

온실 내 수분제어를 위한 제습장치 개발

Development of Dehumidifier to Control Moisture in Greenhouse

김 문 기 · 권 혁 진(서울대)*

Kim, Moon Ki · Kwon, Hyuck Jin

Abstract

This study was carried out to develop a dehumidifier using underground water for controlling moisture in a greenhouse. The dehumidifier was designed as a horizontal shell type condenser, and an experiment was carried out with an evaporative cooling system. In a shading condition, evaporative cooling with the dehumidifier results in a decrease of relative humidity and temperature in the down place of a greenhouse than without a dehumidifier, so it is expected that the dehumidifier is useful for effective evaporative cooling.

I. 서론

여름철 주간의 온실 내 냉방을 위해서 주로 물의 기화열을 이용하는 증발냉각법이 온실 냉방에 이용되고 있다. 즉, 증발냉각법은 물이 수증기로 변할 때 주위 공기로부터 열을 빼앗음으로써 기온이 저하하는 원리를 이용한 것이다. 그러나, 외부공기의 상대습도가 높고 온실내의 환기가 잘 이루어지지 않는 경우 물입자가 완전히 증발하지 못하고 온실 내부에 누적되는 문제가 발생하며, 이로 인해 온실내의 상대습도가 계속 증가하여 증발 효율이 떨어지는 문제가 발생하게 된다. 따라서 온실 내의 냉방효율을 높이기 위해서는 증발되지 못한 습기를 제거하여 온실 내에 수분이 누적되지 않도록 해야 하는데, 이를 위해서는 제습장치를 이용해야 한다. 윤(1996) 등이 온실 길이 방향으로 파이프를 설치해 놓고 파이프 내에 지하수를 흘려 주위 공기의 수분을 응결시켜 국부냉방 효과를 실험한 적이 있으며, 수분 응결량이 많은 수록 증발 냉각의 효율이 높아지며, 냉방 효율이 최대 80%, 평균 48%가 증가하는 것으로 보고하였다.

기존의 제습장치에서는 냉매가스나 고체 건조제를 사용하는데, 냉매가스를 이용하는 제습장치의 경우 고온다습한 공기를 냉매가스가 흐르는 차가운 금속표면에 통과시켜 수분을 응축시키는 원리를 이용한 것이다. 한편, 온실 내에서는 증발냉각과 양액제배 등을 위해 지하수를 사용하는데, 이 지하수는 일반적으로 15°C~20°C 정도이기 때문에 온실 내 공기를 충분히 응축시킬 수 있다. 따라서 냉매가스 대신에 지하수를 제습장치에 사용하면 더욱 경제적일 것이다. 따라서, 본 연구에서는 지하수를 이용한 제습장치를 설계하고 개발하여 증발냉각 시스템과 병행하여 사용함으로써, 제습장치의 현장적용 가능성을 판단해 보고자 한다.

II. 제습장치의 설계

1. 제습장치의 설계 조건

ASHRAE(미국공조학회)방식의 냉방설계용 기상자료로부터 TAC 1%(건구온도: 32.6℃, 습구온도: 26.1℃, 일사량: 881W·m²)인 수원지역의 자료를 이용하여 작성한 VETH선도에 의하여 결정된 분무수량과 환기율에서 환기율이 열악한 경우를 가정하여 제습장치를 설계한다.

2. 제습장치 설계 과정

① 제습요구량 산정

제습장치가 제습해야 될 수분량은 분무 수량에서 환기에 의해 온실 밖으로 빠져나가는 수분량을 뺀 값이다. 이를 이용하여 제습될 양을 구한다.

② 습공기 유입부의 팬 용량 결정

김 등의 실험 결과에 의하면 온실 하부로 내려갈수록 습도가 증가하는 것으로 나타났는데 이는 온실 상부에서는 환기에 의해 제습이 원활히 이루어지는 반면 하부에서는 공기 흐름이 원활하지 못한데다 증발되지 않은 물입자가 온실 바닥에서 다시 증발함으로써 습도가 증가하기 때문이다. 따라서, 냉방효율을 높이기 위해서는 온실 하부의 습기를 제거하여 낙하하는 물입자가 하부에서도 원활하게 증발되도록 하여야 할 것이다. 1m 이하의 공간에 대해 제습이 이루어진다고 하면, 습공기 유입량은 바닥면적에 높이를 곱하면 구할 수 있다. 제습장치를 설치할 통로의 폭을 고려하여 팬의 용량을 정한다.

