

## 타원관 열교환기를 적용한 팬코일 성능 시험

### Performance Test of a Fan Coil with an Oval-Type Heat Exchanger

윤재동(Jeodong Yoon)<sup>1</sup>, 이승현(Seunghyun Lee)<sup>2</sup>, 정재용(Jeayong Sung)<sup>3\*</sup>, 이명호(Myeong Ho Lee)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 에너지환경대학원, <sup>2</sup>서울과학기술대학교 대학원, <sup>3</sup>서울과학기술대학교 기계자동차공학과

<sup>1</sup>Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Republic of Korea

<sup>2</sup>Graduate School, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Republic of Korea

(Received October 2, 2013; revision received November 29, 2013; Accepted: December 2, 2013)

**Abstract** In this study, a fan coil unit with an oval-type heat exchanger has been developed. The performance of the present fan coil unit has been investigated, by comparison with the previous fan coil unit with a circular-type heat exchanger. For the fan coil unit with circular- and oval-type heat exchangers, the heat flux and pressure loss through the heat exchangers were measured at standard operating conditions. In addition, the wind speeds exhausted from the fan coil units were compared, for the same fan motor operation. The experimental results show that the average wind speed of the oval-type heat exchanger is 20 percent higher than that of the circular-type heat exchanger. The heat flux in the oval-type heat exchanger is enhanced by 40% or more, over the circular-type heat exchanger.

**Key words** Fan coil unit(팬코일 유닛), Oval tube(타원관), Heat exchanger(열교환기), Heat flux(열유속), Pressure loss(압력 손실)

† Corresponding author, E-mail: jysung@seoultech.ac.kr

## 1. 서 론

팬코일 유닛은 대규모 사무용 복합 건물의 중앙집중식 냉난방 기기로 가장 많이 사용되고 있다. 최근 전력난의 문제가 두드러지면서 저전력 고효율의 기기를 개발하는 것이 무엇보다 필요하다. 따라서 팬코일 유닛이 많이 설치되어있는 건물의 에너지 효율을 증가시키기 위해서는 팬코일 유닛 자체의 효율을 높이는 것이 무엇보다 중요하다.

팬코일 유닛의 핵심 부분인 열교환기의 경우 핀-원형관의 형태가 일반적으로 많이 설계되는데 핀의 경우 형상의 제약이 있고 그에 따른 열교환 효율의 한계가 있기 때문에 원형관의 형상을 변화시킴으로써 다양한 설계변수에 따른 효율 증가를 기대할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 핀-원형관 열교환기와 대비되는 핀-타원관 열교환기를 적용한 팬코일 유닛의 성능에 대해 알아보고자 한다.

타원관과 원형관의 열전달 특성 비교는 Brauer<sup>(1)</sup>에 의해 최초로 이루어 졌으며, 이 연구에서는 타원관이 15%의 열전달 향상과 25% 정도의 압력손실 감소를

가져온다고 하였다. 이 후로도 원형관과 타원관에 대한 열전달 특성<sup>(2-7)</sup>과 열교환기 핀의 열전달 특성에 대한 연구<sup>(8-9)</sup>와 압력강하<sup>(10)</sup>에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 핀-타원관 열교환기를 팬코일 유닛에 적용한 연구는 아직 보고되지 않았다.

본 연구에서는 기존 연구들을 기초로 핀-타원관 열교환기를 채택한 팬코일 유닛을 개발하여, 실제 팬코일 유닛이 사용되는 건물 환경과 동일한 조건에서 기존의 핀-원형관이 장착된 팬코일 유닛과의 성능을 비교 시험하고자 한다. 성능 시험은 팬코일 유닛에서 토출되는 평균 풍속과 열교환기의 온도강하 측정을 통한 열전달 성능 시험, 그리고 열교환기 관내 압력손실 시험을 수행한다.

