

## 안개분무(포그) 결합 유동팬의 온실 냉방과 토마토 재배 효과 평가 연구

임류갑<sup>1</sup>, 손진관<sup>2\*</sup>, 박민정<sup>2</sup>, 윤성욱<sup>2</sup>, 강동현<sup>3</sup>, 공민재<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>한국농업기술진흥원 디지털농업본부, <sup>2</sup>국립농업과학원 농업공학부 에너지환경공학과,  
<sup>3</sup>한국농수산대학교 교양공통과, <sup>4</sup>국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과

### Evaluation Study on the Effect of Greenhouse Cooling and Tomato Cultivation by Airflow Fan and Fog Combined System

Ryugap Lim<sup>1</sup>, Jinkwan Son<sup>2\*</sup>, Minjung Park<sup>2</sup>, Sungwook Yun<sup>2</sup>,  
Donghyeon Kang<sup>3</sup>, Minjae Kong<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Digital Agriculture, Korea Agriculture Technology Promotion Agency  
<sup>2</sup>Division of Energy & Environmental, Department of Agricultural Engineering, NIAS, RDA  
<sup>3</sup>Dept. of General Education, Korea National University of Agricultural & Fisheries  
<sup>4</sup>Division of Crop Protection, Department of Agricultural Safety, NIAS, RDA

**요약** 본 연구는 고압 포그시스템에 비해 경제적인 저압 포그시스템과 공기유동팬을 결합하여 냉방효과를 확인하고 실제 온실 생육 실험을 통해 사용 가능성을 검토하고자 연구를 수행하였다. 연구결과, 면적이 2,000 m<sup>2</sup> 이상인 연동형 온실과 유리온실의 경우 3℃ 저감시키기 위해 필요 분부량은 37.600L/min(노즐 800개)와 42.488L/min(904개)로 분석되었다. 냉방효과를 살펴보기 위해 도출된 회귀식 분석 결과 외부온도 32.00℃일 때 유동팬만 구동한 대조구는 0.27℃, 안개분무(포그) 노즐 결합 유동팬 운용 시 1.52℃ 저감효과를 확인하였다. 생육실험 결과 경경, 초장, 엽장, 엽폭 등 유동팬 사용 유무에 따른 확연한 차이는 확인되지 않았으나 9주차에 접어들면서 대조구는 생육이 어려웠지만 안개분무 유동팬 시험구는 계속 생육하는 것으로 조사되었다. 더불어 실험구에서 토마토의 순량률은 높아지는 것으로 확인되었다. 본 연구 결과는 냉방효과 및 냉방효율이 증가하는 것으로 확인되어 실제 농가의 활용 가치가 높은 것으로 판단된다.

**Abstract** This study confirmed that combining a low-pressure fog system and an airflow fan led to a cooling effect. The feasibility of using this combined system was examined through actual greenhouse growth experiments to improve the cooling efficiency. Approximately 37.600 L/min (800 fog nozzles) and 42.488 L/min (904 fog nozzles) were required to decrease the temperature by 3℃ in an interlocking greenhouse and a glass greenhouse with an area of  $\geq 2,000$  m<sup>2</sup>. When the external temperature was 32℃, the control with only an airflow fan was at 0.27℃. On the other hand, when the fan with mist spray fog nozzles was operated, a reduction of 1.52℃ was confirmed using the derived regression equation. The growth experiment found no significant differences in plant height, plant weight, leaf length, and leaf width depending on whether an airflow fan was used, but the net yield rate of tomatoes increased depending on whether the fan was used. This study confirmed the increase in cooling effect and efficiency. Moreover, the utilization value of this system on farms is high.

**Keywords** : Fog Combined System, Greenhouse Cooling, Fog nozzles, Airflow Fan, Tomato Cultivation

본 연구는 2021, 2022년 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사업(PJ01510403)에 의해 이루어진 것임.

\*Corresponding Author : Jinkwan Son(National Institute Agricultural Sciences, RDA)

email: son007005@korea.kr

Received September 20, 2022

Revised November 24, 2022

Accepted December 7, 2022

Published December 31, 2022

## 1. 서론

한국의 시설원예는 전체 원예산업의 40% 이상으로 고소득과 부가가치를 창출하여 백색혁명으로 평가받았고 [1-5], 자동화, 스마트팜, 정밀농업 등을 통해 관련 기술과 생산 품질은 향상되고 있다[6,7]. 시설원예에 투입하는 중요한 기술은 광량, 온도, 습도, 수분, 비료, 양액, 시설, 배지 등의 다양한 환경조건을 작물이 요구하는 최적의 상태로 제공하는 것이며, 우리나라의 겨울철 호박과 여름철 옥서는 난방, 환기, 기습, 제습, 냉방을 통해 극복하고 있다[8,9]. 일반적으로 시설온실 운영 시 약 10℃ 이하일 때 난방, 30℃ 이상일 때 냉방이 필요한 것으로 알려져 있다[10].

기후변화로 인한 온실 냉방은 농가의 생산성과 시설 활용 측면에서 중요해졌다. 2009년에 실시한 NIMR[11]의 A1B 시나리오는 21세기말 기온 변화를 한반도 전역에서 4℃, 남한 내륙지역에서 3.8℃ 상승할 것으로 예측하였다[12]. 이러한 기온상승은, 농업부문의 파종, 개화, 관개, 비료, 수확 등 작물생육 전분야에서 영향과 변화를 동반하여 생산물과 소득 감소 등의 피해가 예상된다 [13-16]. 현재도, 여름철 한낮에 온실 내부 기온은 작물이 정상적으로 생육이 불가능할 정도인 35℃ 까지 상승하는 날이 많아 경제적 부담, 고온장애 등의 이유로 재배를 포기하고 휴경하는 경우가 많으며[17-22], 국내 일부 고산지역에서는 히트펌프, 차광, 안개분무, 환기팬, 유동팬 등의 기술을 복합적으로 접목하여 여름철 작물생산을 추진하지만 온도관리에 어려움이 있고 냉방부하 요구도에 미치지 못하는 것이 현실이다[23]. 더불어 시설원예단지 주변 온도까지 흡수하는 온실효과를 동반할 수 있어 냉방부하를 줄이는 기술은 더욱 중요해 지고 있다 [1,9,24]. 또한, 시설의 유효성 측면에서 작물생육에 적합한 온도로 낮추기 위해 온실 냉방 시설을 적극적으로 활용해야 한다.

다양한 냉방부하 저감 기술 중 안개분무(포그)를 이용한 증발냉각 시스템은 가장 효율적인 냉방 방법으로 알려져 있으며, 팬 앤 패드 시스템과 포그 시스템이 가장 일반적으로 사용되고 있다[17,25]. 이 안개분무 장치는 온실 내부에 그늘을 형성하지 않는다는 장점으로 온실 온도를 낮추기 위한 유용한 시스템으로 평가받는 방법이다[17,25-29]. 그러나 우리나라 여름철 고온기의 온실 경작 실태조사에서 대부분의 시설재배 농가가 휴경하고 있고, 경작 농가도 증발냉각 시스템을 설치하는 등의 냉방을 실시하는 농가도 거의 없는 것으로 조사되었다[30].

