한국동력기계공학회지 제6권 제3호 pp.17~23 2002년 8월

동축선회 확산연소기의 1차 및 보조공기유량 변화에 따른 연소배출특성

Combustion Characteristics in Various Primary and Auxiliary Air Flux Conditions at a Coaxial Swirling Diffusion Combustor

이 용 후 · 오 세 원 · 배 대 석 · 이 도 형
Y. S. Lee, S. W. Oh, D. S. Bae, D. H. Lee

Key Words : Primary Air(1차공기), Auxiliary Air(보조공기), Coaxial Swirling Diffusion Combustor (동축선회 확산연소기), Flame Structure(화염구조), Combustion Emission Characteristics(연소배기특성)

Abstract : The purpose of this study is to investigate the combustion emission characteristics changing auxiliary air injection in combustion field of coaxial swirling diffusion combustor. For this purpose, mean temperature, CO, CO2, O2 and HC concentration were measured by changing excess air ratio and auxiliary air injection. As a result of this study, mean temperature, CO2 emission were increased and CO emission decreased by increasing auxiliary air. Therefore, this paper showed the auxiliary air injection effected strongly on flame structure and combustion emission characteristics.

1. 서론

최근 국내외 동력기계분야에서 연소기는 에너지 절약과 연소배출물 저감을 실현할 수 있는 고성능·저공해·연소제어의 고도화 기술 개발 등이 중요한 연구과제로 대두되었다. 한편, 현재 실용 연소기기에 많이 사용되고 있는 확산연소방식은 화염을 크게 할 수 있으며, 조작범위가 넓고 역화 등의 위험도가 낮은 장점을 가지고 있다.

또한 선회류는 연소속도를 지배하는 난류강도 증대 및 체류시간을 제어하고, 화염구조, 화염의안정성 및 공해물질의 생성을 억제하고 연료와 공기의 혼합을 촉진하는 것으로 알려져 있다[1,2].

그러나 이런 종래의 많은 연구에도 불구하고 보조공기 주입변화에 따른 연소장의 화염구조 및 연소배출특성 등에 대한 정보가 부족한 실정이다.

즉, 보조공기를 주입할 때 그 양의 많고 적음에 따라 연소효율을 크게 할 수 있거나 혹은 화염면을 냉각(quenching)시키는 등 오히려 연소효율을 나쁘게 할 수도 있다. 따라서 에너지 절약과 저공해성 등을 고려한 최적의 연소기 설계를 위해서는 보조공기의 주입량이 연소장에 미치는 배출특성에 대한 체계적인 연구가 무엇보다 필요한 실정이다.

본 연구는 선회류를 동반하는 확산형 가스버너에서 주류방향의 1차공기유량변화와 보조공기 주입에 따른 평균온도 및 각종화학종농도 측정을 통한 연소상태를 분석한 것을 토대로[3,4], 보조공기 주입변화가 연소배출에 미치는 영향을 고찰하였다.

접수일 : 2002년 5월 20일
이용후, 오세원 : 부경대학교 대학원
이도형, 배대석 : 부경대학교 기계공학부

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 확산형 가스버너의 실험장치의 구성을 Fig. 1에 나타내었다. 주류방향공기는 송풍기(2.24 kw)에서 공급되며 압력맥동을 최소화하기 위해 서지탱크를 거친 후, 층류유량계(SOKKEN, LFE 100B)에 의해 검증된 오리피스의 수두를 조절밸브로 조절하여 필요 유량을 공급한다.

연료는 상용 LPG로서 압력용기에서 공급되며, 압

력조절기와 가스유량계(DC 2, SINAGAWA)를 거쳐 연소기에 공급한다. 보조공기 주입은 주류방향 유량 주입과 같은 방법으로 별도의 송풍기(2.24 kw)에서 서지탱크와 오리피스를 거쳐 조절밸브로 조절하여 필요 유량을 연소기에 공급한다.

