

<학술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2016.40.8.503>

ISSN 1226-4881(Print)
2288-5324(Online)

역방향 2차 공기 주입 방식을 적용한 소각 연소로의 Thermal NO_x 및 CO 배출특성에 대한 축소모형실험 연구

최종균* · 최우성* · 신동훈*

* 국민대학교 일반대학원 기계공학과

Experimental Study on Thermal NO_x and CO Emission in a Laboratory-Scale Incinerator with Reversed Secondary Air Jet Injection

Chonggun Choi*, Woosung Choi* and Donghoon Shin**

* Dept. of Mechanical Engineering, Kookmin Univ.

(Received February 25, 2016 ; Revised May 11, 2016 ; Accepted May 11, 2016)

Key Words: Secondary Air(2차 공기), Reversed Air Injection(역방향 공기 분사), NO_x Reduction(질소 산화물 저감), Combustion(연소), Thermal NO_x(열적 질소산화물)

초록: 일반적으로 연소로는 연료의 연소과정에서 NO_x, CO 등의 공해물질을 배출한다. 본 연구는 소각연소로를 대상으로 2차 공기를 연소가스 흐름의 역방향으로 주입시키는 방법의 NO_x 및 CO 배출특성에 대한 연구를 수행하였다. 연구의 주요변수는 1, 2차 공기의 유량비와 2차 공기의 투입 방향으로 설정하였다. 변수에 따른 NO_x 및 CO 배출특성을 묘사하기 위해서 축소모형실험 연구를 수행하였다. 실험결과 1차 공기유량이 감소하고 2차 공기유량이 증가할수록 NO_x가 감소되다가 일정 유량비 이상에서 다시 NO_x가 다소 증가하는 형태가 나타났다. 역방향으로 빠른 유속의 2차 공기가 투입될 때 연소로 내부에 유동 재순환이 발생하여 혼합이 증가하고 이로 인해서 온도 영역이 고르게 분포되는 것으로 나타났으며 그 결과로서 thermal NO_x의 저감 효과를 확인할 수 있었다. CO는 2차 공기가 역방향에서 높은 비율로 투입되는 조건이외에서는 측정되지 않았다. 측정된 경우도 CO의 농도는 2 ppm 이내로 안정적인 연소 조건으로 나타났다.

Abstract: Incinerators generally emit pollutants such as NO_x and CO during the combustion process. In this paper, pollutant emissions and temperature distributions were studied in a simulated incinerator with a reversed (relative to the flue gas flow) secondary air injection system. The experiments were performed by using a lab-scale furnace in order to evaluate the effects of the injection location, direction and flow rate of secondary air jets. The emission of NO_x was lower in the case of reversed secondary air injection than in the case of cross injection, due to the recirculation and mixing of the exhaust gas. In the reversed air injection cases, thermal NO_x emissions decreased as secondary air ratio increased from 30 to 60 and slightly increased at secondary air ratios higher than 60. In most cases, CO emissions were not detected except for a few reversed secondary air injection cases, in which cases CO concentrations below 2ppm were observed.

1. 서 론

폐기물 소각로는 가연성폐기물을 매립하지 않고 소각하여 열에너지로 회수가 가능하다. 그래서 폐기물 감량화만이 아니라 자원의 재순환 및

폐자원 활용을 통한 자원 확보와 환경적 효과를 동시에 만족한다. 그러나 폐기물 소각로는 많은 장점에서 불구하고 연소 시 NO_x, CO 등의 공해물질을 배출하는 단점이 있다.⁽¹⁾ 이렇게 배출된 공해물질들은 자연환경 및 인체에 악영향을 끼친다.⁽²⁾ 이로 인해 EU, EPA(Environment Protection Agency), IMO(International Maritime Organization)

* Corresponding Author, d.shin@kookmin.ac.kr

와 같은 국제기구에서 NOx, CO 등의 공해물질 배출규제 기준치를 꾸준히 강화하고 있는 실정이다.^(3,4) 국내에서 운전되고 있는 폐기물 소각 설비는 30여 년 전부터 건설되어 왔는데 대형소각로는 해외기술로 제작되었고 중소규모 소각로는 기술력에 한계가 있던 국내 기업에서 제작되었다. 이러한 폐기물 소각로는 현재 노후도가 심하여 공해물질 저감에 한계가 있는 상황이다.⁽⁵⁾ 또한 이전 소각설비들은 과거 규제치를 기준으로 설계되어 지속적으로 강화되는 규제치를 만족하기 어려운 실정이다.