또한, 포그시스템을 설치한 농가도 고장이 많고 운영비가 많이 들어 이용율은 매우 낮은 것으로 보고하였다 [31]. 포그 시스템은 작동압력에 따라 저압과 고압 포그 시스템으로 구분되며, 고압시스템이 저압시스템에 비하여 분무 입경이 작아 더 빨리 증발하기 때문에 냉방효율이 높으나 설치비와 유지비가 훨씬 많이 들어가는 것으로 알려져 있다[32,33]. 한편, 저압 포그시스템 사용실태 조사 결과 설치기준과 제어 등 명확한 방법에 대한 제시가 없어 운영에 많은 문제점을 내재하고 있는 것으로 보고되었다[34]. Nam[35]은 토마토 재배 온실에서 이류체 포그시스템을 이용한 냉방실험을 실시하여 제어방법별로 냉방효율을 분석한 결과 타이제어 방식이 가장 높은 냉방효율을 나타내는 것을 확인하였으며, 냉방효율을 높이기 위해서 최적의 분무사이클 도출이 필요하다고 하였다. 더불어 온습도 편차를 줄여 보다 균일한 환경을 조성하기 위해 유동팬을 도입하여 실내 공기를 유동시켜 냉방효율을 높일 필요가 있다고 하였다[20]. 실제로 유동팬은 온실의 환경을 균일하게 하는데 도움이 되며, 환기에도 필수적인 기술로 평가받는다[36-39]. 따라서 본 연구에서는 안개분무(포그)와 유동팬을 결합하여 온실 냉방 성능을 증진시키고자 연구를 진행하였다.

안개분무(포그) 장치와 공기유동팬을 결합한 국내의 기술 특허로는 팬 본체, 공기 가열 히터, 출구에 원주 방향으로 설치된 분무노즐, 분무액 공급관으로 구성된 냉·난방 및 공기 살균을 통해 시설 내부의 온습도를 제어하는 다기능 공기순환팬이 개발되었으며, 공기 이동 블로워, 히터, 공기정화필터, 이류체 분사노즐로 구성된 비닐 하우스용 온습도 조절장치의 냉방효과가 입증 되었다 [40]. 더불어 축사 내부의 온도를 낮추고 소독액을 송풍시킬 수 있는 농축산용 미스트 송풍장치[41,42]와 작물 균락 위로 포그를 분사시키고 상방향 난류로 증발을 촉진시키는 온실 냉방장치[43] 등을 확인할 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 고압 안개분무(포그)시스템에 비해 경제적인 저압 안개분무(포그)시스템과 공기유동팬을 결합하여 냉방효과를 확인하고자 하였다. 더불어 실제 온실 생육 실험을 통해 사용 가능성을 검토하고 냉방 효율을 알아보았다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 안개분무(포그) 결합을 위한 유동팬 선정

국내 수경재배 운영 중인 시설원예 온실 조사결과를

중심으로 다수에서 사용되는 유동팬에 대해 풍속 도달 거리를 DELTA OHM AP471S2 풍속센서를 활용하여 측정하고 본 연구에 사용할 결합용 유동팬으로 선정하였다. 먼저 예비시험으로 날개크기를 기준으로 250mm, 300mm, 350mm로 구분하여 각 2종류씩, 총 6기종의 풍속 도달거리를 측정하였다.

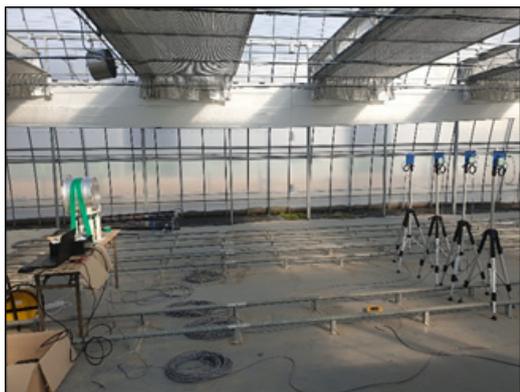


Fig. 1. Wind velocity distance reading experiment

정면 2m 지점에서 측정한 풍속은 팬크기 250mm가 1.12~1.15 m/s, 300mm가 3.12~3.72 m/s, 350mm가 3.92~4.08 m/s로 측정되었다. 6가지 유동팬 종류별 중앙부에서 측정된 풍속을 거리별로 저감 정도를 측정할 결과 대부분 10m 지점에서는 0.5m/s정도의 풍속으로 평가되었다. 안개 형태의 분무입자를 공기 중에 마찰시키기 위해서는 30cm 정도의 날개크기를 갖는 풍속은 필요하다고 판단하였다. 본 연구에서 사용하게 될 안개분무(포그)장치 결합을 위한 유동팬의 날개크기는 30cm로 선택하여 연구를 수행하였다.

## 2.2 선정 유동팬과 안개분무(포그) 결합 및 운용

국내 수경재배 운영 중인 시설원에 온실을 중심으로 조사한 유동팬 현황을 근거로 팬 날개 크기 30cm의 유동팬에 안개분무 노즐을 결합하는 방법을 제시 하고자 하였다. 팬 날개 크기 30cm의 유동팬에 안개분무 노즐을 결합 시 노즐과 결합부위 연결 등으로 노즐을 최대 10개까지 부착 가능한 것으로 조사되었다.

세부적인 구성은 시설 내의 온습도를 측정하기 위한 온습도 센서(Dry-bulb, Wet-bulb), 온습도 센서의 결과 값에 기초하여 안개분무가 분사되는 양을 제어하는 제어시스템(Controller), 노즐로 물을 제공하는 가압펌프(Inverter type pump), 안개분무에서 사용되는 물을

저장하는 탱크(Water reservoir), 안개분무를 분사시키는 저압노즐(Fog nozzles)과 분사된 안개분무의 순환 기능을 증가시키는 유동팬(Airflow fan)으로 구성하여 실험을 진행하였다.



Fig. 2. The combined methods of airflow fan and fog

## 2.3 냉방부하에 근거한 안개분무 필요 수량 평가

안개분무(포그) 냉방은 액체상태인 물 1kg이 증발하여 기체상태인 수증기로 변할 때, 약 540kcal의 열에너지를 주위 공기로부터 흡수하여 공기가 냉각되는 증발냉각원리를 이용한 온실 냉방방법이다. 한편, 여름철 한낮의 자연환기중인 시설원에 온실 내부기온은 외기온보다 5℃ 이상 높아 대다수 온실 작물의 생육한계 기온인 35℃를 초과하는 경우가 흔해 미세한 수분 입자를 공기중에서 증발시켜 증발잠열에 의해 공기를 냉각하는 방식으로, 실내 상대습도가 낮을수록 증발효율이 좋아 냉방효과도 크다. 실내 기온이 상승하면 온도에 의존하는 상대습도는 낮아지는데 우리나라 여름철 맑은 날 온실내부 상대습도는 50% 이하인 경우가 대부분으로 증발냉각에 유리하다.

$$\text{Formula 1} \quad Q_T = Q_R - Q_W - Q_V - Q_P \quad (1)$$

$Q_T$ =Cooling load in greenhouse(W),  $Q_R$ =Solar radiation,  
 $Q_W$ =Amount of heat transmission,  $Q_V$ =Amount of heat ventilation,  
 $Q_P$ =Amount of heat evapotranspiration

$$\text{Formula 2} \quad E_{fog} = \frac{Q_T}{1000\lambda_w \epsilon_f} \quad (2)$$

$E_{fog}$ =Amount of fog spray quantity(L/min),  
 $\lambda_w$ =Latent Heat of Water Evaporation(kJ/kg),  $\epsilon_f$ =Evaporation Efficiency

