

소결 코팅 파이프의 열전달 성능에 관한 연구

박 기 호[†], 김 성 일, 정 대 현^{*}

한국에너지기술연구원 폐열에너지연구센터, *에너지연 열병합.보일러연구센터

A Study on the Heat Transfer Performances in Sintered Pipes

Ki-Ho Park, Ki-Woo Lee, Seong-Il Kim, Dae-Heon Jeong^{*}

Korea Institute of Energy Research, Waste Heat Energy Research Center, Daejeon 305-343, Korea

Korea Institute of Energy Research, Cogeneration and Boiler Research Center, Daejeon 305-343, Korea

(Received May 19, 2008; revision received July 10, 2008)

ABSTRACT: This paper is to research the heat transfer performance of the sintered pipe. Recently, oil prices is to be 127 \$ per barrel, we expect higher costs this summer. We promote alternative fuels, after oil and gasoline prices reached record highs. The governments have made efforts to avoid future crisis by continuing the move toward renewable energy and energy saving. In this paper, we have fabricated a sintered pipe, the heat transfer performance of sintered pipe is achieved experimentally. The pipe is copper tube of outer diameter of 15.88 mm, the length of the pipe is 800 mm. Based on the experimental results, it is shown the overall heat transfer coefficient of sintered pipe is increased as compared with that of a straight pipe, is equal as compared with that of a spiral pipe. The overall heat transfer coefficient was 0.075~0.09 kW/°C

Key Words: Sintering(소결), Heat transfer coefficient(열전달계수), Reynolds number(레이놀즈수), Pressure drop(압력강하), Micro particles(마이크로입자)

기 호 설 명

- A_s : 파이프의 표면적
- Q_c : 열교환량[Kcal]
- $LMTD$: 대수평균온도차
- U : 총합열전달계수
- m : 질량 유량
- C_p : 유체의 비열[kcal/kg °C]
- ΔT : 온도차

하첨자

- h : 뜨거운 유체
- c : 찬 유체

1. 서 론

2008년초 배럴당 100달러를 넘지않을 것이라는 유가가 배럴당 100달러를 돌파하더니 나날이 상승하여 이제 배럴당 130달러를 눈앞에 두고 있다. 유가가 상승하면서 에너지의 97%를 수입에

[†] Corresponding author
Tel.: +82-42-860-3311; fax: +82-42-860-3133
E-mail address: ghpark@kier.re.kr

의존하는 우리나라는 아직까지 에너지 절감에 많은 투자를 하지 않고 있는 실정이다. 우리는 같은 상품을 생산하는데 일본의 3배 그리고 여타 선진국의 2배 이상의 에너지를 사용하고 있다. 에너지 사용 효율을 높이기 위하여 효율이 좋은 에너지기기를 사용하여야 한다. 에너지 절약으로 수입대체 효과를 기하며 신재생에너지 개발에 적극적으로 나서고 있지만 아직까지 그 파급효과는 전체 에너지 사용량에서 미미한 부분을 차지하고 있다. 에너지 사용 효율을 높이기 위하여 산업체에서 사용되고 있는 열교환기의 열교환 효율을 높여야 한다. 산업체에서 많이 사용되고 있는 열교환기 중에는 셸 앤 튜브 형식이 있다. 전열 면적을 확장하기 위하여 파이프 외부에 핀을 부착하기도 하고 그루브 등으로 파이프 내외부의 전열면을 확장한다. Jang et al.(1)은 관형 열교환기용 뱀뱀형 튜브의 개발에 관하여 실험을 통하여 압력강하가 직관과 거의 동일하며 열전달 성능은 뱀뱀형 전열관은 스파이럴 관과 레이놀즈수 25,000 미만에서 거의 유사하거나 약 1-2%의 높은 수치를 나타내고 있다는 것을 실험을 통하여 연구하였다. Kim et al.(2)은 히트파이프에 Al_2O_3 나노유체를 사용하여 열전달 성능을 향상하고 열저항이 DI water를 사용하였을 경우보다 약 32.4% 까지 감소하는 것을 보여 주었다. Kim et al.(3)은 마이크로/나노 사이즈의 표면 개발을 통하여 풀비등 임계열유속을 향상하기 위한 실험적 연구를 수행하여 표면에 따른 임계열유속을 구하였다. 각종 전열향상 기법을 이용하여 임계열유속을 향상하거나 열전달계수를 크게 하는 등 열전달효율을 향상하기 위한 연구가 수행되고 있다.

본 연구에서는 파이프 내외부에 마이크로 입자(크기: $20\mu m$, 종류: 구리)를 소결코팅하여 전열면적을 확장하여 열전달 향상과 압력손실의 증가를 최소화하며 열전달계수의 증가를 하고자 하였다. 레이놀즈수에 따른 총괄전열계수를 비교하여 열전달성능 실험과 압력강하의 크기를 직관, 스파이럴관 등과 비교하여 그 열전달 성능을 파악하였다.

