



## 코안다 노즐을 이용한 배기가스 재순환 버너의 연소 유동 특성 및 NOx 저감에 관한 연구

†하지수

계명대학교 기계자동차공학과  
(2017년 2월 13일 접수, 2017년 6월 9일 수정, 2017년 6월 20일 채택)

### A Study on the Combustion Flow Characteristic and NOx Reduction of the Exhaust Gas Recirculation Burner using Coanda Nozzles

†Ji Soo Ha

Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 1000, Korea  
(Received February 13, 2017; Revised June 9, 2017; Accepted June 20, 2017)

#### 요약

연소로에서 질소산화물을 저감하기 위하여 여러 가지 방법으로 연구가 진행되어 오고 있는데 그 중에 배기가스를 재순환하여 저감하는 방법이 있다. 본 연구는 배기가스를 재순환하는 방법으로 연소로 외부에 코안다 노즐을 이용하여 배기가스를 재순환 유입하는 방법을 사용하였다. 코안다 노즐을 이용하여 배기가스를 재순환하고 혼합가스는 연소로 접선 방향으로 투입하여 선회유동을 유발하는 특징을 가지는 배기가스 재순환 버너이다. 이러한 버너에서 연소로 내의 선회 유동 특성을 살펴보고 온도와 반응속도 분포를 살펴봄으로써 코안다 노즐을 이용한 재순환 버너의 연소 유동 특성을 규명하였다. 과잉공기계수와 코안다 노즐 간격을 변화하여 배기가스 재순환 유입량 특성을 살펴보았으며 과잉공기계수를 증가하면 재순환 유입량비가 증가하였고 코안다 노즐 간격을 증가하면 코안다 노즐 공기 출구에서 속도가 낮아져서 재순환 유입량이 감소한다는 특성을 알았다. 배기가스 출구에서 평균온도는 코안다 노즐 간격 변화에 거의 무관하며 과잉공기계수 증가에 따라 감소하는 것을 알았다. 이러한 특성으로 배기가스 출구에서 NOx 농도는 과잉공기계수 증가에 따라 현저히 감소하고 코안다 노즐 간격에는 상대적으로 영향이 적은 것으로 나타났다.

**Abstract** - Various researches have been conducted for the reduction of NOx at the combustion furnace and exhaust gas recirculation method is commonly used technology for NOx reduction. The present research adopted coanda nozzles at the outside pipes of furnace to entrain the exhaust gas for the exhaust gas recirculation and the mixed gas was ejected to the tangential direction to cause the swirl flow in the furnace. The combustion flow characteristics in the exhaust gas recirculation burner with coanda nozzle has been elucidated by analyzing the swirl flow streamlines, temperature and reaction rate distribution in the furnace. The exhaust gas entrained flow rate has been investigated by changing the excess air factor and coanda nozzle gap and the exhaust gas entrained flow rate increased with the increase of excess air factor and it decreased with the increase of coanda nozzle gap. The mean temperature at the exit plane of exhaust gas decreased with the excess air factor and it was little affected by the increase of coanda nozzle gap. The NOx mass fraction at the exhaust gas exit plane remarkably decreased with the excess air factor and it was also little affected by the increase of coanda nozzle gap.

†Corresponding author: jisooaha@kmu.ac.kr

Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

**Key words** : exhaust gas recirculation burner, coanda nozzle, entrained flow rate, excess air factor, NOx mass fraction, swirl flow

## I. 서론

화석연료를 이용하여 연소를 하는 과정에서 질소산화물을 저감시키기 위한 방법으로 많은 연구가 진행되고 있다. 화석연료를 태워 에너지를 생산할 때 연료와 산소를 이용해 연소하여 고온의 에너지를 얻는다. 이때 공기에 포함되어 있는 질소가 반응하여 질소산화물이 생성된다.

