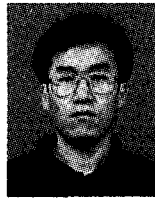


## Desiccant 제습에 의한 냉방시스템 응용

### Application for air conditioning of cooling system using desiccant

최 광 환  
K. H. Choi

부경대학교 냉동공조공학과



- 1959년생
- 건축환경 및 설비분야에서 태양열 등과 같은 자연에너지를 사용하여 냉난방을 행하는 새로운 공조시스템 개발과 지하철 폐열 등 미이용 에너지 활용 분야에 높은 관심을 갖고 있다.

#### 1. 머리말

우리 나라의 여름 기후는, 고온 다습한 특징을 갖고 있다. 고온 다습한 지역에서는 습도가 쾌적성을 결정하는데 중요한 요소가 되기 때문에, 습도가 높으면 온도가 그다지 높지 않더라도 쉽게 무더위를 느낀다. 이러한 계절적 특성을 없애 쾌적한 생활을 영위하기 위하여 생활의 질적 향상과 더불어 공조장치의 수요가 매년 두드러지게 증가하고 있다. 특히, 실내의 경우에는 공조장치 중 대표적인 에어컨(air conditioner)으로 냉방을 행함으로써 고온 다습한 여름철의 거주공간을 개선하고 있다. 그러나 고온 다습한 환경하에서의 과도한 에어컨 사용은 인체의 온열환경적 측면에서 오히려 불리하다. 왜냐 하면, 에어컨에서는 여름철에 잠열(latent heat)을 고려해야 함에도 불구하고 단지 현열비(sensible heat factor)로 취출온도를 결정하고 있기 때문이다. 그 결과, 실내가 과도하게 냉각되어 재실자에게 불쾌감은 물론, 심지어 냉방병도 초래할 수가 있다.

근래에는 인텔리전트 빌딩이 크게 늘어나고 있으며, 건물내로 습기에 약한 컴퓨터를 비롯한 정보 관련 기기의 반입이 증대하고 있기 때문에 실내의 엄격한 습도 조절이 필요하다. 게다가 사무실에 근

무하는 사람은 실내공기의 질에 큰 불만을 갖고 있다. 사무실의 재실자 대부분은 실내 공기질이 개선되면, 일의 효율이 크게 향상될 것이라고 믿고 있다. 이는 공조시스템의 부적절한 선정과 에너지 절약으로 인하여 적정한 환기량 확보가 어려워져 곰팡이를 비롯한 세균류의 번식으로 오염된 공기가 재실자의 건강과 일의 능률에 악영향을 미치고 있다는 것을 의미한다. 만약에 이러한 문제들을 해결하고자 충분한 외기량을 도입하면, 공조기의 용량이 그만큼 커지게 된다. 왜냐 하면, 환기량이 충분하면 공기 중의 잠열 처리를 위한 대용량의 공조기가 필요하기 때문이다.

한편, 최근의 산업분야는 전체적으로 높은 기술화를 지향하고 있다. 이와 관련해서 각 산업분야에서 제품의 제조관리, 품질관리 및 보관업무에 있어서, 흔히 '조습(調濕)'이라고 일컫는 습도 조절에 대한 중요성이 점차 인식되어져 왔으며, 그 중에서도 특히 제습(除濕)의 필요성이 크게 강조되고 있다. 종래에는 특수한 환경 설비로 여겨졌던 노점온도  $-60^{\circ}\text{C}$ , 혹은 상대습도 1% 등의 혹독한 환경도 제품의 고급화와 함께 점차 요구되고 있으며, 이와 같은 환경을 실현하기 위하여 고도의 습도 조절이 가능한 제습기(dehumidifier) 개발이 절실히 요구된다. 따라서 이러한 요구들을

충족시키기 위하여 개발되고 있는 새로운 제습시스템 가운데, 가장 유력하면서 효과적인 것이 'desiccant(흡습제(吸濕劑))'를 이용하는 제습법이다. 왜냐 하면, 기존의 냉각식은 공기 중의 수분을 응축하기 위하여 많은 전기가 소요되는 냉동기를 가동시켜야 하나, desiccant 제습은 공기 중의 수분을 응축(condensation)이 아니라 직접 흡습(moisture absorption)함으로써 제거하기 때문에 상온에서도 제습이 가능하기 때문이다. 이 desiccant 제습을 레스토랑이나 오피스텔처럼 대용량의 환기를 필요로 하는 상용 건물에 적용하면 잠열 처리가 용이하기 때문에 충분한 외기량을 경제적으로 확보할 수 있다. 따라서 공조기 용량을 크게 할 필요도 없으며, 법적으로 정해진 환기량을 충족시킬 수가 있기 때문에 실내의 공기질(air quality)이 향상된다.

특히, 제약회사의 제조공정에서는 분말이나 미립자를 취급하기 때문에 현저히 습도가 낮은 환경을 요구한다. 이러한 경우라도 초저습 desiccant 시스템을 적용하면, 장치가 고가임에도 불구하고 제품의 불합격율이 대폭 감소하기 때문에 오히려 경제성이 높아진다. 제습이 필요한 산업분야 및 적

표 1 제습이 필요한 산업분야 및 적정환경

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

정 환경을 표 1에 나타내었다. 최근에는 에어컨의 전력비용이 상승하기 때문에 공조비 절약 수단으로써 desiccant 제습기 도입을 검토하고 있다. 본 원고에서는 desiccant를 이용하는 제습 및 냉방의 원리와 종류, 그리고 응용에 대해서 기술하고자 한다.

