

< 학술논문 >

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2015.39.9.743>

ISSN 1226-4881(Print)  
2288-5324(Online)

## 간접식 증발냉각장치의 성능예측과 에너지절약에 관한 연구<sup>§</sup>

유성연\* · 김태호\*<sup>†</sup> · 김명호\*

\* 충남대학교 기계설계공학과

### Study on Performance Prediction and Energy Saving of Indirect Evaporative Cooling System

Seong Yeon Yoo\*, Tae Ho Kim\*<sup>†</sup> and Myung Ho Kim\*

\* Dept. of Mechanical Design Engineering, Chungnam Nat'l Univ.,

(Received April 28, 2015 ; Revised June 16, 2015 ; Accepted June 30, 2015)

**Key Words:** Evaporative Cooling(증발냉각), Performance Prediction(성능예측), Energy Saving(에너지 절약), Exhaust Heat Recovery(배기열 회수), Effectiveness(유효도)

**초록:** 본 연구의 목적은 간접식 증발냉각 장치의 성능을 예측하고, 장치를 공기조화기의 배기열 회수에 적용하였을 경우의 에너지 절약효과를 분석하는 것이다. 플라스틱 열교환기를 사용한 간접식 증발냉각 장치의 성능 상관식을 여러가지 조건에서 얻어진 실험 데이터로부터 구하였으며, 이 상관식을 이용하여 환기와 외기의 조건을 변화시켜가면서 장치의 성능변화를 예측하였다. 또한 간접식 증발냉각장치의 배기열 회수에 의한 에너지 절약효과를 우리나라 몇개 도시의 표준기상데이터를 사용하여 분석하였다. 여름철 배기열 회수를 위한 현열냉각장치의 사용율은 평균 44.3%이며 증발냉각장치의 사용율은 96.7% 이다. 증발냉각장치의 배기열 회수에 의한 에너지 절약은 현열냉각장치에 비해서 훨씬 높으며, 서울의 경우 약 3.89 배로 나타났다.

**Abstract:** The purpose of this study is to predict the performance of an indirect evaporative cooling system, and to evaluate its energy saving effect when applied to the exhaust heat recovery system of an air-handling unit. We derive the performance correlation of the indirect evaporative cooling system using a plastic heat exchanger based on experimental data obtained in various conditions. We predict the variations in the performance of the system for various return and outdoor air conditioning systems using the obtained correlation. We also analyze the energy saving of the system realized by the exhaust heat recovery using the typical meteorological data for several cities in Korea. The average utilization rate of the sensible cooling system for the exhaust heat recovery is 44.3% during summer, while that of the evaporative cooling system is 96.7%. The energy saving of the evaporative cooling system is much higher compared to the sensible cooling system, and was about 3.89 times the value obtained in Seoul.

- 기호설명 -

a, b, c : 상관식 지수  
C : 상관식 상수  
L/G : 액기비  
Re : Reynolds 수  
T : 온도[°C]

그리스 문자

$\epsilon$  : 습구 유효도

하첨자

db : 건구온도  
EA : 배기  
OA : 외기  
RA : 환기  
SA : 급기  
wb : 습구온도

<sup>§</sup> 이 논문은 2015년도 대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회(2015. 4. 22-24., 부산파라다이스호텔) 발표논문임

<sup>†</sup> Corresponding Author, [thkim2845@naver.com](mailto:thkim2845@naver.com)

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

## 1. 서 론

한국에너지기술평가원에 의하면 건물에서의 에너지 소비를 최소화하는 건물에너지 효율화 분야의 시장은 정부의 에너지 관리 강화 정책 및 세계 시장의 추세에 따라 꾸준히 성장하여 2020년에는 약 5 조원의 규모를 가질 것으로 추정되고 있다. 건물에너지 절약은 건물구조체(외피, 창호 등)의 단열 강화, 냉난방시스템의 고효율화, 시스템의 최적제어 등을 통해서 달성할 수 있으며, 그 중에서 냉방시스템은 2012년을 기준으로 전체 시장의 약 40%를 점유하고 있고 우리나라의 핵심 수출분야이기도 하다.<sup>(1)</sup>

기존의 건물 냉방에는 안정성이 좋은 증기 압축 냉동시스템이 오랫동안 사용되어 왔지만 압축기가동을 위해 높은 전력이 요구되고, 냉매를 사용함에 따라 환경적인 면에서 적절하지 못하다는 단점을 가지고 있다.<sup>(2)</sup> 대안으로 흡수식 냉동시스템 및 제습시스템이 개발되었지만 높은 가격과 복잡한 시스템, 낮은 열성능 등의 단점 때문에 제한적으로 사용되고 있다.<sup>(3)</sup>

