

제습로터의 개발 및 특성 평가

무기질 시트와 제습제를 주된 소재로 사용하는 제습로터에 대하여 소개하고자 한다.

김 홍 수

한국에너지기술연구원 (hskim@kier.re.kr)

유 윤 종

한국에너지기술연구원 (yjyou@kier.re.kr)

안 영 수

한국에너지기술연구원 (ysahn@kier.re.kr)

주 국 택

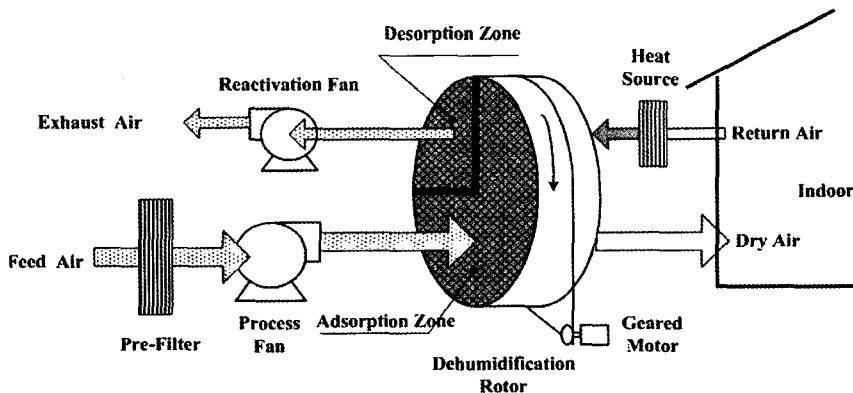
한국에너지기술연구원 (ktchue@kier.re.kr)

서론

공기 중에 포함되어 있는 습기는 음식물의 부패, 금속의 부식을 촉진하며, 실내온도의 제어를 어렵게 한다. 특히 고온다습한 기후를 보이는 우리나라의 여름철에는 지나친 수분으로 인하여 많은 불편함이 초래된다. 이와 같은 수분으로 인한 불편함은 그림 1과 같이 제습로터를 사용한 제습장치를 이용하여 쉽게

해소할 수 있다. 외부에서 공급되는 습도가 높은 공기는 제습로터의 흡착 영역을 지나면서 제습되고, 건조해진 공기는 건물 안으로 공급된다. 한편 건물 안에서 배출되는 공기는 탈착 온도로 가열된 후 탈착 영역을 통과하면서 제습로터에 흡착되어 있는 습기를 탈착시켜 실외로 배출된다.

제습로터는 일반적으로 원통형 구조를 하고 있으며, 원통형의 축 방향으로 작은 공기통로가 무수히



[그림 1] 제습로터를 이용한 제습 개념도



형성되어 있어 이 공기 통로를 통하여 수분을 포함한 공기가 통과하여 지나갈 때 제습로터 안에 포함되어 있는 제습제에 의해 수분이 제습되고 건조한 공기가 밖으로 배출된다. 이때 수분을 포함한 공기는 압력손실이 거의 없이 처리되므로 제습로터는 에너지 절약 측면으로 볼 때 매우 우수한 공조소재이다. 제습로터는 스웨덴의 Munters가 1948년 개념을 정립한 이래¹⁾, Munters, 西部技研, Nichias, Bryair, DRI International 등에서 제조 판매되고 있다.

