

폐열회수형 환기장치 개발에 관한 연구

조동현 · 임태우[†]

(대진대학교 · [†] 한국해양대학교)

Study on the Development of Heat Recovery Ventilator

Dong-Hyun CHO · Tae-Woo LIM[†]

Daejin University · [†] Korea Maritime University

(Received June 28, 2007 / Accepted December 5, 2007)

Abstract

To evaluate the performance of heat exchanger with rotating porous plates, the experimental investigation was carried out under various conditions. With an equal interval of 18 mm inside the heat exchanger, the rotating porous plates are mounted. The hot and cold airs enter at opposite ends of heat exchanger and exchange heat each other. 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 10 mm downstream from the inlet of heat exchanger, and succeeding ten locations are aligned at an equal interval of 18 mm. As a result of the measurement, the temperature distribution inside heat exchanger was constant as the hot air temperature of inlet is low. It was found that the heat transfer rate does not depend on the variation of RPM at the lower temperature of inlet. The heat transfer rate at the higher temperature of inlet increased a little with the increase in RPM.

Key Words : heat transfer rate, heat exchanger, rotary type, overall heat transfer coefficient

1. 서론

요즘, 산업현장에서 사용되는 열회수용 열교환 시스템들로 일반 건축물에서 사용되는 열교환 장치를 그대로 사용하기에는 많은 제한들이 따른다. 즉, 축사, 온실, 버섯재배사와 같은 장소는 일반 건물에서 이루어지는 작업 환경과는 전혀 다르며, 습도가 80%를 훨씬 상회한다. 그리고 100°C가 넘는 고온의 상황이 유지되는 곳이 많아 일반 열회수용 장치로는 제대로 작동이 되지

않는 경우가 많다. 이와 같은 폐단을 보완하기 위해 다양한 열교환장치가 제안되어 왔는데, 크게 로터리(rotary)형, 히트파이프(heat pipe)형 그리고 플레이트(plate)형으로 분류할 수 있다. 히트파이프형은 빌딩과 같은 대규모 시설에 적합하나 설치, 유지, 보수에 따른 비용 부담이 크다. 플레이트형은 공조기에 내장이 가능한 구조이지만 적절한 성능을 유지하기 위해 내부에 부착된 냉각핀을 청소하는 것이 매우 불편하다. 그리고 로터리형은 상대적으로 처리용량이 작지만 구조가 간

[†] Corresponding author : 051-410-4256, kyunlim@hhu.ac.kr

단해서 가정, 사무실 뿐 만 아니라 축사, 온실, 버섯재배사, 지렁이 사육사 등의 소규모 용도에 도 적합하다.

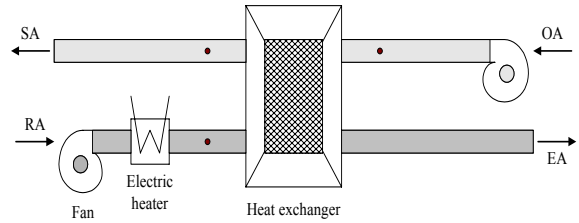
그러나 주거 용도나 산업용도를 불문하고 눈에 보이는 단순한 폐열을 회수하는 차원이 아니라 계절에 따라 난방, 냉방, 제습 기능과 함께 외부의 각종 위험물질을 여과하여 청정한 실내공기를 유지하도록 환기하는 기능이 향후 열회수형 열교환기 기술 개발에 있어 중요한 과제라 할 수 있다.

본 연구에서는 항상 청정한 공기를 유지할 수 있는 공기 대 공기 방식의 로터리형 열교환기 시스템을 개발하여 전열 원판의 회전수 증가에 따른 열교환기 성능특성을 평가하는 것이다. 이러한 폐열 회수형 환기장치는 수해양계열 고등학교 교과서 『냉동설비설계』의 교육과정 중에 소요 냉동부하를 계산하는 단원의 교육자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 본 실험에 의해서 연구되어지는 결과에 따라 보다 효율적인 열교환기를 제작 보급할 수 있는 기초 자료를 마련할 수 있을 것으로 본다.