## 2 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

핀-원형관과 핀-타원관의 팬코일 유닛 성능시험에 대한 실험장치도는 Fig. 1과 같다. 실험 장치는 순환하

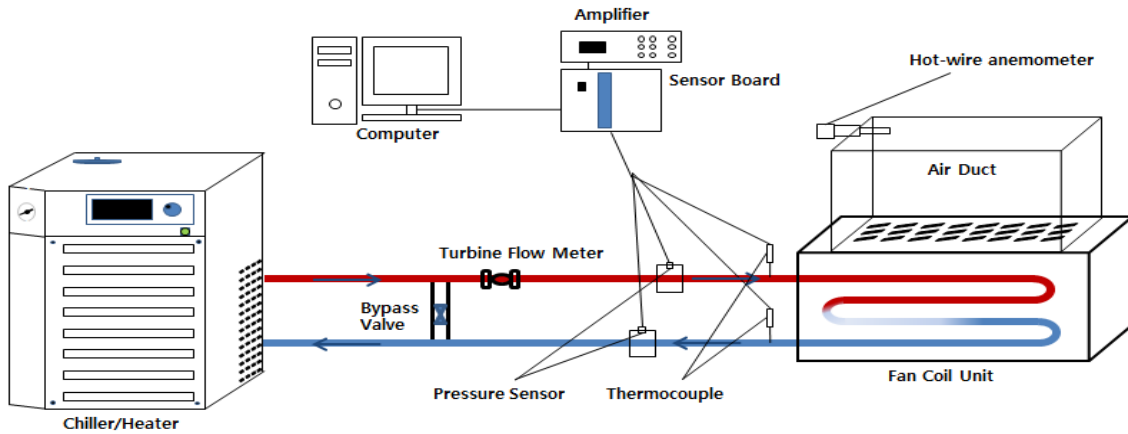


Fig. 1 Experimental setup to measure the performance of a fan coil unit.

는 유동체의 온도를 일정하게 유지시켜주는 항온수 공급장치(chiller/heater), 유량을 측정하는 터빈유량계(turbine flowmeter)와 유량 조절을 위한 바이패스 밸브(bypass valve), 유체의 압력과 온도를 측정하는 압력센서(pressure sensor)와 열전대(thermocouple), 풍속측정을 위한 공기 덕트(air duct)와 열선유속계(hot-wire anemometer)로 나눌 수 있다. 충분한 유량과 온수온도를 갖기 위해 3마력의 펌프와 4 kW의 난방능력을 갖춘 냉온수 공급장치를 사용했으며, 유량계 앞에 200 mm 길이의 직선관을 두어 난류에 의해 변하는 유량값을 최소화 하였다. 두 팬코일 유닛 모두 동일한 팬 모터를 사용하여 팬의 출력 차이로 인한 열전달 특성 변화를 최소화 하였다.

본 실험에서는 팬코일 유닛이 실제 사용되는 건물의 환경과 유사하게 하기 위해 유량, 실내 온도와 풍속 측정 방법의 실험 조건은 팬코일 유닛의 표준 실험 규격 (Table 1, KS B 6377)에 따랐고, 팬코일 유닛은 실제 건물에서 사용되는 위치와 유사하게 설치하였다. Table 1에 나타나 있듯이 A와 B조건으로 나누어 진행 하였는데 유입유동 유량이 8 lpm에서 유입유동의 온도를

냉방 시 7°C, 난방 시 60°C를 A조건으로, 유량 12 lpm에서 유입유동의 온도를 냉방 시 5°C, 난방 시 80°C를 B조건으로 하였다.

풍속은 팬코일 유닛의 팬모터 출력 조절을 통해 3단계로 측정하였고, 측정 시 높이 700 mm의 공기 덕트를 팬코일 유닛 상부에 설치하여 Fig. 2와 같이 12개 지점의 풍속을 열선유속계를 사용하여 측정하였다. 열선유속계로 측정된 12점의 풍속을 평균으로 팬코일 유닛의 각 단계 평균 풍속을 계산하였다.

