

The Cooling Effect of Fog Cooling System as Affected by Air Exchange Rate in Natural Ventilation Greenhouse¹⁾

Kim, Moon-Ki* · Kim, Kee-Sung · Kwon, Hyuck-Jin

Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

Abstract

The cooling effect of a fog cooling system has a close relationship to air flow and relative humidity in the greenhouse. From the VETH chart for cooling design, a cooling efficiency can be improved by means of increasing the air exchange rate and the amount of sprayed water. In the no shading experimental greenhouse by time control, when average air exchange rate was $0.77 \text{ times} \cdot \text{min}^{-1}$ and spray water amount was 2,009 g, inside temperature of the greenhouse was 31°C that was almost close to outside temperature and cooling efficiency was 82%. When average air exchange rate was $0.26 \text{ times} \cdot \text{min}^{-1}$ and spray water amount was 1,256 g, inside air temperature was 37.1°C that was close to temperature of the greenhouse that was no cooling and 70% shading greenhouse environment. When average air exchange rate was $2.59 \text{ times} \cdot \text{min}^{-1}$, spray water amount was 2,009 g and shading rate was 70%, inside relative humidity of the greenhouse was increased, but temperature was not decreased. When average air exchange rate was $2.33 \text{ times} \cdot \text{min}^{-1}$ and spray water amount was 2,009 g, inside temperature was 31.4 and at that time maximum wind speed at the air inlet of greenhouse was $1.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Since time controller sprayed amount of constant water at a given interval, some of sprayed water remained not to be evaporated, which increased relative humidity and decreased cooling efficiency. Because the shading screen prevented air flow in the greenhouse, it also caused the evaporation efficiency to be decreased. In order to increase cooling efficiency, it was necessary to study on controlling by relative humidity and air circulation in the greenhouse.

Key words: fog cooling system, air exchange rate, natural ventilation greenhouse, thermal environment

* Corresponding author

¹⁾ 이 논문은 1999년도 농림부에서 시행한 농림기술과제의 일부로 수행되었음

서 론

여름철 온실내 환경을 작물생육에 적합한 환경으로 유지하기 위하여 증발냉각시스템의 도입이 증가하고 있다. 대표적인 증발냉각시스템은 패드-팬 시스템과 포그 시스템 등이 있으며, 포그시스템은 가장 효과적으로 온실 내의 온도상승을 억제하고(Walker and Cotter, 1968), 다른 시스템과 비교하여 저비용이며 온실 내부 공간의 활용면에서 우수한 장점이 있어 그 보급이 증가하고 있으나, 설계방법과 운영방법이 정립되어 있지 못하여 그 활용도가 떨어지고 있다. 특히 제어방법에 있어서 환기회수의 변화를 무시한 제어방법을 사용하여 냉방효율이 떨어지고 있다(Kim 등, 1999a, 1999b). 포그냉방시스템의 냉방효과는 상대습도와 밀접한 관계가 있기 때문에 온실의 환기특성과도 밀접한 관계가 있다

(Carpenter and Willis, 1959).

따라서, 본 연구에서는 포그냉방시스템 설치 온실의 환기형태 및 환기회수의 변화에 따른 포그냉방시스템의 냉방효과를 분석하여, 냉방효율을 높이고 내부환경 변화를 고려한 포그냉방시스템의 설계와 효율적 운영에 필요한 기초 자료를 얻기 위하여 환기회수의 변화에 따른 온실내 기온과 상대습도의 변화를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험온실의 제원 및 측정방법

포그냉방시스템 설치 온실의 제원은 Fig. 1과 같은 동서동 철골유리온실이다. 피복재의 광투과율은 62%, 차광재(알루미늄 흡착필름)의 차광율은 70%였다.

자연환기 온실의 환기회수에 따른 포그냉방시스템의 냉방효과

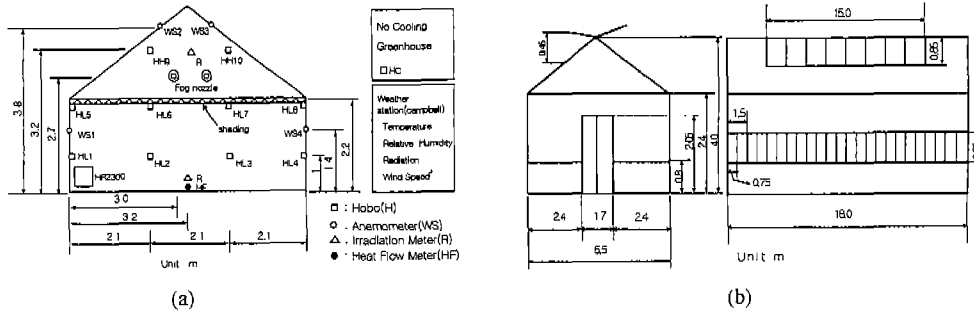


Fig. 1. Lay out of distributed sensors and of experimental greenhouse.

