

냉각식 제습

Dehumidification by refrigeration

송 영 환
Y. H. Song
(주)센추리 기술연구소



- 1966년생
- 산업용 냉동설비, CLEAN ROOM, 제습시스템, 선박용 HVAC에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

일반적으로 공기조화에 대하여 이야기할 때 온도조건은 중요하게 생각하고 습도는 부수적인 요소로 생각해버리는 경향이 있다. 그러나 습도는 공조시스템을 구성하는데 필요한 다른 요소들과 함께 매우 중요한 요소이며 산업 분야에 따라서는 최우선적으로 고려되어야 할 사항중의 하나이다. 실제로 습도는 철강류와 곡식의 저장 및 병원의 수술실을 비롯하여 제약과 반도체 산업 및 섬유의 제조 공정 등의 분야에서 중요하게 다루어지고 있으며 여타 분야에서도 냉방장치의 보급과 더불어 온도에 대한 욕구가 충족되면서 습도에 대한 관심이 늘어나고 있다.

습도를 조절하는 과정은 공기중에 수분을 가하는 가습과정과 수분을 제거하는 제습 과정으로 분류할 수 있다. 여기에서는 제습에 관하여 살펴보고자 한다. 제습이라 하면 공기중의 수분을 제거하여 상대 습도를 낮추는 과정을 일컫는 용어이다. 공조시스템에 일반적으로 적용되고 있는 제습 방법으로는 공기를 노점온도 이하의 물체와 접촉시켜 제습을 시키는 냉각식 제습과 흡습제와 접촉시키는 방법이 있다. 본 원고에서는 냉각식 제습에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

2. 냉각식 제습

2.1 냉각식 제습의 원리

냉각식 제습은 대기중의 공기를 제습시키는 방법중 가장 일반적인 방법이며, 대부분의 공조기기는 냉각식 제습기능을 겸하고 있다. 냉각식 제습의 원리는 서론에서 언급한 바와 같이 제습 시키고자 하는 공기를 노점 온도 이하의 물체와 접촉시켜 공기중의 수분을 응축시키는 것이다. 냉각식 제습의 원리는 일상생활에서 쉽게 확인할 수 있는데 여름철에 찬 맥주잔의 표면에 물방울이 맺히는 것과 겨울철에 버스를 탔을 때 안경 렌즈 표면에 이슬이 맺히는 것이 대표적인 경우이다. 냉각식 제습의 원리에 대하여 다음 두가지 공조장치를 예로 들어 구체적으로 살펴보기로 한다.

2.1.1 냉매의 냉동사이클에 의한 제습

냉매의 냉동사이클을 이용한 냉각식 제습방법은 가장 일반적인 방법이며 통상적으로 냉각식 제습이라하면 냉매의 냉동사이클을 이용한 방법을 일컫는다. 여름철에 가정용 냉방기를 운전하면 실내기(INDOOR UNIT)에서 응축수가 발생하게 되는데, 이는 실내 공기가 냉각코일을 통과하는 과정에서 실내 공기의 노점온도보다 낮은 냉각코일의 표면과 접촉하여 공기중의 수분이 응축되기 때문이다.

이 과정을 그림 1의 간략화 시킨 습공기선도상에서 살펴보면 다음과 같다. 실내 공기가 냉방기의 냉각코일을 통과하게 되면 처음에는 공기의 온도만 강하되어 현열만 감소하게 된다. (①→②과정). 현열만 감소하는 과정을 거친 공기는 포화선을 따라 온도가 강하되면서 공기중의 수분이 응축되어 현열과 잠열이 동시에 감소하는 과정이 진행된다 (②→③ 과정). 공기중의 수분이 응축되는 포화선은 냉각 코일의 바이패스 팩터(BY-PASS FACTOR)에 따라 달라지는데 일반적으로 상대 습도 85~95%RH선상을 따라 응축이 일어난다.

