

## 실린더내 현상해석용 가시화 엔진 Optically Access Engine to Investigate in Cylinder Phenomena

권 순 익\*  
Soon-Ik Kwon

### 〈Abstract〉

It is necessary to observe the in-cylinder phenomena directly for understanding in-cylinder air motion, combustion and evaluation of the numerical simulation. This paper describes the usage, structure and peculiar technique in design, and introduces the examples of the analyses using the engine from the Honda R&D Technical Review<sup>1)</sup>.

**Key Words :** Visualization Engine, Combustion, Air Motion, Fuel Spray, Laser

### 1. 서 론

엔진의 성능을 향상시키기 위해서는 우선 연소실내에서 일어나는 현상을 알고 이해할 필요가 있으며, 이를 위해 실린더내의 현상을 직접 관찰 가능한 엔진(이하 가시화 엔진이라 한다)이나 측정법 등의 개발이 필요하게 되었다. 한편 수많은 수치 시뮬레이션 소프트웨어가 시판되어 설계 개발기간 단축의 유효한 수단이 되고 있으나, 아직 실린더내의 현상을 정확히 평가 가능한 단계까지는 이르지 못하고 있다. 이것은 시뮬레이션 소프트웨어가 설계용 도구(Tool)로서, 계산시간의 제약 때문에 각각의 현상이 비교적 간단한 모델로 개발되어 있어 실린더내의 현상을 완전하게 나타내지 못하기 때문이다.

따라서 새로운 엔진에 대한 각 모델의 타당성 검증, 각 소프트웨어의 사용범위나 한계에 대한 확인 및 각각의 엔진의 특성에 맞춘 모델의 설정을 위해 실린더내의 현상해석이 중요하게 되었다.

종래의 실린더내의 현상의 측정에는 고속도 카메라나 비디오 카메라에 의한 화염전파, 연료분무의 촬영이나 Laser Doppler Velocimeter(LDV)에 의한 유속 측정이 주(主)가 되었으나, 근년에 와서 레이저 기술의 발달이나 데이터 처리능력의 향상에 의해 보다 상세한 공기유동, 각종 가스의 농도, 온도 분포나 Radical기의 농도분포 등 2차원 측정이 가능하게 되었으며, 측정영역에서도 실린

\* 정희원 두원공과대학 기계과 부교수 · 工博  
일본 廣島大學 卒業  
456-890 경기도 안성시 죽산면 장원리 678  
E-mail : sikwon@doowon.ac.kr

Associate Prof. of Mechanics Engineering.  
Doowon Technical College  
678 Changwon-Ri, Chuksan-Myon, Ansong-Si,  
Gyonggi-Do 456-890, Korea

더내의 전역에 걸쳐 가시화가 요구되도록 되었다<sup>1)</sup>. 이러한 측정 예로서는 화염전파의 측정<sup>2)</sup>, 공기유동의 측정<sup>3)</sup>, 연료분무 거동의 측정<sup>4)</sup>, 혼합기 분포의 측정<sup>5)</sup>, 초기화염의 가시화와 점화 플러그 부의 열 손실의 수치계산 등을 합친 초기화염의 성장에 대한 해석 예<sup>6)</sup> 등 다수가 보고되어 있다. 여기서는 이러한 것들의 관찰에 대해 Fig.1에 나타낸 가시화 엔진의 구조와 그 특유의 기술 및 가시화 엔진을 사용한 해석 예 등에 대해 참고문헌 1)의 내용을 토대로 소개한다.

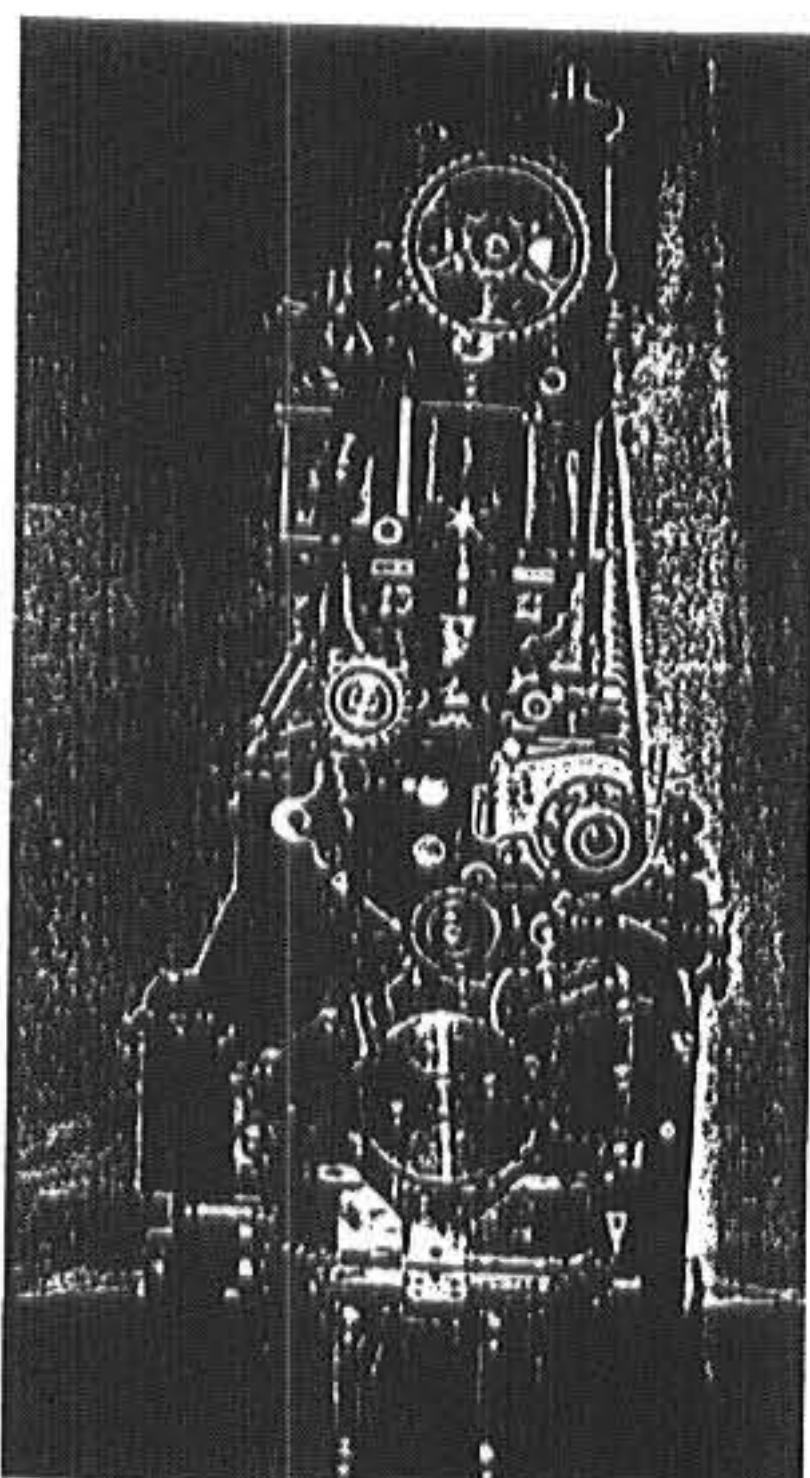


Fig.1 Optically access engine

거동, 혼합기나 잔류가스의 농도분포, 공기의 유동 등이 있다. 이러한 측정항목을 가시화 엔진에 맞추어 Table 1에 나타낸다. 가시화 엔진 특유의 요구항목은 운전조건과 측정을 위한 가시화 영역이다. 운전조건에 대해서는 연소해석을 위한 가시화가 주목적이므로 부분부하의 40km/h 일정운전 때를 기준으로(이하 운전조건을 부분부하라 한다), 아이들 상태에서 엔진 회전수 2000rpm 전부하 상태까지 30분 측정시간에 대해서 1시간 이상의 연속 Firing운전이 요구된다. 또한 디젤엔진의 경우 가시화 운전조건을 실제 조건과 맞추기 위해 착화지연 기간을 일치시키는 방법을 쓰기도 한다.

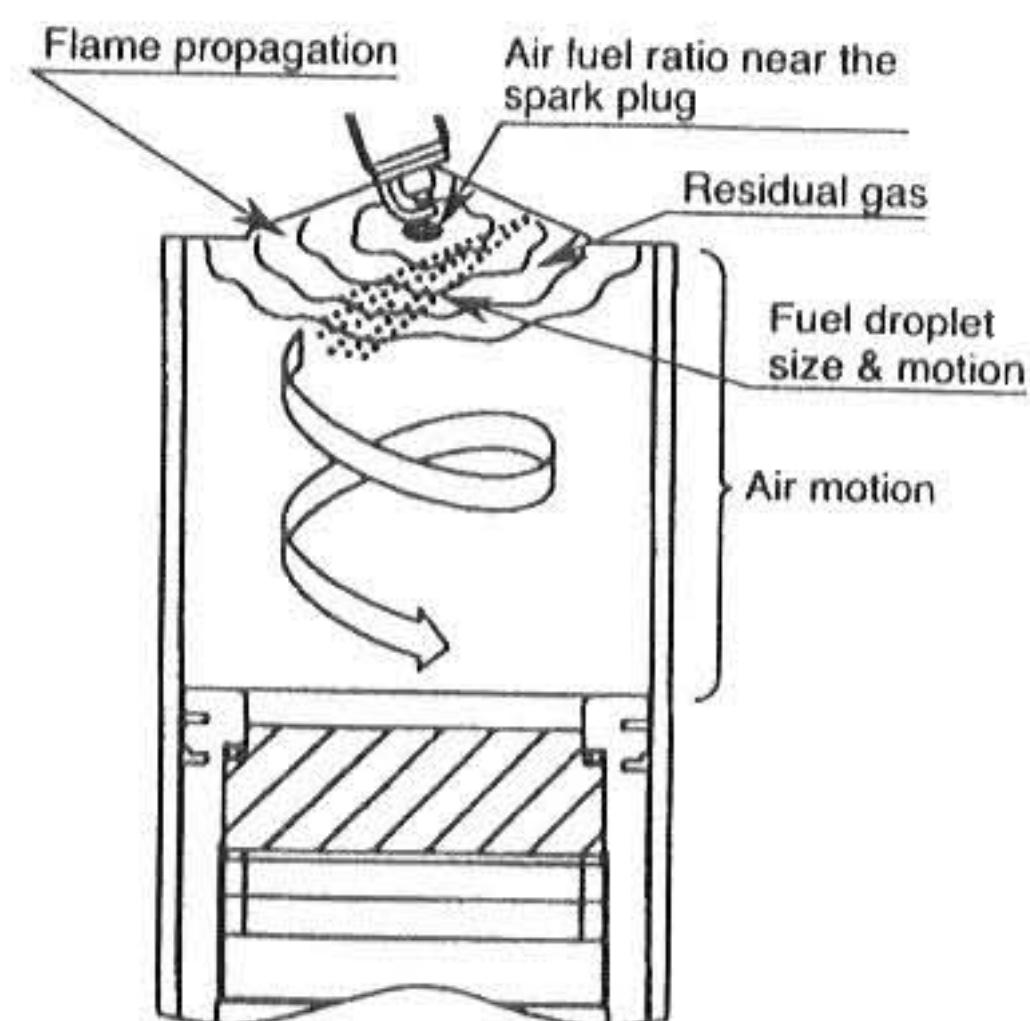


Fig.2 Visualization items in engine cylinder

## 2. 가시화 엔진의 요구성능

### 2.1 측정항목

실린더내의 연소에 관한 현상은 Fig.2에 나타낸 것과 같이 화염의 전파, 연료분무의

가시화 영역으로는 ①초기화염의 형상, 흡기밸브 부근의 연료분무, 잔류가스나 혼합기 농도분포 등의 측정에 대해서는 연소실 상부의 점화 플러그나 흡기밸브 부근의 수평 및

Table1 Measurement demand for optically access engine

Measurement item	Method	Light-location	Camera location	Measurement timing	Test condition	Continuous running time	Load	Maintenance interval
Air fuel ratio	LIF,CARS	Horizontal and vertical laser sheet(or beam) into the combustion chamber near the spark plug	Bottom and side view	Ignition timing	Firing	15 min.	Partial	1 Month
Flame propagation	High speed camera	Not necessary	Bottom and side view	Flame propagation period	Firing	15 min.	Partial	1 Month
Knock	High speed camera	Not necessary	Bottom and side view	Flame propagation period	Firing	1 min.	Full	1 Month
Fuel droplet motion (velocity and diameter)	Laser sheet	Horizontal and vertical laser sheet into the combustion chamber near the inlet valve	Bottom and side view	Induction stroke	Firing	15 min.	Partial	1 Month
Air motion and velocity	Laser sheet PDV,LDV	Laser sheet(or beam) into the whole region of cylinder	Bottom and side view	Induction & Compression stroke	Motoring	15 min.	—	1 Week
					Firing	1 min.	Partial	

수직단면의 가시화 ②노킹을 포함한 화염전파, 연료분무의 확산이나 액적의 직경과 속도 등의 측정에 대해 연소실을 포함한 실린더 상부에서의 수평단면의 가시화 ③공기유동의 측정은 흡입에서 압축, 연소행정에서의 실린더내의 전역에 걸쳐 수평 및 수직단면의 가시화 등이 있다.

