

영구형 큰느타리버섯 재배사의 환경요인 분석¹⁾

윤용철¹ · 서원명¹ · 이인복^{2*}

¹경상대학교 농업생명과학대학 지역환경기반공학과(농업생명과학연구원),

²서울대학교 농업생명과학대학 조경 · 지역시스템공학부

Analysis of Environment Factors in *Pleurotus eryngii* Cultivation House of Permanent Frame Type Structure

Yong Cheol Yoon¹, Won Myung Suh¹, and In Bok Lee^{2*}

¹Dept. of Agri. Eng., College of Agri. & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea
(Institute of Agriculture & Life Sciences)

²Dept. of Landscape & Rural Systems Eng., Seoul National University, Seoul 151-741, Korea

Abstract. *Pleurotus eryngii* is one of the most promising mushrooms produced on the domestic farms. The quality as well as quantity of *Eryngii* is sensitively affected by micro climate factors such as temperature, relative humidity, CO₂ concentration, and light intensity. To safely produce high-quality *Eryngii* all the year round, it is required that the environmental factors be carefully controlled by well designed structures equipped with various facilities and control systems. At the commercial mushroom cultivation houses of permanent frame type (A, B), this study was carried out to find out reasonable range of each environmental factor and yield together with economic and safe structures influencing on the optimal productivity of *Eryngii*. This experiment was conducted for about two-year from Nov. 2003 to Dec. 2005 in cultivation house. Ambient temperature during the experiment period was not predominantly different from that of a normal year. The capacity of the hot water boiler and the piping systems were not enough. Because the capacity of electric heater and air circulation were not enough, air temperatures in cultivation house before improvement of system were maintained somewhat lower than setting temperature, and maximum air temperature difference between the upper and lower growth stage during a heating time period was about 5.1. But the air temperatures after system improvement were maintained within the limits range of setting temperature without happening stagnant of air. Air temperature distribution was generally distributed uniform. Relative humidity in cultivation house before improvement was widely ranged about 44~100%. But as the relative humidity after improvement was ranged approximately 80~100%, it was maintained within the range of relative humidity recommended. And CO₂ concentration was maintained about 400~3,300mg·L⁻¹ range. The illuminance in cultivation house was widely distributed in accordance with position, and it was maintained lower than the recommended illuminance range 100~200lx. The acidity of medium was some lower range than the recommend acidity range of pH 5.5~6.5. The yield was relatively ununiform. In case of bottle capacity of 1,300cc, the mushroom of the lowest grade was less than 3%. The consumption electric energy was quite different according to the cultivation season. The electric energy consumed during heating season was much more than that of cooling season.

Key words : acidity, consumption electric energy, CO₂ concentration, illuminance, relativity humidity, temperature, yields

*Corresponding author

¹⁾본 연구는 농림부의 현장예료연구(102016-03-1-SB010)지원으로 수행되었음.

서 언

우리나라 버섯재배 농가, 재배면적 및 생산량은 2004년말 현재 각각 11,267농가, 1,327ha, 156,599톤

으로 그 생산액은 약 6,909억원이다. 이 금액은 농업 생산액의 약 2.1% 정도로서 화훼류나 특용작물과 비슷한 수준이다. 또한 버섯산업은 식문화의 고급화와 건강식품으로 알려지면서 생산량이 1991년부터 연평균

8%씩 증가하여 왔다. 특히 버섯류 중에서도 1990년대 말 인공재배에 성공한 큰느타리버섯(일명 새송이버섯)의 재배면적이 급속도로 증가하여 생산량이 2004년말 현재 2003년 대비 78% 정도 증가하였다. 버섯은 재배시 농약이 거의 필요하지 않은 고급농산물이면서 건강식품으로 이용되고 있고, 또한 기술, 노동 및 자본 집약적인 산업이기 때문에 온실재배 작물과 같이 고도의 재배기술을 요하는 것으로서 재배사의 환경관리와 경영계획의 유무가 경영성공에 큰 영향을 주기 때문에 관리기술 및 경영기법이 대단히 중요하다.

현재까지 큰느타리버섯에 관한 연구는 주로 버섯의 가능성, 균사배양이나 배지의 환경조절 분야(Kang 등, 2001; Gal, 2003; Kim 등, 1997) 및 재배사내의 환경조절분야(Suh 등, 2002a, 2002b; Suh 등, 2003; Yoon 등, 2003; Lee, 2003)에서 이루어져 왔지만, 경험이나 관행에 의존하여 개조 및 신축되는 상이한 구조를 갖고 있는 큰느타리버섯 재배사의 환경조절기술은 아직 체계화되어 있지 않기 때문에 많은 시행착오를 겪고 있다.

따라서 본 연구실에서는 큰느타리버섯 재배사 구조의 형상과 단열성, 환경조절 장치의 종류 및 조절방법, 공간활용의 최적화, 구조해석 등에 대하여 현장 조사 및 분석검토한 후, 그 결과를 발표한 적이 있다(Suh 등, 2002a, 2002b; Suh 등, 2003; Yoon 등, 2003; Suh와 Yoon, 2004; Yoon 등, 2004, Suh와 Yoon, 2005; Yoon 등, 2005). 본 연구에서는 큰느타리버섯 재배사의 환경조절을 최적화하고 시스템 설계에 대한 기초자료를 얻기 위하여 진주인근에 위치한 샌드위치 패널을 이용한 연구형 재배사 2동을 대상으로 2003년 11월부터 2005년 10월까지 재배사 내부에서 측정한 환경인자들을 중심으로 검토하고자 한다.

재료 및 방법

버섯 재배농가는 농가마다 재배 노하우를 가지고 있지만 현장조사 결과, 실제로 그 노하우를 재배농가들이 서로 공유하기란 거의 불가능한 것으로 판단되었다. 그리고 처음 재배를 시작하거나 경력이 짧은 재배농가에서는 환경조절을 위하여 설비를 교체하거나 환경조절방법 및 조절 시간의 변경, 종균 및 배지 공급처의 변경 등 다양한 시도를 하고 있었다. 실험대상 재배사

도 계측을 시작할 당시 버섯재배 경력이 약 2년 정도로 그다지 많지 않았고, 또한 본 연구자들이 약 1년 정도 계측 및 검토한 결과를 바탕으로 난방방법의 변경, 가습장치의 교환 및 흡기 덕트의 위치 변경 등 환경조절에 변화를 주었고, 배지병의 용량도 1,100cc에서 1,300cc로 바꾸면서 재배방법도 습기작업으로 배지병당 버섯 한 개를 재배하던 것에서 포기재배로 전향하였다. 따라서 본 연구에서는 환경조절방법 및 배지병 크기의 변경 시점을 기준으로 변경 전과 후의 연구결과를 변경 전후로 구분하여 비교 검토하였다.

