

가스버너의 노즐특성에 관한 실험적 연구

정대현, 김원배, 등상근 (한국에너지기술연구소)

An Experimental Study on the Characteristics of Gas Burner Nozzle

D.H.Chung, W.B.Kim, S.K.Dong (Korea Institute of Energy Research)

Key Words : gas burner(가스버너) , nozzle (노즐) , stabilizer (보염기)

Abstract

The objective of this study is to find out the design data for gas burner with an axial and radial type nozzles. The design parameters are chosen as the stabilizer type, the jet hole size of gas nozzle, the distance between gas nozzle and stabilizer, the size of stabilizer and the hole size of stabilizer, the stabilizer type with or without air swirler, the angle of swirler.

For the experimental test combustor sizing $\phi 1.3m \times L4.5m$ is designed and manufactured, in which the set up of power diagram, the exhaust gas analysis, blow-off test, the flame temperature and the direct photography are performed.

1. 서론

1986년말 인도네시아로 부터 LPG 수입과 함께 정부의 에너지 다변화 정책, WTO 등 급격한 환경변화에 대처하기 위한 가스연료정책에 힘입어 가스버너의 수요가 날이 갈수록 증가하는 추세이다. 그러나 국내 버너업계는 이에 대하여 적절한 조치를 마련하지 못한 실정이다. 게다가 국내에서는 산업체나 연구기관에서 지금까지 연구개발한 실적이 적어 설계기술이 축적되어 있지 않았으며 특히 고도의 안정성과 조작성이 요구되는 장치이므로 단시일내에 국내 설계제작은 용이하지 않다. 이와 관련하여 산업용 가스버너의 설계인자를 도출코자 가스버너의 노즐특성 실험을 수행하였다. 따라서 본 연구에서는 가스노즐중 축방향 및 반경방향의 가스분출구조의 산업용 가스버너를 제작하여 가스노즐

과 보염판간의 거리, 가스 토출공의 크기, 보염판의 크기 및 보염판의 형태 및 크기등에 대하여 실험적으로 알아 보았다.

2. 실험방법

(1) 실험변수의 설정

[Fig. 1]은 본 실험에 사용된 축방향 가스노즐 구조의 시험모델이다. 그림에서 실선은 공기의 흐름, 점선은 가스의 흐름을 나타내며 공기와 가스의 혼합이 보염판과 가스노즐 사이에서 부분적으로 이뤄짐을 알 수 있다. 그림의 B는 보염판으로 혼합가스가 이 곳을 지나면서 환류영역이 형성되고 화염이 부착된다. 보염판은 [Fig. 2]에 나타난 것처럼 원판형과 날개형의 두 가지를 비교 실험하였다. 본 실험에서는 버너 튜브크기 $D1=120mm$, 가스 파이프 크기 $D2=40mm$, 가스버너의 헤드(Quarl)크기는

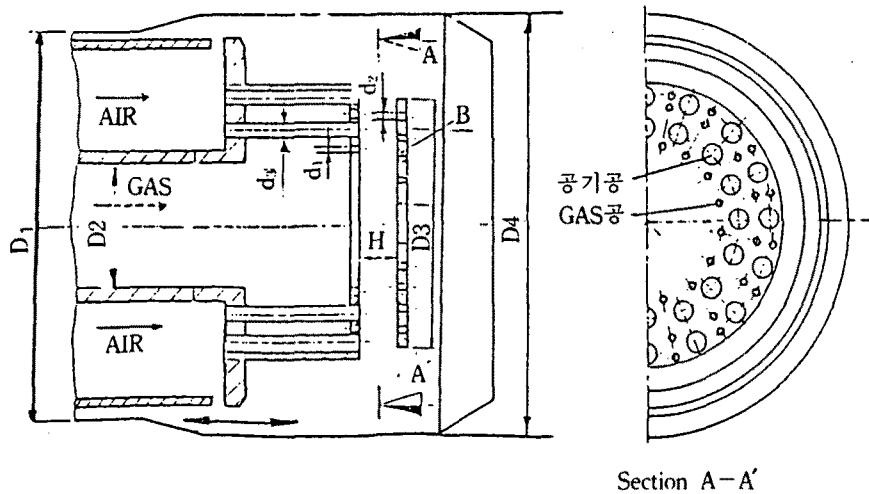


Fig. 1 Axial type gas nozzle

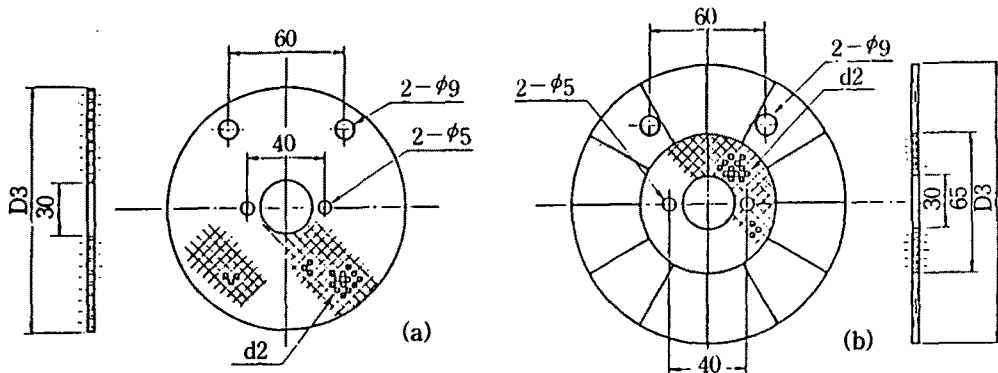
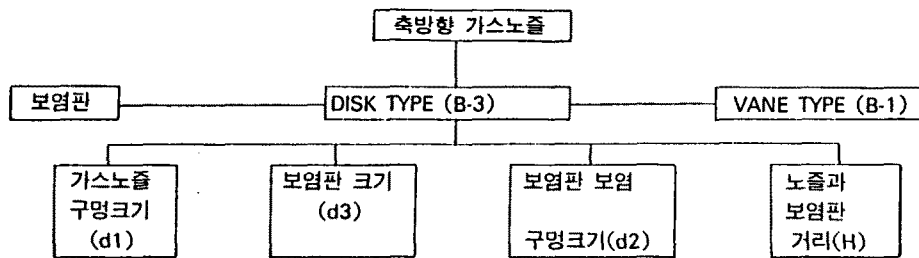


Fig. 2 Variation of stabilizer type (a) disk type (b) vane type



실험변수명	d1	d2	d3	H	비고
B-1	4	2.35	130	12	VANE TYPE
B-2	4	2.35	110	12	DISK TYPE
B-3	4	2.8	110	12	" (기준)
B-4	4	1.8	110	12	"
B-5	4	2.8	130	12	"
B-6	4	2.8	110	18	"
B-7	4	2.8	110	7	"
B-8	5	2.8	110	12	"
B-9	2.7	2.8	110	12	"
B-10	4	1.8	130	12	"
B-11	4	2.8	90	12	"

Table 1. Experimental conditions

D4=160mm로 고정하였다. 또한 노즐부 단면의 공간을 최대한 활용한 공기분출구멍도 나머지 설계인자의 변화를 알아 보기 위하여 d3=6.3mm, 28개로 고정시켰다. 설계인자로써는 가스노즐의 구멍크기(d1), 보염판의 크기(D3), 보염판의 구멍크기(d2) 그리고 보염판과 가스노즐 사이의 거리(H)를 선정하였다. <표 1>에 축방향 가스분출 구조에 대한 실험변수를 나타내었다.

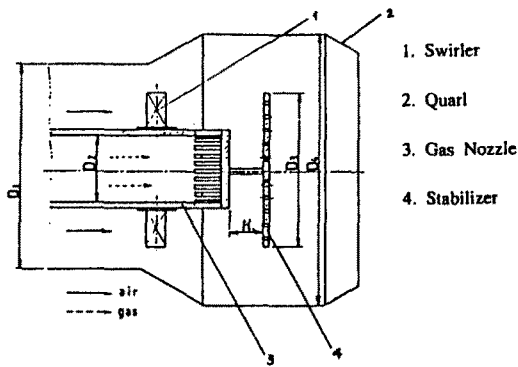


Fig.3 Radial type gas nozzle

[Fig. 3]에는 본 연구에 적용한 반경방향 가스분출 구조를 가진 가스 노즐부를 나타내었다. 반경방향 분출구조는 기존의 버너제품에 많이 사용되는 방식 중의 하나로써 보염기와 가스노즐 사이에서 공기와 가스가 서로 교차되면서 혼합되고 보염기에 화염의 뿌리가 형성되면서 연소작용이 일어나는 형태이다. 그러나 축방향 가스노즐 구조에 비해 혼합거리가 더 요구되므로 혼합특성을 양호하게 하기 위하여 난류발생기(turbulence promoter) 형태인 공기선회기(air swirler)를 설치하는 경우가 많다. 공기선회기는 날개의 수가 11개이고 선회각도는 50°(선회수 S=0.9)이며 [Fig. 3]에서 보듯이 가스노즐 분출구멍 앞에 설치하였다. 선회기 각도변화에 대한 비교실험을 위하여 공기선회기를 설계, 제작하여 버너의 외부에서 선회각도를 조절할 수 있게 하였다.

<표 2>에는 반경방향 가스분출 구조에 대한 실험변수를 나타내었다. 버너튜브의 크기(D1)은 120mm, 가스파이프의 크기(D2)는 40mm, 보염기의 크기

(D3)는 90mm로 고정시켰으며, 설계지료로 필요한 내용은 공기선회기 유무, 보염기 형태(날개또는 원판형), 공기선회기 각도(α), 그리고 가스노즐과 보염기 사이의 거리(H)간의 상관관계를 알아 보는 것으로 이 것을 실험변수로 설정하였다.

