

증발냉방 및 제습냉방 기술 및 동향

증발냉방 및 Desiccant를 적용한 냉방시스템의 기술 및 동향을 소개하고자 한다.

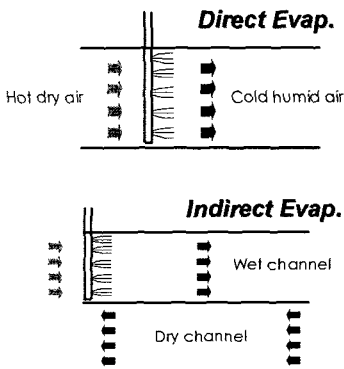
송 찬 호

LG전자 DA 연구소 (song1018@lge.com)

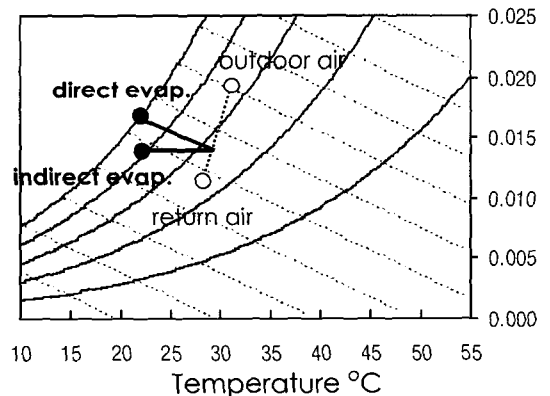
증발냉방 시스템의 개념

물의 증발 현상을 이용한 증발식 냉각방법은 냉각탑(cooling tower), 증발 응축기(evaporative condenser), 증발식 냉각기(evaporative cooler) 등에서 이용되어져 왔다. 물의 증발잠열을 이용하여 직접 접촉 또는 간접 접촉으로 고온의 유체를 냉각하는 방법은 현열만을 이용하는 방식에 비하여 열 전달 성능을 수배에서 수십 배까지 향상시킬 수 있다. 증발식 냉각방법을 공기 냉각에 적용한 증발냉방 시스템은 증기 압축식 냉방시스템에 비하여 적은 에너지로 냉방공급이 가능하여 에너지 절약적일뿐만 아니라 환경 친화적이며, 넓은 공간을 냉방

하는 데 유리하다. 그림 1은 직접 접촉 냉각방식과 간접 접촉 냉각방식을 나타낸 개략도이고, 그림 2에 공기의 진행현상을 습공기 선도에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 직접 접촉 방식은 공기에 물을 분사시켜 물의 증발로 인하여 공기의 온도가 하강하고 동시에 수분을 흡수한 공기는 습도가 증가하게 된다. 이에 비하여, 간접 접촉 방식은 공기의 습채널에서 온도가 낮아진 공기가 건채널의 공기와 열교환하여 건채널의 공기의 온도를 낮추는 방식으로 절대습도의 변화없이 공기를 냉각할 수 있다. 이러한 증발 냉각방식의 냉방은 에너지 투입이 거의 없이 냉방을 할 수 있는 장점이 있으나 그림 2와 같이 공기의 온도를 공기의 습구온도까지 밖에 냉각



[그림 1] 증발식 냉각방식의 개략도



[그림 2] 증발냉각기에서의 주 유동 공기의 진행경로



할 수 없는 단점이 있다. 여름철 습기가 많은 우리나라와 같은 지역에서는 불리한 방식이나 제습제(desiccant)를 적용하면 비교적 습한 지역에서도 증발냉방이 가능하다.

