

## 순환팬이 온풍난방 온실의 기상분포 균일화에 미치는 영향

유인호<sup>1</sup> · 조명환<sup>1</sup> · 이시영<sup>1</sup> · 전희<sup>1</sup> · 이인복<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>원예연구소 시설원예시험장, <sup>2</sup>서울대학교

## Effects of Circulation Fans on Uniformity of Meteorological Factors in Warm Air Heated Greenhouse

In Ho Yu<sup>1</sup>, Myeong Whan Cho<sup>1</sup>, Si Young Lee<sup>1</sup>, Hee Chun<sup>1</sup>, and In Bok Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Rural Systems Eng., Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

**Abstract.** This study was conducted to investigate the effects of horizontal air flow produced by circulation fans on horizontal and vertical profiles of meteorological factors. The three-dimensional distributions of air speed, air temperature, relative humidity and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration were measured with and without the fans in operation. The uniformity of the spatial distribution of meteorological factors decreased as the outside air temperature decreased. In "fans off" condition, spatial variations of 4.7°C in air temperature, 19% in relative humidity were detected. When the fans were operated, these variations were reduced to 2.2 and 6.3%, respectively. As the fan capacity increased, the difference in air temperature among sampling points decreased. The fan capacity of 0.0104 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> was enough to obtain a reasonable air flow in greenhouse. The vertical profiles of air temperature and CO<sub>2</sub> concentration were reasonably uniform regardless of measurement height and fan capacity. Further researches on the position of fans to reduce the difference in air temperature along the width and the effects of using a larger number of smaller fans are required.

**Key words :** air circulation, chrysanthemum, circulation fan, temperature distribution

\*Corresponding author

### 서 언

우리나라 원예시설 난방면적은 2006년 현재 9,951ha로서 이중 온풍난방이 88%를 차지하고 있다(MAF, 2006). 겨울철 온풍난방시 온풍기가 있는 전면에서의 온풍온도와 덕트 끝 지점에서의 온풍온도 차이로 인해 전·후면의 기온 편차가 4~7°C까지 생겨 기온분포가 불균일한 경우를 흔히 볼 수 있다. 온실내 기온편차로 인해 작물 생육이 불균일하여 수량 및 품질이 떨어지고 재배기간이 연장되는 문제가 발생하고 있다.

온실을 성공적으로 운영하기 위한 여러 목표 중 하나는 온실내 미기상 환경을 얼마나 균일하게 유지하는지 하는 것이다. 이는 작물 생육이 온실내 미기상 환경에 많은 영향을 받기 때문이다. 작물 생육은 기온에

민감하게 반응하고 특히 개화, 결실 등 특정 생육단계에서는 기온의 영향을 많이 받는다(De Koning, 1994). 국화의 개화소요일수는 야간기온 25°C처리에 비해 15°C처리에서 개화소요일수가 22일 정도 더 요구된다(Kim, 2003). Bakker(1990)는 토마토 생육 시험에서 온실내 습도가 높을수록 칼슘 결핍이 빨리 나타남과 동시에 엽면적이 감소하게 되고 수량, 평균 과중, 품질 등이 감소하는 것으로 보고하였다.

온실내 환경 요인들의 균일성을 개선하는 가장 유효한 기술 중의 하나로 온실에서 공기 유통률을 높이는 방법이 보고되고 있다(Koths와 Bartok, 1985). 공기 순환은 온실내 CO<sub>2</sub> 농도, 기온을 좀더 균일하게 만들어 줌으로써 증산과 광합성 과정에서 균일한 생육을 촉진시킨다. 더욱이 작물체 잎 부근의 공기 흐름을 증가시키는 것은 엽면경계층 저항을 감소시켜 잎과 주변

공기 간에 에너지, 수증기, CO<sub>2</sub> 등의 흐름을 개선하는 효과가 있다(Andersson, 1991; Drake 등, 1970).