NOx를 규제치 이하로 저감하기 위해서는 SCR, SNCR과 같이 큰 비용이 발생하는 후처리설비를 설치해야한다. 설치 후에도 지속적인 촉매교체 및 약품사용으로 인한 비용이 발생한다.⁽⁶⁾ 또한 후처리 장비 설치를 위해 장시간 운전을 정지해야 하는 문제가 있다. 시간과 비용을 줄이기 위해서 기존 설비의 운전 방법을 최적화 하거나 설비의 개조를 통해 로내 온도분포를 제어하는 방법이 많이 선호되고 있다.^(7~11)

연소로 2차 공기 제어에 관한 기존연구는 대부분 지면을 기준으로 수평방향 또는 수평에서 하향 경사방향으로 2차 공기를 분사하는 조건에 국한되어 왔다.⁽¹²⁾ 이러한 기존 연구들은 연소에 의해 발생하는 오염물질 중 CO의 저감에 초점을 맞춰 연구를 진행해 왔다.⁽¹³⁾

하지만 Shin 등^(14~16)은 2차 공기를 연소로 상부에서 역방향으로 투입하는 실험을 통해서 연소가스의 재순환, jet 침투에 의한 혼합증대 등의 효과로 CO와 NOx를 동시에 저감이 가능함을 확인하였다. 본 연구에서는 연소로 상부에 2차 공기 노즐을 설치하여 2차 공기의 역방향 주입효과를 알아보는 실험을 진행하였다. 2차 공기 투입 방향, 1차 공기와 2차의 공기의 유량비를 주요 설계 변수로 선정하였으며 이에 따른 NOx 및 CO의 배출특성을 도출하기 위하여 상용플랜트의 1/20의 형상적 축소로에서 실험적 연구를 수행하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

Fig. 1은 동두천에 위치한 150ton/day 규모의 화격자식 목재폐기물 소각플랜트의 개념도이다. 화격자식 연소로에서 폐기물의 연소는 건조, 탈휘

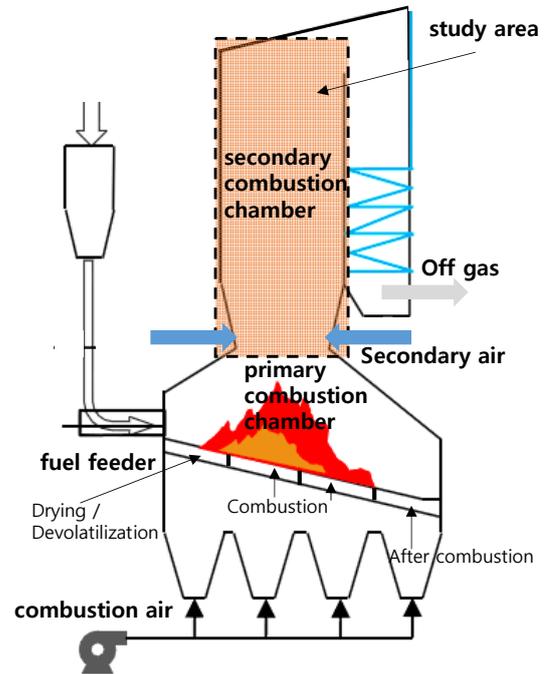


Fig. 1 Schematic view of combustion process in incinerators

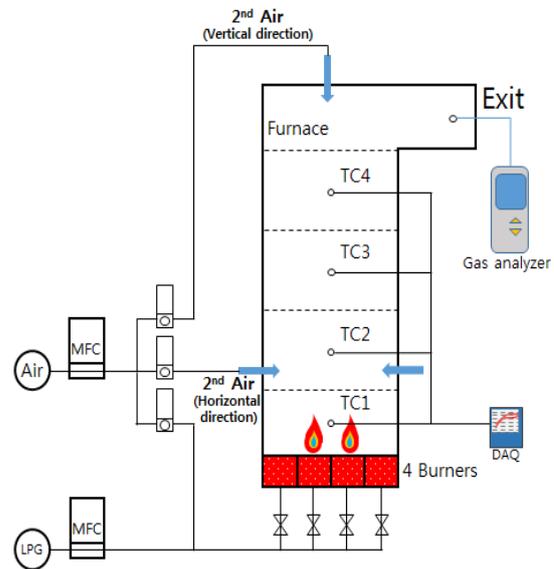


Fig. 2 System schematic diagram

발, 연소, 후연소의 과정을 순차적으로 거쳐 진행된 가스가 2차 연소실에서 공급되는 2차 공기와 반응하여 완전연소가 이루어진다.

