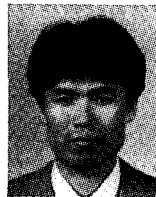


건조제(desiccant)를 이용한 제습 및 복합냉방 시스템의 기술개발동향

R&D Trend in desiccant based dehumidification and hybrid cooling system

박 문 수
M. S. Park
한국생산기술연구원



• 1963년생
• 제습냉방에서의 열 및 물질전달을 전공하였으며 제습기 및 냉동기의 시스템 해석 및 설계에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

최근에 국내의 에너지 이용 효율성 증대 문제, CFCs등으로 인한 오존층 파괴문제, CO₂ 등으로 인한 지구온난화 문제, 실내공기질(IAQ)과 관련된 건물 환기량 증대요구로 인한 건물용 공조시스템(HVAC)의 설계변경 문제 등으로 인해 다양한 종류의 대체 냉방기기가 연구되어 오고 있다. 현재 미국에서는 ASHRAE Standard 62-1989에 의해 실내거주자의 필요한 IAQ와 쾌적함을 유지하기 위해 환기량을 기존의 경우보다 약 3배 이상이 되도록 권장하고 있고 또한 대다수의 미국 주정부에서 건물설계에 관련된 조례로 ASHRAE Standard 62-1989를 적용하고 있다. 따라서 빌딩공조 설비관계자들은 늘어난 환기요구량에 따라 잠열냉방용량이 크게 증대되므로 이를 처리하기 위한 새로운 냉방공조기 시스템기술에 대해 관심이 증대하고 있다. 이에 따라 건조제를 이용한 냉방 및 제습시스템이 대체 냉방시스템 또는 기존의 냉방시스템과 더불어 잠열부하를 처리하는 복합시스템으로 최근에 다시 상당한 주목을 받고 있다.

여기에서 건조제란 습기에 대해서 강한 친화력이 있으며, 따라서 이 물질들은 주위공기에서 직접 수증기를 흡수할 수 있는 물질을 말한다. 그

친화성은 수집된 수증기를 증발시키기 위해서 건조제에 열을 가해줌으로써 반복해서 재생될 수 있다. 습공기와 건조제 사이의 수증기 교환은 각각 습공기에서의 수증기 분압과 건조제 표면의 증기 압력차에 의존한다.

건조제 물질들은 수증기에 대해 높은 친화성을 갖고 있다. 전형적으로 그들의 습기함유량은 주위공기의 상대습도와 자체의 농도 및 온도의 함수이다. 낮은 상대습도의 공기에 노출되었을 때 건조제 물질들은 낮은 습기함유량으로 평형에 도달하고, 높은 상대습도의 공기에는 노출은 높은 습기함유량으로 나타난다. 즉, 수증기의 전달은 건조제 용액의 표면 증기압력과 주위공기의 수증기분압 차이에 의존한다. 건조제 표면의 증기압력이 주위공기의 것보다 작을 때 건조제는 습기를 빨아들이고, 건조제의 증기압력이 공기의 그것보다 높을 때 습기를 배출한다. 흡수된 수증기는 요구되는 처리공기 습도에 맞춰진 재생열원의 가열로써 탈습하여 배출공기로 제거될 수 있다. 실제로 모든 물질은 건조제형태의 특성을 나타내지만 건조제(desiccant)란 용어는 이러한 행동이 어느 정도 예측가능하고 유용한 결과를 산출할 수 있는 물질들에게만 사용된다.

건조제의 두 가지 중요한 부류는 흡수제(absor-

bent)와 흡착제(adsorbent)이다. 흡수제들은 물을 빨아들여 함유할 때 화학적 변화를 겪는다. 염화리튬(LiCl)이 가장 일반적인 흡수제형태의 건조제이다. LiCl과 H₂O의 결합은 LiCl분자가 세 개의 물분자를 흡수한 뒤에 액체형태의 용액이 된다. LiCl은 용액이 되어서도 계속하여 습기를 흡수할 수 있으므로 흡수용액으로도 사용될 수 있는 것이다. 용액이 상대습도 90%공기와 평형이 되면, 대략 26개의 물분자가 LiCl분자에 달라 붙는다. 이것은 건조질량에 비해 1000% 이상의 물 흡수를 나타낸다. 그렇지만 실제적인 문제로서 제습과정은 제습될 공기에 노출된 건조제의 표면적과 흡수를 위해 허용된 접촉시간에 의해 제한 받는다. 더 넓은 표면적과 더 긴 접촉시간은 건조제가 이론적 흡수용량에 접근하는 것을 허용한다.

건조제를 이용한 제습 및 냉방시스템은 쾌적한 처리공기의 공급을 위해 공기의 제습을 건조제 제습기(desiccant dehumidifier)로 처리하고 현열 냉각은 냉각기(증발식 냉각기, 냉각코일등)를 이용한다. 공기중의 수증기로 포화된 제습기의 건조제는 열원(태양열, 천연가스, 배열, 전기)에 의해 가열된 공기에 의해 재생기(regenerator)에서 습기를 배출시킴으로써 재생된다.