Fig. 2는 본 연구에 사용된 확산형 가스버너의 상세도이다. 전체 연소기 길이는 450 mm이며, 연소기는 직경 154 mm 케이싱과 직경 102 mm 라이너로 구분된다. 연료는 노즐내경 7 mm의 분공직경 1.0 mm인 분공 8개를 통하여 연소기내에서 분사각 45°로 분사되도록 하였다.

주류방향공기는 내경 52 mm의 내측원관으로 유입되고 주류방향 45°의 선회각을 가지는 선회익을 설치하여 공기에 선회를 주어 연료와 공기의 혼합이 촉진되도록 하였다.

보조공기 유입은 케이싱 둘레에 연소기 전체길이에서 75 mm위치를 중심으로 하는 직경 20 mm의 보조 공기 주입구를 180°간격으로 2개씩 배열하고, 보조영역의 공기혼합을 촉진하기 위해 라이너 둘레에 연소기 전체길이 방향으로 각각 50 mm, 100 mm 위치를 중심으로 하는 직경 10 mm의 보조공기 주입구를 45°간격으로 각각 8개씩 배열하여 보조공기가 주입되도록 제작하였다. 평균온도 측정에는 세선 직경 0.5 mm, Pt/Pt Rh 13%의 수냉식 열전대를 사용하였으며, 복사나 열전도에 의한 열손실은 고려하지 않았다. 그리고 각종 화학종 농도 측정은 비분산 적외선 분석(NDIR)방식을 이용한 가스농도분석기를 사용하여 측정하였다.

가스 샘플링 프로브는 흡입직경 1 mm에서 2 mm로 돌연확대시켜, 연소반응이 동결되는 것으로 보고 사용하였다[5]. 샘플링 된 연소가스는 3중 수냉 프로브를 통과하면서 수증기가 응축되어 분리된 다음 가스분석기로 보내져서 분석된다.

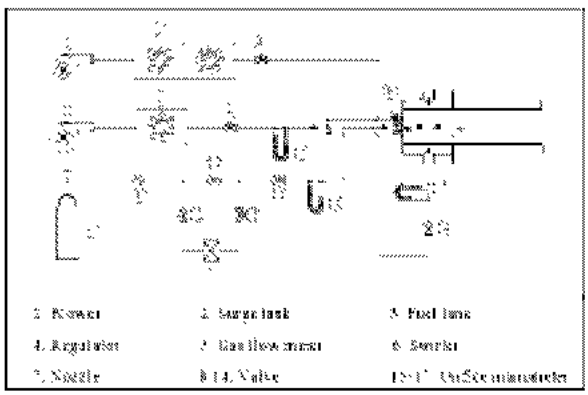


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

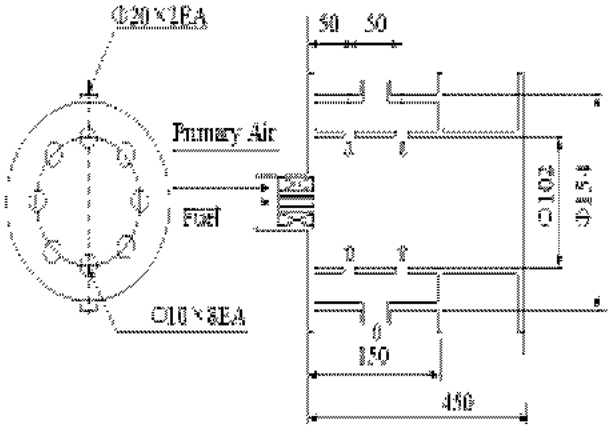


Fig. 2 Detail of model gas burner

2.2 실험조건

본 연구의 실험조건을 Table 1에 나타내었다. 여기서 연료는 0.7 kgf/cm^{2}의 일정 압력하에서 연료유량 0.25 ℓ/sec로 일정하게 하였다. 처음에 보조공기를 주입하지 않고 1차공기유량을 22.94 ℓ/sec, 29.62 ℓ/sec 및 36.98 ℓ/sec로 했을 때(실험조건 A, B, C)와, 여기에 보조공기유량을 각각 1.56 ℓ/sec(실험조건 A1, B1, C1) 및 1.75 ℓ/sec(실험조건 A2, B2, C2)를 주입했을 때의 온도 및 각종 농도를 측정하였다. 참고로, 본 연구에서는 연소기 중심을 원점으로 하여 반경방향을 R, 축방향을 Z로 정의하여 실험을 수행하였다.

