

증발냉각시스템의 활용실태 및 냉방효과¹⁾

김기성* · 김문기 · 유인호
서울대학교 농공학과

Actual State of Practical Use and Cooling Effect of Evaporative Cooling Systems

Kim, Kee-Sung* · Kim, Moon-Ki · Yu, In-Ho
Department of Agricultural Engineering, Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744,
Korea

Abstract

In order to take a good look at effectiveness of cooling of Fog system and Pad-Fan system, we chose 49 farm households which were installed evaporative cooling system and 2 farm households which were installed Pad-Fan system and Fog system for a test. We execute the test on 29 households out of 49. 6 households, which were installed Pad-Fan system, were able to use; however, 6 household out of 9 which were installed Fog system couldn't use it. The main reason was the clogged on nozzle. The cooling efficiency on Pad-Fan system was 77.4%, but it was very poor on Fog system. Since there are many problems on Fog system, we need more research on size of fog, the location of nozzle, control of Fog systems.

주제어 : 증발냉각시스템, 패드-팬 시스템, 포그 시스템, 온실

Key words : evaporative cooling system, pad-fan system, fog system, greenhouse,

* Corresponding author

¹⁾ 본 연구는 1998년도 농림부 농림기술관리센터의 현장애로기술개발과제로 수행되었음.

서 론

우리 나라의 기상조건상 여름철에는 온실내 기온과 지온이 현저하게 높아져 대부분의 작물은 정상적인 생육이 불가능하므로 연간 이용률이 필연적으로 저하하게

된다. 더구나 막대한 비용이 투자되는 첨단온실에서조차 여름철 고온기에 휴경을 하는 곳이 많다. 여름철 온실내 환경의 적정화를 위하여 증발냉각시스템이 도입되었다.

대표적인 증발냉각시스템은 패드-팬 시

스템과 포그 시스템 등이 있으며 포그 시스템이 가장 효과적으로 온실내의 온도상승을 억제하였다고 보고하였다(Walker 등, 1968). 그러나, 증발냉각효과는 상대습도와 밀접한 관계가 있기 때문에 증발냉각시스템을 설치하기 위해서는 지역적 기상조건을 고려하여야 한다(Carpenter, 1959). 우리 나라의 경우 충분한 환기시스템을 설치한 경우 남부서해안과 남해안, 제주도 등 일부지역을 제외한 대부분의 지역에서 증발냉각시스템을 이용하여 온실의 실내온도를 32.5℃ 이내로 제어하는 것이 가능하며, 증발냉각시스템에서의 냉각범위가 5℃ 이상인 것으로 나타났지만(남, 1998), 실제 지역적 특성을 고려하지 못하는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내에 보급되어 있는 증발냉각시스템 중 패드-팬 시스템과 포그 시스템 활용실태를 파악하고 현장 실험을 통하여 냉방방법별 운영상 문제점을 파악하여 효율적인 냉방을 위한 설계 및 운전방법을 위한 기초자료를 얻고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사대상, 방법 및 내용

각 시군 농업기술센터의 증발냉각시스템 설치 농가 자료를 근거로 하여 48개 농가를 방문하여 설문조사를 수행하였고 조사를 할 수 없었던 19개 농가를 제외한 29개 농가를 대상으로 하였으며 지역별 증발

냉각시스템 설치 현황은 Table 1과 같다.

조사내용은 시설의 종류, 면적, 연동 수와 재배 작물 및 방식 등의 일반현황과 환기창의 위치, 면적, 환기팬의 용량과 설치 위치 등의 환기에 관한 내용을 조사하였다. 조사대상 온실의 형태와 피복재, 차광망의 종류는 Table 2와 같다.