## 2. Desiccant 제습 시스템

슈퍼마켓에서 판매중인 팩으로 포장된 김이나 과자의 비닐봉지에 들어 있는 실리카겔(silica-gel)을 흔히 볼 수가 있다. 실리카겔은 봉지 속에 존재하는 습기를 제거하여 제품의 품질을 장시간 보존해 주는데, 이와 같은 desiccant가 산업공정에 본격적으로 사용되기 시작한 것은 근래의 일이다. 이와 같이 습기가 문제가 되는 습공기를 건조공기로 바꾸기 위한 제습에는 냉각식, 흡착식, 흡수식 제습법이 널리 사용되고 있다. 이 중에서 냉각식을 제외하고는 모두 그림 1과 같이 흡착제(adsorbent) 또는 흡수제(absorbent)가 수분을 흡착 내지 흡수하는 성질을 이용하여 공기를 건조시키는 desiccant 제습법을 사용하고 있다. 그림에서와 같이 desiccant가 수분을 흡습하는 제습 시에는 희석(dilution)열이 발생하고, 반대인 재생 시에는 반응(reaction)을 위한 열이 필요하다. 그림 2에 이들 대표적 제습법에 특징을 공기선도(psychrometric chart)상에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 냉각식 제습은 제습과 동시에 온도도 강해되기 때문에 상태 A를 얻기 위해서는 제습 후에 냉동기의 응축열을 이용하거나 별도의 히터(heater) 등으로 재열하여야 한다. 게다가 이는 출구공기 온

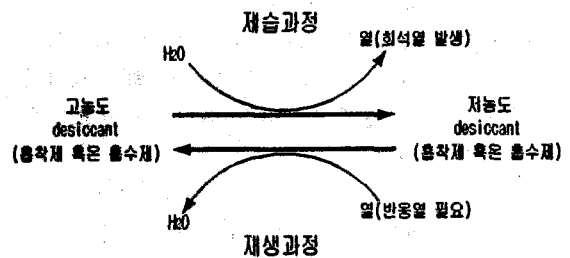


그림 1 Desiccant 이용 제습 및 재생 프로세스

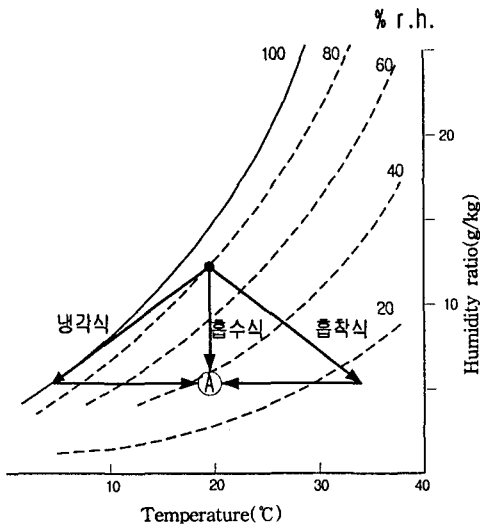


그림 2 제습방식에 따른 공기상태 변화

도가 20°C, 상대습도가 50% 정도까지인 고습도 영역에 주로 이용된다.

반면에, 흡착식 제습은 제습이 되면서 동시에 희석열에 의해 출구 공기온도가 상승하므로 상태 ㉠을 얻기 위해서는 냉각장치로써 냉각시켜야 한다. 이 방식은 출구공기의 노점온도가 -20°C 이하를 요구하는 저습도 영역에서 풍량이 적은 때에 사용된다. 그러나 흡수식 제습은 그림에서와 같이 공기의 출구상태를 재열이나 냉각과 같은 과정을 거치지 않고 상태 ㉠을 직접 얻을 수 있다. 이는 독특한 제습방식으로써 일반 공조장치로는 실현이 어려운 초저습 영역에서 대풍량을 처리하는데 주로 사용된다. 그러나 현실적으로 대부분의 제습은 이들을 단독 형태로 사용하기보다는 각각의 특징을 살려서 적절하게 사용하는 하이브리드(hybrid) 제습방식을 도입하고 있다. 한 예로, 실리카겔을 이용한 흡착식을 적용하면 저습도 영역까지 제습을 할 수 있으나, 냉동기를 사용한 냉각식을 병용하여 사용하고 있다. 즉 고온 다습한 영역에서 뛰어난 제습 능력을 발휘하는 냉각식으로 먼저 1차로 제습하고, 그 다음 흡착식을 이용하여 저습도 영역까지 2차 제습을 행하고 있다.

한편, desiccant를 수분이 제거되는 메카니즘 차원에서 분류하면, 1) 실리카겔, 합성제올라이트(zeolite), 활성알루미나(activated alumina)와 같이

화학적 결합과 관계가 없는 흡착력을 이용하는 de-siccant, 2) 오산화인( $P_2O_5$ ) 등과 같이 화학반응에 의해서 흡습하는 solid desiccant(고체 흡습제), 3) 염화칼슘( $CaCl_2$ ), 수산화나트륨과 같이 화학반응과 용해(溶解)에 의해서 흡습하는 deliquescent desiccant(潮解性 흡습제), 4) 염화리튬(lithium chloride), 트리에틸렌글리콜(triethylene glycol)과 같이 수증기압차를 이용하여 수분을 흡습하는 liquid desiccant(액체 흡습제)로 나눌 수가 있다.

