

공기조화기내 메쉬삽입 물-공기 직접접촉의 열전달 특성 연구

전 용 한, 김 종 윤*, 김 남 진**, 서 태 범***, 김 종 보†
인하대학교 대학원, *인하대학교 기계기술공동연구소, **제주대학교 에너지공학과, ***인하대학교 기계공학과

Air Handling Unit Utilizing Water/Air Direct Contact Heat Exchanger with Mesh

Yong-han Jeon, Jong-Yoon Kim*, Nam-Jin Kim**, Tae-Boem Seo***, Chong-Bo Kim†
Graduate School, In-ha University, Incheon 402-751, Korea

*Mechanical Engineering Research Institute In-ha University, Incheon 402-751, Korea

**Department of Nuclear & Energy Engineering, Cheju National University, Jeju, 690-756, Korea

***Department of Mechanical Engineering, In-ha University, Incheon 402-751, Korea

(Received August 30, 2007; revision received December 20, 2007)

ABSTRACT: The objective of this research was to investigate the enhancement of heat transfer by mesh in water/air direct contact air conditioning system. Mesh is inserted as a turbulent promoter in front of the water injection nozzle. The heat transfer characteristics with and without mesh and the effect of the number of inserted mesh and mesh porosity size have been studied experimentally. Inserted mesh improves heat transfer efficiency compared to non-inserted mesh system and heat transfer efficiency increased as the number of mesh is increased. Meanwhile, heat transfer efficiency decreased as the porosity of the mesh is increased. With inserted mesh, inlet and outlet temperature difference of air increased more than 50%. Heat exchange time of water/air to reach the 100% humidity decreased less than 30%. This result shows inserted mesh can enhance the performance of the water/air direct contact air conditioning system.

Key words: Water/air direct contact air conditioning system(물-공기 직접접촉 공기조화기), Heat transfer(열교환)

1. 서 론

실내공간에서 생활하는 시간이 증가함에 따라 실내 공기질의 문제가 새로운 환경 문제로 부각되고 있으며 이에 따라 실내 공간내의 쾌적한 환경과 건강의 문제에 대한 기본적인 욕구를 충족

시켜 주기 위한 공기조화장치에 대한 요구가 점차 증가하고 있다.

공기조화장치는 단순히 여름철의 냉방과 겨울철의 난방을 실내에 공급하기위한 목적으로부터 시작하여 최근 에너지를 효과적으로 이용하면서 쾌적한 환경을 동시에 실현하는 고성능 고품질의 장치를 요구하는 방식으로 바뀌어 가고 있다. 이중 에너지 유효이용과 관련된 기술가운데 열교환 기술의 발전은 매우 중요하며 이는 곧 열전달 증

† Corresponding author

Tel.: +82-32-860-7313; fax: +82-32-868-1716

E-mail address: cbkim@inha.ac.kr

진 기술의 발전이라고 말할 수 있다.

기존의 공기조화기는 내부 또는 외부 공기가 필터를 통과하여 공기조화기로 흡입되어 냉동기에 의해서 냉각·제습된다. 그러나 이러한 과정은 가습공정 자체에서 열을 포함하기 때문에 온도의 변화가 발생하고, 가습기 물 표면에서의 불규칙한 증발 때문에 온도와 습도의 정밀한 제어가 매우 어렵다. 이에 반해 반도체, 광학, 식품저장, 특수 섬유 등과 같은 첨단산업분야에서는 보다 정밀한 온도와 습도의 제어를 통해 항온항습기능을 높임으로써 제품의 불량율과 설치 및 운전비용을 줄여 가격 경쟁력에서 앞설 수 있는 공기조화기를 요구하고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 직접접촉 열교환기가 연구되고 있다.

