

다공의 전열판이 내장된 공기 대 공기 전열교환기의 성능 평가 Performance Evaluation of Air-to-Air Total Heat Transfer with Rotating Porous Plates

임태우 · 조동현
T. W. Lim and D. H. Cho

Key Words : Heat Transfer rate(열전달률), Heat Exchanger(열교환기), Porous Plate(다공판), Rotary Type(로타리형), Overall Heat Transfer Coefficient(총괄열전달계수)

Abstract : The performance of air to air heat exchanger has been investigated with rotating porous plates newly developed in this study. With an equal interval of 18 mm, the rotating porous plates are installed 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. Dry bulb temperature is set by adjusting heat supply at heater. In order to measure the temperature distribution of the hot air side inside heat exchanger, the thermocouples are inserted between the plates . The first location of thermocouple is 10mm downstream from the inlet of heat exchanger, and succeeding ten locations are aligned at an equal interval of 18mm. From the experiment of air to air heat exchanger with the rotating porous plates, the heat transfer rate increased as both air flow rate and RPM of the rotating porous plate increased. It was found that the overall heat transfer coefficient increased with the increase in RPM of porous plate at the conditions of the same air flow rate.

기호 설명

- c : 비열(specific heat : J/kg · K)
- h : 엔탈피(enthalpy : J/kg)
- L : 누설률(leakage rate)
- M : 농도(concentration)
- q : 열전달량(heat transfer rate : W)
- Q : 체적유량(volume flow rate : m³/s)
- ΔT : 온도차(temperature deference : K)
- U : 총괄열전달계수(W/m² · K)
- ρ : 밀도(density : kg/m³)

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

1. 서 론

현대인은 대부분의 시간을 실내에서 생활하므로 실내공기가 인체에 미치는 영향은 그 만큼 크다고 볼 수 있기 때문에 쾌적한 실내 환경과 건강에 대한 관심이 높아지게 되었다. 또한 지속적으로 오르는 유가인상 등으로 인하여 일반주택을 포함한 건축물의 에너지 사용 절약도 더욱 필요하게 되었으나, 환기량의 저하로 인해 건물 내 실내 공기의 오염은 날로 심각해져 가고 있는 실정이다. 여기서 환기란 실내공기를 외부의 새로운 신선한 공기로 교체하는 것을 의미하기 때문에 외부와의 온도차가 큰 여름철이나 겨울철에는 송풍기 동력 이외에 많은 냉난방 부하를 증가시키게 된다. 따라서 실내로 신선한 외기를 공급하면서 아울러 냉난방 부하를 절감하기 위해서는 폐열회수 환기장치가 매우 적절한 대안으로 제안될 수 있다. 폐열회수 환기장치는 실내 환기

Subscripts

- c : 저온 측(cold)
- h : 고온 측(hot)

접수일 : 2006년 11월 20일, 채택확정 : 2007년 12월 22일
 임태우(책임저자) : 한국해양대학교 기관시스템공학부
 E-mail : kyunlim@bada.hhu.ac.kr
 Tel : 051-410-4256
 조동현 : 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

시 배출되는 배기공기로부터 유입되는 급기공기 간의 열교환을 적용시킨 것으로 환기로 인해 손실되는 고가의 에너지를 회수하여 재활용하기 때문에 에너지 절감 뿐 만 아니라, 급배기 풍량이 평형을 이룸으로써 밀폐된 공간에 효과적인 환기가 될 수 있도록 해준다.

현재까지 개발된 열교환 환기장치로는 열교환방식, 구조 및 설치형태에 따라 분류할 수 있으며, 주로 열교환 방식에 따라서는 로터리(rotary)형, 히트파이프(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 냉각판을 청소하는 것이 매우 불편하다. 그리고 로터리형은 상대적으로 처리용량이 작지만 구조가 간단해서 가정, 사무실뿐만 아니라 축사, 온실, 버섯재배사, 지렁이 사육사 등의 소규모 용도에도 적합하다.

