

# Wall Recess형 저공해 세라믹 연소기의 화염특성

## Flame Characteristics on Wall Recess Type Ceramic Combustor for Low Pollutants

진영남·채재우\*

조선대학교 공과대학 환경공학과

\*인하대학교 공과대학 기계공학과

(1995년 1월 27일 접수, 1996년 3월 30일 채택)

Young-Nam Chun, Jae-Ou Chae\*

*Department of Environmental Engineering, Chosun University*

*\*Department of Mechanical Engineering, Inha University*

(Received 27 January 1996; accepted 30 March 1996)

### Abstract

The development of ceramic combustor is being increased because of the excellent physical properties of ceramic material, that is, high-resistant strength, high emissivity power and high corrosion-resistance. Ceramic combustor has been interested in the application of ultra-lean combustion for low NO<sub>x</sub> emission and gaseous waste incineration with good combustion. This experimental study was conducted to investigate the combustion and emission characteristics of wall recess type ceramic combustor with equivalence ratio, mixture flow velocity and wall recess depth as parameters.

The results in this study are as follows:

1. Wall recess played a important role to extend flame stability region.
2. The peak temperature of gas was proportional to equivalence ratio, mixture flow velocity and wall recess depth.
3. The static pressure of mixing chamber and inlet temperature depended on the position of flame zone.
4. NO reduction was achieved by lean mixture without lower combustibility.

### 1. 서 론

세라믹 연소기는 낮은 열팽창율의 물리적 특성과 고체와 혼합가스(연료와 공기가 혼합된 가스로 이차 혼합기(mixture)라 칭함)간의 대류 및 복사열전달을 통한 예열효과로 인해 연소기로 유입되는 혼합기의 엔탈피의 증가를 초래하여 초과엔탈피연소(excess enthalpy combustion)가 가능하다. 이는 유기성 저칼로리 기상 폐기

물 소각시 보조연료 공급이 없이 연소가 가능하고, 희박연소(lean combustion)로 인한 화염의 온도 감소로 저 NO<sub>x</sub> 배출 및 고부하 연소에 응용될 수 있다.

세라믹 연소기는 다공성 고체로서 구조적인 측면에서 크게 미세한 세라믹관들(ceramic tubes)의 다발(bundle)형, 세라믹 plate에 다수의 직선 염공을 뚫은 다공판형, 해면상(spongy-like material)형 등으로 나눌 수 있으며 이러한 세라믹 연소기내에서 화염구조의 규명에 의한 연소특성 파악(吉野眞一 外, 1986a; 吉

野眞一 外, 1986b), 화염장에 미치는 복사장의 영향 (吉野眞一 外, 1986a; 花村克梧 外, 1986), 초과엔탈피 연소개념으로의 적용, 회박연소 및 화염안정화 영역의 확장 (Kotani, *et al.*, 1984; Kotani, *et al.*, 1982; Takeno, *et al.*, 1979) 등에 관한 연구들이 현재 활발히 진행되고 있다. 예혼합 화염의 안정과 보염 (flame holding)의 효과를 얻기 위한 일반적인 방법으로는 Pilot Flame을 사용하는 방법, 순환류를 형성시키는 방법, 역분류를 이용하는 방법 및 다공판, 촉매, 균일 적열면 등을 이용하는 방법 (水谷幸夫, 1977)이 있으며 고부하 연소와 회박연소에 이용되고 있다.

본 세라믹 연소기에 적용된 wall recess (小林清志 外, 1988)는 예혼합기의 유로 중에 급격한 확대영역을 두어 혼합기의 재순환에 의한 순환류 형성 및 Pilot Flame으로 화염을 안정화시킨다. 이러한 세라믹 연소기의 특성과 wall recess에 의한 보염의 가능성은 저열량으로 인해 보조연료 없이 소각이 어려운 저칼로리 가스폐기물의 소각 및 연료연소시 고온으로 인한 열적 NO<sub>x</sub> (thermal NO<sub>x</sub>)의 생성저감을 위한 초회박연소 (ultra-lean combustion)의 적용이 기대된다.

따라서 본 연구에서는 wall recess형 세라믹 연소기에서 저칼로리 가스폐기물의 소각 및 연료의 초회박연소의 적용을 위해 당량비 (equivalence ratio), 혼합기유속 (mixture flow velocity), wall recess 깊이 등의 변수에 대해 실험하여, 연소기내에서의 화염구조 및 안정성, 연소가스 배출특성 등에 미치는 영향을 파악하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 연소장치 개략도

본 연구에 사용된 연소장치의 개략도가 그림 1에 나타나 있다. 확대관을 지나면서 예혼합된 연료인 상용 프로판과 공기의 혼합기는 격자형 세라믹 (honeycomb)과 stainless steel mesh를 차례로 거쳐 연소기에 균일하게 공급되고 연소기에서 연소반응을 일으킨 후 배기가스로 되어 대기 중으로 방출된다. 격자형 세라믹은 직경 76 mm의 원통형이고 6.45 평방 센티미터당 400개의 정방형 격자로 이루어져 있으며 전체 단면적에 대한 유로 단면적의 비는 0.75이다. Stainless steel mesh는 100 Mesh이며 연소기 상류로의 복사 열유속에 의한 역화를 방지한다. 혼합실 II 주위는 stainless steel 재의 이중관으로 하여 냉각수를 유동시키고 냉각수의 출구

