

## 가솔린 엔진 흡기 포트내의 연료 거동 및 벽류 생성 가시화 방법에 관한 연구

### A Study on the Visualization Technique for Fuel Behavior and Fuel-Film Formation in the Intake Port of a S.I. Engine

김 봉 규\*, 이 기 형\*\*, 이 창 식\*\*  
B. G. Kim, K.H. Lee, C. S. Lee,

#### ABSTRACT

In a gasoline engine with port injection system, the fuel behavior in the intake port has significant influence on the HC emission and the precise A/F control. That is to say, it is inevitable that the injection direction and behavior of fuel injected in the intake port have an effect on the generation of unburned HC within a cylinder.

In this paper, we visualized fuel behavior in the intake port using micro CCD camera synchronized with the stroboscope and investigated the fuel-film characteristics formed at the wall of intake port by processing image captured with VCR in the transparent intake port made of acryl.

Using these measuring methods, it was found that fuel behavior and the formation of fuel-film in the intake port could be evaluated qualitatively. And results obtained by these methods show that 2-spray injector minimizes the fuel-film formed in the intake port of a DOHC gasoline engine.

주요기술용어 : unburned HC(미연 탄화수소), fuel behavior(연료거동), fuel-film(벽류)

#### 1. 서 론

현재 자동차 연료 분사 시스템의 주류물 이 루고 있는 포트내 연료 분사식 가솔린 엔진에 서의 흡기포트내의 연료거동은 엔진 성능이나 HC 배출과 같은 배기 특성에 커다란 영향을 미치고 있다. 즉 밸브 리프트나 주위 유동장의 변화와 같은 흡기포트내의 조건들은 분사된 연 료의 분무형상과 거동을 변화시키므로 공기와 의 혼합기 형성과정이나 분사각 및 분무 관통 도와 같은 분무 특성에 중요한 영향을 미친다 고 알려져 있다<sup>(1)</sup>. 따라서 전자 제어식 가솔린 엔진의 성능 향상을 위하여는 정확한 공연비 제어와 인젝터 부착위치 및 분사시기와 같은 연소에 최적한 분사조건의 선정이 필요하게 되

며, 이를 위하여는 흡기포트내의 연료거동을 파 악할 수 있는 기술이 필요하게 된다<sup>(2),(3),(4)</sup>.

또한 SCV(swirl control valve)장착과 같이 흡기포트내의 유동장을 인위적으로 변화시킬 경우 분사된 연료와 주위 유동장의 상호 간섭 에 의하여 경우에 따라서는 연료가 편중되어 벽류의 형성을 증가시킬 가능성도 배제할 수 없다. 특히 최근 저연비 엔진 기술로서 주목받 고 있는 회박 연소 엔진 개발시에는 난류 강도 를 강화시킬 목적으로 SCV를 부착하게 되는 데, 이 경우 많은 벽류가 형성되어 실린더내의 불완전 연소를 초래할 수도 있으므로 적절한 분사시기의 선정이 불가피하게 된다<sup>(5)</sup>. 이와같 이 회박 엔진 시스템 구축시에도 흡기포트내를 가시화할 수 있는 기술이 필요하게 된다.

\* 한양대 대학원

\*\* 한양대학교 기계공학과

본 연구에서는 실제 흡기포트내에서의 연료 거동을 측정하기 위해 마이크로 카메라를 이용하여 흡기포트 내부를 인젝터와 광원을 동기시켜 시간 경과와 흡기 밸브 리프트의 변화에 따른 연료의 거동을 촬영하였고, SCV와 같은 유동장 강화 수단을 사용하는 경우에 대한 흡기포트 벽면에 형성되는 벽류를 가시화하였다.

이러한 실험들을 통하여 흡기포트내에서의 연료거동을 가시적으로 측정할 수 있는 기술을 확립하였으며, 이 기술을 이용하여 유동장의 형태에 따른 연료 거동 특성과 인젝터 형상 및 분사 시기가 분무 형태에 미치는 영향을 정성적으로 파악하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 흡기포트내의 연료 거동 측정

본 연구에서 구성한 연료거동 측정장치의 개략도를 Fig.1에 나타내었다. 주요 구성품으로는 흡기포트내를 촬영할 수 있는 마이크로 CCD 카메라, 인젝터 분사 시기와 동기되는 스트로보스코프, CCD에서 나오는 출력을 증폭시켜주는 CCD 제어 회로, C++프로그램으로 구동되는 동기용 카운트 보드, 그리고 화상을 디지털화하는 이미지 보드로 구성되어 있다. 마이크로 CCD카메라의 주요 제원들은 Table1과 같다.