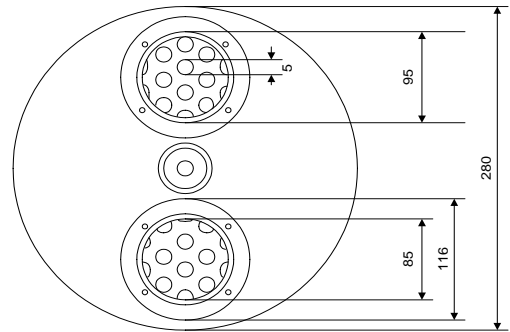
II. 실험장치 및 방법

[그림 1]은 본 연구에서 사용된 열교환 장치의 개략도를 나타낸다. 실험장치는 고·저온공기 유동용 송풍팬, 덕트, 시험용 로터리형 열교환기, 슬라이다스, 온도, 압력, 유속 측정시스템, 풍량, 온도, 회전수 등의 제어시스템으로 구성하였다.

본 연구에서 사용된 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 전열판과 흡입덕트 및 배출덕트의 측면에 장착되어 공기를 송풍하고 배풍하는 한 쌍의 송



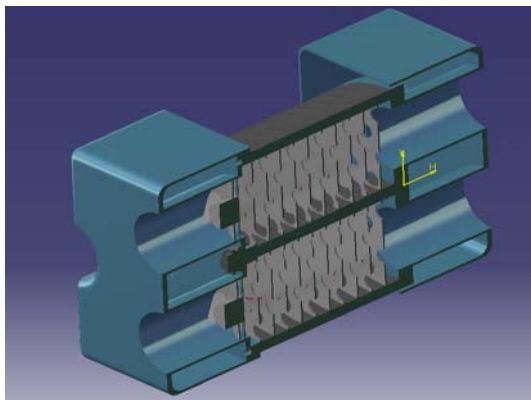
[그림 1] 실험장치의 개략도



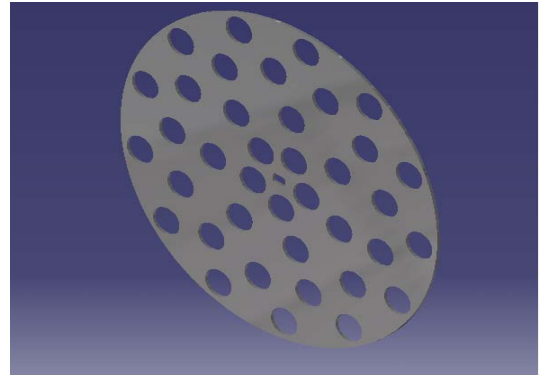
[그림 2] 열교환기의 정면도

풍팬 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 열교환 장치를 구성하였다. [그림 2]는 시험구간인 로터리형 열교환기에서 고온 공기와 냉각 공기의 유·출입이 일어나는 부분을 나타낸 것으로 열교환기 내에서 회전하는 다공의 전열판 형상을 볼 수 있다. [그림 3]은 열교환기의 내부 구조를 나타낸 것으로 전열부의 전체 길이는 500 mm 이고, 열교환기 내부에는 여러 개의 전열판이 설치되어 고온 공

기와 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. [그림 4]는 [그림 2]의 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. 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 공기유속이 0.1~10m/sec의 범위에서 임의의 유속에서 실험할 수 있도록 구성하였다. 그리고 5 kW 용량의 슬라이드스를 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.



[그림 3] 열교환기의 내부구조



[그림 4] 회전하는 다공 원판의 상세도

본 연구에 사용된 열전대와 온도센서들은 냉점을 통하여 보정하였다. 시험구간에 12점의 Pt 100 백금온도센서들에 의하여 온도가 측정되면 데이터 로그를 통하여 컴퓨터로 전송되어 0.1℃까지 정확한 값으로 기록되어 파일로 저장된다. 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.