Fig. 2는 실제플랜트의 2차 연소실을 실험실 규모로 모사하기 위한 실험장치의 개략도이다. 모사 실험 장치는 20:1 크기의 형상으로 제작하였다. 하단에 설치한 4개의 메탈화이버 버너에서 연료와 1차 공기를 예혼합하여 투입하였는데, 소

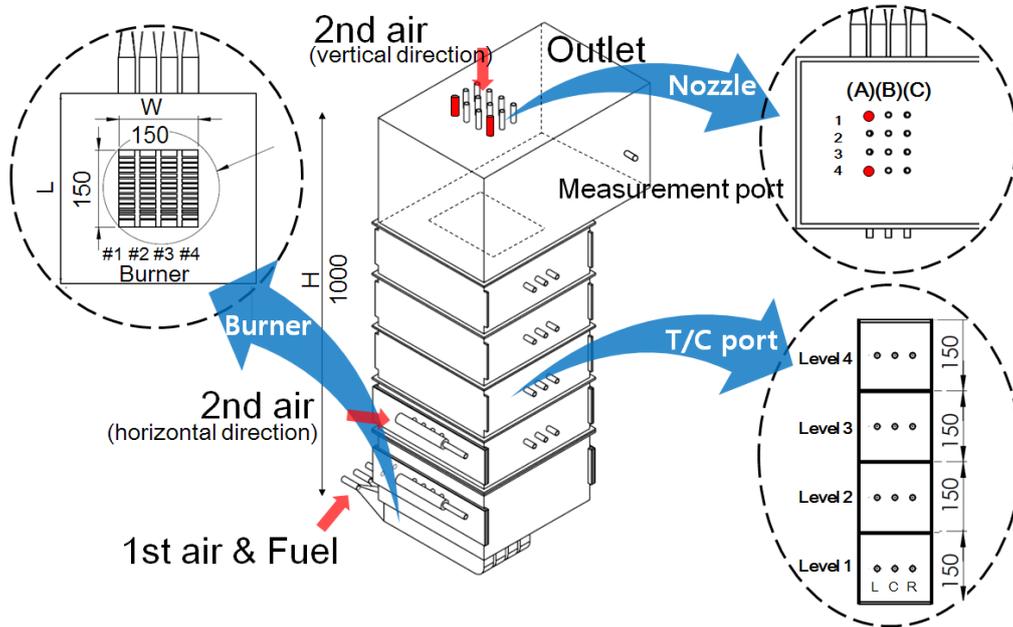


Fig. 3 Detail configuration of experimental furnace

각로에서 발생하는 1차 연소실 출구 가스는 화격자의 위치에 따라 불균일한 가스 조성을 나타내므로,⁽¹⁷⁾ 이를 모사하기 위해 버너별 유량을 달리 하는 방법으로 불균일성을 모사하였다.

Fig. 3과 같이 모사소각로의 연소공간은 150mm (W) × 150mm (L) × 1000mm (H)의 크기이다. 일반적인 소각로의 경우는 열회수에 필요한 수관과 캐스타블, 내화벽돌로 구성된 벽면으로 구성되어 있으며 2차 연소로 출구기준으로 850 °C 이상의 범위에서 운전되는데, 모사소각로는 설비가 작아 단위 체적대비 벽면 열손실이 크기에 내화벽만으로도 충분히 온도가 하강하는 효과가 있었다. 벽면은 주 온도영역대인 800~1100 °C에서 0.16~0.21 W/m²의 열전도율을 갖는 두께 100mm의 세라믹계열 단열재(금강 세라크울)를 사용하였다. 실험에 사용한 연료는 LPG이며, 조성은 프로판 60%, 부탄 40%이다.

연소로의 2차 공기 노즐은 지면을 기준으로 수평 방향(일반적인 2차 공기 투입)과 수직 방향(역방향 2차 공기 투입)으로 투입이 가능하도록 제작하였다. 수평 방향의 2차 공기 노즐은 내경 6mm를 사용하였으며 버너로부터 275mm 위에 설치하였다. 노즐의 구성은 로의 양쪽벽면에서 4개의 노즐과 5개의 노즐을 엇갈리게 배치하였다. 상부에 설치된 수직 방향 2차 공기 노즐의 직경은 3.0mm이고 위치는 3×4배열의 총 12개를 설

치해 노즐 위치의 변화에 따른 실험이 가능하도록 하였다. 포트의 위치는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 행(column) 방향으로 1, 2, 3, 4로 표기하고 열(row) 방향으로 (A), (B), (C)로 표기하였다. 본 논문에서 수직 방향 2차 공기 노즐은 A열의 1행과 4행을 한 세트로서 사용하였다.

