

# Thermal and Ventilative Characteristics of Single-Span Oak Mushroom Production Facility as Affected by Area of Roof Openings and Shading Rates

Jung Eek Son

School of Plant Science, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

## Abstract

The quality of oak mushroom(*Lentinus edodes*(Berk) Sing) is sensitively affected by environmental factors, especially moisture by the rain during the growing period. To protect mushrooms from being wet, plastic-covered facilities with side openings are mostly being used. However, the indoor temperature and humidity of the facility without roof openings become higher due to its poor ventilation, and consequently reduce the productivity and quality as well. In this study, we analyzed the ventilation rates and indoor temperatures of improved facilities as affected by the area of roof opening and shading rate by the model. The indoor temperature decreased by more than 2.5°C as the shading rate increased from 50% to 90%, and especially the effect of wind speed on indoor temperature was significantly great under as low as 50% of shading rate. The ventilation rate became higher under wind speed of 1~2 m·s<sup>-1</sup> regardless of the shading rate. As the wind speed increased from 0 m·s<sup>-1</sup> to 2 m·s<sup>-1</sup>, the indoor temperature decreased by more than 2.0°C. Moreover, the indoor temperature became lower with increasing roof opening ratio, but showed no significant differences at more than 50% of roof opening ratio. At lower shading rate, the indoor temperature sensitively decreased with increasing area of roof opening. Additionally, we obtained the higher ventilation performance with the area of roof opening more or less equal to that of side opening, regardless of the wind speed and shading rate.

Key words : shading rate, area of roof opening, indoor temperature, ventilation rate, *Lentinus edodes*(Berk) Sing, oak mushroom

## 서 론

국내 표고버섯의 생산은 임간의 그늘에 세워 자연 조건에서 버섯을 발생시키는 임간재배에 의존하고 있다. 임간재배는 시설재배에 비하여 외부 기상조건의 직접적인 영향을 받기 때문에 버섯의 발생시기를 조절할 수 없고, 버섯의 품질을 규격화할 수 없으며, 원목의 수명이 짧고 원목에 대한 버섯생산 비율이 낮은 등의 단점이 있다(Lee, 2000). 또한 임간재배에서 생산시기에 비를 맞을 경우, 표고버섯의 상품성이 하락하는 문제점이 있다. 따라서 일정 시기와 지역에 한정하여 고품질 표고버섯의 생산이 가능한 상황이다(Son과 Choi, 2000).

최근 생표고버섯의 수요가 급증함에 따라서, 표고버섯의 주년 생산과 원활한 공급을 위한 표고버섯의 시설재배 방법과 이를 위한 적절한 재배시설이 요구

되고 있다. 표고버섯의 품질은 습도 등의 주변 환경에 매우 민감하게 작용하기 때문에(Choi와 Son, 2000), 천창이 없는 기존의 단동 아취 형태와 같이 환기가 불량할 경우, 온습도 상승 및 이로 인한 품질 하락이 문제가 되고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 강우를 차단하면서 환기를 향상시킬 수 있고, 궁극적으로 고품질 표고버섯의 생산이 가능한 표고재배시설의 개발이 필요하다.

효율적인 표고버섯의 시설재배를 위하여 몇 가지의 표준 형태의 표고재배시설 개발이 시도되었지만(Lee 등, 1999), 주로 형태, 구조 및 작업성에 관한 내용이었으며, 최근에 표고재배시설의 환기특성을 일부 분석한 예가 있는 정도이다(Choi 등, 2000). 온실의 환기특성을 분석한 연구로는 다연동 온실(Kozai and Sase, 1980; Lee 등, 2000)과, 하절기 강우차단이 가능한 원예작물용 비가림 시설에 관한 연구가 실시

된 바가 있다(Son 등, 1995; Son, 1996). 그러나 표고버섯은 원예작물과 달리 수백 lx의 약광 조건에서 생육하기 때문에(Lee, 2000), 일반 원예작물용 재배시설의 온도 및 환기특성과 상이할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 보편적으로 사용되고 있는 단동 재배시설에 대하여 기존에 사용되고 있는 강우차단용 표고재배시설과 환기 성능을 향상시킨 개량형 표고재배 시설을 설정하여 환기용 천창 면적과 차광율에 따른 환기를 및 실내온도를 비교·분석하였다.