공기 순환을 촉진시키기 위하여 일반적으로 수평팬 유도 공기순환방법과 상부 플라스틱 천공튜브 방법이 사용되고 있다. 수평팬 유도 공기순환방법은 일정한 간격으로 팬을 설치하여 온실 전체의 공기를 순환시키는 방식이고, 상부 플라스틱 천공튜브 방법은 온실 끝벽에 설치된 팬에 일정한 간격으로 천공된 튜브를 연결하여 튜브의 구멍을 통해 공기를 분사하여 일정 구역의 공기를 순환시키는 방식이다. 수평팬 유도 공기순환방법은 상부 플라스틱 천공튜브 방법에 비해 유지비, 초기 투자비가 적게 들고 공기 순환 또는 열분배에 좀더 효율적인 것으로 보고되고 있다(ASAE, 1997). 수평적인 공기 흐름을 만들기 위해서는 작물 군락 위에 팬을 설치하는 것이 가장 유용하다(Kothes, 1979). 작물 생육을 위한 최소 기류속도는  $0.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 이고, 적정 기류속도는  $0.3\sim 0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 이며,  $1.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 초과해서는 안된다(Kim, 1997). 따라서 팬의 선택과 배치는 매우 신중하게 이루어져야 한다. 팬 용량이 너무 크면 과도한 공기 유동을 만들어 작물 생육이 억제되고 팬 운용에 지나치게 많은 비용이 들 수 있다. 반대로 팬 용량이 너무 작으면 원하는 공기 유동을 만들 수 없다(Brugger 등, 1987).

순환팬의 적정 용량 및 배치에 관련하여 ASAE Standards EP406.2(1997)에 순환팬 설치 기준이 제시되어 있다. 그러나 이러한 기준들은 온실 내부에 균일한 기류속도를 만들어 주는데 초점을 두고 있으며 이를 검증할 수 있는 순환팬 관련 실험 데이터가 없는 실정이다. 상업적인 온실에 이용할 수 있는 효과적인 순환팬의 용량 및 배치를 설계하기 위해서는 순환팬이 온실내 환경 요인들의 균일성에 미치는 영향에 관한 정량적인 정보가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 순환팬에 의해 만들어지는 수평적인 공기 흐름이 환경요인들(기온, 습도, CO<sub>2</sub>농도, 풍속)의 수평 및 수직분포에 미치는 영향을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 온실과 순환팬

실험은 시설원예시험장에 있는 아치형 2연동 온실에 서 이루어졌다. 온실의 길이는 42m, 폭은 14m, 측고

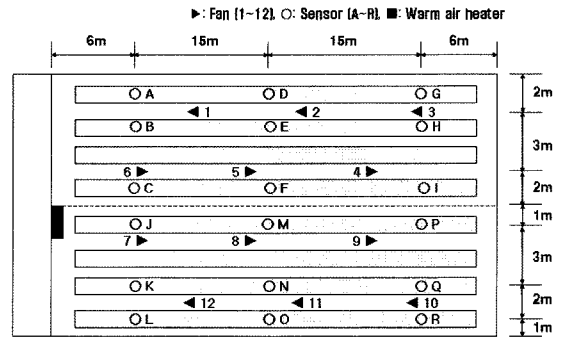


Fig. 1. Plan view of the experimental greenhouse. The fan locations (1 to 12) and sensor locations (A to R) are shown. The height of the fans was at 2.4 m. The arrows show the direction of the airflow from the fans.

는 2.7m였다. 시험에 사용된 작물은 국화(cv. Sinma)로 8이랑에  $11\times 11\text{cm}$  재식간격으로 재배되었다. 군락 하부의 폭은 1m, 국화가 완전히 자랐을 때 군락의 높이는 1.2m였다.

온실 물받이 사이를 가로지르는 중방 프레임에 12개의 팬을 설치하였으며, 팬 위치는 약간 비대칭으로 하였다(Fig. 1). 팬의 날개는 3개, 직경은 350mm, 팬 축은 수평이었다. 팬 상단부의 높이는 중방 프레임 하단과 같은 높이인 2.4m였다. 팬 용량은 가변 컨트롤러를 이용하여 3단계(1단:  $0.44\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , 2단:  $0.51\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , 3단:  $0.54\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ )로 하였다. 순환팬 가동시간은 주로 난방이 이루어지는 시간대인 18시부터 다음날 9시까지로 하였다.

