

## 도염식 가스 가마의 설계 - II. 화염의 거동

이기강·김 환·임응극  
서울대학교 무기재료공학과  
(1987년 12월 20일 접수)

### Design of Down Draft Kiln for Gas Firing

#### II. Behavior of Flame

Ki-Gang Lee, Hwan Kim and Eung-Keuk Lim

Dept. of Inorg. Mater. Eng. Seoul National Univ.

(Received December 20, 1986)

#### 요 약

도염식 가스가마에서 화염의 거동 및 유동형태가 baffle plate에 의하여 얼마나 영향받는가를 알아보기 위하여 도염식 가스가마에서의 화염 및 공기역학적 유동형태의 거동과 특성을 실험적으로 고찰하였다.

연료기체의 온도와 농도, 가마압을 가마내의 온도 및 baffle plate의 높이를 변화시키면서 측정된 결과 stagnation 영역의 특성은 baffle plate 높이에 따라 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

#### ABSTRACT

An experimental study of the characteristics and the behavior of flames, and the aerodynamic flow pattern was carried out in the present work on a down draft kiln for gas firing.

The aim of this work is to establish a behavior of flames and to know the extent to which the flow pattern is affected by the height of baffle plate

The measurements of temperature, concentrations of fuel gas, and kiln pressure were conducted at different temperature in kiln, and at different height of baffle plate

From the obtained results, it was found that the characteristics of the stagnation zone are greatly affected when changing over the height of baffle plate, and the best condition of that was 115 m/m.

#### I. 서 론

도염식 단가마는 점토제품과 같이 열전도율이 낮은 피열물을 균일하게 가열하는데 유리할 뿐만 아니라 수율 및 열효율이 비교적 좋은 가마에 속한다.<sup>1)</sup>

이 가마는 화염이 천장에 부딪힌 후 가마 내부에 적

당한 간격으로 적재되어 있는 피열물 사이를 통과하여 연도를 통해 굴뚝으로 빠져나가는 형태의 가마이며, 이때 화염의 열량이 가스복사 및 대류에 의해 피열물로 전해지므로 가마안에서의 화염의 거동을 아는 것이 매우 중요하다.

그러나 고온의 화염을 관찰하기는 매우 어렵다. 따



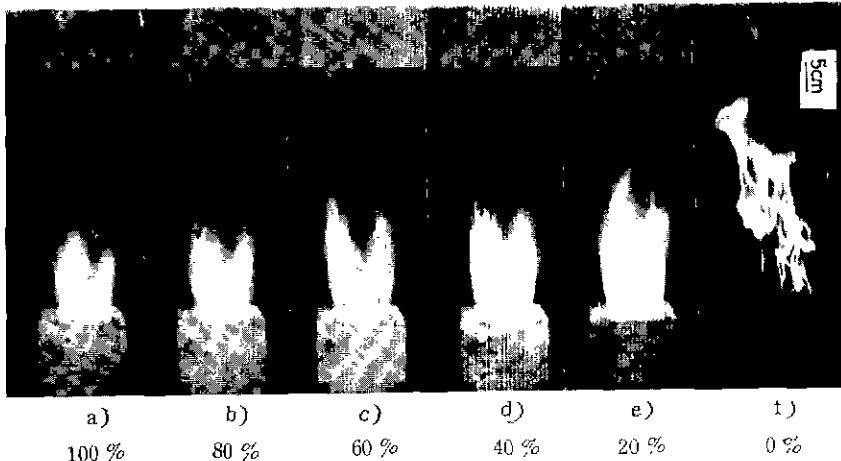


Fig. 2. Photographs of flame length at partial premixed burner in the open air depending on the opening rate of the primary air.

로 변화시키면서 촬영한 사진이다. 또 Fig.3은 1차공기량을 Fig. 2의 경우와 같이 변화시켰으며 2차공기는 가마안에서 제한된 공급을 받고 있다. Fig. 3에서 보면 두개의 화염이 있는데 앞의 화염은 1차공기 흡입구를 100% 열어둔 것이고 뒤의 화염은 1차공기의 흡입구 면적을 변화시킨 것으로 두 화염의 비교를 위

힌 것이다.

또 Table 1에서 Fig. 3의 경우는 두 화염 중 뒤의 화염만을 측정으로 1차공기량과 2차공기량의 변화를 나타낸 것이다. 2차공기량은 그 양이 매우 작아서 직접 측정하기가 곤란하여 배기가스 분석을 하여 공기비를 알 다음 여기서 환산하여 2차공기량으로 계산한

Table 1. Conditions for Flame in Open Air and Kiln.