현재 미국에서 건조제를 이용한 제습 및 냉방시스템은 쇼케이스가 많이 설치되어 잠열 부하가 큰 슈퍼마켓 같은 응용분야에서는 기존의 냉동시스템과 경쟁상태에 있으며 최근까지 이루어진 연구개발을 통하여 건조제 물질개선, 제습기 형상 및 성능개선, 다양한 재생열원 이용, 시스템 부피 및 비용감소 등의 연구가 진행 발전되어 가정용 및 상업용 빌딩분야, 습도가 높은 지역의 호텔냉방분야 등 그 응용분야를 넓혀가고 있다.

잠열부하의 효과적 처리로 에너지 절약 및 실내 공기질의 개선이 가능하고, 기존의 CFCs 냉동기에 비해 효율이 떨어지는 HFC 대체 냉매시스템과 결합되어 그 단점을 보완하는 것으로 주목받고 있는 차세대 냉방시스템인 건조제 이용 제습냉방 시스템은 미국을 선두로 하여 영국, 프랑스, 일본, 인도, 대만등 각 나라에서 그 실용화 연구에 박차를 가하고 있다. 미국에서는 이미 몇 가지 제습냉방 시스템이 상용화되어 있으며 일본과 우리

나라로 수출을 하고 있는 실정이다. 따라서 이 글은 이 기술의 국내 연구개발의 향상을 위하여 현재까지 진행되어온 건조제 이용 제습 및 냉방시스템의 기술개발동향을 알아본 것이다.

2. 건조제 이용 시스템 사이클의 원리

90년대는 냉동공조산업이 특별한 사회적 관심을 불러 일으켰다. 이러한 관심은 CFCs 냉매로 인한 지구 오존층 파괴, CO₂ 가스와 관련된 지구온난화 문제, 에너지 절약과 관련되어 높아진 기기 효율 표준, 쾌적감과 건강과 관련된 실내 공기질(IAQ: indoor air quality)문제, 하절기의 급격한 냉방 수요 증가로 인한 최대 전력수요등 다양하다. 이 문제들은 현재에도 그리고 미래에도 계속해서 빌딩 및 각 분야의 공간 환경제어에 사용되는 냉동공조 설비설계에 심각한 영향을 줄 것이다. 건조제를 이용한 제습냉방시스템의 혁신적인 응용은 이러한 관심을 표명하는 기술선택분야에 매력적인 옵션들을 제공한다. 본 절에서는 이 기술의 시스템 사이클 원리, 건조제 물질종류, 건조제 이용시스템의 장점 및 응용분야에 대해 기술한다.

2.1 건조제 사이클의 원리

건조제 사이클의 작동은 낮은 온도에서 주위 공기로부터 수증기를 빨아들여 흡수(absorption) 또는 흡착(adsorption)하고 고온에서 이 습기를 공기에 방출하는 건조제의 성질을 이용한 것이다. 주위 공기와 건조제 사이의 수증기 교환은 공기 속의 수증기 분압과 건조제 표면에서의 증기압력 사이의 상대적 크기에 의존한다. 건조제 표면의 증기압력은 건조제 온도와 물 함유량의 함수이다. 따라서 낮은 온도에서는 흡착 또는 흡수과정에 의해 공기의 제습이 되고, 높은 온도에서는 탈습과정에 의해 건조제의 물 함유량이 줄어드는 재생이 된다. 원리상으로는 건조제가 충분히 낮은 온도로 유지된다면 뜨거운 공기도 제습될 수 있으며 마찬가지로 건조제가 충분히 높은 온도로 유지된다면 포화되지 않은 찬공기도 재생을 위해 사용될 수 있음을 주목해야 한다.

건조제에 의해 공기의 수증기를 제습(dehumi-

dification)하는 흡착(adsorption) 또는 흡수(absorption)과정은 주로 건조제 표면에 수증기의 응축에 의한 응축열뿐만 아니라 혼합열(액체 건조제) 또는 적심(wetting)열 (고체 건조제)로 인한 열을 항상 발생시킨다. 한편 탈습(desorption)과정은 건조제에서 물을 분리하여 증발시킴으로써 건조제를 재생(regeneration)하기 위한 열입력을 필요로 한다.

