

Laser Rayleigh Pyrometer에 의한 분출화염의 온도 측정에 관한 연구

A Study of the Temperature Measurement of Jet Flame by Laser Rayleigh Pyrometer

金 重 燁*, 金 春 中**
J. Y. Kim C. J. Kim

1. 서 론

연소현상을 이해하기 위해서는 분류의 속도, 온도, 압력, 화학적 특성 등을 상세히 이해할 필요가 있으며, 이들 또한 착화나 소염을 지배하는 중요한 인자들이다. 따라서 이들을 정량적으로 측정하는 것은 상당히 곤란할 뿐만 아니라 정성적으로도 쉽지 않다. 지금까지의 측정은 소리에 의해서 착화를 판단하는 원시적인 방법¹⁾에서부터 Schlieren 사진법²⁾, ION 전류과정³⁾ 등 여러가지 방법으로 연구되고 있다.

근년에는 계측기술이 비약적으로 발전함에 따라 연소현상을 해석하는데 있어서 꼭 필요한 인자인 압력, 온도, 유속 등을 정량적인 측정이 적극적으로 시도되고 있다. 예를 들면 유속은 Laser Doppler Velocimeter^{4,5)}을 사용하지만 유속의 범위는 아직 좁다. 또 압력 Pick-up의 정밀도 향상에 의한 분출구전후의 미소한 압력차를 이용하여 간접적으로 속도를 구하는 방법도 있지만 그 분류가 미연가스인지, 연소가스인지를 알 필요가 있고, 또 혼합가스인 경우에는 압력 Pick-up으로는 거의 불가능하다. 또한 온도는 착화나 소염에 있어서 가장 영향을 미치는 인자이다. 그래서 현재 2~3개의 온도측정 방법이 연구되고 있다. 현재까지 연구되고 있는 방법중에서 열전대에 의한

온도측정은 측정응답이 늦어 보전에 의문점이 있을 뿐만 아니라 측정점에 있어서 흐름을 변화시키는 결점이 있다. 또한 Na-D선⁶⁾에 의한 반전법에서는 1,500K 이하에서는 불가능하다는 것이 문제점으로 되어 있다. 그래서 현재 가장 많이 연구되고 있는 방법으로는 Probe를 넣지 않고 우수한 시간적, 공간적 분해능력을 가지고 있는 Laser를 이용하여 측정하는 방법이 있다. Laser를 이용하여 측정하는 방법으로 Laser Rayleigh Scattering⁷⁾, Raman Scattering⁸⁾, CARS⁹⁾, Laser 형광법¹⁰⁾ 등이 있다. 그 중에서는 Laser Rayleigh Scattering은 탄성산란이므로 측정결과가 갖는 물리적 의미는 다른 방법에 비하여 대단히 우수하다. 그러나 입사 Laser 빛의 산란이라든가 연소가스 중의 미립자에 의한 Mie 산란 혹은 화염자신의 화학발광도 측정정도를 나쁘게 하든가 또는 측정이 불가능하게 되는 경우도 있다. 그 때문에 Laser Rayleigh Scattering에 의하여 온도를 측정하기 위한 광학계가 복잡하기 때문에 용기내의 연소에 적용하는 예는 거의 없을 뿐만 아니라 불가능하다는 보고도 있다.¹¹⁾

본 논문에서는 Laser Rayleigh Pyrometer에 의한 광학계의 개조와 측정기술을 발전시켜 지금까지의 측정이 불가능한 밀폐용기내에서 분출화염의 온도측정을 시도하여 분출화염

* 영남대 공과대학

** 영남공업전문대학

에 의한 착화나 소염의 연구에 중요한 자료를 얻고자 하는데 있다.

밀폐 용기내에서의 온도측정은 대기개방형에서와 같이 Laser의 에너지를 증대시키기 위해 이용하는 다중반사 Mirror가 사용될 수 없을 뿐만 아니라 약한 Rayleigh산란빛에 의하여 입사창이란 Laser Trap으로 발생하는 강한 배경광 및 분출화염 뿐만 아니고 착화된 화염에서 대량의 화학발광은 피할 수 없다.

본 논문은 이와 같은 영향을 제거하는데 노력하여 밀폐용기내의 연소장에서 온도를 측정하였으며 또 측정가능성을 시사하였다.

2. Laser Rayleigh Pyrometer의 원리

2.1 기 초 식

일반적으로 산란은 빛이 입자 또는 물질에 부딪쳐서 그 진행방향이 변하는 현상이다. 이때 빛의 파장이 변화하지 않은 산란과 파장이 변화하는 산란으로 구별할 수 있다. 전자는 Rayleigh산란 또는 Mie 산란이라 하고, 후자를 Raman산란 또는 CARS법이라 한다.

Rayleigh산란은 Mie 산란과는 분리하기 매우 어렵다. 그렇지만 Rayleigh산란에 있어서는 Mie산란을 제거하여야 하며, Mie 산란을 제거하기 위하여서는 대기중의 먼지와 같은 부유물을 제거하여야 한다. 그리고 Rayleigh 산란강도를 높여야 측정정도가 올라간다.

Rayleigh산란 강도는 다음의 양에 비례한다.

- 1) 입사빛의 강도 I_0 (Joules)
- 2) 기체의 분자밀도 n (mol/cm³)
- 3) 기체의 산란 단면적 σ (cm²)
- 4) 광로장 l (cm)

따라서 산란 빛의 강도 I 는 다음 식으로 표시된다.

$$I = I_0 n \sigma l \dots\dots\dots(2.1)$$

혼합가스에 있어서 σ 는 각 성분 가스의 산란 단면적과 mol분율에 의존한다.

