

흡착 제습제 및 제습로터 (Solid Desiccant and Desiccant Rotor)

이 대 영

한국과학기술연구원(ldy@kist.re.kr)

박 문 수

한국생산기술연구원(mspark@kitech.re.kr)

서론

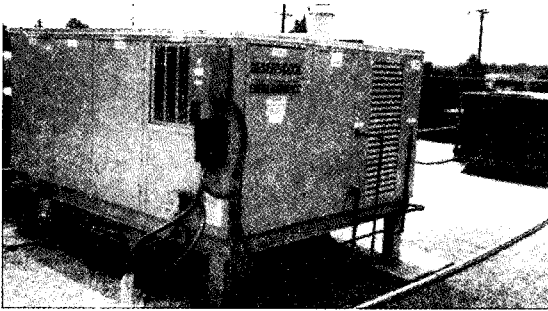
공조시스템에서 일반적으로 적용되는 제습 방법은, 증발기 또는 냉각코일의 표면온도를 공기의 이슬점온도 이하로 유지하여 공기 중의 수증기를 응축시켜 제습하는 냉각식 제습방법이다. 총 냉방부하 중에서 잠열부하가 차지하는 비중이 클수록 더욱 건조한 공기를 공조공간에 공급하여야 하므로, 냉각식 제습방법에서는 이슬점 온도를 낮추기 위하여 증발기 또는 냉각코일의 온도를 더욱 낮게 유지하여야 한다. 이에 따라 공급공기의 온도가 필요 이상으로 낮아지게 되는 경우가 발생하여 공급공기를 냉각 제습 후 재열하여야 할 필요가 생기기도 하며, 냉동기의 저온부 온도가 낮아짐에 따라 냉동 효율이 저하하여, 공조시스템의 전체적인 에너지 효율이 감소하게 된다. 또한 목표 습도가 매우 낮은 경우에는 증발기 코일에 착상이 발생하게 되어 시스템의 원활한 운전이 불가능해지게 된다.

흡습식 제습 냉방시스템(desiccant cooling system)은 냉각식 제습방법의 이러한 단점을 보완하기 위한 시스템으로, 이 시스템에서는 제습제(desiccant)를 이용하여 잠열부하를 처리한다. 제습제는 습기에 대하여 강한 친화력이 있는 물질로서, 주위 공기에서 직접 수증기를 흡수(absorption, adsorption)할 수 있으며, 제습제에 열을 가하면 흡수된 수증기가 증발하여 제습제가 다시 건조해지므로 반복하여 사용할 수

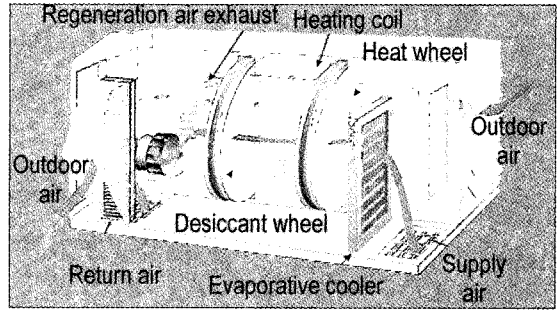
있다. 제습제는 silical gel, zeolite 등의 고체 제습제와 LiCl(lithium chloride)등 액체 제습제로 대별될 수 있으며, 어떠한 형태의 제습제를 활용하느냐에 따라 제습기의 구조가 달라진다. 고체 제습제를 이용하는 경우 제습기는 보통 회전하는 원통 형태가 되어, 원통의 일부에서는 흡착/제습이 일어나며, 다른 부분에서는 탈착/재생이 일어난다. 액체 제습기는 제습탑과 재생탑을 필요로 하며, 제습탑에서 수분을 흡수/희석된 제습제는 재생탑으로 순환되어 수분을 증발시키고 농축/재생된다.

그림 1은 현재 상용화되어 있는 고체 제습제를 이용한 제습 냉방시스템과 이 시스템의 내부 구조를 나타낸다. 이 시스템은 Two-Wheel Desiccant System(TWDS)으로, 제습로터(desiccant rotor), 현열교환기, 급기 송풍기, 배기 송풍기, 재생공기 가열 열교환기로 구성되어 있다. 이 시스템에서는 고온 다습한 공기가 제습로터를 통과하면서 제습 건조되고, 냉동기의 증발기 또는 냉수코일 등을 지나면서 온도가 낮아진 후 실내로 공급된다.

이 시스템에서 잠열부하는 흡습식 제습기가, 현열부하는 냉동기가 담당하므로, 공급공기의 습도와 온도를 서로 독립적으로 제어할 수 있는 장점이 있다. 이러한 시스템은 박물관, 문서 수장고, 제약회사 등 공급공기의 온도가 상온이면서 저습도가 요구되는 경우에 매우 적합하다. 또한 이 시스템은 열에너지(제습기의 재생과정에 소요)를 이용하여 잠열부하를



(a) 흡착식 제습 냉방시스템 설치사례



(b) 흡착식 제습 냉방시스템 구조

[그림 1] 흡착식 제습 냉방시스템

처리하므로, 전기에너지를 필요로 하는 기존의 냉각식 제습 시스템보다 훨씬 경제적으로 잠열부하를 처리할 수 있다. 이러한 장점은 레스토랑, 오피스텔, 극장, 병원 등 대용량의 환기를 필요로 하는 상용 건물의 환기 도입에 따른 잠열부하의 처리에 활용될 수 있다.

