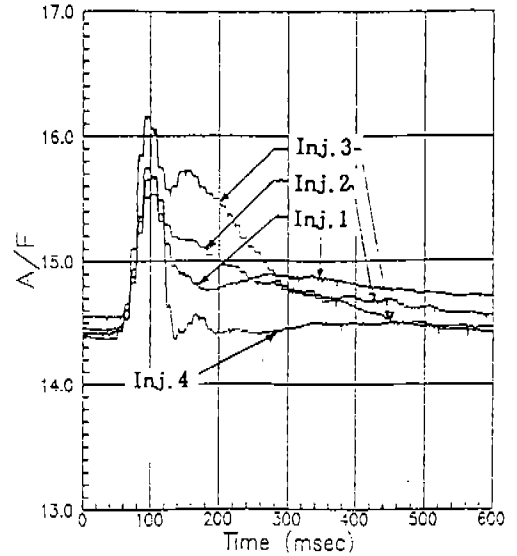


Fig.6 A/F Variation at acceleration (20% to 50% throttle  $T_{max}=90^{\circ}\text{C}$ )

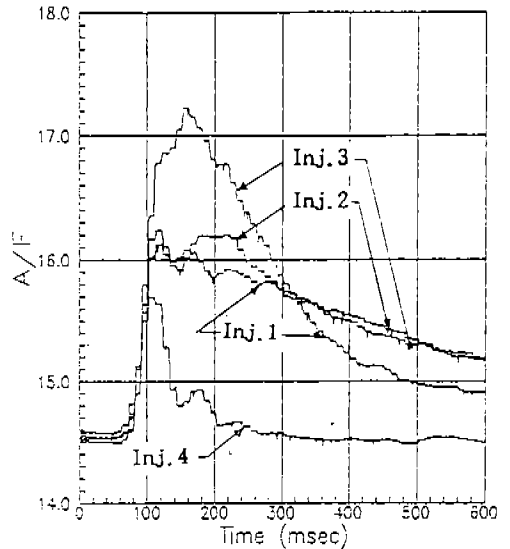


Fig.7 A/F Variation at acceleration (20% to 50% throttle  $T_{max}=65^{\circ}\text{C}$ )

타하는데, 이는 공기유속의 증가로 인한 증발율의 증가효과가 냉각수온도 변화에 따른 증발율의 증가효과보다 크기 때문에 발생하는 것으로 판단된다.(Fig.8)

### 3.2 Throttle Valve 급폐쇄

Throttle Valve를 급격히 닫을 때 공연비 변

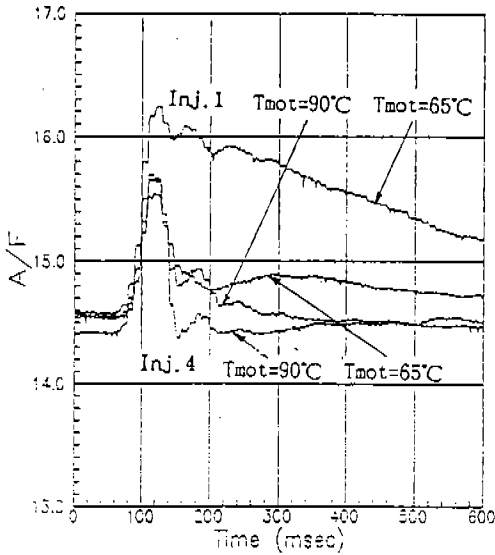


Fig.8 A/F Variation at acceleration (20% to 50% throttle)

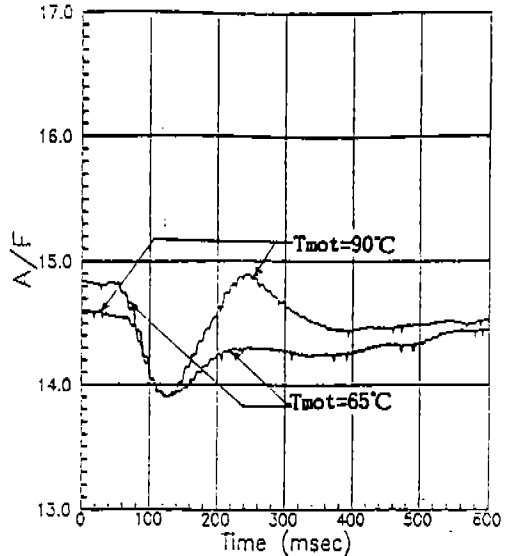


Fig.10 A/F Variation at deceleration (50% to 20% throttle Injector 1)

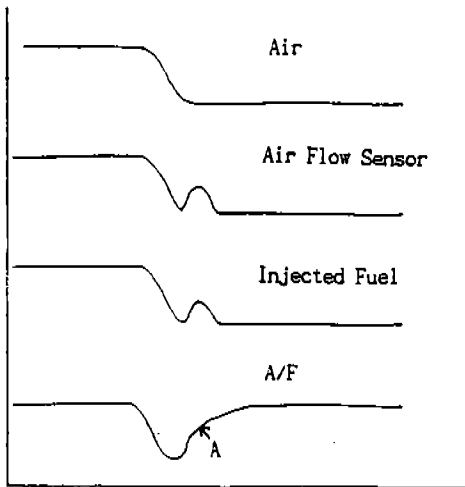


Fig.9 A/F Trend at Throttle Valve Closing

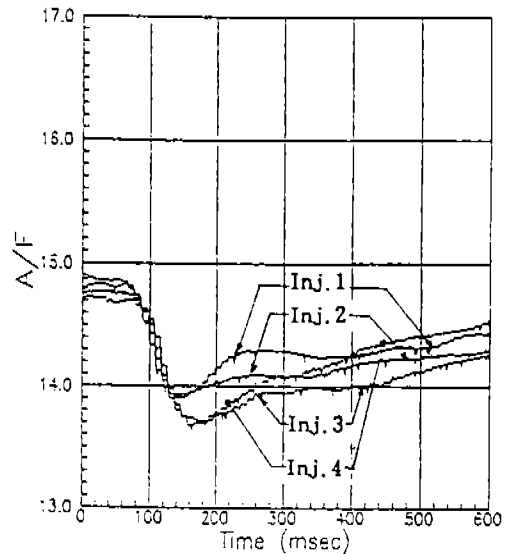


Fig.11 A/F Variation at deceleration (50% to 20% throttle  $T_{mot} 65^{\circ}C$ )