### 2. 환경요소 측정

기상 환경의 수평분포를 보기 위해 Fig. 1과 같이 기온 및 상대습도 센서를 온실내 18개 지점(A~R)에 배치하였다. 온실 길이 방향으로 온풍기로부터의 거리에 따라 3개 단면으로, 온실 폭 방향으로 6개 단면으로 나누었다. 기온은 18개 각 측정마다 3가지 다른 높이, 즉 하부는 지면으로부터 0.6m, 중간은 1.2m, 상부는 1.8m에서 측정이 이루어졌으며, 상대습도는 지면으로부터 1.2m 높이에서만 측정이 이루어졌다. 기온은 씨미터, 상대습도는 반도체 센서로 측정되었으며, 측정된 데이터는 다점 기록계를 이용하여 5분 간격으로 저장하였다.

기상환경의 수직분포를 보기 위해 5번 팬으로부터 3m와 9m 떨어진 위치에 풍속, 기온, CO<sub>2</sub>농도 센서를

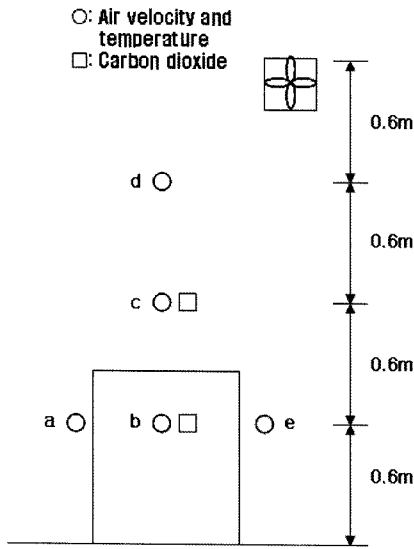


Fig. 2. Sensor locations (a to e) for measurement of environmental factors along the height.

Fig. 2와 같이 배치하였다. 풍속은 열선풍속계, 기온은 씨미스터, CO<sub>2</sub>농도는 적외선 가스분석기로 측정되었으며, 측정된 데이터는 다점 기록계를 이용하여 5초 간격으로 저장하였다. 외부기상 데이터는 온실 측면으로부터 3m 떨어진 위치에 기둥을 세우고 1.8m 높이에서 기온 및 상대습도를 5분 간격으로 측정하였다. 또한 비교 분석을 위해 실험온실 바로 옆에 위치한 동일한 규모의 온실을 대조구로 설치하여 실험온실에서와 같은 방법으로 내부 기상환경을 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 팬에 의해 생성되는 기류의 속도분포

Fig. 3은 팬이 최고 속도로 가동될 때 팬 축을 따라 측정된 풍속의 변화를 나타낸다. 팬으로부터의 거리가 증가함에 따라 풍속은 급격하게 감소하지만 기류는 팬으로부터 상당히 먼 거리까지 형성된다. 팬으로부터 1m 떨어진 위치에서 측정된 풍속은  $5.68\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 였으며, 팬으로부터 12m 위치에서의 풍속은  $0.24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났다.

### 2. 기상인자의 수평분포

온실내 미기상 환경은 작물 생육에 중대한 영향을 미치며 유동하는 공기에 의해 이루어지는 기상환경의

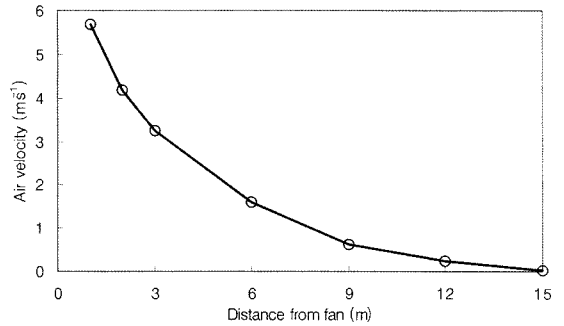


Fig. 3. Air velocity along the fan axis at the maximum running speed.

