

흡습제를 이용하는 제습/냉방시스템의 이해

산업화가 발달함에 따라 새로운 작업환경에 대한 요구가 엄격해지고 있는데, 이에 따른 새로운 공조기술의 일환으로써 흡습제를 이용하는 제습/냉방시스템이 각광을 받고 있다. 본 원고에서는 데시칸트(desiccant)를 흡착제와 흡수제로 나누어서 일반적인 개념과 개요에 대해서 간략하게 소개하고자 한다.

최 광 환

부경대학교 공과대학 냉동공조공학전공(choikh@pknu.ac.kr)

서론

최근의 산업분야는 높은 기술화를 지향하고 있는데, 이와 관련해서 각 산업분야에서 공기 중의 습도 조절에 대한 필요성이 크게 강조되고 있다. 이러한 요구를 충족하기 위해서, 지금까지는 주로 냉동기를 사용하는 냉각방식에 많이 의존하여 왔으나, 최근에는 산업분야의 특수성 때문에 흡습제(desiccant)를 이용하

여 제습하는 방법에 많은 관심이 쏟아지고 있다. 흡습제 이용은 공기 중의 수분을 응축(condensation)이 아니라, 직접 흡수(absorption) 내지 흡착(adsorption)함으로써 제거할 수 있기 때문에, 굳이 동력을 많이 사용하는 냉동기를 가동시켜 수분을 제거할 필요가 없다는 장점을 갖고 있다. 표 1에 제습이 필요한 분야 및 적정 환경이 나타나 있다.

한편, 여름철에 흡습제를 이용하여 제습을 행함으로써 부수적으로 얻을 수 있는 것이 냉방효과(cooling effect)이다. 최근에 우리나라에서는 에어컨의 가동에 따른 공조비용을 절감하기 위한 대안인 흡습제 이용 제습/냉각(dehumidifying/cooling)방식 도입이 적극 검토되고 있으나, 이미 선진국에서는 흡습제 이용 제습/냉방시스템을 친환경 냉방시스템으로 인식, 시스템 개발 및 실용화에 박차를 가하고 있는 실정이다.

<표 1> 제습이 필요한 산업분야 및 적정 환경

분야	용도	적합한 환경 범위 (온도 및 상대습도)
화학	· 성냥, 화약 제조 및 저장 · 사진 필름 건조	· 상온, 50% 이하 · 노점온도 5~-5℃
식품	· 설탕 및 소금 저장 · 주류(맥주) 제조 · 껌, 사탕, 초코렛 제조	· 21~27℃, 35% · 3~24℃, 35% · 18~25℃, 30~50%
전기·전자	· 반도체, 콘덴서 검사 공정 · 리튬전지 제조	· 20~25℃, 20~40% · 노점온도 -50℃
정밀기계	· 안경렌즈, 광학렌즈 연마 · 정밀기계부품 조립	· 25℃, 50% · 20~25℃, 30~50%
섬유	· 목면, 화학섬유 제조	· 상온, 50~60%
인쇄	· 인쇄 · 제판	· 24~27℃, 45~55% · 20~27℃, 30~60%

Desiccant시스템의 개요 및 특징

일반적으로 '흡습제를 이용하는 냉방시스템'을 'Desiccant Cooling System'라고 일컫는데, 우리나라와 같이 여름철에 고온다습한 지역에서는 그 활용도가 매우 뛰어나다. 호주와 같은 곳에서는 여름철에 온도는 높으나 습도가 낮으므로 사람들이 느끼는 체감온도가 비교적 낮아 우리나라와 같이 다습한 지역에 비해서 훨씬 더 '시원함(?)'을 느낄 수 있다. 이

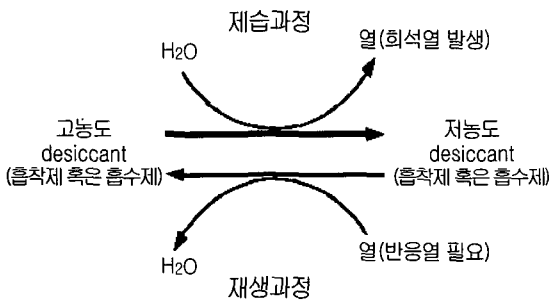
는 공기 중에 포함되어 있는 수분이 갖고 있는 열(이를 '잠열(latent heat)'이라고 함) 때문인데, 우리나라와 같이 고온다습한 지역이 여름철에 무더운 것은 공기 중의 잠열이 많기 때문이다. 따라서 공기 중의 잠열을 제거하면 냉방효과를 간접적으로 얻을 수가 있는데, 이를 위한 효과적인 방법이 흡습제를 이용하는 방법이다. 그림 1에 흡습제를 이용하여 제습 및 재생을 행하는 과정이 나타나 있다.