와 입구온도의 차를 일정하게 유지함으로써 혼합기의 초기 온도조건을 일정하게 함과 동시에 미연혼합기의 온도 상승에 의한 역화를 방지하였다. 한편 연소기인 wall recess형 세라믹 플레이트를 외경 75 mm의 Pyrex 관 속에 지지되도록 하여 연소반응의 관찰을 용이하게 하였고 연소기와 Pyrex 사이에는 단열재인 유리섬유 (glass-wool)로 채워 혼합기의 유출을 방지하였다. Pyrex관에는 두 개의 압력과 온도 측정용 port를 두어 연소기 상류 혼합실 III 내의 정압과 연소기로 유입되는 혼합기의 온도를 측정하도록 하였다.

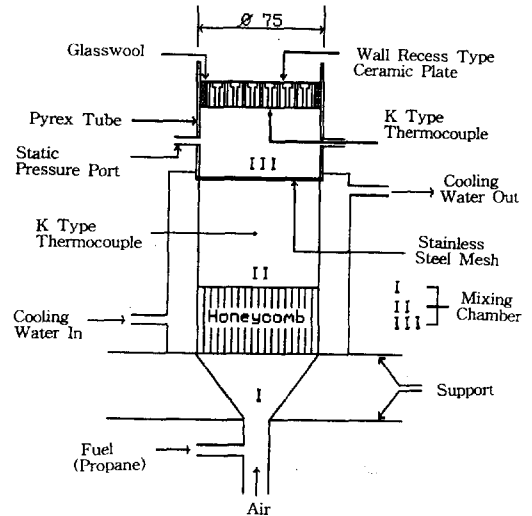
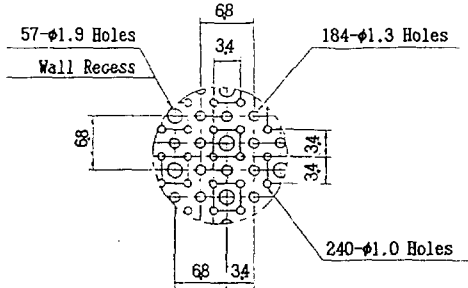


Fig. 1. Schematic of diagram of combustor.

#### 2.1.2 연소기

본 연구에서 사용된 연소기에 대한 구체적인 설계도가 그림 2에 나타나있다. 연소기의 형태는 직경 60 mm, 두께 (t) 13 mm의 원형 플레이트로 직경의 길이를 작게 하면서 화염이 안정화되도록 하였다. 그 배열구조는 직경 1.9 mm인 주염공 주변 사각모서리에 직경 1.0 mm의 보조염공이 위치하여 작은 화염을 형성, 주염공의 화염을 안정화시키도록 되어 있고, 이러한 1개의 주염공과 4개의 보조염공의 화염보다 길이가 작은 화염이 형성되어 연소반응을 증대시킨다. 한편 주염공의 하류부에 급격한 유로면적 확대에 의한 wall recess 영역을 두어 혼합기의 재순환을 일으키고 화염이 안정화되는 결과로 혼합기의 고유속 한계를 증가시킨다. Wall recess 영역은 폭 3.4 mm 정사각형 형태로 본 연구에서는 wall recess 깊이 (h) 0, 2, 4 mm의 각각의 플레이트



Part (a)

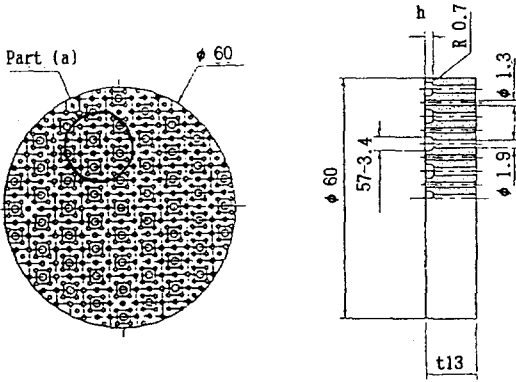


Fig. 2. Detail diagram of wall recess type ceramic plate.

에 대해서 연구를 수행하였다.

2.2 실험방법

연료의 유량은 공기용 면적식 유량계 (KOFLOC No.9, Air 50~500 mL/min, TIC NP-G22, Air 0.2~2 L/min)를 사용하였으며 프로판 ( $\rho_{C_3H_8}=2.019 \text{ kg/Nm}^3$ )과 공기 ( $\rho_a=1.2928 \text{ kg/Nm}^3$ )간의 밀도차는 bubble meter로 보정하였다.

공기의 유량도 면적식 유량계 (RMA No.23, Air 5~50 L/min)를 사용하였으며 저유량에서는 bubble meter를 써고 유량에서는 pitot tube와 미세차압기를 이용한 유속 측정으로부터 유량을 보정하였다.

