

<論 文>

유동층 연소로 내에서 수평전열관의 열전달 특성에 관한 연구

맹민재* · 정준기** · 정태용***

(1994년 4월 6일 접수)

**Heat Transfer Characteristics of a Horizontal Fin Tube
in a Fluidized Bed Combustor**

Min-Jae Maeng, Joon-Ki Chung and Tae-Young Chung

Key Words : Rake Angle(경사각), Fluidized Bed(유동층), Heat Transfer Coefficient(열전달계수), Smooth Tube(단순표면 전열관), Superficial Velocity(공탑속도)

Abstract

The objective of this study is to get the basic data for the development of fluidized bed combustor. For this purpose, various rake angles ($\theta = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$) of finned tubes and a smooth tube were installed horizontally in the fluidized bed combustor of 410×250 mm. The effect of fluidized bed temperature, superficial velocity in bed, size of bed materials, rake angle of finned tubes on the heat transfer coefficient was experimentally investigated. The following results were obtained. (1) Under the fluidized bed temperature ($750^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$), and the gas velocity in bed (1.1 ~ 2.8 m/sec), The highest heat transfer coefficient was measured with the rake angle of finned tubes was $\theta = 25^\circ$ and $\theta = 35^\circ$ for the average fluidized material particle size of 1.22 mm and 1.54 mm, respectively. Generally, the heat transfer coefficient of finned tubes is 1.4 to 2.4 times larger than that of smooth tubes. (2) The size of bed materials influences the rake angle of finned tubes which can have the highest heat transfer coefficient. As the temperature in bed gets higher, the effect of the rake angle of finned tubes on the heat transfer coefficient becomes greater.

기호설명

A_o, A_i	: 전열관의 외부 및 내부 표면적(mm^2)
F_o, F_i	: 전열관의 외부 및 내부 표면에서의 불결계수
h_o, h_i	: 전열관의 외부 및 내부 표면에 대한 열전달계수($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)
K_o	: 전열관의 열전도율($\text{W}/(\text{m}\text{K})$)
t	: 전열관의 두께($D_o - D_i)/2$ (mm)
A_m	: 관의 대수 평균 표면적 = $\frac{A_o - A_i}{ln(A_o/A_i)}$ (mm^2)

r_o, r_i	: 전열관의 외부 및 내부 반지름(mm)
L	: 전열관의 길이(mm)
T_A	: 평균유동층 온도(K)
T_B	: 전열관내의 물의 평균온도(K)
C_{pw}	: 물의 정압비열(J/KgK)
m	: 물의 질량유량(m^3/sec)
Q_w	: 물의 유량(m^3/sec)
ρ_w	: 물의 밀도(Kg/m^3)
T_1, T_2	: 전열관 속을 흐르는 물의 입구 및 출구온도(K)
d_p	: 유동매체의 직경(mm)
X	: 유동매체의 질량비

*정회원, 홍익대학교 대학원

**정회원, 홍익대학교 기계공학과

***정회원, 국민대학교 기계공학과

1. 서 론

1970년대 이후 급증하는 에너지 수요에 대처할 수 있는 안정된 에너지 공급방법을 모색하기 위해 석유 대체에너지 개발에 많은 연구가 이루어지고 있다. 석유 대체에너지의 하나인 석탄의 새로운 이용 기술로는 가스화, 액화 등의 고급연료로의 전환기술, 유동층 연소, 석탄-오일 혼합(coal-oil mixture : COM)연소, 석탄-물혼합(coal-water mixture : CWM)연소 등이 있으며, 이들 중 유동층연소, COM연소, CWM연소가 새로운 연소방법으로 활발히 연구되고 있다. 유동층 연소는 연소시 발생되는 유해성분의 제거용이, 다양한 연료의 사용가능, 뛰어난 열전달 특성 등으로 인하여 주목되고 있다. 즉 유동층 연소로에서는 유동매체로 석회석(limestone), 백운석(dolomite) 등을 사용하면 연소과정에서 연료중의 유황이 산화반응하여 생성된 황성분을 유동층내에서 효과적으로 제거할 수 있기 때문에 세계 여러 나라에서 활발하게 연구되고 있다.^(1~4) 특히 미국의 경우 고황분 석탄에 대해 EPA(environment protection agency)의 공해 규제치를 만족할 수 있는 연소방법으로써 유동층 연소방법을 채택하고 있다.