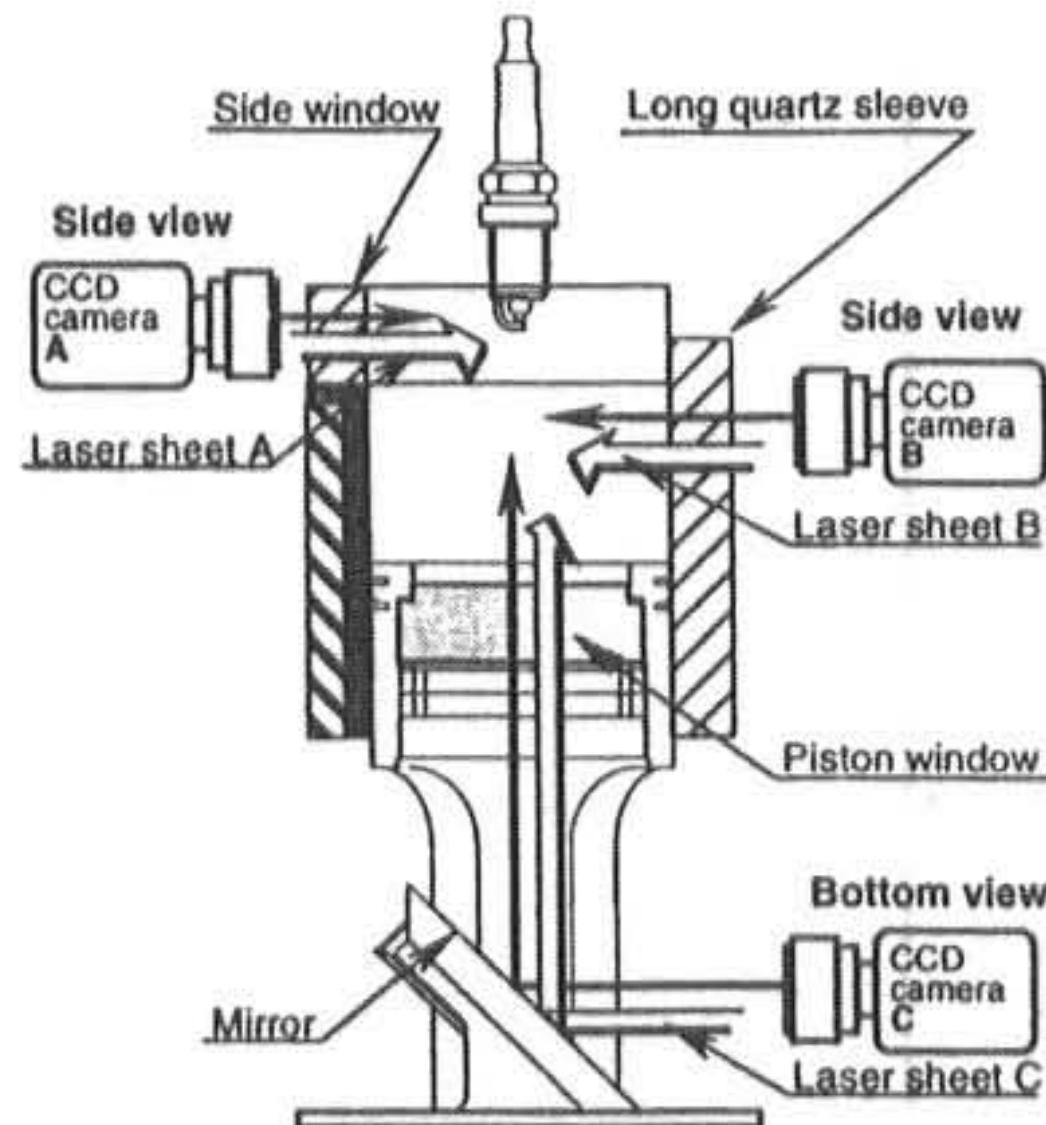


Fig.3 Camera and laser sheet position for visualization

Fig.3에 전술의 가시화 영역 ①에서 ③의 요구에 대한 관측용 창이나 촬영 기기 위치(측정의 光路)의 개략도 및 “Bottom view”, “Side view” 등 약칭을 나타내고 있다. 또 화염전파 등의 발광을 수반하는 현상의 측정에는 고속도 카메라 등의 기기에서 광로만을 생각하면 좋으나, 발광을 수반하지 않은 경우에는 Laser sheet 등의 조명용의 광로도 필요하므로 이에 맞춰 나타내었다.

①의 연소실 상부에서의 측정항목 중, 수직단면의 촬영은, 실린더 헤드 측면에 창(Side window)을 만들어 이곳을 통해 카메라 A로서 촬영이 가능하다. 더욱이 조명이 필요한 경우에는 Laser sheet C를 실린더 블록에 고정된 거울로 반사시켜, 피스톤 상부에 설치된 창(Piston window)으로 유도한 후 연소실 상부로 조명을 시키면 좋다. 또 수평단면에서의 현상은 점화 플러그 아래쪽의 수평단면에 Laser Sheet A를 입사시켜

카메라 C로서 촬영하면 된다.

②의 실린더 상부에서의 화염의 전파나 분무의 형상처럼 수평방향으로 퍼지는 현상에 대해서는 카메라 C를 이용하여 Laser sheet A 또는 B를 이용하여 수평단면을 조사하여 측정해도 좋다. 또 LDV, PDV(Phaser Doppler Velocimeter) 등에 의한 액적의 속도, 입경의 계측에는 LDV, PDV 등의 장치를 카메라 A 또는 B의 위치에 설치하여 혼합시킨다.

③의 공기유동의 측정에서는 카메라나 Laser sheet 는 ②의 경우와 동일하나, 실린더내 전역을 관찰하기 위해서는 투명한 석영 Sleeve가 사용되며, 또한 흡입공기에는 미립자가 혼입되므로 장시간동안의 Firing 운전이 어려우며, Firing 운전에서 측정할 필요성도 적다. 따라서 가시화 엔진에 필요로 하는 조명용의 창은 실린더 헤드의 측면 창, 실린더 상부의 투명한 실린더 Sleeve, 실린더내 전부가 투명한 실린더 Sleeve 및 피스톤 상부의 창이다.

Window type Short sleeve type Long sleeve type

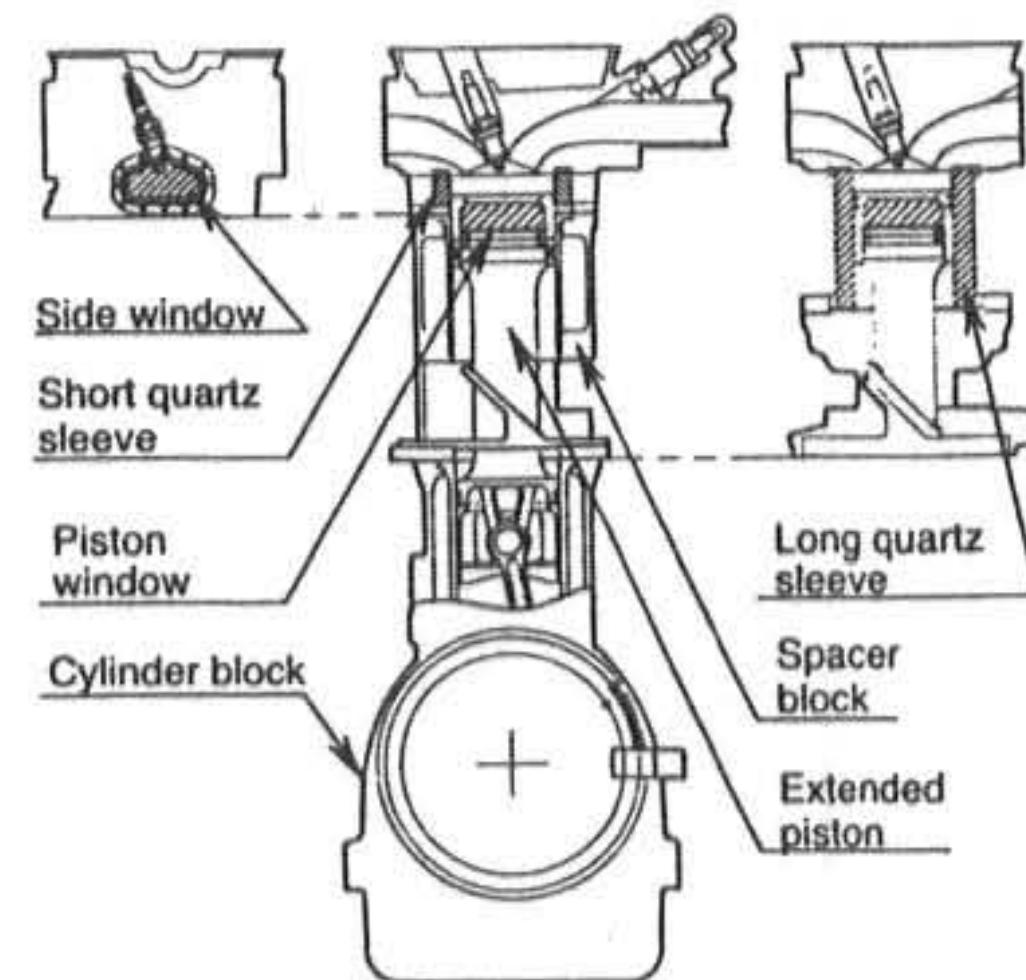


Fig.4 3types of optically access engine

## 2.2 가시화 엔진의 기본구조와 종류

전항의 ①에서 ③까지의 측정영역을 Fig.4의 3종의 가시화 엔진을 사용하여 나타낸다. 이러한 엔진의 기본구조는 실린더 블록 등의 엔진 아래 부분은 공통화하고, 연소실측과

실린더 블록 측에 각각 1개의 피스톤을 가지며 연소실측 상부에 관찰 창을 가진 연장형 피스톤(Extended piston), 실린더 헤드와 실린더 블록을 연결하기 위한 Space block 및 실린더 헤드로 구성되어 있다. 석영 창이나 실린더 Sleeve의 파손을 방지하기 위해서는 엔진의 조립이나 운전 시에 생기는 비틀림을 최소화 할 필요가 있으며, 실린더 헤드, Space block 및 실린더 블록은 주철을 이용하여 강성을 확보해야 한다. 다음은 각 엔진의 개요에 대해 서술한다.

Window type은 실린더 헤드 옆에 창(Side window)을 만들어, 점화플러그 및 흡·배기 밸브 주변의 현상의 가시화를 위해 만들어졌다. 수직방향의 측정시야는 연소실의 Fent roof 상면에서 피스톤의 상사점 위치보다 13.4mm 아래이며, 수평방향은 Fent roof의 전체 폭인 52mm이다.

Short sleeve type은 화염전파나 실린더내에서의 연료 액적의 거동 등을 측정하기 위해 개발되었으며, 실린더 상부에 원통형의 창(Short quartz sleeve)을 만들어 피스톤 상사점에서 아래쪽 22mm까지 관찰 가능하다. 이 엔진은 연소실 형상이 실제 엔진과 거의 동일하게 되므로 압축비도 거의 같다. Window type과 같이 석영창 부분은 피스톤 링과 접촉하지 않으므로 1시간 이상 연속 Firing 운전도 가능하다. Window type과 Short sleeve type 엔진의 실린더 헤드는 동일한 형태이며, 실린더 헤드부는 피스톤 상사점에서 실린더 블록 쪽으로 연장되어 있다. 이 연장부에 "Short quartz sleeve" 나 "Side window"가 만들어져 있으므로 이러한 2종류의 실린더 헤드를 이용함에 따라 위는 Fent roof 상면에서, 아래는 피스톤 상사점보다 아래쪽 22mm의 영역이 관찰 가능하다.

Long sleeve type은 주로 흡입 및 압축행정중에 실린더내의 전역에 걸쳐 공기 및 연료의 거동을 측정하기 위해 개발되어 주철 실린더 Sleeve 대신에 석영 실린더 Sleeve (Long quartz sleeve)가 이용되었다. 이 때문에 실린더 Sleeve 표면을 습동하는 피스톤 링의 재질로서 PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene)을 이용하여 Motoring에서 1시간

이상, Firing 운전에서 1분 간격으로 실험이 가능하게 되었다.

이상 설명한 가시화 엔진 이외에 대해서는 Table 2에 각종 제원을 나타내었다.

Table 2 Engine specifications

	Civic 1.5L type			Accord 2.2L type	Diesel type
Engine type	Water cooled 4stroke single cylinder			←	←
Bore × Stroke (mm)	φ 75.0 × 81.5			φ 85.0 × 95.0	φ 80.0 × 80.0
Displacement Volume (cc)	360			539	402
Window type	Window	Short sleeve	Long sleeve	Window	Short sleeve
Window material	Quartz	Quartz	Quartz	Quartz	Sapphire
Visualization area	Combustion chamber	Upper part of cylinder	Whole area of cylinder	Combustion chamber	Upper part of cylinder
Compression ratio	7.9	9.2	9.2	6.5	19.5

### 3. 가시화 엔진의 특유기술

#### 3.1 관찰 및 조명용 창의 설치법

각 창의 설치에 공통적으로 주의해야 할 점은 균열과 파손을 방지하기 위해 창의 재질과 금속부분이 직접 접촉하는 것을 피할 것과 압축비를 실제 엔진에 근접시키기 위해 관찰창 설치에 따른 불필요한 용적을 될 수 있으면 적게 하는 것이다. 다음에 각 창의 설치법에 대해 설명한다.