재배사의 바닥은 콘크리트로 되어 있고, 작업의 효율성을 높이기 위하여 40×40cm(48×48cm; 1,300cc의 경우)플라스틱 상자에 배지병 16개를 담아 재배하고 있었다. 재배사의 한 동에 최대로 수용할 수 있는 배지는 약 12,000병 정도이지만, 실제로 재배할 때는 노동력을 감안하여 9,000(1,300cc의 경우)~10,000(1,100cc의 경우)병을 입상하였다. 재배실과 별도로 포장과 저장을 위한 작업실, 저온저장고도 갖춰져 있다.

환경조절의 경우, 변경 전 난방은 재배사 내부의 천정부위에 설치되어 있는 전기히터만으로 조절하였고, 변경 후에는 온수를 사용하였다. 변경 전 흡기팬과 흡기용 덕트는 재배사 측벽에 연하여 설치하였지만, 변경 후에는 재배사 중앙에 설치하였다. 이와 같이 변경한 것은 전기히터만으로 난방할 경우, 최하단의 온도가 설정온도에 비해 아주 낮게 유지되었고, 흡기용 덕트를 중앙에 설치할 경우 재배사내의 공기분포가 좀 더 균일할 것으로 판단했기 때문이다. 배출은 재배사의 측벽에 설치된 배출용 팬을 통해 실내공기를 빨아내는 방법으로 행하고 있었다. 변경 전 상대습도는 천정부에 설치한 초음파가습기를 이용하여 조절하였지만, 변경 후에는 가습을 하면서 실내공기를 어느 정도 유동시킬 수 있는 이동식 원심력 가습기를 중앙 통로 바닥에 설치하여 이용하였다. 광은 다른 재배사와 마찬가지로 배지병을 뒤집기 한 후, 수확할 때까지만 조사하였다.

이 재배사도 다른 재배사와 마찬가지로 전기전압의 불안정은 물론 환경조절 설비업체들의 영세성 때문에 전기누전에 대한 대비책이 전혀 되어 있지 않은 상태였다. 따라서 계측장치를 사용할 때, 누전에 대한 충분한 대비책이 없으면 측정이 불가능하였다. 본 연구에서는 누전에 대한 대책을 여러 가지 방법으로 강구하였음에도 불구하고 전기적 불안정은 상시 따르는 문제

로 남아 있었기 때문에 데이터 결손이 예측했던 것보다 많았다. 이러한 누전은 사람이 평소 감지할 수 있는 정도는 아니지만, 버섯 재배사의 내부는 항상 다습하기 때문에 전구의 교환, 장치의 수리 등을 전문가에 의뢰하지 않고 농가가 직접 다루는 것은 대단히 위험할 것으로 판단된다.

실험대상 재배사는 본교에서 약 6km 정도 떨어진 곳에 있는 샌드위치패널을 이용한 영구재배사이다. 샌드위치패널의 두께는 100mm이고, 발포폴리스틸렌(일명 스티로폼)이 내장되어 있다.

재배사의 규모는 2연동(총 4개동)이며, 2연동 전체의 폭, 길이, 동고 및 축고는 각각 14m, 40m, 4.5m 및 3m이다. 재배사의 길이방향으로 중앙부에 배지병을 입상 및 폐상할 때 작업공간으로 이용하고, 또한 환경조절의 완충지역으로 이용하기 위하여 폭이 약 4m인 복도가 있다. 이 복도를 중심으로 좌·우측 2개동씩 2연동으로 구성되어 있다. 각 동별 재배사의 폭 및 길이는 각각 7m 및 18m이다. 바닥면적은 약 126m²/동 정도이다. 재배상의 크기는 폭 1.5m, 각 단의 높이 0.6m이며, 폭 2.0m의 중앙 통로를 중심으로 좌·우측에 3단의 재배상이 설치되어 있다. 재배상의 길이는 16m이다.

Fig. 1은 실험재배사의 내·외부 전경을 나타낸 것이다. 일반적으로 배지병을 입상 또는 폐상할 때는 작업

의 효율을 높이기 위하여 재배사 내부의 중앙통로로 차량이 진입하는 경우가 많다. 그러나 이 재배사의 경우는 Fig. 1에서 보듯이 차량이 진입할 때, 발생할 수 있는 오염원을 차단하는 효과가 있는 배지병 운반용으로 제작된 장치를 이용하고 있었다.

환경조절 설비는 각동 공히 냉방기(4HP, 4,760kcal/h) 3대, 초음파가습기(6구) 3대(변경 전), 원심식 가습기 2대(변경 후, 80W), 흡기팬(0.4kW) 1개, 배기팬(0.13kW) 3개, 백열등(60W) 10개가 설치되어 있었다. 변경 전 난방은 천장에 설치된 unit cooler(냉방기)에 열선(4.2kW)을 3개×3대(냉방기)=9개 설치하여 실시하였고, 변경 후에는 중앙복도에 용량 1톤의 수조를 설치하여 전기히터(5kW×4개)로 가온한 온수를 재배상 최하단의 직하부와 바닥사이에 설치된 엑셀파이프(φ15mm, 8라인/동)로 난방을 하였다. 그리고 동절기와 하절기에만 사용하기 위하여 중앙복도에도 냉방기(4,760kcal/h) 2대와 열선(4.2kW) 2개×2대(냉방기)=4개를 설치하여 두었다.

재배사의 환경조절은 동별로 ON/OFF제어방식을 채택하고 있었으며, 다른 재배사와 마찬가지로 이 재배사도 온도는 온도센서(Pt-100Ω)로 자동제어방식을 채택하고 있었고, 가습기와 환기팬은 타이머로 조절하였다.

측정한 환경인자는 외기온, 재배사의 내부온도, 탄산가스 농도, 조도분포 및 배지의 산도(pH) 등을 조사하

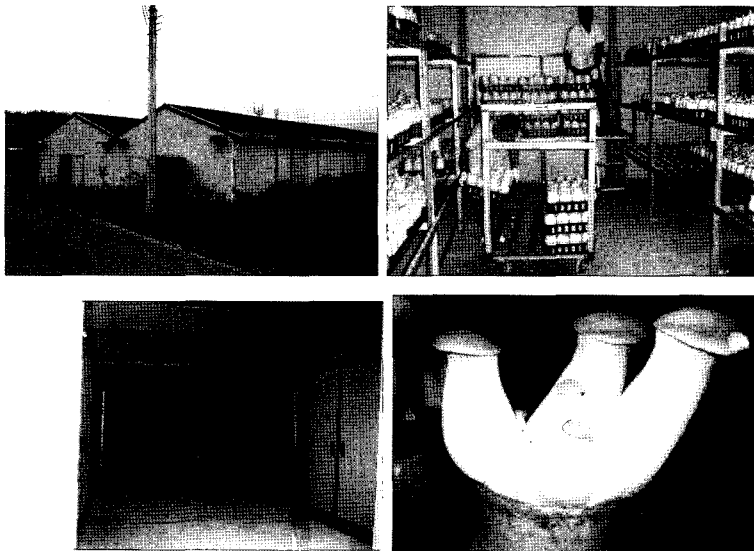


Fig. 1. View of *Pleurotus eryngii* cultivation house.