③ 파이프 직경 및 간격 결정

팬을 통하여 유입된 기체는 파이프(Tube bank) 사이를 통과하면서 압력손실이 발생하는데, 계산된 압력손실이 팬의 압력손실 값보다 크게 될 경우에는 기체가 파이프 사이를 통과하지 못하는 문제가 발생한다. 압력손실을 결정하는 중요한 요소 중의 하나는 파이프 사이의 간격인데, 계산된 압력손실이 크게 나올 경우에는 파이프 사이의 간격을 늘려서 허용 압력손실 값의 90% 이내에 들도록 설계한다.

④ 대수평균온도차 계산

제습장치의 전열량을 결정하는 요소 중의 하나는 장치로 유입되는 공기와 파이프 내를 흐르는 지하수의 온도변화이다. 이를 정확히 계산해야 장치에 소요되는 파이프의 전열면적을 구할 수 있다. 일반적으로 장치로 유입되는 공기와 파이프로 유입되는 지하수의 온도는 계속 변하게 되므로 평균적인 온도차를 구하기 위해서 대수평균온도차를 계산한다.

⑤ 총합열전달계수 계산

파이프 내를 흐르는 물과 장치로 유입되는 공기 사이에는 열교환이 일어나게 되는데, 이를 해석하기 위해서 물과 파이프사이의 대류열전달, 파이프 내부와 외부의 전도열전달, 유입공기와 파이프외부의 대류열전달을 고려한 총합열전달계수를 계산한다.

⑥ 파이프내의 지하수 유량 계산

장치로 유입되는 습공기의 열량과 파이프내 지하수의 열량이 열평형을 이루도록 하는 지하수 유량을 계산한다.

⑦ 파이프 전열면적 계산

파이프내 지하수의 열량과 총합열전달계수에 의해 파이프의 전열면적을 계산한다.

위의 과정을 거쳐 제습장치의 제원을 결정하면 표 1. 과 같다.

팬 용량	50 m ³ /min	대수평균온도차	5.5℃
팬 허용압력	16 mmAq	총합열전달 계수	1175 kcal/m ² hr °C
파이프 재질	Copper	열교환량	8400 kcal
파이프 외부직경	9.5 mm	전열면적	1.3 m ²
파이프 내부직경	8.3 mm	파이프내 지하수 유량	20 kg/min
파이프 수직간격	2 cm	파이프내 지하수 유속	0.31 m/s
파이프 수평간격	2 cm		

표 1. 제습장치의 제원

⑧ 제습장치의 구조

위에서 설계한 내용을 바탕으로 하여 제작된 제습장치의 구조를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

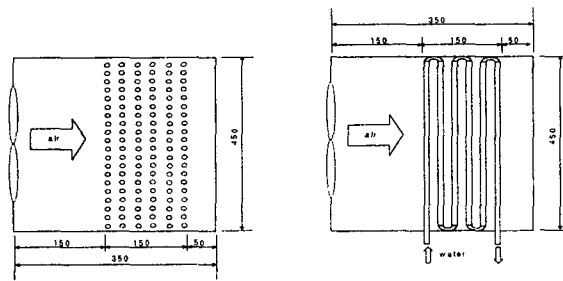


그림 1. 제습장치의 구조(우 : 측면도, 좌 : 평면도)

III. 제습장치의 성능실험

1. 실험 온실 및 측정방법

제습장치는 경기도 안성에 위치한 폭 6.5m, 길이 19m, 높이 4m이고, 포그냉방시스템이 설치된 철골유리온실의 통로부분에 설치하였다. 온실 내에는 차광막이 설치되어 있고, 차광율은 70%였다. 계측은 그림 2와 같이 온실 외부의 환경은 온실로부터 10m 떨어진 지점에 기상관측시스템(Campbell)을 설치하여 기온, 습도, 풍속, 풍향, 일사량을 1분 간격으로 자동 기록하였고, 온실 내부의 환경은 온습도 센서인 HOBO(H08-003-02, Onset computer Corp.)는 온실 중앙 단면의 상부, 중부, 하부에 각 3개씩 총 9개를 설치하여 자료를 10초 간격으로 자동 기록하였고, 일사계(PCM-01, 프리드), 풍속계(Series640, Dwyer Instrument, Inc.)는 디지털 다점기록계(HR2300, Yokokawa)를 이용하여 1분 간격으로 자동 기록하였다. 또한 포그냉방을 실시하지 않고 차광만 하는 온실(차광율 70%)에도 HOBO를 설치하여 온습도를 측정하였다.