그림 1에서와 같이 흡습제가 수분을 흡수할 때는 희석열(diluted heat)이 발생하고, 반대로 재생에는 재생을 위한 반응열(reaction heat)이 필요하다. 흡습제를 이용한 냉(난)방시스템은 이러한 과정을 연속적으로 이용하고 있는데, 이 때 흡습제로써 어떤 것을 사용하느냐에 따라 액체흡수제 및 고체흡착제 이용 시스템으로 나뉘어 진다. 제습시스템에 사용되

는 작동매체는 각각 장단점을 갖고 있는데, 현재는 이동성이나 간편성, 그리고 공간의 제약 등 때문에 실리카겔(silica-gel)과 같은 고체흡착제보다는 트리에틸렌글리콜과 같은 액체흡수제가 많이 이용되고 있다. 흡습제를 좀 더 구체적으로 분류하면, 1) 흡착 흡습제(adsorbent desiccant), 2) 고체 흡습제(solid desiccant), 3) 조해성 흡습제(deliquescent desiccant), 그리고 4) 액체 흡습제(liquid desiccant)로 나누어진다.

습식제습 및 건식제습의 특징

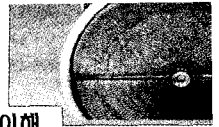
일반적으로 제습을 형태별로 나누면 습식제습과 건식제습으로 나누어진다. 습식제습은 일반적으로 냉각기를 사용하여 공기를 냉각함으로써 포화상태 이하로 냉각된 만큼 제습하는 방식인데, 냉각코일의 표면온도가 0℃ 이하가 되면 표면에 서리가 발생하는 결상(frost, 結霜)현상이 발생한다. 그러므로 이를 피하는 범위 내에서 제습을 하면 일반적으로 노점온도가 12~15℃ 정도, 그리고 건구온도가 20℃ 이하에서는 상대습도가 60% 이상의 공기만 얻어진다. 건식제습은 실리카겔이나 제오라이트(zeolite) 등과 같은 물리적 흡착제나 염화칼슘이나 염화리튬과 같은 화학적 흡착제에 공기 중의 수분을 흡착시켜서 제습하는 방식이다. 이 방식은 비교적 노점온도가 저온인 수준까지 낮출 수가 있는데, 이러한 특성 때문에



[그림 1] Desiccant 이용 제습 및 재생 프로세스

<표 2> 상용되고 있는 liquid desiccant의 특성

Desiccant 종류	경제적인 습도영역(RH)	독성	부식성	안정성	특징
CaCl(sol.)	20~25%	무	무	안정	LiCl(sol.)과 거의 같음
Glycerin	30~40%:농축 50%:무수	무	무	고온에서 산화분해	진공 증발에 의해 재생. 농도 50~60%에서 많은 수분을 흡수함
LiCl(sol.)	10~20%	무	유	안정	응축 및 응해열 제거를 위한 냉각장치 필요함
Phosphoric acid (磷酸)	5~20%	유	유	안정	부식성과 독성으로 공업용 흡습에는 적용하기 어려움
Sodium hydroxide	10~20%	유	유	안정	용액의 고온가열과 부식성 때문에 일반 장치에서는 사용이 곤란
Sulfuric acid (황酸)	5~20%	유	유	안정	핸들링의 위험성이 있음. 그러나 사용 가능 시에는 고효율임
Triethylene glycol	5~10%	-	무	안정	비점이 288℃로 흡습제의 손실 없이 재생할 수 있음



저습도 영역이 필요한 산업분야에 많이 적용되고 있다. 그러므로 습도가 높은 환경 하에서는 습식제습이 효율이 높게 제습할 수 있는 반면에, 저습도의 공기를 얻고자 할 경우에는 결상의 문제가 있기 때문에 적절하지 않다. 한편, 건식제습은 모든 온도 조건에서 적용할 수 있지만, 흡착제에 수분이 흡착할 때 발생하는 흡착열에 의해 제습된 공기온도가 상승하게 되므로 간혹 냉각기나 다른 열량 제거 시설 등을 설치할 필요가 있다. 표 2에 현재 상용화되고 있는 액체흡수제들의 특성이 나타나 있다.