단순한 형태의 건조제 냉방 시스템은 제습공조 과정과 재생과정의 사이클로 이루어진다. 제습공조 과정에서 덥고 습한 처리공기는 먼저 활동력 있는 건조제와 접촉한다. 수증기는 공기에서 제거되어 건조제 표면에 응축된다. 이 과정은 대략 일정한 엔탈피에서 공기의 잠열이 현열로 바뀌는 단열과정이다. 공기의 온도는 증가되고 습도는 감소한다. 그 다음 뜨겁고 건조한 공기는 재생기로 들어가는 공기 또는 증발식으로 냉각된 주위 공기와 같은 냉각매체를 사용하여 열교환기에서 습도의 변화없이 냉각된다. 단순제습공조 사이클의 마지막 단계에서 처리공기는 증발식 냉각기를 통과하며 처리공기온도와 습도는 실내공간에서 요구되는 쾌적한 수준의 공기가 되어 실내로 보내진다.

공기에서 수증기를 빨아들이는 건조제의 능력은 수분 함유량의 증가에 따라 감소하고, 어느 단계에서 건조제는 재생사이클로 재생되어야 한다. 외기는 재생열원에 의하여 열교환기에서 가열되어 건조제 bed 또는 휠의 재생부를 통과한다. 수증기는 단열과정으로 건조제에서 공기로 전달된다. 덥고 습해진 재생용 공기는 외기로 배출되고 건조제는 제습공조 사이클에 재사용될 수 있다. 건조제 사이클의 고유한 특성은 공조될 공간의 잠열 부하가 처리공기를 노점온도 이하로 냉각시키지 않고 처리될 수 있어, 이 시스템에서는 재열이 필요하지 않다는 점이다.

2.2 건조제 물질 종류

건조제는 고체 또는 액체물질이며, 많이 사용되고 있는 고체 건조제로는 실리카겔, 활성알루미나, 제올라이트 등이 있고 일반적인 액체 건조제로는 염화리튬 수용액과 트리에틸렌글리콜이 있다. “건조제(desiccant)”라는 용어는 자기중량에 비해 큰 습기 보유용량을 가진 물질에 적용되며, 상업적으

로 이용가능한 건조제의 습기보유용량은 건조중량의 30내지 1200%에 달한다. 가스나 증기를 빨아들이는 건조제의 능력은 수증기만에 제한되지 않는다. 이것들은 여러 종류의 공기부유 오염물질을 제거하므로 일반적으로는 수착제(sorbents)라고 알려졌다. 부가적으로 어떤 건조제들은 공기와 접촉할 때 공기중의 박테리아와 바이러스를 없애는 멸균기능도 갖고 있다.

건조제가 흡수/흡착하는 수증기량은 건조제와 주위공기에서 습기에 의해 가해지는 분압의 평형에 의해 결정된다. 건조제의 낮은 증기압력으로 인해 수증기 흡수가 일어나고 주위공기의 노점온도가 강하게 된다. 건조제가 수증기를 흡수하면 건조제 자체의 온도가 상승하게 되어 주위공기의 건구온도를 높게 된다. 이 온도상승은 흡수된 수증기로부터의 응축열에 의한 잠열의 현열로의 전환에 의해 일어난다. 응축열외에 추가적인 열효과는 건조제에 따라 혼합열 또는 적심열이 있으며, 응축열의 몇 퍼센트 정도에서 몇 배까지 변할 수 있다. 그렇지만 실제로는 제습기는 응축열의 1.1 내지 2배 정도의 흡수열로 인한 처리공기 건구온도 상승을 보여준다. 응축열을 포함해서 방출된 전체 열에너지를 흡수열(heat of sorption)이라고 한다.

3. 건조제 이용 시스템의 응용분야

고체건조제이용 흡착식 또는 액체건조제 이용 흡수식 제습은 저노점 온도제어를 요구하는 응용분야에서 오랫동안 지배적인 기술이었다. 쾌적 냉방은 그런 레벨의 낮은 습도를 필요로 하지 않으므로, 흡착식 제습설비는 비교적 저가의 효율적인 재생열원을 이용하여 소비자에게 저 비용 공조의 새로운 대안으로 제공될 수 있다. 건조제 시스템 기술은 상업분야에서 새로운 응용으로 나타나고 있다. 건조제이용 제습기술을 응용하는 다양한 HVAC 시스템은 다음과 같다.

3.1 수퍼마켓공조

기존의 증기 압축 직팽식(DX) 냉각과 패키지가 된 천연가스 재생 건조제 시스템은 장기간의 현장 평가 후에 수퍼마켓용 HVAC 설비 시장에 진입

했다. 이 기술은 대형 슈퍼마켓의 공조 및 응축/제상 제어비용을 절감하는데 적용되었다. 오픈 쇼케이스들을 많이 보유하고 있는 슈퍼마켓들은 케이스 바깥에 상당한 양의 현열냉각을 만들고 습도가 높을 때는 냉동제품위에 과도한 서리생성을 겪는다. 기존의 공조시스템으로 습기부하를 처리하기 위해서는 증발기온도를 과도하게 낮추게 되어 에너지손실과 더불어 슈퍼마켓 이용객들에게 한기를 느끼게 해 구매요구를 떨어뜨리는 원인이 되기도 하였다. 그러나 건조제 이용시스템은 저노점 유지 능력과 독립적인 온도 및 습도제어를 통하여 상점고객의 쾌적감 향상, 동결식품의 보호개선, 응결 및 서리제어와 관련된 운전비 절약, 즉 에너지 절약을 제공한다.

