느타리재배사 정역 제어 대류팬이 공기 균일도에 미치는 영향

염성현^{1*} · 김시환²

¹국립농업과학원 재해예방공학과 농업연구사, ²국립농업과학원 기술지원과 농촌지도관

Effect of Reversible Air-circulation Fans on Air Uniformity in a Cultivation Facility for Oyster Mushroom

Sung Hyun Yum^{1*} and Si Hwan Kim²

¹Research Engineer, Dept. of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, R.D.A., Jeonju 54875, Korea

²Rural Guidance Officer, Technology Services Team, National Institute of Agricultural Sciences, R.D.A., Wanju 55365, Korea

Abstract. It has been known that oyster mushrooms cultivated in facilities with thermal insulation have been strongly affected by inner environments. Forced air-circulation fans exert much direct influence on disturbing air inside the facility so the matter is of particular interest. This study is carried out to investigate the measured levels of air uniformity in a cultivation facility for oyster mushroom in the various cases that reversibly controlled air-circulation fans which drove the flow in the upward and reverse direction by turn and unidirectional fans by which the wind blew upwards only were operated from July 1 to 10. The actual survey for the selection of ongoing operation cases presented that farmers, even though there were some discrepancies, have made use of fans in a way that it paused for 5 – 30min after running for 5 – 15min by turn. The level of air uniformity in the case of adopting reversible fans revealed a slight difference of 1.4 – 1.8°C (Temp.) and 7.8 – 8.7% (R.H.) under the condition of not using a cooler during the investigation period. By contrast, unidirectional fans showed a noticeable difference of 3.2 – 3.7°C and 14.0 – 15.4%, which meant that air uniformity driven by reversible fans much more increased compared to that for unidirectional fans. Among the twenty operational applications considered for reversible fans, the circumstance that the wind blew upwards for 10 – 15min and ceased for 5 – 10min and blew again in the reverse direction for 10 – 15min in succession gave minor improvements at the level of air uniformity, but at present there was somewhat difficult to make decision on which cases were optimally best. It seems necessary that the effects of reversible fans on air uniformity as well as qualities of oyster mushrooms have to be appraised in the cultivation period and the flow visualization needs to be done to ascertain the performance of air mixture.

Additional key words : environment control, inner environment, micro climate, unidirectional fan, wind

서 론

버섯은 대부분 기온, 상대습도와 CO₂ 농도를 인위적으로 조절할 수 있는 재배시설에서 생산되며 느타리버섯, 양송이버섯, 큰느타리(새송이)버섯, 팽이버섯, 표고버섯은 5대 버섯 또는 주요 버섯으로 불린다. 국내 버섯은 2,058호, 488ha에서 152,853M/T가 생산되며 이중 느타리버섯은 전체 농가수의 39.7%를 차지하는 818호(144ha)에서 48,327M/T가 생산되는 것으로 알려져 있다(MAFRA, 2019). 느타리버섯은 일반적으로 균상·병·봉지 방식으로 간이버섯재배사나 샌드위치

판넬 재배사에서 2열 4단 구조로 재배되고 있다. 그러나 재배단의 상·하단 간 기온과 상대습도의 차이 그리고 재배사 내 지점별 바람의 세기가 상이해 재배 주기 중 버섯품질이 균일하지 않아 고품질의 느타리버섯 생산을 위해서는 재배사 기온과 상대습도 등 내부환경의 균일화가 필요한 것으로 알려져 있다(KMGA, 2005, 2013; MushWorld, 2004). 느타리버섯은 대부분 샌드위치 판넬 재배사에서 재배되며 입상 시 22°C에서 시작하여 수확기 무렵 13 – 15°C, 상대습도 100% 수준, 수확기 무렵 CO₂ 농도 1,000μmol·mol⁻¹ 수준으로 관리하는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2018). 일반적으로 내부 환경조절을 위해 느타리재배사에는 냉방장치(Fan Cooling Unit, FCU), FCU에 연결된 공기분배용 비닐덕트, 공기교반을 위한 별도의 유동팬 그리고 환기를 위한 무동력 환기구나 동력

*Corresponding author: shyum@korea.kr

Received September 1, 2021; Revised October 21, 2021;

