

냉각식 제습기를 이용한 시설원에 습도환경 제어 효과

Effects of Humidity Environmental Control in Greenhouse Using Refrigeratory-Based Dehumidifier

강금춘* · 연광석¹ · 유영선 · 김영중 · 백이² · 강연구

농업공학연구소 시설자원공학과, 충북대학교 바이오시스템공학과¹, 원예연구소 시설원예시험장²

Kang, G.C*. Yon, K.S¹. Ryou, Y.S. Kim, Y.J. Paek, Y². Kang, Y.K.

Division of Agricultural Facilities and Resources Engineering, National Institute of Agricultural Engineering,
Suwon, 441-857

¹Division of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763

²Protected Horticultural Experiment Station, National Horticultural Research Institute, Busan, 618-800

서 론

습도에 대한 작물의 생체반응 실험에 의하면 상대습도 40% 이하의 조건에서 광합성의 억제 시작되고 20% 이하의 저습도가 되면 엽면 증산량이 지나치게 증가하여 심할 경우 고사하게 된다. 반면에 80% 이상의 고습도 환경에서는 광합성 작용의 장애가 발생하며, 병균의 번식이 쉬워지고, 식물체의 내병성도 저하하게 된다. 또한 이 같은 고습도 환경에 연속적으로 노출되면 식물체의 세포 및 형태의 개체변이를 가져오게 되며 작물의 품질저하를 초래할 수 있어 작물재배 관리에 있어 중요한 항목의 하나이다(이, 1991).

겨울철 온실내부의 온도는 주간에는 일사량의 유입으로 온실내 공기온도가 20℃ 이상으로 올라가고 야간에는 난방기의 가동으로 10~18℃로 유지되게 된다. 또한 시설원예는 작물재배 특성상 관수 및 방제작업이 빈번하고 온실 내 상대습도의 관리를 대부분 자연환기에 의존하고 있으나 난방기간 동안에는 온실내의 기온유지를 위한 열손실의 우려로 인하여 피복자재의 밀폐도가 높아 온실 내 야간의 상대습도가 90% 이상으로 높게 올라가는 경우가 많이 발생하고 있다.

이때 온실내의 온도가 노점 이하로 내려가게 되면 공기중의 수분이 작물 표면에 물방울 형태로 모아져 각종 병이 발생되기 쉬워지고, 과습에 의하여 온실내부에 발생하는 안개는 광 투과율을 낮춰 식물의 광합성 작용을 방해함으로써 재배 작물의 품질을 떨어뜨리는 원인이 된다.

따라서, 본 연구에서는 이 같은 문제를 해결하기 위하여 온실의 미기상 환경에 적합한 시설원예용 냉각식 제습기를 개발하였으며, 호접란과 장미재배 온실에서의 습도환경 제어 효과를 분석하였다.

재료 및 방법

겨울철에는 야간에 온실내 설정온도가 5~15℃이기 때문에 15~25℃의 범위에서 작동하도록 설계된 일반 냉각식 제습기를 사용하게 되면 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 각각 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 배수관을 통해 제습기 밖으로 배수된다.

개발된 제습기를 충남 당진 소재 비닐하우스(호접란 재배, 990 m²)를 대상으로 하여 제습 온실과 무제습온실의 실내 온도 및 상대습도 등을 비교 분석하였으며, 2005년에 제습기를 설치하여 사용한 호접란 재배농가를 대상으로 경제성 분석을 수행하였다.

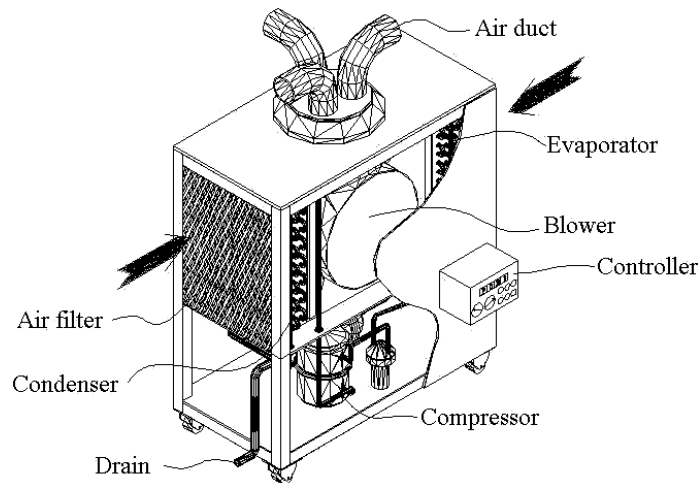


Fig. 1. Dehumidifier for protected horticulture.

