

정적 연소실내에서 화염 전파 과정에 대한 실험적 연구 The Experimental study on the Flame Propagation Process of a Constant Volume Combustion Chamber

김 춘 중* 강 경 구**
Chun-Jung. Kim*, Kyung-Koo Kang**

<Abstract>

It is necessary to measure pressure, temperature, chemical equilibrium and the shape of flame in order to understand the combustion process in a combustion chamber. In particular, the flame formulation and combustion process of divided combustion chamber are different from those of a single chamber, And the variable diameter of a jet hole can effect not only physical properties like ejection velocity, temperature and time of combustion but also a chemical property like the reaction mechanism. Accordingly temperature is one of the most important factors which influence the combustion mechanism. This paper observed shape of flame by using the schlieren photographs and measured the pressure in a combustion chamber and the reaching time of the flame by ion probe By doing these, we investigation the formulation of the flame and the process of propagation. These measurement methods can be advanced in understanding the combustion process and process and propagation of flame.

Key Words : *Schlieren Photograph. Divided Combustion Chamber. Pre-Mixture Flame. Flame Propagation Process. Ion Probe.*

1. 서 론

동력기관에서 연료 소비율의 개선 및 배기 가스 정화를 위하여 회박 연소 방식이 사용때문에 많은 연구가 이루어 지고 있을 뿐만 아니라 실용화 되고 있다. 그러나, 회박연소 방식은 점화성이 나쁘고 연소 속도가 느리며, 연소 사이클 변동이 많은 것이 문제점으로 되어있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 연소실내의 혼합기에 난류(Turbulence)를 주어서 난류 연소를 시키므로 연소 속도를 증대시키고

있다.

연소실내에 난류를 주는 방법으로는 흡입, 압축 행정에서 Swirl에 의해 난류를 주는 방법, 부연소실을 갖는 성층엔진 처럼 화염자신의 팽창일에 의해 난류를 주는 방법등이 있다. 그렇지만 실제 기관에 있어서 난류연소는 유동 난류를 수반한 비정상용기내 연소이므로, 공간적 분포가 일정하지 않고, 또한, 미연소가스의 압력 및 온도도 급격히 변화하기 때문에 그 해석은 이론적으로도 실험적으로도 어려움이 많아

* 정회원 영남이공대학 기계과 교수·工博
영남대학교 졸업·群馬大學(일본)客員教授
705-037, 대구광역시 남구 대명7동 1737

**정회원 龜尾技能大學 教學處長 副教授
한양대학교 대학원 졸업·工學碩士
730-030 구미시 공단동 112번지

많은 학자들에 의해 연구되어지고 있다. 그 기초적인 연구로써 실제기관의 연소실을 모델(Model)화한 정적 연소실을 많이 이용하고 있다. 부연소실이 없는 단일 연소실의 에서 Dunn-Rankin¹⁾는 연소실내의 화염형상 및 속도 분포에 관한 연구를 하였으며, 小野²⁾에 의한 난류의 강도에 대한 영향, 飯沼³⁾는 연료이 종류가 연소 속도에 미치는 영향에 관한 연구가 있다.

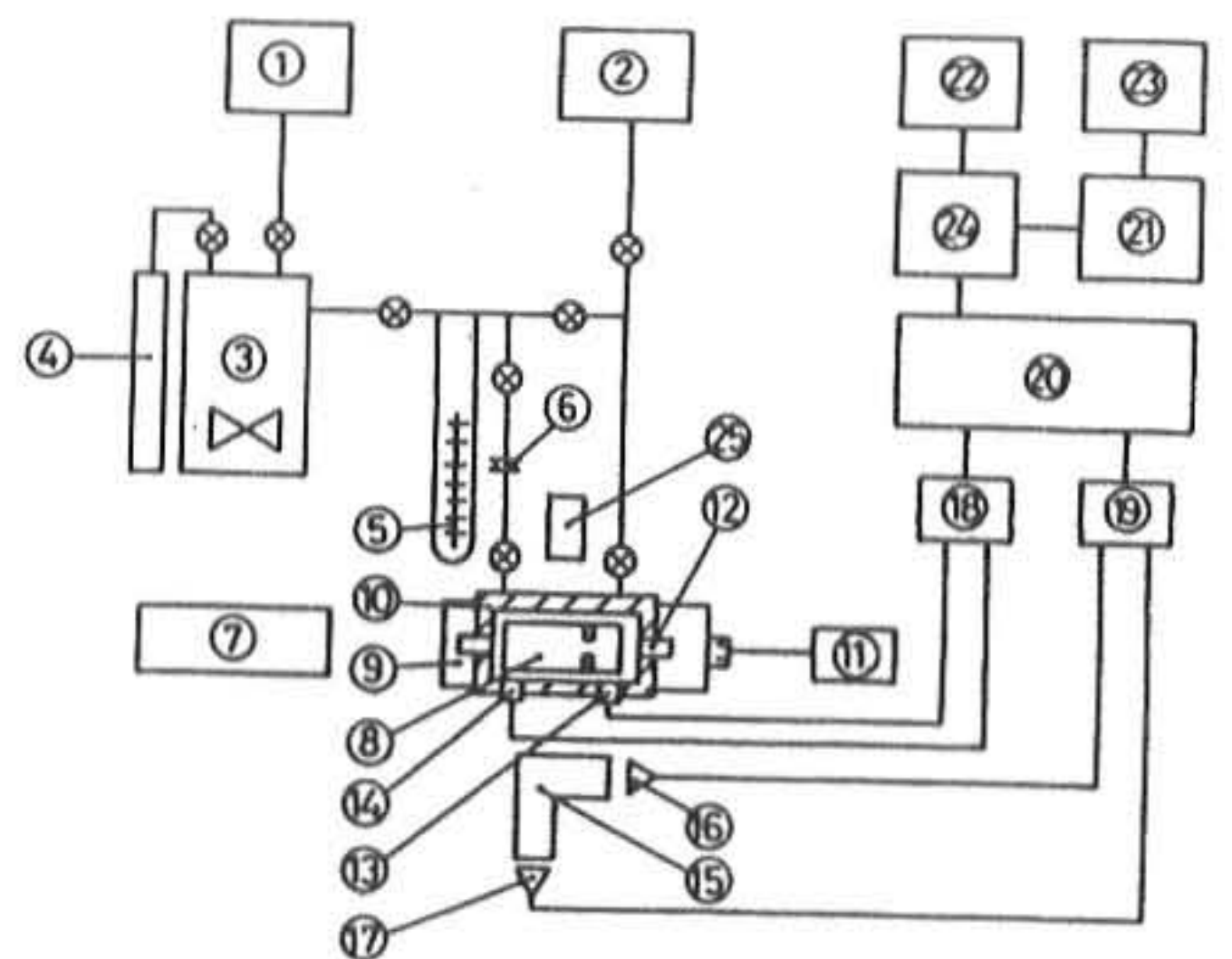
그리고 부연소실을 갖는 연소에 대한 연구는 志水⁴⁾, H.G. Wolfhad⁵⁾가 초기 난류에 대한 영향에 관한 연구가 있으며, 古川⁶⁾는 부연소실로 부터의 분출속도 혼합기 농도의 영향에 관해서, 山口⁷⁾는 분류의 착화에 관한 연구가 있다. 田坂⁸⁾는 정적연소실에서의 열발생과 열손실에 대한 연구가 있으며, R.K. Cheng⁹⁾는 제트(Jet)화염에 관한 연구가 있다. 또한, K.Wakai¹⁰⁾는 연소형태, 연소가스 조성에 대한 연구 발표한 논문이 있다. 그리고 秋山¹¹⁾는 당량비를 변화시켜 정적 연소실내에서 다점연소시켜 연소특성을 연구한 것이 있다.

또한 飯田¹²⁾, 김^{13),14)}등은 분출구의 길이, 당량비의 변화에 따른 분출화염의 형상 및 착화현상에 대한 연구보고가 있다. 또 김^{15),16)}은 기체 연료 연소의 화염형태에 대한 연구도 있다. 그러나 실제기관에서 일어나는 흡입 압축행정 에 의한 난류의 영향에 대한 연구는 거의 없다. 그래서, 본 연구에서는 부연소실을 갖지 않는 단일 연소기와 부연소실을 갖는 연소기를 제작하여 연소실내에서의 화염 및 난류를 주었을 때 연소에 어떤 영향을 미치는가, 또한 당량비의 변화에 대한 영향 등에 관하여 연구 실험하였다. 또한, Schlieren 사진, Ion 신호, 지압선도 등을 측정하므로써 연소실 내의 화염 구조 및 연소에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

에 의해 점화 시켜 실험하였다.

실험 목적에 의해 압력 측정(10), (11), Schlieren 사진촬영(18) Ion 신호측정(13), Hot wire에 의한 유속 측정(12)이 가능하고, 또, 연소실 내에 난류를 줄 경우는 난류 발생 장치를 이용하였다.

이 모든 것의 측정 결과는 Digital Memory (3channel)(24)에 기억시킨후 PC(25)로 처리시켜, X-Y Plotter(27)로써 기록 시켰다. 그리고, 본 연구에 사용한 연료는 C₃H₈(순도 99% 이상) CH₄(순도 99.5%)이다. 산화제는 주로 공기를 사용하였지만, 일부 연소 속도를 높일 필요가 있을 경우는 산소를 부과하였다. 또, 초기 온도는 실온 또는 100°C로 하였다.



