

폐열회수 환기시스템에 사용된 종이 열교환기의 성능에 관한 실험적 연구

정 민 호[†], 오 병 길
대림산업(주) 기술개발원

An Experimental Study on Performance of Paper Heat Exchangers for Exhaust Heat Recovery Ventilation System

Min-Ho Chung[†], Byung-Kil Oh

Technology Research & Development Institute, Daelim Industrial Co. Ltd., Seoul 110-150, Korea

(Received September 29, 2011; revision received December 26, 2011)

ABSTRACT: The supply and use of exhaust heat recovery ventilation system as effective energy saving equipment has been increasing steadily. The exhaust heat recovery ventilation system can be installed at ceiling of balcony or emergency space. However, ventilation system can not be installed at emergency space because where have to remain as empty space by law. Therefore, the proper installation space of ventilation system is needed. In this study, to install heat recovery ventilation system in the light weight wall, thickness of heat exchanger was assembled below 140 mm. One or two paper heat exchangers were installed in the ventilation system. The efficiency of heat recovery was analyzed through performance experiment on case of cooling and heating mode.

Key words: Paper heat exchanger(종이 열교환기), Heat recovery ventilation system(폐열회수 환기장치), Light weight wall(경량벽체)

기 호 설 명

하첨자

h	: 엔탈피 [kJ/kg]	EA	: 배기
Q	: 공기의 부피유량 [m^3/h]	OA	: 외기
q	: 소비전력 [W]	RA	: 환기
RH	: 상대습도 [%]	SA	: 급기
T	: 건구온도 [$^{\circ}C$]	Tot	: 전열교환

그리스 문자

1. 서 론

η : 열교환 효율(%)

여러 가지 환기시설 중 폐열 회수 환기장치는 급배 기간의 엔탈피 회수를 통해 에너지 절약을 이룰 수 있는 효과적인 에너지 절약기기로 보급과 사용이 꾸준히 증가하고 있다. 폐열 회수용 환기장치는 대부분 발코니 천장부위나 비상 대피공간 또는 실외기

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-369-4195; fax: +82-2-369-5345

E-mail address: cmh@daelim.co.kr

실 천장부위에 설치되게 된다. 하지만 이러한 배기 열 회수용 환기장치는 가로, 세로 크기가 600 mm 이상 두께는 250 mm 이상의 제품이 대부분을 차지하고 있으며, 환기장치의 크기가 커지면서 환기장치의 설치장소에 제약을 받고 있다. 비상대피공간의 경우 환기장치뿐만 아니라 보일러나 창고 등으로 사용하고 있기 때문에 화재 발생시 구조 전까지 대피하고 있을 공간으로 적절히 사용을 못하고 있다. 따라서 국토해양부에서는 아파트 발코니 등에 마련된 대피공간을 보일러실, 창고 등 다른 용도로 사용하는 것을 금지하고, 배치기준을 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 경량벽체 등에 매립하는 방안을 검토하여야 하며, 경량벽체는 두께가 150~200 mm 이하로 얇기 때문에 얇은 열교환기 구조체에서 열 회수 효율을 향상시키는 방법에 대한 연구가 필요하다.⁽¹⁻²⁾

Yoo et al.⁽³⁾은 성능시험 장치를 통해 얻어진 종이 열교환기의 성능으로부터 온도교환에 의한 현열전달과 수증기 교환에 의한 전열전달 성능, 압력손실 등을 예측할 수 있는 상관식을 제시하였다. 압력손실은 상대습도와 속도의 변화에 따른 열교환기의 차압을 측정하여 마찰계수와 속도와의 관계로 나타내었으며, 열전달 성능은 건구온도, 상대습도, 속도의 변화에 대한 열전달량을 측정하여 현열전달을 예측할 수 있는 대류열전달계수와 잠열전달을 예측할 수 있는 투과도 상관식을 제시하였다. Lee et al.⁽⁴⁾은 환기용 전열교환기를 설계·제작하여 열유체전산해석 및 성능시험을 수행하였으며, 전열교환 효율이 현열교환 효율보다 7%p 정도 높게 나온다는 것을 얻었다. Han et al.⁽⁵⁾은 응축에 의한 열전달 효과를 해석하기 위해 결로 해석 모델을 도입하고, 전산 열유체해석을 이용하여 실내 상대습도 및 외기온도를 변화시키며 폐열회수 환기장치의 열교환 소자에 대한 성능을 평가하였다.