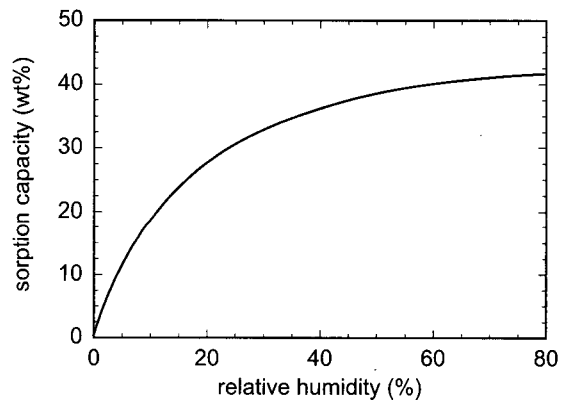
한편 고온 다습한 공기를 제습기를 이용하여 제습한 후 증발 냉각으로 온도를 낮추어, 증기 압축식이나 흡수식 등 여타의 기존 냉동기 없이 냉방을 공급할 수 있는 독립형 제습 증발 냉방시스템을 고안할 수 있다. 이 시스템은 여타의 냉동기 없이 열에너지만으로 냉방공급이 가능하므로, CFC계열의 냉매에 의한 오존층 파괴, 하절기 냉동기 가동에 의한 침투 전력부하 및 전력부하 변동의 증가 등 기존의 냉방 시스템에 의한 여러 가지 문제를 해결할 수 있으며, 또한 환기에 의한 잠열부하의 처리가 용이하여, 실내 공기질(LAQ) 향상을 위한 환기량의 증대에 적합하다.

이러한 여러 가지 장점으로 흡습식 제습기와 증발식 냉각기를 조합한 제습 증발 냉방시스템이 근래 들어 상당한 주목을 받고 있으며, 본고에서는 제습 냉방시스템의 핵심에 해당하는 제습재료와 제습로터 관련 기술 및 특허에 대하여 소개하고자 한다.

제습제 및 제습로터의 흡습 및 재생 과정

제습제의 흡습 및 재생과정

제습제는 수증기에 대해 높은 친화성을 갖고 있는 물질들로, 대략 건조무게 대비 20% 이상의 수증기를



[그림 2] 제습제의 등온흡습곡선

흡수할 수 있는 물질을 지칭한다. 제습제의 흡습특성은 등온상태에서 상대습도 변화에 따른 제습제의 평형 흡습량의 변화를 나타내는 등온흡습곡선(sorption isotherm)으로 나타낸다. 그림 2는 등온흡습곡선의 일례를 나타낸 것으로, 이 등온흡습곡선은 온도에 대해서는 크게 변화하지 않는 것으로 알려져 있다.

제습제와 주위 공기 사이에서의 수증기의 전달은 제습제 표면의 수증기 압력과 주위공기의 수증기 분압 차이에 의존한다. 제습제 표면의 수증기 압력이 주위공기의 수증기 분압보다 작을 때 제습제는 습기를 빨아들이고, 제습제 표면의 수증기 압력이 공기의 수증기 분압보다 높을 때 습기를 배출한다.

그림 3은 이러한 과정에서 제습제의 상태변화를 등온흡습곡선과 습공기선도에 도시한 그림이다. 초

기 흡습량 20%인 제습제가 20℃로 유지되며, 절대 습도 9 g/kgDA 인 주위공기에 노출된 상태를 가정한다. 이 경우 제습제 표면에서의 평형 상대습도는 그림 3(a)로부터 12%정도이며, 이를 그림 3(b)의 습공기선도 상에 나타내면 ①로 표기한 지점이다. 제습제 표면에서의 절대습도(수증기 분압에 비해)가 주위 공기의 절대습도보다 낮으므로, 주위 공기로부터 제습제 표면으로 수증기가 이동하여 제습제 표면에 흡수되며, 제습제의 흡습량이 증가함에 따라 제습제 표면에서의 평형 상대습도는 그림 3(a)에서 알 수 있는 바와 같이 점차 증가한다. 제습은 제습제 표면의 절대습도가 주위공기의 절대습도와 평형을 이루는 상태, 즉 9 g/kgDA 이 될 때까지 지속된다. 평형상태에서 제습제 표면의 온습도 조건은 그림 3(b)의 ②로 나타낸 지점이며, 이 때의 상대습도가 60%이므로, 제습제의 흡습량은 그림 3(a)로부터 40%정도이다.

이제 이 상태의 제습제를 순간적으로 50℃까지 가열하고 일정하게 유지하는 것을 가정한다. 순간적인 가열에 의하여 제습제는 흡습량은 변화 없는 상태에서 온도만 증가하므로, 제습제 표면의 상태는 그림 3(b)의 상대습도 60% 일정선을 따라 상태 ②에서 ③으로 변화한다. 결과적으로 제습제 표면의 절대습도가 크게 증가하여 표면으로부터 주위로의 수증기 전달, 즉 제습제의 탈습 재생이 시작된다. 이 재생과정은 제습제 표면의 절대습도가 주위 절대습도와 평

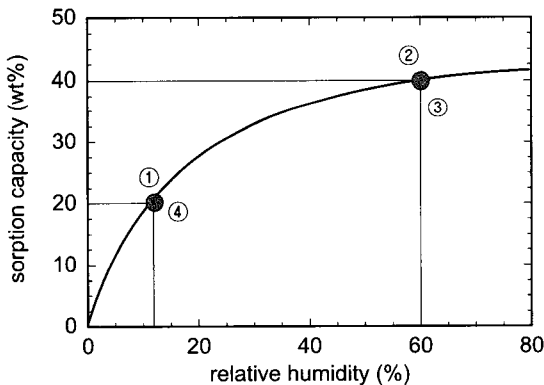
형을 이루게 되는 조건, 즉 그림 3(b)의 상태 ④에 도달할 때까지 이루어지며, 이 과정에서 제습제의 흡습량은 상태 ④의 상대습도에 대한 평형 흡습량까지 감소하게 된다.