본 연구에서는 주거 용도나 산업용도를 불문하고 눈에 보이는 단순한 폐열을 회수하는 차원이 아니라 계절에 따라 난방, 냉방, 제습 기능과 함께 외부의 각종 위험물질을 여과하여 항상 청정한 실내공기를 유지할 수 있는 공기 대 공기 방식의 로터리형 전열교환 시스템에 대하여 공기 유량 변화에 따른 전열교환기 성능특성을 평가하고 고찰하고자 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 B6879¹⁾에 규정되어 있으며, 이것은 일본 JIS²⁾규격을 근간으로 하고 있다. 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 열교환기에서 고온 공기와 냉각 공기의 유·출입이 일어나

는 부분을 나타낸 것으로 열교환기 내에서 회전하는 다공의 전열판 형상을 볼 수 있다. Fig. 3은 열교환기의 내부 구조를 나타낸 것으로 전열부의 전체 길이는 500 mm 이고, 열교환기 내부에는 여러 개의 전열판이 설치되어 고온 공기와 저온 공기 간에 열교환이 일어나게 된다. 본 연구에서는 개개의 전열판의 열전달 성능을 평가하기 위해 고온 공기측 입구로부터 하류 방향으로 18mm의 간격으로(즉, 전열판의 앞·뒤로) 온도 센서를 삽입하여 온도를 측정하였다. Fig. 4는 Fig. 2의 정면에 보이는 다공의 전열판을 상세히 나타낸 것으로 전체 원판의 직경은 250mm이며 원판 내에 타공된 수많은 통공의 직경은 5mm이다. 전열판의 회전수는 1~120rpm의 범위에서 실험을 수행하였다.

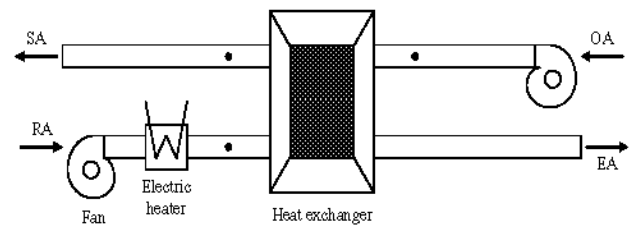


Fig. 1 Schematic view of test facility

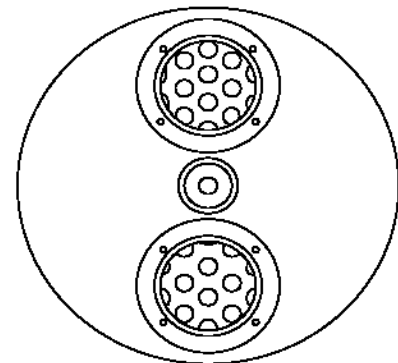


Fig. 2 Front view of heat exchanger

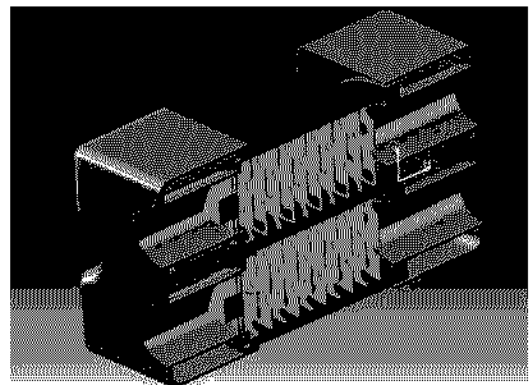


Fig. 3 Interior structure of heat exchanger

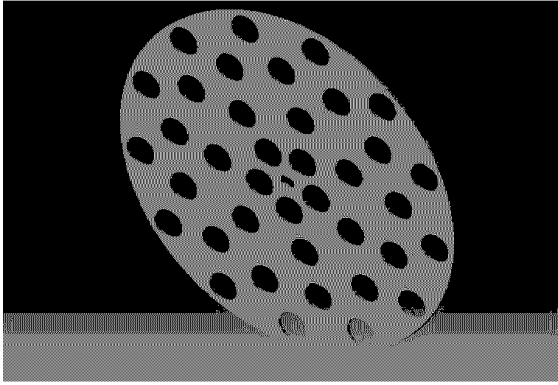


Fig. 4 Detail of rotating porous plate

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 10 m/sec이다. 유속 제어 컨트롤러를 설치하여 공기유속이 0.1~10m/sec의 범위에서 임의의 유속에서 실험할 수 있도록 구성하였다. 그리고 5 kW 용량의 슬라이다스를 설치하여 임의의 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 공기 유량 변화에 대한 실험데이터를 산출하였다.