본 연구에서는 폐열회수 환기장치를 경량벽체에 매립하기 위해 환기장치의 중요 요소인 폐열회수 열교환기의 두께를 140 mm로 얇게 조립하고 1개의 열교환기와 2개의 열교환기를 직렬로 구성한 환기장치에 대해 냉방 및 난방 조건에서 성능시험을 수행하였다. 또한, 열교환기의 골 높이를 2.6 mm와 2.0 mm로 제작하고 성능시험을 실시하여 골 높이의 변화에 따른 열 회수 효율을 분석하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 종이 열교환기 조립체의 개략도와 사진이다. 유동의 입·출구쪽 각 채널의 폭은 250 mm이고, 열교환기 골의 높이는 2.6 mm와 2.0 mm이며, 경량벽체에 설치할 수 있는 높이 140 mm로 제작하였다. 종이열교환기를 사용한 환기장치 케이스는 두께 1 mm 철판으로 제작하였으며, 단열재를 사용하여 외부와의 열손실을 최소화하였다.

폐열회수 환기장치 냉난방 성능시험을 위한 시험장치는 종이 열교환기, 급배기 팬, 온습도 측정장치, 풍량계, 전력량계, 항온항습챔버 등으로 구성된다. 본 연구에서 사용된 항온항습 챔버는 다양한 실내외 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 자료수집 장치 등이 위치한다. 외부챔버는 외기조건을 만들어주는 곳으로 온도 -30~50℃, 상대습도

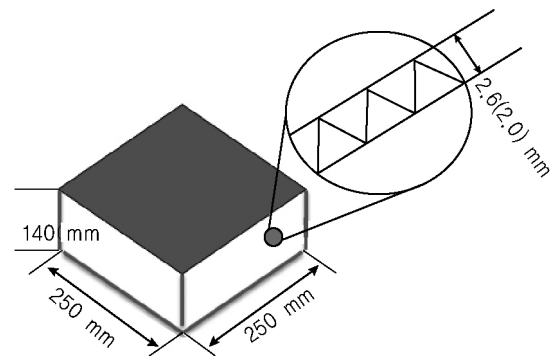


Fig. 1 Schematic and photo of paper heat exchanger.

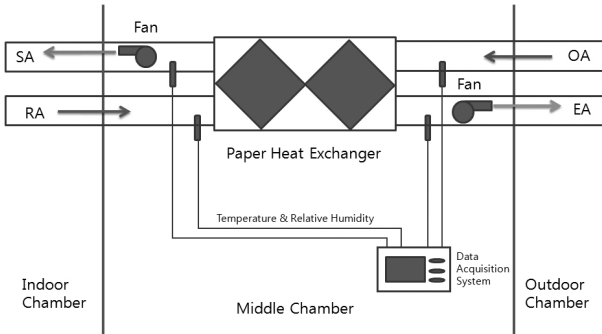


Fig. 2 Schematic and photo of test apparatus.

