

## 패드와 포그 방식 온실 증발냉각시스템의 효율비교 Comparative Analysis of Evaporative Cooling Pad and Fog Systems in Greenhouses

남 상 운

충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

Nam, Sang-Woon

Division of Bioresource Eng., Chungnam National Univ., Daejeon, 305-764

### 서 론

시설원예의 주년안정생산을 위해서는 겨울철의 난방뿐만 아니라 여름철의 냉방도 중요하다. 지금까지 개발된 온실의 냉방방법 중에는 증발냉각방식이 가장 경제적이며 효율적이라고 말할 수 있다. 증발냉각방식의 온실냉방방법 중에서도 가장 개선된 방법은 패드시스템(Fan and pad system)과 포그시스템(High pressure fog system)이다. 패드시스템은 젖은 패드를 통과하면서 가습 냉각된 공기가 반대편의 팬에 의해서 온실내부를 통과하여 배출되는 방식으로 온실에 집적되는 태양복사에너지를 직접 처리할 수 없기 때문에 패드에서 팬 사이의 길이방향으로 온도경사가 유발되는 단점이 있다. 포그시스템은 온실내부에 고르게 분포되도록 설치한 포그노즐에서 직접분사하므로 온도경사는 없으나 가습된 공기 때문에 증발율이 떨어지게 되므로 연속분사가 곤란하다. 또한 두 방식은 설치비도 큰 차이가 있고 물과 에너지 소비량에 있어서도 큰 차이를 보일 것으로 생각된다. 본 연구에서는 패드시스템과 포그시스템 설치온실의 실내온도분포, 설치비, 냉방성능, 물소비량, 에너지소비량 등을 비교분석 하였다.

### 재료 및 방법

패드시스템과 포그시스템 설치온실의 실내온도분포를 비교하기 위하여 University of Arizona의 CEAC(Controlled Environment Agriculture Center)에 위치한 PT(polytex)온실에서 2004년 7월부터 9월에 걸쳐 실험을 수행하였다. 실험 온실은 폭 9.8m, 길이 28m, 처마높이 4.0m, 지붕높이 6.3m의 아치형 플라스틱 경질판 온실로서(그림 1) 북측벽에 1.2m×8.5m, 두께 150 mm의 패드가, 남측벽에 유량 11.9 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>인 1.0 HP의 배기팬 2대가 설치되어 있다. 동일 온실의 중앙에서 좌우로 3.5 m 지점의 4.0 m



그림 1. 실험온실(PTGH)의 외관

높이에 길이방향 1.0 m 간격으로 총 50개의 포그 노즐 (분무입경 10  $\mu\text{m}$  이하)이 설치되어 있으며, 압력 10.3 MPa의 고압펌프로 분사하는 포그시스템이 설치되어 있다.

온실 중앙과 팬 중심선을 따라 길이방향 3단면의 높이 2.0 m에 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다. 3.3 HP의 고압펌프를 사용하는 포그시스템과 1.0 HP의 펌프를 사용하는 패드시스템의 물소비량은 유량계를 이용하여 측정하였다. 두 시스템의 에너지 소비량은 팬과 펌프의 소비전력과 기기 가동시간으로부터 추정하였다. 설치비는 길이 94 m, 폭 7.0 m, 5연동(약 1,000평) 플라스틱 온실에 설치할 경우의 시설비용을 관련업계의 견적에 의하여 구하고 단위면적당 단가로 환산하였다.

## 결과 및 고찰

표 1은 팬 앤 패드시스템 설치 온실과 포그시스템 설치 온실의 실내온도분포를 비교한 것이다. 각 시스템별로 6세트의 실내온도분포 데이터를 분석하였으며, 패드시스템의 경우 평균기온 36.9 $^{\circ}\text{C}$ , 습도 18.9%에 냉방온도가 28.8 $^{\circ}\text{C}$ 이었고, 포그시스템의 경우에는 평균기온 37.2 $^{\circ}\text{C}$ , 습도 16.6%에 냉방온도가 31.3 $^{\circ}\text{C}$ 이었다. 패드시스템 설치온실의 경우 실내온도의 표준편차가 2.4~3.9 $^{\circ}\text{C}$ (변동계수 8.5~12.3%)에 최대편차는 5.6~9.4 $^{\circ}\text{C}$ 로 나타난 반면 포그시스템의 경우에는 표준편차 1.3~2.3 $^{\circ}\text{C}$ (변동계수 4.3~7.3%)에 최대편차 2.8~5.2 $^{\circ}\text{C}$ 로 나타나 패드시스템의 온도분포가 더 불균일함을 확인할 수 있었다.

