

다공형 전열판의 회전에 의한 열교환시스템의 성능에 관한 연구(II)
 - 전열판의 회전수 변환에 대하여 -
 Study on the Performance of Total Heat Exchanger
 with Rotating Porous Plates

임태우 · 조동현
 T. W. Lim and D. H. Cho

Key Words : Sensible Heat Exchange(현열교환), Latent Heat Exchange(잠열교환), Total Heat Exchange (전열교환), Porous Plate(다공판)

Abstract : The experimental investigation was carried out to evaluate the performance of air-to-air heat exchanger with rotating porous plates newly developed in this study. The rotating porous plates are mounted with an equal interval of 18 mm inside the heat exchanger where the hot and cold airs enter at opposite ends. When flowing in opposite directions by the separating plate installed in the center of the rotating porous plates, the airs give and receive the heat each other. The material of the porous plate is cooper and its thickness is 1.0 mm. Air flow rate is varied from 10 to 120 m³/h. From the experiment of air-to-air heat exchanger with the rotating porous plates, the heat exchange performance increased with the increase in RPM of the porous rotating discs at the conditions of the same air flow rate. The sensible heat exchange efficiency was maximum 60 to 70 percent, and enthalpy exchange efficiency 50 to 60 percent.

기호 설명

RA : 환기(return air)
 SA : 급기(supply air)

- c : 비열(specific heat : J/kg · K)
- h : 엔탈피(enthalpy : J/kg)
- q : 열전달량(heat transfer rate : W)
- Q : 체적유량(volume flow rate : m³/s)
- t : 건구온도(dry-bulb temperature : °C)
- ΔT : 온도차(temperature deference : K)
- x : 절대습도(absolute humidity : kg/kg)
- ρ : 밀도(density : kg/m³)
- η : 효율(efficiency)

1. 서 론

최근 들어 사람들의 하루 일과 중 실내에서의 생활이 90%를 넘어서면서 실내 공기환경 및 환기에 대한 관심이 더욱더 높아지고 있으며, 또한 기술의 발달로 건축물들은 점점 고단열화, 고기밀화 되어 왔으며, 에너지 절약 차원에서 환기량의 저하로 인해 건물 내 실내 공기의 오염은 날로 심각해져 가고 있는 실정이다. 이전에는 자연 환기시 배기의 불량으로 인한 신선한 공기의 유입 부족으로 쾌적한 실내 공기를 유지하기가 어려웠을 뿐만 아니라 에너지 손실이 커 냉난방 부하를 증가시키는 결과를 초래하였다. 이와 같은 폐단을 보완하기 위해 다양한 열회수형 환기장치(또는 전열교환기)가 제안되어 왔는데, 이것은 주로 실내 환기 시 배출되는 배기공기로부터 유입되는 급기공기 간의 열교환을 적용시킨 것으로 일반 빌딩, 병원, 공장, 호텔, 백화점, 축사, 온실 등의 냉·난방 시 오염된 공기를 교환할 때 환

Subscripts

- c : 저온 측(cold)
- h : 고온 측(hot)
- OA : 외기(outdoor air)

접수일 : 2005년 9월 23일
 조동현(책임저자) : 대전대학교 컴퓨터응용기계설계 공학과
 E-mail : chodh@daejin.ac.kr, Tel : 031-539-2301
 임태우 : 한국해양대학교 기관시스템공학부

Table 1 Temperature condition for heat exchange effectiveness

	실내(Indoor)		실외(Outdoor)	
	건구온도(D.B.)	습구온도(W.B.)	건구온도(D.B.)	습구온도(W.B.)
냉방(Cooling)	27±0.5(27±1)	19.5±0.3(20±1)	35±0.5(35±1)	24±0.3(29±1)
난방(Heating)	20±0.5(20±1)	15±0.3(14±1)	7±0.5(5±1)	6±0.3(3±1)

Note. ()부분은 일본 JIS B8628규격을 나타냄.