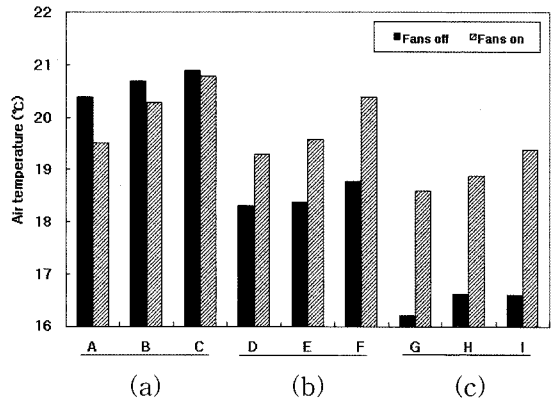


Fig. 4. Horizontal distribution of air temperature at 1.2 m height of measurement; distances of (a) 6 m, (b) 21 m, (c) 36 m from warm air heater. Fans were running at the maximum speed.

균일성은 기온, 상대습도, CO<sub>2</sub> 농도 등의 최대 편차의 변화에 의해 결정하였다. 무처리시 온풍기가 설치된 온실 전면으로부터 후면으로 갈수록 기온이 낮았으며 최대 4°C 이상의 편차가 발생하였는데, 이는 온풍기가 있는 전면에서의 온풍온도와 덕트 끝 지점에서의 온풍온도가 차이가 있기 때문이다. 순환팬 가동시에는 유동하는 공기에 의해 온실 전·후면의 측정간 최대 편차가 2°C 정도로 크게 줄어들었다(Fig. 4). 무처리시 온실 폭방향으로의 편차는 최대 0.5°C 이내로 크지 않은 반면 순환팬 가동시에는 최대 1.3°C까지 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 온실내 배치된 팬에 의해 온실 후면의 찬 공기가 측면을 따라 이동하고 공기 유동에 의해 측면으로의 대류 열손실이 증가하기 때문으로 판단된다. 온실 후면 모서리 영역(G)의 기온이 가장 낮게 나타났는데 이는 순환팬을 가동하더라도 마찬가지로 경향을 나타냈다. 따라서 폭 방향의 기온 편

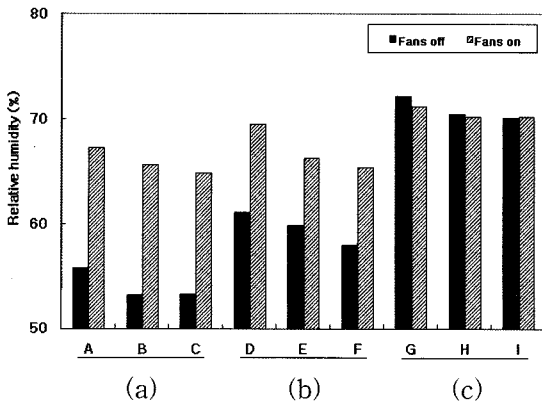


Fig. 5. Horizontal distribution of relative humidity at 1.2 m height of measurement; distances of (a) 6 m, (b) 21 m, (c) 36 m from warm air heater. Fans were running at the maximum speed.

차를 줄이고 기온 분포를 좀더 균일하게 할 수 있는 배치를 재탐색할 필요가 있을 것으로 판단된다. 기온과 마찬가지로 상대습도 역시 순환팬 가동시 측정간 편차가 유의하게 감소하여 팬을 가동함으로써 습도분포도 매우 균일하게 할 수 있음을 알 수 있었다. 순환팬 가동시 측정간 최대 편차는 6.3%였으며 무처리시의 최대 편차에 비해 1/3 이하로 줄었다(Fig. 5).