내부 온도측정을 위한 포트는 버너 위쪽으로 275mm 떨어진 위치로부터 150mm 간격으로 배치하였고 TC1, TC2, TC3, TC4로 표기하였다. 같은 높이 내에서는 연소로의 중심위치를 포함하여 좌, 우 40mm 간격으로 3개의 포트를 설치하였다. 깊이 방향으로는 간격 25mm씩 5단계로 나누어 연소실 내부 온도를 측정하였다. 즉, 12개의 열전대를 이용하여 깊이 방향으로 5단계로 측정하여 각 Case 별로 총 70개의 측정값을 획득하였다. NOx와 CO 측정은 실시간 가스측정이 가능한 testo사의 330-2 모델을 사용하여 출구에 위치한 측정포트에서 수행하였다.

2.2 실험조건

실험에 필요한 공기와 연료는 Table 1과 같이 과잉공기비 10%를 기준으로 공기량을 110 lpm, 연료량을 4 lpm으로 고정하였다. Fig. 4는 연소시 과잉공기비에 따른 공해물질 배출경향을 나타낸 것이다. NOx 발생량은 연료가 농후한 화염과 매우 희박한 화염의 경우에 상대적으로 낮은 반면,

Table 1 Experimental condition

Variable	Unit	Value
Total air	[lpm]	110
Total fuel (LPG)	[lpm]	4
Excess air ratio	%	10

Table 2 Cases of experiment

2 nd air direction	1 st :2 nd air ratio	Nozzle diameter	Nozzle number	2 nd air velocity
-	[%:%]	[mm]	[EA]	[m/s]
Horizontal	70:30	6.0	Left: 4 Right: 5	6.5
	60:40			9.4
	50:50			13.0
	40:60			16.2
	30:70			19.5
	20:80			23.0
Vertical	70:30	3.0	Top: 2	25.9
	60:40			37.7
	50:50			51.9
	40:60			64.8
	30:70			77.8
	20:80			92.0

Table 3 Summary of experimental results

2 nd air direction	1 st :2 nd air ratio	NOx	CO	Max. temp.	Min. temp.	Stdev. temp.
-	-	[ppm]	[ppm]	[°C]	[°C]	[°C]
Horizontal	70:30	146	0	1192	1012	43
	60:40	88	0	1226	1005	52
	50:50	57	0	1224	1030	47
	40:60	45	0	1187	1033	38
	30:70	39	0	1148	1017	36
	20:80	49	0	1149	1022	35
Vertical	70:30	44	0	1150	941	55
	60:40	34	0	1109	1002	27
	50:50	24	0	1110	1016	26
	40:60	18	0	1111	984	38
	30:70	22	1	1113	938	54
	20:80	25	2	1113	946	55

60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80까지 변경하며 조건에 따른 가스와 온도를 1초 단위로 저장한 후 10분간의 평균값을 결과에 사용하였다. 실험조건은 Table 2에 나타내었다.

3. 실험 결과 및 토의

3.1 실험 결과

Table 3은 유량비에 따른 NOx, CO, 평균온도, 최대온도, 최저온도, 온도의 표준편차를 나타내었다. 수평투입 조건의 NOx 측정 결과를 보면 유량비 70 : 30 조건에서 146 ppm으로 가장 많은 NOx가 발생하였고, 유량비 30 : 70 조건에서 39 ppm으로 가장 적게 발생하였다. 역방향 수직 투입 조건의 실험 결과 유량비 70 : 30 조건에서 44 ppm으로 가장 많은 NOx가 발생한 후 2차 유량비가 증가할수록 NOx가 감소하여 40 : 60 조건에서 18 ppm으로 가장 적게 나타났다. 2차 공기를 수직 방향으로 투입할 때 전체적으로 수평 방향보다 낮은 NOx 분포를 보였다. 1 : 2차 공기 유량비에 따른 NOx 발생 경향은 2차 공기 유량이 증가할수록 감소하였는데, 최저점이 40 : 60에서 발생한 후 2차 공기 비율이 더욱 증가하면 NOx는 다소 증가하는 경향이 나타났다.

2차 공기가 수평 방향으로 투입될 때 CO는 모든 경우에서 나타나지 않았으며 수직 방향으로 투입될 경우 2차 공기 비율이 70% 이상인 조건에서 나타났지만 2 ppm 이내의 적은 CO가 발생하여 안정적인 연소조건으로 판단할 수 있다.