직접 접촉 열교환기에 대해서는 열교환기의 성능을 평가하기 위해 일반적으로 체적 열전달계수를 해석적, 실험적으로^{(1), (2)} 구하여 고찰하고 있다. Bohn⁽³⁾은 열교환기에서 두 유체를 직접 접촉시키는 실험을 통해 체적 열전달계수를 구하였고, 직접접촉식 열교환기와 기존의 핀-관 열교환기를 경제적으로 비교하였다. Song et al.⁽⁴⁾ 등은 대부분의 연구에서 무시되었던 분산입자들의 합착과 분열을 고려한 모델을 제시하였다. Kang et al.⁽⁵⁾ 등은 2차원 축대칭 이중유동모델을 이용하여 분사칼럼식 직접 접촉 열교환기 내의 혼합유체에 대한 열전달특성을 각 유체의 분사속도, 중형비, 입구 분사온도, 체적률에 의한 영향으로 나타내었다.

본 연구에서는 기존의 간접접촉식 공기조화장치에 설치되어 있는 냉각 코일과 가열 코일 없이 공기와 물 분무입자를 직접 접촉하는 물-공기 직접접촉식 공기조화장치에 메쉬를 삽입하여 유효 열전달면적의 증가와 잠열효과에 의해 열전달 효율을 증가 시키고자 한다. 또한 메쉬를 삽입하였을 경우 공기조화기의 성능향상에 미치는 영향을 평가하고자한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

물-공기 직접접촉식 공기조화장치는 스프레이 노즐에 의해 미립화한 물 분자입자를 공기와 직접 접촉시켜 공기와 분무입자 사이의 열전달과 물질전달에 의해서 하나의 장치로 공기의 냉각과

제습, 가열과 가습을 행할 수 있는 에너지 절약형 장치이다. 본 실험에 사용된 공기조화기의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

실험에 사용된 풍동은 흡입식으로 최대 20 m/s 풍속을 공급 할 수 있다. 시험부는 길이 2000 mm 내경 164 mm, 외경 180 mm인 원형 아크릴로 제작 하였으며 시험부 입구에 항온조를 설치하여 일정한 온도의 물이 공급 될 수 있도록 설치하였다. 시험부 입구에 스텐레스 스틸 재질의 메쉬를 삽입하였으며 메쉬의 두께를 100 mm, 200 mm, 300 mm로 변화 시킬 수 있도록 하였다. Fig. 2에 본 실험에 사용된 메쉬를 나타내었다.

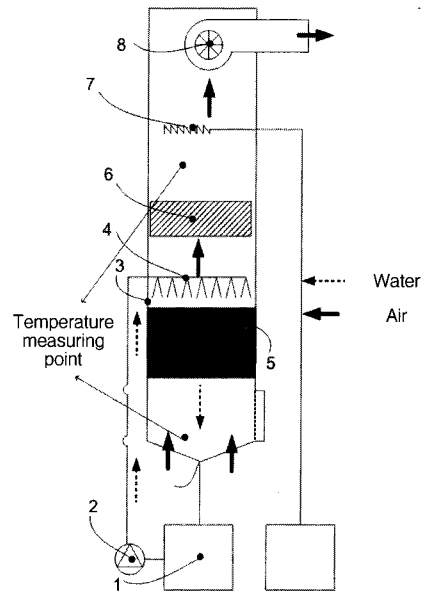


Fig. 1 Schematic diagram of experimental system.

- | | |
|------------------|----------------|
| 1 Chamber | 2 Pump |
| 3 Heat exchanger | 4 Nozzle |
| 5 Mesh | 6 dehumidifier |
| 7 heater | 8 Wind tunnel |

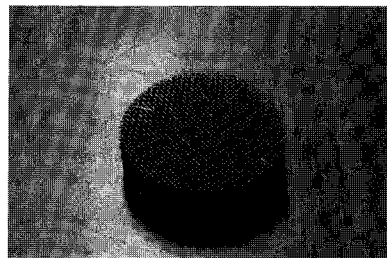


Fig. 2 Stainless steel mesh.