또한 전열관을 유동층내에 배치한 경우에는 유동매체와 전열관 표면사이의 충돌접촉으로 인하여 기존 보일러의 대류열전달방식에 비해 열전달계수가 매우 크다. 그러나 유동층 연소보일러는 고체입자가 격렬하게 운동하므로 유동층내에 전열관을 설치할 경우 전열관에 발생하는 마모가 큰 문제가 되며 이에 대한 대책이 필요하다. 유동층 연소로 설계에서 유동층내 전열관은 주로 열전달 표면이 단순표면 전열관을 사용해 왔으며, 전열표면이 단순표면인 전열관은 전열표면과 유동매체 사이에 충돌접촉과 연소화염에의 직접노출로 인한 침식(erosion)때문에 전열관의 수명이 기존 보일러보다 매우 짧다.

일반적으로 유동층내에 설치된 전열관으로의 열전달량은 핀이 부착된 전열관의 경우가 핀이 없는 전열관의 경우보다 큰 것으로 알려지고 있으며, 전열관에 핀을 부착한 결과, 침식은 대부분 핀에서 일어나 전열관의 수명도 길어진 것으로 보고되고 있는데 구체적인 기술자료의 입수가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 가스 유동층 보일러내에 설치되는 전열관에 핀부착 여부에 따른 열전달 특성을

을 연구하여 이에 대한 자료를 정립하는 것이 본 연구의 목적이며 따라서 삼각형 형상의 핀이 방사상으로 부착된 수평전열관에 대한 열전달 특성을 조사하고, 단순표면 전열관에 대한 결과와 비교분석하여 유동층 보일러의 전열관 설계에 관한 기본자료로 활용하고자 한다.

2. 유동층내의 열전달 기구

유동층내에 설치된 전열면으로의 열전달에 영향을 미치는 대표적인 인자로는 유동층 운도, 층내 가스속도, 유동매체의 크기, 모양 및 물성, 공기 분배판의 형태, 전열관의 크기, 재질 및 형태, 전열관의 배열형태 등이 있으며 이와 같은 여러 가지 변수들을 고려하여 열전달 특성을 해석하여야 하므로 그 전열현상은 대단히 복잡하다. 기체와 고체 입자의 혼합상으로 되어 있는 유동층 연소로에서의 열전달은 대류와 복사에 의해 이루어지나, 고체 입자와 전열관 사이의 충돌에 의한 접촉 열전달이 대부분을 차지한다. 유동층에서의 열전달계수는 유동하는 열매체와 전열관 표면사이의 열전달계수(heat transfer coefficient) h_0 로 정의된다.⁽⁵⁾ 열매체와 전열관 표면사이의 열전달계수 h_0 는 냉각관내의 물의 양이나 온도에 관계없이 유동층내의 현상에만 영향을 받기 때문에 실험변수의 효과를 알 수 있다. 또한 열전달계수는 전열면적의 어느 한 부분에 관한 국부 열전달계수의 개념이 아니고 열전달 면적 전체에 관한 평균 열전달계수로 정의할 수 있다.

열교환기에서의 고온 유체로부터 저온 유체로의 열흐름 경로에서 열저항은 흐름과 연관된 표피저항(skin resistance), 벽에 퇴적물의 형성으로 인한 스케일 저항(scale resistance) 및 전열관 재료자체의 열저항을 포함한다. 따라서 열전달이 관 내부와 외부를 흐르는 유체 사이에 일어나는 열교환기에서 전열관을 통한 열흐름에 대한 총 열저항 R 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{1}{\text{내부 흐름의} + \text{내부 표면에서의} + \text{관 재료의}} \\ \quad \text{열저항} \quad \text{불결저항} \quad \text{열저항} \\ + \frac{1}{\text{외부 표면에서의} + \text{외부 흐름의}} \\ \quad \text{불결저항} \quad \text{열저항}$$

위의 각 항을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$R = \frac{1}{A_i h_i} + \frac{F_i}{A_i} + \frac{t}{K_0 A_m} + \frac{F_0}{A_0} + \frac{1}{A_0 h_0} \quad (1)$$

열전달계수 h_0 와 전열관 외부 표면적 A_0 을 기준

으로 한 열관류계수 U_o 와의 관계는 다음과 같다.

$$\frac{1}{U_o} = A_0 R \\ = \frac{r_0}{r_i h_i} + \frac{r_0 F_i}{r_i} + \frac{r_0 \ln(r_0/r_i)}{K_0} + F_0 + \frac{1}{h_0} \quad (2)$$

그러나 본 실험에서는 전열관의 열전달 표면에 퇴적물이 형성 축적되어 불결하게 된 전열관을 사용하지 않고 깨끗한 전열관을 사용하였으므로 불결 계수 F_i 와 F_0 의 값이 모두 0이므로 내부 및 외부 표면에서의 불결저항은 0이 된다.