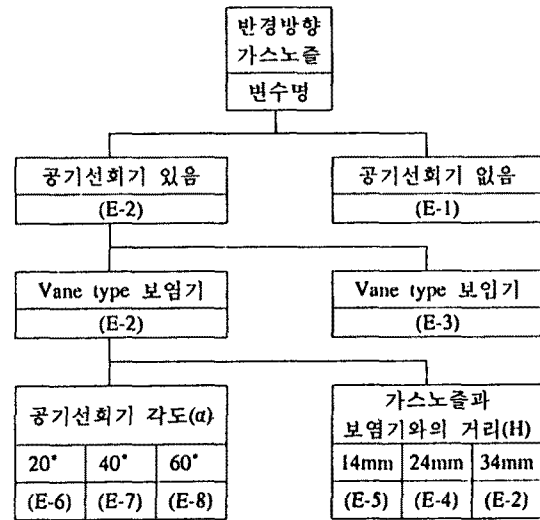


Table 2. Experimental conditions

(2) 실험장치의 구성

연소실험을 위하여 길이 4.5m, 지름 1.3m의 노통형 연소실험로를 설계제작하였다. 실험장치의 구성은 [Fig. 4]와 같이 하였으며, 실험자료는 컴퓨터에 의해 처리하였다. 연소실험의 내용은 다음과 같다.

- 버너 시스템의 능력을 판정하는 작업범위도 (Power Diagram)
 - 연소효율을 알아보는 배가스 분석
 - 화염의 구조, 대칭성 및 혼합성을 규명하기 위한 화염의 온도측정
- 또한 사용한 측정장비로는
- 공기나 가스유량 측정을 위한 오리피스, 차압발신기 및 마노메타
 - 배가스 분석을 위한 가스분석기(O₂, CO₂, CO, SERVOMEX, 1400 SERIES, ENGLAND)
 - 고온의 화염온도 측정을 위한 고온흡입 온도계 (Suction Pyrometer LAND, ENGLAND)

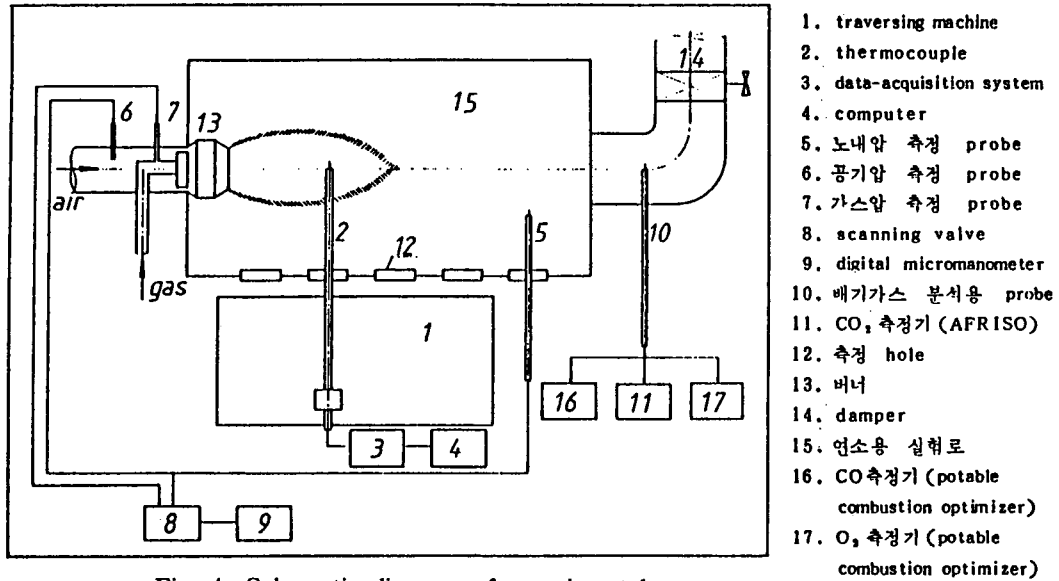


Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

- 데이터 처리를 위한 A/D 변환기.

조건은 도시가스 (LPG+공기, $H_u=15,000 \text{ kcal/Nm}^3$ $12\text{Nm}^3/\text{h}$ 와 공기 $300\text{Nm}^3/\text{h}$ 를 기본용량으로 각각을 변화시켰다. 로내압은 70mmAq , 가스버너의 최전단부분은 약 120mmAq , 공기압은 오리피스 등의 압력손실을 고려하여 400mmAq 을 유지하였다.

3. 실험결과 비교 및 분석

(1) 보염판 형태[(B-1)과 (B-5)]

(가) 온도 : [Fig. 5] 에는 화염의 온도 분포도로서 종축에는 화염의 반경방향의 거리, 횡축에는 화염의 진행방향에 따라 $X=139, 334, 429, 624, 819\text{mm}$ 에서의 화염의 온도변화를 나타내었다. 화염의 온

도를 측정하는 가장 중요한 이유중의 하나는 화염의 구조를 정성적으로 파악하기 위하여, 특히 화염의 대칭성을 알아보는 것이다. 날개형 보염판의 경우 화염의 길이가 원판형태에 비해 약 30cm 짧아지고 화염폭이 넓어짐을 온도기울기를 통하여 알 수 있다. 또한 날개형의 보염판에서는 연소를 가속화시켜서 온도기울기는 작게 되고 빨리 균일해짐을 알 수 있다. 그러나 온도의 대칭성은 원판형태에 비해 매우 불량하였다.

(나) 배가스분석 : 이 실험의 목적은 가스와 연소용 공기의 혼합성에 대한 정도를 나타내는 지표, 즉 CO의 발생량을 측정하는 것이라 볼 수 있다. 일반적으로 CO의 발생량이 100PPM 이 발생할 때, 즉 기준허용치일 때의 공기비로서 혼합의 양호여부

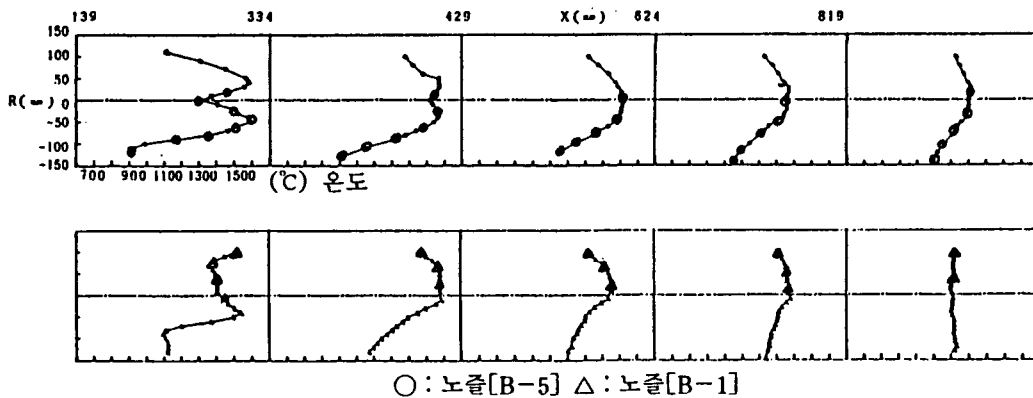


Fig. 5 Mean temperature profiles

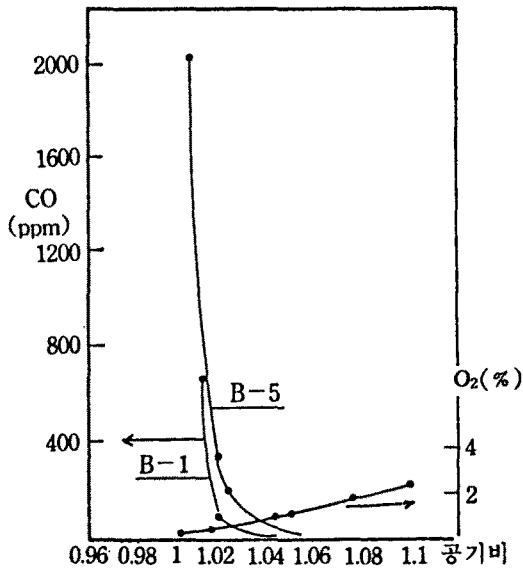


Fig. 6 Gas analysis result

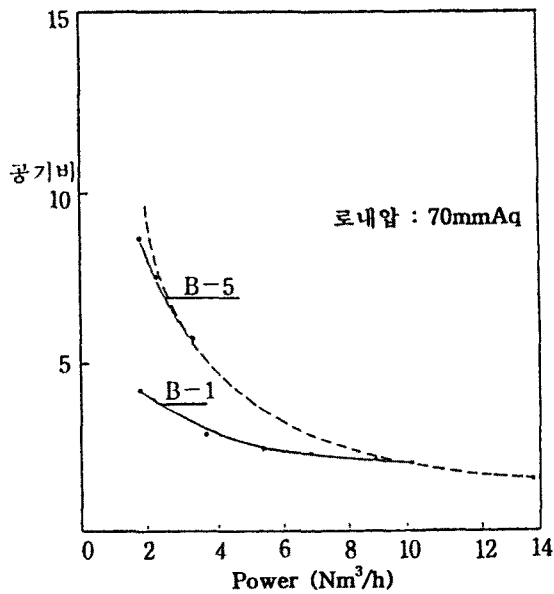


Fig. 7 Blow-off limit

를 결정한다. 시험방법으로는 가스연료를 사용하는 경우에는 공기비를 약 1.2에서 이론공기비에 접근 하면서 배가스내의 CO량을 측정하는데 이론공기비에 가까이 갈 수록 CO의 발생량이 지수적으로 증가함을 볼 수가 있다. [Fig. 6]

(다) 안정도 : [Fig. 7]에서 (B-1)이 (B-5)에 비하

여 안정영역이 좁은 것으로 나타났다. 이는 혼합기체가 선화되는 순환류의 큰 와류운동에 의하여 화염이 균일하지 못하여 (B-5)에 비해 화염이 쉽게 소화되었다([Fig. 7]).