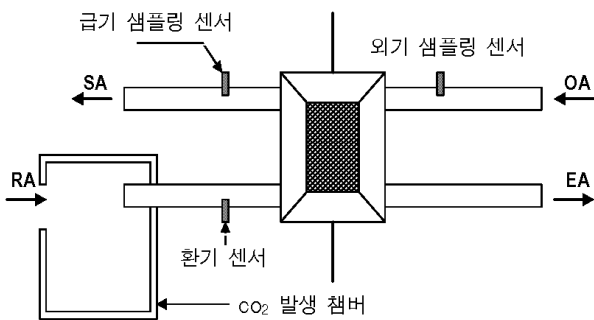


Fig. 5 Schematic view of leakage test

누설률 측정은 탄산가스(CO₂)법이 사용되었으며, Fig. 5와 같이 환기 측에 추적가스를 주입하고 급기 측으로 회수되어 돌아오는 이행 비율이 곧 누설률이며 배경 농도 즉 외기농도가 영일 때는 환기덕트 내의 농도에 대한 급기덕트 내의 농도비로 구할 수 있다. 외기 농도가 영이 아닐 때의 누설률은 다음과 같이 구한다.

$$L = \frac{M_{SA} - M_{OA}}{M_{RA} - M_{OA}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 M_{SA} 는 급기농도, M_{RA} 는 환기농도, 그리고 M_{OA} 는 외기농도를 나타낸다. 누설량은 환기덕트 내에서 누설된 양을 나타내는 것으로 누설률에 실내로 유입되는 실측 공기량을 곱하면 구할 수 있다.

$$Q_L = Q_S \times \frac{L}{100} \quad (2)$$

여기서 Q_L 는 누설량, Q_S 는 급기량을 나타낸다.

누설시험 결과 본 실험장치의 누설율은 5.4%로 나타났으며, 이것은 15%로 규정된 JRA규격을 만족하는 결과이다.

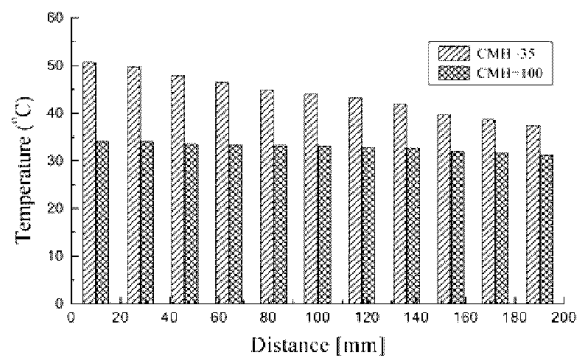
3. 결과 및 고찰

3.1 전열교환기 성능 평가

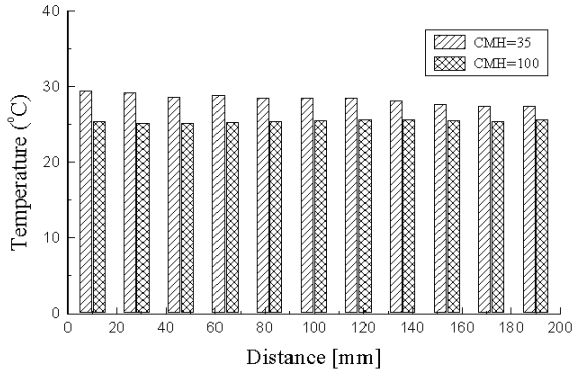
본 연구에서는 새롭게 개발된 전열교환기의 성능 평가를 위해 여러 가지 작동 조건 중에서 공기 유량 변화에 따른 총 열전달률 및 총괄 열전달계수를 평가하였다.