공기 중에서 질소는 반응성이 낮은 물질이기 때문에 상온에선 안정된 분자상태로 존재하지만 고온에서 분해된 질소원자가 산소와 반응하여 질소산화물을 생성하게 된다. 연소반응에서 이러한 질소산화물을 저감하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 촉매를 통한 질소산화물 저감 장치를 활용하여 저감시키는 방안에 대한 특성을 확인하는 연구는 실험을 통해 Fe-zeolite 촉매가 바나듐 촉매보다 우수함을 증명하였다[1]. 연료 중 일부를 주연소 영역 후단에 투입하고 재연소 영역을 형성, 후단에 합성가스를 주입하여 질소산화물의 생성량을 줄이는 연구가 진행되었으며 재연소 연료로 메탄이 질소산화물을 가장 많이 감소시키는 것을 볼 수 있었다[2]. 또한 공기의 유량을 연료량보다 많이 연소시키는 연료희박 재연소의 연소특성을 통해 질소산화물을 저감시키는 방법에 대한 연구도 진행되었다[3]. 또한 배기가스 재순환 장치로 화력발전소에서 공기 흡입구에 배기가스의 일부를 재순환시켜 연소할 때의 최고온도를 낮춤으로 질소산화물의 발생을 억제하는 연구도 진행되었고, 실제 생산되고 있는 재순환 배기가스를 공급하는 장치인 EGR 연소기가 장착된 보일러에 가스 분석기를 설치하여 재순환율을 변경하여 실험을 통해 데이터를 분석하는 연구도 진행되었다[4,5]. 이 경우 배기가스를 연소로 내부에 재순환시켜 고온의 가스를 공기에 바로 연소시키는 것이 아니라 배기가스를 연소로에 재순환시켜 공기의 온도를 낮게 해 준다. 이로 인해 고온의 온도가 산소와 질소를 통해 질소산화물을 생성시키지 못하도록 하는 방법을 채택하고 있다.

본 연구에서는 배기가스를 재순환 시키는 장치로 코안다 노즐을 장착한 버너에 대해 연구하고자 한다. 코안다 노즐을 이용하여 연소로 내부에 있는 배기가스를 재순환하고 외부에서 들어오는 공기와 혼합하여 연소로에 투입할 경우에 연소 특성을 관

찰한다. 코안다 노즐의 형상에 따른 배기가스 재순환 유량 특성에 관한 연구는 본 연구에 선행되어 진행되었다[6,7]. 본 연구는 코안다 노즐이 장착된 배기가스 재순환 버너에서 코안다 노즐의 공기 분출 간격과 공기 유량 변화에 따라 유동 특성과 연소 특성을 규명하기 위해 수행하였다.

## II. 수치해석 방법

본 연구에서 사용한 배기가스 재순환 버너의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)에 나타난 것과 같이 버너의 연소로는 원통형이며 원통 가운데에 연료 공급용 배관이 설치되어 있다. 원통 버너의 외부에 두 개의 배관을 연결하여 배기가스를 재순환하도록 하였다. 배기가스를 재순환하는 원동력은 Fig. 1(b)에서 볼 수 있듯이 두 개의 외부 배관 가운데에 코안다 노즐을 설치하여 작은 간격을 통해 연소용 공기를 고속으로 분사함으로써 작은 간격 출구에서 낮은 압력을 생성시켜 원통 버너의 후류에 있는 배기가스를 흡입하도록 되어 있다. 또한 외부의 배관은 흡입구와 배출구는 같은 평면상에 있도록 한 것이 아니며 Fig. 1(c)에서 보듯이 같이 혼합가스의 배출은 선회유동이 만들어 질 수 있도록 원통 버너의 접선방향으로 각도 22.5°로 위치해 있다. 원통의 직경은 160mm이고 길이는 1180mm이다. 연료노즐의 직경은 5.15mm이다. Fig. 2에는 전산유체해석에 필요한 격자를 나타내었는데 본 연구에서는 격자수가 약 800만개로 구현하였다.

본 연구는 ANSYS WORKBENCH 모델링 프로그램을 이용하여 모델링 및 격자를 생성하였으며, 전산 열 유체 사용해석 프로그램인 Fluent 프로그램을 이용하여 해석을 수행하였다.

본 연구의 수치해석에 사용한 지배방정식은 3차원 정상상태 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식, 연소 반응에 관한 농도장 방정식으로 구성되어 있다. 난류 모델은 realizable  $k-\epsilon$  난류방정식을 사용하였고 연소모델은 Finite-rate 및 Eddy-dissipation 모델을 사용하였다.