여 분석하였다. 환경인자 이외에도 전력소비량, 버섯의 생산량 등도 조사하였다.

외기온은 재배사 인근에 설치한 백영상에서 건·습구 온도를 측정하였으며, 재배사의 내부온도는 습구온도 1점을 포함하여 재배사의 높이별로 5지점의 온도를 측정하였다. 온도 및 탄산가스 농도는 온도센서(thermocouple; T-type)와 탄산가스 센서(VAISALA; SMW20)로 1분 간격으로 측정하였으며, 측정값은 Data logger(NEC, DE10-109) 및 컴퓨터를 이용하여 저장 및 분석하였다. 또 탄산가스 센서는 휴대용 센서(Testo; 353)를 사용하여 필요할 때마다 검증하였다. 배지의 산도도 휴대용 산도측정기(IQ science; 1504578)를 이용하였다. 그리고 재배사의 내부조도는 조도계측기(HIOKI-3421)를 이용하여 측정하였다. 또한 전압의 불안정을 다소 해소하고, 정전이 되었을 때 일시적으로 전기를 공급하여 주는 장치, 즉 자동전압조정기(AVR, 제일전기; SC-1022, 1KVA)를 사용하여 데이터를 계속하였다.

실험대상 재배사는 총 4개동 중에 복도를 중심으로 마주보고 있는 2동을 중심으로 실시하였다. Fig. 2는 실험재배사의 단면도를 나타낸 것이고, A, B로 표시되어 있는 점은 조도 측정지점이다. 그리고 이 재배사는

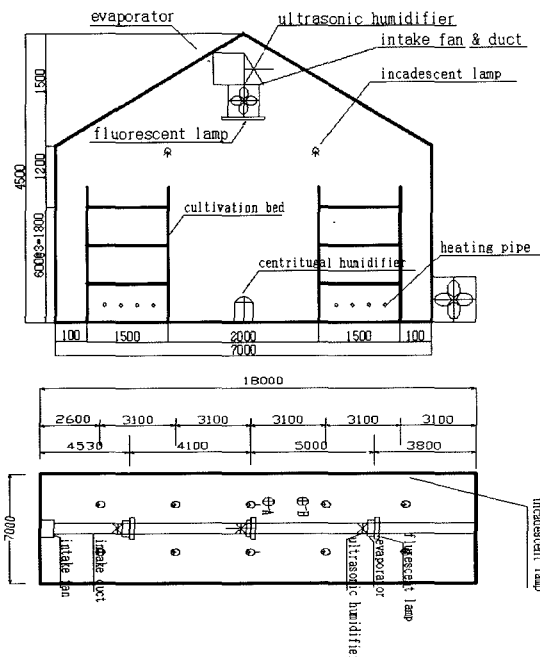


Fig. 2. Schematics of *Pleurotus eryngii* cultivation house (unit : mm).

본 연구자들이 이미 발표한 보온덮개형 반영구형 재배사(Yoon 등, 2003)와 비교하면 재배사의 규모나 환경 조절설비 등에 큰 차이가 없다.

결과 및 고찰

1. 외기온 및 재배사 내부온도

실험기간 동안 실험지역의 최고, 최저 및 평균 외기온은 각각 $-0.3\sim 36.5^{\circ}\text{C}$, $-15.0\sim 23.5^{\circ}\text{C}$ 및 $-8.8\sim 27.9^{\circ}\text{C}$ 정도의 범위에 있다. 그리고 동일 기간동안 실험 재배사에서 약 10km 정도 떨어져 있는 진주시상대에서 측정된 최고, 최저 및 평균 외기온이 각각 $-2.1\sim 36.7^{\circ}\text{C}$, $-13.3\sim 24.9^{\circ}\text{C}$ 및 $-7.4\sim 29.1^{\circ}\text{C}$ 인 것과 비교하면, 대체적으로 비슷한 경향을 보이고 있었다.

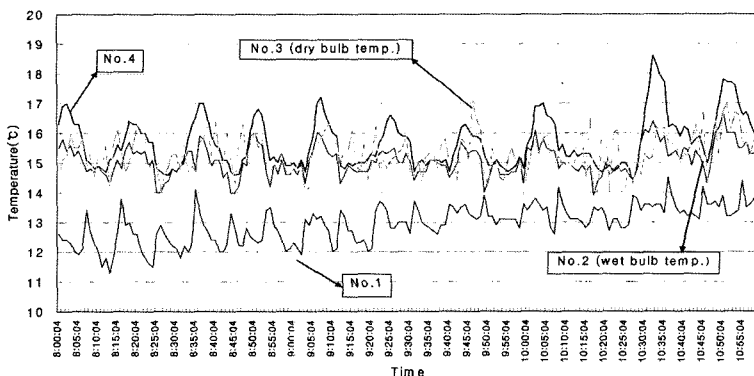
실험대상 재배사는 2동(A, B-동)이지만, 2동의 규모, 환경조절방법, 장치들의 용량 등이 동일하기 때문에 이하에서는 A-동을 중심으로 검토하기로 하였다.

전체 재배기간 동안 재배사 내부의 최고, 최저 및 평균온도는 변경 전과 후에 각각 약 $14.0\sim 20.3^{\circ}\text{C}$, $10.0\sim 18.6^{\circ}\text{C}$ 및 $12.5\sim 18.8^{\circ}\text{C}$ 와 $12.6\sim 22.6^{\circ}\text{C}$, $8.8\sim 17.5^{\circ}\text{C}$ 및 $11.3\sim 18.7^{\circ}\text{C}$ 정도로 온도편차가 각각 약 6.3°C , 8.6°C 및 6.3°C 와 10.0°C , 8.7°C 및 7.4°C 로서 변경 전·후 관계없이 비교적 큰 것을 알 수 있었다. 물론 설정온도에 관계없이 전체 재배기간 동안을 비교하였기 때문에 동일 재배주기별로 비교하는 것과는 다소 차이가 있지만, 연중재배하고 있는 점을 고려하면 연중 균일한 상품을 생산하기는 어려울 것으로 판단되었다. 그러나 반영구형 재배사의 온도편차가 약 $9.0\sim 10.5^{\circ}\text{C}$ 정도였던 것과 비교하면, 다소 양호한 것으로 나타났다.