안개분무(포그)를 이용한 증발냉각은 냉방부하가 설계되어야 하는데 냉방부하 계산을 위한 설계 외기온과 일

사량은 국내 건축설비 설계의 경우에는 난방설계와 마찬가지로 TAC 2.5%를 사용하고 있다[44]. 연구에서는 이를 준하여 냉방부하를 식1과 같이 계산하였으며, 계산된 냉방부하 및 안개 분무량에 따른 노즐개수를 계산하였다. 사용된 안개분무(포그)노즐은 증발효율을 60%로 설정하고 저압노즐(FGC15, 직경:0.15mm, 압력:20~70kg/cm<sup>3</sup>, 재질:STS) 1개당 분무수량은 0.047 L/min로 계산하였다. 냉방부하 계산에 적용한 온실 유형별 크기는 단동형(Single vinyl)이 폭 7.0m, 길이 97.2m, 측고 1.4m, 동고 3.3m, 온실표면적 1096.2m<sup>2</sup>, 바닥면적 680.4m<sup>2</sup>이며, 연동온실(Multi vinyl)은 폭 21m(7m×3연동), 길이 97.0m, 측고 2.8m, 동고 4.7m, 온실표면적 3194.8m<sup>2</sup>, 바닥면적 2037.0m<sup>2</sup> 이었다. 유리온실(Multi glass)은 폭 24m(4m×6연동), 길이 96.0m, 측고 6.0m, 동고 7.0m, 온실표면적 4040.0m<sup>2</sup>, 바닥면적 2004.0m<sup>2</sup>의 표준온실 규격을 사용하였다. 열전달률은 6.6W·m<sup>-2</sup>·℃, 최고 외기온은 38℃, 온실 내부 설정온도 목표는 32℃, 수평면 전천일사량은 전주지역을 기준으로 TAC2.5를 적용 872W·m<sup>-2</sup>로 하고 광투과율은 0.88%를 적용하였다.

실험 대상온실의 냉방부하 계산은 표준온실 중 유리온실 적용 기준에 면적을 달리하여 계산하였다. 이때 폭은 5.4m, 길이 24.4m, 측고 6.0m, 동고 7.0m로 온실표면적 608.6m<sup>2</sup>, 바닥면적 131.8m<sup>2</sup>을 적용하여 평가하였다.

## 2.4 실험대상 온실 냉방효과 및 토마토 생육시험

안개분무(포그) 결합 유동팬의 온도저감과 작물재배 효율을 알아보기 위하여 전주시 농생명로에 위치한 폭 10.8m, 길이 24.4 m 높이 7.0m의 벤로형 유리온실에서 시험을 실시하였다.

시험은 해당온실을 정확히 구분하여 교란이 일어나지 않도록 차단하여 처리구(Airflow Fan and Fog Combined System Experimental Zone)과 대조구(Untreated Zone)에서 실험을 수행하였다.

처리구는 안개분무(포그) 노즐 결합형 공기유동팬 6개로 총 투입 노즐은 60개(유동팬 6 \* 노즐결합 10)를 사용하였으며, 대조구는 공기유동팬만을 사용하였고, 생육시험에 사용한 작물은 방울토마토(노나리)를 재배하였다.

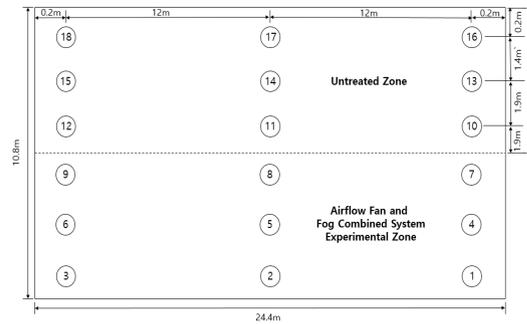


Fig. 3. The temperature sensors location and experimental greenhouse size

Table 1. Greenhouse type and specifications used in the cooling load test

Classification	Greenhouse Types		
	Single vinyl (10-single-2)	Multi vinyl (07-multi-1, 1-2W)	Multi glass (Venro, 8m span)
Maximum Height (m)	3.3	4.7	7.0
Side Height (m)	1.4	2.8	6.0
Width (m)	7.0	7.0	4.0
Length (m)	97.2	97.0	96.0
Roof radius length (m)	5.0	6.0	-
Greenhouse numbers (No.)	1.0	3.0	6.0
Roof Size (m <sup>3</sup> )	778.8	2467.5	2576.0
Side Size (m <sup>3</sup> )	278.3	543.2	1152.0
Bottom Heading Size (m <sup>3</sup> )	39.0	184.1	312.0
Bottom Size (As, m <sup>3</sup> )	680.4	2037.0	2304.0
Covering Size (Ag, m <sup>2</sup> )	1096.2	3194.8	4040.0
Warming Ratio (As / Ag)	0.621	0.638	0.570
Ag / As, (A ratio)	1.611	1.568	1.753

자세한 실험 온실의 규격은 Fig. 3과 같으며, 온실의 온습도를 측정하기 위한 계측센서는 Hobo를 각각 9구역에 걸쳐 상(Up), 중(Mid.), 하(Down)에 설치하여 총 54지점의 데이터를 2021. 7. 21 ~ 2021. 9. 30.까지 10분단위로 수집하였다. 더불어 기준온도는 외부에 2개의 센서를 설치하여 평가에 사용하였다. 수집된 온도 데이터는 외부온도의 평균을 기준으로 상층부, 중층부, 하층부의 평균온도를 비교하였으며, 외부기온 기준 28.0℃ 이상으로 관측된 2,384점의 수집 데이터를 기반으로 외기온 대비 저감효과를 추세식(Regression)을 통해 알아보고 평가하였다.

토마토 생육시험은 6월 22일 정식한 후 3주 후인 일 8월 12일(6 weeks) 첫 수확이 이루어 졌으며, 정식 후 9주가 경과될 때 까지 농업과학기술 연구조사분석기준 [45]에 준하여 경경(Stem diameter, mm), 초장(Plant height, cm), 엽장(Leaf length, cm), 엽폭(Leaf width, cm), 엽수(No. of Leaf, Numbers) 등을 측정하였으며, 엽록소함량(Leaf chlorophyll, SPAD)을 3반복하여 분석하였다.



Fig. 4. The picture of tomato cultivation experiment

토마토는 총 6차레에 걸쳐 수확하여 총량을 비교하였으며, 총 수확량 대비 불량과를 구분하여 순량을 비교 분석하였다.

생육시험 결과는 대조구와 시험구 두 집단 간의 유의미한 차이가 있는지 확인하기 위해 SPSS 25.0을 이용해 통계 분석을 t검정으로 수행하고 사후분석을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 안개분무 결합 유동팬의 예상 냉방효과 분석

국내에서 사용중인 기준 온실에 근거하여 안개분무(포그) 노즐과 유동팬 필요 수량을 알아 보고자 하였다. 앞서 분석한 내용을 바탕으로 지름 30cm의 날개 크기가 운용되는 유동팬에 부착 가능한 최대 노즐은 10개로 설정하여 분석하였다.

먼저 기준온실에서 실내온도를 32℃로 설정한다는 목표로 냉방부하를 분석했을 때 단동비닐온실 680.4m<sup>2</sup> 면적의 경우 1℃를 저감 시키는데 필요한 물 소요량은 11.985L/min(필요 노즐 255개)로 분석되었다. 추가로 1℃ 더 저감시키는 Δ2의경우 13.301L/min(283개), Δ3는 14.617L/min(311개)로 유동팬 1개에 10개의 노즐을 부착 시 3℃ 저감시키기 위해 필요 유동팬 수량은 31개로 분석되었다.