따라서 외부 표면적을 기준으로 한 열관류계수 U_o 는 다음과 같이 간단하게 된다.

$$\frac{1}{U_o} = \frac{A_0}{h_i A_i} + \frac{A_0 \ln(r_0/r_i)}{2\pi K_0 L} + \frac{1}{h_0} \\ = \frac{r_0}{r_i h_i} + \frac{r_0 \ln(r_0/r_i)}{K_0} + \frac{1}{h_0} \quad (3)$$

전열관을 통해 유동층내에서 전열관내의 물로 전달된 열량 q_1 은

$$q_1 = U_o A_0 (T_A - T_B) \\ = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_0/r_i)}{2\pi K_0 L} + \frac{1}{h_0 A_0}} \quad (4)$$

식 (4)가 되며, 전열관을 흐르는 물이 얻은 열량 q_2 는 다음과 같다.

$$q_2 = C_{pw} m (T_2 - T_1) \\ = C_{pw} \rho_w Q_w (T_2 - T_1) \quad (5)$$

열정산에서 두 열량이 같으므로 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$C_{pw} \rho_w Q_w (T_2 - T_1) \\ = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_0/r_i)}{2\pi K_0 L} + \frac{1}{h_0 A_0}} \quad (6)$$

여기서, 전열관내의 물의 평균온도 T_B 는 다음과 같다.

$$T_B = \frac{T_2 - T_1}{\ln(T_2/T_1)} \quad (7)$$

식 (7)을 식 (6)에 대입하고 h_0 에 대하여 정리하면 식 (8)이 되며

$$h_0 = \frac{1}{A_0} \left[\frac{1}{\frac{T_A - \frac{T_2 - T_1}{\ln(T_2/T_1)}}{C_{pw} \rho_w Q_w (T_2 - T_1)} - \frac{1}{h_i A_i} - \frac{\ln(r_0/r_i)}{2\pi K_0 L}} \right] \quad (8)$$

측정값 T_A , T_1 , T_2 , Q_w 와 전열관의 크기에 의한 값 r_0 , r_i , L 등을 식 (8)에 대입하여 h_0 를 구할 수 있다. 또 전열관내의 유체에 대한 내면 열전달계수 h_i 는 전열관내 유체의 유동상태에 따라 층류(laminar flow)와 난류(turbulent flow)인 두 가지 경우로 구분되므로 Leveque eq'n의 층류식과 Dittusboelter eq'n의 난류 관계식은 각각 다음과 같이 주어지며 두식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\frac{h_i D_i}{K_w} = 0.62 (4 Q_w C_{pw} / \pi K_w L)^{1/3} \quad (9)$$

$$\frac{h_i D_i}{K_w} = 0.023 N_{re}^{0.8} N_{Pr}^{0.4} \quad (10)$$

또한 관내의 물의 Reynold's 수 N_{re} 는

$$N_{re} = \frac{\rho_w V_w D_i}{\mu_w} \quad (11)$$

이 되며, 물의 유속 V_w 는 $Q_w = \pi D_i^2 V_w / 4$ 로부터

$$V_w = \frac{4 Q_w}{\pi D_i^2} \quad (12)$$

이 된다.

따라서 식 (12)를 식 (11)에 대입하면 N_{re} 는 다음과 같다.

$$N_{re} = \frac{4 \rho_w Q_w}{\pi \mu_i D_i} \quad (13)$$

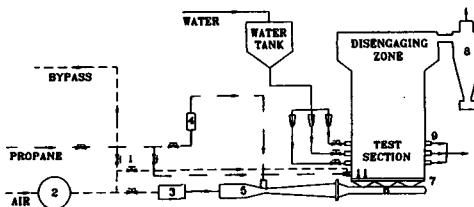
핀이 부착된 전열관에 대한 열전달계수는 가상 전열면적에 대한 열전달계수(total heat transfer coefficient for finned tube base on the surface area of a smooth tube outside diameter equal to finned tube tip diameter : h_{fb})와 실제 전열면적에 대한 열전달계수(actual heat transfer coefficient based on actual surface area : h_{ft})의 두 가지 경우로 구분할 수 있다. 이들 h_{fb} 와 h_{ft} 는 위에서 정리한 식에서 구할 수 있으며, 다만 h_{ft} 의 값은 핀이 부착된 전열관에 대한 실제의 전열면적 A_{ft} 를 A_0 에 대입함으로써 구할 수 있다.