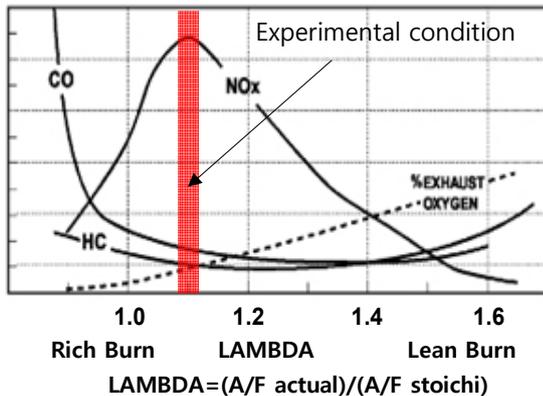


Fig. 4 NOx and CO emission trend related to air-to-fuel ratio⁽¹⁸⁾

과잉공기비 10%에서 최대가 된다. NOx 저감 효과를 명확하게 확인하기 위하여 공기유량은 과잉공기비 10%를 기준으로 선정하였다.⁽¹⁸⁾

실험로 승온은 버너에서 1차 공기와 연료만을 사용하여 안정화 상태까지 진행하였다. 승온이 완료되면 1차 공기유량을 점차 줄이고, 2차 공기유량을 증가시켰다. 공기 유량조절을 통해 1차 공기와 2차 공기의 비를 70:30 조건에서부터

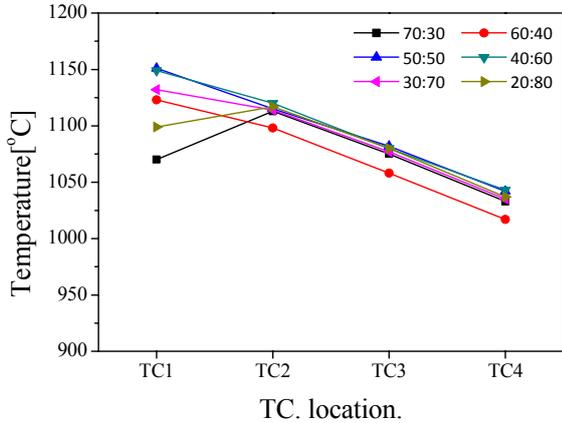


Fig. 5 Experimental results of temperature at horizontal case

Fig. 5은 2차 공기가 수평방향으로 투입될 때, 로 중심 온도분포이다. 전반적으로 온도분포는 연소로 하부인 TC1에서 최고 온도대를 형성하며 연소로 상부로 갈수록 온도가 감소하였다. 하지만 1차:2차 유량비 70:30과 20:80 조건에서는 TC1이 아닌 TC2에서 최고 온도대를 형성하였다. 70:30 조건은 1차 공기 유량이 커서 화염의 부상으로 인해 주 연소반응이 TC2에서 일어난 것으로 사료되고 20:80 조건의 경우 버너에서 나오는 1차 공기유량이 연소반응을 일으키기 부족한 상태에서 TC1과 같은 높이에 위치한 2차 공기노즐로 투입되는 산소와 만나 섞이면서 TC2 위치에서 주 반응영역대가 형성되기 때문으로 판단된다.

Fig. 6은 2차 공기를 수직 방향으로 투입한 조건의 로중심 온도분포로, 1차 공기 유량비가 높은 70:30 조건에서 연소로 하부인 TC1에서 고온영역이 형성된다. 2차 공기 유량비가 증가할수록 고온영역이 연소로 상부지점으로 상승하는데 1차 공기의 유량이 적어 버너부에서 반응하지 못한 연료가 상부에서 투입되는 2차 공기와 만나면서 연소로 상부에서 반응하기 때문이다.

Fig. 7은 연소로 내부 70개 점 위치의 온도 분포를 3차원으로 나타낸 결과이다. Fig. 7(a)는 실험결과 중 NOx가 가장 많이 나온 조건으로 2차 공기를 수평 방향으로 분사하고 1차:2차 공기 유량비 70:30 조건이다. 이 경우 버너가 위치한 연소로 하부에서 좌측으로 치우쳐져 고온영역대가 형성되었다. 1차 공기 유량비가 높아 하부에서 고온영역대가 형성되었으며 5개의 노즐로 구성된 우측이 4개의 노즐로 구성된 좌측보다 노즐

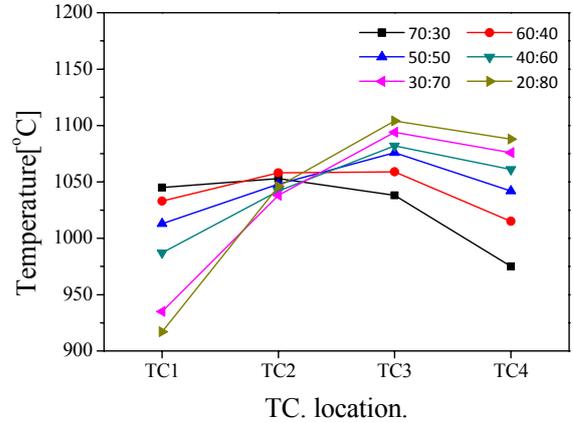


Fig. 6 Experimental results of temperature at vertical case

의 개수가 1개 더 많아 고온영역이 좌측으로 치우쳐진 것으로 판단된다. 주반응이 연소로 하부에서 일어난 후 상부로 갈수록 온도가 줄어들고 연소로내부의 온도가 균일하지 못한 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7(b)는 2차 공기를 수직 방향으로 30% 투입했을 때 나타난 온도 분포이다. 상부에서 투입된 2차 공기는 중앙 상부까지 침투한 것으로 나타났다으며, 그 결과로 노즐 하부의 온도가 낮게 나타났다. 고온 영역은 동일 유량비율의 수평 방향 분사와 달리 하류의 영향으로 우측으로 치우쳐진 것으로 나타났다.