Accepted October 21, 2021

환기팬이 설치되어 있다. 느타리재배사에서 이용하고 있는 공기교반 유동팬은 대부분 길이 방향으로 공기를 토출하는 방식으로 기존, 상대습도 등 내부환경 균일도 측면에서 개선의 여지가 있어 왔으며 고품질 버섯 생산을 위하여 생육환경 분석 및 최적 상대습도 조건에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔다. 큰느타리버섯 재배사의 위쪽과 아래쪽 균상 간의 온도 차이는 $2.0 - 6.0^{\circ}\text{C}$ 까지 나타나며(Kim, 2008), 큰느타리재배사에서 상대습도를 70–90% 범위에서 비교 시험한 결과 90%에서 품질과 수확량이 우수해 상대습도를 90% 내외로 조절하는 것이 버섯 생육에 적합한 것으로 나타나 있다(Kim 등, 2013). 재배사 중앙 상부에 상향으로 바람을 토출해 공기를 순환시키는 대류팬 이용 기술에 관한 실험적, 해석적 연구도 수행되었는데 바닥면적 132m^2 인 2열 4단의 샌드위치 패널 느타리버섯 균상재배사에 대류팬 4개를 설치하여 상향으로 바람을 토출시킨 경우 0.3°C 의 온도 차이와 2%의 상대습도 차이가 있는 것으로 알려져 있고(Lee 등, 2015), 2열 4단 느타리재배사에서의 CFD 해석을 통해 외부공기의 유입이 없이 상향 토출 대류팬 3개로 내부공기가 순환되도록 한 경우가 대류팬을 포함한 모든 환경조절 장치가 가동된 조건에서보다 내부환경의 균일도가 좋은 것으로 나타나 있다(Lee 등, 2017). 또한 일반적인 재배사 형태는 아니나 4열 7단 느타리재배사에서 냉방장치와 흡입팬의 상대적 위치별 유동과 온도 분포 비교를 위한 공조시스템 설계 연구가 부분적으로 수행되었다(Ryu 등, 2017). 2017년부터 2019년까지 단일 방향 대류팬(공기 강제순환시스템)이 일반 농가에 보급되어 내부환경 균일도가 일부 향상되고 재배사 출입 횟수 감소로 환경변화 요인이 최소화되어 생산성이 일부 향상된 것으로 보고되어 있으나(RDA, 2017, 2018, 2019), 재배사 내 원활한 공기흐름을 통한 균일도 향상을 위하여 대류팬 상하이동 및 방향전환 등 다양한 기능이 추가되고 재배사 운영관리 매뉴얼이 필요한 것으로 알려져 있다(RDA, 2017, 2018).

본 연구는 단일 방향 공기토출 방식인 공기 강제순환시스템의 제어 로직을 상향과 하향 모두 번갈아 작동 가능하도록 개

선(토출방향이 상향과 하향으로 전환이 가능한 정역 제어 대류팬)하여 그 작동방법(공기토출 작동·멈춤 시간 조합)별 내부환경 균일도 수준을 평가하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

1. 대류팬 이용 실태조사

2017–2019년 농촌진흥청 신기술보급사업(느타리버섯 균상재배 환경 기술 시범)을 통해 단일 방향(상향 또는 하향) 공기토출 대류팬을 지원받은 5개 시범농가(양평·홍성·김제·해남·의령)를 대상으로 느타리버섯 재배사에 활용 중인 대류팬의 공기토출 방향 및 작동방법을 조사하였으며 그 결과를 정역 제어 대류팬 작동방법 설정의 기초자료로 활용하였다. 센서 계측에 의한 재배사 내부환경 균일도 평가가 아닌 시범 농가에서의 대류팬 이용에 관한 주관적·경험적 결과를 조사하였다.

2. 느타리재배사의 규격 및 환경조절장치

느타리버섯 재배사는 충남 부여군 양화면 내성리 일원(위도 36.10570 , 경도 126.86418)에 소재한 폭 7m, 높이 5.1m(처마높이 3.6m), 길이 19.7m의 균상 판넬재배사로 다섯 동 중 2개 동을 시험구와 대조구로 두고 시험구에는 상향·하향으로 공기를 번갈아 토출하는 정역 제어 대류팬을 설치하였다(Fig. 1). 재배사 내 균상베드는 2열 4단으로 되어 있으며 베드 폭과 높이는 1.5m와 2.55m(4단부), 베드길이는 16.2m이다(Fig. 4).