	Opening of primary air mict (%)	Flow of fuel (l/mm)	Flow of primary air (l/min)	Flow of secondary air (l/min)	Velocity at outlet of burner tile (cm/s)	Reynold No.	Mixing ratio	Composition of exhaust gas O <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> CO	Flame length (cm)	Flame Temperature (°C)	Temperature in kiln (°C)
Fig.(a)	100	4.8	90.4	open air	10.4	900	0.80*	—	20	—	—
2 (b)	80		77.6		8.9	750	0.70		20		
(c)	60		72		8.3	700	0.60		25		
(d)	40		65.2		7.5	600	0.55		25		
(e)	20		55.4		6.4	550	0.50		30		
(f)	0		0		0.6	50	0		50		
Fig.(a)	100		4.8		90.4	138	10.4		900		
3 (b)	80	77.6		150.9	8.9	750	1.8	10 6 0	25	750	
(c)	60	72		156.5	8.3	700	1.8	10 6 0	25	750	
(d)	40	65.2		163.3	7.5	600	1.8	10 6 0	30	800	
(e)	20	55.4		173.1	6.4	550	1.8	10 6 0	40	770	
(f)	0	0		228.5	0.6	50	1.8	10 6 0	50	770	

\* primary air theoretical air

\*\* primary + secondary air theoretical air

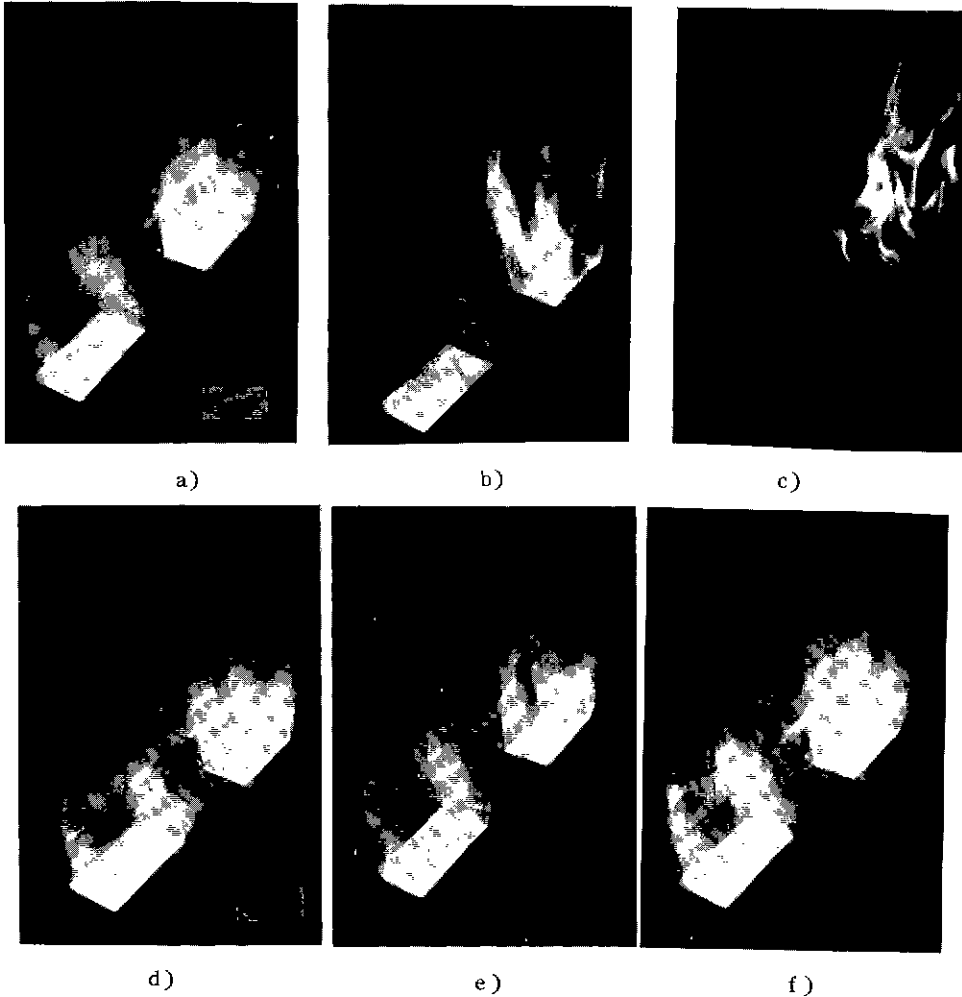


Fig. 3. Photographs of flames in 0.3 m<sup>3</sup> kiln with primary air opening  
 a) 100 %, b) 80 %, c) 60 %, d) 40 % e) 20 %, f) 0 %

