

## 토마토 재배 온실의 환경조절에 따른 온습도 균일도 분석

남상운<sup>1\*</sup> · 김영식<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 생물자원공학부, <sup>2</sup>상명대학교 식물산업공학과

### Analysis on the Uniformity of Temperature and Humidity According to Environment Control in Tomato Greenhouses

Sang-Woon Nam<sup>1\*</sup> and Young-Shik Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Bioresources Engineering, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Plant Science and Technology, Sangmyung Univ., Cheonan 330-720, Korea

**Abstract.** A survey on the actual state of heating, cooling, ventilation, and air-flow and experimental measurement of temperature and humidity distribution in tomato greenhouse were performed to provide fundamental data required in the development of air-flow control technology. In single-span plastic houses, which account for most of 136 tomato greenhouses surveyed, roof windows, ventilation and air-flow fans were installed in a low rate, and installation specs of those facilities showed a very large deviation. There were no farms installed greenhouse cooling facilities. In the hot air heating system, which account for most of heating type, installation specs of hot air duct showed also a large deviation. The exhaust air temperature and wind speed in hot air duct also were measured to have a big difference depending on the distance from the heater. We are using the maximum difference as indicator to determine whether temperature distribution is uniform. However if the temperature slope is not identical in greenhouse, it can't represent the uniformity. We analyzed relation between the maximum difference and the uniformity of temperature and humidity distribution. The uniformity was calculated using the mean and standard deviation of data from 12 measuring points. They showed high correlation but were represented differently by linear in the daytime and quadratic in the nighttime. It could see that the uniformity of temperature and humidity distribution was much different according to greenhouse type and heating method. The installation guidelines for ventilation and air-flow fan, the spread of greenhouse cooling technology for year-round stable production, and improvement of air duct and heating system, etc. are needed.

**Key words :** air conditioning, temperature and humidity distribution, tomato greenhouse, ventilation and air circulation

## 서 언

우리나라의 토마토 재배면적은 1998년 4,106ha에서 2008년 6,144ha로 10년간 약 1.5배가량 증가하였으며, 생산량은 23만톤에서 41만톤으로 약 2배 수준으로 증가하였다. 2008년 기준 노지재배 면적은 136ha, 시설재배 면적은 6,008ha로 전체면적의 98%가 시설재배 형태를 띠고 있다. 토마토 생산액은 연간 약 6,642억 원으로 과채류 품목 중 수박, 딸기에 이어 세 번째로

생산액이 큰 품목이며, 지난 5년간 생산액의 연평균 증가율이 22.1%로 과채류 중 가장 두드러지게 산업규모가 확대되고 있는 품목이다. 그러나 최근 생산량의 급증 및 소비둔화, 수출감소가 맞물려 수급불균형 현상이 발생할 수 있는 여지가 높아지고 있으며, 실제 2007년에는 산지에서 토마토를 폐기하는 사례가 처음으로 나타난 바 있다(KAFTC, 2009).

이러한 국내 여건 하에서 토마토 생산량의 일부가 수출 확대에 이어진다면 앞으로 국내 토마토 수급 및 가격안정에 크게 도움이 될 것으로 보이며, 토마토 재배 농가의 소득증대에 기여할 수 있을 것이다. 생산 측면에서 본 토마토 수출의 문제점으로 국내가격과 수

\*Corresponding author: swnam@cnu.ac.kr  
Received July 17, 2009, 2009; Revised July 25, 2009;  
Accepted August 20, 2009

출가격의 역전에 의한 수출포기, 수출시장에 맞는 품질 관리의 어려움과 출하량의 불안정을 겪고 있다(Park, 2009). 환기, 냉난방 및 공기유동 기술의 개발을 통하여 온습도 등의 환경을 균일화함으로써 품질을 향상시키고, 생산량을 증대시킬 수 있으며, 수출시장에 맞는 품질과 출하량의 안정화에 직접적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각한다.

시설재배 토마토의 수출경쟁력 확보를 위해서는 무엇보다도 주년안정생산 기술의 개발이 요구된다. 주년안정생산을 위해서는 겨울철 난방에너지 절감도 매우 중요하지만 여름철 고온 극복은 더 중요한 과제이다. 실제로 2007, 2008년 월별 수출 통계를 보면 8월의 수출물량이 거의 없는 것으로 나타나고 있다(KATI, 2009). 국내 온실은 대부분 겨울철 난방에너지 절약을 위한 보온구조로 되어 있어 환기 및 냉방 측면에서는 취약한 구조이므로 이를 극복할 수 있는 기술 개발이 필요하며 보온형 밀폐 온실의 환기구조 및 자연환기 극대화를 위한 기술의 개발이 필요한 실정이다. 토마토 수출을 위해서는 품질이 높고 균등한 상품과를 연중 대량으로 생산해야 하지만 온실 내 환경 불균일로 이를 만족하기가 쉽지 않다. 특히 냉난방 온실에서 온습도의 편차가 심해 수량 및 품질이 떨어지는 문제를 해결할 필요성이 있으며 온실내부의 균일한 환경조건 조성을 위해서는 공기유동 제어 기술의 개발이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 공기유동 제어기술의 개발을 위한 기초자료를 제공할 목적으로 토마토 재배 온실의 냉난방과 환기 및 공기유동 관련 실태를 조사 분석하고 온실유형과 난방방식별 온습도 분포를 실측하여 균일도를 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 토마토 재배 온실의 냉난방, 환기 및 공기유동 실태조사

토마토는 전국적으로 재배되는 품목이며, 10개 시군을 중심으로 주산지가 형성되어 전체 생산의 30%를 차지하고 있다. 도별로는 충남이 전체 재배면적의 25.7%를 차지하여 가장 많고 충남에서는 부여군이 가장 많은 면적을 재배하고 있다(KAFTC, 2009). 본 연구에서는 토마토 재배온실의 실태를 파악하기 위하여 주요 생산단지를 이루고 있는 부여군 세도면 지역

의 토마토 재배 농가를 대상으로 조사를 실시하였다.