각 성분 가스의 산란 단면적과 mol 분율을 각각 σ_i, J_i 라 하면,

$$\sigma = \sum_i \sigma_i J_i \left(\sum_i J_i = 1 \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

기체의 분자밀도 n 은 이상기체의 상태 방정식으로부터 계산할 수 있다. Avogadros수를 N_A , 일분자 정수를 R , 압력을 P , 절대온도를 T 라 하면,

$$n = PN_A/RT \dots\dots\dots(2.3)$$

(2.3)식을 (2.1)식에 대입하면,

$$I = I_0 \frac{PN_A}{RT} \sigma l \dots\dots\dots(2.4)$$

본 연구에서는 I_0, l 는 일정하기 때문에 I_0, l, N_A 를 정수 K 로 바꾸어 놓으면,

$$I = K \frac{\sigma P}{R T} \dots\dots\dots(2.5)$$

이 식에서 참조 상태의 첨자 r 를 붙여서 각 변수로 나누면,

$$\frac{I}{I_r} = \frac{\sigma/R}{\sigma_r/R_r} \cdot \frac{P/T}{P_r/T_r} \dots\dots\dots(2.6)$$

이 식을 온도 T 에 관해서 풀면,

$$T = \frac{I}{I_r} \cdot \frac{P}{P_r} \cdot \frac{\sigma/R}{\sigma_r/R_r} \cdot T_r \dots\dots\dots(2.7)$$

로 되고 참조상태(P_r, T_r)에 의해 I_r 를 측정해서 $\sigma_r/R_r, \sigma/R$ 의 값을 대입하면 T 를 구할 수 있다.

2.2 산란 단면적

(2.5)식에서 Rayleigh산란 강도는 산란 단면적에 비례하고 온도에 반비례함을 나타내고 있다. 따라서 산란 단면적이 일정한 경우에는 Rayleigh산란빛의 강도를 측정함으로써 온도 측정이 가능하다. 물론 산란 단면적이 일정하다는 조건은 성립하지 않는다. 그러나 본 실험에서 사용한 CH₄-공기의 예혼합기에서는 근사적으로 산란 단면적을 일정하다고 보는 것이 가능하므로 Rayleigh 산란빛을 이용해서 온도를 측정할 수 있다.¹²⁾

Rayleigh산란 단면적은 입사광의 파장을 λ , 측정 대상으로 하는 기체의 굴절률을 μ , Lo-schmidt's 수를 N_0 라 하면,

$$\sigma = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \left(\frac{\mu^2 - 1}{4\pi N_0} \right)^2 = \frac{\pi^2 (\mu^2 - 1)^2}{\lambda^4 N_0^2} \dots\dots(2.8)$$

여기서 π , λ , N_0 는 정수이고 측정 대상으로서 는 기체에 의해 μ 만 변화함으로써 (2.2)식과 (2.8)식에 의해

$$\sigma = \frac{\pi^2}{\lambda^4 N_0^2} \sum_i J_i (\mu_i^2 - 1)^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

σ 는 연소가스 mol분률 J_i 와 온도 압력의 함수이기 때문에 실험에 의해서 시행 착오법으로 구한다.

Fig.1에 각종 연료의 미연가스 및 기연가스의 $(\sigma/R)/(\sigma_{N_2}/R_{N_2})$ 와 당량비에 의한 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 H_2 를 제외하고는 연료의 분자수가 많은 쪽이 미연가스의 $(\sigma/R)/(\sigma_{N_2}/R_{N_2})$ 의 차가 크다. 또한 CH_4 - 공기의 당량비 0.8에서는 다른 연료에 비해 기연가스가 미연가스에서 $(\sigma/R)/(\sigma_{N_2}/R_{N_2})$ 의 차가 가장 적다.

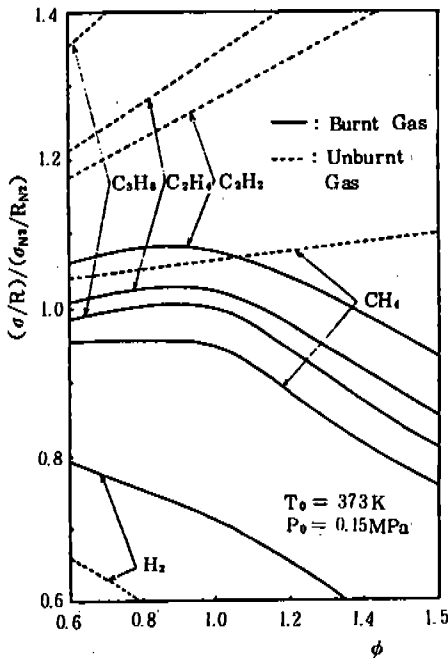


Fig. 1 Influence of equivalence ratio and fuel on scattering cross-section (Isobaric adiabatic combustion)

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험 개요

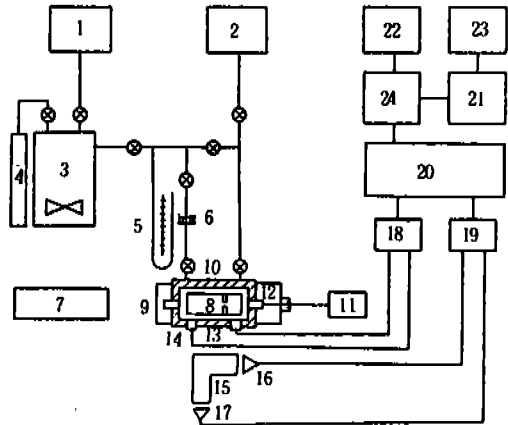
본 연구에 사용한 실험장치의 개요는 Fig.

2에 나타내었다. 그 구성은 연소계(8~12), 압력측정계(13~14), Rayleigh Scattering Pyrometer(7, 15~17), 예혼합기 등의 공급계(1~6) Data 처리계로 이루어졌다. CH_4 , 공기는 Mixing Tank내에서 규정의 당량비로 혼합시켜, Fan에 의하여 충분히 혼합시켰다. 그 후 Filter을 통하여 부유물의 직경 $0.2\mu m$ 이상의 입자는 제거하여 연소실로 공급하였다.

