

버섯재배사의 공조시스템 설계에 대한 연구

류경진¹, 손재환^{2*}, 한창우³, 나규동⁴

¹아주자동차대학 자동차계열, ²대구기계부품연구원, ³영남이공대학교 자동차과, ⁴(주)에이치엔엘

A study on the design of air conditioning system in the mushroom cultivation greenhouse

Kyung-Jin Ryu¹, Jae-Hwan Son^{2*}, Chang-Woo Han³, Kyu-Dong Nah⁴

¹Division of Automotive Engineering, AJOU MOTOR COLLEGE

²Daegu Mechatronics & Materials Institute(DMI)

³Dept. of Automobiles, Yeungnam University College

⁴HNL Co., Ltd.

요약 온실에서 버섯을 재배할 때 균일한 온도 분포가 되도록 하는 것이 중요하다. 지하 공기를 이용하여 비닐 하우스, 버섯재배사에 일정 온도의 공기를 공급하며 균일하게 유지하게 한다. 버섯재배사 구조는 7단 4열의 다배열 균상들 사이의 공기 흐름을 원활히 하고 위, 아래 균상 간의 환경 차이를 방지한다. 0.5m/s의 속도로 유입되는 공기는 초기 내부온도 간의 차이에 따라 밀도 차에 따른 부력에 의한 효과 역시 무시할 수 없으며, 온실내의 유동 해석을 통해 적정 온도가 균등하게 분포하도록 FCU(Fan Coil Unit)와 Fan의 위치를 정해야 한다. 본 연구에서는 유동해석을 통해 FCU와 Fan으로 구성된 샌드위치 단열 패널형의 버섯재배사의 공조시스템을 설계할 수 있었다. 그리고 재배사 내부의 온도 및 유동 해석을 통해 FCU(유입구)와 Fan(출구)의 위치가 서로 다른 Case에서 유입되는 공기의 순환 경로가 길어지면서 비교적 균일한 온도분포를 갖는데 유리함을 알 수 있었다. 따라서 이러한 환경 개선을 통해 버섯의 생육 및 품질 균일성을 도모할 수 있었다.

Abstract It is important to ensure a uniform temperature distribution in greenhouses for the mushroom cultivation. The air temperature of the mushroom cultivation greenhouse is made uniform by supplying a constant air temperature with the underground air. The mushroom cultivation array in a greenhouse in seven columns and four rows can make smooth air flows between the rows and prevent air differences between the top and bottom. The buoyancy effect in the entering air of 0.5m/s based on following density difference depending on initial internal temperature needs to be considered. The locations of the Fan Coil Unit (FCU) and fan were defined through flow analysis in a greenhouse to distribute the optimal uniform temperature. In this study, the air conditioning system of a greenhouse with a sandwich heat insulating panel shape which is composed of a FCU and fan was designed by flow analysis. A relatively uniform temperature distribution can be formed because the circulation path of air becomes longer in the different locations of the FCU (inlet) and fan (outlet) through the internal temperature and flow analysis. The cultivation and quality uniformity of the mushrooms could be promoted through these environmental improvements.

Keywords : Air conditioning system, Cultivation house, Mushroom, Fan, Fan Coil Unit(FCU)

1. 서론

우리나라에서 느타리버섯의 인공재배는 1973년부터

시작되어 1989년부터 폐면배지 이용 기술을 사용하여 재배되고 있다. 오늘날에는 버섯재배사 내부 환경을 인공적으로 제어하여 외부 환경과 무관하게 연중 계획생산

*Corresponding Author : Jae-Hwan Son(Daegu Mechatronics & Materials Institute(DMI))

Tel: +82-53-608-2032 email: sjhwan@dmi.re.kr

Received October 31, 2016

Accepted February 3, 2017

Revised (1st December 2, 2016, 2nd December 14, 2016)

Published February 28, 2017

이 가능하다[1].

버섯재배사는 하우스파이프 골조와 보온덮개 등을 이용해 시설한 간이버섯재배사와 샌드위치 단열 패널을 이용해 시설한 양지붕형 재배사가 있으며, 최근에는 주로 샌드위치 단열 패널을 이용한 양지붕형 재배사가 널리 활용되고 있다[2]. 이와 같이 단열 패널을 이용한 재배사가 증가하는 이유는 보온덮개를 이용한 간이 버섯재배사에 비해 외부의 기상조건으로부터 내부의 환경관리가 용이하기 때문이다.