##### 3.1.1 Piston Window

Fig.5에 피스톤 상부의 구조를 나타낸다. 피스톤의 아래쪽에서 연소실내를 관찰하기 때문에 피스톤을 높이 방향으로 연장하여 상부에는 석영 창(Piston window)을 설치한다. 피스톤 상부 및 Window 설계에 유의해야 할 점은 창의 균열 방지와 연소의 압력에 견딜 수 있는 시일(Seal) 성의 확보이다.

창의 균열을 방지하기 위해 Fig.5의 피스톤 상부의 확대도면에서 Piston window의 A를 나타내는 부분의 Round경의 확대, Window와 피스톤 사이의 Clearance 증가 및 Piston window의 피스톤에 대한 반경 방향의 위치 결정을 위해 창을 조립할 때 양자 사이에 두께 0.05mm의 게이지를 넣어 설치 때에 창이 한쪽 방향으로 기울어짐을 방지하

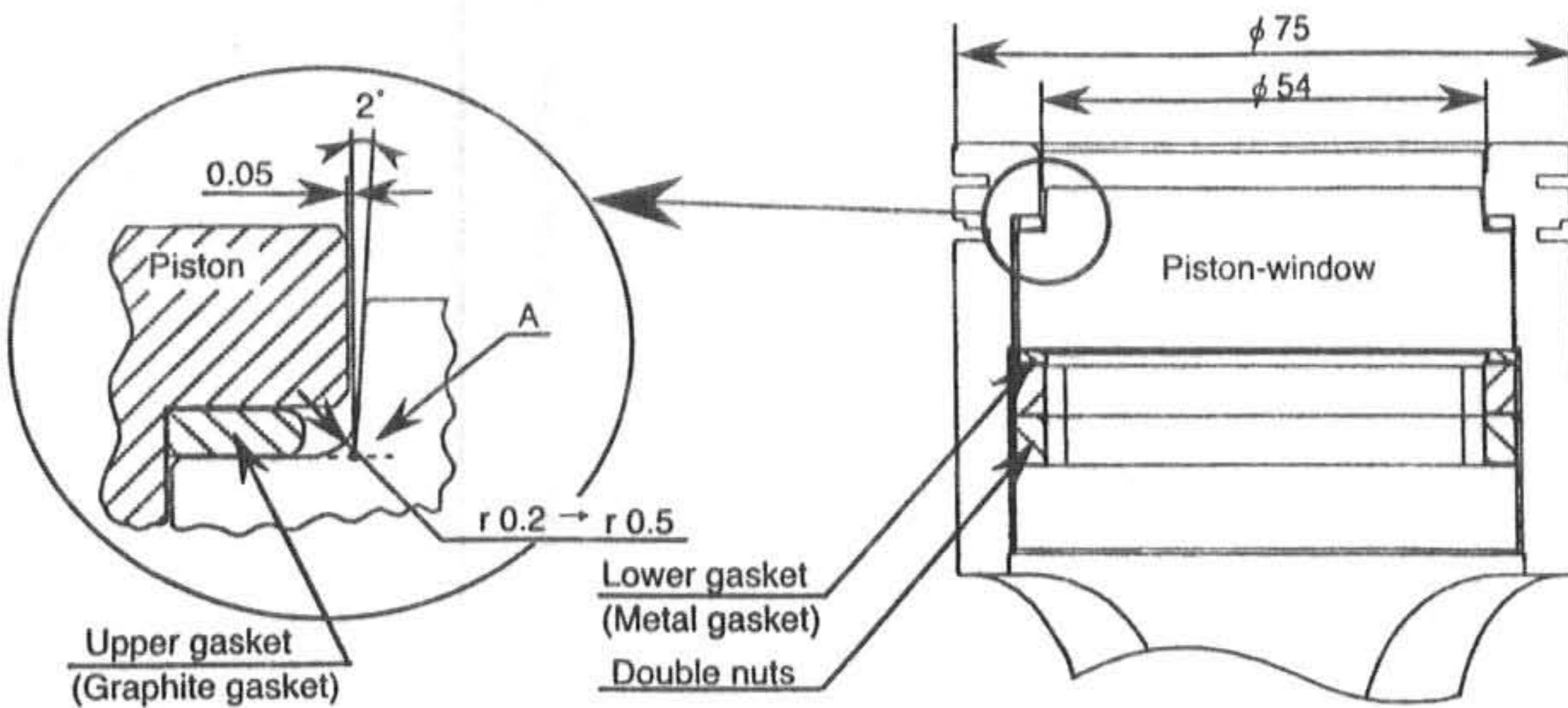


Fig.5 Piston window mounting on to the piston

도록 한다. 이것은 보통 Firing 운전 시에 A부를 기점으로 균열이 생기는 것을 방지하기 위한 대책이다.

시일성 확보를 위해 창의 재질의 상하에 2매의 Gasket을 사용하며, 상부 Gasket에 의한 연소가스의 시일성 확보를 위해 Gasket의 정수는 아래쪽보다 큰 값으로 설정한다. Fig.6에 나타낸 상하 2매의 Gasket하중에 대한 변형 특성을 설명하면, 조임 하중에 의한 상하의 Gasket에는 A까지 하중이 가해지며, 이 상태에서 연소에 의한 하중이 더해지면 아래쪽 Gasket는 더욱 B까지 변형이 증가하고, 증가한 만큼 위쪽 Gasket의 변형은 개방되어 하중은 C까지 감소한다. 이 상태에서 연소압력을 밀봉시키는데 필요한 하중 D보다 클 필요가 있으나, 위쪽 Gasket의 스프링 상수를 아래쪽의 값보다 작게 설정함으로서 전부하 상당의 연소압력이 가해진 경우도 안전율은 3이상 확보 가능하다.

### 3.1.2 Side Window

점화플러그 부근 및 피스톤 상사접 부근에서 실린더내의 현상을 해석하기 위해 Fig.7과 같이 연소실 양측에 관찰용 창을 설치한다. 창 설치에 있어서, 창이 균열을 방지하기

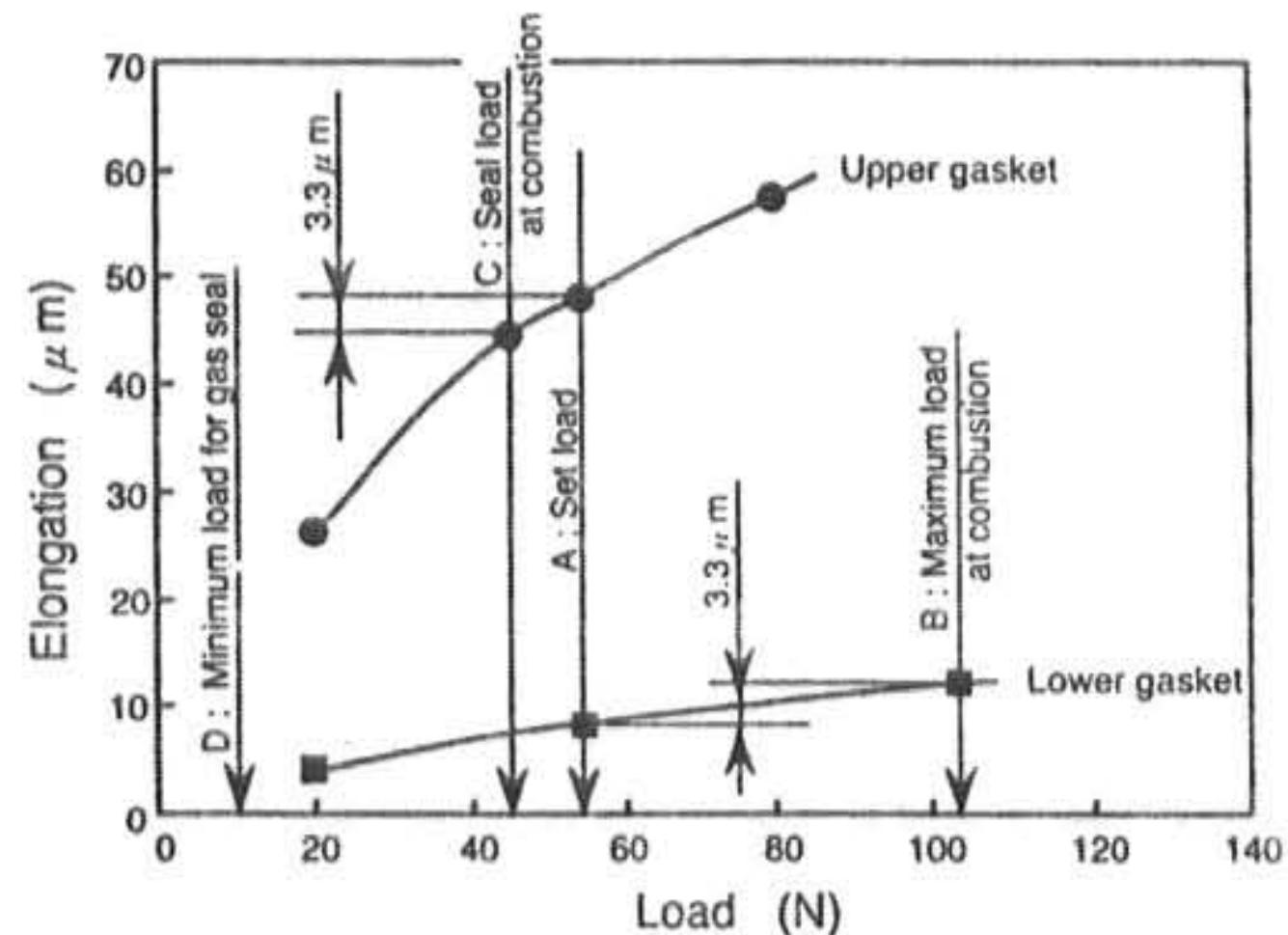


Fig.6 Different characteristics of upper and lower piston-window gasket for gas seal

위한 고정방법과 압축비의 확보 등 2가지 점에 유의해야 한다. Side window는 Fig.8에 나타낸 것처럼 Side window의 플랜지부를 Inner flame과 Outer flame으로 끼워, 이 프레임을 마운팅 플랜지를 매개로 실린더 헤드에 고정한다. 이 고정방법에 의해 창의 불균일한 틈이나 실린더 헤드의 변형에 의한

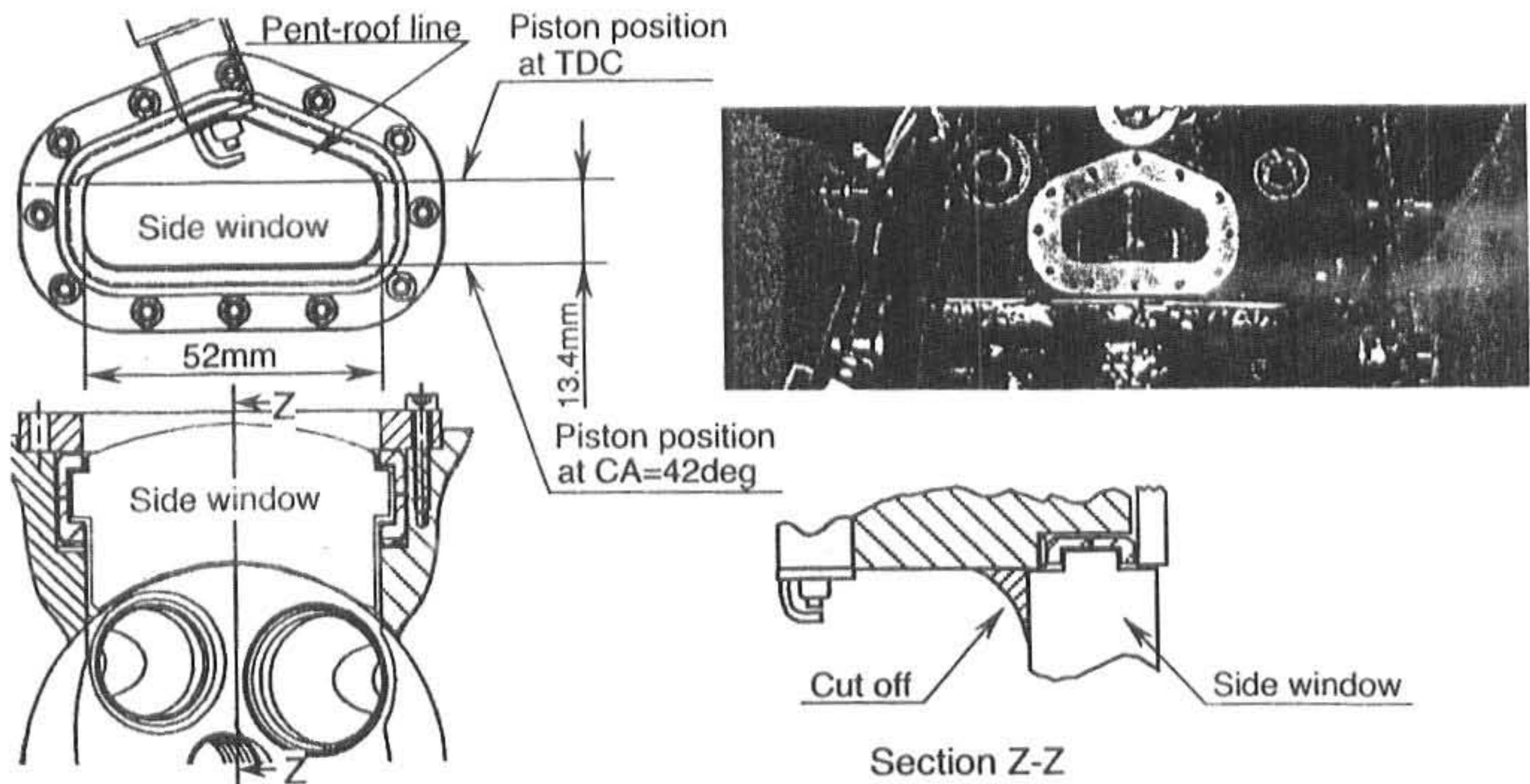


Fig.7 Visible area and photograph of side window

편 하중이 창에 가해지는 것을 막을 수 있어  
창의 균열을 방지한다.