값이다. 이때 2차공기량은 1차공기량이 줄어들수록 늘어났는데 이는 두 화염 중 앞의 화염에서 공급되는 공기량과 또 사진촬영을 위해 가마의 기밀이 제대로 안 되어서 2차공기량이 증가한 것의 영향도 나타났다고 생각된다.

Fig. 2에서 (a) ~ (e)까지는 혼합가스 유속을 6.4 ~ 10.4 cm/s (at Room Temp.)로 변화시켰으며 화염의 길이는 20 ~ 30 cm 사이의 일정한 길이를 유지하였다. 또 이 경우의 Table 1에서  $N_{Re}$ 의 변화를 보면 550 ~ 900으로 낮은  $N_{Re}$  범위에서 turbulence가 되었다고 할 수 있는데 이는 조<sup>12)</sup> 등의 연구에서 밝힌 바와 같이 화염이 버너에서 나올 때 viscous, damping-force

가 작용한 boundary가 없으므로 turbulent가 된 것이다. turbulent에 대한 또 하나의 현상은 Fig. 2의 화염이 두 세 갈래로 갈라져 있음을 관찰할 수 있다. 이는 연료의 연소한계를 나타내 주는 것으로 미약한 turbulent 화염일수록 화염의 갈라짐이 많아지고 커진다고 하였다.<sup>13)</sup>

이러한 turbulent 화염은 연소속도가 laminar 화염과 달리 유속에 비례하여 증가함으로써<sup>13)</sup> 화염의 blow off나 flash back 현상을 막아주며 안정한 상태가 되어 공업적으로 많이 사용된다.

또 (f)는 1차공기를 완전히 차단한 diffusion flame이다. 이 경우는 연소가 연료가스와 공기가 stoichio-

metric 비가 되는 지점에서 일어나는데 자연대류의 영향으로 화염의 fluctuation이 상당히 심하게 된다. 따라서 화염의 길이를 정하는 것은 별로 의미가 없으나 앞의 결과와 비교의 의미로서 나타내었으며 이때 화염의 길이는 약 50 cm 정도이었다.

다음에 가마안의 밀폐된 상태의 화염을 보면 Fig. 3과 같다. 이들은 거의 Fig. 2와 같은 경향을 보이며 단지 화염의 길이가 약간 길어졌다. 또 (e)는 Fig. 2의 (e)에 비하여 상당히 길어진 것을 알 수 있는데 이는 화염의 단위면적당 공급될 수 있는 공기량이 줄어들어 stoichiometric 비가 되는 지점이 넓어짐을 의미하며 따라서 화염의 길이가 길어졌다고 생각된다.

즉 기존의 turbulent diffusion flame model은 가정이 연료와 공기의 확산계수가 서로 같다<sup>14)</sup>는 것이므로 화염의 길이는 결국 turbulent의 혼합이 turbulent 확산계수에 비례하게 되며 혼합되는 공기의 속도가 일정하게 되면 연소가 일어나는 화염계면은 거의 바뀌지 않으므로 화염의 길이는 일정하다.<sup>15)</sup> 따라서 본 실험의 turbulent 화염은 가마안에서는 대기중일 때와 비교하여 공기의 공급이 부족하며 따라서 화염이 길어졌다고 생각할 수 있다. 이의 근거로서 Fig. 3의 f) 보면 1차공기를 완전히 차단한 상태의 화염은 2차공기의 공급으로 연소가 일어나야 하므로 화염이 2차공기가 공급되는 부위, 즉 사진의 앞부분은 짧고 가마벽쪽은 길어짐을 관찰할 수 있으며 이 사실은 위의 이론을 잘 뒷받침해주는 결과이다.