Table 2. Analysis of number of nozzles based on cooling load test of standard greenhouse type

Reduction Effect (℃)	Greenhouse Types					
	Single vinyl		Multi vinyl		Multi glass	
	Nn	Mw	Nn	Mw	Nn	Mw
Δ1	255	11.985	720	33.840	814	38.258
Δ2	283	13.301	760	35.720	859	40.373
Δ3	311	14.617	800	37.600	904	42.488
Δ4	339	15.933	840	39.480	949	44.603
Δ5	367	17.249	881	41.407	994	46.718

\* Nn : Number of nozzle (Unit : numbers), Mw : Mount of water (Unit : L/min)

면적이 2,000 m<sup>2</sup> 이상인 연동형온실과 유리온실의 경우 3℃ 저감시키기 위해 필요한 분부량은 37.600L/min(포그 노즐 800개)와 42.488L/min(904개)로 분석되었다. 이것은 냉방부하에 근거한 필요 분부량과 안개분무(포그) 수량만을 기준으로 분석한 내용으로 자연환기, 차광, 공기순환, 측창, 천창 등 다양한 냉방 기술이 결합되었을 때는 적은 수량만으로도 냉방효율을 기대할 수 있다고 판단된다. 더불어 기존 냉방 기술인 유동팬에 안개분무(포그) 노즐을 결합한다면 더 넓은 범위로의 증발을 기대할 수 있으므로 추가 연구를 통해 유동팬에 결합된 안개분무 노즐의 실제 효율을 알아 볼 필요가 있다고 판단된다.

#### 3.2 실험 대상온실 안개분무(포그) 필요 수량

실험대상 온실에서 실내온도를 32℃로 설정한다는 목표를 기준온실과 동일하게 설정한 후 필요한 노즐의 개

수 및 분무량을 평가하였다. 냉방부하를 분석했을 때 실험온실 면적 131.76m<sup>2</sup> 경우 1℃를 저감 시키는데 필요한 안개분무 노즐 수량은 155개, 분무량은 7.285L/min 가 필요한 것으로 분석되었으며, △2의 경우 159개 (7.473L/min), △3 163개(7.661L/min), △4 166개 (7.802L/min), △5 170개(7.990)로 유동팬 1개에 10개의 노즐을 부착 시 3℃ 저감시키기 위해 필요한 팬 수량은 16개로 분석되었다. 연구대상 온실에서 냉방효과를 구현하기 위해 실제 필요한 안개분무(노즐)의 수량은 약 160여개로 평가되지만 본 연구는 유동팬에 결합하여 그 효과를 평가하고자 유동팬 6개에 안개분무(포그) 노즐을 각 10개씩 부착하여 60 노즐을 설치하고 냉방효과를 평가하였다.

### 3.3 안개분무 결합 유동팬의 온실 냉방 효과

실험대상 온실에서 실내온도를 32℃로 설정한다는 목표를 기준온실과 동일하게 설정 한 상태에서 필요한 노즐의 개수는 160개 이지만 유동팬에 결합 시 효과를 알아보기 위해 60개를 결합하여 평가를 실시하였다. 실험 온실은 면적을 131.76m<sup>2</sup>로 동일하게 구분하였으며, 유동팬만 설치한 곳을 대조구(Untreated Zone, Uz), 안개분무 결합 유동팬을 설치한 구역을 시험구(Experimental Zone, Ez)로 구분하였다. 각 실험온실을 9구역으로 나눈 후 상(Up), 중(Mid.), 하(Down)에 센서를 설치하여 2021. 7. 21 ~ 2021. 9. 30.까지 10분단위로 온도 데이터를 수집하였다. 수집된 온도 데이터는 외부온도의 평균을 기준으로 28.0℃ 이상으로 관측된 2,384점을 기준으로 온실내부 상층부, 중층부, 하층부의 평균온도와 비교하였다.

Table 3. The regression of reduction temperature by untreated and experimental zone

Classification	Regression		
	Formula	R2	
Untreated Zone	Up	$y = -0.3530x + 9.7485$	0.5074
	Mid.	$y = -0.4540x + 12.7317$	0.6271
	Down	$y = -0.4752x + 13.0370$	0.6179
Experimental Zone	Up	$y = -0.4162x + 11.7998$	0.5924
	Mid.	$y = -0.4400x + 11.9910$	0.5873
	Down	$y = -0.4847x + 13.2740$	0.6486

분석결과 외기온 28.0℃ 이상일 때 모든 구역에서 Table 2, Fig. 5와 같이 온도저감(Reduction Temp.)

이 된다는 통계적 수식을 도출할 수 있었다. 세부적으로 살펴보면 대조구(Untreated Zone) 상(Up) 구역에서  $y = -0.3530x + 9.7485$  ( $R^2 = 0.5074$ ), 중(Mid.)에서  $y = -0.4540x + 12.7317$  ( $R^2 = 0.6271$ ), 하(Down)는  $y = -0.4752x + 13.0370$  ( $R^2 = 0.6179$ )로 모든 구역에서 음(-)의 관계이며 결정계수( $R^2$ )도 대부분 상관성이 인정되는 수준으로 평가되었다.

시험구(Experimental Zone)에서 도출된 회귀식은 상(Up)은  $y = -0.4162x + 11.7998$  ( $R^2 = 0.5924$ ), 중(Mid.)은  $y = -0.4400x + 11.9910$  ( $R^2 = 0.5873$ ), 하(Down)는  $y = -0.4847x + 13.2740$  ( $R^2 = 0.6486$ )로 대조구와 동일하게 모든 구역에서 음(-)의 관계이며 결정계수( $R^2$ )도 대부분 상관성이 인정되는 수준으로 유사하게 평가되었다.

산정한 방정식에 외부온도(x)를 28℃부터 기입하면 각 실험온실의 온도(y)가 계산된다. 외부온도가 32.00℃ 일 때 유동팬만 구동한 대조구의 경우 31.73℃로 0.27℃ 저감 효과가 분석되었지만 안개분무(포그) 노즐 결합 유동팬 운용 시 30.48℃로 1.52℃ 저감효과를 확인하였다.

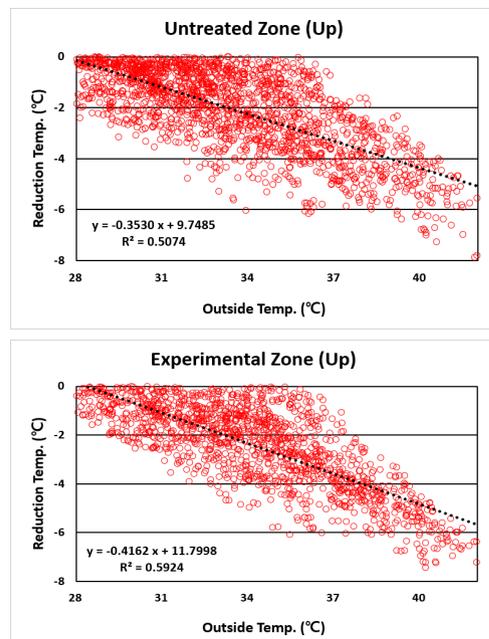


Fig. 5. The regression of outside and reduction temperature by up section

이 두 곳의 저감온도 차이(Effect, Ez-Uz)는 1.25℃로 냉방부하 계산식에 근거하면 약 156개의 노즐을 사용하여 7.332L/min를 분사한 온도저감 효과를 유동팬에

결합한 60개의 안개분무 노즐로 2.820L/min분사로 효과를 확인할 수 있었다.