현재 시스템 하드웨어는 기존의 공조시스템에 비해 다소 비싸지만, 이 시스템은 응결 및 서리제어 시스템의 추가비용이 필요 없고 제습 능력으로 인해 공급공기가 적어도 실내 냉방부하를 처리할 수 있다. 또한 공기조화에 사용되는 에너지원을 전기에서 가스로 바꿈으로써 소유주들은 냉방전기비용을 절약할 수 있는 것으로 평가받아 시장분야가 확대되고 있다.

3.2 호텔·모텔 공조

미국 호텔·모텔협회의 회원들의 평가에 의하면 기존의 냉방시스템을 이용하는 습도가 높은 지역에 위치한 호텔/모텔들은 호텔 room과 가구에 높은 습도에서 많이 생성된 과도한 곰팡이의 해를 입고 있다. 레스토랑들은 요리작업의 강도때문에 높은 잠열비를 갖는다. 이들 시설에 대한 건조제 이용한 공조시스템의 현장평가가 미국에서 진행 중이며 이 기술의 상용화에 박차를 가하고 있다.

곰팡이는 습도가 높게 오래 계속된 환경에서 발생한다. 많은 사람들은 곰팡이에 알레르기를 일으킨다. 또한 곰팡이는 식품공정과 화학제조 같은 산업에서는 주요 관심사이다. 부가적으로 미국의 호텔과 모텔협회는 곰팡이로 인한 실내장식과 가구에 대한 손해에 관심을 갖고 있다. 최근에 이 협회는 곰팡이 제어에 관한 특별 위원회를 구성하였으며, 이 위원회에 의하면 미국의 걸프해안지역에서 곰팡이로 인해 호텔 room 하나당 연간 1000\$

내지 5000\$ 사이의 손해를 입는다고 평가하였다. 이러한 지역에서 건조제 냉방시스템을 응용하면 곰팡이로 인한 손해를 줄임과 동시에 에너지 절약도 달성할 수 있는 것으로 예측되었다.

3.3 쾌적공조

공기조화기(air-handler)의 on-off 제어에 이용되는 에너지 관리 제어시스템은 응축 운전시 공기 조화기를 정지시켜 응축수 저장 pan이 넘치거나 설비 표면을 젖게 한다. 설비가 며칠동안(주말) 작동되지 않으면, 응축수 pan에서 미생물이 생길 수 있다. 다시 공기 조화기를 운전시키면 공기조화 시스템은 실내 거주자에게 심하게 불쾌한 공기부유 미생물을 퍼뜨리는 장치가 되어 버린다. 건조제 시스템은 흡착 또는 흡수과정에 의해 응축하지 않고 공기로부터 수증기를 빼앗음으로써 이런 전체 문제를 피할 수 있고, 운전은 스케줄에 따라 이런 실내공기질의 문제없이 에너지 절약을 최대화 할 수 있게 한다.

3.4 도서관·박물관 공조

도서관, 박물관, 컴퓨터 청정실들은 습기 및 습도해에 민감성을 갖고 있어 특별히 처리될 필요가 있으며, 헬스클럽, 병원, 극장, 사람 점유율이 높은 모임 장소들도 습도제어 문제로 인해 건조제 시스템의 응용분야가 되리라고 전망된다.

3.5 고기술(hi-tech)분야 공조

고기술 제조공정 환경제어를 요구하는 초소형 전자제품과 제약생산같은 많은 산업 제조공정들은 생산환경의 엄격한 습도제어를 요구한다. 플라스틱 주사 모울딩의 공정과 원료 또한 습도에 매우 민감하다. 이러한 제조업 생산현장에서는 새로운 기술들이 상업용 HVAC 시장에서보다 훨씬 많이 받아들여진다. 또한 산업용공조환경 제어장치는 상업용 등급보다 훨씬 비싸다. 그러므로 건조제 이용시스템에 대한 추가비용 부담은 상대적으로 작다. 또한 생산성만 증대될 수 있다면 산업용 공조설치의 결정권자들은 기꺼이 주요 장치 투자를 하므로 이 분야도 중요한 응용분야의 하나가 되리라고 전망된다.

4. 건조제 이용 제습 및 냉방 시스템의 연구개발 동향

현재 미국, 일본, 영국, 대만, 인도, 사우디아라비아 등에서는 고체 및 액체 건조제를 이용하는 공기조화 및 제습시스템이 개발되어, 특별한 습도문제 또는 높은 잠열부하비를 갖는 상업용 빌딩에서 틈새시장을 침투하고 있다. 계속적으로 추진되고 있는 이 분야의 연구는 일반인, 건축설비 설계자, 공조제품 제조자들이 빌딩 환경제어에 있어서 이 시스템의 더 넓은 응용 분야를 인식할 때까지 핵심요소 및 시스템 성능을 향상시키고 시스템 비용을 절감시키는 건조제 물질 개선 또는 개발연구 및 핵심 부품 연구와 더불어 시스템 통합기술개발에 집중되고 있다. 본 절에서는 이 시스템의 기술의 발전을 위해 취해진 연구동향을 살펴보고자 한다.