Table 1 Experimental conditions

Condition		Excess air ratio(α) of primary air	Excess air ratio(α) of primary and secondary air	Fuel (ℓ/s)
Primary air (ℓ/s)	Primary and secondary air			
A (22.94)	A1	α 3.85	α 4.11	0.25
	A2		α 4.15	
B (29.26)	B1	α 4.98	α 5.23	
	B2		α 5.24	
C (36.98)	C1	α 6.25	α 6.46	
	C2		α 6.49	

3. 결과 및 고찰

3.1 평균온도 및 산소농도 분포

Fig. 3은 1차 공기만의 주입 즉, 실험조건 A, B, C

의 변화에 따른 평균온도분포를 등온선으로 나타낸 것이다. 대체적으로 공기과잉율이 클수록 화염의 길이는 짧아지고 반경방향으로 커지며 고온영역이 넓어지는 것으로 나타났다. 또한, 출구측 온도분포는 연소실 중앙부에서는 고온이고, 벽면부에서는 저온이 형성되는데 이는 지나친 과잉공기에 의한 영향과 연소반응에 참여하지 않는 공기의 영향으로 저온이 형성되는 것으로 생각된다.

Fig. 4는 1차공기에 보조공기를 1.56 ℓ/sec로 주입하였을 경우 즉, 실험조건 A1, B1, C1의 평균온도분포를 등온선으로 나타낸 것이다. 보조공기 주입으로 인한 B1은 화염온도는 낮아지지만 화염길이가 더욱더 짧아지며 반경방향으로 고온영역이 더욱 넓어지며 화염이 안정되는 것으로 나타났다.

그러나 C1에서는 보조공기 주입이 과다 공기과잉율로 작용하여 화염이 불안정하게 형성되는 것으로 나타났다. 또한 B1, C1에서는 보조공기 주입 위치인 축방향 75 mm 전후로 화염길이가 형성되는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 1차공기에 보조공기를 1.75 ℓ/sec로 변화하여 주입하였을 경우 즉, 실험조건 A2, B2, C2의 평균온도분포를 등온선으로 나타낸 것이다. 보조공기를 1.56 ℓ/sec로 주입한 실험조건 A1, B1, C1과 비교하면 평균온도 분포는 높고, 산소농도도 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

이것은 실험조건 A2, B2, C2 가 상대적으로 연료와 공기의 혼합을 더욱 촉진하는 것으로 생각된다. 그러나 Fig. 6에서 알 수 있듯이, 주류방향 실험조건 A, B, C와 비교하면 보조공기 주입시 전체 반응이 종결된 후류부분 온도분포는 낮게 나타났다.

이것은 보조공기가 과잉공기로 인한 냉각효과에 의한 것으로 생각된다. 따라서 보조공기의 공기과잉율 결정은 화염형상에 아주 중요한 역할을 하고, 화염의 안정화에 크게 영향을 미치는 것임을 알 수 있다.

Fig. 6은 1차공기와 보조공기 유량변화가 연소장에 미치는 영향을 살펴보기 위해 반응이 끝난 후류 단면인 Z 200 mm에서의 각각의 실험조건에 관하여 평균온도와 산소농도분포를 나타낸 것이다. 보조공기를 주입하지 않은 경우(a)와 주입한 경우(b)를 비교해 보면, 평균온도는 낮으나, 산소농도는 높게 나타났다.

이것은 연소반응에 참여하지 않는 공기에 의한 영향으로 생각된다. 보조공기 유량을 변화시켜 주입한 (b), (c)에서는, 보조공기를 1.76 ℓ/sec로 증가시킨 (c)의 온도분포가 고온을 형성하고 산소농도가 높은 것으로 보아, (b)보다 연료와 공기의 혼합이 활발함을 알 수 있다.