### 재료 및 방법

#### 1. 분석시설의 제원 및 특성

공시시설의 제원은 Fig. 1과 같다. 표고재배시설의 형태는 관행의 강우차단이 가능한 단동 아치형(Type 2), 환기용 천창 50% 개폐형(Type 2) 및 환기용 천창 100% 개폐형(Type 3)을 대상으로하였다. 공시시설의 폭은 8 m, 천장높이는 3.7 m, 길이는 10 m이며, 모든 시설은 Fig. 1과 같이 높이 1.0 m의 측창을 가지고 있다. Type 1은 관행형으로 천창이 없기 때문에 환기가 불량한 형태이며, Type 2 및 Type 3는 각 동의 중앙에 천창 2개씩을 만들어 환기를 개선한

형태이다.

관행형의 경우, 바람이 없을 경우에도 일사량에 의한 중력환기가 발생하지만 해석상에는 환기량이 없는 것으로 간주하기 때문에, 측면의 0.5 m<sup>2</sup>의 환기구를 2개로 구분하였다. 시설 형태별 특성은 Table 1과 같다.

풍압계수는 원예시설에 대한 실험적 풍압계수를 참고로 하였으며(Kim, 1997). 비가림시설 좌우측 및 천창의 풍량계수(discharge coefficient)는 차광망의 상태를 고려하여 0.4를 사용하였다(Saito, 1974).

#### 2. 환기 모델의 개념

표고재배 시설내에서 고려되는 환기는 자연환기이며, 환기 구동력인 실내외의 압력차는 정압차, 부력, 풍력에 의해서 구성되고, 환기량은 환기 구동력 및 환기구 특성에 의하여 결정된다. 공시시설의 환기해석에 사용된 대표적인 환기모델의 개념은 Fig. 2와 같다.

각 시설내 표고재배용 원목이 존재할 경우 환기구에 약간의 영향은 있는 것으로 판단되지만, 본 연구에서는 모든 시설이 동일조건이기 때문에 이 영향은 무시하였다. 실제로 환기의 유입 및 유출구가 1개인 단순형태의 시설에서는 간단한 계산으로 환기량을 계산할 수 있으나, 환기구가 1개 이상일 경우는 주로

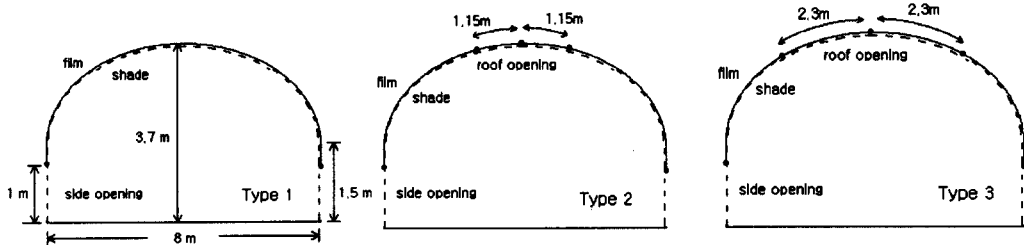


Fig. 1. Cross sectional shapes and scales of oak mushroom production facilities.

