

## 상업용 토마토온실 냉방을 위한 저압분무식 포그시스템의 적용

이현우<sup>1\*</sup> · 김영식<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경북대학교, <sup>2</sup>상명대학교

### Application of Low Pressure Fogging System for Commercial Tomato Greenhouse Cooling

Hyun-Woo Lee<sup>1\*</sup> and Young-Shik Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Eng., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea

<sup>2</sup>Sangmyung University, San 98-20 Anso-dong Choongnam 330-720, Korea

**Abstract.** The objective of the present study is to identify the applicability of a low pressure fogging system for cooling commercial tomato greenhouse. In particular, the cooling system in this experiment utilizes low pressure spray nozzles which were developed in Korea recently. The experimental result that the temperature in fog-cooled greenhouse was lower than the non-cooled greenhouse showed the cooling effect by the low pressure fogging system. But because the relative humidity in fog-cooled greenhouse was comparatively low, the satisfactory cooling effect could be acquired by narrowing the space of fog nozzles and extending fogging time to supply more fog spray quantity. The variation of temperature distribution in fog-cooled greenhouse along timelag was insignificant during short time, but that was great during long period of day. This result showed the variation of temperature along timelag was slight by fog cooling but great by other factors like radiation, ventilation, air flow, etc. The advanced operation technology of fog system was required to reduce the variation of temperature along timelag. We plan to suggest the advanced installation and operation technology of low pressure fogging system for cooling commercial tomato greenhouse by further experiments in near future.

**Key words :** cooling effect, distribution of temperature and humidity, fogging duration, low pressure fog nozzle, nozzle arrangement

## 서 론

온도는 작물의 다양한 대사작용에 영향을 주는 인자이기 때문에 작물의 성장적온에 맞게 온실내의 온도를 유지시키는 것이 대단히 중요하지만, 기술적인 한계와 소요되는 경비문제로 인하여 온실의 적정 온도환경 유지에 큰 어려움이 있다. 특히, 최근 온실이 대형화, 고정화 및 자동화되어 주년생산을 위한 연중 재배체계가 시도되면서 하절기의 고온현상이 작물의 성장을 저해하고 온실내의 작업환경을 악화시키는 등의 많은 문제점이 지적되고 있다. 이와 같은 여름철 고온에 대응할 수 있는 환경조절기술의 부족으로 많은 자본과 기술이

투자된 현대화된 온실의 경우 휴작을 하거나 열악한 환경하에서 재배를 하고 있기 때문에 시설의 주년이용과 활용도 제고에 심각한 문제가 되고 있고 원예산물 의 가격불안정의 주요원인의 하나로 대두되고 있다 (Kim 등, 2001a; Lee, 1997; Suh 등, 1992).

온실의 고온극복방법으로는 차광, 환기, 증발냉각, 근권부나 작물체 주위 등의 국부냉방, 히트펌프, 지붕살수 등의 방법이 있으나 적극적인 환기와 차광의 병행 그리고 증발냉각시스템을 제외하고는 그다지 실용성이 높지 않은 것으로 알려져 있다. 따라서 여름철 고온기에 상업용 온실의 이용율을 높이고 안정적인 생산을 위해서는 적극적인 차광환기시스템이나 증발냉각시스템의 도입이 필요하다. 증발냉각시스템 중에서는 경제성 및 효율성 측면에서 포그냉방시스템이 가장 유리한 것으로 보고되고 있다(Kim 등, 2001a; Nam 등,

\*Corresponding author: whlee@knu.ac.kr

Received February 11, 2011; Revised February 22, 2011;

Accepted March 10, 2011

2005; Suh 등, 1992).

증발냉각법 중 포그냉각법을 범용화하기 위해서 해결해야 할 주요과제는 노즐막힘 방지, 초미립분무장치, 증발을 증대, 작물에의 낙하방지, 균일한 온도유지, 냉방효율, 방제 등과의 겸용설비 등이다. 이와 관련하여 다양한 연구들이 수행된 바 있으나 대부분 소규모의 실험온실에서 수행되었으며(Abdel-Ghany와 Kozai, 2006; Abdel-Ghany 등, 2003; Kim 등, 1997, 2001a, 2001b; Lee, 1997; Luchow와 Zabeltitz, 1992; Nam 등, 2005; Perdignes 등, 2008; Suh 등, 1992; Yu 등, 2002), 비록 상업용 온실에 대하여 연구가 수행되었다 하더라도 강제환기조건이거나 고압분무방식을 이용하여 수행된 연구결과들이다(Arbel 등, 1999, 2003; Kim 등, 2001a). 우리나라 대부분의 상업용 온실은 자연환기조건에서 운영되고 있으며, 온실에 포그시스템을 도입하기 위해서는 온실의 환기조건, 작물의 종류 및 생육상태 등에 따라서 온실내부의 환경조건이 달라지기 때문에 이러한 다양한 조건별로 포그시스템의 설치 및 관리조건을 규명할 필요가 있을 것으로 판단된다(Arbel 등, 1999; Suh 등, 1992).