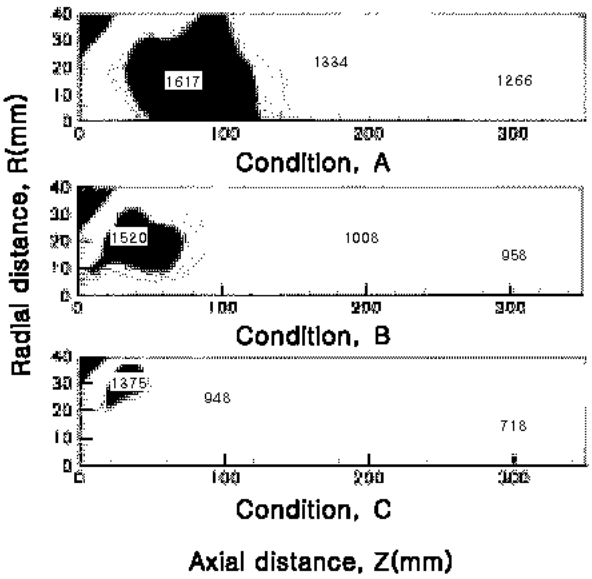


Fig. 3 Isothermal lines for A, B, C [unit: K]

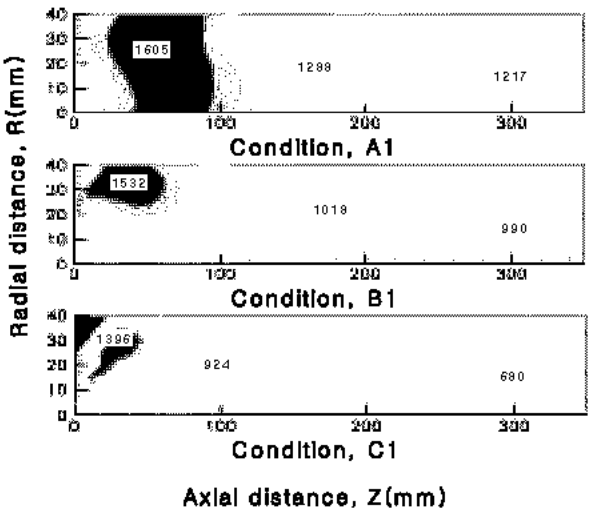


Fig. 4 Isothermal lines for A1, B1, C1 [unit: K]

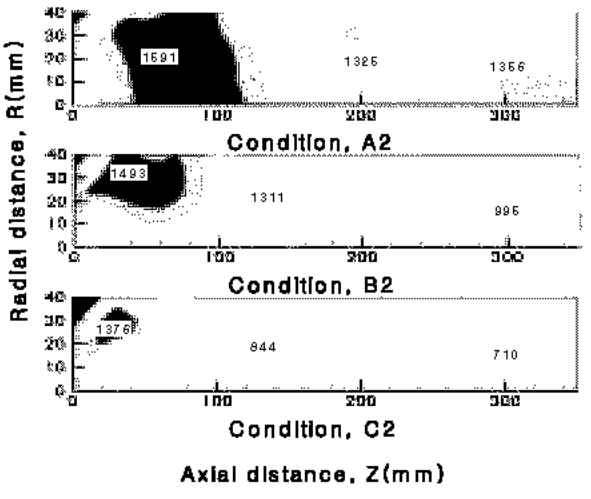
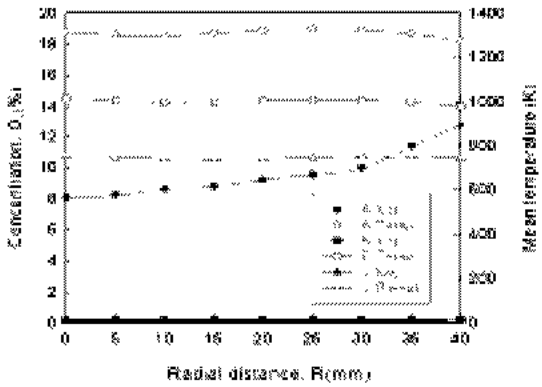


