

## 산소부화와 유인공기를 이용한 벤츄리형 후연소기의 오염물질 저감에 관한 연구

오세원<sup>†</sup> · 박준홍<sup>\*\*</sup> · 이용후<sup>\*\*</sup> · 이진석<sup>\*\*</sup> · 이도형<sup>\*\*\*</sup>

(원고접수일 : 2003년 7월 25일, 심사완료일 : 2003년 8월 27일)

### A Study on the Pollutants Reduction of Venturi Type After-burner by oxygen enrichment and Induced Air

Se-Won Oh<sup>†</sup> · Jun-Hong Park<sup>\*\*</sup> · Yong-Hoo Lee<sup>\*\*</sup> · Jin-Seok Lee<sup>\*\*</sup> · Do-Hyung Lee<sup>\*\*\*</sup>

**Key words** : Venturi Type After-Burner(벤츄리형 후연소기), Flame Holder(보염기), oxygen enrichment(산소부화), Induced Air(유인공기), Pollutants Reduction(오염물질 저감)

#### Abstract

The purpose of this experimental study is to investigate the quantitative pollutants reduction by oxygen enrichment and induced air effect in venturi type after-burner. For this purpose, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, and HC concentrations were measured before and after the after-burner by changing the Oxygen flow rate and area ratio which is defined as the ratio of air inducing area divided by total area. As results of this study, when the area ratio were increased, the emission reduction effect was increased even less oxygen flow rate. In that case when oxygen was injected too little, the pollutants were increased.

#### 1. 서 론

산업화에 따른 연소설비의 사용 증가로 에너지 소비는 더욱 급증하고 있으며, 환경오염문제도 증가되고 있다. 대부분 화석연료에 의존하고 있는 각종 연소기, 소각로, 발전설비 및 선박엔진 등의 사용으로 인하여 연소에 의한 배출가스증가가 대기

환경오염의 원인으로 작용하고 있다. 또한 환경규제 강화에 따른 대기환경보존법에 의해 각 사업장 및 배출시설은 배출허용기준에 부합하기 위한 여러 가지 오염방지시설이 요구되고 있다.<sup>[1],[2]</sup> 따라서, 각종 배출가스의 오염물질저감 기술 및 배기후 처리 시스템에 대한 연구·개발이 지속적으로 이루어져야 한다.<sup>[3]</sup>

<sup>†</sup> 책임저자(부경대학교 기계공학부 대학원) E-mail: bluetime20@hanmail.net. T : 051)620-1415

<sup>\*\*</sup> 부경대학교 기계공학부 대학원

<sup>\*\*\*</sup> 부경대학교 기계공학부(E-mail: leedh@pknu.ac.kr)

본 실험실에서 제작된 벤츨리형 후연소기는 1차 주연소기에서 나온 배기가스를 연료와 산화제(순 산소)를 이용하여 후연소를 시킴으로써 각종 오염 물질의 저감, 배기후처리 시스템의 단순화 및 설치 운전비용의 절감을 도모하였다.<sup>[4]</sup> 하지만 산소 소모량이 많게 되고, 산소공급량 20 l/min 미만에서 소염화 현상이 발생하는 등의 문제점을 보완을 필요로 한다. 기존의 연구에서, 산소를 이용한 벤츨리형 후연소기의 연구를 통해 후연소시 많은 양의 산소가 소모됨을 알 수 있었다.