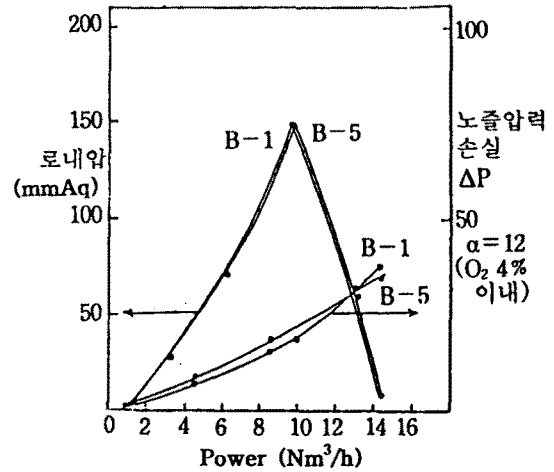


Fig. 8 Power-diagram

(라) 작업범위도 : 가스노즐에서의 저항과 관련하여 버너의 작업범위를 결정하는 것이다. 두가지 경우 비슷한 경향을 나타내나 (B-5)에서 압력강하가 조금 더 크게 [Fig. 8]에 나타났다. 전체적으로 원판형태의 보염판이 축방향의 가스분출 구조에서 보염효과가 우수한 것으로 나타났다..

(2) 보염판의 구멍크기

[(B-2), (B-3) 및 (B-4)]

(가) 온도 : 보염판의 구멍크기 $d_2=2.8\text{mm}$ 인 경우가 다른 것에 비하여 화염의 폭이 넓고 균일하게 형성되었고 모양이 안정되었다. [Fig. 9] 이는 가스와 공기의 혼합이 보염판의 구멍크기에 크게 영향을 받는데 구멍이 작은 경우는 보염판 앞뒤에서의 큰 압력강하로 인하여 유동이 불균일해지므로 중심축을 따라서 온도가 불안정하고 낮음을 알 수 있다.

(나) 배가스 분석 : 구멍크기가 작은 경우에는 보염판을 통과하는 유속이 빨라서 혼합이 제대로 이뤄지지 않았다. ([Fig.10]).

(다) 안정도 : 세 가지 경우 모두 비슷한 양상을 나타내고 있으나 $d_2=2.35\text{mm}$ 인 경우가 가장 양호한

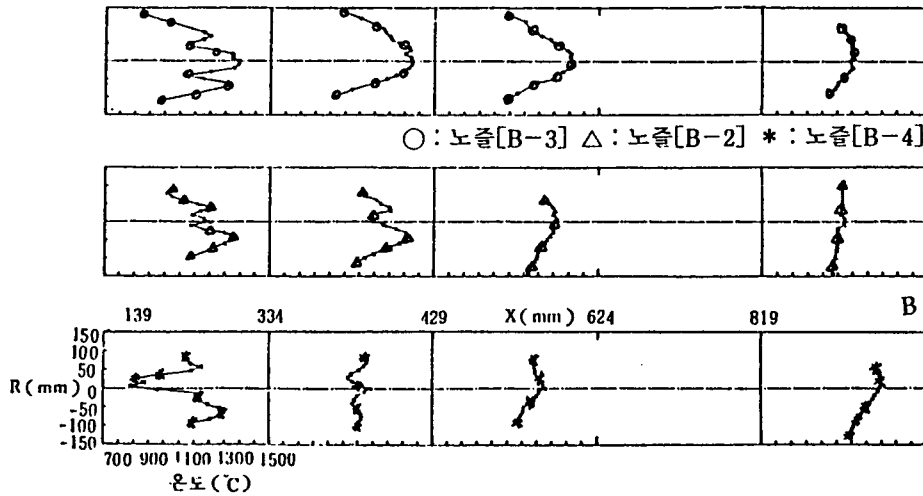


Fig. 9 Mean temperature profiles

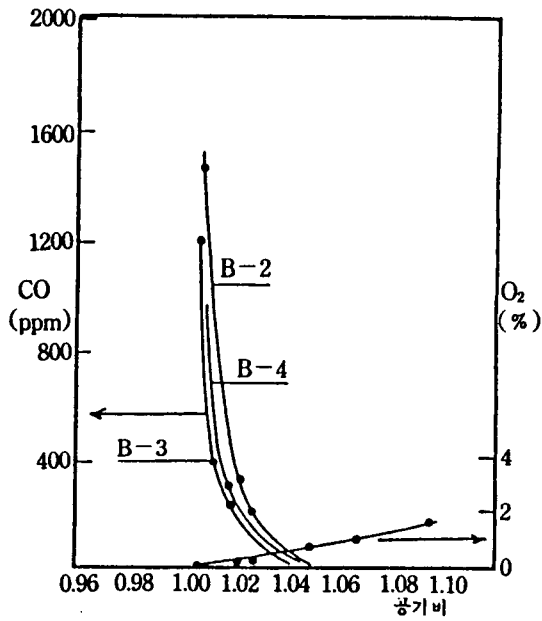


Fig. 10 Gas analysis result

것으로 판단된다. $d_2=2.8\text{mm}$ 의 경우는 보염판의 구멍을 통과하는 유속이 느려 재순환영역이 좁아지므로 보염판의 화염부착성능이 약간 저하 되었으며 $d_2=1.8\text{mm}$ 인 경우는 보염판을 지나며 압력강하가 커져서 화염형상이 불안정하였다 [Fig. 11].

(라) 작업범위도 : 노즐내에서의 압력강하는 보염판의 구멍크기에 비례하게 나타났다. [Fig. 12]에서와 같이 $d_2=1.8\text{mm}$ 의 경우 $d_2=2.8\text{mm}$ 에 비해 같

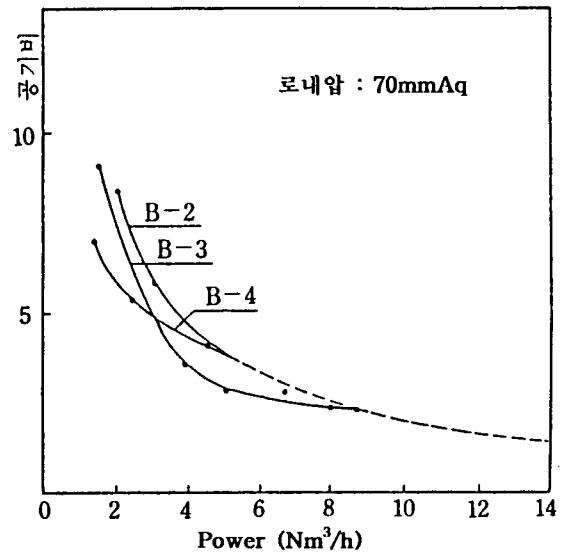


Fig. 11 Blow-off limit

은 노내압 상태에서 유량이 $2\text{Nm}^3/\text{h}$ 나 적게 나타나 압력손실에 의한 영향이 큼을 알 수 있다.

(3) 보염판의 직경[(B-3), (B-5) 및 (B-11)]

(가) 온도 : 단순히 보염판의 직경만 변화시켰기 때문에 화염의 형상이나 온도의 기울기, 분포에 있어서의 $D_3=110, 130\text{mm}$ 경우 비슷한 양상을 나타내었다. 그러나 $D_3=90\text{mm}$ 인 경우는 좌우대칭이 잘 이루어지지 않았으며 온도분포도 매우 불규칙하여

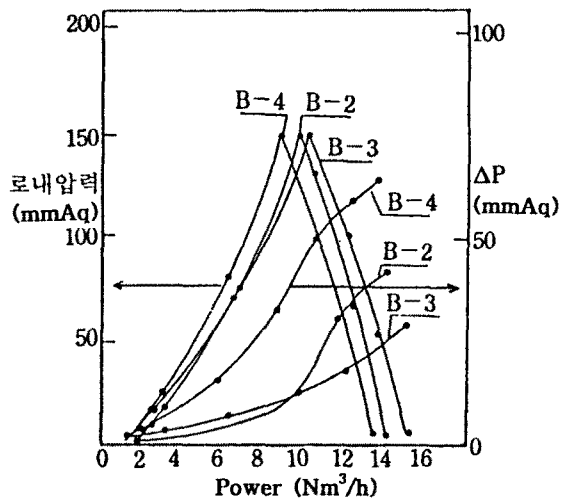


Fig. 12 Power-diagram

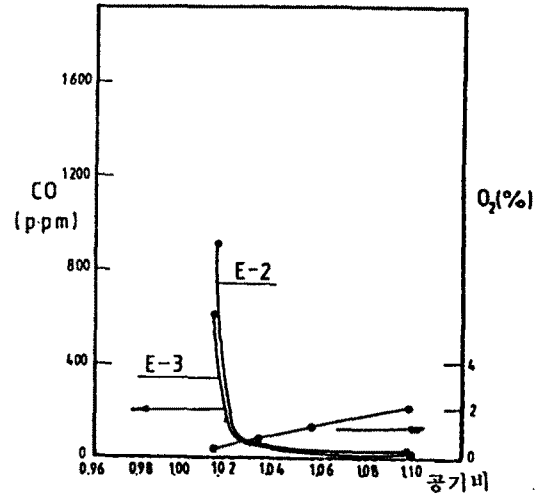


Fig. 14 Gas analysis result

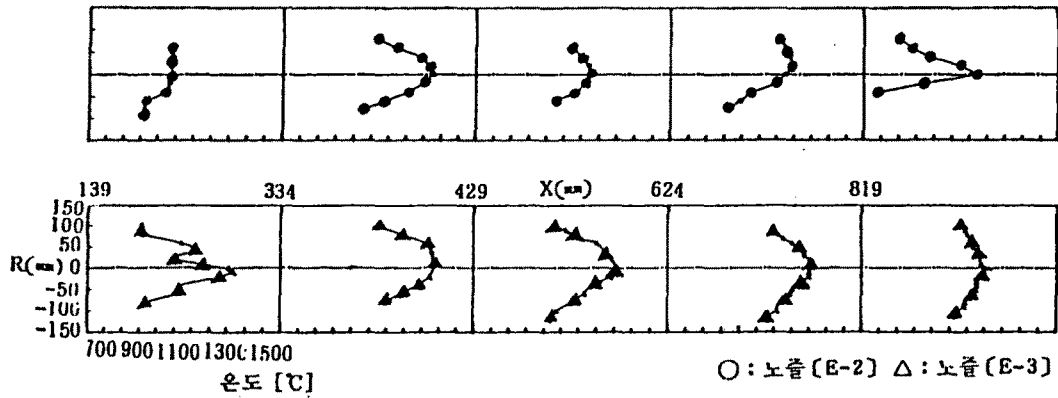


Fig. 13 Mean temperature profiles

불안정한 화염형상을 보였다. [Fig. 13]에서 보염판의 면적과 버너노즐헤더의 단면적 즉, 차폐율 (blockage ratio)이 온도변화에 상당한 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다.