본 연구에서는 핀부착 전열관과 단순표면 전열관의 외경이 같은 각 전열관에서의 열전달률을 비교 분석하기 위하여 모든 전열관의 전열면적을 단순표면 전열관의 전열면적에 대한 열전달계수 h_{fb} 를 구하였다.

3. 실험장치

3.1 연소로 본체

본 연구에서 사용한 유동층 전열실험장치의 계통



1 Valve
2 Air blower
3 Air flowmeter
4 Solenoid valve
5 Ejector
6 Plenum
7 Distributor
8 Cyclone
9 Heat exchanger
10 Water flowmeter
11 Preheater

Fig. 1 Schematic of experimental facility

도를 Fig. 1에 제시하였다. 실험장치는 유동층 연소로 본체, 집진장치, 공기연료혼합실, 공기분배판, 연소용 공기공급장치, 연료공급장치, 냉각수 공급장치, 계측용 전열관 및 계측기 등으로 구성되어 있다.

3.2 전열관의 설계 및 제작

Fig. 2는 편부착의 전열관으로 바깥지름 48.6 mm, 안지름 30.6 mm인 고압강관을 사용했다. 편의 높이는 5 mm로 일정하며 편의 경사가 θ 을 $20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ 의 4종류로 제작하였고 편은 전열관의 중앙에 길이가 250 mm 되게 가공하였다. 전열관이 얻은 열량을 계산하기 위하여 전열관 입구와 출구의 물의 온도를 측정한다. 물의 온도를 측정하기 위하여 전열관의 중심에 절연재로 피복을 입힌 직경 0.12 mm의 T-type(copper-constantan)의 열전대를 설치하여 데이터처리장치(data logger)로 측정하였다. 입구와 출구 사이의 열전대 설치 거리는 편이 설치된 250 mm로 연소로 내부의 폭과 같게 하였다. 단순표면 전열관은 편부착과 같은 재질의 고압강관으로 역시 온도를 측정하기 위해 열전대를 설치하였다.

3.3 유동매체

본 실험에 사용된 유동매체는 전열실험시 조건에 가장 적합한 것으로 호수에서 채취한 호수산 모래(lake sand)로서, 석탄과 비교하면 화학적으로는 성분이 다르지만 비중이 거의 비슷하며 전열실험에서 유동매체로 사용한 호수산 규사의 평균입자 지름은 1.22 mm와 1.54 mm이다. 평균직경 $\overline{d_p}$ 는 다

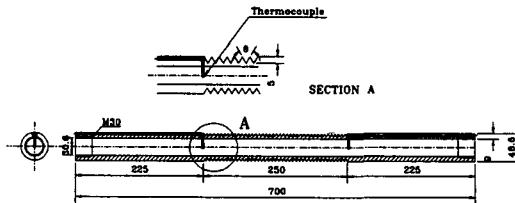


Fig. 2 Heat exchanger with fin

음 식에 의하여 계산하였다.