Fig. 5 Isothermal lines for A2, B2, C2 [unit: K]

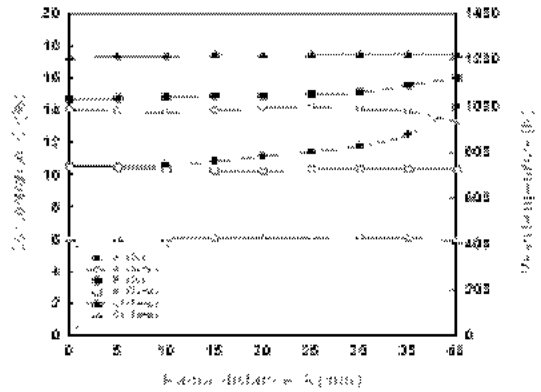
3.2 CO 및 CO_2 농도분포

Fig. 7은 1차공기에 보조공기를 1.56 ℓ/sec로 주입하였을 경우 즉, 실험조건 A1, B1, C1의 CO 및 CO_2 분포를 나타낸 것이다.

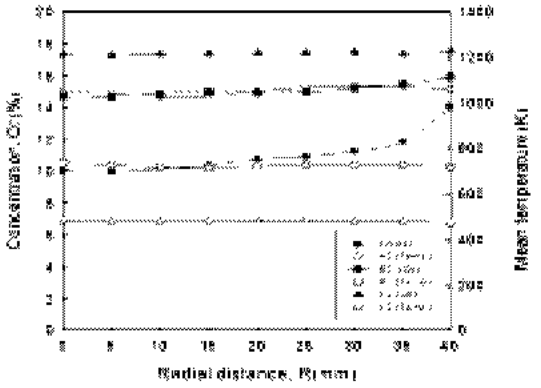
1차공기만 주입하였을 경우 공기과잉율 변화에 따른 CO 및 CO_2 분포는 전체적으로 공기과잉율이 증가할수록 CO배출은 감소하고 CO_2 배출은 Z 120 mm 단면이후 거의 일정하게 배출되는 것을 확인하였다이에 CO가 증가하는 것으로 나타났는데 보조공기 주입으로 인한 연소기 내의 유동장을 흐트려 증가하는 것으로 생각된다.