본 연구에서는 1차 주연소기의 배기덕트에 홀을 만들어 유인공기효과를 도모함으로써, 후연소기에서의 산소공급량 감소효과를 얻는 것을 목표로 한다. 그리고 후연소기에서 유인공기량을 조절할 수 있는 면적비 변화 및 산소유량 변화를 통하여 후연소기 전·후에 생성되는 배출가스의 각종 화학종농도 변화량을 분석하여 오염물질 저감에 대해 고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용된 유인공기를 이용한 벤츨리형 후연소기의 실험장치도를 Fig. 1에 나타내었다. 주연소기(모형산업로. 이하, 주연소기라 칭한다)에 사용되는 공기는 송풍기(2.24 kw)에서 공급되며 공기압의 안정성을 위해 압력맥동을 최소화하는 서지탱크를 거친 후, 공기유량계(MAG-NECHELIC)를 지나 조절밸브로 조절하여 필요한 유량을 공급한다. 연료는 상용 LPG로써 압력용기에서 공급되며 압력조정기와 연료유량계(DC-2, SINAGAWA)를 지나 주연소기와 후연소기로 공급된다. 후연소기에 사용되는 산화제로 순도 99.5%의 공업용 산소는 압력조정기와 산소유량계를 거쳐 필요한 유량을 공급한다. 유인공기는 흡입구를 통해 대기압하의 공기가 배기덕트에서 가스흐름의 압력차로 유입되게 하였다.

Fig. 2는 본 연구에 사용된 유인공기를 이용한 벤츨리형 후연소기의 상세도를 나타낸 것이다. 전체연소기의 길이는 1540 mm이며, 주연소부는 길

이 220 mm인 주연소기와 길이 435 mm의 배기덕트로 이루어져 있다. 유인공기흡입구는 100 mm 배기덕트의 상단부에  $\phi$  13 mm인 홀을 각각 0, 4, 8홀로 뚫어 유인공기효과를 가능하게 장착하였다. 후연소부의 길이는 885 mm이며, 연료와 산화제는 노즐내경 9 mm에 직경 1 mm인 분공 8개를 통하여 분사각 45°의 T자형 노즐을 이용하여 예혼합시켜 분사하도록 하였다. 그리고 보염기의 위치는 200 mm의 벤츨리관 측면의 중앙부를 기준으로하여 하단으로 12 mm 지점에 고정하여 측정하였다.

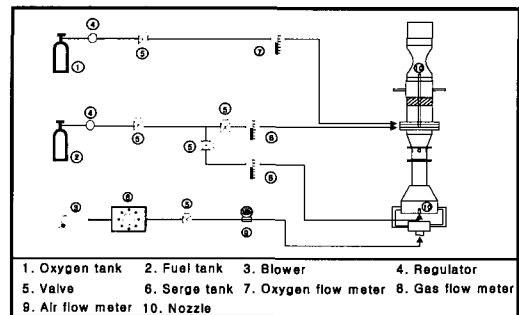


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

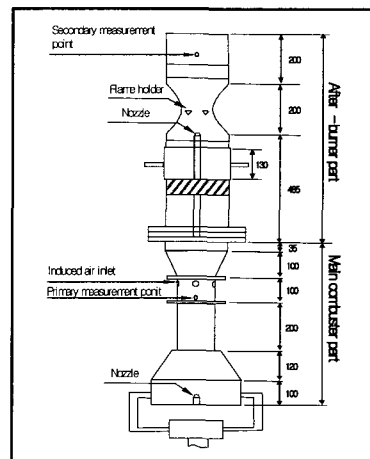


Fig. 2 Detail of main combustor and after-burner.

본 연구에서 샘플가스 채취는 흡입도중 흡입가스의 재반응을 막기 위해서 내경 1 mm이고 선단

의 흡입구경 2 mm의 스테인레스 3중 수냉관 구조로 된 프로브를 사용하였고, 각종 화학종 농도(HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) 측정에서는 N.D.I.R. 방식을 이용한 배기가스측정기(MEXA-554JK, HORI-BA)를 사용하여 측정하였다.

한편, 후연소기의 전후에서 각종 화학종농도를 측정하기 위해 주연소기의 끝단으로부터 280 mm 지점(이하, 상류부라 한다.)과 벤츨리관 중심으로부터 200mm 지점(이하, 하류부라 한다.)에서 배기덕트의 center를 기준으로 하여 반경방향으로 5 mm간격으로 각각 측정하였다.

