



## 저압 에어포그 시스템을 설치한 온실의 냉방효율

### Cooling Efficiency of Low Pressure Compressed Air Fogging System in Naturally Ventilated Greenhouses

남상운\*<sup>†</sup> · 김영식\*\* · 성인모\*\*\* · 고기혁\*\*\*

Nam, Sang-Woon · Kim, Young-Shik · Sung, In-Mo · Ko, Gi-Hyuk

#### ABSTRACT

In order to derive the efficient utilization of low pressure compressed air fogging system, cooling efficiencies with control types were analyzed through cooling experiments in tomato greenhouses. The control types were set up with temperature control, humidity control, temperature and humidity control, and time control. It showed that the cooling effects were 0.7 to 3.3 °C on average and maximum of 4.3 to 7.0 °C, the humidification effects were 3.5 to 13.5 % on average and maximum of 14.3 to 24.4 %. Both the cooling and humidification effect were the highest in the time control method. The cooling efficiency of the air fogging system was not high with 8.3 to 27.3 % on average. However, the cooling efficiency of 24.6 to 27.3 % which appears from the time control is similar to the cooling efficiency of high pressure fogging system experimented in Japan. The air fogging system is operated by low pressure, but its efficiency is similar to high pressure. We think because it uses compressed air. From this point of view, we suggest that the air fogging system can get the cooling efficiency of similar levels to that of high pressure fogging system and it will have an advantage from clogging problem of nozzle etc.

**Keywords:** Compressed air; control types; cooling efficiency; low pressure fogging system; naturally ventilated greenhouse

#### 1. 서 론

여름철 온실의 기온은 작물의 정상적인 생육이 불가능할 정도로 상승하므로 여름철에 온실에서 작물을 재배하기 위해서는 냉방이 필수적이다. 다양한 온실 냉방방법들이 제안되고 있으며, 차광과 자연환기가 가장 일반적인 온실의 고온극복 방법이지만 충분한 냉방효과를 거둘 수는 없다. 냉동기를 이용한 기계적인 냉방은 경제성이 없기 때문에 냉방부하가 작은 야간냉방이나 약광 작물의 재배에만 사용이 한정되고 있는 실정이다 ((Kim et al., 2001a). 증발냉각 시스템은 지금까지 개발된 온실 냉방 방법 중 가장 효율적인 방법으로 알려져 있으며 증발냉각 시스템에는 여러 가지 방식이 있으나 팬 앤 패드 시스템과 포그 시스템이 가장 일반적으로 사용되고 있다 (ASAE, 1997 ; Arbel et al., 1999, 2003). 우리나라 여름철 고온기의 온실 경작 실태조

사에 의하면 21.6 %의 시설재배 농가가 휴경하고 있고, 경작농가도 증발냉각 시스템을 설치하는 등 적극적인 냉방을 실시하는 농가는 거의 없으며, 팬 앤 패드 시스템이나 포그시스템을 설치한 유리온실 농가가 일부 있으나 고장이 잦고 운영비가 많이 들어 가동율은 매우 낮은 것으로 보고하였다 (Kim et al., 2001b). 시설비 투자가 낮은 관행 온실의 경우에는 여름철에 휴경하면서 토양소독 등을 실시하고 작기 전환으로 활용하여도 문제가 없지만 시설비 투자가 높은 현대화 온실의 경우에는 주년안정생산을 목표로 적극적인 냉방이 필요하다.

증발냉각 방식 중에서 팬 앤 패드 시스템은 역사도 길고 온실 냉방에서 비교적 많이 이용되고 있으며, 그 효율도 매우 높지만 온실의 온도분포가 불균일하고 설치비와 유지비가 많이 드는 단점이 있다 (Kittas et al., 2001 ; Nam et al., 2005). 포그시스템은 팬 앤 패드 시스템에 비하여 온실의 온습도분포가 균일하고, 증발율이 높으며 설치비와 유지비도 적게 들어 상업용 온실에 많이 사용되고 있는 추세이다 (Abdel-Ghany and Kozai, 2006). 포그시스템은 작동압력에 따라 저압과 고압 포그시스템으로 구분된다. 저압 포그시스템은 300~400 kPa의 압력에서 작동하며 50~100 μm의 입경으로 분무되고, 고압 포그시스템은 3.5~7.0 MPa의 높은 압력에서 작동하며 분무 입자의 입경은 2~60 μm의 범위에 있다. 고압시스템이 저압시스템에 비하여 분무

