

Development of CFD Model for Estimation of Cooling Effect of Fog Cooling System in Greenhouse¹⁾

In Ho Yu* · Moon Ki Kim · Hyuck Jin Kwon · Kee Sung Kim

Dept. of Agricultural Eng., Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

Abstract

This study was carried out not only to develop CFD model for numerically simulating fog cooling system but also to verify the validity of the developed model by data measured in fog cooling greenhouse. In addition the developed model was applied to investigate the effects of spraying water temperature, spraying water amount, spraying interval and evaporation percentage on the performance of the fog cooling system. According to the simulation results, the temperature differences between the measured and predicted temperatures at each measurement point were 0.1~1.4°C in case of no shading and 0.2~2.3°C in case of shading. The humidity differences were 0.3~6.0% and 0.7~10.6%, respectively in the cases of no shading and shading. Because the predicted data showed a good agreement with the measured ones, the developed model is supposed to be able to predict the cooling effect of the fog cooling system. The performance of fog cooling system was greatly influenced by spraying water amount, spraying interval and evaporation percentage, but it was not influenced by spraying water temperature.

Key words : CFD(Computational Fluid Dynamics), fog cooling system, greenhouse

* Corresponding author

¹⁾이 논문은 2000년도 농림부에서 시행한 농림기술과제의 일부로 수행되었음.

서 론

오늘날 시설농업이 상업화되면서 점차 생산시설의 단지화, 대형화 추세가 두드러지고 있으며, 이에 따른 연중 작물재배가 요구되어 고온기 온실의 급격한 온도 상승은 반드시 해결해야 할 과제로 대두되고 있다. 주간의 온실내 기온 상승을 억제하기 위해 다양한 냉방 방법들이 제시되어 있으나 가장 효과를 인정받고 있는 방법이 수분의 증발 잠열을 이용한 증발냉각법이다. 그 중에서 포그냉방시스템은 패드-팬시스템에 비해 비교적 적은 비용과 관리노력으로 보다 큰 냉방효과를 가져오는 것으로 보고되고 있다.

우리나라에서는 포그냉방시스템의 냉방효과에 대한 연구가 미흡하고 포그냉방시스템에 관한 설계 기준이나 관리지침이 없어 사공 업체의 경험이나 판단에 의존하고 있는 실정이다. 포그냉방시스템에 관한 연구는 대부분 VETH선도 등을 이용하여 온실 환경이 전체적으로 동질이라는 가정하에서 환기량 및 전체 분무수량 등을 계산하는 정도였으나, 1990년대 중반에 들어서면

서 CFD 기법을 이용한 농업시설내의 공기 흐름과 열 환경을 분석하는 연구가 관심을 모으기 시작했다. 윤(2000)과 이 등(1999)은 CFD 모델을 개발하여 다연동 자연환기 온실에서의 공기 유동을 해석한 바 있으며, Al-arifi(1999)는 차광과 증발산이 온실 환경에 미치는 영향에 관한 연구에서 CFD 기법을 이용한 바 있다. Al-helal(1998)는 자연환기 온실과 포그냉방시스템 설치 온실에서의 온실내 온·습도, 환기율과 총소비수량을 예측하는 연구에서 에너지평형모델과 질량평형모델에 의해 예측된 온실내 온·습도와 CFD 모델에 의해 예측된 값들을 비교한 결과 CFD 모델에서 온·습도가 각각 1°C, 2%씩 낮게 예측되는 것으로 보고하고 있다. 이처럼 농업시설내의 환경을 보다 정확하게 해석할 목적으로 CFD 기법을 이용하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

냉방효과가 우수한 포그냉방시스템을 설계하기 위해서는 냉방효과에 영향을 미치는 인자들의 변화에 따른 온실 내부의 열환경이 해석되어야 한다. 실험을 통해 인자들을 다양하게 변화시키기는 어려우므로 효율적인

설계를 위해서는 다양한 조건 변화에 따른 포그냉방온실의 열환경을 해석할 수 있는 모델이 필요하다. 본 연구에서는 포그냉방시스템을 수치적으로 시뮬레이션하기 위한 CFD 모델을 개발하였으며, 포그냉방온실에서 측정된 데이터에 의해 개발된 모델의 유효성을 검증하였다. 또한 분무수온, 분무수량, 분무정지시간과 분무입자의 증발률이 포그냉방시스템의 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 개발된 모델을 적용하였다.

