

# 다층형 열교환기를 이용한 제습기의 전면 풍속 변화에 따른 성능 특성에 관한 연구

구학근<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>동명대학교 냉동공조공학과

## A Study on Performance Characteristics of a Dehumidifier with Multi-layer Type Heat Exchangers Varying Frontal Air Velocity

Hak-Keun Ku<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Refrigeration and Air-Conditioning Eng., TongMyong University

**요 약** 저온환경에서의 자동화 설비, 반도체, 제조공정 및 수분 접촉이 되는 화학생산 라인 공정 등의 수분 제거를 위하여 다층형 열교환기를 이용한 제습장치를 구성하였다. 이 장치의 주요구성은 핀 피치가 다른 증발기 4대, 2대의 압축기, 2대의 응축기 그리고 팽창밸브로 각각 제작되었다. 본 연구에서는 제 1 열교환기(증발기)의 전면 풍속을 변화시켜 제습기의 성능 특성을 분석하였다. 즉, 제1 열교환기의 정면 풍속을 1.0m/s에서 4.0m/s까지 0.5 m/s의 간격으로 증가시켜 각 측정지점에서 온도와 상대습도를 측정하여 엔탈피를 구하여 각 열교환기의 냉각능력을 구했다. 그 결과 제1 열교환기의 정면 풍속이 2.0 m/s에서 각 열교환기의 냉각능력이 가장 좋은 것을 알 수 있었다.

**Abstract** The experimental apparatus consists of dehumidifier with multi-layer type heat exchangers to remove the moisture from automatic equipments, semiconductors, and manufacturing processes under the low temperature environment, and chemical production lines which are likely to take moisture. The major components of this system are four evaporators with different fin pitch, two compressors, two condensers and an expansion valve. In this study, the performance characteristics of dehumidifier is analyzed by the variations of frontal air velocity in the first heat exchanger(evaporator). The cooling capacity of each heat exchanger is acquired by the enthalpy calculating from measuring point of temperature and relative humidity of the first heat exchanger from 1.0m/s to 4.0m/s with increasing interval 0.5m/s, and the front air velocity. As a result, it is found that cooling capacity of the first heat exchanger showed the best cooling capacity when its frontal air velocity is 2.0 m/s.

**Key Words** : Cooling Capacity, Dehumidifier, Dew-point, Entalpy, Heat Exchanger, Relative Humidity

### 1. 서론

제습기는 공기 속에 포함된 수분을 제거하기 위한 기기로서 건조한 공기를 필요로 하는 각종 산업 전반, 자동화 설비, 반도체 제조공정 및 수분 접촉이 되는 화학생산 라인 특히 도장 전처리 공정에 필수적이며, 또한 식품 건조에서는 단백질 파괴 방지를 억제할 수 있는 중요한 필수 시스템이라고 할 수 있다. 특히 실내스케이팅장, 술 제조공정 중 곡류저장 공정, 모피 저장, 가죽 저장 및 사진 촬영소의 컬러필름 및 종이의 저장 등에서는 저노점 제

습(절대습도 2.5g/kg, 온도 5~25 ℃)이 필수적으로 요구된다.

실용적으로 사용되고 있는 제습방식은 냉각식 제습법, 압축식 제습법, 흡수식 제습법 및 흡착식 제습법으로 분류되며, 실제 제습조작을 할 때에는 이들 제습법을 단독으로 사용하거나 또는 각 방식의 조합에 의해 사용되어진다. 이 가운데 냉각식 제습법은 널리 사용되고 있는 방식으로서 냉매를 사용하여 열교환기를 통과하는 습공기의 노점온도 이하로 냉각하여 제습을 수행하는 방식이지만, 제습의 한계점은 공기 노점온도가 약 10 ℃ 부근의

\*교신저자 : 구학근(hgkur@tu.ac.kr)

접수일 2010년 04월 26일 수정일 (1차 10년 05월 17일, 2차 10년 06월 12일, 3차 10년 06월 25일) 게재확정일 10년 07월 06일