기존의 고압 포그노즐을 이용한 포그시스템은 노즐의 막힘이 많고 응축 고압관의 노후에 의한 파열시자가 보수가 원활하지 못하며, 낙수문제, 포그입자의 공기 중 체류시간이 짧다는 점 등의 단점이 있다. 이러한 여러 가지 문제점을 극복하기 위하여 벤츄리 원리를 이용한 새로운 형태의 저압분무식 포그노즐이 국내에서 개발되었다(Sim, 2010).

본 연구에서는 토마토 재배용 상업용 온실의 여름철 냉방에 저압분무식 포그냉방시스템을 사용하기 위한 시스템 설치 및 관리기술을 규명하기 위하여 저압포그시스템을 온실에 설치하여 실험을 통하여 그 적용가능성을 분석하였다.

### 재료 및 방법

Fig. 1은 실험에 사용한 온실로서 논산지역에 설치되어 있는 상업용 토마토 재배용 온실의 외부와 내부의 전경을 보여주고 있다. 크기는 한 개의 스펀이 7.0m, 폭 3.0m, 동고 4.5m, 길이 100m인 남북방향의 7연동 온실이며, 환기는 천창과 측창을 이용한 자연환기방식으로 이루어졌다. 토마토는 6월 15일에 정



(a) Outside view



(b) Inside view

Fig. 1. Commercial greenhouse for fog cooling experiments.

Table 1. Specifications of low pressure fog nozzle.

Component	Specifications
Diameter of nozzle	1.0 mm
Droplet diameter	20~60 $\mu\text{m}$
Water pressure	2~4 $\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$
Air pressure	1~2 $\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$
Dropping distance	2~8 m

식하였다. Table 1은 저압식 포그노즐의 사양을 나타낸 것이며, Fig. 2는 저압식 포그노즐의 외형을 보여주는 사진이다. 저압식 포그노즐은 벤츄리원리를 이용하여 압축공기가 분사되면서 물입자를 미세하게 분무하는 노즐로 저압에서도 물 입자를 아주 미세하게 분무할 수 있다는 장점이 있다. 포그시스템은 전체 7개의 동 중 동쪽의 4개동에 설치하여 포그를 분사하였으며, 서쪽 3개동에는 환경변화를 비교분석하기 위해 포그를 분사하지 않았다. 실험구와 대조구 사이에는 서로

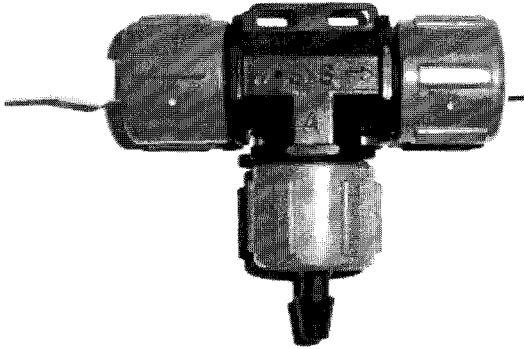


Fig. 2. Low pressure fog nozzle.

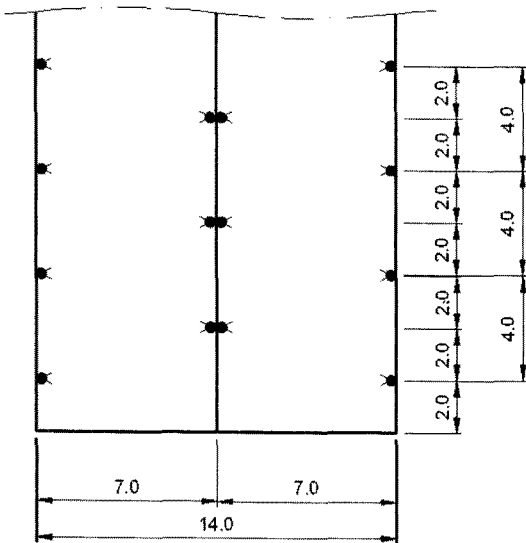


Fig. 3. Arrangement of fog nozzles.