III-2. 온도별 가마내의 화염지동

앞의 실험은 가마안의 온도가 600°C인 저온에서 촬영된 것이므로, 이 화염상태가 그대로 고온까지 유지되는 것이 아니고 前報<sup>10)</sup>에서 밝힌대로 화염은 질어져서 천장 arch를 타고 돌게 된다. 그러므로 화염이 어떻게 길어지나를 알기 위하여 각 100°C의 온도간격으로 간접법에 의하여 연소가스 분석과 가마내의 온도분포를 측정한 결과 화염이 고온으로 갈수록 길어짐을 알 수 있었으며 그 대표적인 예를 Fig. 4, 5에 실었다. Fig. 4, Fig. 5 두 그림의 측정조건은 가스량 19.2ℓ/min, 공기비 1.15 1차공기 공기량 365.6ℓ/min, 2차공기량 159.9ℓ/min이며, 배기가스 분석치는 O<sub>2</sub> : 3%, CO<sub>2</sub> : 12%, CO : 0% 이었다. Fig. 4는 가마중심부에서 바닥으로부터 높이 330 mm 가 되는 지점의 온도가 1000°C, Fig. 5는 1200°C일 때의 온도 및 가스의 농도분포를 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 살펴보면 화염은 버너타일 출구에서의 거리 X = 395 mm까지 존재하며 가마내의 온도차는 100°C 내외가 되고 있다. 또 Fig. 5는 화염이 X =

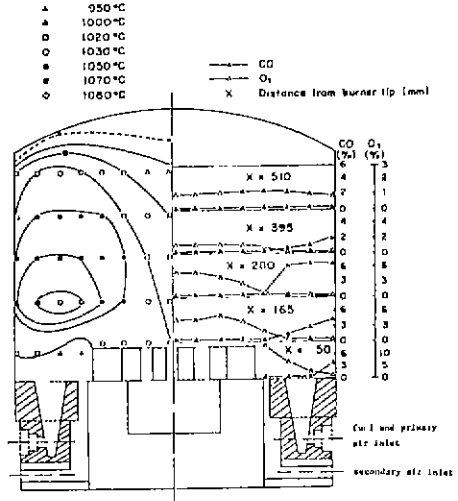


Fig. 4. Diagrams of temperature and concentration of combustion gas at 1000°C with m = 1.15.

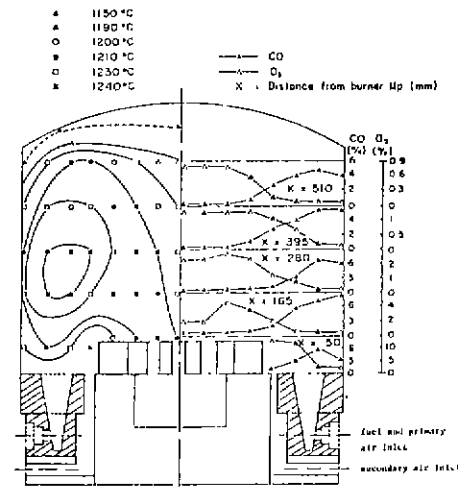


Fig. 5. Diagrams of temperature and concentration of combustion gas at 1200°C with m = 1.15.

510 mm에서 존재함을 알 수 있으며 50°C 내외의 온도분포를 갖고있다. 이 두 그림에서의 화염은 온도가 높을수록 길어진다는 것을 보여주고 있다. 그러나 앞에서 설명한 바에 의하면 화염의 길이는 turbulent 확산계수에 비례한다. 따라서 온도가 올라가면 turbulent 확산계수가 커져서 혼합이 빨라지므로 화염이 짧아져야 한다. 이와 같이 상반된 결과는 다음과 같이 유추할 수 있다. 가마내의 온도차가 1000°C인 경우는 약 100°C이므로 연소가스의 밀도차이와 점도차이가 크

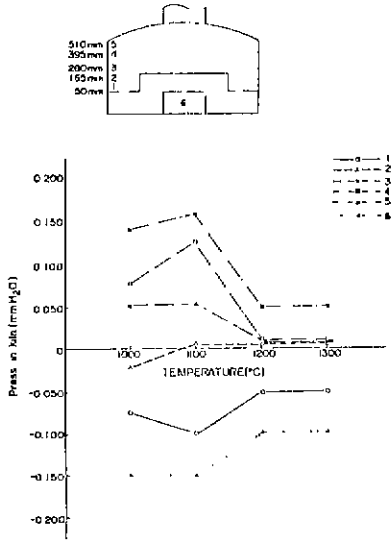


Fig. 6. Diagram of measuring temperature and pressure in kiln at various positions.