그리고 공급 Pipe내에 있는 먼지 등의 부유물을 적게 하기 위하여 부연소실로부터 연료를 공급하여 주연소실 쪽에 진공 Pump로 연결되어 있기 때문에 연소가스는 항상 한쪽 방향으로만 급배기 되도록 하였다.

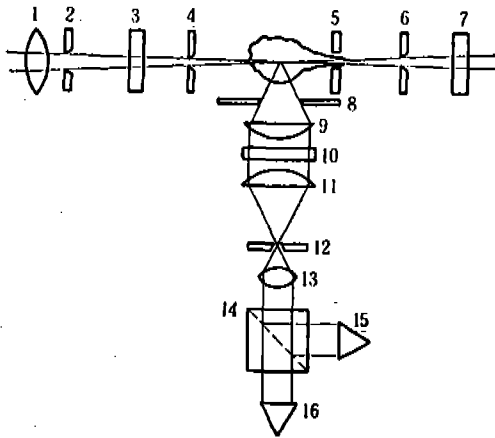
3.2 Laser Rayleigh Pyrometer의 광학계

Laser Rayleigh Pyrometer의 광학계의 개요를 Fig.3에 나타내었다. Laser 발진기를 광



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

Fig.2 Block Diagram of Apparatus



- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 1. Lens ($f=300\text{ mm}$) | 9. Lens ($f=50\text{ mm}$) |
| 2. Stop | 10. filter |
| 3. Coated Glass | 11. Lens ($f=50\text{ mm}$) |
| 4. Pin Hole | 12. Stop |
| 5. Nozzle | 13. Lens ($f=20\text{ mm}$) |
| 6. Pin Hole | 14. Beam Splitter |
| 7. Coated Glass | 15. PM 1 (Photomultiplier : LR+CL) |
| 8. Stop | 16. PM 2 (Photomultiplier : CL) |

Fig. 3 Optical System of Laser Rayleigh Pyrometer

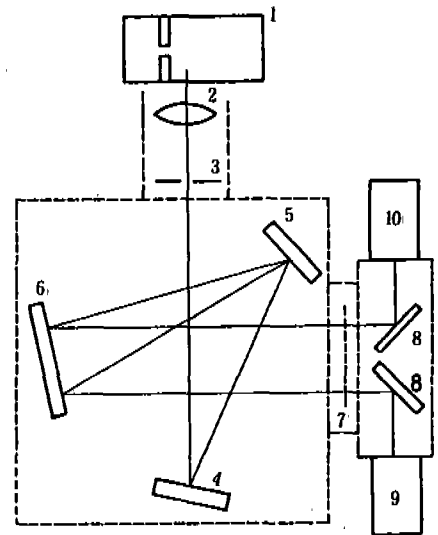
원으로 해서, Laser Beam는 직경 1.3mm로서 연소실에 입사하기 전에 집광 Lens 1을 통해서 Beam 직경을 가늘게 하였다. 그리고 반사 방지막으로 양면에 Coating 한 Glass로 된 입사창 3으로부터 입사해서 Pin Hole 4에 의해 입사창으로 들어오는 반사산란 빛이 연소실로 들어가는 것을 제거한 후 측정하기 위한 Laser Beam 만을 연소실로 입사시켰다. 측정점에서 직경을 가늘게 ($d=0.3\text{ mm}$) 되게 한 후 다시 굵게 되면서 Orifice 5에 의해 Beam Trap으로 되어 있는 다른 한쪽 연소실로 들어가서 입사 Pin Hole과 같은 구조의 Pin Hole 6과 출사창 7을 통하여 연소실 밖으로 나가므로 여분의 산란 빛을 감소시키고 또한 측정실 쪽의 배경광도 상당히 감소시켰다. 측정위치에서의 산란 빛은 Rayleigh 빛만이 아니고 연소에 의한 화학발광도 포함되어 있다. 그리고 산란 빛의 측정영역은 stop 8에 의해 결정되지만 그 공간분해 능력은 $0.6\text{ mm} \times 1.2\text{ mm} \times 1.0\text{ mm}$ 이고, PM1, PM2가 동일 체적을 동일 공간 분해능력으로서 측정이 가능하도록 조절하였다.

따라서 집광 Lens 9에 의해 모아진 산란 빛은 Filter 10을 통해서 514.5nm 파장의 빛만을 통과하도록 하였다. 그러나 화학발광 중의 CC Band는 516.5nm이므로 CC Band가 어느 정도 양만큼 Filter를 통과해서 들어온다.

그래서 Rayleigh 빛의 측정과 동시에 화학발광만을 측정할 수 있도록 Beam Splitter를 사용하였다. Rayleigh 빛과 화학발광은 모두 Lens 13에 의해 평행광선으로 되어 Beam Splitter 14로부터 Rayleigh 빛과 화학발광 성분으로 분리시켜서 광전자 증배관(PM 1 15, PM2 16)으로 넣어서 전기신호로 변환시켰다. 그 Beam Splitter에 의해 편광성분인 Rayleigh 산란광은 PM1에 도달하고, 화학발광등은 편광 성분이 아니기 때문에 PM1, PM2 모든 쪽으로 다 들어가기 때문에 이 신호를 제거하므로써 Rayleigh 산란 빛만을 얻을 수 있다.

3.3 화학발광 측정장치

본 실험에 사용한 발광신호 측정장치의 광학계를 Fig. 4에 나타내었다.



- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| 1. Combustion Chamber | 6. Mirror |
| 2. Lens | 7. Stop |
| 3. Stop | 8. Mirror |
| 4. Mirror | 9. Photomultiplier (R374) |
| 5. Grating | 10. Photomultiplier (R269) |

Fig. 4 CH and CC Emission Selector

광학계는 Lens 2, 입사 Slit 3, Beam Splitter 5, 출사 Slit 7, Mirror 8, 광전자 증배관 9, 10으로 이루어져 있고 이들은 동일 축상에 있다.