### 3. Desiccant cooling system(흡습제 이용 냉방시스템)

'desiccant cooling system'의 개념은 1984년에 미국의 CEC社가 'Super Aire'라는 desiccant 이용 냉방장치를 개발하여 직접 슈퍼마켓에 사용하면서부터 주목을 받기 시작하였다. 이 장치의 개발 덕분에 desiccant에 의한 냉방이 공조관련 기술자에게 알려지기 시작하였으며, 점차 신기술로 변모해 왔다. 이 시스템에서는 공기를 냉각시키고, desiccant를 재생하기 위하여 전동냉동기 및 가스가 각각 사용되었다. 그 결과, 가스회사와 전력회사가 높은 관심을 갖게 되었으며, desiccant 냉방 분야에도 본격적으로 참여하였다. desiccant 냉방시스템이란 desiccant를 이용하여 공기를 제습, 예냉 혹은 필요에 따라 가습 등을 복합적으로 병행하여 냉방을 도모하는 장치로, 시스템 일부가 대기로 개방되기 때문에 흔히 '개방사이클 시스템'이라고도 일컬어진다. 이 desiccant 냉방에는 고체흡습제와 액체흡습제를 사용하는 방식이 있는데, 두 시스템 모두 습공기의 잠열부하를 용이하게 처리할 수 있다는 큰 특징을 갖고 있다.

desiccant 냉방시스템의 과정은, 고온인 습공기가 먼저 잠열교환기로 들어가서 제습된 후, 현열교환기로 들어가 예냉되고 마지막으로 냉각기에서 소정의 온도까지 냉각되는 스웨덴의 Carl Munters(흡수식 냉동기 발명자) 사이클에 그 기초를 두고 있다. 이 사이클의 효율은 현열교환기의 성능에 크게 좌우된다. 한편, 공기의 냉각을 위해서 Munters 사이클에서는 증발식 냉각법이 사용되나, 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 하

이브리트드 desiccant 냉방시스템에서는 냉동기의 직펍코일이 사용된다. 하이브리트드 desiccant 냉방 시스템에서는 도입 외기가 desiccant에 의해 이미 잠열부하가 크게 경감되어 있으므로, 냉동기만으로 냉방을 행할 경우보다도 냉동기의 규모가 훨씬 작아도 되기 때문에 유리하다.

desiccant 냉방시스템의 주된 특징은 장점으로 1) 비교적 저온열원으로 간단하게 냉방을 행할 수 있으며, 2) 기계적 구동부분이 없기 때문에 저소음, 저진동이며, 3) 냉동기의 용량이 적어도 되므로 전력사용을 절약할 수 있으며, 단점으로는 1) solid desiccant 타입은 구동열원이 도입외기이기 때문에 복잡한 덕트 배관이 필요하며, 2) 시스템 전체의 소형화가 매우 어렵고, 3) COP가 비교적 낮다는 점이다.

이러한 desiccant 냉방시스템의 용도는 현재까지 특정한 장소에 국한되어 있으며, 종래에 사용하고 있는 에너지원으로 가동되고 있다. 그러나 자연에너지의 유효활용으로써 태양열을 대량으로 집열할 수 있는 고온 다습한 지역, 또는 70℃ 이상의 폐열을 대량으로 얻을 수 있는 공장 등에 이 시스템을 도입하면 매우 효과적이다.

3.1 Solid desiccant 제습/냉방 시스템

‘adsorbent(吸着劑)’로 일컬어지는 solid desiccant에 의한 제습의 원리는 모세관 응축이다. adsorbent는 흡착 용량이 크다. 실제로 실리카겔과 같은 adsorbent의 표면을 현미경으로 확대해 보면, 해면체와 같은 다공질 구조로 되어 있기 때문에 표면적이 매우 넓다. 그 한 예로, 실리카겔 1g의 표면적은 약 500m<sup>3</sup>나 된다. 그러므로 비교적 물체의 표면에 흡착되기 쉬운 물분자가 흡착제를 통과할 때, 공기로부터 수분이 adsorbent의 표면으로 이동하여 습한 공기가 건조한 공기로 바뀐다. 따라서 이 방식은 연속적으로 공기를 건조시켜야 하는 산업공조에 많이 이용되고 있다. 그림 3에 대표적인 adsorbent의 단위 중량당 수분 함유량을 습도별로 나타내고 있다. 수분을 흡착한 adsorbent는 그만큼 흡습력이 떨어지기 때문에 제습 효과를 기대할 수 없다. 그러므로 adsorbent를 재생(regeneration)하기 위해서는 반대로 흡착