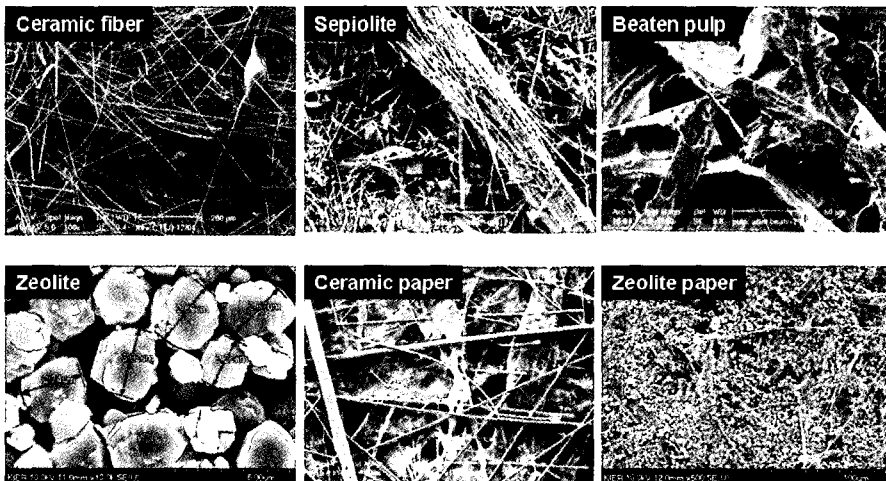
제습장치에 제습로터를 사용할 때 얻을 수 있는 또 다른 장점은 동일한 제습로터에서 흡착과 재생을 동시에 수행할 수 있다는 점이다. 제습장치 안에 장착되는 제습로터는 흡착부와 재생부로 나뉘어져 있으며, 제습로터가 중앙의 축을 중심으로 일정한 속도로 회전하기 때문에 흡착부에서 수분을 흡착한 부분은 회전력에 의해 재생부로 돌아오게 되고 재생부에 공급되는 고온의 공기에 의해 재생된다.

이와 같은 제습로터는 외국의 로터 제조업체로부터 수입되고 있으며, 제조 방법에 대해서는 거의 알려져 있지 않고 특허에 일부 내용이 제시되어 있을 뿐이다. 일반적으로 탈착 온도가 110~130℃에 이르기 때문에 허니컴을 구성하는 소재로 펄프로 만든 종이를 사용할 수 없어 무기질 시트를 사용하며, 무기질 시트에 제습성능이 있는 흡착제를 함침시켜 흡착성능을 부여한다.

무기질 시트의 제조

흡착로터는 흡착제가 함침되어 있는 무기질 시트로 구성되어 있으며, 무기질 시트를 먼저 제조하고, 이 무기질 시트를 골판지 모양으로 성형(corrugation)한 후, 둥글게 성형하여 로터 형태로 한 것을 사용하고 있다. 무기질 시트 자체는 수분을 흡착하는 특성을 가지고 있지 않기 때문에 제습능력을 가지는 흡착제를 무기질 시트에 함침하게 되는데, 함침 공정은 무기질 시트를 제조하는 동안에 실시하는 경우와, 제조한 무기질 시트를 편파형 성형체로 성형하기 전에 실시하는 경우, 원통형 허니컴을 제조한 후에 실시하는 경우가 있을 수 있다. 우수한 특성의 제습로터를 만들기 위해서는 무기질 시트와 흡착제의 선택이 중요하다.

흡착제에 흡착된 수분을 탈착시킬 때 사용되는 고온의 재생 공기에 의한 제습로터의 변형을 예방하기 위하여 세라믹 파이버, 글라스 파이버와 같은 무기질 섬유로 구성된 무기질 시트를 사용한다. 무기질 시트는 펄프로 만드는 종이와는 달리 무기질 섬유의 표면이 매끄럽고 무기질 섬유 사이에 접착력이 없기 때문에 무기 바인더 혹은 유기 바인더를 사용하여 무기질 섬유와 무기질 섬유 사이의 접착이 일어나도록 한다. 또한, 무기질 시트는 흡착 능력을 가지고 있지 않기 때문에 무기질 시트에 가능한 한 많은 양



[그림 2] 무기질 시트의 원료

의 흡착제를 함침 시키는 것이 유리하다.

무기질 시트는 그림 2에서 보는 바와 같이 세라믹 파이버, 글라스 파이버, 세피올라이트를 주성분으로 한다. 이들 재료는 펄프 종이를 만들 때와 같이 무기질 섬유를 물에 풀어서 슬러리를 만들고 슬러리를 wire mesh에 일정한 유량으로 공급한다. 이때 슬러리에 들어있는 원료는 물속에 잘 분산되어 있어야 한다.

무기질 섬유를 포함하는 슬러리는 wire mesh에 공급된 후 자연탈수, 진공탈수 및 압착 탈수를 거쳐서 시트 형태로 만들어지며, 습기 (젖은 상태의 시트)의 함수율이 65% 이하가 되면 시트로 회수할 수 있다. 습지는 건조기 안에 넣어 건조시키거나 건조용 롤을 통과시켜 건조 한 후 편파성형에 사용한다.