환경영향을 받지 않도록 칸막이를 설치하였으며, 포그가 분사된 동쪽 끝의 두 동과 포그가 분사되지 않은 서쪽 끝 두 동에서 온습도를 측정하여 변화를 비교 분석하였다. Fig. 3은 포그노즐의 배치상태를 보여주고 있다. 노즐은 빗물받이 바로 아래쪽에 4m 간격으로 설치하여 서로 2m 간격으로 엇갈리게 설치하였으며, 4개동에 총 200개의 노즐을 설치하였다. 포그의 수압은  $4\text{kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ , 공기압은  $2\text{kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ , 노즐 1개당 물 분사량은  $6\text{l}\cdot\text{hr}^{-1}$ 이며, 압축공기의 공급을 위해 20마력 용량의 컴프레서 1대를 사용하였다. 포그의 분사간격은 1차 실험에서는 2개 동에 2분간 분사하고 1분간 정지한 후 나머지 2개 동에 분사하여 2개 동씩 서로 번갈아 가며 분사되도록 하였고, 2차 실험에서는 분사시

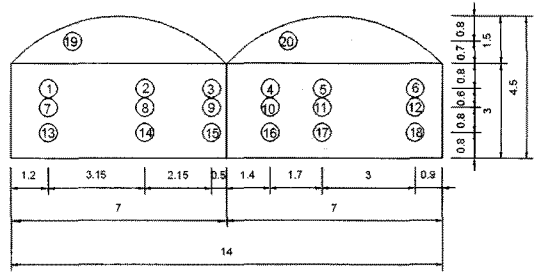


Fig. 4. Location of temperature and humidity sensors in experimental greenhouse.

간을 증가하여 2개 동에 2분 30초간 분사한 후 30초간 정지하도록 하였다. 2개 동씩 나누어 번갈아 가며 분사한 것은 4개의 동에 동시에 포그를 분사하기에는 컴프레서의 용량이 부족했기 때문이다. Fig. 4는 온실 내의 온습도를 측정하는 점을 나타낸 것으로 총 20점을 설치하였다. 온실내부 온습도의 측정은 2010년 7월 15일부터 2010년 8월 19일까지 온습도센서(HA-TH100)와 데이터로그(ZFR-N10, 한국)를 사용하여 1분 간격으로 연속 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 포그의 분사시간 간격에 따른 냉방효과 분석

Fig. 5는 오후 2시경에 포그를 분사한 온실과 분사하지 않은 온실의 온도분포를 나타낸 것이다. Fig. 5(1)은 2개 동에 2분간 분사하고 1분간 정지하도록 하여 2개 동씩 서로 번갈아 가며 분사되도록 한 경우이고, Fig. 5(2)는 2개 동에 2분 30초간 분사한 후 30초간 정지하도록 한 경우의 온도 분포도이다. 포그를 2분간 분사한 경우에는 포그를 분사하지 않은 온실의 평균온도가  $36.8^{\circ}\text{C}$ 이고 포그를 분사한 온실은  $35.9^{\circ}\text{C}$ 로 분사한 온실이  $0.9^{\circ}\text{C}$  더 낮게 나타나 미소한 포그 냉방 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 포그를 2분 30초간 분사한 경우에는 포그를 분사하지 않은 온실의 평균온도는  $39.0^{\circ}\text{C}$ 이고 포그를 분사한 온실은  $37.2^{\circ}\text{C}$ 로 분사한 온실이  $1.8^{\circ}\text{C}$  더 낮게 나타나 2분간의 분사시간보다 2분 30초간의 분사시간이 냉방효과가 더 큰 것으로 분석되었다.

