

# CFD 시뮬레이션을 이용한 연동온실의 자연환기 성능 비교

## Comparison of Natural Ventilation Rate for Multi-span Greenhouses Using CFD Simulation

윤 남 규<sup>1)\*</sup> · 김 문 기<sup>2)</sup>

태인테크(주)<sup>1)\*</sup> · 서울대학교 농공학과<sup>2)</sup>

Yun, N.K.<sup>1)\*</sup> · Kim, M.K.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Taein Tech Co., Ltd.

<sup>2)</sup>Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National University

### 서론

환기는 온실내 미기상에 중요한 영향을 미치는 물리적 과정임에도 불구하고 실질적인 제어가 어려운 요소이기도 하다. 특히, 온실의 폭이 넓은 다연동 온실의 경우에는 환기창을 통해 유입된 공기가 급격한 운동에너지의 손실로 인하여 온실내부를 충분히 유동하지 못하므로 내부 공기의 정체로 인한 열환경 및 습도, 가스환경 등의 악화를 초래하게 된다. 흔히 볼 수 있는 주간연동 온실내 고온화 현상과 야간의 결로 등의 현상은 연동온실의 환기 부족 문제를 대표하는 것이라 할 수 있다.

온실의 환기에 대한 해석적 연구는 그 대상인 공기의 유체역학적 특성이 대단히 까다롭기 때문에 수학적 해석과정이 복잡하고, 정밀성을 요하므로 신뢰성 있는 결과를 얻기가 어려운 실정이다. 또한, 온실에서의 공기유동은 그 유속이 미약하여 열에너지의 수준차에 의한 부력의 영향을 크게 받으므로 일반적인 유체의 해석에 비해 보다 정도가 높은 해석이 요구된다. 이와 같은 이유로 온실내의 공기유동에 대한 해석적 연구는 미세하게 분할된 단위체적요소(요소)에 대한 일괄적인 해석을 통해 전체 온실내부의 공기유동을 예측하는 유한체적법(FVM)을 기반으로 진행되어 왔다.

본 연구에서는 이러한 유한체적법을 기반으로하는 열·유체 해석 소프트웨어인 FLUENT를 사용하여, 연동온실의 연동수에 따른 온실내 공기유동 특성과 자연환기율을 비교해 보고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 1. 시뮬레이션 조건

연동수에 따른 자연환기 특성 비교를 위한 시뮬레이션 조건은 다음과 같이 설정하였다. 먼저, 온실의 형태는 측창과 곡부의 천창을 갖는 일반적인 아치형 지붕의 플라스틱 연동 온실로서 2연동, 4연동, 6연동의 세 가지 크기에 대해 비교하였다. 외기의 기상조건은 수

원지역의 1991년 8월 기상자료를 이용하여 설정하였다. 일사량은 기간 중의 평균 수평면 일사량 값인  $646 \text{ W/m}^2$ , 기온은 같은 기간의 평균 최고 기온인  $29.9^\circ\text{C}$ , 상대습도는 평균값인 76%로 설정하였고, 풍속은 같은 기간의 최대 풍속인  $6.7 \text{ m/s}$ , 평균 풍속인  $1.3 \text{ m/s}$ ,  $0 \text{ m/s}$ 의 세 가지 조건에 대해 비교하였다.

해석에 있어 공기는 압축성 정상유체로 가정되었으며, 바람의 방향은 온실의 길이 방향과 수직으로 가정하였다. 시뮬레이션은 자연환기 상태의 바람에 의한 환기와 열부력에 의한 환기를 복합적으로 고려하여 수행되었다. 그리고, 온실내부의 상태는 작물이 없는 것으로 가정하였다.

본 연구에서는 열전달 및 유체유동 해석을 위한 상업용 패키지인 FLUENT v.5를 사용하여 CFD 시뮬레이션을 수행하였다.

## 2. 시뮬레이션 모델의 구성

CFD 기법은 일련의 이송방정식들을 수치해석적으로 풀어 줌으로써 유동의 평균속도벡터장의 계산을 가능하게 한다. 이 유동에 관련된 이송현상들을 나타내는 보존 또는 평형 방정식들은 일반적으로 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla \cdot \phi \vec{v} = \nabla \cdot (\Gamma_\phi \nabla \phi) + S_\phi \quad (1)$$

윗 식은 유동의 속도를 나타내는 운동량 보존방정식(Navier-Stokes equation)과 전체 질량의 평형방정식(연속방정식), 그리고 온도장을 나타내는 에너지평형방정식 등을 포괄하여 표현한 것으로 이 편미분방정식들을 동시에 풀기 위해 CFD 기법이 사용된다. 열 및 유체의 유동해석에 있어 가장 일반적인 수치해법은 유한체적법(FVM)으로, 이것은 공간과 시간을 이산화하고 격자상에서 이송방정식들을 풀어 그 해를 얻는 방법이다. 이 때 그 유동에 관계되는 바람, 태양복사 등과 같은 외적인 요인들의 영향은 경계조건으로써 고려된다.

그러나, 격자보다 더 작은 영역내에서 발생하는 난류유동은 이러한 방법으로 풀 수 없으므로, 복잡하고 난해한 난류유동을 단순화할 수 있도록 난류모델들을 도입하여야 한다. 최근 수년동안 가장 인기있는 난류모델은  $k-\epsilon$  모델(Harlow and Nakayama, 1968; Launder and Spalding, 1974)이다. 이 모델에서는 난류운동에너지  $k$ 와 그것의 소멸율  $\epsilon$ 의 두 현상학적 변수들의 항으로 난류점성을 표현한다.

또한, 온실에서는 주간의 막대한 태양복사열 집적으로 인해 내부 공기의 역학적 특성이 일반 건축물에서의 경우와 상이하므로, 보다 정확한 해석을 위해 이러한 태양복사의 영향을 고려할 수 있는 복사모델의 도입이 필요하다.

Table 1. List of selected models and its values.

Item	Value	Item	Value
Turbulence Model	realizable $k - \epsilon$	Radiation Model	DO
$C_{2\epsilon}$	1.9	Theta Division	2
$\sigma_k$	1.0	Phi Division	2
$\sigma_\epsilon$	1.2	Theta Pixels	1
$Pr_t$	0.85	Phi Pixels	1

따라서 본 연구에서는 FLUENT에서 제공하는 난류모델 중 realizable  $\kappa - \epsilon$  모델 및 복사모델 중 DO모델을 적용하여 태양복사로 인한 온실내 열환경 변화 및 공기유동을 예측하였다.

본 연구에서 CFD 시뮬레이션에 적용된 주요 입력 변수값은 Table 1과 같이 설정하였다.

## 결과 및 고찰

Fig. 1은 외부 풍속이 6.7 m/s일 때, 2연동 온실의 유속분포로서 환기창의 주변에서 높은 유속을 보이고 있으며 천장부위와 온실바닥으로부터 약 1m 정도 높이까지의 범위에서는 상대적으로 낮은 유속을 보여주었다.

Fig. 2는 4연동 온실에서 외부풍속이 6.7 m/s일 때의 유속분포(Fig. 2a)와 공기유동 상황(Fig. 2b)을 나타낸 것이다. 환기창 주위의 유속이 다른 부위에 비해 높은 것은 2연동의 경우와 유사하였으나 측창 주위의 유속에 비해 천창 주위의 유속이 훨씬 높게 나타나는 차이점을 보여주었다.

Fig. 3은 6연동 온실에서 외부풍속이 6.7 m/s일 때의 유속분포(Fig. 3a) 및 공기유동 상황(Fig. 3b), 그리고 기온의 분포(Fig. 3c)를 나타낸 것이다. 대체적으로 4연동의 경우와 유사한 경향을 보였으나, 풍하측 측창으로부터의 역유입된 기류에 의한 영향으로 풍하측의 2개 동에서 상대적으로 높은 유속을 나타내었는데, 이는 풍하측에서의 강한 와류의 형성으로 인한 원인으로 판단되며, 풍하측 영역의 난류경계에 대한 설정에 있어 수정이 필요할 것으로 판단된다.

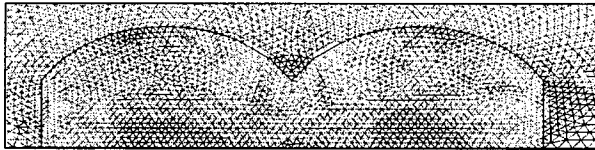
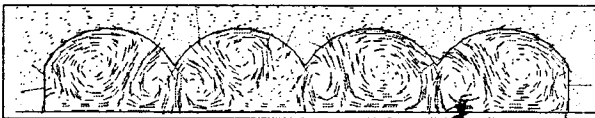


Fig. 1 Distribution of flow velocity in 2-span greenhouse under wind speed 6.7 m/s.

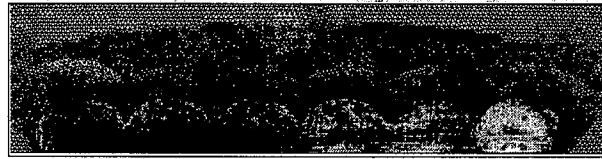


(a) Flow velocity

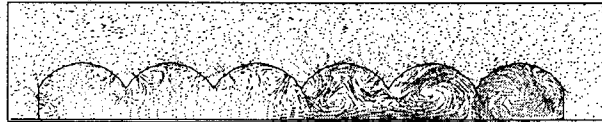


(b) Air movement

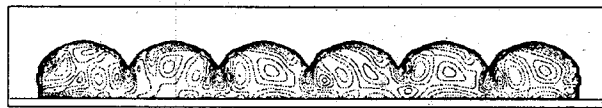
Fig. 2 Flow velocity and air movement in 4-span greenhouse under wind speed 6.7 m/s.



(a) Flow velocity



(b) Air movement



(c) Air temperature

Fig. 3 Flow velocity, air movement, and air temperature in 6-span greenhouse under wind speed 6.7 m/s.

### 인용문헌

1. 기상청. 1991. 기상연보.
2. 김문기 외. 1997. 원예시설의 환경설계기준 작성연구(Ⅱ). 농어촌진흥공사. p.134-163.
3. A. F. Mills. 1992. Heat Transfer. IRWIN.
4. A. Mistriotis et al. 1997. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 85, p.217-228.
5. A. Mistriotis et al. 1997. Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero- and low-wind-speeds. *Agricultural and Forest Meteorology*, 88, p.121-135.
6. Fluent 5 User's Guide, Volume 2. 1998. Fluent Inc.
7. J. S. Zhang, K. A. Janni, L. D. Jacobson. 1989. Modeling natural ventilation induced by combined thermal buoyancy and wind. *TRANSACTIONS of the ASAE*, Vol. 32(6), p.2165-2174.
8. T. Boulard, J. F. Meneses, M. Mermier, G. Papadakis. 1996. The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79, p.61-77.