이 과정에서의 실내 공기중의 수분이 응축된 제습량 W는 식 1과 같다.

$$W = \rho \times Q \times (x_1 - x_3) \quad (1)$$

여기에서 W : 제습량, [kg/h]

ρ : 건조 공기 비중, [kg/m³]

Q : 건조 공기 풍량, [m³/h]

x_1 : 냉각코일 입구 공기의 절대 습도, [kg/kg]

x_3 : 냉각코일 출구 공기의 절대 습도, [kg/kg]

또한, 실내 공기에서 제거된 전열량 q_T 는 식 (2)와 같으며 현열 및 잠열 제거량 q_S 와 q_L 은 각각 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$q_T = q_S + q_L \quad (2)$$

$$= \rho \times Q \times (h_1 - h_3)$$

여기에서 q_T : 전열 제거량, [kcal/h]

q_S : 현열 제거량, [kcal/h]

q_L : 잠열 제거량, [kcal/h]

ρ : 건조 공기 밀도, [kg/m³]

Q : 건조 공기 풍량, [m³/h]

h_1 : 냉각코일 입구 공기의 엔탈피, [kcal/kg]

h_3 : 냉각코일 출구 공기의 엔탈피, [kcal/kg]

$$q_S = \rho \times Q \times C_p \times (t_1 - t_3) \quad (3)$$

여기에서 C_p : 공기의 정압 비열, [kcal/kg · °C]

t_1 : 냉각코일 입구 공기의 건구온도, [°C]

t_3 : 냉각코일 출구 공기의 건구온도, [°C]

$$q_L = W \times W_L \quad (4)$$

여기에서 W : 제습량, [kg/h]

W_L : 물의 증발잠열, 597[kcal/kg]

2.1.2 에어 워셔에 의한 제습

에어 워셔를 이용한 제습은 장비 특성상 제습을 주목적으로 하기보다는 냉각 및 분진 처리등의 목적이 우선되는 경우에 부수적으로 적용하는 것이 일반적인 경우이다. 그러므로 여기에서는 냉매의 냉동의 냉동사이클을 이용한 제습 방법과의 차이점만 간략히 짚어 보고자 한다.

에어 워셔에 의한 제습의 원리는 기본적으로 2.1.1절과 동일하다. 냉동사이클에 의한 제습과의 차이점은 제습하고자 하는 공기가 냉각코일의 표면과 접촉하는 대신 에어워셔의 노즐에서 뿌려지는 냉수와 직접적으로 접촉하기 때문에 처음부터 현열과 잠열이 동시에 제거된다는 것이다. 이때 공기와 열교환을 마친 에어워셔 출구의 냉수 온도는

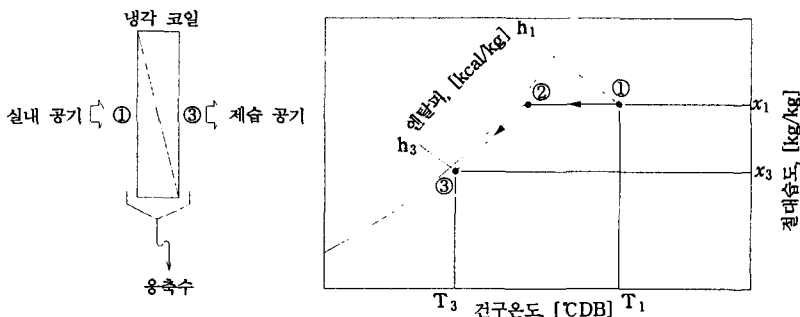


그림 1 냉매의 냉동사이클에 의한 제습

입구 공기의 노점 온도보다 낮아야 제습이 이루어진다.

이를 그림 2의 간략화된 습공기선도에서 살펴보면 다음과 같다. 에어 워셔에서의 공기의 상태 변화는 에어워셔 입구 공기 상태점①과 출구 냉수 온도에 해당하는 공기의 상대습도 100%RH의 상태점㉞를 이은 직선상을 따라 이루어지며 출구 공기의 상태는 상태점②가 된다.