는 30~95%까지 조절이 가능하다. Fig. 2는 성능시험장치의 개략도와 사진이다. 항온항습챔버의 중간 챔버에 종이열교환기, 팬, 자료수집 장치 등을 설치하고 보온 덕트를 사용하여 외기와 실내공기를 공급하였다. 팬과 연결된 인버터를 이용하여 전압을 조정하여 공급공기의 풍량을 조정하였으며, 종이열교환기의 입·출구에서 건구온도와 상대습도를 측정하여 전열교환 효율을 계산하였다.⁽⁶⁾

2.2 실험방법

폐열회수 환기장치 성능시험은 환기장치의 급배기 유량을 변화시켜가면서 수행하였다. 팬에 연결된 인버터의 전압을 조정하여 팬의 회전을 컨트롤 하며, 팬의 회전수 컨트롤에 의해 공급되는 공기유량이 조절된다. 공급되는 공기 유량은 총 5단계로 2~10 V로 2 V씩 높여가며 팬을 제어하였다. 인버터에 의해 일정 회전수로 팬이 운전되어 종이열교환기에 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 냉방조건과 겨울철 난방조건의 열 회수

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

성능을 측정하기 위해 외기와 실내조건으로 설정한 공기 조건은 고효율 기자재 보급촉진에 관한 규정의 폐열회수형 환기장치의 인증기술기준 및 측정방법의 냉난방 시험조건이며, 각각의 조건은 Table 1과 같다.⁽⁷⁻⁸⁾

3. 성능시험 실험결과 및 고찰

경량벽체에 매립 가능한 두께가 얇은 종이 열교환기의 성능시험을 위해 두께 140 mm의 열교환기 조립체를 제작하여 설치하고 유량변화에 따른 성능시험을 실시하였다. 열교환기를 1개만 설치하면 두께가 얇기 때문에 전열교환 면적이 작아지므로 효율이 감소하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 같은 크기의 열교환기를 1개 더 제작하고 열교환기 2개를 직렬로 연결하여 효율을 높이는 방안과 열교환기의 골 높이를 줄여서 열 교환 면적을 증가시켜서 열 교환 효율을 높이는 두 가지 방안에 대해 성능시험을 하고 시험자료를 분석하였다.

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

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

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

Fig. 3은 골 높이 2.6 mm 종이 열교환기 1개를 설치하여 성능시험을 한 전열교환효율 그래프이다. 인버터 전압 2 V일 때 유량은 약 60 CMH로 가장 작으며, 전압을 높여가면서 최대 약 220 CMH까지 풍량을 조절할 수 있었다. 난방조건과 냉방조건 모두 유량이 증가하면서 전열교환효율은 감소하는 경향

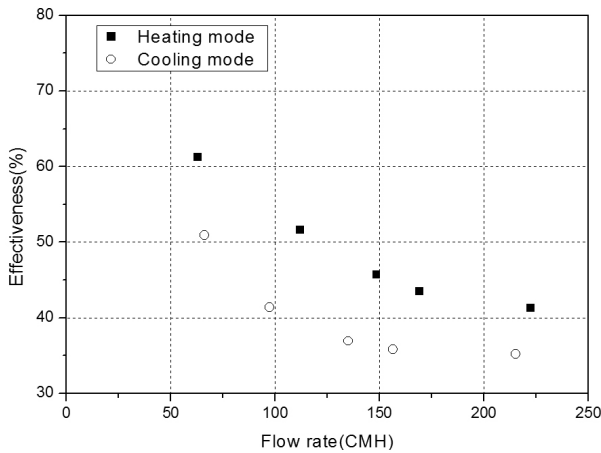


Fig. 3 Effectiveness of paper heat exchanger (2.6 mm).

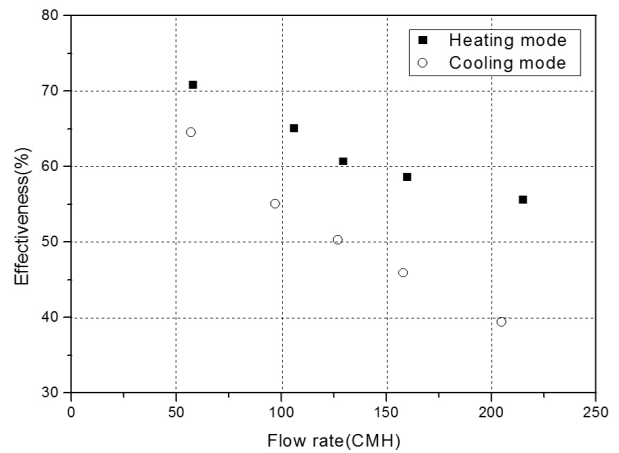


Fig. 5 Effectiveness of paper heat exchanger (2.0 mm).