Window type은 옆 방향에서 관찰하기 때  
문에 Fig.7의 Z-Z 단면의 경사부로 나타낸  
연소실 두께를 삭제하면 압축비가 실제 엔진  
보다 낮아진다. 이를 방지하기 위해 Fig.8에  
나타낸 것과 같이 두께가 다른 Inner frame  
을 몇 개 준비하여 최적의 안쪽 위치가 확보  
되도록 Flame 두께를 적절히 선택하도록 한  
다.

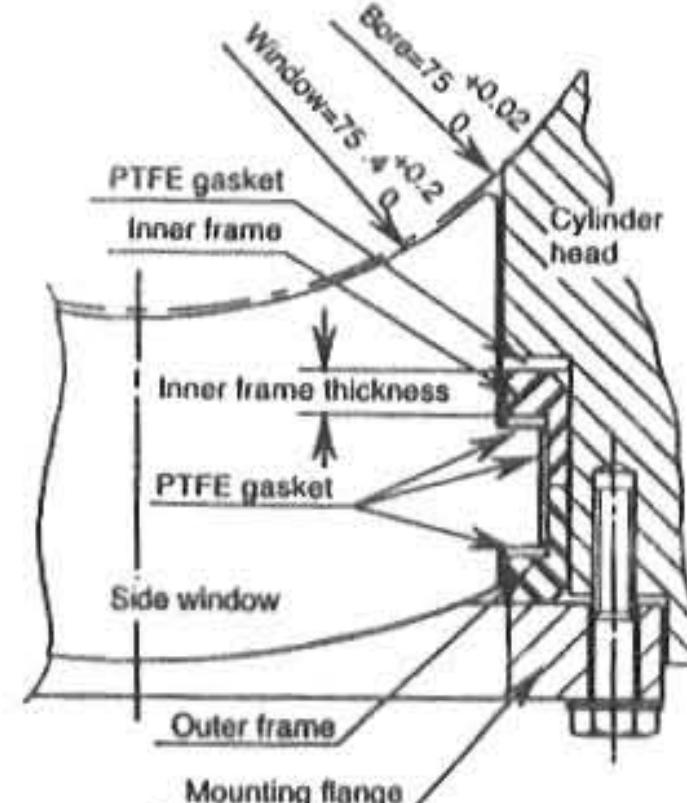


Fig.8 Side window mounting to the cylinder-head

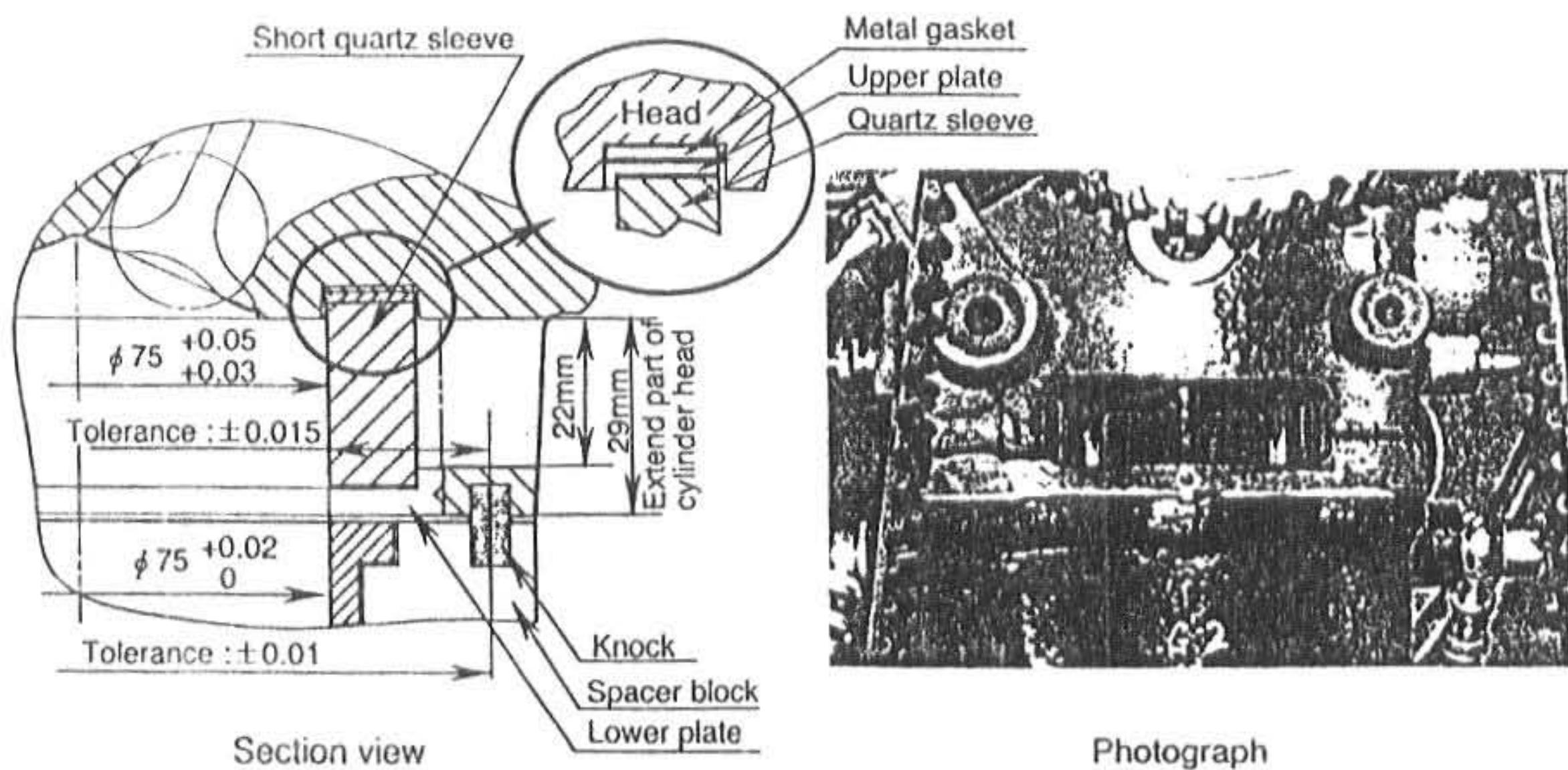


Fig.9 Short quartz sleeve mounting to the cylinder-head

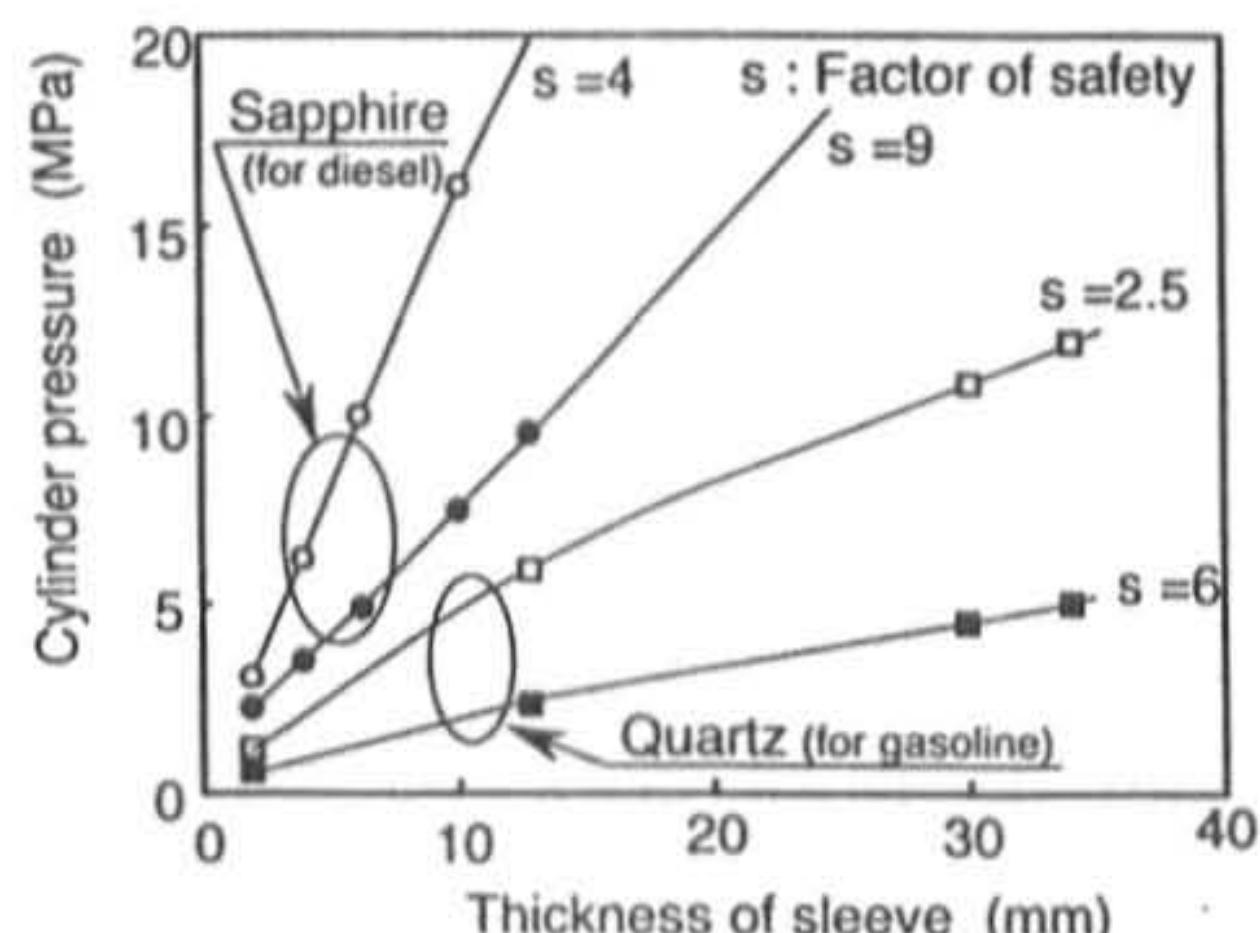
### 3.1.3 Short Quartz Sleeve

Short sleeve type은 실린더 상부의 가시화를 하기 위해 Fig.9에 나타낸 것처럼 실린더 헤드를 아래 방향으로 29mm연장한 후 여기에 원통형의 창(Short quartz sleeve)을 삽입하는 구조로 되어 있다. 이 구조와 Quartz sleeve 상하의 Gasket에서, 실린더 헤드 설치 시에 Quartz sleeve에 과대한 하중이 걸리는 것을 막아 균열을 방지한다. 실린더 상부의 변경에 맞추어 피스톤 형상도 Window type과 같이 피스톤 링의 위치를 내릴 필요가 있다.

