

시설원예용 제습기 개발

연광석 강금춘 강연구 유영선 김영중 백 이

Development of Dehumidifier for Protected Horticulture

K. S. Yon G. C. Kang Y. K. Kang Y. S. Ryou Y. J. Kim Y. Paek

Abstract

Relative humidity of air in the greenhouse has to be maintained at 70 to 80 percents to provide a better growth condition of crops. To control relative humidity of air in the greenhouse, a dehumidifier functioning by refrigeration cycle was designed and manufactured in this study. And, results of its performance test in the greenhouse site were reported.

The developed dehumidifier has separated condenser and evaporator in the heat exchanger part in order to increase dehumidifying capacity at a low temperature condition.

When the conditions of incoming air into the dehumidifier were temperature of 15~25°C and relative humidity of 70~95%, quantity of condensed water per hour, ie, dehumidification rate was 4.7~7.0 kg/hr.

Relative humidity difference was not greater than 5 percents at various locations in the greenhouse due to proper distributing of dehumidified air through vinyl duct.

Thermal energy output from the developed dehumidifier was about 8,5000 kcal/hr that was 7 percents of maximum greenhouse heating load of 10 a.

Keywords : Greenhouse, Relative humidity, Energy, Dehumidifier, Dehumidification rate

1. 서 론

겨울철 온실의 실내 온도는 주간에는 일사량의 유입으로 인해 20°C 이상으로 유지되는 반면, 야간에는 15°C 이하로 떨어져 주, 야간의 온도차가 크다. 또한, 시설원예는 작물재배 특성상 관수 및 방제작업이 빈번하고 온실 내 습도 관리를 대부분 자연환경에 의존하고 있으나 난방기간 동안에는 온실내의 온도유지와 열손실의 우려로 자연환경이 어려우므로 피복 자재의 밀폐도가 높게 되며, 이로 인해 야간의 온실 내 상대습도는 90% 이상으로 유지되고 있다.

이때 온실내의 온도가 노점 온도이하로 내려가면 공기 중의 수분이 작물 표면에 응축되며 이것은 오이와 배론에서 노균

병, 단서병, 토마토와 피망에서 곰팡이병 등을 발생시키고, 호접란, 장미, 스타티스 등에서 연무병, 엽고병, 근부병, 잣빛곰팡이병, 노균병 등의 발생원인이 되고 있다(岡野利明, 1999).

특히 호접란의 경우에 있어서는 자연개화기인 5~6월경 외 기온이 야간 실내 설정온도(18°C)보다 높아 난방기의 작동이 거의 없고, 특히 야간에는 실내온도가 낮아지면서 온실내 상대습도가 높아져 잣빛곰팡이의 발생 빈도가 높아지므로 이를 방지하기 위해 온실 내부의 설정온도를 2~4°C 올려 난방기를 자주 작동시킴으로써 상대습도를 낮추어 주고 있으나, 이는 꽃의 성장을 과도하게 촉진시켜 화질의 저하가 우려될 뿐만 아니라 난방에너지의 소비로 인한 생산비 증가의 원인이 되고 있다.

The article was submitted for publication in February 2005, reviewed and approved for publication by editorial board of KSAM in April 2005. The authors are Kwang Suck Yon, KSAM member, Professor, Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea, Geum Choon Kang, KSAM member, Researcher, Division of Research Coordination, Rural Development Administration, Suwon, Korea, Yoen Ku Kang, KSAM member, Researcher, Young Sun Ryou, KSAM member, Senior Researcher, Young Joong Kim and Yee Paek, KSAM member, Researcher, Energy & Resource Laboratory, National Institute of Agricultural Engineering, Suwon, Korea, The corresponding author is Kwang Suck Yon, Professor, Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, cheongju, 361-763, Korea; E-mail : <ksyon@chungbuk.ac.kr>

따라서, 본 연구에서는 이 같은 문제를 해결하기 위하여 온실의 미기상 환경에 적합한 시설원예용 제습기를 개발하였으며, 호접란과 장미재배 온실에서 제습성능을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시설원예용 제습기 설계 제작

습공기가 제습기의 냉각코일을 통과하게 되면 처음에는 공기의 온도만 저하하여 혼열만 감소하게 되고 이 공기는 다시 노점 온도이하로 하강하면서 공기중의 수분이 응축되어 혼열과 잠열이 동시에 감소하는 과정이 진행된다. 이 과정에서 온실내의 습공기로부터 제거되는 수분량(제습량)은 다음 식에 의해 얻을 수 있다(송, 1998).

