

증발냉각시스템 설치 온실의 냉방효과

The Cooling Effect of Evaporative Cooling Systems on Greenhouse

김기성* · 김문기 · 김현수

서울대학교

Kim, K.S.* · Kim, M.K. · Kim, H.S.

Seoul National University

서론

여름철 재배시설의 기본적인 온도상승 억제방법은 차광과 환기이지만 이 방법만으로는 작물의 적정 생육온도에 접근하기 어렵기 때문에 추가적인 냉방 장치가 도입되고 있다. 현재 온실의 냉방시스템은 물의 증발잠열을 이용한 Pad and Fan 방식과 Fog 방식의 냉방시스템이 보급되어 있으나, 국내의 지역기상조건을 감안한 연구가 충분히 이루어지지 못하여 냉방시스템의 설치와 운영에 대한 기준이 명확하지 못한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 현장 실험을 통하여 기초적인 자료를 수집하였다.

재료 및 방법

1. 실험온실 및 측정시스템

실험에 사용된 온실은 패드시스템이 설치된 봉계농산(경북 칠곡군 왜관읍 봉계리, 57.6m×172m)의 벤로온실과 포그시스템이 설치된 감다리 화훼영농법인(전북 부안군 상서면 감교리, 115m×175m)의 Wide-Span형 온실에서 수행하였고, 건설방위는 남북동이며 재배 작목은 장미였다. 패드시스템은 그림 1과 같고 패드의 규격은 1800×300×100mm로 온실바닥에서 140cm 높이에 설치되어 있으며, 반대편 측벽에 크기 138cm×138cm, 용량 541m³/min의 팬이 온실바닥에서 160cm 높이에 42개가 설치되어 있다. 시스템의 냉방효과를 분석하기 위하여 온·습도 겸용센서(HOBO)를 그림 1과 같이 설치하여 10분 간격으로 자동 측정하였다. 패드와 팬 사이의 풍속 측정은 열선풍속계(testo 490)를 사용하여 바닥

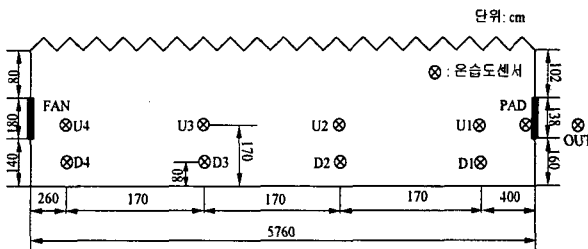


그림 1. 패드시스템 온실의 규격과 센서의 위치

으로부터 170cm 높이에 온·습도센서와 같은 위치에서 수동 측정하였다.

포그시스템은 그림 2와 같이 바닥으로부터 5.65m 높이에 길이 방향으로 2m 간격으로 170개의 포그 노즐이 설치되어 있다. 9 l/min 용량의 펌프 8대를 이용하여 분무하고 환기팬은 설치되어 있지 않은 자연환기

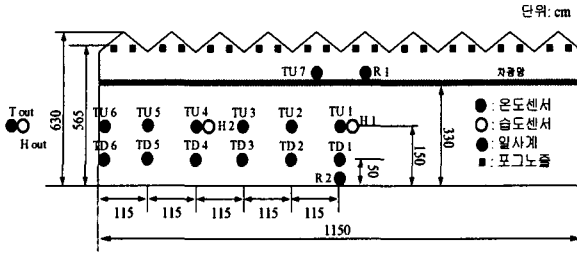


그림 2. 포그시스템 온실의 규격과 센서의 위치

격으로 자동 기록하였다. 온실내부의 풍속은 열선풍속계(testo 490)를 사용하여 바닥으로부터 150cm 높이에서 수동 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 온실내부의 기온 변화

그림 3은 높이 170cm의 내기온의 변화를 나타낸 것이고 그림 4는 내부의 상대습도 변화를 나타낸 것이다. 패드시스템을 가동하기 시작한 9시부터 18시까지의 기온 변화를 그림 4의 상대습도 변화와 비교하여 보면 외부의 상대습도가 60%이하로 떨어지기 시작한 11시

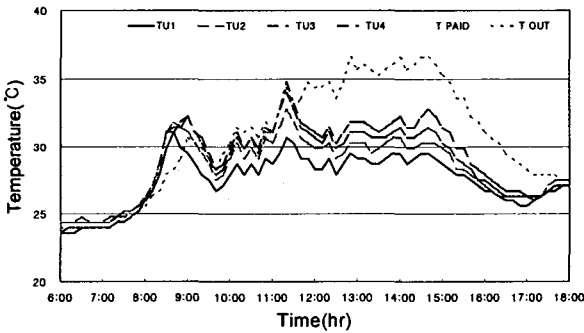


그림 3. 온실내부의 기온변화(높이:170cm)