조사는 2009년 3월 현지를 방문하여 실측 및 면접 조사 방법으로 실시하였고 조사대상 온실은 136농가였다. 주요 조사항목은 온실의 종류, 재배면적, 작기 등의 일반현황, 난방시설의 종류와 용량, 사용연료, 온풍덕트의 설치규격과 배치형식 등의 난방현황, 냉방시설의 종류와 설치용량 및 운영방식 등의 냉방현황, 측창과 천창의 종류와 규격, 개폐폭과 자동화여부, 환기팬 설치대수와 조절방식 등의 환기현황, 그리고 유동팬의 설치 유무와 설치규격 및 제어방식 등의 공기유동현황 등이었다.

### 2. 토마토 재배 온실의 난방방식별 온습도 분포 균일도 실측 분석

온실유형과 난방방식별 온습도 최대편차와 균일도를 분석하기 위하여 토마토 재배 온실의 온습도 분포를 실측하였다. 실험은 충남 부여에 위치한 폭 6.1m, 길이 100m인 단동비닐하우스(Fig. 1)와 충남 논산에 위치한 폭 50m, 길이 100m인 7연동 비닐하우스(Fig. 2)에서 실시하였다. 단동하우스는 토경재배, 연동하우스는 수경재배로 이루어지고 있었으며, 각각 온풍난방과 온수난방으로 규격이 같은 온실을 1농가씩 근처에서 선정하여 실험을 수행하였다. 온습도는 Fig. 1과 Fig. 2에서 보논바와 같이 각각의 온실을 길이방향 4등분, 폭방향 3등분하여 12개의 격자망으로 나누고 각 격자의 중앙에 데이터로거형 온습도센서(HTR10, Hans system)를 지면에서 1.2m 높이에 설치하여 10분간격으로 계측하였으며 계측기간은 2008년 11월부터 2009

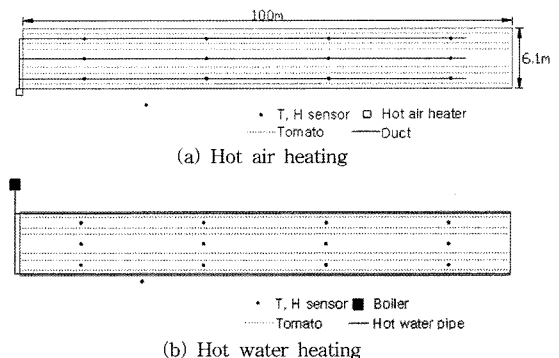


Fig. 1. Plan view and sensor layout of experimental single-span greenhouse.

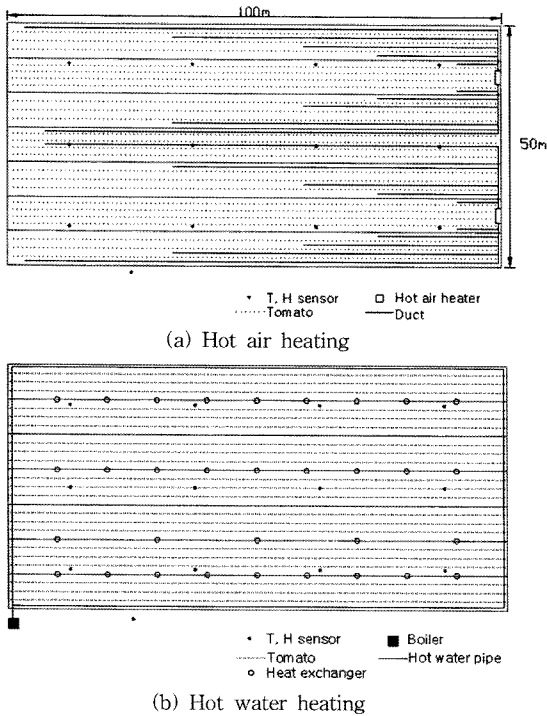


Fig. 2. Plan view and sensor layout of experimental multi-span greenhouse.

년 4월까지였다. 온풍난방 온실의 경우, 단동은 고랑 전체에 온풍덕트를 배열하고 있으며(Fig. 1(a)), 연동은 온풍기를 중심으로 안쪽은 짧고 외곽은 길게 방사형으로 온풍덕트를 배열하고 있다(Fig. 2(a)). 온수난방의 경우 단동은 하우스 외곽을 따라 바닥으로부터 20cm 간격으로 3열의 온수배관(16mm 지온관)을 설치하고 있으며(Fig. 1(b)), 연동은 하우스 둘레에 온수배관을 깔고 연동곡부 기둥부분 2m 높이에 지선을 배관하고 일정간격으로 열교환기를 설치하고 있다(Fig. 2(b)).