반면 증발냉각을 이용한 냉각시스템은 단순한 구조를 가지고 있으며 주위 공기의 자연에너지를 이용한다는 이점 때문에 2030년경까지 세계 공기조화 분야의 20%의 시장을 점유할 것으로 예상되고 있다.<sup>(4)</sup> 하지만 증발냉각장치의 성능은 외기조건에 크게 의존하므로 여름철에 고온다습한 국내에서는 증발냉각의 성능이 낮아지는 문제점이 있다. 이러한 증발냉각의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 제습을 이용한 증발냉각 효과 극대화화 재생증발을 이용한 공기의 추가적인 냉각 등이 있다.<sup>(5,6)</sup> 본 연구에서는 습도의 증가없이 냉각이 가능한 간접식 증발냉각을 기존의 건물 배기열 회수장치에 적용하는 연구를 수행하였다. 판형 열교환기나 히트파이프를 사용한 기존의 배기열 회수<sup>(7)</sup>에 증발냉각을 접목하면 더욱 효과적인 배기열 회수가 가능할 것이라 여겨진다.

건물 환기의 배기열을 회수하기 위해 증발냉각을 적용하고 평가한 기존의 국내연구를 보면 정재연 등<sup>(8)</sup>은 증발잠열을 이용한 열교환 환기시스템을 실험하여 외기온습도에 따른 급기온습도 예측식을 얻고, 이를 이용하여 에너지 절감량을 특정 주택에 대해 시뮬레이션을 수행한 바가 있으나 외기측에 증발냉각을 적용하는 형태이다. 장영수 등<sup>(9)</sup>은 재생증발식 냉방기를 환기 냉방시스템에 적용하여 기존 배기열 회수장치에 비해 많은 에너지를 절감할 수 있음을 보였으나, 재생증발의 원리에

따라 많은 풍량이 요구되어 송풍기 동력이 상승하는 단점이 있다.

본 연구의 목적은 공기조화기의 배기열 회수에 사용되던 기존의 플라스틱 판형 열교환기에 간접식 증발냉각을 접목했을 때 배기열 회수에 의한 에너지 절약효과를 평가하는 것이다. 이를 위하여 증발냉각장치의 성능을 나타내는 유용도를 물분무량에 대한 공기유량의 비와 유동하는 공기온도의 함수로 제안하였다.

## 2. 간접식 증발냉각장치의 성능 모델링

### 2.1 간접식 증발냉각장치의 성능실험

간접식 증발냉각장치의 성능을 평가하기 위해 Fig. 1과 같은 성능실험장치를 구성하였으며, 여기서 SA(Supply Air)는 급기, EA(Exhaust Air)는 배기, OA(Outdoor Air)는 외기, RA(Return Air)는 환기를 나타낸다. 물과 접촉하지 않는 공기가 흐르는 1차측 유로에는 외기(OA)가 유입되어 급기(SA)를 통해 실내에 공급된다. 반면 물이 공급되어 증발이 일어나는 2차측 유로에는 공기가 환기(RA)로부터 배기(EA)로 유동한다. 외기와 환기는 대향류를 이루도록 하였으며, 두 유로는 현열 열교환기에 의해 분리되어 있어 물질전달은 일어나지 않는다. 외기는 항온조를 통해 온도조절이 가능하도록 하였으며, 외기와 환기의 유동은 터보팬으로 발생시키고 유량은 인터버로 조절하였다. 물은 노즐을 통해 열교환기 상부의 배기측에 분무되어 열교환기를 따라 흐르며 증발되지 않은 물은 환기측에 고여 장치 하단에 놓인 수조로 유입되고 다시 펌프를 통해 노즐로 공급되어 재순환하도록 하였다.

T-type의 열전대를 사용하여 각 지점의 건구온도와 습구온도를 측정하였으며, 공기의 유량은 차압식 유량계인 노즐의 전후단의 차압을 측정하여 산출하였다. 측정된 온습도 자료는 자료획득장치를 통해 컴퓨터에 저장되도록 하였고, 노즐의 분무량은 일정시간동안 비커에 담아 측정하였다. 간접식 증발냉각장치의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 열교환기의 효율과 물의 분무상태이다. 본 연구에서 사용한 열교환기는 0.4 mm 두께의 플라스틱 재질로, 산과 산의 간격이 6 mm 인 물결 모양의 유로를 가짐으로써 열전달이 촉진되도록 하는 특징을 가지고 있으며 전열판의 형상은 육각형이다.