$$q_T = q_S + q_L = \rho \times Q \times (h_i - h_o) \quad (1)$$

$$q_S = \rho \times Q \times C_P \times (t_i - t_o) \quad (2)$$

$$q_L = W \times W_L \quad (3)$$

$$W = \rho \times Q \times (x_i - x_o) \quad (4)$$

여기서, q_T : 전열량(kcal/h), q_S : 혼열 제거량(kcal/h), q_L : 잠열 제거량(kcal/h), W : 제습량(kg/h), W_L : 물의 증발잠열(597 kcal/kg), ρ : 건조공기 비중(kg/m³), Q : 건조공기 풍량(m³/h), h_i , h_o : 입출구공기의 엔탈피(kcal/kg), C_P : 공기의 정압비열(kcal/kg°C), t_i , t_o : 입출구공기의 건구온도(°C), x_i , x_o : 입출구공기의 절대습도(kg/kg)

겨울철에는 야간에 온실내 설정온도가 5~15°C이기 때문에 15~25°C의 범위에서 작동하도록 설계된 일반 제습기를 사용하면 증발기 압력이 낮아지면서 증발기 표면에 응축된

수분이 결빙하여 제습능력이 현저히 떨어지게 되며, 이를 해결하기 위해서는 전기히터 등의 제상장치가 별도로 요구된다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하고 온실에서 사용이 적합하도록 제습기의 열교환기를 분리 배치하여 압축기와 송풍팬이 내장된 본체 케이스 좌우에 각각 1개씩의 공기 흡입구를 두었다. 또한, 제습된 공기의 원활한 배출을 위해 상부에 3방향으로 비닐 덕트 연결이 가능한 공기배출관(air duct)을 부착하였다.

송풍팬에 의해 제습기의 좌우에서 동시에 흡입된 온실 내 습공기는 흡입구의 후면에 배치된 증발기와 응축기를 통과하게 된다. 이때 증발기에서는 냉각제습 과정을 통해 절대습도가 낮아진 차가운 공기가 생성되고 응축기에서는 가열과정을 통해 상대습도가 낮아진 고온의 공기가 생성된다. 이와 같이 냉각제습과 가열과정을 통해 얻어진 공기는 다시 혼합되어 공기배출관을 통해 온실 내로 배출 순환된다. 냉각제습에 의해 증발기 표면에 생성된 응축수는 중력에 의해 흘러내려 배

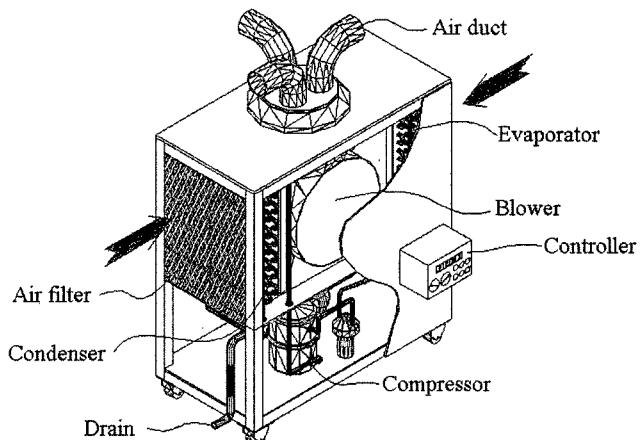


Fig. 1 Dehumidifier for protected horticulture.

Table 1 Type and specification of dehumidifier.

Classification		Type and specification
Area of application		1,000 m ² (300 pyoung)
Type of dehumidification		Refrigeration
Size of dehumidifier(L×W×H)		1,000×720×1,200 mm
Refrigerant		R ₂₂
Capacity of compressor		2.25 kW
Relative humidity controller		Automatic controller
Blower	Capacity	60 m ³ /min
	Power input	900 W
Evaporator	Type	Shell and tube type (20 row×5 column)
	Surface area of tube	1.82 m ²
Condenser	Type	Shell and tube type (20 row×6 column)
	Surface area of tube	2.19 m ²

수관을 통해 제습기 밖으로 배수된다. 즉 본 연구에서 개발한 제습기의 특징은 저온 고습의 상태에서 체적이 큰 공간에서 상대습도를 빠른 시간에 낮출 수 있도록 설계된 것이다. 이는 온실의 온습도 조건을 고려한 것이다. 또한 제습기의 성능은 증발기와 응축기의 적절한 냉매압력을 유지하기 위한 송풍량의 결정이 중요한 사항이며, 본 연구에서는 압축기의 용량을 결정한 후 온실내의 온습도 조건과 정상작동상태에서 냉매주입량을 결정한 후 압축기의 운전동력을 최소화 할 수 있는 조건을 송풍량 결정의 기준으로 하였다.