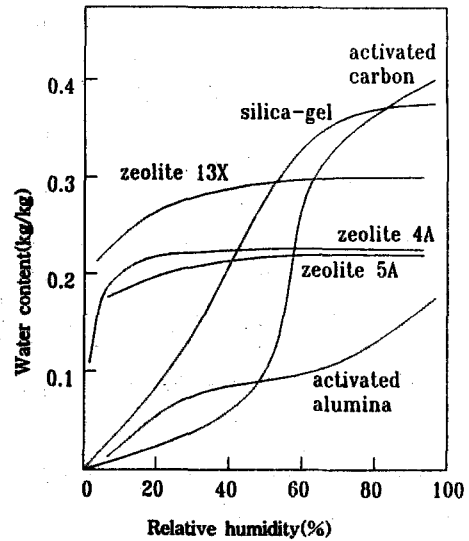


그림 3 대표적 adsorbent의 수분 함유량 관계

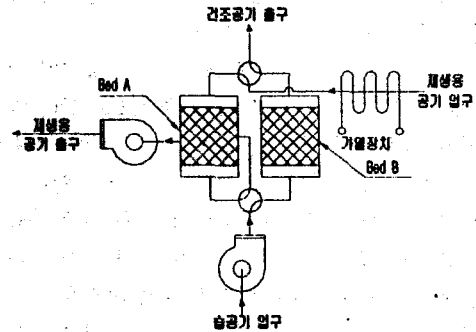


그림 4 Two bed 타입 제습기의 장치도

된 수분을 제거해야 한다. adsorbent 재생에는 가열방식과 고압방식이 있는데, 주로 열을 가하여 재생하는 가열방식이 많이 이용된다. 재생열원으로서는 전기, 가스, 기름, 증기 및 폐열 등이 있는데, 사용 방식 및 용도에 따라 각각 달리 사용되고 있다.

solid desiccant 제습의 대표적 방식으로는 ‘2탑 전환식’으로도 불리는 two bed 타입, 흔히 ‘회전식’으로 불리는 rotary drum 타입, 그리고 ‘다단식’으로 불리는 multi-bed 타입이 있다. 그림 4에 two bed 타입의 장치도를 나타내고 있다. 이 장치에서는 일정한 통과 시간내에 공기로부터 수분을 흡착하고, 또 재생하여야 하기 때문에 흡착

제를 충전한 배드(bed) 2개가 설치되어 있다. 배드의 한 쪽은 공기로부터 수분을 흡착하고, 다른 쪽은 흡습력을 복원시키기 위하여 흡착제를 재생시킨다. two bed 타입은 이와 같이 흡착 및 재생을 연속적으로 교대로 행한다. multi-bed 타입은 제습 및 재생 능력이 충분하지 않을 때, 흡착제를 충전한 배드 수를 2개 이상으로 설치하여 사용한다. 일반적으로 흡착제가 흡착할 수 있는 수분량은 압력이 높을수록, 그리고 온도가 낮을수록 많아진다. 그러나 대부분의 공조분야에서는 대기압, 상온에서 사용되기 때문에 흡착 수분량을 증대시키기 위해서는 흡착제 단위 중량당의 수분부하를 작게 하여야 한다. 따라서 two bed 타입에서는 흡착 또는 재생되는 공기의 각 배드로의 전환 타이밍이 무엇보다도 중요하다. 보통 배드가 재생과 제습으로 서로 바뀌는 전환 시간은 약 2~4 시간 정도이나, 이를 어느 정도 적절한 시기에 전환하느냐가 제습성능을 결정한다. 그러나 이 타입들은 전환할 때마다 온도와 습도가 변하기 때문에 일정한 온도와 습도를 요구하는 환경에는 적합하지 않다. 또한 흡착제가 많이 필요하며, 구조가 대형으로 가격도 비싸기 때문에 소형시스템 이

외에는 그다지 사용되지 않는다. 더욱이 흡착제의 재생온도가 최소한 100℃ 이상으로 매우 높고, 또한 대용량의 재생열원이 필요하다는 단점도 있다.

한편, rotary drum 타입은 그림 5과 같은 rotor(회전체)를 적절히 나누어서 제습과 재생을 담당시키고 있다. 이 회전체는 강한 흡습력을 지닌 absorbent를 특수 가공한 알루미늄이나 플라스틱에 함침(含浸)시킨 후, 벌집(honeycomb) 모양으로 가공한 것이다. 근래에는 단위 면적당 공기와의 접촉 면적을 크게 하기 위하여 탈취(脫臭)장치에 주로 사용하였던 활성탄(activated carbon)을 회전체에 마감 처리한 재질이 많이 사용되고 있다. 그림 6에 rotary drum 타입의 장치도가 나타나 있다. 그림에서와 같이 회전체는 재생영역(A부분)과 제습영역(B부분)으로 분할된 실(chamber)에서 저속으로 회전한다. 이 때, 습공기는 제습영역을 통과하면서 수분을 빼앗겨 건조공기가 된다. 한편, 흡습한 제습영역은 회전체에 의해 천천히 재생영역으로 옮겨지고 재생히터에서 가열된 공기에 의해 수분이 증발되어 흡수포텐셜이 다시 높아진다. 이러한 상호작용은 회전체가 회전하는 동안에 연속적으로 반복된다. 회전체의 회전속도는 제작 회사에 따라 약간의 차이는 있으나, 보통 8~20rpm