연속방정식

$$\frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

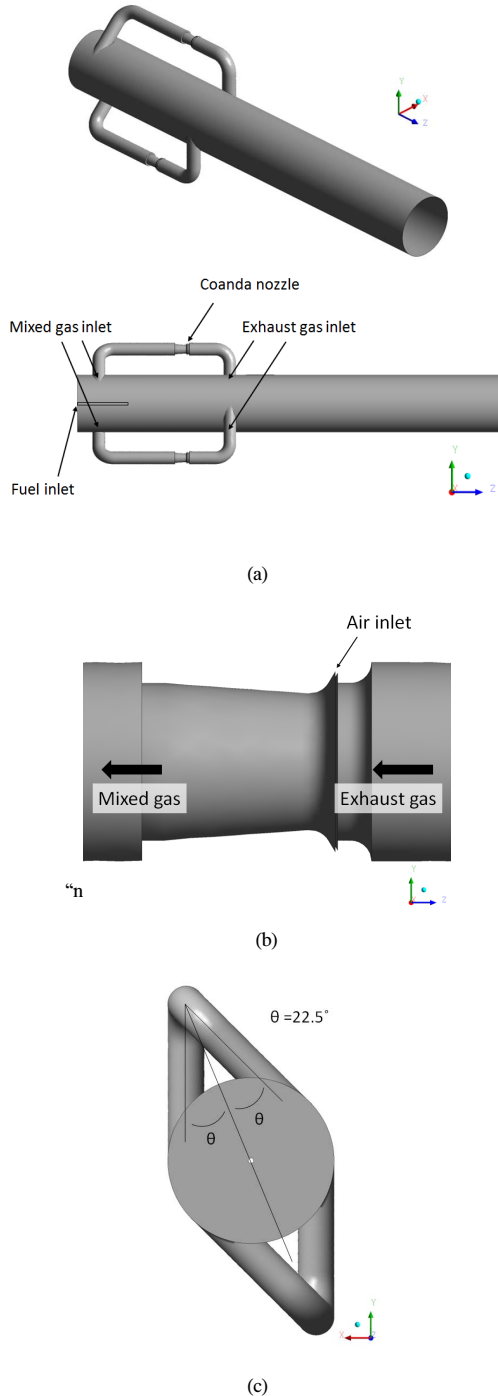


Fig. 1. Geometry configuration of flue gas recirculation burner with coanda nozzle.

운동량방정식

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}) - \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (2)$$

에너지 방정식

$$\nabla \cdot (\rho C_p \vec{v} T) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) + S_h \quad (3)$$

농도장 방정식

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = \nabla \cdot (\rho D_i \nabla Y_i) + R_i \quad (4)$$

본 연구에 사용한 연료는 메탄이며 메탄 유량을  $5.15 \times 10^{-4} \text{kg/s}$ 로 고정하였는데 이 유량에서 이론 공기량( $Q_{\text{ideal}}$ )은  $8.61 \times 10^{-3} \text{kg/s}$ 이다. 실제 공기량( $Q_{\text{areal}}$ )은 이론 공기량의 1.1배, 1.3배, 1.5배로 변화하였다. 코안다 노즐의 공기 측 간격은 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm 의 세 가지에 대하여 해석을 수행하였다.

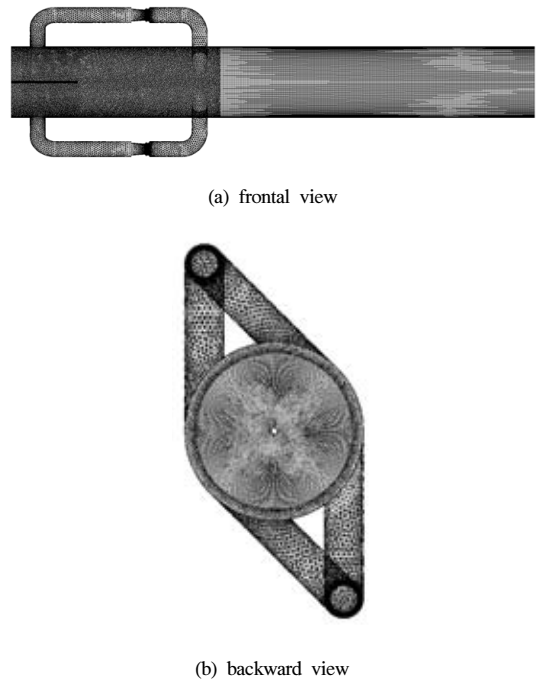


Fig. 2. Generated mesh for CFD analysis at the sections of frontal view and backward view.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 배기가스 재순환 버너의 연소 유동 특성

본 연구에서 코안다 노즐을 이용한 배기가스 재순환 연소로의 연소유동 특성을 살펴 보기위해 공기유량과 코안다 노즐의 간격을 변화시켜서 살펴보기로 하였다. 공기유량은 과잉공기계수 1.1인 경우, 코안다 노즐에서 공기 간격은 0.5mm인 경우를 기준 Case로 설정하여 이 경우의 연소유동 특성을 우선 살펴보기로 한다.