성능실험을 위해 터보팬과 펌프를 작동시키고

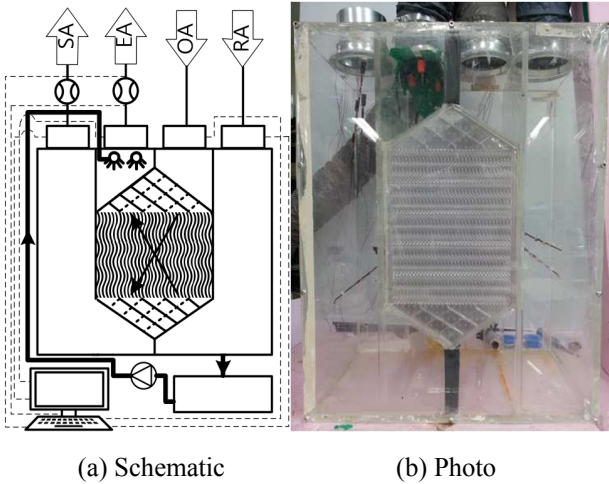


Fig. 1 Experimental apparatus for evaporative cooling

인버터와 밸브를 통해 유량을 조정한다. 이후 항온조를 설정온도가 되도록 가동시키고 각 측정지점의 온도가 정상상태에 도달할 때까지 기다린다. 유용도 산출을 위해 열교환기 전후의 4 개 지점에서 각각 2 개의 건구온도와 3 개의 습구온도를 5 초 간격으로 계측하여 각 지점의 건구온도와 습구온도를 각각 산술평균하였다. 공기유량, 물의 분무량, 외기온도 등을 여러가지로 변화시켜가면서 실험을 수행하였다.

2.2 간접식 증발냉각장치의 성능식

간접식 증발냉각장치의 성능은 습구 유용도 (Wet-bulb effectiveness)로 정의하며, 이는 식 (1)에서 정의된 바와 같이 최대 얻을 수 있는 온도감소량과 실제로 얻어지는 온도감소량의 비를 의미한다. 이때 간접식 증발냉각장치로 얻을 수 있는 최대 냉각온도는 2 차측 공기의 습구온도이다.

$$\varepsilon = \frac{T_{OA,db} - T_{SA,db}}{T_{OA,db} - T_{RA,wb}} \quad (1)$$

다양한 공기 및 물 유량의 조건하에서 간접식 증발냉각장치의 성능을 측정했던 사전 연구를 통해 식 (2)와 같은 유용도 상관식을 제안한 바 있으며,<sup>(10)</sup> 실험값과 상관식으로 얻은 값의 오차는 Fig. 2 에 보인 바와 같이 3% 미만임을 알 수 있었다. 여기서 Re 수를 위한 특성길이는 열교환기 단일 유로의 높이의 2 배의 값을 가지며, L/G 는 분무되는 물과 공기의 질량유량 비로 수공비라 명명한다.

$$\varepsilon = 1.0238 Re^{-0.0315} (L/G)^{0.0473} \quad (2)$$

Table 1 Experimental conditions for correlation

Variables	Unit	Experimental conditions			
Air flow rate	m <sup>3</sup> /h	50	100	150	200
Water flow rate	m <sup>3</sup> /h	0.006	0.012	0.015	0.021
OA(temperature)	°C	27 ~ 39			
RA(temperature)	°C	17 ~ 25			
RA(humidity)	%	40 ~ 90			

위에서 제안된 유용도 상관식은 외기온도와 환기온도를 일정하게 유지시킨 후 측정된 유용도를 가지고 완성한 식이다. 이후 같은 공기유량과 물 유량에서 외기온도와 환기온도를 변화시켜 가면서 실험을 반복한 결과 유용도가 변하는 현상이 관찰되었다. 외기온도와 환기온도가 유용도에 미치는 영향을 관찰하기 위해서 공기유량과 물 분무량을 일정하게 설정한 후, 항온조를 사용하여 외기온도를 바꾸어가며 장시간 실험을 수행하였다. 이때 환기온도는 물리적으로 조절하지는 않았지만 환기가 비공조공간으로부터 유입되도록 하여 실내상태에 따라 변화도록 하였으며 상관식을 도출하는데 사용한 실험조건은 Table 1 과 같다.