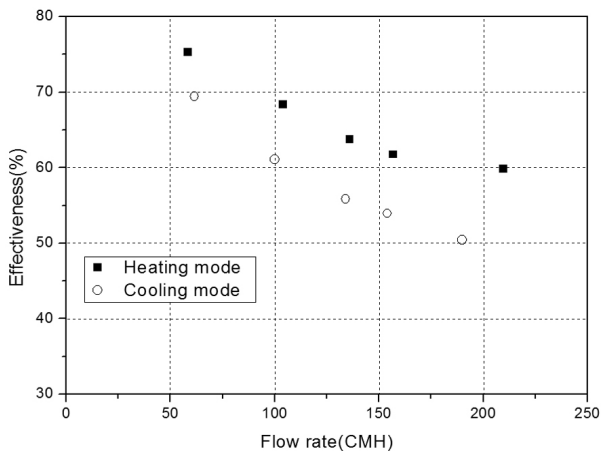


Fig. 4 Effectiveness of serial type paper heat exchangers (2.6 mm).

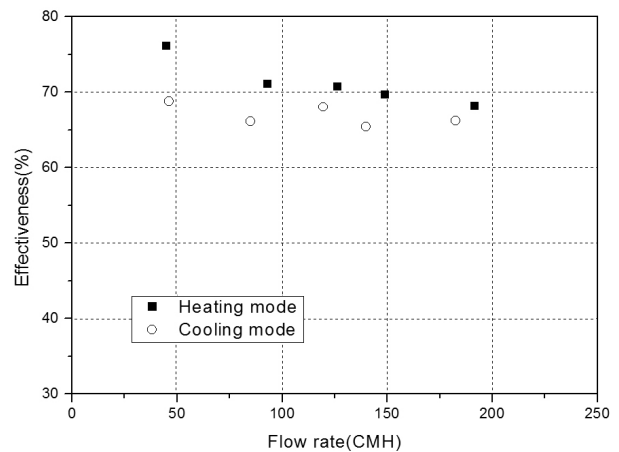


Fig. 6 Effectiveness of serial type paper heat exchangers (2.0 mm).

을 보이고 있다. 난방조건 성능결과가 냉방조건 결과보다 약간 높은 전열교환효율을 보이고 있으며, 150 CMH를 기준으로 냉방시 약 35%, 난방시 약 46%의 효율을 보이고 있다.

Fig. 4는 골 높이 2.6 mm 종이 열교환기를 직렬로 2개 연결했을 경우의 전열교환효율을 나타낸 그래프이다. 열교환기를 2개 직렬로 설치하였기 때문에 전열교환효율의 경우 1개를 설치하여 성능시험한 결과와 마찬가지로 유량이 증가하면서 전열교환효율이 감소하는 경향을 보이고 있지만 전 영역에서 상당히 높은 효율을 얻고 있다. 150 CMH를 기준으로 난방조건에서의 전열교환효율은 약 63%로 1개를 설치한 경우보다 17%p 정도 높게 나타나고 있으며, 냉방조건의 경우 약 54%로 열교환기 1개를 설치한 경우보다 약 19%p 효율이 향상된 것을 확인할 수 있다. 종이 열교환기를 직렬로 연결하게 되

면 열교환기 내부에서 공기가 머무르는 시간이 증가하고 이는 열전달 효율 증가로 나타나게 된다.

Fig. 5는 골 높이 2.0 mm 종이 열교환기 1개를 설치하여 성능시험을 한 전열교환효율 그래프이다. 골 높이 2.6 mm 열교환기보다 난방조건과 냉방조건 모두 높은 전열교환효율을 보이고 있으며, 150 CMH를 기준으로 냉방시 약 47%, 난방시 약 60%의 효율을 보이고 있다.

