

제습로터에서의 열 및 물질전달

이대영

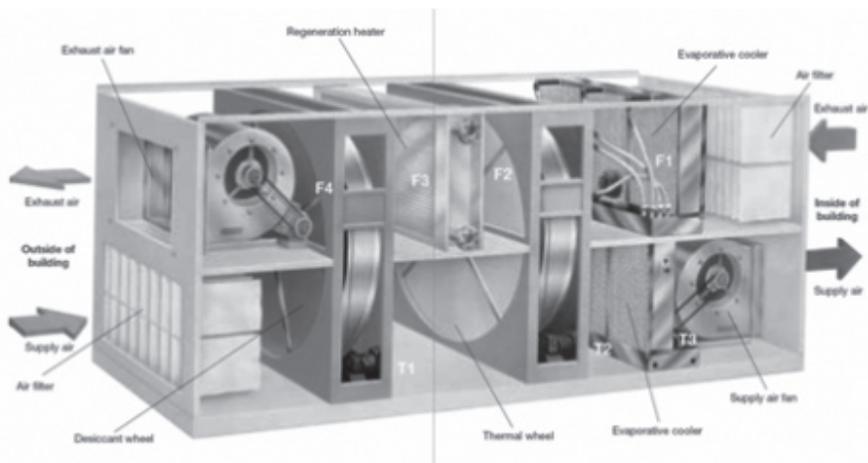
한국과학기술연구원 에너지메카닉스센터(ldy@kist.re.kr)

서론

공조시스템에서 일반적으로 적용되는 제습 방법은, 증발기 또는 냉각코일의 표면온도를 공기의 이슬점온도 이하로 유지하여 공기 중의 수증기를 응축시켜 제습하는 냉각식 제습방법이다. 총 냉방 부하 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 공급 공기를 냉각 제습 후 재열하여야 할 필요가 생기

도 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 공기로부터 수증기를 흡수하는 특징이 있으며, 제습제에 열을 가하면 흡수된 수증기가 증발하여 제습제가 다시 건조해지므로 반복하여 사용



[그림 1] 흡습식 제습 냉방시스템

할 수 있다.

그림 1은 현재 상용화되어 있는 제습제를 이용한 제습 냉방시스템과 이 시스템의 내부 구조를 나타낸다. 이 시스템은 제습로터(desiccant rotor, **그림 2**), 현열교환기, 급기 송풍기, 배기 송풍기, 재생 공기 가열열교환기로 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 제습로터가, 현열부하는 증발냉각기 또는 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(제습로터의 재생 과정에 소요)를 이용하여 잠열부하를 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 잠열부하 처리에 활용될 수 있다.

한편 고온 다습한 공기를 제습로터를 이용하여 제습한 후 증발 냉각으로 온도를 낮추어, 증기 압축

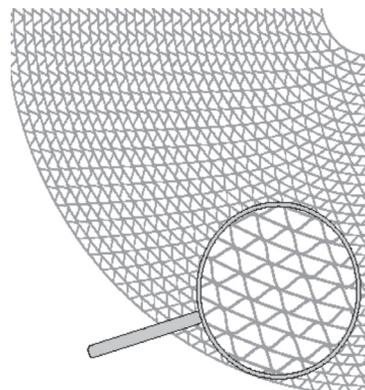
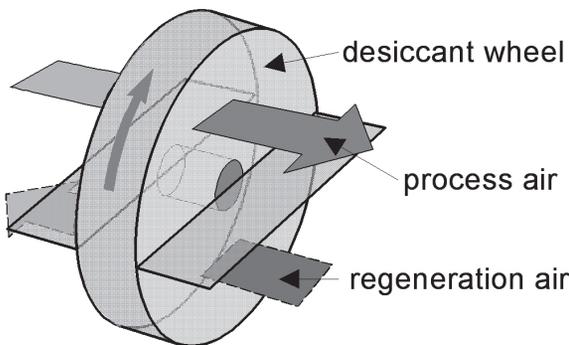
식이나 흡수식 등 여타의 기존 냉동기 없이 냉방을 공급할 수 있는 독립형 제습 증발 냉방시스템은 열 에너지만으로 냉방공급이 가능하므로, CFC계열의 냉매에 의한 오존층 파괴, 하절기 냉동기 가동에 의한 첨두 전력부하 및 전력부하 변동의 증가 등 기존의 냉방시스템에 의한 여러 가지 문제를 해결할 수 있다.