온실내 온도와 습도의 편차로 인해 작물 생육이 불균일하여 수량 및 품질이 떨어지고 재배기간이 길어지는 문제가 발생하고 있다(Bakker, 1990; Fernandez와 Bailey, 1994). 온실내 환경요인들의 균일성을 개선하는 방법으로는 환기를 포함한 공기유동기술이 가장 유효한 것으로 알려져 있다(Koths와 Bartok, 1985). 온실내 온습도 환경의 균일성이 중요함에도 이를 나타내는 지표는 모두 온습도의 최대편차를 사용하고 있다(Yu 등, 2007). 최대편차는 여러 측정 중에 최대값과 최소값의 차이(식 1)로써 일정한 기온기를 가질 경우

에만 균일성의 지표로 사용할 수 있을 것이다. 만약 여러 측정 중에서 모두 동일한 측정값을 가지나 1점만이 편차를 보일 경우에는 최대편차만으로 균일성을 판단하는 것은 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 균일도(식 2) 또는 균등계수의 개념(Nam과 Kim, 2007)을 도입하여 실측치로부터 최대편차와 균일도 사이의 관계를 분석하고, 온실내 온습도의 균일성을 나타내는 지표로서 사용가능성을 검토하였다.

$$\Delta\theta = \theta_{\max} - \theta_{\min} \quad (1)$$

$$U_s = \left(1 - \frac{S_{\theta}}{\bar{\theta}}\right) \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서,  $\theta$ 는 온도(°C) 또는 습도(%)이고,  $\Delta\theta$ 는 최대편차,  $U_s$ 는 균일도 또는 균등계수(%),  $\bar{\theta}$ 와  $S_{\theta}$ 는 각각 온도 또는 습도의 평균과 표준편차이다.

### 3. 유동팬 및 덕트 시스템에서의 풍속 및 온도 분포 실측 분석

유동팬과 온풍덕트 및 온수난방용 열교환기팬이 설치된 온실에서 온도와 풍속분포를 실측하였다. 유동팬 설치온실은 Fig. 2(a)와 동일한 규격의 온실이었으며 350mm 직경에 100W 용량의 팬 20대를 기둥 2m 높이에 20m 간격으로 설치하여 운용하고 있었다. 유동팬의 영향을 파악하기 위하여 팬 축을 따라 거리에 따른 풍속을 실측하였다. 온풍덕트는 단동(Fig. 1(a))의 경우 좌, 우 2열의 덕트를 따라 10m 간격으로 배기공의 풍속과 온도를 측정하였고, 연동(Fig. 2(a))의 경우 방사형으로 배열된 덕트의 각 지선 끝 배기공의 풍속과 온도를 측정하였다. 온수난방용 열교환기팬(170W)의 경우에는 팬 높이에서 열교환기로부터의 거리에 따른 풍속과 온도를 측정하였다. 풍속과 온도는 열선풍속계(VT100, Kimo)를 이용하여 각 시스템이 가동 중일 때 반복하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 토마토 재배 온실의 냉난방, 환기 및 공기유동 실태분석

토마토의 집중 생산단지를 이루고 있는 충남 부여 세도 지역 시설의 일반현황은 Table 1과 같다. 단동

**Table 1.** General status of tomato greenhouses. Unit; farms (%).

Type		Area		Cropping period	
Glass house	0(0.0)	Under 0.3ha	26(19.1)	Sep.~Jun.	10(7.4)
Plastic house (multi-span)	27(19.9)	0.3~0.5ha	30(22.1)	Oct.~Jun.	107(78.7)
Plastic house (single-span)	105(77.2)	0.5~0.7ha	51(37.5)	Nov.~Jun.	6(4.4)
Plastic house (mixed)	4(2.9)	0.7~1.0ha	19(14.0)	Dec.~Jun.	6(4.4)
Others	0(0.0)	Above 1.0ha	10(7.3)	Others	7(5.1)
Total	136(100)	Total	136(100)	Total	136(100)

**Table 2.** Actual state of ventilation facilities in tomato greenhouses. Unit: farms (%).

Side vent		Roof vent		Fan	
Roll-up	129(94.9)	Roll-up(multi-span)	31(22.8)	Installed	18(13.2)
Window	7(5.1)	Window(single-span)	13(9.6)	None	118(86.8)
None	0(0.0)	Chimney(single-span)	21(15.4)	Total	136(100)
Total	136(100)	None(single-span)	71(52.2)		
		Total	136(100)		

플라스틱 온실이 77%로 대부분이고 연동 플라스틱 온실이 20% 정도를 차지하고 있으며, 재배면적은 0.5~0.7ha(1,500~2,100평)의 범위가 가장 많았다. 작기는 대부분 10월에 정식하여 이듬해 6월까지 수확하는 형태를 보이고 있었다.

Table 2는 토마토 재배 온실의 환기실태를 나타낸 것이다. 측창은 거의 대부분 측벽의 비닐을 감아올리는 권취식이었고, 개폐폭은 평균  $1.4 \pm 0.5m$ ( $p=0.05$ )로 나타났다. 여기서, ± 기호는 평균값의 상하편차를,  $p=0.05$ 는 유의수준 5%로 분석한 결과를 의미하는 것으로서 본 논문에서 나오는 평균 분석은 모두 이와 같은 방법으로 분석하였음을 밝혀둔다. 측창 개폐방식은 모터를 이용한 자동개폐가 79.4%, 권취기를 이용한 수동개폐가 20.6%로 나타났다. 연동온실의 경우, 모두 권취식 천창을 설치하고 있었으나 단동온실의 경우에는 창문이나 굴뚝식 등 천창을 설치한 농가가 32%, 설치하지 않은 농가가 68%로 나타났다. 권취식 천창의 개폐폭은 평균  $1.8 \pm 0.9m$ 이었으며, 개폐방식은 자동 88.6%, 수동 11.4%였다. 굴뚝식 천창의 직경은 평균  $56 \pm 13cm$ 이었고, 설치간격은  $6.2 \pm 3.2m$ , 개폐방식은 자동 81.0%, 수동 19.0%이었다. 자연환기를 극대화하기 위해서는 천창의 설치가 필수적인데 아치형 플라스틱 단동온실의 경우, 천창을 설치한 경우가 많지 않고, 일부 굴뚝식 등의 천창을 설치하고 있으나 설치 간격, 크기 등의 설치기준이 명확하지 않아 효과를 기