Fig. 6은 포그를 분사한 온실과 분사하지 않은 온실의 상대습도분포를 나타낸 것이다. Fig. 6(1)은 2분간 분사한 경우이고, Fig. 6(2)는 2분 30초간 분사한 경

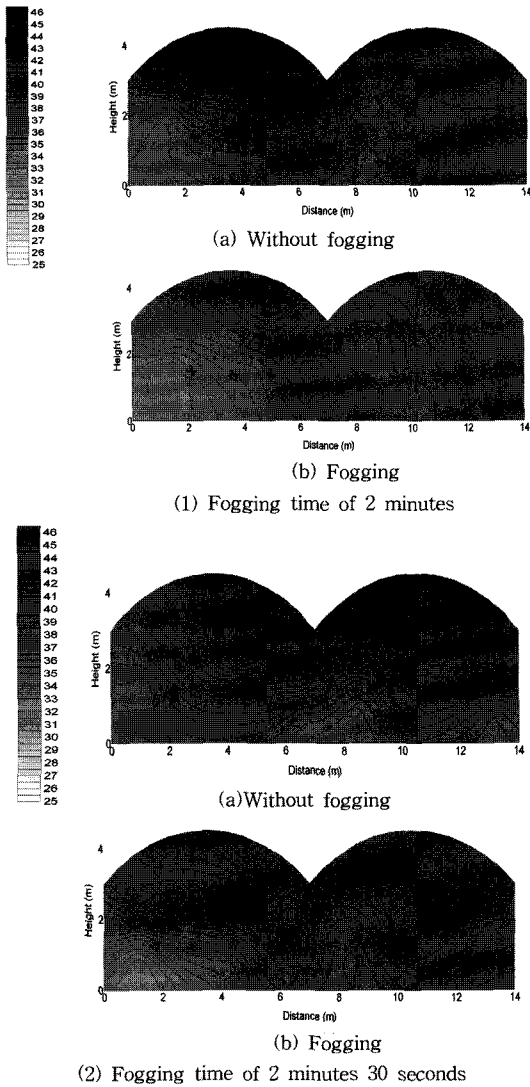


Fig. 5. Distribution charts of temperature for each fogging time.

우의 상대습도 분포도이다. 포그를 2분간 분사한 경우에는 포그를 분사하지 않은 온실의 평균습도가 43.4% 이고 포그를 분사한 온실은 45.6%로 분사한 온실이 2.2% 더 높게 나타나 미소하게 증가한 것으로 나타났다. 또한, 포그를 2분 30초간 분사한 경우에는 포그를 분사하지 않은 온실의 평균습도는 50.6%이고 포그를 분사한 온실은 53.3%로 분사한 온실이 2.7% 더 높게 나타나 두 가지 분사시간의 습도증가량이 거의 비슷한 것으로 나타났다.

Kim 등(2001)은 단동 온실의 포그시스템을 습도를

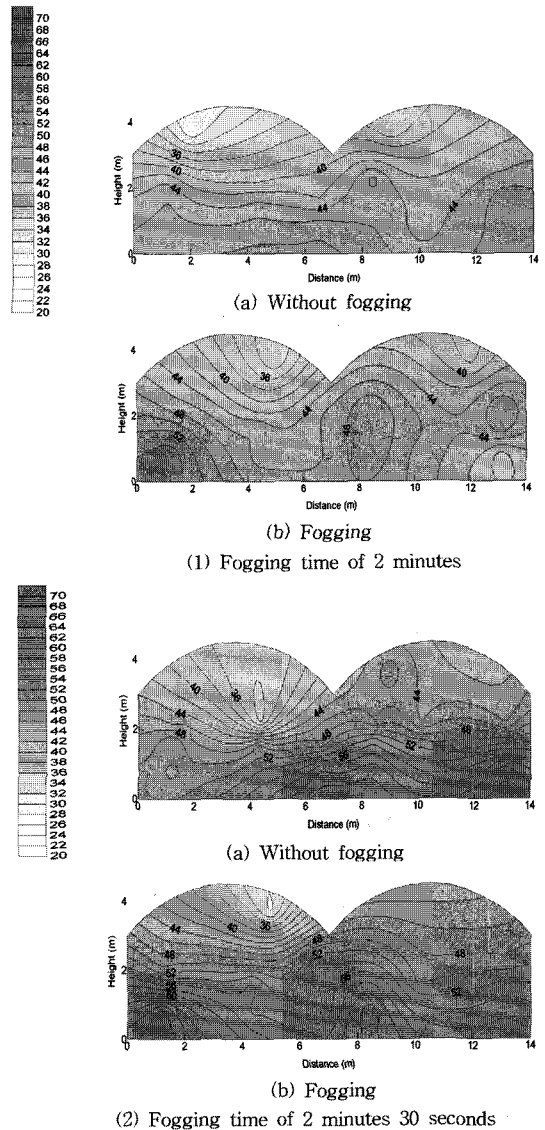


Fig. 6. Distribution charts of relative humidity for each fogging time.