팬 용량에 따른 공기 유동효과를 보기 위하여 가변 컨트롤러를 이용하여 팬 용량을 3단계(1단:  $0.44\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , 2단:  $0.51\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , 3단:  $0.54\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ )로 조절하였다. ASAE 설치 기준(1997)에 의하면 적정 팬 용량은 온실바닥면적당  $0.01\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  정도인 것을 선택하도록 권장하고 있다. 실험온실의 바닥면적이  $588\text{m}^2$ 이므로 적정 팬 용량은  $5.88\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 가 된다. 12개의 팬이 설치되어 있으므로 실험온실에 필요한 팬 1개의 용량은  $0.49\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  이상이 되어야 한다. 이보다 용량이 부족할 경우에는 원활한 공기 유동을 만들어 내지 못하게 되고 반대로 팬 용량이 너무 크면 과도한 공기 유동을 만들어 작물 생육이 억제되고 팬 운용에 지나치게 많은 비용이 들 수 있다. 팬 용량을 달리 하여 1.2m

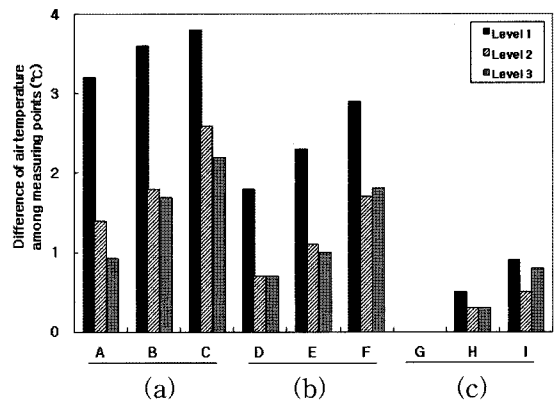


Fig. 6. Horizontal distribution of air temperature at 1.2 m height of measurement by fan speeds; distances of (a) 6 m, (b) 21 m, (c) 36 m from warm air heater. The values are given relative to the lowest measured values.

높이에서의 기온분포를 살펴본 결과 팬 용량이 증가할수록 측정간 기온 편차가 줄어드는 것으로 나타났다(Fig. 6). 1단으로 가동한 경우 원활한 공기 유동을 만들어 내지 못해 측정간 최대 편차가 크게 나타났다. ASAE 설치 기준을 넘어서는 2단과 3단에서는 측정간 최대 편차가 각각 2.6, 2.2로 나타나 팬 용량이 증가할수록 측정간 기온 편차가 줄었다. 그러나 팬을 3단으로 가동했을 때 2단으로 가동한 경우에 비해 팬 1개당 13W의 전력이 더 소비되었기 때문에 전력 소비량을 고려한다면 2단 정도의 팬 용량으로도 충분할 것으로 판단된다.

Table 1은 균락 높이가 0.8m일 때 측정 높이별 기온분포의 균일성을 나타내고 있다. 무처리구와 순환팬 가동구 모두에서 높이가 증가할수록 기온이 증가하는 경향을 보였다. 구간에는 높이별 기온차가 5°C 이상을 보였지만 야간에는 높이별 기온차가 1°C 이내로 크지 않았다. 무처리구에서는 측정간 최대 편차가 5°C 정도로 크게 나타났지만 순환팬을 가동함으로써 최대 편차가 2.3°C~2.8°C로 줄어들었다. 측정 높이 0.6m에서도 기온 편차가 줄어들어드는 것으로 봐서 팬이 균락 하

Table 1. Horizontal distribution of air temperature by height of measurement.

Height of measurement (m)	Fans off			Fans on		
	mean (°C)	min. (°C)	max. (°C)	mean (°C)	min. (°C)	max. (°C)
0.6	18.3	15.8	20.8	19.7	18.5	21.3
1.2	18.6	16.2	21.0	19.7	18.6	21.0
1.8	18.9	16.3	21.5	20.0	18.8	21.2

\*The height of canopy was 0.8m.

순환팬이 온풍난방 온실의 기상분포 균일화에 미치는 영향

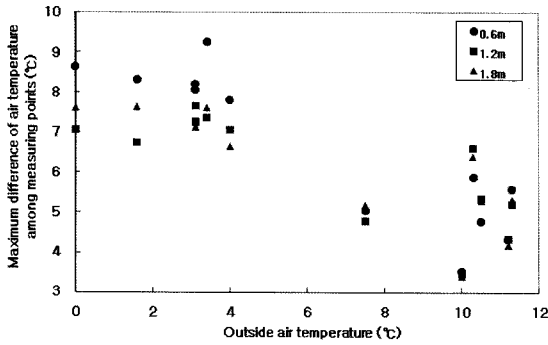


Fig. 7. Maximum differences of air temperature among the measuring points A to R (Fig. 1) along the outside air temperature.