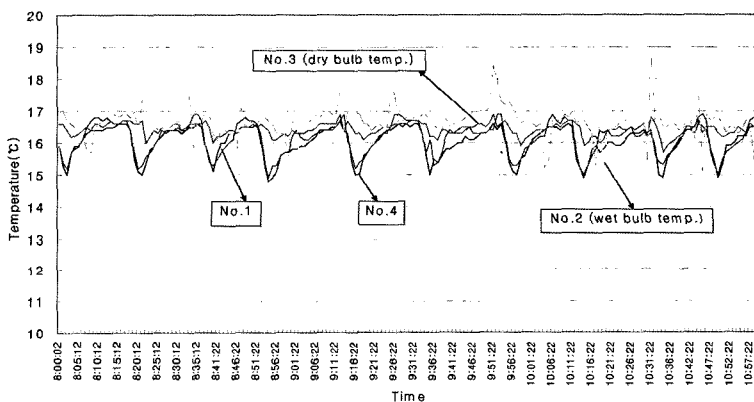
Fig. 3은 시스템 변경 전 전체 실험기간 중(각 동 총 28회/2년) 전기적인 문제로 데이터 결손이 비교적 적고, 외기온이 상대적으로 낮거나 높은 3회 재배(난방) 및 7회 재배(냉방) 때의 3시간 단위의 온도변화를 나타낸 것이다. Fig. 3의 (a), (b)는 각각 입상 18일 및 13일째이고, 설정온도는 각각 17.0°C 및 16.0°C 이다. Fig. 3에서 각 측정점은 센서의 위치를 나타내는 것으로서 No. 1은 재배상 최하단의 직하부이고, No. 4는 최상단 재배상의 직상부이다. No. 2와 No. 3은 재배상 2단에 설치된 건습구온도를 나타낸 것이다.

Fig. 4는 시스템 변경 후의 온도변화를 Fig. 3과 동일한 방법으로 나타낸 것이다. Fig. 4의 (a)와 (b)는

영구형 큰느타리버섯 재배사의 환경요인 분석



(a) 3rd cycle(2004. 1. 21~2004. 2. 10; Heating)



(b) 7th cycle(2004. 6. 6~2004. 6. 23; Cooling)

Fig. 3. Variations of temperature in *Pleurotus eryngii* cultivation house(3-hour) before system improvement.

각각 입상 4일 및 12일째이고, 설정온도는 각각 15.5°C 및 16.0°C이다.

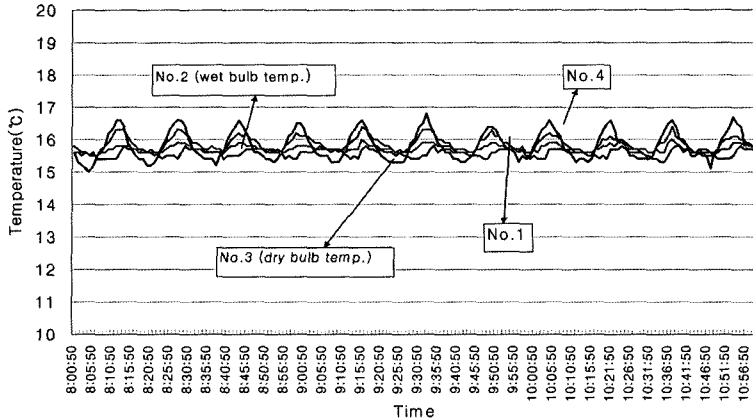
Fig. 3, 4에서 보듯이 전체적으로 온도가 큰 진폭으로 흔들리고 있는 것은 가습, 환기, 난방 및 냉방이 연속적으로 이루어지고 있고, 또 누전에 의한 전기적 노이즈 때문인 것으로 판단된다. 특히 습구센서는 냉·난방기가 작동할 때, 일시적으로 전압상승과 함께 노이즈에 노출되기 때문에 상대적으로 다른 온도보다 그 진폭이 크게 된다.

Fig. 3의 (a)를 보면, 상층(No. 4)과 하층(No. 1)간의 온도층이 분명히 나타나고 있음을 알 수 있고, 전체적으로 설정온도(17.0°C)보다 낮게 유지됨을 알 수 있다. 또 최상부와 최하부의 최대 온도편차도 약 5.1°C 정도로 상층이 가장 높게 나타났다. 이것은 전체적으로 난방용량이 부족하고, 재배사내부의 공기유동이 원활하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 본 재배사를 포함하여 다른 두 지역(Yoon 등, 2003, Suh, 2005)의 반

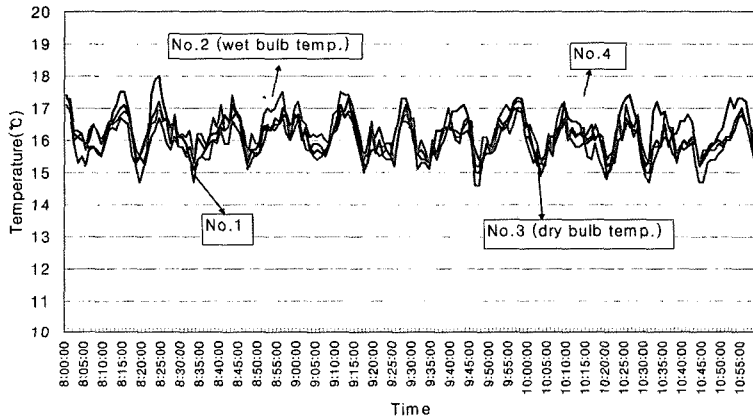
영구형 재배사를 기준으로 볼 때, 3지역 모두 정도의 차이는 있었지만, 이와 유사한 경향을 보였다. 이 때문에 재배상간 버섯의 생육이 고르지 못하기 때문에 재배기간 동안 상하층간 배지병을 인위적으로 이동시켜야 하는 불편을 감수하고 있었다. 따라서 이러한 문제점을 해소하기 위해서는 난방기 용량의 개선, 온수순환 파이프의 배관위치 선정, 흡·배기 덕트의 위치, 공기유동 팬의 설치 등을 적극적으로 검토하여야 할 것으로 판단된다. 단, 버섯의 특성인 포자와 수분증발에 의해 배지의 건조 등을 고려하여야 할 것이다.

Fig. 4의 (a)를 보면, 전체적으로 설정온도 범위에서 조절되는 경향을 보이고 있고, 변경 전에 전기히터로 난방할 때 보다 온도층은 현저히 개선된 것으로 나타났다. 이것은 원심식 가습기에 의한 공기유동에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 3, 4의 (b)는 냉방에 의해 온도가 조절되는 경우로서 설정온도보다 약간 높게 유지되는 경향은



(a) 16th cycle(2004. 12. 26~2005. 1. 15; Heating)



(b) 26th cycle(2005. 8. 13~2005. 8. 25; Cooling)

Fig. 4. Variations of temperature in *Pleurotus eryngii* cultivation house(3-hour) after system improvement.

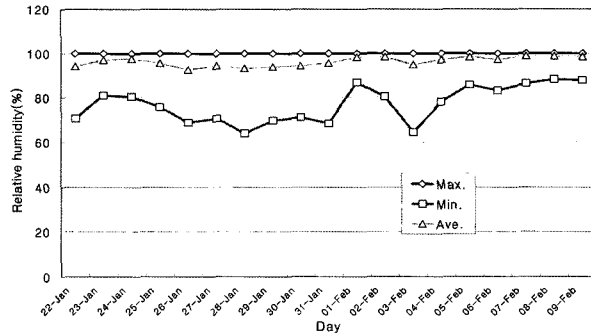
있지만, 냉방기 용량에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 그리고 동절기와 같이 층간 온도편차도 크지 않았다.