상기한 장점들로 인하여 제습냉방에 대한 관심이 고조되고 있으나, 실제적인 응용은 아직 제한된 범위에 머물고 있다. 이는 제습냉방의 핵심 부품인 제습로터가 상당히 고가인 이유도 있지만, 제습로터에서는 열 및 물질전달이 동시에 일어나는 특징으로 인하여 제습과정에 대한 이론적 접근이 상당히 어려워, 제습제의 흡습특성, 제습로터의 구조, 운전조건 등 여러 가지 인자들이 제습로터의 성능에 미치는 영향에 대한 분석과 이에 근거한 최적설계 및 최적운전제어 기술이 상당히 미흡하기 때문이다.

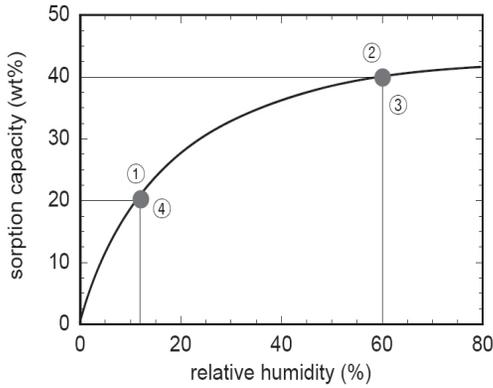
제습제 및 제습로터의 흡습 및 재생 과정

제습제의 흡습 및 재생과정

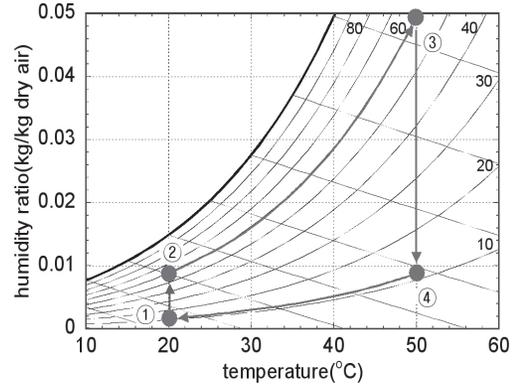
제습제는 수증기에 대해 높은 친화성을 가지는 물질들로, 대략 건조무게 대비 20% 이상의 수증기



[그림 2] 제습로터



a) 제습제 흡습량의 변화



b) 제습제 표면 상태의 변화

[그림 3] 제습제의 흡습과 재생 과정

를 흡수할 수 있는 물질을 지칭한다. 제습제의 흡습 특성은 등온상태에서 상대습도 변화에 따른 제습제의 평형 흡습량의 변화를 나타내는 등온흡습곡선(sorption isotherm)으로 나타낸다. 그림 3a)는 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. 초기 흡습량 20%인 제습제가 20°C로 유지되며, 절대습도 9 g/kgDA 인 주위공기에 노출된 상태를 가정한다. 이 경우 제습제 표면에서의 평형 상대습도는 그림 3a)로부터 12%정도이며, 이를 그림 3b)의 습공기선도 상에 나타내면 ①로 표기한 지점이다. 제습제 표면에서의 절대습도(수증기 분압에 비례)가 주위 공기의 절대습도보다 낮으므로, 주위 공기로부터 제습제 표면으로 수증기가 이동

하여 제습제 표면에 흡수되며, 제습제의 흡습량이 증가함에 따라 제습제 표면에서의 평형 상대습도는 그림 3a)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 3b)의 ②로 나타낸 지점이며, 이 때의 상대습도가 60%이므로, 제습제의 흡습량은 그림 3a)로부터 40%정도이다.

