

벽체매립형 폐열회수 환기시스템의 열회수 성능 향상에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Performance Improvement for Exhaust Heat Recovery Ventilation System in a Lightweight Wall

정민호(Min-Ho Chung)[†], 오병길(Byung-Kil Oh)

대림산업(주) 기술개발원

Technology Research and Development Institute, Daelim Industrial Co. Ltd., Seoul 110-150, Republic of Korea

(Received July 19, 2013; revision received November 1, 2013; Accepted: December 2, 2013)

Abstract Exhaust heat recovery ventilation systems conserve energy through enthalpy recovery between air intake and exhaust, and they are being increasingly used. An exhaust heat recovery ventilation system can be installed in the ceiling of a balcony or emergency evacuation space. However, in the case of fire, the emergency evacuation space has to by law remain as empty space, and therefore, a ventilation system can't be installed in an emergency evacuation space. Therefore, the need for a proper installation space for a ventilation system is emphasized. In this study, to install a heat recovery ventilation system in a lightweight wall, a heat exchanger was assembled of thickness below 140 mm. The efficiency of heat recovery was analyzed through performance experiment, in the case of the cooling and heating mode. The heat recovery efficiency increases when the surface area is increased, by using closer channel spacing in the heat exchanger, or by increasing the size of the heat exchanger.

Key words Total heat exchanger(전열교환기), Exhaust heat recovery ventilation system(폐열회수 환기장치), Lightweight wall(경량벽체)

[†] Corresponding author, E-mail: cmh@daelim.co.kr

기호설명

h : 엔탈피 [kJ/kg]
 Q : 공기의 부피유량 [m^3/h]
 q : 소비전력 [W]

그리스 문자

η : 열교환 효율(%)

하첨자

EA : 배기
 OA : 외기
 RA : 환기
 SA : 급기
 Tot : 전열교환

1. 서 론

폐열회수 환기시스템은 급기와 배기간의 엔탈피회수를 통해 에너지절약을 이룰 수 있는 효과적인 에너지 절약기기로 보급과 사용이 꾸준히 증가하고 있다. 하지만 이러한 폐열회수 환기시스템은 가로, 세로 크기가 600 mm 이상, 두께는 250 mm 이상의 제품이 대부분을 차지하고 있으며, 환기장치의 크기가 커지면서 환기장치의 설치 장소에 제약받고 있다. 현재 대부분의 폐열회수 환기장치는 세대 전면 발코니 상부에 설치하거나 실외기실의 상부에 설치하고 있는 실정이다. 그리고 비상대피공간의 경우 보일러나 창고 등으로 사용하고 있기 때문에 화재 발생시 구조 전까지 대피하고 있을 공간으로 적절히 사용을 못하고 있다. 따라서 국토교통부에서는 아파트 발코니 등에 마련된 대피공간을 보일러실, 창고 등 다른 용도로 사용하는 것을 금지

하고, 배치 기준을 명확히 한 ‘발코니 등의 구조변경 절차 및 설치 기준’을 2010년 9월 10일 일부 개정·고시해 시행에 들어갔다고 밝혔다. 이에 폐열회수 환기장치 또한 일반 발코니 공간이 아닌 자유로운 설치공간 확보를 위하여 콘크리트 벽체 또는 세대 경량벽체에 매립하는 방안을 검토하게 되었다. 경량벽체는 두께가 150~200 mm 이하로 얇기 때문에 열교환기 전열면이 작아지게 되므로 열회수효율이 낮아지게 된다. 따라서, 열교환기 구조체에서 열회수 효율을 향상시키는 방법에 대한 연구가 필요하다.^(1, 2)