\* 충남대학교 지역환경토목학과

\*\* 상명대학교 식물식품공학과

\*\*\* 충남대학교 대학원 농공학과

† Corresponding author Tel.: +82-42-821-5794

Fax: +82-42-821-8877

E-mail: swnam@cnu.ac.kr

2012년 7월 10일 투고

2012년 8월 9일 심사완료

2012년 8월 23일 게재확정

입경이 작아 더 빨리 증발하기 때문에 냉방효율이 높으나 설치비와 유지비가 훨씬 많이 들어가는 것으로 알려져 있다 (Li and Willits, 2008). 기존의 포그시스템은 노즐의 막힘이 많고 융착 고압관의 노후에 의한 파열시 보수가 원활하지 못하며, 낙수문제, 포그입자의 공기중 체류시간이 짧다는 점 등의 단점이 있다. 이러한 여러 가지 문제점을 극복하기 위하여 벤츄리 원리를 이용한 새로운 형태의 저압 분무식 포그노즐이 국내에서 개발되었다 (Lee와 Kim, 2011). 이 노즐은 지중해 연안에서 사용 중인 compressed air-water type 노즐 (Montero et al., 1990)을 개량한 것으로써 에어포그란 명칭으로 2010년부터 국내에 보급이 시작되어 2011년 현재 50여 농가에 설치되어 운영되고 있으며 사용 만족도가 상당히 높지만 설치기준이나 제어방법 등에 대한 가이드라인의 부재로 운영에 많은 문제점을 내포하고 있는 것으로 보고되고 있다 (Nam et al., 2011).

따라서 본 연구에서는 에어포그 냉방시스템의 효율적인 이용 방안을 도출하기 위하여 저압 에어포그 노즐을 설치한 토마토 재배 온실에서 냉방실험을 통하여 제어방법별로 냉방효율을 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 에어포그 노즐의 제어방법별 냉방효율 시험

#### 가. 실험온실 및 환경계측

충남대학교 부속 농장에 설치된 폭 5.6 m, 길이 18 m, 높이 3.5 m의 단동 플라스틱 온실 2개동에서 실험을 수행하였다. 1개동은 냉방 온실, 다른 1개동은 대조구 온실로 사용하였고, 토마토를 재배하였다. 실험온실의 규격과 계측센서 및 에어포그 노즐의 배치는 Fig. 1과 같다. 에어포그 노즐은 온실의 측면 1.8 m 높이에 1.8 m 간격으로 총 20개를 배치하였으며 계측 센서와 에어포그 노즐의 사양은 Table 1과 같다. 냉방온실의 온습도 분포를 분석하기 위하여 온실 중앙에 길이방향으로 5점, 높이 방

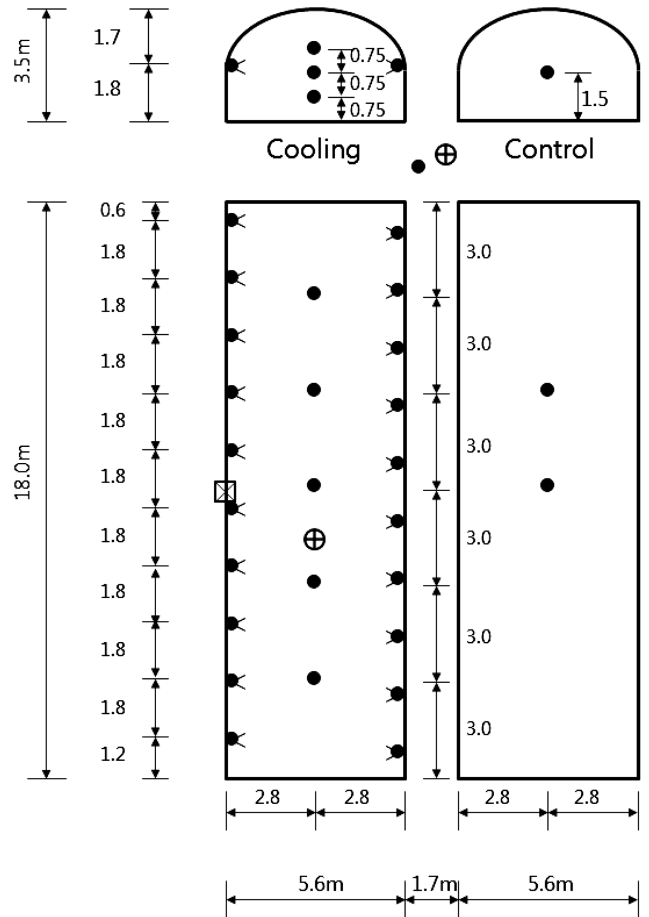


Fig. 1 Location of air fog nozzles and sensors in experimental greenhouses. The symbol ● is a temperature and humidity sensor, ⊗ is an anemometer, ⊕ is a pyranometer, and ● is a fog nozzle