기로 인해 손실되는 고가의 에너지를 회수하여 재활용하는 에너지 시스템이다.

현재까지 개발된 열교환 환기장치로는 열교환방식, 구조 및 설치형태에 따라 분류할 수 있으며, 주로 열교환 방식에 따라서는 로터리(rotary)형, 히트 파이프(heat pipe)형 그리고 플레이트(plate)형으로 분류할 수 있다. 히트 파이프형은 빌딩과 같은 대규모 시설에 적합하나 설치, 유지, 보수에 따른 비용 부담이 크며, 플레이트형은 공조기에 내장이 가능한 구조이지만 적절한 성능을 유지하기 위해 내부에 부착된 냉각핀을 청소하는 것이 매우 불편하다. 그리고 로터리형은 상대적으로 처리용량이 작지만 구조가 간단해서 가정, 사무실뿐만 아니라 축사, 온실, 벼재배사, 지렁이 사육사 등의 소규모 용도에도 적합하다.

본 연구에서는 자체 개발된 공기 대 공기 방식의 로터리형 전열교환 시스템에 대하여 작동 조건이 전열교환 성능에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

2. 실험방법 및 절차

열교환 성능 평가 시험 장치는 2실 방식과 덕트 방식이 사용되고 있으나 본 연구에서는 덕트 방식을 채용하였으며 Fig. 1은 장치의 개략도를 나타낸다.

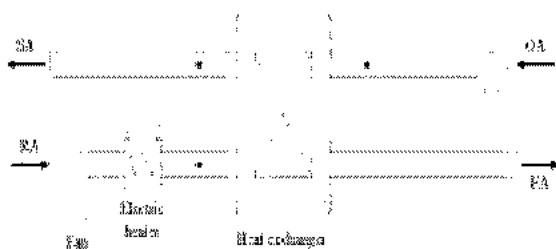


Fig. 1 Schematic view of test facility

전열교환기의 성능 평가에 대한 시험 조건은 KS B6879¹⁾에 규정되어 있으며, Table 1에 냉·난방시 실내외 온도 조건이 주어져 있다. 이것은 일본 JIS

규격²⁾을 근간으로 하고 있기 때문에 JIS규격도 같이 나타내었다.

그러나 본 실험 대상인 공기 대 공기 방식의 로터리형 전열교환 시스템은 위 시험 조건을 그대로 적용하지 않았으며, 최적의 성능을 나타내는 조건을 찾기 위해 여러 작동 조건에 대하여 시험을 수행하였다.

Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸다. 실험장치는 고·저온공기 유동용 송풍팬, 덕트, 시험용 로터리형 열교환기, 슬라이더스, 온도, 압력, 유속 측정시스템, 풍량, 온도, 회전수 등의 제어시스템으로 구성하였다. Fig.2는 시험구간인 로터리형 열교환기의 정면도를 나타낸다. 로터리형 열교환기는 유입공기와 배출공기 간에 교차류로 열교환이 이루어지도록 구성하였다. 그리고 로터리형 열교환기는 내부에 흡입덕트와 배출덕트를 구비하는 본체와 흡입덕트와 배출덕트의 내부공간을 관통하면서 주축을 중심으로 회전되어 열을 이동시키는 다수의 전열판과 흡입덕트 및 배출덕트의 측면에 장착되어 공기를 송풍하고 배풍하는 한 쌍의 송풍팬 및 주축을 회전시키는 모터로 구성하였다. 모터의 구동에 따라 주축이 회전하는 동시에 기어를 통해 양측의 송풍팬이 구동되면 열교환기의 좌측공간과 우측공간에는 각각 공기유입과 유출을 행하는 공기흐름이 발생된다. 주축과 함께 회전하는 전열판을 통과하는 유입, 유출 공기가 전열판에 타공된 많은 통공을 지날 때 전열판에 열을 전달하면서 연속적으로 열을 교환한다. 이에 따라 고온 공기가 보유하고 있는 열을 저온 공기에 전달하는 시스템으로 구성되어 열 회수형 환기장치의 역할을 하도록 하였다. 전열판의 회전수는 1~60 rpm의 범위에서 실험을 수행하였다. 전열판의 회전수를 제어할 수 있는 컨트롤러를 설치하여 임의의 회전수에서 실험할 수 있도록 구성하였다. 고·저온 공기 유동용 송풍팬의 최대 풍량은 5m³/sec이며 덕트에서의 최대 공기의 유속은 10m/sec이다. 유속 제어 컨트롤러를 설치하여 공기 유속이 0.1~10 m/sec의 범위에서 임의의 유속에서 실험할 수 있도록 구성하였다. 그리고 5kW 용량의