혼합실 III 내 (그림 1참조) 정압은 미세차압기 (Micromanometer MDC FCO 01, Furness Controls Limited, Series No. FM. 3227, 0~100 mmH<sub>2</sub>O, Division 1/100)를 사용하여 측정하였다.

온도측정은 R type 열전대 (Pt-Pt/13% Rh, 직경 0.25 mm)로 연소기내의 기체온도 및 연소기 표면온도

측정에 사용하였다. 열전대의 이송은 독취현미경 Pika Seiko LTD, Division 0.1 mm)에 장착하여 행하였다.

배기가스는 석영관으로 제작한 배기가스 채취기에 의해 채취되고 섭씨 0°C로 유지된 water trap을 거치면서 배기가스 중에 포함된 수분이 응축되며 soot filter에서 불순물 및 매연성분이 제거된 후 가스 크로마토그래프 (Shimadzu, GC-7A) 및 NO Analyzer (Columbia Scientific Industries Corp., Model NA 510-2, 0~2000 ppm, Sensitivity 0.1 ppm)에서 성분이 분석된다 (민대기, 1989). 배기가스 농도의 측정값은 채취된 가스에서 수분이 제거된 건농도이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 화염안정도 곡선

그림 3은 세라믹 플레이트 두께 13 mm, wall recess 깊이 2 mm인 연소기의 화염안정도 곡선을 나타낸 것이다. 본 연소기의 구조는 기하학적 특성상 크게 Straight Zone (I)과 Wall Recess Zone (II)의 두 영역으로 나누었다. 세라믹 연소기의 연소 특성을 감안하여 두 영역에서 연소기가 적열 (red heating)되면서 화염을 형성하는 연소반응을 안정된 것으로 보았다. 취염 (blowout)영역은 세라믹 연소기 하류 표면으로부터 상승하여 화염이 형성되어 연소기의 적열없이 연소되는 영역으로 정의하고 불안정 화염영역은 연소소음과 화염의 불어 날림이 심하여 온도 및 농도의 정확한 측정이 어려운 영역으로 정의 하였다. 한편 세라믹 연소기의 일반적인 연소범위가 당량비 0.7에서 0.8이고 본 연소기의 내열도가 1250°C인 것을 고려하여 실험의 고당량비 한계를 0.80로 하였다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 저당량비 한계는 혼합기유속 36 cm/s에서 0.62이고 고유속한계는 당량비 0.80에서 135 cm/s로 이 영역내에서는 적열 연소하며 혼합기유속 30 cm/s 부근의 저유속에서는 대부분 Straight Zone에서 화염이 안정되고 있다. 안정된 화염 I에서 당량비 0.75 이상에서는 화염이 상류로 이동하려는 경향과 연소기 주위로의 열손실에 기인해서 1차원적인 연소기 내의 화염구조가 붕괴되고 연소기 중심부에 어두운 적열부분이 보인다.

3.2 연소기내의 화염구조

그림 4는 세라믹 플레이트 두께 13 mm, wall rec-

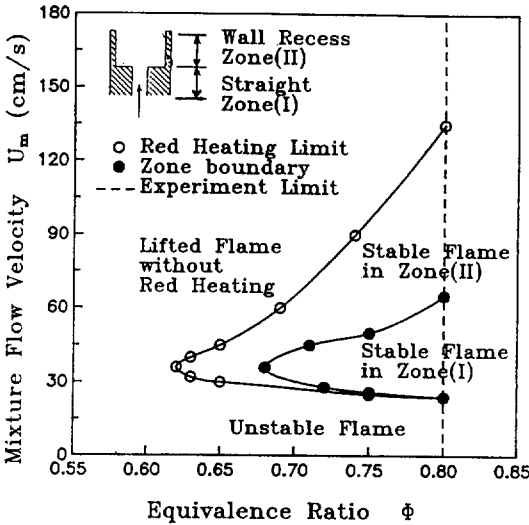


Fig. 3. Flame stability diagram in ceramic plate. ( $t=10$  mm,  $h=2$  mm)

ess 깊이 2 mm의 연소기에 대해서 당량비 0.75, 혼합기 유속 36, 50 cm/s인 경우 혼합기 유동방향에 따른 연소기내의 전형적인 기체온도 분포를 나타낸다. 유속이 36 cm/s인 경우 Straight Zone에서 유속 50 cm/s인 경우는 Wall Recess Zone에서 화염대가 형성되며,

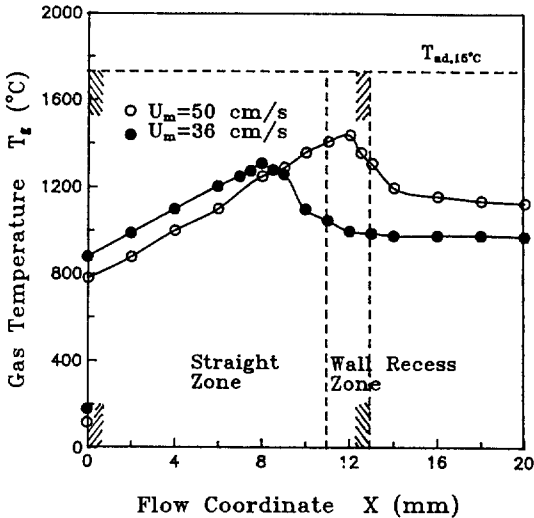


Fig. 4. Gas temperature distribution along flow coordinate in ceramic plate at mixture flow velocity  $U_m=36, 50$  cm/s. ( $t=13$  mm,  $h=2$  mm,  $\phi=0.75$ )