Fig. 7(c)는 실험결과 중 NOx가 가장 적게 나온 조건으로 2차 공기를 수직 방향으로 분사하고 1차:2차 공기 유량비 40:60 조건이다. 연소로 하부영역에서 약간의 저온대가 나타났고 높이와 깊이에 따른 온도 분포가 전체적으로 고르게 나타났다. 이는 연소실 상부에서 수직 하향으로 투입되는 2차 공기가 연소로 중앙하부까지 침투하여 연소로 내부에 연소가스 재순환 효과가 일어나고, 혼합을 증가에 따른 균일한 온도 분포 형성이 NOx저감에 효과를 보이는 것으로 판단된다.

3.2 역방향 공기주입 연소의 소각 연소로 적용 가능성 검토

본 실험 결과를 실제 소각연소로에 적용하기 위해서 운전조건에 대한 검토가 필요하다. 실제 소각로 운전은 연료의 탈휘발, 최연소 유도가 가능한 1차 공기량이 필요한데 일반적으로 전체 투입공기량의 60~70%를 1차 공기로 사용하고 나머

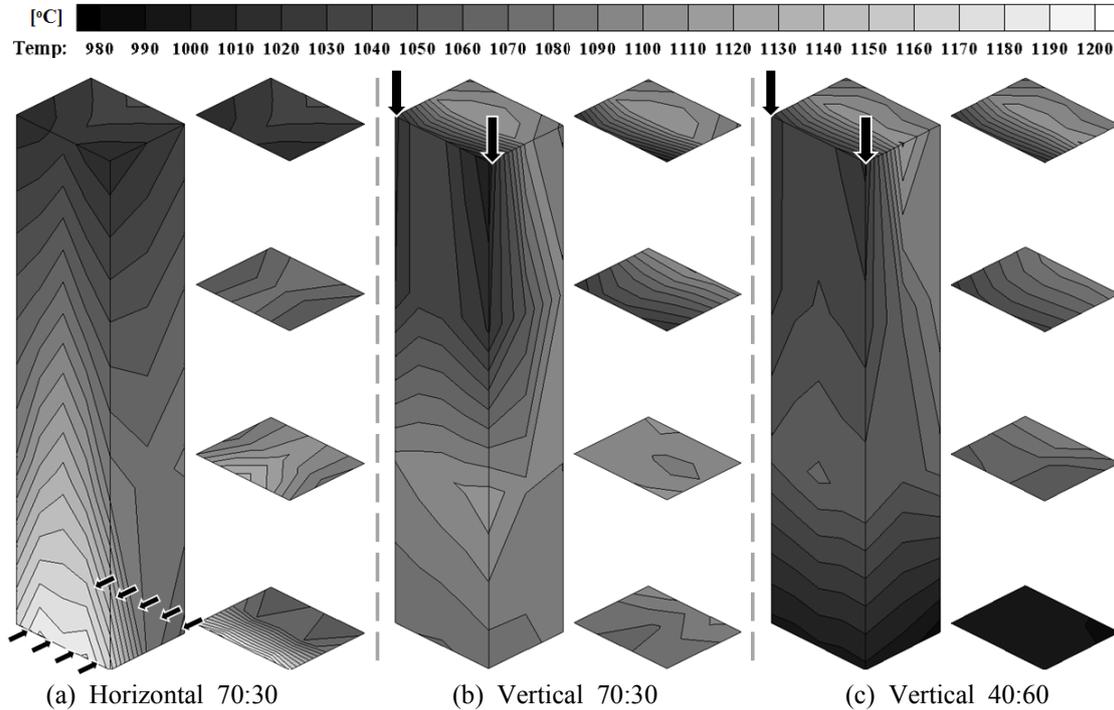


Fig. 7 Temperature contour of 3 cases

지를 2차 공기로 활용하고 있다.⁽¹⁷⁾ 본 연구의 모사실험은 1차 공기와 2차 공기의 유량비 70:30부터 20:80의 조건에서 수행해 유량비 변화에 대한 오염물질 저감의 경향을 파악하였다. 하지만 실제 플랜트의 1차 공기량의 운전 범위를 기준으로 볼 때 적용가능 범위는 70:30 및 60:40 조건으로 한정된다.