$$\overline{d_p} = \frac{1}{\sum X/d_p} \quad (14)$$

3.4 실험방법

실험장치의 모든 부분이 완전히 설치되고 계측기 등이 모두 정상적으로 작동하는가 확인한 후, 본 실험장치의 시동순서에 따라 연소실벽 및 유동매체를 예열한 후 혼합기를 점화운전을 시켰다. 유동층 내의 충내온도, 유동매체의 유동상태, 냉각수의 유량 등이 정상상태로 되면 오리피스(orifice) 유량계의 동압 및 정압, 각 전열관 속을 흐르는 냉각수의 유량을 측정하여 기록하였으며, 연소로내의 충내온도, 전열관 속을 흐르는 냉각수의 입구 및 출구온도, 오리피스 유량계를 흐르는 공기온도를 데이터 처리장치로 측정 기록하여 컴퓨터에서 저장하였다. 온도측정은 데이터처리장치로 10초 간격으로 3분동안 측정하여 데이터처리장치에 연결한 컴퓨터에 저장하였다. 실험결과 분석에서 컴퓨터에 저장된 이 자료를 합산 평균하여 충내온도, 냉각수의 입구 및 출구온도, 공기온도를 산출하였으며, 충내온도는 $750^\circ\text{C}, 800^\circ\text{C}, 850^\circ\text{C}, 900^\circ\text{C}$ 의 4종류의 충내온도로 유지하였다. 전열관은 편의 경사가 θ 가 $20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ 인 편 전열관 4개와 단순표면 전열관을 연소로에 동시에 설치하였고, 충내의 공塔속도는 1.1~2.8 m/s의 범위에서 운전하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 충내 온도분포

Fig. 3과 Fig. 4의 유동매체는 평균입자지름이 1.22 mm와 1.54 mm의 2종류를 사용하였으며 유동층 연소로내의 축방향 온도분포가 공塔속도에 따라 어떻게 변하는가를 알기 위하여 유동매체의 크기 및 충내 온도가 일정할때 4종류의 공塔속도에서 분

배판으로부터 높이에 따른 온도분포를 나타낸 것이다.

일반적으로 공기분배판 바로 위 25 mm 떨어진 곳에서는 공탑속도가 증가할수록 층내 온도가 감소하고 유동매체의 평균입자크기가 큰 경우가 평균입자 크기가 작은 경우보다 층내 온도가 낮다. 이것은 실제로 분배판을 통과한 공기-프로판(propane)

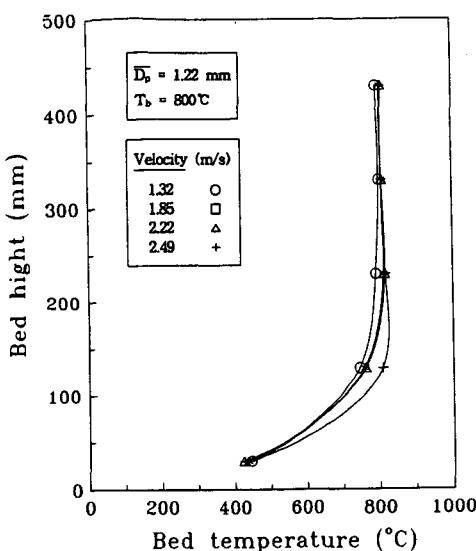


Fig. 3 Effect of superficial velocity on bed temperature profile

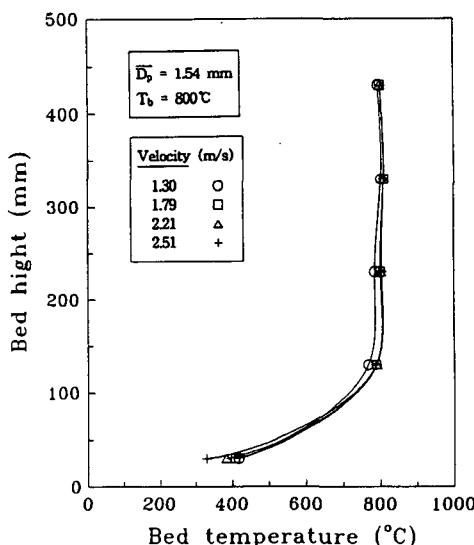


Fig. 4 Effect of superficial velocity on bed temperature profile

혼합기의 온도가 저온이기 때문에 유속이 낮아 입자가 큰 유동매체는 유동하지 못하고 고정층을 이루고 있기 때문이라고 사료된다. 그러나 층내 온도가 증가하면 이곳의 온도도 상승된다. 이것은 연소가 일어나고 있는 유동층으로부터 이곳으로 열전달량의 증가 및 혼합기의 일부가 이곳에서 연소하기 때문인 것으로 생각된다. 분배판 위 125 mm, 225 mm, 325 mm, 425 mm 되는 곳에서의 층내 온도는 공탑속도가 증가할 수록 균일한 온도분포를 이루는데 이것은 공탑속도가 클수록 유동매체의 유동이 활발해져서 유동층이 팽창되고 유동매체가 균질하게 유동하며 연소가 층내에서 균일하게 이루어지기 때문이다.