외부 기상자료는 온실로부터 500 m 떨어진 지점에 기상관측시스템(campbell)을 설치하여 기온, 습도, 풍속, 풍향, 일사량을 10분 간격으로 자동 기록하였다. 온실 내부의 환경을 측정하기 위하여 온습도표기(HOBO, Onset computer Corp.)를 Fig. 1의 (A)와 같이 높이 1 m, 2.2 m, 3.2 m에 각각 4개, 4개, 2개를 설치하여 기온과 습도를 동시에 측정하였다. 일사계(PCM-01, Prede)는 온실바닥과 차광막 위쪽에 각각 1개씩 수평으로 설치하여 피복재의 광투과율과 차광막의 차광율을 측정하였다. 환기량을 측정하기 위하여 천창과 측창의 중앙에 풍속계(Series640, Dwyer Instrument, Inc.)를 각각 설치하여 10분 간격으로 자동 기록하였다. 실험은 2000년 7월 1일부터 2000년 9월 5일까지 자연환기 상태에서 진행하였다. 냉방효과를 분석하기 위해서는 같은 조건의 무냉방 온실과 비교하는 것이 원칙이나 실험의 여건상 외기온과 실험온실로부터 4 m 떨어져 있고 크기가 같으며, 차광율이 70%인 무냉방 온실의 내부환경을 간접비교 하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 포그노즐(Impaction pin IP-16, Mee Industries Inc)은 분사압력이 $70 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 일 때 분사거리 0.9 m, 분사폭 최대 0.75 m이고, 노즐의 개당 분무수량은 $0.094 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$ 이다. 포그노즐의 개수를 결정하기 위해서 ASHRAE(미국공조학회)방식의 냉방설계용 기상자료로부터 TAC 1%(건구온도: 32.6°C , 습구온도: 26.1°C , 일사량: $881 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)인 수원지역의 자료를 이용하여 환기회수(E)의 변화에 따른 분무수량(Q)을 나타낸 VETH선도를 작성하면 Fig. 2와 같다(三原義秋, 1980). 분무수량과 노즐의 분사거리, 분사폭을 고려하여 1 m 간격으로 바닥으로부터 2.7 m 높이에

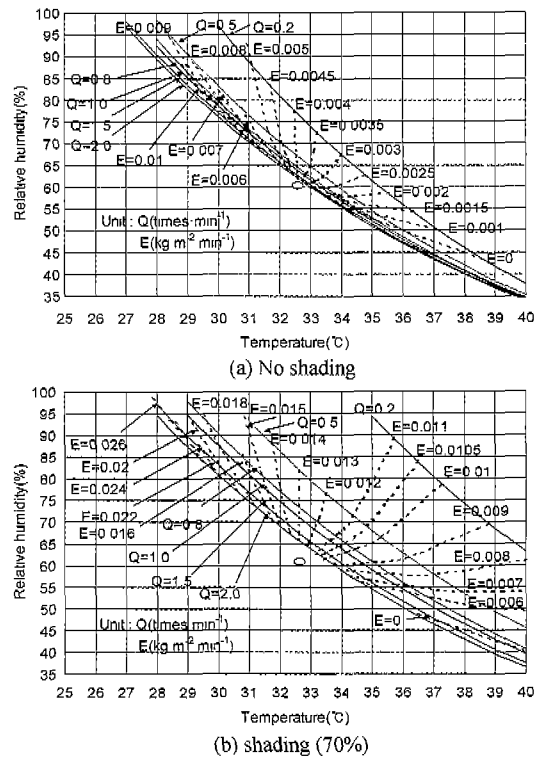


Fig. 2. VETH chart of Suwon area for fog cooling design.

32개의 노즐을 온실 중앙에 설치하여 온실내부에 직접 분사하였다. 분사각은 수평으로부터 30° 위로 향하게 하였다.