무기질 시트의 편파성형과 허니컴 성형

건조된 무기질 시트는 corrugation machine을 사용하여 편파형 성형체를 얻는다. Corrugation machine은 그림 3에 보이는 것과 같이 한 쌍의 성형 롤과 하나의 압착 롤로 구성되어 있다. 한 쌍의 성형 롤 사이로 공급된 무기질 시트는 성형 롤에 형성된 골의 모양대로 성형된 후 압착 롤 쪽에서 공급되어 평평한 형태를 유지하는 무기질 시트와 만나며 이 때 접착제 공급조로부터 공급된 접착제에 의해 접착된다. 이 때 형성되는 골은 U 골, V 골 및 UV 골이 있으며 골의 형태와 크기는 성형 롤에 형성된 골의 크기에 의해 결정된다.

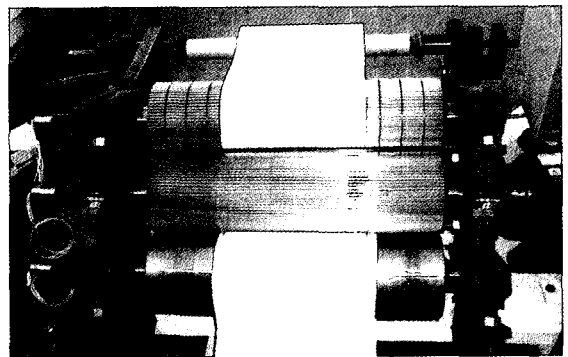
편파형 성형체를 적층하면 허니컴 구조체가 되며, 적층형태에 따라 로터형, 블록형, 直交형, 斜交형, 실린더형 등의 형태가 있다. 허니컴으로 성형했을

때 골의 크기에 따른 허니컴의 표면적과 셀 수의 한 예를 표 1에 나타내었다. 셀의 크기가 크면 압력손실은 감소하지만 단위 부피당 흡착량이 적어지므로 흡착로터로서의 기능을 충분히 발휘하기 어렵고, 셀의 크기가 작으면 압력손실이 커지므로 실험을 통해 최적의 셀 크기를 결정하여야 한다.

제습제의 종류

제습로터에 사용되는 제습제는 초기에 LiCl, CaCl₂와 같이 조해성이 있는 물질을 사용하였으나, 습도가 높은 공기 중에서 운전될 때 제습제에 많은 습기가 흡수되면 제습제가 액화되어 제습로터로부터 분리되는 현상 (weeping)이 발생할 뿐 아니라 제습제가 금속 프레임 등에 부식을 일으키기 때문에 흡착제를 사용하게 되었다.

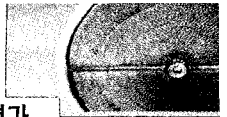
무기질 흡착제는 실리카겔, 제올라이트, 금속실리케이트 등이 있다. 그림 4에 보이는 것과 같이 실리



[그림 3] Corrugation machine

<표 1> 무기질 시트의 허니컴 성형 예²⁾

피치 (mm)	2.00	2.20	2.40	2.65	2.65	3.30	4.10	5.10	6.35	8.60
높이 (mm)	0.85	0.95	1.10	1.15	1.50	2.10	2.50	3.00	3.50	5.20
표면적 (m ² /m ²)	5,400	4,800	4,500	4,000	3,500	2,400	2,000	1,700	1,400	900
셀 수 (cell/in ²)	750	620	420	420	320	190	120	80	60	30



카겔과 금속 실리케이트는 모든 습도 범위에서 폭넓은 흡착량을 보이고 있는 반면 제올라이트는 낮은 습도 영역에서는 실리카 겔과 금속 실리케이트보다 우수한 흡착능력을 보이지만, 일정 습도 이후에서는 더 이상 제습을 하지 않은 특성을 보이고 있다. 따라서, 실리카겔과 금속 실리케이트는 습도가 높은 영역에서의 제습에 적합하고, 제올라이트는 낮은 습도 영역에서의 제습에 더 적합한 것으로 알려져 있다.