제습제를 적용한 증발냉방 시스템

그림 3은 제습 증발냉방 시스템의 구조 및 습공기 선도를 나타낸 그림이다. 외기(+ return air)가 제습제를 통과하면서 습공기가 제습되어 건조해지면서 수증기의 응축열로 인해 공기의 온도가 상승한다. 이후 현열교환을 통하여 절대습도가 일정한 상태에서 공기의 온도가 낮아지고, 증발냉각에 의하여 공기가 냉각되는 과정을 거치게 된다. 이와 같은 방식은 제습 후 다시 가습하여 냉각하는 과정으로 인하여 제습기의 제습부하가 공조공간에서 발생하는 잠열부하보다 상당히 크다. 이와 달리 공급공기의 습도 증가 없이 증발 냉각효과를 얻을 수 있는 재생형 증발식 냉각기를 적용한 제습 냉방시스템은 외기조건 변화에 따른 시스템의 성능변화가 상대적으로 작으며, 기존의 방식에 비해 성능이 우수한 것으로 보고되고 있다.^(1,2) 재생형 증발식 냉각기는 건채널과 습채널의 반복적인 구조로 건채널을 통과한 공기의 일부가 습채널을 통과하도록 구성되고, 습채널에서 발생한 물의 증발로 인하여 건채널로부터 열을 흡수하는 과정을 갖는다. 그러므로, 건채널을 통과하는 공기는 습도 증가 없이 최대 이슬점온도까지 냉각될 수 있다.^(3,4)

일반적으로 Desiccant를 이용한 제습 공조 시스템

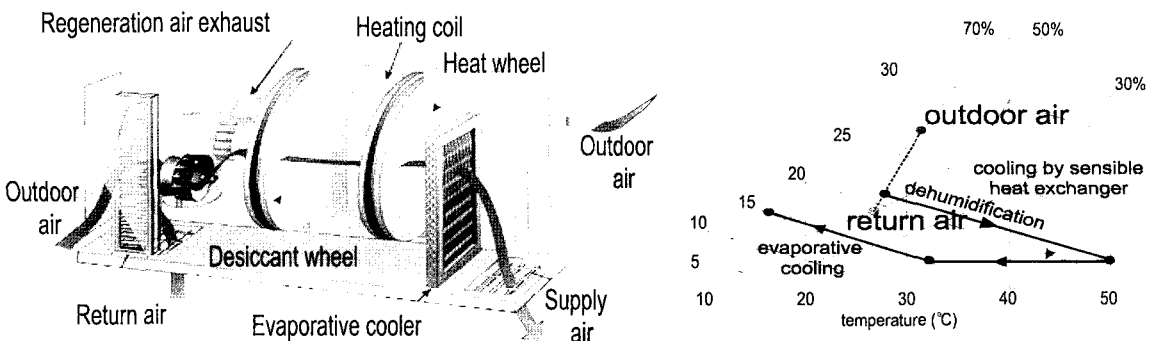
은 충분한 환기량에서 공기 중의 잠열 처리를 위한 대용량의 공조기를 대신하는 효과적인 방법으로 등장하였다. 공기 중의 수분을 응축이 아니라 직접 흡습함에 의해 제거하기 때문에 상온에서도 제습이 가능하고, 잠열 처리가 용이하여 충분한 외기량을 경제적으로 확보 가능하다. 공조기의 용량을 크게 할 필요가 없으며, 실내 공기질 향상을 도모할 수 있다.

제습 냉방시스템의 일반적인 특징은 다음과 같다.

- 비교적 저온열원으로든 간단하게 냉방 가능
- 기계적 구동부분이 없으므로 저소음, 저진동
- 냉동기의 용량이 적어도 되므로 전력사용 절약
- 구동열원 도입으로 인한 복잡한 덕트 배관 필요
- 시스템 전체의 소형화 어려움
- COP가 비교적 낮다.

이와 같은 제습 시스템은 초기 투자비가 냉각식에 비해 비교적 크고, 시스템의 부피가 커서 설치용적을 많이 차지하는 점과 공기 오염 물질에 의해 제습기 효율이 떨어질 수 있는 점이 문제점으로 지적된다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 대안으로 제습의 재생을 위한 산업체의 폐열이나 저렴한 심야전력을 활용하는 방안이 있다. 이를 위해 가스 직화식 냉온수기나 열병합 발전 시스템과 연계하는 연구가 필요하다. 이 외 제습기 설계분야의 연구들 중 제습을 위한 열에너지 감소와 제습기 크기를 줄이는 방안이 연구되고 있다.⁽⁵⁾

제습기의 성능은 내부 형상, 작동인자 등이 동일한 경우, 제습제의 물질에 따라 크게 좌우된다고 할 수 있다. 제습제의 물질은 제습기의 크기, 작동범위(온도, 습도), 효율, 비용, 서비스 수명 등에 영향을 주는