열교환기 성능을 예측하기 위해 총 에너지 평형을 고온 유체와 저온 유체에 적용시킴으로써 총 열전달률은 쉽게 얻어 질수 있으며, 다음과 같이 정의 된다³⁻⁸⁾.

$$q = \rho_h Q_h c_{p,h} \Delta T_h \quad (\text{고온측}) \quad (3)$$



(a) RPM = 25



(b) RPM = 90

Fig. 6 Temperature distribution with distance

$$q = \rho_c Q_c c_{p,c} \Delta T_c \text{ (저온측)} \quad (4)$$

Fig. 6은 다공 원판의 회전수를 각각 25 및 90 RPM으로 설정한 다음 각 회전수에서 환기 측의 공기 유량을 35m³/h와 100m³/h의 두 가지 경우에 대해 열교환기의 길이 방향에 따른 온도 분포를 나타낸 것이다. Fig. 6(a)에 나타난 바와 같이 공기 유량 35m³/h에서는 시험부의 입구에서 출구까지 온도는 거의 선형적으로 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 공기 유량 100m³/h에서는 온도 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다. RPM이 증가했을 경우는 Fig. 6(b)에 나타난 바와 같이 공기 유량 35m³/h에서 온도가 감소하는 기울기는 Fig. 6(a)에 비해 아주 작았으며, 공기 유량 100m³/h에서는 Fig. 6(a)와 마찬가지로 변화가 없었다.

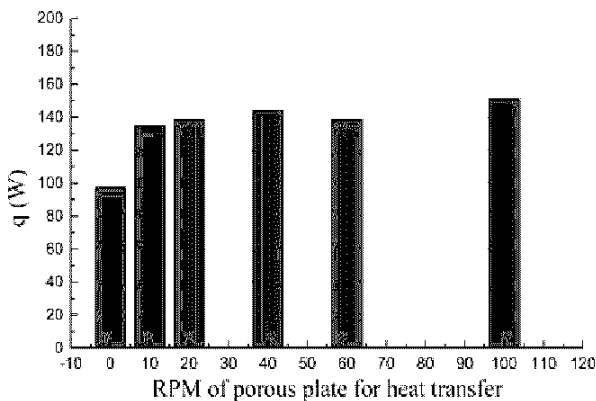
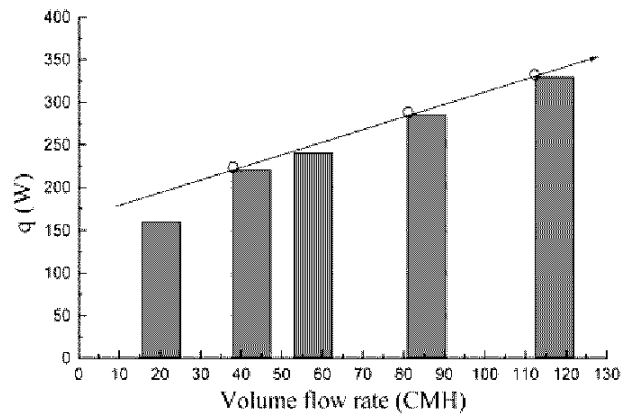


Fig. 7 Heat transfer rate with RPM

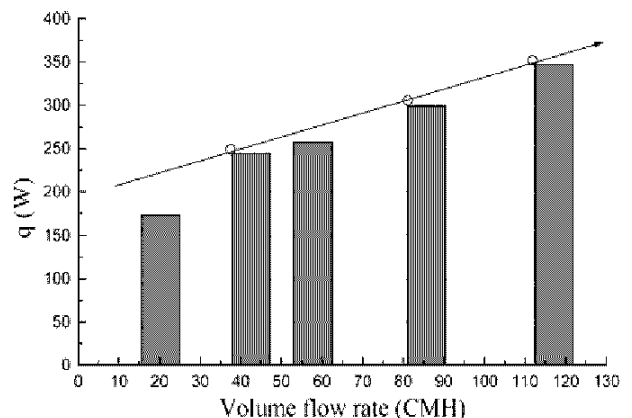
Fig. 7은 환기 측의 건구 온도를 30°C로 설정하여 전열교환 시스템 내 다공 원판의 회전수 (RPM) 증

가에 따른 총 열전달량을 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 다공 원판의 회전수가 0~10 RPM까지는 열전달량이 급속히 일어난 후 RPM이 증가함에 따라 열전달량은 조금씩 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 60 RPM에서 다시 감소한 후 서서히 열전달량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 다공 원판의 회전수가 10 RPM 이 후 열교환 현상이 점점 안정되어 간다고 볼 수 있다.