- | | |
|----------------------|-----------------------------------|
| 1 Compressor | 13 Pressure Pick-up(Sub Chamber) |
| 2 Vacuum Pump | 14 Pressure Pick-up(Main Chamber) |
| 3 Mixing Tank | 15 Optical System |
| 4 Fuel Bomb | 16 PM 1(Photomultiplier : LR+CL) |
| 5 Manometer | 17 PM 2(Photomultiplier : CL) |
| 6 Filter | 18 D. C Amplifier |
| 7 Laser Source | 19 D. C Amplifier |
| 8 Combustion Chamber | 20 Digital Memory |
| 9 Traversing System | 21 Computer |
| 10 Heater | 22 X-Y Plotter |
| 11 Spark Plug | 23 Printer |
| 12 Ignition System | 24 GP-IB Adapter |
| | 25 LDV System |

2. 실험장치

2.1 실험장치의 개요

Fig.2-1은 본 실험에서 사용한 실험장치의 개요를 나타낸 것이다. 연료 혼합 용기(3)에서는 압축기(1)에서 20기압까지 가압 건조된 공기와 연료(4)를 연결 시켜 규정의 당량비로 혼합시켜 팬(Fan)에 의해 충분히 혼합시켰다. 이 혼합기는 연소실(7)로 유도시키고, 점화회로(16)

Fig.2-1 Schematic diagram of experimental apparatus

2.2 연소기

본 연구에 사용한 연소기를 Fig.2-2에 나타내었다. 이것은 300mm×28mm×90mm의 직육면체의 연소실을 갖는 강철제(S35C)로써 Baffle plate를 삽입하지 않으면 부연소실을 갖지 않는 단일 연소실식 연소기로 해서 실험을 하였고, Baffle plate를 삽입하면 부연소실을 갖는 연소기로 해서 실험을 하였다. 부연소실을 갖는 경우 부연소실 체적(V_s)의 전체적(V_T)에 대한 비 V_s/V_T 는 0.28(공칭 1/3)이다.

연소실 측면에서는 광학창이 설치되어 있어서, 사진 촬영이 가능하도록 되어 있다. 연소실내에 난류를 주는 실험을 할 때는 다공판을 구동하기 위한 축을 연결하는 구멍이 있으나, 기본적으로는 동일한 것이다.

Baffle plate의 중앙에 원형의 분출구가 설치되어 있고, 그 직경 d 는 5.0, 7.5, 10.0, 12.5mm의 4종류로 하여 실험을 하였다.

분출구형상은 오리피스(orifice) 상으로 되어 있고, 유입측에는 Sharp edge, 유출측에는 0.5mm의 rounding을 하여 분출구 부분의 형상 변화에 대한 영향이 없도록 하였다.

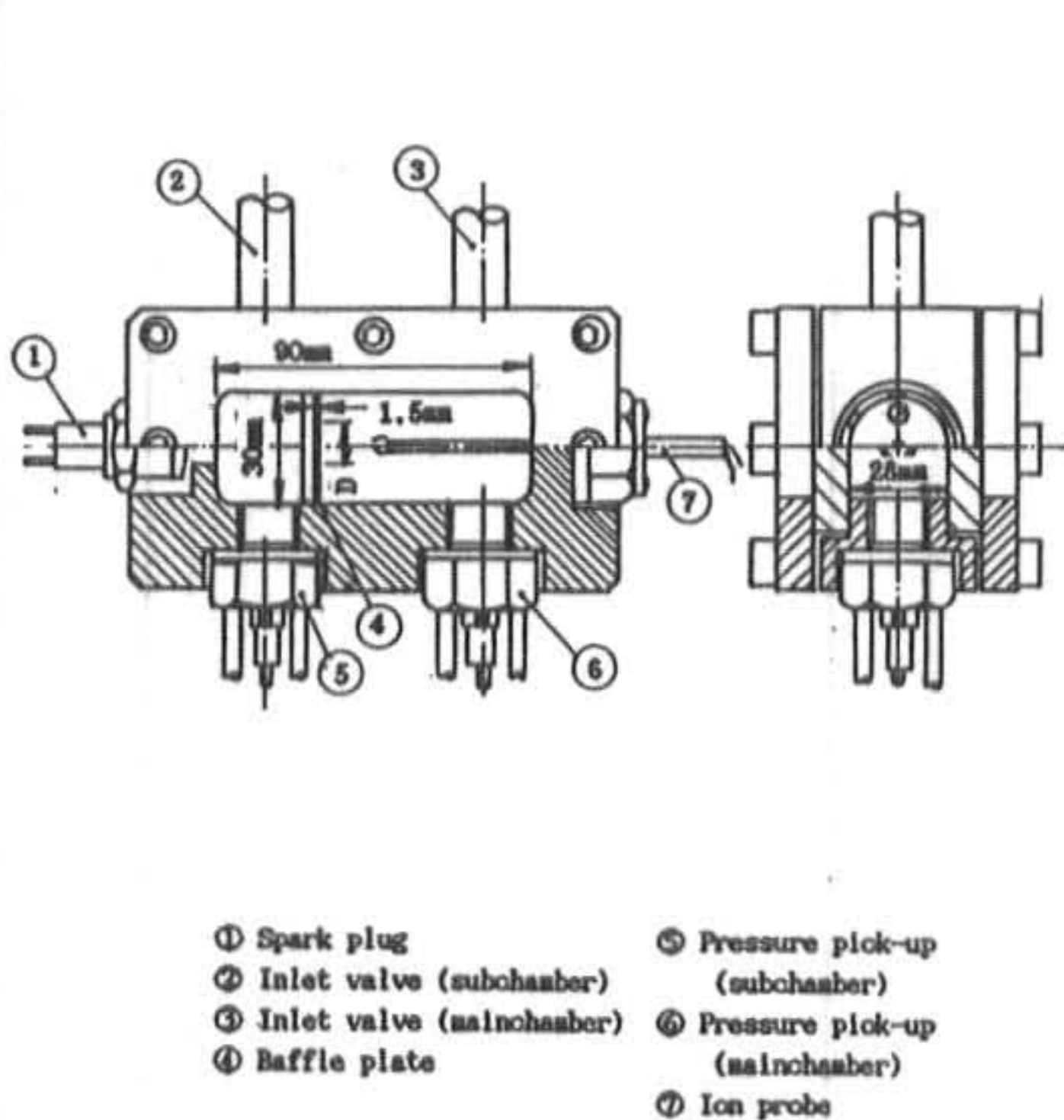


Fig.2-2 Combustion chamber

2.3 Schlieren 사진 촬영장치

Schlieren 사진 촬영 장치는 Fig.2-3에 나타내었다. 이 장치는 한쪽의 오목거울 4, 또 한쪽의 오목거울 5로써 이루어져 있는 대향법으로써 구성되어 있으며, 오목거울의 직경은 200mm이고, 초점 거리는 1,970mm, 1,990mm로 되어 있다.

광원 2에는 Xe-Lamp를 사용하고 있으며, 여기에서 발생한 빛은 집광 렌즈 3과 Pin hole 10에 의해 점광원($d=0.2mm$)되도록 하였다. 이 점광원으로부터의 빛은 오목거울 4에 의해 평행광선이 되고, 오목거울 4, 오목거울 5사이 연소기를 설치하여 관찰하였다. 오목거울 5에 의해 반사된 빛은 Knife edge 11의 곳에서 다시 초점을 맞추어서 상을 카메라 6에 기록하도록 하였다. 카메라 셔터(Camera shutter)에 연결된 Starter 회로의 Pulse에 의해 점화회로, 지연회로, Xe-Lamp 전원회로가 작동 되도록 하였다. 그리고, 광원을 발광시키는 지연회로는 0.000~999ms사이에서 임의의 시간을 선택하여 사진을 찍을 수 있도록 되어 있다.