슬라이더를 설치하여 임의 열플럭스에서 실험데이터를 산출할 수 있도록 구성하였다. 특수 제작한 Pt 100 백금 온도센서를 설치하여 고·저온 공기의 입·출구 온도를 측정하였다. 각 입·출구의 단면에 3점의 Pt 100 백금 온도센서를 등 간격으로 설치하여 측정된 데이터의 평균값으로 실험데이터를 산출하였다. 본 연구에 사용된 열전대와 온도센서들은 냉점을 통하여 보정하였다. 시험구간에 12점의 Pt 100 백금온도센서들에 의하여 온도가 측정되면 데이터 로그를 통하여 컴퓨터로 전송되어 0.1°C까지 정확한 값으로 기록되어 파일로 저장하였다. 또한 핫 와이어를 덕트 입구에 설치하여 고·저온 공기의 풍속을 측정하였다. 본 연구에서는 이와 같은 실험장치 구성과 방법에 의해 전열판의 회전수 변화에 대한 실험데이터를 산출하였다.

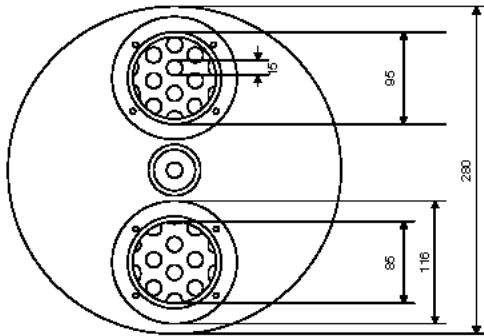


Fig. 2 Front view of heat exchanger

3. 결과 및 고찰

3.1 총 열전달량

총 열전달량은 다음과 같이 정의 된다³⁾.

$$q = \rho_h Q_h c_{p,h} \Delta T_h \quad (\text{고온측}) \quad (1)$$

$$q = \rho_c Q_c c_{p,c} \Delta T_c \quad (\text{저온측}) \quad (2)$$

Fig. 3은 환기 측에 있는 히터를 조절하여 입구온도를 32 ± 0.5 , 42 ± 0.5 , 그리고 54 ± 0.5 [°C]로 각각 설정하여 전열교환 시스템 내 다공 원판의 회전수 (RPM) 증가에 따른 총 열전달량을 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 각각의 입구 온도에서 다공 원판의 회전수가 증가하여도 열전달량은 거의 변하지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한, 큰 온도차를 가질 수 있는 54°C의 경우 열전달량도 다른 온도들에서 보다 큰 값을 나타내었다.

