

## 열교환기 관사이의 거리변화에 대한 열효율 특성

김종민\* · 이재박 · 이승로<sup>†</sup> · 이창언 · 금성민\*\*

\*인하대학교 기계공학과, \*\*한라대학교 기계자동차공학부

(2010년 7월 20일 접수, 2010년 9월 15일 수정, 2010년 9월 15일 채택)

## Characteristics of Thermal Efficiency with Changing Distances Between Tubes for Heat Exchanger

Jong-Min Kim\*, Jaepark Lee, Seungro Lee<sup>†</sup>, Chang-Eon Lee and Sung-Min Kum\*\*

*\*School of Mechanical Engineering, Inha University*

*\*\*School of Mechanical and Automotive Engineering, Halla University*

(Received 20 July 2010, Revised 15 September 2010, Accepted 15 September 2010)

### 요 약

열교환기는 용도에 따라 여러가지 형태가 존재하지만 중요한 것은 열교환기의 성능을 향상시킴으로서 열교환기의 크기를 소형화하는 것이라 할 수 있다. 그러나 보일러처럼 열교환기가 버너 앞에 위치할 경우 열교환기의 효율도 중요하지만 환경오염물질의 배출특성도 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 비예혼합화염보다 화염길이가 짧고 당량비 조절을 통해 NO<sub>x</sub> 및 CO 배출을 제어할 수 있는 예혼합방식의 버너 앞에 원형관 열교환기를 설치한 후 열교환기 관사이의 거리 및 당량비를 변화시킬 때 NO<sub>x</sub>와 CO의 배출특성과 열교환기의 열효율을 실험적으로 구하였다.

**주요어** : 열교환기, 병행류, 대향류, 예혼합화염, CO, NO<sub>x</sub>

**Abstract** — There are various types of heat exchanger by its purpose and usage, but the important thing is making smaller size of heat exchanger with increasing of the performance of heat exchanger. However, when a burner exists in front of a heat exchanger like boiler, the thermal efficiency of heat exchanger is not only important, but the characteristics of pollutant emission should be considered. Therefore, in this study, a circular tube type of heat exchanger in front of premixed burner, which has a shorter of flame length than that of non-premixed burner and can control NO<sub>x</sub> and CO emission by adjustment of equivalence ratio, was installed. Consequently, characteristics of NO<sub>x</sub> and CO emission and thermal efficiency of heat exchanger were studied with changing distances between tubes and equivalence ratio, experimentally.

**Key words** : Heat exchanger, Parallel flow, Counter flow, Premixed flame, CO emission, NO<sub>x</sub> emission

### 1. 서 론

열관련 산업의 많은 공정사이에는 유체들과의 열교환이 필수적으로 일어나며 효과적인 열교환을 통하

여 열시스템의 효율을 높이고자 사용되는 것이 열교환기이다. 열교환기는 용도에 따라 여러가지 형태가 존재하지만 주요 관심사는 열교환기의 성능을 향상시킴으로서 열교환기의 크기를 소형화하는 것이라 할 수 있다.

열교환기의 효율은 유동조건, 관 표면 형상과 표면 거칠기 등에 의해 큰 영향을 받는다. 일반적으로 열교환기의 열전달을 촉진시키는 방법은 환을 사용하여

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

Dept. of Mechanical Eng. Inha Univ.

253 Yonghyeon 4-dong, Nam-gu, Incheon, 402-751, Korea

Tel : 032-867-4522; E-mail : seungrol@inha.ac.kr

열전달면적을 증가시키거나 열전달표면을 다양하게 가공하여 대류열전달계수를 증가시키는 방법이 있고 열교환기 앞에 다공판이나 리브 등의 난류촉진체를 설치하여 생성된 경계층을 파괴시킴으로서 열저항을 감소시키는 방법 등이 있다.

