

새로운 방식의 팬 앤 미스트 증발냉각시스템이 온실 냉방 및 오이 생육에 미치는 영향

Effect of Newly Developed Fan and Mist Evaporative Cooling System on Greenhouse Cooling and Growth of Cucumber

유인호* · 남윤일 · 김태영 · 노미영 · 조명환

원예연구소 시설원예시험장

In-Ho Yu* · Yoon-Il Nam · Tae-Young Kim · Mi-Young Roh · Myeong-Whan Cho
Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

서 론

시설재배는 일반적으로 노지에서 작물이 생육하기 어려운 동절기나 이른 봄에 재배시기를 앞당겨 농산물을 조기출하를 목적으로 하는 경우가 대부분이다. 따라서 고온기에도 시설 내에는 작물이 생육하게 되는데 우리나라의 5~8월 하절기에는 태양복사 에너지가 매우 높기 때문에 시설 내 기온은 외 기온보다 몇 ℃ 이상 높고 대부분 작물의 생육한계온도인 35℃를 넘는 경우가 흔히 발생하고 있다(김 등 2001; 남 등 2003; 우 등 2000). 이러한 고온현상으로 고품질 농산물 생산이 어렵고 또한 생산물량의 급격한 감소 등으로 많은 농가가 여름철에는 휴작을 하게 되어 시설의 주년 활용도가 떨어지고 있다. 현재 국내에서는 시설 내에 온도상승을 억제하는 수단으로서 자연 또는 강제 환기나 차광 같은 방법이 주로 활용되고 있는데 이러한 방법으로는 고온기에 온도를 하강시키는데 한계가 있다. 물론 경제성을 고려하지 않는다면 팬 앤 패드 시스템과 같은 증발냉각기술 등을 도입할 수는 있으나 재배작물이나 시설의 투자 수준과 기상특성 등을 고려할 때 현실적인 측면에서는 많은 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 설치비가 저렴하면서도 효율성이 높은 냉방시스템을 개발하기 위하여 시험이 수행되었다.

재료 및 방법

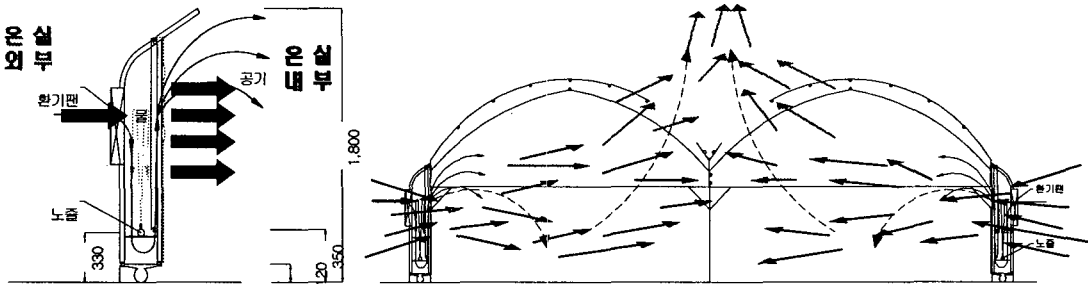
1. 개발 냉방시스템의 구조

본 연구에서 개발한 온실 냉방시스템은 그림 1, 2에서 보는 바와 같이 저렴하게 설치할 수 있는 미스트 노즐과 환기팬을 이용하여 증발 냉각된 공기를 온실 측창면 전길이에 걸쳐 균일

하게 공급할 수 있는 시스템이다. 환기팬에 의해 온실 측면으로부터 유입된 공기는 온실 꼭부 천창으로 자연환기 되도록 설계하였다.