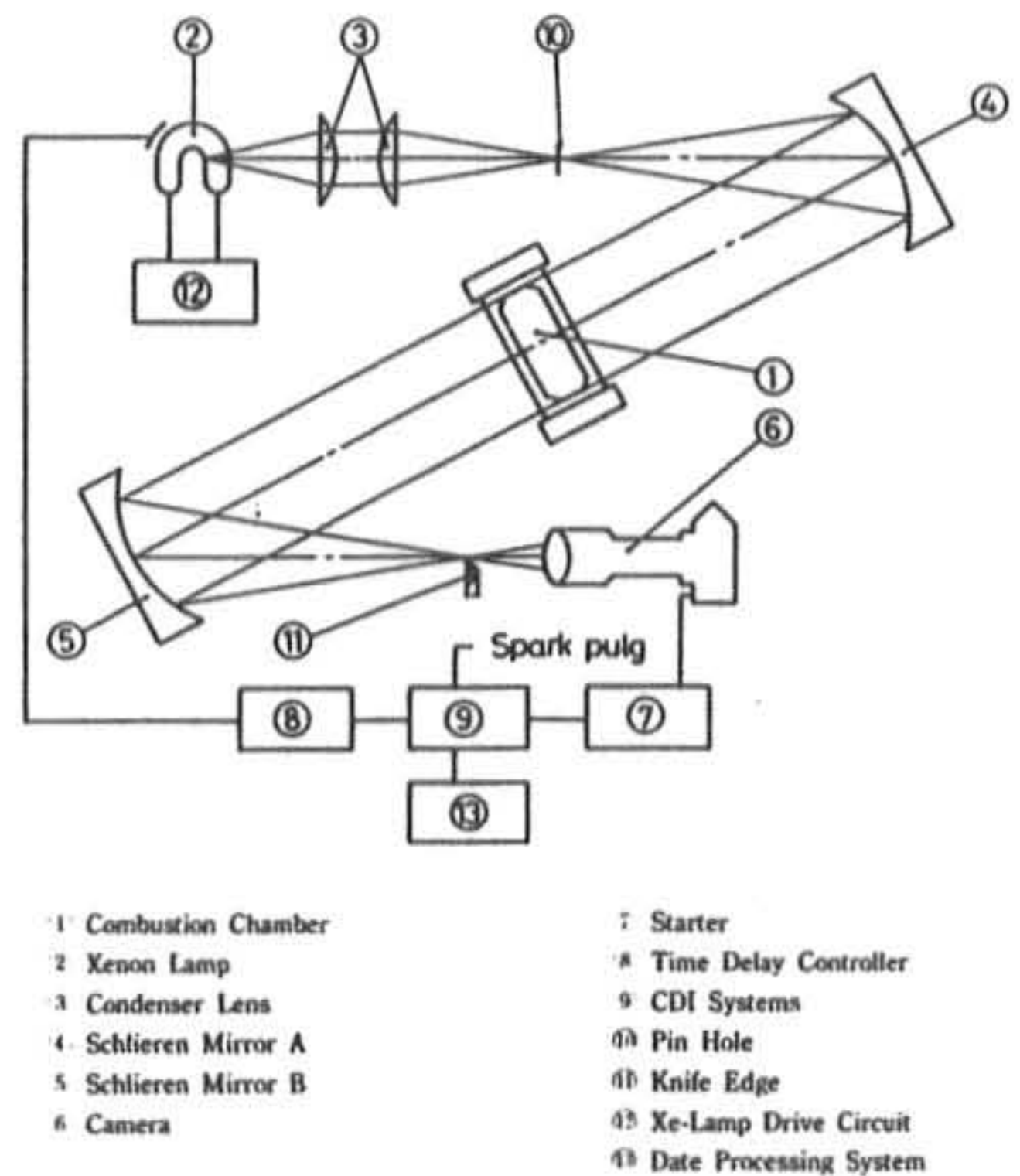
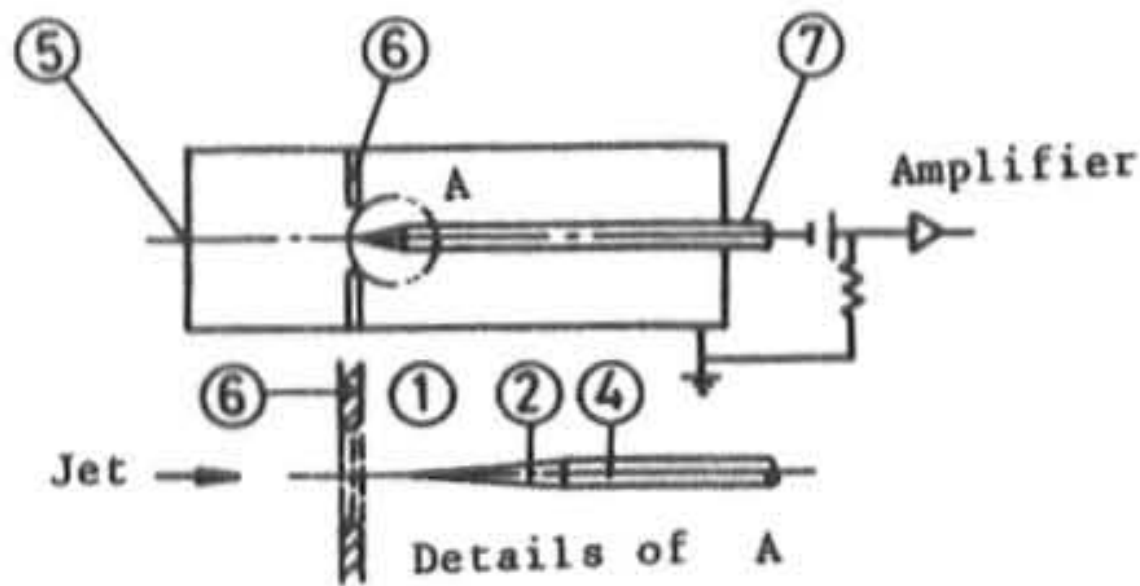


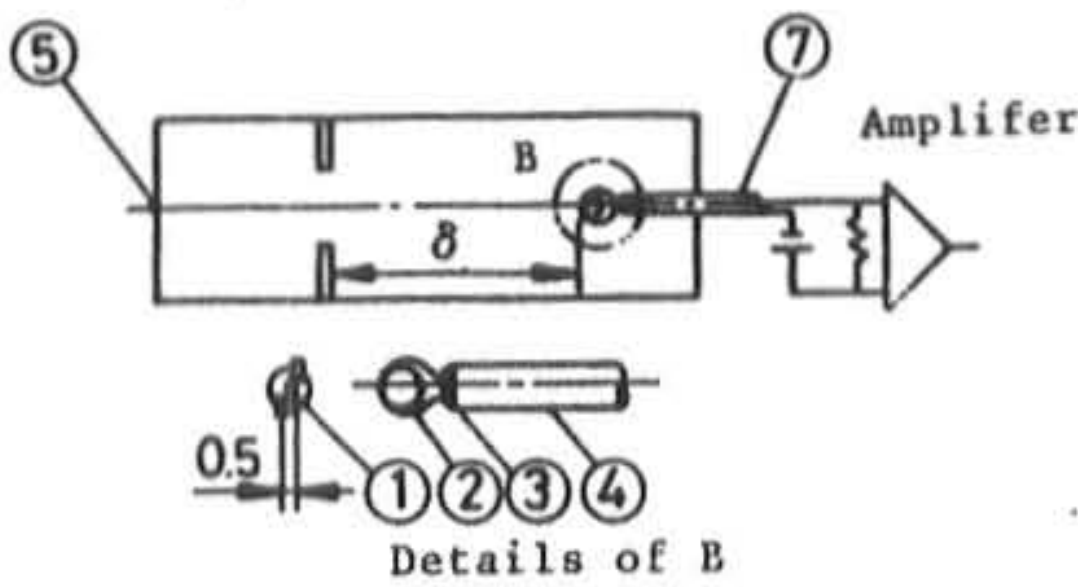
Fig.2-3 Schlieren analyzing system

2.4 Ion 신호측정장치

화염에 있어서 반응이 활발한 화염면 근방에서는 높은 Ion 농도를 나타내고 있다. 따라서 연소실 내에 전위차를 준 전극을 삽입해서 놓으면 화염 반응대가 그곳을 통과 할 때에 전류가 흘러 화염면의 통과를 확인하기도 하고, 또 화염의 도달 시각의 측정이 가능하다. 본 연구에 있어서도 Fig.2-4와 같은 Ion Probe를 사용해서 Ion 신호를 측정하였다. Ion Probe는 A, B모두 200 μ m의 백금선을 석영관으로 입힌 것으로서 0.5mm의 간격으로 대향하고 있다. 그리고 분류에 주어지는 영향을 적도록 분출구 하류의 위치에서는 B Type를 Fig.2-4와 같이 대향벽측으로부터 삽입해서 사용하였다.



(a) A Type Ion Probe



(b) B Type Ion Probe

- | | |
|------------------------|--------------------|
| 1 Pt Wire(200 μ m) | 4 Stainless Tube |
| 2 Quartz Tube | 5 Spark plug |
| 3 Epoxy Resin | 6 Baffle Plate |
| | 7 Ion Probe Holder |

Fig.2-4 Ion probe

Fig.3-1은 당량비 $\phi=1.0$ 의 혼합기체(C₃H₈-Air)를 연소시켰을 경우 지압선도, 압력상승율(dp/dt) 및 슈리렌사진을 나타낸 것이다. 슈리렌사진에서 보는 바와 같이 점화직후의 화염은 점화프러그를 중심으로 반구상으로 점차 점파되어 가면서 화염면은 점점 증가 한다(사진a). 그리고 시간이 지나에 따라 압력이 상승하며 압력상승율(dp/dt)도 증가한다(사진b). 그 뒤 화염면은 연소실 벽에 도달할 때까지 화염면은 급속히 전진되며, 화염면은 평면화염으로 변화하기 때문에 화염 면적은 일정하게 되고 압력상승은 완만하게 되어 압력상승율(dp/dt)는 감소한다(사진c). 평면화염이 형성된 후에는 다시 시간이 지남에 따라서 화염면은 진행방향에 대하여 오목형의 튜립형으로 형성되면서 화염면의 표면적은 증가하고 이때 압력상승율(dp/dt)도 증가한다(사진d). 이 튜립형 화염은 사각단면의 정적연소실 특유의 형상으로 압력파의 영향에 의한 것으로 생각된다. 계속하여 화염은 튜립형으로 진행하며 반대편의 벽에 화염이 도달하여 연소는 끝난다(사진f).