재배사의 냉·난방, 용량은 환기와 밀접한 관계가 있고, 또한 재배사의 구조와도 관계가 있기 때문에 좀 더 면밀한 검토가 있어야 하지만, 이상의 결과와 다른 두 지역 재배사에서 검토할 결과로 미루어 재배사의 바닥면적이 130m²인 경우, 난방기와 냉방기의 정격용량은 각각 20,000kcal/h 및 15,000kcal/h 정도인 것으로 판단할 수 있다.

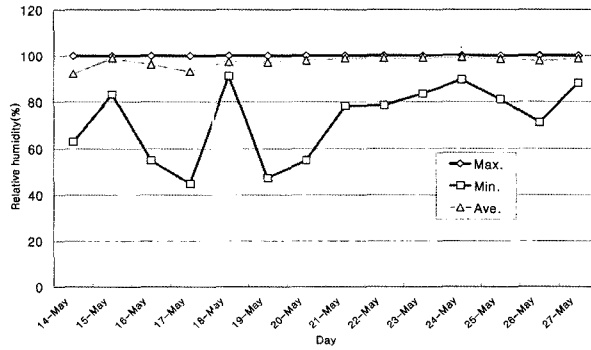
그리고 그림으로 나타내지는 않았지만, 전체 실험기간 동안 재배사 내부의 대표온도로 생각할 수 있는 측정점(No. 3; 제2단의 최고 및 최저온도가 평균온도에 비해 각각 0.5~3.5°C 낮게, 또는 0.7~3.9°C 정도 높게 유지되었다. 또한 재배기간별로 최고, 최저 및 평균

온도도 일정하지 않고, 일정한 변화의 경향도 파악할 수 없었다. 이것은 재배자가 일정하게 온도를 관리하는 것이 아니라 수시로 설정온도, 환기 타임을 변경시키기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 온도편차만이라도 다소나마 줄이기 위해서는 갑작스런 외기온의 변화에 적극적으로 대처하는 방법을 강구하여야 할 것 같다. 예를 들면, 동절기에 외기온이 급격히 내려가는 경우에는 환기팬의 작동을 가능한 범위에서 최대한 줄이고, 또한 이와 정반대인 경우에는 냉방기를 작동시키게 되면 어느 정도 해소할 수 있을 것으로 판단된다. 이르기 위해서는 재배자의 감각이나 경험에 의존하여 냉·난방 장치에 전원을 넣은 방법은 개선되어야 할 것으로 판단된다. 특히 계절이 바뀌는 시점에 계절변화에 따른 냉·난방기의 작동여부가 중요하므로 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

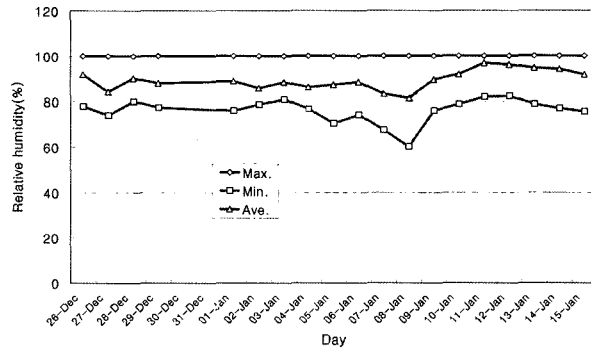
영구형 큰느타리버섯 재배사의 환경요인 분석



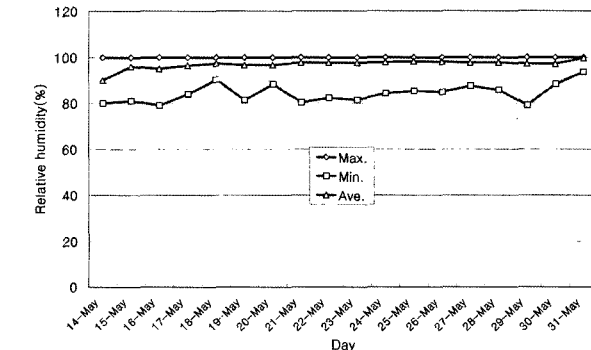
(a) 3rd cycle(2004. 1. 21~2004. 2. 10; Heating)



(b) 6th cycle(2004. 5. 11~2004. 5. 30; Cooling/Heating)



(c) 16th cycle(2004. 12. 26~2005. 1. 15; Heating)



(d) 22nd cycle(2005. 5. 14~2005. 5. 31; Cooling/Heating)

Fig. 5. Variations of relative humidity *Pleurotus eryngii* cultivation house

2. 상대습도 및 탄산가스 농도

일반적으로 재배사내 상대습도는 연구자에 따라 제시하는 적정 상대습도가 차이를 보이고 있다. 지금까지 조사된 자료를 종합적으로 검토해보면, 발이기(입상 후 10일 전후)에 90~95%, 생육기에 80~85% 정도로서 생육기가 발이기보다 약간 낮게 관리하는 것으로 알려져 있다.

Fig. 5는 예시한 재배기간 동안 재배사 내부의 상대습도의 변화를 나타낸 것이다. 시스템 변경 전의 경우, 즉 Fig. 5의 (a), (b)를 보면, 전체 재배기간 동안 상대습도는 약 44~100%정도의 범위로서 변화의 폭이 아주 큰 것으로 나타났다. 최소상대습도는 각각 64~88% 및 44~90% 이고 평균상대습도는 각각 93~99% 및 98~100% 정도의 범위로서 최저 상대습도가 권장 습도보다 낮게 유지되는 경향이 있는 것을 알 수 있다. 그러나 변경 후의 경우, 즉 Fig. 5의 (c), (d)를 보면 동절기에 최소상대습도가 60~80%전후로 약간 건조한 경향이 있지만, 이 경우를 제외하면 대체적으로 권장 상대습도 범위에 있음을 알 수 있었다.

그리고 최소 상대습도가 큰 폭으로 변화하는 Fig. 5의 (b)를 제외하면 다른 두 지역의 반영구형 재배사에 비해서는 상대적으로 안정적인 경향을 보이고 있다. 이와 같은 경향은 영구재배사는 반영구형 재배사에 비해 상대적으로 틈새환기가 작기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 최근 연구결과에 의하면, 상대습도를 가능한 높게 유지하는 것이 버섯의 발이 및 생육에 유리한 것으로 나타났다. 특히, 재배기간 동안 입상 초기 7일 정도는 90%이상 유지하고, 이후 5일은 85%정도, 그 이후에는 유통을 고려하여 80%정도 유지하는 것이 수확량, 품질 등에서 유리한 것으로 보고하였다(Suh, 2005).