향으로 3점의 온습도 센서를 배치하였다. 그 밖에 냉방효과와 냉방효율 분석을 위하여 대조구 온실 2점과 외부의 온습도 및 실내의 일사량과 측창의 풍속을 측정하였으며 모든 항목은 10분간 평균값으로 저장하였다. 에어포그 노즐의 구경은 0.8 mm, 수압은 360 kPa, 공기압은 200 kPa, 노즐 1개당 분무량은 6.0  $\ell \cdot h^{-1}$ 이었다.

#### 나. 제어방법별 냉방실험

에어포그 냉방 시스템의 제어방법은 온도제어, 습도제어, 온습도제어, 타임제어로 설정하였으며, 각 제어방법별 에어포그 시스템 가동조건은 Table 2와 같다. 온도제어는 실내온도가 30 °C 이상일 때 포그 시스템을 가동하고, 습도제어는 실내습도가 70 % 이하일 때 가동하는 조건이며, 온습도제어는 실내온도가 30 °C 이상이고 실내습도가 70 % 이하일 때 가동하는 조건이다. 타임제어는 실내의 온습도 조건에 상관없이 설정된 분무간격에 따라

Table 1 Specifications of sensors and air fog cooling system

Item	Component	Specifications
Sensors	Temperature and humidity	HTR10 (Hans system)
	Pyranometer	LI200X (Campbell scientific Inc.)
	Anemometer	CTV100 (Kimo instrument)
Air fog system	Diameter of nozzle	0.8 mm
	Droplet diameter	20~40 $\mu m$
	Water pressure	360 kPa
	Air pressure	200 kPa
	Spraying distance	6~8 m
	Spraying amount	6.0 $\ell \cdot h^{-1}$

**Table 2 Experimental conditions for cooling performance by control types**

Control types	Control conditions		Fogging interval On-off time (s)	Experimental period
	Temperature (°C)	Humidity (%)		
Temperature	≥30	-	120-45	7/01-7/21
Humidity	-	≤70	120-45	7/22-8/08
Temperature and Humidity	≥30	≤70	120-45	8/09-8/31
Time-1	(≥25)	(≤90)	120-45	9/01-9/20
Time-2			60-45	
Time-3			45-45	

**Table 3 Average weather conditions for analyzed data by experimental treatments**

Control types	Outside weather		Solar radiation			Wind speed in side vent (m · s <sup>-1</sup> )
	Temperature (°C)	Humidity (%)	Outside (W · m <sup>-2</sup> )	Inside (W · m <sup>-2</sup> )	Transmissivity (%)	
Temperature	34.2	52.3	592.7	426.1	71.9	0.42
Humidity	33.9	57.4	432.2	326.9	75.6	0.40
Temperature and Humidity	33.6	54.7	499.8	355.8	71.2	0.36
Time-1	33.7	43.7	583.1	386.5	66.3	0.40
Time-2	31.1	45.8	504.4	332.0	65.8	0.33
Time-3	33.7	51.3	500.4	305.7	61.1	0.31

포그 시스템을 가동하는 조건이다. 실내온도가 25 °C 이하에서는 냉방이 불필요하고, 습도가 90 % 이상이면 증발이 거의 일어나지 않으므로 타임제어에서도 온도와 습도조건을 25 °C, 90 %로 설정하였으며 가동시간을 3단계로 조정하여 추가로 실험하였다. 또한 포그 시스템의 연속 분무는 곤란하므로 온도와 습도 제어 조건에서도 분무 간격을 타임제어와 동일한 120초 ON, 45초 OFF로 설정하였다. 그러나 포그 시스템을 가동하기 전에 온습도 조건을 먼저 체크하므로 설정값을 만족하지 않으면 분무는 하지 않는다. 실험은 2011년 7월 1일부터 9월 20일까지 수행하였다.