Straight Zone에서는 유속 36 cm/s의 기체온도가 50 cm/s의 경우보다 높고, 화염대를 지나면서 온도가 하락하여 연소기 출구에서는 유속 50 cm/s의 온도가 전체적으로 유속 36 cm/s에 비해 높다. 그림 4에서 연소기 입구 ( $X=0$  mm)의 200°C 내외로 측정된 온도는 연소기 상류에서 미연혼합기의 온도를 측정하기 위해 설치된 K type 열전대로부터 측정된 온도이다.

### 3.3 실험변수에 따른 제특성 비교

본 연구에서는 wall recess형 연소기내에서 연소 및 배출특성의 파악을 목적으로 당량비 ( $\phi$ )와 혼합기유속 ( $U_m$ ) 및 wall recess 깊이 ( $h$ )를 실험변수로 정의하고 이들 변수들이 다음의 여러 특성들에 미치는 영향 등을 파악하였다.

#### 3.3.1 화염안정성

그림 5는 wall recess 깊이가 0, 2, 4 mm인 연소기의 화염안정화 곡선을 나타낸다. 유속 36 cm/s에서  $h=0$  mm인 경우 저당량비한계는 0.7이고  $h=4$  mm인 경우의 저당량비 한계는 0.58로 wall recess에 의한 화염안정화 영역의 확장이 뚜렷하다. 고유속한계는 당량비 0.8에 대해서  $h=0$  mm인 경우 65 cm/s이고  $h=4$  mm인 경우에선 175 cm/s로 화염안정화 영역의 상당한 확장을 보이고 있다. 한편  $h=0$  mm에서  $h=2$  mm의 확장 폭이  $h=2$  mm에서  $h=4$  mm로의 확장 폭보다 훨씬 큰 것을 볼 수 있다.

이는 wall recess가 없는 경우에서 wall recess의 깊이가  $h=2$  mm로 재순환이 형성되면 재순환 영역과 화염면 사이에 열 및 반응기 (Radical)의 교환으로 반응성이 증가하여 혼합기의 유속이 증가하여도 blow-off 되지 않고 화염이 안정화 된다. 하지만 wall recess의 깊이를  $h=2$  mm에서  $h=4$  mm로 증가시키면 고유속 한계가 다소 증가하는데, 이는 wall recess 깊이가 증가하지만  $h=0$  mm에서  $h=2$  mm로 재순환 영역을 향상시킨 경우보다 단순히 재순환 영역의 상부 높이가 약간 증가하여 고유속한계의 안정화영역이 다소 증가하는 것으로 그 효과는 크지 않다. 본 연구에서의 보염은 파이롯트 화염에 의해 주염 (main flame)으로의 열을 전달하여 주염구 (main flame hole)의 빠른 유속으로 인한 취염방지와 wall recess영역의 재순환류의 열과 반응기를 주염구를 통해 나오는 혼합기에 전달하여 화염안정화 영역을 확장시켰다 (그림 2 참조).

결과적으로 화염을 넓은 운전범위에서 안정화 시키기 위해서는 본 연구와 같이 지속적으로 외부에서 엔탈피를

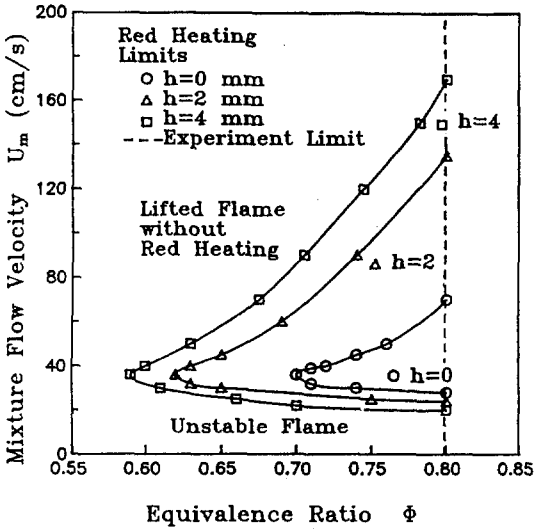


Fig. 5. Flame stability diagram in ceramic plates with different wall recess depths ( $t=3$  mm).

공급하여 화염대에서의 반응성을 높여 연소속도의 증가를 유도할 수 있는 연소기의 구조의 구성이 고려되어야 한다.

3.3.2 연소기내 유동 방향 기체온도 분포

그림 6과 그림 7은  $h=2$  mm인 연소기에 대해서 각각 혼합기유속 36 cm/sec 및 50 cm/s에서의 연소기내 유동방향에 따른 기체온도 분포를 당량비를 매개변수로 하여 나타낸 것이다. 화염대의 최고온도와 연소기내의 온도는 당량비의 증가에 따라 두 유속에서 모두 증가하고 화염대의 위치는 상류로 이동한다.