측정 방법은 그림에서 보는 바와 같이 흡기 유동을 형성할 수 있는 장치에 실린더 헤드를 장착하여 밸브 리프트를 0mm에서 8mm까지 변화시키면서 변화하는 흡입 공기 유량에 따른 연료의 거동을 마이크로 CCD 카메라로 촬영하였다. 이 때 진공 펌프로 흡입하는 조건은 실린더내의 압력이 -300mmAq가 되도록 유지하였으며, 인젝터 종류로는 현재 자동차 회사에서 채택하고 있는 핀틀, 2공 2분무, 6공 1분무형의 세가지 인젝터를 사용하였다. 연료 분사 시간은 5ms로 고정하였고, 광원부의 발광 시기는 연료 분사후 2ms에서 7ms까지 1ms간격으로 조정하면서, 분사된 연료의 거동이 시간에 따라 변화하는 형상을 촬영하였다.

또한 SCV부착시에는 광원에서 조사되는 광량이 충분하도록 SCV를 투명한 아크릴로 제작하여 부착하였고 실험 조건은 앞의 실험 조건과 동일하게 선정하였다.

Table1 The specifications of micro CCD camera

Pixel	768(H)×494(V)
Scanning area	6.5(H)×4.8(V) mm
Scanning	525line/60fields/30frames
Lens	φ17(D)×35.5(L) mm
Resolution	480 TV line
Min. illumination	3lux

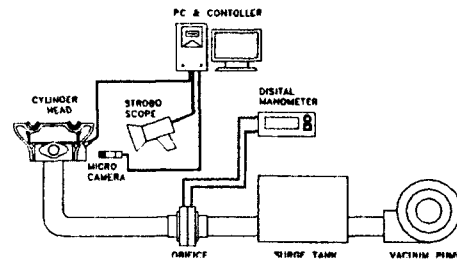


Fig.1 The schematic diagram of fuel behavior measurement device

### 2.2 투명 실린더 헤드에 의한 벽류 거동 측정

전술한 흡기포트내 연료 거동 측정 장치로는 흡기포트를 통하여 유입되는 연료의 거동을 측정할 수 있지만 벽면에 부착되어 유입되는 벽류의 형성 및 거동은 측정이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 벽류를 측정할 수 있도록 실제 실린더 헤드와 같은 형상과 치수를 가진 아크릴제 투명 실린더 헤드를 NC가공에 의하여 제작하였다. 이와같은 투명 실린더 헤드의 형상은 Fig.2와 같다.



Fig.2 Photograph of the transparent cylinder head

이 실린더 헤드를 Fig.3과 같은 실험 장치에 장착하여 흡기포트 벽면에 생성되는 벽류를

VCR로 촬영하였으며, 이 때 생성된 벽류를 확실히 촬영할 수 있도록 물에 검은 색 염료를 혼합하여 인젝터로 분사하였다.

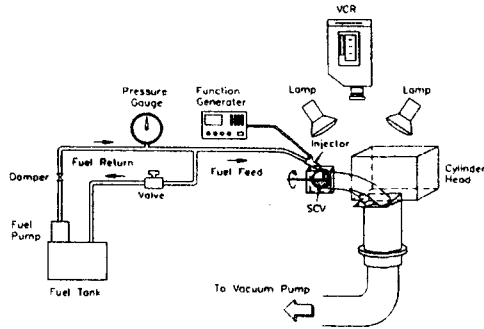


Fig.3 The Schematic diagram of fuel-film visualization system

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 실험 인젝터들의 대기중 분무 특성

Fig.4와 같은 측정 장치를 이용하여 본 실험에서 사용한 각각의 인젝터들의 시간에 따른 분무 형상과 분무각 그리고 분열되는 과정을 촬영한 결과를 Fig.5에 나타내었다.