### 2. 냉방효율 분석

냉방효과는 기본적으로 대조구 온실과 냉방 온실의 온도차로 비교하였으며 추가적으로 외기온과 냉방 온실의 온도차, 외기, 대조구, 냉방 온실의 습도차를 비교하였다. 증발냉각 시스템의 냉방효율은 외기의 건습구 온도차에 대하여 실제 냉각온도 (외기의 건구온도-냉각된 온도)의 백분율로 표시된다 (Albright, 1990; Nam et al., 2008). 그러나 이 방식은 외부 공기가 패드를 통과하면서 냉각되어 실내로 공급되는 팬 앤 패드 시스템에만 적용할 수 있다. 포그 시스템에서는 이론적으로 냉방가능 온도에 대한 냉방효율을 다음 식 (1)로 구하였다 (Li and Willits, 2008).

$$\text{냉방효율} = \frac{T_{unfog} - T_{fog}}{T_{unfog} - T_{WBfog}} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서,  $T_{fog}$ ,  $T_{unfog}$ ,  $T_{WBfog}$ 는 각각 포그냉방 온실의 건구온도

(°C), 대조구 온실의 건구온도 (°C), 포그냉방 온실의 습구온도 (°C)이다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 분석데이터의 평균기상조건

실험기간동안 잦은 비와 높은 습도로 냉방효과를 검토하기 어려운 날이 많았다. 7, 8월 중 강우일 43일, 강수량 1,008 mm, 평균 운량이 5 이하인 맑은 날이 8일뿐이었다. 비교 분석에 사용한 데이터는 비교적 맑은 날로 동일한 자료수를 갖도록 제어방법별로 4일간의 데이터를 선택하였다. 타임제어의 경우에는 자료수가 부족하여 조건별로 3일치 데이터를 사용하였다. 에어포그 냉방시스템의 가동은 오전 9시부터 오후 6시까지 하였고, 분석에는 오전 10시부터 오후 5시까지 10분 간격으로 계측한 데이터를 사용하였다. Table 3은 분석에 사용한 데이터의 제어방법별 평균 기상조건을 나타낸 것이다. 각 제어방법별 외부기상조건은 대체로 비슷한 범위에 있었으나, 타임제어2의 온도가 비교적 낮았고, 타임제어 1, 2의 습도가 비교적 낮게 나타났다. 이는 앞에서 언급한 비와 같이 7, 8월의 기상여건으로 실험이 늦어져 타임제어는 9월에 이루어졌기 때문이다. 환기율의 지표가 되는 측창풍속은 대체로 비슷한 범위에 있어서 자연환기 조건은 제어방법별로 큰 차이가 없는 것으로 판단할 수 있다.

### 2. 제어방법별 전력소비량

제어방법별로 전력 소비량을 측정한 결과를 Table 4에 정리

**Table 4 Average power consumption of air fog system by control types**

Control types	Air compressor (kWh/day)	Water pump (kWh/day)	Total (kWh/day)	Average operating time (h/day)		Remarks
				Air compressor	Water pump	
Temperature	6.79	1.59	8.38	3.09	2.65	Power of air compressor: 2.2 kW Water pump: 0.6 kW
Humidity	10.91	1.62	12.53	4.96	2.70	
Temperature and Humidity	4.43	1.06	5.49	2.01	1.77	
Time-1	12.06	3.44	15.50	5.48	5.73	
Time-2	7.80	1.90	9.70	3.55	3.17	
Time-3	4.52	1.30	5.82	2.05	2.17	

하였다. 하루에 평균 5.5~15.5 kWh의 전력을 소비하였고, 공기압축기의 전력소비량이 많았다. 기상여건이 동일하지 않아 직접 비교하기는 곤란하지만 타임제어 1과 습도제어가 전력소비량이 많은 것으로 나타났다. 평균작동시간은 전력소비량을 기기의 소비전력으로 나누어 구하였다. 대체로 공기압축기의 작동시간이 워터펌프의 작동시간 보다 많았다.

### 3. 제어방법별 냉방효과

Table 5는 외부, 냉방온실 및 대조구 온실의 평균기온을 제어방법별로 나타낸 것이다. 에어포그 냉방온실의 기온은 실외기온 대비 0.4~3.0 °C 상승하고, 대조구 온실 대비 0.7~3.3 °C 낮게 유지되었다. Table 6은 외부, 냉방온실 및 대조구 온실의 평균습도를 제어방법별로 나타낸 것이다. 에어포그 냉방온실의 습도는 실외습도 대비 -2.7~5.9 %의 범위를 보였고, 대조구 온실 대비 3.5~13.5 % 높게 유지되었다. Table 7은 대조구 온실과 비교한 에어포그 냉방온실의 제어방법별 냉방효과와 가습효과를 나타낸 것이다. 냉방효과는 평균 0.7~3.3 °C, 최대 4.3~7.0 °C를 보였고, 가습효과는 평균 3.5~13.5 %, 최대 14.3~24.4 %를 보였다. 타임제어 방식이 가장 높은 냉방효과와 가습효과를 보이는 것으로 나타났다.