게 된다. 따라서 가마내의 압력차이가 생겨 천장 arch 부근에 강한 압력이 걸리게 되어 화염이 천장 부근까지 못간다고 생각할 수 있다. 반면에 1200°C의 경우는 온도차가 50°C 이내이므로 위 경우보다 적은 압력 차이가 생겨 천장 arch 부근에 압력이 약해져서 화염은 천장까지 닿게된다고 생각할 수 있으며 이는 다음절에서 가마압을 측정 한 결과와 일치한다.

III - 3. 온도별 가마압 분포

고온에서 가마압분포를 알게 되면 가마의 효율적인 조

작과 성능개선에 매우 큰 도움이 된다.

유체공학에서는 유로의 기하학적 형상에 관계없이 유체가 가득차 있으면 이 流路를 관 또는 pipe로 취급하며, 본 報文에서는 앞으로 管路라고 부르기로 한다.

가마안에서 화염은 임의의 管路를 가지고 통과하며 따라서 이 관로주위와 분기점에서 유동저항에 의한 압강화와 경계층 분리가 일어나게 된다. 따라서 유동저항을 적절히 조절하고 경계층 분리로 인하여 생기는 stagnation pocket을 없애는 것이 가마의 온도분포와 분위기 조절에 매우 중요한 인자가 된다. 특히 도열식 단가마는 화염이 2개의 管路를 가지게 되므로 더욱 중요한 것이다.

압력은 동압과 정압이 있으며 Bernoulli 정리에 의하면 밀도가 일정하다고 가정할 때 깊은 높이에서 두 압력의 합은 일정하게 된다. 본 실험에서 측정되어지는 가마안은 정압이고, 또 측정되는 값이 상대압력이므로 정압의 대소에 의하여 正(+)압과 負(-)압이 된다. 가마안 일정한 높이에서의 정압은 화염의 속도가 원인이 되는 동압에 의해 달라진다. 즉 화염이 빠른 속도를 가지면 정압은 작아지고 속도가 저의 없으면 정압은 커진다.

Fig. 6은 1000°C~1300°C 범위에서 각 100°C 간격으로 가마압 분포를 그린 것이다. 이 그림의 측정조건은 앞절의 Fig. 4, 5와 같으며, 여기서 중요한 것은 위의 설명에서의 같이 화염의 속도에 의해 정압이 정해지므로 input 조건을 同一하게 하는 것이다. 또 가마압 측정은 연소가스 측정때와 같이 높이가 서로 다른 가마벽의 다섯위치에 구멍을 뚫고 가마안으로 50mm 간격으로 350mm 까지 측정하였다. 350mm는가



Fig. 7. Photographs of model flame.

마의 중심이 되는 위치이다. 같은 높이를 갖는 가마안은 일정하였으며, 부력의 효과가 약 0.66 ~ 0.70(mm H<sub>2</sub>O) 정도로 측정 점압의 2 배 이상이 되므로 같은 높이의 위치별 가마안의 미세한 변화는 측정할 수가 없었다. 따라서 Fig. 6 의 1~5 높이에서의 가마안 측정 위치는 가마내벽에서 측정한 값이다.

Fig. 6에서 보면 5의 위치 가마안은 1000°C~1100°C 사이에서 증가하다가 1200°C에서 감소하여 1300°C에서는 일정한 값을 갖는다. 이 이유는 앞절에서 설명한 바와 같이 온도차에 의한 밀도 및 점도차이가 발생하기 때문이다. 따라서 1200°C 이상에서 가마내의 온도분포가 균일할수록 가마안분포도 거의 일정한 값을 갖게 된다. 1의 위치의 가마안은 6의 위치의 굴뚝 통풍력에 직접적인 영향을 제일 많이 받게 된다. 즉 굴뚝의 통풍력이 강해지면 2차공기의 유입속도가 커지게 되어 강한 좌압이 된다. 또 5위치는 6과의 영향이 적은 편이기는 하나 만일 일정한 온도분포를 갖는 상태에서 굴뚝의 통풍력을 강하게 하면 2차공기가 많이 들어오게 되고 따라서 前報<sup>10)</sup>에서 밝힌 바와 같이 화염은 짧아지게 되며 온도분포가 더욱 심한 차이를 갖게 되어 결국 5의 가마안은 강한 좌압을 갖게 된다.