본 연구 결과 중 NO_x 감소 효과는 연료를 N성분이 포함되지 않은 LPG를 사용했기 때문에 thermal NO_x로 한정된다. Di Nola⁽¹⁹⁾의 연구 내용에 따르면 연료 중 N성분을 포함한 연료의 연소에서 NO_x는 주로 fuel NO_x라고 할 수 있다. fuel NO_x는 온도에 민감하지 않고 함량으로 결정된 값으로 나타나고 thermal NO_x와 prompt NO_x는 온도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁹⁾ 소각 플랜트 연료로 사용되는 biomass는 1% 미만의 N₂ 성분을 포함하는 것으로 알려져 있다.⁽²⁰⁾ 따라서 목재 소각로에서도 NO_x의 주 생성경로는 fuel NO_x라고 할 수 있다. 하지만 thermal NO_x는 1400°C 이상의 고온의 운전조건에서는 온도 상승에 따라 발생량도 급격하게 증가해 fuel NO_x와 함께 고려되어야 한다.⁽¹⁹⁾ 따라서 본 연구의 NO_x 감소 효과는 thermal NO_x 감소로

제한됨에도 불구하고 소각로 내에 이와 같은 고온영역이 발생하기 때문에 NO_x 발생억제측면에서 유효하고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 2차 공기를 연소로 상부에서 연소가스 흐름의 역방향으로 주입하여 NO_x 및 CO의 배출특성을 알아보기 위한 모사실험을 수행하였다. 실험은 2차 공기의 투입 방향, 1, 2차 공기의 유량비를 변수로 진행하였다.

(1) 2차 공기의 투입 방향

NO_x 배출은 2차 공기가 수직 방향으로 투입되는 조건이 수평 방향으로 투입되는 조건보다 평균 34% 가량 저감되는 것으로 확인되었다. 이는 상부에서 빠른 유속으로 2차 공기가 투입될 때 연소로 내부 유동의 순환 영역이 크게 발생하고 이를 통해 연소로 전체 영역의 온도가 고르게 분포되기 때문인 것으로 판단된다.

CO 배출은 2차 공기가 수평 방향으로 투입되는 조건에서 발생하지 않았다. 2차 공기가 수직 방향으로 투입될 경우 2차 공기 유량비가 70% 이상인 조건에서 CO가 다소 발생하였다.

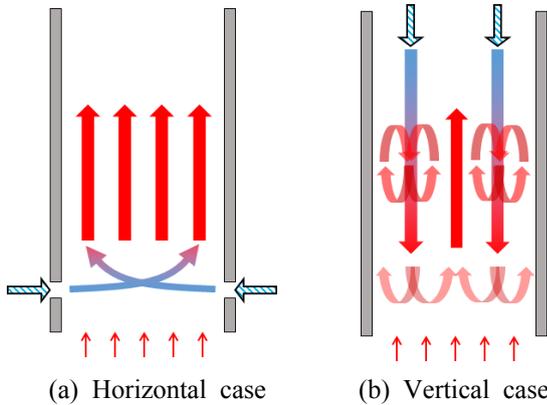


Fig. 8 The penetration of secondary air jets for horizontal and vertical injection

(2) 1, 2차 공기의 유량비

1차 공기와 2차 공기의 유량비를 조절하여 실험한 결과 2차 공기 유량비가 증가할수록 NO_x가 감소하였다. 그러나 2차 공기 유량비를 과도하게 증가시키면 다시 NO_x가 증가하는 포물선 형태가 나타나는 것이 확인되었다. 2차 공기의 수평 투입 조건에서는 1, 2차 공기비가 30 : 70에서 최소 NO_x조건이 되었고, 수직 투입조건에서는 40 : 60 조건이 되었다. 2차 공기 비율을 증가시키면 다만 연소효과에 의한 NO_x 저감효과를 기대할 수 있으며, 2차 공기를 수직으로 투입하는 경우 Fig. 8에 나타난 바와 같이 연소가 가스가 2차 공기 제트의 흐름을 따라 재순환하는 흐름을 보임으로서 배가스 재순환의 효과를 동시에 이룰 수 있어서 NO_x의 저감 효율이 증가하는 것으로 나타났다.

(3) 본 연구 결과는 실제 소각플랜트의 1/2차 공기량의 비율을 유지하는 조건에서 CO의 완전 연소를 유도함과 동시에 thermal NO_x의 생성을 저감할 수 있는 새로운 연소 방법이라고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 에너지인력양성사업(20134010200580) 및 산업융합 원천기술 개발사업(10044583)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌
(References)

(1) Park, J. M., Lee, S. B., Kang, J. G., Kim, J. P., Choi, E. S., Hwang, W. G. and Kwon, O. S., 2007,

“Characteristics of Hazardous Air Pollutant Emissions from Waste Incinerators,” *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 23, No. 2, pp. 183~190.