(나) 배가스 분석 : [Fig. 14]에서 D3=90mm인 경우 하류로 갈수록 확산화염이 형성되면서 안정되어 D3=110, 130mm 일 때에 비해 약간 양호하게 나타났다.

(다) 안정도 : D3=130mm인 경우가 110mm나 90mm인 경우에 비해 넓은 범위에서 예혼합이 잘 이뤄지고 또한 보염기능도 양호하여 안정도가 크게 나타났다. [Fig. 15].

(라) 작업범위도 : 전체적으로 보염판의 직경에 비례하여 압력강하가 나타났다. [Fig. 16]

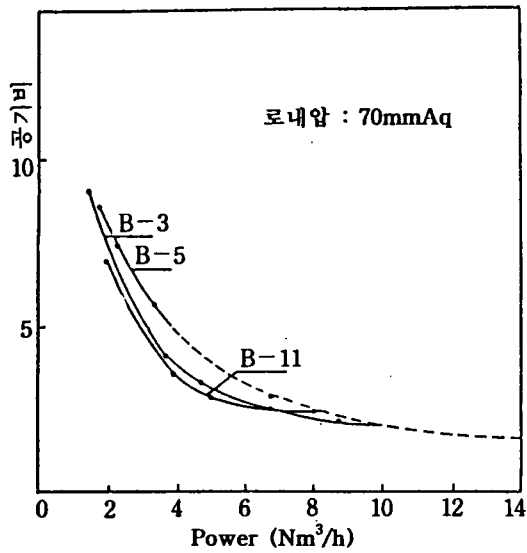


Fig. 15 Blow-off limit

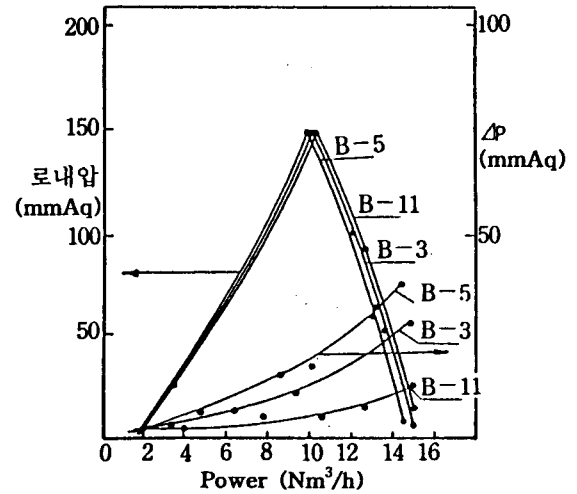


Fig. 16 Power-diagram

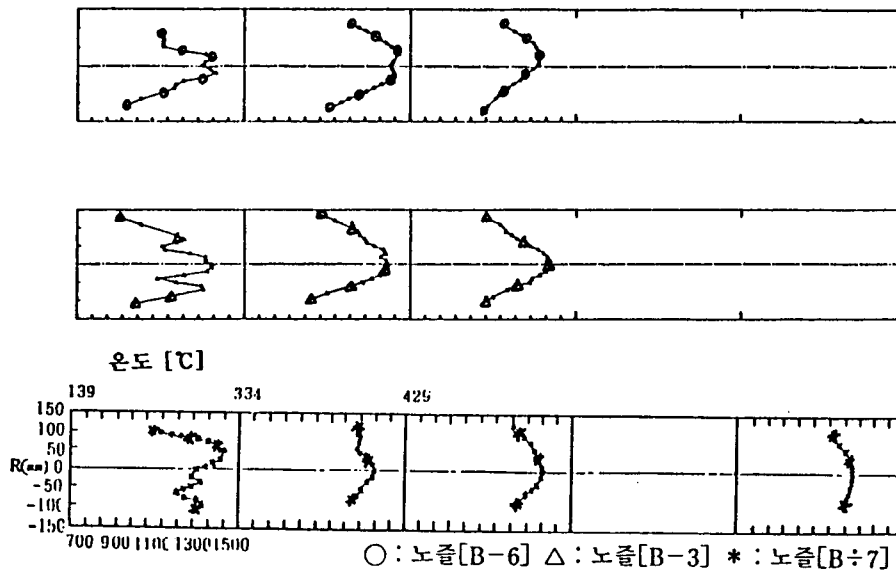


Fig. 17 Mean temperature profiles

(4) 가스노즐과 보염판 사이의 거리

[(B-3), (B-6) 및 (B-7)]

(가) 온도 : [Fig. 17]에 온도분포도가 나타나 있다. 대부분의 경우 X=429mm인 단면에서 최대 연소상태를 보이며 최고온도치를 갖고 있다. H=7mm와 같이 혼합거리가 너무 짧으면 상류부근에서 불안정한 화염이 형성되고 또한 대청성이 나쁘게 된다. H=18mm인 경우 보염판에 도달하기까지 충분

히 혼합이 되어 연소가 상류부근에서 상당히 진행된 상태를 나타내고 있다. 즉, 연소를 짧은 거리에서 빨리 시킬 필요가 있을 때에는 혼합거리를 길게 한 H=18mm의 경우가 바람직 하다.

(나) 배가스 분석 : H=7mm나 H=18mm인 경우는 혼합거리가 너무 짧고 또는 길어서 연소가 불완전하게 되어 CO 배출량이 너무 과다하게 발생하였다. 즉, [Fig. 18]에서 보듯이 H=12mm인 경우가 연

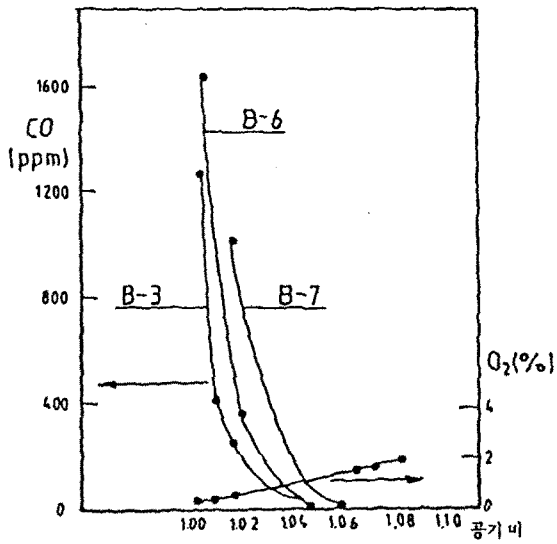


Fig. 18 Gas analysis result

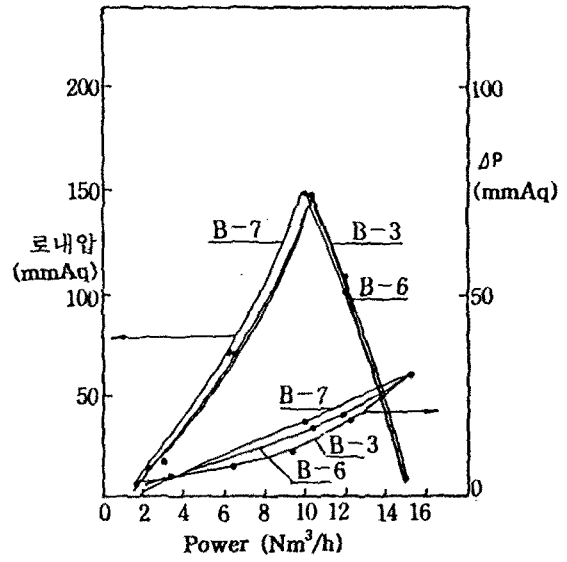


Fig. 20 Power-diagram

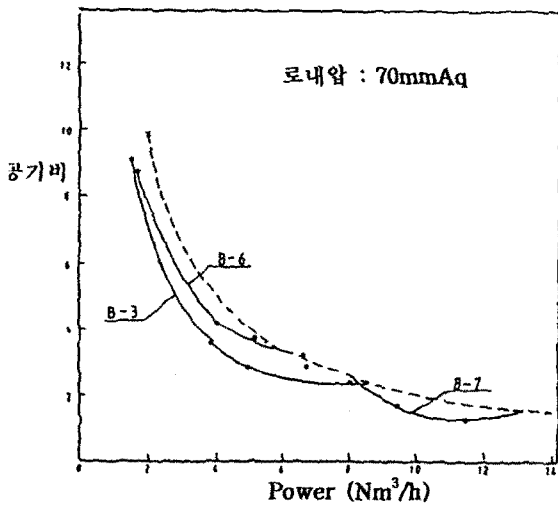


Fig. 19 Blow-off limit

소효율이 가장 양호하게 나타났다.

(다) 안정도 : 온도 및 배가스분석의 결과에서 나타났듯이 혼합거리가 가장 짧은 경우가 안정도의 범위가 가장 좁게 [Fig. 19]에 나타났다.

(라) 작업범위도 : 전체적으로 비슷한 모습이나 H=7mm인 경우에 가장 압력 강하가 심하였다.