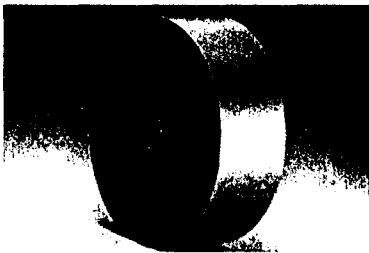


그림 5 흡습제 회전체(desiccant rotor)의 모습

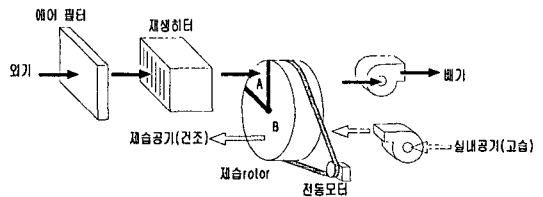


그림 6 Rotary drum 타입 제습기의 장치도

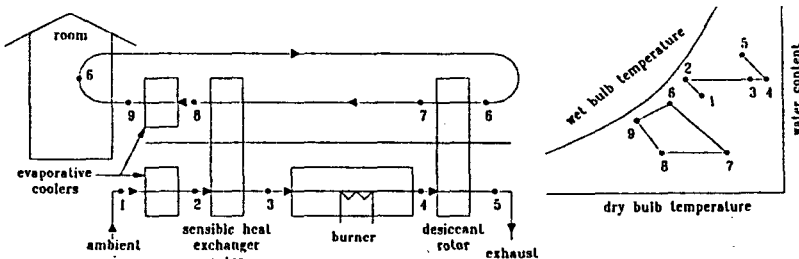


그림 7 Solid desiccant 제습/냉방시스템 개략 및 상태도

정도이다. 실제로 이 타입의 제습성능은 회전속도 보다는 면적비  $\zeta(=A/B)$ 에 크게 좌우된다. 따라서 재생영역인 A면적을 최소로 하고, 제습영역인 B면적을 최대한 크게 하려는 노력이 제작 회사마다 끊임없이 계속되고 있다. 왜냐 하면, 이 여하에 따라서 제습기의 다운사이징(down-sizing)도 가능하게 되어 흡착식 제습의 큰 단점인 크기 문제를 해결할 수 있기 때문이다.

그림 7에 상용화되어 있는 solid desiccant 제습/냉방시스템의 개략도와 이에 따른 공기의 상태 변화를 선도상에 나타내었다. 그림에서 상태 ⑥인 실내공기는 송풍기에 의해 회전식 잠열교환기인 honeycomb 회전체로 유도된다. 여기서 실내공기는 제습되어 상태 ⑦인 고온 건조한 공기로 바뀐다. 제습과정에서는 solid desiccant가 공기 중의 수분을 흡수할 때, 희석열(heat of dilution)이 발생하므로 공기선도상에서 등엔탈피선과는 약간 달리 변화한다. 이 고온 건조한 공기는 다음에 흡습

력이 없는 현열만 교환하는 금속으로 이루어진 현열교환기로 유도되어, 실외측 가습기에 의해 거의 상대습도가 100%까지 가습 냉각된 외기 ②와 현열만 교환하여 예냉된다. 현열교환기를 거친 상태 ③의 저온 건조한 공기는 실외측 가습기에 의해서 등엔탈피 변화인 단열가습 과정을 거쳐 상태 ④로 바뀌어 실내로 취출된다. 한편, 제습과정에서 수분을 흡습한 회전식 잠열교환기는 버너에 의해 가열된 공기 ④에 의해 상태 ⑤로 재생되어 송풍기에 의해 배기된다. 회전식 현열교환기에서는 상태 ②의 저온 다습한 공기가 현열 교환만 하여 상태 ③으로 바뀐다.

또한 solid desiccant 제습은 이용 형태에 따라 크게, 1) 전외기방식, 2) 전순환방식 그리고 3) 외기혼합방식으로 구분한다. 그림 8에 각각의 사용 형태를 개략적으로 나타내고 있다. 보통 전외기방식은 분진 등이 발생하여 건조공기의 재순환 사용이 곤란한 경우에, 그리고 전순환방식은 보관창고와 같이 외기 도입을 필요로 하지 않는 경우에 각각 이용되며, 외기혼합방식은 외기와 환기(return air)를 혼합하여 사용하는 방식으로 고도의 온습도 제어를 필요로 하는 특수한 경우에 사용된다.

solid desiccant 제습/냉방시스템은 구조가 간단하여 고장을 일으킬 염려가 없다. 그러나 재생이 충분히 일어나지 않은 상태로 운전되어 제 능력을 발휘하지 못할 우려가 있다. 이러한 경우는 solid desiccant가 장시간 방치되어서 수분을 너무 과다하게 흡습하고, 또 재생이 충분히 이루어지지 않은 상태에서 정해진 시간으로 절환하여 사