다시 이 제습제를 순간적으로 20℃까지 냉각하면 제습제 표면은 상태 ①이 되며, 주위보다 절대습도가 낮은 상태가 되어 흡습이 시작된다.

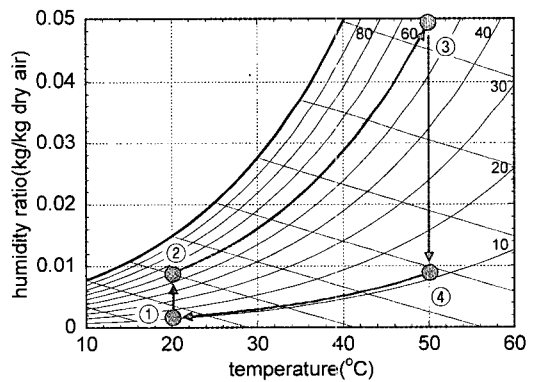
이 과정동안 제습제에 의하여 흡습/재생되는 수증기의 양은 그림 3(a)에서 두 상대습도에 대한 평형 흡습량의 차이임을 주목할 필요가 있다. 즉 두 상대습도조건 사이에서 흡습량의 차이가 거의 없으면, 평균 흡습량이 아무리 크나 하더라도, 재생이 되지 않으므로 반복적인 제습/재생을 필요로 하는 용도로는 적용할 수 없다. 따라서 사용조건에 따른 최적 제습제는 이 흡습량의 차이가 최대가 되는 제습제이며, 역으로 주어진 제습제를 최대로 활용하는 방법은 흡습량의 차이가 최대가 되도록 상대습도 조건을 설정하는 것이 된다.

제습로터의 흡습 및 재생과정

상기한 제습제의 흡습과 재생과정은 주위공기와 완전한 평형상태를 이루는 것을 가정하여 설명한 것이며, 실제 상황에서는 제습제의 표면적, 수증기의 전달저항, 접촉시간 등도 흡습 및 재생과정에 영향을 미치게 된다. 제습로터는 제습제의 표면적을 넓혀 공기와의 접촉면적을 늘리고 수증기 전달저항을

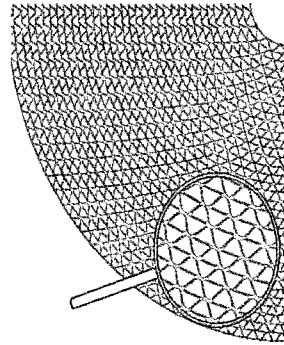
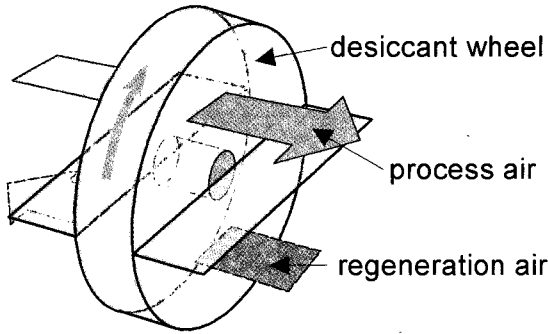


(a) 제습제 흡습량의 변화

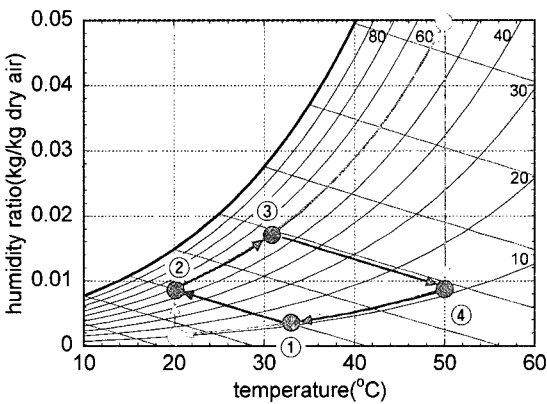


(b) 제습제 표면 상태의 변화

[그림 3] 제습제의 흡습과 재생 과정



[그림 4] 제습로터



[그림 5] 제습로터의 제습 및 재생과정

감소시키며, 동시에 유동에 의한 압력손실을 최소화하기 위하여 그림 4와 같이 골판지(corrugated sheet) 또는 벌집(honeycomb) 모양의 구조로 제작한다.

제습로터의 운전에서는 흡습이나 재생과정 동안 제습로터를 등온으로 유지하는 것은 불가능하며, 제습로터의 온도는 제습로터를 통과하는 제습공기나 재생공기와의 열 및 물질전달에 의하여 결정된다. 제습로터의 제습제 표면 온습도 상태변화를 그림 5에 나타내었다. 이 그림에서 제습공기는 ②의 상태로 유입되며, 재생공기는 ④의 상태로 유입되는 경우를 도시하였다.