Table 1 Characteristics of Mesh

	Mesh (mesh/inch)	porosity (%)	Mesh Thickness (mm)
Mesh 0	NO	NO	NO
Mesh 1	6	72	100
	7	83	
	8	91	
Mesh 2	6	72	200
	7	83	
	8	91	
Mesh 3	6	72	300
	7	83	
	8	91	

물-공기 직접 열교환을 위해 원뿔형태의 분사 형태를 띠며 분무할 수 있게 할 수 있는 노즐을 시험부 출구로부터 153 mm 상부에 설치하였다. 또한 노즐 위에 외경 164 mm 스폰지를 이용하여 수분이 풍동 내부로 유입되는 것을 방지하였으며 수분제거기 상부에 온도와 습도를 측정할 수 있는 계측장치를 설치하였다. 시험부 출구 부분에는 피토투브를 설치하여 출구에서의 공기의 유속을 측정할 수 있도록 하였으며, 공기의 온도는 측정 위치는 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 실험 방법

공기조화장치에 메쉬를 설치할 경우, 분류가 전 열면에 충돌하여 소분류로 분할되어 난류가 발생하며 이에 따라 난류의 충돌영역에서 열전달이 증가하게 된다. 따라서 이에 대한 연구를 위하여 메쉬 삽입 시 다공도와 메쉬의 두께를 변화 시키며 실험을 실시하였다.

메쉬의 다공도는 체적의 비를 이용하여 계산하였다. 메쉬가 적층되는 곳 전체의 체적을 계산하고, 실제 메쉬의 체적을 측정하여 이 둘 사이의 비를 이용하였으며 식(1)과 같이 다공도를 측정하였다.

$$\text{다공도(Porosity)} = \frac{V_a - V_m}{V_a} \times 100 \quad (1)$$

여기서 V_a 은 전체의 체적 V_m 은 다공성 물질에서 Frame 부분의 체적이다. Table 1에 본 실험

에서 사용한 메쉬의 특성에 대하여 나타내었다.

실험순서는 다음과 같다. 먼저 실험 시 급격한 내부 유동의 변화를 없애기 위하여 풍동을 미리 가동시켜 내부유동을 일정한 상태로 유지한다. 유동이 일정하게 되면 풍동(8)을 이용하여 외기를 메쉬삽입 직접접촉 대향류 열교환기 하단으로 유입시킨다. 이 때 순환펌프(2)와 물 분사노즐(4)을 이용하여 항온수조(1)의 물을 열교환기 상단에서 분사시켜 메쉬(5) 전체에 물을 공급하며 메쉬를 통과하여 흘러내리는 물에 의해 열교환기 내부로 유입되는 공기를 냉각·제습한다. 열교환기에 일정한 온도의 물을 분사하기위해 항온수조를 가동시켜 물의 온도를 30 ℃로 일정하게 유지하였다. 일반적인 겨울철 실내 온도는 20 ℃~22 ℃, 습도는 40%~50%로 규정하고 있으며 본 연구에서는 예비실험을 통하여 외부 온도가 2~4 ℃일 때 공급되는 물의 온도가 30 ℃일 때 공기조화기의 출구 조건을 만족 하였다. 열교환기 하단으로 내려온 물은 항온수조(1)로 회수되며 열교환기 출구로 배출되는 상대습도 100%의 공기는 수분제거기(6)를 통과하게 된다. 이 때 제거된 수분도 항온수조(1)로 회수 된다. 수분제거기(6)를 통과한 공기를 히터(7)로 가열 최종 제어온도에 도달시킨다. 최종 제어온도에 도달한 공기는 풍동(8)을 이용하여 실내로 공급하게 된다. 실험조건은 Table 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 메쉬두께와 다공도에 따른 결과

Fig. 3~Fig. 5는 입구 공기가 물-공기 열교환을

Table 2 Characteristics of Mesh

	Water flow rate (L/min)	Air velocity (m/s)	porosity (%)
Mesh 1	0.3	2	72
	0.5	2.5	83
	0.7	3	91
Mesh 2	0.3	2	72
	0.5	2.5	83
	0.7	3	91
Mesh 3	0.3	2	72
	0.5	2.5	83
	0.7	3	91

통해 습도 100%까지 도달하는 시간동안 입구의 온도와 도달점의 온도의 차의 변화를 나타내었다.