등에 영향을 주는 요인으로는 Hot-Wire Type 공기량 Sensor 특성에 의한 부가적인 연료량 유입, Wall Wetting된 연료량의 Cylinder 유입으로 인한 효과 등이 있다. Throttle Valve가 급격히 닫히는 경우 Cylinder 내로 유입되는 공기량은 급격히 감소하지만, 공기량 감지후 Injector 구동까지의 시간지연으로 인해 과농 혼합기가 발생하고 또

한 공기량 Sensor 특성으로 인한 부가의 연료 분사로 인해 과농 혼합기상태가 연장되게 된다. 이러한 요인들과 Wall Wetting에 의한 영향이 복합적으로 나타나게 되는 것이다.

Fig.9에 나타난 "A"부분은 공기량 Sensor 특

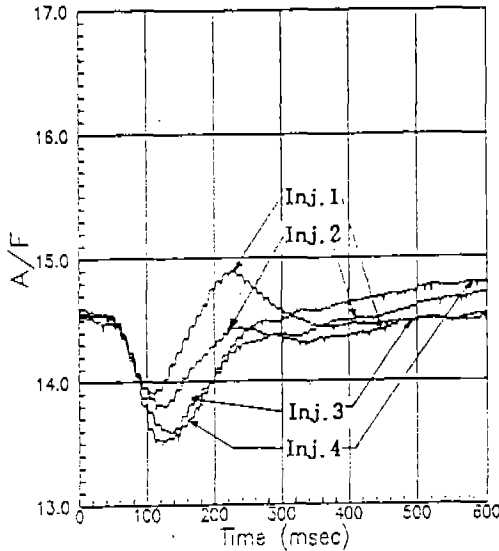


Fig.12 A/F Variation at deceleration  
(50% to 20% throttle  $T_{max}90^{\circ}\text{C}$ )

성으로 인한 부가적인 연료 분사가 공연비에 영향을 미쳐 나타나는 것인데, Wall Wetting 양이 많다면 분사된 연료중 Cylinder로 유입되는 양이 적게 되므로 희박 혼합기로의 변화가 빠르게 되므로 "A" 부분의 기울기가 커지게 된다. 즉, "A" 부분의 기울기가 클수록 Wall Wetting 양이 많은 것으로 생각할 수 있다.

동일 Injector에 대하여 냉각수 온도 변화에 따른 공연비 거동을 살펴보면, 냉각수 온도가 낮을 때 과농 혼합기 상태를 오래 지속함을 알 수 있는데, 이는 냉각수 온도가 낮을 때의 Wall Wetting 양이 많으므로 증발되어야 할 연료의 양은 많은데 반해 냉각수 온도가 낮으므로 증발율이 적기 때문에 상대적으로 오랫동안 과농 혼합기 상태를 지속하게 되는 것이다.(Fig.10)

Fig.11, Fig.12의 시험결과에서 "A"부분의 기울기로부터 Wall Wetting 정도를 판단해 보면 Injector 2 < Injector 4  $\approx$  Injector 3 < Injector 1의 순임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

몇가지 다른 사양의 Injector에 대해 Wall Wetting 정도를 파악하고, 급가·감속시 공연비 변동에 대한 시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 시험 Engine의 경우 Engine이 충분히 Warm-Up 된 경우(냉각수 온도  $90^{\circ}\text{C}$ )는 분사된 연료중 40%~60%, Cold시(냉각수 온도  $45^{\circ}\text{C}$ )는 분사된 연료중 68%~80% 정도가 Wall Wetting 된다.
- 2) 급가속시 공연비 변화(Lean Peak 발생)는 Wall Wetting량, Droplet 크기 및 Wall Wetting된 면적에 영향을 받는다.
- 3) 급감속시에는 Hot-Wire Type 공기량 Sensor 특성에 의한 공연비 변동이 Wall Wetting에 의한 공연비 변동보다 크다.

#### 참 고 문 헌

1. T. Matsumura, Y. Nanyoshi, "New Fuel Metering Technique for Compensating Wall Flow in a Transient Condition Using the Model Matching Method", JSAE Review Vol.10 No.3, 1989.
2. E. Hendricks, S. C. Sorenson, "Mean Value Modelling of Spark Ignition Engines", SAE 900616, 1990.
3. H. Nagaishi, H. Miwa, Y. Kawamura, "An Analysis of Wall Flow and Behavior of Fuel in Induction Systems of Gasoline Engines", SAE 890837, 1989.
4. M. Iwata, M. Furuhashi, M. Ujihashi, "Two-hole Injector Improves Transient Performance and Exhaust Emissions of 4-valve Engines", SAE 870125, 1987.
5. T. Sugimoto, K. Takeda, H. Yoshizaki, "Toyota Air-Mix Type Two-Hole Injector for 4-Valve Engines", SAE 912351, 1991.