성공적인 버섯 생산을 위해서는 운습도, 이산화탄소 농도 관리가 중요하다. 따라서 자연환기만으로는 내부의 환경관리가 부족하며 이러한 문제점을 개선하기 위하여 버섯재배사 구조, 환경관리 등에 대한 많은 연구가 수행되었다[3, 4].

본 연구에서는 7단 4열로 재배되는 느타리버섯 재배사 내부의 환경 균일성 향상을 위하여 전산유체 해석 프로그램을 활용하여 내부에 송풍 팬을 설치하여 버섯 재배사 내부에 인공적인 유동을 발생시켜 내부 공기의 혼합을 촉진함으로써 버섯의 생육과 관련된 온도, 습도의 균일성을 향상하고자 하였다[5]. 또한 버섯 재배사 내부에서 팬의 위치와 그 공기 유속 등을 변화해가며 버섯 재배사 내부의 유동특성과 온도분포를 분석했다[6, 7].

2. 버섯재배사 모델링

2.1 느타리 버섯재배사 공조 시스템

Fig. 1은 버섯재배사 공조시스템의 개념도이다. 지하 30m 이하의 공기층으로부터 일정한 온도(14~19 °C 내외)의 공기를 송풍팬으로 버섯재배사로 공급한다.

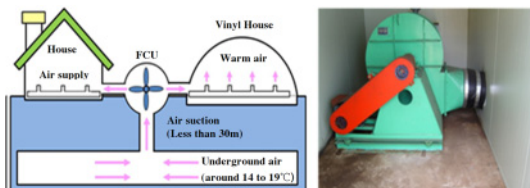


Fig. 1. Air conditioning system concept of the house mushroom cultivation

2.2 느타리 버섯재배사 공조 시스템 모델링

느타리 버섯재배사의 공조시스템 해석을 위해 내부의

공기층을 3D 모델링한다. 폭설시에도 안정성을 확보 하기 위해서 구조적으로 안전한 외부 형상을 설계하였다 [7]. 실제 버섯재배사의 크기는 가로 25 m 세로 7 m 높 이 4.3 m 이지만, 지오메트리의 가로 영역이 대칭구조로 되어 있기 때문에 창 축을 기준으로 가로 12.5 m 한쪽만 모델링하였다.

Fig. 2 (a)는 버섯 재배사의 전체 3D 모델링이고 (b)는 해석용 격자 모델링이다.

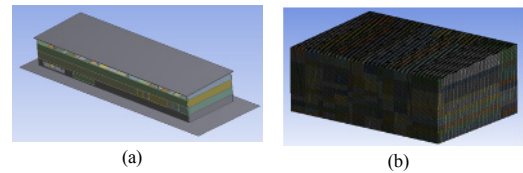


Fig. 2. House mushroom cultivation modeling
(a) House mushroom cultivation 3D geometry
(b) Mesh modeling for analysis

3. 수치해석

3.1 해석방법

본 연구에 사용된 상용 소프트웨어는 ANSYS CFX V15.0으로 3차원 정상상태로 가정하여 계산을 수행하였다. 사용된 mesh는 격자수를 줄이기 위해 Fig. 2 (b)에 보이는 것과 같이 입구와 출구, 재배사의 위치를 고려해서 모두 정규격자로 구성하였으며, 격자는 450만개로 계산을 수행하였다. 수치해석에 대한 검증은 Grid test를 통해 신뢰성을 검증하였다. 입구의 경계조건을 결정함에 있어 대기 온도 15 °C와 FCU의 유량 성능 등을 고려하여 입구온도와 유속을 각각 계산하였다. 그리고 재배사 주위는 경계층을 모사하기 위해서 프리즘 매쉬를 사용하였으며, 내부 난류 유동에 적합한 k-ε 난류 모델로 선정하여 해석하였다.

3.2 경계조건 및 초기 조건

Fig. 3은 지하로부터 유입되는 공기의 유입구(Inlet)와 출구(Outlet)위치를 도시하였으며, Table 1은 그 경계조건이다. 측벽에서 총 8개의 위치에서 15 °C의 공기를 0.5 m/s의 유속으로 버섯재배사 내부로 흘려보냈다. 출구 조건은 인위적인 부하없이 빠져나가기 위해 대기압 조건을 설정하였다.