Fig. 6은 골 높이 2.0 mm 종이 열교환기를 직렬로 2개 연결했을 경우의 전열교환효율을 나타낸 그래프이다. 골 높이를 낮추고, 열교환기를 2개 직렬로 설치하였기 때문에 전열교환효율의 경우 1개를 설치하여 성능시험한 결과보다 상당히 높은 값을 보이고 있으며, 유량이 증가하여도 열 회수 효율이 감소하는 기울기는 상당히 낮으므로 대용량의 환기장치에도 적합한 열교환기 형태라고 판단된다. 150 CMH

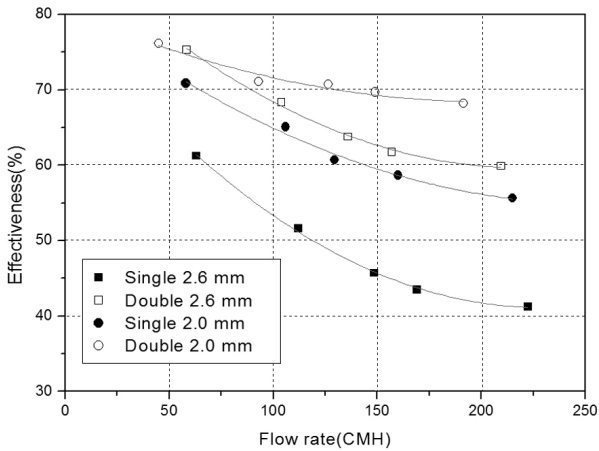


Fig. 7 Effectiveness of paper heat exchangers at heating condition.

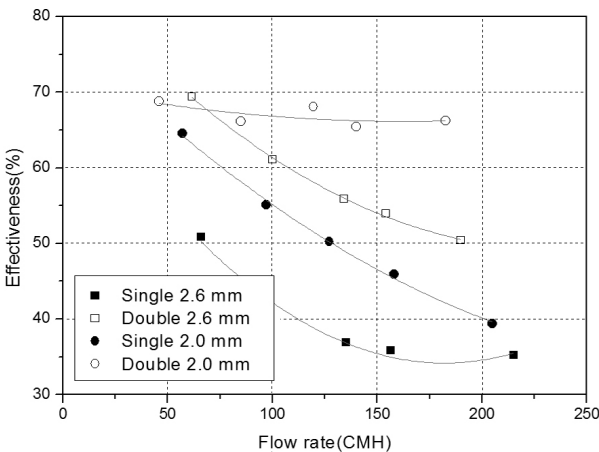


Fig. 8 Effectiveness of paper heat exchangers at cooling condition.

를 기준으로 난방조건에서 전열교환효율은 약 69%로 1개를 설치한 경우보다 9%p 정도 높게 나타나고 있으며, 냉방조건인 경우 약 66%로 열교환기 1개를 설치한 경우보다 약 19%p 효율이 향상된 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 난방조건에서 각각의 열교환기에 대한 열 회수 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다. 골 높이가 2.0 mm, 직렬로 2개 연결한 경우 가장 높은 분포를 보이고 있으며, 2.6 mm 직렬로 2개 연결, 2.0 mm 1개, 2.6 mm 1개의 순으로 높은 열 회수 효율을 보이고 있다. 실험으로 얻은 열 회수 효율로부터 공기의 유량에 대한 열 회수 효율의 아래와 같은 상관관계식을 얻었다.