Lens는 화염의 발광을 모으기 위한 것이기 때문에 입사 Slit로서 그 상을 맺도록 하였다.

Beam Splitter(日本 RIZ 應用光學株式會社)는 입사 Slit로부터 나온 빛은 Mirror로서 반사시켜서 광전자증배관(日本 浜松 Photonics 株式會社 Type R 374, R 269)으로 넣는다.

2개의 광전자 증배관은 감도차가 있기 때문에 각각 다른 전원을 사용해서 거의 같은 출력을 내도록 하였다.

이 Beam Splitter는 2가지 색을 출사할 수 있도록 출사 Slit를 설치하였기 때문에 규정의 출사 파장이 나오도록 되어 있다. 그래서 R 374가 혼합기 연소에서 탄소와 수소의 화학 반응; 열분해에 의한 빛으로서 CH(431.25nm) band, R 269가 탄소 자신들의 화학 반응 및 열분해에 의한 빛을 CC(518.52nm) band로 선택하도록 출사 Slit의 간격을 조정하였다.

3.4 Laser 장치 및 연소기

본 연구에서는 LEXEL Ar-ION LASER MODEL 95-3을 사용하였다. 이 발진장치는 빛의 Feed Back 방법으로서 항상 안정된 출사의 빛을 얻도록 되어 있다. 그리고 사용한 Laser 빛의 파장은 514.5nm이고, Laser 발진기의 출력은 약 3.0W이며, Laser Beam의 편광 방향은 수직이다. Table 1은 Laser 발진기의 주요 제원이다.

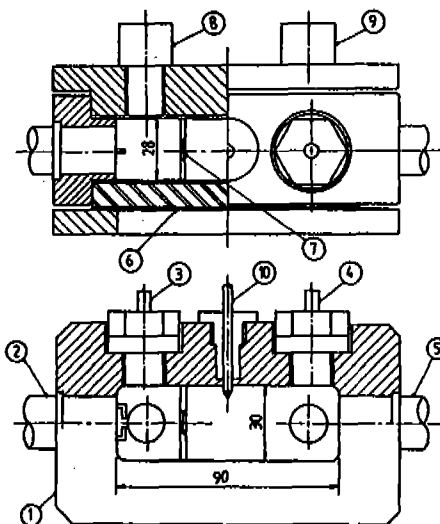
Table 1. Laser System

Wave Length	514.5nm
Power	3.0W
Polarization	Vertical
Beam Diameter	1.3mm
Beam Divergance	0.6mrad
Power Stability	±0.5%/°C/h

본 연구에 사용한 연소기는 Fig.5에 나타나 있었다. 이 연소기는 가로×세로×높이가 90mm×28mm×30mm의 연소실을 갖는 Steel제(S 35C)의 연소기로써 Orifice 구멍을 갖는

Baffle Plate를 넣으므로 부연소실 체적비 V_s/V_t 을 공칭으로 1/3(실제 0.279)되도록 하였다.

본 실험에 사용한 Orifice의 직경은 3.2mm, 7.5m, 12.5mm의 3종류를 사용하였다.



- 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. Outlet Valve
- 10. Thermocouple

Fig.5 Combustion Chamber for Laser Rayleigh Temperature Measurement

4. 화학발광과 측정결과

부연소실을 갖는 정적 연소실에서 주·부연소실내의 화염온도를 Laser Rayleigh Pyrometer로 측정하는데에는 화염의 발광대에서 특히 강한 CC, CH 발광의 성질을 조사할 필요가 있다. 일반적으로 CC는 발광대 중에서도 예열대 부분에 가까운 쪽에 존재하고¹³⁾, CH는 발광대의 중앙부에 가까운 쪽으로 나타나고 있지만 강열한 화염신장 혹은 Orifice 내에서의 냉각에 의하여 CC, CH의 어느 한쪽으로 치우치는 반응이 나타나기도 하고 혹은 중간 생성물이 생성될 가능성도 있다. 그래서 먼저 정상 burner에서 CH₄을 연료를 사용하여 당량비를 변화시켜서 그 영향을 조사한 후에 다시 분출화염의 발광을 조사하였다.

4.1 정상 Burner

유속이 일정한 ($V=20\text{ cm/s}$) 경우의 발광파장대를 Fig. 6에 나타내었다.

그림에서 보는 것과 같이 화염대의 Spectrum은 넓은 파장대에 걸쳐서 발광되고 있다. 그러나 이 파장대는 파장이 클수록 화염대에서의 base line이 감소되고 있다. 이 Spectrum 특성을 정성적으로는 Gaydon의 논문에서도¹⁴⁾ 나타나고 있지만 그 원인에 대하여서는 확실한 설명이 없다. 또한 발광이 강한 CH와 CC는 당량비가 클수록 크게 나타나고 있다. CH에 비해서 CC는 당량비에 의해 크게 변화하지만 당량비 0.8에서는 거의 나타나고 있지 않다.