균상 판넬재배사는 FCU 1대를 중앙부 상단에 두어 냉방에 이용하고 베드 3단 높이에서 공기를 상향으로 토출하는 유동팬 4개와 1열 후면부 바닥에 위치하여 길이방향으로 공기를 토출하는 지하수 이용 흡입팬 1개로 재배사 내 공기가 전반적으로 교반되고, 지붕 용마루에 위치한 환기팬 4개로 환기가 이루어지며 지하수 이용 흡입팬과 지붕 환기팬은 작동 시 연동되는 구조로 되어 있다.

Fig. 1. View of the outside (Left) and inside cultivation facility (Middle: the experimental facility, Right: the control one).

공기 균일도를 평가하기 위한 시험구와 대조구의 내부환경은 봄 재배 버섯의 수확이 끝날 무렵이고 폐상 직전인 7.1. - 10까지 동일 기간 조사하였으며 조사기간 중에 시험구와 대조구의 FCU는 작동시키지 않았다. 아래쪽에서 공기를 흡입해 길이방향으로 토출하는 FCU는 재배사 공기교반에 영향을 주나 본 연구에서는 정역 제어 대류팬과 기존 유동팬 자체만의 공기교반 정도를 비교하고자 FCU를 작동시키지 않았으며 -늦가을에서와 같이 FCU를 가동시키지 않는 기간에서는 유효할 것으로 기대된다- 버섯생육 기간 중 정역 제어 대류팬의 작동방법을 시험목적으로 다양하게 조정할 경우 농가에서 재배 중인 버섯 품질과 수확량에 영향을 미칠 수 있어 위험부담이 적은 폐상무렵 조건에서 시험하였다.

3. 센서 및 정역 제어 대류팬의 설치

느타리재배사 내부환경 균일도를 평가하기 위하여 시험구에는 양방향 공기토출 방식인 정역 제어 대류팬(DS500-3, Dongseo, Korea) 3개를 새로 설치하고 대조구에는 농가에서 이용 중인 상향으로의 단일 방향 공기토출 방식의 기존 유동팬(DWV-40F, Dongwoo, Korea) 4개를 그대로 이용하였다. 시험구의 정역 제어 대류팬은 맨 위가 편평한 뚜껑으로 막혀 있고 그 주위가 개방되어 있어 상향으로 공기토출 시 바람은 팬의 상단 뚜껑에 막혀 반경방향으로 수평하게 토출되며, 아래는 막힘없이 개방되어 하향으로 공기토출된 바람은 그대로

아래 방향으로 분출되는 구조로 되어 있다(Fig. 2). 대조구의 기존 유동팬은 상향으로 바람이 토출되도록 일반 송풍팬을 90도로 뉘어 놓은 구조이다(Fig. 3).

시험구는 기존에 설치되어 있던 4개의 유동팬 스위치를 모두 끄고 정역 제어 대류팬 3개로 공기가 교반되도록 하였으며 대조구는 농가에서 이용하고 있는 기존 유동팬 4개로 공기가 교반되도록 하였다. 이 때 지하수 이용 흡입팬 1개와 지붕 환기팬 4개는 시험구와 대조구 모두에서 동일한 방식으로 작동되도록 하였다. 1월 후반부 바닥에 설치되어 있는 지하수 이용 흡입팬은 15 - 17°C의 지하수를 열교환하여 재배사 내로 약 22°C의 바람을 토출하며 지붕 환기팬은 용마루에 설치되어 환기에 이용된다.