표 1. 팬 앤 패드시스템과 포그시스템 설치 온실의 실내온도분포 비교

	No.	외부기상		실내온도분포( $^{\circ}\text{C}$ )			
		온도( $^{\circ}\text{C}$ )	습도(%)	평균	표준편차	최대편차	변동계수(%)
Pad system	1	34.5	29.1	31.6	3.9	9.4	12.3
	2	35.5	20.1	27.1	2.8	6.4	10.3
	3	38.1	16.6	29.0	3.0	6.9	10.3
	4	36.5	18.5	28.4	2.6	5.9	9.2
	5	37.2	16.7	28.1	2.4	5.6	8.5
	6	39.5	12.3	28.6	2.6	5.9	9.1
Fog system	1	36.6	17.2	32.3	1.6	3.8	5.0
	2	37.1	16.6	31.6	2.3	5.2	7.3
	3	37.4	16.5	29.9	1.3	2.9	4.3
	4	37.3	16.3	32.0	1.9	4.4	5.9
	5	37.2	16.8	29.1	1.4	2.8	4.8
	6	37.5	16.2	32.6	1.6	3.5	4.9

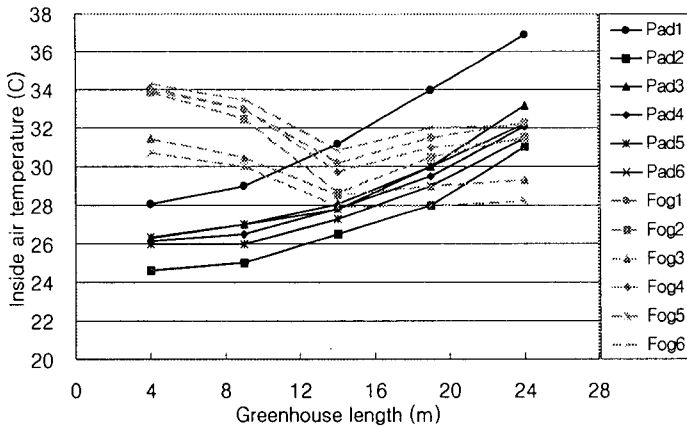


그림 2는 팬 앤 패드 및 포그 시스템 설치온실의 실내온도 경사를 온실중앙의 종단면을 따라 나타낸 것이다. 패드시스템의 경우 패드에서 팬까지 거리에 따라 직선적으로 온도가 증가하는 것을 볼 수 있다.

표 2는 팬 앤 패드시스템과 포그시스템 설치 온실의 설치비, 냉방성능, 물 및 에너지 소비량을 비교한 것이다. 냉방시설 설치비

그림 2. 패드와 포그시스템 설치온실의 실내온도경사 비교

는 팬 앤 패드시스템의 경우 평방미터당 10,970원, 포그시스템의 경우는 7,460원으로 패드시스템이 훨씬 비싼 것으로 나타났다.

패드시스템의 외부기상은 평균기온 36.9°C, 습도 18.9%에 평균 냉방온도가 28.8°C로 나타났고, 포그시스템의 경우는 외기온 평균 37.2°C, 습도 16.6%에 평균 냉방온도가 31.3°C로 나타났다. 외부기상이 비슷하지만 냉각온도는 각각 8.1°C, 5.9°C로 패드시스템의 경우가 더 좋게 나타났다. 시간당 물소비량은 패드시스템 380 kg, 포그시스템 228 kg으로 나타났고, 일일 에너지 소비량은 패드시스템 22.5 kWh, 포그시스템 12.4 kWh으로 나타났다. 냉방성능 대비 설치비는 7.3%, 물소비량은 21.9%, 에너지 소비량은 32.1% 패드시스템이 포그시스템에 비하여 높은 것으로 분석되었다. 이는 포그시스템의 경우는 자연환기로 패드시스템의 경우에는 강제환기로 구성되어 있기 때문이며, 포그시스템에도 강제환기를 도입할 경우에는 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.