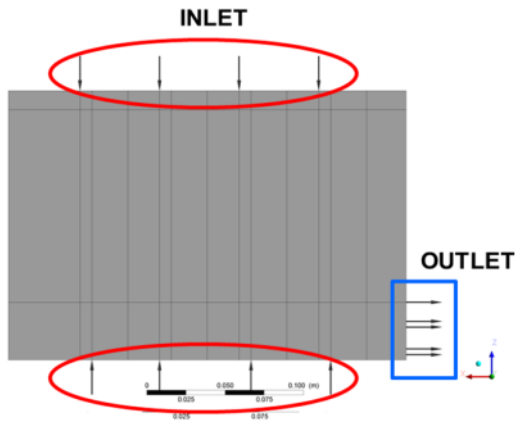


Fig. 3. Inlet, outlet location and solving condition

Table 1. Boundary condition

Boundary condition	
Inlet	0.5m/s, 15℃
Outlet	Atmospheric pressure
Wall	No-slip, adiabatic

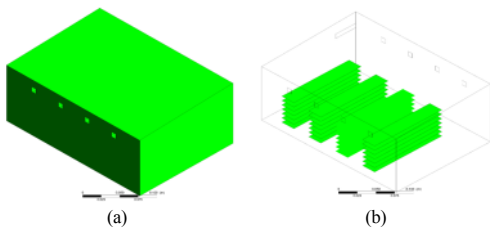


Fig. 4. House mushroom cultivation wall location
(a) House mushroom cultivation External walls
(b) Cultivation board

Fig. 4(a), (b)는 비닐하우스의 외벽과 7단 4열로 재배되는 느타리버섯 재배사 내부를 각각 도시하였다. 버섯재배사 및 외부 벽면은 벽으로 부터의 열전달이 연구 목적이 아니기 때문에 단열벽으로 가정하고 계산을 수행하였다.

Table 2의 난류모델은 K-Epsilon 모델을 사용하였으며, 열전달 조건은 저속 흐름에서 온도를 계산하고, 열전달을 모델링하는데 적합한 모델인 thermal Energy 조건을 사용하였으며, 정상상태로 계산을 수행하였다. 계절변화를 고려한 설계 변수로 내부온도를 설정(0℃~30℃)하였고, 유동 해석의 최종 목적은 내부 온도가 12~

18℃가 유지되도록 하는 조건을 찾는 것으로 정하였다 [8].

Table 2. Solver condition

Solver condition	
Analysis type	steady
Turbulence model	k-ε
Heat Transfer	thermal energy
internal temperature	0, 10, 20, 30℃

3.3 모델 해석 조건

Fig. 5는 공기가 유입되는 FCU와 빠져나가는 FAN의 위치에 따른 Case를 분류한 것이다. Case 1은 유입구와 출구인 FCU와 팬(Fan) 위치가 비닐하우스 상단에 위치한 경우이고, Case 2는 FCU는 상단, 팬은 하단에 위치한 경우이다. Case 3은 FCU는 하단, 팬은 상단에 위치한 경우이고 Case 4는 FCU, 팬 모두 하단에 위치한 경우이다.

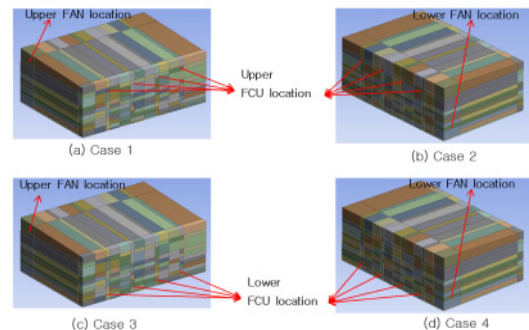


Fig. 5. Case of the inlet and outlet location
(a) Case 1 (b) Case 2 (c) Case 3 (d) Case 4

4. 해석 결과

4.1 내부 온도 변화에 따른 결과 비교

4.1.1 내부 온도 0℃에서의 해석 결과

내부온도 0℃에서 해석을 수행한 결과 Fig 6을 통해서 알 수 있듯이 FCU가 상단에 위치한 Case 1과 2는 상, 하부 간의 온도차가 극명하게 나뉘고 Case 3와 4는 Case 1, 2에 비해 온도 분포가 균일함을 알 수 있다.