대하기 어려운 실정이다. 따라서 아치형 단동 플라스틱 온실의 천창환기 구조를 개발하여 보급함과 아울러 연동 곡부의 천창도 지붕상부로 이동시킬 필요가 있을 것으로 판단되며, 이미 설치되어 있는 굴뚝식 등의 독립된 천창구조에 대하여는 효율을 검증하고 설치기준 등의 제정이 요구된다. 자연환기가 부족할 경우에는 강제환기시스템의 도입이 필요하다. 환기팬을 설치한 농가는 13%에 불과한 것으로 나타났으며, 10a당 설치대수는 평균  $2.8 \pm 2.2$ 대로 부족할 뿐만 아니라 편차도 심했고, 환기팬 제어방식은 자동 66.7%, 수동 33.3%이었다. 한편, 증발냉각시스템 등의 냉방설비를 설치한 농가는 하나도 없었다. 이는 조사대상 온실의 작기(Table 1)에서 나타난 바와 같이 대부분 여름철에는 휴경을 하고 있으며, 8월에 수출물량을 확보하지 못하는(KATI, 2009)이유로 판단된다. 따라서 우리나라 온실산업의 발전과 수출농업으로 육성하기 위해서는 온실냉방기술의 개발 보급이 절실한 것으로 판단된다.

토마토 재배 온실의 난방현황을 살펴보면 Table 3과 같이 무난방 온실은 거의 없으며, 온풍난방이 45%, 온수난방이 약 7%를 차지하고 있으며 46%는 온풍난방과 온수난방을 겸하고 있는 것으로 나타났다. 난방기 용량은 10a당 평균  $127,000 \pm 78,000kcal \cdot h^{-1}$ 로 나타났으며, 이는 토마토 재배온실의 10a당 적정 난방기용량  $135,000kcal \cdot h^{-1}$ 에 약간 못 미치는 수준이다(RDA, 2006).

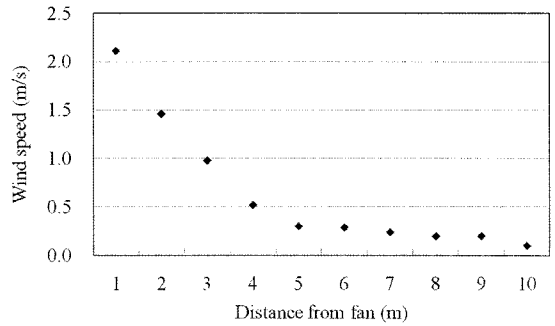
**Table 3.** Actual state of heating facilities in tomato greenhouses. Unit: farms (%).

Heating type		Hot air distributing duct	
Hot air heating	61(44.9)	Arranged in same length of all branch	88(64.7)
Hot water heating	10(7.3)		
Hot air and water	63(46.3)	Radial arrangement with different branch length	36(26.5)
None	2(1.5)	None	12(8.8)
Total	136(100)	Total	136(100)

온풍난방의 경우 모두 온풍덕트를 설치하고 있었으며 덕트 지선은 대부분 같은 길이로 온실 전체에 일렬배치하고 있으나 일부(26.5%)는 온풍기를 중심으로 바깥쪽은 지선의 길이를 길게하고 중심부는 짧게한 방사형으로 배치하고 있었다. 일렬배치하고 있는 덕트의 경우 모든 고랑에 설치한 농가가 33.3%, 일부에만 설치한 농가 66.7%이었으며, 전체 고랑수에 대한 덕트 설치 비율은  $66.7 \pm 11.2\%$ 로 나타났다. 온풍덕트를 설치한 농가 중 덕트에 구멍을 뚫지 않은 농가가 8.9%이었으며, 대부분 구멍을 뚫고 있었으나 구멍의 크기는 평균  $5.4 \pm 2.4\text{cm}$ , 배기공 간격은 평균  $3.2 \pm 1.8\text{m}$ 로 편차가 매우 큰 것으로 나타났다. 이는 난방중인 온실의 온도편차가 심한 이유 중 하나이므로(Lindley와 Whitaker, 1996) 유동팬을 이용한 공기 교환뿐 아니라 덕트의 배치, 배기공의 크기와 간격 등의 설치기준을 정립하여 농가지도에 활용할 필요가 있는 것으로 판단된다.

Kothes와 Bartok(1985)는 온실내 환경요인들의 균일성을 개선하는 가장 유효한 기술이 공기유동률을 높이는 것이라 하였으며, Yu 등(2007)은 온풍난방 온실에서 실험을 통하여 유동팬에 의한 온습도 편차 감소를 확인하였다. 그러나 실태조사 결과 토마토 재배 농가에서 유동팬을 설치한 경우는 5.9%에 불과했으며 10a당 설치대수는 평균  $3.1 \pm 1.5$ 대, 유동팬 설치높이는  $1.9 \pm 0.3\text{m}$ , 설치간격은 온실 길이방향  $13.5 \pm 8.5\text{m}$ , 폭방향  $9.0 \pm 4.9\text{m}$ 로 나타나 편차가 매우 심한 것으로 나타났다. 유동팬 제어방식도 자동 12.5%, 수동 87.5%로 매우 열악하였다. 온실내 환경 균일화에 의한 고품질의 규격화된 수출농산물을 생산하기 위해서는 공기유동기술의 개발, 보급과 유동팬 설치, 운영과 관련된 설계기준의 마련이 시급한 것으로 판단된다.