먼저 제습로터가 재생공기에 충분히 오랫동안 접촉되어 재생공기와 평형을 이루게 되면, 제습로터 제습제 표면의 온습도는 ④의 상태가 된다. 이러한

제습로터에 상태 ②의 제습공기가 유입되면, 상대적으로 저온인 공기에 의하여 제습로터는 냉각된다. 설명을 간략히 하기 위하여, 제습로터의 열용량은 무시할 수 있을 만큼 작고, 제습로터에 포함된 제습제의 질량이 충분히 크며, 표면에서의 열 및 물질전달 저항은 매우 작다고 가정한다. 이 경우 제습로터는 매우 짧은 시간 안에 온도가 낮아지며, 제습제의 질량이 충분히 크므로, 온도가 낮아지는 동안 제습제 단위질량당 흡습량의 변화는 거의 없다. 따라서 제습제 표면의 온습도 상태변화는 흡습량이 일정한 상태, 즉 상대습도가 일정한 상태를 따라 변화한다. 반면 제습공기는 제습로터를 통과하면서 습도가 낮아지며, 수증기가 제습제에 흡착되면서 발생한 흡착열로 온도가 상승한다. 수증기가 제습제에 흡착될 때 발생하는 열은 수증기의 응축열보다는 약간 크지만 거의 동일하므로, 제습공기는 거의 단열과정을 따라 상태가 변화한다. 따라서 제습로터에 제습공기가 유입되기 시작한 직후에 제습로터는 제습공기 입구온도까지 냉각되지는 않으며, 제습공기 입구상태를 통과하는 등엔탈피선과 재생공기 입구상태를 통과하는 등상대습도선이 만나는 지점인 상태 ①까지 변화한다.

이후에 시간이 계속 경과하면, 흡습량이 점차 증가하여 제습제 표면의 습도가 상승한다. 이 과정에서 제습제 표면의 상태는 전술한 이유에 의하여 제습공기 입구상태를 통과하는 등엔탈피선을 따라 변화하며, 궁극적으로 제습공기 입구상태와 평형을 이루는 상태 ②에 접근한다.

제습로터에 재생공기가 유입되는 경우에도 유사한

원리에 의하여, 제습제 표면의 상태는 등상대습도선을 따라 상태 ②에서 상태 ③까지 변화한 후 등엔탈피선을 따라 점차 상태 ④에 접근하게 된다.

위에 설명한 것은 매우 이상적인 경우에 대한 것으로, 제습로터의 열용량이 무시할 수 있을 만큼 작지 않거나, 표면에서의 열 및 물질전달계수가 충분히 크지 않은 경우에는 제습제 표면의 상태변화는 그림 5에 나타난 폐곡선 ①-②-③-④의 내부에 들어가게 되며, 이는 제습과정과 재생과정에서 제습제 표면 평균 절대습도 차이의 감소를 야기하여 제습로터의 성능이 감소하게 된다.

따라서 제습로터의 성능향상을 위해서는 제습로터 제습제 표면의 상태변화가 이상적인 과정에 이를 수 있도록 관련인자들을 제어하여야 하며, 고성능 제습로터와 관련한 기술개발은 이러한 관점에서 진행되어 왔다.

제습재료 기술

제습재료의 종류

제습재료는 물질 속의 수분을 제거하여 건조시키기 위해 사용되는 재료로서 수분과 반응하여 수분을 고착시키는 화학적 작용과 수분을 흡착 또는 흡수하는 물리적 작용으로 대별된다. 전자의 예로는 염화칼슘이나 황산구리 등이 있으며, 후자의 예로는 실리카겔, 산화알루미늄(알루미나), 제올라이트 등이 있다. 후자에 속하는 물질들은 주로 미세 다공질로 이루어져, 표면적이 매우 큰 특성이 있으며, 수증기 분자가 다공질 표면에 접촉하여 부착(흡착)됨으로써 제습이 이루어진다. 흡착 제습제가 갖추어야 할 가장 중요한 성질은 비표면적(surface to volume ratio)과 수증기에 대한 친화력이며, 비표면적과 친화력이 클수록 흡착효과는 커진다.

1) 활성탄(Activated Carbon)

대표적인 흡착제의 하나이며 탄소 성분이 풍부한 천연자원(여청탄, 코코넛 껍질)으로 만들어진다. 목재분말에 염화아연 수용액을 침투시킨 후 로(爐)에서 가열·염소분을 분리시키고 다시 염산을 사용하여 아연을 용해 추출하는 방법으로 탄화 목재분말에 미세공극을 형성시키거나, 또는 목피, 갈탄, 핏지 등

을 1000℃ 이상의 스팀과 연소가스로 처리·부활시키는 방법으로 목피나 갈탄 중의 특정성분을 분해가스화하여 미세공극을 형성시켜 만든다. 이러한 방법으로 만든 활성탄은 일반적으로 비표면적이 크고(700~1500 m²/g), 미세공극의 분포가 광범위하여 비교적 광범위한 분자종을 흡착한다. 높은 소수성 표면특성 때문에 기체, 액체상의 유기물이나 비극성 물질들을 흡착하는데 적당하다. 다만 수분에 대한 흡착력이 매우 크고, 흡수성능 우수하나 기계적 강도가 약하여 압축 공기에는 그 사용이 극히 제한적이다.

2) 활성 알루미나(Activated Alumina)

활성알루미나는 알민산소다액에 깎사이트 분말을 첨가한 후 가소하여 얻은 천이 알루미나분을 성형, 숙성 및 활성화시켜 만든다. 그 조성은 Al₂O₃ · xH₂O 이고, 비표면적은 160~290 m²/g 정도이며, 극성물질을 선택적으로 흡착하는 특성을 가지고 있다. 잔류수분함량은 7%이고, 충격과 마찰에 대한 높은 기계적 강도를 가지며, 수분 흡착 용량은 13~20%정도이고 최저 평형 노점은 -76℃까지 도달할 수 있다. 또한, 알루미나 단체의 비표면적에는 한계가 있으므로 이를 보완하여 실리카겔을 첨가한 제품도 있다. 알루미나는 주로 가스나 용액의 수분 제거에 쓰이며, 그 외에도 공기 중의 아세틸렌 제거, 절연유의 탈산, 각종 유기화합물의 흡착정제 등에도 쓰인다.