2. 증발냉각시스템 이용 현황

1) 포그 시스템의 제원

포그입경이 30 μ m인 노즐을 사용하고 있었으나 분무된 대부분의 포그는 증발하지 못하고 낙하하는 것으로 관찰되었다. 노즐은 온실 길이방향으로 1동당 2줄씩 수평방향으로 배치되어 있었고, 1.5~2m간격으로 설치한 농가는 8곳, 2.25m간격으로 설치한 농가도 1곳 있었다. 분무펌프의 압력은 30~40kgf/cm² 인 것을 사용하였으나 35kgf/cm² 이상으로는 사용하지 않았다. 분무 간격은 3분 간격으로 1분씩 자동 분무하였으나 재배자가 수동으로 작동하는 곳도 있었다. 주로 과채류와 화훼류를 양액 재배 하고 있었다.

2) 패드-팬 시스템의 제원

패드재료는 모든 온실에서 외형이 골판지와 흡사한 셀룰로오즈를 사용하였다. 두께 10cm 패드를 사용한 농가는 4곳, 15cm 패드를 사용한 농가는 2곳이었다.

환기팬 용량은 500~600 m³/min이었으며, 패드에서 팬까지의 거리는 30~50m인 농가가 3곳, 51m 이상인 농가도 3곳이 있

Table 1. Setup status on regional evaporative cooling systems.

(Unit : Number of farmhouse)

Region Type	Kang Won	Kyung Ki	Kyung Nam	Gyung Pook	Chun Nan	Chun Pook	Chung Nam	Chung Pook	SUM
Fog system	2	1	3	0	0	3	0	0	9
Pad-Fan system	1	1	1	2	1	0	0	0	6
etc	2	3	2	1	5	0	1	0	14
SUM	5	5	6	3	6	3	1	0	29

Table 2. Type of greenhouse, cover and shading. (Unit : Number of farmhouse)

Item		Type of Greenhouse				SUM
		Wide-Span	Venlo	1-2W	etc.	
Type of shading	Aluminum Foil-backed film	8	8	0	1	17
	Black polyethylene film	2	0	1	1	4
	Thermal Blanket	2	0	3	0	5
Type of cover	Glass	11	8	0	0	19
	PC	1	0	0	0	1
	PE	0	0	7	1	8
	etc.	0	0	0	1	1

었다. 주로 장미를 양액재배 하였으며 패드 면적은 한쪽 벽면의 대부분 차지하였고 팬 설치간격은 1~1.5m 간격이었다.

3) 냉방시스템에 이용되는 물은 모든 농가에서 지하수를 사용하고 있었고, 노즐의 막힘을 방지하기 위해 필터를 설치한 농가는 2곳이었으며, 물방울 드롭방지 장치가 있는 곳은 없었다.

4) 패드-팬 시스템의 경우는 6개 농가 전부 활용을 하고 있었으나, 포그 시스템의 경우는 9개 농가 중 6개 농가가 사용을 하지 못하고 있었다. 사용하지 못하는 이유는 노즐의 막힘과 노즐의 분무입경이 확대되어 물방울이 직접 작물에 떨어지기 때문이었다.

5) 각 시스템별 재배자가 느낀 냉방효과를 살펴보면 포그 시스템을 가동하였을 때 온실내 온도가 가동하지 않았을 때 보다 3~5℃ 낮고, 패드-팬 시스템의 경우 온실내 기온이 외기온 보다 3~5℃ 낮은 것으로 조사되었다. 포그 시스템의 냉방효과가 매우 낮은 것으로 조사되었다.

6) 증발냉각시스템의 설치비용은 포그 시스템이 평당 1만원 정도이었고, 패드-팬 시스템은 평당 3~5만원으로 조사되었다.

7) 그 밖의 증발냉각 시스템으로 디스크 분사식(에어쿨)을 사용하는 농가가 14곳 조사되었다. 디스크분사식은 냉방효과는 포그 시스템과 비슷하였으나 설치비용은 평당 1만5천원 정도로 포그 시스템 보다 다소 높았다.

