

(論 文)

레이저 레일레이 산란법에 의한 定積燃焼室內의 溫度變動에 대한 計測

金春中* · 金重燁** · 若井和憲*** · 志水昭史***

(1990년 7월 19일 접수)

The Measurement of the Temperature Variation in a Constant Volume Combustion Chamber by the Laser Rayleigh Scattering

Chun Jung Kim, Jung Yeup Kim, Kazunori Wakai and Shoshi Shimizu

Key Words : Scattering Intensity(산란강도), Combustion(연소), Schlieren Photography(슈리렌사진), Combustion Chamber(연소실), Laser Rayleigh Scattering(레이레이 산란)

Abstract

The combustion process in the combustion chamber has been investigated by taking pressure, temperature, chemical equilibrium and the shape of flame. To predict temperature of a flame in a combustion chamber is one of very important problems in the field of combustion and the temperature is a important factor of ignition and counteraction to inflammation. In this paper, the flame temperature was determined by the method of the Rayleigh scattering of Ar-Ion Laser (514.5nm). The Rayleigh scattering has been got considerably attention because of its strong scattering intensity. As a result, it is shown that I can measure the shape of flame by schlieren photography and that I can get the flame temperature variation in constant volume combustion chamber by Laser Rayleigh Scattering.

기 호 설 명

- | | |
|-----------------------|---------------|
| I_R : 레일레이 산란광 강도 | R : 일반 기체상수 |
| I_0 : 입사 레이저 산란광 강도 | T : 온도 |
| σ : 산란단면적 | ϕ : 당량비 |
| n : 기체의 분자밀도 | |
| ℓ : 광로장 | |
| J : 기체의 몰 분률 | |
| N : Avogadro수 | |
| N_0 : Loschmidt 수 | |
| λ : 레이저광의 파장 | |
| μ : 기체의 굴절률 | |

1. 서 론

연소현상은 발열과 함께 고속의 화학반응과 흐름의 장애 의한 열 및 물질의 수송과 상호 영향을 미치는 극히 복잡한 현상이다. 이런 연소현상을 이해하기 위하여서 연소속도, 연소온도, 연소압력, 화염의 형태 및 화학적 특성등을 상세히 측정할 필요가 있다. 특히 연소온도는 착화나 소멸등을 지배하는 중요한 인자이다. 그러나 지금까지는 열전대에 의한 측정이나 광학적인 방법으로 많이 측정되어져

*정회원, 영남공업전문대학 기계과
**정회원, 영남대학교 공과대학 기계공학과
***日本 岐阜大學 工學部 機械工學科

왔다. 열전대법에서는^(1,2) 화염내에 물체를 삽입함으로써 유체역학적, 열적 및 화학적인 반응장에 영향을 주기 때문에 측정치와 실제값과의 차이가 문제점으로 제기되는 경우가 많다.

따라서 광학적방법에 의해 비접촉법으로서 화염 중의 농도와 온도를 측정하는 여러가지 방법이 시도되어 왔다. 흡수발광법⁽³⁾ 그중의 하나이다. 그러나 흡수발광법은 광로에 따라 적분량이 측정되어야 하기 때문에 국소의 값을 측정하는 것은 불가능하다. 그에 대해 60년도 후반부터 레이저광학의 발달과 함께 레이저분광학을 응용해서 국소값을 측정하는 여러가지 방법이 제안되었다. 그 중에서도 Raman산란법^(4,5), CARS법⁽⁶⁾, 레이저 형광법⁽⁷⁾, Rayleigh산란법^(8,9), Computer Tomography 법^(11,12) 및 레이저 간섭법^(13,14) 등의 측정법이 개발되어 왔으며 그 기본적인 원리와 측정방법에 관한 많은 연구와 성과를 거두고 있다.

Raman산란에 의한 온도측정은 산란강도가 극히 미소하기 때문에 화학발광이 적은 화염에 한정되며, 또한 산란강도를 될 수 있는 한 높게해야 하는 문제점이 있다. 레이저형광법은 측정강도가 높기 때문에 난류화염내의 물질농도를 측정하는데 편리하지만 실제로 얻은 데이터의 해석이 어렵고, 원자, 분자 준위간(準位間)의 이동을 이해하지 않으면 안되는 것이 문제점으로 남아 있다. 레이저간섭법은 혼합가스의 밀도변화에 따라 간섭무늬가 변화하기 때문에 간섭무늬의 변화량을 측정함으로써 기체의 굴절률 변화를 구하는 것이 가능하다. 그러나 간섭무늬의 이동을 정확히 측정해야 하는 어려움이 있다. 레일레이 산란법은 Raman산란법에 비해 상당히 높은 산란강도를 갖고 있다. 그렇지만 혼합가스 중의 미립자에 의한 Mie산란이라든가 용기내에 도입한 레이저광이 용기벽면에서 반사하여 생기는 배경광 뿐만 아니라 화학발광등에 의한 영향 때문에 용기내에서의 온도 측정은 상당히 어렵다.

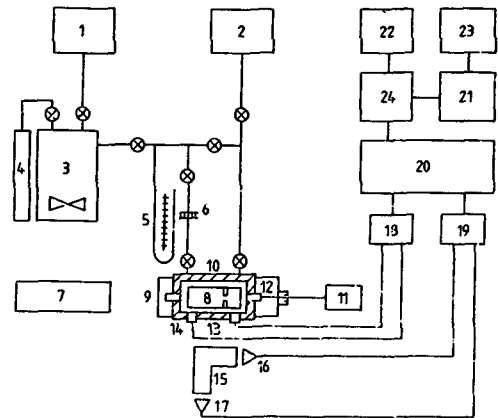
본 연구는 혼합기를 연소실 내로 공급하기 전에 필터를 이용하여 일정 크기의 미립자를 제거함으로써 가능한 Mie산란의 영향을 감소시키고, 또 화학발광의 영향을 제거하기 위하여 광학장치의 개선 및 광학 필터를 사용하였다. 뿐만 아니라 연소실 내의 배경광 및 반사산란광을 제거하기 위한 방법으로 입사창 및 연소실 내를 모두 코팅을 하였다. 따라서 레이저 레일레이 산란을 이용하여 지금까지 나타난 문제점들을 위와 같은 방법으로 개선하였을

뿐만 아니라 측정기술을 향상시켜 정적연소실 내에서의 온도를 측정함으로써 정적연소실 내에서의 온도측정이 가능하다는 것을 확인하고, 또 그 적응성을 조사하는데 중점을 두어 실험을 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

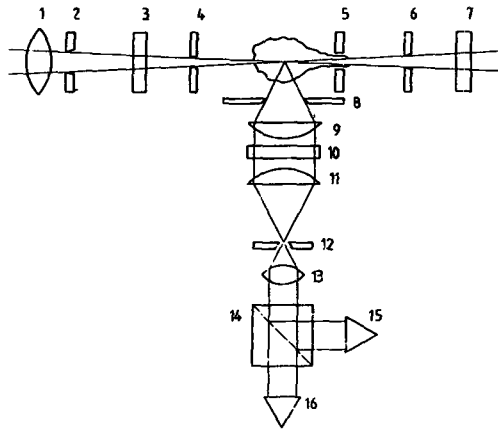
본 실험에 사용한 실험장치의 개요는 Fig. 1에 나타내었다. 그 구성은 연소계(8~12), 압력측정계(13, 14), 레이저 레일레이 산란계(7, 15~17), 예혼합기등의 공급계(1~6), 데이터처리계(20~24)로 이루어져 있다. 사용 연료인 CH₄와 공기를 혼합탱크 내로 규정의 당량비로 혼합시켜 팬에 의하여 충분히 혼합시켰다. 그 후 필터를 통하여 부유물의 직경 0.2 μ m 이상의 입자들을 제거한 후 연소실 내로 공급하였다.