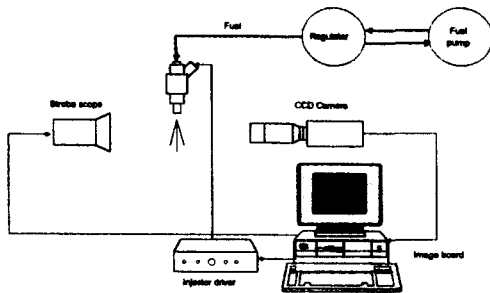


Fig.4 The schematic diagram of the measurement system for spray pattern

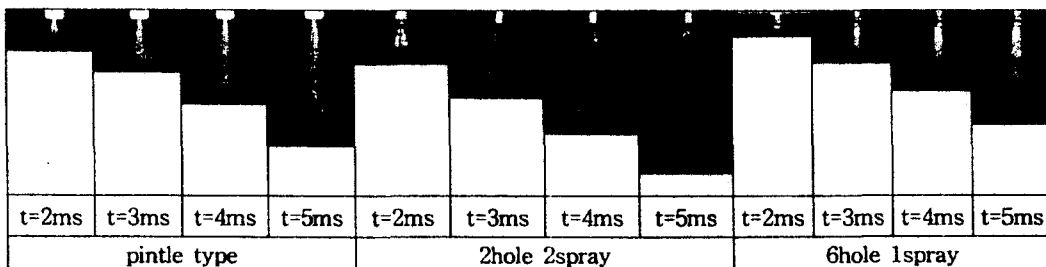


Fig.5 Spray patterns of each injector with elapsed time (fuel pressure=3bar)

각각의 분무 형상을 살펴보면 2공 2분무형 인젝터는 분사된 연료의 주류가 2방향으로 갈라지며 분사 직후 공기와의 마찰 때문에 진동을 일으키며 분열하는 것을 관찰할 수 있다. 핀틀형 인젝터는 분사 초기의 원추모양의 분무 형상을 그대로 유지한 채 하류로 진행되면서 액적이 분열되는 것을 볼 수 있으며, 마지막으로 6공 1분무 인젝터는 6개의 인젝터에서 분사되는 연료가 분사 직후에 서로 부딪히며 1개의 주류로 분사되는 형상을 보이고 있다. 이러한 인젝터의 단체 실험을 통한 분무 형상은 흡기 포트의 설계와 인젝터의 부착위치 선정시 유효하게 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 3.2 흡기포트내에서의 연료 거동

Fig.6은 실린더내의 압력을 -300mmAq로 일정하게 흡입한 조건에서 각 밸브리프트에서의 흡입 유량과 유량계수를 나타낸 그림이다. 리프트가 증가할수록 흡입 유량이 증가되는 결과로부터 밸브 리프트의 증가에 따라 흡기 포트 내의 유속이 빨라지고 있다는 사실을 알 수 있다. 이러한 흡입 유량 조건에서 Fig.7은 밸브가 닫힌 상태에서의 시간 경과에 따른, 그리고 Fig.8은 분무가 완전히 발달했다고 판단되는 연료 분사후 6ms에서의 밸브 리프트에 따른 흡기포트내의 연료 거동을 마이크로 CCD카메라로 촬영한 결과를 나타낸 그림이다.

Fig.7을 살펴보면, 6공 1분무 인젝터와 핀틀형 인젝터의 경우 분사된 연료의 주류가 한 방향이므로 본 실험에서 사용한 DOHC용 실린더 헤드의 사이아미즈(siamese)형태의 흡기포트에서는 중앙의 분리벽에 연료의 대부분이 충돌하는 양상을 볼 수 있으나, 2공 2분무 인젝터의

경우에는 2개로 분리된 분무 주류가 각각 한 개의 흡기밸브로 향하는 것으로 보아 다른 인젝터보다 벵류량이 적게 형성될 것으로 추측된다.

Fig.8의 결과로부터는 새가지 인젝터의 경우 모두 밸브 리프트가 커질수록 흡기 밸브 부근의 연료가 보이지 않게 된다. 이러한 현상은 밸브가 닫힌 상태에서 촬영한 그림에서 보여지는 많은 분열된 작은 연료 입자들이 빠른 흡입 유속에 의하여 실린더내로 신속히 유입되므로 분무 상류부의 큰 입자만이 관찰되기 때문으로 해석되며, 큰 입자들의 분포량 또한 적어지는 현상은 포트내에서의 빠른 유속과의 마찰에 의한 연료의 2차 미립화 효과에 의한 결과라고 사료된다.