메쉬의 다공도와 두께에 따른 공기의 온도변화에 대한 측정을 위하여 Mesh의 두께를 100~300 mm로 변화시키며 실험을 실시하였다. 실험 결과로 메쉬가 두께가 두꺼워질수록 입출구 온도차는 크게 나타났으며, 습도의 경우는 습도 100%의 도달시간은 2~3초 이내에 이루어졌다. 메쉬의 두께에 대한 결과는 그림에 나타낸 바와 같이 메쉬가 없을 경우(mesh0)와 mesh 1, mesh 2, mesh 3일 경우 각각 평균 온도차이가 65%, 94%, 111% 증가 하였으나, 전항대비 증가율은 점차 감소하였다. 일반적으로 메쉬의 두께가 두꺼워지면 열교환과 물질 전달의 측면에서 유리하므로 유입된 공기가 물에게서 에너지를 흡수하는 효과가 있다. 따라서 메쉬의 두께가 두꺼워짐에 따라 메쉬를 통과하는 공기와 물의 물질교환이 원활하게 이루어지기 때문에 같은 크기의 실험 장치에서 메쉬의 두께가 두꺼워지면 잠열교환이 신속히 일어나, 같은 체적내에서 현열교환이 충분히 일어날 수 있게 한다.

또한 메쉬의 다공도가 증가함에 따라 공기와 물의 열, 물질교환이 원활이 이루어 지지 않아서 정상상태에서의 온도증가분이 감소하였다.

3.2 물의 유량, 공기 속도에 따른 결과

Fig. 5~Fig. 7은 메쉬의 다공도와 물 유량에 따른 온도 변화를 나타내었다. 그림에 나타낸 바와

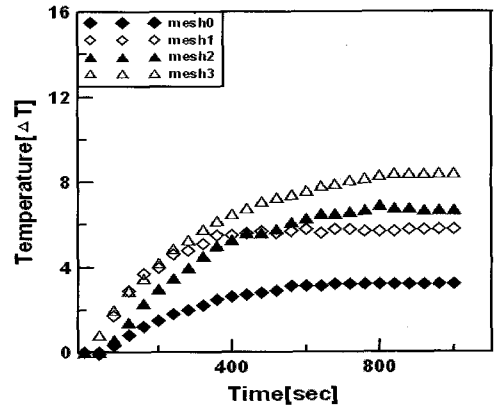


Fig. 4 Porosity 83% (Air velocity 2m/s, Water flow rate 0.3L/min).

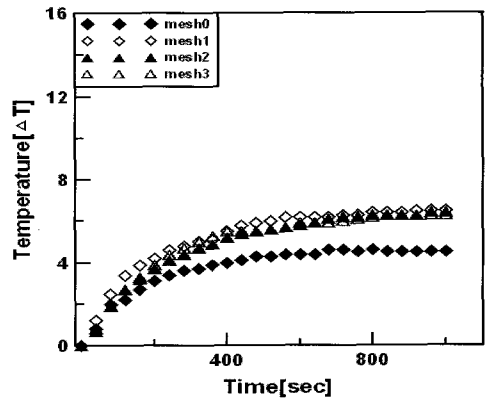


Fig. 5 Porosity 91% (Air velocity 2m/s, Water flow rate 0.3L/min).

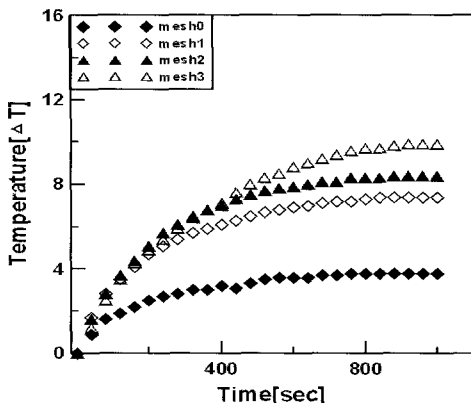


Fig. 3 Porosity 72%(Air velocity 2m/s, Water flow rate 0.3L/min).

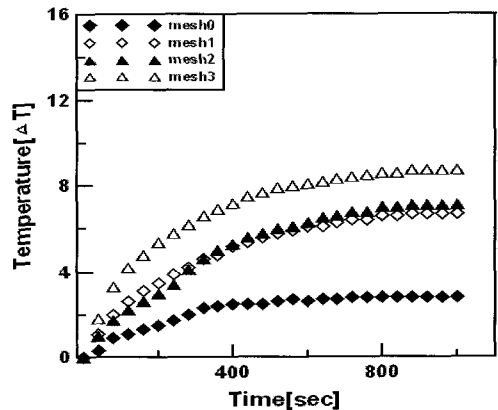


Fig. 6 Porosity 72% (Air velocity 2.5m/s, Water flow rate 0.3L/min).