기준으로 제어할 경우 온실내 상대습도가 55% 이하일 때 분무하고, 65% 이상일 때 정지하는 것이 효율적이고, 3연동 이상의 온실에서는 온실내 상대습도가 70% 이하일 때 분무하고, 80% 이상일 때 정지하는 것이 효율적이라고 제시하였다. 이러한 사실로 미루어 볼 때 본 실험결과에서는 전체적으로 상대습도가 비교적 낮게 나타나 냉각효과를 충분히 얻지 못한 것으로 판단되며, 포그 분무량을 증대시킨다면 냉방효과를 훨씬 높일 수 있을 것이기 때문에 포그노즐의 설치간격을 더

## 상업용 토마토온실 냉방을 위한 저압분무식 포그시스템의 적용

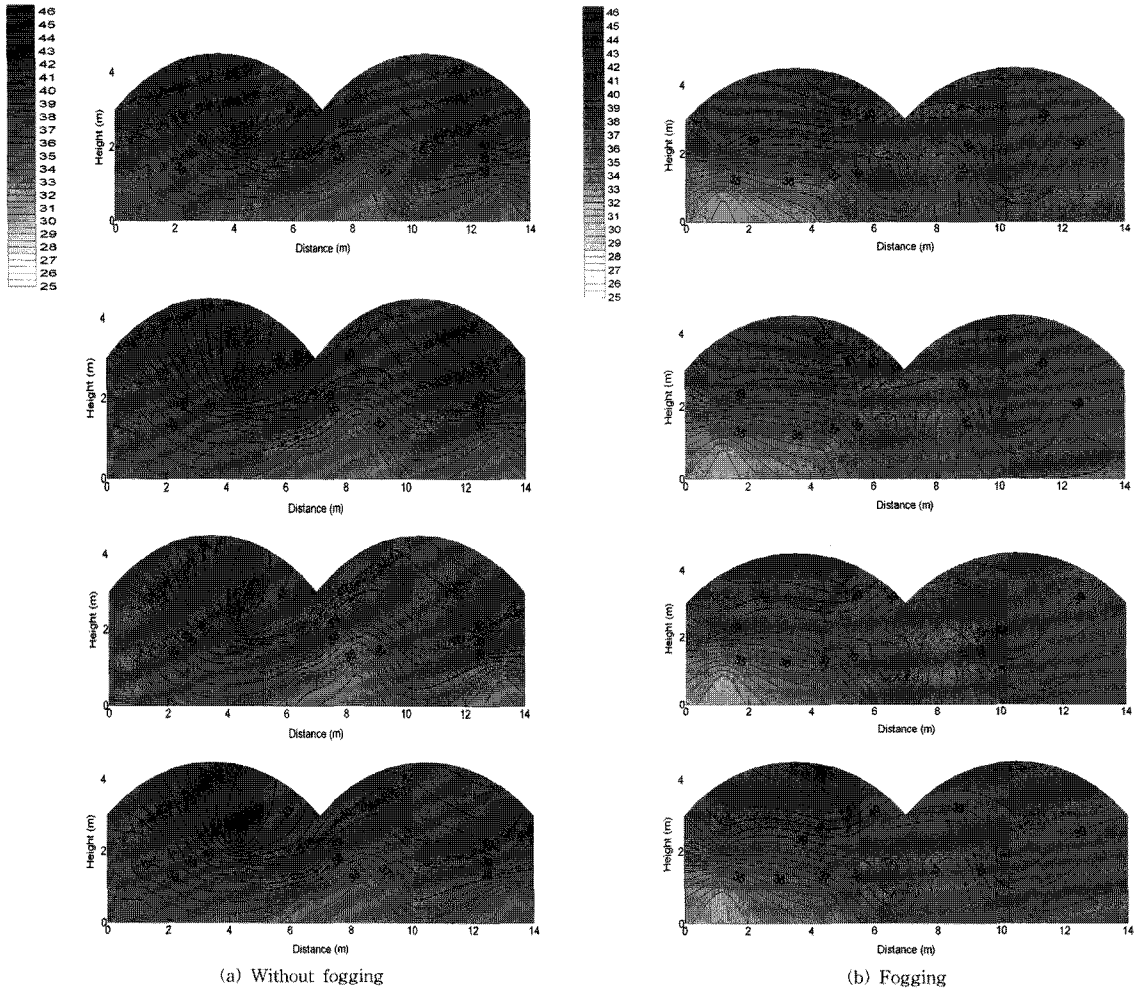


Fig. 7. Distribution charts of temperature at 4-minute intervals.