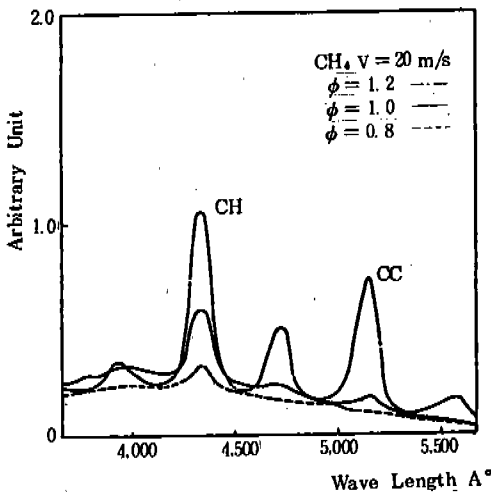


Fig. 6 Influence of ϕ and λ on C. I

4.2 분출화염

Burner 화염온도에 의한 I_{CC} , I_{CH} 의 성질을 조사한 결과 CC, CH는 $\text{CH}_4\text{-air}$, $\phi=1.2$ 에서 크게 나타나고 있다는 결과를 얻었기 때문에 분출화염에서도 같은 조건에서 실험을 하였다. 이 실험에서 분출구의 직경은 2.6mm의 Orifice에서 $X/d=1$ (X 는 Orifice 출구로부터의 거리)이다. 측정결과를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7을 Fig. 6과 비교해 보면 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다. 그리고 분출에 의한 급

냉각에 의하여 반응이 다르다고 해서 정상화염과 다른 중간 생성물이 나타나고 있다고는 볼 수 없었다.

이상과 같이 화학발광 측정결과에 의하여 분출화염에서 CC, CH 발광이 거의 나타나지 않는 $\phi=0.8$ 에 대하여 화염의 온도를 측정하였다.

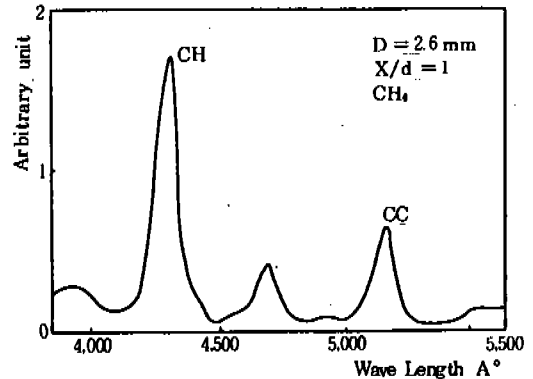


Fig. 7 Spectroscopic Character of Flame Jet

5. Laser Rayleigh Pyrometer에 의한 분출 화염의 온도 측정결과에 대한 고찰

Fig. 8은 Orifice 직경 $d=12.5\text{ mm}$ 의 지압선도, 부연소실내의 온도이력, Schlieren 사진을 나타내었다. 모든 측정위치에 있어서 온도가 급격히 상승함을 나타내는 시각은 화염이 도달하는 시각과 거의 일치하고 있다는 것을 나타내고 있다.

부연소실내에서의 화염현상은 전기점화에 의해 점화된 반구상의 층류화염으로 된다. 그 때문에 Laser와 평행방향 즉 화염분출 방향으로 진전되는 속도의 부연소실에 있어서 처음에는 화염전파속도가 느리다. 따라서 측정장소 ($X=5.15\text{ mm}$)에서의 온도가 상승하는 시각이 차이가 나고 있음을 알 수 있다. 이는 Schlieren 사진에서도 확인하였다.

Fig. 9는 주연소실의 온도 이력을 나타낸 것이다. Orifice로부터 분출된 화염은 그대로 주연소가 일어나서 $1,500\text{ K}\sim 2,000\text{ K}$ 에 달하고 있고, 기연가스 영역에서의 화염형상은 버섯형이 되어 연소 속도가 저하된다. 따라서 $X=$

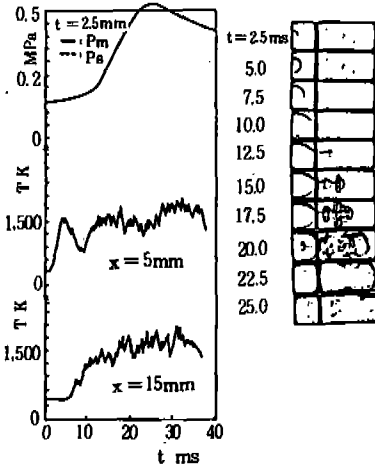


Fig. 8 Temperature Histories in a Sub-Chamber with Pressure and Schlieren Photographs ($d = 12.5$)

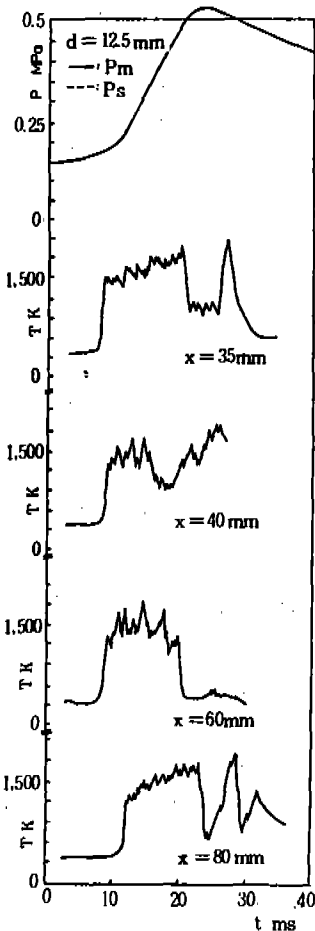


Fig. 9 Temperature Histories in a Main Chamber with Pressure ($d = 12.5$)

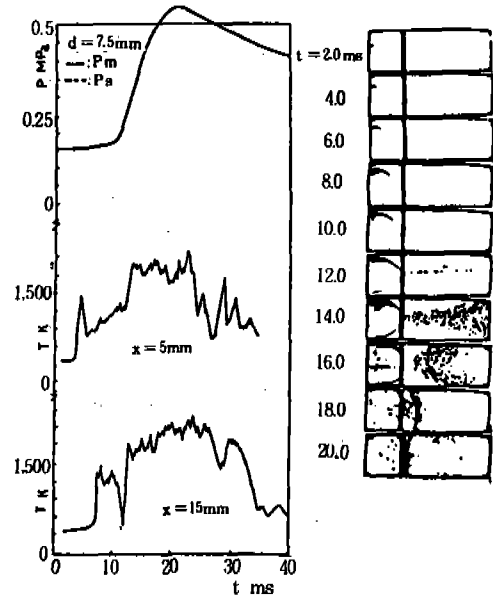


Fig. 10 Temperature History in a sub-Chamber with Pressure schlieren photograph ($d = 7.5$ mm)