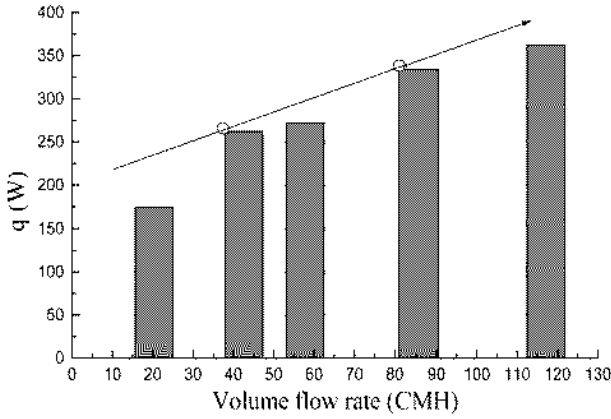
Fig. 8은 다공 전열 원판의 회전수를 각각 20, 60, 또는 100 RPM으로 설정하여 환기 측과 외기 측의 공기 유량을 동일하게 증가시켰을 때 총 열전달량의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 8로부터 공기 유량이 증가함에 따라 총 열전달량도 점진적으로 증가한다는 것을 알 수 있다. Fig. 8(a)와 (b)는 공기 유량 42, 85, 117m³/h에서 거의 선형적인 증가를 나타내었으나, Fig. 8(c)의 경우 공기 유량이 117m³/h에서는 열전달률이 약간 낮게 나타났다. 특히 Fig. 8(a)는 본 실험 범위 내에서 전체적으로 완만한 증가를 나타내고 있으므로 시스템에 안정적으로 부하를 공급할 수 있는 조건이라 사료된다.



(a) RPM = 20



(b) RPM = 60



(c) RPM = 100

Fig. 8 Heat transfer rate with CMH

3.2 총괄열전달계수

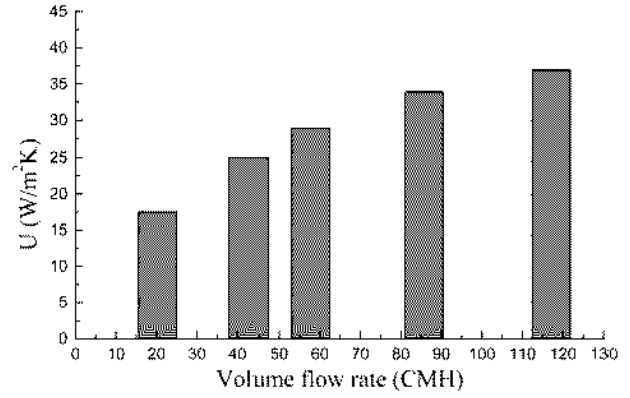
열교환기 전체에서의 총괄 열전달계수는 고온 및 저온 유체의 입·출구 온도 그리고 열전달을 위한 총 표면적을 총 열전달률과 관련시켜 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q = UA\Delta T_m \quad (5)$$

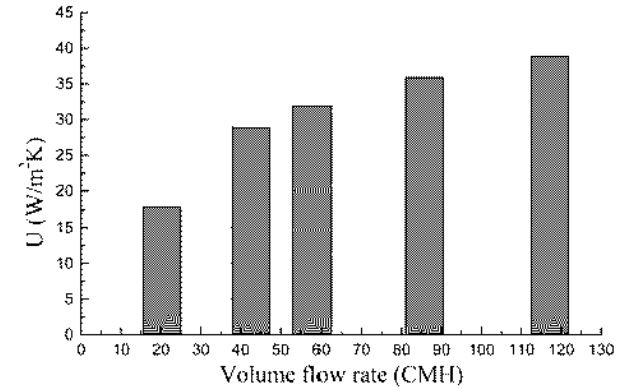
여기서 U 는 총괄 열전달계수 $W/m^2 \cdot K$, 그리고 ΔT_m 는 대수 평균 온도차를 나타내며 다음과 같다.