3) 실리카 겔(Silica Gel)

실리카겔은 미세공극의 직경과 용적이 작아 저농도의 흡착량이 많은 A형과 비표면적이 작은 반면 미세공극의 직경과 용적이 커서 고농도의 흡착량이 많은 B형이 있으며, 규산소다에 황산을 반응시킨 후 0℃로 냉각하고 이를 겔(gel)화 하여 수세, 건조, 분급하고 200℃에서 활성화시키면 만들어진다. 이는 비표면적이 300~800 m²/g이고, 미세공극의 용적 0.25~1.2cm³/g 인 다공체로서 내산성과 비표면적이 크고, 흡착성과 용도는 활성알루미나와 유사하다. 수분에 대한 흡착력이 대단히 크고 자중의 40% 까지 흡착할 수 있어 이론 평형노점이 -70℃에 이른다. 재생은 150~180℃로 약 2시간 필요하고, 잔류수분은 5% 미만이며 260℃이상으로 가열하면 흡착 능력을



상실 한다.

실리카겔은 산업계에서 건조제 또는 수분 흡착제로 사용된다. 이는 실리카겔이 높은 입자 강도와 작은 응력 손실을 갖는 불활성 물질이라는 점과 함께, 매우 높은 수분 흡착력을 가지고 있기 때문이다. 이러한 실리카겔은 수분이 흡착되는 원리에 따라 일반적으로 A형과 B형의 두가지 타입으로 나누어지며, 또한 공업용 등급으로서는 RD형, N형, AB형 및 ID형의 네가지 타입이 존재한다.

4) 제올라이트, 분자체(Zeolite, Molecular Sieve)

합성 제올라이트는 일반적으로 실리카겔 알루미늄아겔, 알카리수산화물과 물을 사용하여 알미노규산-겔을 생성시킨 후, 알카리 및 100℃ 전후의 수열 조건 하에서 결정화시켜 제조한다. 3차원적으로 발달된 골격구조를 가진 규칙이 바르게 배열된 aluminosilicate 점토질 결정체로 제올라이트의 골격 구조는 Al과 Si 원자가 각각 O 원자와 3차원적으로 결합을 이루고 있다.

기공의 크기는 10 Å 이하이며, 활성알루미늄과 실리카겔에 비해 극성물질에 대한 선택 흡착성이 크다. 극히 낮은 수증기 분압하에서 거의 포화 흡착량에 가까운 흡착 용량을 가져, 매우 낮은 습도를 얻을 수 있는 장점이 있다.

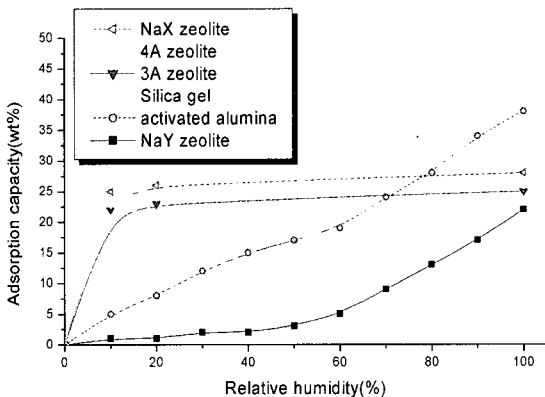
제습재료 특허분야

여러 가지 제습제의 흡습특성을 그림 6에 비교하

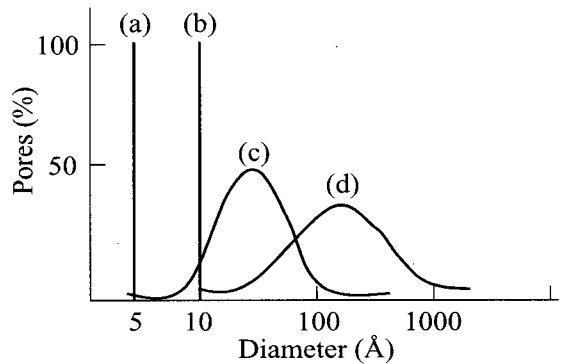
여 나타내었다. 제올라이트는 저습도 영역에서 흡착량이 크게 증가하여 상대습도 10% 정도에서 거의 포화된다. 실리카겔은 상대습도에 거의 비례하여 흡착량이 증가하며, 활성알루미늄도 유사한 특성을 보인다. 이러한 흡습특성을 그림 3에 나타낸 제습제의 흡습 및 재생과정과 연관시켜 고려하면 각 제습제의 장단점을 파악할 수 있다. 제올라이트는 낮은 상대습도에서 흡착량이 크게 변화하므로 낮은 습도를 얻을 수 있는 장점이 있는 반면, 상대습도 20% 이상에서는 흡착능력이 없으며, 재생하기 위해서는 상대습도를 아주 낮게 낮춰야 하므로 높은 재생온도가 필요하게 되는 단점이 있다. 반면 실리카겔이나 활성알루미늄은 모든 상대습도 범위에서 균일한 흡착량 변화율을 가지므로 넓은 상대습도 범위에 적용할 수 있으며, 낮은 재생온도로도 적절한 재생이 가능하다. 그러나 제올라이트에 비하여 저습영역에서의 흡착량 변화율이 상대적으로 작으므로, 아주 낮은 습도를 얻기 위한 용도로는 부적합하다.

그림 6에 나타낸 제습제의 흡습특성은 제습제의 다공구조와 밀접한 관련이 있다. 제습제의 기공분포를 비교하여 개략적으로 그림 7에 나타내었다. 그림 6, 7의 비교로부터 기공의 크기 작을수록 저습도 영역에서의 흡착특성이 증가하며, 기공의 분포범위가 넓을수록 흡착량이 넓은 상대습도 범위에 변화하는 것을 알 수 있다.