연소로 대칭 단면인  $x=0\text{mm}$ 에서 속도 분포에 대한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 가운데 연료노즐에서 분사하는 속도가 높기 때문에 속도가 가장 높게 나타나고 있다. 유입된 배기가스와 연소용 공기가

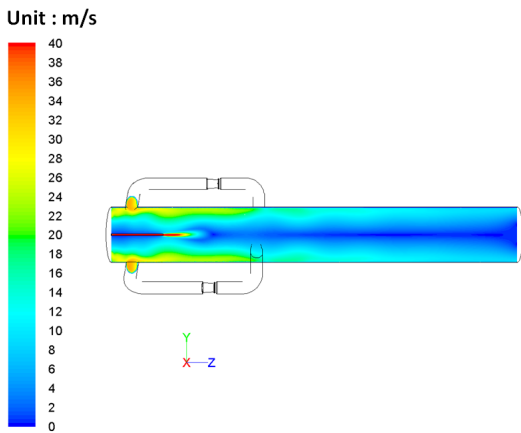


Fig. 3. Contour of velocity magnitude at the section of  $x=0\text{mm}$ . Excess air factor : 1.1 and coanda nozzle gap : 0.5mm.

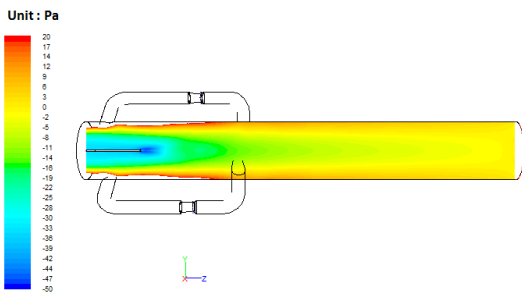


Fig. 4. Pressure contour at the section of  $x=0\text{mm}$ . Excess air factor : 1.1 and coanda nozzle gap : 0.5mm.

혼합되어 연소로에 투입되는 곳에서 혼합가스의 속도가 상대적으로 높게 나타났고 이 부분에서 투입되는 유동 방향은 Fig. 2에서 보여준 것과 같이 연소로 내에서 선회 유동을 형성하면서 흐르게 된다. 이러한 이유로 연소로 내에서 가운데 부분의 속도보다 연소로 가장 자리에서의 속도 크기가 상대적으로 크게 나타나고 있다.

Fig. 4에  $x=0\text{mm}$ 에서 압력분포를 나타내었다. 연료노즐이 있는 연소로 중심부분의 압력이 연소로 가장자리 보다 낮게 나타났는데 이는 속도 분포에서 살펴본 것과 같이 혼합가스가 분출되는 것이 선회 유동을 형성하도록 연소로의 접선방향으로 향하고 있기 때문이다. 연소로의 접선 방향으로 선회유동이 형성되면 연소로 중심부분은 압력이 낮아지게 된다. 특히 연료분출 출구에서부터 역방향의 벽면까지가 상대적으로 압력이 낮게 나타났다. 이렇게 압력이 낮게 되면 압력이 낮은 부분으로 흐름이 생기게 되어 연료노즐 출구와 역방향 벽면까지로 역류가 발생할 것으로 예측할 수 있다.

Fig. 4에서 압력 분포를 살펴본 결과, 연료분출 출구 부근에서 연소로 가운데 부분에서 역류 발생이 예측되었는데 이에 관한 유선을 Fig. 5에 표현하였다. Fig. 5는 배기가스 재순환 유입구와 혼합가스 투입구 사이의 연소로 단면에서 유동 시간 경과에

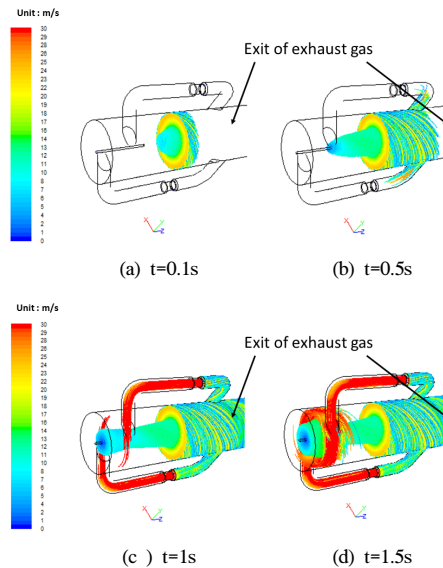


Fig. 5. Streamlines at several flow times. (a)  $t=0.1\text{s}$ , (b)  $t=0.5\text{s}$ , (c)  $t=1\text{s}$ , (d)  $t=1.5\text{s}$ . Excess air factor : 1.1 and coanda nozzle gap : 0.5mm.