2.2 실험조건

본 연구의 실험조건을 Table 1에 나타내었다. 여기서 주연소부는 연료와 공기유량을 각각 3 l/min, 70 l/min으로 공기비  $\alpha=0.97$ 로 일정하게 고정하고, 후연소부는 0.2 kg/cm<sup>2</sup>의 일정 압력하에서 연료유량을 2.13 l/min으로 일정하게 공급하였을 때, 면적비를 0, 0.13, 0.27으로 변화시키고, 산소공급유량을 22 l/min, 20 l/min, 16 l/min, 12 l/min로 변화시키면서 면적비 변화 및 산소유량 변화에 따른 각종 배출가스농도를 측정하였다. 본 실험에서는 연소기의 중심을 원점으로 하였을 때, 상류와 하류의 직경이 다르므로 상류의 반경방향거리(r)와 하류의 반경방향거리(R)를 무차원화하여 도시하였다(r/R). 여기서 면적비

(A<sub>2</sub>/A<sub>1</sub>)는 배기덕트에서 유인공기흡입구를 포함한 원둘레면적(A<sub>1</sub>)에 대한 흡입구 4개 혹은 8개의 총면적(A<sub>2</sub>)를 의미한다.

3. 결과 및 고찰

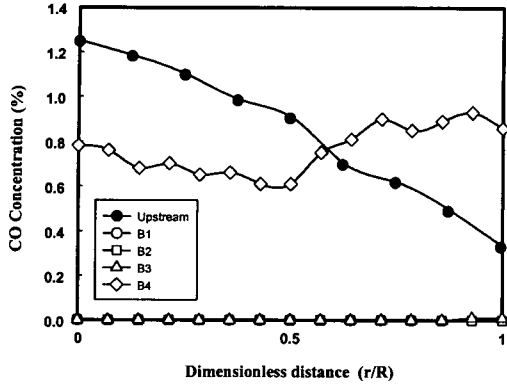
3.1 산소유량 변화에 따른 영향

Fig. 3은 후연소기에서 면적비가 동일한 B의 조건에서 산소공급량을 22 l/min, 20 l/min, 16 l/min, 12 l/min으로 변화시켰을 때 각종 배출가스농도 분포를 나타낸 것이다. (a)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 조건 B1, B2, B3의 CO 농도가 상당히 감소하였다. 그러나, 조건 B4의 CO농도는 벽면근방으로 갈수록 오히려 상류영역보다 증가함을 보여주고 있으며, 이는 동일한 연료 공급에서 면적비가 일정할 때 주입하는 산소량이 너무 적어서 불완전 연소를 초래한 것으로 사료된다. (b)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 CO<sub>2</sub>농도가 모두 증가하였고, 하류영역에서는 비슷한 농도를 보여주고 있다. 이는 유인공기를 첨가시켰을 때 산소량을 감소시켜도 반응 후 발생하는 CO<sub>2</sub>의 농도는 일정한 것으로 사료된다. (c)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 모두 감소하였으며, 하류영역에서는 벽면부근으로 갈수록 O<sub>2</sub>농도가 약간 많은 것을 알 수 있다. 이는 벽면부근을 통해 연소반응에 참여하지 못한 O<sub>2</sub>가 빠져나가기

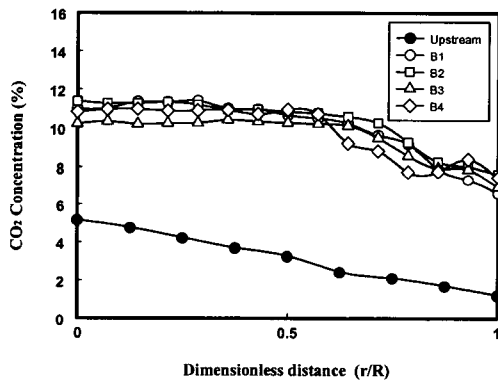
Table 1 Experimental conditions.