이 [1] 등은 판형열교환기에서 판사이의 간격변화에 따른 열교환기 성능을 연구하였고, 모 [2]는 원형관 및 납작관-평판형 형상의 밀집형 열교환기에 대한 수치해석을 통해 대류열전달 상관관계식을 구했으며, 최근 MEMS 및 금속과 금속간의 접합강도가 우수한 접합 기술이 발전하면서 채널의 수력직경이 1 mm 이하인 마이크로 채널 열교환기의 연구 [3]도 진행되고 있다. 특히 공조용 열교환기에서는 관직경이 다른 이경관 열교환기에 대한 연구 [4]도 주목을 받고 있다. 그러나 이와같은 연구 [5,6]들은 주로 공조기용 열교환기를 대상으로 연구되고 있기 때문에 열효율향상이나 소형화에 초점이 맞추어져 있지만 보일러처럼 열교환기가 버너 앞에 위치할 경우 열교환기의 효율도 중요하지만 그에 따른 환경오염물질의 배출특성이 중요하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 비예혼합화염보다 화염길이 가 짧고 당량비 조절을 통해 NO<sub>x</sub> 및 CO 배출을 제어할 수 있는 예혼합방식의 소형 버너 앞에 원형관 열교환기를 설치한 후 열교환기 관사이의 거리 및 당량비를 변화시킬 때 NO<sub>x</sub>와 CO의 배출특성을 검토하고 최적 당량비에서 열교환효율을 실험적으로 구하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 조건

### 2-1. 버너 및 열교환기의 구조

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 버너와 열교환기의 개략도이다. 버너의 연소방식은 예혼합방식으로서 연료는 LNG를 사용하였으며, 버너의 크기는 160 mm × 147 mm(연소면의 크기는 83 mm × 96 mm)이고 이때 발열량은 3,120 kcal/h이다.

열교환기는 지름 8 mm 길이 116 mm인 스테인레스관을 8개씩 4줄로 배열하였으며, NO<sub>x</sub>와 CO의 배출특성과 열전달특성을 확인하기 위해 관과 관사이의 거리(L)를 5 mm, 10 mm, 15 mm로 변화시킨 3종류의 열교환기를 제작하였다. 열교환기 및 버너의 크기는 향후 일반보일러의 특성과 비교하기 위해 부하량 및 전열면적을 고려하여 설계하였다.

### 2-2. 실험장치 및 조건

Fig. 2는 실험장치의 개략도이다. 연소용 공기는 컴프레서를 통해 공급되며 각각 서지탱크 및 필터를 통과하고 정밀레귤레이터를 통해 일정압력으로 질량유량계(Bronkhopst)로 들어온다. 연료인 LNG도 봄베에서 레귤레이터를 통과여 질량유량계에 의해 공급되며 버너 상부에서 혼합된다. NO<sub>x</sub> 및 CO의 배출농도 측정은 연소가스분석기(Lano Lancom III, AMETEK)로 측정하였고, 열교환기 입구 및 출구에 열전대를 부착하여 데이터로거(HP 3852A) 연결한 후 입구수온과 출구수온을 측정하였으며 배기가스 온도도 별도로 측정하였다. 또한 열교환방식에 따라 배기가스 특성과 열교환기의 효율을 검토하기 위해 병행류방식과 대향류방식으로 구분하여 실험하였다.

당량비는 실용연소기의 운전범위를 고려하여 0.7 ~ 0.9까지 변화시켰으며 실험조건은 Table. 1과 같다.

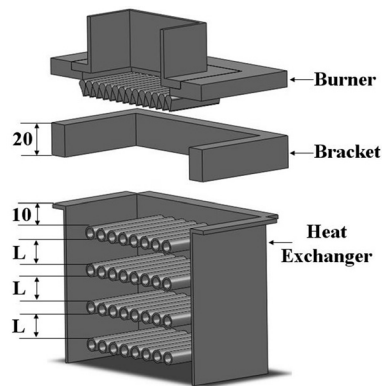


Fig. 1. Schematic of burner and heat exchanger.

