

운전조건에 따른 전열교환기의 성능특성 연구

배 철 호[†], 임 영 현, 드레바 굴노라, 박 지 열,
곽 경 민^{*}, 주 의 성^{**}, 김 영 생^{**}, 김 지 용^{**}
영남대학교 기계공학부, ^{*}경일대학교 기계자동차학부, ^{**}삼성전자(주)

A Study on the Characteristics of Total Heat Exchanger under Various Conditions

Cheol-Ho Bai[†], Young-Heon Lim, Diuraeva Gulnora, Ji-Yeol Park,
Kyung-Min Kwak^{*}, Euy-Sung Chu^{**}, Young-Saeng Kim^{**}, Jee-Yong Kim^{**}
Department of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea
^{}School of Mechanical and Automotive Engineering, Kyungil University, Gyeongsan 712-701, Korea*
*^{**}System Appliances Division, Samsung Electronics Co., LTD, Suwon 442-742, Korea*

(Received March 2, 2005; revision received August 1, 2005)

ABSTRACT: The characteristics of energy performance for total heat exchanger have been investigated under various conditions. In cooling operation the latent and enthalpy efficiency are affected by the difference of absolute humidity ratio between indoor and outdoor air. In addition to this the characteristics of absorbing material in the element affects the energy performance. Low dry bulb temperature of indoor air or high absolute humidity ratio in outdoor air give high latent and enthalpy efficiency even with the same temperature difference of dry bulb temperate between indoor and outdoor air.

Key words: Total heat exchanger(전열교환기), Temperature efficiency(온도효율), Latent efficiency(잠열효율), Enthalpy efficiency(엔탈피효율)

기 호 설 명

하첨자

B : mole fraction
 Q : 공기유량 [m^3/hr]
 R : 누설률
 x : 온도, 습도, 엔탈피

OA : 외기
 RA : 환기
 SA : 급기

그리스 문자

ϵ : 효율

1. 서 론

지속적으로 오르는 유가인상 등으로 인하여 일 반주택을 포함한 건축물의 에너지사용 절약이 더욱 필요하게 되었다. 그러나 웰빙 붐이 일어나면서 에너지 절약뿐만 아니라 쾌적한 실내환경과 건강에 대한 관심이 높아지면서 에너지 절약의

[†] Corresponding author

Tel.: +82-53-810-2575; fax: +82-53-810-4627

E-mail address: chbai@yu.ac.kr

방법에 대한 새로운 접근이 필요하게 되었다. 기존의 단열이나 밀폐 등을 통한 에너지 절약이라는 개념을 벗어나 단순한 에너지 절약뿐만 아니라 환기 등을 통한 쾌적한 생활환경 구현을 추구하게 되었으며, 그 방법으로서 열회수용 환기 장치의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 외국의 경우 열회수율이 70% 이상이면서 상대적으로 가격이 저렴한 장치를 개발하여 사용하고 있다.⁽¹⁾ 이러한 열회수용 환기장치 중 일본이나 한국과 같이 여름철 고온다습한 지역에서는 현열과 잠열을 동시에 처리하는 membrane filter 방식의 전열교환기를 주로 사용하고 개발이 이루어지고 있는데 이 방식은 열교환하는 서로 다른 고온과 저온의 두 유체 사이에 일부 투습이 가능한 membrane 재질의 얇은 막을 사용하여 제작하며 이 막을 통하여 현열뿐만 아니라 수분의 전달이 동시에 일어나도록 설계되어 있다. Membrane filter의 경우 수분전달을 더욱 촉진하기 위하여 흡습제를 첨가하여 제작하기도 한다. 또한 JIS 운전 조건 아래에서 시험한 결과 냉방운전의 경우 실내로 유입되는 외기 중에 다량의 수증기가 포함되어 있고, 이것이 전열교환기 엘리먼트(element)에서 열 및 물질전달 현상에 의한 열교환 성능에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다. 본 연구에서는 이러한 실내, 실외 공기의 조건에 따른 전열교환기 성능특성을 연구하고 고찰하고자 한다.

2. 전열교환기 시험조건

전열교환기의 효율은 건구온도를 기준으로 하는 온도효율, 절대습도의 전달 정도를 나타내는 잠열효율 및 엔탈피 전달로부터 계산하는 엔탈피 효율이 있다. 또한 전열교환기의 원래 목적이 환기장치이므로 배기와 환기 사이에 발생하는 누설이 최소한으로 되어야 하며 탄산가스법 등으로 누기율(또는 유효환기량)을 측정한다. 통상 누기율은 10% 미만으로 제약하고 있다.

전열교환기의 성능은 작동조건에 따라 변하게 되기 때문에 성능평가에 대한 시험규격이 필요하다. 최근 일본의 경우 전열교환기의 성능평가규격을 기존의 냉방 및 난방 장치 시험규격을 고려하여 새로운 JIS B8628⁽²⁾을 확립하였으며, 현재 일본의 경우 JIS B8628을 따르고 있다. JIS B8628

에 따른 시험조건은 여름철의 경우 실내측의 건구온도 및 습구온도는 각각 27℃ 및 20℃이며 실외측의 건구온도 및 습구온도는 각각 35℃ 및 29℃이다. 겨울철의 경우 실내측의 건구온도 및 습구온도는 각각 20℃ 및 14℃이며 실외측의 건구온도 및 습구온도는 각각 5℃ 및 2℃이다. 우리나라에서도 KS B0000 시험조건⁽³⁾을 만들고 있는데 시험조건을 살펴보면 냉방운전의 경우 실내측의 건구 및 습구 온도는 각각 27℃와 19.5℃이며, 실외측의 건구 및 습구 온도는 각각 35℃와 24℃이다. 난방운전의 경우에는 실내측이 20℃와 15℃이며 실외측이 7℃와 6℃이다. 냉방조건인 경우 JIS B8628 규격이 우리나라의 냉방장치 시험조건과 거의 유사하기 때문에 우리나라에서도 그대로 적용 가능하나 난방의 경우 우리나라가 일본보다 온도가 높기 때문에 새로운 규격을 확립하는 것이 필요하다고 사료된다. 또한 냉방운전 시 KS B0000의 외부조건을 에어컨 시험조건과 동일하게 규정하고 있는데, 이 경우 실외측의 습도가 상대적으로 낮아 전열교환기의 성능시험시 잠열효율과 엔탈피 효율측정에 큰 오차를 야기할 수 있으므로 유의하여야 한다.⁽⁴⁾

3. 전열교환기 성능평가 시험장치

전열교환기 성능평가 시험장치는 시험조건에 부합하는 온도 및 습도 조건을 유지하기 위한 장치, 유동발생 및 측정을 위한 풍동장치와 데이터 측정장치로 구성된다. 본 연구에서는 시험의 정확도를 위해 2실 방식을 채용하였으며, 장치의 자세한 설명은 참고문헌 4에 나와 있다.

4. 전열교환기 성능시험 결과 및 고찰

4.1 전열교환기 시험조건 및 효율

전열교환기의 성능시험은 측정하고자 하는 전열교환기를 측정판에 설치하고 작동조건을 설정하여 수행하였다. 본 연구에 사용된 전열교환기는 일본 K사에서 제작한 membrane filter 방식의 제품을 사용하였으며, 크기는 190(W)×190(D)×700(H) mm³이고, 정격 용량은 250 m³/hr(CMH)이다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 엘리먼트 사진이며, Fig. 2는 엘리먼트를 아크릴 케이스에 장치

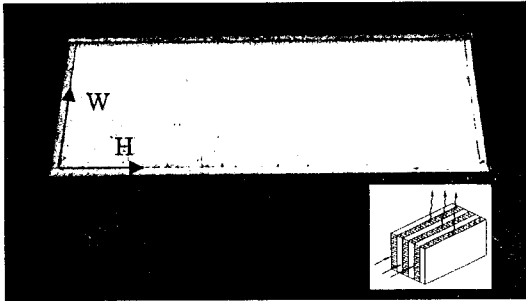


Fig. 1 Schematic view of K element.

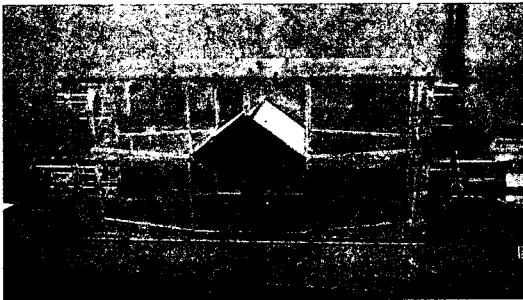


Fig. 2 Schematic view of test section.

한 사진으로서 엘리먼트를 통과하는 공기의 유동이 가능한 한 균일하게 유지될 수 있도록 내부에 유동분배기를 설치하였다. K사의 엘리먼트는 고온 및 저온의 공기가 서로 혼합되지 않은 채 직교류(crossflow)로 유동이 흘러가며, 각각의 유로형상은 일반 열교환기에서도 사용되는 있는 삼각형의 주름진 형상(corrugated type)이다. H방향을 기준으로 양방향에서 유동이 유입될 수 있는 엘리먼트 개수는 각각 166장이며(H방향의 유로높이로 2.1 mm/ea에 해당, W 혹은 D방향을 기준으로 엘리먼트 한 장에서의 주름진 형상(삼각형형상)의 개수는 36산이다(W 혹은 D방향의 유로피치로 5.3 mm/산에 해당).

전열교환기의 성능을 나타내는 열교환 효율은 온도효율, 잠열효율 및 엔탈피효율이며, 다음의 식(1)에 효율을 정의하였다.

$$\epsilon = \frac{x_{OA} - x_{SA}}{x_{OA} - x_{RA}} \quad (1)$$

여기서 ϵ 은 온도, 잠열 및 엔탈피 효율을 나타내며 상응하는 측정값 x 는 각각 건구온도, 절대습

도 및 공기의 총 엔탈피이다.

식(1)에서 하첨자 SA, OA 및 RA는 각각 급기, 외기 및 환기를 나타낸다. 누설률(유효환기량) 측정은 상온에서 측정하였고, 식(2)에 누설률 R을 나타내었으며, 식(3)는 누설률을 고려한 유효환기량 Q_E 이다.

$$R = \frac{B_{SA} - B_{OA}}{B_{RA} - B_{OA}} \quad (2)$$

$$Q_E = Q_s \times (1 - R) \quad (3)$$

여기서 Q_s 는 전열교환기에서 실내로 유입되는 실측 공기량이며, B는 탄산가스의 몰 분율이다.

전열교환기의 성능특성 중 외기조건의 변화에 대한 특성을 고찰하기 위하여, JIS B8628 표준조건을 기준으로 하여 실내 및 실외측 공기의 건구/습구 온도조건을 변화시키면서 수행하였다.

4.2 정격조건에서의 냉/난방 운전효율

전열교환기의 정격성능을 JIS B8628 표준 냉난방조건에 맞추어 시험하였다. 본 연구에서 적용한 K-엘리먼트 전열교환기의 누설률은 정격용량에서 6.26%이다. Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5은 냉방 및 난방 표준조건에서 온도효율, 잠열효율 및 엔탈피효율을 나타낸다.

정격용량에서 난방의 경우 온도, 잠열 및 엔탈피 효율이 각각 82.3%, 48.4% 및 68.5%를 나타내고 있다. 냉방운전의 경우 표준조건에서 온도, 잠열 및 엔탈피 효율이 각각 80.7%, 44.4% 및 52.6%이다.

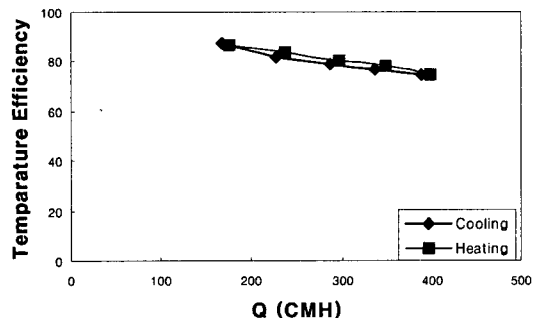


Fig. 3 T.E of total HEX for standard condition.

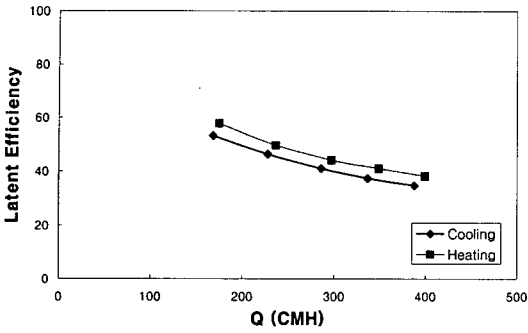


Fig. 4 L.E of total HEX for standard condition.

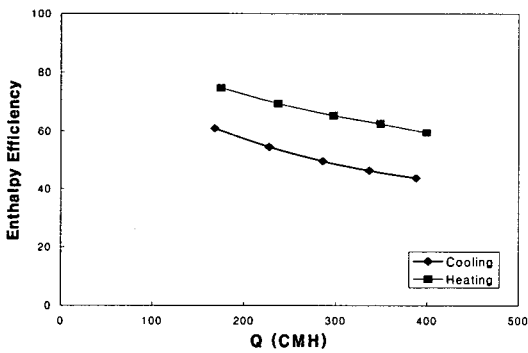


Fig. 5 E.E of total HEX for standard condition.

난방운전조건인 경우 실내측과 실외측의 온도 차이가 냉방조건보다 크에도 불구하고 온도효율은 냉방운전과 유사하게 나타나고 있다. 효율의 정의식(1)에 의하면 실내의 온도차가 크면 분모항 역시 커지기 때문에 효율은 큰 차이가 없지만 열교환되는 양은 커지게 된다. 냉난방 운전 모두에서 수증기의 전달특성과는 상관없이 일반적인

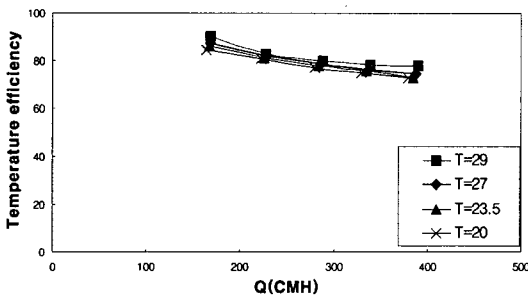


Fig. 6 The effect of temperature difference (T.E).

공기 대 공기(air to air) 열교환기의 특성을 따르고 있다. 즉, 유량이 증가하면서 모든 효율이 감소하는 것을 알 수 있다.

4.3 건구온도가 냉방효율에 미치는 영향

일반 열교환기에서 온도차이가 커질 때 열교환량은 많아지지만 효율은 크게 달라지지 않는다(Fig. 3). 그러나 전열교환기의 경우 수증기 전달이 효율에 영향을 미치므로 건구 온도차이의 변화가 미치는 영향을 고찰하기 위하여 실내, 실외의 건구온도를 변화시켜 실험을 수행하였다.

이때 건구온도에 따라 절대습도도 변화하기 때문에 절대습도를 일정하게 유지하기 위하여 각각의 건구온도에 대하여 그에 상응하는 습구온도를 적용하였다.

실외측의 건구 습구온도는 각각 35°C 및 29°C로 고정하였으며, 이때 절대습도는 0.0231 kg_{water vapor}/kg_{dry air}이다. 실내측의 건구온도를 29°C, 27°C, 23.5°C 및 20°C로 변화시켰으며, 절대습도 유지를 위해서 이에 상응하는 습구온도를 26°C, 20°C, 18.9°C 및 17.7°C로 하였다. JIS B8628 표준조건은 건구 및 습구온도가 각각 27°C 및 20°C이며, 절대습도는 0.01178 kg_{water vapor}/kg_{dry air}이다.

Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8은 각각 건구온도의 변화에 따른 온도효율, 잠열효율과 엔탈피효율이다.

Fig. 6에서 보면 실내측의 건구온도가 낮아지더라도 온도효율은 거의 같은 값을 나타내고 있다. 이는 난방운전의 경우 실내외 공기의 온도차이가 커지더라도 효율이 냉방운전에서와 큰 차이를 보이지는 않는 것과 같은 양상이며, 다만 열교환되는 양은 커지는 것으로 생각된다. 그러나 Fig. 7의 잠열효율은 실내측과 실외측의 절대습도 차이

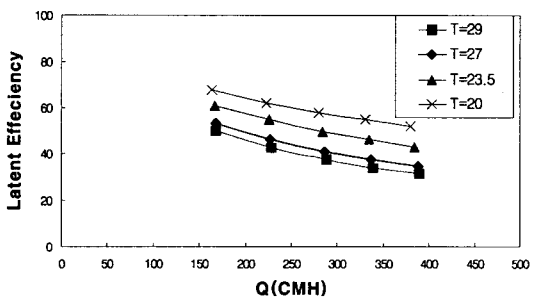


Fig. 7 The effect of temperature difference (L.E).