시험구와 대조구에는 각각 16개(=2열×8개/열)의 온도 센서(RTD PT-100, Samwoneng, Korea)와 습도 센서(ETH-01DV, Econarae, Korea)를 설치하였으며 CO₂ 농도 센서(Non-Dispersive Infrared K50, Senseair, Sweden)는 1열 2단에만 설치하여 CO₂ 농도 수준이 모니터링되도록 하였다. 온·습도 센서는 각 열의 베드 폭 중앙과 베드길이 3등분 지점에 위치되도록 하였으며 출입구 왼쪽에 위치한 1열의 균상베드 전·후면부에 각각 4개씩 8개를, 오른쪽에 위치한 2열의 전·후면부에도 각각 4개씩 8개를 설치하여 시험구와 대조구에 각각 16개의 센서를 통해 재배사 내 기온과 상대습도가 계속되도록 하였다. 센서는 버섯 최대 성장 길이를 고려하여 균상

Table 1. Specifications of fans and measuring sensors used in the study.

Items		Fans and sensors	Specifications
Fan	Experimental	Reversible air-circulation fan	Φ400 mm, air vol. 30 m ³ ·min ⁻¹
	Control	Existing air-circulation fan	Φ400 mm, air vol. 50 m ³ ·min ⁻¹
Measuring sensors		Temperature	-50 - 100°C, ±0.5°C
		Relative humidity	0 - 100%, ±3%
		CO ₂	0 - 6,000 μmol·mol ⁻¹ , ±30 μmol·mol ⁻¹

Fig. 2. View of the reversible air-circulation fan and measuring sensors in the experimental facility.

Fig. 3. View of the existing air-circulation fan and measuring sensors in the control facility.

(a) Front view (unit: mm)

(b) Floor view (unit: mm)

Fig. 4. Schematic of the experimental cultivation facility (Left) and the control one (Right) including the layout of cultivation benches with four-staged beds lined in two rows and the location of measuring sensors (#1 – #16).

Table 2. Setting up the operational time for the reversible air-circulation fan.

Date	Case No.	Oper. time (min.) (Upwards(radial)-Stop-Downwards)	Date	Case No.	Oper. time (min.) (Upwards(radial)-Stop-Downwards)
July 1	#1	10-05-10	July 6	#11	50-15-50
	#2	10-05-10		#12	50-20-50
2	#3	15-10-15	7	#13	05-02-05
	#4	20-10-20		#14	07-05-07
3	#5	25-10-25	8	#15	10-07-10
	#6	30-10-30		#16	15-10-15
4	#7	35-10-35	9	#17	20-15-20
	#8	40-10-40		#18	25-20-25
5	#9	45-10-45	10	#19	30-25-30
	#10	50-10-50		#20	30-10-30

베드로부터 약 30cm 떨어진 재배 단과 단 사이 공간에 위치하도록 하였다.

또한 온·습도 센서를 모두 설치한 후 정역 제어 대류팬(시험구)과 기존 유동팬(대조구), 지하수 이용 흡입팬 및 지붕 환기팬을 모두 끈 상태에서 재배사 내 16개의 센서 값이 동일하도록 교정하였다. Table 1은 시험구와 대조구에 설치된 팬과 계측 센서의 규격을 나타낸 것이다.

4. 정역 제어 대류팬의 작동방법

정역 제어 대류팬은 정방향(상향으로의 공기 토출)과 역방향(하향으로의 공기 토출)으로 바람이 토출되도록 작동시키고 정·역방향 작동 사이에 멈춤시간을 두어 ‘정방향 공기토출-멈춤-역방향 공기토출’이 번갈아 반복되도록 하였다. 시험구에서의 정역 제어 대류팬 작동은 대류팬 이용실태 조사 결과를 바탕으로 정방향-멈춤-역방향 작동시간을 20가지로 조합하여 적용하였으며 정방향과 역방향 공기토출 작동시간은 각각 5-50분, 멈춤시간은 5-25분으로 하였다(Table 2). 반면 대조구에서의 기존 유동팬 작동시간은 재배농가가 오랫동안 적용해 왔던 방식인 5분 작동, 25분 멈춤을 변경없이 그대로 적용하였다. 또한 시험구와 대조구의 지하수 이용 흡입팬과 지붕 환기팬 작동시간 역시 농가의 관행방식(7.1에 한해 5분 작동, 15분 멈춤으로 하고 7.2-10까지는 5분 작동, 10분 멈춤)을 동일하게 적용하였다.