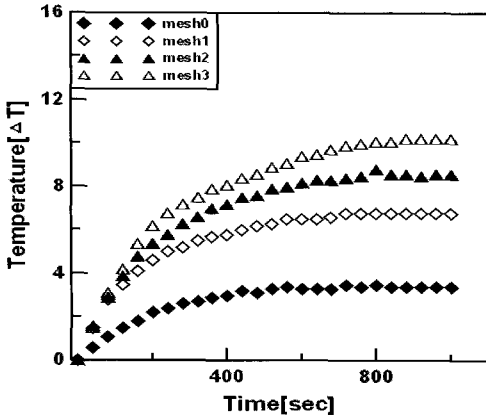


Fig. 7 Porosity 72% (Air velocity 2.5m/s, Water flow rate 0.5L/min).

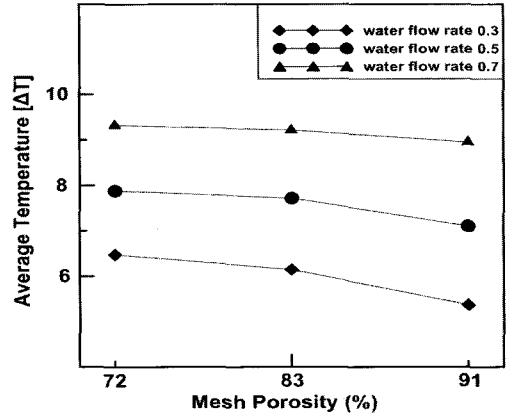


Fig. 10 Average temperature difference of air according to average mesh porosity.

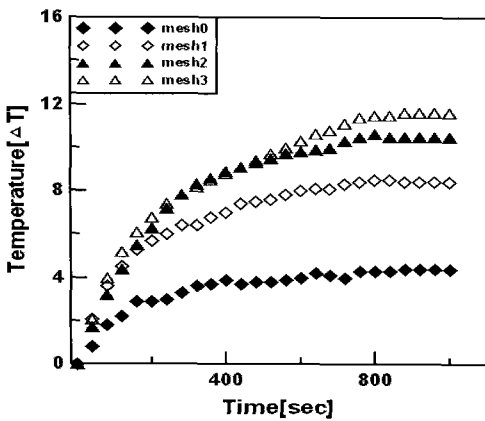


Fig. 8 Porosity 72% (Air velocity 2.5m/s, Water flow rate 0.7L/min).

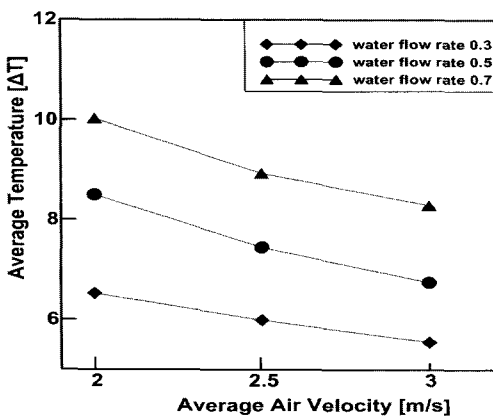


Fig. 9 Average temperature difference of air according to average air velocity.

같이 물의 유량이 증가함에 따라 입·출구 온도차는 증가하였다.