• 난방조건

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

$$D\ 2.6 : \eta_{Tot} = 88.98 - 0.27Q + 0.00061Q^2$$

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

$$D\ 2.0 : \eta_{Tot} = 80.65 - 0.12Q + 0.00029Q^2$$

Fig. 8은 냉방조건에서 각각의 열교환기에 대한 열회수 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다. 난방 조건 성능시험에서와 마찬가지로 골 높이가 2.0 mm, 직렬로 2개 연결한 경우 가장 높은 분포를 보이고 있으며, 2.6 mm 직렬로 2개 연결, 2.0 mm 1개, 2.6 mm 1개의 순으로 높은 열회수 효율을 보이고 있으며, 공기의 유량에 대한 열회수 효율의 아래와 같은 상관관계식을 얻었다. 열교환기의 골 높이를 낮추는 방법보다는 열교환기를 2개 직렬로 연결하여 열 전달 면적을 증가시키는 방법이 더 효과적으로 열 회수 효율을 높이는 것이라 판단된다.

• 냉방조건

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

$$D\ 2.6 : \eta_{Tot} = 86.22 - 0.32Q + 0.00068Q^2$$

$$S\ 2.0 : \eta_{Tot} = 78.78 - 0.28Q + 0.00043Q^2$$

$$D\ 2.0 : \eta_{Tot} = 70.74 - 0.06Q + 0.00017Q^2$$

앞에서 얻은 실험관계식으로부터 유량 150 CMH를 기준으로 각각의 경우에 대한 열 회수 효율을 계산하고 골 높이가 2.6 mm 열교환기가 1개 설치된 경우와 비교하여 열 회수 효율이 상승한 비율을 계산하여 Table 2에 나타내었다. 난방조건에서는 2.6 mm 열교환기 1개 설치한 경우와 비교하여 각각 37%p, 32%p, 52%p가 증가하였고, 냉방조건에서는 각각 52%p, 33%p, 87%p가 증가하였다.

Table 2 Comparison of effectiveness

mode	heat exchanger	Eff	Eff/EffS2.6
heating	Single 2.6 mm	45.59	1
	Double 2.6 mm	62.63	1.37
	Single 2.0 mm	60.10	1.32
	Double 2.0 mm	69.27	1.52
cooling	Single 2.6 mm	35.11	1
	Double 2.6 mm	53.98	1.52
	Single 2.0 mm	46.56	1.33
	Double 2.0 mm	66.17	1.87

Fig. 9와 Fig. 10은 난방조건과 냉방조건 성능시험에서 환기장치 팬의 전력소비량을 측정 한 것이다. 팬의 전력소비량은 정압상승에 따라 상승하며, 그래프에서 보는 바와 같이 유량의 세제곱의 형태로 증가하고 있다. 난방조건과 냉방조건 모두 골 높이 2.0 mm, 직렬로 2개 연결한 경우 가장 높은 소비전력 값을 보이고 있으며, 2.6 mm 직렬로 2개 연결, 2.0 mm 1개, 2.6 mm 1개의 순으로 높은 소비전력 값을 보이고 있다. 실험으로부터 얻은 소비전력과 유량의 관계로부터 다음과 같은 상관관계식을 얻었다.

• 난방조건

$$\begin{aligned}
 S\ 2.6 &: q = 58.25 - 1.52Q + 0.01Q^2 - 2.4E-5Q^3 \quad (4) \\
 D\ 2.6 &: q = 77.20 - 2.14Q + 0.02Q^2 - 4.0E-5Q^3 \\
 S\ 2.0 &: q = 64.73 - 1.77Q + 0.02Q^2 - 3.0E-5Q^3 \\
 D\ 2.0 &: q = 26.96 - 0.70Q + 0.01Q^2 - 8.2E-6Q^3
 \end{aligned}$$

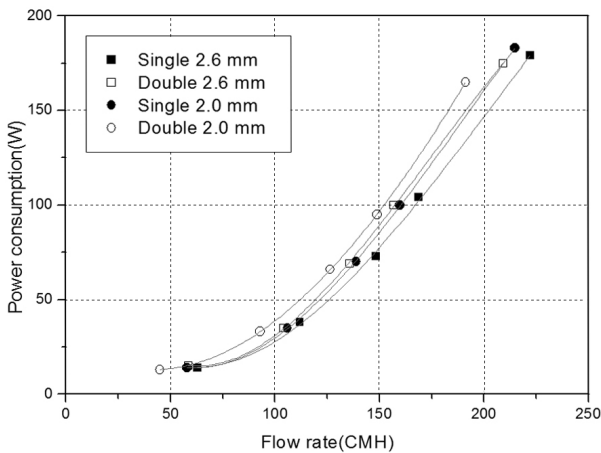


Fig. 9 Power consumption of paper heat exchangers at heating condition.