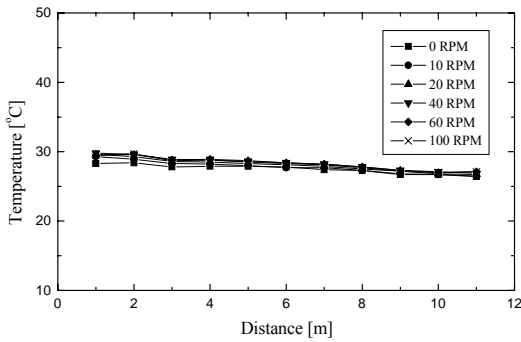
III. 결과 및 고찰

1 열교환기 성능 평가

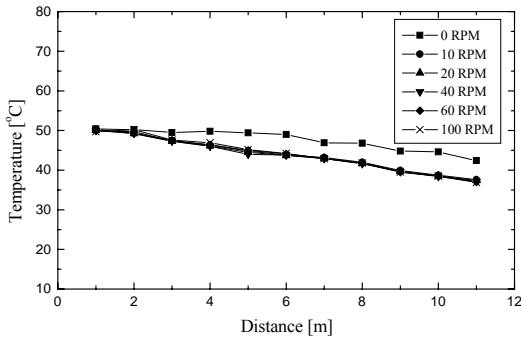
열교환기 성능을 예측하기 위해 총 에너지 평형을 고온 유체와 저온 유체에 적용시킴으로써 총 열전달률은 쉽게 얻어 질수 있으며, 다음과 같이 정의 된다(Incropera, DeWitt, 1996; Webb, 1994; 이정재 등, 2004; 조진표 등, 2004; 송두삼 등, 2005; 전용두 등, 2005).

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

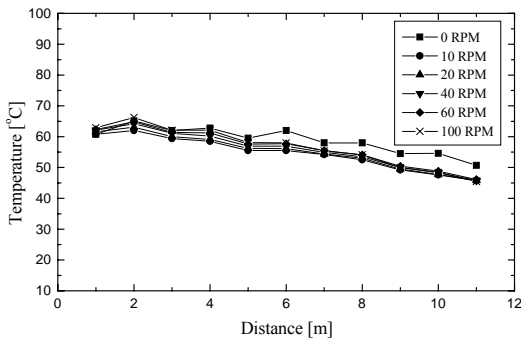
$$q = \rho_c Q_c c_{p,c} \Delta T_c \quad (\text{저온측}) \quad (2)$$



(a) $T_{h,in} = 30^{\circ}\text{C}$



(b) $T_{h,in} = 50^{\circ}\text{C}$



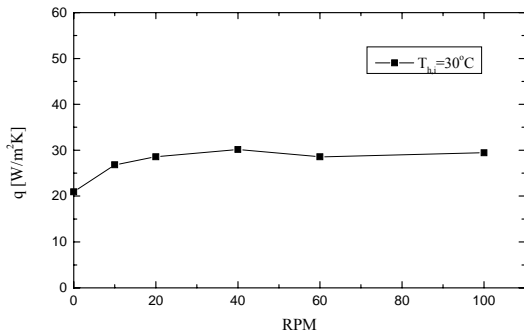
(c) $T_{h,in} = 70^{\circ}\text{C}$

[그림 5] 거리에 대한 온도분포

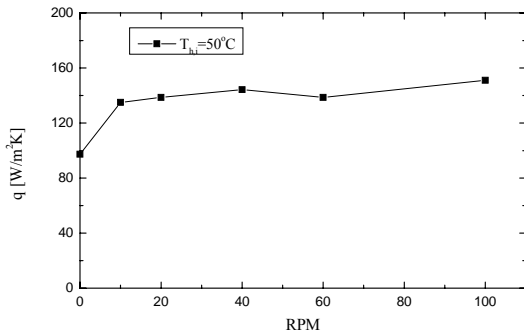
본 연구에서는 새롭게 개발된 전열교환기의 성능 평가를 위해 여러 가지 작동 조건 중에서 고온 공기측 입구 온도의 3가지 조건에서 전열 원판의 회전수 변화에 따른 총 열전달률을 평가하였다.