데시칸트(Desiccant)냉방시스템

'Desiccant Cooling System ('흡습제 이용 냉방시스템'이라고 함)'이라는 개념은 1984년에 미국의 CEC사가 'Super Aire'라는 흡습제 이용 냉방장치를 개발하여 수퍼마켓에 직접 사용하면서부터 주목을 받기 시작하였다. 이 '흡습제 이용 냉방시스템'에서 흡습제를 재생하기 위한 반응열을 가스나 전기로 충당하기 때문에 가스회사와 전력회사가 관심을 갖게 되었는데, 이 시스템 일부가 대기로 개방되기 때문에, 흔히 '개방사이클 시스템'이라고도 불려지고 있다. 흡습제 이용 냉방시스템의 과정은 고온다습한 습공기가 잠열교환기로 들어가서 제습된 후, 현열교환기로 가서 예냉(pre-cooling)되고 마지막으로 냉각기에서 소정의 온도까지 재냉각(recooling)되는 Munters 사이클에 기초를 두고 있다. Carl Munters는 스웨덴인으로 흡수식 냉동기를 발명하였다. 공기의 냉각을 위해서 Munters 사이클에서는 증발식 냉각법이 사용되나, 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 'Hybrid Desiccant Cooling System'에서는 냉동기의 직팽코일이 사용된다. 이 시스템에서는 도입 외기가 흡습제에 의해 이미 잠열부하가 크게 경감되어 있으므로, 냉동기만으로 냉방을 행할 경우보다도 냉동기의 규모가 훨씬 작아도 되기 때문에 매우 유리하다.

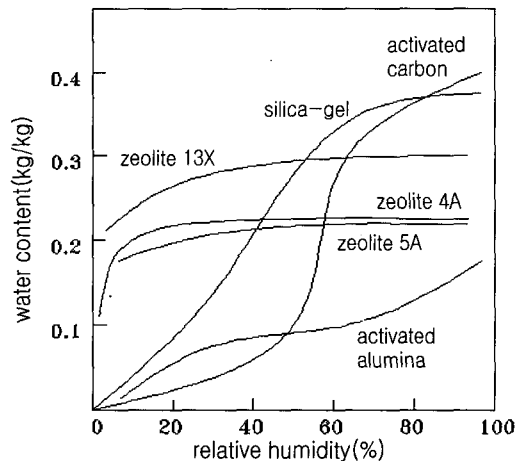
Desiccant Cooling System의 주된 특징은, 1) 비교적 저온열원으로도 간단하게 냉방을 수행할 수 있으며, 2) 기계적 구동부분이 없기 때문에 저소음, 저진동이며, 3) 냉동기의 용량이 적어도 전력사용량을 절약할 수 있다. 반면에 단점으로는 1) 성능계수

(COP)가 비교적 낮고, 2) 간혹 복잡한 배관이나 덕트 관개로 전체 시스템의 소형화가 매우 어려운 점을 들 수가 있다.

흡착제(Adsorbent)에 의한 제습원리는 주로 모세관에 의한 응축이며, 흡착할 수 있는 용량이 매우 크다. 이는 표면이 해면체와 같은 다공질 구조로 되어 있기 때문인데, 비교적 물체의 표면에 부착되기 쉬운 물분자가 흡착제를 통과할 때, 공기로부터 수분이 흡착제의 표면으로 이동하여 습한 공기가 건조공기로 바뀐다. 그림 2에 대표적인 흡착제의 단위 중량당 수분 함유량을 습도별로 나타내고 있다.