4.1 건조제이용 제습기술의 발전

기후가 뜨겁고 건조하여 물 공급이 원활하게 이용 가능한 세계의 여러 지역에서는 단순한 증발식 냉각방법이 오랫동안 사용되어 왔다. 이런 기후적 제한이 증발식 냉각의 시장 확대를 제한하여 인구가 많은 대다수 지역에서는 사용하지 못했다. 지난 수십여년에 걸친 증발식 냉각과 공기 건조와의 결합은 증발식 냉각이 유효해질 수 있는 기후 범

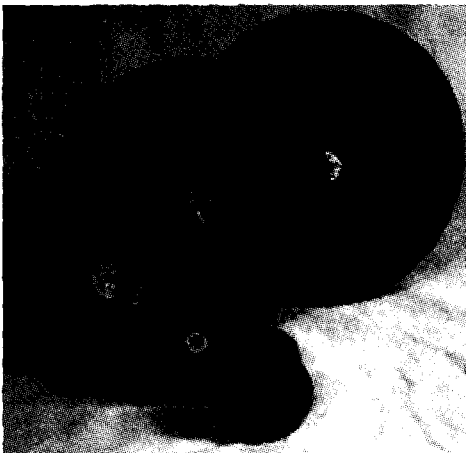


그림 1 고체건조제 냉방시스템의 핵심요소; 건조제휠(desiccant wheel)

위를 넓히는 가능성에 이르렀다.

전형적인 건조제이용 제습냉방장치의 주요 핵심 요소들은 제습기, 공기-공기 열교환기, 증발식 냉각기, 공기가열기, 모든 에어컨에서 볼 수 있는 통상의 공기 송풍장치 및 제어요소들이다. 이러한 요소들 모두가 건조제 공조시스템에 중요하게 기여하지만, 건조제 제습기가 가장 특징적인 것이며 시스템의 성능 및 비용에 핵심적인 비중을 차지한다. 그러므로 건조제 제습기가 건조제 냉각 사이에 있어서 대부분의 연구 초점이 되어 왔다.

Munters는 1968년에 건조제 용액으로 함침될 수 있고 현재까지도 많이 사용되며, 제습기를 통과하는 공기에 낮은 압력손실이 평행통로를 제공하는 제습기 구조를 도입함으로써 재생 제습기 요소의 의미 있는 개발을 이루었다. 이러한 구조의 회전형 wheel에 근거한 제습기와 전열 재생기들은 오늘날 상업적으로 이용 가능하다. 따라서 Munters 기술에 근거한 많은 시스템들이 미국에서 만들어져 시험되어 왔다.

액체건조제를 이용한 제습기는 증발식 압축냉방 시스템이 사용되기 이전에는 주요제습시스템으로 각광을 받았으나 전기구동 압축기가 만들어진 이후에는 특별한 산업분야에만 이용되어 왔었다. 하지만 최근에는 여러 가지 여건의 변화로 인해 새로운 냉방시스템의 하나로서 적용가능성을 인정받아 다시 주목을 받으면서 최신의 재료기술, 설계 기술등을 토대로 연구개발이 진행되어 오고 있다.

건조제 이용 제습 및 냉방 기술개발의 연구초점은 초기 연구 경험들을 토대로 해석방법의 개선과 요소들의 개발로 맞추어졌다. 이러한 연구 작업은 미국, EC, 일본, 대만, 호주 등의 여러 회사들과 주요연구기관에서 수행되고 있다. 이러한 연구결과들을 이용하여 현재 다양한 단계의 개발 및 현장평가가 수행중이며, 틈새시장의 개척을 위한 길도 열어 놓았다.

건조제 이용 제습 및 냉방시스템의 연구개발방향은 새로운 건조제 물질 및 요소 부품의 기하학적 형상의 개발, 시스템 부품요소의 성능 및 비용 개선, 새로운 시스템 개념의 검증 및 설계 등의 세 가지 주요 연구분야로 분류될 수 있다.