[그림 5]의 (a) ~ (c)는 고온 공기 측에 설치된 슬라이다스를 조절하여 고온 공기의 입구 온도를 각각 30°C, 50°C, 그리고 70°C로 설정하였으며, 환기 측의 공기 유량을 25 m³/h로 고정한 후 다공 원판의 회전수를 각각 0, 10, 20, 40, 60, 그리고 100 RPM으로 변환시키면서 열교환기의 길이 방향에 대한 온도 분포를 나타낸 것이다. 실험결과 원판의 회전수가 증가하여도 온도차는 거의 나타나지 않았으며, 비슷한 경향을 나타내었다. [그림 5]의 (a)는 고온 공기 측 입구로부터 거의 2분의 1지점까지는 거의 일정한 온도분포를 나타내다가 그 이후부터는 서서히 감소하였다. 이것은 열교환기 상반부에서는 거의 열교환이 일어나지 않고 있음을 알 수 있다. [그림 5]의 (b)는 (a)와 마찬가지로 열교환기 상반부에서는 거의 온도 변화가 없으며, 후반부의 경우는 (a)와 달리 감소하는 기울기가 커 더 활발히 열교환이 일어나고 있다는 것을 알 수 있다. [그림 5]의 (c)는 (a)나 (b)와는 달리 전 열교환기 길이에 걸쳐 온도가 감소하고 있다는 것을 알 수 있다.

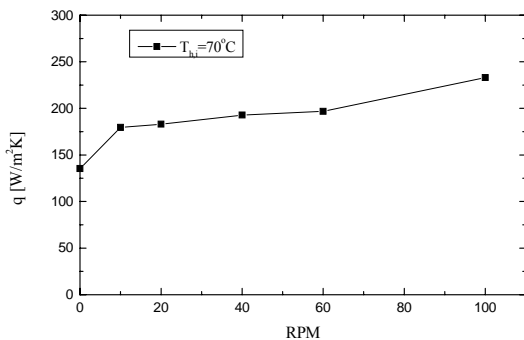
[그림 6]은 [그림 5]와 동일 조건에서 전열 원판의 회전수 변화에 따른 고온 공기 측에서 저온 공기 측으로 전달된 총 열전달률의 변화를 나타낸 것이다. [그림 6]의 (a)는 고온 공기측 입구 온도가 30°C인 경우로 전열 원판의 회전수가 증가하여도 총 열전달률의 변화는 전열 원판의 회전수가 0 RPM인 경우를 제외하고는 거의 변화지 않고 일정한 값을 나타내었다. [그림 6]의 (b)는 전열 원판의 회전수가 10 ~ 60RPM 범위에서는 거의 일정한 열전달률을 나타내다가 100RPM에서 약간 증가하였다. 즉, 고온 공기 측 입구 온도가 50°C인 경우 전열특성은 전열 원판의 회전수가 변화더라도 거의 일정하다는 것을 예측할 수 있다.



(a) $T_{h,in} = 30^\circ\text{C}$



(b) $T_{h,in} = 50^\circ\text{C}$



(c) $T_{h,in} = 70^\circ\text{C}$

[그림 6] RPM에 대한 열전달률
[그림 6]의 (c)는 전열 원판의 회전수가 증가함

에 따라 열전달률은 조금씩 증가하다가 100RPM에서 증가의 폭이 다소 커진다는 것을 알 수 있다. 고온 공기 측 입구 온도가 70°C인 경우 열전달률 향상을 얻기 위해서는 높은 회전수 영역을 선택하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

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.

$$q = UA\Delta T_m \quad (3)$$

여기서 U는 총괄 열전달계수[W/m²·K], 그리고 ΔT_m 는 대수 평균 온도차를 나타내며 다음과 같다.

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln [(T_{h,i} - T_{c,o}) / (T_{h,o} - T_{c,i})]} \quad (4)$$

[그림 7]은 고온 공기 측의 입구 온도가 각각 30°C, 50°C, 그리고 70°C인 경우에 대한 실험 결과를 전열 원판의 회전수와 총괄열전달계수의 관계로 나타내었다. 본 실험의 결과 실험 범위 내에서 총괄열전달계수는 고온 공기 측 입구 온도가 높은 (b)와 (c)의 경우 전반적으로 (a)에 비해 높은 값을 나타내었다. 또한 3가지 경우 모두 전열 원판의 회전수가 증가하여도 총괄열전달계수는 일정한 경향을 나타내고 있는데, 이것은 전열 원판의 회전수를 증가시키는 것이 열전달 성능 향상에 미치는 영향은 그다지 크게 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 열전달 성능을 향상시키기 위해서는 전열 원판의 적절한 회전수에서 풍속 변화에 대해 고려해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 특수한 조건의 산업현장에 적용할 수 있도록 개발된 로터리형 전열교환 시스템의 성능을 평가하는 것을 목적으로 여러 작동 조건에서 실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