Montero et al. (1990)은 지중해 연안에서 본 실험의 에어포그 노즐과 유사한 형태의 압축공기-물 타입의 노즐 (공기압 600 kPa, 수압 300 kPa)을 이용하여 냉방실험을 실시한 결과 45 %의 차광 조건에서 평균 3 °C 정도의 냉방효과가 있는 것으로 보고하였다. Kim et al. (2001a)의 고압 포그냉방 실험에서는 무차광 온실에서 환기율이 낮으면 냉방효과가 거의 없었고, 환기율이 분당 0.77회 일 때 냉방효과가 4 °C 정도였으며, 70 % 차광온실에서는 환기율이 높을 경우 8~10 °C 정도의 냉방효과가 있는 것으로 보고하였다. 이들과 비교할 때 본 실험은 자연환기 조건에서 차광을 하지 않은 상태이므로 타임제어의 경우 상당한 냉방효과가 있는 것으로 판단할 수 있다.

온습도제어 방식이 온도제어나 습도제어와 같은 단일항목 제어에 비해서는 냉방효과와 가습효과가 높았다. 단일항목 제어에

**Table 5 Average air temperature difference between the fogged and un-fogged greenhouses by control types**

Control types	Temperature (°C)			Difference (°C)	
	Outside (A)	Cooling (B)	Control (C)	B-A	B-C
Temperature	34.2	35.4	36.1	1.2	-0.7
Humidity	33.9	36.2	37.2	2.3	-1.0
Temperature and Humidity	33.6	36.1	38.0	2.5	-1.9
Time-1	33.7	34.1	37.4	0.4	-3.3
Time-2	31.1	33.0	36.0	1.9	-3.0
Time-3	33.8	36.8	39.8	3.0	-3.0

**Table 6 Average relative humidity difference between the fogged and un-fogged greenhouses by control types**

Control types	Relative humidity (%)			Difference (%)	
	Outside (A)	Cooling (B)	Control (C)	B-A	B-C
Temperature	52.3	55.7	48.0	3.4	7.7
Humidity	57.4	54.7	51.2	-2.7	3.5
Temperature and Humidity	54.7	52.4	44.2	-2.3	8.2
Time-1	43.7	49.6	36.1	5.9	13.5
Time-2	45.8	48.7	35.6	2.9	13.1
Time-3	51.3	49.7	37.1	-1.6	12.6

**Table 7 Effect of cooling and humidify in the fogged greenhouse**

Control types	Cooling effect (°C)			Humidifying effect (%)		
	Average	Standard deviation	Maximum	Average	Standard deviation	Maximum
Temperature	0.7	1.5	4.3	7.7	4.7	20.4
Humidity	1.0	1.4	5.2	3.5	4.6	14.3
Temperature and Humidity	1.9	2.4	7.0	8.2	7.8	23.8
Time-1	3.3	1.5	6.7	13.5	4.6	24.4
Time-2	3.0	1.8	6.7	13.1	4.8	23.7
Time-3	3.0	2.3	5.9	12.6	5.4	21.4

서는 습도제어가 온도제어에 비하여 냉방효과가 높았으나, 가습효과는 온도제어가 습도제어보다 높았다. 타임제어에서는 분무

시간이 길수록 냉방효과와 가습효과가 높았지만 큰 차이는 없었다. 기상여건과 실험설비의 제약조건으로 분무시간만 120초, 60초, 45초로 변화시키면서 실험을 수행하여 큰 차이를 발견할 수 없었다. 비가 내리든가 날씨가 흐려서 일사량이 매우 낮고 습도는 매우 높은 경우와 같이 외부의 기상 조건을 기준으로 시스템의 가동 여부를 판단하고, 에어포그 시스템의 제어는 타임제어로서 하는 것이 효율적인 것으로 사료된다. 따라서 에어포그 시스템의 가동 여부 판단기준 설정과 효과적인 타임제어 시간 (On-Off 시간 간격) 설정을 위한 추가실험이 요망된다.