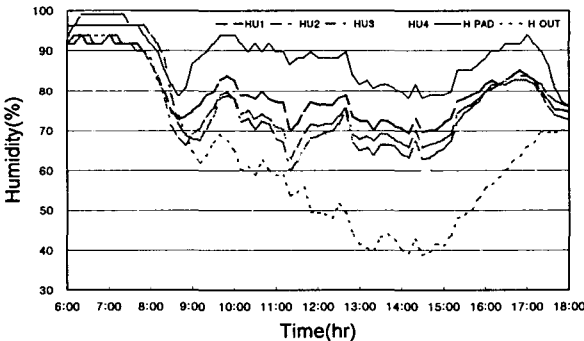


그림 4. 온실내부의 상대습도 변화(높이:170cm)

이후에 내기온이 외기온 보다 낮아지는 것을 볼 수 있다. 패드에서 팬으로 가까이 갈수록 기온이 상승하여 최고 4°C, 평균 2.5°C의 편차를 보였다. 표 1에서와 같이 최고 외기온이 36.6°C이었고 패드시스템 가동 중의 내기온은 평균 30°C 내외이었으며, 최저치는 27°C 내외였다. 높이에 따른 기온 변화는 없었다. 증발냉각 시스템은 외부 상대습도가 냉방효과를 좌우하며 65% 이상이 되면 냉방 효과가 크게 떨어진

다. 6월부터 8월까지 구미지역 기상 자료를 보면 12시부터 15시사이의 상대습도가 65% 이상인 날은 26일이었다. 이 패드시스템의 냉방효율을 보면 최고 89.6%, 최저 64.7% 평균 77.4%로 나타났다.

포그시스템의 기온 변화를 살펴보면 그림 5와 같다. 외기온이 최고 31.3°C일 때 TU 4 점에서 39.1°C가 측정되었다. 평균 적으로 외기온과 비교하여 내기온이 5°C정도 높게

표 1. 패드시스템의 기온 비교

시간 기온(°C) 측점	06:00~18:00		09:00~15:00	
	최 고	최 고	최 저	평 균
T OUT	36.6	36.6	28.3	33.5
T PAD	29.5	27.5	25.2	26.8
TU1	31.1	30.7	26.7	28.8
TU2	32.8	32.8	27.5	30.1
TU3	34.0	34.0	27.9	30.8
TU4	34.8	34.8	28.3	31.3

표 2. 포그시스템의 기온 비교

시간 기온(°C) 측점	06:00~18:00		12:00~16:00	
	최 고	최 고	최 저	평 균
T OUT	31.3	31.3	28.5	29.9
TU1	36.9	36.9	32.0	34.4
TU2	38.2	38.2	32.9	35.2
TU3	38.1	38.1	32.4	35.3
TU4	38.1	38.1	33.2	35.9
TU5	38.0	38.0	33.0	35.8
TU6	39.1	39.1	33.8	36.1

측정되었다. 오전 9시부터 오후 5시까지 차광을 실시하였고, 오전 12시부터 오후 4시까지 포그 시스템을 가동하였다. 포그시스템은 4분 간격으로 30초간 분무하였으며, 이 시간에는 1분 간격으로 연속 측정을 하였다. 포그 시스템이 가동중인 시간에도 기온은 꾸준히 상승하였고 상승비율도 감소하지 않는 것을 볼 수 있다. 그림 6의 상대습도 변화를 살펴보면 외부 평균 상대습도는 77.4%이었고, 포그 시스템이 가동중인 12시부터 16시까지의 외부 상대습도는 평균 65.6% 이었다. 표 2를 보면 포그시스템 가동 시간에도 각 측정점의 온도가 35°C내외로 나타났다. 이와 같이 냉방효과가 나타나지 않은 이유는 포그의 설치위치와 분무입자도 문제가 되었지만 상대습도가 높아 분무된 수분이 증발하지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

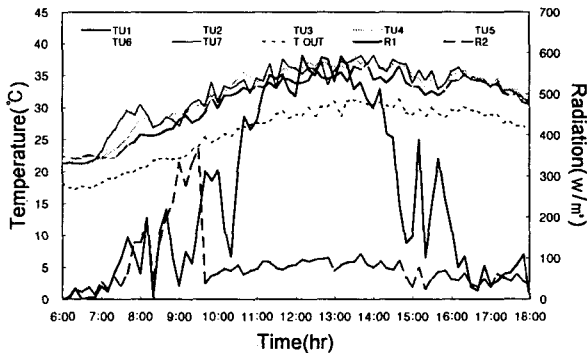


그림 5. 온실 내부의 기온 변화(높이:150cm)

