

# 방충망이 설치된 단동온실의 자연환기 성능 분석

## Analysis on natural ventilation of single span greenhouse with insect screen

윤남규 · 이성현 · 김경원 · 염성현 · 이인복\*

농업공학연구소 시설자원공학과 · \*서울대학교 조경지역시스템공학부

Yun, N.K. · Lee, S.H. · Kim, K.W. · Yum, S.H. · \*Lee, I.B.

*National Institute of Agricultural Engineering, RDA, 441-857*

*\*Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul*

*National University, 151-742*

### 서 론

자연환기는 온실의 환경조절에서 가장 중요한 요인의 하나이다. 이는 자연환기가 실내 공기의 현열 및 잠열 이동과 탄산가스 농도의 변화에 직접 영향을 미치는 요인이기 때문이다. 지금까지 온실의 자연환기에 대한 연구는 여러 연구자들에 의해 꾸준히 계속되어 왔다. 특히, 최근 컴퓨터기술의 발달에 따라 CFD 기법에 의한 수치해석적 연구가 활발히 진행됨에 따라 온실의 자연환기 과정 및 환경변화를 비교적 정확하게 예측, 분석하는 것이 가능해 졌다. 환기는 기류분배, 온실에서의 작물 증산량과 환경의 불균일 해소를 위한 추진력이기 때문에 CFD를 이용한 많은 온실의 환기연구가 이루어지고 있다(Bot, 1983; De Jong, 1990; Fernandez와 Bailey, 1992; Boulard 등, 1996).

농업시설의 환기와 공기유동에 대한 위와 같은 연구성과에 힘입어 온실내 작물의 영향을 고려한 사실적인 CFD 시뮬레이션이 가능해지면서, 보다 발전된 연구의 일환으로 친환경 재배를 위해 최근 사용이 증가하고 있는 방충망이 설치된 온실의 환기와 내부 유동에 대한 연구가 수행되었다(Bartzanas 등, 2002; Fatnassi 등, 2003). 이들은 연구결과를 통해 방충망의 사용으로 인해 온실내부의 기온 및 상대습도가 상승하고, 공기의 유동 또한 방충망이 없을 경우에 비해 공기교환율이 절반까지 감소하고, 풍하측의 역류가 발생하는 등의 특징을 나타내는 것으로 보고하였다. 최근 국내 시설원에 농가들 중에도 외부로부터의 병해충의 침입을 막아, 농약을 적게 혹은 전혀 사용하지 않고 작물을 생산하는 친환경 농업을 위해 환기창에 방충망을 설치하는 곳이 늘어나고 있다. 그러나 이러한 방충망의 설치해충의 침입을 방지하여 병충해가 적어지는 반면, 유입공기의 양을 감소시켜 실내 환기가 충분하게 이루어지지 못함으로써 실내환경을 불량하게 만드는 원인이 되기도 하므로 세심한 사전 검토가 필요하다.

본 연구에서는 자연환기창의 방충망에 의한 실내 공기의 유동특성과 환기성능의 변화를 CFD 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

실험은 수원시(N37°16')에 위치한 원예연구소 시험포장의 플라스틱 단동온실에서 수행되었다(Fig. 1).

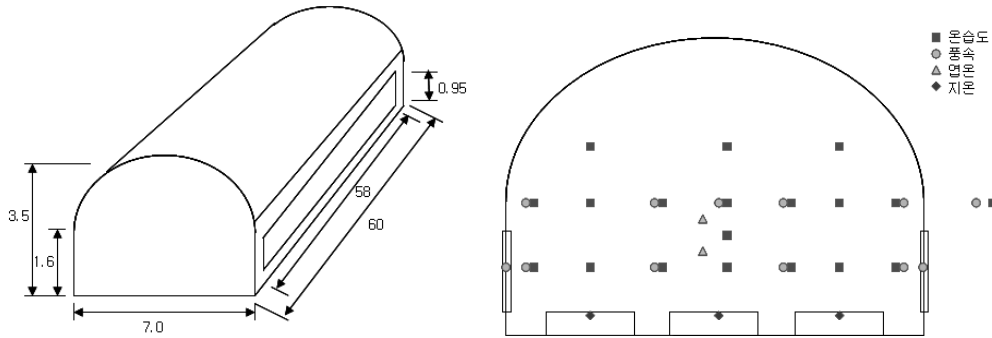


Fig. 1. Dimension of the experimental greenhouse and sensor configuration.