Chung and Oh⁽³⁾는 앞선 연구에서 폐열회수 환기장치를 경량벽체에 매립하기 위해 열교환기 1개와 열교환기 2개를 직렬로 구성한 환기장치를 제작하고 냉방과 난방에서 성능시험을 수행하여 풍량에 따른 열회수 성능 및 전력소비량 상관관계식을 도출하였다. Yoo et al.⁽⁴⁾은 폐열회수 환기장치용 종이열교환기의 성능시험으로부터 온도교환에 의한 현열전달과 수증기 교환에 의한 전열전달 성능, 압력손실 등을 예측할 수 있는 상관식을 제시하였다. 압력손실은 상대습도와 공기유속의 변화에 따른 종이열교환기의 차압을 측정하여 마찰계수와 공기유속과의 관계로 나타내었으며, 열전달 성능은 건구 온도, 상대습도, 공기유속의 변화에 대한 열전달량을 측정하여 현열전달을 예측할 수 있는 대류열전달계수와 잠열전달을 예측할 수 있는 투과도 상관식을 제시하였다. Lee et al.⁽⁵⁾은 폐열회수 환기장치용 전열교환기를 설계·제작하여 열유체 전산해석 및 성능시험을 수행하였으며, 전열교환 효율이 현열교환 효율보다 7%p 정도 높게 나온다는 것을 얻었다.

본 연구에서는 폐열회수 환기장치를 경량벽체에 매립하기 위해 환기장치의 중요 요소인 전열교환기의 가로, 세로 크기를 250 mm와 400 mm, 두께를 140 mm로 조립하고, 열교환기의 골높이를 2.6 mm와 2.0 mm로 제작·설치한 환기장치에 대해 냉방 및 난방 조건에서 성능시험을 수행하여 열회수 효율을 분석하고 상관관계식을 도출하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 벽체매립형 환기장치의 전열교환기 조립체의 개략도와 사진이다. 유동의 입·출구쪽 각 채널의 폭은 250 mm와 400 mm 두 가지 크기로 제작하였고, 종이 재질의 열교환기 골의 높이는 2.0 mm와 2.6 mm이며, 경량벽체에 설치할 수 있는 높이 140 mm로 제작하였다. 전열교환기를 사용한 환기장치는 두께 1 mm 철판으로 제작하였으며, 단열재를 사용하여 외부와의 열손실을 최소화하였다.

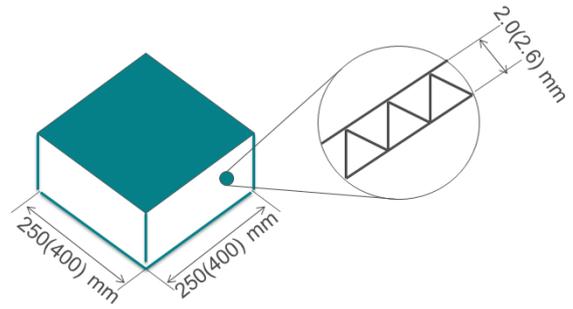


Fig. 1 Schematic and photo of paper heat exchangers.

폐열회수 환기장치용 전열교환기의 냉난방 성능시험을 위한 시험장치는 전열교환기, 급배기 팬, 온습도 측정장치, 풍량계, 전력량계, 항온항습챔버 등으로 구성된다. 본 연구에서 사용된 항온항습챔버는 다양한 실내의 환경조건을 구현할 수 있는 형태로 실내챔버, 중간챔버, 외부챔버로 나뉜다. 실내챔버는 균일한 온습도 유지를 위한 실내공간으로 온도는 0~30℃, 상대습도는 10~95%까지 조절이 가능하며 주로 공동주택의 실내공간으로 사용된다. 중간챔버는 발코니 또는 실외기실과 같은 공간으로 실내챔버와 외부챔버 중간에 위치하며, 성능시험을 위한 환기장치와 자료수집장치 등이 위치한다. 외부챔버는 외기조건을 만들어주는 곳으로 온도 -30~50℃, 상대습도는 30~95%까지 조절이 가능하다. Fig. 2는 성능시험장치의 개략도이다. 항온항습챔버의 중간챔버에 전열교환기, 팬, 자료수집장치 등을 설치하고 보온 덕트를 사용하여 외기와 실내공기를 공급하였다. 팬과 연결된 인버터를 이용하여 전압을 조정하여 공급공기의 풍량을 조정하였으며, 전열교환기의 입·출구에서 건구온도와 상대습도를 측정하여 전열교환 효율을 계산하였다.⁽⁶⁾