이제 이 상태의 제습제를 순간적으로 50°C까지 가열하고 일정하게 유지하는 것을 가정한다. 순간적인 가열에 의하여 제습제는 흡습량 변화 없이 온도만 증가하므로, 제습제 표면의 상태는 그림 3b)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 재생 과정은 제습제 표면의 절대습도가 주위 절대습도와 평형을 이루게 되는 조건, 즉 그림 3b)의 상태 ④에 도달할 때까지 이루어지며, 이 과정에서 제습제의 흡습량은 상태 ④의 상대습도에 대한 평형 흡습량까지 감소하게 된다.

다시 이 제습제를 순간적으로 20°C까지 냉각하

면 제습제 표면은 상태 ①이 되며, 주위보다 절대습도가 낮은 상태가 되어 흡습이 시작된다.

이 과정동안 제습제에 의하여 흡습/재생되는 수증기의 양은 **그림 3a**에서 두 상대습도에 대한 평형 흡습량의 차이임을 주목할 필요가 있다. 즉 두 상대습도조건 사이에서 흡습량의 차이가 거의 없으면, 평균 흡습량이 아무리 크다 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

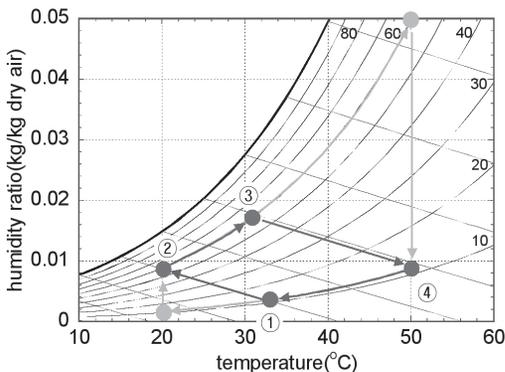
상기한 제습제의 흡습과 재생과정은 주위공기와 완전한 평형상태를 이루는 것을 가정하여 설명한 것이며, 실제 상황에서는 제습제의 표면적, 수증기의 전달저항, 접촉시간 등도 흡습 및 재생과정에 영향을 미치게 된다. 제습로터는 제습제의 표면적을 넓혀 공기와의 접촉면적을 늘리고 수증기 전달저항을 감소시키며, 동시에 유동에 의한 압력 손실을 최소화하기 위하여 **그림 2**와 같이 골판지

(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 4**에 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 응축열 보다는 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



[그림 4] 제습로터의 제습 및 재생과정

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 등상태 습도선을 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 4에 나타낸 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.

제습로터에서의 열 및 물질전달

제습로터에서는 앞서 설명한 바와 같이 습기의 흡착 및 탈착, 잠열의 흡수 및 방출 등 열전달과 물질전달이 동시에 발생한다. 이러한 과정을 해석하기 위하여, 유한 차분법을 적용한 수치적 접근 및 파동법(wave analysis)을 이용한 이론적 접근이 이루어져 왔다. 이론적인 방법을 적용하는 경우에도, 이 문제에 내재한 비선형성으로 인하여 최종적으로는 수치적인 방법에 의존하여야 한다.

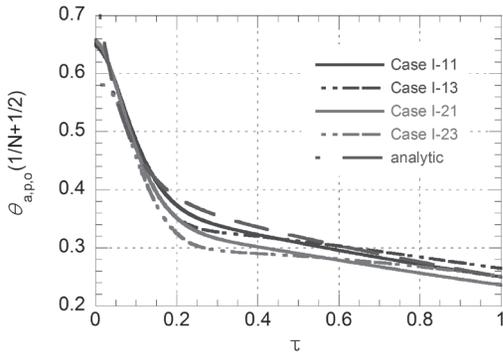
제습로터 성능에 영향을 미치는 요인으로는 제습제의 등온선(isotherm curve), 비열, 밀도 등 물성에 관련된 것, 제습로터의 다공도, 유로형상, 유

로의 수력직경, 유동방향 길이, 지름 등 형상에 관련된 것, 제습공기 온습도, 재생공기 온습도, 유량, 제습로터 회전속도 등 운전조건에 관련된 것 등 상당히 여러 가지가 있다. 더욱이 제습제 흡착특성의 비선형성으로 인하여, 상기한 수많은 인자들의 영향을 분석하거나 제습 및 재생과정의 근본적인 현상을 이해하는 것이 매우 어렵다.