제올라이트와 실리카 겔, 금속 실리케이트는 탈착 온도에서도 큰 차이를 보이고 있다. 제올라이트는 170℃ 부근의 높은 온도에서 탈착이 일어나는 반면, 실리카 겔과 금속 실리케이트는 130℃ 이하의 온도에서도 탈착이 잘 일어나 에너지 효율 측면에서는 실리카 겔과 금속 실리케이트를 사용하는 것이 바람직하다.

실리카 겔은 물유리와 산을 반응시켜서 형성되는 것으로 가장 저렴하게 만들 수 있는 흡착제이다.

제습제 함침 제습로터의 제조

미국특허 4,402,717호 (특허권자 Daikin 공업주식회사, 1983년 9월 6일 등록)에서는 석면 섬유와 활성탄 분말, 아크릴 수지를 혼합한 활성탄 종이를 만들고 이것을 허니컴 형태로 성형한 뒤 염화리튬 (LiCl) 을 함침하여 제습용 허니컴을 제조하였다. 이 방법은 석면, 염화리튬 등 초기의 제습소자 제조법을 보

여주고 있다.³⁾

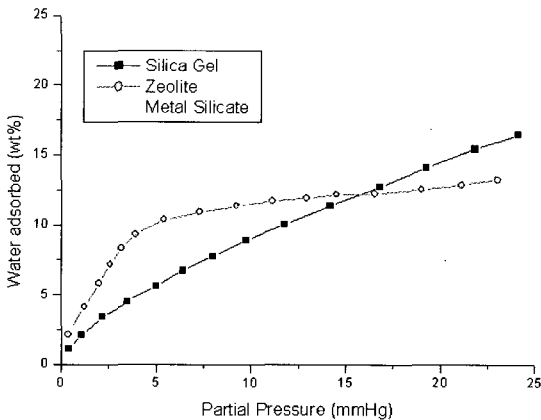
미국특허 4,871,607호 (특허권자 西部技研, 1989년 10월 3일 등록)에서는 평량이 100 g/m²인 세라믹 종이에 합성 활성 실리카-알루미나 에어로겔을 접합시킨 허니컴 소자의 제조 방법에 대하여 공개하였다. 발명자들은 염화리튬을 함침한 제습소자는 75% 이상의 상대습도를 가진 공기 중에서는 사용할 수 없다고 밝히고 있으며, 그들이 개발한 허니컴 소자의 과형 크기는 폭이 3.5 mm, 높이가 1.9 mm인 것이 가장 좋은 특성을 보였다고 보고하고 있다.⁴⁾

미국특허 4,886,769호 (특허권자 西部技研, 1989년 12월 12일 등록)에서는 물유리 수용액에 제올라이트를 분산시키고 허니컴을 이 분산용액에 담가 제올라이트와 물유리를 함침시킨 후 금속 황산염과 반응시켜 제습소자를 제조하는 방법을 제안하였다.⁵⁾

미국특허 4,911,775호 (특허권자 西部技研, 1990년 3월 27일 등록)에서는 무기질 종이로 만든 허니컴에 물유리를 함침하고 이것을 aluminum sulphate가 담겨있는 반응조에서 반응시켜 알루미늄이 함침된 실리카 겔을 제조하였다.⁶⁾

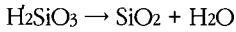
미국특허 5,500,402호 (특허권자 AB Carl Munters, 1996년 3월 19일 등록)에서는 무기질 종이에 함침된 물유리와 산의 반응으로 만들어지는 실리카 겔의 미세 기공 구조를 바람직한 상태로 제어하기 위하여 pH 2 이하인 강산과 반응시키는 “겔화 스텝 (gelation step)”, pH가 7.5~9.5 사이인 용액과 반응시키는 “숙성 스텝 (maturing step)”, 아연 화합물 혹은 알루미늄 화합물이 들어 있는 용액과 접촉시키는 “안정화 스텝 (stabilization step)”을 연속하여 사용하였다.⁷⁾

미국특허 5,505,769호 (특허권자 Munters Corporation, 1996년 4월 9일 등록)에서는 천연펄프 혹은 인조 펄프를 사용하여 내열성 무기질 종이를 만들고 에어로겔 매트릭스에 Ti을 첨가함으로써 흡습성을 20% 이상 증가시키고 탈착에 필요한 에너지도 5에서 10% 줄일 수 있다고 공개하였다. 또한, Ti을 첨가함으로써 기계적 강도도 38% 향상되었다고 보고하였다. Ti을 첨가하는 방법은 물유리를 함침시킨 허니컴을 titanium sulphate, 황산, aluminum sulphate가 들어 있는 반응조에서 30분간 반응시키고 세정 후 건조하였다.⁸⁾