2.2 실험방법

벽체매립형 폐열회수 환기시스템용 전열교환기의 성능시험은 환기장치의 급배기 유량을 변화시켜가면서 수행하였다. 팬에 연결된 인버터의 전압을 조정하여 팬의 회전을 컨트롤하며, 팬의 회전수 컨트롤에 의해 공급되는 공기유량이 조절된다. 공급되는 공기 유량은 총

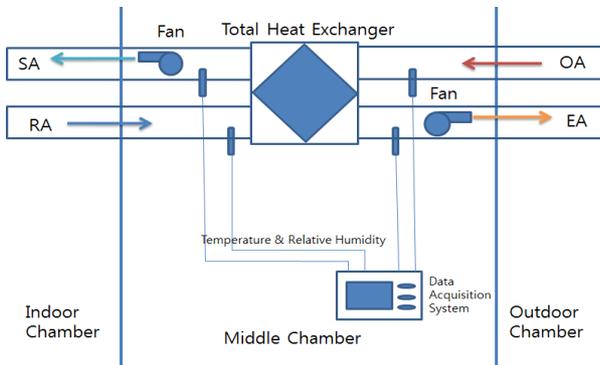


Fig. 2 Schematic of test apparatus.

Table 1 Operating condition for cooling and heating

	Indoor		Outdoor	
	Dry-bulb Temp. (°C)	Wet-bulb Temp. (°C)	Dry-bulb Temp. (°C)	Wet-bulb Temp. (°C)
Cooling	24±0.5	17.0±0.3	35±0.5	24±0.3
Heating	22±0.5	13.9±0.3	2±0.5	0.44±0.3

5단계로 2~10 V로 2 V씩 높여가며 팬을 제어하였다. 인버터에 의해 일정 회전수로 팬이 운전되어 전열교환기에 외기와 실내공기 조건의 공기가 공급되면 약 1시간 정도 운전한 뒤 급기(SA), 환기(RA), 외기(OA), 배기(EA)의 건구온도와 상대습도를 측정하고 습공기선도(Psychrometric chart) 프로그램에서 엔탈피를 구하여 전열교환효율을 계산하였다. 본 연구에서 여름철 냉방 조건과 겨울철 난방조건의 열회수 성능을 측정하기 위해 외기와 실내조건으로 설정한 공기 조건은 고효율기자재 보급촉진에 관한 규정의 폐열회수형 환기장치의 인증기술기준 및 측정방법의 냉난방 시험조건이며, 각각의 조건은 Table 1과 같다.^(7, 8)

3. 성능시험 실험결과 및 고찰

3.1 열회수 성능

두께가 얇은 전열교환기를 사용한 폐열회수 환기시스템의 성능시험을 위해 두께 140 mm의 종이열교환기를 제작하여 설치하고 유량변화에 따른 열회수 성능과 전력소비량 성능시험을 실시하였다. 경량벽체에 설치 가능한 열교환기는 두께가 얇기 때문에 전열교환면적이 작아지므로 효율이 감소하는 단점이 있다, 따라서 본 연구에서는 열교환기의 골높이를 작게하여 열교환 효율을 증가시키고, 또한 열전달 면적을 크게 하기 위해 열교환기의 크기를 크게 제작하여 성능시험을 수행하였다. 전열교환기의 전열교환효율은 열교환기 입

· 출구에서의 건구온도와 상대습도를 측정하고 이를 습공기선도 프로그램을 이용하여 엔탈피를 구한다. 이 엔탈피를 이용하여 아래와 같은 식으로 전열교환 효율을 계산한다.

$$\eta_{Tot} = \frac{h_{OA} - h_{SA}}{h_{OA} - h_{RA}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 η 는 전열교환 효율(%), h 는 엔탈피(kJ/kg), 하첨자 Tot는 전열교환, OA는 외기, SA는 급기, RA는 환기이다.