환기가 부족하거나 난방중인 밀폐된 온실에서 공기의 유동을 일으키는 것은 유동팬과 온풍덕트로서 이들



**Fig. 3.** Change of air current speed according to distance from fan in greenhouse with air-flow system.

의 적정 배치와 운영은 온실환경의 균일화에 매우 중요한 요인이다. 이에 관한 기초자료를 구축할 목적으로 유동팬 및 덕트 시스템에서의 풍속 및 온도 분포를 실측하였다. Fig. 3은 농가에서 사용하고 있는 유동팬에 대하여 팬축에서 거리에 따른 풍속을 실측한 결과이다. 팬 정면 1m 거리에서  $2.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 5m 거리에서  $0.3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었고, 10m 정도의 거리까지 공기유동을 일으킬 수 있는 것으로 나타났다. 실제 농가에서는 15~20m 간격으로 설치하고 있었으나 좀 더 설치간격을 줄여야 공기유동 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

온풍덕트를 고랑에 일직선으로 3열 배치한 단동온실(덕트에는 5m 간격으로 직경 5cm의 구멍을 뚫음)에서 1열과 3열의 덕트 길이별 배기온도와 배기풍속은 Fig. 4(a)와 같다. Fig.에서 보는바와 같이 덕트 시점 부위와 말단 부위에서 온도편차는  $17\sim 20^\circ\text{C}$ , 풍속편차는  $3\sim 4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 온풍덕트를 방사형으로 배치한 연동온실(덕트에 구멍을 뚫지 않음)에서 덕트 길이별 배기온도와 풍속은 Fig. 4(b)와 같다. 덕트길이 10m에서 온도는  $36\sim 37^\circ\text{C}$ , 풍속은  $4.8\sim 5.8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었으나 95m 길이에서는 온도  $24\sim 25^\circ\text{C}$ , 풍속  $3.6\sim 3.8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 떨어져 편차가 큰 것으로 나타났다. 연동온실에 비하여

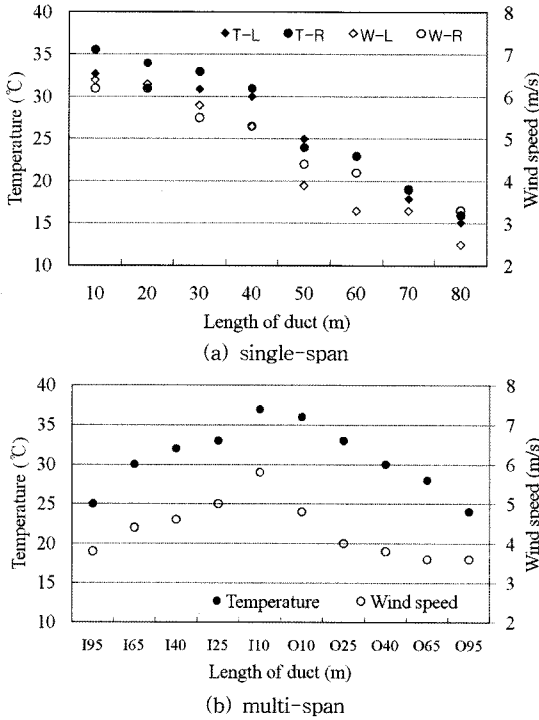


Fig. 4. Air temperature and wind speed out of duct hole in greenhouse with hot air heating system.

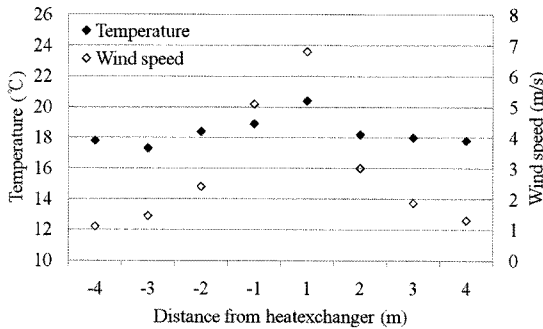


Fig. 5. Air temperature and wind speed according to distance from heat exchanger in greenhouse with hot water heating system.

단동온실에서 온도와 풍속 모두 편차가 더 심한 것으로 나타났다. 온풍난방 온실에서 실내의 온습도 편차를 줄이기 위하여 온풍덕트를 설치하고 있으나 현재의 방법으로는 온습도 균일화를 이루기 곤란할 것으로 판단되며, 온풍덕트의 배치와 설계기준의 정립을 통한 개선이 요구된다.

온수난방(두상배관, 열교환기 방식) 온실에서 열교환

기 주변의 풍속 및 온도분포는 Fig. 5와 같다. 열교환기 팬의 풍속은 유동팬 보다 높았으나 거리에 따른 풍속편차는 매우 큰 것으로 나타났고 팬 축 높이에서의 온도편차는 3°C 정도로 관측되었다. 실험온실은 팬을 부착한 열교환기 방식을 채택하고 있어 난방과 공기유동 효과를 동시에 기대할 수 있으나 설치높이가 2m로 작물 높이 이상인 두상배관 방식이라 난방효율은 떨어질 것으로 판단된다(Kim 등, 2000).

## 2. 토마토 재배 온실의 난방방식별 온습도 분포 균일도 분석

현재 온실내 온습도 분포가 균일한지 여부를 최대편차로 나타내고 있으나 이는 온실내의 환경분포가 일정한 경사를 이루고 있다는 가정 하에서만 가능하다. 본 연구에서는 실제 토마토 재배 온실에서 실측한 데이터를 이용하여 최대편차와 균일도 사이의 관계를 분석하였다. 태양복사조건이나 난방조건 등이 상이하기 때문에 온도와 습도를 각각 주간(07:00~19:00)과 야간(19:00~07:00)으로 나누어 분석하였다. 주간의 온습도