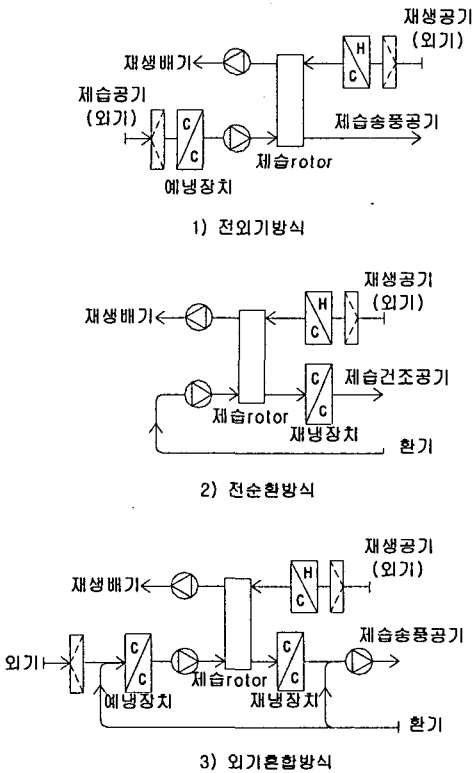


그림 8 Solid desiccant 이용 용도별 제습방식

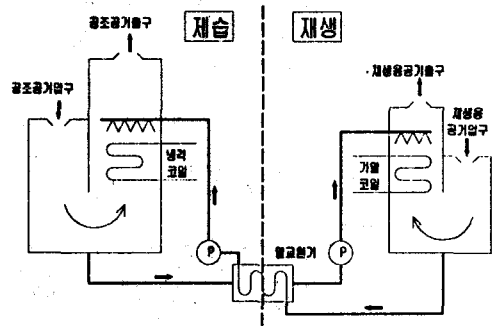


그림 9 Liquid desiccant 제습기의 장치도

용할 경우에 자주 일어난다. 이 때는 제습영역은 멈추고 재생영역만 가동하여 충분히 재생온도에 도달하고 난 다음에 시스템을 절환해서 사용해야 한다.

### 3.2 Liquid desiccant 제습/냉방 시스템

‘absorbent(吸收劑)’로 일컬어지는 liquid desiccant 제습/냉방은 습도와 온도를 동시에 조절할 수 있고, 연속적 운전이 용이하며 대풍량의 공기를 처리하는데 적합하다는 특징을 갖고 있다. 그림 9에 absorbent에 의해 작동되는 liquid desiccant 제습기의 장치도를 개략적으로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 흡수부 상부에서는 absorbent가 노즐로부터 균일하게 유하되고 습공기는 흡수부 하부로 유입되어 absorbent와 직접 접촉하여 제습된다. 여기서 냉각코일은 absorbent가 습공기로부터 흡습할 때 발생하는 흡수열을 처리하는데 이용되는데, 냉각코일의 온도는 absorbent 온도보다도 보통 10℃ 정도 낮게 설정한다. 그러나 중요한 것은 흡수부에서 습공기와 absorbent가 접촉하는 접촉면적을 넓게 하는 것이다. 왜냐하면, liquid desiccant 제습은 이 접촉면적에 따라 성능이 크게 좌우되기 때문이다. 한편, 흡습하여 농도가 낮아진 absorbent는 펌프에 의해 재생부로 옮겨진다. 재생부에서는 저농도의 absorbent를 가열코일으로써 직접 가열하여 온도를 상승

시킨 후, 재생부로 유입되는 공기으로써 수분을 방출시킨다. 재생과정을 지나 농도가 다시 높아진 absorbent는 재생부로 보내어져 다시 제습사이클을 형성한다.

liquid desiccant 제습/냉방은 어떤 종류의 absorbent를 사용하느냐에 따라서 그 성능이 매우 달라진다. 일반적으로 absorbent로써 사용되기 위해서 다음과 같은 특성을 갖추어야만 한다.

- 1) 평형수증기압이 낮고, 낮은 수증기압에서 흡수력이 클 것
  - 2) 화학적으로나 열적으로 안정하며, 반응열이나 용해열이 적을 것
  - 3) 재생복원력이 용이할 것
  - 4) 인체에 무해하고 가격이 싸며, 부식성이 적을 것
  - 5) 상온에서 absorbent의 결정이 석출되지 않아야 하며, 점도가 작고 또한 열전도성이 좋을 것
- 그러나 위의 특성을 모두 갖춘 absorbent는 현재 그다지 많지 않으며, 그 중에서 많이 사용되고 있는 absorbent는 염화리튬과 트리에틸렌글리콜이다. 그림 10에 두 absorbent의 농도에 대한 노점온도가 나타나 있다. 그림에서 제습에 가장 중요한 흡수포텐셜을 노점온도 기준으로 비교하면 염화리튬이 트리에틸렌글리콜보다도 농도에 비해 노점온도가 낮다. 따라서 현재는 absorbent로써 트리에틸렌글리콜보다도 염화리튬이 많이 사용되고 있다.

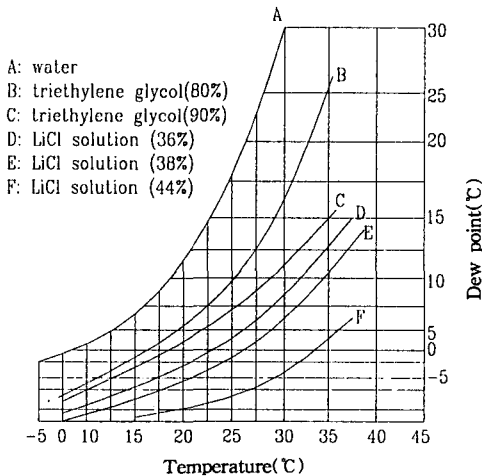


그림 10 대표적 liquid desiccant의 농도별 노점 온도

liquid desiccant 제습/냉방시스템의 한 예로, 염화리튬을 이용하며 냉각수로 15℃ 정도인 지하수를 사용하는 제습기에서는 입구공기가 온도 23℃, 상대습도 60%(이 때의 노점온도는 약 15℃)라고 출구공기의 노점온도가 -2℃까지 떨어져 제습/냉방 효과를 얻을 수 있다. 그러나 지하수를 얻을 수 없는 경우, 냉각탑에서 얻어지는 냉각수의 온도는 보통 30℃ 정도가 된다. 이 경우에는 제습기의 출구공기의 노점온도가 무려 6.5℃가 되므로 냉각제습과 거의 차이가 없게 된다. 따라서 최근에는 도시와 같이 냉각열원으로 지하수를 사용하기가 어려운 곳에서는 부득이하게 칠러(chiller)를 병행하는 경우가 많다. 칠러의 냉매로써는 물, 브라인, 프레온, 암모니아 등이 사용되고 있다. 게다가