Fig 7에서 가장 하단에 위치한 재배사(Location 1)부

터 가장 상단에 위치한 재배사(Location 7)까지 평균 온도를 비교할 수 있다. Case 1, 2는 최고, 최저 온도차가 약 4~5 °C가량 발생함을 알 수 있고 재배사가 상단에 위치할수록 재배사의 온도가 비교적 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

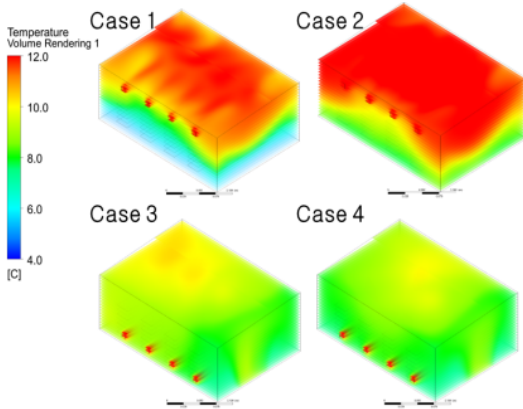


Fig. 6. At an internal temperature 0°C the internal temperature distribution for each case

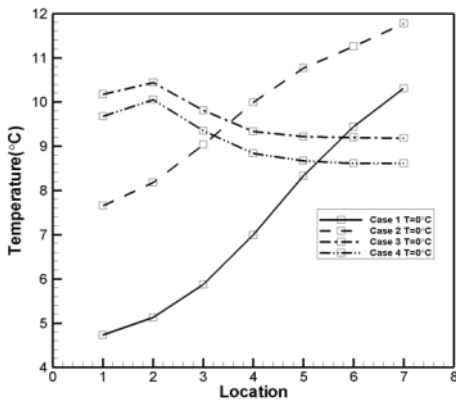


Fig. 7. At an internal temperature 0°C, each cultivation average temperatures

Case 3, 4의 경우, 최고, 최저 온도차가 약 1 °C 가량 발생함을 알 수 있었고 최하단 재배사에서부터 최상단 재배사까지 온도는 감소하였지만 Case 1, 2에 비해 온도 감소가 비선형적으로 감소되는 폭 역시 완만한 것을 알 수 있었다.

Fig. 7에서처럼 FCU 위치에 따라 위치에 따른 재배사의 온도 분포 양상이 달라짐을 알 수 있었다.

4.1.2 내부 온도 10°C에서의 해석 결과

내부온도 10 °C에서 해석을 수행한 결과 Fig 8과 같이 Case 1, 2는 앞서 내부기온 0°C에서 해석 결과와 유사하게 비닐하우스 상하단간의 온도차가 발생하였고 Case 3, 4 역시 Case 1, 2에 비해 온도 분포가 균일함을 알 수 있었다.

Fig 9에서 알 수 있듯이 재배사 위치에 따른 온도 변화의 양상은 내부기온이 0 °C일 때와 유사하나 최고, 최저 온도차 간의 폭이 전체적으로 감소함을 알 수 있었다.

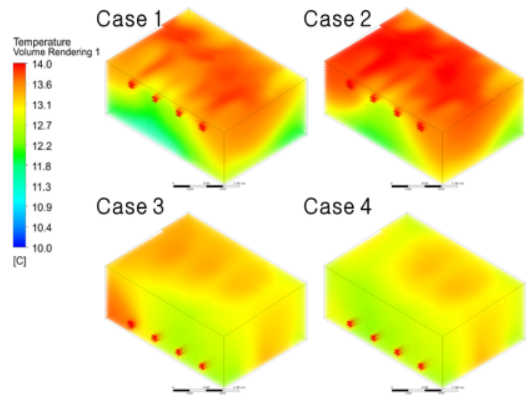


Fig. 8. At an internal temperature 10°C the internal temperature distribution for each case

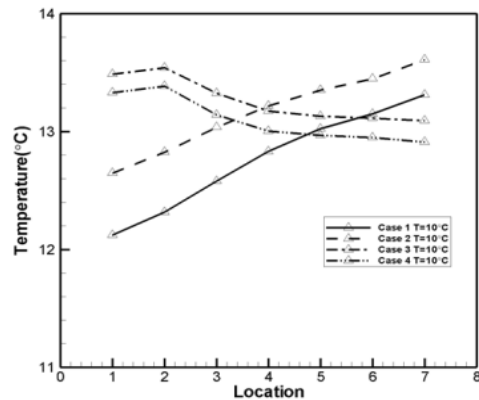


Fig. 9. At an internal temperature 10°C, each cultivation average temperatures

4.1.3 내부 온도 20°C에서의 해석 결과

내부온도 20 °C에서 해석을 수행한 결과 Fig. 10에서 알 수 있듯이 Case 1, 2가 Case 3, 4에 비해 온도 분포가

균일함을 알 수 있다.