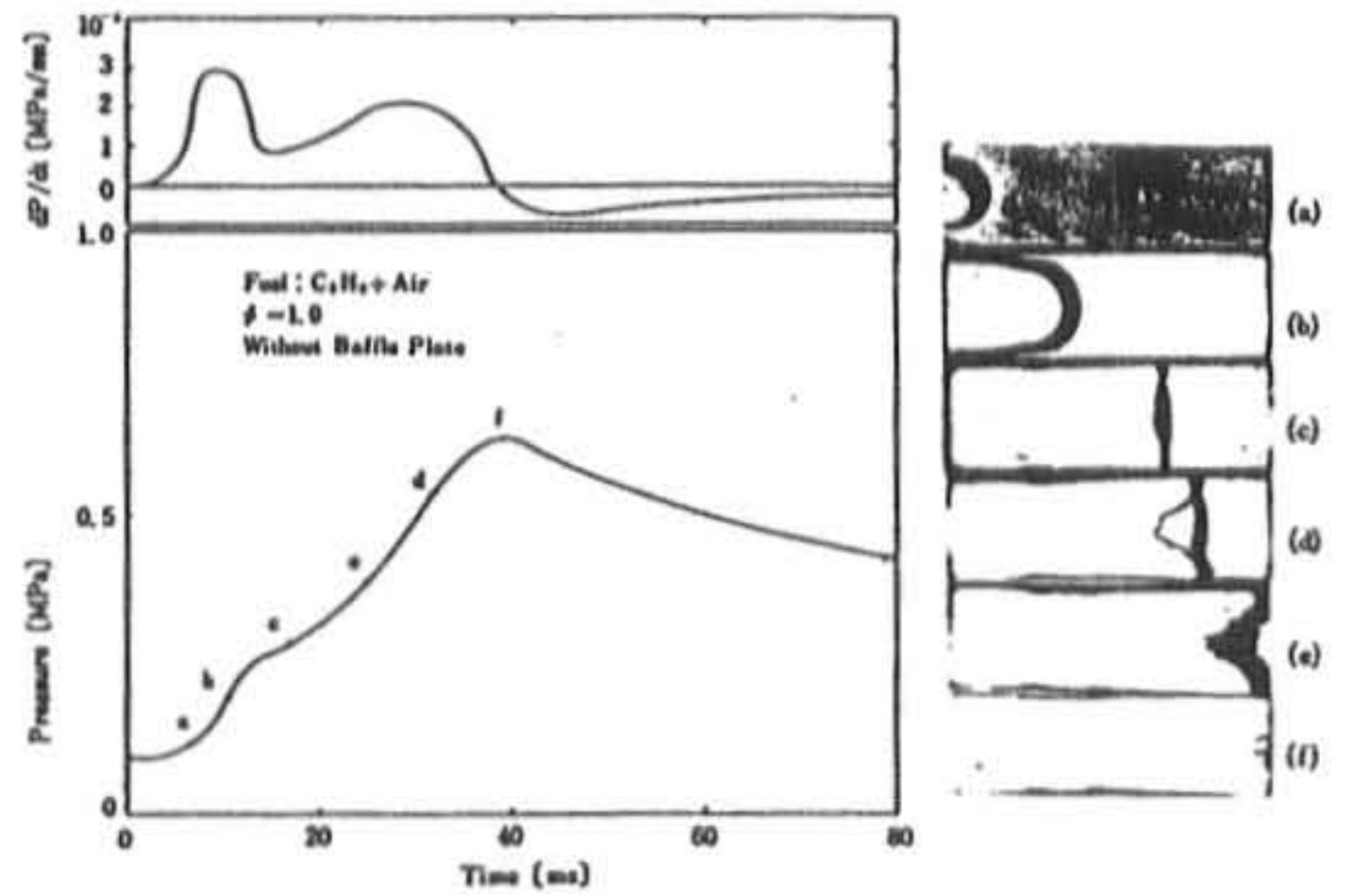


Fig.3-1 dp/dt and indicator diagram VS. schlieren photographs

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 부연소실을 갖지 않는 경우

Fig.3-2는 당량비 $\phi=1.0$ 에서 초기압력 0.08MPa, 0.1MPa, 0.15MPa으로 변화시켰을 경우와 초기압력

0.1MPa에서 당량비를 0.8, 1.2, 1.4 및 1.6으로 변화시켜 실험한 지압선도를 표시한 것이다. 그림 3-2에서와 같이 당량비 $\phi=1.0$ 보다 약간 농후한 $\phi=1.2$ 에서는 연소완료 시간이 빠르다.

로 생각되며 압력이 낮을수록 냉각에 대한 영향을 크게 받아 연소완료 시간이 빨라지기 때문이다. 또한 희박, 과농의 영역으로 갈수록 연소완료 시간이 늦어지는 것은 앞에서 설명한 것 같이 과농에 의한 화염전파지연과 희박에 의한 총 발열량 감소에 따른 연소지연 때문이

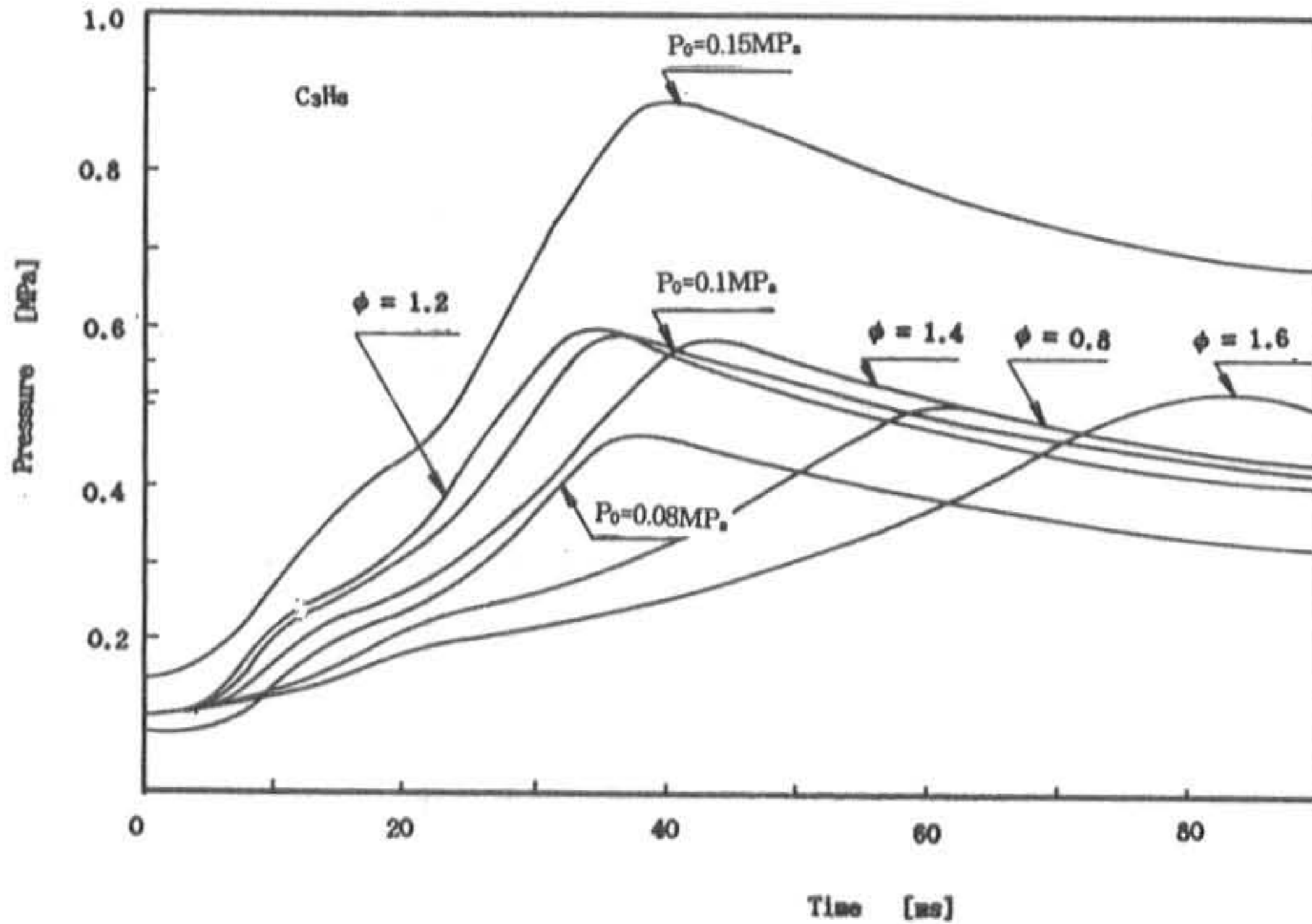


Fig.3-2 Indicator diagrams (without baffle plate)

이는 $\phi=1.0$ 보다 $\phi=1.2$ 에서 화염전파속도가 빠르기 때문이다. 그러나 그외는 $\phi=1.0$ 보다 연소완료시간이 느리다. 따라서 연료혼합비가 너무 농후하면 화염전파 지연에 의한 연소완료시간이 느리며, 너무 희박하면 착화지연 및 연소속도가 느리기 때문이다. 초기 압력의 변화에 따라 연소완료시간은 약간 변화하나, 연소 최고 압력은 크게 변화한다. 따라서 초기 압력이 클수록 연소 최고 압력은 증가한다.

Fig.3-3은 모든 실험 조건에서 최고압력 P_{max}에 도달하는 시간 t_{max}를 나타낸 것이다. 횡축은 당량비를 나타내고, 종축은 당량비 $\phi=1.0$, 초기 압력 P₀ = 0.1MPa의 t_{max}에서 각 조건의 실험에서 t_{max}에 대한 비를 무차원으로 표시한 것이다. t_{max}는 희박, 과농의 어느 쪽으로도 증가하며, 가연한계에 있어서는 $\phi=1.1$ 의 2~3배에 달한다. 초기 압력변화에 대한 t_{max}의 당량비 의존성은 현저하게 차이는 보이지 않는다. 이는 연소속도가 압력증가에 따라 늦어지기 때문인 것으