최근에는 제올라이트와 실리카겔의 장점을 취합하여 저습도에서의 흡착특성도 우수하고 저온으로 재



[그림 6] 흡습특성 비교



(a) zeolite A, (b) zeolite X, (c) silica gel, (d) activated alumina

[그림 7] 흡착기공의 분포

생이 가능한 제습재료의 개발이 Nichias, Sharp 등 일본 업체를 중심으로 여러 가지 방법으로 추진되고 있다.

일본 특허공개 2000-70659는 제올라이트와 실리카 겔을 적절한 바인더로 혼합하여 각각의 장점을 취합하기 위한 시도이며, 2000-009231, 2001-334120 은 각각 실리카겔과 제올라이트의 부분적인 이온 치환에 의하여 흡습특성을 개선하려는 시도이다. 반면 제습제의 특성을 조절하기 위한 제습제의 기공직경, 직경분포, 기공의 총용적, 기공의 친수성 등의 제어 기술 개발이 진행되고 있으며, 이와 관련한 특허로는 일본 특허공개 2001-104744, 2001-259417, 2002-080213, 2002-253958 등과 미국등록특허 US 6379436 등이 있다.

일례로 Nichias가 출원한 일본특허공개 2000-009231는 습도 환경에 관계없이 높은 흡습성능을 갖는 제습제로서, 산화규소(SiO₂) 90.0, 99.9% 중량에 산화철 혹은 산화철과 다른 금속 산화물과의 혼합물 0.1, 10.0 중량이 배합된 제습제와 이 제습제를 무기물 섬유 시트에 담지한 제습 소자를 제공한다. 한편 Denso는 일본특허공개 2002-253958에서 상당 직경 0.6~1.6 nm의 작은 구멍 용적이 0.2 cm³/g이상이고, 산화규소(SiO₂) 및 산화티탄(TiO₂)이 복합화된 다공질체로 흡착제를 생성하여 작은 구멍 표면의 정전기적 흡인력을 개선한 제습제를 제공한다.

제습제 개선연구의 또다른 방향은 친수성 폴리머를 이용하는 방법이다. 이 폴리머는 이미 수처리와 생물질 분야에서 상업적으로 응용되고 있으며, 등은 흡착곡선 형태, 흡습용량, 흡수열 등의 조절이 잠재적으로 가능하다. 이 폴리머는 공조응용에 편리한 모양으로 제조되거나 코팅될 수 있으며, 값이 싸고 낮은 온도에서 재생될 수 있는 장점이 있다. 이 폴리머를 그 자체만으로 제습제로 이용하는 방법과 기존 무기질 제습제와 합성하는 방법, 금속염과 합성하는 방법 등 여러 가지가 시도되고 있다. 이 분야의 특허로는 US 5292822(1994), US 6080797(2000), 일본특허등록 3187478(2001) 등이 있다.

또 한편으로 제습제는 습기를 빼앗아 유기체가 분해되도록 하는 등 박테리아나 세균을 살균하는 효과가 있다. 이러한 효과는 제습제가 공기부유 오염물질을 제거하여 실내공기질을 개선하는 수단으로 사

용될 수 있음을 의미하며, 기존 제습제에 항균, 살균 효과 등을 첨가하거나 특성을 개선하기 위한 개발도 진행되고 있다.

제습로터 특허분야

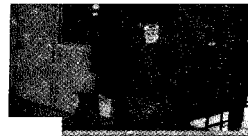
흡착 제습시스템은 주로 산업용 공기제습기로 이용되어 왔으며, 공조용으로 응용하는 예는 아주 최근의 일이다. 산업용 흡착 제습 시스템은 냉각제습 시스템이 달성할 수 없는 극도의 건조한 공기가 요구되는 산업분야에 주로 활용되었으므로, 에너지 효율이나 재생온도 등은 주요 관심사가 아니었다.

제습제를 이용한 시스템의 초기 형태는 용기 내에 제습제 입자를 충전하여 사용하는 정지 베드(fixed bed)형이다. 이 정지 베드 시스템에서는 두 개의 제습제 용기를 교대로 제습/재생하면서 공기 유로를 변경하는 방식을 적용한다. 보통 정지 베드는 입자(bead type)물질을 이용하므로, 공기는 입자들 사이에 불규칙하게 형성된 공동사이로 흐르게 되어 공기측 압력강하가 매우 커지게 되는 단점이 있었다.

한편 Munters는 1968년에 제습기를 통과하는 공기의 압력손실이 작아지도록 평행통로를 제공하는 제습기 구조와, 정지 베드 대신 회전 로터형을 도입함으로써 제습기 분야에 있어서 큰 진전을 이루었다. 이러한 구조의 회전형 로터에 근거한 제습기들은 오늘날 상업적으로 많이 이용되고 있으며, Munters의 기술에 새로운 제습제를 적용한 많은 시스템들이 개발되고 있다.

Munters 기술의 요점은 제습제를 압력손실이 작은 평행 또는 허니컴 통로 형상으로 제작하는 것으로, Munters의 초기 기술은 다공성 허니컴 형상의 세라믹 소재에 염화리튬(LiCl) 용액을 함침하여, 제습능이 부여된 저압력손실 구조의 소재를 얻는 것이다. 한편 염화리튬은 고습도조건에서 수증기를 흡수함에 따라 조해하여 제습제가 소실되는 문제가 있어, 이후의 개발은 실리카 겔이나 제올라이트 등 고체 흡착재료를 이용하는 방향으로 추진되어 왔다.