그러나 유속 36 cm/s에서는 화염대가 전체적으로 연소기내에 위치하고 이 결과로 당량비 증가에 따른 연소가스의 온도 증가가 연소기 자체로의 열전달에 의해 둔화되어 연소기 하류에서의 온도는 당량비의 증가에 따라 다소 감소하거나 거의 유사한 분포를 보인다. 유속 50 cm/s에서는 당량비 변화에도 불구하고 화염대가 모두 wall recess 영역에 위치하고 연소기 하류에서의 온도는 당량비 증가에 비해한다.

그림 8은  $h=2$  mm, 당량비 0.75인 조건에서 혼합기유속이 연소기내 유동방향에 따른 기체온도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 유속이 30 cm/s인 경우는 화염대가 wall recess 영역에 위치하고, 36 cm/s로 증가시키면 연소기내의 온도는 상승하고 화염대는 상류로 이동하여 연소기내 ( $X=8$  mm)에 위치한다. 더욱 유속을 증가시켜 40 cm/s가 되면 화염대는 다소 하류로 이동하

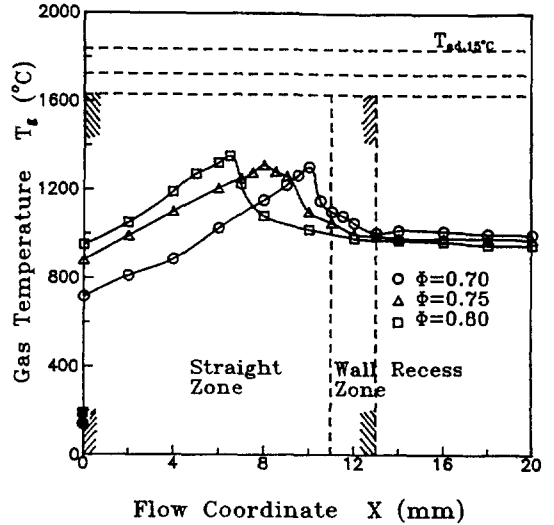


Fig. 6. Gas temperature distributions along flow coordinate in ceramic plate with variation of equivalence ratio  $U_m=36$  cm/s. ( $t=13$  mm,  $h=2$  mm,  $U_m=36$  cm/s)

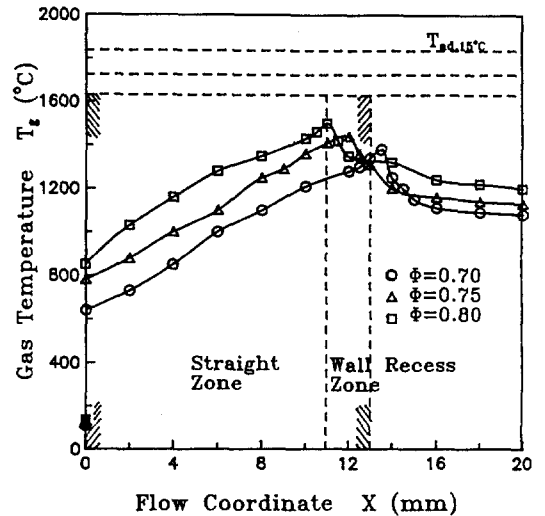


Fig. 7. Gas temperature distributions along flow coordinate in ceramic plate with variation of equivalence ratio  $U_m=50$  cm/s. ( $t=13$  mm,  $h=2$  mm,  $U_m=50$  cm/s)

여 연소기내 온도가 감소하지만 여전히 연소기내에 위치한다. 유속 50 cm/s에서는 화염대가 wall recess 영역에 위치하고 연소기내의 온도도 유속 40 cm/s에 비

해 다소 감소한다.

그림 9는 당량비를 0.75, 혼합기유속을 50 cm/s로 고정시키고 wall recess 깊이의 변화에 따라 연소기내 기체온도는 증가한다. 그러나 연소기 하류에서의 온도는

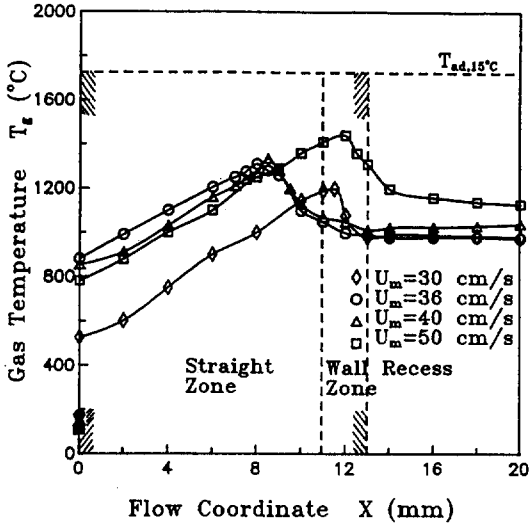


Fig. 8. Gas temperature distributions along flow coordinate in ceramic plate with variation of mixture flow velocity ( $t=13$  mm,  $h=2$  mm,  $\phi=0.75$ ).