Fig. 2는 냉방효과와 한 예로서 타임제어1 실험기간 중 가장 맑은 날 (1일 적산일사량이 가장 큰 날)을 선정하여 외부, 냉방온실, 대조구 온실의 온도변화를 나타낸 것이고, Fig. 3은 가습효과와 한 예로서 온습도제어 실험기간 중 가장 맑은 날을 선정하여 외부, 냉방온실, 대조구 온실의 습도변화를 나타낸 것이다.

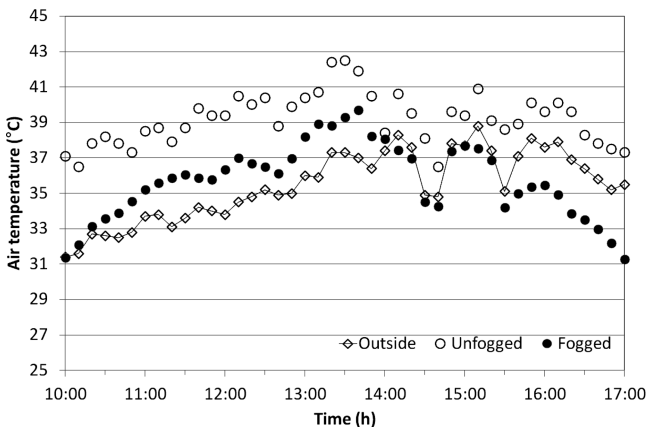


Fig. 2 Air temperature in the fogged, un-fogged greenhouses and the outside for the low pressure air fog system (Sep. 2, 2011)

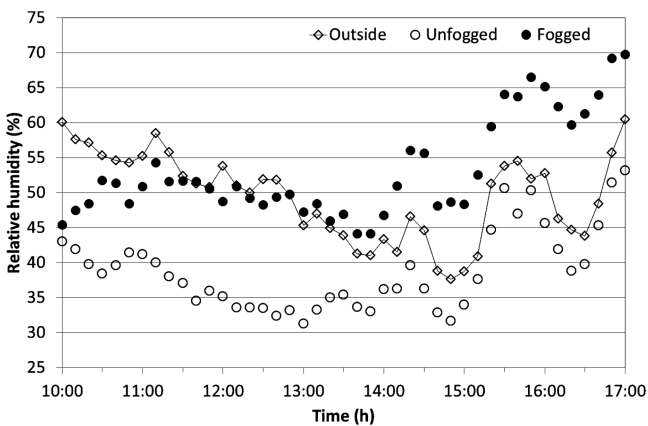


Fig. 3 Relative humidity in the fogged, un-fogged greenhouses and the outside for the low pressure air fog system (Aug. 28, 2011)

#### 4. 에어포그 냉방온실의 온습도 분포

에어포그 냉방온실의 온습도 균일도를 알아보기 위하여 온실의 길이방향으로 계측한 5점의 온습도와 온실 중앙의 높이별로 계측한 3점의 온습도를 분석하여 편차를 구하였으며 그 결과는 Table 8과 같다. 온도편차는 수평방향으로 1.6~2.9 °C, 수직방향으로 1.4~2.1 °C를 나타냈다. 습도편차는 수평방향으로 7.4~9.2 %, 수직방향으로 4.5~5.7 %를 나타냈다. 온습도 편차는 제어방식별로 큰 차이점이나 뚜렷한 경향을 발견하지 못하였다. Kittas et al. (2003)과 Nam et al. (2005)은 18 m 떨어진 거리에서 팬 앤 패드 시스템의 온도편차는 차광 조건에서 2.7~3.0 °C, 무차광 조건에서 4.5~5.8 °C 정도인 것으로 보고하였다. 본 에어포그 냉방실험에서 온습도 편차가 팬 앤 패드 방식보다는 훨씬 작게 나타났으나 보다 균일한 환경을 조성하기 위해 개선의 여지는 있는 것으로 판단된다. 공기유동 팬을 도입하여 실내 공기를 유동시킴으로써 온습도 편차를 줄이고 냉방효율을 높힐 필요가 있을 것으로 사료된다. Table 8 중 습도제어와 타임제어3의 경우 수직방향 온습도 기록계의 오류로 데이터를 얻지 못하였다.