여기서 측정 가마안은 상대압력이므로 대기압에 비하여 10<sup>-6</sup> bar 정도로 ± 0.20 mm H<sub>2</sub>O의 범위에 있는 매우 작은 값이다. 따라서 data들에 대한 신뢰는 낮으나 대체적인 경향은 맞다고 생각한다.

III - 4. Baffle plate에 의한 화염의 거동

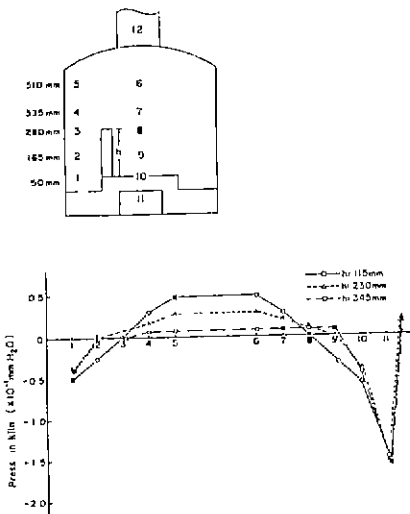


Fig. 8. Diagram of measuring position and pressure in kiln with baffle plate at 1300°C.

前報<sup>10)</sup>의 Fig. 7~9에서 공기비의 변화에 상관없이 가마바닥이 가마천장 온도보다 높음을 관찰할 수 있었다. 이는 화염이 온도가 올라감에 따라 점점 길어져서 천장 arch를 타고 도는 주된 관로가 있고 그 중간 중간에서 가마바닥으로 빨려 들어간다고 생각할 수 있다. 고온의 화염은 직접 관찰할 수가 없으므로 저온의 화염상태에서 1차공기를 줄이면 화염이 길어지므로(Fig. 3) 1차공기를 완전히 차단한 diffusion flame으로 1300°C의 화염의 상태를 예측하여 보면 Fig. 7과 같다. Fig. 7의 a)는 1300°C 화염이라고 예측되는 diffusion flame이며 여기서 앞의 가정과 같이 화염이 가마바닥으로 중간에서 빨려 들어가는 현상을 관찰할 수 있다. b)는 a)의 상태에서 화염이 빨려 들어가는 것을 close-up 시킨 사진이다.

따라서 Fig. 7에서와 같은 화염의 거동으로 가마바닥의 온도가 더 높게 되며 이를 막아주면 더욱 균일한 온도분포를 얻을 수 있다고 생각하여 기존의 도염식 가스가마에는 없는 baffle plate를 115, 230, 345mm 높이로 각기 설치하여 가마안 분포와 온도분포 및 화염의 거동을 살펴 보았다.

앞절의 가마안에서 설명한 바와 같이 화염은 임의의 관로를 갖는다. 따라서 화염의 관로를 만들어주어서 가마안분포를 측정하면 가마안의 압력차이가 어떻게 변하는가를 알 수 있으며 또한 연소가스의 분석 및 온도분포 측정으로 가마의 성능을 효율적으로 증진시킬 수 있다.

Fig. 8은 baffle plate를 설치하였을 때의 가마안분포이며, 측정조건은 앞의 Fig. 6과 같으며 자기 1300

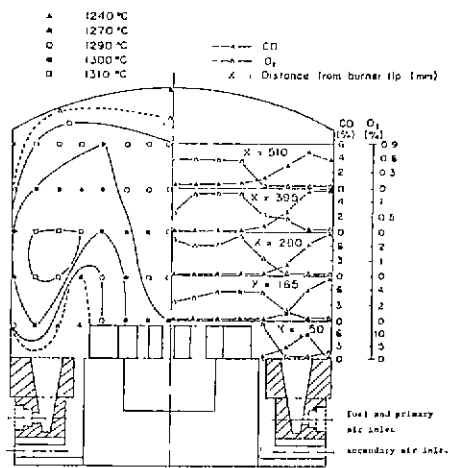


Fig. 9. Concentration and temperature of combustion gas at 1300°C without baffle plate.

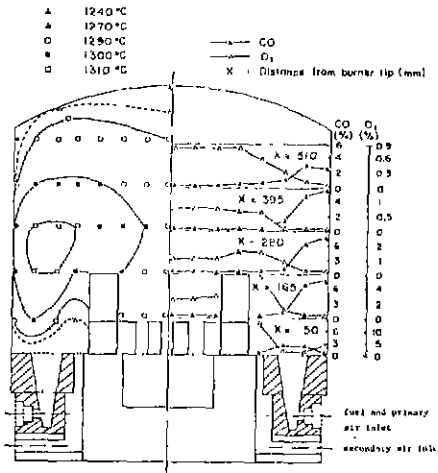


Fig. 10. Concentration and temperature of combustion gas at 1300°C with 115mm baffle plate.