레이저 레일레이 산란광학계의 개요를 Fig. 2에



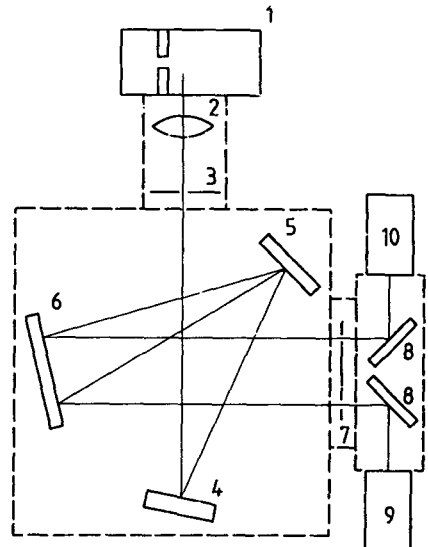
- | | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| 1. compressor | 2. vacuum pump |
| 3. mixing tank | 4. fuel bomb |
| 5. manometer | 6. filter |
| 7. laser system | 8. combustion chamber |
| 9. traverse | 10. heater |
| 11. spark plug | 12. ignition system |
| 13. pressure pick-up (sub chamber) | |
| 14. pressure pick-up (main chamber) | |
| 15. optical system | |
| 16. PM1 (photomultiplier : LR+CL) | |
| 17. PM2 (photomultiplier : CL) | |
| 18. DC amplifier. | 20. digital memory |
| 19. DC amplifier. | 21. computer |
| | 22. X-Y plotter |
| | 23. printer |
| | 24. GP-IB adapter |

Fig. 1 Block diagram of apparatus



- 1. lens ($f=300\text{mm}$)
- 2. stop
- 3. coated glass
- 4. pin hole
- 5. nozzle
- 6. pin hole
- 7. coated glass
- 8. stop
- 9. lens ($f=50\text{mm}$)
- 10. filter
- 11. lens ($f=50\text{mm}$)
- 12. stop
- 13. lens ($f=20\text{mm}$)
- 14. beam splitter
- 15. PM 1 (photomultiplier : LR+CL)
- 16. PM 2 (photomultiplier : CL)

Fig. 2 Optical system of laser rayleigh scattering



- 1. combustion chamber
- 2. lens
- 3. slit
- 4. mirror
- 5. beam splitter
- 6. mirror
- 7. slit
- 8. mirror
- 9. PM (R374)
- 10. PM (R269)

Fig. 3 CH and CC emission selector

나타내었다. 레이저 발진기를 광원으로 해서 레이저 광선의 직경을 1.3mm 되도록 집광렌즈 1을 통해서 광선의 직경을 가늘게 하였다. 그리고 반사방지막으로 양면에 코팅한 유리된 입사창 3을 설치하였다. 또한 핀홀 4에 의해 입사창으로 들어오는 미량의 반사 산란광이 연소실로 들어가는 것을 제거한 후 온도측정에 필요한 레이저 광선만을 연소실 내로 입사시켰다. 연소실 내의 측정점에서 레이저 광선의 직경을 가늘게 ($d=0.3\text{mm}$) 되도록 한 후 측정점을 통과한 레이저 광선은 입사 핀홀과 같은 구조의 핀홀 6과 출사창 7을 통하여 연소실 밖으로 나가게 하므로 여분의 산란빛을 감소시키고 또한 연소실 내의 배경광도 감소시켰다. 따라서 레이저 산란광과 화학 발광성분을 분리시키기 위하여 광전증배관(PM 1 15, PM 2 16)을 사용하였다.

Fig. 3은 본 실험에 사용한 발광신호 측정장치의 광학계이다. 렌즈 2는 화염의 발광을 모으기 위한 것이기 때문에 입사 슬릿(slit)으로서 그 상을 맺도록 하였다. 분광기(beam splitter) [日本 RIZ 應用光學 株式會社]는 입사 슬릿으로부터 나온 빛을 거울로서 반사시켜 광전증배관 [日本 濱松 Photonics 株式會社 type R374, type R296]으로

넣는다. 2개의 광전증배관은 감도차가 있기 때문에 각각 다른 전원을 사용하여 거의 같은 출력을 내도록 하였다. 이 분광기는 2가지 색을 낼 수 있도록 출사 슬릿을 설치하였기 때문에 규정의 출사파장이 나오도록 되어 있다. 분광기의 출사파장을 467.0 nm에 맞추어서 R347은 CH 밴드(431.25nm), R269는 CC밴드(516.5nm)을 선택하도록 출사 슬릿의 간격을 조정하였다.

Fig. 4는 분광기의 실제출력(CH₄, $\phi=1.2$, $v=20\text{cm/sec}$)을 나타낸 것으로 x축에 표시된 화살표(↑)는 분광기의 출사파장 467nm에서 CH-1(PM1, R374)이 CH밴드, CH-2(PM2, R269)가 CC밴드를 선택하였다.

그리고 Fig. 5는 본 실험에서 레이저 레일레이 온도계에 사용한 연소기이다. 이연소기는 30mm×28mm×90mm의 연소실을 갖는 강철체(S35C)로서 배플 프레임(baffle plate)을 삽입하면 부연실을 갖는 연소기로 사용되며, 제거하면 단일 연소실로 사용할 수 있다. 연소실의 한쪽 측면은 혼합기를 공급하고 연소가스를 배기할 수 있도록 밸브 3, 4를 설치하였고, 다른 한쪽 측면은 레일레이 산란광을 측정할 수 있도록 두께 10mm의 유리창을 설치