재료 및 방법

1. CFD 모델의 구성

CFD(Computational Fluid Dynamics)는 유체를 포함하는 어떤 시스템에 대하여 유체의 흐름, 열전달 그리고 화학적 반응 등과 같은 일련의 물리·화학적 현상들을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 해석하는 것을 의미한다. 본 연구에서 이용한 CFD 패키지는 Fluent(version 5.4)이고, 해석 영역의 기하학적 형상 및 격자 생성을 위해 GAMBIT(version 1.3)을 이용하였다.

1.1. 격자망 생성

모델에서 주된 해석 영역은 온실 내부이므로 온실 내부의 격자망은 조밀하게 하고 온실 외부로 갈수록 성기게 격자망을 구성하였다. 모델의 외부 단면은 온실 구조로부터 20 m 거리를 유지하도록 구성하여 외부 단면이 시뮬레이션의 정확성에 영향을 미치는 것을 방지하였고, 외부공기 흐름의 빠른 수렴을 위해 온실 위쪽의 경계면을 약간 경사지게 만들었다. 이렇게 만들어진 격자망은 Fig. 1과 같다.

1.2. 해석 모델의 구성

포그냉방시스템을 시뮬레이션하기 위한 CFD 모델은 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식 등의 지배방정식 이외에 난류 해석을 위한 realizable k-ε 난류모델, 태양복사 및 복사열전달의 해석을 위한 DO 복사

모델, 분무입자의 궤적을 추적하기 위한 Discrete Phase 모델 등으로 구성되어 있다.

난류모델은 가장 최근에 도입되어 난류의 유동상태를 보다 사실적으로 모의할 수 있고 가장 많이 사용되고 있는 realizable k-ε 모델을 선택하였으며, 모델의 상수값들은 일반적인 공기유동 해석에 적용되는 추천값들을 사용하였다. 온실의 파복면이나 바닥면 근처에서의 공기흐름은 standard wall functions 옵션을 적용하였다. 또한 열부력이 난류유동 및 공기의 흐름에 미치는 효과를 보다 사실적으로 모의하기 위해 viscous heating 옵션을 추가로 선택하여 온도의 변화에 따른 공기의 밀도 변화가 유동에 미치는 영향을 고려하였다.

복사모델은 투명한 벽체에 대한 투과의 효과를 고려할 수 있는 DO모델이 선택되었으며, DO모델의 복사열전달방정식(RTE)을 이산화하기 위한 극좌표계의 요소분할은 Fluent사에서 권장하는 값을 사용하였다. 태양복사의 파장범위는 0~3 μm의 단파장영역에 집중되어 있고, 흡수계수, 분산계수, 굴절지수, 방사율 등의 파장 영역별 태양복사의 특성은 동일한 것으로 가정하여 non-gray 모델의 설정은 생략하였다. 계산은 기본방정식과 난류방정식을 5번씩 풀 때마다 복사모델의 방정식을 1회 풀도록 설정하였다.

Discrete Phase 모델은 포그 입자의 궤적을 추적하기 위한 모델로서 정확한 계산이 필요하다고 판단되어 기본방정식을 1회 풀 때마다 1회 풀도록 설정이 되었고, 한번 분무된 입자는 100회 동안 계산을 하는 것으로 설정하였다. 분무입자는 증발을 모의할 수 있는 Droplet으로 지정하였고, 분무입자가 태양 복사에너지에 반응하는 것을 고려하는 옵션을 추가하였다.

온실 내에 존재하는 식물이 온실내 열환경에 미치는 영향은 크게 두 가지로 생각할 수 있다. 식물이 온실내 공기 흐름에 영향을 주는 동시에 주위 환경과 열교환을 하며, 또한 증산을 통해 온실 내부로 수분을 공급해 주는 역할을 한다는 것이다. 이를 모델에서 구현하기 위하여 식물의 형상을 잎이 여러 개 모여 있는 것으로 그려서 온실 내부의 기류에 영향을 미치도록 하였으며, 열교환은 식물체의 경계면을 wall boundary로 설정하여 열전달 특성치를 입력하였다. 식물 증산작용은 Discrete Phase 모델을 이용하여 포그냉방시스템처럼 각 잎에서 수분이 분무되는 것으로 표

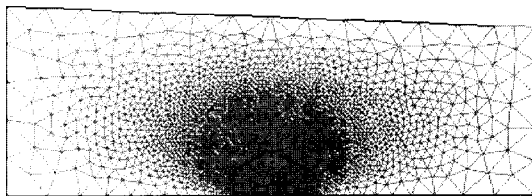


Fig. 1. Mesh of experimental greenhouse for simulation.