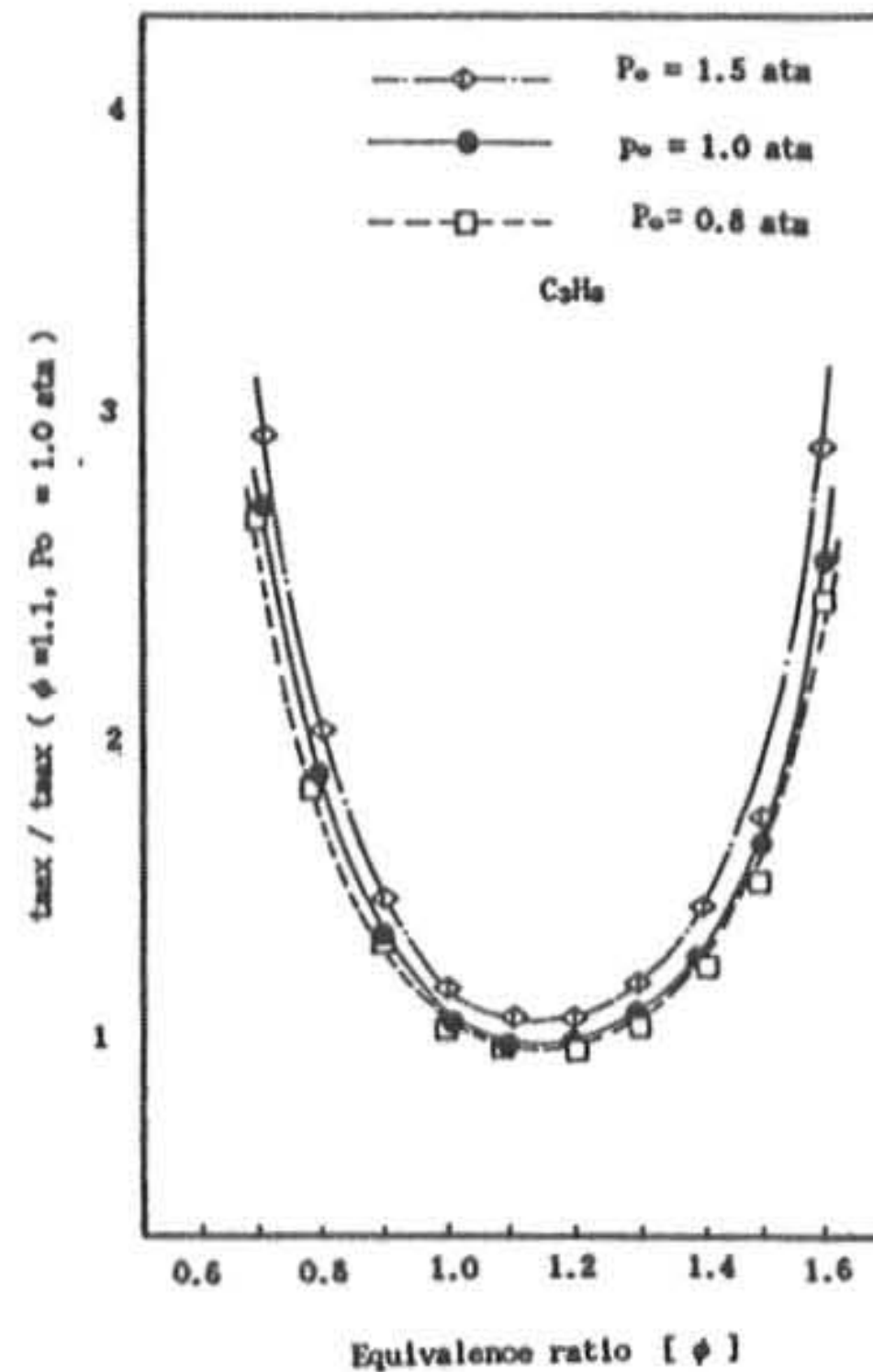


Fig.3-3 Combustion time ratio according to equivalence ratio

다. 그러나 희박, 농후에 의한 연소 완료시간비는 거의 같은 포물선을 나타내고 있다.

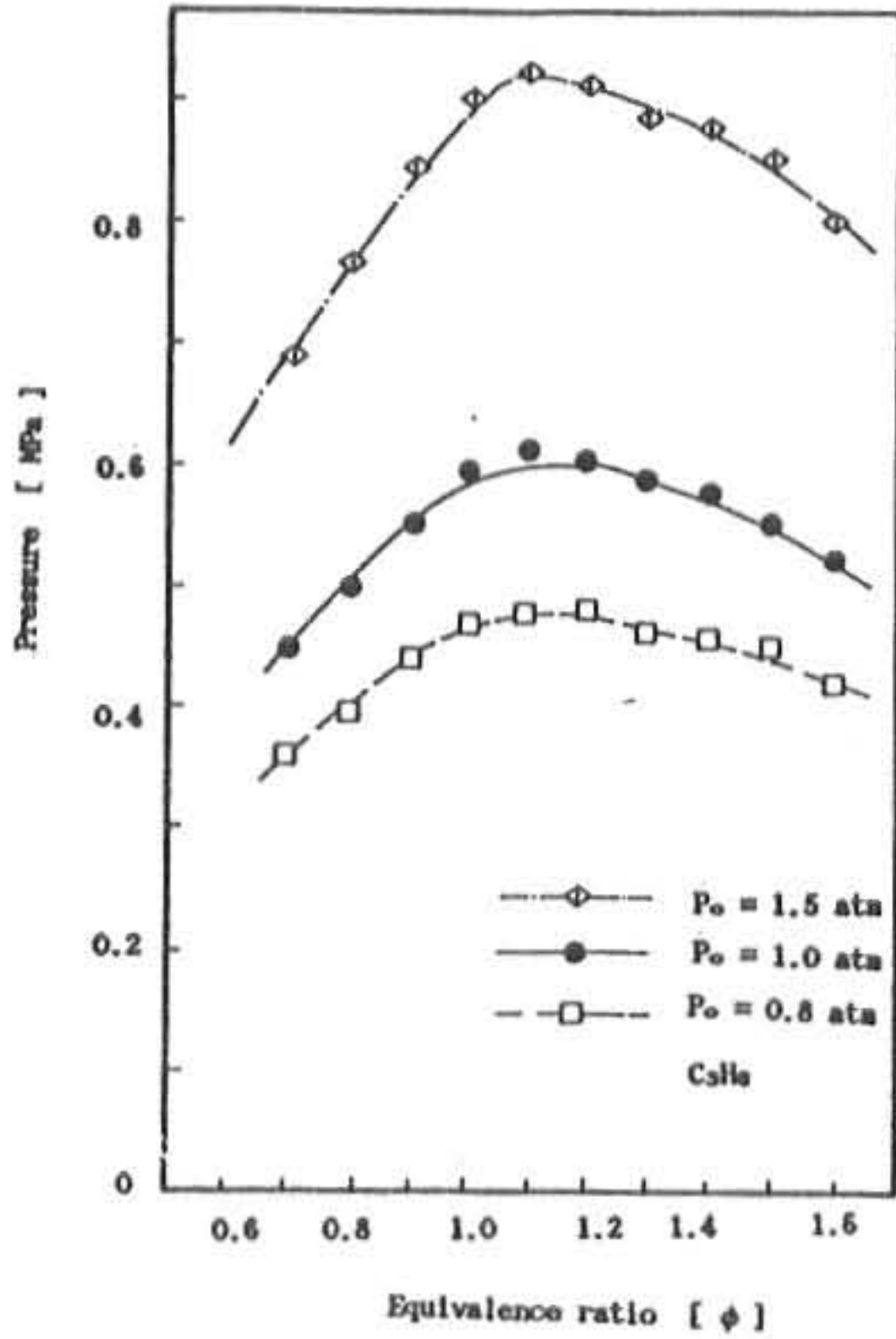


Fig.3-4 Pressure variable according to equivalence ratio

Fig.3-4는 연소최고압력 P_{max} 의 변화를 횡축에 당량비(ϕ), 종축에 압력(MPa)으로 나타내었다. 모든 조건에 있어서도 당량비 $\phi=1.0$ 이 최대가

되는 산형곡선을 나타내고 있으며, 각 당량비에 있어서 P_{max} 이 높을수록 높게 나타나고 있다. 그 원인은 과농, 희박할수록 연소완료시간이 늦기 때문에 냉각손실에 의한 압력감소 때문이다. Fig.3-5에 C_3H_8 의 $\phi=0.8, 1.0, 1.5$ 에 있어서 연소실 내에서의 정지 혼합기의 경우와 연소실 내에 난류를 주었을 경우의 지압선도와 Schlieren 사진을 나타낸 것이다.

정지 혼합기의 경우 점화 직후 화염은 반구상으로 층류 화염으로 전파하고 있지만 난류를 줄 경우에는 화염면이 비교적 큰凹凸를 동반하는 난류 화염으로 전파를 하고 있다. $\phi=1.0$ 에서 정지 혼합기의 경우는 화염면 선단은 거의 변화하지 않지만 난류를 줄 경우에는 난류 화염면으로 전파하므로 연소 영역이 확대되기 때문에 압력은 약 15%정도 높게 되고 있다. 또한 정지 혼합기의 경우는 Tulip형 화염으로 형성되어 가고 있기 때문에 연소속도는 느릴 뿐만 아니라 14ms 부근에서 평면 화염에 가까운 화염면이 형성되므로 dp/dt 가 감소하여 18ms 부근에서는 압력의 변곡점이 나타나고 있다.

그러나, 연소실내에 난류를 줄 경우에는 난류에 의하여 연소 영역이 확대 되기 때문에 압력의 변곡은 존재하지 않을 뿐만 아니라, 연소 시간도 44% 정도 까지 단축되고 최고 압력은 1.1배 까지 상승했다. $\phi=1.5$ 의 경우는 연소실내에 난류를 주었을 경우에는 정지 혼합기에 비해 연소시간이 33% 정도 단축되고 최고 약력도 1.2배까지 상승했다. $\phi=1.5$ 의 경우는 다른 2개