Table 1. Parameters of each facility

	Type 1				Type 2				Type 3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Opening no.	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Opening area(m <sup>2</sup> )	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.15	1.15	1.0	1.0	2.3	2.3	1.0
Opening height(m)	0.25	0.75	0.75	0.25	0.5	3.52	3.52	0.5	0.5	3.26	3.26	0.5
Wind press. coefficient	0.8	0.8	-0.4	-0.4	0.8	-0.7	-0.5	-0.4	0.8	-0.7	-0.5	-0.4
Discharge coefficient	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Floor area(m <sup>2</sup> )	8.0				8.0				8.0			
Volume(m <sup>3</sup> )	22.0				22.0				22.0			
Ratio of cover area to floor area	1.525				1.525				1.525			

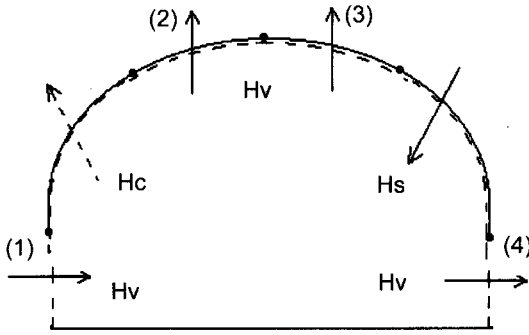


Fig. 2. Concept of a ventilation model.  $H_v$ ,  $H_c$  and  $H_s$  mean the heat exchange by ventilation, heat outflow through the film, and heat inflow of solar radiation, respectively.

수치해법에 의존한다. 실내의 압력차( $\Delta P$ )와 환기구의 환기량( $Q$ )와의 관계를 포함한 일반적인 환기량의 계산은 다음과 같다(Son, 1996; Kozai and Sase, 1980).

표고재배시설의 환기구 1~4의 입력차는 실내의 정압차, 부력 및 풍압이 고려되었고, 각 공간의 환기구를 통한 유입량 및 유출량의 합은 동일한 것으로 가정하였다.

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2g}{\gamma} |\Delta P|} \quad (1)$$

단,  $\Delta P = P_i - P_w + P_g$   
 $A = lA_0$

$$P_w = C \frac{\gamma_0}{2g} V^2 \quad (2)$$

$$P_g = h\gamma_0 \frac{t_i - t_o}{273 + t_i} \quad (3)$$

$$\sum Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0 \quad (4)$$

여기서,  $A$ 는 환기구 면적( $m^2$ ),  $l$ 은 환기구 개도,  $A_0$ 는 환기구 개도가 100%에서의 환기구 면적( $m^2$ ),  $\alpha$ 는 환기구 풍량계수,  $\Delta P$ 는 환기구 내의 전압력차( $kg \cdot m^{-2}$ )이며, 만약  $\Delta P \geq 0$ 일 경우(유출시)는  $\gamma = \gamma_0$ 로 하고,  $\Delta P < 0$ 일 경우(유입시)는 환기량  $Q(m^3 \cdot s^{-1})$ 은 -의 값을 가지며,  $\gamma = \gamma_0$ 로 한다.  $V$ 는 기준높이( $z$ )의 풍속,  $P_w$  및  $P_g$ 는 각각 환기구의 풍압력( $kg \cdot m^{-2}$ ) 및 부력( $kg \cdot m^{-2}$ ),  $P_i$ 는 실내정압(지면기준)( $kg \cdot m^{-2}$ )이다.  $Q_i$ 는 시설내 공간에서의 환기량으로 실내정압의 합수

로 표시된다. 풍압력  $P_w$ 는 동압과 풍압계수( $C$ )의 곱이고, 부력  $P_g$ 는 내외기온차( $\Delta t$ ) 및 환기구간의 높이차( $h$ )에 의하여 계산되고, 또한 실내정압은 미지수로 두고 관계식을 구성한다.  $g$ 는 중력가속도( $m \cdot s^{-2}$ )이고,  $\gamma$ 은 공기 비중( $kg \cdot m^{-3}$ )이며, 첨자  $i$  및  $o$ 는 각각 실내 및 실외를 나타낸다.