줄이거나 포그분사 시간을 더 늘리는 등의 조정을 통해서 충분한 냉방효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다. 앞으로 추가 실험을 통해 자연환기 토마토재배온실의 냉방을 위한 저압포그시스템 설치 및 관리기술을 제시하고자 한다.

### 2. 시간경과에 따른 온도분포 변화

Fig. 7은 시간경과에 따른 온도분포의 변화를 알아보기 위하여 오후 2시경의 온도분포를 4분 간격으로 도시한 것이다. Fig. 7(a)은 포그를 분사하지 않은 온실의 온도분포도이며, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 12분간에 걸쳐 온도분포가 거의 변화가 없음을 알 수 있었다. Fig. 7(b)는 포그를 2분 30초간 분사한 후

30초간 정지하도록 처리한 온실의 온도분포도로서 서로 미세한 차이는 있지만 거의 동일한 것으로 나타나 시간의 경과에 따른 포그분사에 의한 온도분포는 균일함을 확인할 수 있었다.

### 3. 수직 및 수평방향 온도편차

Fig. 8과 9는 각각 포그를 2분 30초간 분사했을 때 포그온실 내부에 수직방향과 수평방향으로 설치된 센서별 시간에 따른 온도변화를 도시한 것이다. Fig. 8은 수직방향 각 위치의 센서들의 평균값을 나타낸 것으로 수직방향의 온도편차는 최대 3.3°C, 평균 0.9°C로 나타났다. Fig. 9는 상부에 위치한 센서에서 측정된 값이며, 수평방향으로는 온도편차가 최대 3.3°C 평

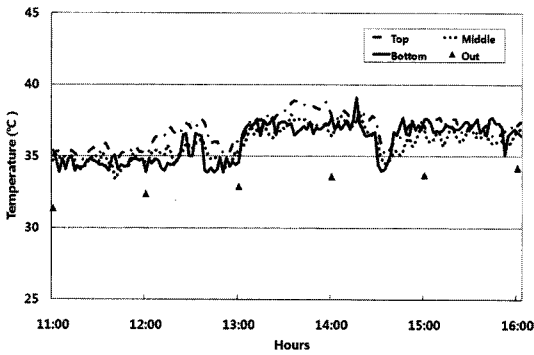


Fig. 8. Variations of average temperature for each vertically arranged sensor.

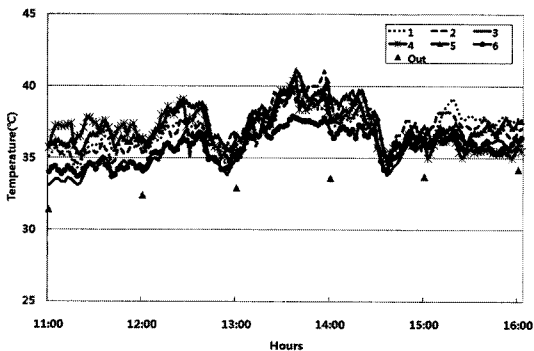


Fig. 9. Variations of temperature for each horizontally arranged sensor.

균 1.7°C 정도로 나타나 수직방향에 비해 수평방향에 대한 온도편차가 더 크게 나타났다. “시간경과에 따른 온도분포 변화”에서 살펴본 바와 같이 짧은 시간 동안에는 온도분포의 큰 변화는 없었으나, 하루 동안에는 온도분포의 변화가 다소 크게 나타났다. 이는 포그분사에 따른 온도편차의 발생은 크지 않으나, 일사나 공기 유동 등 다른 환경요인들에 의해 발생된 편차가 크기 때문인 것으로 판단된다. 특히 본 자료에는 나타나지 않았지만 온실 하부에서의 수평방향의 온도편차는 더 크게 나타나는 경향이 있었기 때문에 온도편차를 줄일 수 있는 포그시스템 관리방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

