

다공형 전열판의 회전에 의한 열교환시스템의 성능에 관한 연구(I)  
 - 환기측과 외기측의 풍량 변화에 대하여 -  
 Study on the Performance of Total Heat Exchanger  
 with Rotating Porous Plates

조동현 · 임태우  
 D. H. Cho and T. W. Lim

**Key Words** : Heat Transfer rate(열전달량), Heat Recovery efficiency(열회수 효율), Sensible Heat Exchange(현열교환), Latent Heat Exchange(잠열교환), Total Heat Exchange (전열교환)

**Abstract** : This paper reports an experimental study on the performance evaluation of air-to-air heat exchanger with rotary type newly developed in this study. Air flow rate is varied from 10 to 120 m<sup>3</sup>/h. The range of RPM of the porous rotating discs mounted inside the heat exchanger unit is 0 to 50. The temperature of the return air side is set by adjusting heat supply at heater. The material of the porous rotating discs is cooper and its thickness is 1.0 mm. The heat transfer rate increased with the increase in air flow rate. It was found that the heat transfer rate, as the temperature of the return air side was increased, was improved due to higher temperature difference. The heat exchange performance increased with the increase in the temperature of the return air side at the conditions of the same RPM. The sensible heat exchange efficiency was maximum 68 to 76 percent, and enthalpy exchange efficiency 64 to 74 percent.

기호 설명

- $c$  : 비열(specific heat : J/kg · K)
- $h$  : 엔탈피(enthalpy : J/kg)
- $q$  : 열전달량(heat transfer rate : W)
- $Q$  : 체적유량(volume flow rate : m<sup>3</sup>/s)
- $t$  : 건구온도(dry-bulb temperature : °C)
- $\Delta T$  : 온도차(temperature deference : K)
- $x$  : 절대습도(absolute humidity : kg/kg)
- $\rho$  : 밀도(density : kg/m<sup>3</sup>)
- $\eta$  : 효율(efficiency)

- OA : 외기(outdoor air)
- RA : 환기(return air)
- SA : 급기(supply air)

1. 서 론

오늘날, 건축물들은 고단열·고기밀화 되어 왔으며, 에너지 절약 차원에서 환기량의 저하로 인해 건물 내 실내 공기의 오염은 날로 심각해져 가고 있는 실정이다. 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 환기장치가 제안되어 왔는데, 크게 로터리(rotary)형, 히트파이프(heat pipe)형 그리고 플레이트(plate)형으로 분류할 수 있다.

히트 파이프형은 프레온과 같은 냉매를 사용하므로 빌딩과 같은 대규모 시설에 적합하나 설치, 유지, 보수에 따른 비용 부담이 크다. 플레이트형은 공조기에 내장이 가능한 구조이지만 적절한 성능을 유

Subscripts

- $c$  : 저온 측(cold)
- $h$  : 고온 측(hot)

---

접수일 : 2005년 9월 23일  
 임태우(책임저자) : 한국해양대학교 기관시스템공학부  
 E-mail : kyunlim@bada.hhu.ac.kr  
 Tel : 051-410-4256  
 조동현 : 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

지하기 위해 내부에 부착된 냉각판을 청소하는 것이 매우 불편하다. 로터리형은 상대적으로 처리용량이 작지만 구조가 간단해서 가정, 사무실뿐만 아니라 축사, 온실, 버섯 재배사, 지렁이 사육사 등의 소규모 용도에도 적합하다.

그러나 주거 용도나 산업용도를 불문하고 눈에 보이는 단순한 폐열을 회수하는 차원이 아니라 계절에 따라 난방, 냉방, 제습 기능과 함께 외부의 각종 위험물질을 여과하여 청정한 실내공기를 유지하도록 환기하는 기능이 향후 열회수형 환기 장치 기술 개발에 있어 중요한 과제라 할 수 있다.

본 연구에서는 배기중의 열을 유입 공기에 전달하는 동시에 통과되는 공기에서 각종 이물질질을 여과함에 따라 에너지 손실을 줄이고 난방이나 냉방시 신선한 공기의 순환을 수행할 수 있는 공기 대 공기 방식의 로터리형 전열교환 시스템 개발과 더불어 이의 성능을 테스트할 목적으로 열전달량과 온도교환 효율만으로 그 성능을 평가하고자 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.