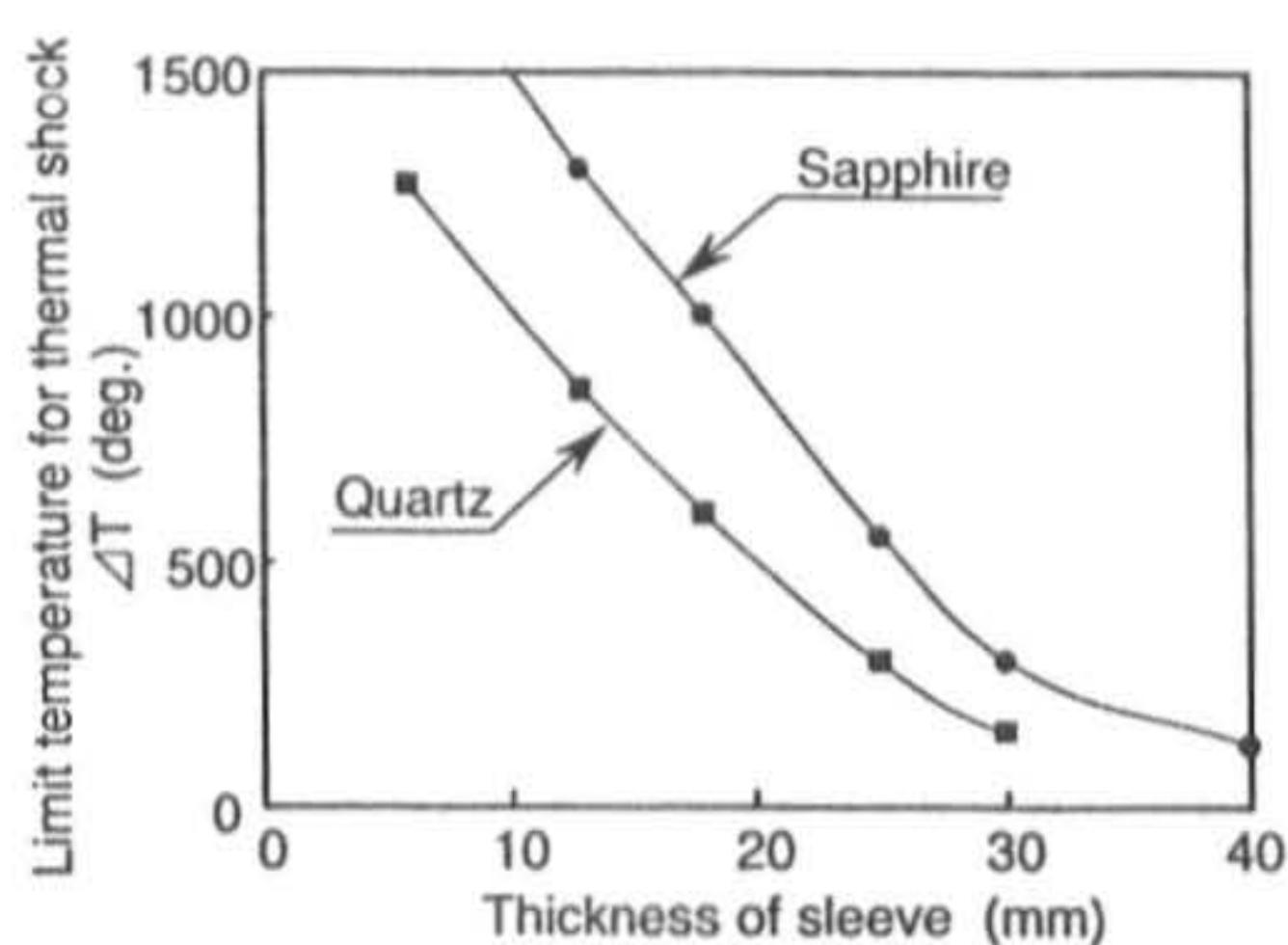
실린더 Sleeve 위를 습동하는 피스톤과 헤드에 고정되어 있는 Quartz sleeve의 Clearance 관리는 Quartz sleeve의 실린더 헤드의 위치 결정용 Lower plate와 실린더 헤드의 중심결정용 Knock에 의해 행해진다. 이 Lower plate는 위치결정 이외에 Gasket으로서의 기능도 요구되므로 정도관리가 어렵다. 이 때문에 Lower plate는 PTFE를 코팅하여 Gasket의 기능을 가지게 하고 Quartz sleeve와 접촉하는 수평 및 수직의 2면에 마무리 가공을 하여 위치 결정의 정도 향상과 Gasket으로서의 기능을 양립시킬 수 있다.

Short quartz sleeve의 두께 설계는 실린더내의 압력에 의한 인장과 전단응력 및 Sleeve내외 면의 온도차에 의한 열응력을 고려할 필요가 있다. Fig.10(a)는 실린더 압력과 Sleeve 재질의 두께의 관계를 각각 석영 및 사파이어에 대해 나타내고 있다. 실린더내의 높은 압력에서 사용하기 위해 창을 두껍게 할 필요가 있으나, 두께가 증가하면 열응력도 증가하므로 사용 가능한 두께에 한계가 있음을 나타내고 있다.

가솔린엔진의 경우, 부분부하에서의 최대 실린더 압력을 2.5MPa, 안전율을 6으로 설정하면 Sleeve 두께는 13mm가 된다. 이 두께에서 전부하 운전 때의 안전율은 실린더내의 압력을 6MPa로 설정하면 2.5가 된다. Firing 운전 시의 Sleeve 내외 면의 온도차를 200°C로 가정하면 Fig.10(b)에서 석영의 사용 가능한 최대 두께는 27mm이며, 온도차의 내부응력에 대해서도 충분한 여유가 있다.



(a) Thickness of optical sleeve for cylinder pressure



(b) Thickness of optical sleeve for thermal shock temperature

Fig.10 Thickness of optical sleeve for cylinder pressure and thermal shock temperature

디젤 엔진에서는 부분부하 운전조건의 최대 실린더 압력을 7.5MPa로 설정한 경우, Short quartz sleeve의 두께를 27mm로 해도 안전율은 3.5로 상용 운전 조건의 안전율로서는 충분하지 못하다. 따라서 Sleeve로서 두께 10mm의 사파이어를 사용하면 부분부하 때의 안전율은 9가 되고, 또 전부하 운전의 최대 실린더내의 압력을 16MPa 때에도 안전율은 4가 된다. 그러나 사파이어는 가격이 비싸고, 경도가 높아 가공시간이 길어지므로

가솔린 엔진의 창 재료로서는 석영을 사용하고 있다.

### 3.1.4 Long Quartz Sleeve

Long sleeve type의 엔진에서 Long quartz sleeve의 설치는 Fig.11과 같이 Quartz sleeve의 길이의 차이는 있으나, Short quartz sleeve의 경우와 거의 같다.

단, Long quartz sleeve의 전체 길이는 102mm로 길기 때문에 실린더 헤드를 다음과 같이 변경한다. 체결이나 연소 압력에 의한 편 하중을 피하기 위해 실린더 헤드는 피스톤 상사점보다 블록 측으로 106mm 연장시켜, 그 연장부분은 Sleeve 쪽으로의 편하중을 막기 위해 강성을 크게 해야 한다. 체결은 통상 4개의 볼트에 4개를 더 추가하여 면압을 균일하게 한다.

엔진의 4방향에서의 관찰을 위해 Sleeve 바깥쪽의 Water jacket은 생략한다. 이 때문에 연장된 실린더 헤드부는 4곳이 기둥 형태로 되어 있으며, Long quartz sleeve는 이 기둥의 내측에 자리 잡고 있다.

### 3.2 광학부품의 오염 방지

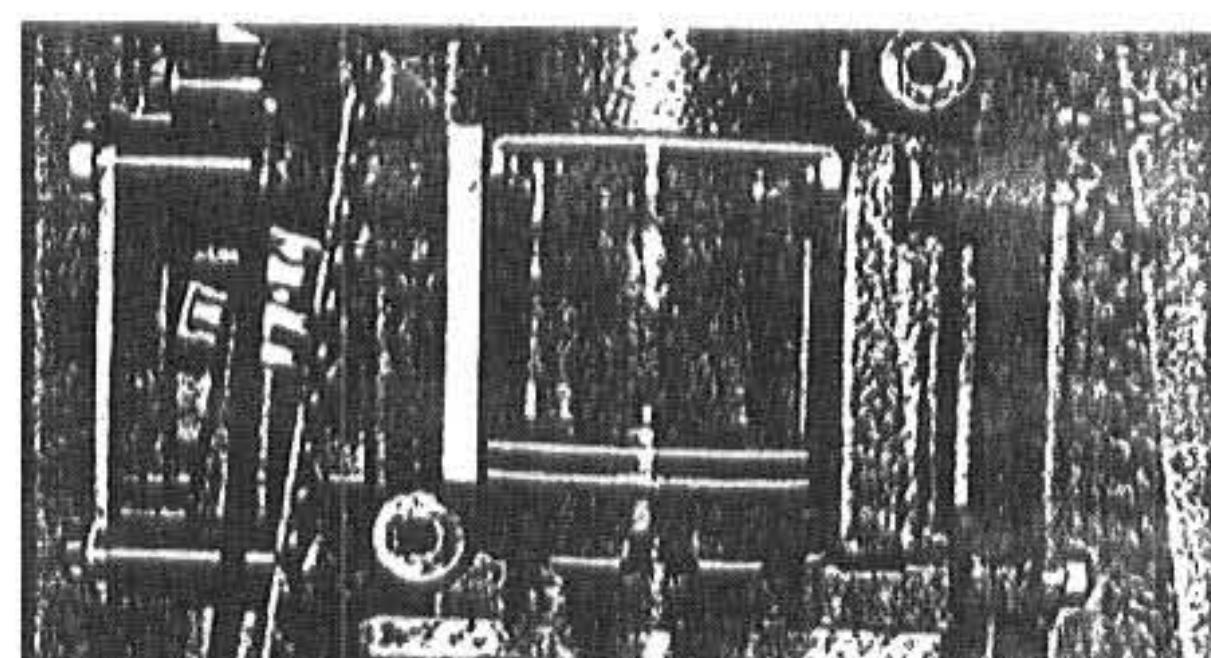
가시화 엔진의 운전시간은 엔진의 내구성과 광학 부품의 오염에 의해 결정되며, 오염 방지는 가시화 엔진의 주요과제 중의 하나로 되어 있다. 광학부품 오염의 원인은 연료와 윤활유에 의한 것으로 나눌 수 있다.

유황성분이나 고 비점(高沸點) 성분이 높은 연료를 사용하면 가시화용 창이나 Sleeve 벽면에 연소생성물이 부착하기 쉽고, 장시간 측정이 되지 않게 된다.

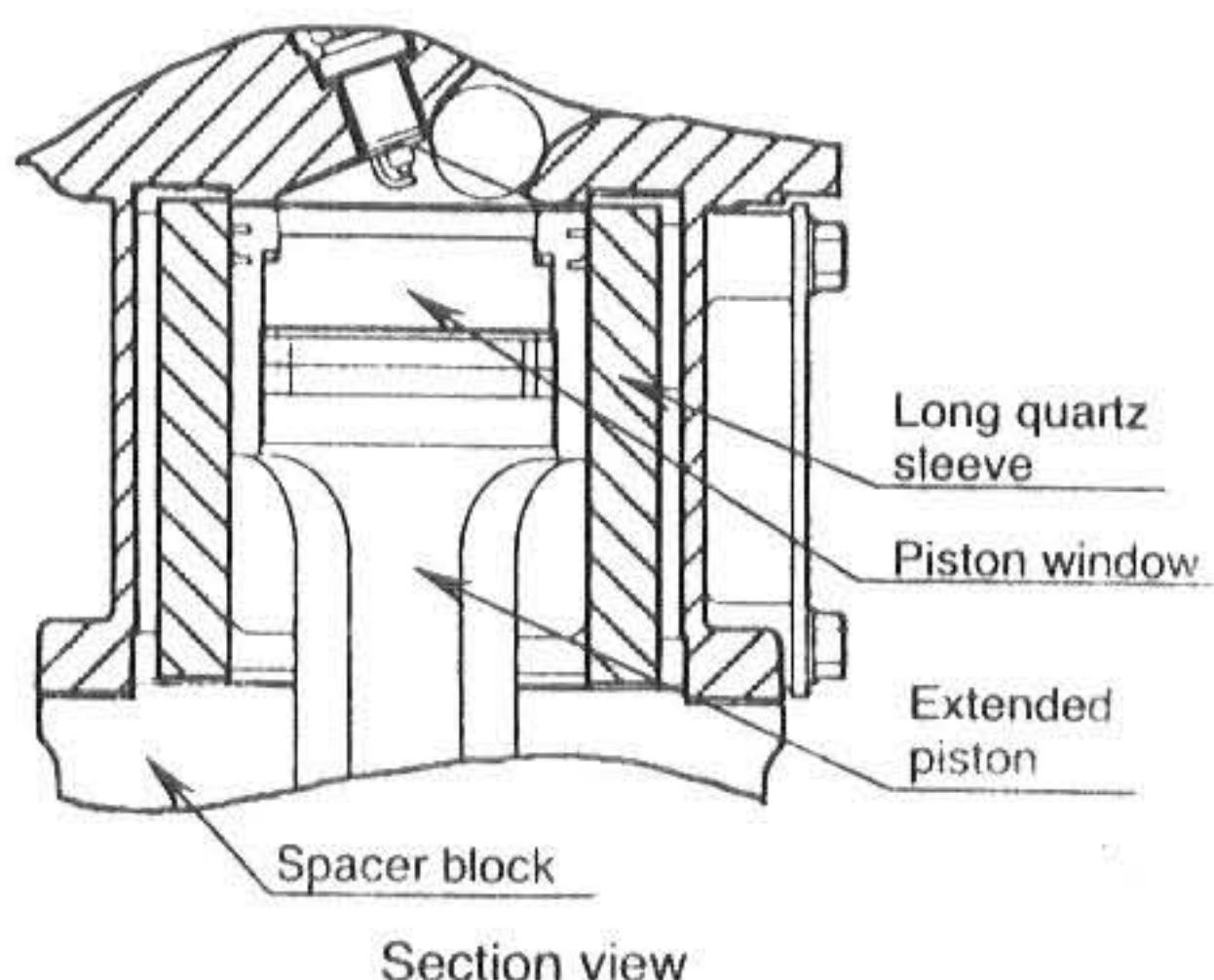
윤활유에 의한 광학 부품의 오염방지를 위해서는 실린더 Sleeve와 피스톤 링 사이의 무 윤활화, 크랭크 케이스에서의 오일 상승 및 실린더 헤드로부터의 오일 하강 등의 대책이 필요하다. 이러한 대책이 되면 부분부하 상태에서 6시간 이상의 실험이 가능하다. 이러한 대책에 대해 서술한다.