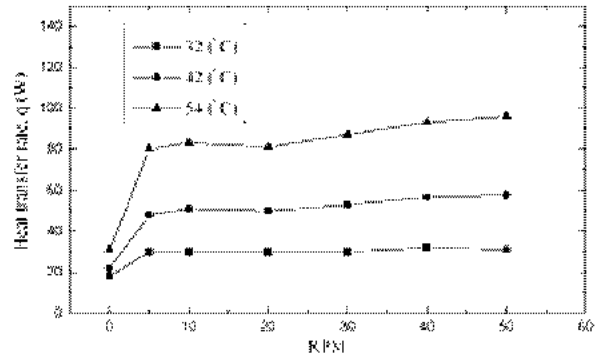


Fig. 3 Variation of heat transfer rate with RPM

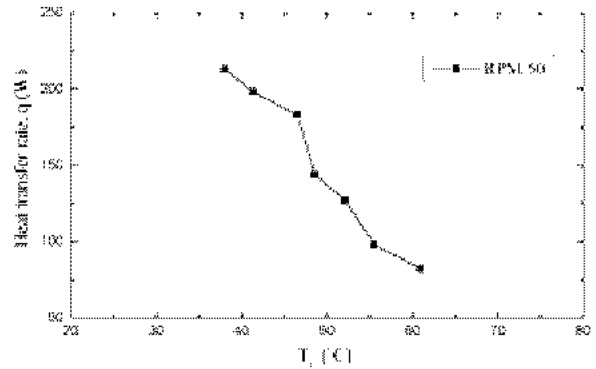


Fig. 4 Variation of heat transfer rate with inlet temperature

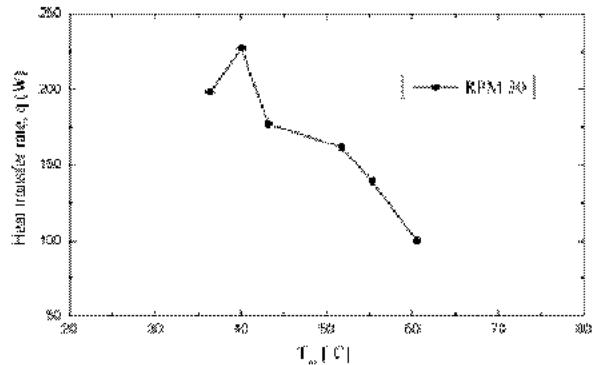


Fig. 5 Variation of heat transfer rate with inlet temperature

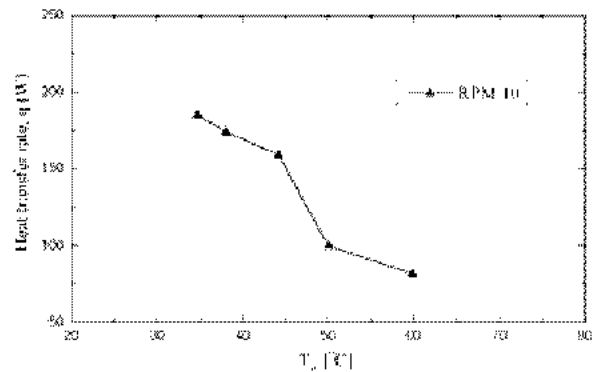


Fig. 6 Variation of heat transfer rate with inlet temperature

Fig. 4~6은 다공 원판의 회전수를 각각 10, 30, 또는 50 RPM으로 설정하고 외기 측의 입구온도는 일정하게 한 후 환기 측의 히터를 조절하여 환기 측 입구온도를 약30~60°C범위로 변화시켰을 때 총 열 전달량의 변화를 나타낸 것이다. 환기 측의 입구 온도가 증가함에 따라 열전달량은 모든 경우에서 감소함을 알 수 있다. 그리고 다공 원판의 회전수 30 RPM인 경우가 50 RPM에 비해 입구 온도가 약35~45°C범위에서는 열전달량이 작게 나타나다가 45~60°C범위에서는 열전달량이 크게 나타나고 있다. 35~45°C범위의 입구 온도 범위에서 열전달량이 작게 나타나는 이유는 이 두 지점에서의 측정 오차일 수도 있으며 30 RPM인 경우가 50 RPM에 비해 전 온도 영역에서 열전달량이 좋다고 판단해도 무리가 없을 것으로 생각된다.