고체 제습재료들은 그 자체를 얇은 판재로 성형하기 매우 어렵기 때문에, 주로 세라믹 종이에 제습제를 부착하거나, 세라믹섬유를 이용한 제지과정에 제습제를 투입하여 제습제 포함 세라믹 종이를 제조한



후, 이를 골판지 형태로 성형하여 로터를 제조하는 방법이 개발되었다. **그림 8**의 특허는 Seibu Giken이 출원한 것으로 이러한 방법 중 일례를 보여준다. 이 방법의 구성은 주름을 잡는 롤러 1과 2 및 압력롤러 3 그리고 제습제를 세라믹섬유와 같은 무기질섬유로 된 골판지와 평판지 판재 위에 접착하도록 접착제용기 4a와 5a에서 최소한의 접착제가 판재에 칠해지는데 사용되는 접착제 도포구(applicator)롤러 4b와 5b 등으로 이루어진다.

주요 제습로터 생산업체들인 일본의 Seibu-Giken, Nichias, Daikin 등과, 미국의 Engelhard/ICC, LaRouche, Chemicals, Semco 등이 이러한 제습제를 포함하는 판형 소재 관련 특허를 집중적으로 출원해 오고 있으며, 주목할 특허로는 미국 Semco사의 출원특허 US5401706와 Seibu-Giken의 US4911775, US4871607와 유럽의 LaRouche 출원특허 1995-937527와, 일본의 특허출원으로 Daikin의 1999-337053(일본), 2001-45152(일본), Matsushita Electric의 1998-178544(일본), Nichias의 1999-181936(일본), 1998-247972(일본), 2000-154700(일본), 2001-804301(일본), Munters의 1995-175066(일본), Seibu-Giken의 1998-192233(일본), Mitsubishi Paper Mills의 2001-286382(일본) 등을 주목할 필요가 있다.

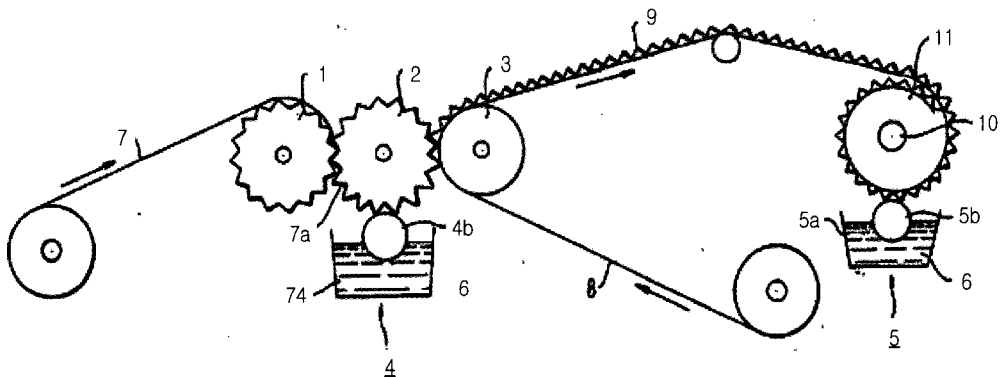
Seibu-Giken의 미국특허 US4871607은 무기섬유로 이루어진 판지 내부 또는 표면에 활성 실리카-알루미늄 에어로졸이 부착된 제습소재를 제공한다. 이 무기섬유는 세라믹섬유, 유리섬유, 슬래그섬유, 탄

소섬유 및 이들의 혼합물로 구성된 그룹에서 선정되며, 유기섬유를 이용하는 경우에 비하여 열과 습도에 대한 팽창 수축이 적으며, 내열성이 커서 고온에서도 열화의 문제가 없다는 장점이 있다.

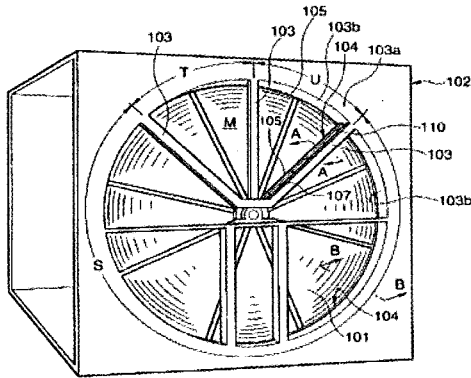
반면에 일본특허 2001-286382(일본)는 제습로터를 공조용으로 사용하는 경우에는 고온재생이 크게 필요하지 않는 점을 고려하여, 유기섬유를 이용한 제습소재를 제공함으로써, 무기섬유가 가지는 취성을 개선하고 기계적 강도를 대폭 향상하는 방안을 제안하였다.

한편 제습로터는 회전하는 로터의 일부에서는 제습이 일어나고, 다른 일부에서는 재생이 일어나는 구조이므로, 이 두 부분 사이에서 누설이 발생할 가능성이 크며, 누설은 즉각적으로 제습로터 성능 저하와 관련된다.

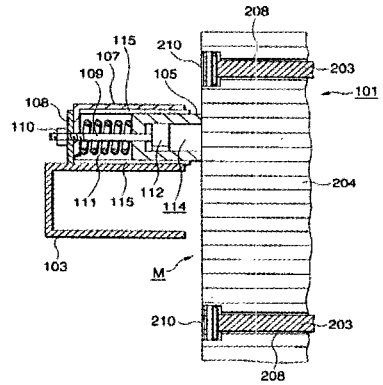
그림 9는 고온재생에도 문제없는 누설 방지 장치와 관련된 특허이다. 통상적으로 누설방지는 PTFE 재질의 실리콘고무를 로터 표면에 밀착하는 방법을 적용하는데, VOC 처리용 흡착로터에서와 같이 재생온도가 200℃ 이상으로 매우 높을 경우에는 이러한 고무재료들을 사용할 수 없는 문제가 있다. **그림 9**의 특허는 누설방지 재료로 발포흑연(expanded black lead) 등의 재료 105를 사용하는 방법을 제안하는 것으로 **그림 9(b)**에 나타난 밀착구조에 의하여 누설방지 재료를 로터표면에 밀착시킴으로써 누설방지 재료 자체가 탄성을 가지고 있지 않더라도 누설방지 효과를 얻을 수 있도록 하는 방법을 제공한다.