가. 분무실 구조

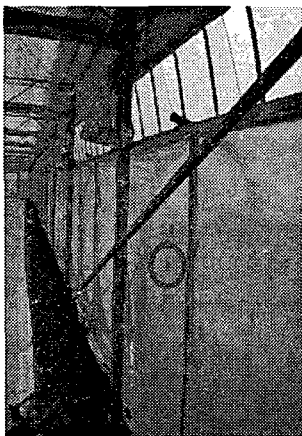
온실 측창면 전길이에 걸쳐 파이프를 이용하여 높이 180cm, 폭 30cm 크기의 분무실 프레임을 설치하고 플라스틱 필름으로 피복한다. 분무실 내부는 플라스틱 필름에 의해 폭이 25cm, 5cm인 두 개의 공간으로 분리되어 있고 하단부는 공기가 통과할 수 있도록 트여 있다.



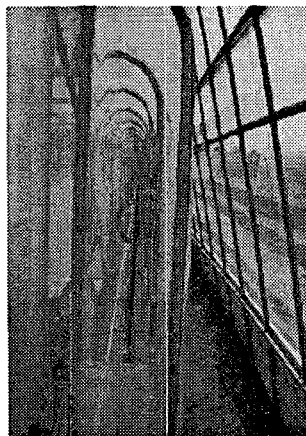
(a) 냉방시스템 모형도

(b) 공기흐름도

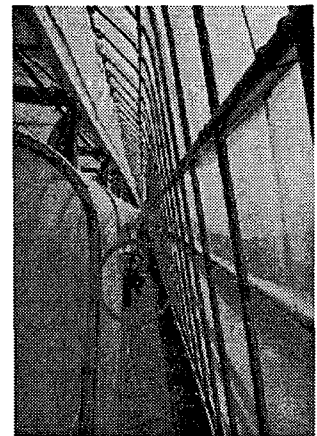
그림 1. 냉방시스템 모형도 및 공기흐름도



(a) 분무실 내벽



(b) 분무실 내부



(c) 분무실 외벽

그림 2. 냉방시스템 설치 전경

나. 분무노즐 설치

폭 25cm 공간의 하단부에 온실 길이방향으로 물을 공급하는 급수관을 설치하고, 급수관에는 60cm 간격으로 노즐을 부착하여 위쪽으로 미스트가 분무되도록 한다.

다. 순환팬 및 공기 유입구 설치

온실 외측 분무실벽에 480cm 간격으로 환기팬(풍량 75m³/min)을 설치하고 온실 내측 분무실벽 상단부에는 직경 5cm의 구멍을 뚫어 온실로 냉기가 유입되도록 한다. 환기팬에 의해 유입된 공기는 먼저 위쪽으로 분사되는 미스트의 방향과 반대방향으로 흐르다가 분무실 하단부에서 흐름이 바뀌어 위쪽으로 흘러 직경 5cm의 구멍을 통해 온실 내부로 유입된다.

라. 냉각수 순환 설비

분무실 하단부에는 노즐로부터 분사된 후 증발되지 않은 미스트를 회수하기 위해 직조 필름을 경사지게 설치하여 배수로를 만든다. 배수로를 통해 온실 밖에 매설된 탱크로 회수하여 펌프에 의해 다시 급수관으로 공급되도록 한다.

2. 시험온실 및 온실 환경 조사

냉방처리구, 대조구 2처리 모두 14m(폭)×48m(길이)×2.7m(축고) 아치형 2연동온실에서 실험을 수행하였다. 그림 3과 같이 지면으로부터 1.2m 높이에 K-type 열전대를 설치하여 30분 간격으로 온실 내기온을 측정하였으며, HOBO(Onset사)를 냉풍유입구로부터 온실 폭 방향으로 1m 간격으로 설치하여 30분 간격으로 온·습도를 측정하였다.

3. 재배 및 생육조사

시험에 사용된 오이 품종은 청화흑진주이며, 주간거리 40cm, 2열로 하여 '05년 6월 24일에 정식하였다. 생육조사는 냉방처리 및 무냉방처리에 대해 생산량, 고온피해정도를 조사하였다.