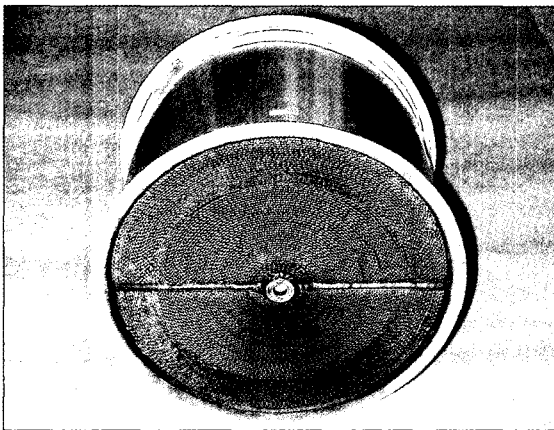
[그림 4] 제습제의 평형흡착량 비교

미국특허 5,683,532호 (특허권자 西部技研, 1997년 11월 4일 등록)에서는 평량 100 g/m²로 만든 무기질 종이로 허니컴을 만든 후 10% 이하의 산소 농도를 유지하는 500℃의 저산소 공기로 5시간 가열하여 종이와 접착제 속에 들어 있는 유기물을 날려 보내어 종이의 평량을 약 75 g/m²로 하였다. 이 허니컴 구조체를 물유리 수용액에 담가 완전히 함침시키고 건조시킨 후 50℃의 황산 10% 수용액에 3시간 담가 다음과 같은 식에 의해 실리카 겔을 형성시켰다.⁹⁾



미국특허 6,265,030호 (특허권자 Proflute AB, 2001년 7월 24일 등록)에서는 종이를 45~95℃로 가열한 고농도의 물유리에 담갔다 꺼내어 35℃ 이하의 공기로 건조시키는 것을 주요 내용으로 하는 함침 방법을 공개하였다. 발명자들은 고농도의 물유리는 함침 후 꺼냈을 때 바로 고화되기 때문에 통상적인 함침과 건조 공정에서 발생하는 물유리가 흘러내려 오는 현상을 방지할 수 있으며, 열풍건조나 적외선 램프를 사용하는 건조가 필요 없기 때문에 에너지 소비를 줄일 수 있다고 보고하였다.¹⁰⁾

일본특허 3,495,874호 (특허권자 니찌아스주식회사, 2003년 11월 21일 등록)에는 무기질 섬유 종이의



[그림 5] 한국에너지기술연구원에서 개발한 제습로터

표면에 실리카 겔을 도포하고, 이 실리카 겔이 도포된 무기섬유종이를 허니컴 상으로 가공해서, 허니컴 상의 가공물을 규산알칼리 수용액에 침적하고 열처리 한 후 소성하는 공정을 공개하였다. 이와 같은 방법을 사용함으로써 1번의 함침 공정만으로 충분한 양의 실리카 겔을 함침시킬 수 있어 제습성능이 충분한 제습소자를 얻을 수 있다고 설명하였다.¹¹⁾

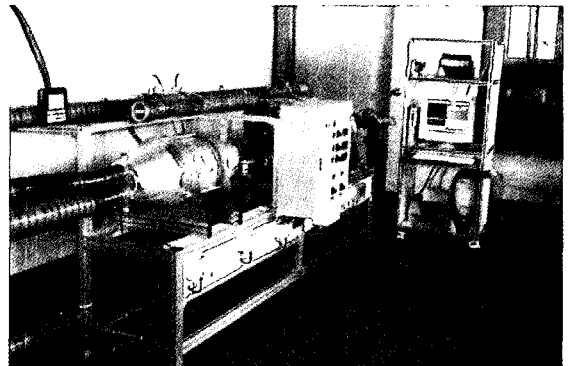
대한민국특허 501,217호 (특허권자 니찌아스주식회사, 2005년 7월 18일 등록)에서는 벌집구조체를 물유리 희석액에 침지하고 함수율이 50%가 될 때까지 건조한 후 50℃의 10% 황산에 반응시켜 하이드로겔을 형성하였다. 하이드로겔을 세정한 후, 50℃로 가열한 황산철에 1시간 침적시켜서 철 복합 실리카 겔을 얻었으며 이 제습소자는 습도 환경에 관계없이 양호한 제습성능을 보였다고 보고하였다.¹²⁾

그림 5는 한국에너지기술연구원에서 개발한 제습로터의 사진으로 직경이 45 cm, 폭이 40 cm이며, 실리카 겔이 함침되어 있다.