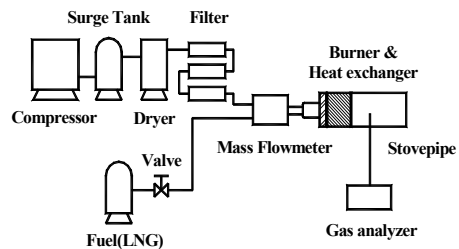


Fig. 2. Performance test system of heat exchanger.

Table 1. Experimental condition.

열교환기 관과 관사이의 거리(mm)	5, 10, 15
열교환 방식	병행류, 대향류
당량비	0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9
버너 발열량(kcal/h)	3,120

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 당량비 변화에 따른 NO<sub>x</sub> 및 CO 배출특성

Fig. 3은 3종류의 열교환기에 대해 병행류방식일 때 당량비 변화에 따른 NO<sub>x</sub>의 배출특성을 나타낸 것으로 관사이의 거리변화에 관계없이 당량비가 커질수록 NO<sub>x</sub>는 증가하는데 이것은 당량비가 커질수록 화염온도가 높아지기 때문이며 [8] 당량비 변화에 따른 배출량은 당량비 0.7일 때 약 16~19 ppm, 0.9일 때 약 62~78 ppm 정도로 나타난다. 당량비가 동일할 때 관사이의 거리 변화에 대한 NO<sub>x</sub> 분포는 최대 약 16 ppm 정도로 큰 차이가 없다.

Fig. 4는 대향류방식일 때 당량비 변화에 따른 NO<sub>x</sub>의 배출특성을 나타낸 것으로 당량비가 커져도 NO<sub>x</sub>의 절대값 및 증가경향은 병행류방식과 유사하다. 따

라서 열교환기 관사이의 거리 및 당량비가 변하여도 열교환방식에 따른 NO<sub>x</sub> 분포는 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 특히 병행류방식이나 대향류방식 모두 NO<sub>x</sub>는 당량비가 0.7 및 0.75에서 약 16 ppm(열교환기 관사이의 거리가 15 mm 인 경우)으로 최소치를 나타낸다.

Fig. 5는 3종류의 열교환기에 대해 병행류방식일 때 당량비 변화에 따른 CO의 배출특성을 나타낸 것으로 NO<sub>x</sub> 분포와 유사하게 당량비가 커지면서 CO도 증가한다. 이것은 당량비가 커질수록 CO를 산화시킬 수 있는 O<sub>2</sub>의 유효성이 감소하고 또한 높아지는 화염온도 때문에 CO<sub>2</sub>가 CO로 해리 [9]되는 경향이 강해지기 때문이다. 관사이의 거리변화에 대해 살펴보면 5 mm인 경우가 가장 높게 나타나며 10 mm와 15 mm 일 때 당량비 0.7과 0.75에서 약 50 ppm으로 가장 적

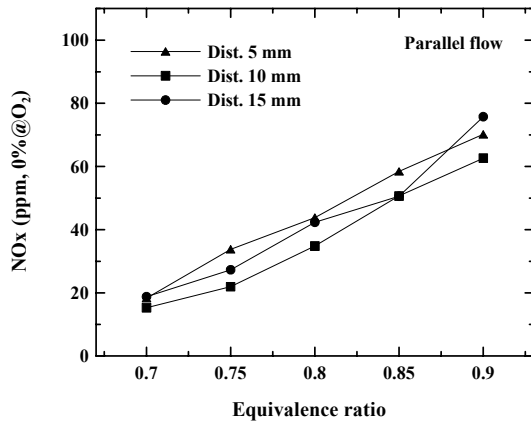


Fig. 3. Variation of NO<sub>x</sub> concentration with equivalence ratio(Parallel flow).