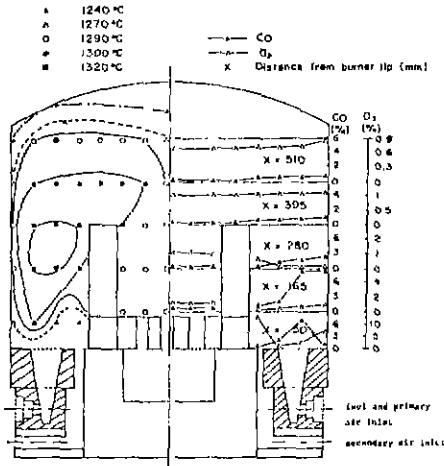


Fig. 11. Concentration and temperature of combustion gas at 1300°C with 230mm baffle plate.

°C에서 1시간 유지시킨 후 측정하였다.

가마압분포는 세 경우 다 같은 경향을 보이며 115m/m에서는 천장 arch 부근의 가마압이 감소하지 않았고 115m/m 이상에서는 떨어지는 경향을 보이며, 이는 마찰저항과 와류저항이 증가하기 때문인 것으로 추정된다.

또한 5와 6의 위치에서는 화염이 천장 arch를 타고 들 때의 마찰저항으로 인하여 가마압이 감소하므로 같은 결과를 보여준다. 한편 6에서 10으로 내려올 때는 측정된 정압은 점점 낮아지고 따라서 동압은 커지게 됨을 나타낸다. 즉 곧바로 빨려 나가는 연소가스의 속도가 빨라짐을 알 수 있다.

그러나 이때 화염은 역부력을 받으므로 2~4의 로압보다는 큰 값을 갖게 될 것이다. 寺田<sup>16)</sup> 등에 의하면 도염식 가마에서는 recirculation이 생겨 가마안의 온도 분포에 큰 도움이 된다고 하였으나 본 가마의 크기가 작아서 화염의 유속 변화가 작기 때문에 압력차이가 매우 미세하므로 확인할 수가 없었다.

그러나 5와 6의 압력이 baffle plate가 높아질수록 낮아지는 결과로서 화염의 속도는 점점 더 빨라짐을 알 수 있으며 따라서 이 부근의 관로에서의 경제층 분리현상이 더욱 심하게 된다고 생각할 수 있다. 따라서 천장 arch에서 생기는 stagnation은 baffle plate가 높을수록 커진다는 것을 알 수 있으며 이는 Fig. 9~11에서 확인할 수 있다.

Fig. 9~11은 Fig. 8과 같은 조건에서 온도분포와 연소가스분석을 한 그림이다. Fig. 10은 baffle plate가 없는 Fig. 9와 거의 비슷한 경향을 보여주고 있다. 즉 온도분포도 균일하며 stagnation이 존재하는 부위도 비슷하다고 볼 수 있다. 그리고 최고온도 부위도 같게 나타났다. 그러나 Fig. 8의 연소가스 흡입구의 온도가 Fig. 9보다 높은 것을 알 수 있다. 그러므로 baffle plate를 설치함으로써 새로운 管路를 만들어서 Fig. 7과 같은 화염이 중간에서 빨려들어가는 현상을 방지해 주는 것이 가마온도 분포에 도움을 준다.

한편 Fig. 11은 온도분포가 불량하고 특히 1290°C 등온선이 천장 arch에서 밑으로 내려온 것을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 8의 결과와 일치하는 것으로 baffle plate 부근에서 마찰저항과 turbulent 저항으로 연소속도가 증가하여 화염이 짧아졌다고 말할 수 있다. 그러므로 가마압이 감소하고 연소가스 속도가 빨라져서 stagnation 부위가 커졌음을 알 수 있다. 또 화염의 管路에 유동저항이 발생하면 연소속도의 증진으로 화염현상<sup>16)</sup>이 발생하게 되는데 본 실험에서도 이를 관찰할 수 있었다. 또 이 현상은 연소가스 분석에서도 확인되는데, CO 가스는 baffle plate 부근까지만 존재하고 baffle plate를 넘어서면 산소농도 분포가 거의 일정하다는 것이다.