표 2 상용되고 있는 liquid desiccant의 특성

Desiccant 종 류	실온에서 경제적으로 얻어지는 습도(R.H.)	독 성	부식성	안정성	특 징
CaCl(sol.)	20~25%	없음	없음	안정	LiCl(sol.)과 거의 같음
Glycerin	30~40% : 농축 50% : 무수	없음	없음	고온에서 산화분해	진공 증발에 의해 재생. 농도 50~ 60%에서 많은 수분을 흡수함
LiCl(sol.)	10~20%	없음	있음	안정	용축 및 용해열 제거를 위한 냉각장 치 필요함
Phosphoric acid(인산)	5~20%	있음	있음	안정	부식성과 독성으로 공업용 흡습에는 적용하기 어려움
Sodium hydroxide	10~20%	있음	있음	안정	용액의 고온가열과 부식성 때문에 일 반 장치에서는 사용이 곤란
Sulfuric acid(유산)	5~20%	있음	있음	안정	핸들링의 위험성이 있음. 그러나 사 용 가능시에는 고효율임
Triethylene glycol	5~10%	-	없음	안정	비점이 288℃로 흡습제의 손실없이 재생할 수 있음

가 공기 중의 병원균을 죽이는 살균효과가 있는 염화리튬을 병원 제습에 사용하면 병원내의 오염 관리 구역을 크게 줄일 수 있다. 한 보고서에 의하면, 공기가 염화리튬 이용 제습기를 한 번 통과하면 공기 중의 포도구균을 비롯한 세균이나 곰팡이의 약 97% 정도가 사멸된다고 전해진다. 따라서 식품 및 제약 분야에서는 염화리튬을 이용하는 흡수식 제습기를 많이 사용하고 있다. 현재 상용되고 있는 absorbent의 종류와 그 특성을 표 2에 나타내었다.

liquid desiccant 제습/냉방시스템은 운전상 큰 문제는 없으나, 주의해야 할 점은 adsorbent의 비산(飛散)이다. 일명 '캐리오-버(carry-over)'라고 불리는 현상은, 노즐의 압력이 너무 높아서 액의 미스트(mist)가 증가하였을 때와 냉각코일을 지나는 기류 속도가 증가하였을 때 일어난다. 만약에 absorbent가 비산하여 실내로 유입되거나 기기에 부착되었을 경우에는 부식같은 문제가 발생하여 기기에 치명적인 손상을 입힌다. 따라서 이를 방지하기 위해서는 노즐 압력에 항상 주의해야 하고, 펌프의 토출측에 absorbent가 일정량 이상 흐르지 않는 노즐을 부착하여야 한다.

한편, 근래에는 대형 건물과 같은 빌딩공조에서

뿐만 아니라, 산업용 공정에서도 엄격한 저온 저습 환경을 더욱 요구하고 있다. 따라서 이에 정확히 대처하기 위해서는 냉각과 제습의 합리적인 설계가 무엇보다도 필요하다. 그림 11에 제습기의 제작에 있어서 일반적인 설계 순서를 흐름도로써 표시했다.

#### 4. 맺음말

desiccant 냉방시스템의 미래는 밝다. 왜냐하면, 이 시스템은 운전비가 전력용 공조기보다도 낮을 수 있으며, 쾌적하고 질이 높은 실내공기를 제공할 수 있기 때문이다. 따라서 슈퍼마켓, 레스토랑, 호텔, 병원 등과 같은 상업용 건물의 냉방에 적합할 뿐만 아니라, 오피스텔과 같은 복합건물에서도 desiccant 냉방시스템이 유리하다.

미국의 어떤 기후에서는 연간 30% 이상의 기간이 종래의 시스템으로는 쾌적한 환경을 조성하기 어렵다고 보고되고 있다. GRI(Gas Research Institute)에서는 이러한 지역의 주택에 기존의 공조시스템 대신에 desiccant 냉방시스템을 적용하여 쾌적한 환경을 조성할 목적으로 desiccant의 성능 향상과 기초 연구를 꾸준히 진행하여 왔다.