([Fig. 20])

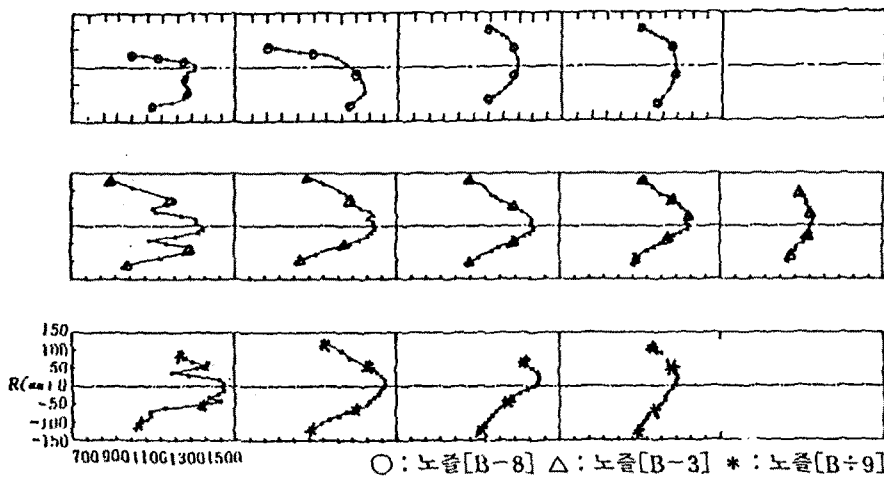


Fig. 21 Mean temperature profiles

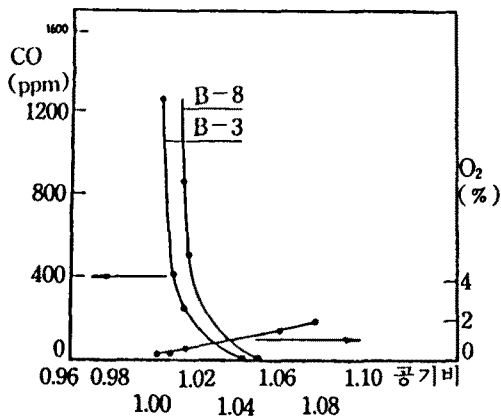


Fig. 22 Gas analysis result

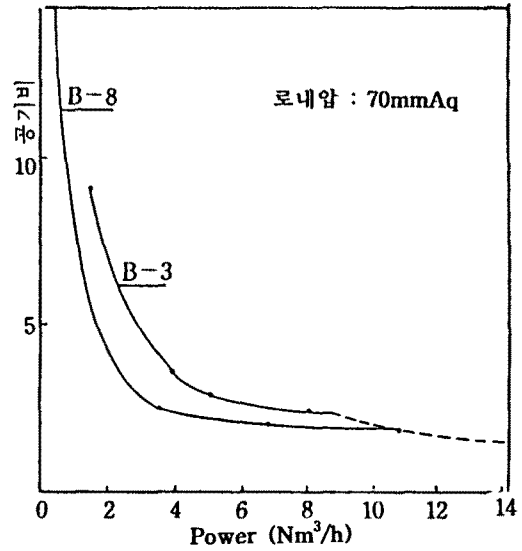


Fig. 23 Blow-off limit

(5) 가스노즐의 구멍크기

[(B-3), (B-8) 및 (B-9)]

(가) 온도 : [Fig. 21]에 $d1=5\text{mm}$ 인 경우가 $d1=4\text{mm}$, 2.7mm 에 비하여 화염의 온도분포가 불량한 편으로 나타났다. 이는 가스의 분출속도가 너무 낮아 공기와의 혼합이 늦게 이루어졌기 때문이다. 이와 반대로 $d1=2.7\text{mm}$ 인 경우는 가스속도가 너무 크기 때문에 연소가 진행되는 곳부터 $x=429\text{mm}$ 인 단면까지 온도가 가장 높게 분포되어 있음을 보여주고 있다. 그러나 온도분포의 대칭성이 조금 불량하여 보염판의 정확한 가공 및 제작기술이 요구된다.

(나) 배가스 분석 : $d1=5\text{mm}$ 의 경우 가스속도가 낮아 공기와의 혼합이 늦고 또한 난류의 강도가 낮아 불완전한 연소가 이뤄졌다. [Fig. 22]

(다) 안정도 : [Fig. 23]에서 $d1=4\text{mm}$ 인 경우가 가장 넓은 영역을 차지하고 있어 가장 양호한 상태를 나타낸다.

(라) 작업범위도 : 전체적으로 비슷한 양상이나 $d1=5\text{mm}$ 인 경우가 압력강하가 가장 적다.

([Fig. 24] 참고).

(6) 공기선회기에 대한 영향

공기 선회발생기가 없는 경우 [E-1]

공기 선회발생기가 있는 경우 [E-2]

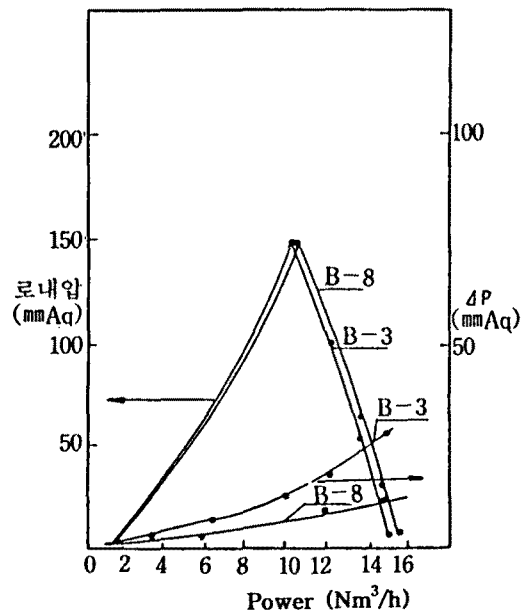


Fig. 24 Power-diagram

(가) 온도 : [Fig. 25]는 화염의 온도 분포도이다. 공기선회기가 있는 경우가 없는 경우에 비하여 화염온도의 기울기와 대칭성이 양호함을 알 수 있는데 이것은 가스와 연소용 공기와의 혼합을 좋게 하였기 때문이다. 또한 이것에 의하여 선회기 후류의 압력강하와 속도분포에 영향을 미쳐 난류의 강도를

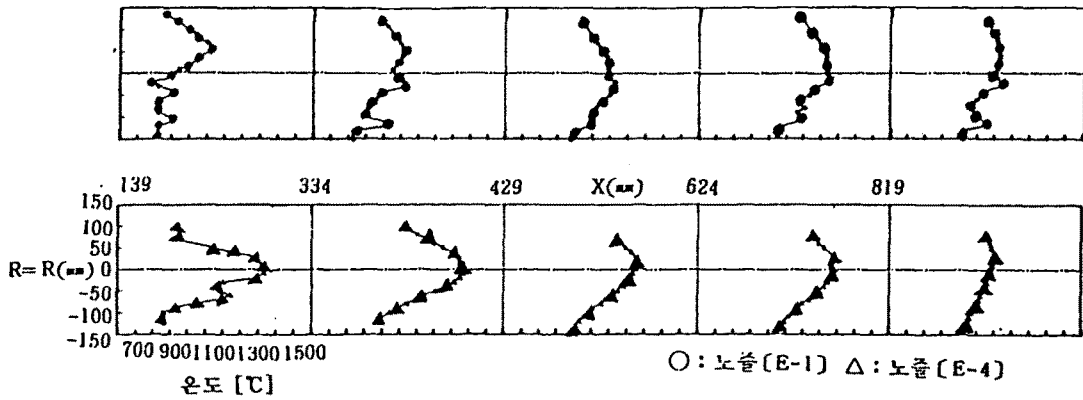


Fig. 25 Mean temperature profiles

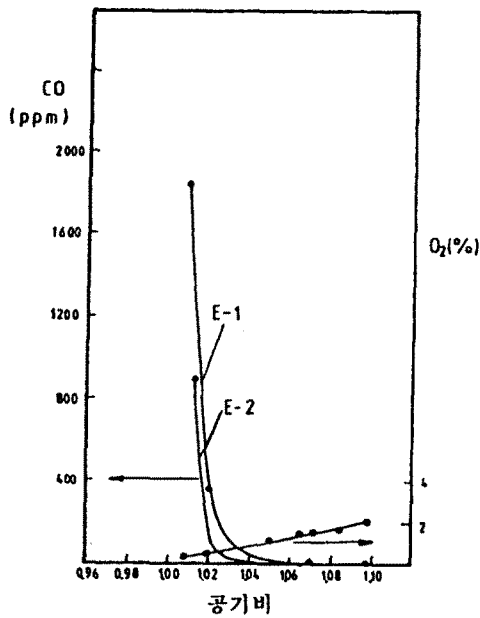


Fig. 26 Gas analysis result

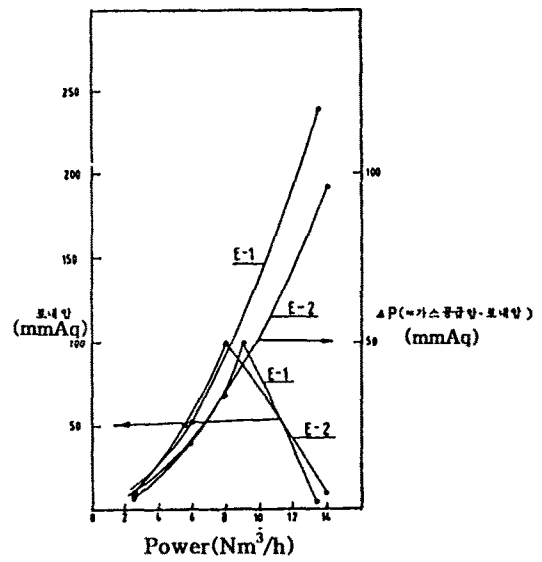


Fig. 28 Power-diagram

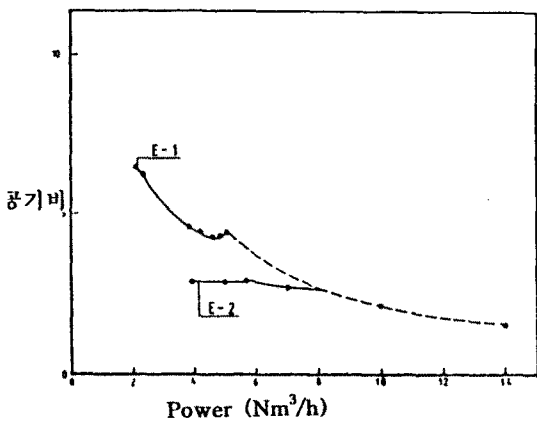


Fig. 27 Blow-off limit

증대시키고 높은 열전달을 촉진시켜 화염의 온도가 증가됨을 알 수 있다. 화염은 진행방향으로 버너 선단에서 약 20cm 까지는 불안정하였고 그 이후로는 대칭성이 양호하였으며 최고온도는 $X=500\text{mm}$ 정도에서 약 $1,350^{\circ}\text{C}$ 였다.