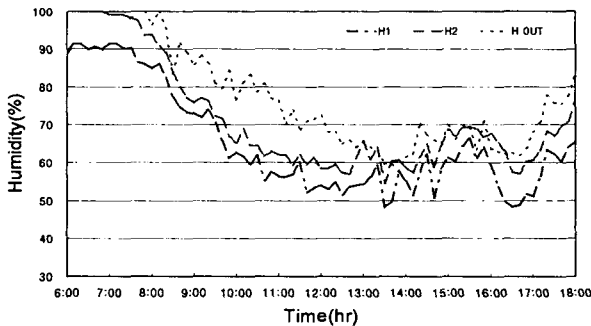


그림 8. 온실내부의 상대습도 변화(150cm)

로 판단된다. 부안 지역의 기상자료를 보면 6월부터 8월까지 상대습도가 65% 이상인 날이 44일로 나타났다. 우리나라의 경우 남부 서해와 남해안 제주도 지방은 증발냉각시스템으로 충분한 냉방효과를 기대할 수 없는 것으로 보고되었다.

2. 온실내부의 풍속변화

패드시스템 설치 온실은 분당 1/2회의 환기를 실시하였으며 내부 풍속은 패드를 통과 직후 1.17 m/s, 온실 중앙 부분은 0.5~0.7m/s 이었다. 펜 쪽으로 갈수록 풍속이 증가하여 1.5m/s의 풍속이 측정되었다. 패드에서 펜까지의 거리를 기준으로 실험온실(57.6m)의 적정 내부 풍속을 경험적으로 계산하면 0.78m/s로서 측정결과와 비교하여 불 때 적정 풍속을 유지하지 못하고 있으므로 펜의 용량이 부족한 것을 알

수 있다. 포그시스템 설치 온실의 내부의 풍속은 0.5m/s를 넘지 못하였고, 외부 풍속이 1.8m/s 이상일 때만 천창 바로 아래부분에서 0.5m/s~0.7m/s의 풍속이 측정되었다. 이 온실은 자연환기에만 의존하므로 충분한 환기량을 확보하지 못하고 있어 추가적인 환기 팬의 설치가 요구된다.

결론

1. 패드시스템 설치 온실의 평균 냉방효율은 77.4% 이었다.
2. 패드와 팬 사이의 온도 편차는 최고 4℃, 평균 2.5℃ 이었다.
3. 외부의 습도가 60%이하 일 경우 냉방 효율이 높았고, 구미의 1999년 6월부터 8월까지 오후 12시부터 오후 3시까지의 상대습도 평균값을 분석해 보면 65% 이상인 날이 26일 있었고 50% 이하인 날은 18일 있었다.
4. 포그시스템의 경우 분무되는 물 입자의 크기가 크고, 충분한 환기가 이루어지지 못하며 상대습도 높은 관계로 냉방효과가 낮게 나타났다.
5. 부안 지방의 6월부터 8월까지의 12시부터 3시까지의 상대습도의 평균값을 분석해 보면 65%이상인 날이 44일 이고 50%이하인 날은 4일 있었다.
6. 증발냉각시스템의 외부 상대습도에 따라 그 냉방효과에 큰 차이가 있다.

참고문헌

1. 남상운, 1996, 온실 냉방 기술의 현황 및 과제, 한국첨단농업시설협회의 연구발표자료집 : 57-88.
2. 이석건, 이현우, 김성식, 이종원, 1995, Fan and Pad Cooling System의 냉방효과, 생물 생산시설환경학회 학술논문발표 요지 4(2) : 78-81
3. 이양근, 김영복, 김성태, 나우정, 김창수. 1997. 농업시설 분무냉방을 위한 분사 노즐의 분무특성. 한국농업기계학회 1997년 하계 학술대회논문집 : 74-79
4. 윤남규, 김문기, 1997, 강제기류가 포그냉방온실의 열환경에 미치는 영향(I) - VETH 선도를 이용한 열환경예측 및 포그냉방설계, 한국농공학회10월호.
5. 최홍림, 1989, 농업시설물의 환기, 대광문화사
6. Carpenter, W. J. and W. W. Willis, 1959, Comparisons of Evaporative Fan and Pad and High Pressure Mist Systems for Greenhouse Cooling, Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 74 : 711-718
7. Walker, J. N. and D. J. Cotter. 1968. Cooling of greenhouses with various water evaporation systems, Transactions of the ASAE 11(1) : 116-119