Table 8 Average difference of air temperature and relative humidity in the fogged greenhouses by control types

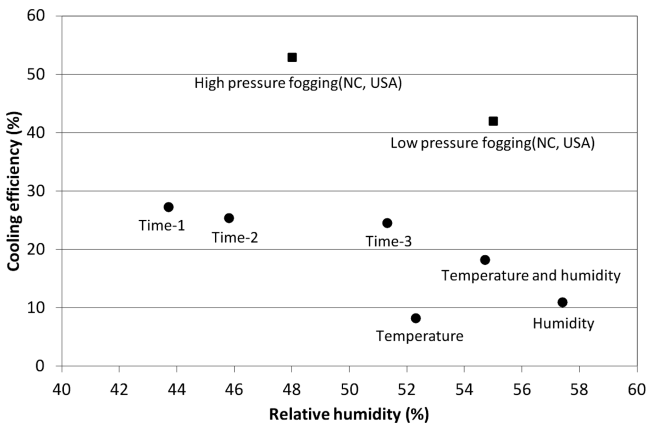
Control types	Temperature difference (°C)		Humidity difference (%)	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Temperature	1.6	1.7	7.5	5.2
Humidity	1.9	-	7.4	-
Temperature and Humidity	2.3	2.1	7.4	5.7
Time-1	2.0	1.4	7.4	4.5
Time-2	2.7	1.5	9.0	4.8
Time-3	2.9	-	9.2	-

#### 5. 제어방법별 냉방효율

식 (1)을 이용하여 제어방법별로 냉방효율을 구하면 Table 9와 같다. 냉방효율은 평균 8.3~27.3 %로 나타나 Li and Willits (2008)이 미국에서 실험한 고압 포그시스템 53 %와 저압 포그시스템 43 %에 비하여 매우 낮게 나타났다 (Fig. 4). 이 결과로 볼 때 에어포그의 경우 분무입자의 증발율이 상당히 낮은 것으로 판단된다. 하지만 우리나라와 비슷한 기후조건인 일본에서 실험한 고압 포그시스템의 냉방효율은 19.7~29.5 %인 것으로 보고되고 있다 (Abdel-Ghany and Kozai, 2006). 이 자료는 습도를 알 수 없어 Fig. 4에는 표시할 수 없었지만 본 실험의 타임제어에서 나타난 냉방효율 24.6~27.3 %의 경우와 매우 유사한 결과를 보인다. 이는 에어포그 시스템이 저압이지만 압축공기

**Table 9 Average cooling efficiency of the air fog system by control types**

Control types	$T_{fog}$ (°C)	$RH_{fog}$ (%)	$T_{Wfog}$ (°C)	$T_{unfog}$ (°C)	Cooling efficiency (%)
Temperature	35.4	55.7	27.7	36.1	8.3
Humidity	36.2	54.7	28.1	37.2	11.0
Temperature and Humidity	36.1	52.4	27.6	38.0	18.3
Time-1	34.1	49.6	25.3	37.4	27.3
Time-2	33.0	48.7	24.2	36.0	25.4
Time-3	36.8	49.7	27.6	39.8	24.6



**Fig. 4 Cooling efficiency vs. outside relative humidity by control types**



**Fig. 5 A view of air fog sprayed in high humidity conditions**

를 이용함으로써 고압 포그시스템과 비슷한 정도의 냉방효율을 얻을 수 있음을 알 수 있고, 노즐의 막힘 문제 등에서 유리할 수 있을 것으로 판단된다.

제어방법별 냉방효율은 냉방효과 (대조구 온실과 냉방온실의 온도차이)와 거의 같은 경향을 나타냈으며 타임제어가 가장 컸

다. 온도제어의 효율이 가장 낮았다. 온도제어의 경우 Fig. 5에서 보는데와 같이 습도가 높아도 온도가 설정값보다 높으면 무조건 포그를 분사하므로 증발하지 못한 분무입자가 온실을 가득 채워 짙은 안개가 낀 상황을 연출하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 앞의 냉방효과에서 언급한 바와 같이 효율적인 제어로직을 개발하기 위해서는 추가적인 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