간접식 증발냉각의 기본적인 이론을 정립한 Camargo 와 Ebinuma<sup>(11)</sup> 는 간접식 증발냉각의 유용도가 1 차측과 2 차측 유량, 장치 내의 물 온도, 환기 및 외기상태의 영향을 받는 것으로 보고하였으나 이들 변수에 대한 상관식을 제시하지는 못했다. 본 연구에서는 간접식 증발냉각장치의 일종인 밀폐형 냉각탑의 성능이 유체의 액기비와 지수적인 관계를 갖는다는 것을 참고하고,<sup>(12)</sup> 성능에 영향을 미치는 것으로 분석된 환기와 외기온도의 함수로 성능 상관식을 제안하였다. 실험데이터를 분석한 결과 유용도는 외기온도와 환기온도의 차에 따라 변하는 것을 확인하였고, 외기온도와 환기온도의 차를 두 온도의 평균값으로 무차원화하여 식 (3)과 같은 유용도 상관식을 도출하였다. 이때 상관식의 지수와 상수는 Matlab 의 비구속 비선형 최적화 함수인 fminsearch 함수를 사용하여 구하였다. 제안된 상관식을 통해 산출한 유용도와 실험에서 얻은 유용도를 비교한 결과를 Fig. 3 에 나타내었으며, 대부분의 데이터가 5% 오차 내에 있음을 볼 수 있다.

$$\varepsilon = C_1 Re^a \left( \frac{L}{G} \right)^b \left( \frac{T_{OA} - T_{RA}}{(T_{OA} + T_{RA})/2} \right)^c + C_2 \quad (3)$$

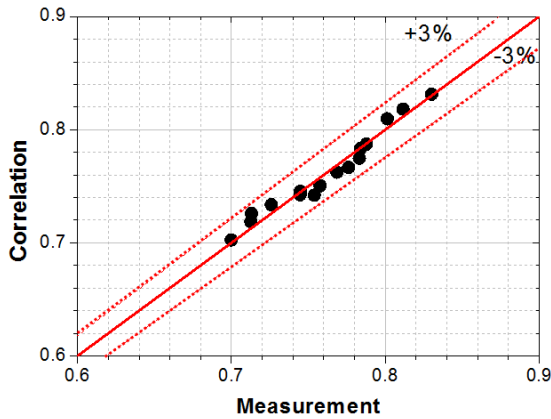


Fig. 2 Comparison of measured effectiveness with those of correlation at various L/G

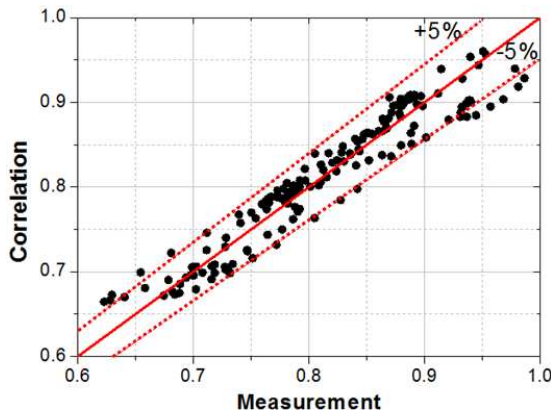


Fig. 3 Comparison of measured effectiveness with those of correlation at various temperatures

### 3. 간접식 증발냉각장치의 성능예측

간접식 증발냉각장치를 공기조화기의 배기열 회수에 적용하였을 경우의 성능을 예측하기 위해서 성능에 영향을 미치는 환기의 온도/습도와 외기의 온도를 변화시켜가면서 장치의 유용도와 급기온도의 변화를 고찰하였다. 이때 공기의 유량과 분무수의 유량은 각각 150CM와 0.35lpm이며, 수공비(L/G)는 0.1173이다.

Fig. 4는 외기온도와 환기습도를 각각 33℃, 50%로 설정하고, 환기온도를 24℃부터 28℃까지 1℃ 간격으로 증가시켰을 때 장치의 유용도와 얻어지는 급기온도를 비교한 결과이다. 환기온도가 높아질수록 유용도는 낮아지고 급기온도는 높아지는 경향을 보이고 있다. 분석구간에서 환기온도가 1℃ 증가함에 따라 유용도는 평균 0.027이 감소하였고, 급기온도는 0.9℃가 증가하였다.