상온에서 냉각제습이 가능하나, 그 이하의 온도에서는 열교환기의 핀 막힘과 전열장애 등의 트러블을 발생시켜 연속운전이 불가능하기 때문이다[1-3]. 또한 흡착식 제습법은 드럼에 건조제(실리카겔, 알루미늄 등)를 장착하여 흡입되는 공기 중의 수분을 일부분에 흡착시키고, 다른 일부분은 공기를 흡입하여 반대편에 퍼지시키는 형태로 반복하면서 흡습된 수분을 배출하는 형식이지만 건조제에 흡습한 수분을 제거하기 위해 전기 가열방식을 채용함으로써 다량의 에너지가 소비되는 것이 단점[4-7]이라 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 열교환기의 구조 및 냉동사이클의 제어알고리즘 개선을 통하여 냉각코일을 이용한 에너지 절약형 저노점 냉각제습기를 개발하고자 한다.

본 연구에서는 에너지 절약형 저노점 냉각제습기를 개발하기 위해 핀 피치가 각각 다른 증발기를 4대 연속하여 설치하고, 증발기의 전면 풍속 변화에 따른 습공기의 냉각, 제습된 결과를 통해 최적의 공기유속을 파악하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

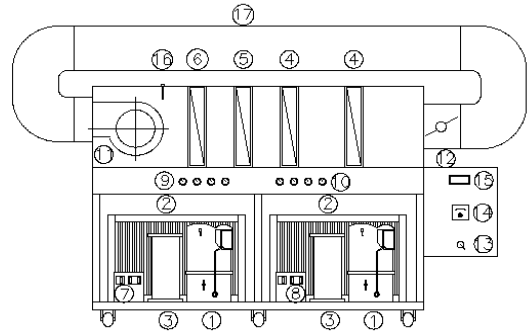
### 2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 그림 1과 그림 2에 나타난 저노점 제습장치로서 온도와 습도 및 풍량을 측정할 수 있는 측정기기로 구성되어 있다.

실험장치의 ① 압축기는 완전 밀폐식 왕복동식 2대로, 용량이 각각 2 HP이다. ② 응축기와 ③ 수액기를 각각 나타내며, 증발기는 다층형 열교환기의 구조로, ④의 증발기는 핀 피치 3 mm가 연속하여 2대 설치되어 있으며, ⑤의 증발기는 6mm, ⑥의 증발기는 핀 피치 8 mm인 열교환기이다. 열교환기가 4개가 직렬로 연결되어 있으므로 유입되는 습공기가 열교환기를 통과하면서 저항을 받게 되므로 열교환기의 핀 피치를 너무 좁게 하면 공기저항 증가 및 핀 막힘 현상으로 인하여 열전달률 저하가 발생한다. 그러나 유입공기 전면에서는 착상의 우려가 없으므로 핀 피치를 3 mm 정도로 유지하고 후단에서는 제상용 열교환기의 역할을 하므로 열교환기의 핀 피치를 다소 넓게 하여 6 mm, 8 mm로 구성하였다.

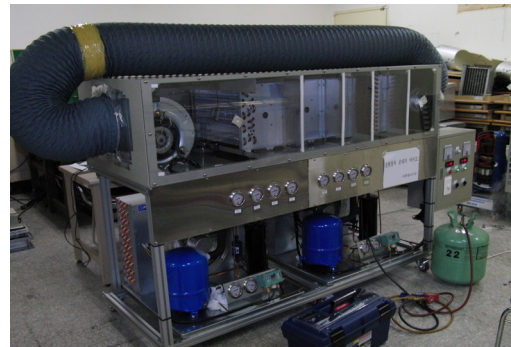
그림 3은 다층형 열교환기에서의 온도 및 습도의 측정점을 나타낸 것이다. T1에서 T5까지의T1은 제1 열교환기 앞의 공기온도를 나타낸것이며, T2는 제1 열교환기를 통과한 후의 공기온 도, T3은 제2 열교환기를 통과한 후의 공기온도, T4는 제3 열교환기를 통과한 후의 공기온

도, T5는 제4 열교환기를 통과한 후의 공기온도 지점이다. 6번에서 13까지는 각 열교환기의 입·출구에서의 냉매 온도를 측정하기 위한 지점을 의미한다. H1에서 H4도 다층형 열교환기 사이의 각 지점의 상대습도를 측정하는 지점이다.