#### 3.2.1 Sleeve와 피스톤링 사이의 무윤활화

Sleeve의 종류로 Window type이나 short



Photograph



Section view

Fig.11 Long quartz sleeve mounting to the cylinder head

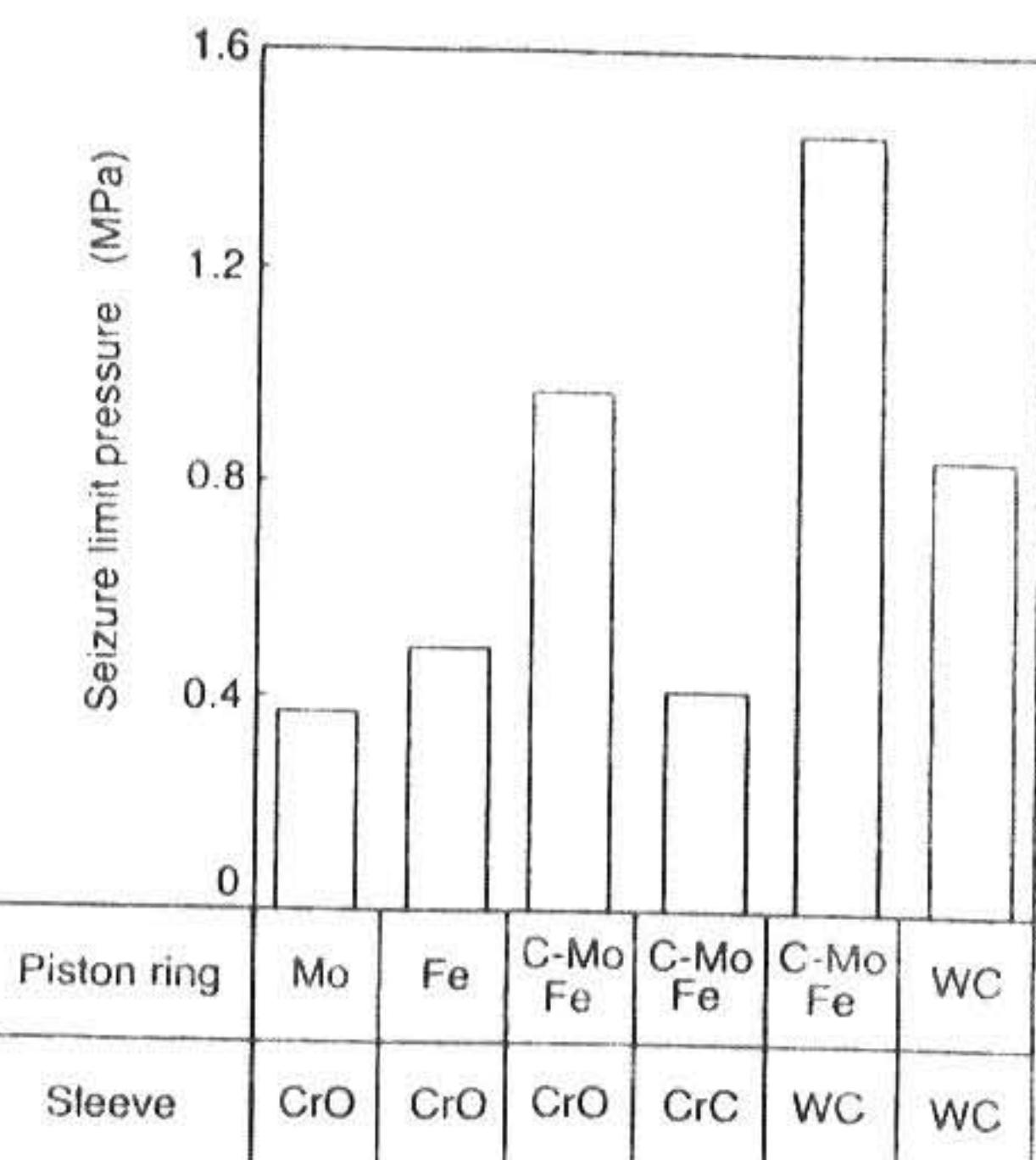
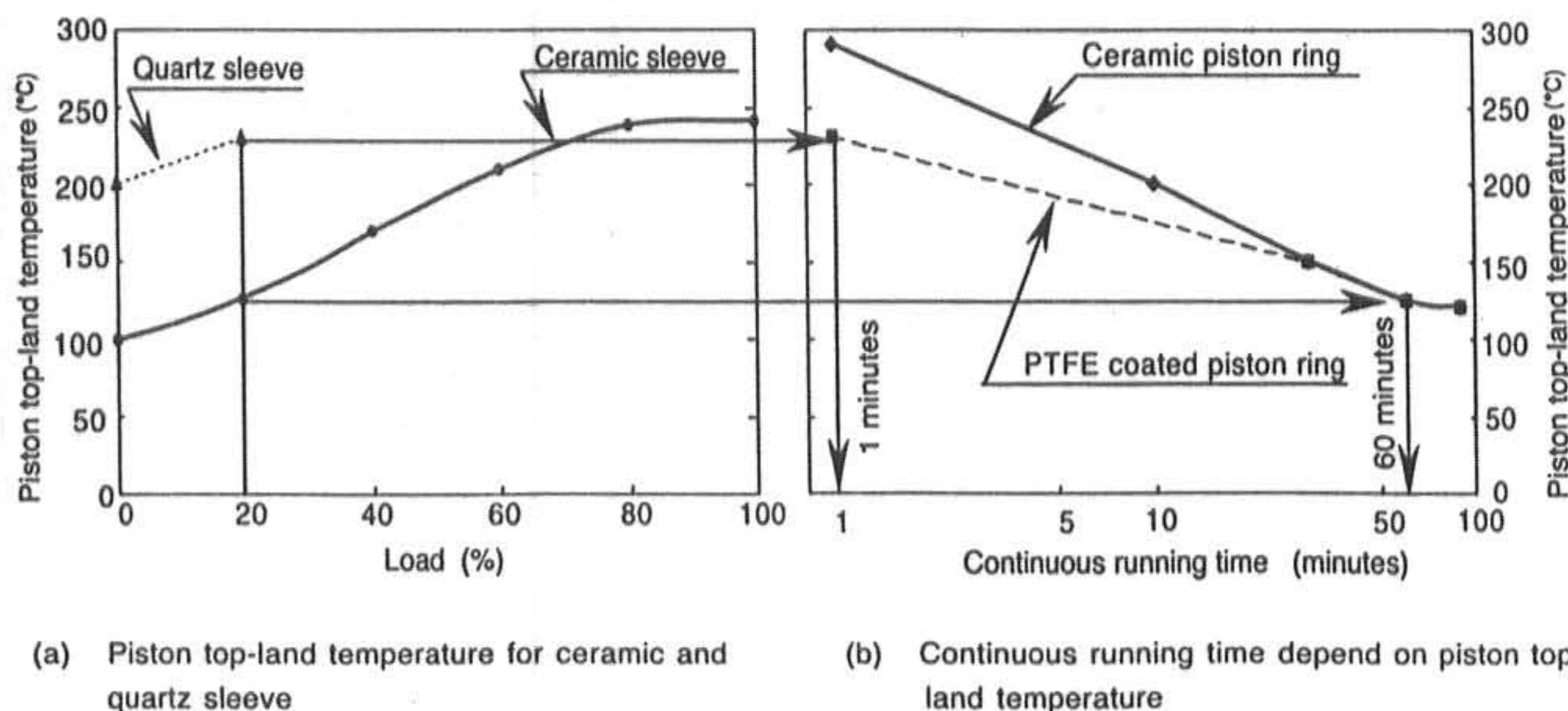


Fig.12 Seizure limit pressure of piston ring and sleeve material combination

Sleeve type에 이용되는 주철 Sleeve와 Long sleeve type에 이용되는 석영 sleeve가 있다. 무윤활 운전에 있어서 가장 적절한 재료의 선정은 습동시험으로 정한다. 습동시험



(a) Piston top-land temperature for ceramic and quartz sleeve

(b) Continuous running time depend on piston top land temperature

Fig.13 Continuous running time of optical access engine depend on engine load

이란 회전하는 Sleeve 위에 피스톤 링을 눌러 그 때의 소손 하중을 측정하여 재료를 비교한다.

주철계 Sleeve의 습동시험에는 무윤활 운전에 대한 내 소손성이 높다고 생각되는 4종류의 세라믹계 재료를 사용한다. 습동시험 결과, Fig.12에 나타낸 것처럼 Sleeve 재질로서는 텅스텐 카바이트계(WC), 피스톤 링 재질로서는 몰리브덴계(C-Mo-Fe)의 재료를 조합하면 가장 높은 소손 한계 하중이 얻어지기 때문에 이 조합으로 실기(實機) 테스트를 하면 된다. 실기테스트는 Motoring 운전 상태에서 최대 압축 압력시 피스톤 링으로부터 누유 평가를 하며, Firing 운전에서는 내 소손성의 테스트를 한다.

실린더 내 전체를 가시화 할 경우, 석영 Sleeve 표면을 피스톤 링이 습동되는 것은 피할 수 없으므로 무윤활 상태에 있어서 Sleeve 표면에 굵힘 없이 압력을 시일 할 수 있는 피스톤 링 재료의 선정을 습동시험에 의해 정한다. 시험결과에 의하면 1.2mm 두께의 steel 링의 외주(外周) 부분에 PTFE 코팅을 하여 배럴 형상으로 성형한 것이 최적이다. 이렇게 함으로서 약 1분 간격의 Firing 운전이 가능하다.

### 3.2.2 오일 상승 대책

크랭크 케이스 측의 피스톤 링의 습동에서, 실린더 Sleeve에 오일이 올라와서 피스톤 창의 바깥쪽 및 반사경이 오염되어 관찰을 방해한다. 아래쪽의 피스톤 링에 의해 올라온 오일은 부압 펌프로서 크랭크 케이스 내를 항상 부압으로 유지시킴으로서 대처할 수 있다.

### 3.2.3 오일 흘러내림에 대한 대책

실린더 헤드의 흡기 및 배기 밸브의 스텝 시일을 거쳐 밸브 가이드를 통해 흘러 내려 연소실로 들어가는 오일에 의한 광학계 부품의 오염은 Firing 운전 시에는 오일이 연소하므로 그다지 문제가 되지 않으나, Motoring 운전 시에는 현저하게 나타난다. 이 대책으로서 밸브 스텝에 고체 윤활제를  $10\mu\text{m}$  도포하고, 병행하여 스텝 시일의 관리 폭을 엄격하게 설정함으로서 오일의 누유량을  $1/3$ 로 줄일 수 있다.

### 3.3 무윤활에서의 운전조건

Firing에서의 연속운전 가능 시간은 부하나 회전수에 따라 다르며, 피스톤 톱 랜드부의 온도와 링의 내구성과의 상관관계를 Fig.13에 나타낸다. 이 그림을 이용하여 각

실험 조건에서의 연속운전 가능 시간을 결정 할 수 있다. Fig.13(a)는 1500rpm에서 부하를 변화시킬 때의 톱 랜드부의 온도를, 세라믹 Sleeve를 사용한 경우와 Quartz sleeve를 사용한 경우에 대해 나타내고 있다. Quartz sleeve를 사용한 경우의 톱 랜드부의 온도는 Sleeve가 무 냉각이기 때문에 냉각수에 의해 80°C로 냉각되어 있는 세라믹 Sleeve에 비해 약 100°C로 높게 되어 있다. Fig.13(b)는 부하에 따라 변화하는 연속운전 시간이 톱 랜드부의 온도에 의해 제한되는 것을 나타내고 있으며, 세라믹 용사(溶射) 피스톤 링과 PTFE 코팅 링을 사용한 경우의 연속 운전 시간을 나타내고 있다. 예를 들면 세라믹 피스톤 링과 Sleeve를 조합한 경우, Fig.13(a)에서 부하가 20% 일 때 톱 랜드부의 온도는 약 130°C이며, 이 경우 연속운전 시간은 Fig.13(b)에서 약 1시간이 된다.

다음에 피스톤 링 등을 교환할 필요가 있는 부품의 교환주기는 부분부하에서 약 100시간이나, Sleeve 재질과 피스톤 링과의 조합에서 50시간 이상의 길들이기 운전이 필요하다는 문제점도 있다.