나) 배가스 분석 : [Fig. 26]에서 선회기가 있는 경우가 없는 경우보다 적은 공기비에서도 CO의 발생량이 적은 것으로 나타났는데, 즉 $\text{CO}=100\text{PPM}$ 을 기준으로 할 때 선회기가 있는 경우 1.02인 데 반하여 선회기가 없는 경우에는 공기비가 1.03 정도이므로 이것은 혼합이 잘 되고 또한 난류강도가 증가하여 좋은 연소상태이다..

다) 안정도 : [Fig. 27]에 나타낸 것처럼 선회기가 있는 경우가 없는 경우보다 버너용량이 $8\text{Nm}^3/\text{h}$ 이하에서는 화염의 부상(lift)현상이 나타나 화염의 안정도가 줄어든 것을 볼 수 있다. 이는 선회운동으로 인한 난류성분이 많아 보염기에 화염의 부착기능이 저하되었기 때문이다. 즉, 화염의 안정도면에서는 오히려 선회기가 있는 경우가 없는 경우보다 조금 더 불량함을 나타내고 있다.

라) 작업범위도 : [Fig. 28]에서 선회기가 있는 경우가 선회기가 없는 경우보다 로내압 100mmAq 의 경우 $1\text{Nm}^3/\text{h}$ 만큼 연소용량이 작아지는데 이 것은 선회기로 인하여 노즐에서의 압력손실이 좀 더 증가하였기 때문이다.

마) 사진 : 직접적인 사진촬영을 통해서 화염의 정상적인 구조를 알아 본 결과 선회기가 있는 경우가 선회발생기가 없는 경우에 비해 화염의 대칭성이나 화염의 형태가 양호하게 나타났다. 또한 화염의 형태는 전반적으로 화염의 폭은 넓게 길이는 짧게 나타났다. 이의 주된 이유는 공기선회기에 의한 것으로 사료된다.

(7) 보염기 구조변화

(실험조건 : 정격용량, $\text{O}_2=5\%$)

날개형의 보염기를 가진 노즐 [E-2]

원판형의 보염기를 가진 노즐 [E-3]

경우에서 비슷한 온도분포를 나타내고 있었지만 날개형의 보염기보다 원판형의 보염기를 가진 노즐의 경우가 좀 더 양호한 화염형상임을 [Fig. 29]를 통하여 잘 알 수 있다. 그 이유로는 날개형의 보염기에서는 지나친 큰 와류운동의 유동장을 초래하고 보염기 후류에 가스와 공기의 혼합이 불량하여 화염에 나쁜 영향을 끼치기 때문이다. 화염의 최고온도는 약 $1,350^\circ\text{C}$ 였다.

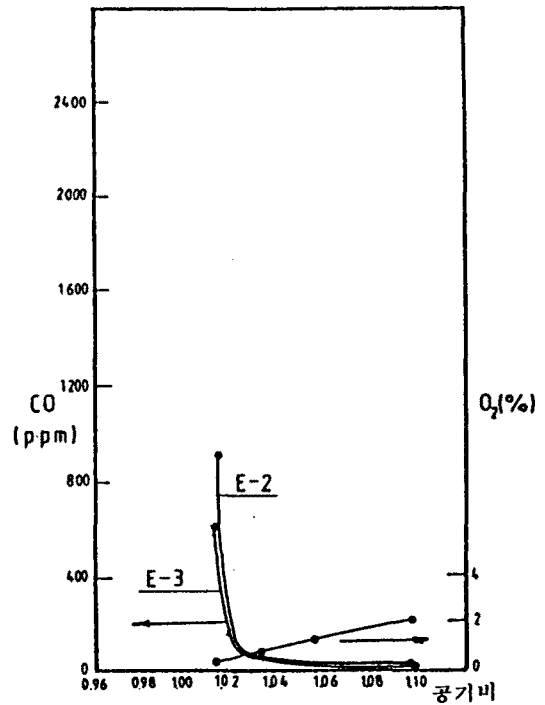


Fig. 30 Gas analysis result

가) 온도 : 화염을 안정화시키는 보염기에 대한 비교실험 결과이다. 적용한 두가지 보염기 모두의

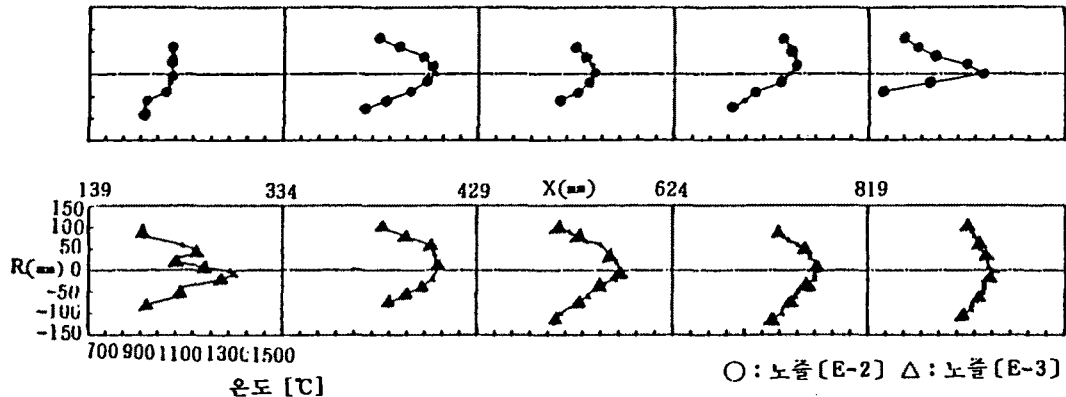


Fig. 29 Mean temperature profiles

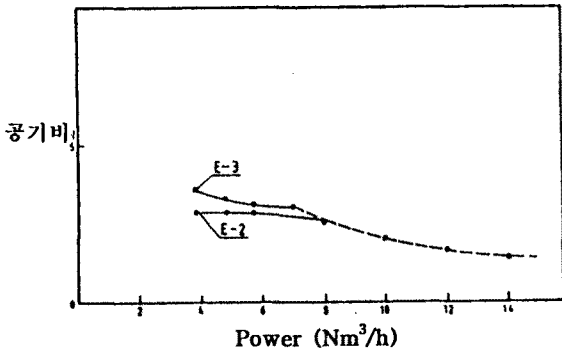


Fig. 31 Blow-off limit

나) 배가스 분석 : 화염의 혼합성에 있어서 비슷한 양상을 나타내고 있어 보염기 구조에 대한 혼합성의 양호여부는 우열을 가리기가 어렵다.

[Fig. 30] 에서 두가지 경우 모두 공기비 약 1.02에서 CO가 100ppm을 나타내고 있어 양호하다고 볼 수 있다.

다) 안정도 : [Fig. 31]에는 보염기 구조에 따른 가연한계를 나타내었다. 버너용량이 8Nm³/h 이하인 경우 날개형의 보염기가 원판형의 보염기에 비해 안정도가 나쁘게 나타나 있다. 이는 화염의 부상현상에 의한 것으로 날개형의 보염기에 의해 연소가스에 큰 와류운동이 형성되어 보염기에 화염의 부착성능이 저하되어 나타났다.

라) 작업범위도 : [Fig. 32]에서 비슷한 양상을 지니고 있다.

마) 사진 : 직접적인 사진촬영에 의하면 원판형 보염기의 경우가 날개형 보염기에 비해 화염의 형상이나 안정도가 양호하게 나타났다.

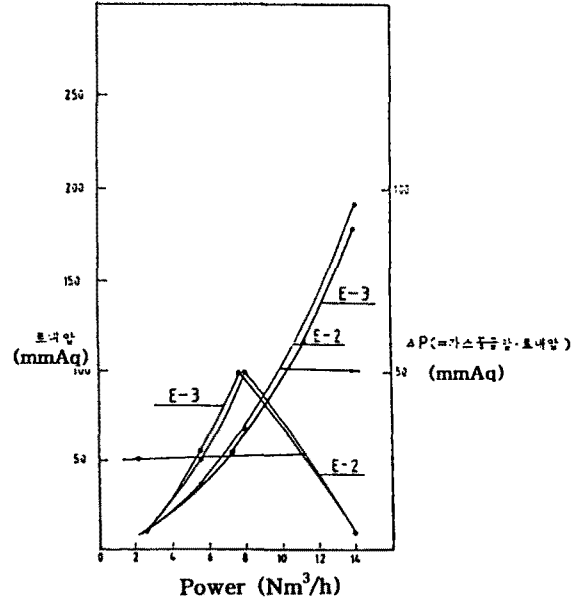


Fig. 32 Power-diagram

(8) 가스노즐과 보염기 사이의 거리 변화

(실험조건 : Gas 12Nm³/h, 4.6% O₂)

H=24mm인 노즐 [E-4]

H=34mm인 노즐 [E-2]

H=14mm인 노즐 [E-5]