팬코일 유닛의 열교환기를 통한 열전달량을 계산하기 위해 팬코일 유닛 열교환기의 입, 출구에서 열전대로 수온 변화를 측정하였다. 실험 시 유입유동 조건에 맞는 온도로 순환시켜, 열전대와 항온수 공급장치의 순환온도를 동일하게 맞춘 뒤 5분 정도 공순환 후 실험을 진행하였다. 또한, 팬코일 유닛의 열교환기 입, 출구에 압력센서를 설치하여 열교환기의 관을 통한 압력손실을 측정하였다.

Table 2는 각각의 팬코일 유닛에 사용된 열교환기의 재원을 나타내고 있다. 두 열교환기의 핀은 형상, 두께, 높이, 폭과 간격이 동일하게 제작 되었다. 두 열교환기의 외곽 사이즈는 동일하며 원형관 열교환기는 타 원관 열교환기보다 폭이 40 mm 작고 관의 개수는 2개 더 많다.

Fig. 3에 본 연구에 사용된 원관과 타원관의 단면을 나타내었다. 관의 형태를 제외하고는 모두 동일한 수치로 제작되었다. 두 열교환기 모두 유동에 직각 방향

Table 1 Experimental condition based on the performance test code(KS B 6377)

	Air inlet temp. (DB)	Water inlet temp.	Water flow rate
Heating			
A	27°C	60°C	8 lpm
B		80°C	12 lpm
Cooling			
A	18°C	7°C	8 lpm
B		5°C	12 lpm

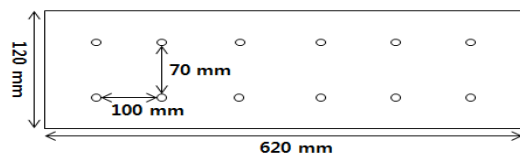


Fig. 2 Schematic of wind velocity measurement spots.

Table 2 Geometrical parameters of the circular- and oval-type heat exchangers

Items	Circular	Oval
Aspect ratio (AR)	1	1.53
Tube outside diameter (mm)	10.32	12×7.8
Width of heat exchanger (mm)	460	500
Height of heat exchanger (mm)	225	225
Fin thickness (mm)	0.07	0.07
Fin width (mm)	225	225
Fin height (mm)	17.27	17.27
Fin pitch (fins/in)	14	14
Transverse tube spacing (mm)	21.53	21.53
Longitudinal tube spacing (mm)	24.96	24.96
Tube numbers	20	18
Pass numbers	2	2

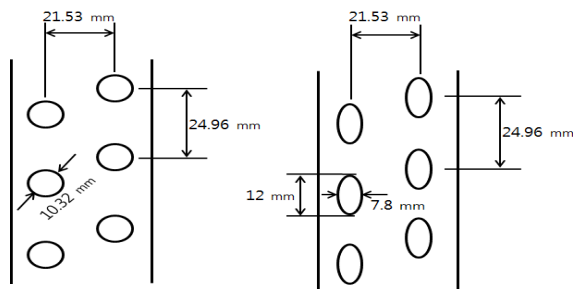


Fig. 3 Geometries of circular- and oval-type heat exchangers.

관 피치는 24.96 mm, 유동방향 관 피치는 21.53 mm이며 관배열 또한 동일하게 제작 되었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 평균 토출 풍속

Table 3은 팬을 강, 중, 약 3단계로 변화시킬 때, 팬코일 유닛의 평균 토출 풍속을 측정된 값을 보여주고 있다. 평균 풍속의 세기는 각 단계별로 핀-원형관 열교환기의 경우 0.43 m/s, 0.33 m/s씩 증가 하였고, 핀-타원관 열교환기는 0.27 m/s 0.39 m/s씩 증가 하였다. 표를 보면 원형관의 2단계 풍속과 타원관의 1단계 풍속이 거의