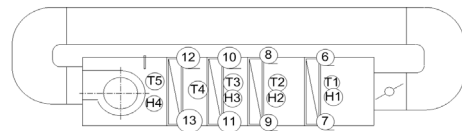


① 압축기, ② 응축기, ③ 수액기 ④ 증발기(3 mm, 2개), ⑤ 증발기(6 mm) ⑥ 증발기(8 mm), ⑦ 고압계이지, ⑧ 압력스위치, ⑨ 저압계이지 입구, ⑩ 저압계이지 출구, ⑪ 송풍기, ⑫ 댐퍼, ⑬ 전기 제어반, ⑭ 송풍기 회전속도 제어기, ⑮ 온도 지시계, ⑯ 온도 센서, ⑰ 플렉시블 덕트

[그림 1] 실험장치 도면



[그림 2] 실험장치



[그림 3] 측정지점

각 지점의 온도측정을 위해 T형 열전대를 사용하였고 이들은 독립적인 보정실험을 통해 0.1 °C의 정확도를 갖도록 하였다. 상대습도는 습도센서(808H5V5 : ±4 %RH)에 5V의 전원을 공급하여 데이터 측정장치(YOKOGAWA

MX100)와 연결하여 측정하였다. 실험데이터는 데이터 측정장치를 컴퓨터와 연결하여 저장하였다. 풍속은 아네 모마스터(KANOMAX 6112 : ±0.1 m/s)로 측정하였다.

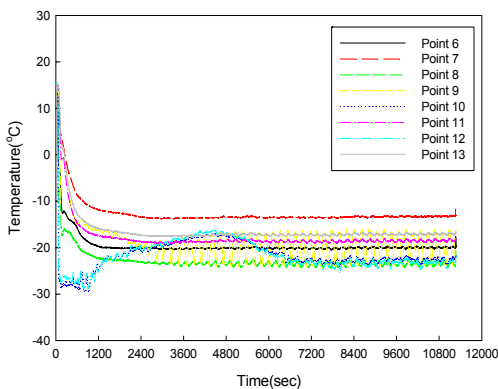
### 2.2 실험방법

실험은 장치 내에 냉매를 충전하기 전에 진공펌프를 사용하여 장치내 잔류 공기를 제거한다. 이와 동시에 냉매가 장치내로 원활히 유입될 수 있도록, 진공펌프를 사용하여 장치 내를 진공한 후 기밀시험을 하였다. 하루 동안 누설검사를 하고, 이상이 없을 경우 수액기에 부착된 충전밸브로 냉매를 충전한 후, 압축기를 가동하여 냉매를 유동시켰다.

다층형 열교환기의 열전달 및 물질전달에 관한 거동을 파악하기 위한 방법으로, 제1 열교환기의 전면 풍속을 1.0 m/s에서 4.0 m/s까지 0.5 m/s의 간격으로 변화시켜 그림 3의 측정지점에서의 온도와 습도 및 열교환기의 입·출구냉매온도를 기록하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

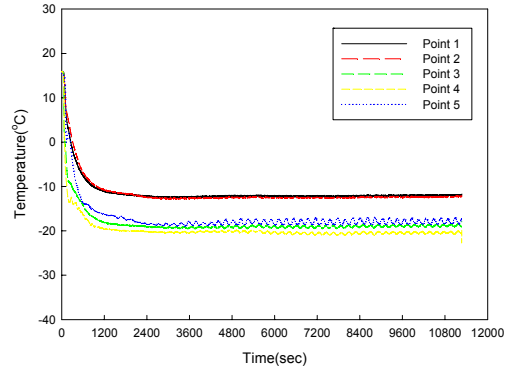
다층형 열교환기로 구성된 저노점 냉각제습기를 개발하기 위한 첫 단계로 각 열교환기의 냉각능력을 파악하고자 열교환기 전후의 온도와 상대습도를 측정하였으며, 이때 변수로 제1 열교환기 전면에서의 풍속을 변화시켰다.