60mm로부터 $X=80$ mm에 이를 때까지는 화염이 도달하는데 다소의 시간이 걸리고 있다. 또 부연소실의 연소가 끝날 무렵에 주연소가 격렬하게 일어나서 주연소실의 압력이 높아지기 때문에 부연소실로의 역류가 생긴다. 이때문에 주연소실의 미연가스가 와류를 일으켜서 역류하므로 그 미연가스가 측정역을 통과하므로써 온도가 내려가는 것으로 생각되지만 온도이력에서는 $X=40$ mm, $X=80$ mm에서는 현저히 나타나고 있으나 $X=60$ mm에서는 나타나지 않고 있다. 그리고 $X=35$ mm에서 $t=30$ ms 이후에서 온도가 급격히 상승한 것은 측정공간에서 미립자가 측정공간을 통과하므로 그 산란이 꽤 편광성분을 갖고 있는 것으로 보여지고 있다. 따라서 PM1과 PM2의 차에서는 Noise분이 제거되지 않은 것으로 생각된다.

Fig. 10은 $d=7.5$ mm의 지압선도, 부연소실내의 온도이력, Schlieren 사진을 나타내었다. $d=12.5$ mm의 경우와 다른 것은 온도와 압력의 상승이 급하고 또 $X=5$ mm, $X=15$ mm도

두 온도가 상승하고 있던 도중에 갑자기 한번 온도가 내려갔다가 다시 상승하고 있다. 이는 화염이 Orifice에 접촉하여 냉각되어 화염온도가 내려가는 것으로 생각되며 Schlieren 사

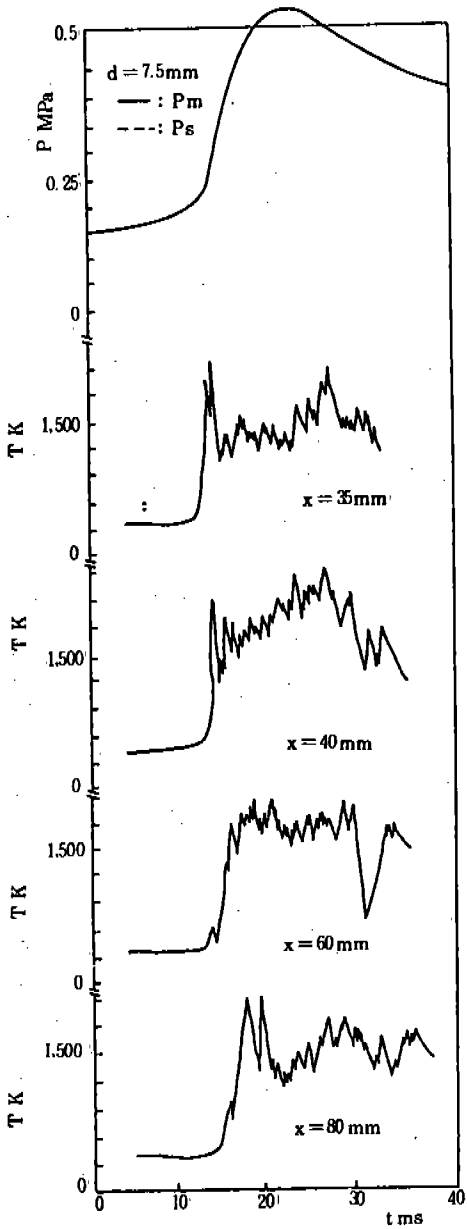


Fig. 11 Temperature Histories in a Main Chamber with Pressure History (d=7.5 mm, with Major Combustion)

진에서도 나타나고 있다. Fig.11는 $d=7.5\text{mm}$ 의 주연소실내에 있어서 온도이력을 나타낸 것이다. 압력상승 도중에 모든 위치에서 한번 온도가 내려감을 나타내고 있다. 이는 역류하는 혼합기에 미연가스가 포함되어 있기 때문인 것으로 생각되고 Schlieren 사진으로도 확인할 수 있었다. 주연소실쪽의 $X=40\text{mm}$ 에서는 다른 측정장소 보다 온도가 높고 특히 $t=28\text{ms}$ 부근에서는 3000K 넘고 있는 것은 Mie산란이라든가 연소미립자가 포함되어 있기 때문인 것으로 생각된다. Rayleigh Pyrometer는 배경광이 있을 경우 측정 정도가 떨어지기 때문에 여러번 실험에 의하여 확인할 필요가 있다. Fig. 12는 주연소가 일어나는 $d=3.2\text{mm}$ 의 지압선도, 부연소실내의 온도이력, Schlieren 사진을, 그리고 Fig.13은 지압선도, 주연소실내의 온도이력을 나타낸 것이다.