Fig. 6은 탄산가스 농도변화를 나타낸 것으로서 1분 간격으로 측정한 결과를 1일 간격으로 일 최대, 최소 및 평균값으로 표시하였다. 일반적으로 탄산가스 농도는 발이기에 $1,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하, 생육기에는 $800\sim 2,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하가 적당하며, $2,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상이 되면 버섯의 갯이 작게 되고, $4,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상이 되면 생육장해가 일어나는 것으로 알려져 있다. 그리고 최근 연구결과에 의하면, 배지병당 자실체를 한 개씩 재배하거나 포기재배에 관계없이 탄산가스 농도를 각각 1,600, 2,400 및 $3,200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 설정할 경우, 발이, 수확량

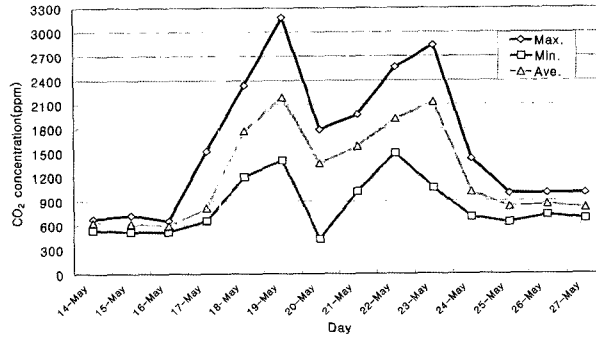
및 품질은 $2,400\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한, $3,200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서 가장 열등한 것으로 나타났다. 물론 입상초기에는 $800\sim 1,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 정도였다(Suh, 2005).

시스템을 변경하기 전, 즉 Fig. 6의 (a), (b)을 보면, 일반적으로 발이초기에는 $1,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하로 거의 일정하게 유지하고, 그 이후는 상대적으로 높게(발이후기, $1,000\sim 3,200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)-낮게(생육초기, $400\sim 1,800\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)-높게(생육기, $900\sim 2,800\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)-낮게(생육후기, $600\sim 1,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 유지하였다. 이 재배사의 경우, 입상 후 8일째 탄산가스 농도를 $1,000\sim 3,200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 높게 유지하는 것은 버섯의 발이과정 중에서 개체수를 조절하기 위해서이고, 그 후 다시 $900\sim 2,800\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 높게 유지하는 것은 버섯의 형태를 조절하기 위함이다. 개체수를 조절하기 위해 탄산가스 농도를 높게 유지해야 한다는 자료는 가끔 볼 수 있지만, 어느 정도의 농도로 유지해야 하는지는 전혀 알려져 있지 않은 실정이다. 또 이 재배사의 경우도 높게 관리하였지만, 버섯의 생육장해가 일어날 수 있다고 보고한 $4,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상으로는 관리하지 않았다. 이러한 의미에서 본다면, 이 자료는 개체수를 조절하기 위한 CO_2 농도의 개략적인 관리수준의 참고자료로 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 개체수를 조절할 때 CO_2 뿐만 아니라 습도, 조도도 영향을 미치는 것으로 알려져 있지만, 여기에 대한 자료는 앞으로도 지속적으로 연구하여야 할 대상이다. 특히 개체수 조절에 대한 자료는 재배자들의 경험에 근거한 자료이기 때문에 이에 대한 검증도 앞으로 반드시 병행되어야 할 것으로 판단된다.

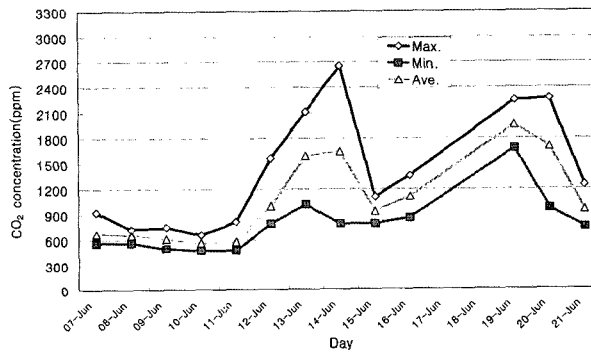
그리고 시스템 변경 후, 즉 Fig. 6의 (c), (d)의 경우를 보면, 발이기초 및 생육후기에 $1,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하로 유지하는 것은 시스템 변경 전과 대체로 유사하지만, 그 이외의 기간에는 $1,000\sim 3,300\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 정도의 범위로 일정한 경향이 없음을 알 수 있다. 이 재배사의 경우, 특히 다른 지역에 비해 생육기에 CO_2 농도를 높게 유지하는 것은 상품성을 고려하여 갯의 크기를 가능한 작게 만들기 위한 것으로 판단된다.

그러나 이 재배사의 경우는 다른 두 지역의 재배사, 즉 $600\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서 $1,800\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 정도까지 재배기간의 경과와 함께 서서히 증가시키는 농가 또는 발이기에 외기정도인 $350\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 정도로 유지하고 생육기에

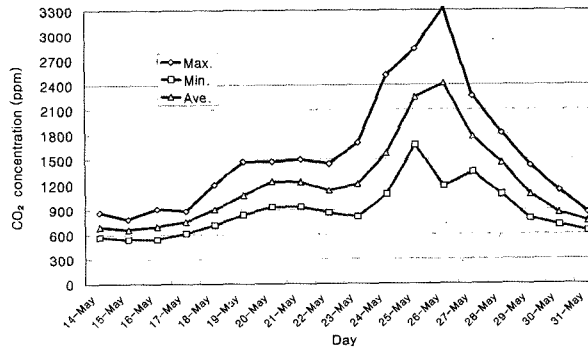
영구형 큰느타리버섯 재배사의 환경요인 분석



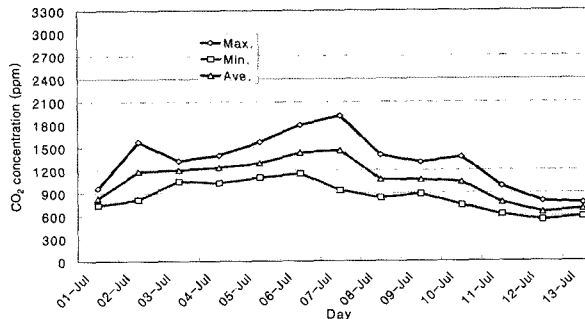
(a) 6th cycle(2004. 5. 11 ~ 2004. 5. 30; Cooling/Heating)



(b) 7th cycle(2004. 6. 6 ~ 2004. 6. 23; Cooling)



(c) 22nd cycle(2005. 5. 14 ~ 2005. 5. 31; Cooling/Heating)



(d) 26th cycle(2005. 8. 13 ~ 2005. 8. 25; Cooling)

Fig. 6. Variations of CO₂ concentration in *Pleurotus eryngii* cultivation house

는 400~900mg·L⁻¹ 정도로 관리하는 농가와는 완전히 다른 것을 알 수 있었다. 이것은 연구자들이 제시한 권장 상대습도 및 탄산가스 농도가 제각기 다르듯이 재배농가도 경험적으로 관리하고 있기 때문에 재배농가마다 다르다는 것을 보여 주는 일례이다.