[그림 4] 측정지점에서의 냉매온도

그림 4는 기류속도 3.5 m/s 인 경우의 각 열교환기의 입구 및 출구의 냉매온도를 나타낸 그래프이다. 제1 열교환기의 입구측 냉매온도는 안정적인 상태를 기준으로 살펴보면 -20.0 °C, 출구측 냉매온도는 -13.4 °C 정도였으며,

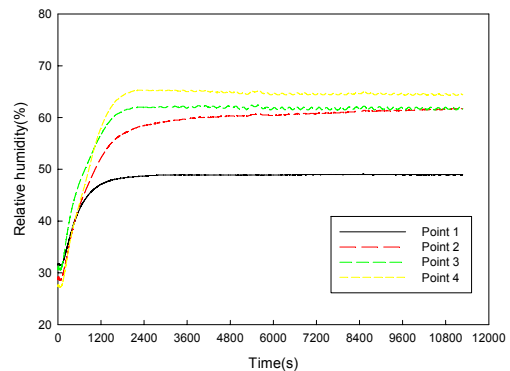
제2 열교환기의 입구측 냉매온도는 -22.9 °C, 출구측 냉매온도는 -23.8 °C이었다. 제3 열교환기의 경우 입구측 냉매온도가 -21.9 °C, 출구측 냉매온도는 -18.7 °C이었으며, 제4 열교환기의 입구측 냉매온도는 -22.4 °C, 출구측 냉매온도는 -17.3 °C이었다.



[그림 5] 측정지점에서의 공기온도

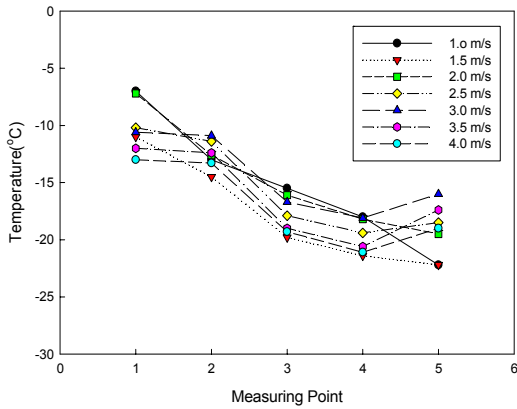
그림 5는 기류속도 3.5 m/s로 제1 열교환기 전면에서 제4 열교환기까지의 각 열교환기 사이의 공기온도를 나타낸 것이다. 실험전의 온도는 15.8 °C, 상대습도는 29 % 이었다. 실험을 시작한 지 약 20분이 경과한 후에 안정적인 온도대를 유지하고 있음을 알 수 있는데, 측정점 1에서의 온도는 -12.0 °C, 측정점 2에서의 온도는 -12.4 °C, 측정점 3에서의 온도는 -19.0 °C, 측정점 4에서의 온도는 -20.6 °C, 측정점 5에서의 온도는 -17.4 °C이었다.

그림 6은 기류속도 3.5 m/s로 제1 열교환기부터 제4 열교환기까지 네 지점에서의 상대습도를 나타낸 그래프이다. 측정점 1에서 측정점 4로 이동함에 따라 상대습도가 높아져 감을 알 수 있었다.