본 시험결과를 미루어 봤을 때 외부온도 35℃일 때 안개분무 노즐만 사용 시 32℃ 목표온도 도달에 필요한 분무 노즐은 163개(분무량 7.661L/min)가 필요하다는 냉방부하 계산에서 확인되지만 유동팬에 결합한 분무노즐 60개(분무량 2.820L/min)만으로 2.77℃ 저감이 확인되어 약 100여개의 노즐과 분무량 4.841L/min의 절감 효과가 인정되었다. 즉 안개분무 노즐만 사용하는 것보다 노즐을 유동팬에 결합하는 방법은 냉방부하 저감에 효과적인 방법으로 평가될 수 있다. 본 연구의 유동팬 결합 노즐은 분무된 안개 입자를 장시간 공기와 마찰하게 함으로 증발 효과가 증가되었다고 볼 수 있다. 실제로 안개의 증발효과에 영향을 미치는 요인으로 공기마찰 증가[46-48]가 거론된 선행연구의 결과와 일맥상통하다.

Table 4. The effect of reduction temperature using regression in up section of untreated and experimental zone

Outside	Untreated Zone (Uz)		Experimental Zone (Ez)		Effect (Ez-Uz)
	Temp.	Effect	Temp.	Effect	
28	28.98	0.98	28.15	0.15	-0.84
29	29.67	0.67	28.73	-0.27	-0.94
30	30.36	0.36	29.31	-0.69	-1.04
31	31.05	0.05	29.90	-1.10	-1.15
32	31.73	-0.27	30.48	-1.52	-1.25
33	32.42	-0.58	31.07	-1.93	-1.35
34	33.11	-0.89	31.65	-2.35	-1.46
35	33.79	-1.21	32.23	-2.77	-1.56
36	34.48	-1.52	32.82	-3.18	-1.66
37	35.17	-1.83	33.40	-3.60	-1.77
38	35.85	-2.15	33.98	-4.02	-1.87
39	36.54	-2.46	34.57	-4.43	-1.97
40	37.23	-2.77	35.15	-4.85	-2.08
41	37.92	-3.08	35.74	-5.26	-2.18
42	38.60	-3.40	36.32	-5.68	-2.28

더불어 실제로 출시 중인 제품의 경우에도 공기마찰력을 증가시키기 위해 일반 유동팬에 비해 회전속도와 풍량을 증가시키는 것을 확인할 수 있다[49-51].

### 3.4 안개분무 결합 유동팬의 토마토 생육 효과

앞서 실험한 안개분무(포그) 결합 유동팬은 온실의 냉방 부하를 저감시킬 수 있는 효과적인 방법으로 분석되었다. 본 연구에서는 온도저감 효과와 더불어 실제 토마토를 재배 시 생육이 얼마나 차이가 있는지 알아보았다.

밑둥직경인 경경(Stem diameter, mm)은 정식시기에 평균 3.54±0.14, 3.44±0.21mm 였던 것이 9주 경과 후 대조구에서 14.17±0.47mm로 400.3%, 시험구에서 416.9%로 비슷하게 증가하였다. 통계적으로도 9주 성장 과정에서 차이는 확인되지 않았다(Table 5).

초장(Plant height, cm)은 정식초기 대조구가 평균 38.66±1.11, 38.27±2.16cm에서 9주 후 대조구는 307.68±19.67cm, 시험구는 355.96±12.03cm로 약 48cm 가량 시험구에서 높은 생장이 확인되었다. 통계적으로 살펴보면 6~8주까지는 통계적 차이가 없는(N.S) 것으로 확인되었으나 9주차에 대조구의 생육 증가가 더딘 것으로 확인되는 통계적 차이(t=-7.608\*, Uz < Ez)가 확인되었다. 안개분무 유동팬 사용이 9주 차에 접어들 때 유동팬만 사용한 대조구에 비해 토마토 생육을 지속시킬 수 있는 효과가 있었다고 볼 수 있다.

엽장(Leaf length, cm)과 엽수(No. of Leaf, Numbers)는 6~9주 동안 안개분무 장치 사용 유무에 따른 생육 차이는 확인되지 않았으며, 통계적 차이도 확인되지 않았다.

엽폭(Leaf width, cm)은 6주차에 미세하게 안개분무 장치 적용 시험구가 높았으나 이후 비슷하게 성장하였으며, 엽록소함량(Leaf chlorophyll, SPAD)은 8주차에 대조구가 시험구보다 낮은 경향(t=-6.909\*, Uz < Ez)으로 확인되었다. 이 분석결과로 미루어 봤을 때 8주차부터 고온장해로 인한 생육 저하가 추정 될 수 있다고 판단된다.

안개분무 유동팬 사용 유무에 따른 토마토 수확량 차이를 살펴본 결과(Table 6), 합계가 대조구에서 582.30±50.44, 시험구에서 613.53±23.18g/section으로 총 수확량 차이는 일부 확인되었으나 통계적으로 분석되지 않았다. 하지만 9주차에 접어들었을 때 대조구에서 106.00± 2.43, 시험구에서 141.30±8.61g/section으로 시험구가 생산량이 높다는 것을 통계적으로 확인하였다(t=-5.579\*, Uz < Ez). 시험대상지 전체 구역에서 생산된 양은 대조구가 81.04kg 인데 반해 시험구는 94.25kg으로 차이가 있었다. 특히 9주차에 접어들면서 10kg 이상 차이가 확인되면서 유동팬만 사용하는 대조구의 생육이 초장, 엽록소 함량 수치와 같은 경향으로 생육이 부진해 지기 시작하였다.

안개분무 결합 유동팬 사용 유무에 따른 총 수확량 대비 불과량을 계산한 토마토 순량을 평가하였다(Table 7). 대조구는 3~6주차까지 97.80~98.77% 사이로 평균 98.14%로 분석되었고, 실험구는 99.75~99.96% 로 평균 99.83%로 유동팬 사용 유무에 따라 토마토의 순량률은 높아지는 것으로 사료된다.