결과 및 고찰

1. 시설원에 적용시험

온실 내 상대습도를 80%로 설정하고 제습기를 운전한 호접란 재배온실의 제습구와 관행 대조구에서의 온실 내 공기온도 및 상대습도의 경시변화를 그림 2에 나타내었다.

4월중 야간의 외기온이 8~10℃일 때 온실 내 공기온도는 온풍난방기의 사용으로 제습구와 대조구에서 약 18℃로 유지되었으며, 온풍기가 가동되어 온실 내 공기온도가 상승하면 노점온도가 올라가기 때문에 상대습도는 반대로 저하되고, 온풍기의 운전 중단으로 공기온도가 다시 내려가면 상대습도는 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

관행 대조구에서의 상대습도는 90~92%로 높게 유지되는 반면에 시설원예용 제습기를 이용하여 상대습도를 80%로 설정한 제습구에서는 82~86%로 약 6~8%가 낮게 유지되었다.

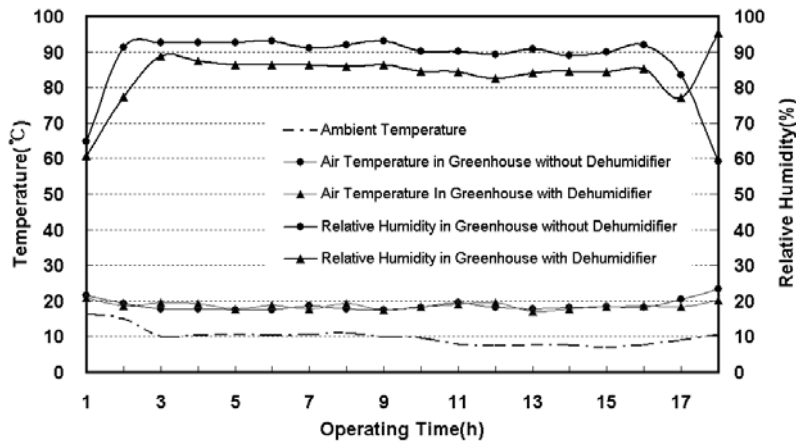


Fig. 2. Effects of Dehumidification on Air Temperature and Relative Humidity in the Phalaenopsis Greenhouse. (2003. 3. 26 - 2003. 3. 27)

4월 초순경 관행의 대조구에서 호접란 꽃잎에 잿빛곰팡이병이 3,000본 중 985본에서 관찰되었으며, 제습구에서는 관찰되지 않았다. 이 기간동안의 온실 내 온도 및 상대습도 변화를 분석한 결과 그림 3에서 보는 바와 같이 3월 30일과 3월 31일 야간에 외기온이 13~16℃까지 상승하여 온풍기의 작동 횟수가 현저히 줄어들면서 상대습도가 약 95% 이상으로 과습조건이 장시간 유지됨에 따라 병이 발생한 것으로 판단되었다.

병 발생 후에는 과습방지를 위하여 대조구의 난방 설정온도를 18℃에서 20℃로 상향 조정함으로써 온풍기의 작동 횟수를 강제적으로 늘려주는 관행의 방법을 적용하였다.

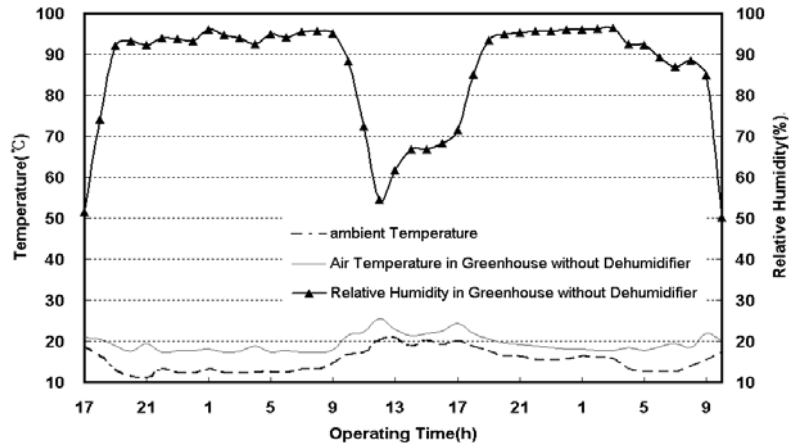


Fig. 3. Change in Air Temperature and Relative Humidity Occurring Due to *Botrytis Cinerea* Disease(2003. 3. 30 - 2003. 4. 1)