고체흡착식시스템의 특징

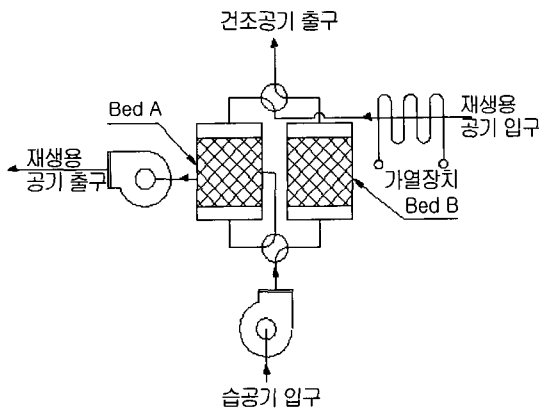
최근에는 일본의 Kobelco사에서 수 십 옹스트룀(A)의 미세구멍(micro pour)과 수 십 m^2/g 의 비표면적을 갖는 실리카겔을 벌집모양(honeycomb) 형상으로 성형한 구조를 갖는 건식제습기를 개발하여 판매하고 있는데, 주로 식품이나 제약 분야에서 많이 사용되고 있다고 알려져 있다. 일반적으로 건식제습기는 '2탑 절환식'으로 불리는 'Two bed switching type'과 '회전식'으로 알려져 있는 'Rotary drum type' 그리고 '다단식'으로 지칭되는 'Multi-bed type'이 있으나, 거의 형태와 개념은 비슷하다. 그림 3에 Two bed type의 장치도가 나타나 있다. 이 장치에서는 일정한 통과 시간 내에 공



[그림 2] 대표적 adsorbent의 수분 함유량 관계

기로부터 수분을 흡착하고, 또 흡착제를 재생하여야 하기 때문에 흡착제를 채운 Bed가 2개 설치되어 있으며, 흡착 및 재생이 연속적으로 교대로 이루어진다. 반면에, Rotary drum type은 그림 4과 같은 회전체(rotor)를 적절한 영역으로 나누어 제습과정과 재생과정을 수행하는데, 그 개념도가 그림 5에 나타나 있다.

그림에서와 같이 회전체는 재생영역(A 부분)과 제습영역(B 부분)으로 분할된 실(chamber)에서 저속으로 회전하는데, 메이커에 따라서 회전체의 회전속도가 다르나 대부분 RPM이 8~20회의 정도로 운전되고 있으며, 재생영역에서 충분히 재생이 이루어지지 않은 상태에서 운전이 되면 제습기가 충분한 제습능력을 발휘하지 못하는 경우가 발생한다. 이 때는 제습영역은 멈추고 재생영역만 가동하여 흡습제의 표면이 재생에 적합한 온도까지 도달한 후에 시스템을 절환(switching)해서 사용해야 한다.

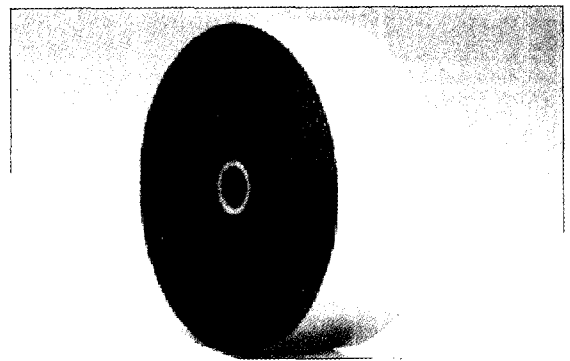


[그림 3] Two bed 타입 제습기의 장치도

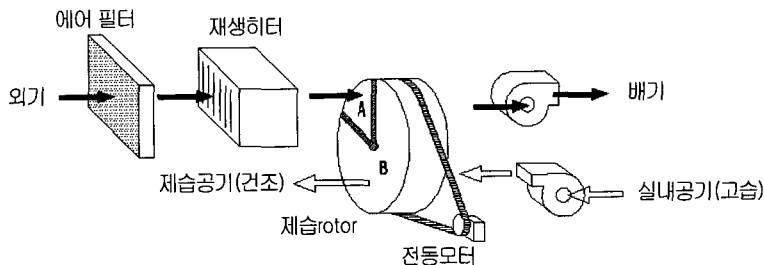
한편, 그림 6에 현재 상용화되어 있는 Solid desiccant(고체흡착제) 제습/냉방시스템의 개략도가 나타나 있으며, 각 구역에서의 공기상태 변화를 공기선도 상에 간략하게 표시하고 있다. 이러한 제습 방법은 이용 형태에 따라 1)전외기방식, 2)전순환방식, 그리고 3)외기혼합방식으로 구분되는데, 보통 전외기방식은 먼지 등이 발생하여 건조공기의 재순환 사용이 곤란한 경우에 사용되며, 전순환방식은 보관창고와 같이 외기도입을 필요로 하지 않는 경우에 이용된다. 그리고 외기혼합방식은 환기(return air)를 혼합하여 사용하는 방식으로 고도의 온도 및 습도제어를 필요로 하는 특수한 목적으로 사용되는 것이 일반적이다.