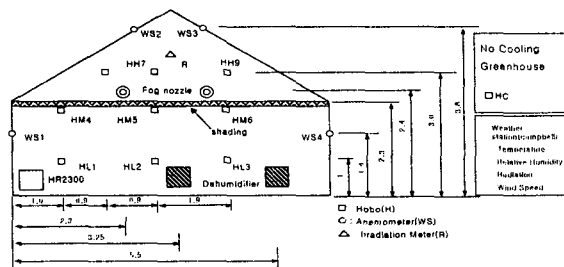


그림 2. 온실 내·외부의 센서 및 제습장치 배치도

2. 실험방법

① 제습장치의 성능시험

제작된 제습장치의 성능을 시험하기 위하여 온실 내에 포그시스템을 가동하지 않고 제습장치만을 가동하여 제습장치의 공기유입부와 유출부에서의 온도 및 절대습도를 HOBO를 이용하여 측정하였다.

② 증발냉각 시스템과 병행한 제습장치의 성능시험

제습장치를 포그냉방과 병행하여 사용한 경우의 성능을 비교하기 위해서 제습장치를 사용하지 않고 포그냉방을 사용한 경우와의 온실 하부의 온습도 환경 및 외부환경을 상대적으로 비교하였다. 포그냉방은 10시부터 4시까지 하였으며, 분무시간 및 분무간격은 각각 25초, 45초로 하였다.

3. 결과 및 고찰

① 제습장치의 성능시험

그림 3.은 제습장치만을 가동한 경우, 장치의 유입부와 유출부의 온도와 절대습도의 변화를 나타낸 그래프이다. 유입부에서의 평균온도는 35.27℃이고, 평균 절대습도는 0.0259kg/kg였으며, 유출부에서의 평균온도는 30.82℃이고, 평균 절대습도는 0.0242kg/kg였다. 한편 온실외부의 평균온도는 30.85℃이고, 평균 절대습도는 0.0242kg/kg로 나타나 장치의 유출부와 비슷한 값을 나타내었다. 이는 설계에서 기대했던 응축량의 81%를 응축한 것으로 나타나 기대한 만큼의 성능을 나타내었다고 판단되었다.

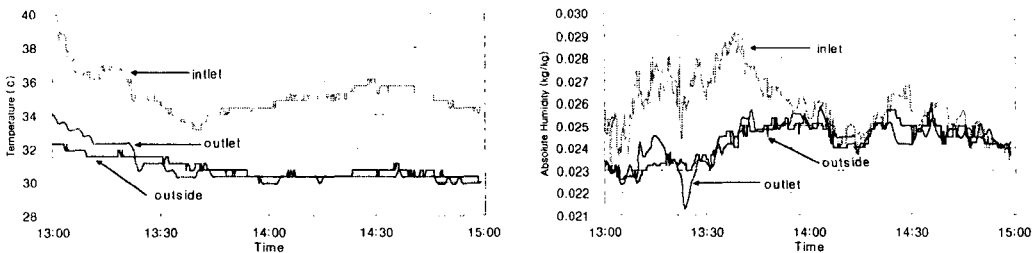


그림 3. 제습장치 유입부와 유출부의 온도 및 절대습도 변화

② 증발냉각 시스템과 병행한 제습장치의 성능시험

그림 4.는 제습장치와함께 포그냉방을 실시한 경우의 온실하부 온습도 분포를 나타낸 그래프이고 그림 5.는 제습장치를 사용하지 않고 포그냉방을 실시한 경우의 온실하부 온습도 분포를 나타낸 그래프이다. 제습장치를 사용한 경우 냉방시간 중의 외부습도는 62.5%였으며, 온실하부습도는 58.1%였다. 한편 제습장치를 사용하지 않은 경우 냉방시간중의 외부습도는 54.7%였으며, 온실하부습도는 59.6%였다. 결국 두 조건간의 온실하부 습도는 비슷하게 나왔으나 외부의 습도가 제습장치를 가동시켰을 때 더 높았던 것과 외부풍속의 경우 장치를 가동시켰을 경우와 가동시키지 않았을 경우의 값이 각각 0.43, 0.79m/s로 장치를 가동시켰을 때 온실 내부 환기가 덜 되었다는 감안하면 제습장치의 효과로 인하여 온실하부 습도의 변화가 있게된 것으로 판단된다.