가) 온도 : [Fig. 33]에는 노즐 주위의 화염온도의 변화를 나타내었다. 혼합거리가 H=34mm인 경우 가스노즐 선단에서 보염기까지의 간격이 넓어 gas와 공기가 넓은 영역에서 충분히 연소될 수 있고 연소가스의 흐름이 비교적 양호해져 보염기 이후

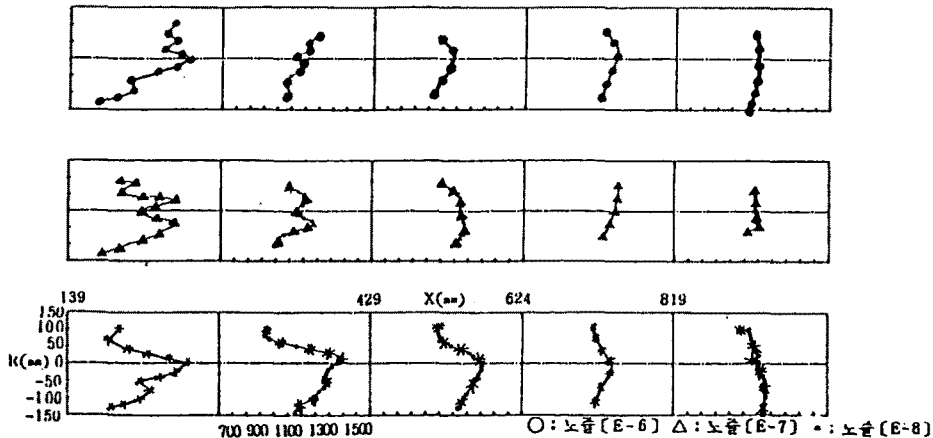


Fig. 33 Mean temperature profiles

온도분포가 완만하고 매우 양호한 대칭성을 나타내고 있었다. 반면에 H=24mm인 경우에는 전자에 비해 간격이 좁아서 대칭성이나 온도분포면에서 약간 불량한 경향을 나타내었다. H=14mm에서는 가스 분출구멍과 보염기간의 간격이 너무 좁아 충분한 반응시간이 없어 불완전한 연소상태를 나타내고 있다. 화염의 최고온도는 약 1,350℃로 나타났다.

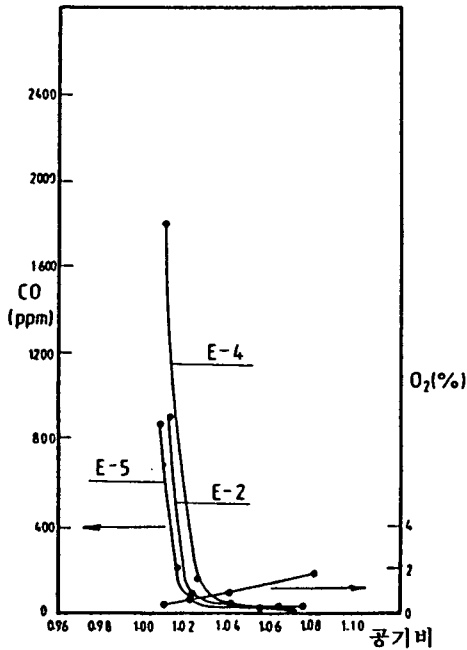


Fig. 34 Gas analysis result

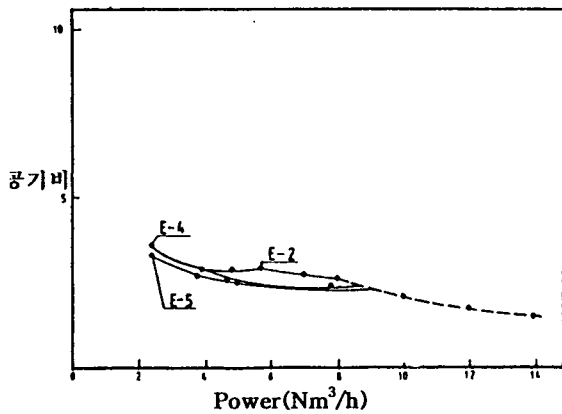


Fig. 35 Blow-off limit

나) 배가스 분석 : 화염온도의 결과와는 달리 H=14mm의 경우가 가장 양호한 상태로 [Fig. 34]에 나타났는데 이것은 가스와 공기가 혼합이 잘 이루어졌기 때문이다. 위와 같이 CO가 100ppm인 경우를 최대허용조건이라고 할때 H=14mm인 경우 공기

비가 1.02인 반면에 H=24, 34mm인 경우는 1.03, 1.04를 나타내었다.

다) 안정도 : H=14mm의 경우는 혼합거리가 너무 짧아서 연소영역이 비교적 좁게 나타났음을 [Fig. 35]를 통해서 알 수 있다. 이는 보염기의 화염의 부착기능이 혼합성과는 달리 불량한 것으로 사료된다. H=24mm인 경우와 H=34mm인 경우는 비슷한 양상이나 연소용량이 4Nm³/h 이하이고 H=34mm인 경우의 안정도는 약간 증가하였다. 이는 가스노즐과 보염판 사이의 혼합거리가 충분하여 공기와 가스의 혼합이 잘 이루어졌기 때문이다.

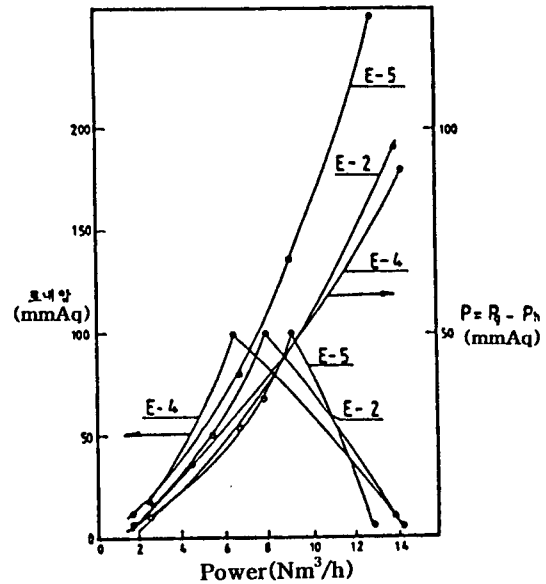


Fig. 36 Power-diagram

라) 작업범위도 : [Fig. 36]에서 H=34mm인 경우는 로내압 100mmAq를 정격조건으로 본다면 연소용량이 약 2Nm³/h 정도 감소함을 보여주고 있는데 이것은 노즐에서의 압력 손실이 H=14mm나 H=24mm인 경우에 비하여 상당히 컸기 때문이다.

마) 사진 : H=24mm에 비해 H=14mm나 H=34mm의 경우가 화염의 폭이 넓게 형성이 되었고 그 길이 또한 길었다. 특히 H=14mm의 경우 화염은 비교적 길었으나 대칭성은 매우 불량하였다. H=34mm인 경우가 가장 양호한 것으로 직접적인 사진촬영을 통해서 판별할 수가 있었다.

(9) 공기선회기 날개각 변화

(실험조건 : 공기 300Nm³/h, Gas=12Nm³/h)

- 날개각이 20 °인 노즐 (선회수 S=0.27) [E-6]
- 날개각이 40 °인 노즐 (선회수 S=0.63) [E-7]
- 날개각이 60 °인 노즐 (선회수 S=0.27) [E-8]

가) 온도 : [Fig. 37]에서 선회각도가 어느 정도까지는 크면 클수록 화염의 구조적인 면에서 대칭성이 양호하게 나타났으며 날개각이 60°인 경우가 연소상태가 가장 양호하게 나타났다.

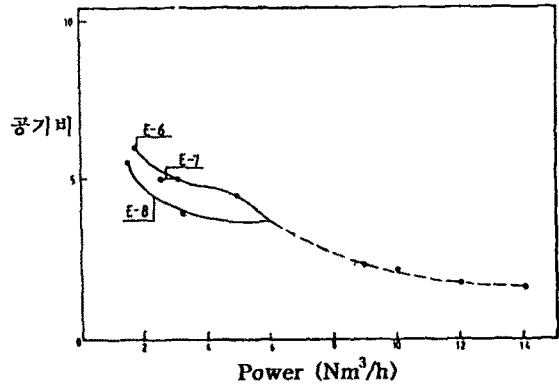


Fig. 39 Blow-off limit

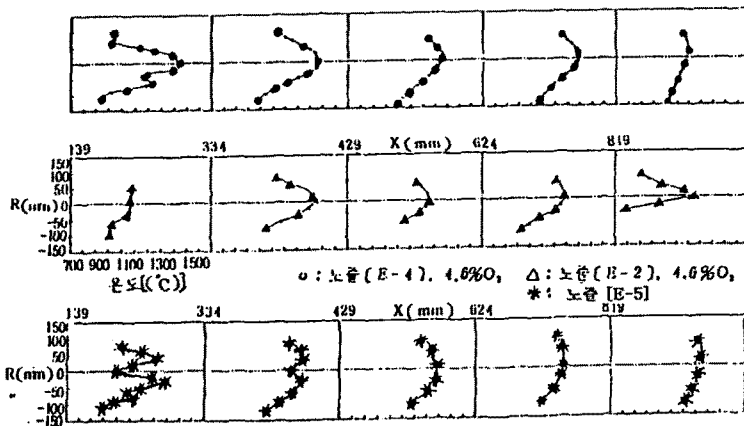


Fig. 37 Mean temperature profiles

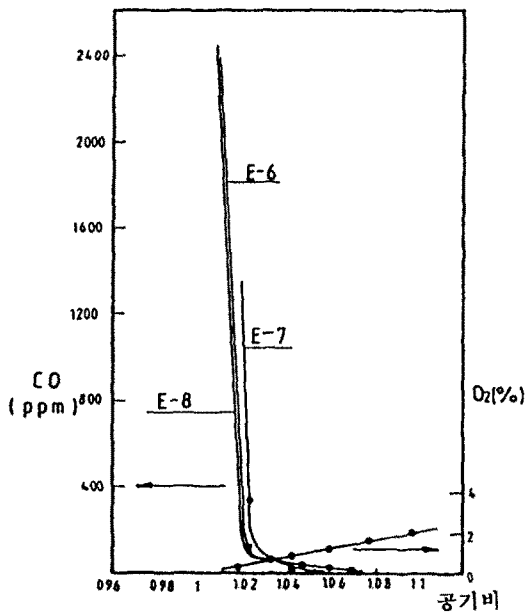


Fig. 38 Gas analysis result

나) 배가스 분석 : [Fig. 38]에서 날개각이 60°인 경우가 날개각이 40°인 경우나 20°인 경우에 비해 혼합이 잘 되어 연소상태가 가장 양호하였다. 화염 온도와 배가스분석은 서로 같은 결과를 보여주고 있다.