Fig. 11을 살펴 보면 Case 1, 2, 3, 4 모두 재배사 위치에 따른 최저와 최고 온도차가 1 °C 이내에서 발생함을 알 수 있다. Case 3, 4는 앞서 내부 온도가 0, 10 °C일 때 Case 1, 2와 유사하게 최하단에서부터 최상단 재배사까지 미미하게 온도가 상승하는 경향을 가진다.

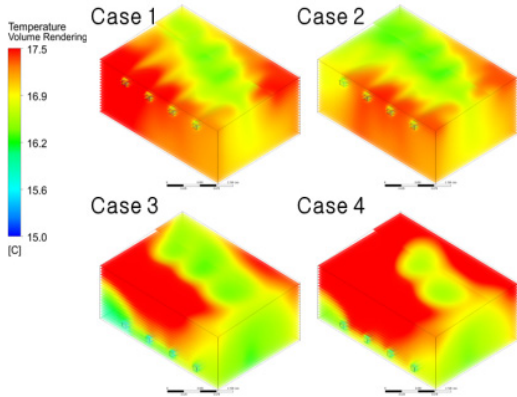


Fig. 10. At an internal temperature 20°C the internal temperature distribution for each case

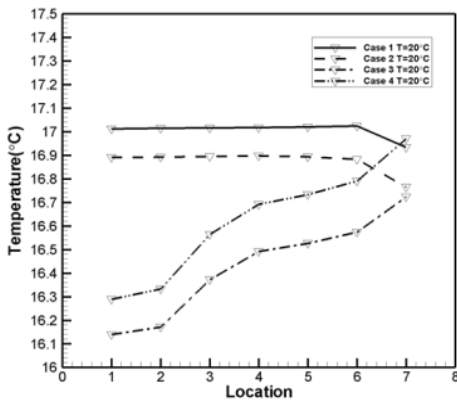


Fig. 11. At an internal temperature 20°C, each cultivation average temperatures

4.1.4 내부 온도 30 °C에서의 해석 결과

내부온도 30°C에서 해석을 수행한 결과 Case 3은 비닐하우스 내부의 고온, 저온부가 뚜렷하게 층을 지어 구분이 되지만 재배사가 위치한 부분은 Case 1, 2, 4에 비해 낮은 온도로 고르게 분포함을 알 수 있다.

Fig. 13의 그래프에서도 알 수 있듯이 Case 3은 Case 1, 2에 비해 온도분포는 고르지 못하나 Case 4에 비해 최고와 최저 온도차가 2 °C 안팎으로 상대적으로 온도분포가 균일하다.

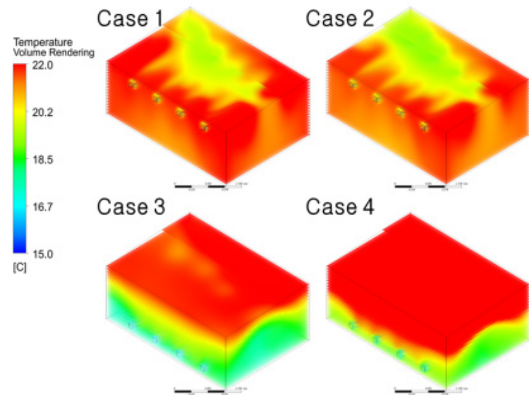


Fig. 12. At an internal temperature 30°C the internal temperature distribution for each case

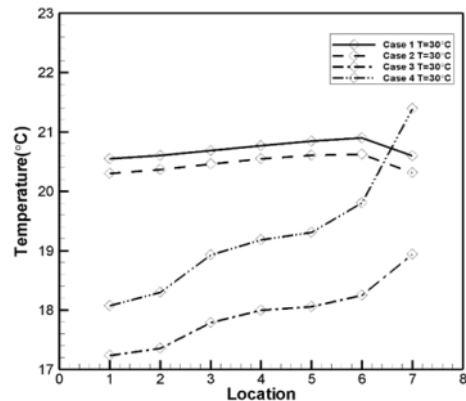


Fig. 13. At an internal temperature 30°C, each cultivation average temperatures

4.2 내부온도 10 °C에서의 Case별 유동 및 온도 분포

4.2.1 Case 1 상부 FCU, 상부 팬

Fig. 14 (a)에서 보이는 속도 분포와 같이 FCU에서 들어오는 공기가 중앙에서 만나 부딪히면서 확산을 이루는 구조로 팬과 가까운 FCU는 하부까지 충분히 순환하지 못한다. 이에 따라 Fig. 14 (b)와 같이 팬에 가까울수록 온도층의 구분이 분명히 드러난다.