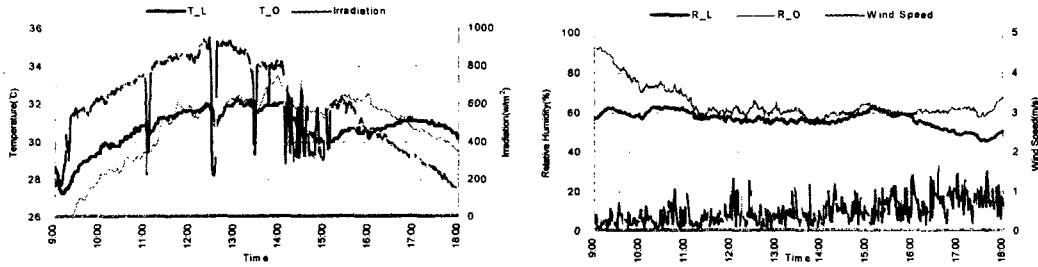


그림 4. 제습장치와 함께 포그냉방을 실시한 경우의 온실하부 온습도 변화

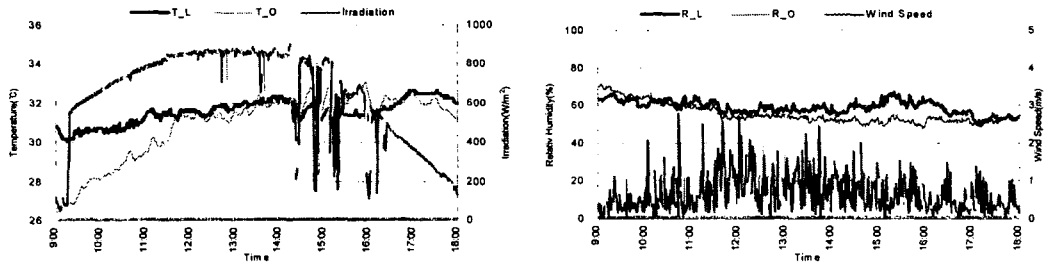


그림 5. 제습장치를 사용하지 않고 포그냉방을 실시한 경우의 온실하부 온습도 변화

각 조건별로 냉방시간 중(10시-16시)의 온실 내부 및 외부의 온습도 등의 평균값을 표로 정리하면 표 2.와 같다.

항목 조건	온실상부		온실중부		온실하부		대조구온실		외부			
	온도 (°C)	습도 (%)	온도 (°C)	습도 (%)	온도 (°C)	습도 (%)	온도 (°C)	습도 (%)	온도 (°C)	습도 (%)	일사 (W/m ²)	풍속 (m/s)
with dehumidifier	36.3	57.5	33.8	38.7	31.1	58.1	32.3	69.7	31.3	62.5	700	0.43
without dehumidifier	35.6	52.2	33.4	56.9	31.5	59.6	35.8	41.9	31.1	54.7	758	0.79

표 2. 냉방시간 중 온실 내·외부 환경(평균값)

IV. 결론

온실 내 수분을 제거하여 증발냉각 효율을 높이기 위하여 설계되고 제작된 제습장치의 성능을 시험하여 본 결과 기대한 만큼의 성능을 나타내었으며, 증발냉각시스템과 병행하여 사용한 경우 제습장치를 사용하지 않은 경우보다 온실 하부의 온도와 상대습도가 떨어지는 것으로 나타나 제습장치의 온실 증발냉각 효율을 높이는데 있어서 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김문기, 김기성, 권혁진, 2001, 자연환기 온실의 환기회수에 따른 포그냉방시스템의 냉방 효과, 한국생물환경조절학회지, 10(1) : 10-14
2. 민의동, 1991, 열교환기의 이론과 설계, 창원출판사
3. 윤남규, 김문기, 남상운, 1998, 냉수파이프에 의한 온실의 제습 및 증발냉각효율, 생물생산시설환경 7(3) : 237-245