Fig. 3은 크기 250 mm, 골높이 2.6 mm, 2.0 mm의 전열교환기 설치하여 성능시험을 한 전열교환효율 그래프이다. 인버터 전압 2 V일 때 유량은 약 60 CMH로 가장 작으며, 전압을 높여가면서 10 V에서 최대 약 220 CMH까지 풍량을 조절할 수 있었다. 난방조건과 냉방조건 모두 유량이 증가하면서 전열교환효율은 감소하는 경향을 보이고 있다. 난방조건 성능시험이 냉방조건 성능시험보다 약간 높은 전열교환효율을 보이고 있으며, 골높이 2.6 mm 열교환기의 경우 150 CMH를 기준으로 냉방시 약 36%, 난방시 45%의 효율을 보이고 있다. 골높이가 낮아지면 같은 높이의 열교환기 조립체에서 더 많은 전열면을 가지게 되므로 열교환기의 효율이 높아지게 된다. 골높이 2.0 mm 열교환기의 경우 냉방조건에서의 효율이 골높이 2.6 mm 열교환기의 난방 효율과 유사한 값을 가지고 있으며, 150 CMH를 기준으로 약 47%, 난방조건에서는 약 60%의 효율을 보이고 있다.

Fig. 4는 크기가 400 mm인 열교환기를 설치한 경우 전열교환 효율을 나타낸 그래프이다. 열교환기의 크기가 커졌기 때문에 크기가 250 mm인 열교환기보다 전

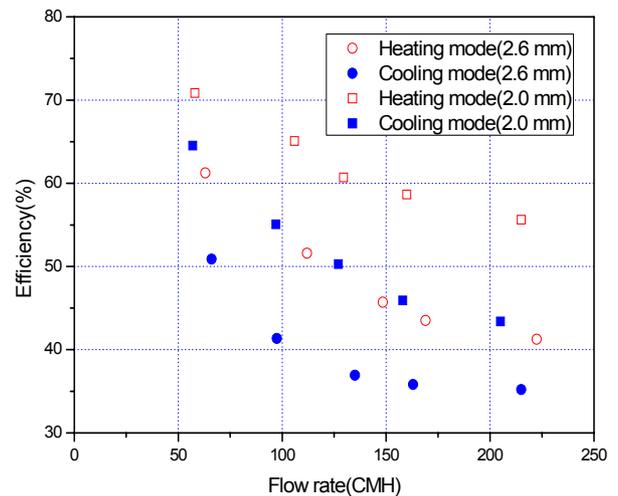


Fig. 3 Efficiency of paper heat exchangers(250 mm).

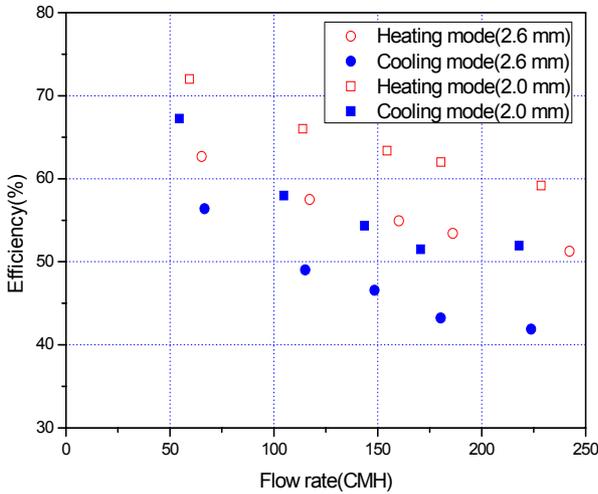


Fig. 4 Efficiency of paper heat exchangers(400 mm).