3.2 열교환 효율

전열교환기의 성능을 나타내는 열교환 효율은 온도효율, 습도효율, 전열효율을 말하며, 여기서 온도효율은 현열교환효율을 의미하고, 습도효율은 잠열교환효율을 그리고 전열효율은 현열과 잠열을 모두 고려한 엔탈피 교환효율을 의미한다. 즉, 다음과 같이 정의 된다^{4~11)}.

$$\text{온도효율} : \eta_t = \frac{t_{OA} - t_{SA}}{t_{OA} - t_{RA}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{습도효율} : \eta_x = \frac{x_{OA} - x_{SA}}{x_{OA} - x_{RA}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{전열효율} : \eta_h = \frac{h_{OA} - h_{SA}}{h_{OA} - h_{RA}} \times 100 \quad (3)$$

여기서 t 는 건구온도[°C], x 는 절대습도[kg/kg], 그리고 h 는 엔탈피[kJ/kg]를 나타내며, 하첨자 OA는 외기, SA는 급기, RA는 환기를 의미한다.

본 연구에서는 새롭게 개발된 전열교환기의 성능 평가를 위해 여러 가지 작동 조건에서 건구 온도만을 측정하여 온도효율과 엔탈피 효율만으로 열교환 효율을 나타내었다.

Fig. 7~9는 Fig. 3의 실험 조건과 마찬가지로 환기 측에 있는 히터를 조절하여 입구온도를 32±0.5, 42±0.5, 그리고 54±0.5[°C]로 각각 설정하여 전열교환 시스템 내 다공 원판의 회전수(RPM) 증가에 따른 온

도효율과 전열(엔탈피)효율의 변화를 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 입구온도가 54°C인 Fig. 9에서 회전수 50 RPM에서 약 62%라는 최대 효율을 나타내었다. 그리고 Fig. 7의 경우는 RPM이 증가할수록 효율은 급격히 증가함을 알 수 있다. 그러나 (b)와 (c)의 경우는 RPM이 증가함에 따라 효율이 증가하는 기울기는 완만함을 알 수 있다. 즉 입구온도가 클수록 시스템이 안정되어 진다고 볼 수 있다.

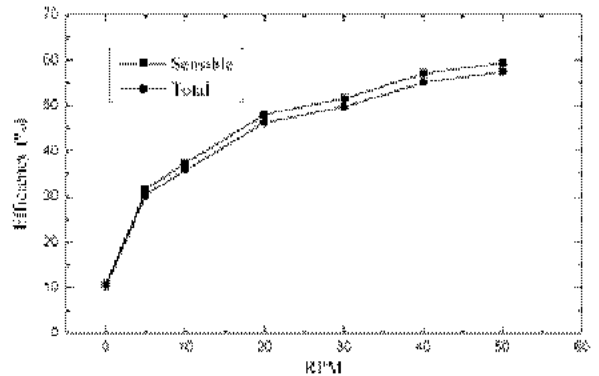


Fig. 7 Variation of efficiency with RPM

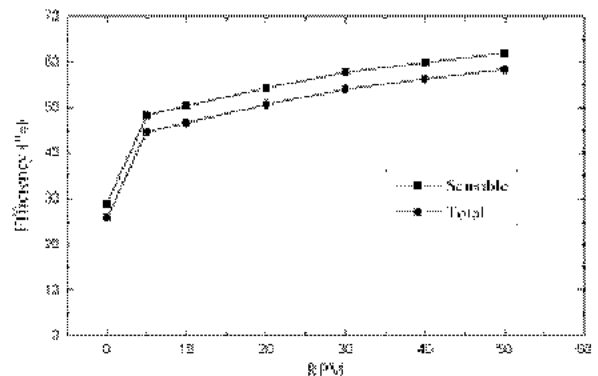


Fig. 8 Variation of efficiency with RPM

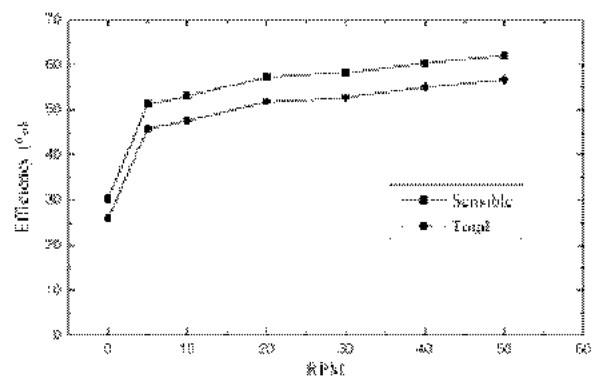


Fig. 9 Variation of efficiency with RPM

Fig. 10은 Fig. 7~9의 각각의 입구온도에서 다공 원판의 회전수의 증가에 따른 온도효율의 변화를 동시에 나타낸 것으로 입구온도가 클수록 큰 온도