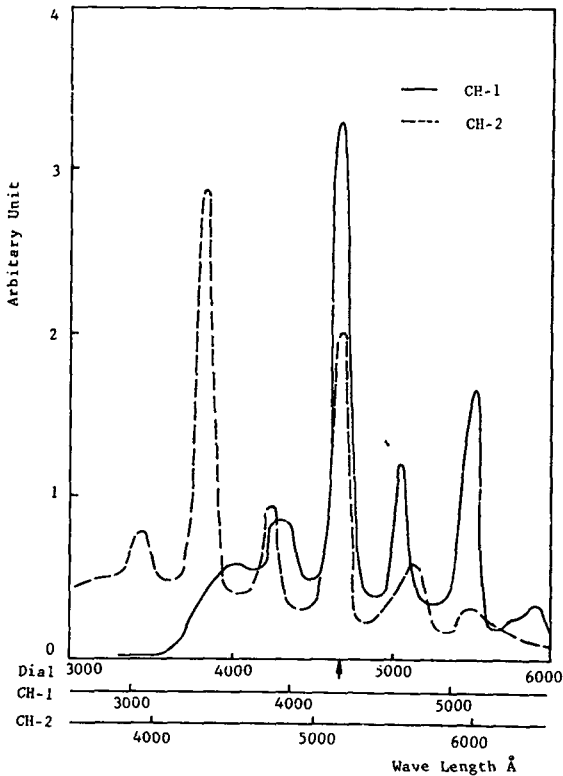
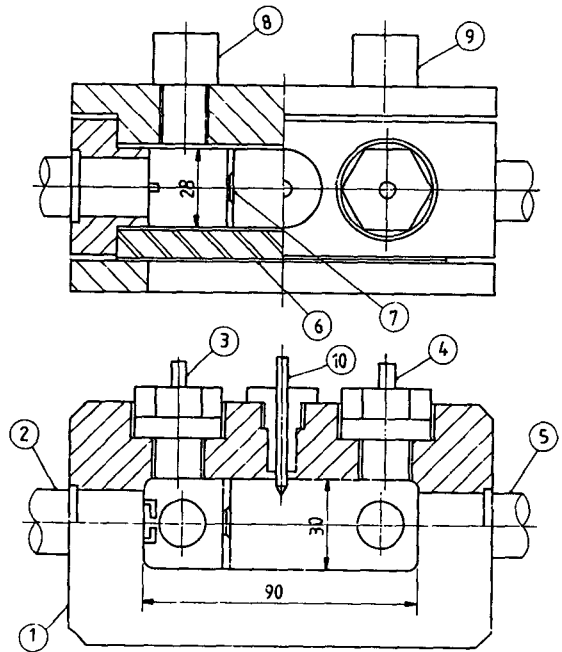


Fig. 4 Spectral system (↑: used point to measurement CC/CH)



1. body
2. spark plug
3. pressure pick up (main chamber)
4. pressure pick up (sub chamber)
5. incident window of laser
6. heater
7. nozzle
8. inlet valve
9. exhaust valve
10. thermocouple

Fig. 5 Combustion chamber for Laser rayleigh temperature measurement

하였다. 또 연소가 진행되는 동안 기연가스 중의 수증기가 응축해서 광학측정의 방해를 방지하기 위하여 연소기 밀면에는 히터를 설치하여 연소기의 온도를 60°C 로 예열하여 사용하였다.

본 실험에서 사용한 레이저는 출력 3W, 광선의 직경이 1.3mm인 LEXEL Ar-Ion laser이고, 사용한 파장은 514.5nm이다. 또 화염의 형상을 이해하기 위하여 슈리렌사진을 촬영하여 관찰하였다.

Fig. 6(a)는 광전증배관의 특성을 나타낸 것이고, Fig. 6(b)는 레이저 광선의 입사창을 양면 코팅을 하였을 때 반사율을 나타낸 것이며, 파장 514.5nm에서 반사율은 약 1%정도이다. 이 반사 산란광은 레이저 입사창 뒤에 핀홀을 설치하여 감소시켰다. 레이저 트랩 (laser trap)으로 해서 레이저 광선을 연소실로 넣은 후 연소실 내의 반사 산란광을 제거하기 위하여 이 레이저 광선을 출구도 입구와 같은 장치로 하여 밖으로 내보냈다.

연소실내의 배경광이 증가하면 레일레이 산란광

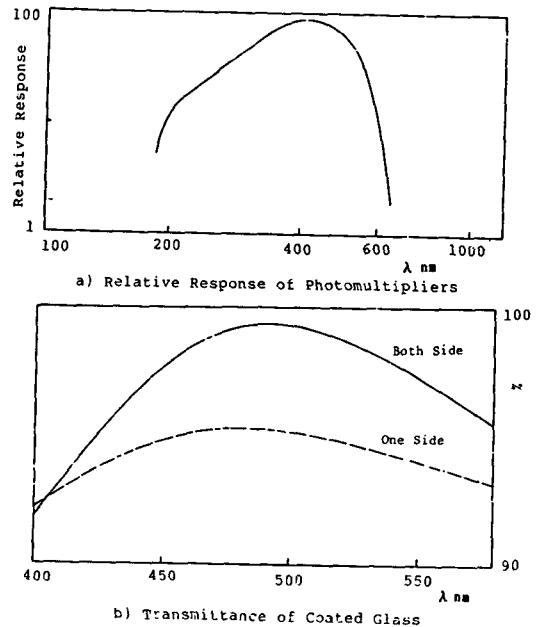
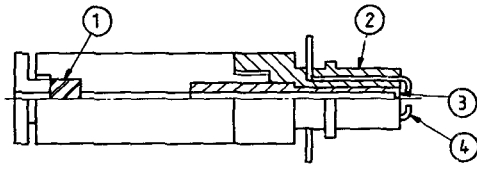


Fig. 6 Spectral characteristics of the components



1. coated glass 2. base
3. pin hole 4. electrode

Fig. 7 Ignition plug and laser trap

과 배경광의 구별이 어려울 뿐만 아니라 잡음이 증가하여 S/N 이 커지므로 정확한 온도의 측정이 불가능하므로 레이저광에 의해서 생기는 연소실내의 배경광을 감소시키기 위하여 연소실내를 모두 벨벳 트코팅 (velvet coating)을 하였다.

지금까지 실험에서 사용한 점화 프러그는 자동차용 프러그와 같이 앞쪽이 휘어져 있으므로 연소실내로 입사한 레이저 광선이 프러그에 닿아 반사산란광에 의해서 연소실 내에 배경광이 증가하기 때문에 정확한 온도측정이 불가능하였다.

따라서 Fig. 7과 같이 점화 프러그의 양극을 마주보게 제작함으로써 레이저 광선이 프러그에 닿아서 생기는 반사산란광을 방지하였다. 또 레이저 광선이 레이저 트랩으로 들어가기 전에 코팅한 유리 1에 의해 측정에 필요하지 않은 산란광을 제거하였을 뿐만 아니라 레이저 트랩의 중심에 레이저 광선이 통과할 수 있는 구멍을 뚫어서 레이저의 반사산란광 및 외부에서 유입되는 미광(迷光)을 방지하도록 하였다.

3. 측정원리

3.1 연소온도의 측정

일반적으로 레이저 산란광의 강도 I_R (Joule)는 식 (1)과 같이 표시된다.

$$I_R = I_0 n \sigma \ell \quad (1)$$

여기서 I_0 는 입사 레이저 산란광의 강도 (Joule), n 는 기체의 분자 밀도 (molecules/cm³), σ 는 기체의 산란 단면적 (cm²), ℓ 는 광로장 (cm)이다. 혼합기체에 있어서는 각 가스의 산란 단면적 및 물분율을 각각 σ_i , J_i 라 하면

$$\sigma = \sum_i \sigma_i J_i \quad (\sum_i J_i = 1) \quad (2)$$

분자의 밀도 n 는 이상기체의 상태방정식으로 부터

Avogadro의 수를 N_a , 일반 가스의 정수를 R 라 하고, 압력을 P , 절대온도 T 의 함수로 해서 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$n = P N_a / RT \quad (3)$$

식 (3)을 식 (1)에 대입하면

$$I_R = I_0 \frac{P N_a}{RT} \sigma \ell \quad (4)$$

본 실험에서는 I_0 , ℓ 는 일정하기 때문에 I_0 , ℓ , N_a 을 하나의 상수 K 로 놓으면

$$I_R = K \sigma P / (RT) \quad (5)$$

이 식에서 참조상태의 첨자 r 을 붙여서 각 변수로 나누면

$$\frac{I_R}{I_r} = \frac{\sigma/R}{\sigma_r/R_r} \frac{P/T}{P_r/T_r} \quad (6)$$