온실 포그냉방시스템의 냉방효과 예측을 위한 CFD 모델의 개발

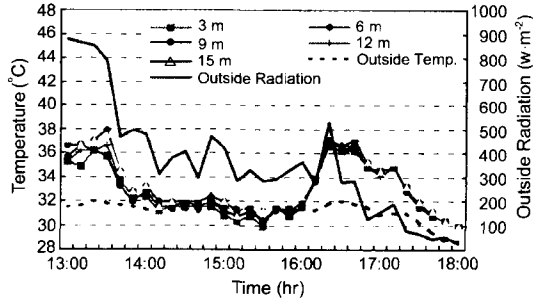


Fig. 2. Change of outside condition and temperature along the length of greenhouse.

Table 1. Basic configuration of CFD model for fog cooling system.

| Classification | Setting of Method |
|----------------------|--|
| solver | Segregated solver |
| | 2D simulation |
| | Implicit formulation |
| | Absolute velocity formation |
| | Unsteady state analysis (1st-order implicit) |
| Energy equation | Activated |
| Viscous model | Realized - model |
| Radiation model | DO |
| Species model | Multiple species |
| Discrete phase model | Activated |
| Multiphase model | Inactivated |
| Pollutants | Inactivated |

현하였으며, 분무량은 이(2000)가 제시한 상면증발률을 근거로 하여 차광시 $0.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$, 무차광시 $0.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ 이 되도록 설정하였다.

한편, 온실 중심선(Fig. 3의 측정 5번 위치)을 따라 온실의 길이방향으로 센서를 설치하여 온도를 측정된 결과 Fig. 2에 나타난 바와 같이 온실의 길이방향으로 온도 편차가 크지 않은 것으로 나타나 해석 영역을 2차원으로 정의하였으며, 해석 모델의 구성을 정리하면 Table 1과 같다.

공기의 비열, 전도열전달계수, 점성계수 등의 값은 문헌의 자료를 이용하거나 Fluent 프로그램에서 제공하는 기본값을 사용하여 상수로 취급하였다. 모델에 입력된 재료들의 물리적 특성값은 Table 2와 같다.

2. 온실 실험

실험에 사용된 온실은 경기도 안성시에 위치한 단동 유리온실로 폭 6.5 m, 길이 19 m, 높이 4 m이다. 2001년 7월 27일부터 9월 18일까지 날씨가 맑은 날에 실험을 수행하였으며, 실험온실의 제원 및 센서의 배치는 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 온실은 두께 3 mm의 유리로 피복되어 있으며, 피복재의 광투과율은 약 63%, 차광망(알루미늄 증착필름)의 차광률은 약 70%이다. 실험 온실 내부의 왼쪽에는 높이 1 m의 벤치 위에 국화가 포트재배되고 있었으며, 오른쪽에는 초장 2 m의 토마토가 암면재배되고 있었다.

본 실험에 사용된 계측장치는 온·습도계측용 센서부, 풍속계측용, 일사량계측용센서부, 데이터 수집장치로 구성되어 있다. 온실 내부의 온도와 상대습도는 온실을 상·중·하부로 구분하여 각 3점씩 온습도계측 겸용센서(HOBO, Onset computer Corp.)를 이용하여 10초간격으로 데이터를 저장하였고, 온실 벽면 및 차광