차로 인해 온도효율도 크다는 것을 알 수 있다. 또한 입구온도 42°C와 54°C의 경우는 뚜렷한 차이를 발견하지는 못하였다.

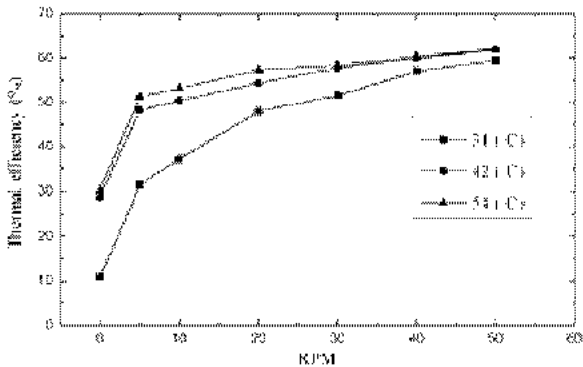


Fig. 10 Variation of thermal efficiency with RPM

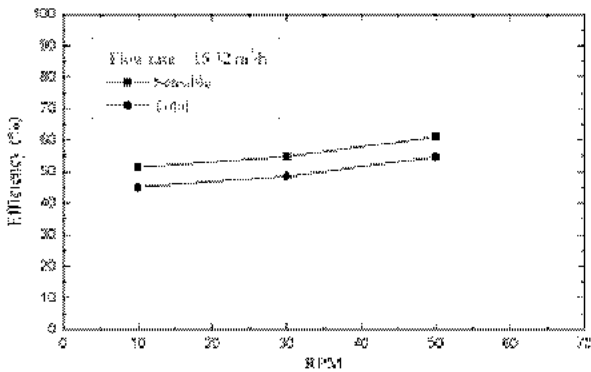


Fig. 11 Variation of efficiency with RPM

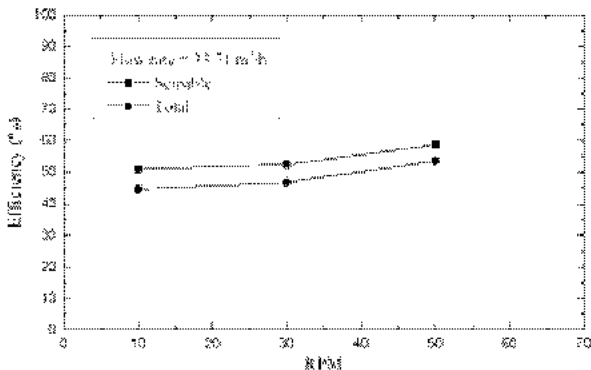


Fig. 12 Variation of efficiency with RPM

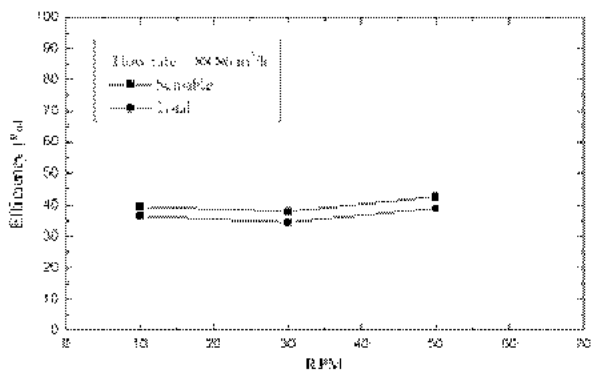


Fig. 13 Variation of efficiency with RPM

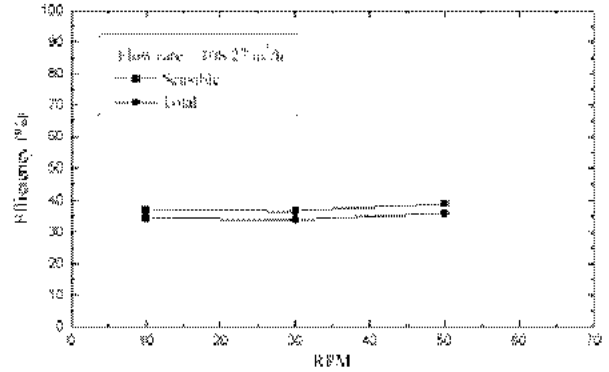


Fig. 14 Variation of efficiency with RPM

Fig. 11~14는 일정 풍량에서 다공 원판의 회전수 (RPM) 증가에 따른 효율의 영향을 관찰하기 위한 것으로 환기 측과 외기 측의 풍량을 각각 15.32, 33.71, 88.86, 그리고 108.27 m³/h로 설정하여 다공 원판의 회전수 증가에 따른 온도효율과 전열(엔탈피)효율의 변화를 나타낸 것이다. 그럼으로부터 알 수 있듯이 일정 풍량에서 다공 원판의 회전수 증가에 따른 효율의 변화는 거의 나타나지 않았으며, 풍량이 증가함에 따라 온도 효율은 점점 감소함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 자체 개발된 공기 대 공기 방식의 로터리형 전열교환 시스템의 성능을 평가하는 것을 목적으로 여러 작동 조건에서 실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 전열교환 시스템 내 다공 원판의 회전수가 증가하여도 열전달량은 거의 변하지 않으며, 환기 측의 입구 온도가 클수록 회전수 증가에 따른 열전달량은 크게 나타났다.
2. 환기 측의 입구 온도가 증가함에 따라 열전달량은 감소하였으며, 다공 원판의 회전수 30 RPM인 경우가 열전달량이 제일 높게 나타났다.
3. 다공 원판의 회전수의 증가에 따른 온도효율은 입구온도가 클수록 큰 온도차로 인해 온도효율도 크게 나타났다.