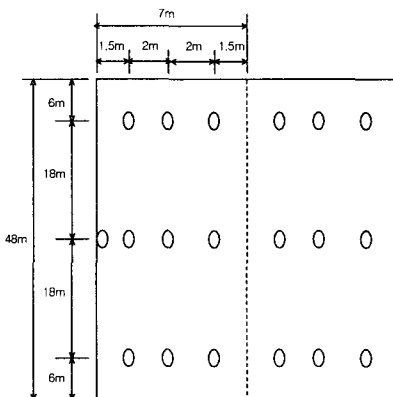


그림 3. 센서(열전대) 배치도

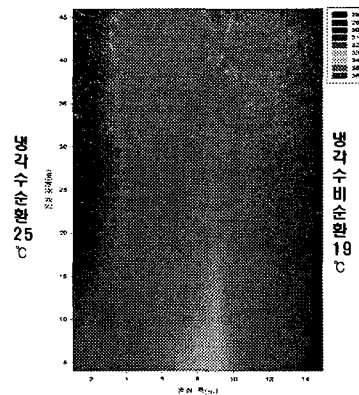


그림 4. 냉방처리구 온도분포

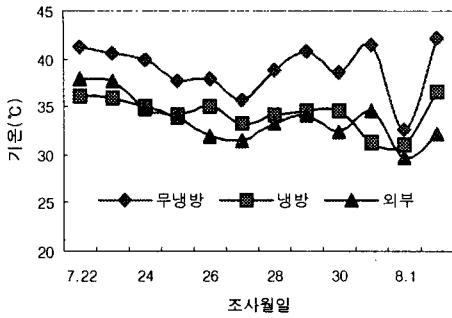
결과 및 고찰

냉각수 순환 여부에 따른 냉방효과 차이를 알아보기 위해 냉방시스템 한쪽은 냉각수를 순환 시키고, 다른 한쪽은 비순환으로 공급하였다. 냉각수(지하수)를 비순환하는 경우 소요되는 물량은 19.9 ton/hr으로 순환식에 비해 57배나 많은 물이 소요되었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 냉각수 순환 여부에 따라 냉방효과에는 차이가 없는 것으로 나타났다. 분무 수온이 포그 냉방시스템의 냉방효과에 미치는 영향은 거의 없다는 유 등(2002)의 연구에서와 같은 결과를 나타냈다. 냉각수를 순환하여 재사용할 경우 비순환식에 비해 냉각수 온도는 6℃ 정도 높지만 비순환식과 같은 냉방효과를 보이므로 개발 냉방시스템에서는 냉각수를 순환하는 방식을 채택하였다.

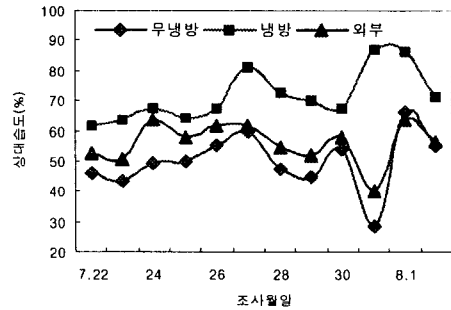
표 1. 냉각수 순환여부에 따른 냉풍온도 및 소요물량

처 리	냉각수 수온 (℃)	냉풍온도 (℃)	소요물량 (ton/hr)	비 고
순 환	25.1	28.2	0.35	외기온: 32℃
비순환	19.0	27.5	19.9	