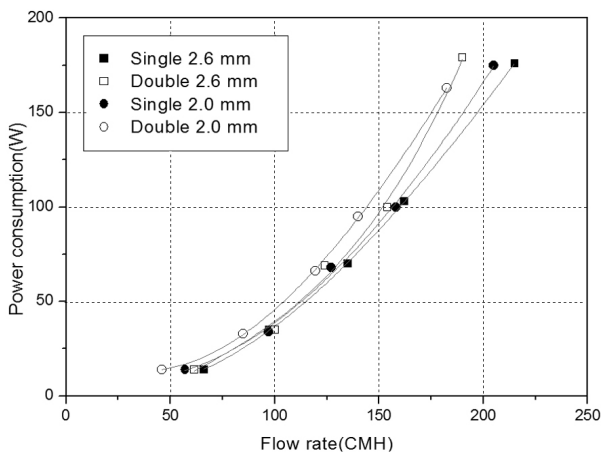


Fig. 10 Power consumption of paper heat exchangers at cooling condition.

• 냉방조건

$$\begin{aligned}
 S\ 2.6 &: q = 7.65 - 0.34Q + 0.01Q^2 - 9.2E-6Q^3 \quad (5) \\
 D\ 2.6 &: q = -25.53 - 0.81Q - 0.01Q^2 - 3.3E-5Q^3 \\
 S\ 2.0 &: q = 12.90 - 0.34Q + 0.01Q^2 - 4.7E-6Q^3 \\
 D\ 2.0 &: q = 26.59 - 0.73Q + 0.01Q^2 - 1.3E-5Q^3
 \end{aligned}$$

Table 3은 위에서 얻은 실험관계식으로부터 유량 150 CMH를 기준으로 각각의 경우에 대한 소비전력량을 계산하고 골 높이 2.6 mm 열교환기가 1개 설치된 경우와 비교하여 소비전력량이 상승한 비율을 계산하여 나타낸 것이다. 난방조건에서는 2.6 mm 열교환기 1개 설치한 경우와 비교하여 각각 15%p, 11%p, 25%p가 증가하였고, 냉방조건에서는 각각 11%p, 4%p, 24%p가 증가하였다.

Fig. 11은 열 회수량과 팬의 에너지 소비량을 비교한 것이다. 열 회수 효율에서 표현되었듯이 난방이나 냉방조건 모두에서 골 높이 2.0 mm 열교환기 2개를 설치한 경우에 가장 많은 에너지를 회수할

Table 3 Comparison of power consumption

mode	heat exchanger	q	q/q _{s,2.6}
heating	Single 2.6 mm	77.31	1
	Double 2.6 mm	89.22	1.15
	Single 2.0 mm	85.40	1.11
	Double 2.0 mm	96.54	1.25
cooling	Single 2.6 mm	87.78	1
	Double 2.6 mm	97.23	1.11
	Single 2.0 mm	91.45	1.04
	Double 2.0 mm	109.17	1.24

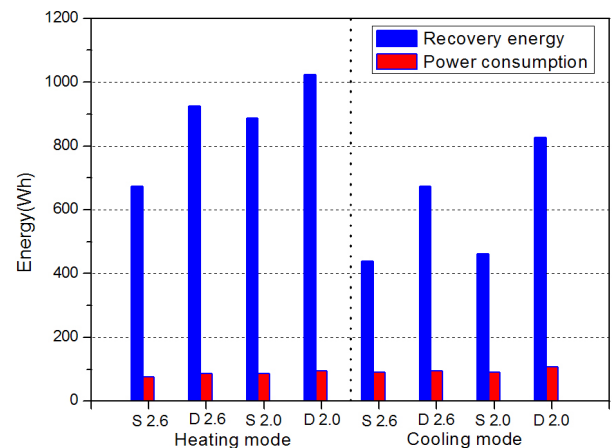


Fig. 11 Comparison of recovery energy and power consumption.