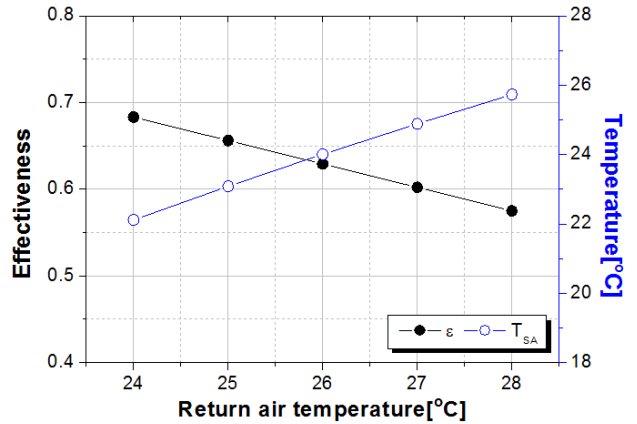


Fig. 4 Variation of effectiveness and supply air temperature depending on return air temperature

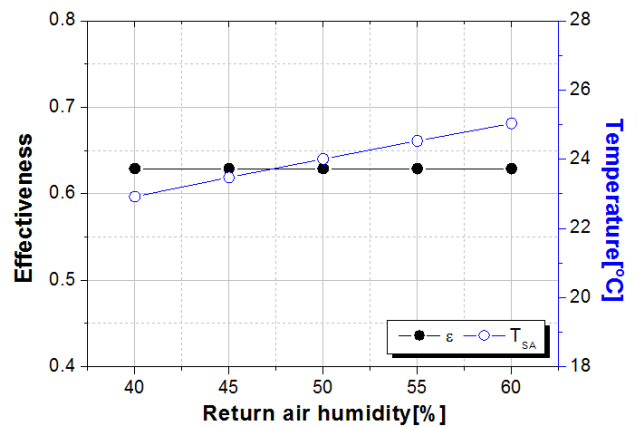


Fig. 5 Variation of effectiveness and supply air temperature depending on return air relative humidity

외기온도와 환기온도를 각각 33℃와 26℃를 유지하면서 환기습도를 40%에서 60%까지 5% 간격으로 증가시켰을 때의 성능변화를 나타낸 결과는 Fig. 5와 같다. 앞서의 유용도 관계식에 따라 환기습도가 유용도에 미치는 영향은 없으나 증발냉각에서 외기가 최대로 냉각될 수 있는 온도인 환기의 습구온도가 습도에 비례하여 높아지므로 급기온도도 습도에 비례하여 높아진다. 환기습도가 40%에서 60%로 증가하는 동안 급기온도는 22.9℃에서 25.0℃로 증가하였으며, 분석구간에서 습도가 10% 증가함에 따라 급기온도는 약 1℃ 증가하였다.

외기온도 변화에 따른 장치의 성능변화를 Fig. 6에 나타내었으며, 이때 외기온도는 31℃에서 35℃까지 1℃간격으로 변화시켰고, 환기의 온도와 습도는 각각 26℃와 50%로 설정하였다. 외기온도가 증가함에 따라 유용도는 높아지는 경향을 보이고 있으며, 이에 반하여 급기온도는 거의 일정한 상태로 유지됨을 알 수 있다. 이는 외기온도가 높아

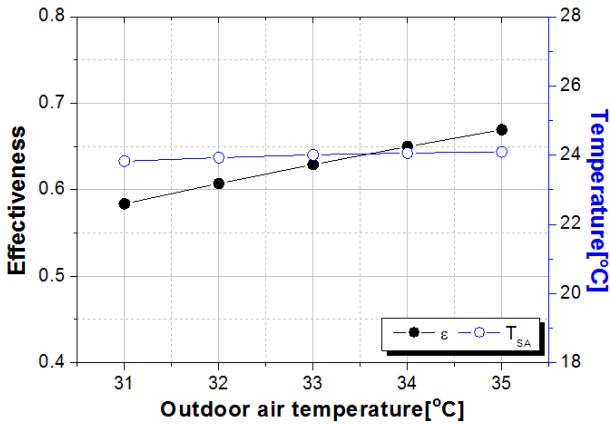


Fig. 6 Variation of effectiveness and supply air temperature depending on outdoor air temperature

짐에 따라 증가해야 할 급기온도 상승치가 장치의 효율 증가로 상쇄되었기 때문이다. 이로 인해 외기온도가 4°C 상승할 때 급기온도는 단지 0.3°C 만큼 상승하였으며, 따라서 여름철 외기온도가 높은 경우에도 장치를 통해 약 24°C의 일정한 급기를 공급할 수 있을 것이라 예상된다. 또한 외기온도가 낮은 경우에는 24°C 이하의 낮은 온도를 가지는 급기의 공급이 가능하여 여름철 상단기간 동안은 증발냉각장치만으로 실내 냉방부하를 감당할 수 있을 것으로 예상된다.