2. 경제성 분석

호접란 재배 온실의 경우 제습기 설치에 따라 연간 소요되는 고정비인 감가상각비는 400,000원, 수리비 240,000원, 이자 100,000원으로 나타나 총 740,000원이 소요되는 것으로 나타났다으며, 여기에 제습기를 운전하는데 소요되는 유동비용인 운전비용은 2005년 11월부터 2006년 4월까지 18시부터 09시까지 15시간 운전하는 것으로 하여 계산한 결과 연간 81,225원이 소요되어 기계의 구입 유지에 소비되는 손실적 요소는 총 821,225원으로 나타났다.

이익적 요소로는 제습기 사용으로 생산량이 11% 증가함에 따라 소득은 28,000,000원이 향상되었고 여기서 손실적 요소를 제하면 27,178,775원이 제습기 사용으로 인해 향상된 소득으로 소득향상 효과가 우수한 것으로 나타났다.

Table 1. Analysis of Economic Feasibility when Growing *Phalaenopsis* Green Pepper in the Greenhouse with the Dehumidifier.

(Unit : Won/10a)

Factor of Loss(A)	Factor of Profit(B)
- Depreciation : 400,000 - Repair cost : 240,000 - Interest : 100,000 - Operating Cost(Electricity) : 150day×15h×36.1Won=81,225 Total : 821,225	- Increase of Yield : 28,000,000 (11%) Total : 28,000,000
Profits(B-A) = 27,178,775	

1. Disposal Rate : 0 %
2. Annual Repair Rate : 6 %
3. Annual Interest : 5 %
4. Durable Year : 10
5. Farm Electricity Cost : 36.1 Won/kWh
6. Purchase Price of Dehumidifier : 4,000,000 Won
7. Operating Time : 150days × 15h

요약 및 결론

시설원에 습도환경 제어를 위한 냉각식 제습기를 개발하여 호접란 재배온실에서 적응시험을 수행 하였으며, 온실의 온습도 제어효과, 경제성을 분석하였다.

제습기를 운전한 호접란 재배온실의 상대습도는 82~86%로 대조구의 90~92%보다 약 8%가 낮게 제어되었으며, 4월 초순경 대조구에서 호접란의 꽃잎에 잿빛곰팡이병이 3,000본 중 985본에서 관찰되었으나 제습구에서는 관찰되지 않았다.

경제성 분석 결과, 호접란의 경우 생산량은 약 10%가 상승한 반면에 소득은 27,178,775원이 향상되어 제습기의 사용에 따른 효과가 우수한 것으로 나타났는데 이것은 과습으로 인하여 발생하는 병해가 억제되고 고품질의 호접란이 생산되어 고가로 판매되었기 때문으로 판단되었다.

인용문헌

1. 김광호·최광환·금중수·김보철·김종렬(1999), “태양열 이용 냉난방 공조시스템 중 전 열교환기 성능에 관한 연구,” 태양에너지, 19(4), 45-50.
2. 김형겸(1989), “제습기술 개론,” 냉동공조기술 6, 37-47.
3. 김효경(1969), 제습장치의 증발기와 응축기의 직렬배치 효과에 관한 실험적 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
4. 남상훈·김기성·Gene A. Giacomelli(2005), “제습기를 이용한 온실 포그냉방 시스템의 효율향상,” 생물환경조절학회지, 14(1), 29-37.
5. 문인호(1998), “제습의 기초 및 제습기의 국내 판매현황,” 공기조화냉동공학지, 27(6), 523-532.
6. 송영환(1998), “냉각식 제습,” 공기조화냉동공학지, 27(6), 548-552.
7. 송찬호·이대영·노승탁(2000), “증발식 열교환기에서 열과 물질전달과정의 해석,” 공기조화냉동공학회 2000 하계학술발표회 논문집, 257-261.