따른 유선을 나타내었다. Fig 5(a)(t=0.1s)를 보면 연소로 가장자리에서는 배기가스 출구 쪽으로 유동이 형성되고 연소로 가운데에서는 역류가 관찰 된다. Fig. 5(b)(t=0.5s)에서는 연소로 가장자리는 계속적으로 배기가스 출구로 유동이 흐르고 있으면 배기가스 재순환 유입구에서 유입이 일어나는 것으로 관찰할 수 있다. 또한 연소로 가운데에서는 역류가 일어나는 것을 더욱 뚜렷이 관찰할 수 있다. Fig 5(c)(t=1s)와 Fig. 5(d)(t=1.5s)에서는 코안다 노즐 영역을 지나 혼합가스가 연소로 내부에 투입되면서 선회 유동을 형성하는 것을 확인할 수 있고 연소로 가운데 부분에서는 연료노즐 입구의 벽면까지 역류가 일어나는 것을 관찰할 수 있다.

연소반응을 통해 발생한 열에 의해 연소로 내의 가스 온도는 Fig. 6에서와 같이 고온을 형성한다. Fig. 6을 살펴보면 연료 분출 노즐 출구에서 후류 쪽으로 고온 영역이 형성되지만 노즐 출구의 상류 측에도 고온 영역이 존재함을 관찰할 수 있다. 특히, 연료노즐 입구의 벽면에 까지 900°C 이상의 온도 분포를 보여주고 있다. 이는 Fig. 4와 5에서 관찰한 대로 선회유동에 의해 연소로 가운데 부분에 역류가 발생하여 연료 노즐 출구보다 상류 측으로 고온의 가스가 역류되어 나타난 결과이다.

Fig. 7에는 메탄과 공기가 연소 반응할 때의 반응 속도 분포를 나타내었다. Fig. 6의 온도 분포에서 관찰한 것과 같이 연료 노즐 출구 보다 상류에서부터 선회 유동에 의해 연소로 벽면으로 연소반응이 활발히 일어나며 배기가스 재순환 배관의 유입구 부근까지 연소 반응이 일어나는 것으로 판단된다.

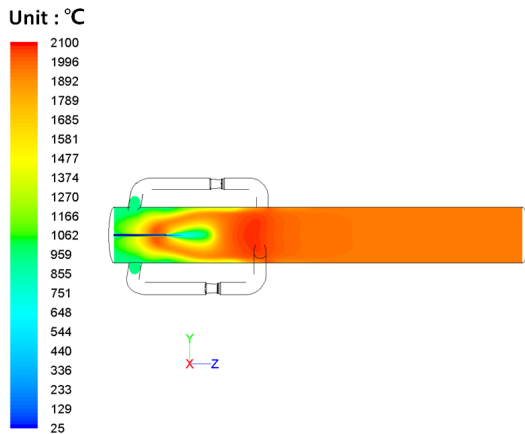


Fig. 6. Contour of temperature at the section of x=0mm. Excess air factor :1.1 and coanda nozzle gap : 0.5mm.

질소산화물인 NO<sub>x</sub>의 분포는 Fig. 8에 나타내었다. 질소산화물은 고온 분위기에서 공기 중의 질소와 산소가 반응하여 발생하게 되는데 질소산화물이 생성되는 반응 속도는 메탄이 산소와 반응하여 생성되는 H<sub>2</sub>O와 CO<sub>2</sub>의 생성 속도 보다 매우 느리다. Fig. 6에서 관찰한 온도 분포에서 고온의 영역은 배기가스 재순환 유입구 부근에서 상대적으로 온도가 높게 분포하는데 NO<sub>x</sub>의 분포는 그 이후에 배기가스 배출구인 후류로 갈수록 농도가 높게 나타나고 있다. 배기가스 배출구에서 가장 높은 농도를 보이고 있다. 이는 NO<sub>x</sub>의 생성 반응속도가 느리기 때문