다) 안정도 : [Fig. 39]에는 연소용량에 따른 화염의 존재범위를 도시한 것으로 날개각이 60°인 경우에는 지나치게 선회가 작용되어 화염이 부상되는 현상을 나타내고 있어 버너의 안정도에 나쁜 영향을 끼쳤다. 반면에 날개각이 40°인 경우와 20°인 경우는 적당한 선회값을 지니고 있어 전자보다는 비교적 양호한 결과를 보이고 있었다.

라) 작업범위도 : [Fig. 40]에는 연소용량에 대한 압력손실의 관계를 나타낸 것으로 날개각에 비례하여 압력강하가 나타났다. 즉, 로내압 100mmAq를 연소로내의 정격압이라고 할 때 날개각이 60°인 경우는 20°인 경우보다 연소용량이 4Nm³/h나 작음을 알 수 있다. 이것은 가스노즐 출구에서의 압력강하

가 로내압과 관련하여 크게 작용하였기 때문에 사료된다.

마) 사진 : 날개각이 60°인 경우가 연소상태가 가장 좋게 나타나 있다. 화염의 폭도 가장 넓었고 대칭성이나 안정성이 다른 것에 비해 양호하게 나타났다. 전반적인 실험결과에서 보면 온도, 배가스 분석, 안정도 및 작업범위도면에서 서로가 상반된 결과를 지니는 특성을 가지고 있기 때문에 우열을 가리기에는 매우 어려울 경우가 많다. 이런 경우에는 직접적인 사진촬영에서 보면 쉽게 구별을 지을 수 있어 실험상으로는 매우 중요한 화염의 양호성 여부를 판단하는 방법이라 생각한다.

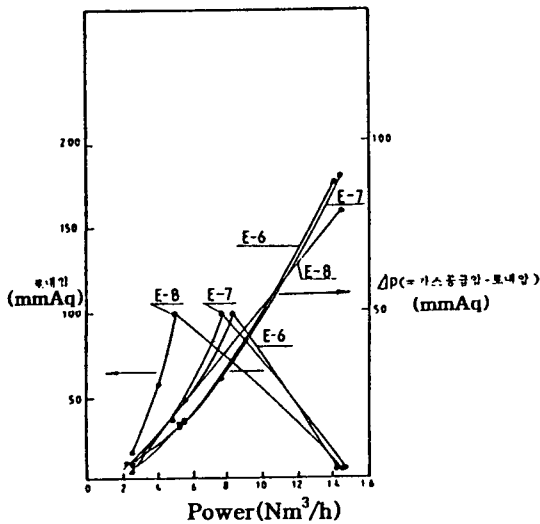


Fig. 40 Power-diagram

5. 결 론

산업용 보일러에 적용되는 가스버너 중에서 가장 핵심이 되는 가스노즐부위의 설계자료를 도출하고자 이 연구를 수행하였다. 그 중 가스가 축방향 및 반경방향으로 분출되는 구조에 있어서 가스노즐과 보염기와의 상관관계를 실험적으로 알아보고 그 결과를 본 원고에 수록하였다. 측정항목은 화염의 구조를 알기 위한 온도분포, 가스와 공기의 혼합정도를 알아보는 배가스분석, 화염의 연소영역을 결정하는 안정도, 버너 시스템의 작동범위를 결정하는

작업범위도, 마지막으로 직접 육안으로 화염의 정성적인 구조의 양호성을 판단할 수 있는 사진촬영 등이었다. 실험결과를 자세히 살펴보면 측정 항목 상호간에 결과의 내용이 서로 상충되는 경우가 있는데 이 때에는 사진촬영에 의한 방법으로 우열을 가릴 수가 있었다. 실험변수로는 공기선회기의 유무, 공기선회기의 날개각, 보염기의 종류 그리고 가스노즐과 보염기 사이의 거리를 선정하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 가스분출방향이 축방향인 경우

가) 보염판의 형상

선회운동을 약간 일으키는 날개형 보염판은 원판형 보염기에 비하여 혼합은 잘 되게 하나 보염기 바깥쪽 부분에서는 화염부착이 불량하며 쉽게 부상 또는 소화되었다. 전체적인 특성을 종합하면 연소 효율면에서는 날개형이 양호하고 보염기능은 원판형이 양호하다. 양쪽 보염기의 장점을 합한 형태의 보염판의 설계가 요구된다.

나) 보염판 보염공 크기

먼저 보염판(원판형) 구멍의 총면적을 구멍이 없다고 했을 때의 보염판 총면적에 대한 비에 따른 비교를 보면 보염판 구멍 크기가 $\phi=1.8, 2.35, 2.8$ 일 때 각각 그 비는 0.3, 0.5, 0.7인데 비율이 0.5-0.7일 때가 0.5이하 일 때에 비해 연소효율, 화염의 형상, 안정성, 혼합특성 모두 양호하게 나타난다. 보염판의 크기(D3)에 대해 살펴보면 D3=130mm일 경우가 D3=110mm, 90mm 경우에 비해 연소효율은 별 차이를 보이고 있지 않으나 초기 혼합영역에서 화염의 구조가 좋은 상태를 보이고 있으며 균일한 연소 특성을 보이고 보염기능도 좋게 나타났다. 버너 헤드의 크기 (D4=160mm)의 비로 나타내면 $D4/D3 = 1.14-1.33$ 정도면 적당한 크기라고 사료된다.

다) 보염판과 가스노즐 사이거리

보염판과 가스노즐 사이거리(H)가 H=12-18mm 인 경우에 비해 화염의 형상, 온도곡선, 안정영역 및 연소효율 모두 양호하게 나타났다. H=18mm인 경우 보염판 직전에서 혼합이 많이 이루어져 연소가 빨리 진행되어 화염길이가 짧아진다. H가 18mm 이상이 되면 지나치게 빨리 연소될 우려가

있다. 따라서 적당한 거리는 12-18mm로 여겨진다. 버너 tube크기 $D_1=120\text{mm}$ 이라면 H/D_1 가 0.1-0.15 정도면 적당하다. 보염기 형상에 따라 이 값도 변할 수 있다. 스윙운동을 일으키는 보염기를 사용할 경우(모델 B-5) H/D_1 는 작은 값이 될 것으로 보여진다(약 0.05-0.1).

라) 가스노즐 구멍 크기

가스노즐 구멍 크기는 적절한 가스분출 속도에 관련되는데 $d_1=5\text{mm}$ 인 경우는 2.2m/sec로서 난류 화염연소속도와 거의 비슷한 크기이다. 즉 보염판을 지나면서 속도가 더욱 떨어져 정상적인 화염현상이 어렵고 flash back 현상이 발생하기 쉽다. $d_1=2.7-4\text{mm}$ 인 경우가 $d_1=5\text{mm}$ 인 경우에 비해 화염의 형상 및 연소효율, 안정영역이 좋다. 이상과 같은 결과로 볼 때 구멍크기는 2-4mm(분출속도 8-14m/sec) 정도면 적당하다고 사료된다.

(2) 가스분출방향이 반경방향인 경우

가) 공기 선회기

선회기가 있는 경우 노즐 유입 유동의 난류성분이 커서 없는 경우보다 화염의 안정영역은 약간 줄어드는 반면에 연소효율, 화염형상 및 온도 분포도는 매우 양호한 특성을 보여주고 있었다. 따라서 반경방향 구조일 때는 선회기를 장착하므로써 연소 성능이 향상됨을 알 수 있다.

나) 공기 선회기 날개각의 변화

날개각이 각각 20° , 40° , 60° 인 경우에서, 60° 일 때가 40° , 20° 인 경우에 비해 온도 분포도, 화염의 형상 및 배기가스 농도 등 모두 양호한 특성을 보여주고 있다. 따라서 공기선회기의 날개각은 50° 에서 70° 범위, 즉 선회수 $S=0.8-1.3$ 정도가 설계치라고 볼 수 있다.

다) 보염기

반경방향 구조일 때 보염기 형상이 원판형 또는 날개형으로 달라져도 큰 차이는 보여주고 있지 않으나 원판형일 때가 화염형상 및 온도 분포도가 조금 양호하게 나타났다.

라) 가스노즐과 보염기간의 거리

$H=14\text{mm}$ 인 경우는 화염길이가 지나치게 길어지고 화염끝 부근에서 연소상태가 좋지 않음을 보여주고 있는 반면에 혼합거리 $H=34\text{mm}$ 인 경우에는

혼합거리가 충분해서 연소가 빨리 진행되고 양호한 연소특성을 나타내었다. 따라서 설계상 적당한 거리(H)는 30-40mm 정도라고 볼 수 있다.

참 고 문 헌

1. 김원배 외, "산업용 가스버너의 국산화 기술개발(II)", 과기처 특정과제 보고서, 1987
2. Kiroku Yamazaki & Hiroshi Tsuji, "An experimental investigation on the stability of turbulent burner flames", Combustion & Flame, (66), pp.181 - 192, 1986.
3. Ichiro Nakamachi et al., "カス燃焼の理論と實際", 省エネルギーセンター, 1992
4. 什正一, "燃焼機器工学", pp. 174-179, 日刊工業新聞社