나. 제습성능 실험 및 현장적응 실험

시설원예용 제습기의 제습성능을 분석하기 위하여 240 m^2 크기의 비닐온실 내부에 100 m^2 크기의 실험실을 만들고 온실내부에 제습기를 설치하였으며, 온수보일러 및 가습기로 실험실의 온도 및 습도 조건을 조절하였다.

제습기의 습공기 입구부와 출구부에 각각 열전대(T-type thermocouple)와 습도센서(Hygro transmitter, DELTA OHM, ITALY)를 설치하고 하이브리드 기록기(Hybrid recorder MV200, YOKOGAWA, Japan)를 이용하여 건구온도와 상대습도를 10초 간격으로 연속 측정한 후 습공기선도 계산프로그램(Psychrometric chart program, CARMEL, USA)을 이용 절대습도를 구하고 이를 식(4)에 대입하여 제습량을 산출하였다. 또한, 소비전력은 전력량계(Clamp on power hitester 3166, HIOKI, Japan)를 이용하여 측정하였다.

실험실의 온도는 온실 내에서의 제습기 사용온도 조건을 고려하여 $15\sim25^\circ\text{C}$ 의 범위에서 5°C 간격으로 하여 3수준으로 설정하였으며, 상대습도는 $70\sim95\%$ 범위에서 6수준으로 조절하여 실험을 수행하였다.

또한 현장 적응실험은 경기도 수원 소재 원예연구소의 유리온실(375 m^2)을 대상으로 하여 제습온실과 무제습온실의 실내 온도, 상대습도 및 제습기 각부에서의 온도 및 상대습도 등을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 제습성능 실험

Fig. 2는 상대습도와 온실 내 온도에 따른 제습량을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 제습기로 흡입되는 공기의 상대습도가 70%에서 95%로 증가함에 따라 제습량은 4.7 kg/hr 에서 7.0 kg/hr 수준으로 나타났으며, 실내온도가 일정할 경우 상대습도가 증가할수록 제습량도 증가하였으며, 실

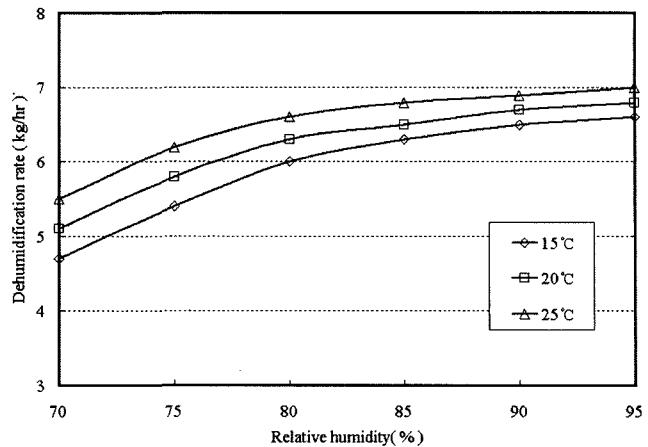


Fig. 2 Variation of dehumidification rate by relative humidity and greenhouse temperature.

내온도와 상대습도가 높을수록 제습량이 많아짐을 알 수 있었다.

나. 현장 적응실험

Fig. 3은 시설원예용 제습기에 의해 제습되는 온실과 관행의 무제습온실의 습도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 설정 상대습도 70%의 장미를 재배하는 제습온실과 관행의 무제습온실의 실내온도는 16시부터 익일 08시까지 양측 온실 모두 15°C 내외로 거의 동일하게 유지되었으며, 관행 무제습온실의 상대습도는 $80\sim90\%$ 로 높게 유지되는 반면 제습온실의 상대습도는 $70\sim80\%$ 로 약 10% 낮아져 설정습도가 잘 유지되고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 가동기간 중 시설원예용 제습기의 각 부분의 온습도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 장미 재배 온실의 제습효과 실행 수행 중 온실 내 상대습도가 $70\sim80\%$ 범위일 때 약 15°C 의 온실 내 공기가 차가운 증발기 표면을 통과하여 4°C , 상대습도 100%의 포화상태로 변하였으며, 응축기에 의해 온실내 공기가 가열되어 $40\sim43^\circ\text{C}$, 상대습도는 약 17%로 되었으며, 두 공기는 송풍팬에 의해 혼합된 후 공기배출관에 연결된 비닐 덕트를 통해 온실로 재공급되었다. 이때 공기배출관에서 배출되는 공기의 온도는 약 25°C , 상대습도는 $30\sim33\%$ 로 비교적 일정하게 유지되고 있었으며, 제습기를 통과한 공기온도는 실내 공기보다 10°C 가 상승하였고 상대습도는 50%가 낮아져 상대적으로 고온건조한 공기가 배출되고 있음을 알 수 있었다.