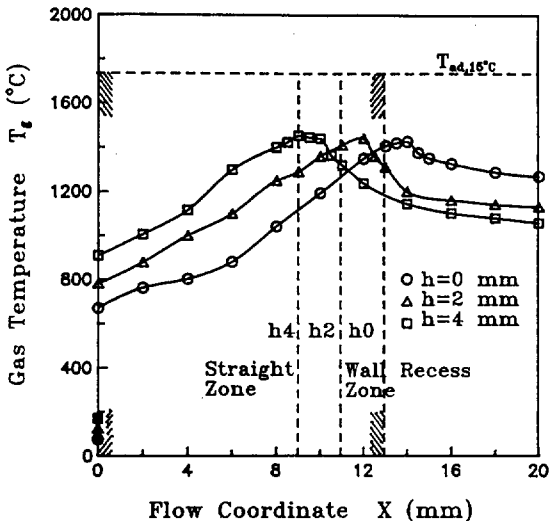


Fig. 9. Gas temperature distributions along flow coordinate in ceramic plate with variation of wall recess depth ( $t=13$  mm,  $\phi=0.75$ ,  $U_m=50$  cm/s).

$h$ 가 증가되면 전열면적의 확대에 의해 연소기 자체로의 열전달량이 증가하므로  $h$ 의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타낸다.

$X=0$ 에서 저온부의 또 다른 온도는 연소기 상류에서 K Type 열전대로 측정된 것으로 상향 및 하향 측정오차, 열전대 종류에 따른 오차 문제를 야기시킬 수 있으나 정성적인 경향은 동일하였다.

### 3. 3. 3 화염대 위치

그림 10은 혼합기 유속의 변화에 따른 화염대의 위치 변화를 당량비를 매개변수로 하여 나타낸 것으로 화염의 Tip 온도를 측정하여 각 당량비 및 혼합기유속 조건들에서 화염대 위치들을 구하였다. 모든 당량비에 대해서 혼합기 유속 36 cm/s 이하에서는 유속의 증가와 더불어 화염대는 연소기 상류로 이동하지만, 유속 36 cm/s 이상에서는 유속이 증가함에 따라 화염대는 연소기 하류로 이동한다. 이러한 결과에서 본 연소기에서는 혼합기유속 36 cm/s가 하나의 변곡점이 된다는 것을 파악할 수 있다.

혼합기유속이 변곡점 이상으로 증가함에 따라 화염이 하류로 이동하는 것은, 유량의 증가에 따른 연소가스의 대류열전달에 의한 열손실이 증가된다. 따라서 미연혼합기의 열재순환량이 감소로 인한 엔탈피가 감소되어 연소속도가 저하되므로 상대적으로 미연혼합기의 속도가 빠르기 때문이다.

반면 변곡점 이하로 속도를 감소함에 따라 화염이 하류로 이동하는 것은, 혼합기 유량이 감소함에 따라 연소 배기가스에 의한 손실보다는 상대적으로 연소기 벽면으로의 손실이 크기 때문이다. 따라서 화염으로부터 발생되는 연소열이 혼합기 유속이 감소함에 따라 벽면으로 열손실이 상대적으로 증가하여 연소속도가 감소하기 때문이다. 따라서 연소기로부터 반경방향의 열손실이 없는 경우는 최소 유량범위가 존재하지 않는다(민대기, 1989).

한편 당량비가 증가할수록 비교적 넓은 폭의 혼합기 유속에 대해서 화염대가 연소기 내에 위치하여 유속 36 cm/s의 경우에는 최고 6.5 mm까지 화염대가 연소기 상류로 이동하고, 취입한계에서의 화염대 위치도 증가한다. 이는 당량비 증가에 따라 발열량의 증가로 인한 열발생량의 증가로 연소속도가 빨라져 전체적으로 화염면이 미연혼합기 유입구측(상류)으로 이동한다.

### 3. 3. 4 연소기 입구 기체온도와 혼합실내 정압

연소기 입구온도와 혼합실내 정압은 실험의 재현성 및 화염대의 위치변화 등을 간접적으로 파악할 수 있는 유

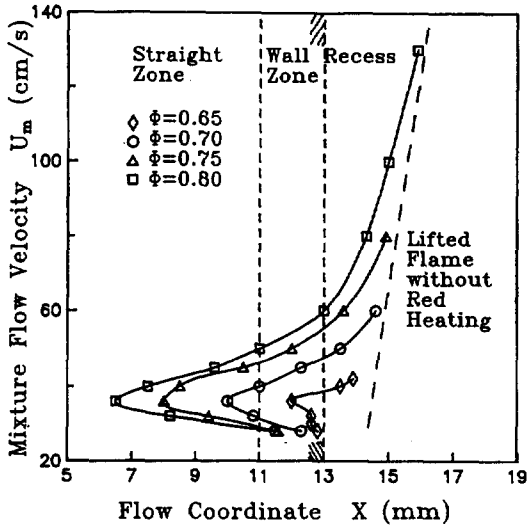


Fig. 10. Flame tip positions along mixture flow velocity with variation of equivalence ratio in ceramic plate ( $t=13$  mm,  $h=2$  mm).