### 3. 실내온도 및 환기량 해석방법

표고재배시설의 각 환기구의 환기량은 환기모델에서의 미지수인 정압차  $P_i$ 를 구함으로써 결정된다. 따라서 일정한 풍속 조건하에서 일사량에 의한 온도상승 및 이것에 기인하는 중력환기에 의한 환기량의 변화를 구하기 위하여 환기모델 및 열수지모델을 사용하여 표고재배시설내의 기온과 환기량을 동시에 산정하였다. 이때 반복법의 일종인 Newton-Raphson법을 사용하여 각 공간별 정압차를 구하고 이 값을 이용하여 각 환기구의 환기량을 구하였다. 시설별 상대적 온도 및 환기량의 비교를 위하여 다음과 같은 간단한 정상상태에서의 실내공기의 현열 열수지 모델을 이용하였다.

$$H_c = k(t_i - t_o)A_c \quad (5)$$

$$H_v = C_v Q(t_i - t_o) \quad (6)$$

$$H_s = \tau S(1 - r)A_f \quad (7)$$

$$\sum H_i = H_s + H_c + H_v = 0 \quad (8)$$

$$Q = \frac{1}{C_v} \left[ \frac{\alpha \tau S(1 - r)F}{\Delta t} - wk \right] A_f \quad (9)$$

여기서,  $C_v$ 는 체적비열(정압비열×밀도 $\approx 0.3 \text{ kcal} \cdot m^{-3} \cdot ^\circ C^{-1}$ ),  $S$ 는 실외수평면일사량( $MJ \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ ),  $F$ 는 순복사열의 현열 이용비(원목의 비율에 따라서 0.8~0.9),  $A_c$ 는 피복재 면적( $m^2$ ),  $A_f$ 는 바닥면적( $m^2$ ),  $w$ 는 방열비,  $k$ 는 피복면 열관류율( $kcal \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ ),  $\tau$ 는 일사투과율,  $r$ 은 실내반사율이다.  $H_c$ ,  $H_v$  및  $H_s$ 는 각각 관류열교환량( $kcal \cdot h^{-1}$ ), 환기열교환량( $kcal \cdot h^{-1}$ ) 및 유입일사량( $kcal \cdot h^{-1}$ )을 나타낸다. 일조시간 중의 토양전열량은 무시하였다.

모델에 사용한 조건 중, 시설조건은 폭, 길이, 지붕높이, 처마높이, 부피 및 바닥면적이 설정되었고,

편의상 단위 길이(1 m)를 사용하였다. 기상조건은 풍속( $0 \sim 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 외기온도( $28^\circ\text{C}$ ), 실외수평면 일사량( $2.0 \sim 3.0 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 피복재의 일사투과율(0.75), 실내반사율(0.1), 열관류율( $5.0 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )이며, 순복사량의 현열 이용비(0.9)를 사용하였다. 환기량 및 실내온도 계산과정은 Fig. 3과 같다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 차광율이 환기를 및 실내온도에 미치는 영향

표고재배시설내의 환기량과 실내기온을 산정 가능한 환경예측 모델을 사용하여 차광정도, 외기온, 풍속, 일사량 및 관련 변수를 이용하여 천창의 개도 50%인 시설에서의 환기량 및 실내온도의 변화를 구하였다. 여기서 천창의 개도란 단위폭당 1개의 천창의 최대 개폐거리가 2.3 m이며, 이것에 대한 비율을 의미한다. 전체적으로 차광정도가 50%에서 90%로 증가할수록 온도는  $31.7^\circ\text{C}$ 에서  $28.3^\circ\text{C}$ 까지 약  $2.5^\circ\text{C}$  이상의 차이를 나타냈으며, 차광율이 50%에서 풍속의 영향이 다소 크게 나타났다(Fig. 4). 환기율의 경우는 온도와 반대 경향을 나타냈으며, 풍속이  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 인

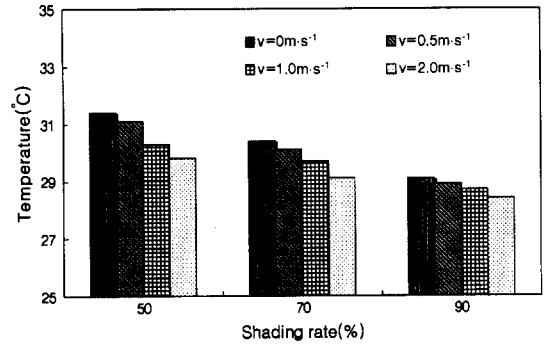


Fig. 4. Indoor temperature for various degrees of shading at outdoor temperature of  $28^\circ\text{C}$  and irradiation of  $2.5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ .

경우, 차광율에 관계없이 크게 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 5).

표고재배 시설은 버섯생육에 요구되는 투광량이 채소류에 비하여 매우 낮기 때문에(Lee, 2000) 농가에서 주로 사용하고 있는 차광(차광율 90%)의 경우에는 시설 내부온도와 환기율은 풍속에 크게 영향을 받지 않지만, 고품질 버섯의 생산을 위하여 때때로 사용되는 차광율 50이나 70%인 경우에는 풍속에 영향을 받는 것으로 나타났다. 차광율 50%에서의 환기율이 차광율 90%에서 보다 많은 이유는 실내온도 상승에 의한 중력환기의 영향이라고 판단된다(Son 등, 1995).

#### 2. 실외풍속이 환기를 및 실내온도에 미치는 영향

실외 풍속이 증가할수록 실내온도는 하강하였고, 특히 천창 개도가 0%와 비교하여 50%이상에서 급격히 온도가 하강하는 경향을 나타냈다. 풍속이  $0 \sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 온도변화 차이가 명확하였고, 풍속이

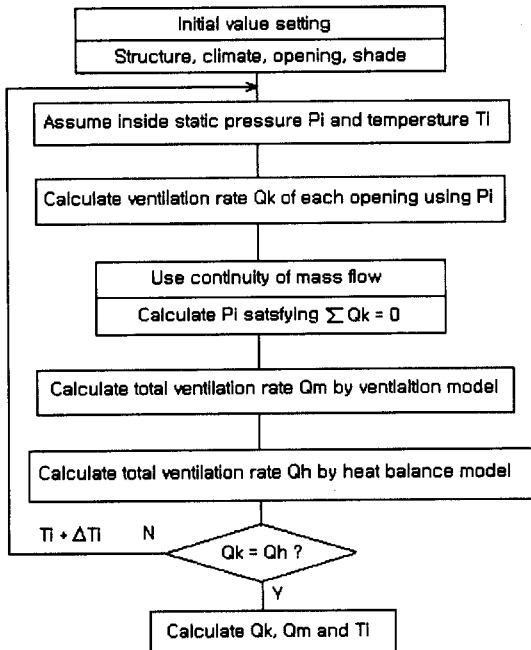


Fig. 3. Calculating procedure of ventilation rate and indoor temperature.

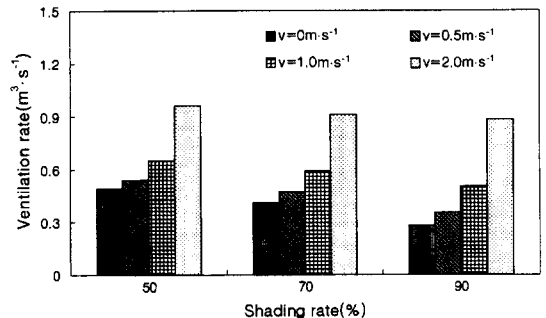


Fig. 5. Ventilation rate for various degrees of shading at outdoor temperature of  $28^\circ\text{C}$  and irradiation of  $2.5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ .

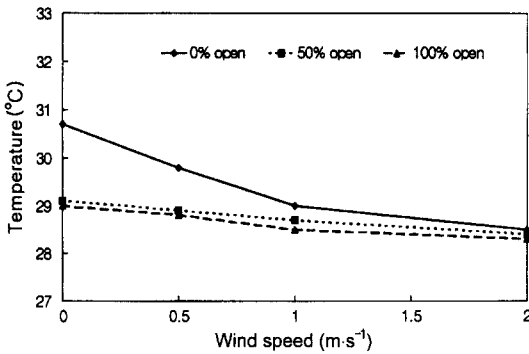


Fig. 6. Indoor temperature for various wind speeds at outdoor temperature of 28°C, irradiation of 2.5 MJ · m<sup>-2</sup> and 90% shading.