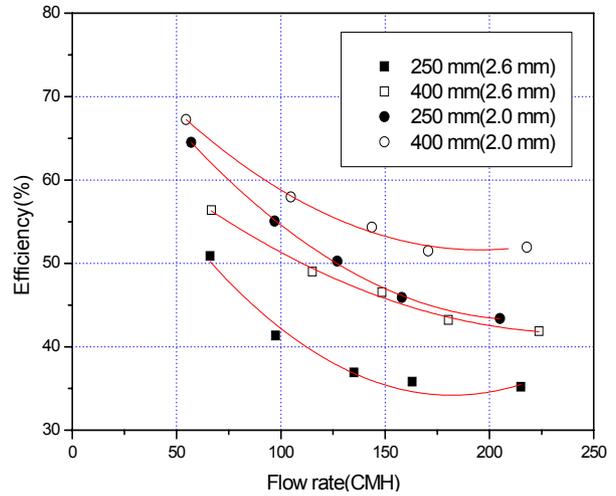


Fig. 6 Efficiency of paper heat exchangers at cooling condition.

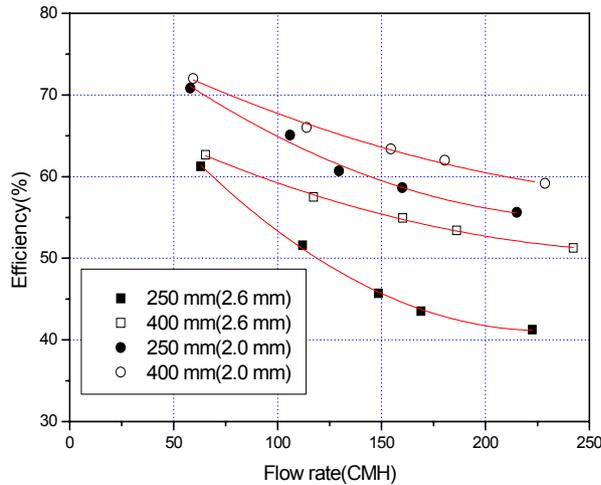


Fig. 5 Efficiency of paper heat exchangers at heating condition.

영역에서 상당히 높은 효율을 얻고 있다. 150 CMH를 기준으로 골높이 2.6 mm 열교환기의 경우 난방조건에서의 전열교환효율은 약 56%, 냉방조건에서는 45%의 전열교환 효율을 보이고 있다. 크기가 250 mm의 열교환기와 유사하게 골높이 2.0 mm의 냉방조건에서 골높이 2.6 mm의 난방조건 열회수 효율과 유사한 값을 가지며, 150 CMH를 기준으로 약 53%의 효율을 보이고 있다. 골높이 2.0 mm 열교환기 난방조건에서 열회수 효율이 약 64%로 2.6 mm의 열교환기 열회수 효율에 비해 약 8%p 증가하였다.

Fig. 5는 난방조건에서 열회수 효율을 비교한 것이다. 열교환기의 크기가 작고 골높이가 높은 크기 250 mm, 골높이 2.6 mm의 경우 가장 낮은 열회수 효율을

나타내고 있으며, 열교환기의 크기가 크고 골높이가 낮은 크기 400 mm, 골높이 2.0 mm의 경우 가장 높은 열회수 효율을 보이고 있다. 같은 열교환기 크기에서 골높이를 낮게 한 250 mm, 골높이 2.0 mm 열교환기의 경우 골높이를 일정하게 하고 열교환기를 크게 만든 400 mm, 골높이 2.6 mm의 열교환기보다 효율이 더 높은 것으로 나타나고 있다. 실험으로 얻은 열회수 효율로부터 공기의 유량에 대한 열회수 효율의 아래와 같은 상관관계식을 얻을 수 있었다.