(a) Condition A, B, C

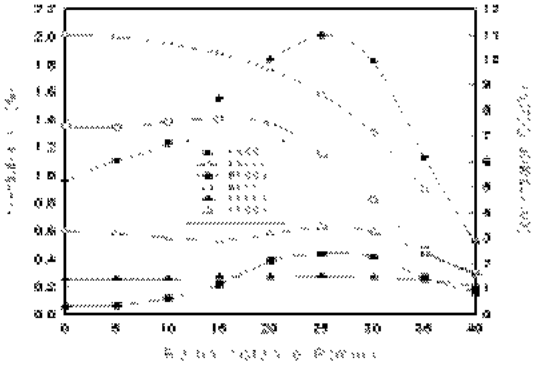


(b) Condition A1, B1, C1

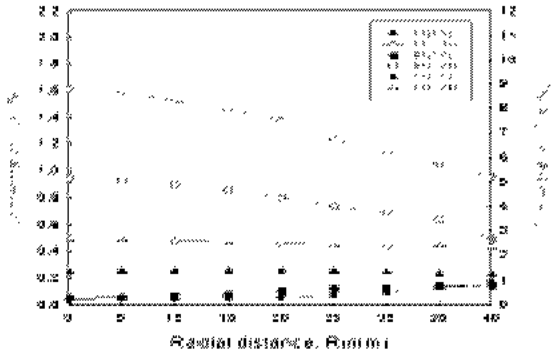


(c) Condition A2, B2, C2

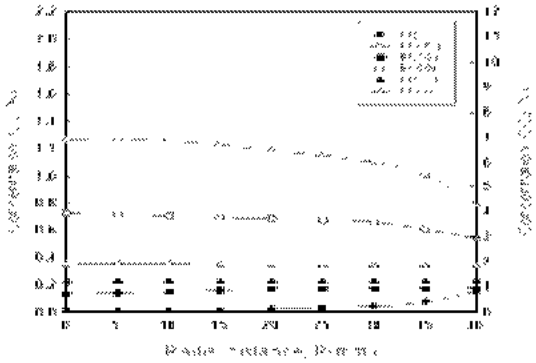
Fig. 6 Distributions of O_2 concentration and mean temperature for various experimental condition(Z 200 mm)



(a) Z-60 mm



(b) Z-120 mm

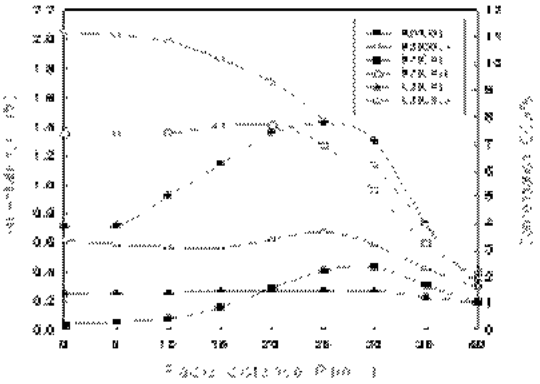


(c) Z-200 mm

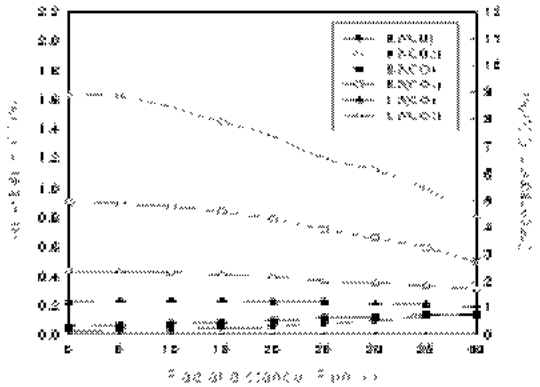
Fig. 7 Distributions of CO, CO_2 concentration for A1, B1, C1

Fig. 8은 1차 공기에 보조공기를 1.76 ℓ/sec로 주입하였을 경우 즉, 실험조건 A2, B2, C2의 CO 및 CO_2를 나타낸 것이다.

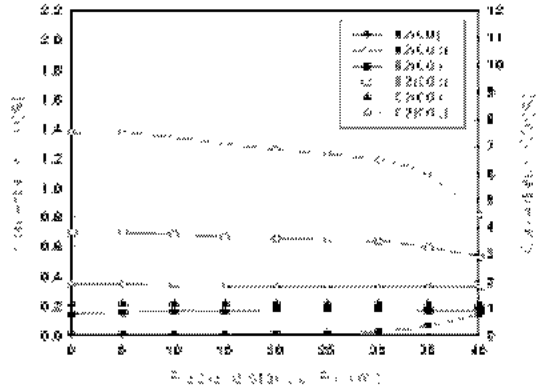
보조공기 주입변화를 고찰한 Fig. 7과 Fig. 8을 비교하면, 전체적으로 CO_2배출은 A2, B2, C2가