1 m · s<sup>-1</sup> 이상에서는 개도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(Fig. 6). 환기율은 풍속이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈고, 천창 개도가 클수록 풍속 증가에 따른 환기율의 차이는 큰 것으로 나타났다(Fig. 7)

천창 개도 증가에 따른 온도의 하강은 중력환기와 풍력환기에 의한 환기량의 증가로 판단되지만, 개도 50% 이상의 경우는 개도 0%에 비하여 풍속 0 m · s<sup>-1</sup> 에서 온도가 매우 낮게 나타났다. 풍속증가에 대하여 온도 하강 정도가 미미한 것은, 일단 중력환기에 의한 온도 하강이 충분한 것으로 판단된다(Son, 1996). 일반적으로 풍속이 1 m · s<sup>-1</sup> 이상으로 증가함에 따라서 온도하강 및 환기를 증가는 풍력환기에 지배되는 것으로 알려져 있으며(Kozai and Sase, 1980), 본 결과에서도 이와 동일한 현상이 확인되었다.

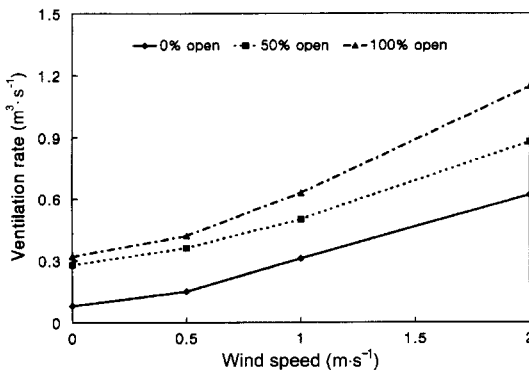


Fig. 7. Ventilation rate for various wind speeds at outdoor temperature of 28°C, irradiation of 2.5 MJ · m<sup>-2</sup> and 90% shading.

### 3. 천창 개도가 환기율 및 실내온도에 미치는 영향

천창 개도의 증가에 따라 온도가 하강하는 경향을 나타냈으나, 50%의 차광조건에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 특히, 차광율이 낮을수록 온도가 낮아지는 경향이 뚜렷하였고, 차광율이 증가할수록 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Fig. 8). 환기율의 경우, 천창 개도의 증가에 따라 증가하였으나, 실내온도와 동일한 경향으로 개도 50% 이상에서는 일정한 차이가 나타났다(Fig. 9).

이것은 천창 개도의 증가에 비례하여 환기율이 증가하지 않고, 개폐기의 효율 및 안전한 유지관리를 위하여 적정 개폐거리의 설정이 필요하다는 사실을 나타내고 있다. 측창 면적(sa)에 대한 천창 면적(ra)의 비(ra/sa)에 따른 실내온도의 변화는, 풍속 증가와 무관하게 천창 면적과 측창면적이 거의 동일할 때 까지 감소하였으나, 그 이상에서는 온도변화가 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 10).

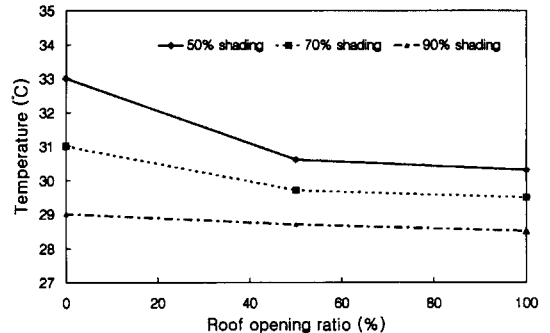


Fig. 8. Indoor temperature for various roof opening ratios at outdoor temperature of 28°C, wind speed of 1 m · s<sup>-1</sup> and irradiation of 2.5 MJ · m<sup>-2</sup>.