Table 2. Physical properties of materials at the temperature of 27°C

| Physical Property (Unit) | Shading screen | Outside ground | Green-house | Plant | Bed cover | Inside ground |
|--|----------------------|----------------|-------------|---------------|------------|----------------------|
| | Aluminum | Soil | Glass | Wood | PE | Concrete |
| Density ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | 2719 | 1900 | 2700 | 700 | 960 | 2100 |
| Specific heat ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$) | 871 | 2200 | 840 | 2310 | 2090 | 880 |
| Thermal Conductivity ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$) | 202.4 | 2.0 | 0.78 | 0.173 | 0.33 | 1.4 |
| Absorption coefficient | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.6 |
| Scattering coefficient | 0 | 1 | 0 | 0.5 | 0.5 | 1 |
| Refractive index | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Emissivity | 0.1 | 0.89 | 0.87 | 0.5 | 0.1 | 0.71 |
| Source | Robert et al. (1990) | Kim (2001) | | Fluent (1998) | Yun (2000) | Robert et al. (1990) |

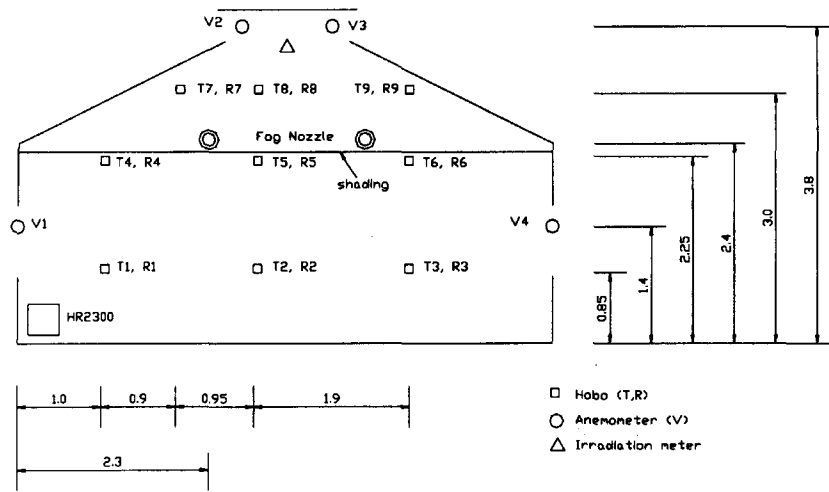


Fig. 3. The greenhouse with a fog cooling system used for the measurement (unit: m).

망, 바닥온도와 지하수 온도, 엽온의 측정에는 T형 열전대를 이용하였다. 풍속은 온실 길이방향의 중앙 단면의 측창과 천창에 미풍속센서(Series640, Dwyer Instrument)를 설치하여 온실의 환기창에 수직으로 불어오는 바람에 대하여 일방향 풍속(x-velocity)을 측정하였다. 실내의 태양복사에너지는 온실 바닥으로부터 3.2 m 높이에 일사센서(PCM-01, Prede)를 이용하여 측정하였다. T형 열전대, 미풍속 센서 및 일사센서에 의해 측정된 데이터는 디지털 다점 기록계(HR2300, Yokogawa)를 이용하여 1분간격으로 저장하였다. 또한, 온실 외부의 기상데이터를 수집하기 위해 미기상 수집장치(CR10x, Campbell)를 실험온실로부터 10 m 떨어진 위치에 설치하였으며, 온도, 상대습도, 풍속 및 풍향, 일사량 등의 데이터를 1분간격으로 저장하였다.

실험에 사용된 포그 노즐(Impaction pin IP-16, Mee Industries Inc.)의 사양은 분무압력이 $70 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 일 때 분사거리 0.9 m, 분사폭 최대 0.75 m이고, 노즐의 개당 분무수량은 0.094 kg/min 이며, 분무입자의 크기는 $20 \mu\text{m}$ 정도이다. 포그 노즐은 온실 양쪽 측면으로부터 2.3 m, 온실 바닥으로부터 2.4 m 위치에 설치된 2개의 급수라인에 1 m 간격으로 1개씩 총 32개가 배치되었다. 포그냉방시스템의 가동은 무차광조건에서는 45초 분무에 45초 정지하였으며, 차광조건에서는 25초 분무에 45초 정지하였다. 노즐의 분사방향은 수직 상향으로 하였으며, 포그냉방시스템 가동시간은 오전 10시부터 오후 4시까지였다.