부까지 영향을 미침을 알 수 있었다. 온실내 측정간 편차는 외기온이 낮을수록 증가하는 경향을 나타냈다 (Fig. 7).

3. 기상인자의 수직분포

Fig 8a와 b는 균락 높이가 0.8m일 때 5번 팬으로 부터 3m, 9m 떨어진 위치에서의 균락 주변과 내부에서 측정된 풍속을 나타내고 있다. 1.8m 높이(d)에서의

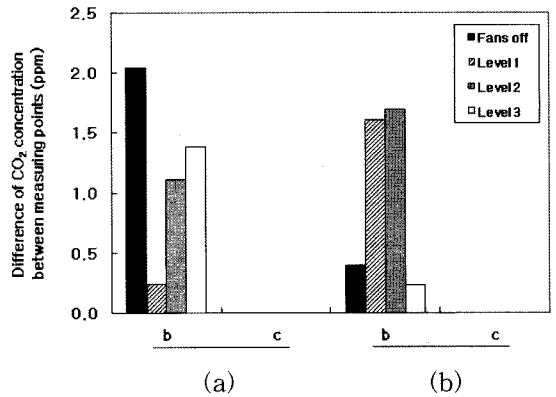
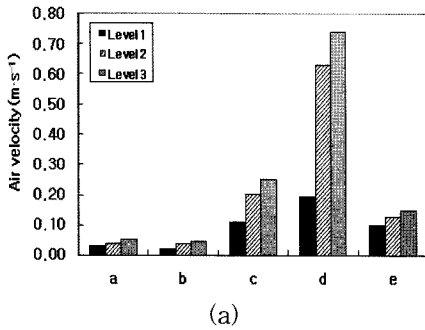


Fig. 10. Vertical distribution of CO<sub>2</sub> concentration; distances of (a) 3 m, and (b) 9 m from fan No. 5. The values are given relative to the lowest measured values.

풍속이 가장 높고 높이가 낮아질수록 크게 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 팬 축에서의 풍속이 가장 높고 1.8m 높이가 팬 축에 가장 가깝기 때문으로 판단 된다. 팬 용량이 커질수록 풍속이 증가하는 경향을 나타냈다. Kim(1997)에 의하면 기류 속도가 1.0m·s<sup>-1</sup>를 초과하면 작물 생육이 억제된다고 하였는데 이 실험에

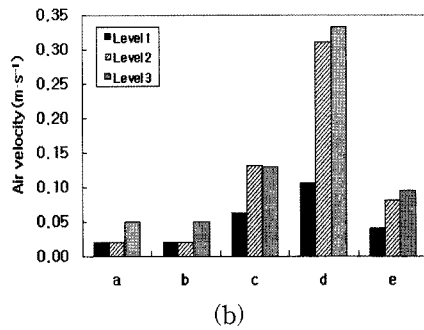


Fig. 8. Vertical distribution of air velocity; distances of (a) 3 m, and (b) 9 m from fan No. 5.

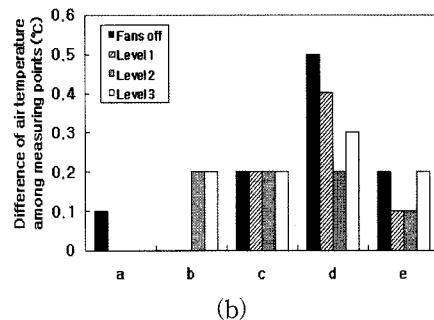
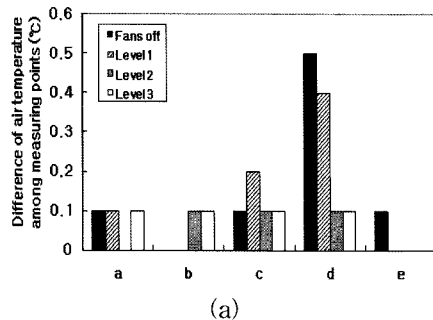


Fig. 9. Vertical distribution of air temperature; distances of (a) 3 m, and (b) 9 m from fan No. 5. The values are given relative to the lowest measured values.