$$250-2.6 : \eta_{Tot} = 79.73 - 0.34Q + 0.00074Q^2 \quad (2)$$

$$400-2.6 : \eta_{Tot} = 70.35 - 0.13Q + 0.00023Q^2$$

$$250-2.0 : \eta_{Tot} = 81.97 - 0.21Q + 0.00041Q^2$$

$$400-2.0 : \eta_{Tot} = 79.06 - 0.13Q + 0.00020Q^2$$

Fig. 6은 냉방조건에서 효율을 비교한 것으로 난방조건의 경향과 같이 열교환기의 크기가 작고 골높이가 높은 크기 250 mm, 골높이 2.6 mm의 경우 가장 낮은 열회수 효율을 나타내고 있으며, 열교환기의 크기가 크고 골높이가 낮은 크기 400 mm, 골높이 2.0 mm의 경우 가장 높은 열회수 효율을 보이고 있다. 공기의 유량에 대한 열회수 효율의 아래와 같은 상관관계식을 얻었다.

$$250-2.6 : \eta_{Tot} = 73.62 - 0.43Q + 0.00119Q^2 \quad (3)$$

$$400-2.6 : \eta_{Tot} = 69.32 - 0.23Q + 0.00046Q^2$$

$$250-2.0 : \eta_{Tot} = 82.34 - 0.36Q + 0.00083Q^2$$

$$400-2.0 : \eta_{Tot} = 81.69 - 0.31Q + 0.00079Q^2$$

Table 2 Comparison of efficiency

Mode	Heat exchanger	Eff	Eff/Eff _{250-2.6}
Heating	250 mm(2.6 mm)	45.4	1
	400 mm(2.6 mm)	56.0	1.23
	250 mm(2.0 mm)	59.7	1.32
	400 mm(2.0 mm)	64.0	1.41
Cooling	250 mm(2.6 mm)	35.9	1
	400 mm(2.6 mm)	45.2	1.26
	250 mm(2.0 mm)	47.0	1.31
	400 mm(2.0 mm)	53.0	1.48

Table 2는 앞에서 얻은 유량대 열회수 효율의 실험관계식으로부터 공기유량 150 CMH를 기준으로 각각의 열교환기에 대해 열회수효율을 크기 250 mm, 골높이 2.6 mm 열교환기와 비교하여 나타낸 것이다. 냉방과 난방조건에서 모두 열교환기의 크기를 크게 하거나 골높이를 작게 한 경우 열회수효율이 증가하였으며, 열교환기 크기를 크게하고, 골높이를 작게하여 열전달면적을 가장 크게 만든 400 mm(2.0 mm)의 열교환기가 난방에서는 41%p, 냉방에서는 48%p 증가로 가장 높게 나타났다.

3.2 전력소비량

Fig. 7과 Fig. 8은 난방조건과 냉방조건 성능시험에서 벽체매립형 폐열회수 환기장치 팬의 전력소비량을 측정 한 것이다. 열전달성능의 향상은 압력손실을 수반하게 되며, 증가된 열전달량에서 압력손실에 의한 송풍기의 구동동력(fan power)만큼을 상쇄한 나머지가 실질적인 시스템의 열전달 성능이라 정의 할 수 있다. 팬의 전력소비량은 정압상승에 따라 상승하며, 그래프에서 보는 바와 같이 유량의 세제곱의 형태로 증가하고 있다. 난방조건과 냉방조건 모두 열교환기의 크기가 250×250 mm(골높이 2.0 mm)의 열교환기가 같은 풍량에서 가장 높은 소비전력값을 보이고 있으며, 250×250 mm(골높이 2.6 mm), 400×400 mm(골높이 2.0 mm), 400×400 mm(골높이 2.6 mm)의 순으로 높은 소비전력 값을 보이고 있다. 실험으로부터 얻은 소비전력과 유량의 관계로부터 다음과 같은 상관관계식을 얻었다.