결과 및 고찰

1. 모델의 검증

CFD 모델의 검증에 필요한 외부 기상자료 및 입력값은 실험기간 동안 일사가 높고 거의 일정하면서 외기온 및 풍속 역시 비교적 안정된 시간대에서 풍향이 온실 측창의 수직에 가까운 시간의 자료를 선택하였다. 무차광과 차광조건 각각에 대하여 선정된 입력값은 Table 3과 같다.

Fig. 4는 온실내 9개 측정에서의 실측치와 시뮬레이션을 통해 얻어진 예측치를 함께 도시한 것이다. 각

Table 3. Input values of CFD model for simulating fog cooling system.

| Input variable (unit) | No shading | Shading |
|--|------------|---------|
| Temperature of inlet air (°C) | 30.7 | 32.3 |
| Relative humidity of inlet air (%) | 58.9 | 50.3 |
| Outside radiation ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) | 678 | 902 |
| speed of inlet air (m/s) | 0.44 | 0.93 |
| Saturated vapor pressure (Pa) | 4430 | 4840 |
| Wet bulb temperature of inlet air (°C) | 25.2 | 24.9 |
| Spraying water temperature (°C) | 24.3 | 24.2 |
| Spraying time (sec) | 45 | 25 |
| Spraying interval (sec) | 45 | 45 |
| Spraying water amount (kg/spraying time) | 2 | 1.1 |
| evaporation percentage (%) | 70.8 | 76.3 |
| Droplet size (μm) | 20 | 20 |

온실 포그냉방시스템의 냉방효과 예측을 위한 CFD 모델의 개발

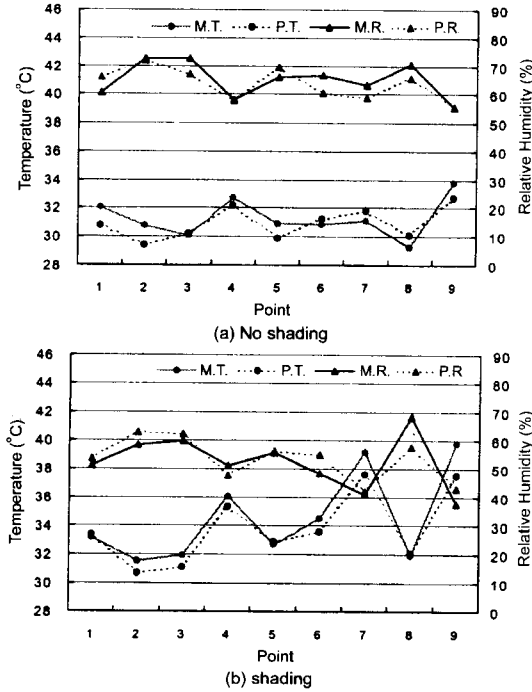


Fig. 4. Comparison of temperature and humidity between measured data and predicted data (Point: measurement points in Fig. 3, M.T.: Measured temperature, P.T.: Predicted temperature, M.R.: Measured relative humidity, P.R.: Predicted relative humidity).

측점에서 실측치와 예측치의 온도차가 무차광조건에서는 0.1~1.4°C, 차광조건에서는 0.2~2.3°C였으며, 상대습도차는 무차광조건에서는 0.3~6.0%, 차광조건에서는 0.7~10.6%였다. 예측치가 실측치와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타나 개발된 CFD 모델이 포그냉방온실의 열환경 해석에 적합한 것으로 판단되었다. 차광조건에서는 온실 상·하부간의 온도차가 무차광조건에 비해 더 크게 나타나는데, 이는 무차광조건에서는 상·하부 공기의 교환이 원활하게 이루어지는 반면 차광조건에서는 차광망으로 인해 상·하부 공기의 교환이 잘 이루어지지 않기 때문으로 판단된다. 차광을 실시한 경우 온실 내로 유입되는 일사량이 줄어들어 온실의 냉방부하량을 줄일 수 있었지만, 분무입자가 차광망에 걸려 하부로의 이동이 방해받았으며 일사량 감소로 인해 온실 하부에서의 증발물이 떨어져 작물에 부착되는 입자가 많아 작물 생육이나 환기, 증발물 측면에서는 불리한 것으로 나타났다. 포그냉방시스템의 냉방효과를 높이기 위해서는 일사량의 변화에 따