2. 실험장치 및 방법

전열 성능 실험장치는 Fig. 1에서 보는 바와

같이 원통형 셸에 전열관을 삽입하고 온수탱크는 10kW 용량의 전기히터를 삽입하여 항상 $75^\circ C$ 를 유지할 수 있게하고 전열관을 통해 같은 온도의 냉각수가 유동할 수 있게 하였다. 열전달 실험은 원통형 셸에 일정량의 온수를 흘려보내고 냉수를 전열관 내부로 유동시켜 냉각수량을 점점 증가하면서 열전달을 함으로써 실험을 진행하였다. Fig. 2는 파이프 외부에 소결된 상태를 보여 주고 있는데 입자 코팅이 균일하게 되지 않은 것을 볼 수 있다. Fig. 3은 파이프 내부에 코팅이 된 상태를 보여 주고 있는데 외부 코팅 상태보다는 양호하게 부착이 된 것을 볼 수 있다. 좀 더 균일하게 소결 코팅된 실험 대상으로 실험을 할 필요가 있다.



Fig. 1 Experimental apparatus.



Fig. 2. Outside surface of sintered pipe.

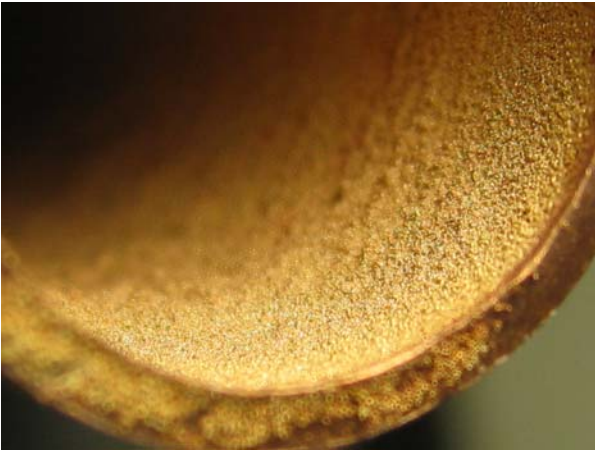


Fig 3. Inside surface of sintered pipe.

식(1), (2) 는 전열 성능을 평가하기 위하여 사용한 식이다, 여기서 열교환량, Q는 냉각수의 온도 차이로 구하였다. ΔT 는 식(3)과 같이 정의한 대수평균온도차(Log Mean Temperature Difference, LMTD)를 이용하였다.

$$Q = m_c C p_c \Delta T_c \quad (1)$$

$$Q = U A_s \Delta T_{LMTD} \text{ 혹은 } U A_s = \frac{Q}{\Delta T_{LMTD}} \quad (2)$$

$$\text{여기서, } \Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_h - \Delta T_c}{\ln(\Delta T_h / \Delta T_c)} \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 Re수에 따른 UAs값의 변화를 보여주고 있다. 직관의 경우 Re 수 15,000이상에서는 약 0.05 kW/°C 로 나타났고 스파이럴관이 전반적으로 높게 나타났으며 내부 소결된 파이프는 0.08 kW/°C로 나타나 스파이럴관과 비슷한 경향을 보여 주고 있다. 내부 소결된 파이프의 경우 Re수 12000에서 18000 사이 UAs 값이 약 0.08이고 스파이럴 파이프는 UAs값이 약 0.075, 직관에서는 UAs값이 약 0.05로 나타나 소결파이프가 직관에 비해 약 50%이상 향상되고 스파이럴파이프와 비교하여 약 6% 향상되는 것을 볼 수 있다. 내부 소결된 파이프는 Re수에 따라 스파이럴관보다 높은 값을 나타내는 경우도 보인다. 소결된

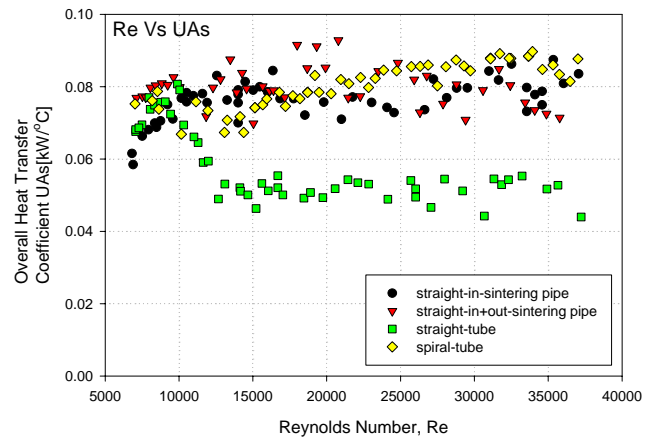


Fig. 4 Overall Heat transfer coefficient.