• 난방조건

$$\begin{aligned}
 250-2.6 &: q = 58.3 - 1.52Q + 0.0145Q^2 - 2.36E-5Q^3 \quad (4) \\
 400-2.6 &: q = 45.3 - 1.03Q + 0.0095Q^2 - 1.23E-5Q^3 \\
 250-2.0 &: q = 45.9 - 1.31Q + 0.0144Q^2 - 2.48E-5Q^3 \\
 400-2.0 &: q = 26.1 - 0.52Q + 0.0055Q^2 - 1.56E-6Q^3
 \end{aligned}$$

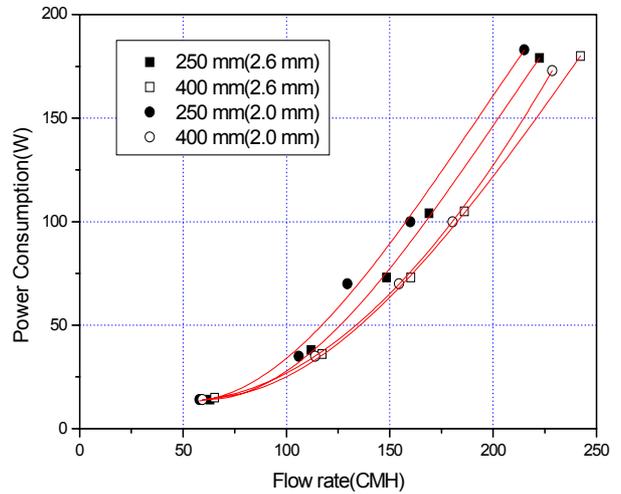


Fig. 7 Power consumption of paper heat exchangers at heating mode.

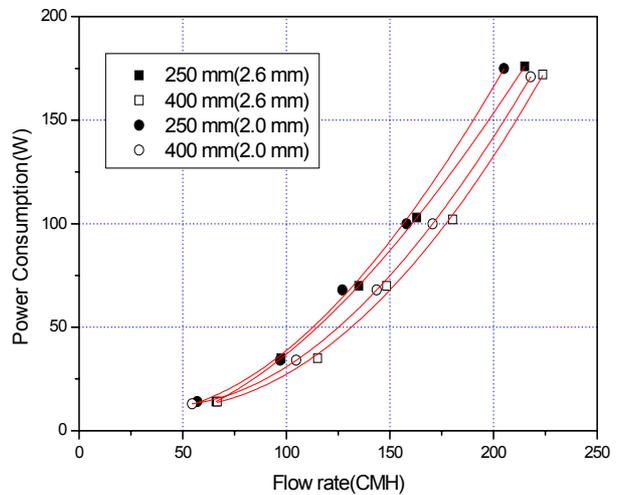


Fig. 8 Power consumption of paper heat exchangers at cooling mode.

• 냉방조건

$$\begin{aligned}
 250-2.6 &: q = 0.37 - 0.13Q + 0.0055Q^2 - 4.97E-6Q^3 \quad (5) \\
 400-2.6 &: q = 19.3 - 0.42Q + 0.0050Q^2 - 4.95E-7Q^3 \\
 250-2.0 &: q = 12.9 - 0.34Q + 0.0065Q^2 - 4.69E-6Q^3 \\
 400-2.0 &: q = 22.7 - 0.51Q + 0.0063Q^2 - 3.83E-6Q^3
 \end{aligned}$$

Table 3은 풍량 150 CMH에서 실험관계식으로부터 각각의 열교환기에 대한 소비전력량을 계산한 것이다. 소비전력은 열교환기의 입구가 크고 골높이가 높은 400 mm(2.6 mm) 열교환기에서 가장 작은 값을 보이고 있으며, 열교환기의 입구가 작고 골높이가 작은 250 mm(2.0 mm)에서 가장 소비전력이 큰 것으로 나타났다.

Table 3 Comparison of power consumption

Mode	Heat exchanger	q	q/q _{250-2.6}
Heating	250 mm(2.6 mm)	76.9	1
	400 mm(2.6 mm)	63.0	0.82
	250 mm(2.0 mm)	89.7	1.17
	400 mm(2.0 mm)	66.6	0.87
Cooling	250 mm(2.6 mm)	87.8	1
	400 mm(2.6 mm)	67.1	0.76
	250 mm(2.0 mm)	92.3	1.05
	400 mm(2.0 mm)	75.0	0.85

4. 결 론

벽체매립형 폐열회수 환기장치의 중요 요소인 전열교환기 조립체의 두께를 얇게 제작하고, 열회수 효율을 높이기 위해 골높이를 낮게 제작한 열교환기와 면적을 크게 제작한 열교환기를 설치한 환기장치에 대해 냉방 및 난방 조건에서 성능시험을 수행하여 열회수 효율과 전력소비량을 분석하였다.