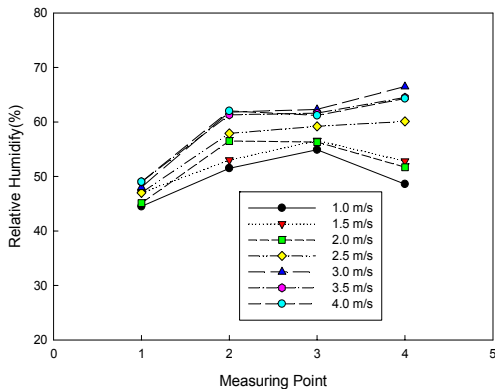
[그림 6] 측정지점에서 공기의 상대습도

그림 7은 풍속에 따른 각 측정점에서의 온도변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 열교환기 전면의 공기속도가 빨라짐에 따라 냉매와 열교환하는 공기의 양이 증가함과 동시에 난류를 형성시켜 열교환 효과를 향상시키므로 열교환기의 용량은 증가한다. 본 연구에서는 이를 확인하기 위해 열교환기 전면의 공기유속에 따른 각 구간의 공기 온도를 측정된 결과를 나타낸 것이다.



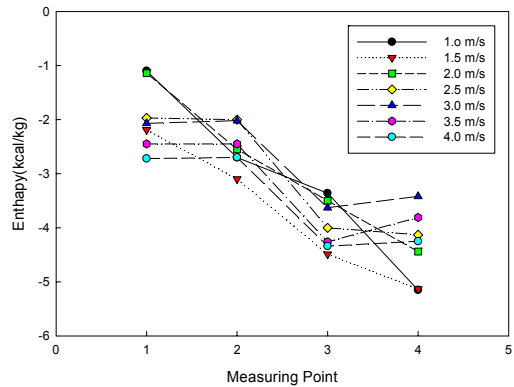
[그림 7] 풍속에 따른 각 측정점에서의 온도

그림 8은 풍속에 따른 각 측정점에서의 상대습도 변화를 나타낸 그래프이다. 열교환기 전면의 공기유속에 따른 각 구간의 상대습도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 공기온도와는 달리 제1 열교환기에서 제4 열교환기를 통과하여 측정점으로 갈수록 상대습도는 공기유속에 따라 점차 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 냉각제습에 의해 공기속에 함유된 수증기를 상대습도 95 %선상에서 액 상태로 전환되어 상대습도가 높아지는 것으로, 제습이 이루어지고 있음을 추정할 수 있다.



[그림 8] 풍속에 따른 각 측정점에서의 상대습도

그림 9는 풍속에 따른 각 측정점에서의 엔탈피 변화를 나타낸 것이다. 이 값은 각 열교환기의 중앙지점에서 측정된 공기온도와 상대습도를 습공기 선도에서, 각 열교환기의 능력을 파악하기 위해 구한 것이다. 전면 풍속 1.0 m/s인 경우 제1 열교환기 전면에서 -1.1 kcal/kg, 제2 열교환기 전면에서 -2.7 kcal/kg, 제3 열교환기 전면에서 -3.36 kcal/kg, 제4 열교환기를 거친 공기의 엔탈피는 -5.15 kcal/kg이었으며, 전면 풍속 2.0 m/s에서도 이와 유사한 엔탈피 값을 나타내었다.

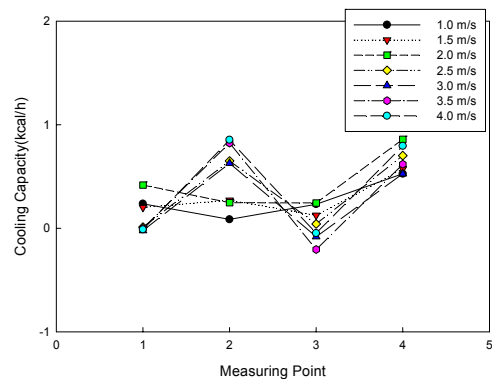


[그림 9] 풍속에 따른 각 측정점에서의 엔탈피

그림 10은 풍속에 따른 각 열교환기의 냉각능력  $q$ 를 다음 식 (1)에 의해 구한 것이다.

$$q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (1)$$

여기서,  $m$ 은 열교환기의 유효면적과 공기유속을 곱하였으며, 공기비열  $c$ 에 온도차  $\Delta t$ 를 곱한 값으로 계산하였다.