이 식을 온도 T 에 관하여 풀면

$$T = \frac{I_r}{I_R} \frac{P}{P_r} \frac{\sigma/R}{\sigma_r/R_r} T_r \quad (7)$$

로 되고 참조상태 (P_r , T_r)에 의해 I_r 를 측정해서 σ_r/R_r , σ/R 의 값을 대입하면 측정 온도 T 를 구할 수 있다. 여기서 I_R 는 직접측정이 불가능하고 레이저광 뿐만 아니라 배경광, 화학발광등도 포함 되어 있다. 배경광은 연소중에는 변화하지 않는다고 생각되며 이는 연소전에 감소시켜 그 영향을 제거할 수 있다. 그러나 화학발광은 연소중에 변화하기 때문에 분광기와 2개의 PM을 이용하여 분리시킬 수 있다. PM1, PM2의 출력은 분광기의 성질로부터

$$I_{PM1} = I_R + I_{CL} \quad (8)$$

$$I_{PM2} = k' I_{CL} \quad (9)$$

여기서 I_{CL} 는 화학발광 성분, k' 는 2개의 PM의 강도 비이다. 그래서 k' 는 레이저 광선을 입사하지 않을 때 I_{PM1} 과 I_{PM2} 을 같도록 선택하면

$$I_R = I_{PM1} - I_{PM2}/k' \quad (10)$$

으로 I_R 를 구할 수 있다.

3.2 산란단면적의 계산

식 (4)에서 레이저 산란강도는 산란단면적에 비례하고 온도에 반비례함을 나타내고 있다. 레이저 산란단면적은 입사광의 파장을 λ , 측정대상으로 하는 기체의 굴절률을 μ , Loschmidt의 수를

N_0 라 하면

$$\sigma = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^4 \left(\frac{\mu^2 - 1}{4\pi N_0}\right)^2 = \frac{\pi^2(\mu^2 - 1)^2}{\lambda^4 N_0^2} \quad (11)$$

여기서 π , λ , N_0 는 정수이고, 측정대상으로서는 기체에 의한 μ 만 변화하므로 식 (2)와 식 (11)에 의해 혼합기의 산란단면적은

$$\sigma = \frac{\pi^2}{\lambda^4 N_0^2} \sum_i j_i (\mu_i^2 - 1)^2 \quad (12)$$

σ 는 연소가스의 물 분률과 온도 및 압력의 함수이기 때문에 실험에 의하여 시행착오법으로 구할 수 있다.

Fig. 8은 각종 연료의 착화가능 범위내의 당량비 변화에 대한 미연 및 기연가스의 비산란단면적 σ/σ_{N_2} 를 식 (12)를 이용하여 계산한 결과를 나타낸 그림이다. 연료의 분자수가 많은 연료 일수록 미연 및 기연가스의 비산란단면적의 차가 크고, 미연가스의 비산란단면적이 기연가스의 산란단면적 보다 크다. 또 당량비가 1.0보다 클수록 미연 및 기연가스의 비산란단면적의 차가 크고, 1.0보다 적을 수록 그 차가 적어진다.

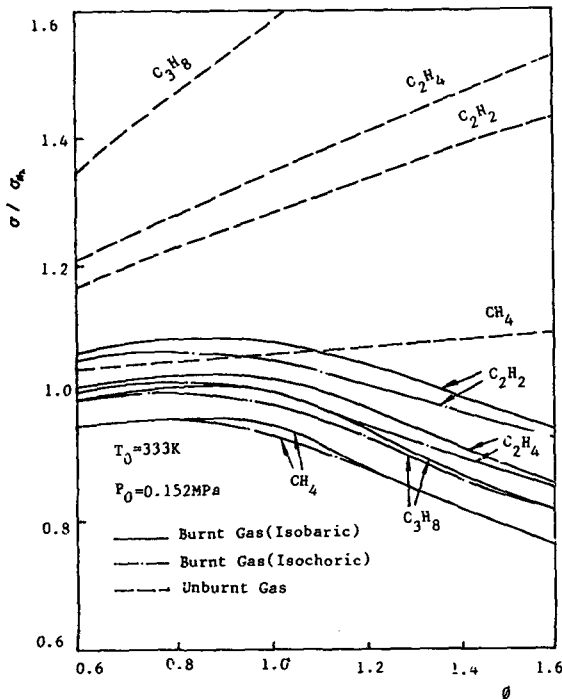


Fig. 8 Influence of temperature on relative cross section of burnt gas

따라서 본 연구에서는 발광강도, 레이저광의 반사산란, 비산란단면적 및 착화를 고려하여 당량비 0.6을 사용하여 실험하였다.

4. 측정결과 및 고찰

4.1 화학발광 측정결과

정적연소실 내에서의 화염의 온도를 측정하는 데에는 화염의 반응대에서 특히 강한 CC, CH발광의 성질을 조사할 필요가 있다. 일반적으로 CC는 화염의 발광대 중에서도 예열대 부분에 가까운 쪽에 존재하고, CH는 발광대의 중앙부분에 가까운 쪽에 나타나고 있지만 강열한 화염신장 혹은 분출구 내에서의 냉각에 의하여 CC, CH의 어느 한쪽으로 치우치는 반응이 나타나기도 하고 혹은 중간 생성물이 생성될 가능성도 있다. 그래서 먼저 정상 버너에서 CH_4 를 연료로 사용하여 당량비를 변화시켜서 그 영향을 조사하였다. Fig. 9에서와 같이 화염대의 스펙트럼은 넓은 파장대에 걸쳐서 발광되고 있다. 그러나 이 파장대는 파장이 클수록 화염대에서의 베이스 라인이 감소되고 있다. 이 스펙트럼의 특성을 정성적으로는 나타나고 있지만 아직까지 그 원인에 대해서는 규명이 되어 있지 않다⁽¹⁵⁾. 또한 발광이 강한 CH와 CC는 당량비가 클수록 크게 나타나고 있다. 또 CH에 비해 CC는 당량비에 의해