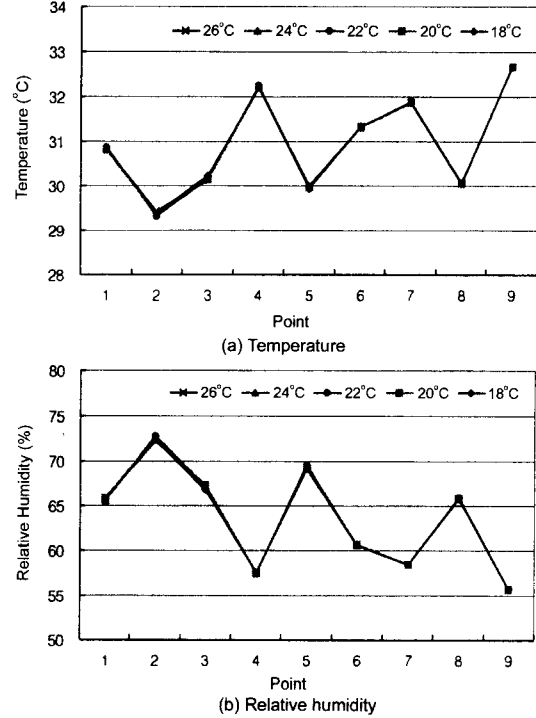


Fig. 5. Effects of spraying water temperature on temperature and humidity in greenhouse.

라 탄력적으로 차광을 실시하는 것이 유리할 것으로 생각된다.

2. 모델의 적용

포그냉방시스템의 냉방효과는 여러 요인에 따라 달라질 수 있다. 그 중에서 분무수온, 분무수량, 분무정지시간, 분무입자의 증발률이 포그냉방시스템의 냉방효과에 미치는 영향을 알아보기 위해 CFD 모델을 이용하여 포그냉방온실의 열환경을 해석하였다.

2.1. 분무수온

분무수온이 포그냉방시스템의 냉방효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Table 3의 무차광조건의 입력값 중 분무수온만을 18°C에서 26°C까지 변화시켜 가며 시뮬레이션하였다. 분무수온의 변화에 따른 온실내 각 측정에서의 온도와 상대습도는 Fig. 5에 나타난 바와 같다. 분무수온의 증가에 따른 각 측정에서의 온도차는 최대 0.1°C, 상대습도차는 최대 0.6%로 아주 작게 나타나 포그냉방시스템 설계시 분무수온의 영향은 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

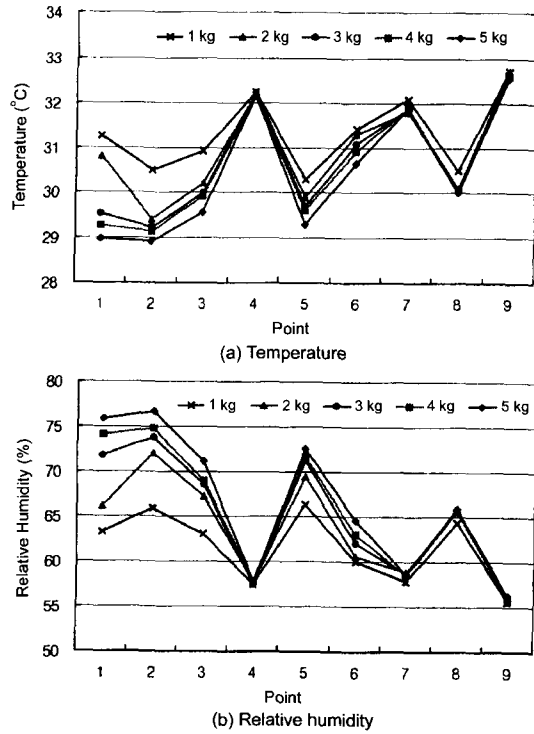


Fig. 6. Effects of spraying water amount on temperature and humidity in greenhouse.