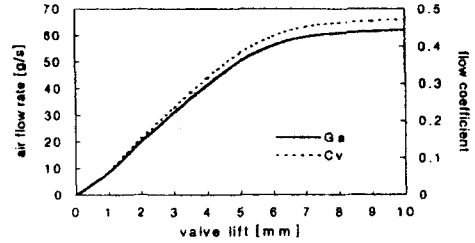


Fig.6 The characteristics of air flow rate ( $G_a$ ) and flow coefficient ( $C_v$ )

### 3.3 SCV부착시 흡기포트내에서의 연료거동

#### 3.3.1 SCV형상에 따른 흡기포트내의 분무 거동 특성

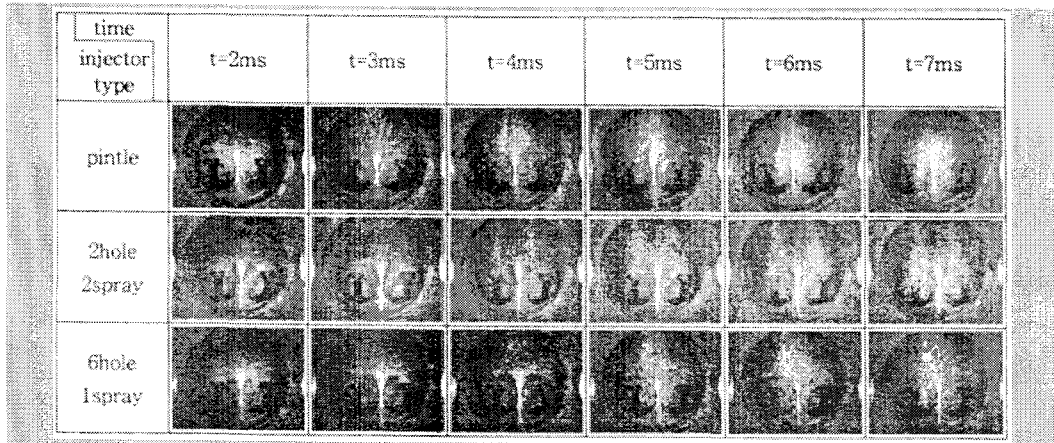


Fig.7 The fuel behavior in the intake port with elapsed time (valve lift=0mm)

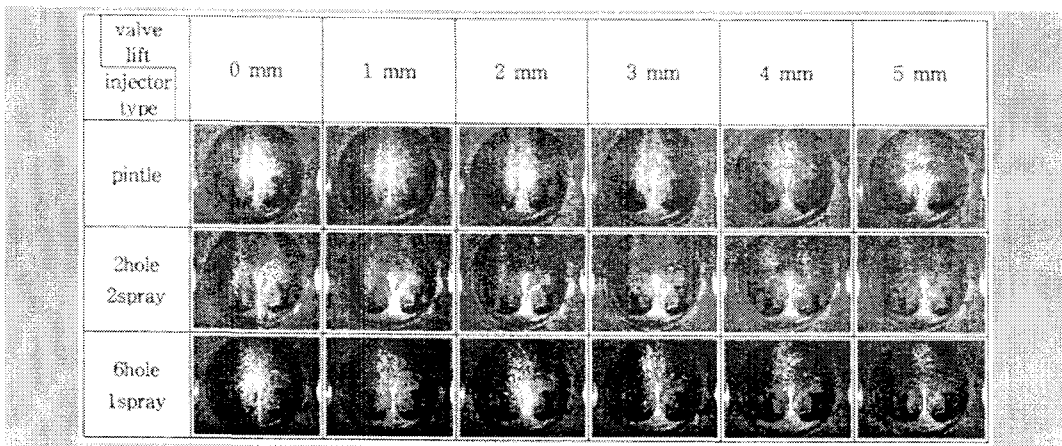
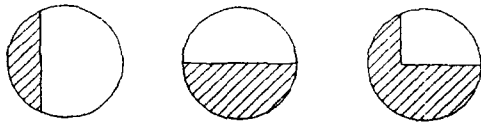


Fig.8 The fuel behavior in the intake port with valve lift (elapsed time=6ms)

최근 연소실내의 유동장을 강화시킬 수 있는 용이한 방법으로 SCV를 부착하는 기술이 증가되고 있다. 따라서 이러한 SCV부착시의 연료 거동 분석이 중요한 기술과제로 판단되므로 새 가지 형상의 SCV에 대한 연료거동 측정 실험을 수행하였다.