#### 4. 가시화 엔진의 사용에

여기서는 가시화 엔진을 이용한 해석예로서 혼합기의 농도분포, 연료분무 거동 및 공기속도의 측정 결과를 소개한다. 엔진의 운전조건은 40km/h 상당의 부하로서 Fig.14에 대표적인 계측 시스템을 나타낸다.

##### 4.1 혼합기의 농도분포 측정

Window type의 가시화 엔진의 사용 예로서 점화 플러그 부근의 혼합기 분포의 측정 예<sup>10)</sup>를 소개한다. 농도측정은 LIF(Laser Induced Fluorescence)법을 이용하였다. LIF는 강력한 자외 레이저광으로부터 연료(혹은 연료에 첨가된 형광제)를 유기 시켜, 발광되는 형광을 측정함으로서 혼합기 농도를 구하는 방법이다. 레이저에는 엑시머 레이저(발진파장 308nm)를 사용하며, 이것을 두께 0.5mm의 Sheet상으로 하여 Fig.15에 나타낸 것처럼 Side window를 통해 점화 플러그 아래 6mm위치에 조사(照射)한다. 레이저광에서 유

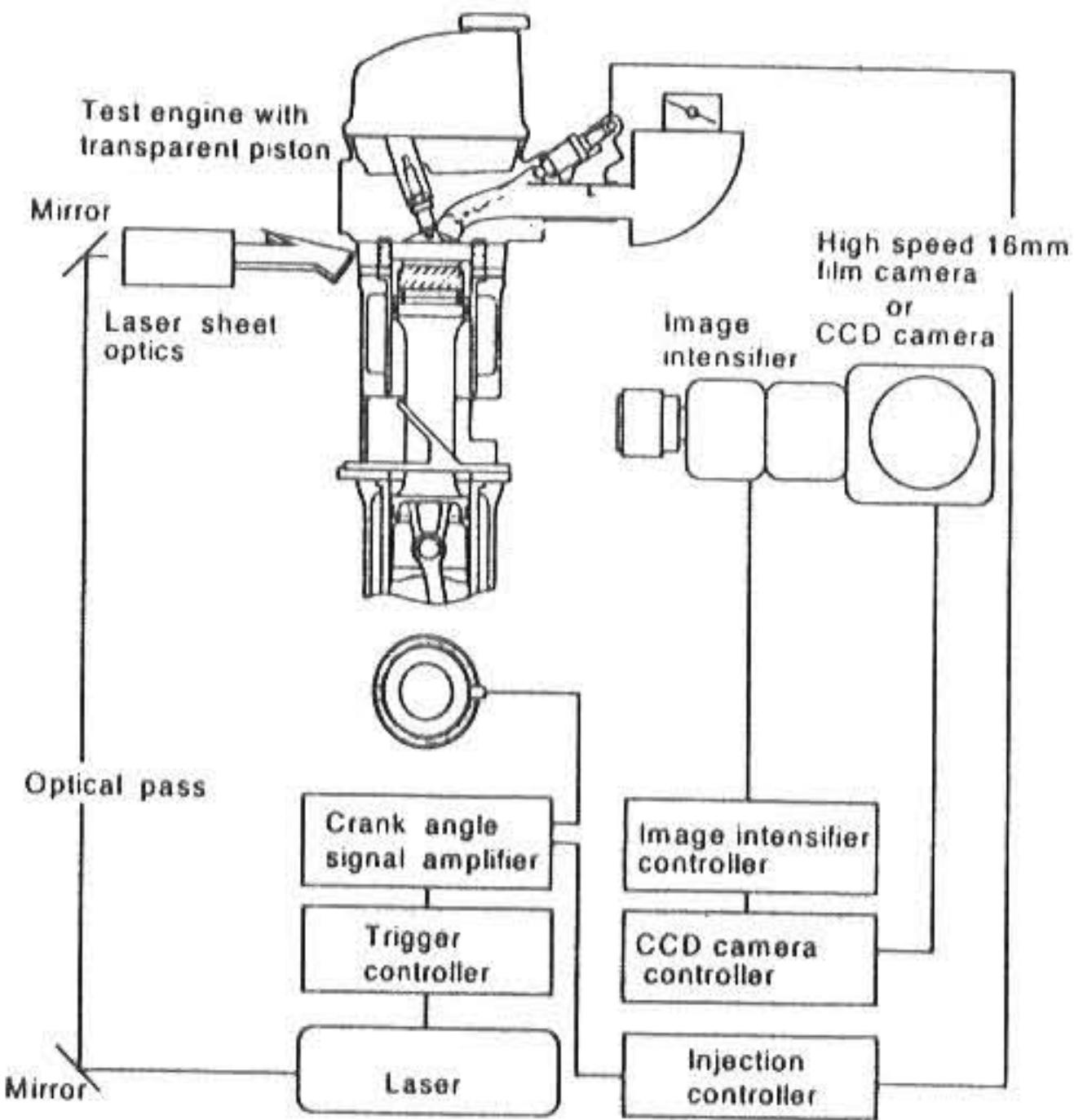


Fig.14 Schematic of instrumentation

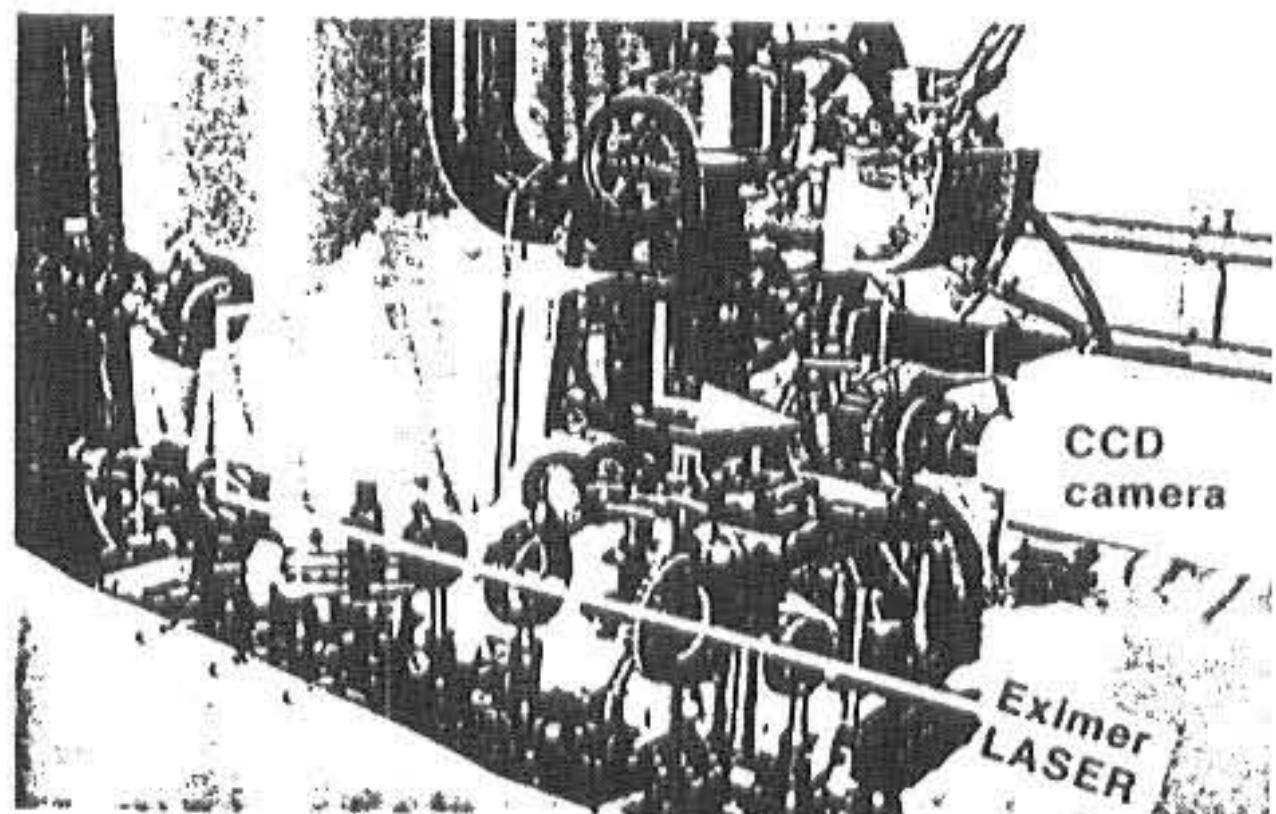


Fig.15 Schematic of instrumentation for LIF

기 된 연료로부터 형광은 피스톤 Window를 통해 Image intensify 부착 CCD 카메라로서 측정한다.

Fig.16에 연료의 분사시기를 변화시킨 경우, 점화시기에서의 혼합기의 농도분포의 차이를 나타낸다. 포트(Port) 내에 분사된 연료는 실린더에 흡입된 후, 실린더내의 텀블(Tumble) 흐름에 의해 점화 플러그 부근에 수송된다. 연료 분사시기가 380° 인 경우는 분사시기가 지나치게 빠르기 때문에 농 혼합기가 점화 플러그 부를 통과한 후에 점화가 되며, 가장 연소변동이 적은 분사시기인