수 있으며, 실내·외의 온도차와 습도차가 큰 난방 조건에서 냉방조건보다 많은 에너지를 회수하게 된다. 팬 구동에너지의 경우 저항이 가장 크게 발생하는 골 높이 2.0 mm 열교환기 2개를 설치한 경우가 가장 크게 나타나지만 열 회수량과 비교하면 그 차이는 미미하다고 볼 수 있다.

4. 결 론

폐열회수 환기장치를 경량벽체에 매립하기 위해 환기장치의 중요 요소인 종이 열교환기의 두께를 얇게 조립하고 1개의 열교환기와 2개의 열교환기를 직렬로 구성한 환기장치에 대해 냉방 및 난방 조건에서 성능시험을 수행하여 열 회수 효율과 전력소비량을 분석하였다.

(1) 열 회수 성능시험 결과 난방조건 결과가 냉방조건 시험결과보다 약간 높은 전열교환효율을 보이고 있으며, 열교환기 1개를 설치한 경우보다 2개를 설치한 경우가 높게 나타나고 있다.

(2) 난방조건에서 유량별 열 회수 효율에 대한 상관관계식은 다음과 같다.

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

$$D\ 2.6 : \eta_{Tot} = 88.98 - 0.27Q + 0.00061Q^2$$

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

$$D\ 2.0 : \eta_{Tot} = 80.65 - 0.12Q + 0.00029Q^2$$

(3) 냉방조건에서 유량별 열 회수 효율에 대한 상관관계식은 다음과 같다.

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

$$D\ 2.6 : \eta_{Tot} = 86.22 - 0.32Q + 0.00068Q^2$$

$$S\ 2.0 : \eta_{Tot} = 78.78 - 0.28Q + 0.00043Q^2$$

$$D\ 2.0 : \eta_{Tot} = 70.74 - 0.06Q + 0.00017Q^2$$

(4) 유량 150 CMH를 기준으로 골 높이 2.6 mm 열교환기가 1개 설치된 경우와 비교하여 열교환기 2개의 경우와 골 높이 2.0 mm 열교환기 1개 그리고, 열교환기 2개의 열 회수 효율은 난방조건에서는 각각 37%, 32%, 52%가 증가하였고, 냉방조건에서는 각각 52%, 33%, 87%가 증가하였다.

(5) 유량 150 CMH를 기준으로 골 높이 2.6 mm 열교환기가 1개 설치된 경우와 비교하여 열교환기 2개의 경우와 골 높이 2.0 mm 열교환기 1개 그리

고, 열교환기 2개의 소비전력은 난방조건에서는 각각 15%p, 11%p, 25%p가 증가하였고, 냉방조건에서는 각각 11%p, 4%p, 24%p가 증가하였다.

(6) 환기장치의 열회수 효율을 높이기 위해서 열교환기의 골 높이를 낮추는 방법보다는 열교환기를 2개 직렬로 연결하여 열전달 면적을 증가시키는 방법이 더 효과적이라 판단된다.

참고문헌

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. 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.
4. 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.
5. Han, H., Nam, S. H., and Han, G. S., 2011, Simplified method for condensation analysis in a heat recovery ventilator for live stock buildings, Proceedings of SAREK 2011 Summer Annual Conference, pp. 1040-1043.
6. 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.
7. KARSE B 0030-192, 2008, Heat recovery ventilators, Korea Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers.
8. KARSE B 0051, 2010, Heat/energy recovery exchangers, Korea Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers.