

열교환기를 사용한 냉각/재가열 장치의 에너지 절감에 관한 연구

김진혁, 유성연^{**}, 최양규^{*}

한국과학기술원 기계공학과, ^{*}충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단

A Study on the Energy Saving of Cooling/Reheating System Using Heat Exchanger

Jin-Hyuck Kim, Seong-Yeon Yoo^{**}, Yang-Kyu Choi^{*}

Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 305-701, Korea

^{*}BK21 Mechatronics Group, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received March 22, 2010; revision received May 31, 2010)

ABSTRACT: In conventional air-handling units, when the circulated air from the air-conditioned space pass through the cooling coil, the air is over-cooled to eliminate the moisture as well as to decrease the temperature. The purpose of this study is to estimate the thermal performance and energy saving of the cooling/reheating system using heat exchanger which can save both cooling energy and reheating energy by exchanging heat between the cooled air and reheated air. The energy balance equations to estimate the state of the air for each components were provided and the heat transfer rates and the energy saving rates for the system were calculated from the equations. The results showed that the energy saving was up to 40% under present conditions, and saving rates were significantly affected by the air velocity, inlet conditions and the effectiveness of heat exchanger.

Key words: Cooling/reheating system(냉각/재가열 장치), Heat exchanger(열교환기), Energy saving(에너지 절감), Air handing unit(공조기)

기 호 설 명

- b : 바이패스 비
- b_{vent} : 환기 비
- C_p : 정압비열 [W/m²K]
- h : 엔탈피 [kg/kJK]
- m : 질량 유량 [kg/s]
- Q : 열전달률 [W]

- T : 온도 [°C]
- W : 비습도 [kg/kg]

그리스 문자

- ϵ : 유용도
- ϕ : 상대습도 [%]

하첨자

- 0 : 외기 상태

† Corresponding author

Tel.: +82-42-821-6641; fax: +82-42-821-8894

E-mail address: syyoo@cnu.ac.kr

1	: 1번 상태
2	: 2번 상태
3	: 3번 상태
4	: 4번 상태
5	: 5번 상태
<i>c</i>	: 열교환기 찬공기 측
<i>co</i>	: 냉각 코일
<i>d</i>	: 요구 조건
<i>h</i>	: 열교환기 뜨거운 공기 측
<i>r</i>	: 순환 공기
<i>re</i>	: 재가열 코일

1. 서 론

지속적인 고유가 시대의 도래와 녹색성장에 대한 요구가 증대됨에 따라 에너지 절약이 중요한 화두가 되고 있다. 특히, 국가 에너지 소비의 25% 정도를 차지하는 건물에너지 중 절반 정도의 비중을 차지하는 냉난방 에너지 절약에 대한 필요성이 높아지고 있다.

실내공간에 적절한 습도를 유지하기 위해 기존에 주로 사용되고 있는 냉각식 시스템의 경우에는 적정 수준의 제습을 위해서 일반적으로 과냉각을 시키며 이로 인해 적정실내 온도를 위해 추가적인 재가열이 필요하다. 에너지 절감의 문제로 이를 무시하고 사용하는 경우도 있으나, 반도체용 공기조화장치와 같이 온도 및 습도의 정밀도가 생산성에 직결되므로 과냉각과 재가열이 필요한 전통적인 방식을 많이 사용하고 있기 때문에 에너지 절약의 요인들을 찾아볼 수 있다.⁽¹⁾

본 연구에서는 이와 같은 냉각식 제습 방식의 공기조화장치의 내부에 열교환기를 설치한 장치를 고안하였다. 열교환기를 사용한 냉각/재가열 장치는 여름철 제습 공기조화장치의 과정 중 고온의 장치 입구 공기와 냉각이 이루어진 공기간의 열교환을 통해서 냉각과 재가열에 필요한 에너지를 이중으로 절약할 수 있는 매우 효과적인 장치이다.

Zhang et al.^(2,3)은 독립제습 공조기의 에너지를 절약할 수 있는 각기 다른 네 가지 방안을 제시하고 해석적인 연구를 수행하였다. 각각의 시스템의 구성요소의 성능을 예측할 수 있는 성능 상관식을 사용하여 일정한 부하에 대해서 연간 에너지 사용량을 예측하여 성능을 비교하였으며, 약 30~40%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다. Chua

et al.⁽⁴⁾은 부분부하변동 조건에 대해서 일정한 실내 상대습도 유지를 위해 냉각수 유량, 바이패스 비, 풍량, run-around 코일제어 등의 방법을 성능시험과 해석을 통해 실내조건을 얼마나 유지하며 각각 에너지 소비경향을 비교, 분석하였다. Yau and Tucker⁽⁵⁾는 이상유체의 써모사이폰 방식의 히트파이프 열교환기를 사용한 공기조화 시스템이 제습성능의 향상 및 에너지 절약에 도움이 된다는 것을 밝혔다. 또한 Yau⁽⁶⁾는 8열의 써모사이폰 기반의 히트파이프 열교환기를 사용한 공조기의 실험적 연구를 수행하여 건구온도, 상대습도 그리고 풍속이 시스템에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보았다. Chen and Jiang⁽⁷⁾는 독립된 제습 공조기가 사용된 건물의 에너지 사용 패턴을 실험적 연구를 통해 알아보았으며, 건조한 기후에서는 전체 에너지의 40% 정도가 제습 시스템에 사용되고, 습한 기후에서는 이러한 에너지 소모가 전체의 50% 이상까지 도달한다는 것을 알았다. 또한 열교환기를 사용한 시스템은 적절한 제어를 통해 전체 에너지의 약 30% 정도를 절약할 수 있다고 하였다.

Kim et al.⁽⁸⁾은 부하변동에 대한 바이패스 공조 시스템의 특성을 알아보기 위해서 실현열비가 특정 범위 내에서(SHF = 0.7~0.9) 변화하는 동안 바이패스 공조 시스템에 의한 실내 조건의 변화를 알아보았다. 이를 통해 부분부하 발생 시 바이패스 풍량 조절만으로 실내의 온도와 습도를 일정하게 유지할 수 있음을 밝혔으며, 바이패스 공조 시스템에 관한 연구의 연장으로 실험실험을 통해서도 부분부하 발생 시에도 바이패스 공조시스템이 실내의 상대습도 조건을 적절히 유지시킬 수 있다고 하였다.

본 연구에서는 열교환기를 사용한 냉각/재가열 장치에서 주요 성능변수가 변화함에 따른 성능변화 특성을 알아보기 위해 시스템의 각 구성요소를 통과한 공기의 상태를 예측할 수 있는 모델을 제시하고 이를 통해 조건 변화에 대한 열교환기와 냉각코일 및 보조재가열 코일의 열전달량을 계산하였으며, 이로부터 에너지 절감의 변화를 알아보았다.

2. 열교환기를 사용한 냉각/재가열 장치

고온의 입구공기와 냉각 코일을 통과한 후의 저온 공기를 열교환하면 냉각에너지와 재가열 에너지를 동시에 절약할 수 있기 때문에 효과적이다. 이러한 열교환기를 적용한 냉각/재가열 장치를 설계하였다. 적절한 공조기는 입구조건과 속도 등과 같은 변

수의 변화에 대해서 일정한 요구조건에 부합하는 출구조건을 유지하여야 한다. 전통적인 시스템에서는 온도와 습도를 유지하기 위해 냉각수의 유량, 바이패스, 속도변화 등의 방법을 사용한다. 본 연구에서는 열교환기를 사용한 에너지 절약형 냉각/재가열 장치의 최종조건을 요구조건에 부합시키기 위해서 보조재가열 장치를 사용한 방식과 바이패스 댐퍼를 사용한 방식 두 가지를 고안하였다.

2.1 보조 재가열 방식

열교환기를 통해 재가열된 공기의 온도는 변수의 변화에 따라서 설정한 적정조건에 비해 낮게 나타날 수 있다. 보조재가열 제어 시스템은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 소형 전기히터 등의 보조재가열 열원을 사용하여 시스템의 출구조건을 만족시킬 수 있는 방식이다. 이때, 본 연구에서는 시스템 내부의 열교환기를 기준으로 그림에서 보았을 때 1번 상태는 Hot In, 2번 상태는 Hot Out, 3번 상태는 Cold In, 4번 상태는 Cold Out, 최종상태인 5번 위치에서의 공기

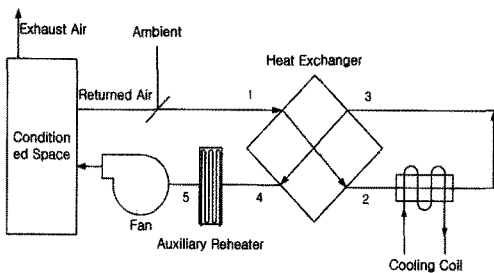


Fig. 1 Schematic of cooling/reheating system with auxiliary reheater.

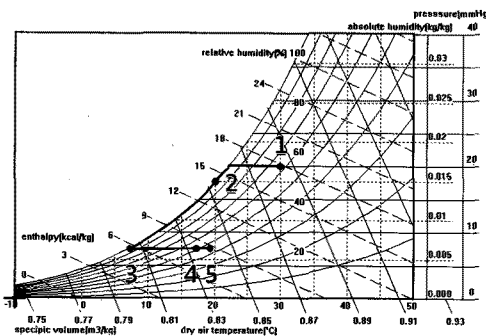


Fig. 2 Operation process demonstrated in psychrometrics chart for auxiliary reheater type.

의 상태를 Final로 각각 표현하였다.

시스템의 작동과정을 습공기선도상에 나타낸 Fig. 2에서 보았을 때, 고온다습한 1번 상태의 습공기는 열교환기에 유입되어 고온유체를 형성하며, 냉각 코일을 지난 후의 저온유체와의 열교환을 통해 1차 냉각 및 재습이 진행되어 2번 상태에 이른다. 충분한 저온에 이른 경우 냉각 코일을 통한 냉각/제습 과정은 포화 수증기선에 근접하여 필요한 정도만큼 진행 된 후 3번 상태에 이른다. 또한 열교환기를 지난 후의 공기의 상태가 충분히 저온에 이르지 못한 경우에는 냉각 코일을 통해 일단 포화수증기선에 접근할 정도에 해당하는 만큼의 냉각이 진행된 후, 포화수증기선을 따라서 재습과 냉각 과정이 진행되어 3번 상태에 도달한다. 이후 재습을 위해 적정조건 이하의 온도로 냉각과정이 진행되었기 때문에 재가열을 통해 온도를 상승시켜야 하므로 열교환기로 다시 유입되어 앞서 1번 상태의 고온유체와 열교환을 통해 온도가 상승되어 4번 상태에 이른다. 4번 상태의 온도가 실내공급적정온도에 미치지 못할 경우에는 온도를 더 높여주어야 하기 때문에 보조재가열 코일을 통과하게 되고 이후 실내에 유입될 수 있는 적절한 온도와 습도를 지닌 5번 상태에 도달한다.

2.2 바이패스 방식

앞서 설명한 것과 같이 냉각/재가열 시스템의 열교환기만으로 원하는 조건에 이르지 못했을 때, Fig. 3에 보인 바이패스 댐퍼를 사용한 시스템은 1번 상태의 고온다습한 공기와 4번 상태의 저온, 제습된 공기를 섞어서 원하는 조건인 5번 상태에 이르게 제어한다. 따라서 Fig. 4에 나타난 것과 같이 최종 5번 상태가 초기상태(1번)와 열교환기를 통과한 후의 상태(4번)를 연결한 직선위에 위치한다. 이 경우 보조재가열 열원만을 사용한 방식과 다르게 온도뿐

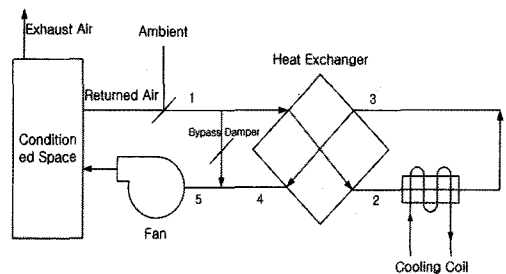


Fig. 3 Schematic of cooling/reheating system with bypass damper.

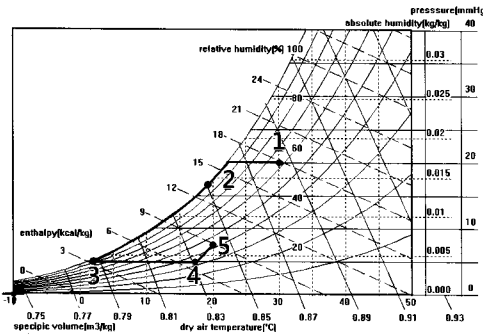


Fig. 4 Operation process demonstrated in psychrometrics chart for bypass type.

아니라 상대습도도 함께 조절하여 조건을 만족시킬 수 있다. 또한 추가적인 보조제가열이 요구되지 않기 때문에 사용조건에 따라서 일반적으로 보조제가열 제어 시스템에 비해 더 높은 에너지 효과를 갖는다. 하지만 바이패스 댐퍼에 의해 최종상태의 온도 뿐만 아니라 비습도도 함께 변화하기 때문에 제어가 어렵다는 단점을 가지고 있다.

3. 성능해석 방법

두 가지 제어방법에 따라 성능해석을 수행하였으며, 성능해석에 사용한 외기조건은 여름철 평균대기 조건으로 온도 31.2°C와 상대습도 85%를 사용하였고, 순환공기 조건은 26°C, 50%로 하였으며 공기 조화장치의 취출조건은 19°C, 50%로 설정하였다. 또한 성능해석에서 고정조건은 면속도 2 m/s, 입구 조건에서 외기의 비를 0.3, 열교환기 유용도 0.5로 하였다.

3.1 보조제가열 방식

우선 보조제가열 방식의 해석방법을 살펴보면, 가장먼저 공조기는 환기를 위해 일정량의 외기를 받아들이기 때문에 실내순환공기와 외기가 섞여서 시스템의 입구조건을 형성한다. 입구조건은 환기를 위한 외부공기의 바이패스량과 관계있으며, 아래의 식과 같이 온도와 비습도를 결정할 수 있다.

$$T_1 = T_r(1 - b_{vent}) + T_0 b_{vent} \quad (1)$$

$$W_1 = W_r(1 - b_{vent}) + W_0 b_{vent} \quad (2)$$

고온, 다습한 공기 1번 상태의 공기가 열교환기를 거쳐 1차 냉각/제습되어 얻어지는 2번의 상태는 열교환기의 유용도의 정의로부터 알 수 있다. 이때 열교환기의 유용도는 속도에 따라서 달라지는 값이며, 이때 본 연구에서는 선행 연구⁽⁹⁾에서 실험한 플라스틱 열교환기의 유용도를 기준으로 해석을 수행하였다. 이로부터 아래의 식을 사용하여 2번 상태의 엔탈피 값을 얻는다.

또한 이때의 엔탈피가 포화상태의 값보다 낮은 경우 상대습도는 100%에 도달하며, 위에서 얻은 엔탈피와 함께 상태를 결정할 수 있다. 그러나 포화상태에 이르지 못한 경우, 열교환기에서는 열교환막을 통한 잠열전달은 없으므로 열교환기의 입구와 출구의 비습도는 같다. 따라서 아래의 식으로부터 공기의 상태를 결정할 수 있다.

$$\epsilon = f(V) = \frac{\dot{m}(h_1 - h_2)}{\dot{m}C_p(T_1 - T_3)} \quad (3)$$

$$\phi_2 = 100\% \quad (h_2 < h_s) \quad (4)$$

$$W_2 = W_1 \quad (h_2 > h_s) \quad (5)$$

보조제가열 방식에서 냉각 코일을 통한 열전달은 실내적정공급 비습도에 의해 결정된다. 따라서 식(6)과 같이 3번 상태의 비습도는 적정조건과 같다. 또한 냉각코일을 통한 냉각/제습 과정은 포화수증기선을 따라서 진행되므로 출구조건은 100%의 상대습도를 가진다.

$$W_3 = W_d \quad (6)$$

$$\phi_3 = 100\% \quad (7)$$

열교환기를 통과하면서 과냉각된 공기가 재가열된 후의 공기상태를 예측하는 방법은 앞의 열교환기를 통한 냉각/제습과정과 유사하다. 즉, 열교환기의 유용도 정의를 통해 식(8)로부터 엔탈피를 알 수 있다. 또한 잠열전달이 없기 때문에 냉각 코일 후단의 비습도와 같은 값을 가진다.

$$\epsilon = f(V) = \frac{\dot{m}(h_4 - h_3)}{\dot{m}C_p(T_1 - T_3)} \quad (8)$$

$$W_4 = W_3 = W_d \quad (9)$$

열교환기를 통한 재가열이 충분치 않을 경우 보조재가열 히터를 사용하여 온도를 실내공급적정 온도까지 추가적으로 상승시킨다. 또한 가열과 제습 요인이 없기 때문에 이때의 비습도는 열교환기를 통과한 후와 같다.

$$T_3 = T_d \quad (10)$$

$$W_3 = W_4 = W_d \quad (11)$$

3.2 바이패스 방식

보조재가열 방식의 해석과정과 달리 바이패스 방식은 장치의 취출점의 온도와 비습도를 실내공급적정조건에 일치시키기 위해 장치내의 공기유동이 통과하는 순서와 해석순서가 동일하지 않다.

우선 제어방식에 따라서 입구조건은 달라지지 않기 때문에, 앞에서 설명한 방법과 동일한 방법으로 환기 정도에 따른 바이패스 비를 선택하여 입구조건을 결정한다.

바이패스 방식을 사용한 시스템에서는 출구상태를 원하는 조건에 일치시키기 위해서 열교환기를 지난 후인 4번 상태가 Fig. 4의 습공기선도상에서 시스템의 입구조건(1번 상태)과 실내공급적정조건(5번 상태)을 연결한 직선위에 위치해야만 하므로 비습도는 다음과 같은 식으로 주어지며 우선 4번 상태의 온도를 가정하여 상태를 결정한다.

$$W_4 = (W_1 - W_5)(T_4 - T_5)/(T_1 - T_5) + W_5 \quad (12)$$

열교환기를 통한 재가열 과정은 온도만 상승되므로, 냉각코일 후단의 상태(3번)는 포화수증기선에 위치하여 상대습도는 100%이며, 4번 상태와 같은 비습도를 갖기 때문에 식(13)과 식(7)로부터 상태를 결정한다.

$$W_4 = W_3 \quad (13)$$

시스템의 열교환기의 유용도는 식(8)과 같이 주어지므로, 반복 계산을 통해 모든 식을 만족시키는 4번 상태를 결정할 수 있다.

다음으로 열교환기의 고온유체 입구조건과 냉각코일 후단의 조건을 모두 알고 있으므로, 보조재가열 제어방식의 해석과 동일한 방법으로 식(3)~식(5)로부터 열교환기를 통한 냉각/제습된(3번) 공기

의 상태를 결정할 수 있다.

보조재가열 방식의 재가열 과정은 온도만 상승되는 것과 달리 시스템 입구의 고온, 다습한 공기를 사용하여 재가열이 이루어지므로 비습도도 함께 상승되며 바이패스 비에 따라서 아래의 식으로부터 최종 상태를 결정할 수 있다.

$$T_5 = T_4(1-b) + T_1b \quad (14)$$

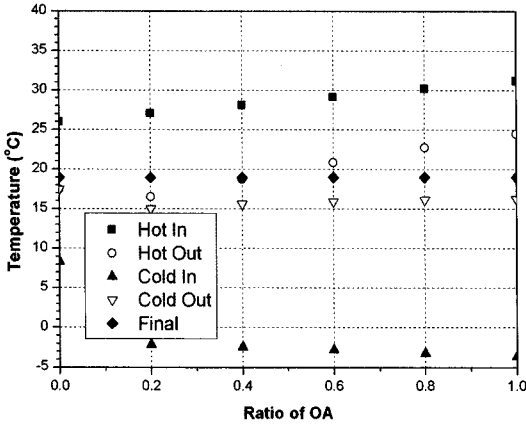
$$W_5 = W_4(1-b) + W_1b \quad (15)$$

4. 해석결과 및 고찰

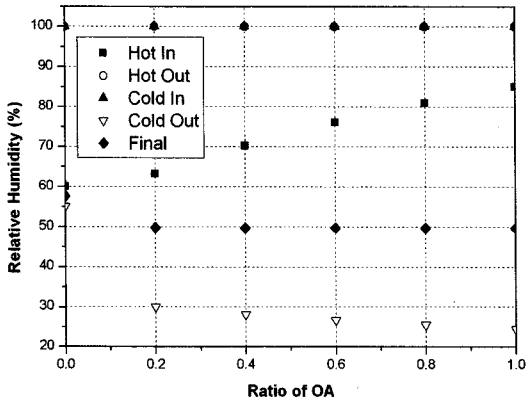
앞서 설명한 해석모델을 사용하여 열교환기를 사용한 냉각/재가열 시스템의 에너지 절약성능에 영향을 줄 수 있는 인자인 열교환기를 통과하는 면속도, 입구조건, 열교환기의 유용도의 변화에 따른 성능특성을 알아보았다. 또한 본 연구에서 제시한 성능시험 방법은 선행 연구에서 플라스틱 열교환기를 사용한 성능시험 장치를 통해 일부분에 대하여 검증하였으며, 따라서 본문에는 기술을 생략하였다.⁽⁹⁾

4.1 보조재가열 방식

시스템의 입구 온습도의 변화에 대한 성능특성을 알아보기 위해 외기의 비를 변화시켰을 때의 온도와 상대습도 분포를 Fig. 5에 나타냈다. 외기의 비율이 높아지면서 시스템 입구를 나타내는 Hot In의 온도와 습도가 높아지는 것을 알 수 있다. 시스템으로 유입된 공기는 열교환기를 통과하면서 냉각과 일부 제습이 진행되어 온도가 낮아지고, 상대습도는 포화수 증기상태인 100%를 나타낸다. 이때, 시스템 입구의 온도와 습도가 높으면 열교환기를 입출구의 온도차이가 작아지는 데, 습공기 중의 비습도가 높아 제습과정에 의한 잠열전달이 많아지기 때문이다. 냉각 코일을 지난 후의 온도는 출구의 설정된 비습도를 얻을 수 있는 값으로 주어지며, 취출조건이 고정되었기 때문에 일정한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 열교환기를 통과하면서 재가열에 의해 온도가 상승되는데, 외기의 비가 높을수록 열교환기의 고온부 온도가 높기 때문에 재가열 후의 온도가 높은 것을 알 수 있으며, 외기조건에 따라 최종 온도가 설정 값보다 다소 높아지는 것으로 나타났다. 상대습도분포를 보면, 고온 유체의 출구가 100%에 이르러 열교환기를 통한 냉각에서 습공기



(a) Temperature



(b) Relative humidity

Fig. 5 Variation of temperature and relative humidity with ratio of outdoor air for auxiliary reheater type.

가 포화상태에 이르러 냉각과 동시에 제습이 진행된다는 것을 알 수 있다. 냉각 코일을 통과하며 포화수증기선을 따른 냉각이 이루어지므로 상대습도는 항상 100%에 근접하게 되며, 제가열이 진행되면서 온도 상승에 의해 상대습도가 설정값 수준으로 감소한다.

시스템 내부의 열전달량과 에너지 절감을 나타내는 Fig. 6에서 열교환기, 냉각 코일, 제가열 코일에서의 열전달량은 다음 식과 같이 주어진다.

$$Q_h = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (16)$$

$$Q_{co} = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (17)$$

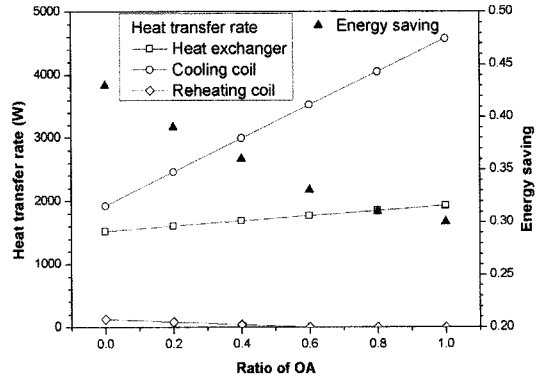


Fig. 6 Variation of heat transfer rate and energy saving with ratio of outdoor air for auxiliary reheater type.

$$Q_c = \dot{m}(h_4 - h_3) \quad (18)$$

$$Q_{re} = \dot{m}(h_5 - h_4) \quad (19)$$

또한 전체 시스템의 열전달량과 플라스틱 열교환기에 의한 열전달의 비를 아래의 식으로 나타낼 수 있으며, 이로부터 열교환기를 사용함으로써 얻을 수 있는 에너지 절감을 알 수 있다.

$$E.S. = \frac{Q_{HE}}{Q_{System}} = \frac{Q_h + Q_c}{Q_h + Q_{co} + Q_c + Q_{re}} \quad (20)$$

열교환기의 저온 유체의 입구 조건은 냉각 코일을 지난 후의 조건으로서 설정된 출구조건에 의해 일정한 값을 갖는다. 따라서 열교환기의 유용도와 저온 유체의 입구온도가 일정하기 때문에 외기의 비가 커져 고온 유체의 입구온도가 높아지면 최대 가능 열전달의 범위가 증가하므로 열교환기를 통한 열전달이 증가한다. 냉각 코일을 통한 열전달은 열교환기의 고온유체 출구온도가 큰 폭으로 작아짐에 따라서 크게 줄어드는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 인해 시스템의 입구조건이 고온 다습할수록 에너지 절감률의 값이 점차 커지는 것을 알 수 있다.

시스템 내부의 열교환기를 통과하는 면속도의 변화에 따른 시스템의 성능변화를 Fig. 7을 통해 살펴보면, 속도가 증가함에 따라서 열교환기의 유용도가 감소하기 때문에 열교환기 입구와 출구의 엔탈피차는 약간 줄어들지만 그 값의 변화는 크지 않은 반면 유량은 속도에 따라 큰 폭으로 증가되므로 열교환기를 통한 열전달은 속도의 증가에 따라서 증

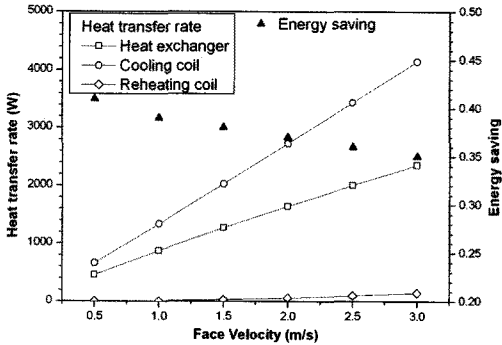


Fig. 7 Variation of heat transfer rate and energy saving with various face velocities for auxiliary reheater type

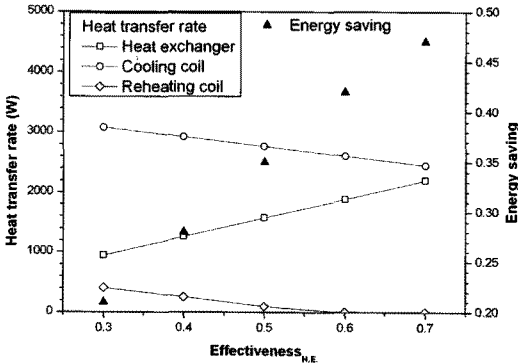


Fig. 8 Variation of heat transfer rate and energy saving with various effectiveness of heat exchanger for auxiliary reheater type.

가하는 경향을 보인다. 또한 냉각 코일의 출구조건은 시스템의 설정조건에 비습도를 얻기 위해서 일정하게 주어지며, 열교환기의 유용도가 변하므로 속도가 증가함에 따라서 코일 입구의 엔탈피가 약간 높아지기 때문에 엔탈피 차이는 증가하게 되므로 냉각코일의 열전달량이 더 큰 증가율을 갖는 것을 알 수 있다.

설정값 이하의 온도에서는 보조 재가열 장치를 통해 온도 상승이 이루어지며, 이때의 열전달은 열교환기와 냉각 코일에 의한 열전달에 비해 매우작고 속도의 증가에 따라 약간씩 증가하는 것으로 나타났다. 속도의 변화에 대한 에너지 절감률의 변화를 보면, 냉각 코일에 비해 열교환기의 열전달량은 속도의 증가에 의해 크게 줄어드는 경향을 보이므로 속도가 증가함에 따라서 에너지 절감률은 점차 감소하게 되며, 면풍속 2 m/s에서의 37% 정도로

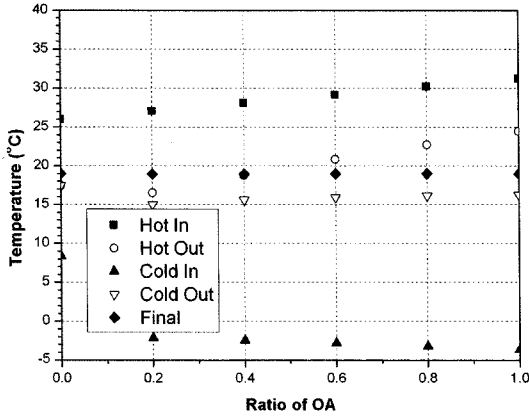
나타났다.

보조 재가열 열원을 사용한 냉각/재가열 장치의 성능에 영향을 미치는 설계변수 중 열교환기의 유용도의 변화에 대한 시스템의 성능변화를 Fig. 8에 나타냈다. 이때, 면풍속 2 m/s에서 열교환기의 유용도는 0.3~0.7의 범위를 해석하였다. 열교환기는 재가열 뿐만 아니라 냉각의 일부를 담당하므로 장치에 필요한 냉각 코일의 용량을 줄일 수 있기 때문에 유용도가 증가됨에 냉각 코일에서의 열전달이 점차 줄어든다는 것을 알 수 있다. 또한 유용도의 증가에 따라서 열교환기를 통한 1차 냉각과 재가열 열전달의 합이 점차 증가한다는 사실을 알 수 있다. 본 연구에서 보인 성능해석 방법을 사용하여 설정한 조건에서 성능해석을 수행하였을 때, 열교환기의 유용도가 0.6에 이르기 이전에는 추가적인 재가열이 필요함을 알 수 있다. 이러한 보조 재가열 장치으로부터의 열전달은 장치의 입구조건 및 연고자하는 설정온도를 조절한다면 달라질 수 있지만, 다른 조건이 고정된다면 보조 재가열 장치의 열전달은 열교환기의 유용도가 높아질수록 낮아진다. 이러한 결과로부터 에너지 절감률은 열교환기의 유용도가 높아질수록 높은 값을 가진다.

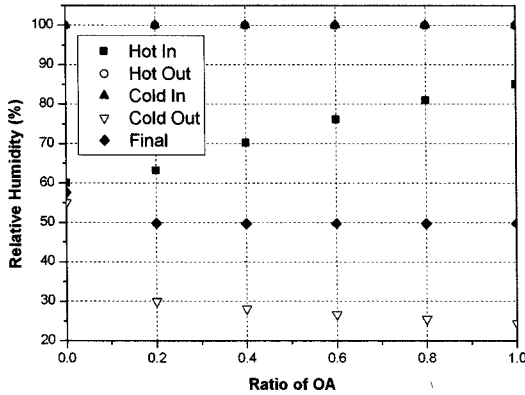
4.2 바이패스 방식

바이패스 제어 시스템의 입구 조건 변화에 대한 온도 및 상대습도 분포를 Fig. 9에 나타냈다. 앞서 설명한 보조재가열 제어 시스템과 비교하여 냉각코일을 지난 후의 온도가 이전 시스템에서는 출구조건에 의하여 결정되어 일정한 값을 갖는 반면에 바이패스 제어 시스템은 적정 조건을 얻기 위해 더 낮은 값을 갖는다. 즉, 입구의 공기가 고온 다습하면 냉각코일을 지난 후의 공기의 상태가 보다 낮은 온도와 절대습도를 갖아야 입구공기와 혼합하여 적절한 설정온도 및 상대습도를 얻을 수 있기 때문이다. Fig. 4의 그림에서 4번 상태를 1번과 5번이 연결된 직선상에 일치시키기 위해서 과냉각을 시키게 되며, 이러한 과냉각은 입구 조건이 고온 다습할수록 더 많이 요구되는 것으로 나타났다. 상대습도의 경우 시스템의 입구는 Fig. 5의 보조재가열 방식과 조건상 동일하며 출구조건은 설정한 값에 정확하게 일치하여 보조재가열 방식에 비해 정확한 취출 상대습도를 조절할 수 있는 것으로 나타났다.

바이패스 제어방식의 에너지 절감률은 냉각 코일



(a) Temperature



(b) Relative humidity

Fig. 9 Variation of temperature and relative humidity distribution with ratio of outdoor air for bypass type.

의 온도를 적정조건보다 더 낮게 제어하기 때문에, 전체 시스템에서 열교환기가 담당하는 열전달량의 비로 정의한 보조재가열 방식과 다르다. 따라서 과냉각으로 적정조건에 해당하는 제습을 한 후 재가열을 통해 온도를 적정조건에 도달시키는 전통적인 방식을 통해 사용되는 에너지와 실제 바이패스 제어 시스템으로 소비되는 에너지의 비로 아래의 식과 같이 에너지 절감을 정의할 수 있다.

$$E.S. = 1 - \frac{Q_{co}}{Q_{common}} = 1 - \frac{Q_{co}}{Q_{cooling} + Q_{reheating}} \quad (21)$$

여기서 하첨자 *co*는 바이패스 제어 시스템의 냉각 코일, *common*은 일반적인 냉각/재가열 장치, *cooling*은 일반장치의 냉각, *reheating*은 일반장치의 재

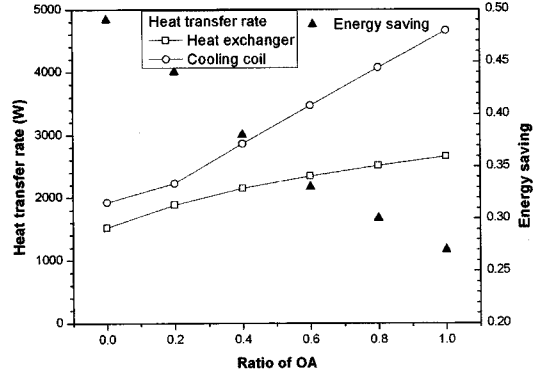


Fig. 10 Variation of heat transfer rate and energy saving with ratio of outdoor air for bypass type.

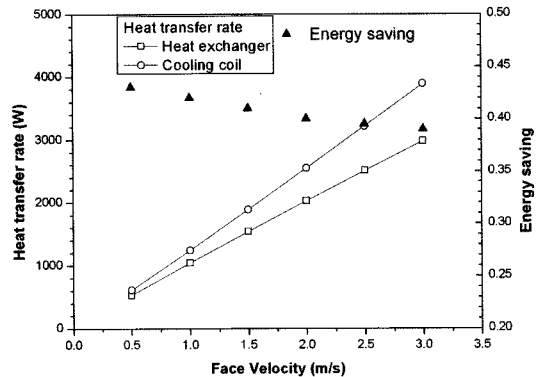


Fig. 11 Variation of heat transfer rate and energy saving with face velocities for bypass type.

가열을 의미한다.

입구 조건의 변화에 대한 열전달량과 에너지 절감을 보여주는 Fig. 10의 결과를 보면, 냉각 코일의 용량은 입구의 온도와 습도가 낮아지면서 감당해야 할 부하가 줄어들면서 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이에 비해서 열교환기를 통한 열전달은 감소폭이 훨씬 작게 줄어들었다. 따라서 시스템의 에너지 절감은 시스템 입구가 저온 저습할수록 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 시스템의 속도 변화에 대한 성능변화를 보여준다. 앞서 보조 재가열 제어 시스템의 해석 결과와 비교했을 때, 전반적인 경향은 비슷하지만 열교환기를 통한 열전달량이 보다 상승된 것을 알 수 있다. Fig. 4의 그림에서 보았을 때, 바이패스 제어 시스템은 Fig. 2의 보조 재가열 시스템에 비해 상대

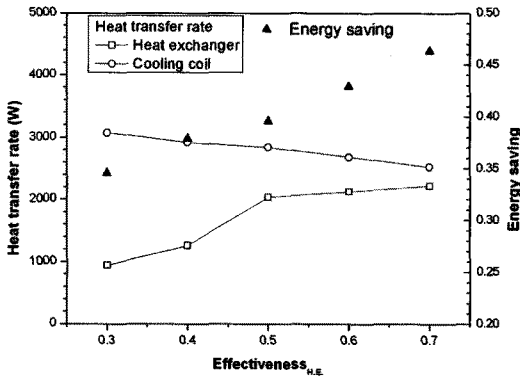


Fig. 12 Variation of heat transfer rate and energy saving with effectiveness of heat exchanger for bypass type.

적으로 과냉각이 진행되므로 열교환기의 저온부 온도가 낮아지기 때문에 열전달량이 커지게 된다. 이러한 결과로부터 에너지 절감의 크기가 다소 증가한 것을 알 수 있으며, 면속도 2m/s에서 시스템 진행과정에서 41% 정도를 열교환기가 담당하는 것으로 나타났다.

열교환기의 유용도 변화에 대한 바이패스 제어 시스템의 열전달량과 에너지 절감의 변화를 Fig. 12에 나타냈다. 면속도 2m/s에서 열교환기의 유용도가 0.5보다 작은 경우에는 Fig. 5에서 보았을 때 열교환기를 통해 재가열된 공기의 상태가 요구조건과 최종상태를 연결한 직선의 왼쪽에 항상 위치하므로 바이패스 제어 시스템으로 원하는 조건을 얻을 수 없다. 따라서 Fig. 4의 보조 재가열 제어 시스템과 같이 비습도를 일치시키는 방법으로 해석하였으며, 이로 인해 최종 조건의 온도가 요구조건보다 낮게 나왔다. 이러한 결과로 인해 열교환기 유용도 0.5이하에서는 Fig. 12의 열전달과 에너지 절감이 다른 경향을 보인다. 열교환기의 유용도가 높아질수록 냉각 코일의 용량은 줄어들고 열교환기를 통한 열전달은 상승되므로 에너지 절감은 상승되는 결과를 보인다.

5. 결 론

여름철 실내온도와 습도를 제어하는 열교환기를 사용한 에너지 절약형 냉각/재가열 시스템을 고안하였으며, 성능변화인자를 변화시켜가면서 에너지 절감성능을 알아보기 위해 해석적인 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공조기의 출구온도와 습도를 제어하기 위해 열교환기를 사용한 냉각/재가열 시스템은 보조재가열 장치를 사용하는 보조재가열 방식과 바이패스 댐퍼를 사용하는 바이패스 방식에서 모두 설정한 출구의 온도와 상대습도를 적절하게 유지하는 것으로 나타났다.

(2) 냉각/재가열 장치에서 입구로 유입되는 공기의 온도와 상대습도가 낮을수록 더 높은 에너지 절감을 나타내며, 사용된 열교환기의 유용도가 높을수록 에너지 절감이 높게 나타났다.

(3) 냉각/재가열 장치에서 열교환기를 통과하는 공기의 면속도가 빠를수록 에너지 절감은 감소한다.

(4) 유용도 0.5의 열교환기를 사용한 경우 면풍속 2m/s에서 보조 재가열 방식은 37%, 바이패스 방식은 41% 정도의 에너지 절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 대학산업기술지원단의 안식연구년교수심층기업지원사업의 일부로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Park, S. T., Kim, Y. I., Kim, J. C., and Chou, S. Y., 2007, Four-season dedicated outdoor air-handling unit, Proc. of SAREK '07 Annual Summer Conference, pp. 917-922.
2. Zhang, L., 2006, Energy performance of independent air dehumidification systems with energy recovery measures, Energy, Vol. 31, No. 8, pp. 1228-1242.
3. Zhang, L., Zhu, D., Deng, X., and Hua, B., 2005, Thermodynamic modeling of a novel air dehumidification system, Energy and Building, Vol. 37, No. 3, pp. 279-286.
4. Chua, K., Chou, S., and Ho, J., 2008, A model to study the effects of different control strategies on space humidity during part-load conditions, Building and Environment, Vol. 43, No. 12, pp. 2074-2089.
5. Yau, Y. and Tucker, A., 2003, The performance study of a wet six-row heat pipe heat exchanger

- operating in tropical buildings, *Int. J. of Energy Research*, Vol. 27, No. 5, pp. 187-202.
6. Yau, Y., 2007, Application of a heat pipe heat exchanger to dehumidification enhancement in a HVAC system for tropical climate—a baseline performance characteristics study, *Int. J. of Thermal Sciences*, Vol. 46, No. 2, pp. 164-171.
 7. Chen, X. and Jiang, Y., 2005, Field study on independent dehumidification air-conditioning system-II : Performance of the whole system, *ASHRAE Trans.*, Vol. 111, No. 2, pp. 277-284.
 8. Kim, B. C., Shin, H. J., and Kim, J. Y., 2002, The characteristics of a bypass air conditioning system for load variation, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp. 240-246.