전열교환기의 성능 평가에 대한 시험 조건은 KS B6879<sup>1)</sup>에 규정되어 있으며, Table 1에 냉·난방시 실내외 온도 조건이 주어져 있다. 이것은 일본 JIS 규격<sup>2)</sup>을 근간으로 하고 있기 때문에 JIS 규격도 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, 슬라이닥스, 온도, 압력, 유속 측정시스템, 풍량, 온도, 회전수 등의 제어시스템으로 구성하였다. Fig.2는 시험구간인 로터리형 열교환기의 정면도를 나타낸다. 로터리형 열교환기는 유입공기와 배출 공기 간에 교차류로 열교환이 이루어지도록 구성하였다. 그리고 로터리형 열교환기는 내부에 흡입덕트와 배출덕트를 구비하는 본체와 흡입덕트와 배출덕트의 내부공간을 관통하면서 주축을 중심으로 회전되어 열을 이동시키는 다수의 전열판

과 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 구성하여 열회수형 환기 장치의 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 5m<sup>3</sup>/sec이며 덕트에서의 최대 공기의 유속은 10m/sec이다. 유속 제어 컨트롤러를 설치하여 공기유속이 0.1~10 m/sec의 범위에서 임의의 유속에서 실험할 수 있도록 구성하였다. 그리고 5kW 용량의 슬라이닥스를 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.

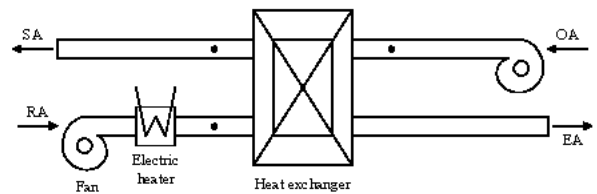


Fig. 1 Schematic view of test facility

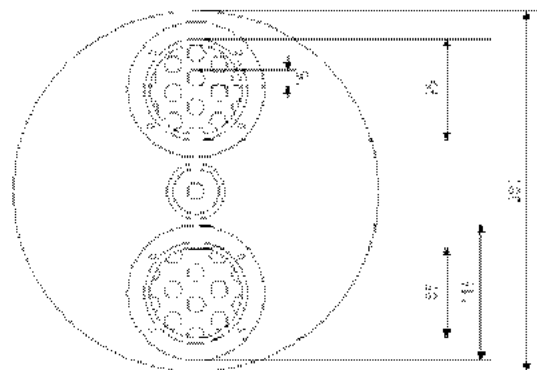


Fig. 2 Front view of heat exchanger

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.

본 연구에 사용된 열전대와 온도센서들은 냉점을 통하여 보정하였다. 시험구간에 12점의 Pt 100 백금 온도센서들에 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 고·저온공기의 풍량 변화에 대한 실험데이터를 산출하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 열교환기 성능 평가

열교환기 성능을 예측하기 위해 총 에너지 평형을 고온 유체와 저온 유체에 적용시킴으로써 총 열전달률은 쉽게 얻어 질수 있으며, 다음과 같이 정의된다<sup>3)</sup>.

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

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

Fig. 3은 환기 측에 있는 히터를 조절하여 입구온도를 54±0.5[°C]로 그리고 환기 측의 공기 유량을 30m³/h로 고정된 후 다공 원판의 회전수를 각각 10, 30, 또는 50 RPM으로 설정하여 외기 측의 공기 유량 증가에 따른 총 열전달량을 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 외기 측의 풍량이 증가함에 따라 열전달량은 모든 경우에서 증가함을 알 수 있다. 그리고 회전수 30과 50 RPM의 경우 풍량이 20 m³/h까지는 열전달량이 거의 비슷하였으며, 풍량이 40 m³/h 이후는 회전수 10과 30 RPM이 거의 비슷한 열전달량을 나타내었다. 회전수 50 RPM의 경우 전 풍량 영역에서 열전달량이 크게 나타났다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 Fig. 3과 달리 환기 측에 있는 히터를 조

절하여 입구온도를 32±0.5[°C]로 그리고 환기 측의 풍량을 30m³/h로 고정된 후 다공 원판의 회전수를 각각 10, 30, 또는 50 RPM으로 설정하여 외기 측의 공기 유량 증가에 따른 총 열전달량을 나타낸 것이다. Fig. 4는 Fig. 3과 달리 총 열전달량이 아주 낮은 것을 알 수 있으며, 각 회전수에서도 열전달량의 차이는 나타나지 않았다.