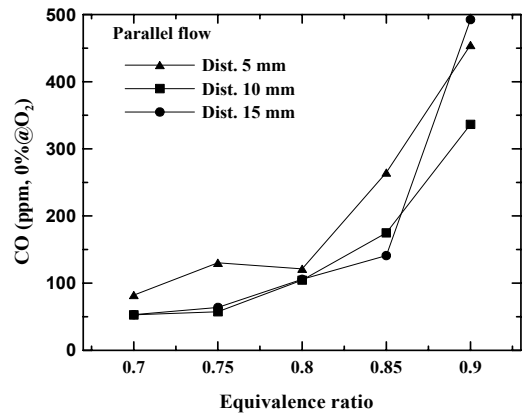


Fig. 5. Variation of CO concentration with equivalence ratio(Parallel flow).

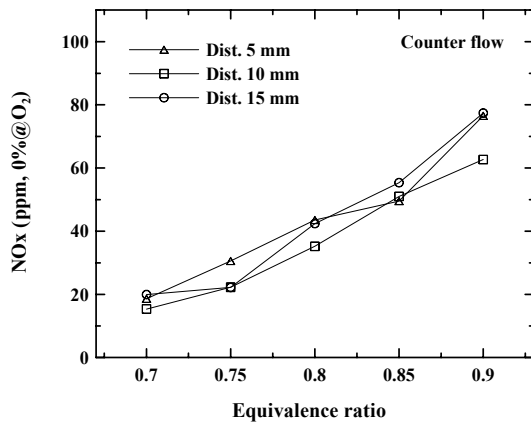


Fig. 4. Variation of NO<sub>x</sub> concentration with equivalence ratio(Counter flow).

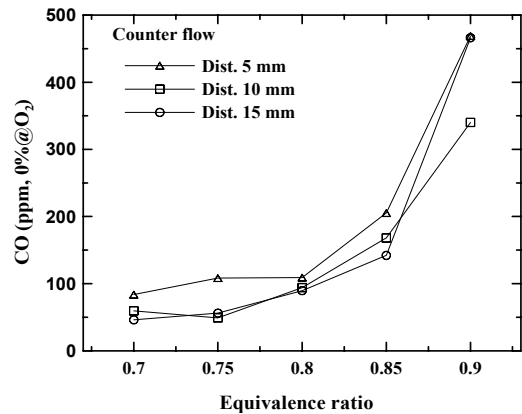


Fig. 6. Variation of CO concentration with equivalence ratio(Counter flow).

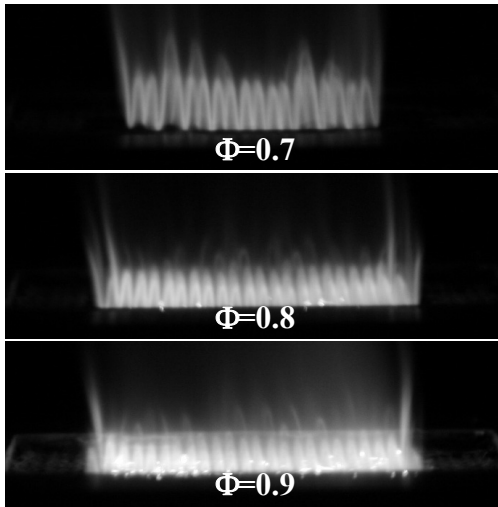


Photo. 1. Burner flame.

게 배출된다.

Fig. 6은 대향류방식일 때 당량비 변화에 따른 CO의 배출특성을 나타낸 것으로 NO<sub>x</sub> 변화와 동일하게 CO 역시 병행류방식과 대향류방식에 따른 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 특히 병행류방식이나 대향류방식 모두 열교환기 관사이의 거리 변화와 관계없이 CO는 당량비 0.8과 0.85에서 급격하게 증가하기 때문에 최적 운전조건을 고려한다면 당량비 0.8 이하가 적정하다.