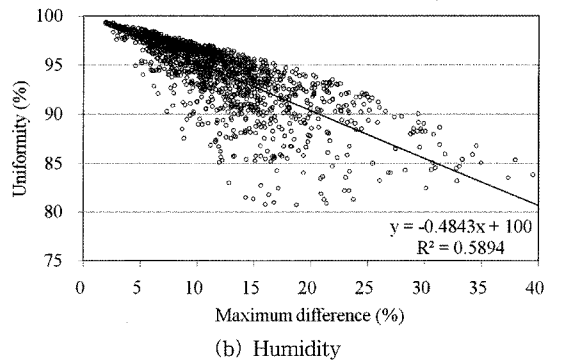
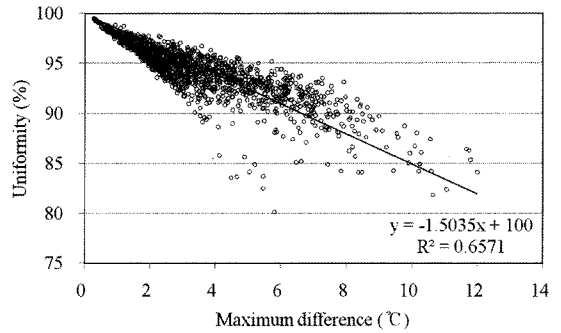


Fig. 6. Relation between the uniformity and the maximum difference of temperature and humidity in the daytime.

토마토 재배 온실의 환경조절에 따른 온습도 균일도 분석

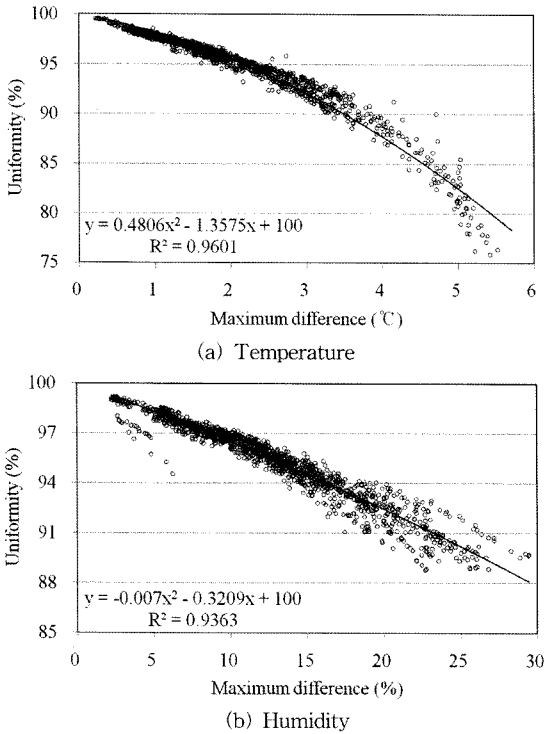


Fig. 7. Relation between the uniformity and the maximum difference of temperature and humidity in the nighttime.

최대편차와 균일도 사이의 관계는 Fig. 6 및 식(3), (4)와 같이 직선관계를 보였으나 최대편차가 커지고 균일도가 떨어지면서 둘 사이의 관계는 크게 분산되는 경향을 보였다. 추세선은 최대편차가 0일 때 균일도가 100%가 되도록 절편을 100으로 설정하여 분석하였고, R<sup>2</sup>값은 온도 0.657, 습도 0.589이었다. 야간의 온습도 최대편차와 균일도 사이의 관계는 Fig. 7 및 식(5),

(6)과 같이 2차의 곡선식으로 나타났고, R<sup>2</sup>값은 온도 0.960, 습도 0.936으로 나타나 주간에 비하여 훨씬 높은 상관관계를 보였다.

$$U_{s,t,d} = 100 - 1.5035\Delta\theta_t \quad (3)$$

$$U_{s,t,d} = 100 - 0.4843\Delta\theta_h \quad (4)$$

$$U_{s,t,n} = 100 - 1.3575\Delta\theta_t + 0.4806(\Delta\theta_t)^2 \quad (5)$$

$$U_{s,h,n} = 100 - 0.3209\Delta\theta_h + 0.007(\Delta\theta_h)^2 \quad (6)$$

여기서, U<sub>s</sub>와 Δθ는 식(1), 식(2)와 같고, 첨자 s는 온도, h는 습도, d는 주간, n은 야간을 의미한다.

온실유형을 단동과 연동으로 나누고, 난방방식을 온풍난방과 온수난방으로 구분하여 온습도분포를 분석하였다. 온습도 계측은 난방기간인 2008년 11월 초부터 2009년 4월 상순까지로 토마토 성숙기와 수확기에 걸쳐서 이루어졌다. Table 4(주간)와 Table 5(야간)는 온실유형과 난방방식별 온도분포의 최대편차와 균일도를 월별로 나타낸 것이고, Table 6(주간)과 Table 7(야간)은 습도분포를 나타낸 것이다.

온도분포의 최대편차는 평균적으로 1.4~3.5°C, 균일도는 94.2~95.8%로 나타나고 있으며, 습도분포의 최대편차는 4.6~12.2%, 균일도는 94.2~98.5%로 나타났다. 자연환기 다연동 온실내 6개 측정간 최대 기온편차는 2.9°C로 나타났고(Lee와 Short, 2001), 길이 42m인 2연동 온풍난방 온실에서 온도편차는 4.7°C, 습도편차는 19%였으나 유동팬을 가동한 경우에 온도편차는 2.2°C, 습도편차는 6.3%로 감소하였다(Yu 등, 2007)는 보고와 비교할 때 유동팬을 사용하지 않고 있

Table 4. Comparison of temperature distribution by heating system and greenhouse type in the daytime.