결과 및 고찰

1. 대류팬 이용 실태

느타리버섯 재배사의 대류팬 규격, 작동방법 및 설치효과를 시험농가에서 조사한 결과, 네 개 농가에서 상향 공기토출 방

식을, 한 개 농가에서만 하향 공기토출 방식을 적용하고 있는 것으로 나타났다. 상향 공기토출 방식을 사용하는 양평의 경우 짙은 안개 시에만 2-3분 작동, 30분 멈춤으로 적용하고 있었으며 의령에서는 5분 작동, 15분 멈춤으로 홍성의 경우 15분 작동, 5분 멈춤으로 하되 생육 정점기에서는 상시 가동시키고 있었다. 해남에서는 5분 작동, 30분 멈춤을 기본으로 적용 하되 강우 시에는 작동시간을 15분으로 증가시키고 멈춤시간을 15분으로 줄여 이용하고 있는 것으로 나타났다.

하향 공기토출 방식을 이용하고 있는 김제의 경우에는 이용 초기 시 50분 작동, 10분 멈춤으로 적용하다가 버섯발이 포획기에는 바람의 세기로 인해 대류팬 대신 소형 환풍기 3대를 상시 작동시켜 공기 교반을 하고 있는 것으로 나타났다. 보급된 시험기술 대류팬은 상향 공기토출을 기본으로 하되 설치 시 인접한 냉동기와 비닐덕트 등으로 인해 일부 하향으로 공기가 토출되는 구조로 적용하고 있는 것으로 나타났다. 대류팬의 작동방법(작동시간과 멈춤시간의 조합 방법)은 농가별로 상이하나 대부분 5-15분 작동, 5-30분 멈춤으로 적용하고 있는 것으로 나타났다. 김제의 경우 하향 공기토출 대류팬을 소형 환풍기로 대체하기 전까지 50분간의 상향 공기토출 대류팬 작동으로 바람의 세기가 컸고 그 영향으로 생육환경이 다소 안 좋았던 것으로 조사되었으며 바람의 세기가 클수록 버섯 길이는 줄어들어 약한 바람을 불어내는 소형 환풍기를 이용한 상시 가동을 선호하고 있는 것으로 나타났다.

동일한 대류팬이라도 작동방법이 재배 농가별로 상이하고 이에 대한 내부환경 균일도 자료가 미미한 것으로 나타나 향후 스마트 영농을 위해서는 대류팬 작동방법에 따른 공기 균일도와 최적화된 작동방법 제시가 필요한 것으로 판단되었다.

Fig. 5. The variation of temperature (a) and relative humidity (b) for 10 days from July 1 to 10 in the experimental facility adopting the reversible air-circulation fan and in the control facility using the existing air-circulation one.

2. 정역 제어 대류팬 설치 효과

7.1-10까지 10일 간 느타리버섯 균상재배사에서 상향과 하향 등 양방향으로 번갈아 공기를 토출하는 정역 제어 대류팬과 단일 방향인 상향으로만 공기를 토출하는 관행 방식 유동팬에 의한 재배사 내부환경 균일도를 조사한 결과, 전체 10일 간의 기온과 상대습도 편차는 시험구의 경우 평균 1.5°C, 7.8%이었으며 대조구의 경우에는 평균 3.2°C, 14.2%로 나타났다(Fig. 5). 정역 제어 대류팬에 의한 상향과 하향으로의 양방향 바람 토출이 공기교반에 상당한 영향을 미쳐 재배사 내 기온과 상대습도 편차가 확연히 감소한 것으로 판단된다. 버섯의 수확이 끝날 무렵이고 폐상 직전이며 냉방장치가 가동되지 않는 상황이긴 하나 시험구와 대조구 모두에서 재배단 최상단(1열의 #1과 #5, 2열의 #9와 #13)의 기온이 아랫단보다 낮고 상대습도는 높아 일반적인 온실에서의 자연대류 기온분포와는 상이한 것으로 나타났다. 또한, 재배단 높이 방향으로 선형적인 기온분포도 나타나지 않아 전반적으로 교반은 이루어지나 일부 공기 정체구역이 존재하고 다소 복잡한 공기유동

현상이 있음을 추정할 수 있었다. 정역 제어 대류팬을 적용한 시험구의 기온 차이는 큰느타리(새송이)버섯 재배사의 윗단과 아랫단의 기온 차이가 2.0-6.0°C까지 나타난다는 연구결과(Kim, 2008)보다는 작았으나, 느타리버섯 균상 재배사에 상향 토출 대류팬 4개를 적용한 경우 재배단 간 기온 차이가 0.3°C, 상대습도 차이가 2%를 보인다는 결과(Lee 등, 2015)보다는 컸다. Lee 등(2015)의 연구 결과는 정역 제어 대류팬(풍량 30m³·min⁻¹)보다 풍량이 더 큰 80m³·min⁻¹의 대류팬을 적용하여 공기교반이 더 잘 이루어졌기 때문인 것으로 판단되며 풍량 외에 외기온과 FCU 가동 조건 그리고 대류팬의 작동 시간과 방법이 상이해 상향 대류팬과 정역 제어 대류팬간의 공기 균일도를 직접 비교하기에는 무리가 있다고 판단된다.

10일 간의 조사 기간에서 20가지의 정역 제어 대류팬 작동 방법에 따른 기온과 상대습도의 최대 편차는 시험구의 경우 1.4-1.8°C, 7.8-8.7%로 조사되었으며, 대조구의 경우에는 3.2-3.7°C와 14.0-15.4%로 나타났다(Table 3과 Fig. 6). 내부환경 균일도 측면에서 20가지의 작동방법 중 10-15분

Table 3. The deviation of temperature and relative humidity according to the operational time for both the reversible air-circulation fan and the existing air-circulation one.

Date	Time (hh-hh)	Case No.	Max. deviation of temperature and R.H.			
			Reversible air-circulation fan		Existing air-circulation fan	
			Temp. (°C)	R.H. (%)	Temp. (°C)	R.H. (%)
July 1	08-20	#1	1.8	8.7	3.7	15.1
	20-08	#2	1.5	8.5	3.4	14.5
2	08-20	#3	1.4	7.8	3.2	14.5
	20-08	#4	1.7	8.3	3.3	14.0
3	08-20	#5	1.6	8.5	3.3	14.3
	20-08	#6	1.7	8.7	3.4	15.0
4	08-20	#7	1.8	8.2	3.4	15.1
	20-08	#8	1.8	8.4	3.5	15.2
5	08-20	#9	1.7	8.6	3.5	15.2
	20-08	#10	1.8	8.4	3.4	15.3
6	08-20	#11	1.7	8.2	3.3	15.1
	20-08	#12	1.7	8.1	3.4	15.4
7	08-20	#13	1.7	7.8	3.4	15.3
	20-08	#14	1.7	8.2	3.4	15.1
8	08-20	#15	1.6	8.2	3.4	15.3
	20-08	#16	1.7	8.4	3.6	15.2
9	08-20	#17	1.7	8.3	3.3	15.0
	20-08	#18	1.6	8.6	3.3	14.8
10	08-20	#19	1.7	8.3	3.3	14.9
	20-08	#20	1.6	8.6	3.4	14.6

간 상향으로 바람을 토출한 후 5-10분 간 멈추고 바람의 방향을 바꾸어 하향으로 10-15분 간 바람을 토출하는 경우 (Case #2와 #3)에서 가장 적은 기온 편차(1.4-1.5°C)를 보이는 것으로 나타났으나 모두 센서의 오차범위 수준에 있어 방법별 차이를 보인다고는 판단할 수 없었다. 본 연구에서의 내부환경 균일도는 FCU를 가동하지 않은 버섯 수확 말기인 폐상 무렵 재배환경에서의 조사 결과로 최적의 정역 제어 대류팬 작동방법을 제시하기에는 무리가 있다고 보이나 상황과 하

Fig. 6. The temperature difference according to the cases applied in the experimental facility during the 10 days' investigation period.

향 작동시간을 짧게 하는 것이 다소나마 내부환경 균일도 향상 측면에서 유리할 것으로 판단되었다. 향후 FCU가 가동되고 버섯 호흡에 의한 영향이 온전히 포함된 버섯 생육 기간 중 정역 제어 대류팬 작동방법에 따른 기온-상대습도의 편차와 그에 따른 버섯품질 조사가 필요할 것으로 판단된다.

10일 간의 조사 기간 중 대동소이하진 하나 기온 편차가 다소 컸던 7월 4일(일중 기온 최대편차 1.8°C) 대조구의 경우 맨 위 재배단인 최상단(4단)의 기온(1열 전면부 최상단 #1과 후면부 최상단 #5, 2열 전면부 최상단 #9와 후면부 최상단 #13)이 그 아래 재배단(1-3단)에서보다 확연히 낮음을 볼 수 있다(Fig. 7). 태양 복사에너지를 받는 비닐온실에서 자연대류 현상에 의한 기온분포와는 상반된 결과로 유동팬에 의한 상향 바람이 지붕면에 부딪힌 후 양 측면의 벽면을 따라 흘러내려 맨 위 재배단에 와류가 생겨 공기가 정체되는 반면 1-3단 재배단 영역은 벽면을 타고 흐르는 기류가 부압에 의해 유동팬으로 다시 유입되는 유동장으로 인해 공기가 교반되어지기 때문인 것으로 판단된다. 반면 시험구에서는 와류가 생길 수 없는 유동장 구조가 돼 최상단 일부(1열 전면부 최상단 #1과 2열 후면부 최상단 #13)에서만 그 아래 재배단에서 보다 낮은 기온을 보였고 그 차이 또한 대조구에서 보다 감소함을 볼 수 있

Fig. 7. The variation of temperature during a whole day on July 4 when the maximum difference of temperature during the 10 days' investigation period was shown.

Fig. 8. The measured temperatures according to sensors' location from the front and lateral viewpoint in the cultivation facility at 11 a.m. on July 4.

다. 이는 최상단 재배단 영역이 정역 제어 대류팬 위치보다 아래에 설치되어 와류에 의한 공기정체 영역이 없거나 대조구에서 보다 적어졌기 때문인 것으로 판단된다. 또한 재배사 내 기온분포 차이를 1열(#1-#8)과 2열(#9-#16)로 나누어 살펴보면 대조구의 경우 1-3단 영역 내 기온분포 차이가 1열에선 크고 2열에선 적어 재배사 내 기온의 비대칭성이 크게 존재함을 확인할 수 있다. 반면 시험구에서는 열간 비대칭성이 대조구에 비해 줄어들 수 있어 상향 이외에 하향으로 바람을 토출하는 정역 제어 대류팬이 내부 공기교반에 상당한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

조사기간 중 가장 큰 기온 편차를 보인 7월 4일의 오전 11시에서 시험구와 대조구의 기온을 정면도(재배사 폭 방향)와 측면도(길이 방향) 상에 표시하였다(Fig. 8). 폭 및 길이 방향 모두에서 정역 제어 대류팬을 적용한 경우(1열 최대 기온차: 1.6°C, 2열: 1.4°C, 전면부: 1.2°C, 후면부: 1.7°C)가 기존 유동팬을 이용한 경우(1열 최대 기온차: 3.1°C, 2열: 2.8°C, 전면부: 2.8°C, 후면부: 3.1°C)에서보다 기온 편차가 적음을 볼 수 있다. 특히 기존 유동팬을 적용한 대조구의 경우 최상단(#1, #5, #9, #13)의 기온이 그 아래 재배단에서보다 확연히 낮음을 다시 한번 확인할 수 있다. 기존 유동팬을 이용해 버섯을 재배하는 경우 최상단 재배단의 버섯품질이 다른 재배단에서와 상이할 것으로 나타나 향후 품질조사를 통해 기온 편차가 버섯 생육에 미치는 영향을 정확히 평가할 필요성이 있을 것으로 판단되었다.