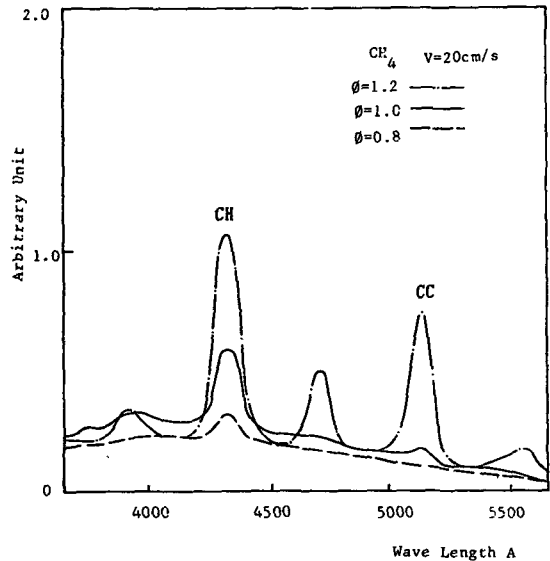


Fig. 9 Influence of ϕ and λ on chemical luminous

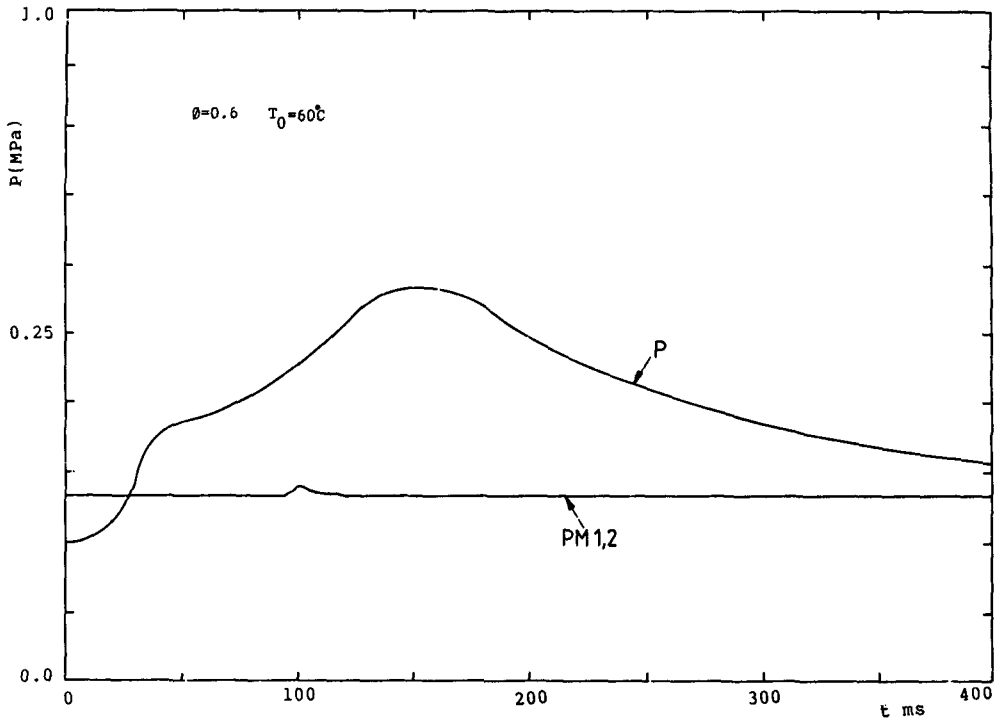


Fig. 10 Sensitivity coincidence between PM 1 and PM 2

크게 변화하지만 당량비 0.8에서는 거의 나타나지 않고 있다.

4.2 연소실 내에서의 온도측정 결과

정적연소실내의 연소상태를 이해하고 연소실내의 온도변화를 측정하기 위하여 레이저 레일레이 산란 온도계를 이용하여 온도를 측정하였다. 본 연구에서 사용한 레이저의 파장은 514.5nm인 것에 비하여 CC밴드는 516.5nm로써 꽤 비슷한 파장이므로 가능한 CC의 영향을 제거하기 위하여 화학발광 측정결과에서 나타난 것과 같이 CC밴드의 영향이 거의 없는 0.8이하인 당량비를 사용하여 실험하였다. 따라서 연소실 내로 레이저 광선을 보내기 전에 간섭필터를 설치하여 필요한 파장만을 통과시켰다. 또 연소실 내에서 연소시켰을 경우에 화학발광과 레일레이 산란광이 동시에 측정되기 때문에 여기서 화학발광의 성분만 제거하면 레일레이 산란광의 강도를 구할 수 있다. 그래서 레이저를 켜고 연소시켜서 화학발광만을 측정하여 2개의 광전증배관의 감도를 계산기에서 같게 맞추었다. 그러나 Fig. 10에서와 같이 2개의 광전증배관의 감도가 완전히 일

치하지 않았다. 그것은 쇼트 노이즈(shot noise)가 주원인이라 생각된다. 또 레이저 출력의 안정성과 광전증배관 출력의 노이즈를 조사하기 위하여 광전증배관의 감도를 측정하여 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11을 고찰하여 보면 레이저의 출력은 안정성

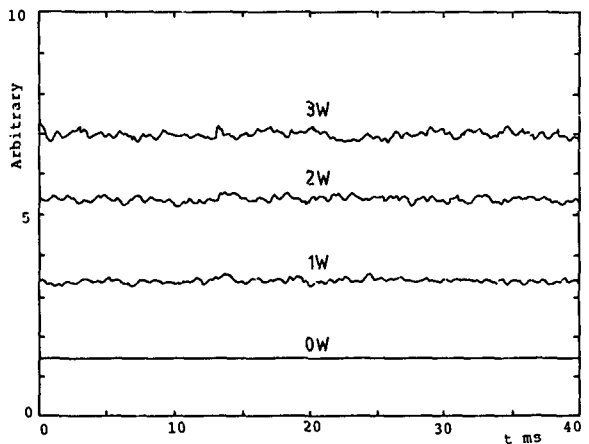


Fig. 11 Signal of laser by the photomultiplier

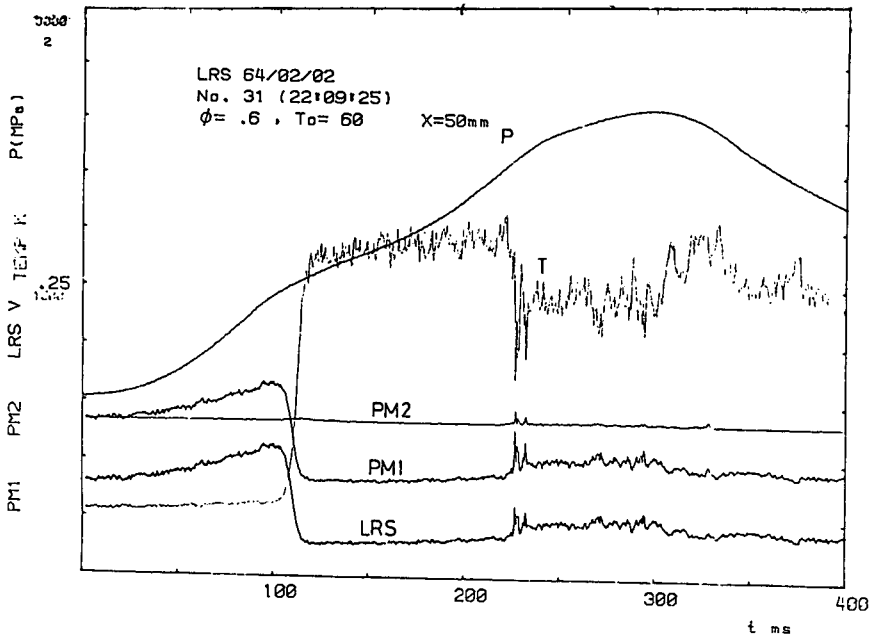


Fig. 12 An example of plotter output

을 가지는 것같이 보이지만 어느 정도의 노이즈가 포함되어 있을 뿐만 아니라 출력에 비례하여 노이즈가 크게 된다.