Month	Maximum difference (°C)				Uniformity (%)			
	Single-span		Multi-span		Single-span		Multi-span	
	Air <sup>x)</sup>	Water <sup>y)</sup>	Air	Water	Air	Water	Air	Water
11	1.9	1.2	2.2	2.9	96.4	97.1	96.4	95.0
12	3.0	1.9	2.6	3.3	94.5	95.5	95.2	94.0
1	4.3	2.1	3.4	3.4	92.3	95.7	93.9	94.3
2	3.4	2.5	2.9	3.5	94.4	95.2	94.9	94.3
3	3.9	4.0	3.5	4.2	94.2	93.7	94.8	94.0
4	3.2	3.4	3.5	3.9	94.8	94.5	94.8	94.1
Mean	3.3	2.5	3.0	3.5	94.4	95.3	95.0	94.3

<sup>x)</sup>Hot air heating system, <sup>y)</sup>Hot water heating system

**Table 5.** Comparison of temperature distribution by heating system and greenhouse type in the nighttime.

Month	Maximum difference (°C)				Uniformity (%)			
	Single-span		Multi-span		Single-span		Multi-span	
	Air	Water	Air	Water	Air	Water	Air	Water
11	1.2	0.8	1.9	2.2	96.5	97.5	95.6	95.1
12	1.4	1.2	2.1	1.9	94.6	95.8	94.2	95.8
1	2.3	1.3	2.9	1.1	93.0	96.0	91.6	97.4
2	2.1	1.5	2.1	1.5	94.2	95.3	94.5	96.5
3	1.6	1.8	2.2	2.8	95.9	95.1	94.9	92.1
4	1.5	1.7	2.4	3.4	96.0	95.1	94.4	89.2
Mean	1.7	1.4	2.3	2.1	95.1	95.8	94.2	94.3

**Table 6.** Comparison of humidity distribution by heating system and greenhouse type in the daytime.

Month	Maximum difference (%)				Uniformity (%)			
	Single-span		Multi-span		Single-span		Multi-span	
	Air	Water	Air	Water	Air	Water	Air	Water
11	5.4	4.8	5.9	8.9	97.2	97.5	96.7	95.7
12	8.2	5.9	6.5	11.8	96.0	97.3	96.8	94.5
1	10.6	7.1	10.1	16.1	95.6	97.0	95.8	93.6
2	9.3	9.7	10.0	11.8	95.6	96.0	95.3	94.7
3	10.5	10.0	12.4	11.1	93.7	94.3	92.9	92.9
4	9.7	12.1	12.5	10.2	94.3	93.0	93.1	93.6
Mean	9.0	8.3	9.6	11.6	95.4	95.8	95.1	94.2

**Table 7.** Comparison of humidity distribution by heating system and greenhouse type in the nighttime.

Month	Maximum difference (%)				Uniformity (%)			
	Single-span		Multi-span		Single-span		Multi-span	
	Air	Water	Air	Water	Air	Water	Air	Water
11	3.2	2.7	3.5	10.7	98.3	98.8	98.9	96.1
12	3.7	4.7	5.8	13.6	98.7	98.3	98.1	94.6
1	6.3	4.8	5.4	18.4	97.9	98.4	98.2	93.5
2	4.8	5.8	4.2	13.1	98.4	98.1	98.6	95.2
3	5.1	6.4	4.2	9.7	98.2	98.0	98.7	96.6
4	4.7	5.6	4.4	7.6	97.9	97.7	98.6	97.0
Mean	4.6	5.0	4.6	12.2	98.2	98.2	98.5	95.5

는 본 연구 대상온실의 온습도 편차는 대체로 양호한 것으로 판단된다. 하지만 균일도 측면에서는 아직 명확한 기준이 없기 때문에 판단하기가 곤란하다. 미국농공학회 기준(Nam과 Kim, 2007)에 의하면 관수 균일도의 경우 95% 이상이면 매우양호, 93% 이상이면 양호, 89% 이상이면 보통, 89% 미만이면 불량, 85% 미만이면 사용불가로 판정하고 있다. 이 기준을 적용할 경우 실험온실의 온습도 분포는 대체로 양호한 수준

이상으로 판정할 수 있지만 Fig. 6과 7에서 보는바와 같이 불량한 수준도 상당수 존재하고 있어 판정하기가 곤란하므로 보다 객관적인 기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

단동온실의 경우 온수난방방식이 온풍난방방식에 비하여 온도 편차는 작고, 온도 균일도는 높게 나타났다. 야간이 주간보다 편차가 작고, 균일도는 높은 것으로 나타나고 있는데 이는 다중의 보온커튼을 사용하여 밀



토마토 재배 온실의 환경조절에 따른 온습도 균일도 분석

**Table 8.** Comparison of temperature and humidity distribution by heating system and greenhouse type (95% confidence level).

Distribution		Maximum difference (°C, %)				Uniformity (%)			
		Single-span		Multi-span		Single-span		Multi-span	
		Air	Water	Air	Water	Air	Water	Air	Water
Temperature	daytime	8.2	6.3	6.2	7.6	87.8	89.5	89.8	88.8
	nighttime	3.2	2.8	3.9	4.2	90.4	91.6	89.0	87.2
Humidity	daytime	21.6	18.9	21.2	23.4	88.0	90.0	87.3	87.1
	nighttime	10.6	11.3	8.3	24.1	96.2	96.1	97.2	90.7

폐도가 높기 때문에 판단된다. 실제 실험온실은 4층 피복 온실로 내부에 3층의 보온커튼(PE, 개폐식)을 사용하고 있었다. 주간 습도분포는 온도분포와 유사한 경향을 보였으며 야간에는 큰 차이는 없으나 반대로 나타나는 경우도 있었다. 이는 야간 습도가 매우 높아 센서의 추적성에 문제가 있기 때문으로 판단된다. 연동 온실의 경우에는 단동과 반대로 온풍난방방식이 온수 난방방식에 비하여 온습도 편차는 작고 균일도는 높은 것으로 나타났다. 본 실험온실에 설치된 온수난방방식의 경우 두상배관 및 열교환기 방식으로써 지상에 온풍덕트를 설치한 온풍난방방식보다 난방효율이나 온습도 균일도가 떨어지는 것으로 판단된다.