Fig.10과 Fig.11은 Fig.9에 나타낸 스윙 강화형 SCV와 텀블 강화형 SCV를 부착하였을 때의 시간경과에 따른, 그리고 밸브 리프트에 따른 흡기포트내에서의 연료 거동을 촬영한 결과이다. 본 실험에서는 광량을 충분히 확보하기 위하여 투명한 아크릴로 SCV를 제작하여 실험하였으며, 화면에서 나타나는 흰 선들이 투명 한 SCV의 가장자리가 촬영된 것이다.



(a)스윙 강화형 (b)텀블 강화형 (c)경사 스윙형  
(개구율:80%) (개구율:50%) (개구율:40%)

Fig.9 The shape of SCV and it's opening rate

Fig.10은 밸브 리프트를 5mm로 고정된 상태에서 분사 후 시간 경과에 따라 촬영한 결과로서 먼저 스윙 강화형 SCV를 부착한 경우에는 SCV 뒤쪽으로 공기의 흐름이 편향되므로 분사된 연료는 시간이 경과할수록 SCV를 부착한 위치인 좌측 흡기포트쪽으로 편재되는 현상을 볼 수가 있다. 그리고 텀블의 경우에는 분사된 연료 입자들이 잘 보이지 않는 것으로 보아 연료가 분사되는 즉시 포트 윗면으로 흐르는 빠른 공기의 유속에 의해 포트 위벽으로 대부분의 연료가 부착되어 흡기구로 유입되기 때문으로 판단된다.

Fig.11에서는 연료 분사 후 6ms후에 촬영한 화상으로 스윙 강화형 SCV 부착시 유량이 증가할수록 연료 입자들이 좌측으로 편향되는 경향이 심화되고 있는 것을 관찰할 수 있고, 텀블의 경우에도 마찬가지로 저 밸브 리프트에서는 분무된 연료 입자들이 관측되지만 유량이 증가할수록 대부분의 연료가 포트 상부벽에 부착되는 벽류로 형성되어 연료의 관측이 어렵게 된다.

time SCV type	2 ms	3 ms	4 ms	5 ms	6 ms	7 ms
swirl						
tumble						

Fig.10 Comparison of fuel behavior in the intake port between two SCV types with time

(valve lift=5mm)						
valve lift SCV type	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
swirl						
tumble						

Fig.11 Comparison of fuel behavior in the intake port between two SCV types with valve lift (elapsed time=6ms)

따라서 SCV를 부착한 회박 연소 시스템에서 벽류 생성에 의한 불완전 연소의 유발이나 HC의 배출을 억제하기 위하여는 밸브가 닫힌 상태이거나 저 밸브 리프트일 때 연료 분사가 모두 종결되어야 하는 필요성이 대두된다.

### 3.3.2 SCV형상에 따른 벽류 형성 특성

Fig.10과 Fig.11에서 본 바와 같이 텀블 강화형 SCV부착시에는 대부분의 연료가 흡기포트 위벽에 벽류로 부착되는 현상을 보이고 있으므로 이러한 벽류를 측정하기 위하여는 실제 엔진의 흡기포트에서는 관측이 어렵기 때문에 본 실험에서 사용한 실린더 헤드와 똑같은 형상과 치수를 가진 투명 실린더 헤드를 제작하여 흡기포트 벽면에 부착되는 벽류를 Fig.3과 같은 실험 장치를 사용하여 가시화하였다.