Fig. 12는 부연소실을 갖지 않은 경우 스파크 프리그축 벽면으로 부터 50mm지점에서 연소온도를 측정하는 것이다. 측정점에서는 화염이 바로 도달하지 않고 단열압축을 받은 미연가스가 측정점을 통과하기 때문에 온도가 상승한다. 그리고 화염이 도달하는 시각에서 온도가 급격히 상승할 뿐만 아니라 압력도 함께 상승한다. 그후 연소온도가 T_{max} 까지 상승을 계속하고 난 후 200ms 이후에서는 온도가 내려갈 뿐만 아니라 변동도 크게 된다. 따라서 200ms 이후에 나타난 온도는 실제 연소온도라고 볼 수 없다. 그 중요한 원인은 PM에 미광이 입사된 것으로 생각된다. 이 미광은 레이저 광선이 연소실로 입사한 후 처음은 미연가스에 의해 레이저 광선의 굴절은 없으나 연소시킨 후 화염에 의해 굴절됨으로써 레이저 광선의 일부가 출구로 나가지 않고 연소실내의 벽면에서 난반사에 의한 원인이자 생각된다.

위와 같은 고찰에 의하여 연소 전반에서는 온도 측정이 가능하다는 결론을 얻었으므로 연소실 내의 온도를 측정하였다. Fig. 13은 당량비 0.6인 연료

(CH_4)를 부연소실이 없는 경우에 점화시켜 점화 프리그축 벽면으로 부터 30mm, 40mm, 50mm, 70mm위치에서 연소온도를 측정하였다. 그러나 10mm, 20mm점에서는 점화 프리그가 가깝기 때문에 점화시 용융비산에 의한 Mie산란이라든가 미광이 증가함으로서 만족할 만한 결과를 얻을수 없었다. 슈리렌 사진에서 나타난 것과 같이 화염은 처음에 반구상으로 넓어져 감으로써 화염 면적이 증가하고 dP/dt 도 점점 증가한다. 그후 반구상의 화염이 연소실벽면에 도달할 때 측정위치 $X=40mm$ 에서의 연소온도는 상승하고, 화염면의 선단은 $X=40mm$ 부근까지 진전되어 있다. 그후 화염면은 연소실 벽면의 영향에 의하여 평면에 가깝고 또 dP/dt 는 감소한다. 측정위치 $X=50mm$ 에서는 화염의 도달 시각이 늦고 또 연소온도의 상승이 완만해질 뿐만 아니라 연소실 중앙에서는 화염의 진행속도가 느리며, 평면화염으로 변화한다.

그리고 연소가 진행되어 갈수록 화염면은 정적연소실 특유의 튜립형 화염으로 형성되어 간다. 따라서 화염면의 면적도 증대되고 dP/dt 는 다시 증가하고, 급속히 연소가 진행되어 압력이 최대가 되면서 연소가 끝난다. $X=70mm$ 에서 보는 것과 같이 연소 후반에서는 화학발광이라든지 연소 미립자 및

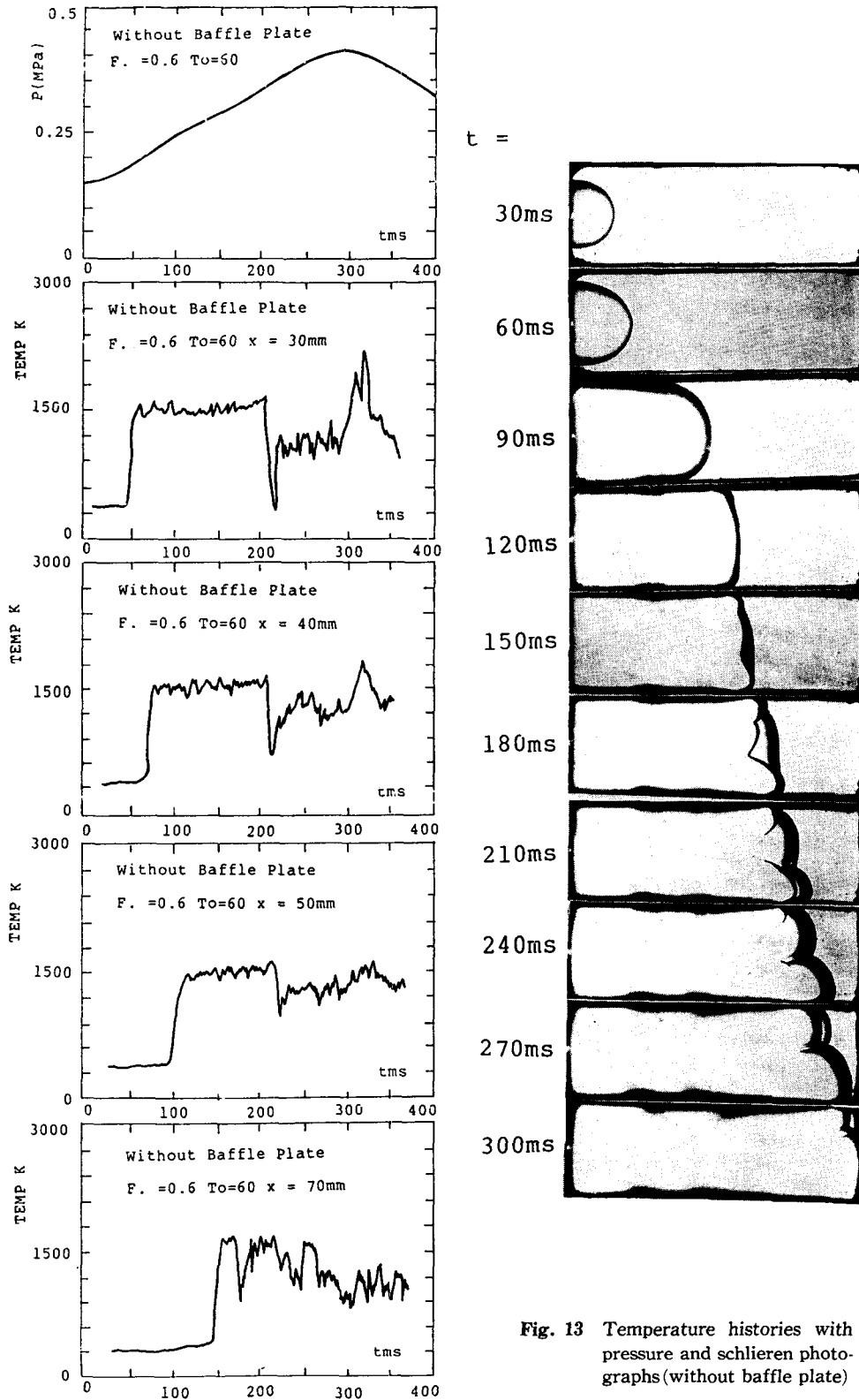


Fig. 13 Temperature histories with pressure and schlieren photographs (without baffle plate)

