

CFD 시뮬레이션에 의한 온실의 열환경 분석

Analysis for thermal environment in Greenhouse by CFD simulation

김현수* · 김문기 · 김기성
서울대학교

Kim, H.S.* · Kim, M.K. · Kim, K.S.
Seoul National University

서론

최근에 CFD 시뮬레이션을 이용한 온실의 공기유동을 해석하려는 시도들이 많이 이루어지고 있다. 그러나 아직 열환경까지를 해석하려는 경우는 드물다. 그러나 여름철의 고온극복을 위해 많은 냉방시스템이 연구되고 있는데 이러한 것들의 이용에 있어서 CFD 시뮬레이션을 이용한 열환경 해석은 중요한 의미를 가질 것이다. 그리고 여러 가지 냉방시스템들 중에서 포그시스템이 효율, 경제적 측면에서 유리하다고 알려져 있다. 따라서, 본 연구에서는 포그시스템을 시뮬레이션하기 위한 전단계로서 포그시스템이 없는 온실의 열환경을 시뮬레이션한다.

재료 및 방법

1. 실험온실 및 자료수집방법

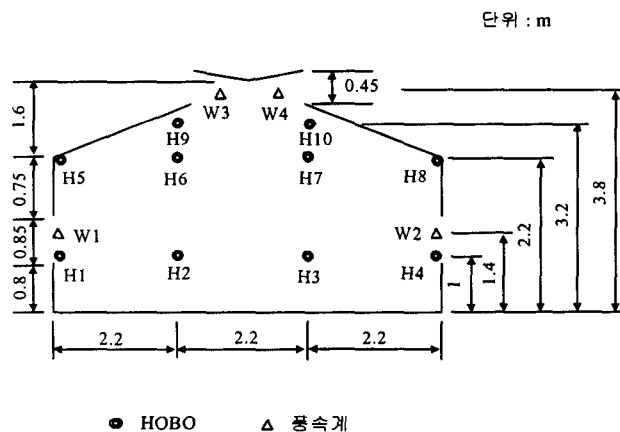


Fig. 1. The distribution of sensor in Greenhouse

본 연구에서 이용된 실험온실은 위의 그림처럼 경기도 안성에 위치한 폭 6.5m, 길이 19m, 높이 4m의 철골유리온실이며 외부 기상 자료는 온실로부터 500m 떨어진 곳에 설치된 CR10-X라는 기상관측시스템을 이용하여 외기온, 습도, 풍속, 풍향, 일사량을 10분 간격으로 자동 기록하였다. 그리고 온실내부는 HOBO(H08-003-02, Onset computer Corp. : 10점), 풍속계(Series640, Dwyer Instrument, Inc : 4점)를 그림 1 과 같이 설치하여 10분 간격으로 기록하였다. 실험시에 온실의 측창 및 천창은 개방하고 차광은 하지 않았다.

2. 시뮬레이션

CFD 프로그램으로 Fluent V5 를 이용하였으며 전처리 과정인 격자망을 구성하기 위해 Gambit이라는 상용프로그램을 이용하였다. Fluent에서 이용되는 방정식을 간단히 살펴보면 열환경 해석을 위한 기본 방정식으로 mass conservation equation, momentum conservation equation, energy equation들이 이용되고 난류를 해석하기 위해 난류모델 ($k-\epsilon$ 모델)과 복사모델(DO 모델)이 적용된다.

시뮬레이션 과정을 간단히 살펴보면 전처리 과정으로 아래 그림 2 와 같이 격자망을 구성한다. 위쪽면의 경계를 약간 기울어지게 하여 수렴의 속도를 높인다.

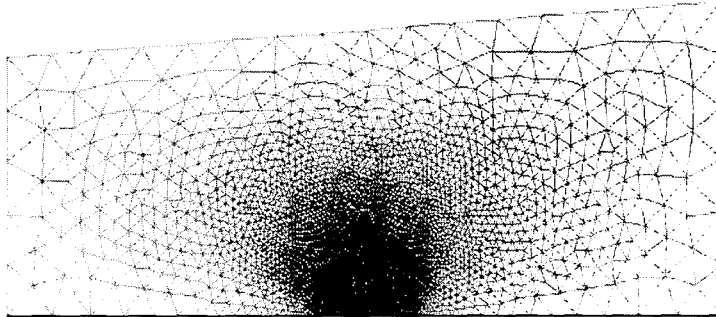


Figure 2. The mesh of model

이 격자망을 Fluent V5로 불러들여 여러 가지 경계조건 및 입력값들을 대입한다. 입력값들은 아래 표. 1 및 2 와 같다.

변수	흙	유리	공기
밀도(kg/m ³)	1900	2700	Ideal gas law
비열(J/kg/°C)	2200	840	1007
열전도율(W/m ² /°C)	2.0	0.78	0.00274
점성(Ns/m)	-	-	1.95E-5
흡수율	0.5	0.02	0.1
굴절지수	1.0	1.0	1.0
방출율	0.9	0.94	1.0

Table 1. Physical properties of materials

변수	값	source
외기건구온도	302 K	안성 8월 7일 12시 자료
외기 일사량	361.8 W/m ²	
풍속	0.2 m/s	
난류강도	1%	"
특성길이	7 m	"
증발잠열	2.25E6 J/kg	"
물밀도	1000 kg/m ³	"
물의 비열	4180 J/kg/K	"
증발온도	300 K	"
끓는점	373 K	"
binary diffusivity	2.6E-5 m ² /s	"
벽에 대한 속도 요소	0.00	"

Table 2. Input Data

결과 및 고찰

시뮬레이션한 결과가 아래의 그림과 같다.

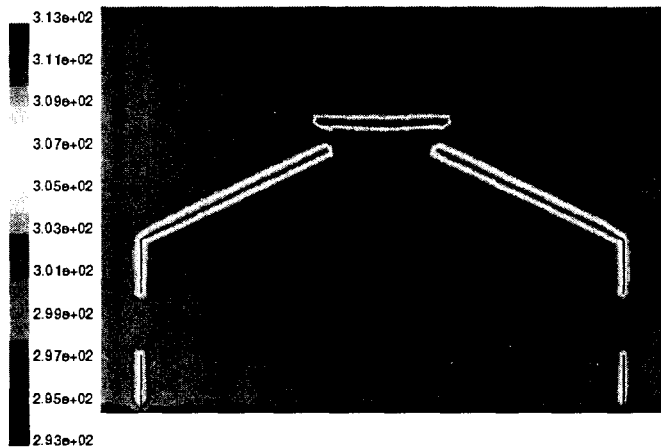


Fig 3. The distribution of temperature in Greenhouse

위의 그림은 온실의 온도분포를 나타낸 것이다. 이것과 실험으로부터 얻은 자료를 비교하면 아래표와 같다.

위치	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
실험값	30.71	29.9	29.9	29.9	32.34	32.34	31.52	32.76	37.88	32.76
시뮬레이션값	27	28	27	28	31	28.5	29	32	30	30

Table 3. The compare of simulation and measurement on temperature

위의 표에서 보면 온도는 실험에서 구한 값이 시뮬레이션 보다 높게 나오는데 이것은 온실내의 작물로 인해 환기가 방해받기 때문이다. 여기서 작물을 고려하지 않은 이유는 약 20종 가량의 꽃 및 작물이 거의 무질서하게 배치되어 있어서 시뮬레이션에 고려하기가 힘들었기 때문이다.

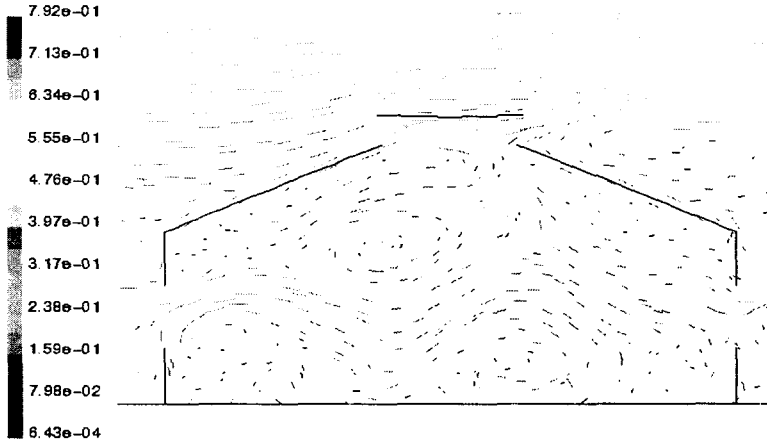


Fig. 4. The distribution of wind velocity in Greenhouse

위의 그림은 온실의 풍속을 나타낸 것이다. 이것과 실험으로부터 얻은 자료를 비교하면 아래표와 같다.

위치	W1	W2	W3	W4
실험값	0.01	0.44	0	0.04
시뮬레이션값	0.01	0.089	0.005	0.05

Table 4. The compare of simulation and measurement

풍속의 경우는 환기창쪽에서만 측정하였기 때문에 작물의 영향이 비교적 작아 어느정도 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 풍속의 측정에 소홀했던 이유는 여기에 이용된 실험이 프로그램의 성능을 실험하기 위한 것으로 온실내의 온도분포에 비해 풍속의 분포는 많이 중요하지 않았기 때문이다.

앞으로 이것을 토대로 약간의 수정 및 보완을 하여 프로그램을 시뮬레이션해 나갈 것이다.

인용문헌

1. 남상운. 1997, 농업환경조절공학, 안성산업대학교 출판부. p64-73.
2. 윤남규 외. 2000, CFD 시뮬레이션에 의한 온실의 자연환기 및 공기유동 특성 분석.
3. 이인복 외. 1999, CFD 시뮬레이션을 이용한 연동형 온실 내 자연환기의 효율성 분석.
4. ASHRAE Handbook of Fundamentals. 1993. ASHRAE
5. Ibrahim M. Al-helal, M.S. 1998, A computational fluid dynamics study of natural ventilation in arid region greenhouses. The Ohio State University