3. 실험온실 및 측정시스템

실험에 사용된 온실은 패드-팬 시스템이 설치된 봉계농산(경북 칠곡군 왜관읍 봉계리, 57.6m×172m, 9연동, 실험일 1999년 8월 20일)의 Venlo형과 포그 시스템이 설치된 감다리 화훼영농법인(전북 부안군 상서면 감교리, 115m×175m, 10연동, 실험일 1999년 9월 2일)의 Wide-Span형이다. 건설방위는 남북동이며 재배 작물은 장미였다. 패드시스템은 Fig. 1과 같고, 패드의 규격은 1800×300×100mm로 온실바닥에서 140cm 높이에 설치되어 있으며, 반대편 측벽에 크기 138×138cm, 용량 541m³/min의 팬이 온실바닥에서 160cm 높이에 42개가 설치되어 있다. 용량이 7마력인 펌프 2대를 이용하여 패드에 물을 공급하였다. 시스템의 냉방효과를 분석하기 위하여 온·습도 겸용센서(HOBO)를

Fig 1과 같이 10개를 설치하여 10분 간격으로 자동 측정하였다. 패드와 팬 사이의 풍속 측정은 열선풍속계(testo490)를 사용하여 바닥으로부터 170cm 높이에서 온·습도센서와 같은 위치에서 수동 측정하였다.

포그 시스템은 Fig. 2와 같이 바닥으로부터 5.65m 높이에 길이 방향으로 1동당 2줄씩 설치되어 있고, 포그 입경이 30 μ m인 노즐을 2m 간격으로 170개가 설치되어 있다. 9 l/min 용량의 펌프 8대를 이용하여 4분 간격으로 30초씩 분무하고 환기팬은 설치되어 있지 않았다. 측장은 설치되어 있지 않았으며 천장의 면적은 2940m²으로 바닥면적(20125m²)의 14.6%이다. 시스템의 냉방효과를 분석하기 위하여 열전

대(T형, 14개)와 건습구 온도계(3개)를 이용하여 측정하였고 차광망 위쪽과 아래에 각각 일사계(PCM-01)를 설치하여 일사량을 측정하였다. 모든 센서는 다점기록계(HR2300)에 연결하여 10분 간격으로 자동 기록하였으며 포그 시스템 가동시간 중에는 1분 간격으로 자동 기록하였다. 온실내부의 풍속은 열선풍속계(testo 490)를 사용하여 바닥으로부터 150cm 높이에서 수동 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 온실내부의 기온 변화

Fig. 3은 패드-팬 시스템온실의 경우, 높이 170cm에서 내기온 변화를 나타낸 것이고, Fig. 4는 내부의 상대습도 변화를 나타낸 것이다. 패드-팬 시스템을 가동하기 시작한 9시부터 18시까지의 기온 변화를 Fig. 4의 상대습도 변화와 비교하여 보면 외부의 상대습도가 60%이하로 떨어지기 시작한 11시 이후에 내기온이 외기온보다 낮아지는 것을 볼 수 있다. 패드에서 팬으로 가까이 갈수록 기온이 상승하여 최고 4 $^{\circ}$ C, 평균 2.5 $^{\circ}$ C의 편차를 보였다. Table 1은 패드-팬 시스템 가동 시간중각 측정점의 최고, 최저, 평균 기온을 나타낸 것이다. 이 패드-팬 시스템의 냉방효율을 식(1)을 사용해서 구해 보면 최고 89.6%, 최저 64.7%, 평균 77.4%로 나타났다(김 등, 1997).

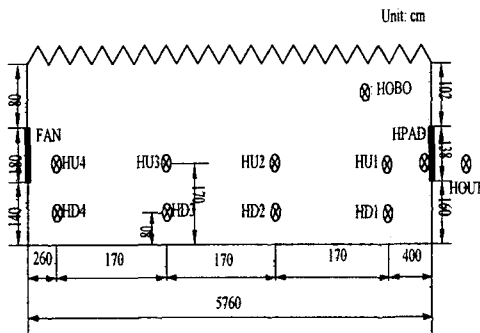


Fig. 1. Layout of Pad-Fan system and sensors for experiment.