Condition		Area ratio	Rate of O <sub>2</sub> (l/min)	After-burner fuel rate (l/min)	Main combustor's excess air ratio ( $\alpha$ )
A	A1	0	22	2.13	0.97
	A2		20		
B	B1	0.13	22		
	B2		20		
	B3		16		
	B4		12		
C	C1	0.27	22		
	C2		20		
	C3		16		
	C4		12		

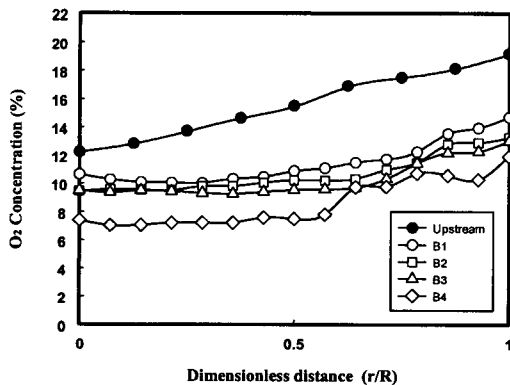
때문이라 사료된다. 그리고 B4의 경우는 CO와 같은 영향으로 인하여 B1, B2, B3보다 적게 나타나는 것으로 사료된다. (d)에서는 상류영역에 비해



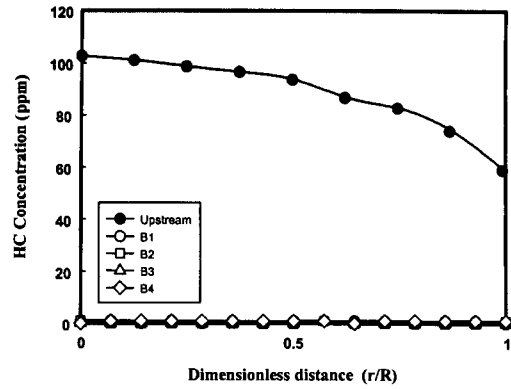
(a) CO Concentration



(b) CO<sub>2</sub> Concentration



(c) O<sub>2</sub> Concentration



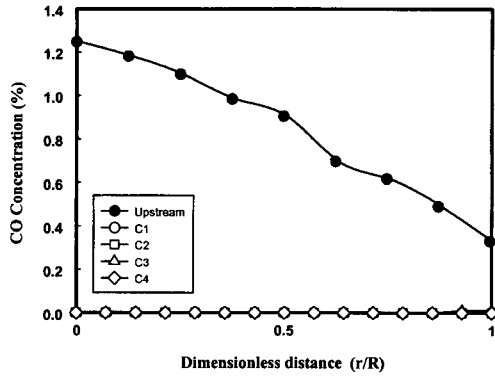
(d) HC Concentration

Fig. 3 Concentration distributions for 4 gases radial direction by oxygen flow amount (AR=0.13).

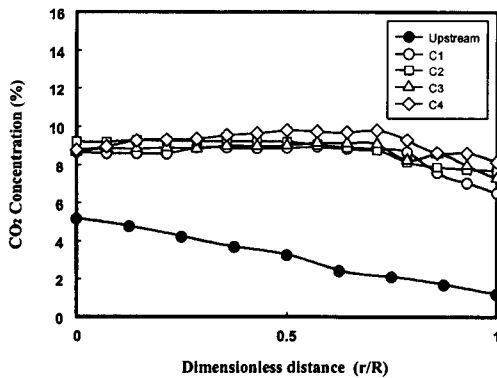
하류영역에서 HC농도의 저감효과가 현저하게 감소되었음을 알 수 있으며, 산소공급량이 감소하여도 동일한 저감효과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 면적비 B의 조건에서는 유인공기효과로 인하여 산소량 16 l/min 만으로도 충분한 오염물질 저감효과를 낼 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 산소공급이 이보다 더 적으면 오염물질, 특히 CO는 증가한다.