표 2. 팬 앤 패드시스템과 포그시스템의 온실냉방 효율 비교

	Pad system (A)	Fog system (B)	A/B	비 고
설치비(원/m <sup>2</sup> )	10,970	7,460	1.47	강제 환기시설 포함 가격
냉방성능(°C)	8.1	5.9	1.37	외기온 대비 평균 냉방온도
물소비량(kg/hr)	380	228	1.67	유량계에 의한 측정값
에너지소비량(kWh/day)	22.5	12.4	1.81	펌프 및 팬의 전력소비량과 가동시간으로부터 추정된 값

비교적 경제적인 포그시스템의 경우가 우리나라의 실정에는 더 적합할 것으로 생각된다.

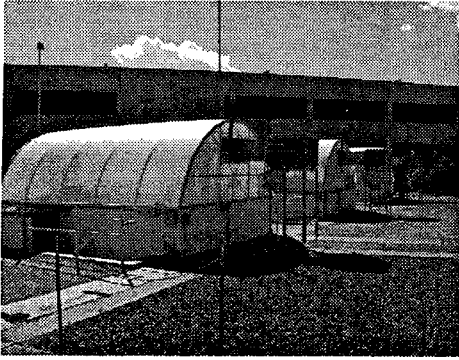


그림 3. 덕트방식 팬 앤 패드시스템

덕트를 통하여 냉각된 공기를 공급함으로써 온실 길이방향의 온도경사를 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

포그시스템의 효율을 향상시키기 위하여는 자연 환기를 극대화 시키고 온실내부에는 순환팬을 설치하여 제습 및 증발효율을 높여야 할 것이며, 관수, 농약살포 등 포그노즐을 다목적으로 이용할 수 있는 시스템으로 구성하는 것이 경제성을 높힐 수 있는 방안이 될 것으로 생각한다. 냉각효율 측면에서는 패드시스템이 더 안정적이지만 온도경사가 심한 단점이 있으므로 그림 3과 같이 온실의 외부에 팬 앤 패드시스템을 갖추고 온실의 상부에 설치한 유공

## 요약 및 결론

팬 앤 패드시스템과 포그시스템 설치온실의 효율을 비교분석한 결과, 패드시스템이 냉방성능은 더 높지만 온도경사가 심하고 설치비와 물 및 에너지소비량이 훨씬 큰 것으로 분석되었다. 우리나라의 실정으로는 포그시스템이 더 유리할 것으로 판단되지만, 강제환기를 추가하면 대체로 비슷할 것이므로 자연환기방식으로 하고 환기성능을 극대화할 수 있는 방안을 강구하며, 순환팬을 설치하여 제습 및 증발효율을 높이도록 하고 관수, 농약살포 등 포그노즐을 다목적으로 이용할 수 있는 시스템으로 구성하는 것이 경제성을 높힐 수 있는 방안이 될 것으로 생각한다.

## 인 용 문 헌

1. 김문기, 남상운, 김기성. 2001. 온실냉방시스템의 효율적 이용에 관한 연구. 농림부.
2. Al-Jamal, K. 1994. Greenhouse cooling in hot countries. Energy Vol. 19, No. 11, pp. 1187-1192.
3. Arbel, A., O. Yekutieli and M. Barak. 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouses. J. Agric. Engng Res. 72 : 129-136.
4. Jain, D. and G.N. Tiwari. 2002. Modeling and optimal design of evaporative cooling system in controlled environment greenhouse. Energy Conservation and Management 43 : 2235-2250.
5. 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.

6. Kittas, C., T. Bartzanas and A. Jaffrin. 2001. Greenhouse evaporative cooling : measurement and data analysis. Transactions of the ASAE 44 : 683-689.