에어 워셔를 통과한 공기의 수분 및 열량 제거량은 2.1.1절의 식들을 이용하여 계산하면 된다.

2.2 냉각식 제습기

일반적으로 공조 시스템에 적용되고 냉각식 제습기는 냉매의 냉동사이클에 의한 방법을 이용한 제품이 주종을 이루고 있다. 에어 워셔에 의한 제습은 설비 공사의 개념이 요구되기 때문에 단일 제품으로 상품화되어 있는 것은 찾아보기 어렵다. 그러므로 여기에서는 냉매의 냉동사이클을 이용한 냉각식 제습기의 종류에 대하여 소개하고자 한다. (이하 냉각식 제습기는 “냉매의 냉동사이클을 이

용한 제습기”를 칭함.)

냉각식 제습기에는 실내 현열 부하가 적고, 실내 온도를 내릴 필요가 없는 경우에 온도를 보상해 주기 위해 냉각코일 후면에 재열기를 설치하는 경우가 일반적이는데, 재열기의 열원에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 응축기의 폐열을 이용하는 방법
- ② 전기 가열기를 이용하는 방법
- ③ 히트 파이프 열교환기를 이용하는 방법

2.2.1 응축기의 폐열을 이용하는 방법

응축기의 폐열을 이용한 방법은 가장 표준적인 방법으로써 냉각식 제습기의 제조 업체에서 가장 많이 적용하고 있는 방법이다. 그 원리를 그림 3에서 살펴보면 다음과 같다. 냉동 사이클에서 응축기를 냉각코일 후면에 설치하여, 냉각 코일을 통과하여 제습된 공기(상태점②)를 응축기의 폐열로 가열하여(상태점③) 실내로 공급하는 방식이다.

이 때 재열량 q_R 은 냉각코일에서의 냉각열량 q_T 와 압축기의 입력 q_C 를 합한 값이며, 계산식은 식 (5)와 같다.

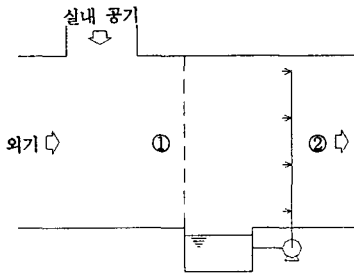


그림 2 에어 워셔에 의한 제습

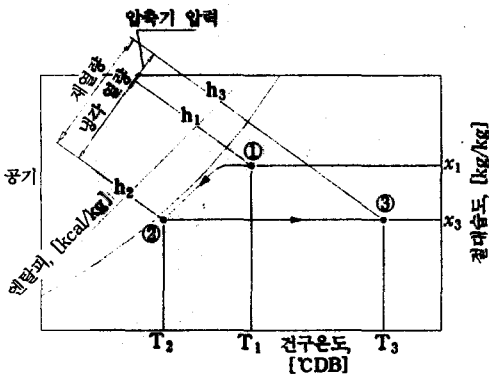
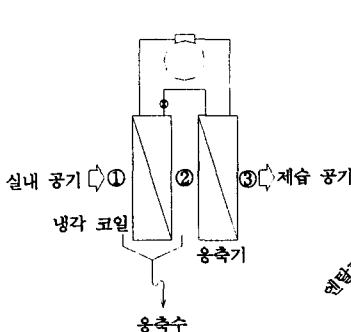
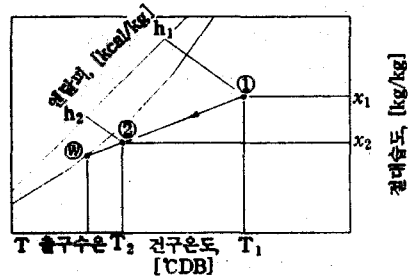