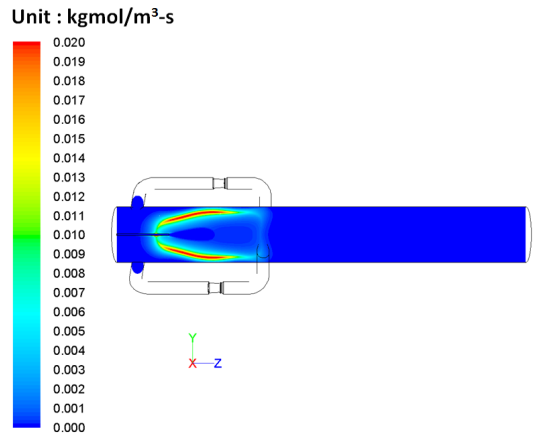


Fig. 7. Contour of reaction rate at the section of x=0mm. Excess air factor : 1.1 and coanda nozzle gap : 0.5mm.

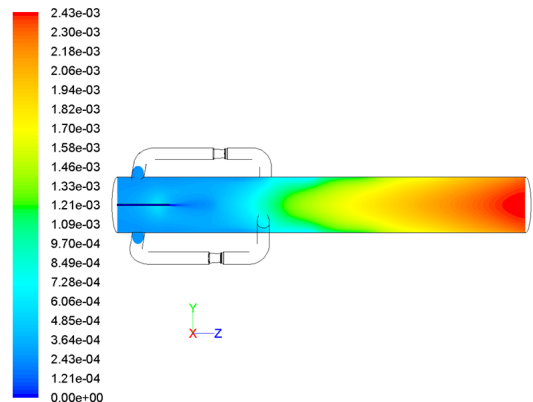


Fig. 8. Contour of NO<sub>x</sub> mass fraction at the section of x=0mm. Excess air factor : 1.1 and coanda nozzle gap : 0.5mm.

에 나타난 현상으로 판단된다.

### 3.2. 공기유량과 코안다 노즐 형상 변화에 따른 연소 유동 특성

코안다 노즐에서 투입되는 공기유량과 코안다 노즐의 입구 간격 변화에 따른 배기가스 재순환 유입 유량의 변화 특성을 Table 1, Table 2와 Table 3에 나타내었다. Table 1은 코안다 노즐 간격이 0.5mm인 경우인데 과잉공기계수(Excess air factor)가 1.1, 1.3 및 1.5로 변할 때 배기가스 재순환 유입량은 공기유량의 0.74, 0.76, 0.85배가 유입된다. Table에서 유입유량의 괄호안 수치가 공기유량을 기준으로 한 배기가스 재순환 유입량비를 나타낸다. 공기 유량의 증가에 따라 재순환 유입량비는 증가하는 것으로 나타났다. Table 2와 Table 3에는 코안다 노즐 간격이 1.0mm과 1.5mm일 때 재순환 유입량 변화를 나타내었다. 노즐 간격이 1.0mm와 1.5mm일 때에도 공기 유량이 증가하면 재순환 유입량비가 증가하지만 1.0mm일 때는 0.5mm일 때보다 재순환 유입량비가 반 정도로 줄어들고 1.5mm일 때는 더 줄어든다. 이는 코안다 노즐 간격이 증가하면 같은 공기유량일 때 노즐을 통과하는 속도가 낮아져서 코안다 노즐 공기 출구에서 압력이 0.5mm 일 때

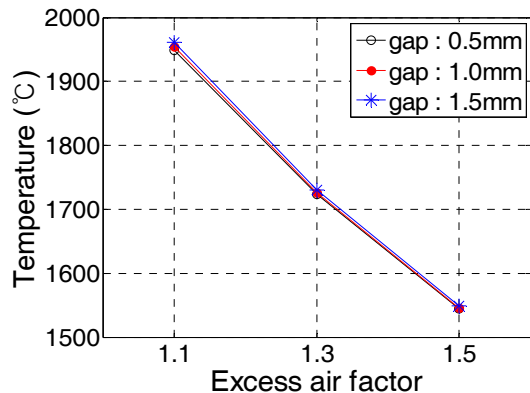
보다 덜 줄어들기 때문에 배기가스 재순환 유입 원 동력이 떨어지기 때문으로 판단된다.