Table 3 Exhausting wind speeds through the air duct according to the level of fan speed

Fan speed	Heat exchanger type	
	Circular	Oval
Level 1(low)	0.81 m/s	1.22 m/s
Level 2(medium)	1.24 m/s	1.49 m/s
Level 3(high)	1.57 m/s	1.88 m/s

동일하게 나타났고, 핀-타원관 열교환기를 사용한 팬코일 유닛이 핀-원형관 열교환기를 사용한 팬코일 유닛의 평균 풍속보다 각 단계에서 50%(1단계), 20%(2단계), 19%(3단계) 더 높게 나왔다. 이처럼 동일한 팬을 사용하더라도 핀-타원관 열교환기를 적용한 팬코일 유닛의 풍량이 더 많다는 것을 의미한다. 즉, 핀-타원관 열교환기는 부피를 핀-원형관 열교환기에 비해 작게 설계할 수 있어, 전체적인 공기 유동의 저항이 저감되는 효과가 있다. 본 연구의 타원관 열교환기 폭이 원형관보다 약간 더 크지만 전체적인 통기저항이 감소한 이유는 타원관 열교환기의 경우 유선화로 인해 원형관보다 후류의 크기가 작아지고, 그에 따라 공기의 흐름이 개선되어 통기저항이 줄어들기 때문이다. 기존의 연구<sup>(11, 12)</sup>들에서도 타원관의 경우 2.0 m/s 풍속에서 원형관에 비하여 풍압손실이 45.9% 감소하였다고 보고된 바가 있다.

#### 3.2 열전달 특성

Fig. 4는 난방 시 공기 덕트를 지나는 평균 토출 풍속에 따른 팬코일 유닛 수축 배관의 입, 출구 온도차를 보여주고 있다. 평균 토출 풍속이 증가함에 따라 유입 유동의 입, 출구 온도차도 증가하는 것을 알 수 있다. 두 팬코일 유닛의 풍속이 동일한 1.22~1.24 m/s 구간의 토출 풍속에서 핀-타원관 열교환기를 사용한 팬코일 유닛의 온도차가 2℃ 더 크게 나타났다. 따라서 팬코일 유닛에 타원관 열교환기를 사용하면 동일한 토출 풍속에서 원형관보다 더 좋은 열전달 특성을 보이는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 난방운전에서 토출 풍속에 따른 열전달량의 변화를 보여주고 있다. 8 lpm의 유량에서 핀-원형관 열교환기 팬코일 유닛은 각 풍속의 단계 별로 1.2 kW, 2 kW, 2.5 kW로 나타났으며, 핀-타원관 열교환기 팬코일 유닛의 경우 3 kW, 3.4 kW, 4.1 kW로 나타났다. 핀-원형관을 사용한 열교환기보다 핀-타원관을 사용한 열교환기가 40~60% 정도 열전달 향상을 나타냈다. Fig. 5의 그림에서 동일한 토출 풍속에 대해 원형관과 타원관을 사용한 열교환기의 열전달량 비교하였을 때에도 핀-타

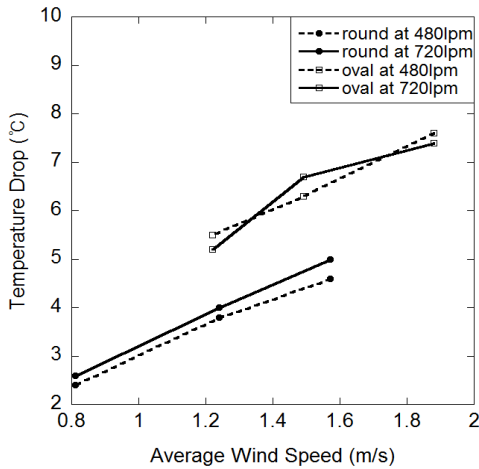


Fig. 4 Temperature drop at heating condition between the inlet and outlet of the fan coil unit according to the exhausting wind speed.