4.2 열전달효과

4.2.1 층내온도, 유동매체의 크기 및 공탑속도의 영향

본 실험장치에서 전열에 관한 실험을 수행한 결과로 유동매체의 입자크기, 층내온도가 일정할 때 전열관 편의 경사각 θ 와 공탑속도가 유동층 열전달계수에 미치는 영향을 편이 없는 단순표면 전열관일 때의 것과 비교하여 그 결과를 Fig. 5~Fig. 10에 제시하였다.

Fig. 5~Fig. 8은 유동매체의 평균입자크기가 1.22 mm이고 층내온도는 각각 750°C, 800°C, 850°C 및 900°C일 때 공탑속도 및 편의 경사각 θ 에 따른 전열관에 대한 열전달계수의 변화를 나타

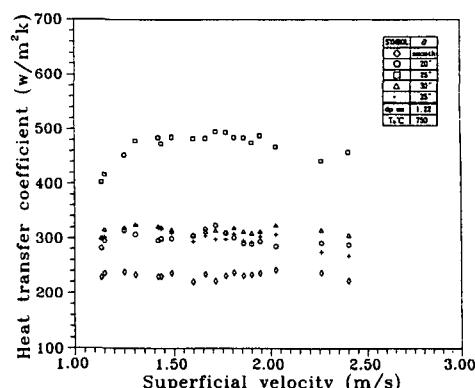


Fig. 5 Variation of total heat transfer coefficient with superficial velocity for smooth and finned tube immersed in fluidized bed of sand particles

낸 것이다.

Fig. 5의 결과를 살펴보면 층내 온도가 750°C일 때 단순표면 전열관의 경우는 열전달계수가 220~240 W/m²K 정도이고 펀부착 전열관의 경우 펀 경사각 θ 가 25°일 때 측정된 열전달계수가 가장 크며 그 값은 480~500 W/m²K 정도로 나타났다.

Fig. 6은 800°C일 때의 층내온도가 750°C일 때와 비슷한 경향을 나타냈으며 단순표면 전열관에서는 열전달계수가 230~260 W/m²K 정도이고, θ 가 25°인 펀부착 전열관에서는 520~560 W/m²K 정도로 단순표면 전열관에 비해 약 2~2.4배 증가된 열전달계수를 나타냈다.

Fig. 7은 층내 온도가 850°C일 때의 것으로 전열

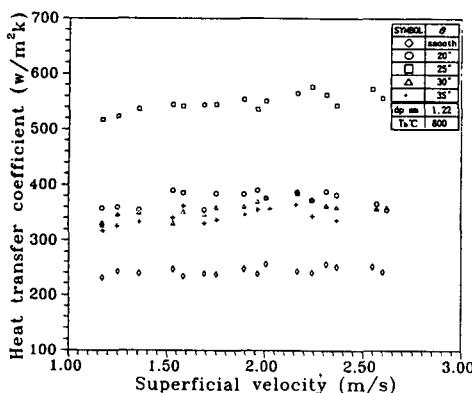


Fig. 6 Variation of total heat transfer coefficient with superficial velocity for smooth and finned tube immersed in fluidized bed of sand particles

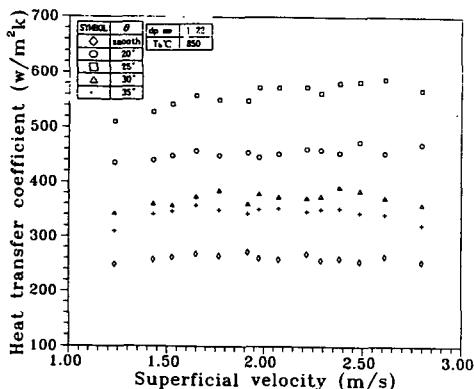


Fig. 7 Variation of total heat transfer coefficient with superficial velocity for smooth and finned tube immersed in fluidized bed of sand particles

관의 형상, 즉 펀 경사각 θ 에 대한 영향이 뚜렷하게 나타났고, 이 경우도 펀 경사각 θ 가 25°일 때 열전달계수가 가장 크며 단순표면 전열관보다 약 2~2.3배 정도 증가되었다.