간접식 증발냉각장치의 성능을 개선하기 위해서는 적정한 열교환 면적에 대한 검토, 완전한 대항류 유동이 되기 위한 열교환기의 설계, 일정한 표면 젖음성을 유지하기 위한 물의 분무방법 등이 필요하며 이에 대한 추가적인 연구를 계속 수행할 예정이다.<sup>(11)</sup>

#### 4. 간접식 증발냉각장치의 에너지절약

간접식 증발냉각의 에너지절약 효과를 분석하기 위해 장치를 공기조화기의 배기열 회수에 적용하였을 경우 배기열 회수를 통해 얻을 수 있는 외기의 냉각열량을 분석하였다. 배기열 회수를 통한 외기의 냉각열량은 냉각코일에서 담당해야 할 부하의 절감량을 의미한다. 증발냉각을 통한 배기열 회수를 현열냉각에 의한 배기열 회수와 비교하였으며, 이때 공기와 분무수의 유량은 앞서의 성능 예측 조건과 동일하게 150CMH, 0.35lpm 로 각각 설정하였고, 실내의 온도와 습도는 각각 26°C, 50%로 가정하였다.

배기열 회수를 통한 에너지 절감량을 비교하기 전에 각 배기열 회수장치의 이용가능 시간을 분석

Table 2 Comparison of utilization rate of each heat recovery system during summer

Location	Seoul	Inchon	Gangneung
Sensible	47.2%	35.6%	37.3%
Evaporative	97.0%	95.8%	92.0%
Location	Gwangju	Mokpo	Ulsan
Sensible	57.0%	45.3%	43.4%
Evaporative	98.7%	99.3%	97.5%

하였다. 현열 열교환기를 통해 최대 냉각할 수 있는 온도는 열교환기에 유입되는 공기의 최저온도이며, 따라서 현열냉각으로 얻을 수 있는 최대 냉각온도는 실내측 온도인 26°C 이다. 반면, 증발냉각을 통해 얻을 수 있는 최대 냉각온도는 실내측 공기가 증발로 인해 수분이 완전히 포화된 상태를 나타내는 습구온도 18.7°C 이다. 그러므로 외기온도가 26°C 이하이면 현열냉각을 통한 배기열 회수는 불가능한 반면, 증발냉각을 이용하면 외기온도가 18.7°C 이상이면 배기열 회수가 가능하다.

Table 2는 TRANSYS프로그램에서 제공하는 TMY2 표준기상데이터를 이용하여 냉방기간(6~9월) 중에 공조시간(9~18시) 동안 배기열을 회수할 수 있는 시간의 비율을 각 지역별로 나타낸 것으로, TMY2는 해당 지역의 30년간 기상데이터를 분석하여 가장 대표되는 월을 조합한 1년간의 기상데이터이다. 남부지역으로 갈수록 배기열을 회수할 수 있는 시간이 늘어나는 경향을 보이고 있으며, 서울의 경우 현열냉각으로 회수할 수 있는 시간의 비율은 47.2%인 반면, 증발냉각을 이용할 수 있는 시간 비율은 97.0%이다. 배기열 회수가 가능한 지역 평균 시간비율은 현열냉각의 경우는 44.3%이며, 증발냉각의 경우는 96.7%로 현열냉각의 거의 두 배가 된다. 따라서 증발냉각을 이용하면 여름철 대부분의 시간 동안 배기열 회수가 가능함을 알 수 있다.

Fig. 7은 서울지역 TMY2 표준기상데이터를 이용하여 7월 냉방시간 동안 현열냉각과 증발냉각을 이용한 경우의 시간별 배기열 회수량을 비교한 결과이다. 현열냉각의 경우는 한여름인 7월 중에도 외기온도가 낮아 배기열 회수가 불가능한 시간이 다수 있음을 알 수 있다. 하지만 증발냉각을 이용하면 7월 동안 모든 시간에 배기열 회수가 가능하였으며, 현열을 통한 회수율이 큰 시간에도 증발냉각을 이용하면 약 2배의 배기열을 회수할 수 있음을 볼 수 있다.