Fig. 4은 후연소기에서 면적비 C의 0.27에서 산소공급량을 22 l/min, 20 l/min, 16 l/min, 12 l/min으로 변화하였을 때의 CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 및 HC분포를 나타낸 것이다. (a)에서는 상류영역보다 하류영역의 CO농도가 모두 확연히 감소되었다. 여기서 산소공급량이 감소하여도 CO농도는 동일한 감소량을 보여주고 있다. 이는 산소공급량 12 l/min만으로도 확연한 저감효과가 있음을 알 수 있다. (b)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 CO<sub>2</sub>농도가 모두 증가하였다. 하류영역을 살펴보면, 반경의 중심부와 벽면부근에서의 CO<sub>2</sub>농도의 변화량이 거의 일정함을 보여주고 있다. 이는 유인공기의 유입으로 인하여 균일한 혼합이 되어 반경 내에 농도값이 균등하게 되는 것이라 사료된다. (c)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 모두 감소하였다. 하류영역을 살펴보면, O<sub>2</sub>농도는 C1 > C2 > C3 > C4 순으로 나타나는데 후연소

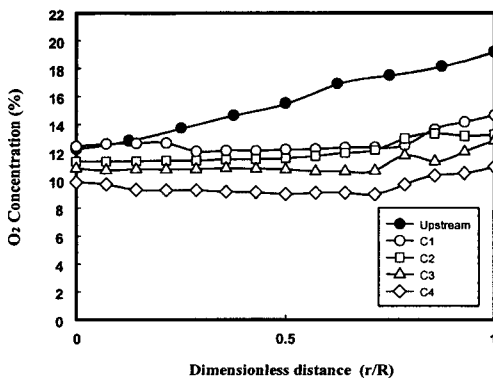
반응 후에 남은 산소량으로 인하여 O<sub>2</sub>농도가 증가한 것으로 사료된다. 그리고 하류영역의 반경으로의 농도값 또한 CO<sub>2</sub>의 경향과 비슷하게 나타난다.



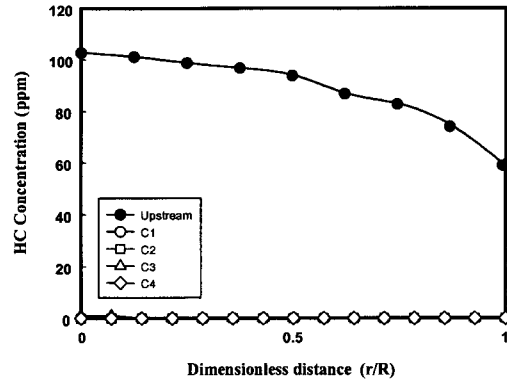
(a) CO Concentration



(b) CO<sub>2</sub> Concentration



(c) O<sub>2</sub> Concentration



(d) HC Concentration

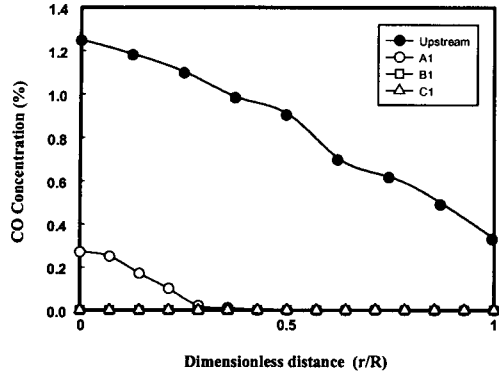
Fig. 4 Concentration distributions for 4 gases radial direction by oxygen flow amount (AR=0.27).

(d)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 HC농도가 모두 현저하게 감소되었다. 따라서 면적비 C의 조건에서는 산소를 12 l/min만 공급해도 충분히 오염물질이 저감되었음을 알 수 있다.