[그림 8] US 4911775(1990) 제습소재의 제조방법(Seibu Giken)



(a) 누설방지 장치가 설치된 제습로터



(b) 누설방지 장치((a)의 A-A 단면)

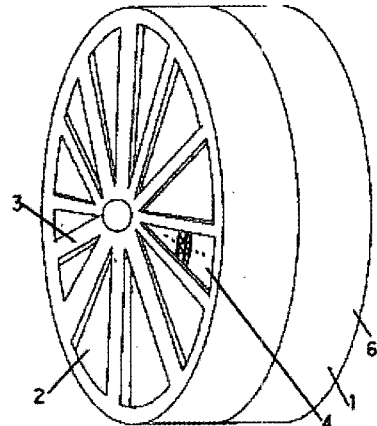
[그림 9] US 6527837(Nichias, 2003)

그림 10의 일본특허 1998-192233(일본)는 가스 흡착·흡수제를 침착한 허니컴 소재 4를, 통기 구멍 2를 갖는 중공 원통상 케이스 1에 수납하도록 하여, 가스 흡착 장치의 실(seal) 부재와 케이스의 양단 평면부가 접하고, 허니컴 소재가 실 부재와 직접 접촉하지 않도록 함으로써, 내구성이 향상된 가스 흡착 로터를 제공한다.

맺음말

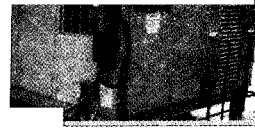
에너지 절약과 실내 공기질 향상에 대한 필요성이 증대됨에 따라, 이 두가지 일견 양립하기 어려운 문제를 동시에 해결할 수 있는 잠재력을 가진 흡착식 제습 냉방시스템에 대한 논의가 점차 활발해 질 것으로 기대된다. 더욱이 흡착식 제습 시스템과 증발식 냉방시스템을 조합한 흡착식 제습 증발 냉방시스템은 물의 증발잠열을 이용하여 냉방을 공급하므로, CFC 계열 냉매에 의한 오존층 파괴문제와도 전혀 관련이 없는 환경친화적인 냉방시스템이며, 구동에너지로 전기에너지 대신 열에너지를 사용하므로, 하절기 냉방기 가동에 의한 전력수급의 불균형 문제도 해결할 수 있다.

미국, 일본, 독일 등 선진국에서는 이미 80년대부터 이러한 흡착식 제습 증발 냉방시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 제습기, 증발식 냉각기 등 주요 부품에 대한 개발이 지속적으로 이루어



[그림 10] 1998-192233(일본) 가스 흡착 장치(seibu-Giken)

어져, 기존의 증기 압축식 냉방시스템에 대한 경쟁력을 점차 갖추어 가고 있는 것으로 보고되고 있다. 특히 미국에서는 이미 흡착식 제습 냉방시스템이 슈퍼마켓의 대형 냉장 display case의 습도조절, 호텔과 모텔의 공조 등의 틈새시장에 이미 진입한 상태이며, 고온 건조한 외기조건을 가진 Arizona, California, Colorado, New Mexico 등을 중심으로 증발식 냉방시스템 또는 흡착식 제습 증발 냉방시스템의 보급이 확산되어 냉방에너지의 50%를 절감한 예가 보고되고 있다. 이분야의 연구는 1990년대 중반부터는 DOE(Department of Energy)의 집중적인



지원을 받게 되었으며, National Renewable Energy Laboratory, Oak Ridge National Laboratory 등 국립 연구소와 가스 공급회사, 제습기 제조회사 등을 중심으로 제습냉방장치의 성능을 향상시키고 공급가격을 낮춰, 기존의 공조시장에 진출하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편 현재 우리나라에서는 흡착식 제습 냉방시스템이 특수한 산업공조 분야에만 적용되고 있어, 시장 규모가 그리 크지 않다. 이에 따라 관련업체들은 주로 제습로터 등 주요부품을 수입하여 시스템을 제작 공급하는 단계에 머물고 있어, 제습재료나 제습로터 등 핵심기술에 대한 국내기반은 매우 취약한 형편이다. 그러나 흡착식 제습 증발 냉방시스템이 에너지 다소비, 오존층파괴, 전력수급 불균형 야기 등 기존의 냉방시스템이 가지는 여러 가지 문제를

해결할 수 있는 충분한 가능성을 가진 시스템으로, 특수 산업용이 아닌 일반 공조용으로서 적용범위가 점차 넓어지는 추세에 있으며, 환경친화적이며 실내 공기질 향상에도 긍정적으로 작용하는 에너지 절약 시스템으로 미래 공조기술의 주요 분야가 될 것으로 예상된다.

이에 따라 제습재료나 제습로터와 관련된 국내 시장규모도 향후 크게 신장될 것이 예상되며, 이에 맞춰 독자적인 핵심기술기반을 갖춰나가는 것이 필요하다. 이를 위해서는 제습재료 및 제습로터와 관련한 기술의 특성상 기계, 화학, 재료 등 다분야 연구자들의 공동연구개발이 필수적이며, 미래기술에 뒤처지지 않도록 산·학·연이 힘을 합쳐 제습공조분야의 연구개발 및 실용화추진을 활성화해야 될 것으로 사료된다. (국)