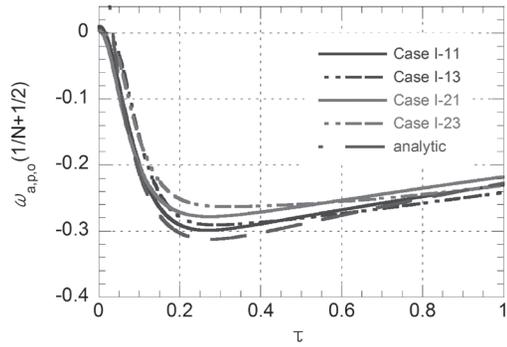
현재까지의 연구는 주로 주어진 설계조건에 대한 제습로터 회전속도의 최적값 도출, 또는 주어진 운전조건에 대하여 제습제 등온선, 비열, 제습로터 형상 등이 성능에 미치는 개별적 영향 등에 대한 수치해석에 집중되어 왔다. 그러나 수치해석의 특성상 여러 가지 인자들의 영향을 포괄적으로 분석하는 데에는 한계가 있다. 예를 들어, 물성치와 설계조건에 따른 최적 운전조건의 변화라든지, 설정 운전조건의 변화에 따른 최적 설계조건 변화 등에 대한 연구를 수치적인 방법으로 접근하는 데에는 상당한 어려움이 있다.

본 연구에서는 제습로터의 성능을 이론적으로 분석하기 위하여 제습제 등온선의 선형화, 흡수기 선도의 선형화, 공기온습도 분포의 선형화 등의 간략화 가정을 도입하여 지배방정식을 선형화하고 무차원화하였다. 무차원화를 통하여 제습로터의 열 및 물질전달에 영향을 미치는 여러 가지 인자들이 k (제습로터의 열용량), σ (제습로터의 흡착용량), N (NTU)의 3가지 무차원수로 정리됨을 보였다. 선형방정식의 해를 구하여, 제습로터 제습출구와 재생출구에서의 온도 및 습도변화를 상기한 3가지 무차원수의 함수형태로 구하였다.

그림 5는 아무런 가정을 도입하지 않은 수치해와 간략화 과정을 통한 해석해의 비교를 나타낸다. 이 그림은 제습구간 로터 출구에서의 제습로터 회전에 따른 공기 온습도의 시간 변화를 나타낸 것으로, 공기유속, 회전주기, 제습로터 길이, 제습제 함량, 다공도 등 여러 가지 운전 및 설계인자가 상이 하지만 무차원수의 크기는 같은 4가지 경우의 수