그림 3 응축기의 폐열을 이용한 냉각식 제습기

$$q_R = q_T + q_c \quad (5)$$

$$= \rho \times Q \times (h_3 - h_2)$$

2.2.2 전기 가열기를 이용하는 방법

2.2.1절 응축기의 폐열을 이용한 방법에서 냉각 코일 후면에 응축기 대신 전기 가열기를 설치하여 냉각 코일에서 제습된 공기를 가열하는 방식이다. 냉동사이클과 재열사이클을 분리함으로써 응축기의 폐열을 이용하는 경우보다 시스템의 안전성과 습도 조절의 정밀성이 확보되는 장점이 있는 반면에 에너지 소비가 증가하는 단점이 있다. 이 방법은 주로 항온항습기와 이동이 요구되는 대용량 제품에 이용되고 있다.

2.2.3 히트 파이프 열교환기를 이용하는 방법

다음 그림 4는 히트 파이프 열교환기를 재열기로 이용하는 대표적인 경우를 나타낸 것으로써 공기는 다음과 같은 상태변화를 거치게 된다. 냉각 코일의 전면에서 예냉된(①→②과정) 공기는 냉각코일에서 냉각제습된(②→③과정) 후 히트 파이프 열교환기의 재열부에서 재열되어(③→④) 실내로 공급된다. 이 때 재열량($h_4 - h_3$)과 예냉부의 냉각열량($h_1 - h_2$)은 같다.

이 방법은 단위 에너지 소비량에 비해 많은 제습성능을 기대할 수 있는 반면에 장비 가격이 비

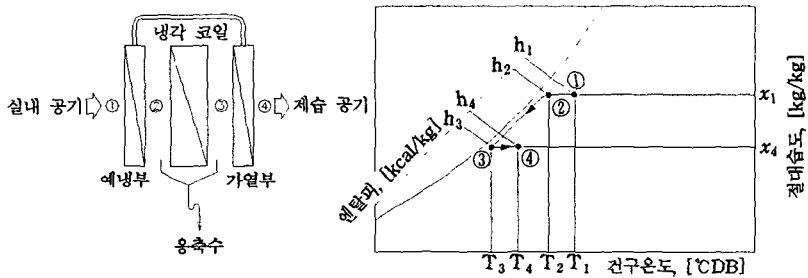


그림 4 히트 파이프 열교환기를 이용한 냉각식 제습기

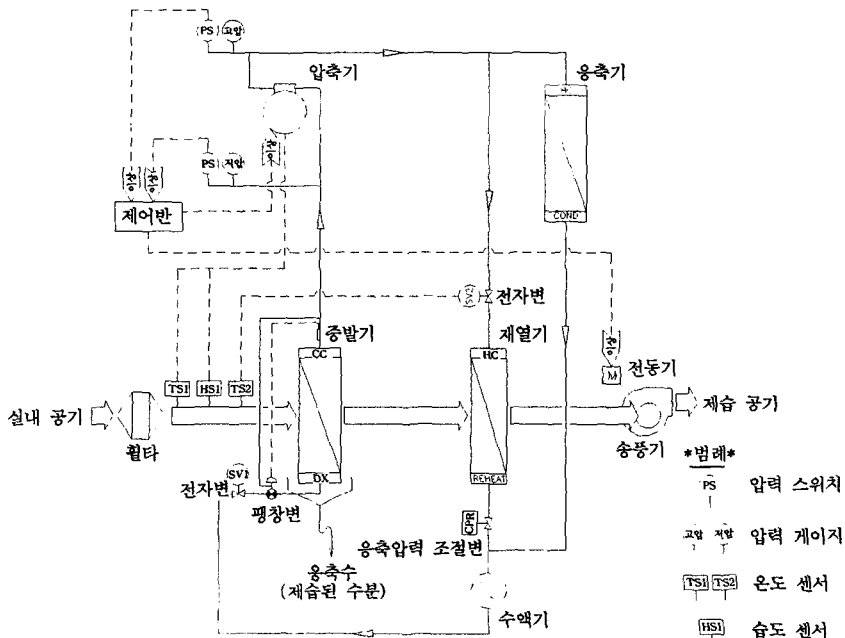


그림 5 대표적인 냉각식 제습기의 배관계통도

짜지는 단점이 있다.