2.2. 분무수량

분무수량이 포그냉방시스템의 냉방효과에 미치는 영향을 알아보기 위해 Table 3의 무차광조건인 입력값중 분무수량만을 변화시켜 45초동안 실험 온실 전체에 분무되는 수량이 1kg에서 5kg이 되도록 변화시켜 가며 시뮬레이션하였다. Fig. 6은 분무수량의 변화에 따른 온실내 각 측정에서의 온도 및 상대습도를 나타낸 그림이다. 분무수량이 증가할수록 대체로 온도가 낮아지는 경향을 보였으며, 온도차가 가장 큰 측정점은 1번 측정점으로 2.3°C의 차이를 보였다. 상·중부에 비해 하부 각 측정에서의 온도차가 더 크게 나타나는데 이는 분무수량이 많을수록 온실 상·중부를 거치면서 증발되지 않고 하부까지 도달하는 분무입자의 양이 많아지기 때문으로 판단된다.

2.3. 분무정지시간

분무정지시간이 포그냉방시스템의 냉방효과에 미치는 영향을 알아보기 위해 Table 3의 무차광조건인 입력값중 분무정지시간만을 30초에서 300초까지 변화시켜 가며 시뮬레이션하였다. Fig. 7은 분무정지시간의

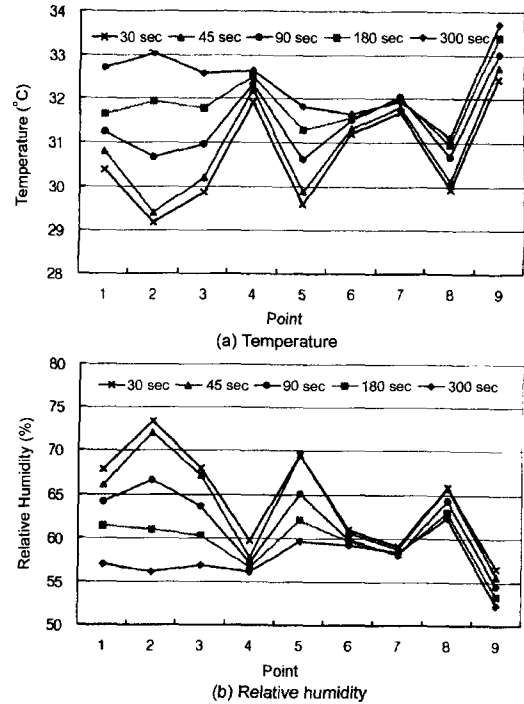


Fig. 7. Effects of spraying interval on temperature and humidity in greenhouse.

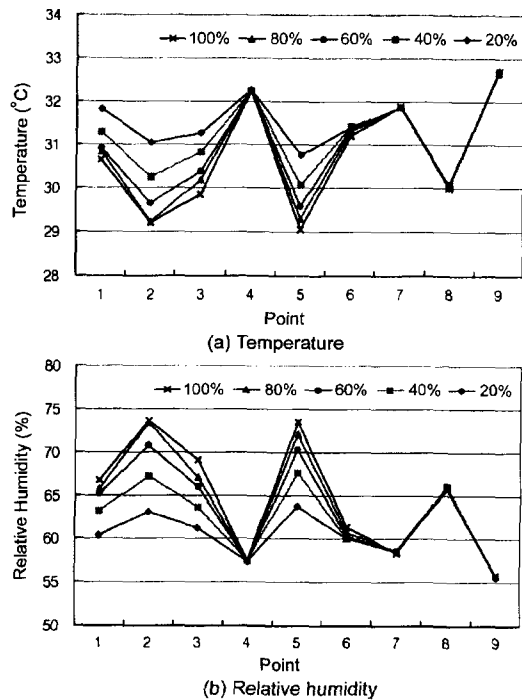


Fig. 8. Effects of evaporation percentage of water particle on temperature and humidity in greenhouse.

변화에 따른 온실내 각 측정에서의 온도와 상대습도를 나타낸 그림이다. 분무정지시간이 짧을수록 대체로 온도가 낮아지는 경향을 보였으며, 온도차가 가장 큰 측정점은 2번 측정점으로 3.8°C의 차이를 보였다. 온실 하부로 갈수록 각 측정에서의 온도차가 더 크게 나타나는데 이는 온실 하부로 갈수록 공기의 흐름이 원활하지 못해 측창으로부터 유입된 외부 공기의 영향을 덜 받기 때문으로 판단된다.