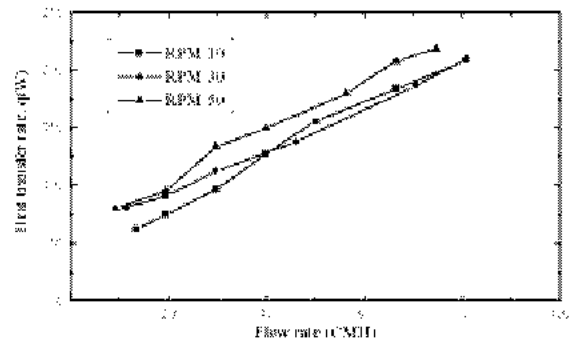


Fig. 3 Variation of heat transfer rate with flow rate

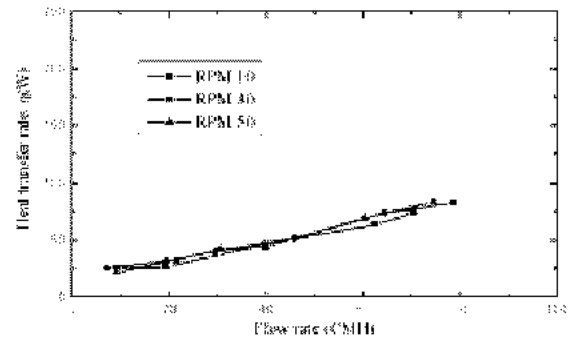


Fig. 4 Variation of heat transfer rate with flow rate

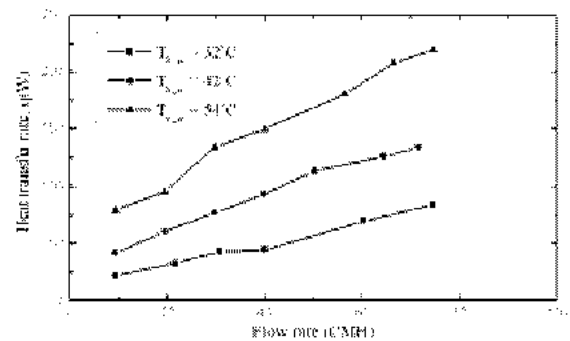


Fig. 5 Variation of heat transfer rate with flow rate

Fig. 5는 다공 원판의 회전수를 50 RPM으로 그리고 환기 측의 풍량을 30 m<sup>3</sup>/h로 고정한 후 환기 측에 있는 히터를 조절하여 입구온도를 32±0.5, 42±0.5, 그리고 54±0.5[°C]로 각각 설정하여 외기 측의 풍량 증가에 따른 총 열전달량을 나타낸 것이다. Fig. 5는 Fig. 3과 4와 달리 풍량에 따른 총 열전달량은 각 입구온도 사이에 일정한 비율을 가지고 증가한다는 것을 알 수 있다.

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<sup>4~11)</sup>.

$$\text{온도효율} : \eta_t = \frac{t_{OA} - t_{SA}}{t_{OA} - t_{RA}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{습도효율} : \eta_x = \frac{x_{OA} - x_{SA}}{x_{OA} - x_{RA}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{전열효율} : \eta_h = \frac{h_{OA} - h_{SA}}{h_{OA} - h_{RA}} \times 100 \quad (5)$$

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 성능평가를 위해 여러 가지 작동 조건에서 건구 온도만을 측정하여 온도효율과 엔탈피 효율만으로 열교환 효율을 나타내었다.

Fig. 6~8은 환기 측에 있는 히터를 조절하여 입구온도를 54±0.5[°C]로 그리고 환기 측의 풍량을 30 m<sup>3</sup>/h로 고정한 후 다공 원판의 회전수를 각각 10, 30, 또는 50 RPM으로 설정하여 외기 측의 풍량 증가에 따른 온도효율과 전열(엔탈피)효율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 최대 온도 효율은 다공 원판의 회전수 50 RPM에서 최저 풍량인 약 10m<sup>3</sup>/h에서 68%로 나타났으며, 이것은 Fig. 8로부터 알 수 있다. Fig. 7은 다공 원판의 회전수 30 RPM에서 풍량에 따른 효율의 변화가 거의 선형적이므로 다른 회전수에 비해 풍량에 따른 효율의 변화를 예측하기가 보다 쉬울 것으로 판단된다.