(2) Kim, S. W., Heckel, A., Mckeen, S. A., Frost, G. J., Hsie, E. Y., Trainer, M. K., Richter, A., Burrows, J. P., Peckham S. E. and Kwon, G. A. G., 2006, “Satellite-observed U.S. Power Plant NO_x Emission Reductions and their Impact on Air Quality,” *AGU Journal*, Vol. 33, No. 22.

(3) United States Environmental Protection Agency, 2004, “The Clean Air Act,” Part A-Air Quality and Emission Limitations, pp. 7~139.

(4) EIAPP certificate, 2008, “MARPOL Annex VI,” Reg. NO_x Technical Code (resolution MEPC.177 (58) as amended by resolution MEPC.251.(66).

(5) R&D Information Center., 2013, “Plant/Engineering Industry of Market Trends and Technology Development Strategy,” Knowledge Industry Information Institute.

(6) Park, S. Y., Lee, J. G. and Yoo, K. S., 2004, “The Effect of Additives on SNCR Reaction,” *Theories and Applications of Chem. Eng*, Vol. 10, No. 1, pp. 617~620.

(7) Shim, S. T., Hong, C. H., Kim, B. S., Park, C. S. and Park, K., 2012, “Effects of Geometrical Variation on Performance of OFA-type Boiler,” *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, pp. 854~858.

(8) Kang, K., Oh, J., Yang, J., Yang, W. and Ryu, C., 2015, “Biomass Co-firing with Fuel Staging for NO_x Emission Reduction in Coal-fired Boiler,” *KOSCO SYMPOSIUM*, Vol. 50, pp. 123~126.

(9) Ha, J. S., Kim, T. K. and Shim, S. H., 2010, “A Numerical Study of the Air Fuel Ratio Effect on the Combustion Characteristics in a MILD Combustor,” *Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 32, No. 6, pp. 587~592.

(10) Han, J. W. and Lee, C. E., 2002, “Effect of Exhaust Gas Recirculation on CO and NO Emission of Oxygen Enhanced Flame,” *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. (B)*, pp. 1524~1529.

(11) Lee, J. W., Park, B. S., Seo, J. D. and Huh, I. S., 1999, “Flow Characteristics Inside the Com-

- bustion Chamber of Incinerator in Accordance with Secondary Air Injection,” *KOSCO SYMPOSIUM*, Vol. 18, pp. 125~135.
- (12) Hwang, G. Y., 2004, “A Study of Numerical Simulation on Flow Field in the Combustion Chamber of Incinerator According to Air Injection Angles,” Master's thesis, Incheon National University.
- (13) Choi, C., Hwang, S., Chung, T. Y. and Shin, D., 2014, “The CO Reductions through the Secondary Air Nozzle Retrofit of an Wood Waste Incinerator,” *i-CIPEC*, Vol. 8.
- (14) Baek, J., Choi, C., Hwang, S., Chung, T. Y. and Shin, D., 2014, “Study of the Operating Characteristics of the Combustion Chamber Utilizing a Flameless Combustion Technology,” *KOSCO SYMPOSIUM*, Vol. 49, pp. 17~18.
- (15) Choi, W. S., Choi, C., Chung, T. Y. and Shin, D., 2014, “Research of the CO Reductions through the Secondary Air Nozzle Retrofit in an Wood Waste Incinerator,” *KOSCO SYMPOSIUM*, Vol. 49, pp. 167~168.
- (16) Choi, J., Choi, C., Hwang, S., Chung, T. Y. and Shin, D., 2012, “The Research on CFD Turbulance Models for Comparison According to my Secondary Air Injection into the Combustion,” *KOSCO SYMPOSIUM*, Vol. 45, pp. 345~347.
- (17) Shin, D., 1998, “Study on Design Optimization of Stoker Type Municipal Waste Incinerator for Low Emission,” Ph.D Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology.
- (18) Boman, B. L. and Ragland, K. W., 2005, “Combustion Engineering,” McGraw-Hill, Korea Language Edition, pp. 259~261.
- (19) Di Nola, G., 2007, “Biomass Fuel Characterization for NOx Emissions in Cofiring Applications,” Ph.D. Thesis, Delft University of Technology.
- (20) Gu, J. and Oh, S., 2012, “Combustion Characteristics of Biomass and Refuse Derived Fuel,” *Applied Chemistry for Engineering*, Vol. 23, No. 5, 456~461.