Fig. 8은 층내온도가 900°C일 때의 결과로써 층내온도가 750°C일 때보다 훤 경사각 θ 에 대한 영향이 매우 뚜렷하게 나타났으며 단순표면 전열관의 경우는 열전달계수가 260~290 W/m²K 정도이고, θ 가 25°인 경우는 열전달계수가 580~630 W/m²K 범위값을 보이고 있어 단순표면 전열관의 경우에 비해 약 2~2.4배 정도 열전달계수가 증가되었다.

실험결과에 의하면 실험범위내에서 공탑속도가 증가할 수록 열전달계수는 약간 증가하다가 감소하는 경향이 있으며 펀의 경사각 θ 가 25°일 때 각각의 층내온도에서 열전달계수가 가장 크게 나타났으며 단순표면 전열관보다 2~2.3배 정도 증가하였다. 펀 경사각 θ 가 20°인 경우가 펀 경사각 θ 가 25°인 경우보다 열전달계수가 더 작게 나타났는데 이와 같은 현상은 유동층에서의 열전달은 유동매체와 열전달 표면사이의 충돌접촉에 의해 주로 이루어 지므로 유동매체의 입자크기가 커짐에 따라 펀과 펀 사이의 좁은 경사틈을 통과할 수 있는 유동매체의 수가 감소되는데 펀 사이의 경사표면과 유동매체 사이의 충돌접촉 회수가 θ 가 25°인 경우에서 보다 더 작기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 본 실험의 결과로 보아 일반적으로 유동입자의 크기가 커질수록 최대 열전달계수가 얻어지는 펀부착 전열관의 펀 경사각 θ 의 값도 크게 될 것이다. 이

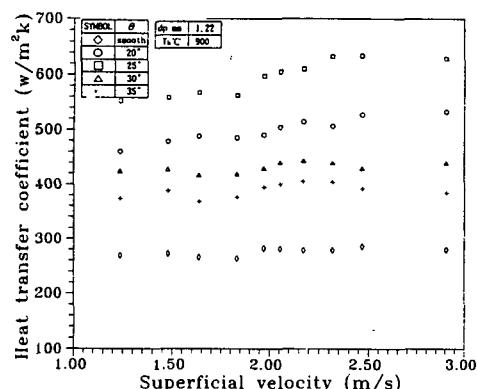


Fig. 8 Variation of total heat transfer coefficient with superficial velocity for smooth and finned tube immersed in fluidized bed of sand particles

것은 핀 경사각 θ 에 따른 핀 사이의 경사 표면과 접촉할 수 있는 유동매체의 수가 변하기 때문이다. 동일한 전열관 및 유동매체의 크기에 대한 경우 층내 온도가 증가할수록 열전달계수가 증가하고 또한 핀 경사각 θ 의 영향이 뚜렷하게 나타났다.

Fig. 9~Fig. 10은 유동매체의 평균입자크기가 1.54 mm이고 층내 온도가 각각 750°C 및 850°C 일 때 공탑속도 및 핀의 경사각 θ 에 따른 전열관에 대한 열전달계수의 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 9는 층내 온도가 750°C 일 때의 것으로 이 경우는 핀 경사각 θ 가 35°일 때 열전달계수가 340~380 W/m²K로 가장 크며 이것은 단순표면 전열관에 비해 약 1.4~1.8배 증가하였다. 또한 동일

한 전열관, 층내 온도 및 유동매체의 크기에 대하여 공탑속도가 증가함에 따라 열전달계수가 약간 감소하는 경향이 있으나 실험이 이루어진 공탑속도의 범위내에서의 평균 열전달계수에 대한 실험편차는 6% 이내로서 아주 작게 나타났다.

Fig. 10의 결과를 보면 층내 온도가 850°C 일 때 공탑속도 1.67~2.6 m/s에서 열전달계수는 단순표면 전열관의 경우 250~270 W/m²K이고, 핀 경사각이 35°인 경우 열전달계수가 370~400 W/m²K 정도로 층내 온도 750°C 인 경우와 비슷한 경향을 나타났다. 이때 핀 경사각 θ 가 35°인 전열관이 열전달계수가 가장 크며 단순표면 전열관에 비해 1.4~1.6배 정도 열전달계수가 증가되었고, 유동매체의 평균입자크기 1.22 mm인 경우와 마찬가지로 층내 온도가 증가할수록 핀 전열관의 형상, 즉 핀 경사각 θ 의 영향이 뚜렷하게 나타났다.