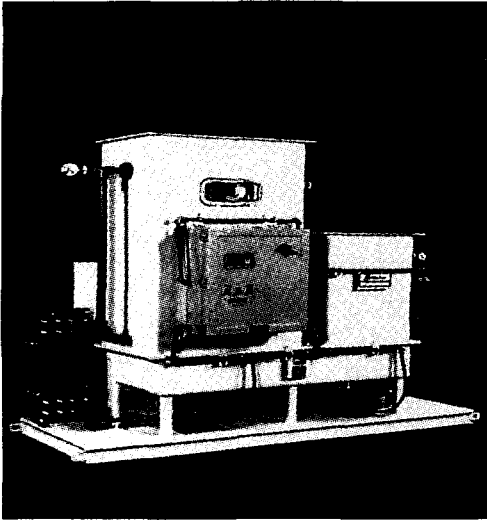


그림 2 액체식 건조제 이용 제습냉방시스템

4.2 건조제 물질 개선 및 개발 연구

건조제 이용 제습시스템은 상업시장분야에서의 많은 수가 실리카겔, 제올라이트 또는 LiCl 물질 시스템의 사용에 기반을 두고 있다. 두 경우에 있어서 물질의 형태가 건조응용에 적용되도록 바뀌어졌다. 보통 산업용 분야에서 충전 bed로 사용되던 실리카겔이 기판(substrate)에 적용되어 낮은 압력손실의 평행(parallel) 또는 허니콤(honeycomb) 통로 형상으로 제작되었다. 현재 특수한 건조분야 틈새 시장은 이러한 형태의 요소들을 이용하는 시스템들이 적용되고 있다.

GRI(gas research institute)등에 의해 지원된 해석 연구는 건조제 시스템에 적합한 흡착등온선 특성과 같은 건조제 물성을 확인하였다. 이 적합한 물성치는 Brunauer Type 1M 흡착등온선 형태로 정의된다. 연구결과에 의하면 Type 1M 형태가 제조 경제성과 제습냉방시스템의 에너지 효율이 일치하는 제습기 형상과 작동온도의 제한범위 내에서 제습 및 재생에 대해 가장 빠른 농도파두면(wave front)을 산출한다. 이 결론에 따라 GRI는 다른 중요한 물리적 성질들을 보유하면서 이러한 등온선을 갖는 건조제 물질들을 개발하는데 목표를 둔 물질 연구 프로그램들을 개발을 위해 여러 회사들과 연구기관을 지원하고 있다.

건조제 물질개선 연구의 또다른 방향은 친수성(hydrophilic) 폴리머에 의해 대표된다. 수처리와 생물질 분야에서 상업적으로 응용이 되고 있는 이 물질들은 등온선 형태, 습기용량, 흡수열 등을 조절할 수 있는 잠재적 이점을 제공한다. 폴리머는 건조응용에 편리한 모양으로 제조되거나 코팅될 수 있으며, 값이 싸고 낮은 온도에서 재생될 수 있다. 미국의 연구자들은 이러한 부류에서 많은 수의 유망한 물질들을 검증하였으며 그중 일부는 다음과 같다.

- Poly Styrene Sulfonic Acid의 다양한 염류(PSSA)
- AMPS(2-Acrylamido-2-Methyl-1-Prop-ane-Sulfonic acid)의 몇몇 혼합물
- PolyVinyl Benzyl Trimethyl-Ammonium Chloride (PVBTAAC)

물질연구의 제3의 방향은 기존의 건조제 물질들을 경제적 방법으로 공기 조화에 가장 중요한 형태로 적용하는 방법들을 다룬다. 허니콤 구조에 합쳐진 실리카겔 충전 bed와 LiCl의 기존의 방법이 여러 제습기 제조 회사들과 연구기관에서 저압손실 대체 구조로 바뀌어지고 있다.

4.3 시스템 요소 성능의 개선과 비용절감 연구

건조제 제습기의 성능은 주로 사용된 건조제 물질의 종류, 제습기의 내부형상(즉 건조제가 제습기 매트릭스안에 어떻게 배치되어 있나), 작동인자 등에 의존한다. 건조제 물질 종류는 제습기의 크기, 작동범위(온도, 습도), 효율, 비용, 서비스 수명 등에 영향을 준다. 또한 건조제 선택이 시스템의 열적 COP와 냉각 용량에 영향을 준다. 제습기의 형상은 압력강하, 크기, 비용에 영향을 주어 건조제 냉각시스템의 열적, 전기적 COP와 비용 등에 영향을 준다. 제어 전략 또한 전체 성능에 영향을 줄 수 있다. 건조제와 기하학적 형상의 최적 조합은 건조응용을 위해서 고효율이고 저가의 제습기를 제공할 수 있다.

제습기의 성능향상을 위한 최근까지의 연구들 중에서 단계별 재생(staged regeneration) 방법이 재생에너지의 감소와 제습기의 크기를 줄이기 위한 방안으로 도입되고 있으며, 이와 유사하게 제습

부의 초기부분에 퍼지부(purge section)를 만들어 제습부 초기의 처리공기를 재생부에 이용함으로써 재생에너지의 감소와 제습 성능을 향상시키고 있다. 이와 같은 성능개선을 통해 공기-공기 열교환기의 유효성의 요구량을 낮추어 열교환기 크기 및 비용감소를 도모한다.