실험온실은 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 폭 7m, 높이 3.5m, 길이 60m인 동서동의 아치형 단동온실로 바닥면적은 420m<sup>2</sup>이고, 양 측면에 높이 0.95m의 환기창이 길이방향으로 58m로 연속하여 설치되어 있었다. 유일한 환기창인 양 측창은 모두 방충망이 피복되어 있고, 출입문은 닫았다. 재배작물은 토마토(800주)로 초장은 평균 1.7m였다.

온실 외부의 기상조건은 일사량, 기온, 상대습도, 풍향, 풍속 등이 측정되었으며, 온실 내부의 미기상은 온습도, 지온, 풍속을 Fig. 1과 같이 배치하여 측정하였다. 일사센서는 온실의 중앙부와 외부에 각각 지면으로부터 1.8m 높이에 설치하였고, 기온센서와 상대습도센서는 각각 지면으로부터 1m, 1.5m, 2m 높이에 설치하였다. 지온센서는 각 두둑에 1개씩 지면으로부터 0.1m 깊이에 매입하여 설치하였고, 풍속센서는 1m와 1.5m의 높이에 설치하였다. 실험은 2006년 8월 17일~18일에 수행하였다.

방충망에 대한 Darcy-Forchheimer의 투과성매체 공식의 변수들은 방충망의 porosity에 따라 다음 식과 같이 결정할 수 있다(Miguel, 1998).

$$K = 3.44 \times 10^{-9} a^{1.6} \quad Y = \frac{4.3 \times 10^{-2}}{a^{2.13}}$$

여기서,  $K$ 는 방충망의 permeability(m<sup>2</sup>),  $Y$ 는 방충망에 의한 비선형 모멘텀 손실 계수(압력손실계수,  $C_F$ )이다. 그리고, 방충망의 porosity,  $a$ 는 다음 식을 이용하여 구한다(Brundrett, 1993).

$$a = \frac{(L-d)(l-d)}{Ll}$$

여기서,  $L, l$ 은 방충망 격자의 폭과 높이(m)이고,  $d$ 는 방충망 string의 직경(m)이다.

## 결과 및 고찰

방충망이 설치된 측창에 의한 자연환기형 토마토 재배온실의 내부 기상을 측정된 결과, 기온, 상대습도 및 공기유속의 분포는 Fig. 2~4와 같이 나타났다. 기상측정데이터의 분석은 외부 일사 및 기상의 변화가 적었던 8. 18 12:00~13:00의 1시간 측정데이터를 평균하여 실시하였다. 이 시간 동안 온실 외부에 설치한 기상대로부터 관측된 실외기온은 29.9℃, 상대습도는 47.6%였고, 일사량은  $811\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 이었다.

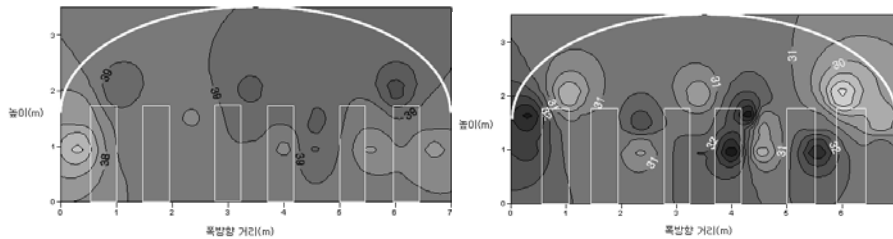


Fig. 2. An experimental result for air temperature(left) and relative humidity(right).