액체흡수제 시스템의 특징

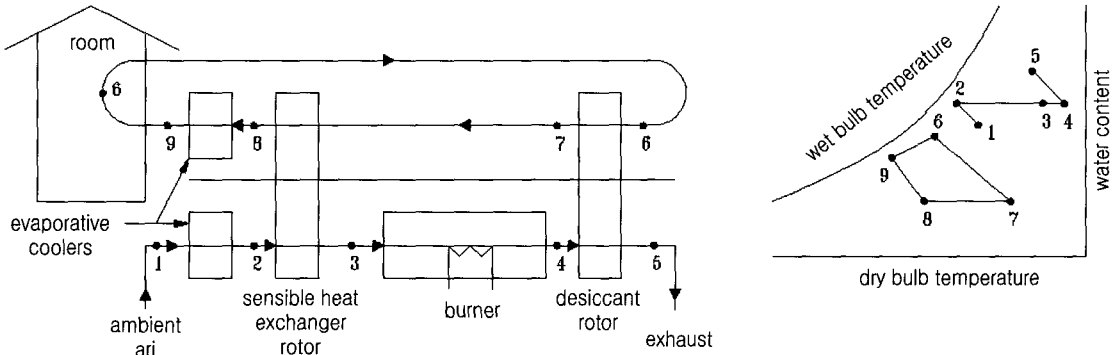
일반적으로 액체흡수제 제습/냉방시스템은 어떤 종류의 흡수제를 사용하느냐에 따라 그 성능이 매우



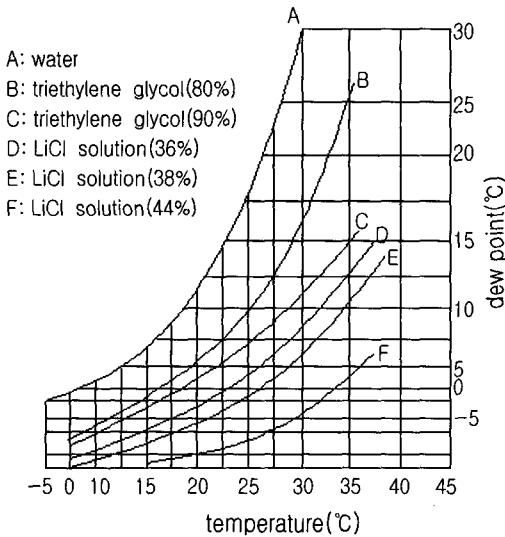
[그림 4] 흡습제 회전체(desiccant rotor)의 모습



[그림 5] Rotary drum type 제습시스템의 장치도

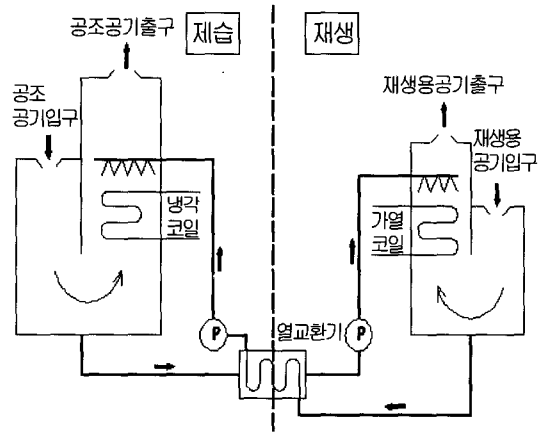


[그림 6] Solid desiccant 제습/냉방시스템 개략 및 공기선도 변화



[그림 7] 대표적 liquid desiccant의 농도별 노점온도

달라지는데, 사용되는 액체흡수제가 갖추어야 할 공통적인 요구사항은 1) 수증기압이 낮고, 낮은 수증기압에서 흡수력이 커야 하며, 2) 화학적으로나 열적으로 안정하며, 반응열이나 용해열이 적어야 하고, 3) 재생 복원력이 뛰어나야 하며, 4) 인체에 무해하고 가격이 싸야 하며, 5) 점도가 작고 또한 열전도성이 높아야 한다. 그러나 위의 특성을 모두 갖춘 흡수제는 현재 그다지 많지 않으며, 그 중에서도 많이 사용되고 있는 흡수제는 염화리튬(LiCl, lithium chloride)과 트리에틸렌글리콜(triethylene glycol)이다. 그림 7에 이 두 흡수제의 농도에 대한 노점온도