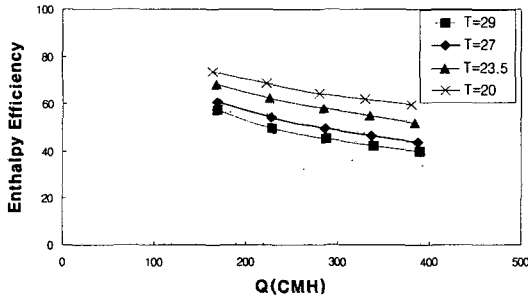


Fig. 8 The effect of temperature difference (E.E).

가 일정함에도 불구하고 실내측의 온도가 낮아질 수록 크게 나타나고 있다. 실내공기의 건구온도가 20℃인 경우 실외측과의 절대습도 차이를 표준조건과 동일하게 유지하기 위하여서는 실내측 공기 습구온도를 17.7℃로 하여야 하며, 이때 실내측 공기의 상대습도는 표준조건에 비해 상당히 높은 값을 가지게 된다. 즉, 실내측 공기의 경우 수증기를 추가로 받아들일 수 있는 여력이 많지 않음에도 불구하고 수증기 전달이 활발히 일어나고 있다. 수증기 전달이 단순히 membrane filter를 통한 물질전달기구에 의한 것이라면 잠열효율은 동일하게 나타나야 하지만 membrane filter 제작시 첨가한 흡수제가 수증기 전달에 중요한 역할을 하며 실내측의 온도가 낮은 경우 수증기를 많이 전달하는 것으로 생각된다.

Fig. 8의 엔탈피효율은 냉방운전의 경우 현열보다는 수분전달의 영향이 크기 때문에 잠열효율과 비슷한 양상을 보인다.

4.4 절대습도가 냉방효율에 미치는 영향

냉방운전의 경우 효율에 미치는 것은 건구온도 뿐만 아니라 절대습도의 차이 역시 영향을 미치게 된다. 절대습도 차이가 커질수록 물질전달에 의한 수분전달이 많아지게 되기 때문이다. 건구온도 차이에 의한 영향을 제외하기 위하여 실내측 및 실외측의 건구온도는 표준조건으로 하였다. 실내측의 경우 표준조건인 건구 온도와 습구온도를 각각 27℃ 및 20℃(절대습도는 0.01178 kg_{water vapor}/kg_{dry air})로 하였으며 실외측의 건구온도는 35℃로 하였다.

절대습도의 차이를 변화시키기 위하여 실외측의 습구온도를 31℃, 29℃, 27.6℃ 및 26.2℃로 하

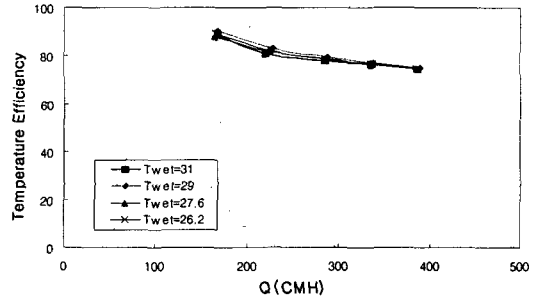


Fig. 9 The effect of absolute humidity difference between indoor and outdoor (T.E).

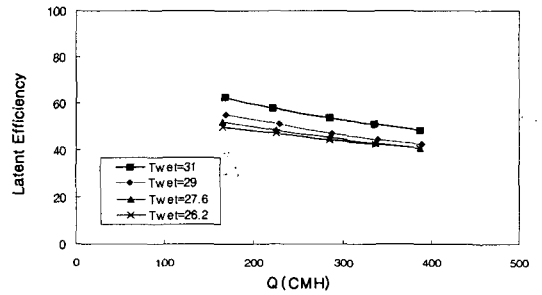


Fig. 10 The effect of absolute humidity difference between indoor and outdoor (L.E).

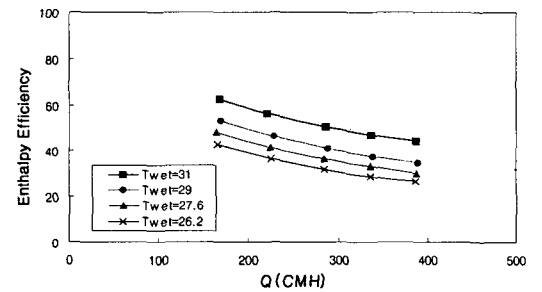


Fig. 11 The effect of absolute humidity difference between indoor and outdoor (E.E).