(1) 난방조건에서 냉방조건보다 더 높은 열회수 효율을 얻을 수 있으며, 입구의 크기가 크고 골높이가 낮은 400 mm(2.0 mm) 열교환기의 열회수 효율이 가장 크다.

(2) 난방조건에서 유량별 열회수 효율에 대한 상관관계식은 다음과 같다.

$$250-2.6 : \eta_{Tot} = 79.73 - 0.34Q + 0.00074Q^2$$

$$400-2.6 : \eta_{Tot} = 70.35 - 0.13Q + 0.00023Q^2$$

$$250-2.0 : \eta_{Tot} = 81.97 - 0.21Q + 0.00041Q^2$$

$$400-2.0 : \eta_{Tot} = 79.06 - 0.13Q + 0.00020Q^2$$

(3) 냉방조건에서 유량별 열회수 효율에 대한 상관관계식은 다음과 같다.

$$250-2.6 : \eta_{Tot} = 73.62 - 0.43Q + 0.00119Q^2$$

$$400-2.6 : \eta_{Tot} = 69.32 - 0.23Q + 0.00046Q^2$$

$$250-2.0 : \eta_{Tot} = 82.34 - 0.36Q + 0.00083Q^2$$

$$400-2.0 : \eta_{Tot} = 81.69 - 0.31Q + 0.00079Q^2$$

(4) 유량 150 CMH를 기준으로 250 mm(2.6 mm) 열교환기와 비교하여 400 mm(2.6 mm) 열교환기와 250

mm(2.0 mm), 400 mm(2.0 mm) 열교환기의 열회수 효율은 난방조건에서는 각각 23%p, 32%p, 41%p가 증가하였고, 냉방조건에서는 각각 26%p, 31%p, 48%p가 증가하였다.

(5) 유량 150 CMH를 기준으로 250 mm(2.6 mm) 열교환기와 비교하여 소비전력은 입구의 면적이 커진 400 mm(2.6 mm) 열교환기와 400 mm(2.0 mm) 열교환기의 경우 각각 난방조건에서 18%p, 13%p 감소하였으며, 골높이가 낮아진 250 mm(2.0 mm) 열교환기에서는 난방조건에서 17%p, 냉방조건에서는 5%p가 증가하였다.

Reference

1. Chung, M. H. and Oh, B. K., 2011, An experimental study on performance of heat recovery ventilation system for total heat exchangers, Proceedings of SAREK 2011 Summer Annual Conference, pp. 416-419.
2. Webb, R. L., 1994, Principle of Enhanced Heat Transfer, Wiley Interscience.
3. Chung, M. H. and Oh, B. K., 2012, An experimental study on performance of paper heat exchangers for heat recovery ventilation system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 240-246.
4. Yoo, S. Y., Kim, J. H., Chung, M. H., and Jie, M. S., 2008, A study on the performance prediction of paper heat exchanger for exhaust heat recovery, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 6, pp. 372-380.
5. Lee, C. W., Lee, K. S., Koh, D. Y., and Yeom, H. K., 2001, Design and test of heat recovery ventilator with total heat exchanger, Proceeding of SAREK 2002 Summer Annual Conference, pp. 518-523.
7. Han, H. and Choo, Y. B., 2008, A study on heat transfer characteristics and uncertainty of heat recovery ventilator for various outdoor temperature/humidity conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 608-613.
8. KARSE B 0030-192, 2008, Heat Recovery Ventilators, Korea Association of Air-Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers.
9. KARSE B 0051, 2010, Heat/Energy Recovery Exchangers, Korea Association of Air-Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers.