

CFD 시뮬레이션에 의한 온실포그냉방 시스템과  
제습장치의 냉방효과 분석  
Analysis of Cooling Effect for Cooling System with  
Dehumidifier in Greenhouse by CFD simulation

김문기 · 권혁진\*

Kim, M.K. · Kwon, H.J.\*

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

## 서론

여름철 온실내 고온 문제를 해결하기 위해 이용되는 자연환기형 포그냉방은 환기가 충분치 못할 경우 온실 내부의 습도가 증가하여 증발 효율이 떨어지는 문제가 발생한다. 제습장치를 이용하여 온실 내부의 상대습도를 낮추면 증발 냉각 효율을 높일 수 있다. 다음 것으로 생각된다.

본 연구에서는 제습장치를 이용한 포그냉방 온실에 대한 CFD 모델을 개발하여 온실실의 열환경 및 수분 환경을 분석하고자 한다.

## 재료 및 방법

가. CFD 시뮬레이션 모델의 개발

### 1. Fluent CFD 모델의 구성

CFD 시뮬레이션을 위해 CFD해석 패키지인 Fluent (version 5.4)를 사용하였으며, 기하학적 요소 및 계산 영역의 요소 분할 등은 Gambit(version 1.3)을 이용하였다.

지배방정식은 유체해석을 위한 기본적인 3개의 방정식인 연속방정식, 운동량방정식, 에너지 방정식 이외에 난류의 해석을 위한 realizable  $k-\epsilon$  난류모델, 태양복사 및 복사 열전달의 해석을 위한 DO 복사모델, 포그분무 입자의 해석을 위한 Discrete Phase 모델을 추가로 이용하였다.

비선형 형태인 이들 미분방정식들을 선형화하기 위해서 분리해석법(segreated solver)을 적용하고, 포그노즐이 분사하는 시간 중에는 비정상상태로 해석하였고, 제습

장치에 의한 기류의 영향이 고려되어야 되므로 Gambit에서 3차원으로 격자를 구성하여 해석하였다.

## 2. 온실 실험

실험에 사용된 온실은 경기도 안성시 환경대학교 내에 위치한 단동 유리온실로 폭 6.5m, 길이 18m, 높이 4m이다. 온실 내부의 온도 및 상대습도는 그림 1의 오른쪽 그림과 같이 온실의 단면을 세 개로 나누어서 각 단면별로 그림 1의 왼쪽과 같이 온실의 상부와 중부, 하부에 온습도 겸용센서인 HOBO(H08-003-02, Onset computer Corp.)를 이용하여 10초간격으로 데이터를 저장하였고, 풍속은 온실 길이방향의 중앙 단면의 측창과 천창에 미풍속센서(Series640, Dwyer Instrument)를 설치하여 온실의 길이방향에 수직으로 불어오는 바람에 대하여 일방향 풍속(x-velocity)을 측정하였다. 미풍속 센서에 의해 측정된 데이터는 디지털 다점 기록계(HR2300, Yokogawa)를 이용하여 1분간격으로 저장하였다. 또한 외부 기상자료의 수집을 위해 미기상 수집장치(CR10x, Campbell)를 실험온실로부터 10m 떨어진 위치에 설치하여 외부 기상자료를 1분간격으로 저장하였다.

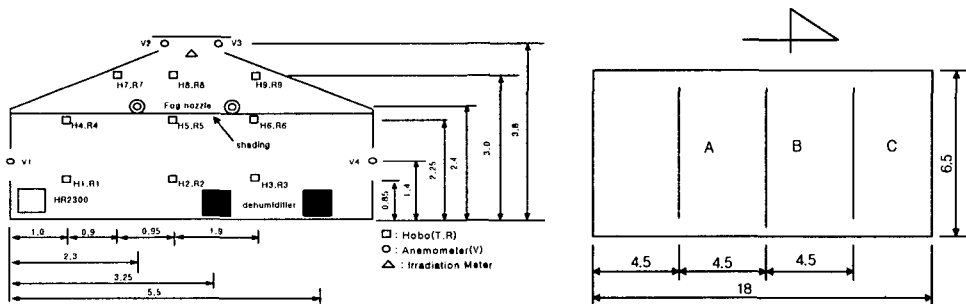


그림 1. 실험 온실의 단면 및 센서 배치도(좌: 단면도, 우: 평면도, 단위 : m)

포그 노즐은 온실 양쪽 측벽으로부터 2.3m, 온실 바닥으로부터 2.4m 위치에 설치된 2개의 급수라인에 1m간격으로 1개씩 총 32개가 배치되었다. 분무압은  $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 였고, 분무입자의 크기는  $20\mu\text{m}$ 였다. 포그시스템 가동조건은 무차광의 경우 분무정지시간 45초에 분무시간 45초였다. 분사방향은 온실 바닥면에 수직방향 위로하였다. 제습장치는 온실의 중앙 단면부분인 B단면에 작업 통로가 있는

부분인 온실 좌측벽에서 각각 3.25m와 5.5m인 위치에 설치를 하였다. 제습장치는 일반적인 상업용 용축기의 형태인 Horizontal shell type 으로 설계하였으며, 냉매로는 지하수를 이용하였다. 제습장치의 공기 유입부와 유출부에도 HOBO를 설치하여, 제습장치 유입 전과 후의 공기의 온습도 변화를 비교하였다.

## 검증 결과

### 가. 외부기상자료 및 입력값 선정

CFD 모델을 구성하기 위한 입력값을 살펴보면 표 1과 같다. 우선 외부 기상자료의 선정은 일사와 외부온도가 일정하게 유지되는 시점을 선정하였으며, 3차원 시뮬레이션이기 때문에 풍향 및 일사량의 경우에는 온실이 동북방향으로 40° 지점에 위치한 것을 감안하여, 방향 벡터 값을 계산하여 입력하였다.

표 1. 선정된 외부기상자료 및 입력값

입력값(단위)	값
외부온도(K)	302.78
외부습도(%)	54.9
외부일사(W/m <sup>2</sup> )	853
외부풍속(m/s)	0.46
외부풍향(degree)	120.4
포화수증기압(Pa)	4160
습구온도(K)	297.25
수온(K)	296
분무시간(sec)	45
정지시간(sec)	45
분무량(kg/sec)	0.00157
증발률(%)	78.1
분무입자크기(μm)	20

### 나. 실험값과 예측값의 비교

표 2와 3은 온실 내부의 각 측정별 온도 및 상대습도에 대한 실측치와 시뮬레이션에 의한 예측치를 비교한 결과를 각각 나타낸 것이다.

표 2. 실측치와 예측치의 온도 비교

측점	A			B			C		
	실측치 (°C)	예측치 (°C)	오차 (°C)	실측치 (°C)	예측치 (°C)	오차 (°C)	실측치 (°C)	예측치 (°C)	오차 (°C)
1	32.8	30.6	2.2(6.5)	29.5	28.6	0.9(3.0)	33.5	31.5	2.0(5.9)
2	31.9	29.0	2.9(9.0)	31.1	30.0	1.2(3.7)	32.8	30.0	2.8(8.3)
3	33.1	30.8	2.3(7.0)	31.2	30.8	0.4(1.2)	31.8	29.9	1.9(5.9)
4	29.6	30.8	1.2(4.1)	35.3	32.4	2.8(8.0)	28.5	28.9	0.4(1.1)
5	28.3	32.0	3.7(13.1)	27.0	28.3	1.3(5.0)	29.0	30.1	0.9(3.9)
6	30.9	32.0	1.1(3.6)	36.1	32.8	3.4(9.3)	30.5	30.1	0.4(1.3)
7	31.9	30.1	1.8(5.7)	34.3	32	2.3(6.7)	31.2	30.3	0.9(3.0)
8	33.7	30.1	3.6(10.6)	32.3	31.8	0.5(1.7)	29.5	30.2	0.7(2.3)
9				32.2	31.0	1.2(3.8)			

주) 오차항목에서 ( )안의 값은 상대오차(%)임.

표 2. 실측치와 예측치의 온도 비교

측점	A			B			C		
	실측치 (%)	예측치 (%)	오차 (%)	실측치 (%)	예측치 (%)	오차 (%)	실측치 (%)	예측치 (%)	오차 (%)
1	68.3	74.4	6.1(8.9)	51.3	52.3	1.0(2.0)	58.4	62.8	4.4(7.6)
2	71.5	73.4	1.9(2.6)	61.7	69.5	7.8(12.6)	64.6	69.2	4.6(7.2)
3	59.7	66.7	7.0(11.7)	50.6	58.6	8.0(15.0)	62.1	60.1	2.0(3.3)
4	86.5	75.8	10.7(12.4)	60.8	58.2	2.6(4.2)	81.7	75.4	5.3(7.1)
5	78.1	73.0	5.1(6.6)	66.1	75.4	9.3(14.0)	79.3	72.2	7.1(8.3)
6	76.9	70.0	6.9(9.0)	67.7	56.7	11.0(16.2)	72.1	66.1	6.0(8.3)
7	76.0	66.1	9.9(13.0)	65.1	59.3	5.9(9.0)	67.9	65.3	2.6(3.4)
8	63.0	65.8	2.8(4.4)	70.3	59.9	10.4(4.8)	76.5	65.2	11.3(14.8)
9				71.4	62.1	9.3(11.2)			

주) 오차항목에서 ( )안의 값은 상대오차(%)임.

## 참고 문헌

1. 윤남규, 김문기, 남상운, 1998, 냉수파이프에 의한 온실의 제습 및 증발냉각효율, 생물생산시설환경 7(3) : 237-245
2. 이인복, Short, Ted H., 1999, CFD 시뮬레이션을 이용한 연동형 온실 내 자연환기의 효율성 분석, 한국생물환경조절 학회지 8(1) : 9-18