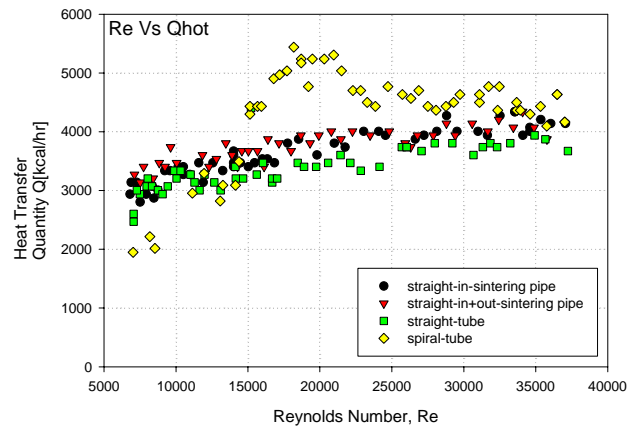


Fig. 5 Heat transfer quantity.

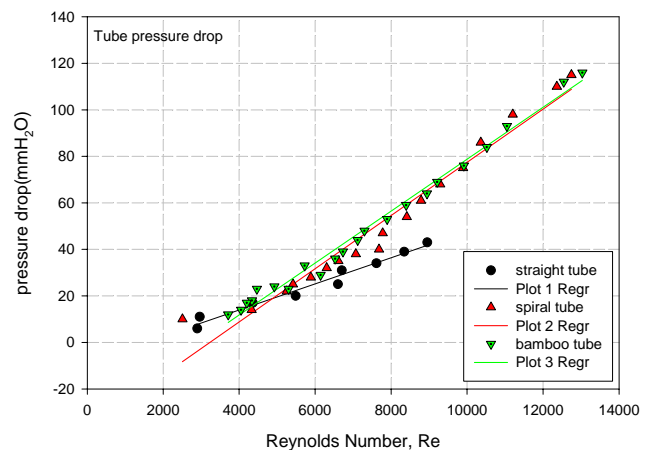


Fig. 6 Pressure drop as a function of Reynolds number.

파이프의 경우는 내부 전열면의 확장과 더불어 전열면의 표면에 난류 성분이 형성이 되어 열전달이 촉진됨을 알 수 있다. 이에 따라 소결일자

의 크기와 소결 두께 등에 따라 UAs값도 변할 것이므로 이에 따른 성능 실험이 수행되어야 할 것으로 본다.

Fig. 5는 셀 측의 온수의 온도변화로 측정된 온수측 열교환량을 나타내었는데 직관이 제일 낮고 소결 파이프, 스파이럴 파이프 등의 순으로 나타났다. Re수 10,000는 파이프의 종류에 관계없이 열전달량의 차이는 없는 것으로 나타났다. Fig. 6은 직관, 스파이럴관 등의 압력강하를 측정하였다. 스파이럴관은 전열량은 많으나 압력강하가 상당히 크게 나타나기 때문에 실제로 동력이나 강도 등 내구성의 문제 야기로 널리 쓰이지를 못한다.

4. 결 론

열교환기에 주로 사용되는 소형 파이프의 내외부에 마이크로 입자를 소결코팅하여 열전달 성능 실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 외경 15.88 mm 파이프에 내부 20 μm 구리입자를 코팅한 파이프의 U값은 직관에 비해 약 50% 향상된 것으로 나타났으며 스파이럴관과는 거의 같게 나타났다.
- (2) 내부 소결된 파이프의 경우 Re수 12,000에서 18,000 사이에서 UAs 값이 약 0.08이고 스파이럴 파이프는 UAs값이 약 0.075, 직관에서는 UAs값이 약 0.05로 나타나 소결파이프가 직관에 비해 약 50%이상 향상되고 스파이럴파이프와 비교하여 약 6% 향상되는 것을 볼 수 있다.

(3) Re수 10,000는 파이프의 종류에 관계없이 열전달량의 차이는 없는 것으로 나타났다.

(4) 소결 입자의 크기와 소결층의 두께에 따른 추가 실험이 수행되어 입자의 크기에 따른 열전달량이 구해져야 하고 또 소결층의 두께에 따른 열전달량도 비교 검토되어야 하겠다.

참고문헌

1. M H Jang, et al, 2005, "A Study on Development of the Bamboo Tube for Tubular Heat Exchangers", Heat Pipe Technology, Proceedings of the Korea Society for Energy Engineering, 2005 pp. 119-124.
2. J. H. Kim et al, 2008, "Experimental Investigation on Thermal Characteristics of Miniature Heat Pipes Using Water-based Al₂O₃ Nanofluids", Proceedings of the Korea Society Mechanical Engineering, 2008 pp. 310-313.
3. S. T. Kim et al, 2008, "Experimental Investigation of pool boiling CHF enhancement by multi-scale surface modification", Proceedings of the Korea Society Mechanical Engineering, 2008 pp. 322-326.
4. F.P. Incropera and D.P. Dewitt, 1981, Fundamentals of Heat Transfer, John Wiley & Sons.