였으며 이때 각각의 실외측의 절대습도는 각각 0.0270, 0.0232, 0.0204 및 0.0179 kg_{water vapor}/kg_{dry air}이며, 실외측의 습구온도의 증가는 실외측과 실내측의 절대습도 차이가 더 커짐을 알 수 있다.

Fig. 9, Fig. 10 및 Fig. 11은 각각 온도효율, 잠열효율 및 엔탈피효율을 나타내고 있다. Fig. 9의 온도효율을 보면 절대습도의 변화에 크게 영향을 받지 않으며, Fig. 6과 같은 양상을 보인다. Fig. 10의 경우 잠열효율은 실내와 실외의 절대습도의

차이가 커질수록 거의 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 습구온도가 크다는 것은 절대습도가 크다는 것을 의미하므로 실외측과 실내측의 절대습도 차이가 크다는 것을 의미한다. 즉, 수증기의 물분율 차이가 크고 수증기 전달이 원활히 일어날 수 있음을 의미한다.

외기의 습구온도가 31℃인 경우, 노점온도가 30.0℃로서 실내의 습구온도가 이 노점온도보다 낮기 때문에 전열교환기의 일부에서 응축이 일어날 가능성이 있으며, 이것으로 인하여 잠열 효율이 더욱 커질 수 있다. 또 실외측의 습구온도가 높을 때, 즉 절대습도가 클 때 엘리먼트에 첨가된 흡수제의 역할로 수분이 흡수되고 전달될 가능성이 커진다고 생각된다.

Fig. 11의 엔탈피효율은 Fig. 8과 같이 온도효율 보다는 주로 잠열효율의 영향에 의해 결정되는 것으로 보인다.

4.5 실외측 공기의 절대습도 영향

전열교환기의 성능에서 온도효율은 건구온도의 차이에도 불구하고 거의 일정한 값을 나타내고 있지만, 잠열효율과 엔탈피효율은 절대습도의 차이가 크고 건구온도가 낮을수록 좋아지는 것을 알 수 있다. 즉, 잠열효율과 엔탈피효율은 원활한 수증기 전달에 직접 영향을 받으므로 어떤 조건에서 수증기 전달이 더욱 원활히 진행되는지 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

Table 1은 수증기 전달기구를 확인하기 위해 설정한 온도조건이다. 실내측과 실외측의 건구온도는 표준조건인 27℃와 35℃로 고정시키고 절대습도의 차이도 표준조건과 같이 일정하게 유지하였다. 이러한 조건에서 절대습도를 표준조건으로부터 조금씩 낮춰 가면서 실험을 수행하였다. 이때 실내측과 실외측 공기의 절대습도 차이를 일정하게 유지하기 위하여 실내측과 실외측의 습구

온도를 적절하게 조정하였다.

Fig. 12, Fig. 13 및 Fig. 14는 Table 1의 조건에 따른 온도, 잠열 및 엔탈피 효율을 나타낸다.

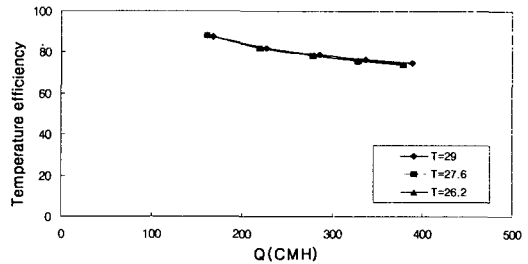


Fig. 12 The effect of outdoor wet bulb temperature difference (T.E).

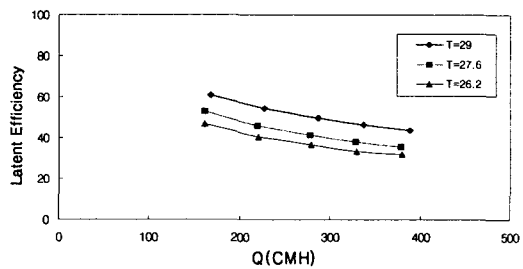


Fig. 13 The effect of outdoor wet bulb temperature difference (L.E).