이상에서 기술한 온도, 상대습도, CO₂ 농도 등의 환경인자 관리수준의 경우, 연구자들이 제시한 자료가 각기 다를 뿐만 아니라 재배농가나 재배기간별로도 관리수준이 천차만별이다. 여기에 배지조성의 성분, 살균 방법, 종균, 배지의 산도 및 습도, 재배사의 구조 및 형태, 재배지역 등 환경 인자를 지배하는 요인이 너무나 다양하기 때문에 체계적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3. 조도 및 배지의 산도

이 재배사의 경우, 재배상 최상단의 중앙 직상부 즉, 바닥에서 3.3m 높이에 중앙통로를 중심으로 각각 5개씩 총 10개의 백열등이 설치되어 있다. 측정결과 조도는 위치에 따라 최소 3lx부터 최대 65lx까지 분포가 다양하고, 권장조도 100~200lx 보다는 상당히 낮게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 다른 두 지역보다 백열전등의 개수가 약간 많음에도 불구하고 두지역의 조도, 즉 7~160lx와 31~69lx 보다는 더 낮게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 이것은 버섯의 경우, 조도는 주로 갖의 색깔에 기여하기 때문에 재배자들이 다소 경시하는 경향 때문이다.

큰느타리버섯의 경우, 배지의 pH는 6.0~6.5 정도가 적당하고 pH 4.0 이하와 8.0 이상에서는 자실체의 원기가 형성되기 어려운 것으로 알려져 있다. 또한 한 연구자는 톱밥재배의 경우, pH가 5.5~6.0 정도라고 하였다. 그리고 팽이버섯이나 버들송이의 경우, 배양이 진행되면서 pH가 증가하고, 표고버섯은 감소하는 경향이 있는 것과는 달리 큰느타리버섯은 거의 변화가 없는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2003). 본 연구에서는 배지 입상 직후부터 폐상 할 때까지 pH의 변화를 측정하였으며, Fig. 7은 그 결과의 일례를 나타낸 것으로서 5회 반복 측정된 값을 평균한 것이다. 그림 내에 표시된 숫자는 재배주기를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 배지의 산도는 5.0~6.0 사이로 재배기간 동안 큰 변화가 없었고, 단지 권장 pH 5.5~6.5 보다는 약간 낮은 경향이 있었다.

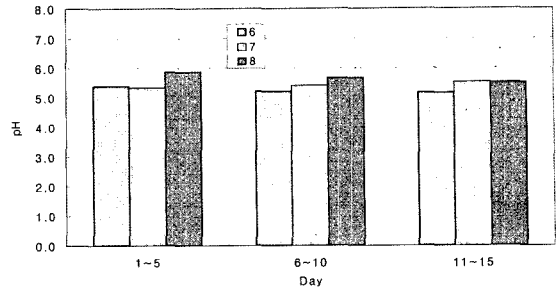


Fig. 7. Variations of pH in *Pleurotus eryngii* medium.

4. 수확량

수확량은 실험대상 재배사 두 동(A, B-동)을 중심으로 생산량이 명확하지 않은 재배주기 10~13주기를 제외하고 전체 24(12회/년·동)회 재배기간 동안 버섯의 총 생산량으로 검토하였다. 총 수확량은 재배방법, 즉 숙유 작업으로 배지병당 버섯 한 개씩을 재배한 경우(배지병 1,100cc; 변경 전)와 포기재배한 경우(배지병 1,300cc; 변경 후)에 관계없이 두 동에서 각각 43,460 kg 및 41,239kg으로서 두 재배동간 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 물론 자실체 한 개씩을 재배할 경우(입상 10,000병/회), 버섯의 품질은 주로 무게를 기준으로 특상, 상, 중 및 등외품으로 분류하고, 포기재배의 경우(입상 9,000병/회)는 포기당 500g과 350g으로 분류하지만, 버섯의 수확량과 품질은 재배기간, 재배동 및 재배방법에 따라 상당한 차이가 있었다.

그리고 재배방법에 따른 등외품이 차지하는 비율을 보면, 한 개씩 재배할 때 등외품이 두 재배동별로 각각 27~39% 및 23~50%정도이고 평균적으로 30%내 외로서 상대적으로 등외품이 차지하는 비율이 높게 나타났다. 물론 등외품이 50%를 보인 재배주기는 생산량도 재배주기별 평균치의 약 63%정도 밖에 되지 않고, 또 재배주기 동안 정전으로 인하여 10일정도 실측 자료가 없는 점, 외기온이 높은 시기였던 점 등을 고려하여 이 재배주기를 제외하면, 이 재배동의 등외품도 23~36% 정도의 범위에 있어 두 재배 동 간에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 가능한 한 등외품을 줄이는 것이 고품질 버섯생산으로 가는 길이기 때문에 이 부분에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

포기재배의 경우는 재배동에 관계없이 등외품이 3% 이내였다. 포기재배의 경우는 숙유작업이 거의 없기 때

영구형 큰느타리버섯 재배사의 환경요인 분석

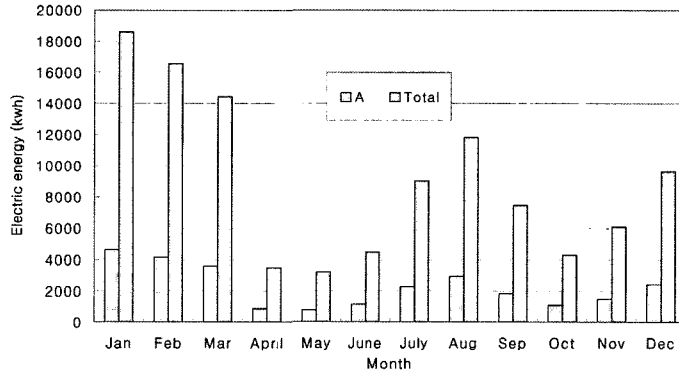
문에 등외품의 비율이 낮은 것으로 판단된다. 그러나 재배동별로 포기당 500g으로 생산된 비율이 각각 23% 및 58%로 두 재배동 간에도 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 환경조절 이 외에 모든 조건이 유사한 점으로 미루어 볼 때, 앞에서 기술한 것과 같이 전체 재배기간 동안 재배사의 내부온도, 상대습도 및 탄산가스 농도 등의 환경조건이 다르기 때문인 것으로 판단된다.

그리고 재배방법에 의한 생산량의 차이는 배지의 크기가 다르기 때문에 직접 비교하는 것은 무리가 있다. 그러나 동일한 재배공간과 주기별 비슷한 재배기간을 갖고 있는 점을 고려해서 비교해 보면, 1,100 cc에 재배한 경우 두 재배동에서 재배주기별 평균 각각 1,280kg 및 1,170kg 정도였다. 1,300cc에 재배한 경우 재배주기별 평균 각각 1,780kg 및 2,080kg 정도로서 포기재배한 경우가 각각 28% 및 44%정도 증수 효과가 있는 것으로 나타났다.