2.4. 분무입자의 증발률

분무입자의 증발률이 포그냉방시스템의 냉방효과에 미치는 영향을 알아보기 위해 Table 3의 무차광조건의 입력값중 증발률만을 20%에서 100%까지 변화시켜 가며 시뮬레이션하였다. Fig. 8은 분무수온의 변화에 따른 온실내 각 측정에서의 온도와 상대습도를 나타낸 그림이다. 증발률이 높을수록 대체로 온도가 낮아지는 경향을 보였으며, 온도차가 가장 큰 측정점은 2번 측정점으로 1.8°C의 차이를 보였다. 이러한 현상은 포차가 증가할수록 증발률이 높아진다는 Singletary 등(1996)의 보고와 상대습도가 낮을수록 실내 기온이 더 낮아진다는 Mee Industries Inc.의 결과와 유사하다. 따라서, 냉방효과를 높이기 위해서는 충분한 환기를 통해 온실내 고습의 공기를 온실 외부로 원활하게 배출해야 할 것으로 판단된다.

Literature Cited

1. Al-arifi, A. 1999. The influence of shading and evapotranspiration on a ventilated greenhouse environment. Ph.D. Diss., Ohio State Univ., p. 48-55.
2. Al-helal, I.M. 1998. A computational fluid dynamics study of natural ventilation in arid region greenhouses. Ph.D. Diss., Ohio State Univ., p. 27-35.
3. Aldrich, Robert A. and John W. Bartok. 1990. Greenhouse Engineering. Northeast regional agricultural engineering service. p. 65-66.
4. Arbel, A., O. Yekutieli and M. Barak. 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouses. J. of Agricultural Engineering Research 72:129-136.
5. Fluent Inc. 1998. FLUENT5 Users Guide.
6. Hayashi, M., T. Sugahara and H. Nakajima. 1998. Temperature and humidity environments inside a naturally ventilated greenhouse with the evaporative fog cooling system. Environ. Control in Biol. 36(2):97-104 (in Japanese).
7. Kim, H.S. 2001. Prediction of cooling effect for fog cooling system in greenhouse by CFD simulation. M.S. Diss., Seoul National Univ. (in Korean).
8. Lee, I.B. and Ted H. Short. 1999. Analysis of the efficiency of natural ventilation in a multi-span greenhouse using CFD simulation. J. Bio-Env. Con. 8(1):9-18 (in Korean).
9. Singletary, I. B., R. W. Bottcher and G. R. Baughman. 1996. Characterizing effect of temperature and humidity on mist evaporative efficiency. Transactions of ASAE 39(5):1801-1809.
10. Yun, N.K. 2000. Analysis for natural ventilation and airflow characteristics in greenhouse by CFD simulation. Ph.D. Diss., Seoul National Univ., p. 10-35 (in Korean).
11. 민영봉. 2000. 증발냉각에 의한 냉방효과와 적합설비. 시설원예의 고온기 냉방관리 기계기술. p. 31-68.
12. 이범선. 2000. 에어쿨의 원리와 효과. 시설원예의 고온기 냉방관리 기계기술. p. 95-126.

유인호 · 김문기 · 권혁진 · 김기성

온실 포그냉방시스템의 냉방효과 예측을 위한 CFD 모델의 개발

유인호* · 김문기 · 권혁진 · 김기성

서울대학교 농공학과

적 요

본 연구에서는 포그냉방시스템을 수치적으로 시뮬레이션하기 위한 CFD 모델을 개발하였으며, 포그냉방 온실에서 측정된 데이터에 의해 개발된 모델의 유효성을 검증하였다. 또한 분무수온, 분무수량, 분무정지시간과 분무입자의 증발률이 포그냉방시스템의 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 개발된 모델을 적용하였다. 시뮬레이션 결과에 의하면, 각 측정에서 실측치와 예측치의 온도차가 무차광조건에서는 0.1~1.4°C, 차광조건에서는 0.2~2.3°C였으며, 상대습도차는 무차광조건에서는 0.3~6.0%, 차광조건에서는 0.7~10.6%였다. 예측치가 실측치와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타나 개발된 모델이 포그냉방시스템의 냉방효과를 예측할 수 있는 것으로 판단된다. 포그냉방시스템 성능은 분무수량, 분무정지시간과 분무입자의 증발률의 영향을 많이 받지만 분무수온의 영향은 받지 않는 것으로 나타났다.

주제어 : CFD(Computational Fluid Dynamics), 포그냉방시스템, 온실