화상 취득 과정은 먼저 VCR로 아크릴 헤드의 상부를 촬영하여 얻은 화상을 이미지 보드로 디지털 화하고, 벽류만 나타나도록 하기 위하여 absolute of difference, negative, threshold와 같은 일련의 화상처리과정을 Fig.12에 나타내었으며, ③번 화상에 threshold를 실행하여 얻은 최종 화상을 Fig.13에 나타내었다.

Fig.13은 세 개의 인젝터 중 대표로 핀플형 인젝터를 사용한 결과의 그림으로서 Fig.7에서 본 바와 같이 분사된 연료가 중앙의 분리벽에 충돌하여 이 곳에 벽류가 집중되는 것을 그림 (a)에서 확인할 수 있다. 텀블 강화형 SCV의 경우인 (b)의 그림은 (a)보다 많은 벽류가 포트 중앙부의 위벽에 형성되고 있음을 보여주며, (c)의 경우의 경사 스윙형 SCV는 Fig.9에서 나타냈듯이 텀블 강화형 SCV와 스윙 강화형 SCV를 조합한 것으로서 그 두가지 경향을 모두 포함한 결과를 보여주고 있다. 즉 (b)의 경우처럼 위벽에 많은 벽류를 형성하며, 또한 스윙 강화형 SCV의 영향에 따라 벽류가 한쪽 분기구로 편중됨을 알 수가 있는데 이 두가지 경우에서 특기할 점은 SCV뒤편으로 커다란 재순환 영역이 형성되어 많은 양의 연료가 이 영역에서 정제되어 실린더내로 유입이 되지 않는

현상을 관측할 수 있었다. 이 것은 인젝터에서 분사된 연료가 벽류로 부착되는 것외에 공연비에 영향을 미쳐 연소 불안정을 유발하는 중요한 이유가 된다고 사료된다.