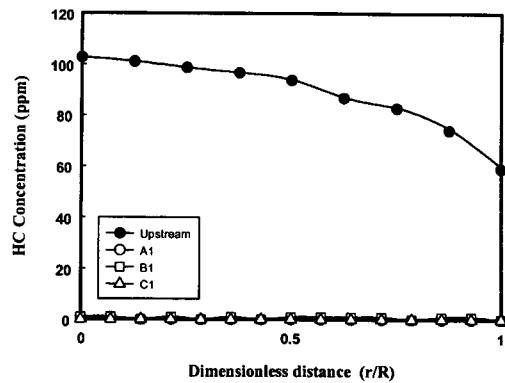
3.2 면적비 변화에 따른 영향

Fig. 5은 후연소기에서 동일산소량(O<sub>2</sub>=22 l/min)의 조건에서 면적비 0, 0.13, 0.27로 변화시켰을 때 각종 배출가스농도 분포를 나타낸 것이다. (a)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 CO농도가 모두 감소하였으며, 하류영역에서 조건 A1의 경우에는 반경중심부분에서 상승되었다. 이는 조건 A1일 때보다 B1, C1에서 균일하게 저감이 잘 되는 것을 알 수 있다. (b)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 CO<sub>2</sub>농도가 모두 증가하였으며, 하류영역에서 농도는 A1 > B1 > C1으로 나타나고, 면적비가 증가할수록 오히려 CO<sub>2</sub>농도가 감소함을 알 수 있다. (c)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 O<sub>2</sub>농도가 모두 감소하였으며, 하류영역에서 농도는 C1 > B1 > A1으로 나타나고, 면적비가 증가할수록 O<sub>2</sub>농도의 양도 증가함을 알 수 있다. 이는 유입된 공기가 반응 후 남겨진 산소량으로 사료된다. (d)에서는 상류영역에 비해 하류영역에서 모두 현저히 감소하였으며, 하류영역에서 HC농도

의 저감은 조건 B1의 0.13만으로도 충분한 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

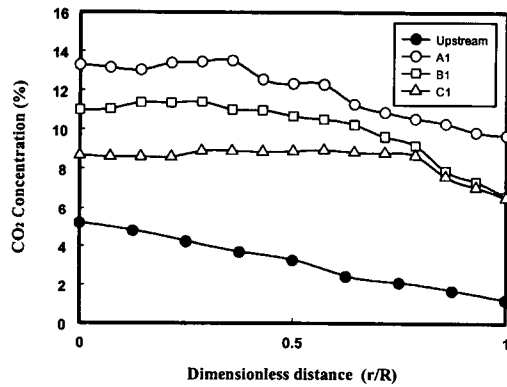


(a) CO Concentration

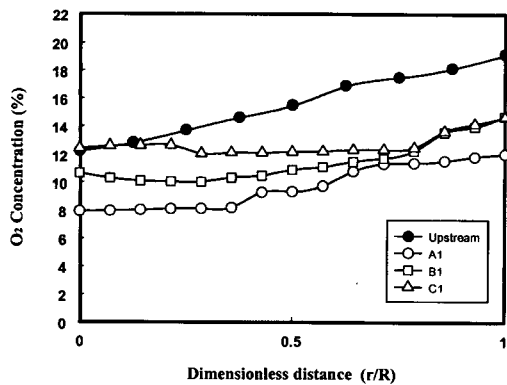


(d) HC Concentration

Fig. 5 Concentration distributions for 4 gases radial direction by area ratio (O<sub>2</sub>=22 l/min).



(b) CO<sub>2</sub> Concentration



(c) O<sub>2</sub> Concentration

#### 4. 결 론

본 연구는 유인공기를 이용한 벤츨리형 후연소기에서 면적비 변화 및 후연소용 산소 유량을 변화시켰을 때 오염물질의 저감효과를 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 면적비 0.13으로 고정하여 산소유량을 변화시켰을 때 유인공기효과에 의한 오염물질저감을 고찰한 결과, 산소유량 16 l/min만을 공급하여도 오염물질 저감효과가 우수하였다.
- (2) 면적비 0.27에서는 유입되는 공기의 증가로 인해 12 l/min까지 산소유량을 감소시켜도 CO, HC는 저감되었으며, 따라서 앞의 결론보다도 더 큰 산소유량의 감소효과를 얻을 수 있었다.
- (3) 산소량 22 l/min을 고정하여 면적비의 변화를 주었을 때, 면적비 0.13만으로도 충분한 저감효과를 얻을 수 있었다.
- (4) 본 실험조건에서는 면적비가 높을수록 순산소유량을 감소시킬 수 있었으며, 저감효과가 우수하였다. 그러나 동일한 면적비에 비해 산소유량을 너무 낮추면 오히려 오염물질이 증가할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