Table 8은 온습도 분포 실측치를 종합하여 평균과 표준편차로부터 95% 신뢰수준으로 분석한 값이다. 주간 경우 온도 최대편차는 6.2~8.2°C, 온도 균일도는 87.8~89.8%로 나타났으며 습도 최대편차 18.9~21.3%, 습도 균일도 87.1~90%로 나타나 온습도 분포가 균일하지 못한 것을 알 수 있었다. 주간환기와 공기유동의 개선을 통하여 균일한 환경조건을 만들 수 있는 연구 개발이 필요한 것으로 판단된다. 야간의 경우에는 온도 최대편차 2.8~4.2°C, 온도 균일도 87.2~91.6%로 나타났으며 습도 최대편차 8.3~24.1%, 습도 균일도 90.7~97.2%로 나타났다. 주간보다는 온습도 분포가 더 균일한 것으로 나타났지만, 고품질 생산을 위해서는 더욱 온습도 편차를 줄이고 균일도를 높일 필요가 있는 것으로 생각되며 난방방식이나 덕트설치 방식의 개선을 통하여 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

**적 요**

공기유동 제어기술의 개발을 위한 기초자료를 제공

할 목적으로 토마토 재배 온실의 냉난방과 환기 및 공기유동 관련 실태를 조사하고, 온실유형과 난방방식 별 온습도 분포를 실측하여 균일도를 분석하였다. 충남 부여 세도지역의 토마토 재배 온실 136농가를 대상으로 조사한 결과 대부분을 차지하는 단동 플라스틱 온실의 천창 설치 비율이 낮고 환기팬과 유동팬 설치비율도 매우 낮을 뿐만 아니라 설치제원도 편차가 매우 큰 것으로 나타났다. 아치형 단동 플라스틱온실의 천창 환기 구조의 개발보급과 연동공부의 천창도 지붕상부로 이동시킬 필요가 있으며, 개별 천창구조 및 환기팬과 유동팬에 대한 설치 가이드라인의 제정이 요구된다. 냉방설비를 설치한 농가는 하나도 없었으며 난방방식의 대부분을 차지하는 온풍난방에서 덕트의 설치제원 역시 편차가 큰 것으로 나타났고, 온풍덕트의 배기풍속 및 배기온도 또한 거리에 따른 편차가 매우 큰 것으로 관측되었다. 수출경쟁력 확보를 위한 고품질의 생산물을 연중 안정적으로 생산하기 위해서는 온실냉방기술의 보급이 절실하며 난방방식이나 덕트설치 방식의 개선이 필요한 것으로 판단된다. 온실내 온습도 분포가 균일한지 여부를 판단하는 지표로 사용되고 있는 최대편차와 실제 균등한 정도를 나타낼 수 있는 균일도와와의 관계를 분석해 본 결과 높은 상관관계를 보였으나 주간에는 직선식으로 야간에는 2차곡선식으로 다르게 표현되었다. 온습도 분포의 균일한 정도를 판정할 수 있는 객관적인 기준이 마련된다면 최대편차 대신 균일도를 지표로 사용하는 것이 더 합리적일 것으로 판단된다. 온실유형과 난방방식에 따라 온습도분포의 균일도가 상당히 다른 것을 확인할 수 있었으며 야간에는 온수난방의 경우 이랑배관으로, 온풍난방의 경우 온풍덕트의 적절한 배치를 통하여, 주간에는 환기와 공기유동을 통하여 균일도를 개선할 수 있을 것으로 판단되었다.

**주제어** : 공기유동, 공기조화, 온습도분포, 토마토재배  
온실, 환기

## 사 사

본 연구는 ARPC 토마토 수출연구사업단의 연구비  
지원에 의해 수행되었음.

## 인 용 문 헌

1. Bakker, J.C. 1990. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 65(3):323-331.
2. Fernandez, J.E. and B.J. Bailey. 1994. The influence of fans on environmental conditions in greenhouses. *J. Agric. Engng. Res.* 58:201-210.
3. Korea Agro-Fisheries Trade Corporation. 2009. Circumstances and strategy for tomato exports into foreign markets. p. 7-31 (in Korean).
4. Korea Agricultural Trade Information. 2009. Agricultural trade statistics. <http://www.kati.net/>.
5. Kim, M.K., S.W. Nam, W.M. Seo, Y.C. Yoon, S.G. Lee, and H.W. Lee. 2000. Agricultural structures engineering. Hyangmoonsa. p.170-173 (in Korean).
6. Lee, I.B. and T.H. Short. 2001. Verification of computational fluid dynamic temperature simulations in a full-scale naturally ventilated greenhouse. *Trans. of the ASAE* 44(1):119-127.
7. Lindley, J.A. and J.H. Whitaker. 1996. Agricultural buildings and structures. ASAE. p. 463-484.
8. Nam, S.W. and Y.S. Kim. 2007. Discharge variation of perforated hoses and drip irrigation systems for protected cultivation. *J. Bio-Env. Con.* 16(4):297-302 (in Korean).
9. Park, E.J. 2009. Strategy for expansion of tomato exports. Proceeding of the conference to expedite export of tomatoes. p. 3-27 (in Korean).
10. Rural Development Administration. 2006. Energy saving guide book for protected horticulture. 164 (in Korean).
11. Yu, I.H., M.W. Cho, S.Y. Lee, H. Chun, and I.B. Lee. 2007. Effects of circulation fans on uniformity of meteorological factors in warm air heated greenhouse. *J. Bio-Env. Con.* 16(4):291-296 (in Korean).