용한 값이다. 그림 11은  $h=2$  mm에서 혼합기유속의 변화에 따른 연소기 입구에서의 기체온도와 연소기 상류와 stainless steel mesh간의 혼합실내 정압을 당량비를 매개변수로 하여 나타낸 것이다. 연소기 입구온도와 혼합실내 정압 모두 당량비가 증가함에 따라 전체적인 절대값이 증가하는 데 이는 당량비가 증가하면 화염대가 상류로 이동하는 것에서 기인하며 혼합기유속 36 cm/s에서 변곡점을 보인다.

연소기 입구에서의 기체온도는 유속이 30 cm/s에서 36 cm/s로 증가하면 증가하고 36 cm/s 이상에서는 유속의 증가에 따라 감소하는 경향을 보이는데 화염대의 위치가 유속 36 cm/s에서 최상류에 위치함을 알 수 있다. 혼합실내 정압은 유속 36 cm/s와 50 cm/s에서 변곡점을 보이는데 여기서 유속 36 cm/s에서 화염대가 연소기내에서 최상류에 위치하고 유속 50 cm/s 이상에서는 화염대의 영향보다 혼합기량의 증가에 기인함을 간접적으로 파악할 수 있다.

이러한 경향들로부터 화염대가 연소기내에서 최상류에 위치하는 조건은 당량비 0.80에서 유속 36 cm/s이라는 것을 알 수 있다.

### 3.3.5 배출특성

그림 12와 그림 13은 각각 NO 및  $O_2$ 와 CO 및  $CO_2$ 의 혼합기유속과 당량비에 따른 농도이다.

본 연구에서 생성되는 NO는 대부분 고온에서 생성되

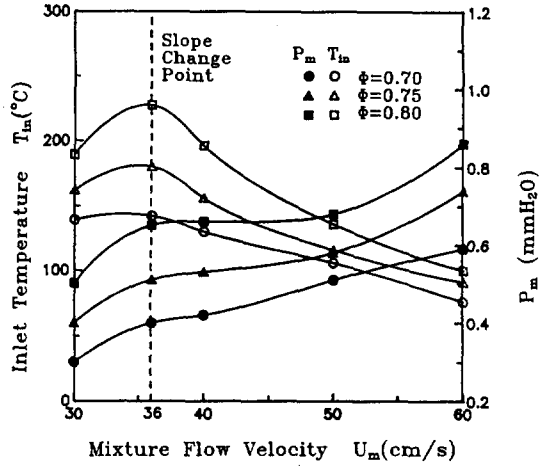


Fig. 11. Inlet temperature in ceramic plate and static pressure of mixing chamber. ( $t=13$  mm,  $h=2$  mm)

는 열적 NO이고 탄화수소 연소시 생성되는 prompt NO도 일부 포함된다 (Fenimore, 1971).

NO 농도는 혼합기 유속과 당량비의 감소와 더불어 감소하는데 유속 36 cm/s와 40 cm/s 사이에서 변곡점을 보이며 전 조건에서 8 ppm 이내이다. 당량비 감소는 공기과잉의 희박 혼합기로서 과잉공기의 열용량 증가로 인한 배가스 손실로 연소가스온도가 감소되어 NO가

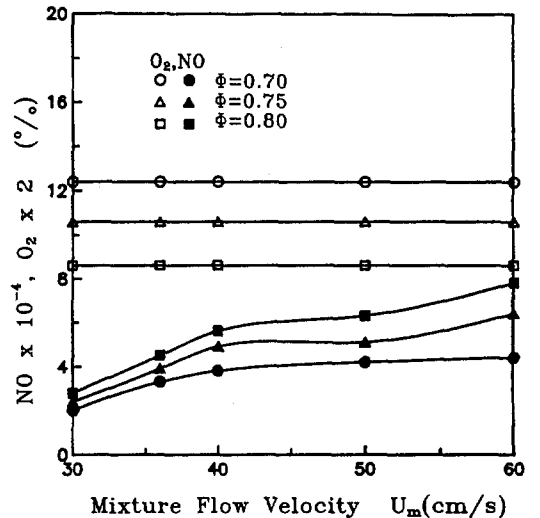


Fig. 12. NO,  $O_2$  concentration along mixture flow velocity with variation of equivalence ratio at  $X_c=3$  mm,  $R=0$  mm ( $t=13$  mm,  $h=2$  mm).

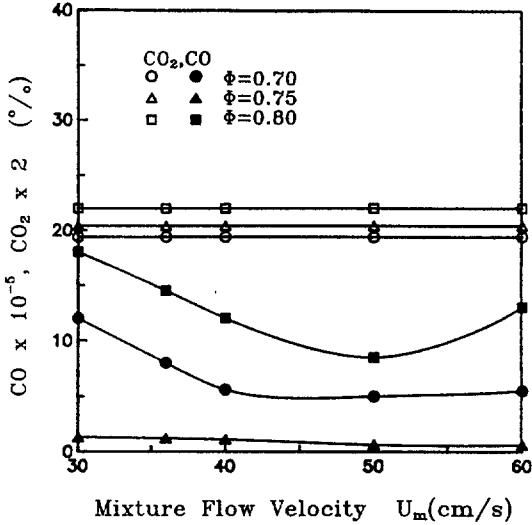


Fig. 13. CO, CO<sub>2</sub> concentration along mixture flow velocity with variation of equivalence ratio at  $X_0=3$  mm,  $R=0$  mm ( $t=13$  mm,  $h=2$  mm).