포그냉방시스템의 제어 방식은 일반적으로 농가에서 주로 사용하고 있는 시간제어 방식을 선택하였다. Fig. 2의 VETH 선도로부터 환기회수와 온실내부의 설정온도에 따른 분무수량은 Table 1과 같다. 실험온실의 환기특성은 외부의 풍속에 따라 많은 차이가 있으나, 천창과 측창을 모두 개방한 경우 평균 환기회수가 분당

Table 1. Spray water amount by VETH chart for fog cooling design at each controlled temperature.

Temperature (°C)	Air exchange rate (times · min ⁻¹)	No shading		Shading (70%)	
		Sprayed water (g · min ⁻¹)	RH(%)	Sprayed water (g · min ⁻¹)	RH(%)
30	0.2	###	##	655	97
	0.5	###	##	819	83
	0.8	2012	90	936	80
	1.0	2106	88	1053	79
	1.5	2340	83	1170	77
32	0.2	###	##	503	81
	0.5	1603	86	527	70
	0.8	1638	77	585	68
	1.0	1661	75	597	67
	1.5	1708	71	644	66
34	0.2	###	##	351	67
	0.5	1334	74	269	59
	0.8	1252	66	176	57
	1.0	1205	64	117	57
	1.5	1053	61	0	0

: theoretically impossible

1~2.5회이고, 천창은 모두 개방하고 측창을 1/2 개방한 경우는 분당 0.7~0.9회, 천창만 개방한 경우는 분당 0.2~0.3회이다. 분무수량과 환기회수를 고려하여 분무시간과 분무간격을 결정하였다.

결과 및 고찰

1. 무차광 온실의 포그냉방 효과

분당 환기회수가 평균 0.26회(천창만 개방)이고, 오전 10시부터 오후 4시까지 일정시간간격(25초 분무, 1분30초 중단)으로 포그냉방시스템을 가동한 온실내부의 기온 및 습도 변화는 Fig. 3과 같다. 그림(A)의 TL은 Fig. 2의 HL1~4의 평균값이며 TM과 TH는 HM5~8과 HH9~10의 평균값이다. TO, OR은 외부의 기온과 일사량이며 TC는 대조구 온실의 기온이다. 그림 (B)도 그림(A)와 같은 지점의 평균습도이다. 그림(B)의 WS는 각 측창에 설치된 풍속계의 평균값이다. HH9~10을 제외한 8점의 평균기온은 37.1°C이고, 평균 상대습도는 68.0%이다. 무냉방 온실과 차이가 없었으며 외기온보다는 5°C 정도 높았다. 포그냉방시스템 가동 직후 냉방효과가 나타났으나 내부에 분사된

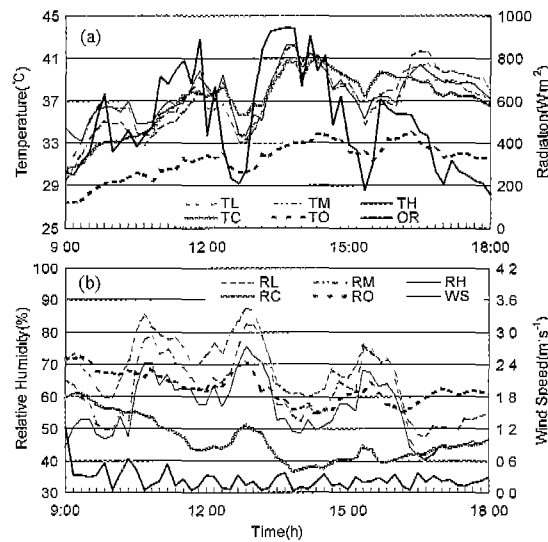


Fig. 3. Variation of temperature and relative humidity of fog cooling greenhouse (air exchange rate 0.26 times · min⁻¹, spray water amount 1,256 g).

포그가 증발과 동시에 배출되지 못하여 시간이 지날수록 냉방효과가 감소한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 분당 환기회수가 평균 0.77회(천창, 측창

자연환기 온실의 환기회수에 따른 포그냉방시스템의 냉방효과

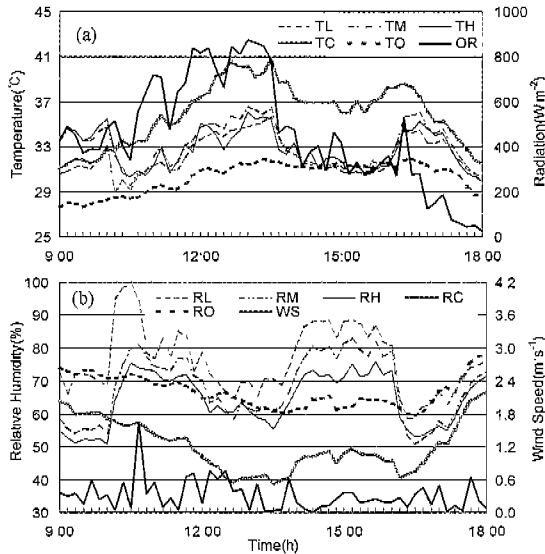


Fig. 4. Variation of temperature and relative humidity of fog cooling greenhouse (air exchange rate $0.77 \text{ times} \cdot \text{min}^{-1}$, spray water amount 2,009 g).