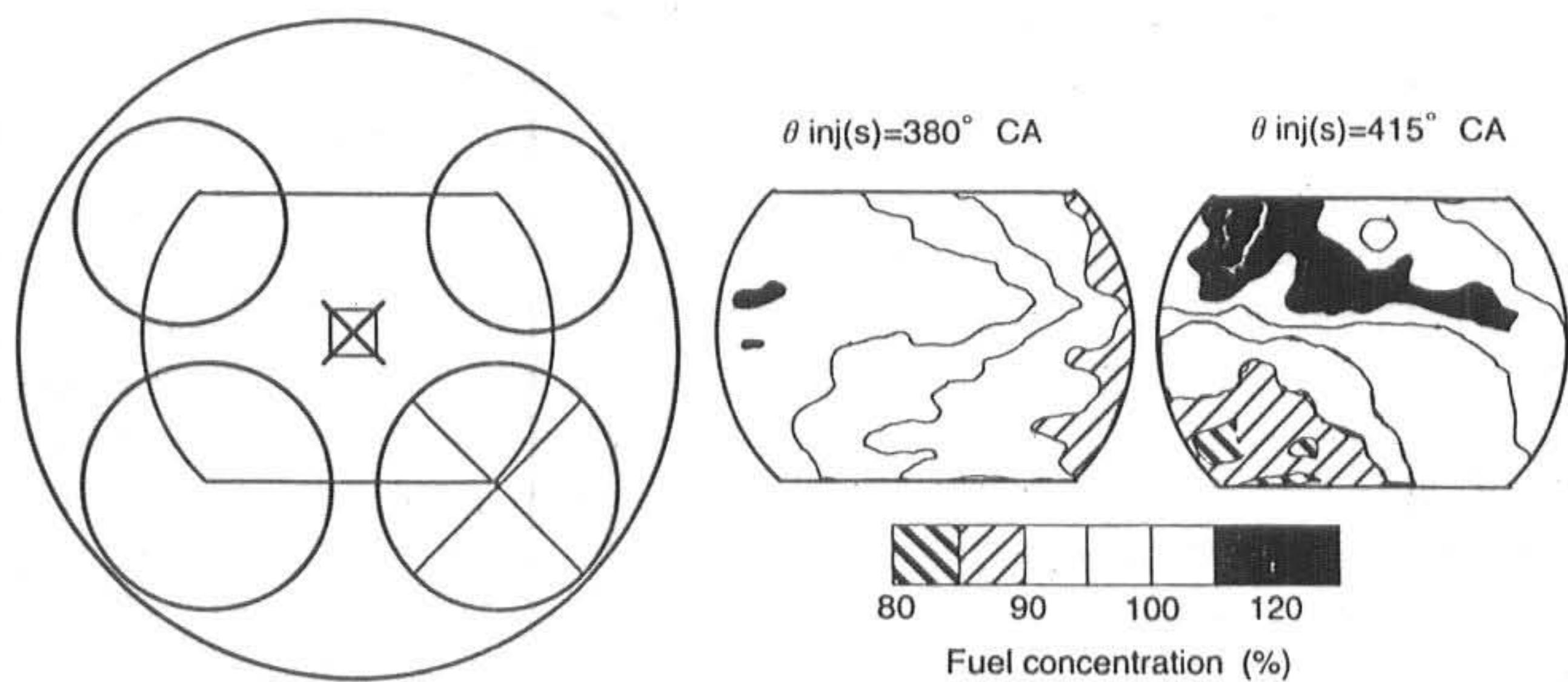


Fig.16 Influence of  $\theta_{inj}(s)$  on fuel concentration

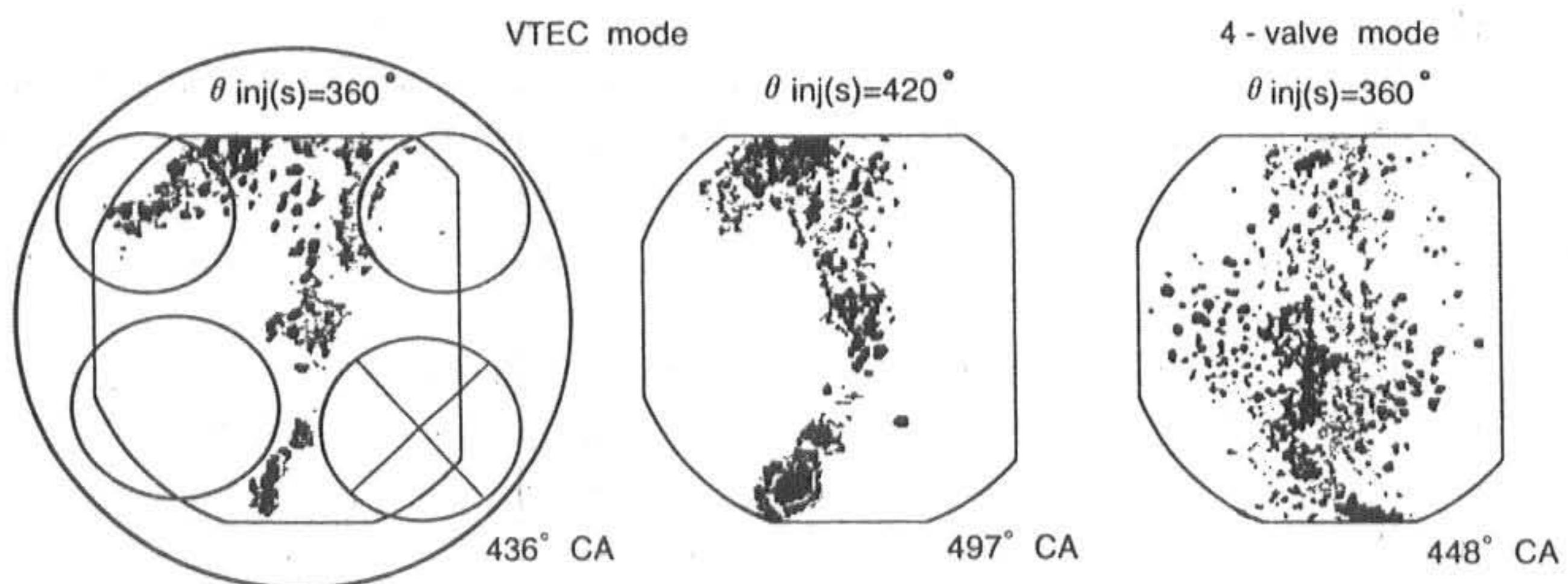


Fig.17 Influence of  $\theta_{inj}(s)$  on spray for VTEC mode and 4-valve mode operation

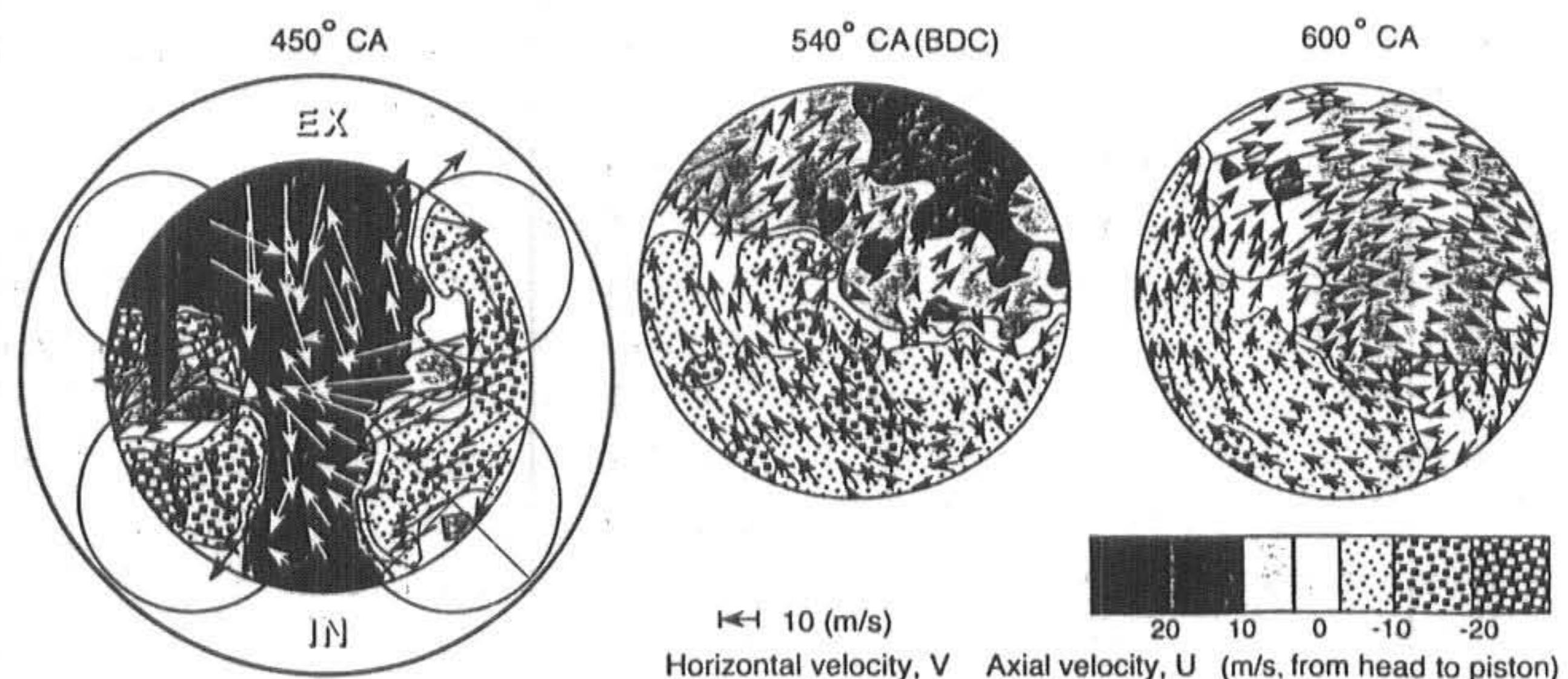


Fig.18 Contours of instantaneous 3D air velocity by PCPV with full throttle in motoring operation

415°의 경우는 점화 플러그 부근에 놓 혼합 기가 모여 있는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 연료분무 거동장치

Short sleeve type을 이용한 실린더내의 연료 분무의 측정예<sup>9)</sup>를 소개한다. 측정에는 4W의 아르곤 레이저를 광원으로, 이것을 3mm두께의 Sheet로 하여 Short sleeve를 통해 입사시켜 sheet 면을 통과하는 연료분무에서의 산란광을 피스톤 Window를 통해 16mm 고속도 카메라로 촬영한다.

Fig.17에 2개의 흡기밸브 중 1개를 정지시킨 경우(VTEC mode)와 2개의 흡기밸브를 함께 작용시킨 경우(4-valve mode)의 연료 분무 거동의 차이를 나타낸다. 이 그림으로부터 VETC mode의 연료분무는, 4-valve mode 와 비교하여 연소실 중앙부에 모여, 주위로의 분산은 적은 것을 알 수 있다.

#### 4.3 3차원 공기속도 측정

Long sleeve type을 이용하여 실린더내의 3차원 공기속도의 측정 예를 소개한다. 측정에는 PCPV(Particle Coded Pulse Velocity) 법을 이용하여 실린더 내 전역의 공기속도를 측정하기 때문에 Laser sheet를 Fig.3의 B의 위치에서 Long sleeve를 통해 각각 높이가 다른 측정 단면에 입사시킨다. 흡입공기에 섞인 입자가 Laser sheet 면을 통과할 때 발생하는 산란광을, Fig.3의 카메라 위치 C의 고해상도 CCD 카메라로서 촬영한다.

Fig.18은 VTEC mode에서 실린더내 흐름의 대표적인 예로서 화살표(→)는 스월의 방향을 나타내며, dot pattern의 농도로서 실린더 축방향의 속도를 표시하는 3차원 흐름을 나타내고 있다. 흡입행정 도중(450° CA)에서는 2개의 흡기밸브 사이에서 배기밸브로 강한 아래 방향(피스톤 방향)의 흐름이 있으며, 또 실린더 벽 좌우에 2개로 나누어진 위 방향의 흐름이 있다. 피스톤의 움직임이 거의 정지하는 하사점 부근(크랭크 각 540°)이 되면 강한 축방향의 흐름이 스월, 텁블방향의 안정된 흐름으로 되는 것을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

실린더내에서 일어나는 여러 가지 현상에 대한 측정의 필요성으로부터 개발된 실린더내의 가시화 엔진의 구조와 특유의 기술 및 실린더내의 현상 해석예를 소개하였다. 여기에 소개한 해석 예로부터 가시화 엔진을 이용한 실린더내의 현상해석의 유효성을 나타낸 것이라 생각되며, 앞으로도 이 분야에 있어서 더욱 발전이 있을 것으로 기대한다.

#### 참고문헌

- 1)T.Sasaki et al, "筒内現象解釋用可視化エンジンの紹介", HONDA R&D Technical Review, Vol.10(1998)
- 2)P.Woianski et al, "Study of Combustion Dynamics in the Research Engine", SAE 972829(1997)
- 3)E.Rouland et al, "Particle Image Velocimetry Measurements in a High Tumble Engine for In-Cylinder Flow Structure Analysis", SAE972831(1997)
- 4)M.Wensing et al, "Characteristics and Application of Gasoline Injectors to SI Engines by Means of Measured Liquid Fuel Distributions", SAE972947(1997)
- 5)T.Fujikawa et al, "Quantitative 2-D Fuel Distribution Measurements in an SI Engine using Laser-Induced Fluorescence with Suitable Combination of Fluorescence Tracer and Excitation Wavelength", SAE 972944(1997)
- 6)S.Pischinger et al, "How Heat Loss to the Spark Plug Electrodes Affect Flame Kernel Development in an SI Engines", SAE900021(1990)
- 7)A.Nakajima et al, "Application of Image Converter Camera to Measure Flame Propagation in S.I. engines", SAE 890332 (1989)
- 8)石井 清ほか, "レーザシート法によるシリンドラ内流れの3次元測定", 日本機械學會論文集.

第63卷, 605號, B編, pp.350-355(1997)

9) 石井 清ほか, "VETC-Eエンジンにおける燃料噴霧の挙動", ホンダR&Dテクニカルビュ一、 Vol.9, pp.90-99(1997)

10) M.Berchmuller et al, "In-Cylinder Crank Angle Resolved Imaging of Fuel Concentration in a Firing Spark Ignition Engine using Planar LIFS", The Combustion Institute, 25th Symposium on Combustion, pp.151-156(1994)

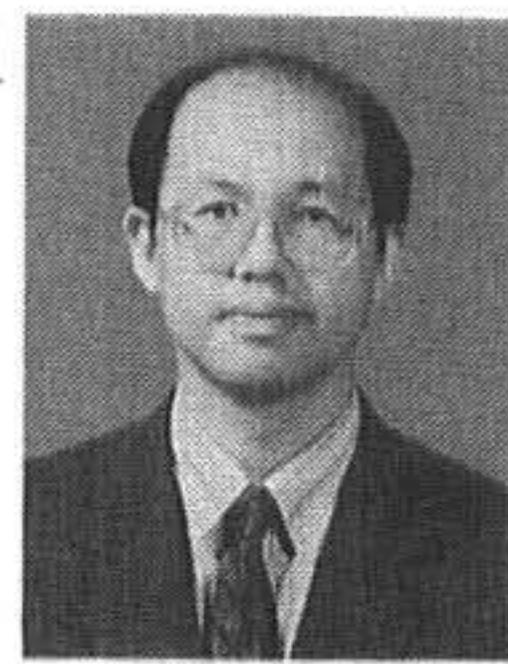
11) 石井 清ほか, "點火プラグ部の熱流速の測定", 日本機械學會論文集, 第64卷, 618號, B編, pp.303-307(1998)

12) K.Ishii et al, "Investigation of Cyclic Variation of IMEP under Lean Burn Operation in Spark Ignition Engine", SAE 972830(1997)

(1999년 2월 5일 접수, 1999년 3월 15일 채택)

### 저자소개

권순익(權純翼)



1958年生

두원공과대학 기계과 부교수

0334-670-7131/019-334-0624

### [학력]

영남대학교 기계공학과 졸업(공학사)

영남대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)

일본 히로시마대학 대학원 졸업(공학박사)

### [학위논문]

ディーゼル噴霧の着火遅れに関する実験的研究

### [주요논문]

1) Nozzle Diameter Prediction for Optimal Combustion in Direct Injected Engines, SAE Paper, No.951802, Small Engine Technology Conference, pp.363-370 (1995.9)

2) 涡室形状がディーゼルの燃焼に及ぼす影響, 日本船舶用機器學會誌, 第30卷6号, pp.441-447 (1995.6)

3) 리엔트란트형 연소실 형상이 디젤기관의 연소 특성에 미치는 영향-리엔트란트 각도 및 중앙돌기부 높이의 영향-, 한국자동차공학회논문집, 제3권3호, pp.37-45 (1995.5)

### [관심분야]

디젤엔진개발, 엔진대체연료(특히알콜), 연소의 가시화, 온도측정 등

### [포상]

1990년 일본박용기관학회 논문상 수상