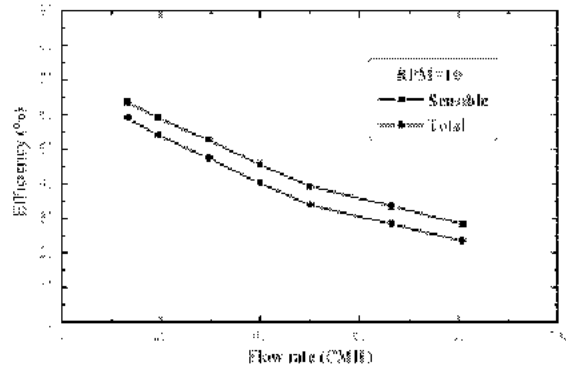


Fig. 6 Variation of efficiency with flow rate

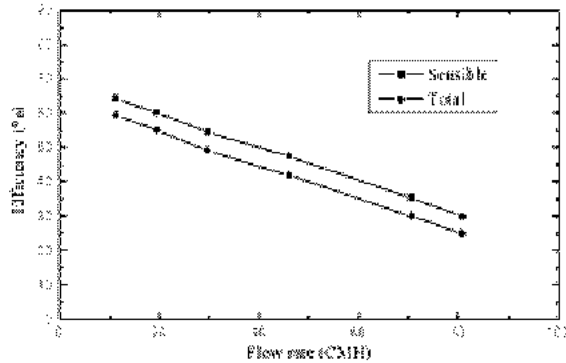


Fig. 7 Variation of efficiency with flow rate

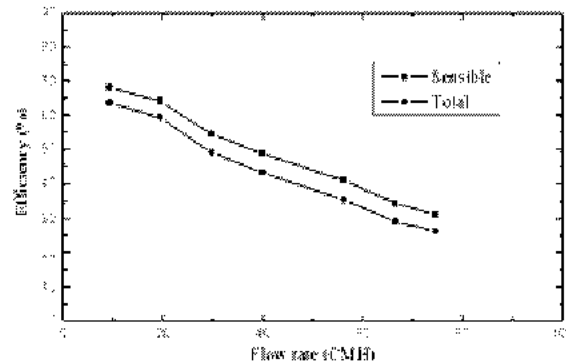


Fig. 8 Variation of efficiency with flow rate

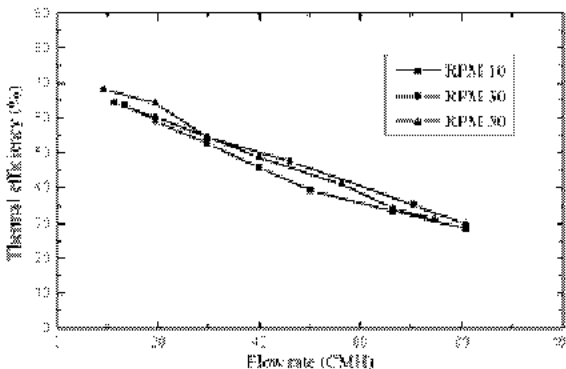


Fig. 9 Variation of thermal efficiency with flow rate

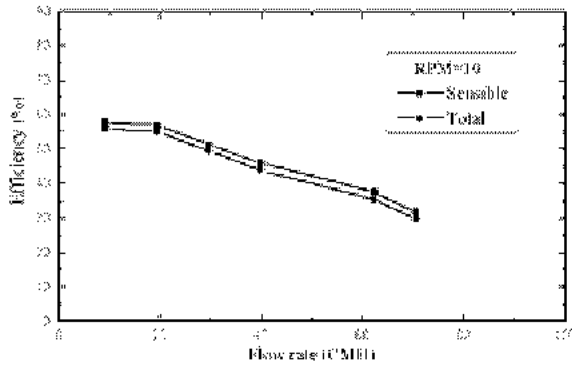


Fig. 10 Variation of efficiency with flow rate

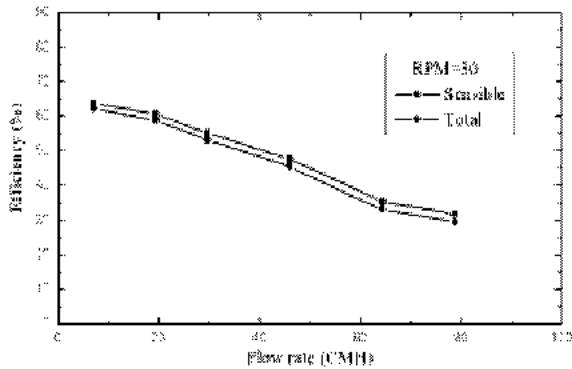


Fig. 11 Variation of efficiency with flow rate

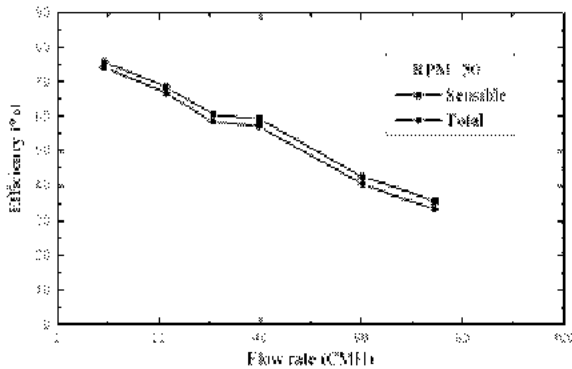


Fig. 12 Variation of efficiency with flow rate

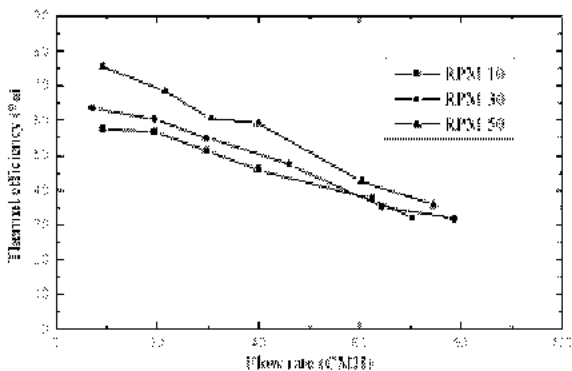


Fig. 13 Variation of thermal efficiency with flow rate

Fig. 9는 다공 원판의 각각의 회전수에서 환기 측의 풍량을 고정한 후 외기 측의 풍량에 따른 온도효율의 변화를 동시에 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 풍량에 따라 거의 선형적인 효율의 변화를 나타내고 있는 다공 원판의 회전수 30 RPM의 경우가 풍량에 따른 효율을 쉽게 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 10~12는 환기 측에 있는 히터를 조절하여 입구온도를  $32 \pm 0.5 [^{\circ}\text{C}]$ 로 그리고 환기 측의 풍량을  $30\text{m}^3/\text{h}$ 