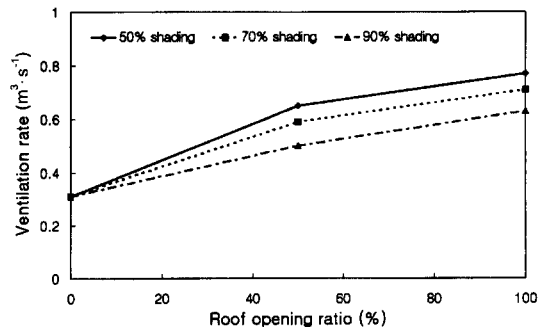


Fig. 9. Ventilation rate for various roof opening ratios at outdoor temperature of 28°C, wind speed of 1 m · s<sup>-1</sup> and irradiation of 2.5 MJ · m<sup>-2</sup>.

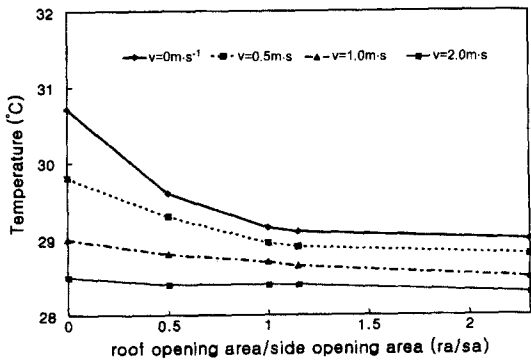


Fig. 10. Indoor temperature for various ratios of roof opening area(ra) to side opening area (sa) at outdoor temperature of 28°C and irradiation of 2.5 MJ · m<sup>-2</sup>.

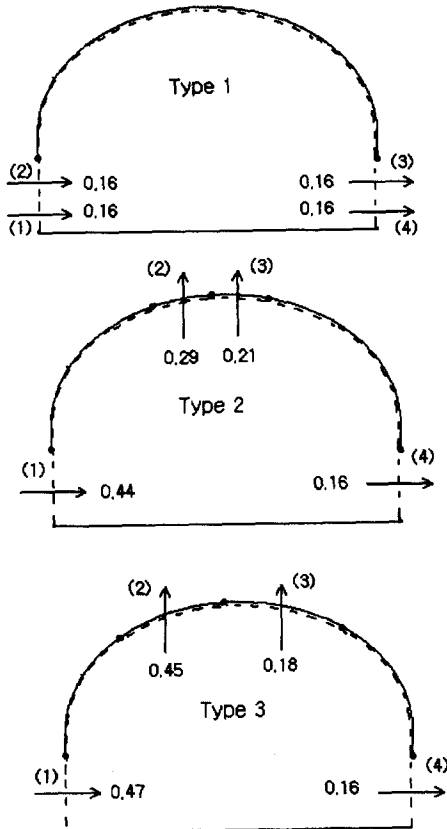


Fig. 11. Flow rate and direction of the ventilation at outdoor temperature of 28°C, wind speed of 1 m · s<sup>-1</sup> and irradiation of 2.5 MJ · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>.

#### 4. 시설의 형태 및 환기구별 환기량 비교

환기구의 단위폭당 환기량 및 환기방향을 비교하기 위하여 외기온 28°C, 일사량 2.5 MJ · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>, 풍속

1 m · s<sup>-1</sup>에 대한 계산 결과, 개도 증가에 따라 환기량이 증가하였고, 바람이 불어오는 쪽의 측창을 통하여 유입된 공기는 천창 및 반대편의 측창을 통하여 유출되는 것으로 나타났다(Fig. 11).

바람이 불어오는 쪽의 정(+ )압력과 천창에서의 부(-)압력이 시설내의 환기를 유도하고 있음을 보여주고 있고, 특히 바람이 불어오는 쪽의 측창에 있는 환기구의 환기량이 크며, 천창의 환기량도 반대편으로 갈수록 감소하였다.