Fig. 9에는 배기가스 출구 단면에서 배기가스의 평균 온도를 과잉공기계수와 노즐 간격 변화에 따라 변화하는 특성을 나타내었다. 노즐 간격 변화에 따라 배기가스 출구에서의 평균온도는 거의 변화가 없는 것으로 나타났는데 이는 배기가스 재순환 유입량이 증가하거나 감소하는 것에 관계없이 동일한 과잉공기비에서 연료의 투입량과 새로운 공기의 투입량이 동일하기 때문에 주어진 연료가 완전 연소 하면 배기가스 출구에서의 온도는 변화가 없이 같게 되는 것으로 판단된다. 과잉공기계수가 증가하면 연소에 필요한 공기 보다 더 많은 공기가 유입되어 연료인 메탄의 연소열이 과잉공기의 온도를 높이는데 이용되어 배기가스 출구에서의 평균온도가 감소하는 것으로 보인다.

배기가스 출구에서 NO<sub>x</sub>의 질량분을 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 과잉공기계수가 1.1일 때 노즐 간격이 0.5mm인 경우가 NO<sub>x</sub> 농도가 가장 높게 나타났고 노즐 간격이 1.5mm일 때가 가장 낮게 나타났다. 과잉공기계수가 1.3일 때와 1.5는 이와 반대로 나타났다. 이는 과잉공기계수가 1.1, 노즐간격 0.5mm일 때 상대적으로 고온의 배기가스 유입량이 상당히 많고 동일한 과잉공기계수, 노즐간격이 1.0mm, 1.5mm일 때는 상대적으로 높은 온도의 배기가스가 적게 유입되어 NO<sub>x</sub> 발생량이 노즐간격 0.5mm일 때가 가장 크게 나타났지만 과잉공기비가 1.3, 1.5일 때는 상대적으로 낮은 온도의 배기가스가 유입되고 노즐간격 0.5mm일 때에 가장 많은 배기가스 재순환유입량비이라서 NO<sub>x</sub> 발생이 역전 되는 것

**Table 1.** Entrained flow rate with the change of coanda nozzle gap

(a) gap 0.5mm			
Excess air factor	1.1	1.3	1.5
Air flow rate (kg/s)	0.0047	0.0056	0.0065
Entrained flow rate (kg/s)	0.0035 (0.74)	0.0044 (0.76)	0.0055 (0.85)
(b) gap 1.0mm			
Excess air factor	1.1	1.3	1.5
Air flow rate (kg/s)	0.0047	0.0056	0.0065
Entrained flow rate (kg/s)	0.0019 (0.40)	0.0025 (0.45)	0.0031 (0.48)
(c) gap 1.5mm			
Excess air factor	1.1	1.3	1.5
Air flow rate (kg/s)	0.0047	0.0056	0.0065
Entrained flow rate (kg/s)	0.0015 (0.32)	0.0018 (0.33)	0.0022 (0.34)



**Fig. 9.** Mean temperature at the exhaust gas exit plane with the change of excess air factor and coanda nozzle gap.

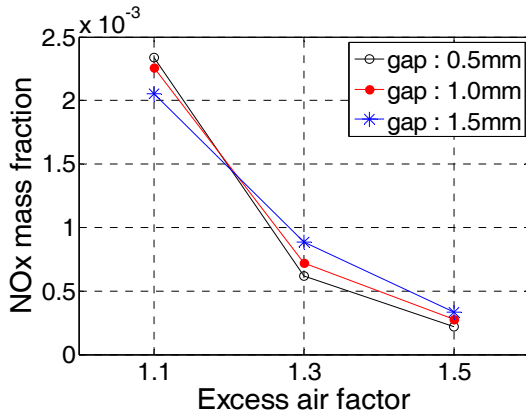


Fig. 10. Mean mass fraction of NO<sub>x</sub> at the exhaust gas exit plane with the change of excess air factor and coanda nozzle gap.

으로 판단된다. 과잉공기계수가 증가하면 NO<sub>x</sub> 농도는 현저히 감소하는 것으로 관찰할 수 있는데 이는 Fig. 9에서 살펴본 바대로 과잉공기계가 증가하면 배기가스출구의 온도가 낮아져서 NO<sub>x</sub>의생성이 감소하기 때문으로 판단된다.

#### IV. 결론

연소로에서 코안다 노즐을 이용하여 배기가스를 재순환할 때 코안다 노즐 간격과 공기유량을 변화하면서 연소로 내부의 유동과 연소 특성을 살펴보았고 아래와 같이 결과를 도출할 수 있었다.