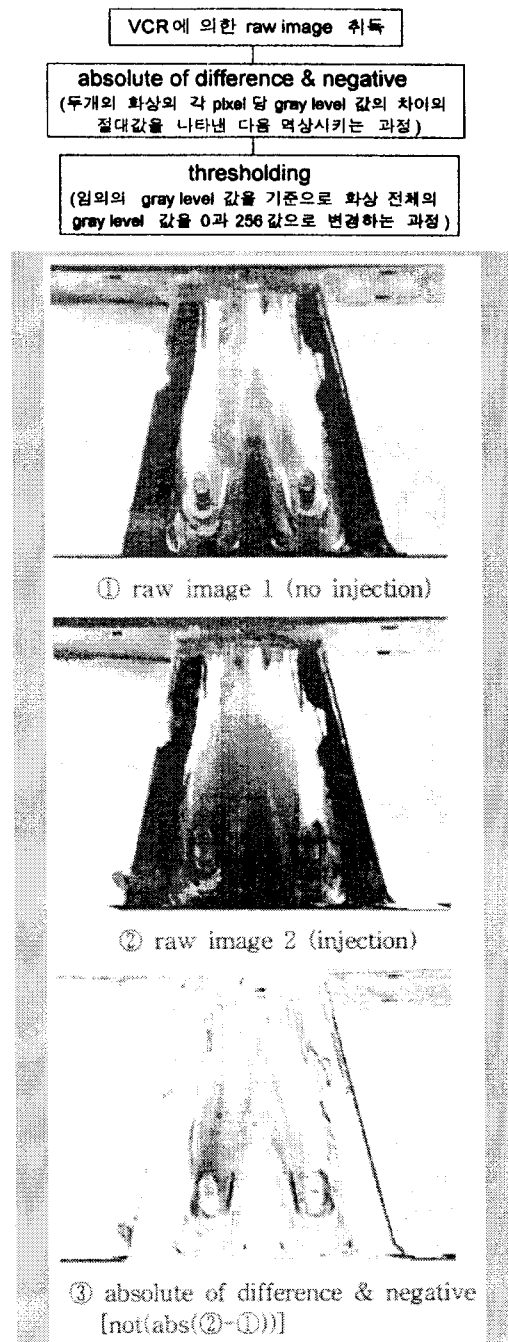


Fig.12 The procedure of image process

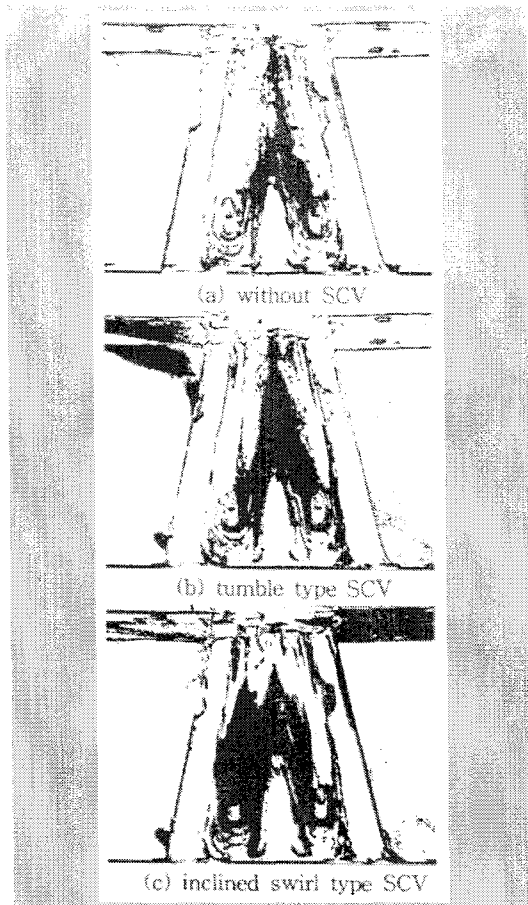


Fig.13 The fuel-film formation in the transparent intake port

#### 4. 결론

마이크로 CCD 카메라와 아크릴로 제작한 투명 실린더 헤드를 이용하여 흡기포트내에 분사된 연료의 거동을 측정할 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

- (1) 마이크로 CCD카메라와 스트로보 스크프를 이용하여 실제 흡기포트내에서의 연료의 거동을 가시적으로 측정할 수 있었다.
- (2) NC가공을 이용한 투명 아크릴 헤드의 제작 기술을 확립하였고, 이 투명헤드를 이용하면 벽류의 집중 혹은 정체 부분이나, 실린더내로의 유입형상의 관측이 가능하였다.
- (3) 본 연구에서 실험한 세 가지 인젝터들 중 사이아미즈 형상을 가진 DOHC 엔진의 흡기포트내의 벽류 저감에는 두개의 흡기 밸브로

균일하게 2방향으로 분사되는 2공 2분무형 인젝터가 효과적임이 확인되었다.

(4) 화상처리법을 이용하여 벽류 생성 현상을 계측한 결과 핀틀형 인젝터의 경우 포트의 중앙 분리벽에 분사된 연료의 상당량이 충돌하여 많은 벽류가 형성되고 있으며, 텀블형 SCV 적용시는 포트 위벽에 많은 양의 벽류가 발생되는 반면 경사형 SCV의 경우는 벽류가 한쪽 흡기구 방향에 편중됨을 알 수 있었다.

(5) 가스 유동장 강화 방법인 SCV적용시에는 흡입 유동장에 난류성분이 적게 생성되는 저밸브 리프트에서 연료 분사를 종결해야 벽류 발생이 저감된다는 사실을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 논문은 한국 과학 재단의 핵심 연구 과제(961-1005-039-2) 연구비에 의해 수행된 연구 결과의 일부로써, 관계기관에 감사의 뜻을 표합니다.

#### 참고 문헌

1. Fu-Quan Zhao, et. al., "The Spray Characteristics of Automotive Port Fuel Injection - A Critical Review", SAE950506
2. M. J. Sampson and J. B. Heywood, "Analysis of Fuel Behavior in the Spark-Ignition Engine Start-up Process", SAE950678
3. K. Saito, K. Sekiguchi, et. al., "A New Method to Analyze Fuel Behavior in a Spark Ignition Engine", SAE950044
4. H. Yokota, Y. Takenaka, H. Nakajima, and Y. Aoyagi, "Visualization of Internal Flow in the Intake Manifold of an In-line Six Cylinder Diesel Engine", IPC-8 9530355
5. T. Urushihara, T. Murayama, Y. Takagi, K. H. Lee, "Turbulence and Cycle-by-Cycle Variation of Mean Velocity Genetated by Swirl and Tumble Flow and Their Effect on Combustion", SAE950813