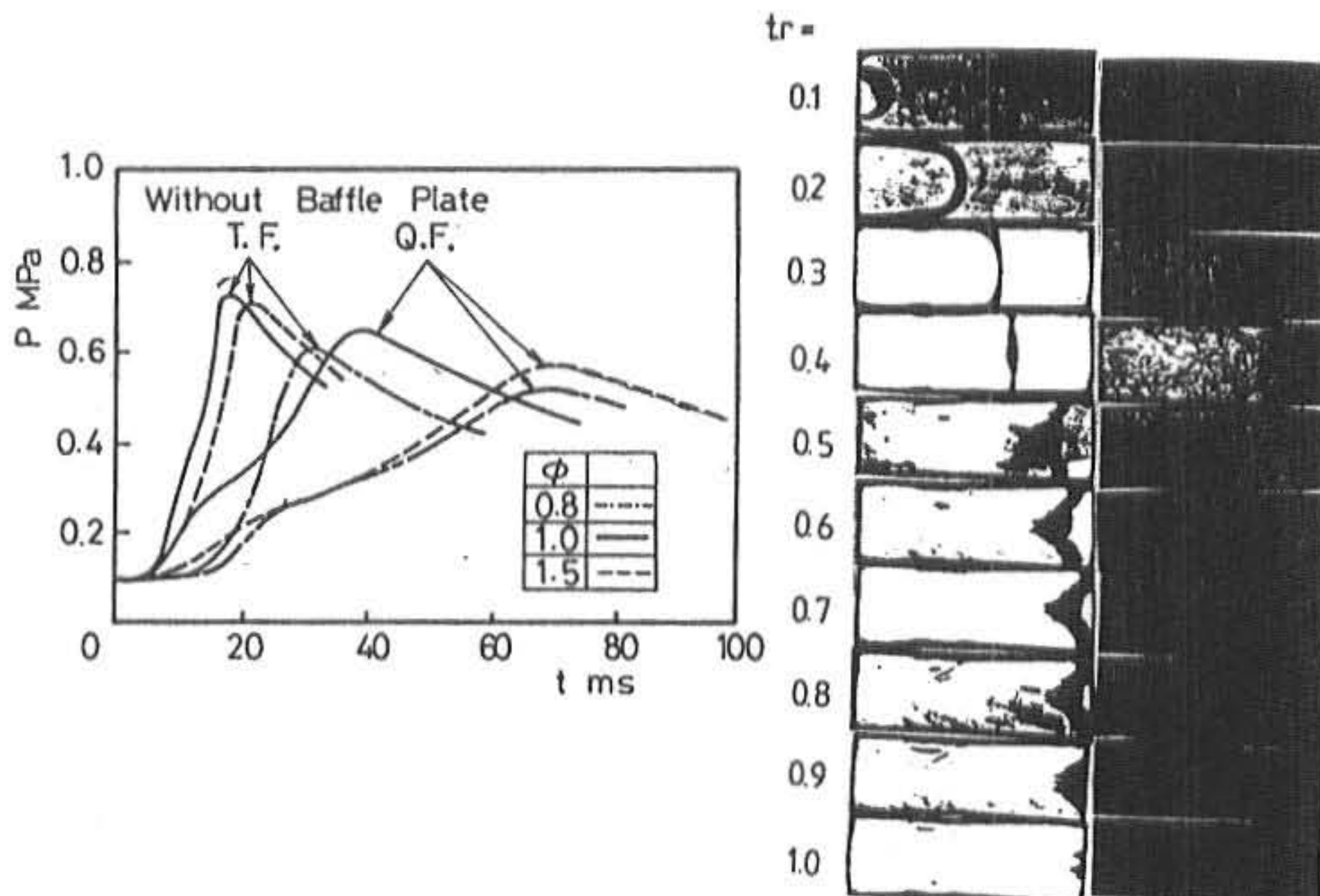


Fig.3-5 Combustion chamber pressure diagram of quiescent and turbulent

의 경우에 비하여 단축 시간이 큰 것은 선택 확산의 영향이 나타나기 쉽고, 화염면의凹凸이 조밀하게 되어 있기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 연소실내에서 정지 혼합기의 경우나 난류를 주었을 경우 모두 $\phi=1.0$ 에서 연소가 가장 빨리 완료되었다.

3.2 부연소실을 갖는 경우

Fig.3-6는 $V_s/V_t=1/3$, $d=7.5$ mm인 경우 지압선도와 Schlieren 사진을 나타낸 것이다. Schlieren 사진에서와 같이 점화 직후의 부연소

실에 있어서 화염은 Baffle plate가 없을 때와 같은 모양의 반구상으로 성장하지만 Baffle plate의 근처에서는 Baffle plate에 의한 흐름의 제약 때문에 화염면은 분출구로 들어가므로 인하여 변형이 생기고, 또한 그 선단이 가속되어 주연소실로 분출한다. 그리고 분출된 화염은 반대쪽의 벽에 충돌하여 난류 화염이 되며, 그 난류 화염은 Baffle plate쪽으로 역류하여 화염면적은 증대되고 연소는 촉진된다. 이 현상은 Ion probe 신호를 보아도 알 수 있다.