지금까지 3종의 열교환기에 대해 열교환방식과 당량비 변화에 따른 NO<sub>x</sub> 및 CO 배출특성을 검토한 결과 당량비 증가에 따라 NO<sub>x</sub> 및 CO는 증가하며 병행류방식이나 대향류방식에 의한 증가경향은 유사하다. 따라서 본 실험범위내에서는 당량비 0.7과 0.75(NO<sub>x</sub>는 약 16 ppm, CO는 약 50 ppm)가 최적의 운전조건으로 판단된다.

Photo. 1은 당량비에 따른 버너의 화염형상으로 당량비가 0.7일 때 버너 양끝에서 부상현상이 일어나며, 당량비 0.9일때는 적화현상이 발생하는 것을 볼 수 있다.

### 3-2. 관사이의 거리변화에 따른 배기가스온도 및 열효율

Fig. 7은 열교환 방식에 따라 관사이의 거리가 변할 때 열교환기 출구에서 배기가스 온도를 나타낸 것이다. 앞에서 배기가스중의 NO<sub>x</sub>와 CO를 고려할 때 당량비는 0.7과 0.75가 가장 적정한 것으로 판단하였

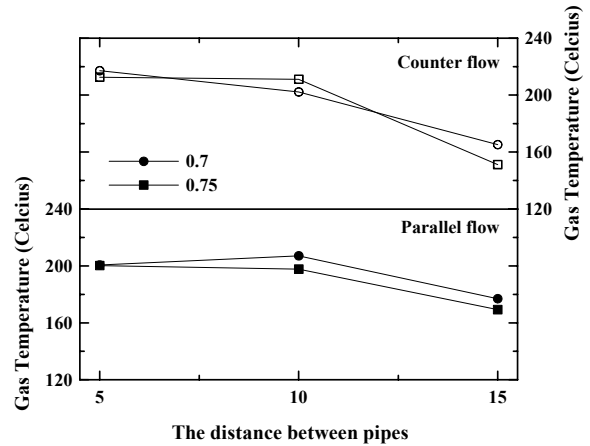


Fig. 7. Variation of exhaust gas temperature.

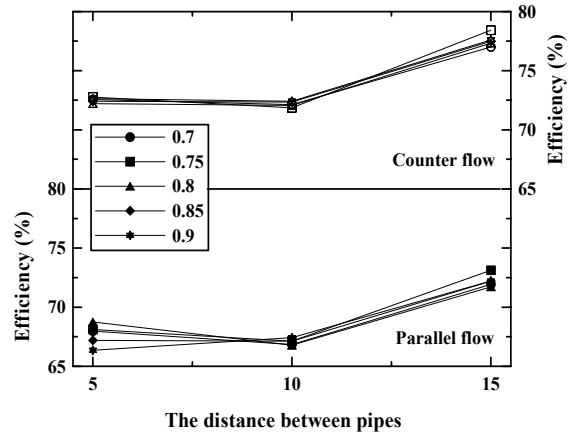


Fig. 8. Distribution of thermal efficiency for heat exchangers.

기에 당량비가 0.7과 0.75인 경우만을 비교하였다.

관사이의 거리가 증가할수록 열교환이 증진되어 배기가스의 온도는 점차 낮아지고 있으며 당량비 변화에 대해서는 큰 차이가 없다. 대향류방식과 병행류방식을 살펴보면 전체적인 경향은 유사하지만 관사이의 거리가 15 mm인 경우에 대향류방식이 병행류방식보다 약 10~20°C 정도 낮게 나타난다.

일반적으로 보일러에서 부하량이 일정할 때 보일러의 효율은 열교환기 입구수온과 출구수온의 온도차에 의해 결정되지만 출구에서 배기가스 온도에 의한 상대적인 비교를 통해서도 알 수 있다. 따라서 본 실험범위내에서 열교환기의 효율은 열교환기 출구에서 배기가스의 온도에서 나타났듯이 관사이의 거리가 길고 대향류방식의 흐름일 때 가장 좋을 것으로 예측된다.