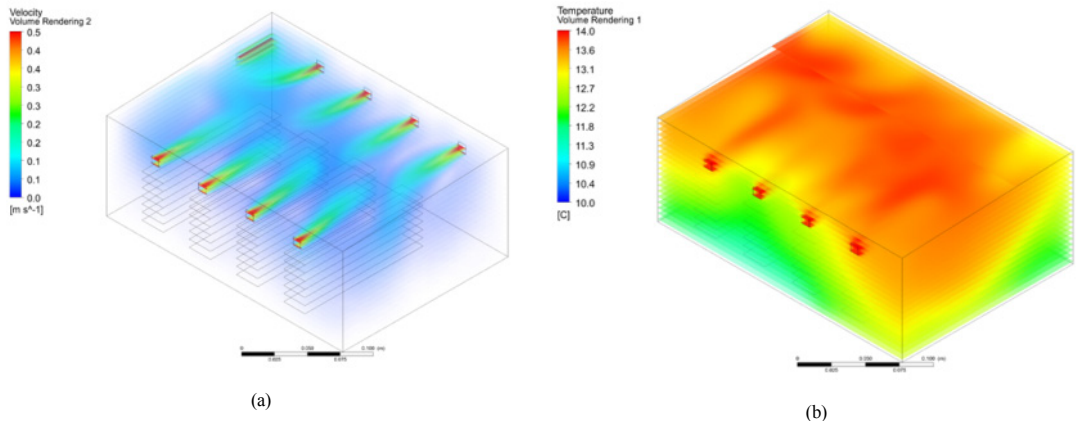


Fig. 14. Inside in Case 1 (a) Speed (b) The temperature distribution

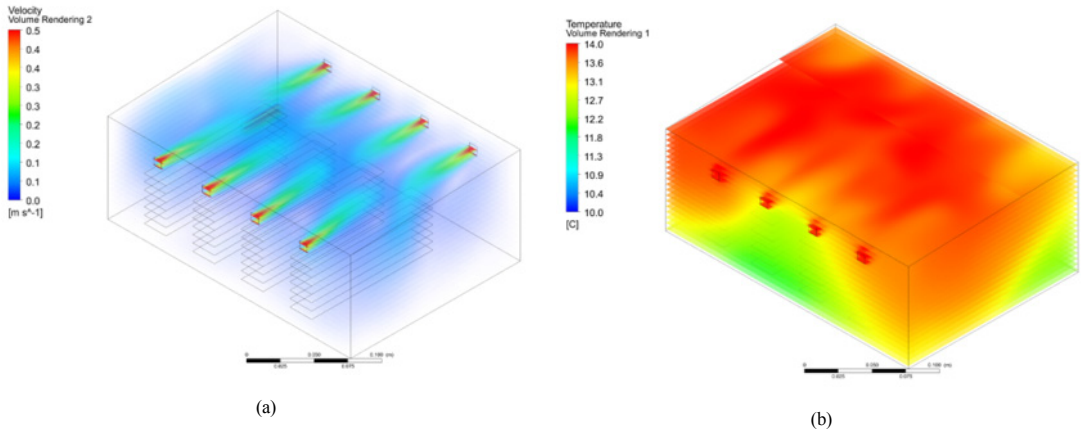


Fig. 15. Inside in Case 2 (a) Speed (b) The temperature distribution

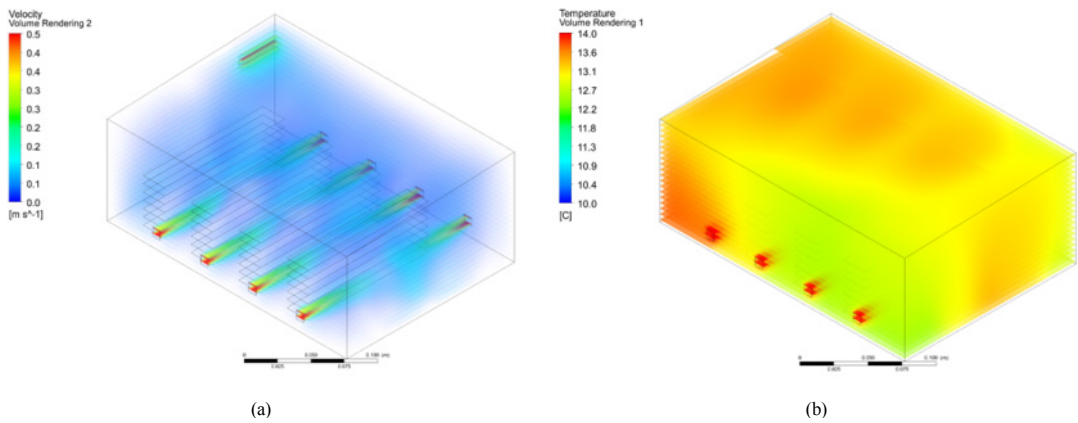


Fig. 16. Inside in Case 3 (a) Speed (b) The temperature distribution

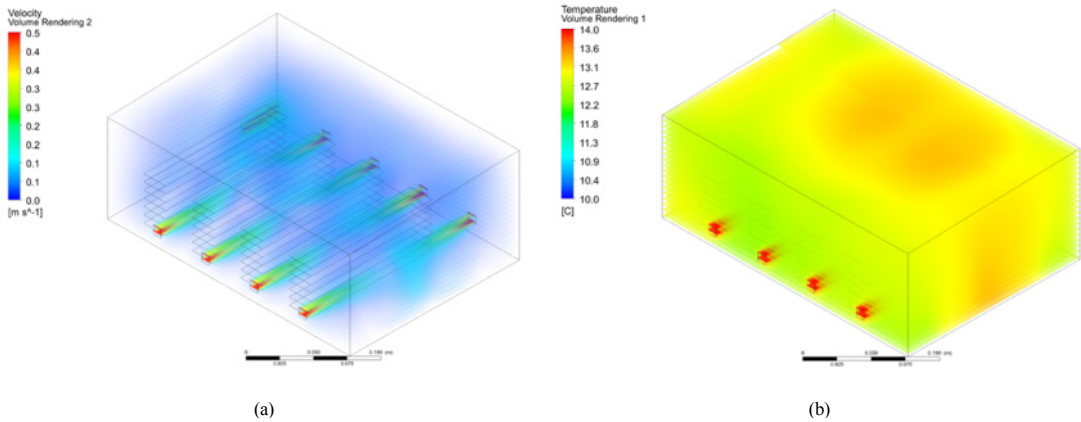


Fig. 17. Inside in Case 4 (a) Speed (b) The temperature distribution

4.2.2 Case 2 상부 FCU, 하부 팬

Case 2는 Case 1과 유사하지만 Fig. 15와 같이 팬의 위치가 비닐하우스 하단에 위치하면서 비교적 팬과 가까운 위치의 FCU에서도 비닐하우스 하단까지 온도분포가 균질해 짐을 알 수 있다. 그러나 비닐하우스 중앙에 위치한 FCU를 통해 들어오는 공기는 하단에 이르지 못해 불균일한 온도 분포를 보인다.

4.2.3 Case 3 하부 FCU, 상부 팬

Fig. 16의 (a)속도 분포와 같이 FCU에서 들어오는 공기가 중앙 하부에서 만나 부딪히면서 확산을 이루는 구조로 다른 Case에 비해 비교적 가장 균일한 온도 분포를 보인다.