온실 내부의 평균기온은 38.8℃이고, 내외부의 기온차는 8.9℃였다. 온실 내 높이별로는 높이 1.0m의 평균기온이 38.3℃, 높이 1.5m의 평균기온은 38.8℃, 높이 2.0m의 평균기온은 39.9℃로 높이에 따라 기온이 상승하는 경향을 나타냈다. 또 양측의 환기창 부근의 기온이 중앙부위에 비해 상대적으로 낮고, 식물군락내 보다는 식물군 사이의 통로 공간에서 기온이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 과거의 연구결과나 시뮬레이션 결과들과도 일치하는 경향이였다.

상대습도는 실내 평균이 31.2%으로 실외보다 낮았고, 높이별로는 2.0m에서 29.2%로 가장 낮게 나타났다. 또, 양측면의 환기창 부근의 상대습도가 온실 중앙부의 상대습도보다 높게 나타났고, 통로보다는 식물군락 내부의 상대습도가 상대적으로 높게 관측되었다. 상대습도는 기온의 변화에 따라 값이 변화하므로 수증기량의 증감을 파악하기 어렵다. 따라서 습도의 개념을 절대습도로 변환하여 보면, 실내의 평균 절대습도는  $13.5\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이고, 외부공기의 절대습도는  $12.6\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 시설내 작물의 증산에 의해 내부의 수증기량이 단위체적당  $0.9\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  증가되었음을 알 수 있었다. 또한 양측 환기창 부근 보다 온실 중앙의 식물군락 주위에서 절대습도가 가장 높게 나타났다. 이는 방충망에 의한 환기율의 감소로 인한 결과로 판단되었다.

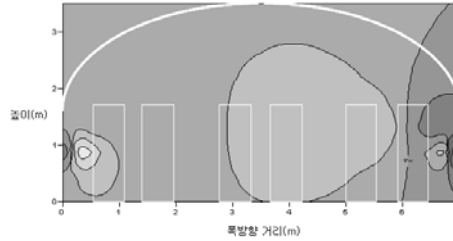


Fig. 3 An experimental result for air velocity.

온실 내부의 공기유속은 외부로부터 환기창을 통해 유입되는 공기의 유속이  $1.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 일 때 온실 내부의 평균유속은  $0.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 환기창 부근의 유속과 온실 중간부분의 유속의 차이는  $0.3 \sim 0.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 온실 중앙부의 공기는 식물군락의 유동저항의 영향으로 정체 상태가 심한 것으로 분석되었다. 이 때 온실의 환기회수는 분당 0.24회로 하절기 고온해소를 위한 환기로는 크게 부족한 것으로 나타났다. 그러나 실내평균 유속인  $0.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 는 식물의 증산작용에 유리한 값으로 온실내부의 기온상승을 막을 수만 있다면 방충망의 사용으로 인해 실내 공기의 유속을 식물의 생산에 적합한 조건으로 유지하는 것이 가능한 것으로 판단되었다.

### 요약 및 결론

방충망에 의한 공기유동특성의 변화를 실험과 CFD 시뮬레이션을 통해 조사한 결과, 방충망이 설치되지 않은 경우보다 설치한 경우에서 실내외 기온차 및 절대습도의 차이가 2배~3배 증가되는 것으로 나타났다. 방충망이 설치된 자연환기 온실내부의 기온과 절대습도의 상승에도 불구하고 시설내부의 기류는 오히려 균일해져 기온상승과 습도증가의 문제점을 극복할 수 있다면 방충망의 설치를 통하여 식물의 생산에 더 유리한 실내 환경조건을 조성할 수 있을 것으로 판단된다.

### 인용문헌

1. 윤남규, 이인복, 이성현, 김경원. 2006. 온실 미기상해석을 위한 CFD 모델 개발. 한국농업기계학회 학술대회논문집 11(2). pp 274-278.
2. 이인복, 윤남규, T. Boulard, J.C. Roy, 이성현, 김경원, 홍세운, 성시흥. 2006. 공기유동해석을 통한 온실내 식물군 미기상 분석기술 개발-(2) 온실내 대기환경에 미치는 작물의 영향 분석을 위한 CFD 모델개발. 한국생물환경조절학회지 15(4). pp 296-305.
3. Fatnassi, H., T. Boulard, C. Poncet, M. Chave. 2006. Optimisation of greenhouse insect screening with computational fluid dynamics. Biosystems Engineering 93(3):301-312.