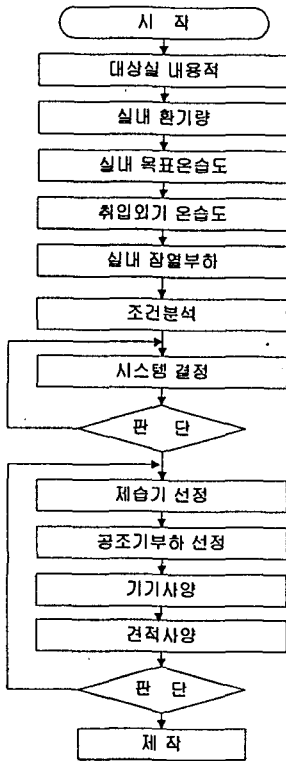


그림 11 제습기 설계의 순서도

그 결과, solid desiccant와 liquid desiccant 모두에 대해서 가스, 전기를 복합적으로 이용하여 제습/냉방하는 상용 시스템은 이미 개발되었으며, 주택에 적용하는 시스템은 현재 거의 실용화 단계에 까지 와 있다. 실제로 일본에서는 그림 12와 같은 콤팩트형 desiccant 제습시스템을 개발하여 현재 시판하고 있다. 이러한 기술의 성공 및 상용 시스템에서 얻어진 기술을 주택 냉방에도 적용하려는 연구가 한창이다. 특히 연구는 주택용 desiccant 냉방시스템을 성공시키는데 결정적 요인인 시스템의 다운사이징과 비용 감소에 R&D가 집중되어 있다. 널리 알려진 Kathabar는 liquid desiccant 냉방시스템의 선두로써 오래 전에 개발되었으나, 지금도 시스템 개선과 성능 향상을 위한 노력을 아끼지 않고 있다. 이러한 노력들이 끊이지 않는 한, 가까운 미래에 desiccant 냉방시스템이 오피스텔과 같은 대규모 빌딩은 물론 주택 냉방에 이르기까지 광범위하게 보급되리라 기대된다.

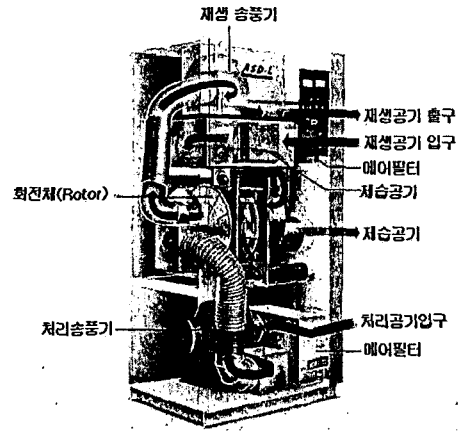


그림 12 상용되고 있는 콤팩트형 Desiccant 이용 제습기

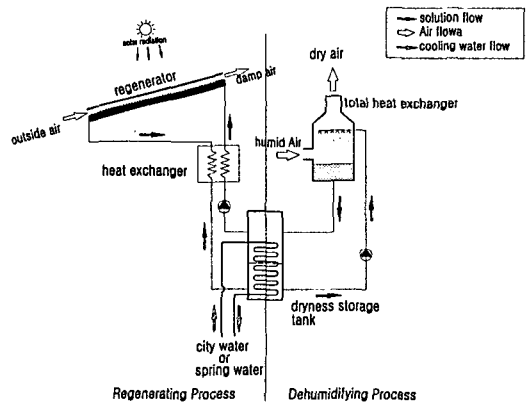


그림 13 자연에너지 이용 desiccant cooling 시스템 개략도

그러나, 지금까지의 desiccant 냉방시스템은 하이브리드 형태로 전기나 가스를 많이 사용하여 왔다. 하지만 이러한 부분은 에너지 절약이라는 차원에서는 앞으로 개선되어야 한다. 따라서 현재는 desiccant 냉방시스템 중 비용 상승과 결부되어 있는 전동냉동기 부분을 없애려는 연구가 한창이다. 그 중에서도 지하수나 지열, 혹은 폐열 등과 같은 미활용 에너지를 적극 도입하여 냉방을 하는 자연에너지 이용 desiccant 냉방시스템 개발이 주목을 받고 있다. 필자는 이와 관련되는 연구로써 태양열을 이용하여 냉난방을 행하는 공조시스템 개발에 박차를 가하고 있다. 그 결과, 시스템

구성 차원에서도 소정의 결실을 얻었으며, 부분적인 요소 기술도 개발하였다. 그림 13에 필자가 연구하고 있는 태양열 이용 냉난방 공조시스템의 개략도를 나타내었다. 이에 관련되는 시스템의 원리나 연구 결과들은 다음에 기회가 있으면 구체적으로 소개하고자 하오나, 독자들의 깊은 양해가 있으시길 바랍니다.

#### 참 고 문 헌

1. 井上宇市, 1985, 空氣調和 핸드ブック 丸善株式會社(日本語版).
2. 藤田重文, 1986, 化學工學演習(第2版), 東京化學同人(日本語版).
3. Okada, Okonogi, 1988, 充填塔を用いた液體除濕器研究, 綜合研究所報 No. 2, 高砂熱學(日本語版).
4. JSME Data Book, 1987, Heat Transfer (4th Edition), Japan Society of Mechanical Engineering(in Japanese).
5. Brundrett, G. W., 1987, Handbook of Dehumidification Technology, Butterworth.
6. Vits, V. H., 1958, Graphische Darstellung von Absorptionsvorgängen insbesondere zur Entfeuchtung von Luft mit wässriger Lithiumchloridlösung, Forschung, unter dem Gebiete des Ing.-wesen.
7. Uchida. H., 1972, Moist Air and Cooling Tower, Syokabo, Revised Edition(in Japanese).
8. Rush, W. F., 1978, Solar Desiccant Systems for Heating and Cooling, Institute of Gas Technology, Chicago.
9. 그 외 카탈로그 다수.