이상의 실험결과로부터 열전달계수를 계산할 때 전열관의 실제 외부 표면적을 전열면적으로 계산하지 않고 핀이 없는 단순표면 전열관의 표면적으로 가정하여 계산을 하였기 때문에 핀 경사각 θ 가 증가함에 따라 전열관 단위길이당 열접촉면적, 즉 전열면적이 작게 되어 열전달률은 감소한다.

5. 결 론

본 연구는 고온 유동층 연소로 개발을 위한 기초 자료를 얻고자 연소실 단면적 크기가 410×250 mm 인 유동층 실험장치에 핀 경사각 θ 가 20°, 25°, 30°, 35°인 전열관과 단순표면 전열관을 수평으로 설치하고 유동층 온도, 층내 가스속도, 유동매체의 크기, 핀의 경사각 등이 전열관으로의 열전달에 미치는 영향을 실험적으로 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 유동층 온도가 750°C ~ 900°C, 층내 가스속도가 1.1~2.8 m/sec 범위내에서 열전달계수 값은 유동매체의 평균입자크기가 1.22 mm의 경우 핀의 경사각 θ 가 25°일 때, 평균입자크기가 1.54 mm의 경우 핀의 경사각 θ 가 35°일 때 가장 크게 나타났으며, 또한 핀 전열관의 경우 단순표면 전열관보다 최고 1.4~2.4배 정도 증가되었다.

(2) 유동입자의 크기에 따라 최대 열전달계수를 갖는 핀 경사각은 변하며, 층내 온도의 상승은 핀 경사각 θ 에 커다란 영향을 미친다.

(3) 공탑속도 1~1.25 m/s 범위내에서 층내 온도

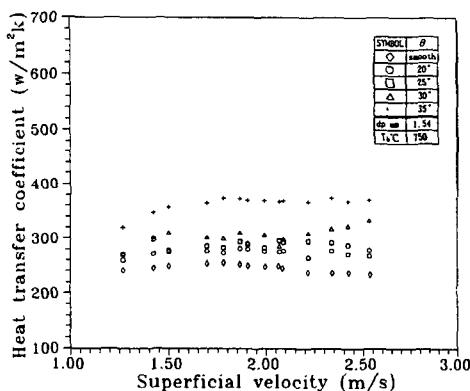


Fig. 9 Variation of total heat transfer coefficient with superficial velocity for smooth and finned tube immersed in fluidized bed of sand particles

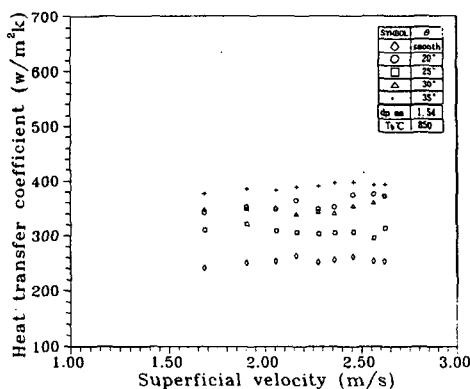


Fig. 10 Variation of total heat transfer coefficient with superficial velocity for smooth and finned tube immersed in fluidized bed of sand particles

결과 평균 열전달계수의 편차는 6% 이내로 거의 일정한 수준을 보여주고 있으며, 공급속도가 증가 할수록 균일한 온도분포가 되어 열전달계수의 변화는 아주 작게 나타났다.

참고문헌

- (1) Fujima, Y. and Fujoka, Y., 1978, "Experimental Investigation on Sulfer Retention with Lime-stone Regeneration in Fluidized Bed Combustion," *Fluidization*, pp. 451~458.
- (2) kunii, D., 1978, "Nitric Oxide Reduction in and Experimental Fluidized-Bed Coal Combustion," *Fluidization*, Cambridge University Press., pp. 314~319.
- (3) 염태인, 1984, "유동층 연소에서 고유황 B-C 유의 유동층 연소시 석회석 입경에 따른 탈황효과," 석사학위논문, 인하대학교, 인천.
- (4) 조광현, 1986, "고유황 B-C의 유동층 연소시 석회석 입경에 따른 탈황효과," 석사학위논문, 인하대학교, 인천.
- (5) Chung, T. Y. and Yun, J. H., 1983, "A Study on Factors Influencing Fluidization in the Fluidized Bed Combustion," *Kookmin Faculty Journal*, Vol. 6, pp. 85~98.