### 적 요

토마토 재배용 상업용 온실의 여름철 냉방에 최근 국내에서 개발된 저압분무식 포그냉방시스템을 사용하기

위한 시스템 설치 및 관리기술을 규명하기 위하여 저압 포그시스템을 온실에 설치하여 실험을 통하여 그 적용 가능성을 분석하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

포그를 분사한 온실이 분사하지 않은 온실보다 온도가 더 낮은 값을 보여 포그분사에 의한 냉방효과가 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 전체적으로 상대습도가 비교적 낮게 나타나 냉각효과를 충분히 얻지 못한 것으로 판단되며, 포그노즐의 설치간격을 더 줄이거나 포그분사 시간을 더 늘리는 등의 조정을 통해서 충분한 냉방효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다. 온실 전체의 시간에 따른 온도분포는 짧은 시간 동안에는 온도분포의 큰 변화는 없었으나 하루의 긴 시간 동안에는 온도분포의 변화가 다소 크게 나타났다. 이는 포그분사에 따른 온도편차의 발생은 크지 않으나 일사, 공기유동 등 다른 환경요인들에 의해 발생된 편차가 큰 것으로 판단된다. 특히 본 자료에는 나타나지 않았지만 온실 하부에서의 수평방향의 온도편차는 더 크게 나타나는 경향이 있었기 때문에 온도편차를 줄일 수 있는 포그시스템 관리방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 앞으로 추가 실험을 통해 자연환기 토마토재배온실의 냉방을 위한 저압포그시스템 설치 및 관리기술을 제시하고자 한다.

**주제어 :** 냉방효과, 노즐 배치, 습도 분포, 저압식 포그노즐, 포그분사 시간

### 사 사

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임.

### 인 용 문 헌

1. Abdel-Ghany, A.M., E. Goto, and T. Kozai. 2006. Evaporation characteristics in a naturally ventilated fog-cooled greenhouse. *Renewable Energy* 31(14): 2207-2226.
2. Abdel-Ghany, A.M. and T. Kozai. 2006. Dynamic modeling of the environment in naturally ventilated, fog-cooled greenhouse. *Renewable Energy* 31(10): 1521-1539.
3. Arbel, A., M. Barak, and A. Shklyar. 2003. Combination of forced ventilation and fogging systems for

- cooling greenhouses. *Biosystems Engineering* 84:45-55.
4. Arbel, A., O. Yekutieli, and M. Barak. 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouse. *J. Agric. Engag Res.* 72:129-136.
  5. Kim, M.K., G.S. Kim, and S.W. Nam. 2001a. Efficient application of greenhouse cooling systems. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries pp. 28-118 (in Korean).
  6. Kim, M.K., K.S. Kim, and H.J. Kwon. 2001b. The cooling effect of fog cooling system as affected by air exchange rate in natural ventilation greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control* 10(1):10-14 (in Korean).
  7. Kim, Y.J., Y.S. Ryou, J.H. Yun, K.Y. Oh, and S.H. Kim. 1997. Fog nozzle - Greenhouse cooling system analysis. *Journal of Bio-Environment Control* 6(1):48-54 (in Korean).
  8. Lee, J.S. 1997. Studies on the dropping method of air temperature in the protected house for summer culture of flower crops. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries pp. 41-155 (in Korean).
  9. Luchow, K. and C. Von Zabeltitz. 1992. Investigation of a spray cooling system in a plastic-film greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research* 52:1-10.
  10. Nam, S.W., K.S. Kim, and G.A. Giacomelli. 2005. Improvement of cooling efficiency in greenhouse fog system using the dehumidifier. *Journal of Bio-Environment Control* 14(1):29-37 (in Korean).
  11. Perdigones, A., J.L. Garcia, A. Romero, A. Rodriguez, L. Luna, C. Raposo, and S. de la Plaza. 2008. Cooling strategies for greenhouse in summer: control of fogging by pulse width modulation. *Biosystems Engineering* 99:573-586.
  12. Sim, S.Y. 2010. Overcoming high temperature problem by using low pressure fog nozzle in greenhouse. *Contents* 51(2):32-37 (in Korean).
  13. Suh, W.M., Y.C. Yoon, J.Y. Lee, and S.G. Lee. 1992. Greenhouse cooling by fog system. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 41(1):60-71 (in Korean).
  14. Yu, I.H., M.K. Kim, H.J. Kwon, and K.S. Kim. 2002. Development of CFD model for estimation of cooling effect of fog cooling system in greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control* 11(2):93-100 (in Korean).