Fig. 9는 전체 데이터를 평균낸 것으로 속도가 변화함에 따라 Fig. 10에서는 메쉬의 다공도가 변화함에 따라 각 유량에서의 입출구 온도 차이를 나타내었다. 그림에서 나타났듯이 공기의 속도가 동시에 증가하기 때문에 공기와 물의 열 교환 및 물질교환이 일어나는 시간이 감소하게 되었다. 즉, 공기의 속도가 증가함에 따라 정상상태에 도달했을 경우의 100% 습공기의 온도가 낮아지는 경향이 나타났다. 공기의 속도가 증가하면 열 교환 및 물질교환이 일어나는 부피를 통과하는 시간이 짧아지게 된다. 따라서 충분히 현열 교환이 이루어지지 못하고 통과하게 되므로 공기 유속이 증가함에 따라 열교환의 최대인 온도변화율이 감소하였다. 또한 작동 유체의 입구속도가 클 경우 유동이 일정하지 않아 출구부분까지 진행되어 균일속도를 유지할 수 없기 때문에 열전달 가용부분인 직접접촉 공유면에서 열전달이 감소되었다. 따라서 입구 속도가 작을수록 열전달에 보다 유리한 공기 속도 분포가 되었다. 따라서 공기 입구 속도가 작을수록 보다 균일한 속도 분포를 얻을 수 있으며, 작동유체의 경우도 유동 확산의 거리가 짧아져 열전달 가용면적이 커져 열전달이 증가한다. 결과적으로 메쉬 개수와 물의 유량이 증가 할수록 공기의 속도와 다공도가 낮을수록 입출구 온도차가 증가하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 물-공기 직접접촉 열교환기 방식의 정밀 온도-습도 제어기에 메쉬를 삽입했을 경우, 메쉬 두께에 따른 온도차 및 메쉬의 다공도, 공기의 속도, 물의 공급 유량에 대하여 열전달 특성을 비교 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 열교환기에 메쉬를 삽입했을 경우 메쉬를 삽입하지 않은 경우와 비교해 열전달 성능은 향상된다. 그러나 메쉬 두께의 증가에 따른 전향대비 열전달 증가율은 크게 증가하지 않는다.

(2) 메쉬의 다공도를 변화시켜 측정한 결과 열전달 성능은 저하된다. 이는 유동 저항에 기인한 것이며 다공도가 72% 부근에서 최적 열전달 성능을 나타내는 구간이 존재한다. 또한 물의 유량이 많을수록 열전달 성능은 향상되며 물의 유량이 작을수록 다공도에 현저한 영향을 받는다.

(3) 공기의 속도가 증가 할수록 일출구 온도차이가 적게 나타난다. 또한 공기의 속도와 메쉬 두께를 동시에 증가시켜서 측정한 결과에서도 일출구 온도차이가 현저하게 낮게 나타났다.

(4) 열교환기에 공급되는 물의 유량 증가는 공기와 물 사이에 열전달을 빠르게 진행한다. 이는 물의 유량 증가는 곧 물과 공기사이에 표면적의 증가를 초래하기 때문에 열전달 성능이 향상된다.

(5) 메쉬의 존재에 따라 입·출구 온도차이가 65%, 94%, 111% 증가 하였으나, 전향대비 증가율은 점차 감소하였다.

본 연구에서 실험한 내용 이외에 노즐에서 분사해 주는 물의 액적 크기에 따라 열전달 성능이 달라 질 것으로 추측된다. 물의 액적이 작으면 작을수록 공기와 접촉하는 접촉면이 증가하여 열

전달 성능이 향상될 것으로 추측된다. 또한 다공도를 더 낮추고 항온항습기를 이용하여 보다 정밀한 실험이 요구되는 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-041-D00139).

참고문헌

1. Tadrif, L., Shehu Diso, I., Santini, R. and Pantaloni, J., 1987, Vaporization of a liquid by direct contact in another immiscible liquid, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 30, No. 9, pp. 1773-1785.
2. Jacobs, H. R., 1988, Direct-contact heat transfer for process technologies, *J. Heat Transfer*, Vol. 110, pp. 1259-1270.
3. Bohn, M. S., 1985, Air molten salt direct contact heat exchange, *Trans. of the ASME, J. of Solar Energy Engineering*, Vol. 107, pp. 208-214.
4. Song, M., Steiff, A. and Weinspach, P. M., 1998, Direct-contact heat transfer with change of phase: A population balance model, *Proc., 11th Int. Heat Transfer Conf.*, Kyungju, Vol. 6, pp. 457-462.
5. Kang, Y. H., Kim, N. J. and Kim, C. B., 2000, A numerical study on heat transfer characteristics in a spray column direct contact heat exchanger, *Korean J. of Air-conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 8, pp. 735-744.