또한, 온풍으로 배출되는 공기의 난방능력을 식(2)를 이용하여 산출한 결과, 제습기의 증발기부분에서 제거되는 응축수가 가지는 잡열이 냉매에 흡수되고 이는 다시 압축기의 일

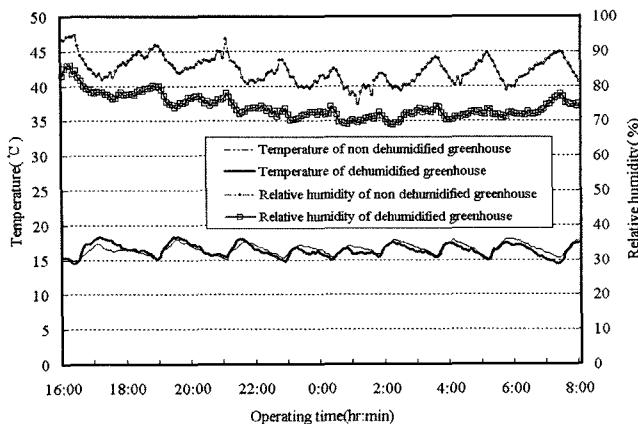


Fig. 3 Variation of temperature and relative humidity of air in the greenhouse in cultivating rose.

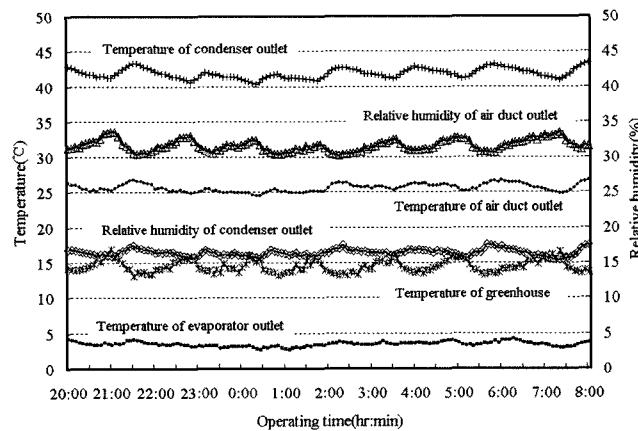


Fig. 4 Variation of temperature and relative humidity of air at each part of the dehumidifier during operation.

과 더해져 응축기를 통하여 온실내로 공급되며, 단위 시간당 약 8,500 kcal의 열량을 얻을 수 있었으며, 이것은 10a 규모의 온실 난방에 필요한 최대 난방부하인 120,000 kcal/h의 약 7%에 해당하는 열량이다.

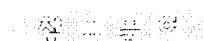
온실내의 열평형 측면에서는 압축기의 일과 제습기에 부착된 송풍팬의 일이 열로 변환된 만큼의 가온효과가 있는 것으로 판단할 수 있으나, 온실을 난방하는 온풍난방기의 측면에서 고찰하면 제습기로부터 배출되는 제습된 25°C의 공기가

온풍난방기의 연료소비량을 감소시키는 효과가 있는 것으로 판단할 수 있다.

4. 요약 및 결론

온실의 상대습도를 작물생육에 적합한 70~80%로 유지시키기 위하여 냉동 사이클을 이용한 냉각식 시설원예용 제습기를 개발하고 제습기의 성능실험과 현장적응실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 저온에서도 사용이 가능하도록 열교환기를 분리 배치한 압축기 용량 2.25 kW의 냉각식 시설원예용 제습기를 설계 제작하였다.
- (2) 제습기로 흡입되는 공기가 온도 15~25°C, 상대습도 70~95% 일 때 제습량은 4.7~7.0 kg/h 수준이었으며, 동일 온도에서는 상대습도가 높을수록 동일 상대습도에서는 온도가 높을수록 제습량이 많았다.
- (3) 온도 25°C, 상대습도 약 30%인 공기가 제습기에서 배출되어 실내 공기온도보다 온도는 10°C가 높게, 습도는 50%가 낮아져서 배출되고 있었다.
- (4) 제습기에서 온풍으로 배출되는 공기의 난방능력은 약 8,500 kcal/h로 10a 규모의 온실 난방에 필요한 최대난방부하의 7%에 해당하는 것으로 분석되었다.



1. 송영환. 1998. 냉각식 제습. 공기조화냉동공학 학회지 27(6): 548-552.
2. 송현갑외 5인 1993. 시설원예 자동화. 문운당.
3. 岡野利明. 1993. 農業におけるヒートポンプと蓄熱利用の實際.
4. 青木伸雄. 1993. 農業用ヒートポンプシステム技術. 社團法人 農業電化協會.