(a) Z-60 mm

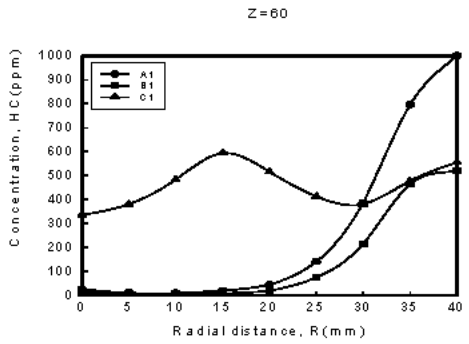


(b) Z-120 mm

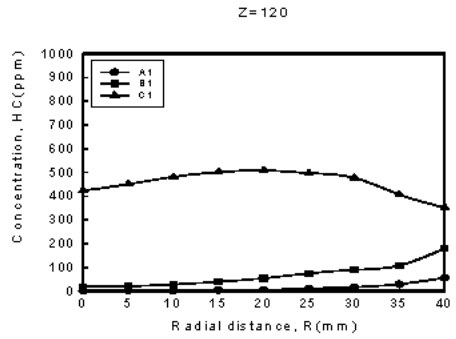


(c) Z-200 mm

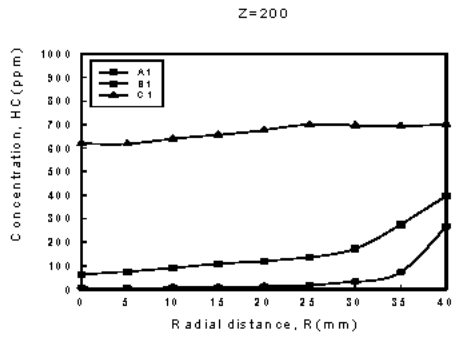
Fig. 8 Distributions of CO, CO_2 concentration for A2, B2 and C2



(a) Z-60 mm



(b) Z-120 mm



(c) Z-200 mm

Fig. 9 Distributions of HC concentration for A1, B1 and C1

A1, B1, C1보다 증가하고 CO배출은 감소하는 것으로 보아 상대적으로 보조공기 1.75 ℓ/sec주입이 1.56 ℓ/sec주입한 것보다 연소상태가 좋은 것으로 나타났다.

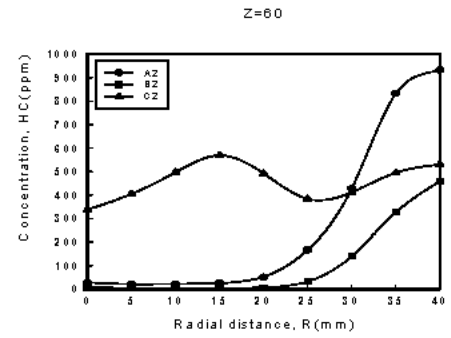
3.3 HC 농도분포

Fig. 9는 1차공기에 보조공기 1.56 ℓ/sec를 주입하였을 경우 즉, 실험조건 A1, B1, C1에서 HC 농도분포를 나타낸 것이다.

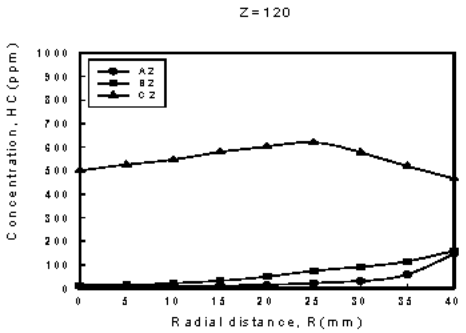
일반적으로 주류방향의 공기과잉율은 증가할수록 HC 농도는 감소한다고 알려져 있으나, 본 실험조건에서는 보조공기를 주입하였을 경우에 오히려 HC 농도가 증가하는 것으로 나타났다.

이것은 보조공기 주입에 의해 유동장이 불안정하여 연소반응을 저해하는 것으로 생각된다.

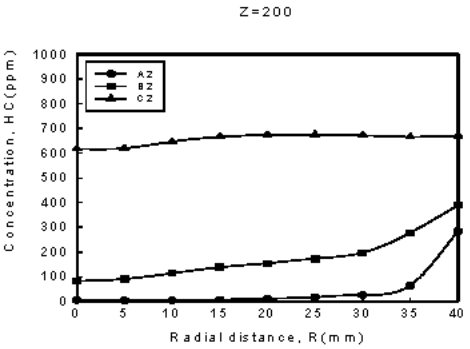
Fig. 10은 1차 공기에 보조공기 1.75 ℓ/sec를 주



(a) Z-60 mm



(b) Z-120 mm



(c) Z-200 mm

Fig. 10 Distributions of HC concentration for A2, B2 and C2

입 하였을 경우 즉, 실험조건 A2, B2, C2에서 HC 농도분포를 나타낸 것이다. Fig. 9와 비교하면 대체로 동일한 현상을 하고 있음을 알 수 있다. 다만, Z 120 mm 단면에서 실험조건 C1보다 C2에서의 농도가 100 ppm 정도 높게 나타났다.