적 요

느타리버섯은 재배사 내부환경에 크게 영향을 받으며 강제 공기순환팬에 의해 공기를 교반하여 내부환경의 균일도를 향상시키고 있다. 본 연구는 느타리버섯 일부 시범 농가에서의 대류팬 작동방법 등 이용 실태를 조사하고, FCU를 가동하지 않은 버섯의 수확이 끝날 무렵이고 폐상 직전인 7.1-10까지 10일 간 느타리 균상재배사에 상향과 하향 등 양방향으로 번갈아 바람을 토출하는 정역 제어 대류팬과 단일 방향인 상향으로만 바람을 토출하는 관행 방식의 유동팬을 설치하여 재배사 내부환경의 균일도를 평가하고자 수행하였다. 조사 농가의 대류팬 작동방법(작동시간과 멈춤시간의 조합 방법)은 대부분 5-15분 작동 후 5-30분 멈춤을 반복적으로 적용하고 있는 것으로 조사되었으며 냉방장치를 가동하지 않은 폐상 무렵의 느타리 균상재배사에 정역 제어 대류팬을 설치하여 내부환경 균일도를 평가한 결과, 최대 기온 편차는 1.4-1.8°C, 최대 상대습도 편차는 7.8-8.7%로 나타나 최대 기온 편차 3.2-3.7°C, 최대 상대습도 편차 14.0-15.4%를 보인 관행 방식의 유동팬에 비해 내부환경 균일도가 향상된 것으로 나타났다. 20가지의 정역 제어 대류팬 작동방법 중에서는 10-15분 간 상향으로 바람을 토출한 후 5-10분 간 멈추고 바람의 방향을 바꾸어 하향으로 10-15분 간 바람을 토출하는 경우가 가장 적은 기온 편차(1.4-1.5°C)를 보였으나 센서의 오차범위 수준에 있어 설정별 차이를 보인다고는 판단할 수 없었다. 향후 버섯의 호흡이 온전히 고려되고 냉방장치가 가동되는 실제 재배기간 중 정역 제어 대류팬이 공기 균일도와 느타리버

섯 품질에 미치는 영향을 평가할 필요가 있을 것으로 판단되었으며 재배사 내 공기교반 정도를 확인하기 위한 유동 가시화 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

추가 주제어 : 내부환경, 단일 방향 팬, 미기상, 바람, 환경조절

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기반기술 연구사업(과제번호: PJ01562901)에 의해 수행되었음.

Literature Cited

- Kim S.Y., M.K. Kim, C.H. Im, D.S. Kim, T.S. Kim, K.H. Kim, K.K. Park, S.D. Lee, and J.S. Ryu 2013, Optimal relative humidity for *Pleurotus eryngii* cultivation. J Mushroom Sci Prod 11:131-136. (in Korean) doi:10.14480/JM.2013.11.3.131
- Kim T.K. 2008, Analysis of environment factors in *pleurotus eryngii* cultivation house. M.S. thesis of the Gyeongsang National University.
- Korean Mushroom Growers Association (KMGA) 2005, Mushroom technique education(VI). (in Korean)
- Korean Mushroom Growers Association (KMGA) 2013, Mushroom growing manual. (in Korean)
- Lee C.J., S.H. Lee, E.J. Lee, H.S. Park, and W.S. Kong 2018, Analysis of growth environment for precision cultivation management of the oyster mushroom ‘Suhan’. J Mushrooms 16:155-161. (in Korean) doi:10.14480/JM.2018.16.3.155
- Lee S.H., B.K. Yu, C.J. Lee, and Y.T. Lim 2017, The study on enhanced micro climate of the oyster mushroom cultivation house with multi-layered shelves by using CFD analysis. J Mushrooms 15:14-20. (in Korean) doi:10.14480/JM.2017.15.1.14
- Lee S.H., B.K. Yu, H.J. Kim, N.K. Yun, and J.C. Jung 2015, Technology for improving the uniformity of the environment in the oyster mushroom cultivation house by using multi-layered shelves. Protected Hort Plant Fac 24:128-133. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2015.24.2.128
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) 2019, Main Statistics of Agriculture, Food and Rural Affairs. pp 9. (in Korean)
- MushWorld 2004, Mushroom Growers’ Handbook 1 (Oyster Mushroom Cultivation). (in Korean)
- Rural Development Administration (RDA) 2017, Rural Extension Service Report. pp 495-496. (in Korean)
- Rural Development Administration (RDA) 2018, Rural Extension Service Report. pp 437-438. (in Korean)
- Rural Development Administration (RDA) 2019, Rural Extension Service Report. pp 380-381. (in Korean)
- Ryu K.J., J.H. Son, C.W. Han, and K.D. Nah 2017, A study on the design of air conditioning system in the mushroom cultivation greenhouse. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 18:743-750. (in Korean) doi:10.5762/KAIS.2017.18.2.743