1/2 개방)이고, 오전 10시부터 오후 4시까지 일정시간 간격(25초 분무, 1분30초 중단)으로 포그냉방시스템을 가동한 온실내부의 기온과 습도의 변화이다. 포그냉방 시스템 가동과 동시에 온실 내부의 기온이 내려가는 것을 볼 수 있다. 냉방시스템 가동시간 중 내부의 기온은 무냉방 온실보다 4°C 정도 낮았고, 외기온 보다는 2°C 높았다. 그러나 풍속이 일정했던 오후 2시부터 4시까지 내부의 증발효율이 82% 정도로 높은 증발율을 보였으며, 온실 내부의 기온은 31°C 전후로 안정되게 나타났으며, 외기온과 같았다.

2. 차광병행시의 포그냉방 효과

차광과 포그냉방 효과와의 관계를 살펴보기 위하여 차광을 70%인 알루미늄 흡착필름으로 차광을 실시한 온실 내부에서의 기온과 습도의 변화를 측정하였다. 분당 환기회수가 평균 2.59회(측창, 천창 개방)이고, 일정시간간격(40초 분무, 1분 중단)으로 포그냉방시스템을 가동한 온실내부의 기온과 습도 변화는 Fig. 5와 같다. 냉방시간 중 온실내부의 평균 기온은 외부의 평균 기온보다 4°C 정도 높았고, 무냉방 온실 보다는 10°C 정도 낮았다. 그러나 온실 내부의 상대습도가 평균 54% 정도로 증발효율이 떨어지고 실험 온실의 규모가 작아 온실내부에서 증발하지 못하고 배출되는 포

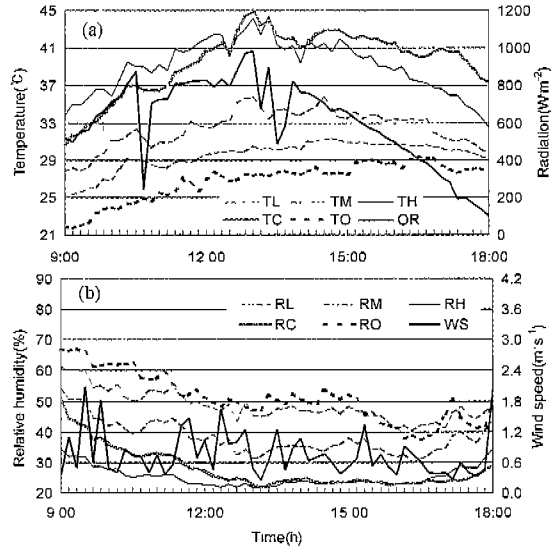


Fig. 5. Variation of temperature and relative humidity of fog cooling greenhouse (air exchange rate $2.59 \text{ times} \cdot \text{min}^{-1}$, spray water amount 2,009 g).

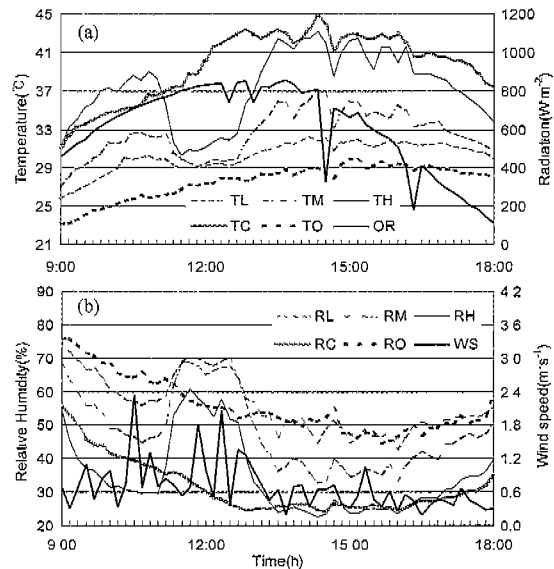


Fig. 6. Variation of temperature and relative humidity of fog cooling greenhouse (air exchange rate $2.33 \text{ times} \cdot \text{min}^{-1}$, spray water amount 2,009 g).