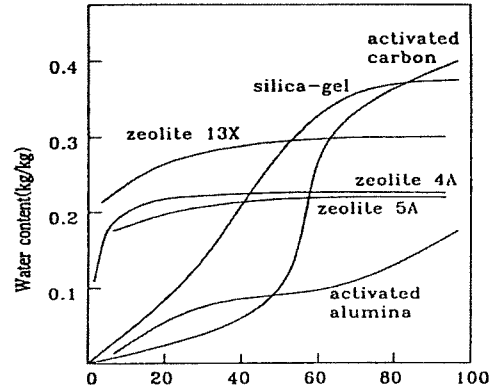
[그림 3] 제습 증발냉방 시스템의 구조 및 개략도

요소이다. 그림 4는 대표적인 흡착제의 수분 함유량 관계를 나타내는 그림이다. 이 밖에 액체 제습제를 이용한 제습방식도 상용화되어 나타나고 있다.

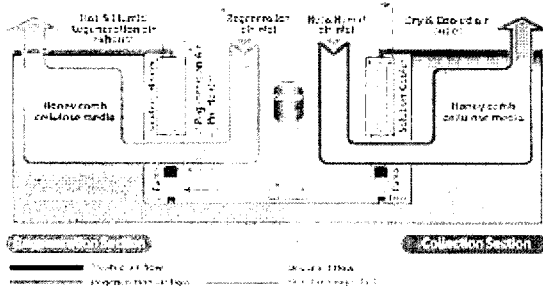
액체 제습 증발냉방 시스템

고체 제습 증발 냉방 시스템(그림 3)에 비해 제습제로 액체를 사용하는 시스템은 제습과 냉방을 서로 분리하여 하지 않고, 한 번의 프로세스로 달성하게 한다. 그림 5는 액체 제습 증발 냉방 시스템의 예이다. Drykor라는 회사에서 제품으로 판매하고 있는 액체 제습 증발 냉방 시스템의 원리는 다음과 같다. 고온의 습한 공기(hot humid air)가 유입되어 차가운 액체 제습제(cool liquid desiccant)와 접촉하게 된다. 이 때, 액체 제습제는 수증기를 흡수하면서 열교환을 하게 되어 건조하고, 온도가 낮아진 공기로 바뀌게 된다. 한편, 액체 제습제는 수증기의 흡수 및

공기와의 열교환으로 온도가 높아진 희석된 상태가 되는데 재생부에서 고온의 공기와 접촉을 통하여 재생되게 된다. 액체 제습제로 사용되는 물질은 표 1과 같다.



[그림 4] 대표적인 흡착제의 수분 함유량 관계



[그림 5] 액체 증발 시스템의 개략도 및 제품(DrKor社)

<표 1> 상용되고 있는 liquid desiccant의 특성

종류	실온에서 경제적으로 얻어지는 습도(R.H)	독성	부식성	안정성	특징
CaCl ₂ (sol.)	20~25%	없음	없음	안정	LiCl(sol.)과 거의 같음.
Glycerin	30~40% : 농축 50% : 무수	없음	없음	고온에서 산화분해	진공증발에 의해 재생. 농도 50~60%에서 많은 수분을 흡수함.
LiCl(sol.)	10~20%	없음	있음	안정	응축 및 용해열 제거를 위한 냉각장치 필요함.
Phosphoric acid (인산)	5~20%	있음	있음	안정	부식성과 독성으로 공업용 흡습에도 적용하기 어려움
Sodium hydroxide	10~20%	있음	있음	안정	응액의 고온가열과 부식성 때문에 일반 장치에서는 사용이 곤란
Sulfuric acid(유산)	5~20%	있음	있음	안정	핸들링의 위험성이 있음. 그러나 사용 가능시에는 고효율임
Triethylene glycol	5~10%	-	없음	안정	비점이 288도로 흡습제의 손실이 재생할수 있음