a) 무차원 온도



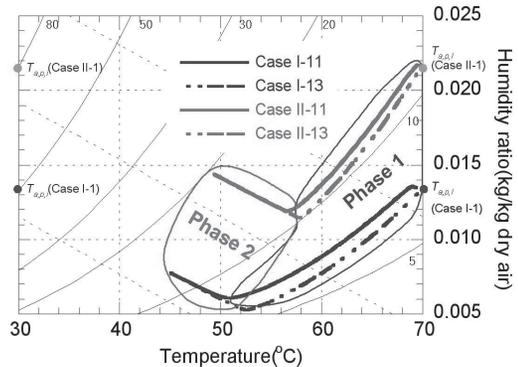
b) 무차원 습도

[그림 5] 동일한 무차원 인자를 가지는 제습로터들의 제습특성 비교

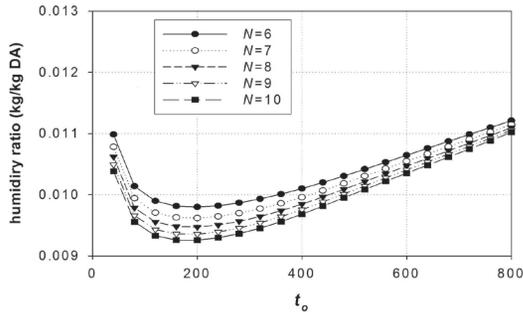
치해를 무차원화한 결과와 무차원 해석해가 매우 근사하게 일치함을 볼 수 있다. 좀 더 다양한 경우에 대한 비교를 통하여 공기유속, 제습기간, 재생온습도 등 운전변수의 일반적인 범위에서 해석해에 의한 제습공기 출구온도와 출구습도의 시간평균오차는 각각 4%, 7% 이내로, 여러 가지 가정에도 불구하고 해석해의 결과가 수치해석 결과와 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

그림 5를 다시 살펴보면 제습구간 초기에 공기의 온습도가 급격히 감소하고, 그 이후에는 온도는 점진적으로 더 낮아지지만 습도는 증가한다. 이를 습공기 선도에 나타내면 **그림 6**과 같다. 제습로터의 흡습 및 재생과정에서 설명했던 바와 같이, 제습구간의 제습출구 공기의 온습도 변화는 두 단계로 나뉘어 알 수 있다. 1단계에는 거의 상대습도가 일정한 상태로 재생입구 조건으로부터 온습도가 낮아지면, 2단계에는 엔탈피 일정선을 따라 온도는 감소하고 습도는 증가하여 점진적으로 제습입구 조건에 가까워진다. 이론해석해로부터 1단계의 길이는 k (제습로터의 열용량)에 주로 영향받으며, 2단계의 길이는 σ (제습로터의 흡착용량)에 영향받음을 알 수 있다. 1단계에는 재생구간 동안 온도가 상승한 제습재료가 제습공기에 의하여 냉각되는 구간으로 열용량이 작을수록 짧아져서 제습출구

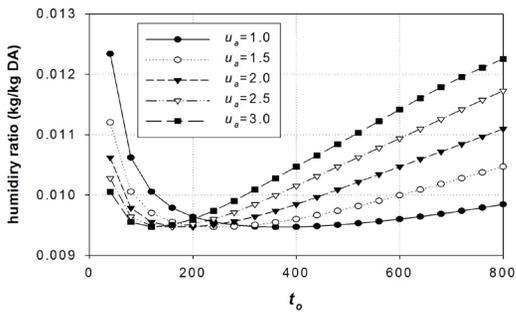
공기 온습도가 빨리 낮아지게 된다. 반면 2단계에서는 제습재료가 습기를 흡수하여 점차 포화됨에 따라 제습출구 공기 온습도가 제습입구 온습도에 점진하는 과정으로 제습재료의 흡착용량이 클수록 이 구간이 길어져 제습재료 포화가 천천히 진행되어 습도가 낮은 상태가 길어진다. 결과적으로 k (제습로터의 열용량)가 작을수록, σ (제습로터의 흡착용량)가 클수록 1단계는 짧아지고 2단계는 길어져서 제습구간의 제습출구 공기의 평균습도가 낮아져 제습로터의 제습성능이 증가하게 된다. 따라서 제습재료의 개발은 이러한 방향으로 추진하여야 하며, 제습로터의 회전속도 또한 이러한 관점에서 최적화하는 것이 필요하다.