개발 냉방시스템의 냉방효과를 구명하기 위해 온실 내기온 및 상대습도 변화를 측정하였다. 일반적으로 여름철 온실의 냉방 설정온도는 30~32℃를 넘지 않는 것으로 추천되고 있다 (Kittas et al., 2003). 본 실험에서는 냉방시스템 설정온도를 30℃로 설정하여 가동하였다. 무냉방구에서는 일최고기온이 40℃를 상회하는 날이 많은데 비해 냉방처리구에서는 온실 내 기온이 외기온과 비슷하게 유지되었다. 냉방처리구에서는 냉방시스템으로부터의 수증기 유입으로 인해 상대습도가 70% 수준으로 높아졌지만 작물 생육에 적절한 범위로 유지되었으며, 무냉방구에서는 상대습도가 45% 수준으로 외부보다 낮았다. 냉방가동기간중 일중 평균 온·습도 변화를 그림 6에 나타냈다. 20시부터 다음날 7시경까지는 냉방처리구와 무냉방처리구 모두 온실 외기온과 비슷하였지만 7시경부터는 온실내 기온이 급격히 상승하였다. 무냉방처리구에서는 주간 35℃를 넘어서지만 냉방처리구에서는 이보다 2~3℃ 낮은 경향을 나타냈다. 상대습도 변화를 살펴보면, 20시부터 다음날 7시경까지는 냉방처리구와 무냉방처리구에서 비슷하였지만 주간에는 냉방처리구에서는 냉방시스템이 가동으로 인해 상대습도가 70% 수준으로 증가하였다.

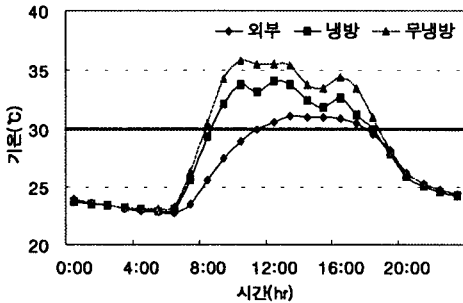


(a) 최고기온 일변화

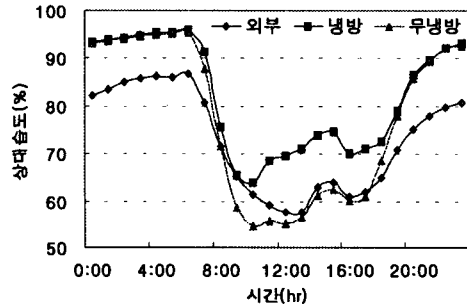


(b) 상대습도 일변화

그림 5. 처리별 온·습도 변화



(a) 기온 변화



(b) 상대습도 변화

그림 6. 일중 평균 온·습도 변화

그림 7에서도 알 수 있듯이 개발 냉방시스템은 팬 앤 패드시스템처럼 냉풍유입구로부터의 거리가 증가할수록 기온이 증가하는 온도경사 현상을 나타냈다. 외기온이 28.6°C일 때 냉풍 유입구에서는 27.5°C, 온실 중앙에서는 31.5°C로 4°C의 차이가 발생하였으며, 상대습도는 13%의 차이를 나타냈다.

증발냉각시스템의 냉방효율은 냉각된 공기의 건구온도와 외부공기의 건·습구온도로부터 구할 수 있는데 아래의 식으로 표현된다.

$$\eta = \frac{T_d - T}{T_d - T_w}$$

여기서, η : 냉방효율, T : 냉각된 공기의 건구온도, T_d , T_w : 외부공기의 건·습구온도

위 수식을 이용하여 개발된 냉방시스템의 평균 냉방효율을 계산한 결과, 평균 70%의 냉방 효율을 나타냈으며 대체로 58~80% 수준을 유지하였다.