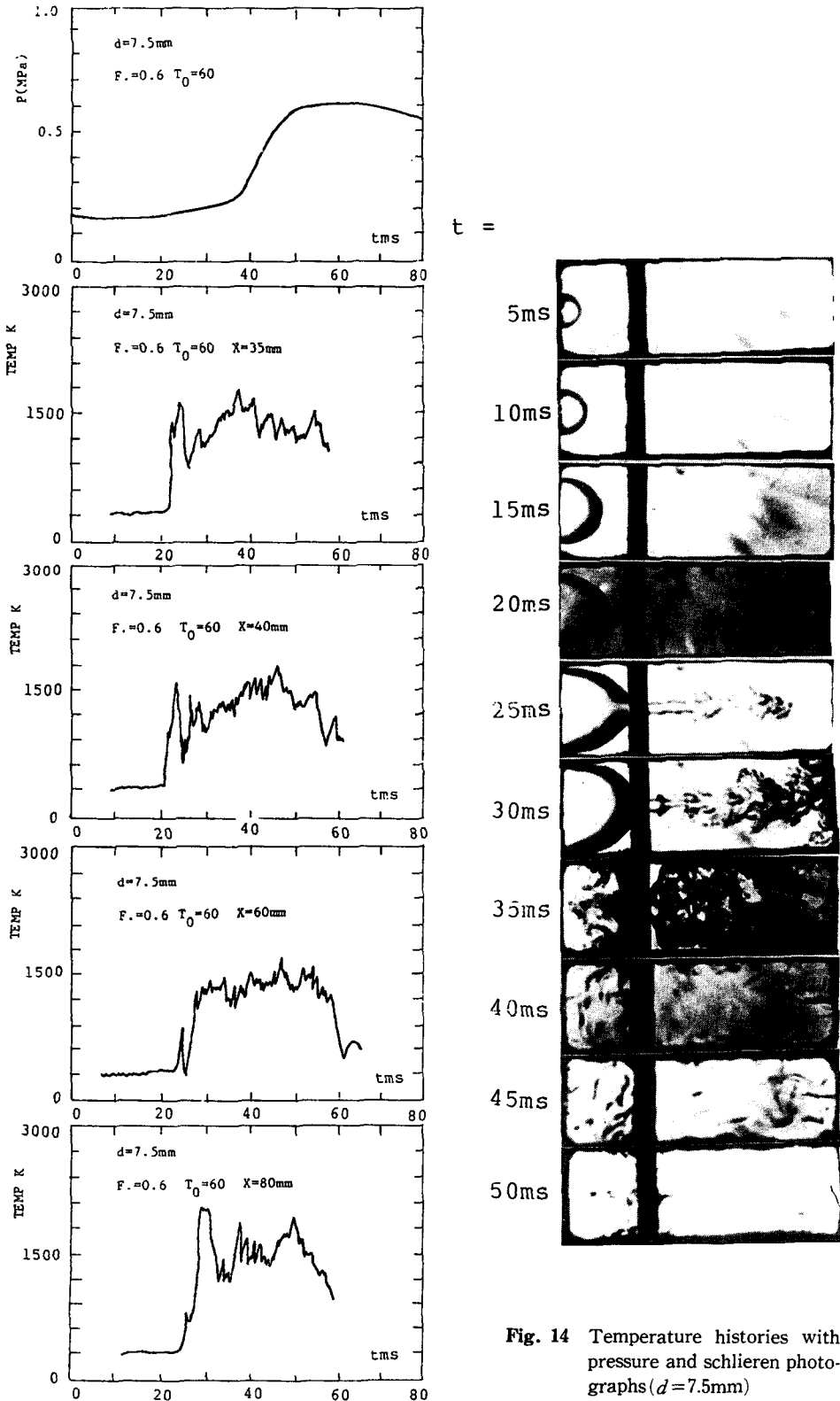


Fig. 14 Temperature histories with pressure and schlieren photographs ($d=7.5\text{mm}$)

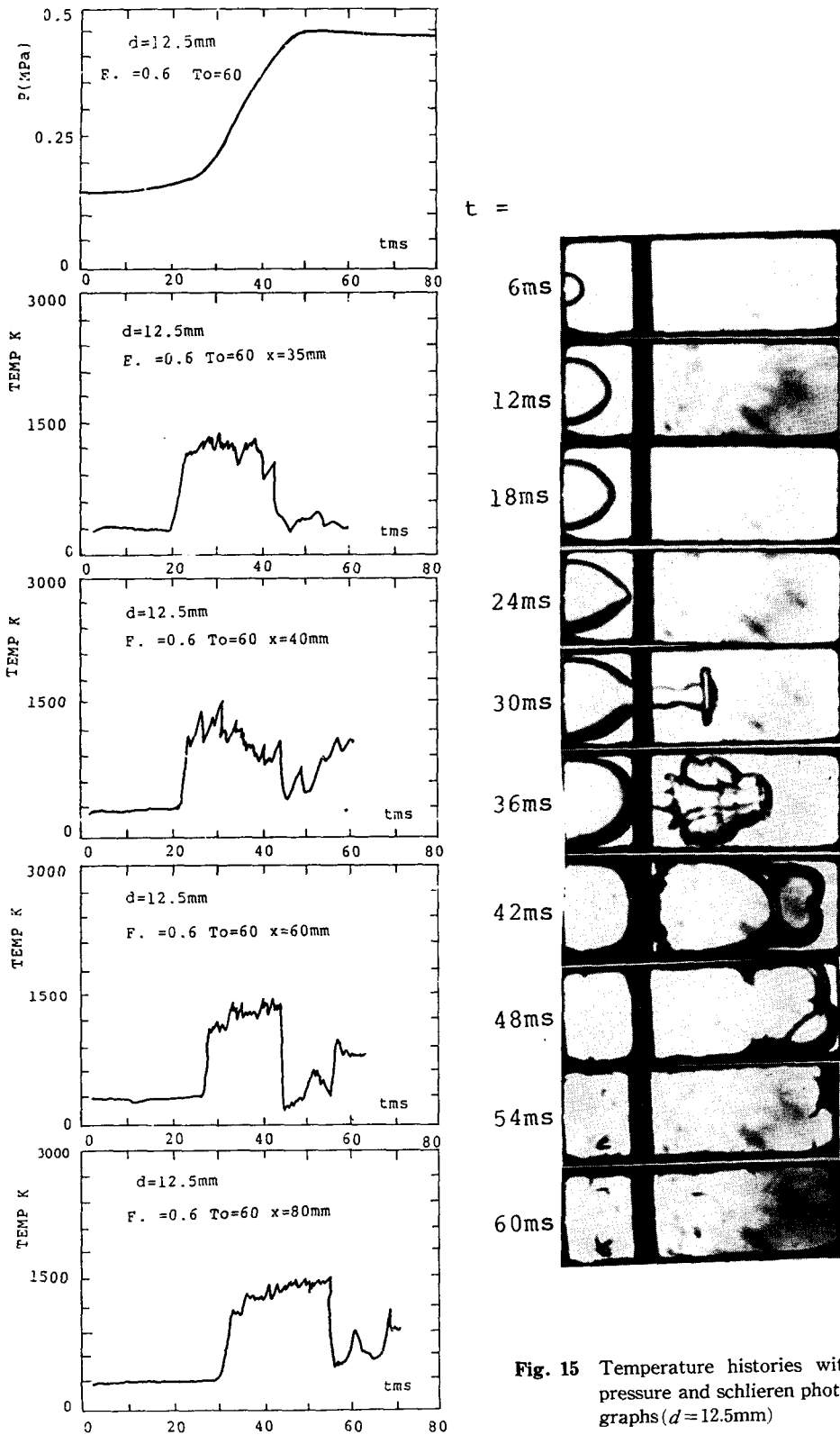


Fig. 15 Temperature histories with pressure and schlieren photographs ($d = 12.5\text{mm}$)