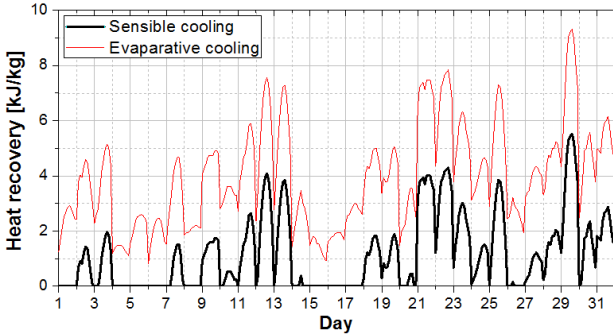


Fig. 7 Comparison of hourly recovered energy of each heat recovery system in July

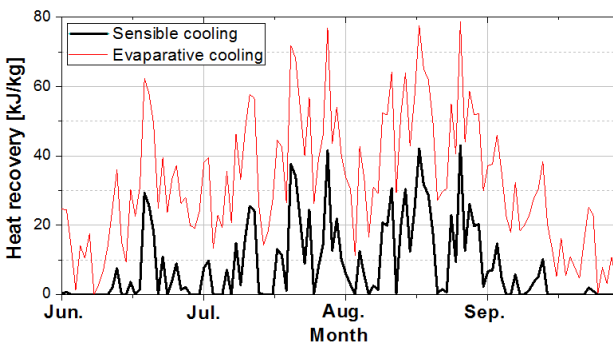


Fig. 8 Comparison of daily recovered energy of each heat recovery system during Summer

Fig. 8 은 서울지역 여름철 냉방시간 동안의 일별 총 배기열 회수량을 나타낸 것이다. 앞선 분석과 유사하게 현열냉각으로는 배기열 회수가 불가능한 날이 다수 존재하며, 환절기인 6 월 초와 9 월말은 외기온도가 낮아 배기열 회수가 불가능하다. 그러나 증발냉각을 이용한 배기열 회수는 환절기에 가까울수록 회수량이 낮아지는 경향을 보이지만 냉방기간 내내 상당량의 배기 에너지를 회수할 수 있음을 알 수 있다. 전 분석구간에서 증발냉각을 이용한 배기열 회수는 현열냉각으로 회수할 경우에 비해 최저 1.83 배의 배기열 회수량을 갖는다.

서울지역의 매월 배기열 회수량을 비교한 결과는 Table 3 과 같다. 6 월과 9 월은 현열 열교환을 통해 회수가능한 열량이 매우 적음에 따라 증발냉각을 통한 회수량이 각각 6.22 배와 9.21 배로 높게 나타났으며, 현열회수의 이용성이 증가하는 한 여름의 경우인 7, 8 월에는 각각 3.43 배와 2.95 배의 회수량을 보였다. 냉방기간 전체로 보면 증발냉각을 이용하여 3.89 배의 높은 회수량을 가져 상당한 냉방에너지를 절감할 수 있는 것을 알 수 있다.

동일한 방법으로 여름철 냉방기간동안, 국내 주요 도시별 배기열 회수량을 비교하면 Table 4 와 같다. 남부지역일수록 외기온도가 높아 배기열 회수량이 많아지는 것을 알 수 있으며, 특히 인천에

Table 3 Comparison of monthly recovered energy of heat recovery system during summer in Seoul

Month	Amount of heat recovery[kJ/kg]		Heat recovery ratio
	Sensible Cooling	Evaporative cooling	
Jun.	116	720	1 : 6.22
Jul.	359	1230	1 : 3.43
Aug.	476	1405	1 : 2.95
Sep.	64	590	1 : 9.21
<b>Sum.</b>	<b>1015</b>	<b>3944</b>	<b>1 : 3.89</b>

Table 4 Comparison of total recovered energy of each heat recovery system during summer

City	Amount of heat recovery[kJ/kg]		Heat recovery ratio
	Sensible cooling	Evaporative cooling	
Seoul	1015	3944	1 : 3.89
Inchon	681	3360	1 : 4.93
Gangneung	1041	3511	1 : 3.37
Gwangju	1506	4728	1 : 3.14
Mokpo	1036	4029	1 : 3.89
Ulsan	1187	3988	1 : 3.36
<b>Avg.</b>	<b>1078</b>	<b>3927</b>	<b>1 : 3.64</b>

서는 상대적으로 낮은 회수량을 보이고 있고, 광주에서는 현열냉각의 배기열 회수량이 평균보다 1.5 배나 높다. 지역별로 현열냉각 대비 증발냉각을 통해 회수 가능한 배기열의 비율은 인천을 제외하고는 큰 차이가 없으며, 국내 주요 도시 평균 값은 3.64 이다.