에어포그 냉방시스템의 효율적인 이용방안을 도출하기 위하여 저압 에어포그 노즐을 설치한 토마토 재배 온실에서 냉방실험을 통하여 제어방법별로 냉방효율을 분석하였다. 제어방법은 온도제어, 습도제어, 온습도제어, 타임제어로 설정하였다. 냉방효과는 평균 0.7~3.3 °C, 최대 4.3~7.0 °C를 보였고, 가습효과는 평균 3.5~13.5 %, 최대 14.3~24.4 %를 보였다. 타임제어 방식이 가장 높은 냉방효과와 가습효과를 보이는 것으로 나타났다. 온습도제어 방식이 온도제어나 습도제어와 같은 단일항목 제어에 비해서는 냉방효과와 가습효과가 높았다. 단일항목 제어에서는 습도제어가 온도제어에 비하여 냉방효과가 높았으나, 가습효과는 온도제어가 습도제어보다 높았다. 타임제어에서는 분무시간이 길수록 냉방효과와 가습효과가 높았지만 큰 차이는 없었다. 비가 내리든가 날씨가 흐려서 일사량이 매우 낮고 습도는 매우 높은 경우와 같이 외부의 기상 조건을 기준으로 시스템의 가동 여부를 판단하고, 에어포그 시스템의 제어는 타임제어로 하는 것이 효율적인 것으로 사료된다. 따라서 에어포그 시스템의 가동 여부 판단기준 설정과 효과적인 타임제어 시간 설정을 위한 추가 실험이 요망된다. 냉방효율은 평균 8.3~27.3 %로 나타나 미국에서 실험한 고압 포그시스템 53 %와 저압 포그시스템 43 %에 비하여 매우 낮게 나타났다. 이 결과로 볼 때 에어포그의 경우 분무입자의 증발율이 상당히 낮은 것으로 판단된다. 하지만 우리나라와 비슷한 기후조건인 일본에서 실험한 고압 포그시스템의 냉방효율 19.7~29.5 %와 비교하면 본 실험의 타임제어에서 나타난 냉방효율 24.6~27.3 %의 경우는 매우 유사한 결과를 보인다. 이는 에어포그 시스템이 저압이지만 압축공기를 이용함으로써 고압 포그시스템과 비슷한 정도의 냉방효율을 얻을 수 있음을 알 수 있고, 노즐의 막힘 문제 등에서 유리할 것으로 판단된다.

이 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

1. Albright, L. D., 1990. *Environment control for animals and plants*. ASAE. St. Joseph, Michigan. p.31-32.
2. Abdel-Ghany, A. M., and T. Kozai, 2006. Cooling efficiency of fogging systems for greenhouses. *Biosystems Engineering* 94(1): 97-109.
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. Arbel, A., M. Barak, and A. Shklyar, 2003. Combination of forced ventilation and fogging systems for cooling greenhouses. *Biosystems Engineering* 84(1): 45-55.
5. ASAE Standards, 1997. *Heating, ventilating and cooling greenhouses*. ASAE. St. Joseph, Michigan. p.663-670.
6. Kim, M. K., K. S. Kim, and H. J. Kwon, 2001a. 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, M. K., K. S. Kim, and S. W. Nam, 2001b. Efficient application of greenhouse cooling systems. *Ministry of Agriculture and Forestry*. pp.186-188 (in Korean).
8. Kittas, C., T. Bartzanas, and A. Jaffrin, 2001. Greenhouse evaporative cooling: measurement and data analysis. *Transactions of the ASAE* 44: 683-689.
9. 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.
10. Lee, H. W., and Y.S. Kim, 2011. Application of low pressure fogging system for commercial tomato greenhouse cooling. *Journal of Bio-Environment Control* 20(1): 1-7 (in Korean).
11. Li, S., and D. H. Willits, 2008. Comparing low-pressure and high-pressure fogging systems in naturally ventilated greenhouses. *Biosystems Engineering* 101: 69-77.
12. Montero, J. I., A. Anton, C. Biel, and A. Franquet, 1990. Cooling of greenhouses with compressed air fogging nozzles. *Acta Horticulturae* 281: 199-209.
13. Nam, S. W., G. A. Giacomelli, K. S. Kim, and N. Sabeh, 2005. Analysis of temperature gradients in greenhouse equipped with fan and pad system by CFD method. *Journal of Bio-Environment Control* 14(2): 76-82 (in Korean).
14. Nam, S. W., W. M. Seo, Y. C. Yoon, S. K. Lee, I. B. Lee, H. W. Lee, and B. K. Cho, 2008. *Bio-environment control engineering*. Cheongsol Pub. Daegu. p.28-68 (in Korean).
15. Nam, S. W., Y. S. Kim, I. M. Sung, and G. H. Ko, 2011. Operation status and improvements of low pressure air fog nozzles installed in greenhouses. *Proceeding of Bio-Environment Control* 20(2): 210-211 (in Korean).