Fig.3-7는 $d=12.5$ mm의 지압선도, Ion신호 및

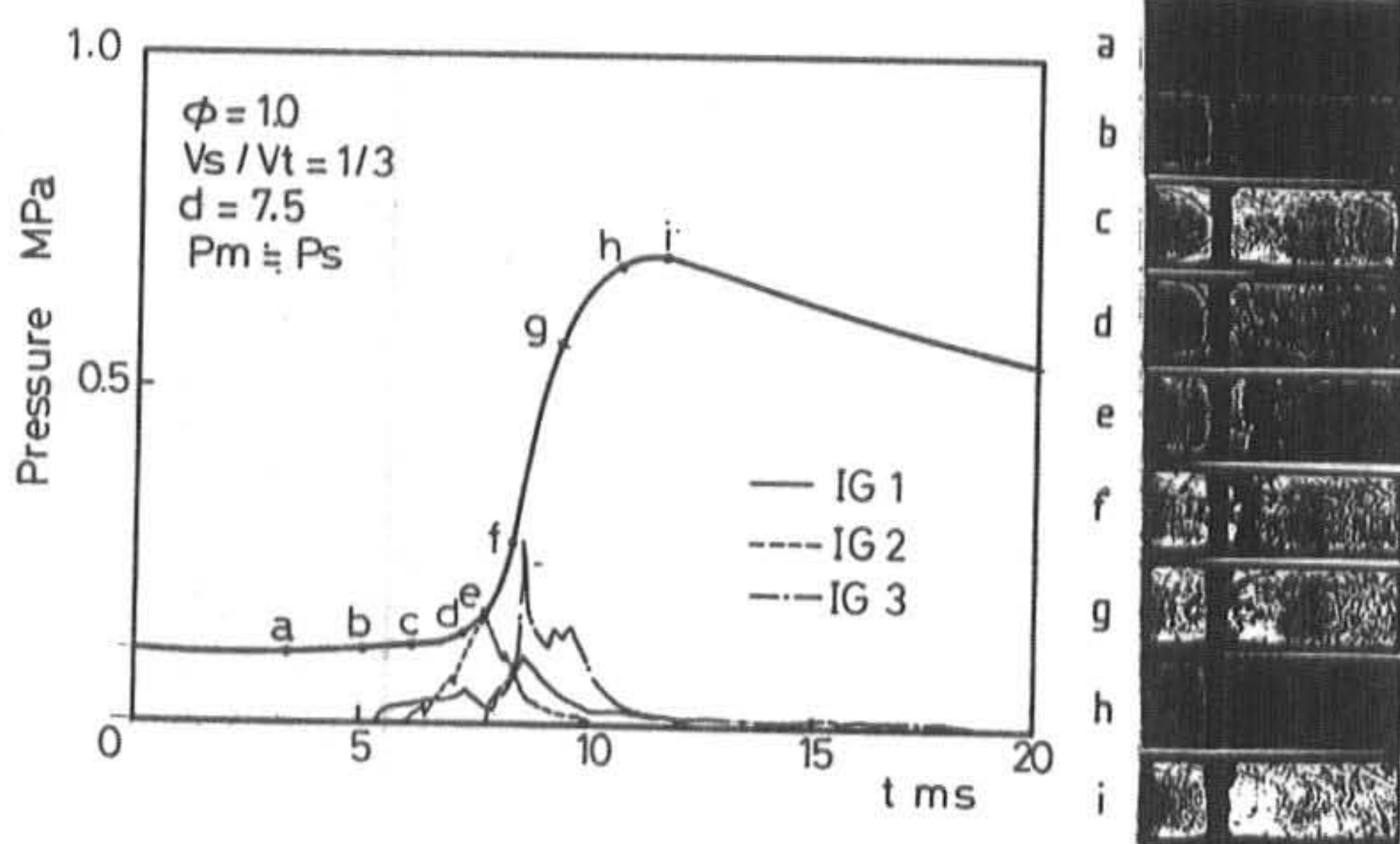


Fig.3-6 Indicator diagram, ion current and schlieren photographs

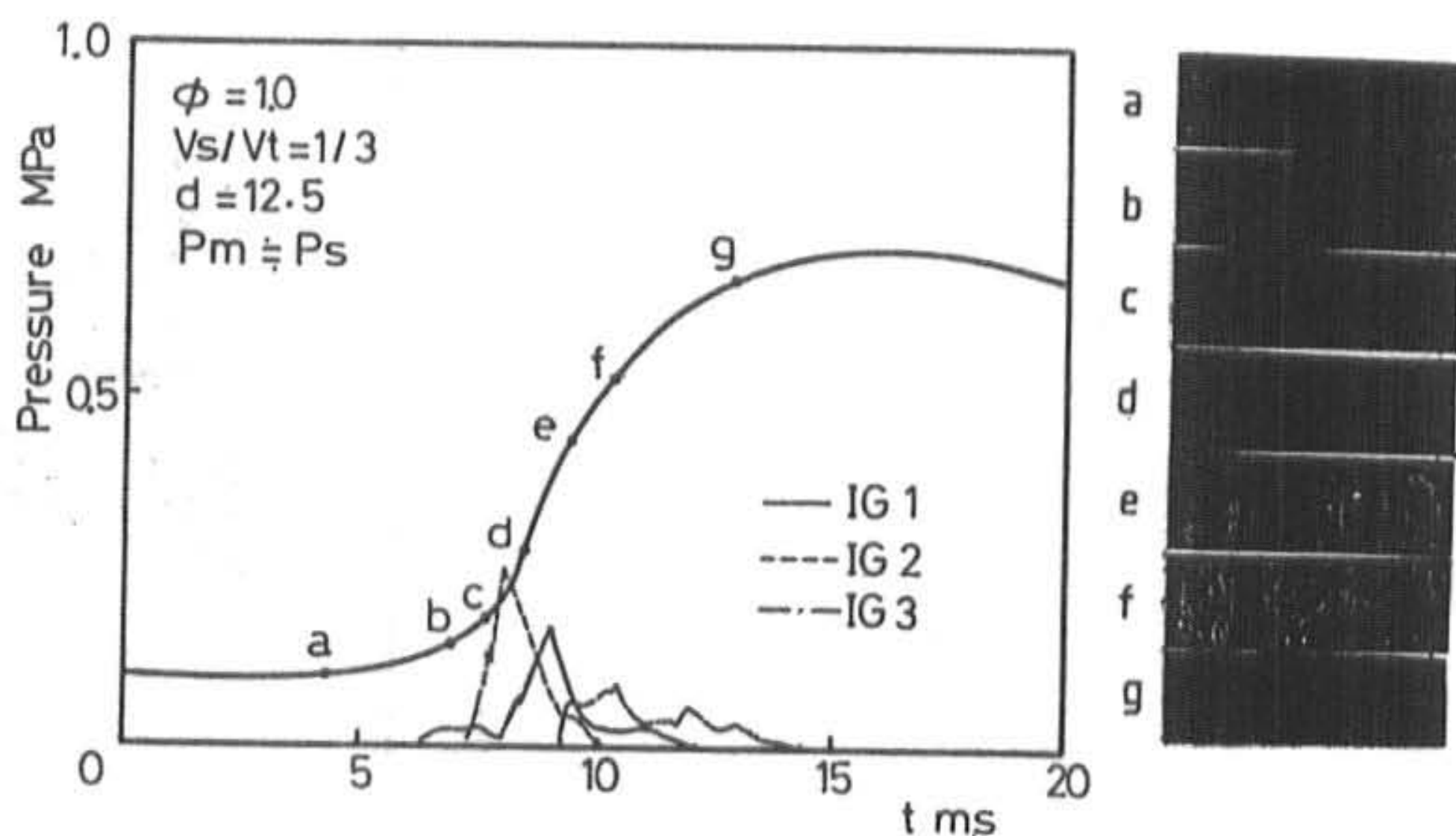


Fig.3-7 Indicator diagram, ion current and schlieren photographs

Schlieren 사진을 나타내었다. 점화후의 화염 선단은 거의 층상에 가깝지만, Baffle plate의 분출구에 의해서 분출되어 난류 화염을 갖는다. 그리고 화염의 형상은 버섯형으로 성장하므로 연소 속도는 느리다. IG3는 Schlieren사진에 의해 화염 도달시각과 일치하고 있으며, 화염선 단도 층상 연소에 가까운 것으로 나타나고 있다. 또 IG2는 분출구 직경 d 가 크게 되어도 가장 빠른 peak점에 도달하고 있으며, 주연소도 주연소실 중앙부근에서 일어나고 있다는 것을 나타내고 있다.

Fig.3-8는 $V_s/V_t=1/3$, 당량비 1.0, 분출구의 직경 $d=10.0\text{mm}$ 에서 연소를 시켰을 경우와 주연소실내에 난류를 주었을 경우에 대하여 지압선도와 Schlieren 사진을 나타낸 것이다. 지압선도에서 나타난 것과 같이 정지혼합기로 연소시켰을 경우와 난류 연소시켰을 경우 모두 7.5ms부근까지는 압력이 같으나, 그후 정지 혼합기로 연소시켰을 경우 dp/dt 는 감소하며, $t=16.8\text{ms}$ 에서 최고 압력에 도달한다. 주연소실내에 난류를 주었을 경우 Baffle plate의 반대측 벽 쪽에서도 난류가 일어나서 연소 시간도 단축되고 최고 압력도 상승된다.