시스템 비용 절감의 가장 분명한 방법은 시스템의 대량생산과 관련 있는 경제성과 부품비용 절감을 통하는 것이다. 저가의 물질 및 조립기술을 사용하여 플레이트 핀 열교환기의 제조가 제안되었으며, 저가의 효율적인 플라스틱제 간접 증발식 냉각기를 생산하기 위한 개발이 계속되고 있다. 공기 열교환기 및 증발식 냉각기에 히트파이프의 적용이 조사되어 가능성을 보여주었다.

시스템 비용절감의 또다른 방법은 혁신적인 공조시스템 개념의 검증 및 설계와 관련이 있다. 이러한 개념은 핵심요소 부품의 성능 요구수준을 낮출 수 있고 또는 어떤 요소부품의 필요성을 제거하기조차 한다.

액체 건조제는 충전탑, 스프레이 코일 재생기, 스프레이 체임버에서 재생공기와 건조제 회용액을 접촉시킴으로써, 또는 재생타입 집열기에서 얇은 건조제용액층을 태양열복사에 노출시킴으로써 재생될 수 있다. 충전탑 및 스프레이 실 형태 재생기는 각각 형태의 제습기 시스템과 유사한 구조이다. 유일한 차이는 높은 재생온도에서 흡수제 용액의 부식 위험성이 더 크다는 관점에서의 구성재료 물질의 선택이다. 재생기에서의 재생과정을 위한 열은 태양열 공기 가열 집열기에서 재생공기를 가열하거나 또는 온수, 폐증기를 이용하여 열교환기에서 건조제 회용액을 가열함으로써 또는 이 방법들의 조합에 의해 공급될 수 있다. 액체건조제를 이용한 개방식 제습냉방장치에 사용하는 건조제는 (1) 평형증기압이 낮을 것, (2) 화학적, 열적으로 안정할 것, (3) 재생복원이 용이할 것, (4) 인체에 무해할 것, (5) 반응열, 용해열이 작을 것, (6) 물에 대한 용해도가 클 것, (7) 점성이 작고 열전도성이 우수할 것, (8) 염가일 것 등의 성질이 요구되며, 현재 이러한 요구를 비교적 만족시키는 것으로서 염화리튬 수용액, 트리에틸렌 글리콜 등이 일반적으로 많이 사용되고 있으며, 개방형 제습부

방시시스템의 경제성을 높이기 위해서 새로운 액체 건조제용액에 대한 연구와 더불어 제습부의 형상 및 설계 기술에 대한 연구개발도 활발히 진행되고 있다. 현재 충전탑형 액체건조제 제습장치의 복합 냉방시스템에 설계기술에 대한 연구는 에너지자원기술개발지원센터의 지원하에 국내에서 연구개발이 진행되고 있다.

4.4 새로운 시스템 개념의 연구

현재 주목받고 있는 시스템 개념으로는 복합식(hybrid) 냉각 또는 코제너레이션 시스템과 태양열 또는 저온 배열을 이용하는 건조제 단독(stand-alone)시스템, 가스직화식 건조제 재생시스템 등이 있다. 건조제 제습과 증기 압축시스템을 결합하여 만든 복합시스템은 현재 미국시장에서 이용가능하고 특수한 공조 틈새시장분야에 적용되고 있으며, 새로운 건조제 재생방법등의 연구개발을 통하여 성능개선 및 운전비 절약, 초기 비용 감소 등을 추진하고 있다.

건조제 제습과 코제너레이션 장치를 결합한 시스템에서는 발전 플랜트 전력을 산출할 수 있으며, 폐열은 건조제 장치를 재생하는데 사용된다. 에너지 효율이 좋은 2단 저온 제습개념에서는 증기 압축과 건조제 제습을 결합하여 빌딩에 차고 건조한 공기를 공급하고 덕트 설치의 크기 및 비용을 줄인다. 2단계 제습기는 가스직화 부스터를 가진 압축기 배열에 의해 재생된다.

액체건조제를 제습냉각시스템은 쾌적한 처리공기의 공급을 위해 공기의 제습을 액체 건조제 제습기(liquid desiccant dehumidifier)로 처리하고 현열냉각은 냉각기(증발식 냉각기, 냉각코일, 냉각탑 등)를 이용한다. 공기중의 수증기로 희석된 제습기의 건조제 회용액은 열원(태양열, 천연가스, 배열, 전기)에 의해 가열된 공기에 의해 재생기(regenerator)에서 습기를 배출시킴으로써 재생되어 제습기에서 다시 사용될 수 있다. 현재 연구되고 있는 액체식 제습장치의 제습부 및 재생부 형상은 충전탑식, 평판식, 스프레이식 등이 있으며, 최근에는 막(membrane)을 이용한 시스템에 대한 연구도 수행되고 있다.