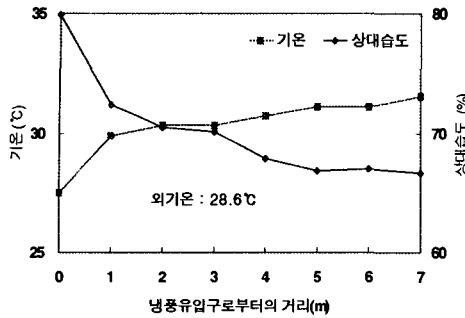


그림 7. 냉풍유입구로부터의 거리에 따른 온·습도 변화

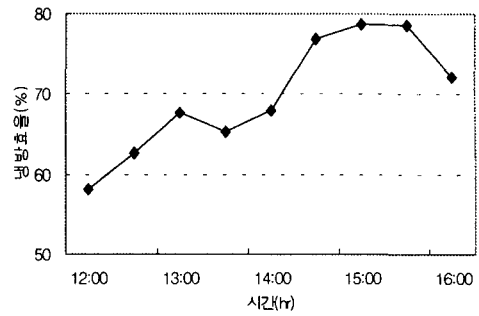


그림 8. 개발 냉방시스템의 냉방효율

표 2. 오이 수량 및 고온피해정도

처 리	총수량 (kg/10a)	상품수량 (kg/10a)	상품률 (%)	고온피해정도 ² (%)
냉 방	3,144	2,493	79.3	0.4
무냉방	2,950	1,976	67.0	14.2

²일소에 의한 순맛이 비율

요약 및 결론

본 연구에서는 저렴하게 설치할 수 있는 미스트 노즐과 환기팬을 이용하여 증발 냉각된 공기를 온실 측창면 전길이에 걸쳐 균일하게 공급할 수 있는 냉방시스템을 개발하였다. 온실 측창면 전길이에 걸쳐 파이프를 이용하여 높이 180cm, 폭 30cm 크기의 분무실 프레임을 설치하고 플라스틱 필름으로 피복한다. 분무실 내부는 플라스틱 필름에 의해 폭이 25cm, 5cm인 두 개의 공간으로 분리되어 있고 하단부는 공기가 통과할 수 있도록 트여 있다. 폭 25cm 공간의 하단부에 온실 길이방향으로 물을 공급하는 급수관을 설치하고, 급수관에는 60cm 간격으로 노즐을 부착하여 위쪽으로 미스트가 분무되도록 한다. 온실 외측 분무실벽에 480cm 간격으로 환기팬(풍량 75m³/min)을 설치하고 온실 내측 분무실벽 상단부에는 직경 5cm의 구멍을 뚫어 온실로 냉기가 유입되도록 한다. 분무실 하단부에는 노즐로부터 분사된 후 증발되지 않은 미스트를 회수하기 위해 직조 필름을 경사지게 설치하여 배수로를 만든다. 배수로를 통해 온실 밖에 매설된 탱크로 회수하여 펌프에 의해 다시 급수관으로 공급되도록 한다.

개발된 냉방시스템을 설치한 온실내 기온은 무냉방(관행) 온실에 비하여 평균 5~7°C 낮았다.

고온기에 냉방 처리함으로써 무냉방에 비해 오이의 상품수량 및 상품률이 각각 26%, 12.3% 향상되었다.

인 용 문 헌

1. Kittas, C., T. Bartzanas and A. Jaffrin. 2003. Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. *Biosystems Engineering* 85:87-94.
2. 김문기 외. 2001. 온실냉방시스템의 효율적 이용에 관한 연구. 농림부. p. 274.
3. 김문기 외. 2001. 자연환기 온실의 환기회수에 따른 포그냉방시스템의 냉방효과. *생물환경조절학회지* 10(1):10-14.
4. 남윤일 외. 2003. 시설원예 이렇게 하면 여름철 고온 극복할 수 있다. 원예연구소. p. 107.
5. 남상운 외. 2005. CFD 기법을 이용한 팬 앤 패드 냉방 온실의 온도경사 분석. *생물환경조절학회지* 14(2):76-82.
6. 우영희 외. 2000. 시설원예의 고온기 냉방관리 기계기술. 농업기계화연구소. p. 147.
7. 유인호 외. 2002. 온실 포그냉방시스템의 냉방효과 예측을 위한 CFD 모델의 개발. *생물환경조절학회지* 11(2):93-100.