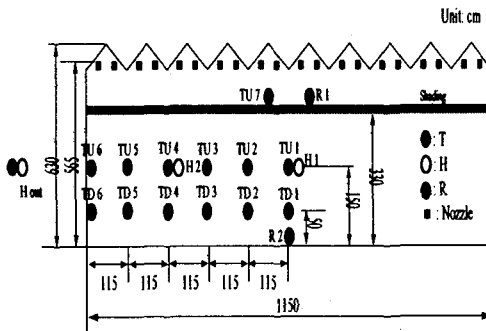


Fig. 2. Layout of Fog system and sensors for the experiment.

$$T_o' = T_o - \epsilon(T_o - T_w) \quad (1)$$

T_o' : 증발냉각기의 출구온도($^{\circ}$ C)

T_o : 설계외기온($^{\circ}$ C)

T_w : 외기의 습구온도 (설계외기온, 상대습도로부터 구함)

ϵ : 증발냉각기의 효율(%)

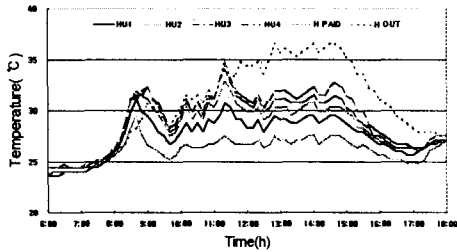


Fig. 3. Change of temperature on the Pad-Fan system (h:170cm)

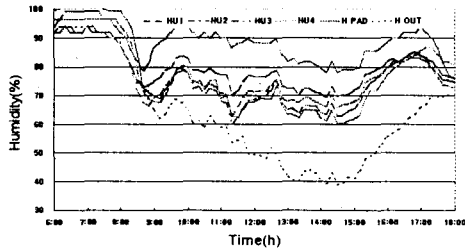


Fig. 4. Change of relative humidity on the Pad-Fan system (h:170cm)

오전 9시부터 오후 5시까지 차광을 실시하였고, 오전 12시부터 오후 4시까지 포그 시스템을 가동하였다. 이 시간의 기온 변화를 살펴보면 Fig. 5와 같다. 외기온이 최고 31.3°C일 때, TU4 점에서 39.1°C이었다. 평균적으로 외기온에 비교해 내기온이 5°C정도 높게 측정되었다. 포그 시스템은

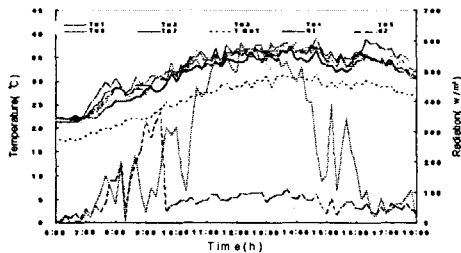


Fig. 5. Change of temperature on the Fog system (h:150cm)

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.

Fig. 6의 상대습도 변화를 살펴보면, 외부의 일중 평균 상대습도는 77.4%이었고, 포그 시스템이 가동중인 12시부터 16시까지의 외부 상대습도는 평균 65.6% 이었다.

Table 2는 포그 시스템 가동 시간 중 각 측정점의 최고, 최저, 평균 기온을 나타낸 것이다. 포그 시스템 가동 시간에도 각 측정점의 온도가 35°C내외로 나타났다.

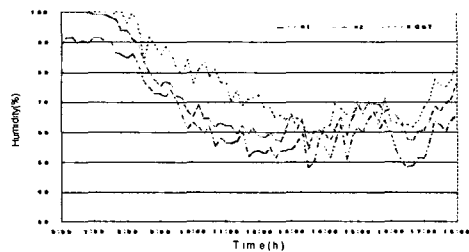


Fig. 6. Change of relative humidity on the Fog system (h:150cm)

이와 같이 냉방효과가 나타나지 않은 이유는 노즐의 설치위치가 차광망 위에 설치되어 포그 입자가 증발할 수 있는 공간을 충분히 확보하지 못하였고, 포그입자의 크기도 노즐의 마모로 인하여 30 μ m 보다 크게 관찰되었다. 또한, 상대습도가 높아 분무된 수분이 증발하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 부안 지역의 기상자료를 보면 6월부터 8월까지 상대습도가 65% 이상인 날이 44일로 나타났다. 우리나라의 경우, 남부서해와 남해안 제주도 지방은 증발냉각시스템으로 충분한 냉방효과를 기대할 수 없는 것으로 보고되었다(남, 1998).