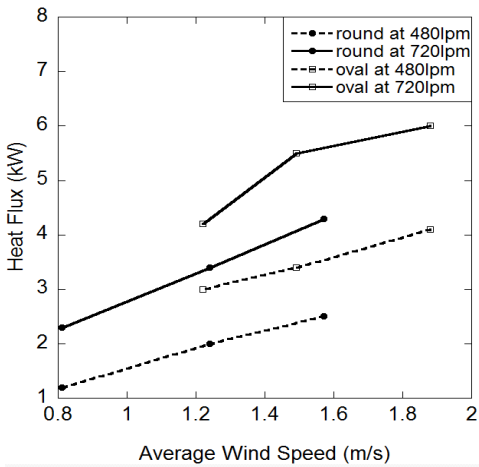


Fig. 5 Heat flux at heating condition through the heat exchanger according to the exhausting wind speed.

원관 열교환기 열교환 성능이 우수한 것으로 나타났다. 타원관의 경우 단면적 대비 둘레 길이가 원형관에 비해 크므로 상대적인 전열면적이 증가하여 전체적인 열전달 성능이 향상된 것으로 판단된다.

냉방운전에서도 핀-원형관과 핀-타원관 열교환기 팬코일 유닛의 온도강하 및 열전달량을 측정하였으며, Table 4에 그 결과를 정리하여 나타내었다. Table 4는 냉방 시 A조건과 B조건에서 팬을 강 조건(level 3)으로 운전하여 측정된 데이터 냉방의 경우 핀-타원관 팬코일 유닛이 핀-원형관 팬코일 유닛보다 8 lpm에서 0.6 °C, 12 lpm에서 1°C 더 좋은 열교환 성능을 보이고 있다. 결과적으로 열전달량면에서 핀-타원관 팬코일 유

Table 4 Temperature drop between the inlet and outlet of the fan coil unit at cooling condition in level 3 fan speed

Water flow rate	Heat exchanger type	
	Circular	Oval
8 lpm	3.1 °C	3.7 °C
12 lpm	3.9 °C	4.9 °C
Heat flux		
8 lpm	1.7 kW	2.1 kW
12 lpm	3.2 kW	4.1 kW

Table 5 Pressure drop through the tube of the heat exchanger

Water flow rate	Heat exchanger type	
	Circular	Oval
8 lpm	0.12 bar	0.11 bar
12 lpm	0.22 bar	0.28 bar

닛이 8 lpm과 12 lpm에서 각각 24%와 28% 더 좋은 열전달 효율을 보여주고 있다. 따라서 난방 뿐 아니라 냉방에서도 핀-타원관을 사용한 팬코일 유닛의 열교환 성능이 더 좋다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 압력 손실 특성

Table 5는 유량이 8 lpm과 12 lpm일 때, 핀-원형관과 핀-타원관의 관내 유동 압력강하를 비교하여 나타내고 있다. 유량이 많을수록 관내 압력강하가 커짐을 알 수 있다. 8 lpm에서는 거의 비슷한 압력 강하가 이루어졌고 12 lpm에서는 원형관이 타원관보다 27% 더 낮은 압력 강하를 보여주고 있다.

결론적으로 본 연구에서 핀-타원관 열교환기를 채택한 팬코일 유닛의 경우 기존의 핀-원형관 열교환기의 팬코일 유닛과 비교해서 난방의 경우 약 40% 이상, 냉방의 경우 24~28%의 열전달 성능의 향상 효과가 있었다. 이는 원관보다 유선화된 타원관에서 공기의 유동저항이 감소되고 이에 따른 유동의 안정화와 관 둘레길이의 증가로 인해 대류되는 전열면적의 증가 때문인 것으로 사료된다. 향후 연구에서는 이러한 압력 및 열전달 성능 향상이 어떠한 원리에 의해 나타나는지를 다양한 형상 및 실험조건에서 규명하는 것이 필요하다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 핀-타원관 열교환기가 사용된 팬코일