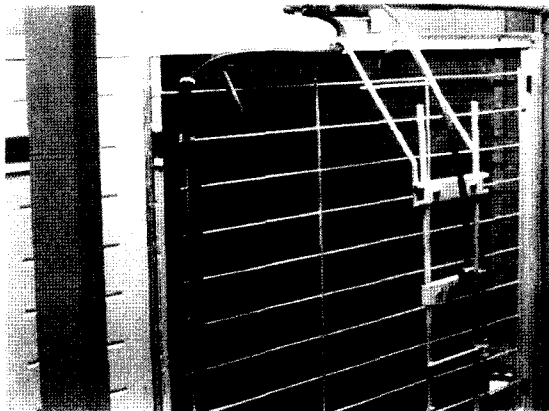
기술개발 동향

증발 냉각의 원리를 가정용 소형 에어컨에 적용한 예가 그림 6에 나타나 있다. 다이킨社에서 선보인 제품으로 실외 응축기의 열교환기에 노즐을 통하여 물을 분사하도록 개발되었다. 물의 증발 잠열을 이용하여 냉동사이클의 응축온도를 낮춰 COP를 증가시키도록 한다. 이와 같은 제품은 노즐에서 분사되는 물이 열교환기 표면에 잘 접촉하는 것이 중요하다. 또한 원활한 물의 공급 역시 해결되어야 할 과제이다. 그림 7은 제습제를 적용하여 제습뿐만 아니라 가습도 동시에 가능하도록 한 예이다. 실외의 공기로부터 수분을 제습제가 흡수하고, 실내로 유입되

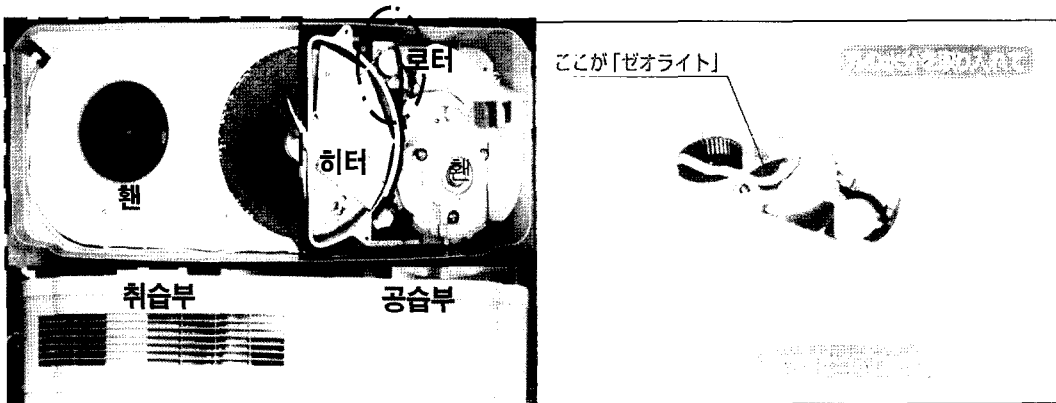
는 공기에 반대로 수분을 공급하는 무급수 가습 기능을 갖춘 제품이다. 기존의 에어컨 시스템에 가습을 위한 실내의 통로가 필요하다. 한편, 일본의 서부기연에서는 다양한 타입의 제습시스템을 제시하고 있다. 주로 환기제품에서 외부의 습한 공기의 습도를 낮추는 방안으로 전열(또는 현열)교환기와 결합된 상태로 구성되어 출시되고 있다(그림 8). 재생을 위한 열원은 마이크로 가스터빈(MGT)과 같은 배열등을 이용하여 해결한다. 제습제를 전문으로 생산하는 회사는 미국 시장 외에 전 세계적 DRI 社와 Munters 社와 같이 대형 공조시스템에 적용되는 제습제(desiccant)를 만드는 회사들이 있고, 앞서 언급한 서부기연은 소형 시스템에 적용되는 제습제를 생산하고 있다.

한편, 국내에서는 KIST(이대영 박사)에서 제습 증발 냉각에 관한 활발한 연구가 진행되고 있다. 1단계로 제습기가 없는 증발냉각 자체로도 상당한 온도까지 공기를 냉각할 수 있는 시제품을 개발하였고, 성능 향상을 위하여 제습제를 적용하여 개발 중에 있다. 제습제가 흡수한 물기를 말리는데는 100℃ 이하의 저온열원으로도 가능하므로 공장 등의 폐열을 이용한다면 매우 효율을 향상시킬 수 있다. 에너지기술연구원에서는 제습용 세라믹로터, 흡착로터 제조 기술 등을 개발하고 있으며, 학계에서는 제습냉방기의 성능해석, 제습로터의 성능해석, 제습장치에서의 열 및 물질전달 해석 등의 연구가 진행되고 있다.