#### Literature cited

1. Choi, W.S., K.S. Park and J.E. Son. 2000. Environmental analyses of oak mushroom production facilities using different shading methods. Proc. Bio-Environment Control 9(1):65-68 (in Korean).
2. Choi, W.S. and J.E. Son. 2000. Effect of relative humidity on quality of oak mushroom in bed-log cultivation. Kor. J. Hort. Sci. & Tech. 18(2):144 (in Korean).
3. Kim, M.K. et al. 1997. Design standards for greenhouse environment(II). Agricultural Development Corporation. p.143 (in Korean).
4. Kozai, T. and S. Sase. 1980. A simulation of natural ventilation for a multi-span greenhouse, Greenhouse and food production. Japan Rural Information System Association: 27-38.
5. Lee, B.Y., J.E. Son, S.K. Hong and M.W. Kim. 1999. Development of models for oak mushroom production facility. Ministry of Forest. p.323 (in Korean).
6. Lee, H.W., S.G. Lee, K.D. Kim and J.W. Lee. 2000. Variation of air temperature and radiation in the greenhouse with internal shading screen. Proc. Bio-Environment Control 9(1):94-97 (in Korean).
7. Lee, T.S. 2000. New cultivation techniques of oak-mushroom. Korea Forest Research Institute. 158 (in Korean).
8. Saito, Heizo. 1974. Architectural climate. Kyouritz Shutpan. Tokyo (in Japanese).
9. Son, J.E. 1996. Environmental analyses on rain shelter. KSAE 38(3):41-49 (in Korean).
10. Son, J.E. and W.S. Choi. 2000. Analysis of climatic factors during growing period of high-quality oak mushroom(*Lentinus edodes*(Berk) Sing). J. Bio-Environment Control 9(2):43-47 (in Korean).
11. Son, J.E., M.K. Kim, Y.S. Kwon, S.W. Nam and N.K. Yun. 1995. A fundamental study on development of highly efficient models of rain shelter. J. Bio-Environment Control 4(1):32-42 (in Korean).

손정의

## 단동 표고재배시설의 천창면적과 차광율에 따른 온도 및 환기특성

손정의

서울대학교 식물생산과학부

### 적 요

표고버섯(*Lentinus edodes*(Berk) Sing)의 품질은 환경조건에 매우 민감하고, 특히 생산기간중의 강우에 의한 수분의 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 대부분의 경우, 표고버섯이 강우에 의하여 썩지 않도록 하기 위하여, 강우차단용 플라스틱 필름을 사용하여 측창 환기구 이외에는 모두 밀폐시킨 재배시설을 사용하고 있다. 그러나 이와 같이 천창이 없는 재배시설의 실내 온도와 습도는 불량한 환기로 인하여 상승하게 되고, 결국 생산성 및 품질을 떨어뜨리게 된다. 본 연구에서는 모델을 이용하여 개선된 표고재배시설의 천창 면적과 차광율에 따른 환기율 및 실내온도 변화를 분석하였다. 차광율이 50%에서 90%로 증가할수록 온도는 약 2.5°C 이상의 차이를 나타냈으며 50%의 낮은 차광율에서 풍속의 영향이 크게 나타났다. 환기율은 풍속 1~2 m·s<sup>-1</sup> 이상에서는 차광율에 관계없이 크게 증가하였다. 실외풍속이 0 m·s<sup>-1</sup>에서 2 m·s<sup>-1</sup>로 증가함에 따라 실내온도는 약 2°C 이상 하강하였다. 특히, 천창 개도가 커질수록 온도가 하강하였지만 개도 50% 이상에서는 큰 차이가 없었다. 차광율이 낮을수록 개도 증가가 온도하강에 미치는 영향이 뚜렷하였다. 풍속 및 차광율에 무관하게 천창면적과 측창면적이 거의 동일할 때, 높은 환기효율 및 온도하강 특성을 나타내었다.

주제어 : 차광율, 천창 면적, 실내온도, 환기율, *Lentinus edodes*(Berk) Sing, 표고버섯