에너지 이용효율을 높이기 위해 기존의 증기압

축식 냉동시스템과 건조제이용 제습시스템을 결합하면 현열과 잠열 냉각부하를 효과적으로 처리할 수 있는 복합냉방시스템이 될 수 있다. 복합시스템에서 증기압축식 냉방장치는 높은 증발기 온도에서 작동될 수 있어 증기압축식 단독의 경우보다 더 높은 열적 COP가 얻어진다. 현열부하는 증기압축식 장치에 의해 처리되므로 제습기는 단지 잠열부하만을 처리하기 위해 습기만 제거하며, 제습기 시스템 단독으로만 냉방효과를 내기 위해 필요한 과도건조(over-drying)는 하지 않아도 되므로 제습기시스템 단독의 경우와 비교할 때 제습기의 크기를 줄이고 따라서 제습액을 재생하는데 필요한 에너지도 줄어든다. 요약하면 건조제를 이용한 제습 냉방시스템이 전기사용량이 많은 빌딩의 공조에 사용되면 다음과 같은 특성에 의해 공조에너지 비용을 상당히 절감할 수 있다; (1) 전기구동 냉동시스템에서 제습부하를 제거하고 그것을 습기를 흡수하는 건조제로 옮김으로써 전력냉방수요를 줄인다. (2) 건조제의 재생을 위해 에너지 효율이 좋은 폐열이용 또는 심야전력활용 열원을 이용할 수 있다. (3) 에너지 효율이 좋은 높은 증발기온도에서 현열냉각을 공급하여 낮 동안의 전력수요를 줄인다. 기존의 공조시스템과 경쟁하기 위해서 건조제 제습기를 이용한 시스템은 초기비용과 운전에너지비용을 절감할 수 있는 새로운 방식으로 HVAC시스템에 결합되어야 한다.

5. 결론 및 추후 연구 방향

건조제 이용 제습 및 냉방시스템과 기존의 건조제이용 산업용 공기제습기 사이에는 설계개념에 중요한 차이점이 있다. 가장 중요한 차이는 재생열원과 전기사용과 관련된 시스템 성적계수 COP와 관련이 있다. 기존의 산업용 건조제 제습기는 증기압축식 냉동제습시스템이 달성할 수 없는 극도의 건조한 공기가 요구되는 산업분야에 많이 사용되어 왔다. 그러므로 이러한 조건을 달성하는 데에 소비되는 에너지 및 시스템 비용은 산업용 제습기에서는 주요 관심사가 아니었다. 결과적으로 산업용 건조제 제습기의 COP는 매우 낮은 값을 나타내

었다. 하지만 건조제의 우수한 습기제거능력을 이용하여 개발하려는 건조제 이용 제습 및 냉방시스템은 흡수식, 압축식 시스템 등과 초기비용, 운전비, 환경적 효과, 에너지절약효과 등의 측면에서 경쟁해야 하므로 시스템의 성적계수를 높이는 것이 중요한 설계 개념이 되었다. 건조제 이용 제습 냉방 시스템은 잠열 냉방부하를 고체 또는 액체 건조제를 이용한 건조제 제습기에 의해 처리하고, 현열부하를 기존의 열교환기, 증발식 냉각기, 냉각 코일 등으로 처리하도록 최적화된 에너지 절약시스템으로 주목받고 있다. 현재 미국등 선진국에서는 건조제 이용 제습 및 냉방 시스템 공조의 효율 및 비용효율의 개선을 통하여 상업적으로 이용 가능한 시스템과 설계가 몇몇 틈새시장에 진출해 있으며, 폭 넓은 시장 침투를 위하여 요소부품 및 시스템의 효율, 크기, 신뢰성, 수명 등의 향상과 비용절감 연구가 계속 추진되고 있다.

건조제 이용한 제습 및 냉방시스템은 고온 다습한 우리 나라 하절기에 과냉각, 재열과정이 필요 없고, 온도와 습도의 분리조절이 가능한 시스템이며, 다양한 산업분야에 적용될 수 있는 냉방기술의 하나이다. 또한 환경친화적이며 실내 공기질의 향상에도 긍정적으로 작용하는 에너지 절약 시스템으로 유망한 건조제 이용 제습 냉방 시스템의 국내 기술발전을 위해 현재 산업자원부의 지원을 받아 일부 기술개발이 지원되어 오고 있으나, 요소기술 및 핵심설계 기술, 이론적 연구, 실증 및 상용화 등에 대한 연구개발지원을 통하여 본 기술의 연구개발보급 확산이 국내에서도 시급하다고 사료된다.

후 기

본 글은 산업자원부 산하 에너지자원기술개발지원센터의 지원 연구개발프로젝트 "축열식 공조시스템과 건조제이용 에너지절약형 복합(hybrid) 냉방시스템 기술개발"과제 결과의 일부임을 밝히며, 본 지면을 통해 에너지자원기술개발지원센터의 관계자 여러분께 감사드립니다.