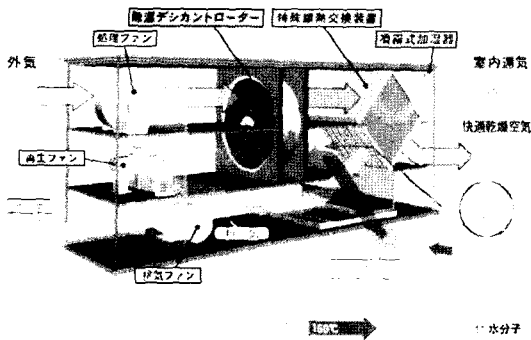
현재 미국에서는 제습제를 이용한 제습 및 냉방 시



[그림 6] 물 분산 장치를 적용한 실외기 (다이킨 社)



[그림 7] 데시칸트를 이용한 무급수 가습 유닛 (다이킨 社)



[그림 8] 서부기연(일본)의 데시칸트 공조기

시스템은 쇼케이스가 많이 설치되어 잠열부하가 큰 슈퍼마켓과 같은 응용분야에서는 기존의 냉동시스템과 경쟁상태에 있으며, 최근까지 이루어진 연구개발을 통하여 데시칸트 물질개선, 제습기 형상 및 성능개선, 다양한 재생열원 이용, 시스템 부피 및 비용 감소 등의 연구가 진행 발전되어 가정용 및 상업용 빌딩분야, 습도가 높은 지역의 호텔냉방분야 등 그 응용범위를 넓혀가고 있다. 미국 에너지부 산하의 관계부처에서 데시칸트 냉방 프로그램을 도입하였는데 주된 목적은 다음과 같다.

- 에너지 소비 감소 : 2005년까지 해마다 0.1 quad, 2010년까지 해마다 0.4 quad
- 2005년까지 이산화탄소 배출 600만톤 감소, 2010년까지 2400만톤 감소
- 2005년까지 에어컨 세일즈의 20%, 2010년까지 35% 확보

향후 전망

미국, 일본, 유럽 등에서는 고체 및 액체 데시칸트를 이용하는 공기조화 및 제습시스템이 개발되어 환기 및 높은 잠열부하를 갖는 상업용 빌딩에서 틈새시장을 공략하고 있다. 시스템 성능을 향상시키고 시스템 비용을 절감시키는 데시칸트 물질의 개선 또는 개발연구 및 핵심부품 연구와 더불어 시스템 통합기술개발에 집중되고 있다. 우리나라와 같이 여름

철 고온 다습한 조건에서 데시칸트를 이용하여 잠열부하를 상당히 줄이면 냉동기의 부하를 줄여 냉동시스템의 사이즈를 작게 할 수 있고, 증발 냉각 시스템과 결합하면 기존의 한계를 극복하여 더 낮은 온도의 공기를 공급할 수 있다. 효율적인 운전을 위하여 데시칸트의 재생에 필요한 열원 공급의 확보가 반드시 필요하며 엔진이나 공장이 폐열 등을 적절히 활용한다면 매우 에너지 절약적이고 친환경적인 시스템임에 틀림없다. 현재 산업자원부의 지원을 받아 일부 기술개발이 지원되고 있으나 요소기술 및 핵심설계 기술, 이론적 연구, 실증 및 상용화 등에 대한 연구개발지원을 통하여 본 기술의 연구개발보급이 필요한 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 장영수, 이대영, '흡착 증발 제습 냉방시스템에서 요소 성능이 시스템성능에 미치는 영향 분석', 대한설비공학회 2004 하계학술발표대회 논문집 pp.180~185
2. Lee, J.W., Lee, D.Y., Kang, B.H., 2004, Cycle simulation of a desiccant cooling system with a regenerative evaporative cooler, Journal of SAREK(in press).
3. Maclaine-Cross, I, L., Banks, P. J., 1983, A general theory of wet surface heat exchangers and its application to regenerative evaporative cooler, Journal of Heat Transfer, Vol. 103, pp. 579-585.
4. Lee, D.-Y., Yoon, Y. I. and Lee, J. H., 2002, Optimal design and performance evaluation of a finned regenerative evaporative cooler, Proc. 12th Int. Heat Transfer Conference, pp. 261-266.
5. 박승태, 조승구, '제습공조 기술의 개발동향', 대한설비공학회 2004 하계학술발표대회 논문집 pp.157~162