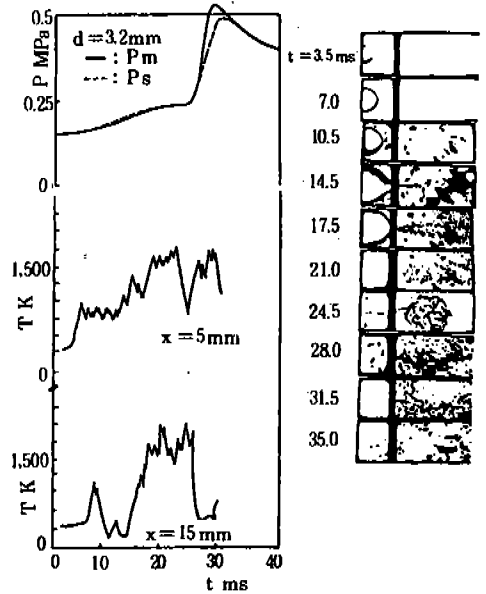


Fig. 12 Temperature History in a Sub-chamber with Pressure and Schlieren Photograph (d=3.2 mm with Major Combustion)

$X=15\text{mm}$ 에서는 $t=9\text{ms}$ 부터 온도가 내려간다. 이는 Baffle plate에 의한 냉각 때문에 온도가 내려가서 화염이 Baffle plate에 접촉하는 경우 최대로 하강한다. 이는 Schlieren 사진에서도 잘 나타나고 있다. Baffle plate에 접

한 후 화염의 온도는 급격히 상승하여 단일화염온도를 나타내고 있으며, 만족할만한 결과를 나타내었다.

보통 주연소실로부터의 역류는 주연소실의 압력이 부연소실의 압력보다 높을 때 생기기

시작하지만 Schlieren 사진에서 보면 $t=24\text{ms}$ 부근에서 역류가 일어난다. 지압선도상에서는 $t=20\text{ms}$ 부근에서부터 $t=28\text{ms}$ 부근까지 주연소실과 부연소실내의 압력이 동일하게 나타나고 있지만 실제로는 몇 번의 역류가 일어나고 있다. 이는 고속촬영에 의하여 확인할 수 있다. Fig.13은 주연소실에서는 $X=40\text{mm}$ 에서 분출직후의 화염은 냉각되어 있으므로 매우 낮은 온도를 나타내고 있다. 그러나 $X=35\text{mm}$ 에서는 앞에서 설명한 바와 같이 이때의 분출 화염은 Orifice에 접하지 않는 화염이므로 온도가 높지만 시간이 지남에 따라 이 화염이 성장되어 Orifice에 접하므로 냉각되어 분출되므로 온도가 낮게 되는 것으로 나타나고 있다. 이때부터 $d=3.2\text{mm}$ 의 착화는 압력평형상태에 가깝게 되고 또 냉각된 화염이 분출되어 온도가 낮아짐으로 인하여 그 후가열착화된 Gas로 전파되든가 되지 않는가의 상태를 잠시 유지한 후 다시 한번 급격한 연소가 일어나는 것으로 생각된다. 그리고 가열착화된 가스가 주연소실내에 전파가 가능한가 어떤가의 화염은 $X=10\text{mm}\sim 30\text{mm}$ 부근에서의 연소실분위기에 의하여 결정된다고 생각된다. Fig.14는 주연소실내에서 착화가 일어나지 않는 경우의 $d=3.2\text{mm}$ 의 지압선도와 Orifice 전후의 온도를 나타내었다. 부연소실내의 온도는 역시 측정하기 어렵고, $t=5\text{ms}$ 부근에서 온도가 상승해서 일정온도를 유지한 후 방해성분의 영향으로 인하여 측정이 불가능하게 되어 있다. 그리고 그대로 압력평형상태에 이르고 있지만 $t=28\text{ms}$ 부근부터 온도는 주기적으로 변동하고 있다. 이는 부연소실내로 주연소실의 냉각된 미연가스의 역류가 생겨서 그것이 부연소실에서 어떤 지연기간을 지나 연소하고, 이에 따라 압력상승이 일어나서 다시 주실로의 분출하는 현상이 반복된다고 생각된다. 그러나 주연소실로의 반복 분출되는 기연가스는 온도가 높기 때문에 주연소실내의 온도가 상승될 것으로 예상되지만 $X=40\text{mm}$ 에서는 나타나지 않았다. 이때의 역류된 기연가스의 분류는 상당히 약화고 또 미연가스에 비해 밀도가 적고,

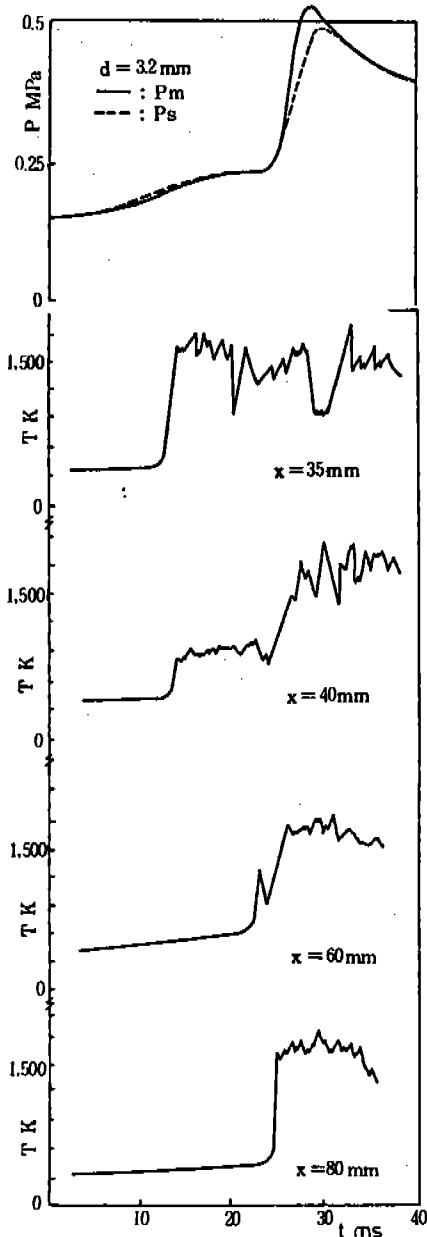


Fig. 13 Temperature Histories in a Main Chamber with Pressure History ($d=3.2\text{mm}$ with Major Combustion)

점성이 크기 때문에 주연소실내 유동하기 쉬운 방향으로 꾸부러져 가든가 또는 부연소실에서 분출되는 기연가스는 Orifice를 통과할 때 냉각을 받아 온도가 낮아져서 주연소실의 미연가스를 착화시킬 수 없는 상태로 되어져 간다. 이러한 복합적인 이유로 인하여 온도상승이 관찰되지 않는 것으로 생각된다.