또한, Z 60 mm 단면에서는 두 그림 모두 공기과잉율이 상대적으로 큰 C1 및 C2 조건을 제외하고, 벽면 근방(R 30~40 mm)에서 HC 농도차가 크게 나타났는데, 이는 보조공기 주입이 벽면 근방에서 냉각작용을 크게 하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

동축 선회 확산연소기에서 1차공기 및 보조공기 유량의 변화에 따른 본 실험조건에서의 연소특성을 분석한 결과, 다음과 같은 결론들을 얻었다.

1) 본 실험조건의 경우, 주류방향의 1차공기만을 주입했을 때는 공기과잉율이 증가할수록 화염길이는 짧아지고 연소영역에서 반경반향으로 고온영역이 넓게 형성되었지만, 출구 부근에서는 공기과잉율이 증가할수록 연소반응에 관여하지 않았던 공기의 영향으로 연소실 중앙부와 벽면부의 온도차가 현격하였다.
2) 1차공기과잉율 α 4.98(실험조건 B)인 경우에 보조공기유량을 1.56 ℓ/sec 및 1.75 ℓ/sec로 증가시켜감에 따라, 화염길이에는 큰 차이가 없으나 고온부는 하류측으로 상당히 넓어진 것으로 나타났다. 그러나 α 6.25(실험조건 C)인 경우에는, 특히 보조공기유량 1.56ℓ/sec에서 화염은 상당히 불안정하며(Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5 참조), 보조공기유량이 증가할수록 연소영역 이후에서 온도분포도 매우 낮아짐을 알 수 있었다.
3) 그러나 동일한 1차공기 실험조건에서 보조공기 주입양의 변화에 따른 CO, CO_2, HC 등의 농도 변화에 있어서는, α 3.85(실험조건 A)에서 보조공기유량에 대해 CO의 피크값이 크게 변화하였을 뿐, 그 형상이나 농도값이 거의 비슷하게 나타났다.
   이는 변화가 많을 것으로 예상되는 위치에서의 온도 등 실험값을 나타내지 못한 이유도 있겠으나, 본 실험조건에서 보조공기유량이 1차공기유량에 비하여 크지 않기때문에 농도변화에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다.
4) 위 실험결과에서 나타난 바와 같이, 각각의 1차공기유량에 대한 보조공기유량의 변화에 따라 연소특성이 달라진다.
   따라서 고효율 연소를 위해서는 연소장치에 사용되어지는 공기과잉율에 따른 적정한 보조공기양이 결정되어야 하며, 이를 위해서는 장기간에 걸쳐 더욱 체계적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 부경대학교의 1998년도 기성회 연구비 지원사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. S. Yuasa, "Effects of Swirl on the Stability Diffusion Flames", Combustion and Flame, Vol. 66, pp. 181~192, 1986.
2. K. Aoki, "Study on Cylindrical Combustion Flow with Swirl Flow(3rd Report, Effect of a Contraction Nozzle of Area Ratios and its Location)", JSME(B), Vol. 57, NO. 539, pp. 2301~2306, 1991.
3. 문중권 외 2명 "소각로 이젝트의 배출온도 변동에 따른 유동과 배기특성", 한국해양공학회 논문집, 제14권, 제2호, pp. 60~64, 2000.
4. 김규성, 이우섭 외 2명 "동축 확산 연소기의 화염구조와 NOx 분포에 관한 연구" 한국연소공학회논문집, Vol. 4, NO. 2, pp. 35~41, 1999.
5. 이우섭, 김규성 외 2명 "후연소기에 형성된 난류 확산화염에서의 NO_X 생성에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제13권, 제3(Ⅱ)호, pp. 22~28, 1999.