[그림 10] 풍속에 따른 각 열교환기의 냉각능력

제1 열교환기의 전면 면적은  $0.148 \text{ m}^2(0.41 \times 0.36)$ 이며, 제2 열교환기와 제3 열교환기 및 제4 열교환기의 전면 면적은  $0.13 \text{ m}^2(0.41 \times 0.32)$ 이다. 이 결과, 냉각능력이 가장 좋은 제1 열교환기의 기류속도는  $2.0 \text{ m/s}$ 에서  $0.42 \text{ kcal}$ 이었으며, 제2 열교환기는  $4.0 \text{ m/s}$ 에서  $0.85 \text{ kcal}$ , 제3 열교환기와 제4 열교환기는  $2.0 \text{ m/s}$ 에서  $0.24 \text{ kcal}$ 로 전반적으로  $2.0 \text{ m/s}$ 에서 냉각능력이 좋은 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

실내스케이트장, 슐 제조공정 중 곡류저장 공정, 모피 저장, 가죽 저장 및 사진촬영소의 컬러필름 및 종이의 저장 등 저노점 냉각제습을 필요로 하는 산업체의 요구에 부응하기 위해 다층형 증발기를 설치하고 습공기를 냉각 제습하는 시스템을 구성하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제1 열교환기의 전면 풍속을  $1.0 \text{ m/s}$ 에서  $4.0 \text{ m/s}$ 까지  $0.5 \text{ m/s}$ 의 간격으로 실험하여 각 구간의 온도와 상대습도를 측정된 결과, 열교환기를 통과할수록 온도는 낮아지고 상대습도는 높아져 제습효과를 파악할 수 있었다.
- 2) 각 구간에서 측정된 온도와 습도를 기준으로 엔탈피를 구하여 냉각능력을 산출하였으며, 그 결과 전면 풍속  $2.0 \text{ m/s}$ 에서 가장 좋은 결과를 나타내었다.

#### 참고문헌

- [1] 이수동, 박문수, 정진은, 최영석, “냉각식 시스템과 비교한 복합식 제습냉방시스템의 냉각열량 증가에 관한 실험적 연구”, 설비공학논문집, 제16권, 제10호, pp. 952~959, 2009.
- [2] John D, Kurtis M, James B, “Energy efficient dehumidification”, ASHRAE Journal, pp. 78~80, 2009.
- [3] 김정민, 이관수, “열교환기 핀에서의 서리층 물성치에 대한 실험 상관식”, 설비공학논문집, 제21권, 제11호, pp. 629~635, 2009.
- [4] 최현웅, 김영일, 박승태, 유경록, “복합 냉풍 건조기 개발”, 대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집, pp. 242~247, 2009.
- [5] 최진영, 김세환, 박승태, 이정호, “복합형 냉풍건조기 실험에 대한 검토”, 대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집, pp. 254~259, 2009.
- [6] 최현웅, 정광섭, 이태호, 박승태, “하이브리드 냉풍건

조기 개발”, 대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집, pp. 236~241, 2009.

- [7] Dash U, 오명도, “재생 입구 직접증발냉각기 적용이 제습냉방시스템 성능에 미치는 영향”, 대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집, pp. 633~638, 2009.

구 학 근(Hak-Keun Ku)

[정회원]



- 1983년 2월 : 부산수산대학교 냉동공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 부산수산대학교 냉동공조공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 부경대학교 냉동공조공학과 (공학박사)
- 1992년 9월 ~ 현재 : 동명대학교 냉동공조공학과 부교수

<관심분야>

냉동공조시스템의 성능향상 및 고성능 열교환기 개발 등