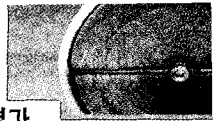
제습로터의 동적특성 및 시스템 설계

제습로터가 제습시스템에서 적절하게 운전되기 위해서는 동적환경에서의 제습 및 재생 특성을 아는 것이 중요하다. 즉, 공급공기의 유속, 습도, 재생온도, 재생용 공기의 유속을 조절할 수 있는 장치를 갖추고 정해진 조건에서의 흡착 및 탈착 특성을 측정하는 것이다.

한 예로 그림 6과 같은 동적특성 측정 장치에 직경



[그림 6] 제습로터의 동적특성 측정 장치



10 cm, 길이 20 cm인 실리카 겔 제습 소자를 장착하고 22℃의 공기를 200, 370, 440 liter/min의 유량으로 공급했을 때 공급용 공기 입구에서의와 출구에서의 절대습도를 측정된 결과이다. 본 예에서는 동적특성 시험장치에서 상대습도를 조절할 수 없었기 때문에 200, 370, 440 liter/min로 공급되는 공기의 상대습도는 각각 34.2, 36.3, 45.7%인 상태로 시험하였다.

그림 7은 유량의 변화에 따른 제습특성의 한 예를 보인 것으로 동적특성 중 제습특성을 보면 일정한 절대습도를 유지하는 공기 입구의 습도에 비해서 출구 쪽의 절대습도는 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 제습소자가 제거하는 습기의 총량은 입구의 절대습도 곡선과 출구 쪽의 절대습도 곡선 사이의 면적으로 결정되며, 220, 370, 440 liter/min의 유량에서의 제습률은 각각 7.13, 9.74, 12.08%로 계산되었다.

그림 8은 그림 7의 조건으로 제습소자를 습기에 대하여 포화 흡착되도록 한 후, 제습 공기의 공급 방향과는 반대 방향으로 탈착공기를 공급했을 때 탈착 특성을 보인 것이다. 재생용 공기의 온도는 110℃로 고정하였으며, 재생용 공기의 유량은 200, 370, 440 liter/min로 변화시켰다. 탈착 곡선을 보면 재생용 공기를 공급함과 동시에 출구쪽의 습도가 급격히 증가하여 상대습도 100%에 일시적으로 도달했다가 다시 급격하게 습도가 감소하여 공급용 공기의 습도와 일치하는 것을 볼 수 있다. 탈착 곡선에서도 흡착 곡선에서와 마찬가지로 출구 쪽 습도 곡선과 입구 쪽 습

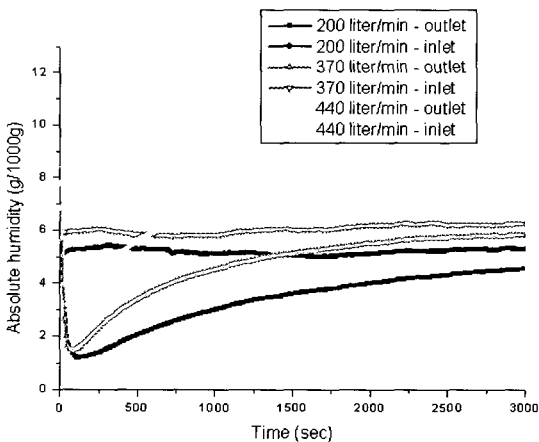
도 곡선 사이의 면적을 구하여 흡착된 수분 중 실제로 탈착된 수분의 비율을 구할 수 있다.