로 고정한 후 다공 원판의 회전수를 각각 10, 30, 또는 50 RPM으로 설정하여 외기 측의 풍량 증가에 따른 온도효율과 전열(엔탈피)효율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 최대 온도 효율은 다공 원판의 회전수 50 RPM에서 최저 풍량인 약  $10\text{m}^3/\text{h}$ 에서 76%로 나타났으며, 이것은 Fig. 12로부터 알 수 있다. Fig. 10과 11은 풍량  $20 \sim 60\text{m}^3/\text{h}$ 의 범위에서는 거의 선형적인 변화를 나타내고 있으며, 이는 풍량 변화에 따른 효율을 예측하는데 편리할 것으로 생각된다.

Fig. 13은 다공 원판의 각각의 회전수에서 환기 측의 풍량을 고정한 후 외기 측의 풍량에 따른 온도 효율의 변화를 동시에 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 다공 원판의 회전수가 10 또는 30보다 50 RPM에서 전 풍량 영역에서 온도 효율이 전반적으로 높게 나타났으며, 이는 앞의 결과와 유사하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 14~16은 다공 원판의 회전수를 각각 10, 30, 또는 50 RPM으로 설정하여 환기 측과 외기 측의 풍량을 동일하게 증가시켰을 때 온도효율과 전열(엔탈피)효율의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 16은 다공 원판의 회전수가 50 RPM에서 풍량에 따른 효율의 변화로 풍량이  $20\text{m}^3/\text{h}$ 에서 최대 효율이 약 64%라는 것을 알 수 있으며, 그리고 회전수가  $20 \sim 60$  범위에서는 효율이 급격히 감소하고 있으나 60이상에서는 완만히 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 다공 원판의 회전수가 30 RPM인 Fig. 15는 본 실험 범위 내에서 전체적으로 완만한 감소를 나타내고 있으며, 이는 시스템에 안정적으로 부하를 공급할 수 있는 조건이라 사료된다.