감소된다. 혼합기 유속의 감소는 혼합의 저하를 가져와 연소성이 감소되고 이로 인해 연소온도가 감소되어 NO가 감소된다.

CO 농도는 당량비가 0.70에서 0.75로 증가되면 감소하고 0.75에서 0.80으로 증가되면 증가하여 당량비 0.75가 20 ppm 정도의 최저수치를 나타내는 변곡점이다. 혼합기유속에 대해서 50 cm/s까지는 유속이 증가하면 CO 농도는 감소하지만 그 이상의 유속에서는 다소 증가되는 경향이 보인다.

그림 14는 당량비 0.75, 혼합기유속 50 cm/s에서 NO, CO 농도 및 연소기 입구에서의 기체온도에 미치는 Wall Recess 깊이 ( $h$ )의 영향을 나타낸 것으로 연소기 하류부 표면에서 3 mm 하류에서 측정된 결과이다.  $h$ 의 증가에 따라 NO 농도와 연소기 입구의 기체온도는 증가하고 CO 농도는 감소하는 데 이것은  $h$ 를 0, 2, 4 mm로 증가시키면 보열효과의 증대로 화염안정화를 이루어 연소성을 향상시키므로 화염대가 상류로 이동함에 따라 연소기 입구 기체온도는 증가하게 되고 온도에 의존하는 NO 농도도 증가하며 불완전연소시 발생하는 CO의 농도는 감소하게 되는 것이다.

#### 4. 결 론

1. 연소기내 혼합기체 peak 온도는 당량비와 wall

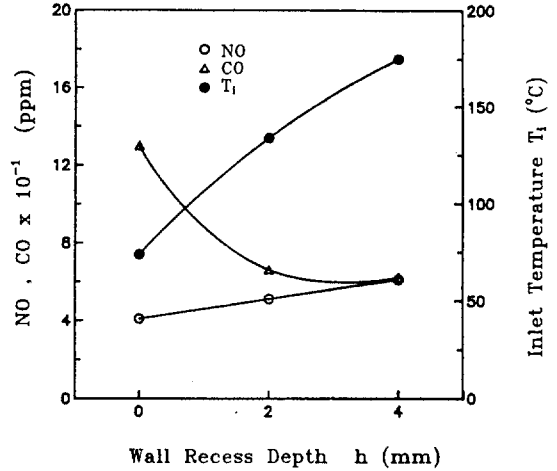


Fig. 14. NO, CO concentration at  $X_0=3$  mm,  $R=0$  mm and inlet temperatures with variation of wall recess depth ( $\phi=0.75$ ,  $U_m=50$  cm/s).

recess 깊이가 증가함에 따라 상승한다.

2. 혼합기 유속의 증가와 더불어 기체 및 peak 온도 모두 상승하지만, 일정 유속 이상이 되면 기체온도는 하강하고 peak 온도는 상승하는 변곡점이 존재한다.
3. 연소기 입구온도와 혼합실 내의 정압은 화염대의 위치에 크게 의존한다.
4. 당량비의 감소와 함께 NO 농도가 감소하였다.
5. 본 연구결과 wall recess형 세라믹 연소기는 희박 가연한계 범위의 확장이 가능하다.

따라서 연료의 저공해 초희박 연소와 저칼로기 가스폐기물의 완전소각에 유용하게 적용될 수 있다.

#### 참 고 문 헌

민대기 (1989) 격자형 세라믹 내에서의 종류 예혼합 연소, 한국과학기술원 박사학위논문.  
 吉野眞一, 吉澤善男, 越後亮三 (1986a) 多孔性固體中における火炎構造實驗的研究, 東京工業大學 大學院 機械工學 專攻 修士論文.  
 吉野眞一, 越後亮三 外 1人 (1986b) しく射傳熱に支配される火炎の構造の研究 日本機械學會 論文集(B編), 52(483), 3587-3593.  
 小林清志 外 (1988) 然燒工學, 理工學社.  
 花村克梧 外 (1986) 多孔性 固體中における 然燒およ



- ひ ふく射傳熱促進の 研究, 日本機械學會論文集 (B編), 52(475), 1136-1143.
- Fenimore, C.P (1971) *Nitric oxide in premixed hydrocarbon flames*, 13th symp.(int.) combust., pp.373.
- Kotani, Y. and T. Takeno(1982) *An experimental study on stability and combustion characteristics of an excess enthalpy flame*, 19th International Symposium on combustion, The Combustion Institute, pp.1503-1509.
- Kotani, Y., F. Behbahani, and T. Takeno (1984) *An excess enthalpy flame combustor for extended flow ranges*, 20th International Symposium, The Combustion Institute, pp.2025-2033.
- Takeno, T. and K. Sato (1979) *An excess enthalpy flame theory*, Combustion Science and Technology, 20, 73-84.