4. 각각의 풍량에서 다공 원판의 회전수(RPM) 증가에 따른 온도 효율의 변화는 거의 나타나지 않았으며, 풍량이 증가함에 따라 온도 효율은 점점 감소함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 경기중소기업 종합지원센터의 애로기

슬과제 지원으로 이루어 졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 한국산업규격 KS B6879-2003 폐열회수용 환기장치.
2. 일본공업규격 JIS B8628 Air-to-air heat exchanger.
3. F. P., Incropera, and D. P., DeWitt, 1996, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Wiley, Fourth Edition.
4. 한화택, 김경환, 2004, "폐열회수 환기유닛의 인증제도 및 성능시험방법", 설비저널, 제33권, 제1호, pp. 28~34.
5. 김진범 등, 2003, "실내공기질 향상을 위한 폐열회수형 전열교환 환기장치 개발", 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp. 549~554.
6. 배철호 등, 2004, "KS/JIS 규격에 따른 전열교환기 성능 특성", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 55~59.
7. 이정재 등, 2004, "실험을 통한 열교환 환기장치 실험규격의 민감도 분석", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 195~200.
8. 조진표 등, 2004, "활성탄이 침착된 전열교환기 성능평가", 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp. 666~670.
9. 권용하 등, 2005, "전도성 가이드 베인을 삽입한 폐열회수 환기장치 개발에 관한 연구", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 820~825.
10. 강태규 등, 2005, "공동주택용 축열식 폐열회수형 교류환기장치 개발", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 416~421.
11. 송두삼 등, 2005, "시뮬레이션을 통한 환기방식별 실내공기질 제어 및 냉난방 부하 특성의 비교", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 83~90.