## 인 용 문 헌

서는 작물 균락 상부에서의 최대 풍속이  $0.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  이하로 나타났다.

Fig 9a와 b는 5번 팬으로부터 3m, 9m 떨어진 위치에서의 균락 주변과 내부 측정들 간의 기온 편차를 나타내고 있다. Table 1에서도 알 수 있듯이 야간에는 높이별 기온차가 크지 않기 때문에 수직분포는 비교적 균일한 것으로 나타났으며 팬 용량 간에도 유의한 차이를 볼 수 없었다.  $\text{CO}_2$  농도의 수직분포는 높이나 팬 용량에 관계없이 비교적 균일한 것으로 나타났다 (Fig. 10).

## 적 요

이 연구는 순환팬에 의해 만들어지는 수평적인 공기 흐름이 환경요인들의 수평 및 수직분포에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행하였다. 순환팬 가동 유무에 따라 기류 속도, 기온, 상대습도 및  $\text{CO}_2$  농도의 3차원 분포를 측정하였다. 온실내 기상인자 분포의 균일성은 외기온이 낮아짐에 따라 감소하였다. 무처리시 기온 편차는 4.7, 습도 편차는 19%이었는데 팬을 가동한 경우 그 편차들은 각각 2.2, 6.3%로 감소하였다. 팬 용량이 증가할수록 측정간 기온 편차가 줄어들었는데, 온실 바닥면적당  $0.0104\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  용량의 팬으로 온실내 적정한 공기 유동을 만들 수 있었다. 기온 및  $\text{CO}_2$  농도의 수직분포는 높이나 팬 용량에 관계없이 상당히 균일한 것으로 나타났다. 폭 방향의 기온 편차를 줄일 수 있는 팬 배치와 소용량의 팬을 다수 설치했을 때의 효과에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

**주제어** : 공기순환, 국화, 기온분포, 순환팬

1. Aldrich, R.A. and J.W. Bartok Jr. 1990. Greenhouse Engineering. NRAES, Ithaca, New York, USA. p. 79-83.
2. Andersson, N.E. 1991. The influence of forced air movements on greenhouse climate and plant growth. Tidsskrift for Planteavl. 94:323-330.
3. ASAE EP406.2. 1997. Heating, ventilating and cooling greenhouses. ASAE.
4. Fernandez, J.E. and B.J. Bailey. 1994. The Influence of Fans on Environmental Conditions in Greenhouses. J. agric. Engng. Res. 58:201-210.
5. Bakker, J.C. 1990. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Hort. Sci. 65(3):323-331.
6. Brugger, M.F., T.H. Short, and W.L. Bauerle. 1987. An evaluation of horizontal air flow in six commercial greenhouses. ASAE Paper No.37-4030:1-10.
7. De Koning, A.N.M. 1994. Experimental investigation and modelling of development and dry matter distribution in glasshouse tomato. PhD. Diss. Agricultural University Wageningen.
8. Drake, B.G., K. Raschke, and F.B. Salisbury. 1970. Temperatures and transpiration resistances of Xanthium leaves as affected by air temperature, humidity, and wind speed. Plant Physiology. 46:324-330.
9. Kim, K.W. 2003. A study on development of advanced growth control system with remote control and practical use in chrysanthemum. ARPC. Research Project Report. p. 68-76 (in Korean).
10. Kim, M.K. 1997. Design Standards for greenhouse Environment(II). Korea Rural Community and Agriculture Corporation. p. 149-163 (in Korean).
11. Koths, B.J. and J.W. Bartok. 1985. The greenhouse Environment. John Wiley & Sons. INC.
12. Koth, J.S. 1979. Horizontal air flow characteristics. Connecticut Greenhouse Newsletter. 91:1-8.
13. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF). 2006. Vegetable production (in Korean).