유닛을 개발하고, 기존의 핀-원형관 열교환기가 사용된 팬코일 유닛과 비교하여 성능실험을 수행하였다. 본 연구에서 수행한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 열전달 효율을 고찰한 결과 동일한 사양의 팬 모터를 사용한 상태에서 본 연구에서 개발된 핀-타원관 열교환기를 적용한 팬코일 유닛의 평균 풍속이 기존의 핀-원형관 열교환기가 사용된 팬코일 유닛보다 19~50% 정도 증가하였다.

(2) 열전달량에서는 핀-타원관 열교환기를 사용한 팬코일 유닛이 난방의 경우 40~60% 정도 더 좋은 열전달 효율을 나타냈고, 냉방의 경우 24~28% 정도 더 높게 나타났다.

(3) 관내 유동 압력 강하는 타원관이 8 lpm에서 원형관과 거의 비슷하였지만 12 lpm에서 원형관보다 27% 더 높게 나타났다.

## 후 기

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구 지원비로 수행되었습니다.

## Reference

1. Brauer, H., 1964, Compact heat exchanger, Chem. Progress Eng., Vol. 45, pp. 451-460.
2. Shin, S. W., Chung, I. K., and Kim, S. Y., 2009, Local heat transfer characteristics on fin surface of plate fin-oval tube with delta wing vortex generators, Transaction of KSME, Vol. 33, No. 10, pp. 757-766.
3. Kim, S. T., Choi, Y. H., and Kim, H. T., 2001, Numerical study for air-side flow characteristics of fin-tube heat exchangers with oval-tube, Energy Eng. J., Vol. 10, No. 2, pp. 166-175.
4. Lee, S. J., Lee, Y. S., Kweon, Y. C., Park, J. U., and Jang, I. K., 2001, An experimental study on circuit path of FCU heat exchangers, Proc. of the KSME 2001 Autumn Annual Meeting, pp. 207-212.
5. Choi, Y. G., Kim, J. S., Yoon, S. H., Kim, M. H., and Oh, C., 2006, Numerical study for fluid and heat transfer of fin-tube heat exchangers with oval-tube divided, Proc. of the KOSME Fall Conference, pp. 223-224.
6. Yoo, J. H. and Yoon, J. K., 2013, Numerical analysis for heat transfer characteristics of elliptic fin-tube heat exchanger with various shapes, Trans. Korean Soc. Mech. Eng., Vol. 37, No. 4, pp. 367-375.
7. Talaat, A. I. and Abdalla, G., 2009, Thermal performance criteria of elliptic tube bundle in crossflow, International Journal of Thermal Sciences, Vol. 48, pp. 2148-2158.
8. Kim, M. H., Shin, J. S., and Bullard, C. W., 2000, Heat transfer and pressure drop characteristics during of R22 evaporation in an oval micro-fin tube, International Refrigeration and Air Conditioning.
9. Kang, H. C. and Lee, J. H., 2006, Convective heat transfer characteristics of oval fin-circular tube heat exchanger, KSCFE, Vol. 15, No. 2, pp. 1-6.
10. Ko, K. W., 2008, Experimental study on heat transfer and pressure drop of heat exchangers for cooling fan coil unit, KAIS J., Vol. 9, No. 3, pp. 599-604.
11. Min, J. C. and Webb, R. L., 2004, Numerical analyses of effects of tube shape on performance of a finned tube heat exchanger, J. Enhanced Heat Trans., Vol. 11, No. 1, pp. 61-73.
12. Leu, J. S., Liu, M. S., Liaw, J. S., and Wang, C. C., 2001, A numerical investigation of louvered fin-and tube heat exchangers having circular and oval tube configurations, Int. J. Heat Mass Trans., Vol. 44, pp. 4235-4243.