Fig. 8은 본 연구의 최종목표인 3종의 열교환기에 대한 열효율을 나타낸 것이다. 열교환방식과 당량비

에 관계없이 관사이의 거리가 5 mm와 10 mm에서는 차이가 크지 않지만 15 mm일 때는 약 10% 이상 증가한다. 따라서 본 연구에서 사용한 관형식의 열교환기에서는 관사이의 거리가 열효율에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 당량비 변화에서는 당량비가 0.75일 때가 가장 좋았지만 그 차이는 3% 이내이기 때문에 전체적으로는 당량비가 열효율에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 비예혼합화염보다 화염길이가 짧고 당량비 조절을 통해 NO<sub>x</sub> 및 CO 배출량을 제어할 수 있는 예혼합방식의 버너 앞에 원형관 열교환기를 설치한 후 열교환기 관사이의 거리와 당량비를 변화시킬 때 NO<sub>x</sub> 및 CO의 배출특성과 열교환기 효율을 실험적으로 규명한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 열교환기 관사이의 거리 변화와 관계없이 당량비가 커질수록 NO<sub>x</sub> 및 CO는 점차적으로 증가하며 병행류방식이나 대향류방식에 의한 경향은 유사하다. 특히 본 실험범위내에서 당량비 변화에 대해 NO<sub>x</sub> 및 CO를 고려할 경우 적정 당량비는 0.7과 0.75(NO<sub>x</sub>는 약 16 ppm, CO는 약 50 ppm)이다.
- (2) 열교환기 관사이의 거리가 길어질수록 대향류방식과 병행류방식 모두 배기가스의 온도는 낮아지며, 본 실험범위내에서는 관사이의 거리가

가장 긴 15 mm 일때가 가장 낮게 나타났다.

- (3) 3종의 열교환기에 대한 열효율은 관사이의 거리가 5 mm와 10 mm일때는 차이가 크지 않지만 15 mm일 때는 약 10% 이상 증가한다.

#### 참고문헌

1. 이수윤; 안준; 신승원. 판 사이 간격에 따른 관형 열교환기 성능에 관한 수치해석 연구, 한국전산유체공학회 2009년도 춘계학술대회논문집, 2009, 347-354.
2. 모정하, 원형관 및 납작과평판형 형상의 밀집형 열교환기에 대한 대류열전달 상관관계식, 대한기계학회, 2010, 34(3), 291-299.
3. 이해승; 전동순; 김영률; 김선창. 마이크로채널 열교환기에서 채널 굽힘 각도에 따른 R-134a의 증발열전달 특성에 관한 연구, 대한기계학회, 2010, 34(6), 635-642.
4. 김현영, 가정용 공조기용 열교환기 개발동향, 설비저널, 2008, 37(2), 11-23.
5. 유성연; 진광일; 권화길. 스크린을 이용한 직교류 열교환기의 열전달 촉진에 관한 연구, 대한설비공학회 2007 동계학술발표대회 논문집, 2007, 185-190.
6. 오규남; 전용두; 이금배. Shell & Tube 열교환기에서 Baffle Height에 따른 열전달 특성, 대한설비공학회 2009 동계학술발표대회 논문집, 2009, 504-508.
7. 강승규; 최경석; 윤준용. 2단 열교환기 장착에 따른 가정용 보일러 연소실의 연소 및 열전달 특성, 대한기계학회 열공학부분 2009년도 춘계학술대회, 2009, 386-389.
8. 김종민; 이승로; 금성민; 이호연; 윤희중; 이창언. 열교환기 위치에 따른 NO<sub>x</sub> 및 CO 생성특성, 한국연소학회 2009년도 춘계학술대회논문집, 2009, 229-236
9. 박준규; 이석희; 정영식; 금성민; 이창언. 응축 가스보일러의 연소기와 열교환기의 최적화 연구. 한국에너지공학회 200년도 춘계학술발표회 논문집, 2000, 201-207.