레이저의 굴절에 의한 연소실벽에 의한 반사산란등의 노이즈가 증가함으로 측정 정도가 떨어진 것 같다. 레일레이 온도계는 고온에서 특히 배경광이 있을 경우 PM의 특성상 약간정도가 떨어지기 때문에 실험을 여러번 행하여야 한다. Fig. 14는 $d=7.5\text{mm}$ 의 경우 지압선도와 주연소실의 온도이력 및 슈리렌 사진을 나타낸 것이다. $d=7.5\text{mm}$ 에서는 분출속도가 빠르기 때문에 온도가 올라가는 시간의 차이가 적다. 주연소실의 압력이 상승을 시작할 때 온도도 급격히 상승을 시작한다. 분출구 직후 5mm지점인 점화 프러그 면으로부터 $X=35\text{mm}$ 의 측정점에서도 $t=20\text{ms}$ 부근에서 온도가 한번 내려갔다가 다시 상승하는 것으로 나타나고 있다. 이는 부연소실에서 분출구로 진입한 기연가스가 처음에는 분출구면에 접하지 않고 분출되어 측정점에 도달하기 때문에 온도가 상승한다. 그후 분출구쪽 보다 적은 기연가스가 분출구 내에 진입한 후 폭이 커지면서 분출구 내면에 접촉한 냉각 기연가스가 분출되어 측정점을 통과하므로 온도가 내려가는 것으로 생각된다. 이는 $X=40\text{mm}$, 60mm , 80mm 에서도 같은 현상을 나타내고 있다. 점화 프러그에 의해 점화된 화염은 부연소실 내로 전파하고 곧 이어 주연소실 내로 분출한다. 처음 주연소실 내로 분출된 화염은 배플 플레이트(baffle plate) 등의 영향에 의하여 온도는 낮지만 시간의 경과와 함께 화염의 직경도 커지면서 온도도 상승된다. 그래서 주부연소실 사이의 압력차도 적게 되고 분류의 속도도 약하게 된다. 이후 주연소실 내에서 착화의 조건이 갖추어지면 착화가 일어나서 연소가 시작된다. 이때부터 주연소실 내의 압력이 상승할 뿐만 아니라 온도도 상승하게 된다. Fig. 15는 $d=12.5\text{mm}$ 때 지압선도, 주연소실의 온도이력 및 슈리렌 사진을 나타낸 것이다. 측정점의 위치에 있어서 온도상승은 화염이 도달하는 시간과 거의 일치하고 있다. $d=12.5\text{mm}$ 에서는 $d=7.5\text{mm}$ 보다 분출구의 직경이 크기 때문에 부연소실에서 주연소실 내로 분출되는 분출속도가 느릴 뿐만 아니라 화염의 형태도 분출화염이라기 보다 튕류화염의 상태로 전파되어 간다. 따라서 주연소실내에서의 연소속도가 느리고 부연소실 내로 역류하는 현상도 적다. 그러므로 분출구경으로부터 나온 화염은 그대로 주연소가 일어남으로써 압력 및 온도가 상승하며, 화염의 형태도 버섯형이 되어 연소속도도 느리다. 따라서 $X=40\text{mm}$ 에서 부터 80mm 에 이르기까지 화염

의 도달에 시간이 걸릴 뿐만 아니라 부연소실의 연소가 끝날 때 주연소실의 연소가 강하게 일어남으로 연소 후반에 부연소실내로 약간의 미연가스가 역류한다. 이는 슈리렌 사진에서도 잘 나타나고 있다. 그리고 주연소실의 연소가 끝날 때 온도가 상승하는 것은 측정영역에서 연소가 끝난 후 측정공간을 통과하는 미립자에 의한 Mie산란의 영향과 화학발광 및 배경광에 의한 미광의 영향이라 생각된다.

앞으로 측정기술의 향상과 미광 및 노이즈 성분을 제거할 수 있다면 정도 향상과 함께 착화기구의 해명에 진전이 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

레이저 레일레이(Laser Rayleigh) 온도계와 슈리렌 사진에 의해 정적연소실 내에서의 화염의 형태와 국소점에서의 온도변동의 측정이 가능하였다. 뿐만 아니라 측정영역에서의 온도변화는 화염의 전파시간과 잘 일치하였다. 더 나아가서 레이저광선의 입사 및 출사시 배경광을 적게 하고 점화 프러그 전극의 방전시 용융비산 혹은 미광(迷光)의 영향 및 연소실내에서의 반사산란광의 영향을 완전히 제거할 수 있는 방법만 강구되면 실제 내연기관에서의 연소온도측정도 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) Taylor, D.S., 1978, "On-Line Digital Compensation and Processing of Thermocouple Signals for Temperature Measurement in Turbulent Flame", AIAA 16th Aerospace Sciences Meeting 70~30.
- (2) 大島聖外 1人, 1981, 熱電對・時定數・變動溫度計測, 第19回燃燒・シンポジウム・前刷集, pp. 230~232.
- (3) Nakajima, M. and Semerjian, H., 1985, "Measurement of Flame Temperature Distribution by IR Emission Computed Tomography", Appl. Opt. Vol. 24, No. 23, pp. 4111~4115.
- (4) Lapp, M. and Penney, C.M., 1973, "Application of Light Scattering Techniques for Measurement of Density, Temperature and Velocity in Gasdynamics", Aerospace Research Laboratories. Project No. 7065.
- (5) 出口祥啓外 1人, 1989, "ラマン散亂法を用いたアセチレンの溫度, 濃度計測", 日本機械學會論文集, B

- 編, 第55卷, 第518號, pp. 3234~3238.
- (6) 大屋正明外 1人, 1989, "CARSによる燃焼計測", 日本自動車研究, 第11卷, 第5號, pp. 157~164.
- (7) 高城敏美外 3人, 1987, "レーザ誘起螢光とLDVによる濃度と流速の連続同時測定", 日本機械學會論文集, B編, 第54卷, 第501號, pp. 1179~1183.
- (8) Komiyama, M. and Tagagi, T., 1989, "Simultaneous Multipoint Temperature Measurements by Laser Rayleigh Scattering in Turbulent Diffusion Flames", JSME, Vol. 23, No. 2, pp. 260~264.
- (9) 김춘중, 김중엽, 1988, "Laser Rayleigh Pyrometer에 의한 분출화염의 온도측정에 관한 연구", 한국자동차공학회지, 제10권, 제6호, pp. 61~71.
- (10) 若井和憲, 金春中外 1人, 1989, "レイリー温度計による容器内火炎温度の測定", 第27回 燃焼シンポジウム前刷集, pp. 368~370.
- (11) Sato, S. and Kumakura, K., 1989, "Interferometric Tomography of Temperature Field in Turbulent Flame", Joint International Conference, pp. 195~200.
- (12) 若井和憲外 3人, 1988, "2色CTによる燃焼ガスの温度分布測定", 日本機械學會論文集, B編, 第54卷, 第508號, pp. 3553~3558.
- (13) 本嘉輔外 2人, 1987, "レーザ干渉法によるガス温度變化の測定", 日本機械學會論文集, B編, 第53卷, 第496號, pp. 3798~3802.
- (14) 加藤征三外 1人, 1988, ホログラフィー干渉法による三次元温度場の計測, 日本機械學會論文集, B編, 第54卷, 第505號, pp. 2654~2660.
- (15) Gaydon, A.G., and Wolfhard, 1943, "Mechanism of Formation of CH, C, OH and HCO Radicals in Flames", Tech. Phys., Vol. 24, pp. 211~218.