Table 5. The result of tomato cultivation of untreated and experimental zone

Classification		Untreated Zone (Uz)					Experimental Zone (Ez)					Significance	
		1st	2nd	3rd	Mean	S.D	1st	2nd	3rd	Mean	S.D	t-Value	Post Hoc
Stem diameter (mm)	Seeding	3.65	3.58	3.38	3.54	0.14	3.24	3.42	3.66	3.44	0.21		
	6 Weeks	9.24	9.08	8.24	8.85	0.54	8.89	9.01	9.45	9.12	0.29	-0.548	N.S
	7 Weeks	10.72	10.24	9.40	10.12	0.67	11.15	10.03	9.77	10.32	0.73	-0.964	N.S
	8 Weeks	12.17	11.01	11.29	11.49	0.60	12.55	12.10	11.54	12.07	0.50	-2.196	N.S
	9 Weeks	14.65	14.13	13.72	14.17	0.47	14.18	15.38	13.45	14.34	0.98	-0.313	N.S
Plant height (cm)	Seeding	38.88	39.64	37.45	38.66	1.11	35.87	40.06	38.88	38.27	2.16		
	6 Weeks	89.88	108.24	103.58	100.57	9.54	98.88	101.24	102.85	100.99	2.00	-0.091	N.S
	7 Weeks	105.69	122.14	123.22	117.02	9.82	113.78	119.30	117.50	116.86	2.82	0.037	N.S
	8 Weeks	225.67	234.63	231.89	230.73	4.59	225.56	226.33	236.22	229.37	5.95	0.368	N.S
	9 Weeks	285.89	313.05	324.11	307.68	19.67	346.33	352.11	369.44	355.96	12.03	-7.608*	Uz < Ez
Leaf length (cm)	Seeding	4.23	4.36	4.48	4.36	0.13	4.63	4.28	4.12	4.34	0.26		
	6 Weeks	5.39	6.02	5.36	5.59	0.37	5.89	6.46	5.84	6.06	0.34	-26.835**	Uz < Ez
	7 Weeks	6.66	7.34	7.61	7.20	0.49	7.19	8.76	7.26	7.73	0.89	-1.044	N.S
	8 Weeks	12.14	12.53	12.29	12.32	0.19	11.94	13.13	12.31	12.46	0.61	-0.587	N.S
	9 Weeks	9.21	9.28	10.03	9.51	0.46	11.52	10.68	10.76	10.99	0.47	-3.232	N.S
Leaf width (cm)	Seeding	3.12	3.36	3.04	3.17	0.17	3.23	3.1	3.08	3.14	0.08		
	6 Weeks	3.84	4.02	3.88	3.91	0.09	3.98	4.28	4.03	4.10	0.16	-4.769	Uz < Ez
	7 Weeks	4.73	4.93	4.28	4.65	0.33	4.11	5.08	4.49	4.56	0.49	0.324	N.S
	8 Weeks	5.46	5.98	5.29	5.57	0.36	5.44	5.00	5.08	5.17	0.24	1.374	N.S
	9 Weeks	5.23	5.35	5.71	5.43	0.25	5.51	6.12	6.00	5.88	0.32	-2.762	N.S
No. of Leaf (Numbers)	Seeding	20.24	21.33	20.44	20.67	0.58	18.56	21.37	19.88	19.94	1.41		
	6 Weeks	33.18	35.89	28.45	32.51	3.77	31.24	30.78	29.57	30.53	0.86	1.099	N.S
	7 Weeks	38.11	43.25	35.44	38.94	3.97	38.67	38.22	38.22	38.37	0.26	0.242	N.S
	8 Weeks	25.89	27.00	24.89	25.93	1.06	27.67	23.78	24.89	25.44	2.00	0.328	N.S
	9 Weeks	24.44	25.25	20.22	23.31	2.70	22.44	22.56	22.11	22.37	0.23	0.655	N.S
Leaf chlorophyll (SPAD)	Seeding	54.24	55.24	54.88	54.79	0.51	55.58	54.85	56.45	55.63	0.80		
	6 Weeks	57.42	59.12	58.88	58.47	0.92	58.45	56.13	58.12	57.57	1.26	.0780	N.S
	7 Weeks	58.32	57.50	56.41	57.41	0.96	54.41	55.07	54.98	54.82	0.36	3.595	N.S
	8 Weeks	58.32	58.20	58.17	58.23	0.08	61.12	60.46	61.88	61.15	0.71	-6.909*	Uz < Ez
	9 Weeks	59.59	58.65	59.96	59.40	0.67	60.02	59.63	61.16	60.27	0.79	-3.799	N.S

\* Test result according to t-test significant at the p = 0.5 level (\*), 0.01 level (\*\*), and NS = nonsignificant result

Table 6. The result of tomato fruit cultivation in untreated and experimental zone

Classification		Untreated Zone (Uz)					Experimental Zone (Ez)					Significance	
		1st	2nd	3rd	Mean	S.D	1st	2nd	3rd	Mean	S.D	t-Value	Post Hoc
Fruit yield (g/section)	6 Weeks	183.33	217.78	176.67	192.59	22.07	234.44	175.56	157.78	189.26	40.12	0.119	N.S
	7 Weeks	133.33	146.67	140.85	140.28	6.67	137.78	146.67	142.22	142.22	4.45	-1.474	N.S
	8 Weeks	148.89	164.44	117.78	143.70	23.76	131.11	140.08	151.11	140.77	10.02	0.161	N.S
	9 Weeks	106.33	108.25	103.43	106.00	2.43	136.85	135.83	151.23	141.30	8.61	-5.579*	Uz < Ez
	Total	571.88	637.14	537.88	582.30	50.44	640.18	598.06	602.34	613.53	23.18	-0.888	N.S

\* Test result according to t-test significant at the p = 0.5 level (\*), 0.01 level (\*\*), and NS = nonsignificant result

Table 7. The defect and pure of tomato fruit in untreated and experimental zone

Classification		Untreated Zone (Uz)			Experimental Zone (Ez)		
		Total	Defect (%)	Pure (%)	Total	Defect (%)	Pure (%)
Fruit yield (kg/plant)	6 Weeks	25.58	0.31	98.77	25.91	0.05	99.80
	7 Weeks	19.30	0.41	97.86	18.70	0.04	99.77
	8 Weeks	22.04	0.49	97.80	24.86	0.06	99.75
	9 Weeks	14.12	0.45	96.84	24.78	0.01	99.96
	Total	81.04	1.66	97.95	94.25	0.16	99.83

두 집단의 차이를 통계적으로 분석한 결과 무처리구인 대조구에서 평균  $0.41 \pm 0.08$ 의 불량한 과일이 생산되었지만 안개분무 결합 유동팬 적용 실험구에서는  $0.04 \pm 0.02$ 의 불량률이 조사되었다. 두 시험구의 통계적 차이는  $t$ -value=9.073이며, 99% 구간에서 신뢰성이 인정되었다. 안개분무 유동팬 운용에 따른 온도저감은 고온상태로 인한 과일의 불량률 개선에 도움이 되는 것으로 확인했다.

#### 4. 결론

고압 안개분무(포그) 시스템에 비해 경제적인 저압 안개분무(포그) 시스템과 공기유동팬을 결합하여 냉방효과를 확인하고 실제 온실 생육 실험을 통해 사용 가능성을 검토하고자 연구를 수행하였다. 그 결과 면적 대비 안개분무(포그) 노즐 수량기준 자연환기, 차광, 공기순환, 측창, 천창 등 다양한 냉방 기술이 결합되었을 때는 적은 수량만으로도 냉방효율을 기대할 수 있으며, 외기온  $28.0^{\circ}\text{C}$  이상일 때 모든 구역에서 온도저감이 된다는 통계적 수치를 Table 3, Fig. 5와 같이 도출할 수 있었다. 또한 안개분무 노즐만 사용하는 것보다 노즐을 유동팬에 결합하는 방법은 냉방부하 저감에 효과적인 방법으로 판단된다. 안개분무(포그) 노즐을 기준으로  $2.77^{\circ}\text{C}$ 를 저감하기 위해서는 약  $7.6\text{L}/\text{min}$ 의 분무량(노즐 160여개)가 필요하다는 냉방부하 계산이 분석되었지만 유동팬에 결합 시 분무량  $2.8\text{L}/\text{min}$  (노즐 60여개) 만으로 그 효과를 검증할 수 있는 것을 확인하였다. 안개분무(포그) 결합 유동팬은 포그 단독으로 사용하는 냉방부하 계산인 Table 2에 비해 온도저감에 효과적임을 Table 4와 같이 증명할 수 있었다. 온도저감 효과와 더불어 실제 토마토를 재배 시 생육차이를 살펴본 결과, 경경, 초장, 엽장, 엽폭 등 안개분무 장치 추가 사용 유무에 따른 확연한 차이는 확인되지 않았으나 토마토의 후기 성장과 수량률은 높아지는 것을 확인하였다.