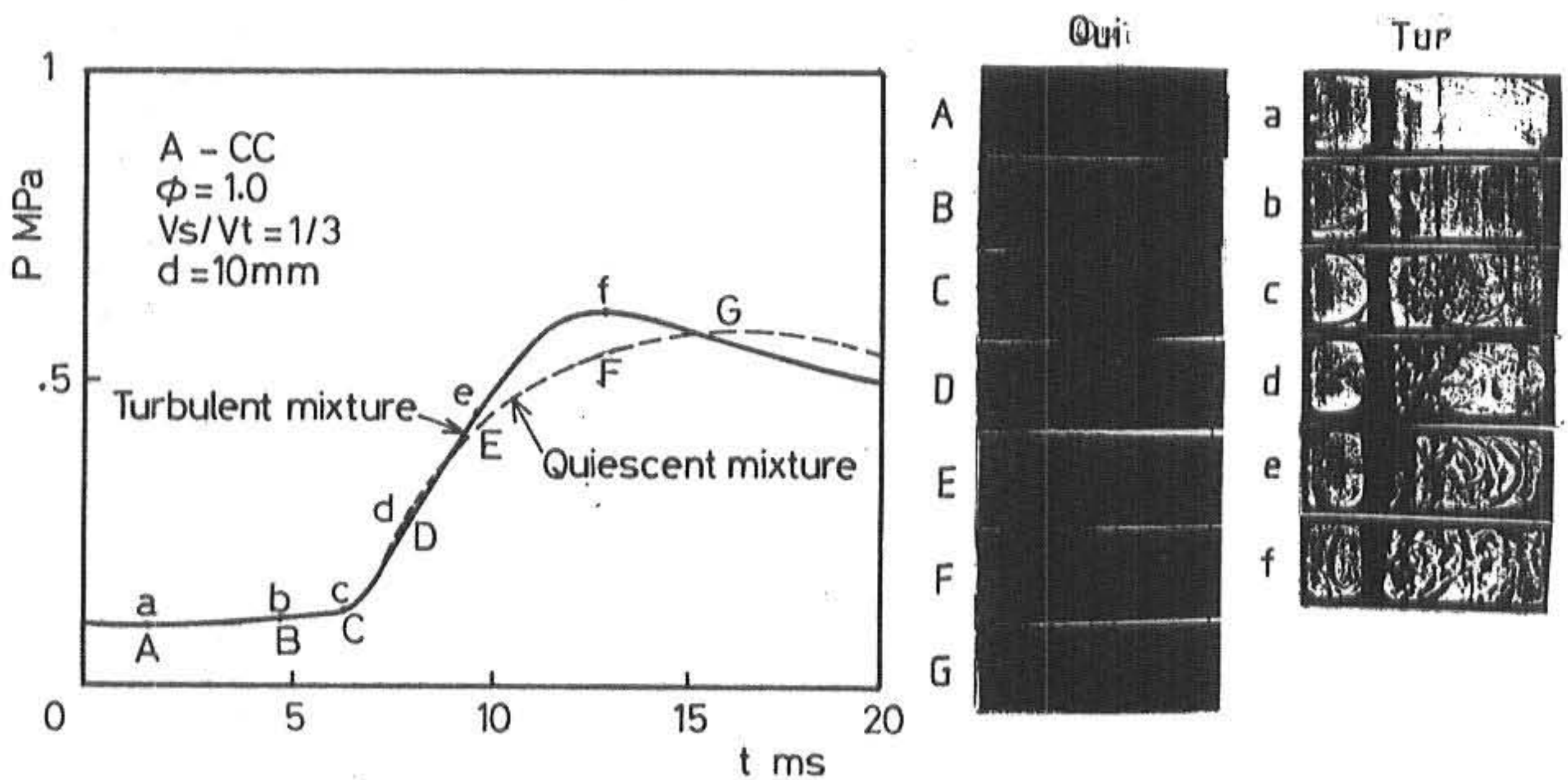


Fig.3-8 Indicator diagram and schlieren photographs for quiescent and turbulent

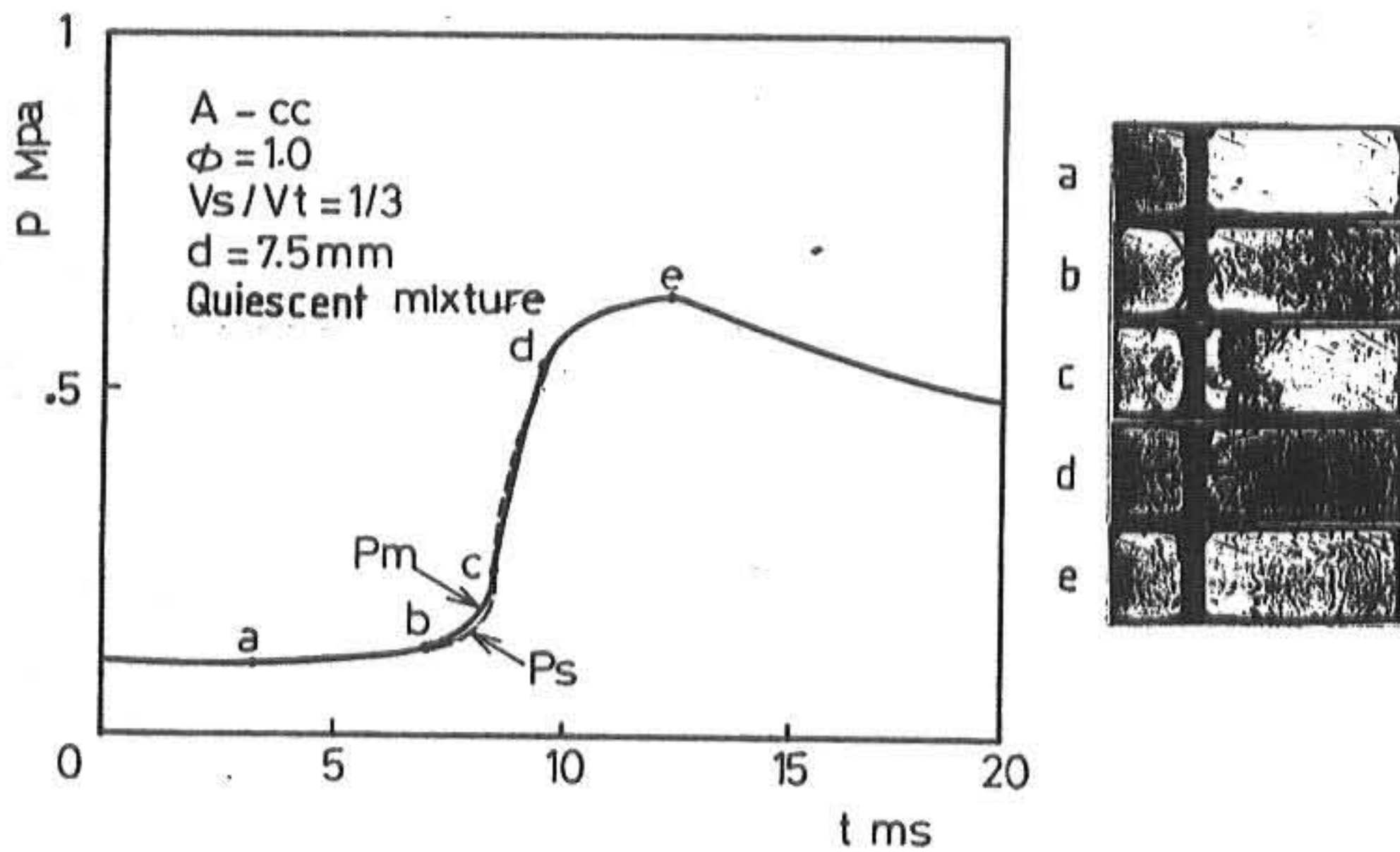


Fig.3-9 Indicator diagram and schlieren photographs for quiescent

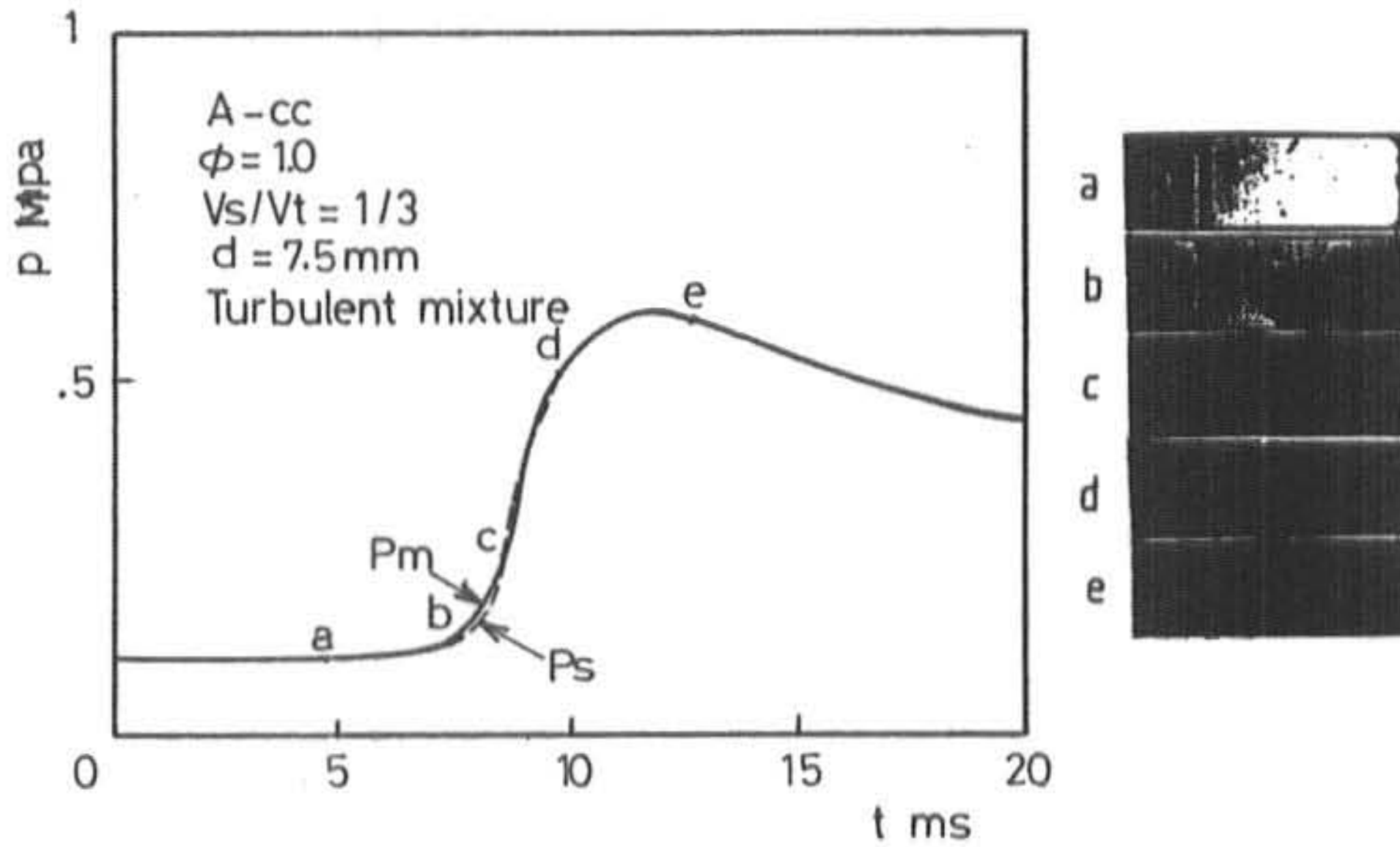


Fig.3-10 Indicator diagram and schlieren photographs for turbulent

Fig.3-9, 3-10은 $d=7.5mm$ 에서 정지 혼합기에
서 연소시켰을 경우와 난류를 주어 연소시켰을
경우의 지압선도를 타나낸 것이다.

이 2개의 지압선도에는 큰 차이가 없으므로 난
류에 의한 영향은 거의 없는 것 같다.
 $d=7.5mm$ 이하의 경우에는 분출구의 직경이 적
음에 따라 분류가 강하기 때문에 주연소실 측
의 연소는 분류에 의해 난류가 존재하므로 난
류에 의한 영향은 나타나지 않고 있다.

4. 결론

위와 같은 실험 및 측정에 의하여 다음과 같
은 결론을 얻었다.

1. 초기압력을 증가시키면 연소최고 압력은 커
진다. 그리고 당량비를 농후하게 하든지 희박
하게 하면 연소완료 시간은 늦다.
2. 부연소실을 갖지 않는 경우에는 연소실 내
에서 난류 시켰을 경우에 정지 혼합기 때 보
다 연소 시간이 30~44% 정도 단축되었다.
3. 부연소실을 갖는 경우 주연소 실내에 난류
를 시켰을 경우 분출구의 직경이 적을 경우에
는 난류에 대한 영향은 거의 없으나, 직경이
클 경우에는 주연소실내에서 최고 압력은
10% 정도 상승하였다.

참고문헌

- 1) D.Dunn-Rankin; The Interaction between a
Laminal Flame and Its self Generated
Flow. University of California, Ph.D.
Thesis. 1985.
- 2) 小野信輔, 栗雄太郎, 永島哲紀; 副室点火による
發火限界について, 日本自動車技術論文集,
No.12. 1976. pp.3~10.
- 3) 飯沼一男; 噴流を伴う容器内混合氣中の火
炎傳ば, 第14回燃焼シンポジウム. 1976,
pp.142~144.
- 4) 志水昭史, 若田和憲, 日比野晴, 村田隆; 副室 付
定容燃焼室内の燃焼に関する研究. 日本機械
學會論文集 .52卷.第2號. 1980.
pp.1965~1973.
- 5) H.G.Wolford and A.E.Bruszak; The
Passage of Explosion through Narrow
Cylindrical Channels. Combustion and
Flame. No4, pp.149~159.
- 6) 古川純一; 容器内の噴流火炎傳ば(噴流火炎
速度と混合氣濃度の影響). 日本機械學會論
文集B編.第47卷.第414號.1981.pp.380~386.
- 7) 山口譽起; 副室式燃焼器内の燃焼機構. 日本
機械學會論文集 B編. 第47卷. 第419號 .1981
pp.1390~1399.

- 8) 田坂英紀; 副室付き定容容器内豫混合氣燃焼. 日本機械學會論文集B編. 第50卷. 第454號. 1984 .pp.1617~1624
- 9) R.K.Cheng. Velocity Statitics in Premixed Turbulent Flames. Combustion and Flame. No.52. pp.185~202.
- 10) K.Wakai and S. Shimizu ; Combustion Process and the State of Gases in Divided Chamber. Proceeding of the 2nd International Pacific Conference on Automotive Engineering ,Yokyo, Japan, pp.57~64.
- 11) 秋山直之; 定容燃焼容器を用いた混合氣の火炎傳播と自着火特性. 日本 群馬大學 大學院 修士論文. 1998.
- 12) 飯田訓正,河野賢裕,米澤克夫,川口修 . 狹の流路の通過する豫混合火炎の實驗的研究. 日本機械學會論文集 B編 第51卷, 第465號. 1984 . pp.1557~1564.
- 13) 김춘중,김중엽. 레이저 레일레이 산란법에 의한 정적연소실내의 온도변동에 대한계측. 대한기계학회논문집,제15권,제1호. 1991. pp.328~340.
- 14) 金春中,若田和憲,永田誠. レーザレイリ-散亂法による容器内火炎溫度測定. 日本機械學會論文集, 第54卷, 第534號, 1991. pp.704~709.
- 15) 김춘중. 연소화염 형태에 관한 고찰. 한국 산업응용학회 1998년도 학술발표대회논문집.1998. pp.9~14.
- 16) 김춘중,김양수,新井雅隆,天谷賢兒. 연소화염의 형태와 측정법에 관한 고찰. 1999년도 대한기계학회 경북지부 춘계학술대회 논문집.1999. pp.42~47.

(1999년 3월 15일 접수, 1999년 4월 20일 채택)