그 입자가 관찰되었다.

Fig. 6은 분당 환기회수가 평균 2.33회이고, 일정시간간격(40초 분무, 1분 중단)으로 포그냉방시스템을 가동한 온실내부의 기온 및 습도 변화이다. 냉방 가동시간 중 온실 내부의 평균 기온은 32°C로 외부 기온보

다는 3°C정도 높았고, 무냉방 온실보다는 8°C 정도 낮았다. 특히 환기창의 풍속이 최고 1.9 m·s⁻¹인 12시를 전후하여 온실 내부의 기온이 급격하게 떨어진다. 이러한 현상은 강한 풍속이 차광망을 통과하여 온실 내부의 공기흐름이 원활하여 증발효율이 증가된 것으로 판단된다.

3. 자연환기온실의 포그냉방 효과

환기회수가 증가하고 일정한 풍속이 연속적으로 발생할 때 냉방효율이 증가하였다. 그러나, 자연환기 온실의 경우 외부기상조건 변화에 따라 환기회수의 변화가 크기 때문에 온실 내부의 환경변화도 불규칙적이다. 특히, 시간 제어는 온실 내부의 환경변화를 고려한 제어가 어렵기 때문에 냉방효율을 감소시키는 것으로 판단된다. 온실내부의 공기흐름을 원활하게 하는 환기 형태 및 차광재료에 대한 연구와 내부의 상대습도에 의한 제어방법에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

Literature cited

1. Kim, K.S., M.K. Kim, I.H. Yu and J.S. Won. 1999a. A field investigation and analysis of greenhouse with evaporative cooling systems. Proceeding of Bio-Environment Control 8(2):213-216 (in Korean).
2. Kim, K.S., M.K. Kim and I.H. Yu. 1999b. Actual state of practical use and cooling effect of evaporative cooling systems. Journal of Bio-Environment Control 8(4): 281-287 (in Korean)
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. Min, Y.B., M.K. Kim and D.W. Kim. 2000. Evaporation phenomena of droplets sprayed by two fluid nozzle with turbo fan. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 5(1):221-227 (in Korean).
5. Walker, J.N. and D.J. Cotter. 1968. Cooling of greenhouses with various water evaporation systems. Transactions of the ASAE 11(1):116-119.
6. 三原義秋. 1980. 溫室設計の基礎と實際. 養賢堂. p161-164.

자연환기 온실의 환기회수에 따른 포그냉방시스템의 냉방효과

김문기 · 김기성 · 권혁진
서울대학교 농공학과

적 요

포그냉방시스템의 냉방효과는 온실 내부의 상대습도, 공기유동과 밀접한 관계가 있다. 냉방설계용 VETH 선도에서 냉방효율은 환기회수의 증가와 그에 상응하는 분무수량의 증가로 인하여 개선될 수 있다. 시간제어방식을 이용한 무차광 실험온실에서 분당 환기회수가 평균 0.77회, 분무수량이 2,009 g일 때 온실 내부의 기온이 31°C로 외부기온과 거의 같게 나타났으며, 이 때의 증발효율은 82%이다. 분당 환기회수가 평균 0.26회, 분무수량이 1,256 g인 경우 무냉방 온실의 기온과 비슷한 37.1°C였다. 차광율 70%인 실험온실의 분당 환기회수가 평균 2.59회, 분무수량이 2,009 g일 때, 내부의 상대습도는 증가하나 기온은 하강하지 못했다. 그러나 분당 환기회수가 평균 2.33회, 분무수량이 2,009 g인 경우 내부의 기온이 31.4°C로 이 때 온실의 유입구 풍속은 최고 1.9 m·s⁻¹였다. 시간제어의 경우 일정간격으로 일정한 수량을 분무하기 때문에 분무입자가 모두 증발하지 못하고 온실 내부에 누적되어 온실 내부의 상대습도를 증가시켜 냉방효율을 감소시키는 원인이 되고 차광망이 온실내부의 공기흐름을 차단하여 증발효율을 감소시키는 것으로 나타났다. 포그냉방시스템의 냉방효율을 높이기 위해서는 온실 내부의 상대습도에 의한 제어방식과 내부 공기의 순환에 대한 연구가 필요하다.

주제어 : 포그냉방시스템, 환기회수, 자연환기온실, 열환경