이외에도 증기 가열기 또는 현열교환기 등을 재열기로 적용하는 방법도 있으나 널리 사용되고 있지는 않다. 그림 5는 응축기의 폐열을 이용한 냉각식 제습기의 대표적인 배관계통도를 예로 든 것으로써, 냉방시 온도와 상대습도가 동시에 조절하는 기능을 갖추고 있다. 필터를 거쳐 장비로 유입된 실내 공기의 온도 또는 상대습도가 증발기(냉각 코일) 입구에 설치된 온도 센서 TS1 및 습도 센서 HS1의 설정치 보다 높으면 압축기를 운전시킨다. 그리고 실내 공기의 온도가 온도 센서 TS2의 설정치보다 낮은 경우에는 재열기 입구에 설치된 전자변(SV2)를 열고 압축기에서 토출된 고온의 냉매 가스를 재열기로 통과시켜 증발기에서 냉각제습된 공기를 재열함으로써 실내 온도를 보상하여 준다.

냉동사이클의 성적계수와 제습 성능을 감안하였을 때 냉각식 제습기는 제습하고자 하는 실내의 조건이 26.7°CDB/60%RH 이상인 경우에 적용하는 것이 가장 효율적이다. 그러나 부하 상태에 따라서는 보다 낮은 조건에서 제습이 요구되는 경우도 있다. 이러한 경우에는 간혹 제습기 출구 공기의 절대 습도가 낮아 결로가 발생하기 때문에 제상 장치를 설치하여야 한다. 제습기의 제상장치로는 타이머 또는 바이메탈식 온도스위치를 사용하여 압축기를 정지시키는 방법이 주로 이용되고 있다.

3. 맺음말

앞에서 살펴본 바와 같이 냉각식 제습은 일반적인 냉방 공조장치에서 그 기능을 겸하고 있고 원

리가 간단하기 때문에 다른 제습 방법에 비해 폭 넓게 적용할 수 있다. 실제로 제습이 요구되는 분야에서 경제적인 장비 가장 널리 보급되어 있다. 전산실에 사용되는 항온항습기와 선박 도장 설비에 사용되는 프리-쿨러(PRE COOLER)는 대표적인 경우라고 할 수 있으며 실내 빙상 경기장의 실내 제습에도 냉각식 제습기가 적용되고 있다. 그러나 어떠한 장치라도 효율성이 극대화되는 조건에서 사용될 수 있도록 시스템을 구성하는 것이 최상의 방법이라 하겠다. 제습장치를 구성함에 있어서도 마찬가지로 설계 조건에 따라 냉각식 제습기만으로는 효율성이 떨어지는 경우가 있다. 이러한 경우에는 흡습제와 공기를 직접 접촉시켜 제습시키는 흡수식 또는 흡착식 제습 장치와 같이 사용하여 효율성을 높이는 것이 바람직하다.

마지막으로 이 글을 맺으면서 짧은 지식으로 우수한 실력을 지닌 냉동공조 업계 및 학회 선후배들 앞에 글을 올리게 된 것을 부끄럽게 생각하며 냉각식 제습기에 관심을 가지고자 하는 분들에게 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

참 고 문 헌

1. 김효경, 1983, 공기조화, pp. 38~64, pp. 247~253, pp. 269~270.
2. 1996 ASHRAE HANDBOOK HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENTS pp. 19.7, pp. 43.5~43.6.
3. 1991, 공기조화·냉동·위생공학편람 제2권 공기조화 pp. 295~296.