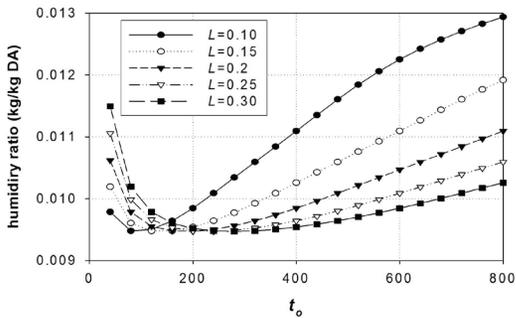
[그림 6] 제습구간 제습로터 출구 공기의 상태변화



a) NTU의 영향



b) 무차원 온도



c) 제습로터 길이의 영향

[그림 7] 제습로터 회전속도 변화에 따른 제습출구 공기 평균 습도 변화

제습로터 최적 회전주기

제습로터의 회전주기 변화에 따른 제습출구 공기 평균 습도의 변화를 그림 7에 나타내었다. 회전

주기 변화에 따라 평균 습도가 감소하다 최소점을 지난 뒤 다시 증가하여 회전주기의 최적값이 존재함을 알 수 있다. NTU가 증가하는 경우, 최적 회전주기는 완만하게 감소함을 볼 수 있다(그림 7a)). NTU는 열 및 물질전달의 용이성을 의미하며, 유속 및 길이가 일정할 때에 NTU가 커질수록 단위시간당 열 및 물질전달량이 증가하여 제습로터의 포화가 빨리 이루어지므로, 최적 회전주기가 감소하게 된다. NTU가 무한히 커지는 경우에는, 열 및 물질전달량이 점차 증가하여 이론적 최대값에 접근하게 되므로, 최적 회전주기도 일정한 값에 접근하게 된다.

NTU와 제습로터 길이를 일정하게 유지하면서 공기 유속을 증가시키는 경우, 최적 회전주기는 유속과 반비례하여 감소하게 된다(그림 7b)). 유속에 따른 최적 회전주기의 변화는 NTU의 영향에 비하여 상당히 크며, 최적 회전주기의 결정에 중요한 역할을 함을 알 수 있다. NTU가 일정한 조건에서 공기 유속을 증가시키면, 유속에 비례하여 열 및 물질전달량이 증가하므로 최적 회전주기는 유속에 반비례하여 감소하게 된다.

NTU와 유속이 일정한 조건에서 제습로터 길이를 증가시키면 최적 회전주기는 제습로터 길이에 비례하여 증가한다(그림 7c)). NTU와 공기 유속이 일정하면 제습로터의 열 및 물질전달량이 일정한 반면, 제습로터 길이가 길어지면 제습제의 단위 무게 당 열 및 물질전달량이 감소하므로, 제습제가 포화되는 데 걸리는 시간이 증가하여 최적 회전주기도 증가한다.

제습로터의 열물성 및 흡착물성이 일정한 경우, 이론해를 이용하여 최적 회전주기를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{t_{opt}}{t_{opt,0}} \approx \frac{L}{L_0} \frac{u_0}{u} \frac{1/N + 1/2}{1/N_0 + 1/2}$$

위식에서 L 은 제습로터 길이, u 는 공기유속, N 은 제습로터 NTU를 의미하며 하첨자는 기준 조건에서의 값을 의미한다. 즉 동일한 제습재료를 이용한 제습로터에서 최적 회전주기는 제습로터 길이에 비례하며, 유속에 반비례하고, NTU에는 약하게 의존함을 알 수 있다.

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 관심이 고조되고 있다. 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 등에서는 이미 80년대부터 이러한 흡착식 제습 증발 냉방시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 제습로터, 증발식 냉각기 등 주요 부품에 대한 개발이 지속적으로 이루어져, 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, 호

텔과 모텔의 공조 등의 틈새시장에 이미 진입한 상태이며, 고온 건조한 외기조건을 가진 지역을 중심으로 증발식 냉방시스템 또는 흡착식 제습 증발 냉방시스템의 보급이 확산되어 냉방에너지의 50%를 절감한 예가 보고되고 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 있으며, 제습재료나 제습로터 등 핵심기술에 대한 국내기반은 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 공조용으로의 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 국내외 시장규모도 향후 크게 신장될 것이 예상되며, 이에 맞춰 독자적인 핵심기술기반을 갖추어나가는 것이 필요하다. 이를 위해서는 제습재료 및 제습로터와 관련한 기술의 특성상 기계, 화학, 재료 등 다분야 연구자들의 공동연구개발이 필수적이며, 미래 기술에 뒤처지지 않도록 산·학·연이 힘을 합쳐 제습공조분야의 연구개발 및 실용화추진을 활성화해야 될 것으로 사료된다. (40)