Fig. 17은 다공 원판의 각각의 회전수에서 풍량에 따른 온도효율의 변화를 동시에 나타낸 것으로 회전수 30과 10이 50RPM보다 변화의 폭이 완만하다는 것을 쉽게 알 수 있다. 다공 원판의 회전수가 30 RPM인 경우가 50RPM보다 효율은 다소 낮지만 적

용시 부하 변동의 영향을 더 적게 받을 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 배기중의 열을 유입 공기에 전달하는 공기 대 공기 방식의 로터리형 전열교환 시스템의 성능을 평가하는 것을 목적으로 여러 작동 조건에서 실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 풍량이 증가함에 따라 열전달량은 증가하였으며, 환기 측의 입구온도가 클수록 열전달량은 높게 나타났으며, 이것은 큰 온도차 때문으로 생각된다.
2. 외기 측의 풍량 증가에 따른 온도효율과 전열(엔탈피)효율의 변화는 다공 원판의 회전수 30 RPM에서 풍량에 따른 효율의 변화가 거의 선형적이므로 다른 회전수에 비해 풍량에 따른 효율의 변화를 예측하기가 보다 쉬울 것으로 판단된다.
3. 환기 측 각각의 입구온도  $32 \pm 0.5$ ,  $42 \pm 0.5$ , 그리고  $54 \pm 0.5 [^{\circ}\text{C}]$ 에서 외기 측의 풍량 증가에 따른 온도 효율과 전열(엔탈피)효율의 값은 거의 비슷하게 나타났으며, 이것은 입구 온도의 영향을 거의 받지 않는 것으로 생각된다.
4. 다공 원판의 각각의 회전수에서 풍량에 따른 온도효율은 회전수가 30 RPM인 경우가 50 RPM보다 효율은 다소 낮지만, 적용시 부하 변동의 영향을 더 적게 받을 것으로 생각된다.

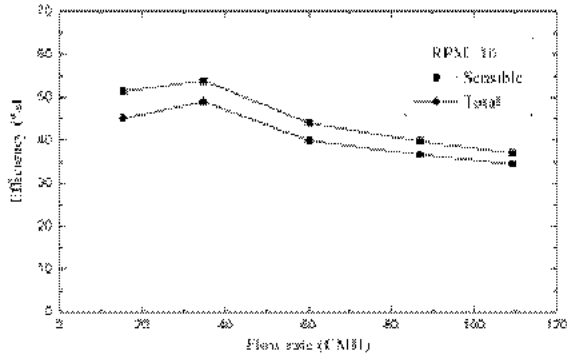


Fig. 14 Variation of efficiency with flow rate

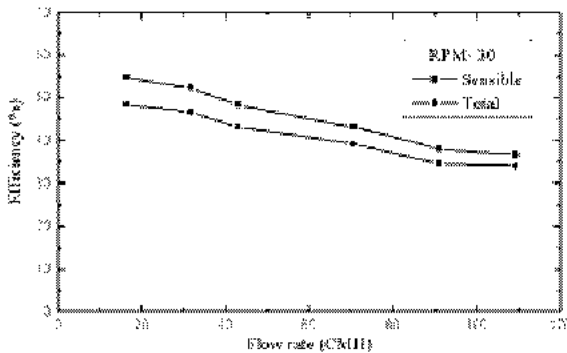


Fig. 15 Variation of efficiency with flow rate

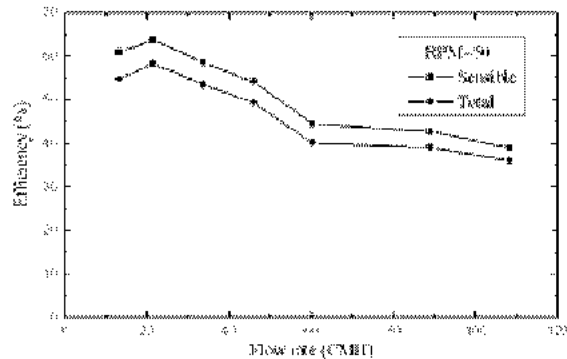


Fig. 16 Variation of efficiency with flow rate

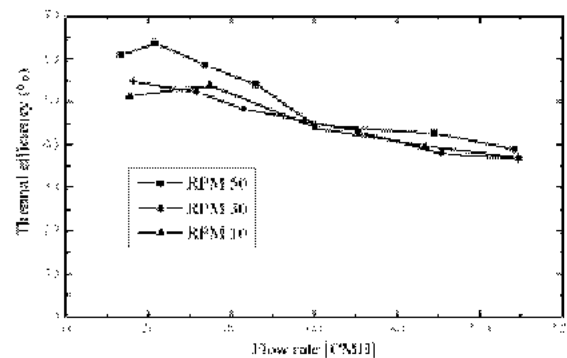


Fig. 17 Variation of thermal efficiency with flow rate

#### 후 기

본 연구는 경기중소기업종합지원센터의 애로기술 과제 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.