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln[(T_{h,i} - T_{c,o}) / (T_{h,o} - T_{c,i})]} \quad (6)$$

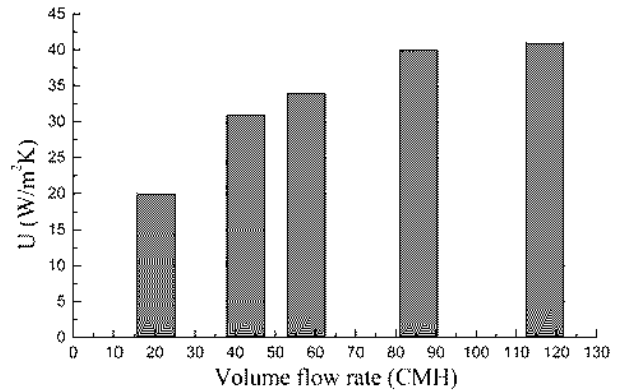
Fig. 9는 Fig. 8과 마찬가지로 다공 전열 원관의 회전수를 각각 20, 60, 또는 100 RPM으로 설정하여 환기 측과 외기 측의 공기 유량을 동일하게 증가시켰을 때 총괄 열전달계수의 변화를 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 각각의 전열 원관의 회전수에서 공기 유량이 증가할수록 총괄 열전달계수도 증가하였으며, 또한 전열 원관의 회전수가 클수록 열전달도 증가하였다. Fig. 9(a)의 경우 공기 유량이 증가할수록 총괄 열전달계수는 거의 선형적으로 증가하였으나, 보다 큰 RPM인 Fig. 9(b)와 (c)에서는 기울기의 변화가 다소 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉 저 RPM에서 시스템이 안정되어 진다고 볼 수 있다.



(a) RPM = 20



(b) RPM = 60



(c) RPM = 100

Fig. 9 Overall Heat transfer coefficient with CMH

4. 결 론

본 연구에서는 배출되는 배기공기의 열로 유입되는 급기공기에 전달하는 공기 대 공기 방식의 로터리형 전열교환 시스템의 성능을 평가하는 것을 목적으로 공기 유량 변화에 따른 여러 작동 조건에서 실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 시험 구간 내 열교환기의 길이 방향에 따른 온도 분포는 공기 유량이 적을수록 시험부의 입구에서

출구까지 온도는 거의 선형적으로 감소하였으나, 공기 유량이 증가할수록 온도 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있었다.

2. 일정한 다공 원판의 회전수에서 공기 유량 증가에 따른 열전달율의 변화는 공기 유량이 증가함에 따라 점점 증가함을 알 수 있었다. 특히 다공 원판의 회전수가 20 RPM의 경우 전체적으로 완만한 증가를 나타내고 있으며, 이는 시스템에 안정적으로 부하를 공급할 수 있는 조건이라 사료된다.
3. 총괄 열전달계수는 공기 유량이 증가할수록 큰 값을 나타내었으며, 또한 전열 원판의 회전수가 클수록 열전달도 증가하였다. 특히 저 RPM에서 공기 유량의 전 영역에 걸쳐 총괄 열전달계수는 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났기 때문에 이 조건에서 시스템이 안정되어 진다고 볼 수 있다.

후 기

본 연구는 한국해양대학교 신진교수연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 한국산업규격 KS B6879-2003 폐열회수용 환기장치.
2. 일본공업규격 JIS B8628 Air-to-air heat exchanger.
3. Incropera, F. P., and DeWitt, D. P., 1996, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Wiley, Fourth Edition.
4. Webb, R. L., 1994, "Principles of Enhanced Heat Transfer", Wiley.
5. 이정재, 이시환, 박성관, 오상경, 2004, "실험을 통한 열교환 환기장치 실험규격의 민감도 분석", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 195~200.
6. 조진표, 김내현, 최동식, 2004, "활성탄이 침착된 전열교환기 성능평가", 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp. 666~670.
7. 송두삼, 조왕희, 고현준, 윤인철, 이기섭, 2005, "시뮬레이션을 통한 환기방식별 실내공기질 제어 및 냉난방 부하 특성의 비교", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 83~90.
8. 전용두, 이금배, 고석보, 전희호, 박진양, 윤영목, 2005, "연도가스 열회수용 유동층 열교환기 설계", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 546~553.