[그림 8] Liquid desiccant 제습시스템

가 나타나 있다. 그림 7에서 제습에 있어서 가장 중요한 인자인 액체흡수제의 흡수력을 노점온도를 기준으로 비교하면, 염화리튬이 트리에틸렌글리콜보다도 같은 농도에 비해 노점온도가 낮다. 이러한 특성 때문에 현재는 흡수제로써 트리에틸렌글리콜보다도 염화리튬이 많이 사용되고 있다. 한 예로, 염화리튬을 이용하면 냉각수로 15°C 정도인 지하수를 사용하는 제습기에서는 입구공기가 건구온도 23°C, 상대습도 60%(이때의 노점온도는 약 15°C 정도)라도 출구공기의 노점온도가 약 -2°C까지 낮아져 제습으로 인한 냉방효과를 얻을 수가 있다.

반면에 흡수제(absorbent)로 일컬어지는 Liquid desiccant(액체흡수제) 제습/냉방시스템은 습도와

온도를 동시에 조절할 수 있는 특징을 갖고 있고, 연속 운전이 용이하며 대풍량의 공기를 처리하는데 적합하다. 그림 8에 흡수제로 운전되는 액체흡수제 제습시스템의 장치도를 나타내었다.

그림 8에서 알 수 있듯이, 제습영역의 냉각코일 상부에서 흡수제가 균일하게 살수되고, 습한 실내공기는 하부로부터 팬(fan)에 의해 유입되어 흡수제와 직접 접촉하는데, 이때 공기 중의 수분이 흡수제로 이동되면서 제습된다. 여기서 냉각코일은 흡수제가 습한 공기로부터 수분을 흡수할 때 발생하는 흡수열을 처리하는데 이용되는데, 보통 10℃ 정도로 낮게 설정한다. 한편, 공기 중의 수분을 흡수하여 농도가 낮아진 흡수제는 펌프에 의해 재생부로 옮겨진다. 재생부에서는 저농도인 흡수제를 가열코일로써 직접 가열하여 온도를 상승시킨 후, 재생부로 유입되는 공기를 직접 이용하여 수분을 방출시켜 다시 고농도의 용액으로 만든 다음에 다시 제습과정에 이를 사용한다.

맺음말

액체흡수제나 고체흡착제를 이용하는 제습은 온도 및 습도를 엄격히 제어하는 산업 및 상업분야에서 반드시 필요로 하는 기술이다. 특히 국내에서 생산되고 있는 고체흡착식 제습방식은 비교적 가격이 저렴하면서도 효율적인 다양한 열원을 사용할 수 있기 때문에 상업분야에서 더욱 그 위력을 발휘할 수 있다.

Desiccant Cooling System의 미래는 밝다. 그 이유는 운전비가 기존의 공조기보다도 훨씬 저렴하며, 쾌적하고 질이 높은 실내공기를 제공할 수 있기 때문이다. 따라서 슈퍼마켓이나 레스토랑, 호텔, 병원 등과 같은 상업용 건물의 냉방에 적합할 뿐만 아니라, 오피스텔과 같은 복합건물에 적용되었을 때도 상당한 상업적 경쟁력을 가질 수 있다.

미국의 어느 지역 기후 하에서는 연간 30% 이상의 기간이 종래의 시스템으로는 쾌적한 환경을 조성하기 어렵다고 보고되고 있는데, GRI(gas research institute)에서는 이러한 지역의 주택에 기존의 공조 시스템 대신에 적용할 수 있도록 Desiccant Cooling System의 성능 향상 연구를 꾸준히 진행하여 온 결과, 액체흡수제나 고체흡착제를 가스와 전기와 함께 복합적으로 이용하는 제습/냉방시스템을 개발하여 이미 상용화시켰다. 또한 현재는 더 나아가 일반 주택에도 적용하는 것을 목표로 연구가 거듭되어 부분적으로 실용화 단계에까지 이르렀다.

마지막으로 지금까지의 Desiccant Cooling System은 하이브리드(hybrid) 형태로 전기나 가스를 많이 사용하여 왔으나, 최근에 에너지절약이라는 차원에서 에너지원을 다양화할 필요가 있다. 그러므로 향후에는 태양열이나 지열, 지하수나 폐열 등과 같은 다양한 신재생에너지원을 적극적으로 도입하여 제습/냉방을 도모하는 새로운 제습/냉방시스템 개발에 모든 연구자들의 큰 관심사로 떠오를 것으로 예측된다. ㉔