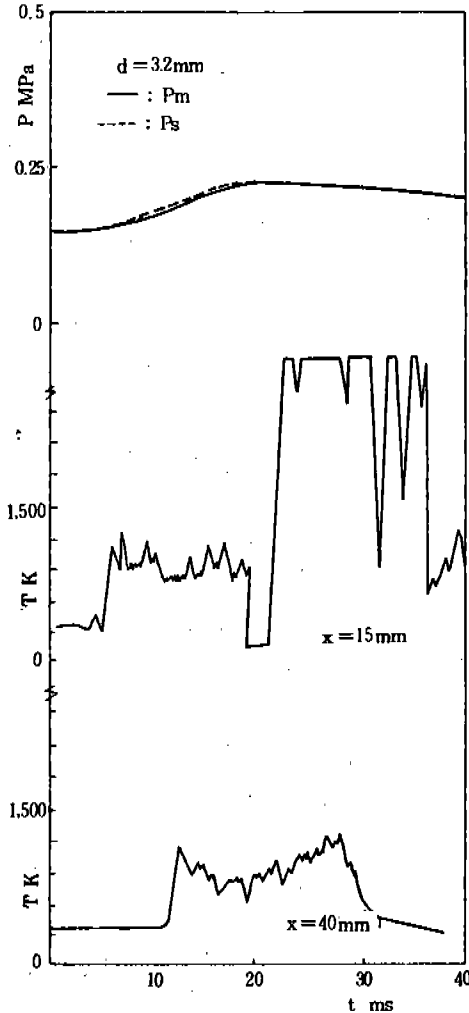


Fig. 14 Tempere and Pressure Histories
($d=3.2$ mm, without Major Combustion)

5. 결 론

Laser Rayleigh Pyrometer에 의해 정적연

소기내에서 분출화염의 온도 및 화학발광을 측정할 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 부연소실을 갖는 정적 연소실내에서 분출화염의 Spectrum의 측정은 CC, CH band 근방에서 정상 burner 화염의 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 따라서 화염이 baffle plate의 Orifice를 통과할 때 급냉각에 의하여 정상 burner 화염과 다른 중간 생성물이 나타나고 있지 않다는 것을 알았다.

2) 주·부연소실내의 배경광은 pin hole, coating glass 등에 의하여 감소시킴으로써 정적연소기내에 분류화염의 온도를 측정하였다. 그리고 측정영역에서의 온도변화는 Schlieren 사진에서 나타난 화염전파 시각과 거의 일치하고 있음을 알았다.

3) 점화 Plug 전극의 방전시에 용융비산, 혹은 입자에 의한 Mie 산란의 영향등은 Laser의 편광성분을 상당히 보존하고 있기 때문에 Beam Splitter 방법으로서는 완전히 제거할 수 없었다.

4) $d=3.2$ mm의 Orifice 전후($\phi=0.8$)의 온도에 의해 주연소실내의 착화 및 소멸을 좌우한다고 생각되지만 현재로서는 측정정도의 문제도 있고해서 이후 더 연구와 검토가 기대된다.

참 고 문 헌

1. J. C. Leyer : Interaction Between Combustion and Gas Motion in the Gase of Flames Propagating in tubes. ASTRONAUTICS ACTA, Vol.14, pp.445~451, 1969.
2. Shigeki Yamaguchi, Morio Ohiwa: Ignition and Burning Process in a Divided Chamber Bomb. Combustion and Flame 59, pp.177~187, 1985.
3. S. Shimizu, K. Wakai: Combustion Process and the State of Gases in Divided Chamber: Proceeding of the 2nd International Pacific Conference on Automotive Engineering. Tokyo Japan, pp.57~67.

- 1983.11.
4. R. Gunther: Turblence Properties of Flames and their Measurment. Prog. Energy Combubustion. Vol.9, pp.105~154. 1983.
 5. 全田昌信: 燃焼場の流動計に寄餘するレーザ流動計, 日本燃焼研究會研究報告, Vol.74, pp.1~11, 1987.4.
 6. 飯田訓正, 川口修: 狭い流路を通過する豫混合火炎の實驗的研究, 日本機械學會論文集, 第50卷449號, pp.132~142, 1984.1.
 7. M. C. Escoda and M. B. Long: Rayleigh Scattering Measurment of the Gas Concentration Field in Turbulent Jets. AIAA Journal, Vol.21, No.1, pp.81~84. 1983.
 8. M. Lapp: Flame Temperature from Vibration Raman Scattering. General Electric Corporate Research and Development, SCHENECTADY, NEW YORK 12301, pp. 107~137.
 9. 膝井昭一, 五味光男: CARSによる溫度測定データ處理, 第18回日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp.109~111, 1981.6.
 10. 宮脇浩司, 山口馨起: レーザ勵起螢光法を用いた噴流中の物質濃度測定, 第25回燃焼シンポジウム前刷集, pp.190~192, 1987.11.
 11. 氏家康成: レイリーラマン散亂法による球形容器内傳ば火炎の溫度測定, 第25回燃焼シンポジウム前刷集, pp.205~207, 1987.11.
 12. 吉川典彦外三名, ラマンおよびレーリー散亂による火炎溫度の測定, 日本航空宇宙學會誌, 第31卷, 第350號, pp.30~36. 1983.
 13. H. F. CALCOTE: ION Production and Recombination in Flames. 8th (Instert) Symposium on Combustion, pp. 184~199. 1961.
 14. A. G. Gaydon and Wolfhard: Mechanism of Formation of CH, C, OH and HCO Radicals in Flames. Tech. Phys. Vol.24, pp.211~218. 1943.