

CFD 시뮬레이션을 이용한 연동온실의 환기창 조건별 자연환기 성능 비교

Comparison of natural ventilation ability according to window configuration using CFD simulation

윤남규* 김문기 ** 남윤일*

정희원

N. K. Yun M. K. Kim Y. I. Nam

1. 서론

온실에서 환기는 외기와의 공기교환을 통한 온도 및 습도의 조절뿐만아니라 이산화탄소 등의 가스농도를 조절함으로써 온실내 공기의 쾌적성 확보와 실내기류의 형성으로 인한 작물의 생육촉진에도 중요한 역할을 담당한다. 그러므로, 작물생육환경의 최적화를 통한 품질향상 및 수확량 증대를 목적으로 하는 온실재배에 있어서 환기특성 분석 및 공기유동 예측은 가장 기본적인 설계요소라 할 수 있다. 이렇게 환기가 온실내 미기상에 중요한 영향을 미치는 물리적 과정임에도 불구하고 아직까지 그 연구는 빈약한 실정이다. 이것은 환기 및 공기유동에 대한 연구가 기체의 운동을 대상으로 하므로, 난류해석 등 고려해야 하는 요소가 많아 그 해석과정이 복잡하기 때문이다. 특히 온실의 경우에는 막대한 일사량의 투입 및 식물의 생산활동으로 인한 물리적·화학적 환경의 변화를 고려해야 하므로, 더욱 더 해석이 까다롭게 된다.

자연환기시스템은 온실을 통과하는 공기의 흐름을 제어하는데 한계가 있으므로, 그 목적을 충분히 달성하기가 어렵다. 그러므로 온실설계에 있어서 환기율에 대한 의존성을 이해하고, 환기효율을 개선하기 위해서는 자연환기에 대한 보다 깊은 역학적 분석이 필요하다.

본 연구는 환기창의 개폐형태 및 조건에 따른 온실의 자연환기 성능 변화를 CFD 시뮬레이션을 통하여 예측하고, 장단점을 비교함으로써 자연환기성능을 고려한 온실 설계의 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

* 원예연구소 시설재배과

** 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

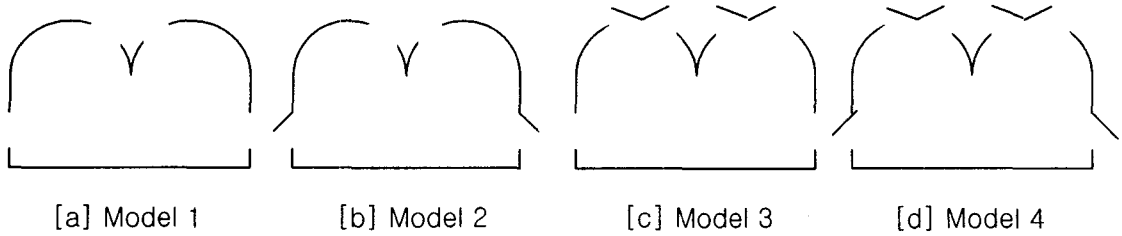


Fig. 1 Greenhouse models for the simulation

본 연구의 시뮬레이션에 적용된 온실은 폭 7m, 처마높이 2.5m, 마루높이 4.5m의 아치형 2연동 온실이다. 그리고 자연환기 성능을 비교하기 위해 환기창 형태는 평면형과 돌출형의 2가지 형태를 적용하였다.

온실 내부의 조건은 동일하게 작물이 없는 것으로 가정하였고, 외부 기상조건은 기온 30℃, 상대습도 70%, 일사량 800W, 풍속 2 m/s를 가정하였다. 풍향은 온실의 길이방향에 수직한 것으로 가정하였다. 돌출형 환기창의 경우 환기창의 개폐각도는 45°로 고정하였으며, 온실의 길이는 50m, 환기창의 높이는 1m로 지정하고, 측창의 위치는 지면으로부터 0.5m의 높이에 있는 것으로 설정하였다.

자연환기 성능 및 공기유동을 시뮬레이션을 통해 예측하기 위해 열유체해석용 프로그램인 FLUENT5를 사용하여 2차원 시뮬레이션을 수행하였고, GAMBIT 1.2를 사용하여 해석 영역의 요소분할을 수행하였다.

시뮬레이션을 위해 검토된 온실 모델은 4 종류로 그 외형은 그림 1과 같다.

Table 1 The constant and variables in the simulation model

Factor	Value
Absorption coefficient	
PE film	0.2
Soil	0.5
Transmittance of PE film	0.75
Sky temperature, K	287
Convective heat transfer coefficient, W/m ² K	
Outside cover	3.5v*
Inside cover	2.0
Indoor ground	7.0
Scattering coefficient of air	0.5
Atmospheric pressure, Pa	101,325
Emissivity	
Ground	0.9
PE film	0.1

* v : Outdoor wind velocity(m/s)

본 연구를 위해 적용된 시뮬레이션 모델의 주요 상수 및 변수값들을 표 1에 나타내었다.

본 연구의 CFD 시뮬레이션에서는 공기의 운동 및 에너지 해석을 위한 난류모델로써 realizable k-ε 모델을 Discrete Ordinates(DO) 복사모델과 함께 적용하였다. 본 연구에 적용된 온실 CFD 시뮬레이션 모델은 윤(2000)과 김, 남 등(2001)에 의해 실험결과와의 비교를 통해 검증된 것을 이용하였으므로, 모델 검증의 과정은 생략되었다.

구성된 시뮬레이션 모델의 계산결과로부터 각 환기창의 평균 유속과 실내 평균유속을 구하고, 이로부터 자연환기 성능을 분석하기 위해 분당 환기율(m^3/min)과 분당 공기교환율(air exchange rate, AER)을 계산하였다.

환기율은 온실내 공기의 압력이 평형을 이루는 상태를 가정하여, 환기창에서의 계산된 유속값들을 각 환기창 면적에 대해 표면 적분을 구하고, 이 적산값에 환기창 전체 면적의 0.5배를 한 값으로 계산하였다. 이것은 단위 시간당 온실 내부로 유입된 공기량과 온실내부로부터 외기로 유출된 공기의 양이 같다는 평형 원리에 근거한 계산방법이다.

공기교환율은 분당 환기량(m^3/min)을 온실의 체적으로 나눈 값으로 분당 환기회수와 동일한 개념이다.

3. 결과 및 고찰

각 모델 온실에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 각 모델온실의 측창과 천창에서의 평균풍속을 표 2에 나타내었다. 환기창에서의 풍속은 돌출형이 평면형 보다 크게 나타났다. 특히 천창의 풍속은 큰 차이를 나타냈다.

그림 2는 지면으로부터 1m 높이 지점에서의 풍속 예측 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 Point 1 은 바람이 불어오는 방향의 측창 부분, 즉 2연동 온실의 왼쪽 측창 부분을 나타내고, Point 2는 왼쪽 동의 중간 부분, Point 3은 연동 온실의 중앙부분, Point4는 오른쪽 동의 중간부분, Point 5는 오른쪽 동의 측창 부분을 나타낸다. 작물의 생육 환경 및 온실내 미기상과 밀접한 관련이 있는 온실 내부에서의 공기 흐름에 대해서는 Model 3의 경우가 가장 유리하고, Model 2의 경우가 가장 불리한 것으로 나타났다.

Table 2 Wind speed at the side and the roof vent of greenhouse

model number	side vent	roof vent
Model 1	4.61	1.38
Model 2	5.20	1.07
Model 3	4.19	1.91
Model 4	4.63	2.02

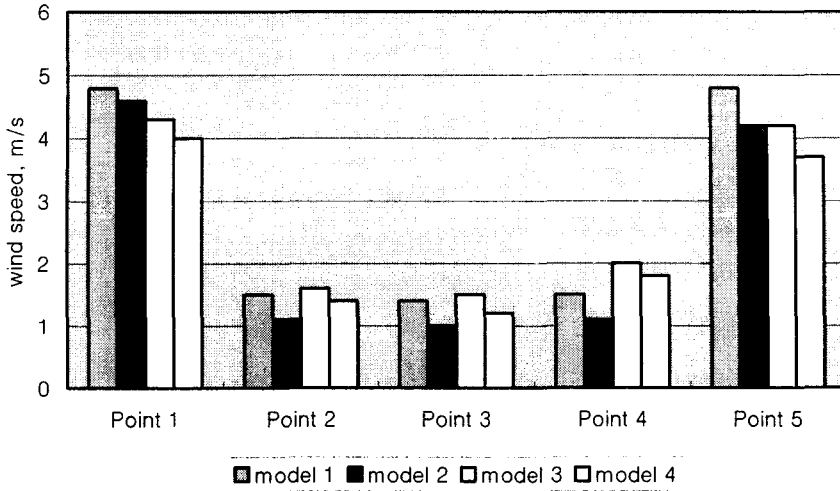
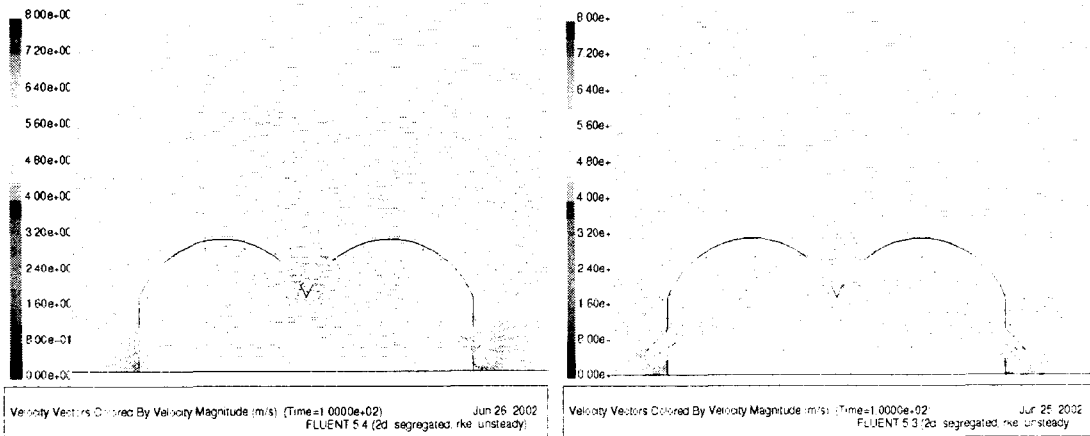
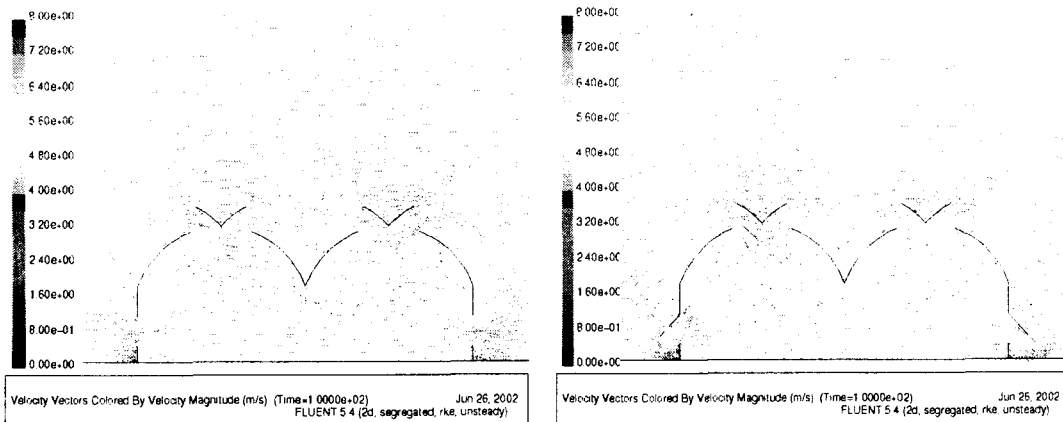


Fig. 2 Wind speed at 5 points in each greenhouse



(a) Model 1

(b) Model 2



(c) Model 3

(d) Model 4

Fig. 3 Velocity vector of the simulated greenhouse

Table 3 Comparison of ventilation rate and air exchange rate

Model		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Outdoor wind speed (m/s)		2.0			
Mean velocity (m/s)	Vent	2.93	2.84	2.77	2.89
	Indoor	1.43	1.27	1.65	1.52
Ventilation rate (m ³ /min)		368.7	310.2	445.5	417.6
Air exchange rate (1/min)		7.8	6.6	9.4	8.8

그림 3은 각 모델 온실에 대한 시뮬레이션 결과를 속도벡터로 표시한 것이다. 측창은 개폐형태에 따라 유입 및 유출 풍속에 큰 차이를 보이지 않았으나, 천창은 현저한 차이를 보여주었다. 돌출형 천창의 경우가 평면형 개폐방식의 천창보다 1.5~2.0배의 큰 평균 유속을 나타내었다. 돌출형 천창의 개폐면적이 평면형 보다 큰 것을 감안할 때 실제 유속의 차는 더 클 것으로 판단된다. 그러나 돌출형 천창의 경우 지붕 마루부분에 양방향으로 열려 있어 온실내부로 유입되거나 유출되는 공기의 흐름보다는 마루보고 있는 양측 환기창을 통과하는 흐름이 대부분이므로 이 결과로 돌출형 천창이 평면형 천창보다 환기효율이 우수하다고 평가하기에는 무리가 있는 것으로 판단된다.

표 3은 시뮬레이션에 적용된 각 모델 온실에서의 환기율과 공기교환율(AER)을 비교한 것이다

환기창을 통한 공기의 유출입 평균 속도는 온실 모델별로 큰 차이 없이 유사한 결과를 나타내었으나, 환기율 및 공기교환율에서는 Model 3 > Model 4 > Model 1 > Model 2의 순서로 크게 예측되었다.

4. 요약 및 결론

환기창의 개폐형태가 돌출형 및 평면형인 네가지 형태의 아치형 2연동 온실에 대한 공기 유동예측 시뮬레이션 결과, 측창의 형태별로는 큰 차이가 없었으나 천창의 형태 및 위치에 따라서는 큰 차이를 나타냈다. 그 동안 많은 연구결과에서 아치형 연동온실의 구조적 특성으로 인한 문제점으로 지적되어 온 연동 곡부 천창의 경우는 마루 천창에 비해 자연환기효율이 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 실내 평균 유속 또한 돌출형의 마루 천창을 갖는 Model 3, Model 4의 경우가 곡부 천창을 갖는 Model 1, Model 2의 경우보다 크게 나타나 실내 공기의 흐름면에서도 유리한 것으로 나타났다. 그러나 천창의 경우에는 네가지 모델 온실의 경우 모두 실내외 공기의 전체적인 교환보다는 천창 부근에서의 부분적인 공기교환이 이루어 지는 모습을 보여주었다.

본 연구의 시뮬레이션 결과, 연동 온실의 환기성능을 양적으로 극대화 하기 위해서는 곡부 천창이 아닌 마루 천창을 도입하여야 하며, 질적인 환기성능 개선을 위해서는 교차형 개폐 등과 같은 천창의 개폐 제어를 통해 실외의 신선한 공기를 온실 내부로 깊숙히 유입할 수 있는 환기구조를 만들어 주어야 할 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

- 1) 김문기, 남상운, 김기성. 2001. 온실냉방시스템의 효율적 이용에 관한 연구. 농림부 연구 보고서.
- 2) 윤남규. 2000. CFD 시뮬레이션에 의한 온실의 자연환기 및 공기유동 특성 분석. 서울대학교 공학박사학위논문.
- 3) 이인복, Ted H. Short. 1999. CFD 시뮬레이션을 이용한 연동형 온실내 자연환기의 효율성 분석. 생물환경조절학회지 8(1) : 9-18.
- 4) 최홍림 역. 1989. 농업시설물의 환기. 대광문화사.
- 5) Boulard T. and A. Bailli. 1995. Modelling of air exchange rate in a greenhouse equipped with continuous roof vents. J. Agric. Engng. Res. 61 : 37-48.
- 6) Boulard T. et al. 1997. Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. J. Agric. Engng Res. 67 : 249-266.
- 7) Boulard T. et al. 1996. The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. Agricultural and forest meteorology, 79 : 61-77.
- 8) Boulard T., G. Papadakis, C. Kittas, M. Mermier. 1997. Air flow and associated sensible heat exchanges in a naturally ventilated greenhouse. Agricultural and Forest Meteorology 88 : 111-119.
- 9) Kittas C., T. Boulard, and G. Papadakis. 1997. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: Sensitivity to temperature and wind effects. TRANSACTIONS of the ASAE 40(2) : 415-425.