2. 온실내부의 풍속변화

패드-팬 시스템 설치 온실은 분당 1/2회의 환기를 실시하였으며 내부 풍속은 패드를 통과한 직후 1.17 m/s, 온실 중앙 부분은 0.5~0.7m/s 이었다. 팬 쪽으로 갈수록 풍속이 증가하여 1.5m/s의 풍속이 측정되었다. 흔히 쓰는 패드-팬 거리는 30~50m 이다.

포그 시스템 설치 온실의 내부의 풍속은 0.5m/s를 넘지 못하였고, 외부 풍속이 1.8m/s 이상일 때만 천창 바로 아래 부분에서 0.5~0.7m/s의 풍속이 측정되었다. 이 온실은 자연환기에만 의존하므로 충분한 환기량을 확보하지 못하고 있어 추가적인 환기팬의 설치가 요구된다.

3. 현장조사에 의한 각 시스템별 문제점

패드-팬 시스템은 이끼, 패드의 건조등 패드관리의 어려움과 높은 전기료에 의한 운영비 문제, 설치비의 고가, 온도 불균일과 공간 활용률 저하 등이 문제점으로 조사되었고, 포그 시스템의 경우 분무된 물방울에 의한 작물스트레스, 노즐의 내구성과 막힘 문제가 가장 큰 개선 사항으로 조사되었다. 거의 대부분의 온실에서 노즐의 막힘을 방지하기 위한 필터링 시스템을 갖추지 못하고 있었다. 또한, 온실 크기와 기상 조건을 고려한 분무량의 기준

이 없어 재배자의 경험에 의존하고 있었다. 배관연결부의 파손 등도 문제점으로 지적되었다. 마지막으로 디스크 분사식은 소음, 운영비, 회전판의 고장 등이 개선되어야 할 것으로 조사되었다.

적 요

현장조사 결과 패드-팬 시스템의 경우 6개 농가 모두 사용하고 있었으며, 온실 내기온은 외부기온보다 2~5℃ 낮았다. 이 시스템의 냉방효율은 평균 77.4% 이었으며, 외부의 상대습도가 60%이하 일 경우 냉방 효율이 높았다. 포그 시스템의 경우 현장조사에서 9농가 중 6농가가 사용을 못할 정도로 많은 문제점이 발견되었다.

포그입경, 분무수량, 운영 방법등 개선해야 할 사항이 많았다. 실험온실의 경우도 노즐의 설치 위치와 제어방법에서 문제점이 발견되었다. 포그입자가 커 증발하지 못하고 대부분이 바닥과 차광망으로 낙하하였고, 지역 기상조건을 고려하지 못한 제어방법으로 냉방효과를 떨어뜨리고 있었다. 냉방효과를 높이기 위하여 노즐의 위치 선정, 제어방법에 대한 연구가 수행되어야 하며, 지역적 기상특성을 고려한 연구와 내부 습도를 낮게 유지하는 연구도 수행되어야 할 것이다.

Table 1. Comparison of temperature on Pad-Fan system.

Time T(°C) Point	06:00~18:00	09:00~15:00		
	Max	Max	Min	Avg
H OUT	36.6	36.6	28.3	33.5
H PAD	29.5	27.5	25.2	26.8
HU1	31.1	30.7	26.7	28.8
HU2	32.8	32.8	27.5	30.1
HU3	34.0	34.0	27.9	30.8
HU4	34.8	34.8	28.3	31.3

Table 2. Comparison of temperature on Fog system.

Time T(°C) Point	06:00~18:00	12:00~16:00		
	Max	Max	Min	Avg
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

인용문헌

1. 김문기 외. 1997, 원예시설의 환경설계 기준 작성연구, 농어촌진흥공사. P. 221-250.
2. 남상운. 1998, 증발냉각시스템의 온실냉방 적용성 평가, 생물생산시설환경 7(4) : 283-289.
3. 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
4. Walker, J. N. and D. J. Cotter. 1968. Cooling of greenhouses with various water evaporation systems. Transactions of the ASAE 11(1) : 116-119.