저압 노즐의 안개분무(포그) 시스템과 공기유동팬을 결합한 본 연구 결과는 냉방효과 및 작물 생육 효율이 증가하는 것으로 확인되어 실제 농가의 활용가치가 높은 것으로 판단된다. 이러한 연구는 지속가능한 시설원예와 기후변화에 대응하는 자료로 활용할 수 있으며, 에너지 소비를 보다 줄여주기 때문에 탄소배출 저감에도 기여하는 기술로서 활용 가치가 있다고 기대한다.

#### References

- [1] J. Son, M. Kong, D. Choi, D. Kang, M. Park, S. Yun, and S. Lee. 2019. The Maximum Temperature Distribution and Im-provement Plan of Protected Horticulture Planning Area in Saemanguem Using CFD Simulation. *J. Korean Soc. Rural Plan.*, 25, 115-128.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7851/Ksrp.2019.25.3.115>
- [2] Y.I. Nam. 2003. Present Status and Developmental Strategy of Protected Horticulture Industry in Korea, *KCID journal*, 10(2): 15-23.  
<https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE09657133>
- [3] D.K. Ko, J.K. Kwon and E.H. Lee. 2013. Starting and development of the horticulture in dustry, Korea. Korean society for Horticultural Science, Separate, 458-489.  
[https://scholar.google.co.kr/scholar?hl=ko&as\\_sdt=0%2C5&q=Starting+and+development+of+the+horticulture+in+dustry&btnG](https://scholar.google.co.kr/scholar?hl=ko&as_sdt=0%2C5&q=Starting+and+development+of+the+horticulture+in+dustry&btnG)
- [4] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014. 2013 Greenhouse Status and Vegetable Production Performances, Sejong, Korea.  
<https://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/71/304119/artclView>
- [5] Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs (MAFRA). 2015. 2014 Greenhouse Status and Vegetable Production Performance.  
<https://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/65/234413/artclView>
- [6] Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs (MAFRA). 2017. 2016 Greenhouse Status and Vegetable Production Performance.  
<https://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/131/276221/artclView>
- [7] J.H. Jeoung and S.K. Park. 2003. Calculation of Pumping Rate Considering the Change of Groundwater Level, *KCID Journal*, 10(1), 64-72.  
<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200373606655493.page>
- [8] D.H. Kang, S.Y. Lee, J.K. Kim, H.K. Choi, M.J. Park, S.W. Yun and J.K. Son. 2016. Suitability site selection by meteorological factors for the protected horticulture complex in Saemanguem. *Prot. Hortic. Plant Fact.*, 25, 1-8.  
DOI: <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.1.1>
- [9] J. Son, M. Kong, D. Choi, D. Kang, M. Park, S. Yun and S. Lee. 2018. A Characteristics and Improvement of Thermal Environment in Summer of Protected Horticulture Complex Using CFD Simulation. *J. Korean Soc. Rural Plan.*, 24, 73-86.  
DOI:<http://Dx.Doi.Org/10.7851/Ksrp.2018.24.3.073>
- [10] Nicolas Castilla and Esteban Baeza. 2013. Greenhouse site selection In "Good agricultural practices (GAPs)

- principles for greenhouse vegetable production in the Mediterranean Region”, FAO publications, Rome, 21-33.  
<https://www.fao.org/3/i3284e/i3284e.pdf>
- [11] Korea Meteorological Administration(KMA). 2020. Korean Climate Change Assessment Report 2020 : The Physical Science Basis.  
[http://www.climate.go.kr/home/cc\\_data/2020/Korean\\_Climate\\_Change\\_Assessment\\_Report\\_2020\\_1\\_eng\\_summary.pdf](http://www.climate.go.kr/home/cc_data/2020/Korean_Climate_Change_Assessment_Report_2020_1_eng_summary.pdf)
- [12] S.J. Kim, S.M. Kim and S.M. Kim. 2013. A Study on Development of Vulnerability Assessment Criteria for Agricultural Infrastructure According to Climate Change. Institute of Agriculture & Life Science, 47 (1) : 205-213.
- [13] Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M. and Meinke, H. 2007. Adapting agriculture to climate change. Proc. Natl. Acad. Sci., 104, 19691-19696,  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18077402/>
- [14] Korea Rural Economic Institute (KREI). 2009. Impact Analysis and Response Strategies of Agriculture in Climate Change. ISBN 978-89-6013-137-8.  
<http://library.krei.re.kr/pyxis-api/1/digital-files/605ba745-9994-2a94-e054-b09928988b3c>
- [15] Challinor A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R., and Chhetri, N. 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. Nature Climate Change, 4: 287-291.  
<https://www.nature.com/articles/nclimate2153/>
- [16] C.G. Kim, H.T. Park, S.M. Lee, H.J. Chu and O.S. Kwon. 2008. Impacts and countermeasures of climate change in korean agriculture. Korea Rural Economic Institute Press.  
<http://library.krei.re.kr/pyxis-api/1/digital-files/605ba745-9bd8-2a94-e054-b09928988b3c>
- [17] Arbel, A., Yekutieli, O. and Barak, M., 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouses. Journal of Agricultural Engineering Research, 72(2): 129-136.  
 DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0351>
- [18] Kittas, C. T., Bartzanas and Jaffrin, A. 2003. Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. Biosystems Engineering, 85(1), pp. 87-94.  
 DOI:[https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00018-7)
- [19] K.Y. Choi, E.J. Jang, H.C. Rhee, K.H. Yeo, E.Y. Choi, I.S. Kim and Y.B. Lee 2015. Effect of Root Zone Cooling Using the Air Duct on Temperatures and Growth of Paprika During Hot Temperature Period. Protected Horticulture and Plant Factory, 24(3), pp. 243-251.  
 DOI:<https://doi.org/10.12791/KSBEC.2015.24.3.243>
- [20] S.W. Nam, Y.S. Kim and I.M. Sung. 2013. Development of Control Algorithm for Greenhouse Cooling Using Two-fluid Fogging System. Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 22, No. 2:138-145.  
<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO201330951783833&dbt=NART>
- [21] Y.H. Choi, J.H. Lee, D.K., Park, J.K. Kwon and Y.C. Um. 2000. Effect of Greenhouse Cooling Method on the Growth and Yield of the Tomato cv. Momotaro in Warm Season. Journal of Bio-Environment Control, 9(1), pp. 60-65.  
[https://koreascience.kr/article/JAKO20001192240713\\_1.pdf](https://koreascience.kr/article/JAKO20001192240713_1.pdf)
- [22] Y.H. Choi, J.K., Kwon J.H. Lee, N.J. Kang, M.W. Cho and B.G. Son. 2004. Effect of Cooling Method on Growth and Yield of Tomato and Pepper Grown in Summer Season Greenhouse Culture. Korean Journal of Horticultural Science & Technology, 22(4), pp. 388-392.  
[https://koreascience.kr/article/JAKO20041010342856\\_6.page](https://koreascience.kr/article/JAKO20041010342856_6.page)
- [23] D.C. Jang, K.Y. Choi, J.Y. Heo and I.S. Kim. 2018. The Effect of Transplant Age on Growth and Fruit Yield in Winter-Planted PaPrika Cultivation. Horticultural Science and Technology, 36, 470-477.  
<https://www.hst-j.org/articles/xml/LGwi/>
- [24] M.C. Seo. 2005. The quantitative evaluation of environmental conservation function at paddy farming in Korea. Graduate School of Korea University, Doctorate thesis.
- [25] Arbel, A., M. Barak, and Shklyar, A. 2003. Combination of forced ventilation and fogging systems for cooling greenhouses. Biosystems Engineering, 84(1): 45-55.  
 DOI:[https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00216-7](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00216-7)
- [26] Arbel A., Yekutieli O., Barak M. 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouses, J. Agric. Engng Res., 72,129-136.  
 DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0351>
- [27] Ahmed, M., Abdel-Ghany, G. E. and T. Kozai. 2006. Evaporation characteristics in a naturally ventilated fog-cooled greenhouse. Renewable Energy, 31(14): 2207-2226.  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.11.004>
- [28] Villarreal-Guerreroa, F., Kaciraa, M., Fitz-Rodrigueza, E., Kubotab, C., Giacomellia, G.A., Linkerc, R. and Arbeld, A. 2012. Comparison of three evapotranspiration models for a greenhouse cooling strategy with natural ventilation and variable high pressure fogging. Scientia Horticulturae, 134, 210-221.  
<http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202022449681474.pdf>
- [29] Ishigami, Y., Tetsuka, T. and Goto, E. 2014. Analysis of the Aerial Environment of a Tomato Greenhouse Equipped with Difference Fog Cooling System. Journal of Agricultural Meteorology, 70(2), 127-131.  
 DOI: <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-11-00008>
- [30] J. Son, R. Lim, M. Park, T. Kang and S. Yun. 2022. A