4.2.4 Case 4 하부 FCU, 하부 팬

Fig. 17에서 알 수 있듯이 Case 4는 Case 3과 유사한 유동 양상을 보인다. 따라서 Case 3에 비해 온도분포가 균일한 것처럼 보이지만 Case 1, 2의 분석 결과를 통해 팬과 가까이 위치한 FCU를 통해 유입되는 공기는 비닐하우스 내부를 비교적 적은 경로로 순환하여 빠져나가고 팬과 먼 FCU를 통해 유입된 공기는 내부를 순환하여 초기 내부온도보다 높은 유입공기는 중앙 상단에서 정체되어 불균일한 온도분포를 초래할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 7단 4열의 버섯재배사 내부의 유동 및 온도 특성을 분석하였다. FCU와 팬의 위치별로 Case를 구분하였고, 내부 온도를 0~30 °C 까지 변화시키면서 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 버섯재배사 내부는 비교적 느린 유속의 자연대류에 의한 열확산이 이루어져 전반적으로 일정한 온도 분포를 보임을 알 수 있었다. 공기의 순환 경로가 길어지게 FCU와 팬의 위치가 결정될 때 비교적 균일한 온도분포를 갖는데 유리하다는 것을 확인할 수 있었다.
2. 내부 온도에 대한 유입 공기 온도의 대소값이 변할 때 가장 균일한 온도 분포를 유지하는 Case가 변화한다는 것을 알 수 있었다.
3. Case 1, 4에서는 0, 30 °C와 같은 극한 조건에서 팬에 의한 강제대류에만 열전달이 발생하여 다른 Case에 비해 불리함을 알 수 있었다.
4. Case 3에서 내부 온도가 변화할 때 재배사의 온도 분포가 가장 균일하였다. 아래쪽으로는 FCU로 일정한 온도의 공기를 주입시키고, 위쪽으로는 팬으로 변화된 온도의 공기를 배기시킨다면, 내부의 온도를 가장 균일하게 유지시킬 수 있음을 알 수 있었다.

References

- [1] S. H. Lee, B. K. Yu, H. J. Kim, N. K. Yun, J. C. Jung, "Technology for Improving the Uniformity of the Environment in the Oyster Mushroom Cultivation House by using Multi-layered Shelves", Protected Horticulture and Plant Factory, vol. 24, no. 2, pp. 128-133, June, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2015.24.2.128>
- [2] RDA(Rural Development of Administration), Standard blueprint of mushroom cultivation house, 1992.
- [3] I. B. Lee, W. M. Suh, T. K. Kim, M. G. Choi, Y. C. Yoon, "Survey and analysis on operation of equipments for environmental control in Pleurotus eryngii cultivation facilities", Journal of Agriculture & Life Science, vol. 41, no. 4, pp. 47-53, 2007.
- [4] Y. C. Yoon, W. M. Suh, H. W. Lee, "Analysis of environment factors in Pleurotus eryngii cultivation house", J. Bio-Env. Con, vol. 12, no. 4, pp. 200-206, 2003.
- [5] ANSYS Inc, "ANSYS CFX" ANSYS, 2014.
- [6] Y. C. Yoon, W. M. Shu, I. B. Lee, "Analysis of Environment Factors in Pleurotus eryngii Cultivation House of Permancet Frame Type Structure", Journal of Bio-Environment Control, vol. 15, no. 2, pp. 125-137, 2006.
- [7] J. B. You, Y. C. Kim, J. U Cho, "Thermal and Fluid Analyses of Inner Air at Decomposition Equipment on the Waste Gas of Perfluorinated Compounds", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 16, no. 2, pp. 1375-1380, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.2.1375>
- [8] J. U. Cho, B. S. Min, E. J Lee, J. S. Nam "Model Design by Structural Analysis of Vinyl House at Heavy Snow", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 11, no. 8, pp. 2727-2733, 2010.

류 경 진(Kyung-Jin Ryou)

[정회원]



- 2016년 8월 : 영남대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 교수

<관심분야>

공기역학, 유체역학, 자동차 정비기술, 친환경 자동차, 자동차 공기조화, 자동차 전기전자, 자동차 새시

손 재 환(Jae-Hwan Son)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경북대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2001년 11월 ~ 현재 : 대구기계부품연구원 기계로봇연구본부 책임연구원

<관심분야>

기계설계 안정성 평가, 정밀가공시스템, 융합제조기술개발

한 창 우(Chang-Woo Han)

[정회원]



- 2010년 8월 : 경북대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 영남이공대학교 자동차과 교수

<관심분야>

기계공학, 자동차 제어 시스템, 안정성 해석과 진단, 센서 및 활용, 하이브리드카 및 전기차

나 규 동(Kyu-Dong Nha)

[정회원]



- 2005년 8월 : 경북대학교 일반 대학원 생물산업기계공학과 (공학박사)
- 2004년 6월 ~ 현재 : 주식회사 에이치엔엘 대표이사

<관심분야>

식품공장, 스마트 팜, 융합제조기술개발