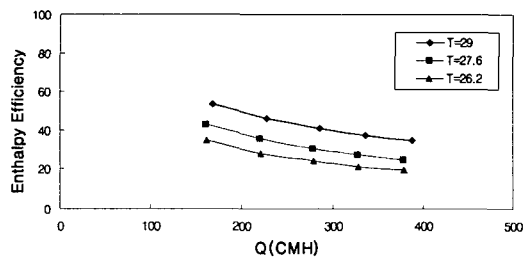


Fig. 14 The effect of outdoor wet bulb temperature difference (E.E).

Table 1 Test condition

Indoor air		Outdoor air		Outdoor air - Indoor air	
Wet bulb temp.	Abs. humidity	Wet bulb temp.	Abs. humidity	Wet bulb temp. difference	Abs. humidity difference
20	0.0118	29	0.0231	9	0.0113
17.9	0.0091	27.6	0.0204	9.7	0.0113
15.7	0.0066	26.2	0.0179	10.5	0.0113

Fig. 12에서 알 수 있듯이 건구온도 차이가 일정한 경우 온도효율은 습구온도 변화에 거의 변하지 않는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 Fig. 13을 보면 절대습도의 차이는 일정하게 유지되고 있음에도 불구하고 실외측 공기의 절대습도가 높을 때 잠열효율이 좋아지며, 잠열효율의 영향에 따라 Fig. 14에서와 같이 엔탈피효율이 좋아짐을 알 수 있다.

이상의 결과들을 종합해 보면 잠열 및 엔탈피효율은 절대습도의 차이에 의해 서로 영향을 받지만, 실외측의 다습한 공기의 수증기가 엘리먼트에 첨가된 흡수제에 흡수될 확률에 의해서도 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 실내측의 건구온도가 낮아 흡수제의 흡수능력이 커지거나 또는 실외측 습도가 높아 흡수제에 흡수될 가능성이 큰 경우에도 잠열효율은 크게 나타내고 있다.

5. 결 론

Membrane Filter 방식의 전열교환기에서 열교환은 건구온도보다는 수증기 전달에 더 큰 영향을 받는다. 엘리먼트에 첨가된 흡수제는 온도가 올라가면 흡수율이 떨어지고 온도가 내려가면 흡수율이 올라가는 특성을 가지고 있으며, 전열교환기의 엘리먼트는 고온 다습한 공기와 저온 건조한 공기의 중간온도로 존재하면서 다습한 공기로부터 수증기를 흡수하고 건조한 공기로 수증기를 배출하여 수증기를 전달시켜 주게 된다. 그러므로 실내측 공기의 건구온도가 낮아지게 되면 흡수제의 평균 온도가 내려가면서 수증기를 더욱 많이 흡수할 수 있게 되며, 수증기 전달이 촉진되어 잠열효율 및 엔탈피효율이 증가하는 것으로 생각된다. 그리고 실내측 건구온도는 일정하고 절대습도 차이는 일정함에도 불구하고 실외측 공기

의 절대습도가 높은 경우에 잠열 및 엔탈피효율이 높게 나타나며, 이는 실외측에 접한 흡수제가 더욱 많은 수증기를 흡수할 수 있는 조건에서 좋은 효율을 나타내고 있다고 생각된다.

이상의 실험결과로부터 전열교환기의 성능이 최대가 될 수 있도록 하기 위해서는 고온 다습한 실외기측의 수증기가 흡수제에 흡수될 수 있는 확률을 높이고, 흡수된 수증기가 실내측의 저온 건조한 공기 쪽으로 쉽게 전달될 수 있도록 전열교환기를 구성하는 것들이 될 것이며, 이러한 방법을 실현하기 위한 추가의 연구가 필요하다.

후 기

이 논문은 삼성전자 및 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

1. Niu, J. L. and Zhang, L. Z., 2001, Membrane based enthalpy exchanger, *J. Membrane Sci.*, Vol. 189(2), pp. 179-191.
2. JIS B8628 Total Heat Exchanger.
3. KS B 0000-2002 Heat Recovery Ventilator.
4. Bai, C. H., Chung, M., Kim, S. Y., Lim, Y. H., Nasriddinova, D. G., Yun, B., Kim, Y. S. and Park, C. J., 2002, The comparison study of energy performance for recovery ventilator, *Proceedings of the SAREK*, pp. 518-523.
5. Bai, C. H., Chung, M., Kim, S. Y., Lim, Y. H., Djuraeva, G. N., Choi, Y. H., Lee, S. H. and Koo, H. M., 2003, The characteristic study of total heat exchanger under various conditions, *Proceedings of the SAREK*, pp. 231-234.