### 5. 결론

(1) 간접식 증발냉각장치의 성능은 공기의 Re 수, 수공비, 외기와 환기의 온도차에 따라 달라지며 실험데이터에 근거하여 다음과 같은 유용도 상관식을 얻었다.

$$\varepsilon = C_1 \text{Re}^a \left(\frac{L}{G}\right)^b \left(\frac{T_{OA} - T_{RA}}{(T_{OA} + T_{RA})/2}\right)^c + C_2$$

(2) 환기와 외기조건에 따른 증발냉각장치의 유용도 변화를 분석한 결과 환기온도가 증가할수록, 외기온도가 감소할수록 유용도가 낮아지며, 환기의 습도는 유용도에 영향을 미치지 않는다.

(3) 증발냉각장치를 통해 얻을 수 있는 급기온도는 환기의 온도와 습도가 낮을수록 낮아지며, 외기온도가 높아져도 장치의 성능이 개선되어 급기온도는 거의 일정하다.

(4) 국내 몇 개 도시의 표준기상데이터를 사용하여 분석한 결과 배기열 회수가 가능한 지역 평

균 시간비율은 현열냉각의 경우는 44.3%이며, 증발냉각의 경우는 96.7%로 현열냉각의 거의 두배가 된다.

(5) 서울지역의 경우 증발냉각에 의한 일별 배기열 회수량은 현열냉각에 비해 최저 1.83 배이며, 여름철 냉방기간 전체로 보면 약 3.89 배이다. 또한 전국의 몇 개 주요도시에 대해 분석한 결과 증발냉각은 현열냉각에 비해 평균 3.64 배의 배기열 회수가 가능하였다.

### 후 기

본 연구는 충남대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌 (References)

- (1) Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, 2014, Analysis and Outlook Report of Building Energy Efficiency.
- (2) Zhang, L. Z., 2006, "Energy Performance of Independent Air Dehumidification Systems with Energy Recovery Measures," *Energy*, Vol. 31, pp. 1228~1242.
- (3) Daou, K., Wang, R. Z. and Xia, Z. Z., 2006, "Desiccant Cooling Air Conditioning: A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 10, pp. 55~77.
- (4) Duan, Z. Y., Zhan, C. H., Zhang, X. X., Mustafa, M., Zhao, X. D., Alimohammadisagvand, B. and Hasan, A., 2012, "Indirect Evaporative Cooling: Past, Present and Future Potentials," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp. 6823~6850.
- (5) Kim, M. H., Kim, J. H., Kwon, O. H., Seok, Y. J. and Jeong, J. W., 2010, "Energy Saving Potentials of an 100% Outdoor Air System Integrated with Indirect and Direct Evaporative Coolers," *Proceedings of Architectural institute of Korea*, Vol. 26, No. 4, pp. 313~320.
- (6) Lee, J. W., Lee, D. Y. and Kang, B. H., 2004, "Cycle Simulation of a Desiccant Cooling System with a Regenerative Evaporative Cooler," *Proceedings of Society Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol. 16, No. 6, pp. 566~573.
- (7) Mardiana-Idayu, A. and Riffat, S. B., 2012, "Review on Heat Recovery Technologies for Building Applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp. 1241~1255.
- (8) Jung, S. Y. and Park, J. S., 2008, "Energy Performance of Latent Heat Exchange Ventilation System," *Proceedings of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 1~7.
- (9) Chang, Y. S. and Lee, D. Y., 2011, "Performance Simulation of a Ventilation System Adopting a Regenerative Evaporative Cooler," *Proceedings of Society Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol. 23, No. 1, pp. 8~15.
- (10) Yoo, S. Y., Kim, T. H. and Kim, M. H., 2015, "Performance of Heat Recovery System Using Evaporative Cooling," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 39, No. 1, pp. 37~43.
- (11) Stoitchkov, N. J. and Dimitrov, G. I., "Effectiveness of Crossflow Plate Heat Exchanger for Indirect Evaporative Cooling: Efficacité des échangeurs Thermiques à Plaques, à Courants Croisés Pour Refroidissement Indirect évaporatif," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 21, pp. 463~471.