이상의 실험 결과에서 baffle plate가 115mm일 때는 stagnation 부위도 적고 특히 연소가스 흡입구의 과열현상도 없어서 가마안의 온도분포가 10°C 내외의 차로 아주 좋은 결과를 보였으므로 최적의 조건이었다고 사료된다. 또한 큰 규모의 가마에서도 baffle plate의 설치가 중요하다고 생각되며 그 높이는 천장 arch 부위의 가마압이 과히 변하지 않을 정도가 좋다고 생각된다.



IV. 결 론

0.3m<sup>3</sup> 도염식 가스가마에서 1차공기량이 최대 이동 공기량의 80% 공급되는 부분에 혼합 버너로서 승온한 가마의 온도별 가마압 및 화염의 거동과 baffle plate를 설치하여 가마성능 개선을 한 결과는 다음과 같다.

1. 버너의 화염은 주로 *turbulent diffusion flame* 라 생각된다.
  2. 가마의 온도가 상승하면 밀도와 점도에 의한 압력차가 작아져서 화염의 길이가 길어진다.
  3. 가마내의 온도가 1200°C 이상이 되면 가마내의 온도분포 및 가마압분포가 균일하게 된다.
  4. baffle plate가 높아질수록 천장부위의 가마압은 감소하고 따라서 stagnation 영역이 커져서 온도분포가 불량해진다.
  5. baffle plate가 115m/m 이상이 되며 마찰저항과 turbulent 저항의 영향으로 연소속도가 증가하여 과열 현상이 나타난다.
- 이상의 결론을 종합하여 보면 0.3m<sup>3</sup> 도염식 가스 가마는 가마의 천장부위에 stagnation이 생기며 연소가스 흡입구의 과열현상이 발생하는데 이를 baffle plate설치로 온도분포를 균일하게 할 수 있으며 그 높이는 천장 arch 부근의 가마압이 과히 변하지 않을 정도가 좋다고 추정된다.

References

1. 寺田 清, 苦松 隆: "粘土成品 焼成用倒焰窯の設計と, 溫度分布の改良に 關する 豫備實驗", 窯爐 および 爐材, p 65 ~ 71, 學振 (Japan).
2. 朱木 榮, "工業窯爐", 共立出版 輯 (1953)
3. G. Grjmailo, "Flow of Gases in Furnaces", John Wiley (1926)
4. M.W. Thring, M.P. Nowby, "Combustion Length of Enclosed Turbulent Jet Flame", 4th Symposium on Combustion, 789-796

- (1953).
5. Rudolf Gunther, "Gundlenger der Feuerungsstechnic", Karlsruhe (1964).
6. D. Hutchinson, "Looking into Combustion", Phys. Bull., Vol. 33, 128-131 (1982).
7. S.E. Najm, A.C. Styles & N. Syred, "Flame Movement Mechanisms & Characteristics of Gas-Fired Cyclone Combustors", 18th Symposium on Combustion, 1949-1957 (1981).
8. A.D. Gosman, F.C. Lockwood & A.P. Salooja, "The Prediction of Cylindrical Furnaces Gaseous Fuel with Premixed & Diffusion Burners", 17th Symposium on Combustion, 747-760 (1980).
9. B. Lenze, "The Influence of Recirculation and Excess Air on Enclosed Turbulent Diffusion Flames", 19th Symposium on Combustion, 565-79 (1982).
10. 이 기강, 김 환, 임 응극, "도염식 가스 가마의 설계 (I)", 요업학회지, 23 (6) (77), p. 7 ~ 14 (1986)
11. 功 刀 雅長: "窯爐", 新化學工學講座 III - 6, 日 刊工業 (1957)
12. 구자예, 조 경국, "페이지 음속제를 이용한 스텝 버너의 예혼 합기 연소에서 가스유속 측정", 한국 항공 우주 학회지, 11 (1), p 15 ~ 24 (1983)
13. Louis von Elbe, "Combustion, Flame & Explosion of Gas", Academic Press (1961).
14. Libby, P.A. and Williams, F.A., "Some Implications of Recent Theoretical Studies in Turbulent Combustion", I. of AIAA, Vol. 19(3), 261-274 (1981).
15. 國井大藏: "爐と燃焼裝置", 化學工學 シリーズ V (1976)
16. 寺田 清: "燃料, 燃焼 および 窯爐", Ceramics, 5(8), p 693 ~ 699 (1970) Japan.