- Study on the Construction Method of Airflow Fan and Fog Combined System for the Cooling of the Greenhouse Facility. Journal of Agricultural Machinery Engineering, 2(1), 1-15.
- [31] M.K. Kim, K.S. Kim and S.W. Nam. 2001. Efficient application of greenhouse cooling systems. Ministry of Agriculture and Forestry. pp.186-188.
- [32] S. Li and D.H. Willits. 2008. Comparing low-pressure and high-pressure fogging systems in naturally ventilated greenhouses. Biosystems Engineering 101:69-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.06.004>
- [33] H.W. Lee 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. <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO201229765636132&dbt=NART>
- [34] S.W., Nam. 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.
- [35] S.W. Nam, Y.S. Kim, I.M. Sung and G.H. Ko. 2012. Cooling Efficiency of Low Pressure Compressed Air Fogging System in Naturally Ventilated Greenhouses. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 54(5): 49-55. DOI: <https://doi.org/10.5389/KSAE.2012.54.5.049>
- [36] Bakker, J. C. and van Holstein, G. P. 1989. Horizontal temperature distribution in heated glasshouses : causes and effects. Acta Horticulturae. 245, 226-231. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.245.29>
- [37] I.H. Yu, M.K. Kim and N.K. Yun 1998. Effects of Air Circulation Fan on Thermal Environments in Greenhouse. Proceeding book of 1998 The Korean Society of Agricultural Engineering, 250-254. <https://koreascience.kr/article/CFKO199811922034393.pdf>
- [38] Goeijenbier, P. 1984. Using fans to limit temperature differences. Naaldwijk Consultancy Service, pp. 52-55.
- [39] Fernandez, J. E. and Bailey, B. J. 1994. The Influence of Fans on Environmental Conditions in Greenhouses. J. agric. Engng. Res., 58, 201-210. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1994.1049>
- [40] S.H., Park, J.P. Moon, J.K. Kim and S.H. Kim. 2020. Development of Fog Cooling Control System and Cooling Effect in Greenhouse. Protected Horticulture and Plant Factory, 29(3) : 265-276. DOI: <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2020.29.3.265>
- [41] Gungang Greenfan, 2015a. Mist blower guidance system for agricultural and livestock products. Application No. 10-2016-0139071. DOI: <https://doi.org/10.8080/1020150072653>
- [42] Gungang Greenfan, 2015b. Mist blower for agricultural and livestock products. Application No. 10-1568324. DOI: <https://doi.org/10.8080/1020150072647>
- [43] ISEKI. 2002. CONTROLLER OF MIST-TYPE COOLER FOR CULTIVATION GREENHOUSE. [http://abpat.kipris.or.kr/abpat/biblioexpansiona.do?method=viewLegalStatus&publ\\_key=JP200300289728A0&cntry=JP](http://abpat.kipris.or.kr/abpat/biblioexpansiona.do?method=viewLegalStatus&publ_key=JP200300289728A0&cntry=JP)
- [44] SAREC. 2011. Handbook of facilities engineering. Airconditioning Vol. 2. The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea. pp.1-8.
- [45] Rural Development Administration. 2012. Standardized methods of analysis for agricultural science and technology, RDA, Suwon, Korea. <http://lib.rda.go.kr/newlib/upload/prbook/%EC%97%B0%EA%B5%AC%EC%A1%B0%EC%82%AC%EB%B6%84%EC%84%9D%EA%B8%B0%EC%A4%80.pdf>
- [46] J.K. Kim, J.S. Kang and H.J. Kim 2020. Model Design and Demonstration Test for the Verification of Temperature Reduction Effect of Cooling Fog System with Stainless Steel. Journal of Environmental Science International, 29(6), pp. 683-689. DOI: <https://doi.org/10.5322/JESI.2020.29.6.683>
- [47] J.S. Park, K.R. Kim, M.S. Kang and B.J. Kim. 2017. The Influence of Evaporation from a Stream on Fog Events in the Middle Nakdong River. J. Korean Earth Sci. Soc., 38(6):395-404. DOI: <https://doi.org/10.5467/JKESS.2017.38.6.395>
- [48] K.H. Lee, S.W. Lee, J.S. Choi, S.K. Lee, J.H. Park and S.H. Park. 2018. A Study on Reduction Effect of White Smoke Fog in Urban Detention Basin using a Fog Removal System. Journal of Korean Society of Disaster & Security, 11(2):69-74. DOI: <https://doi.org/10.21729/ksds.2018.11.2.69>
- [49] H.S. Mun. 2021. Portable mist sprayer for easy movement and installation. Patent. Patent Office. Korea. DOI: <https://doi.org/10.8080/1020190101728>
- [50] J.P. Lee. 2012. Spray of method and apparatus for agricultural chemicals. Patent. Patent Office. Korea. DOI: <https://doi.org/10.8080/1020090043337>
- [51] Y.H. Lee and G.S. Baek. 2020. Cooling mist spray device. Patent Office. Korea. DOI: <https://doi.org/10.8080/1020190070816>

임 류 갑(Ryugap Lim)

[정회원]



- 2016년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스과 (공학석사)
- 2016년 1월 ~ 현재 : 한국농업기술진흥원 디지털농업본부

<관심분야>

농업시설, 농업에너지, 스마트팜

윤 성 옥(Sungwook Yun)

[정회원]



- 2012년 2월 : 경상대학교 농공학과 (공학박사)
- 2019년 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사

<관심분야>

에너지환경, 토양, 증금속, 미생물

손 진 관(Jinkwan Son)

[정회원]



- 2013년 8월 : 단국대학교 녹지조경학 습지생태전공 (농학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 박사후연구원

<관심분야>

농업환경, 시설원예, 습지생태

강 등 현(Donghyeon Kang)

[정회원]



- 2010년 2월 : 일본 교토대학교 농학과 (공학박사)
- 2010년 ~ 2020년 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사
- 2020년 ~ 현재 : 국립농수산대학교 교양공통과 교수

<관심분야>

농기계, 에너지환경, 바이오에너지

박 민 정(Minjung Park)

[정회원]



- 2015년 2월 : 부산대학교 바이오산업기계공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 농업연구사

<관심분야>

농업시설, 시설현대화, 시설원예

공 민 재(Minjae Kong)

[정회원]



- 2018년 8월 : 단국대학교 녹지조경학과 습지생태전공(농학박사)
- 2018년 8월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과 박사후연구원

<관심분야>

농업환경, 곤충생태, 습지생태