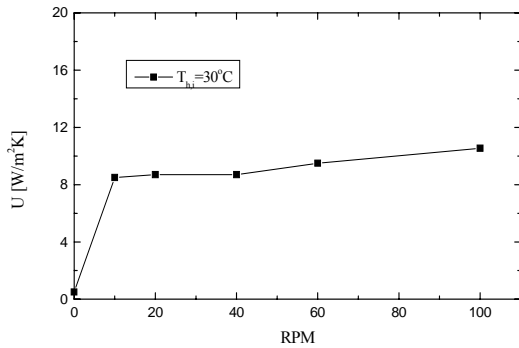
1. 열교환기 내 온도 분포는 전열 원판의 회전수가 증가하여도 거의 유사한 경향을 보였으며, 특히 입구 온도가 낮을수록 열교환기 상반부에서는 거의 열교환이 일어나지 않고 있음을 알 수 있었다.

2. 고온 공기 측 입구에 대한 3가지 온도 변화의 경우 온도가 낮은 30°C와 50°C에서의 총 열전달률의 변화는 전열 원판의 회전수가 증가하여도 거의 일정한 값을 나타낸 반면, 70°C인 경우 전열 원판의 회전수가 증가함에 따라 총 열전달률도 서서히 증가하였다. 본 실험 범위에서 50°C 이상의 온도 조건이 회전수 증가에 따른 열전달 성능을 향상시킬 수 있는 조건으로 사료된다.

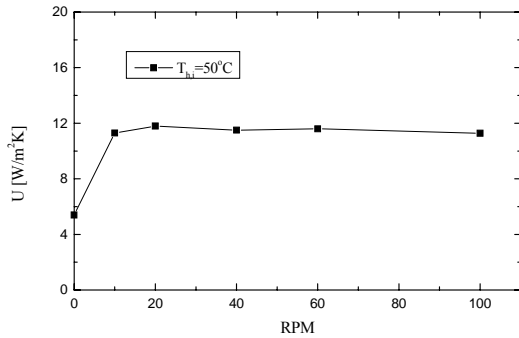
3. 총괄열전달계수는 고온 공기 측 입구 온도가 높을수록 전체적으로 큰 값을 나타내었다. 그러나 개개의 온도에서 회전수 증가에 따른 총괄열전달계수의 변화는 거의 일정한 경향을 나타내었다.

참고 문헌

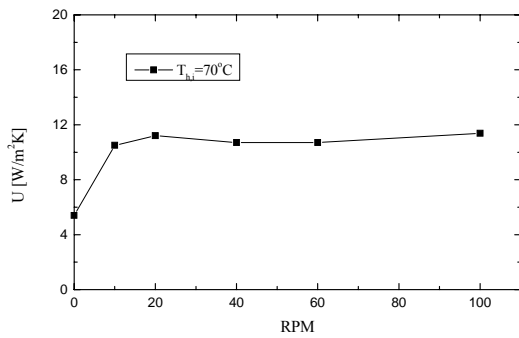
- 송두삼, 조왕희, 고현준, 윤인철, 이기섭(2005). 시물레이션을 통한 환기방식별 실내공기질 제어 및 냉난방 부하 특성의 비교, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 83~90.
- 이정재, 이시환, 박성관, 오상경(2004). 실험을 통한 열교환 환기장치 실험규격의 민감도 분석, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 195~200.
- 전용두, 이금배, 고석보, 전희호, 박진양, 윤영목



(a) $T_{h,in} = 30^\circ\text{C}$



(b) $T_{h,in} = 50^\circ\text{C}$



(c) $T_{h,in} = 70^\circ\text{C}$

[그림 7] RPM에 대한 총괄 열전달계수

(2005). 연도가스 열회수용 유동층 열교환기 설계, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 546~553.

조진표, 김내현, 최동식(2004). 활성탄이 침착된 전열교환기 성능평가, 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, 666~670.

Incropera, F. P., and DeWitt, D. P.(1996). Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley, Fourth Edition.

Webb, R. L.(1996). Principles of Enhanced Heat Transfer, Wiley.