[1] 홍지형, 허정숙, 이덕길, 석광설, 이대균, 엄윤성, "새로운 대기오염물질 배출원 분류체계에 관한 제언", 한국대기환경학회지, Vol. 18, NO. 3, pp. 231~245, 2002.

[2] 환경부 이석조, "사업장 대기오염 관리 현황 및 대책", 제2회 집진필터 활용기술 워크샵, 2001, 집진기술연구센터 한국에너지기술연구원.

[3] 포항산업과학연구원 김기홍, 이용국, "가연성 배가스처리용 축열연소시스템의 개발 및 적용", 제17회 에너지절약기술 워크샵, Session 11-7, 2002, 한국 에너지기술연구원 유성호텔 (대전).

[4] 이도형, 오세원, 윤봉석, 이용후, 이진석, "보염기를 이용한 벤츄리형 후연소기의 배출가스 정화특성에 관한 연구" 한국동력기계공학회 논문집, pp.174~180, 2002, 부경대학교.

[5] 송시홍, "폐기물 소각처리 기술 현황" Kosen 첨단 기술 보고서, 2002.

[6] M. Q. McQuay, B. W. Webb, A. M. Huber, "The effect of rebuild on the combustion performance of an industrial gas-fired flat glass furnace", combustion. sci. tech 150, pp.77-97, 2000

[7] Nishimura, Makoto Suyari, Mamoru Suzuki, TomioTakagi, Toshimi, "Studies on fuel savings and NOx reduction in oxygen enriched air combustion (I) - examination of fuel savings and possibility of low NOx combustion", 日本エネルギー學會誌, Vol. 79, NO. 4, pp.321~328, 2000.

[8] 배정락, 이병준, "산소부화과 희석제에 따른 비예혼합 화염의 안정성", 대한기계학회논문집, Vol. 26, NO. 10, pp.1458~1464, 2003.

[9] Yap. L. T, Pourkashanian. M, Howard. L, Williams. A, Yetter, R. A, "Nitric-oxide emissions scaling of buoyancy-dominated oxygen-enriched and preheated

methane turbulent-jet diffusion flames", Symposium (international) on Combustion, pp.1451~1460, 1998.

저 자 소개



오세원 (吳世元)

1975년 12월생. 2002년 부경대학교 기계공학과 졸업(공학사). 현재 부경대학교 대학원 석사과정 재학중. 당학회 학생회원. 관심분야 : 연소공학, 환경에너지



박준홍 (朴峻弘)

1976년 1월생. 2002년 부경대학교 기계설계공학과 졸업(공학사). 현재 부경대학교 대학원 석사과정 재학중. 당학회 학생회원. 관심분야 : 연소공학, CFD



이용후 (李容厚)

1975년 5월생. 2000년 경남대학교 기계공학과 졸업(공학사). 2002년 부경대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 현재 부경대학교 대학원 박사과정 재학중. 당학회 학생회원. 관심분야 : 연소공학, CFD



이진석 (李鎭錫)

1974년 5월생. 2000년 부경대학교 기계공학과 졸업(공학사). 2002년 부경대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 현재 부경대학교 대학원 박사과정 재학중. 씨디 어댑코 코리아(주) 부산.경남지원센터운영, 당학회 학생회원. 관심분야 : 연소공학, CFD



이도형 (李度衡)

1954년 8월생. 1980년 부산대학교 기계공학과 졸업(공학사). 1982년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 1989년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 1983년 4월~현재 부경대학교 기계공학부 교수. 당학회 정회원. 관심분야 : 연소공학, CFD, 환경에너지