(1) 코안다 노즐을 이용한 배기가스 재순환 버너의 연소유동 특성

본 연구의 배기가스 재순환 버너는 코안다 노즐을 이용하여 배기가스를 재순환하는 특징을 가지고 있다. 이에 따라 유동은 연소로 가장 자리로 선회 유동이 일어났으며 연소로 가운데 부분에 낮은 압력 분포를 보여주었고 이로 인해 연료 노즐 상류로의 역류를 유발하였다.

연소반응의 온도 분포와 반응속도 분포에서도 연소로 가운데 부분의 낮은 압력으로 역류의 영향으로 연료노즐 출구 보다 상류까지 고온의 온도 분포와 반응속도 분포를 보여주었다.

(2) 공기유량과 코안다 노즐 형상 변화에 따른 연소 유동 특성

노즐 간격이 0.5mm일 때 과잉공기계수가 1.1에

서 1.5로 변화할 때 배기가스 재순환 유입량 비는 0.74에서 0.85로 증가하였다. 노즐간격이 1.0mm와 1.5mm로 변화하면 배기가스 재순환 유입량 비는 노즐간격이 0.5mm일 때보다 상대적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 노즐 간격이 크면 속도가 낮아져서 배기가스를 유입하는 원동력이 낮아지기 때문이다. 과잉공기계수가 증가하면 노즐 간격의 변화에 관계없이 배기가스 출구에서 온도가 낮아지는데 이에 따라 배기가스 출구에서의NO<sub>x</sub> 농도도 같은 경향으로 감소하는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 2016년도 계명대학교 비사연구기금으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

#### 사용기호

- C<sub>p</sub> : constant pressure specific heat [kJ/kgK]
- D<sub>i</sub> : i-th species mass transfer coefficient [m<sup>2</sup>/s]
- k<sub>eff</sub> : effective thermal conductivity [W/m<sup>2</sup>K]
- p : pressure [Pa]
- Q<sub>aideal</sub>: ideal air mass flow rate [kg/s]
- Q<sub>areal</sub> : real air mass flow rate [kg/s]
- R<sub>i</sub> : i-th species reaction rate [kg/m<sup>3</sup>s]
- S<sub>h</sub> : energy source term [kJ/m<sup>3</sup>s]
- T : temperature[°C]
- u<sub>j</sub> : velocity for j axis [m/s]
- x<sub>j</sub> : coordinate for j axis [m]
- Y<sub>i</sub> : i-th species mass fraction

#### 그리스 문자

- ρ : density [kg/m<sup>3</sup>]
- μ<sub>eff</sub> : effective viscosity [kg/ms]

#### REFERENCES

[1] Kang, G. W., Dong, Y. H., Park, J. H., Park, K. G., Lee, J. T., and Kim, J. S., "NO<sub>x</sub> Reduction Characteristics of Vanadium and Fe-Zeolite Urea-SCR Catalyst", The Korean Society Of Automotive Engineers, 461-466, (2011)

[2] Chae, T. Y., Lee, J. W., Jo, G. R., Ryu, C. K., Kang, K. S., and Yang, W., "Reburning Characteristics of Syngas in a 60kW Combustion Sys-

- tem", The 47th KOSCO Symposium, 155-158, (2013)
- [3] Kim, H. Y., Baek, S. W., Son, H., and Kim, S. W., "Experimental and Numerical Investigation for NO<sub>x</sub> Reduction with Fuel Lean Re-burning System", J. Korean Soc. Combust., 14(2), 18-25, (2009)
- [4] Ha, J. S., Shim, S. H. and Jung, S. H., "A Study on the Flow Characteristics in a MILD Combustion Waste Incinerator with the Change of Flue Gas Recirculation", J. of Energy Engineering, 23(2), 51-57, (2014)
- [5] Yu, B. H., Kim, J. M., Lee, S. R., Kum, S. M., Lee, C. E. and Son, S. K., "A Basic Study of Combustion System Applying Exhaust Gas Recirculation", The 43th KOSCO Symposium, 437-442, (2011)
- [6] Ha, J.S., Shim, S. H., "A Study on the Exhaust Gas Recirculation in a MILD Combustion Furnace by Using the Coanda Nozzle Effect", J. of Kor, Soc. Environ. Eng., 35(12), 967-972, (2013)
- [7] Ha, J.S., Shim, S. H., "Characteristics of Entrainment Flow Rate in a Coanda Nozzle with or without Coaxial Contractor", J. of the Korea Institute of Gas, 18(2), 21-27, (2014)