이상과 같은 동적 흡탈착 특성을 측정하여 제습률, 재생률 등을 분석하며 설계 기준에 부합되었을 경우, 제습로터를 회전시키면서 흡탈착 특성을 측정하게 된다. 이때는 제습로터가 운전되어야 할 현장의 공기 조건에 맞추어 공급용 공기를 공급하게 되며, 제습로터의 회전속도에 따른 제습률 및 재생률을 측정하고, 이 결과를 바탕으로 제습시스템을 설계한다. 일반적으로 제습장치에 장착된 제습로터의 회전수는 3~10 rph 사이이다.

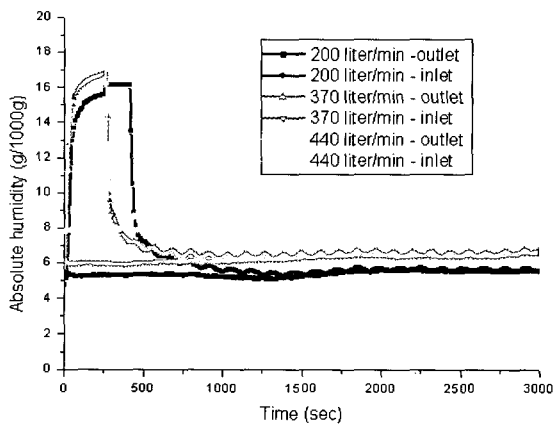
제습로터의 유지보수

일반적으로 제습설비가 제습제 (실리카 겔, titanium silicate, 활성 알루미늄 등)를 함유한 제습로터 갖추고 있다고 가정할 때, 제습로터에 관해서는 거의 주기적인 유지보수가 필요 없다. 그러나, 필터를 주기적으로 교환해 주지 않았을 때, 제습로터의 표면에도 먼지가 쌓이게 된다. 제습로터 표면에 먼지가 쌓였으면, 부드러운 솔이 장착된 진공청소기를 사용하여 먼지 입자를 제거해 주어야 한다.¹³⁾

제습로터 주위를 둘러싸고 있는 구동 벨트는 제습로터를 돌려줄 수 있도록 팽팽한 상태를 유지하여야 하지만 너무 팽팽하면 구동 모터 샤프트 베어링에 과도한 하중을 주게 된다. 제습 유닛은 자동 장력 조



[그림 7] 유량 변화에 따른 제습 특성



[그림 8] 유량 변화에 따른 탈착특성

절장치를 가지고 있으나, 벨트의 장력은 적어도 일년에 두 번 혹은 필터를 교환했을 때 벨트가 너무 늘어져 있지 않은지 너무 팽팽하지 않은지 점검하여야 한다. 벨트를 손으로 눌렀을 때 2인치 이상 휘어지지 않으면 너무 팽팽한 상태이고 제습로터가 돌아가는 동안 벨트가 미끄러지면 너무 느슨한 상태로 볼 수 있다.¹³⁾

참고문헌

1. Munters 사 홈페이지 <http://www.munter.com>
2. 西部技研 홈페이지 <http://www.seibu-giken.co.jp>
3. Masanori Izumo, Kenji Mikami, Keiichiro Kametani, 미국특허 “Apparatus for removing moisture and odors”
4. Tosimi Kuma, Hiroshi Okano, 미국특허 “Humidity exchanger element”
5. Tosimi Kuma, Hiroshi Okano, 미국특허 “Active gas adsorbing element and method of manufacturing”
6. Tosimi Kuma, Hiroshi Okano, 미국특허 “Method of manufacturing dehumidifier element”
7. Hakan Vangbo, 미국특허 “Method for the manufacture of a contact body for the exchange of moisture or heat”
8. Paul A. Dinnage, Gerard Tremblay, 미국특허 “Titanium silicate aerogel element and humidity exchanger using matrix of aerogel element”
9. Toshimi Kuma, 미국특허 “Method of manufacturing an active silica gel honeycomb adsorbing body usable in an atmosphere having 100% relative humidity”
10. Per-Johan Aronson, 미국특허 “Method of producing a dehumidifying element”
11. 田, 逸淳, 古屋由美子, 일본특허 “除濕用素子の製造方法”
12. 쿠로사와 마사지, 타나카미노루, 마쯔무라유지, 사사키 하루코, 대한민국특허 “제습제, 제습소자 및 그 제조 방법”
13. GTI 홈페이지 <http://www.gastechnology.org>