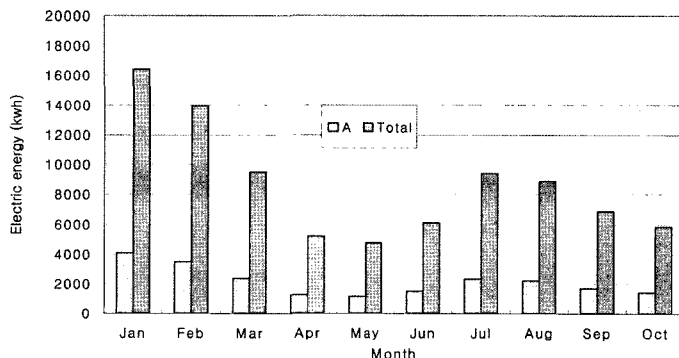
따라서 포기재배를 할 경우, 노동력 절감, 등외품

감소 및 생산량 증가라는 측면에서 보면 유리한 것으로 판단할 수 있다. 물론 배지병의 구입가격도 고려해야 하겠지만, 현재로서는 배지병의 구입가격은 배지병 크기에 큰 영향을 받지 않은 것으로 조사되었다. 또한 재배동별로 각각 배지병당 생산량을 보면, 1,100cc에 재배한 경우는 각각 약 117~168g 및 102~175g 정도로 나타났다. 이것은 다른 두 지역의 평균 67~85g 및 54~102g과는 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 생산량 그리고 1,300cc의 배지병으로 재배한 재배기간 동안 재배동별 생산량은 각각 207~288g 및 215~270g 정도의 범위로 재배주기별로 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

생산량을 지배하는 환경인자는 온도, 습도, 탄산가스 농도, 조도, 배지의 조성, 종균 등 다양하지만 동일한 배지조건이고 적당한 온·습도에서 버섯이 많이 되었다면, 생산량에 직접적인 영향을 미치는 것은 온도조절인 것으로 판단할 수 있다. 최근 연구결과에 의하면, 적정온도는 15°C이고, 변온할 경우는 17~15°C로 3단



(a) 2004 year



(b) 2005 year

Fig. 8. Consumption electric energy of *Pleurotus eryngii* cultivation house.

계 조절이 15°C로 일정하게 유지하는 것 보다 버섯의 품질이나 수확량이 우수한 것으로 나타났다(Suh, 2005).

5. 소비전력량

Fig. 8은 재배사의 월별 소비전력을 실험 재배사에서 약 2년 동안 측정한 결과이다. 전체 소비전력에는 작업장 및 저온저장고 등의 소비전력도 포함되어 있다. 소비전력은 재배시기에 따라 차이가 있음을 알 수 있지만, 년도에 관계없이 전력사용량의 경향은 비슷한 것을 알 수 있다. 일반적으로 4~6 및 10월의 소비전력이 비교적 적은 것은 냉·난방기의 사용이 비교적 적었기 때문이다. 그리고 하절기보다 동절기에 전력소비량이 많은 것을 알 수 있다. 전체 소비전력은 연도별로 각각 약 109,100kWh 및 87,030kWh 정도이다. 물론 2005년도의 11~12월 데이터가 포함되지 않았지만, 이때의 소비전력을 2004년도와 동일하다고 보면, 2005년도의 총 소비전력량은 102,740kWh 정도로서 2004년도에 비해 약 6,000kWh 정도 감소하는 것이다. 물론 외기온과 재배사 내부의 설정온도에 따라 소비전력은 달라지겠지만, 재배자가 연중 계절별로 설정하는 온도가 비슷하고, 외기온 또한 급격한 변화가 없을 것으로 판단되기 때문에 소비전력 감소의 원인은 난방방법의 변경에 기인한 것으로 판단할 수 있다.

적 요

본 연구에서는 큰느타리버섯 재배사의 환경조절을 최적화하고 시스템 설계에 대한 기초자료를 얻기 위하여 진주인근에 위치한 샌드위치패널을 이용한 영구형 재배사 2동을 대상으로 2003년 11월부터 2005년 10월까지 재배사 내부에서 측정한 환경인자들을 중심으로 검토하였다. 실험지역의 외기온은 평년의 것과 대체로 비슷한 경향을 보였다. 시스템 변경전의 경우, 동절기에는 전체적으로 설정온도보다 낮게 유지되었고, 또 최상부와 최하부의 최대온도 편차도 5.1°C 정도로 상층이 가장 높게 나타났다. 그러나 시스템의 변경 후의 경우, 난방시 대체로 설정온도 범위에서 조절되는 경향을 보였고, 공기정체나 온도층의 역전현상이 나타나지 않았다. 상대습도는 시스템 변경 후, 80~100% 정도의 범위로서 권장상대습도 범위에 있었다. 전체 재배기간 동안 탄산가스 농도는 400~3,300mg·L⁻¹ 정도의 범위

에 있었다. 조도는 권장조도보다 전반적으로 낮게 유지되고 있음을 알 수 있었고, 산도는 대체로 일정하게 유지되었다. 수확량은 전체적으로 일정하지 않았고, 포기재배의 경우가 상대적으로 등외품이 적었으며, 증수 효과도 있었다. 전력소비량은 계절별로 일정한 경향이 있음을 알 수 있었고, 하절기보다 동절기에 전력소비량이 현저히 많은 것을 확인 할 수 있었다.

주제어 : 상대습도, 온도, 전력소비량, 조도, 탄산가스 농도, pH 수확량

인 용 문 헌

- Gal, S.W. 2003. Cultivation technology and functionality of *Pleurotus eryngii* (seminar). Mushroom Institute of Jinju National University and Mushroom Association of Gyeongnam. p. 63-80 (in Korean).
- Kang, M.S., T.S. Kang, A.S. Kang, H.R. Shon, and J. M. Sung. 2000. Studies on mycelial growth and artificial cultivation of *Pleurotus eryngii*, Korean Journal of Mycology 28(2):73-80 (in Korean).
- Kang, T.S., M.S. Kang, J.M. Sung, A.S. Kang, H.R. Shon, and S.Y. Lee. 2001. Effect of *Pleurotus eryngii* on the blood glucose and cholesterol in diabetic Rats. Korean Journal of Mycology 29(2):86-90 (in Korean).
- Kim, H.K., J.C. Cheong, H.Y. Chang, G.P. Kim, D.Y. Cha, and B.J. Moon. 1997. The artificial cultivation of *Pleurotus eryngii* (I) - Investigation of mycelial growth conditions-. Korean Journal of Mycology 25(4):305-310 (in Korean).
- Lee, H.W. 2003. Cultivation technology and functionality of *Pleurotus eryngii* (seminar). Mushroom Institute of Jinju National University and Mushroom Association of Gyeongnam. p. 43-63 (in Korean).
- Suh, W.M., Y.C. Yoon, and Y.W. Kim. 2002. Status of *Oyster* mushroom houses in Jinju province. J. Bio-Env. Con. 11(1):7-12 (in Korean).
- Suh, W.M., Y.C. Yoon, and Y.W. Kim. 2002. Technical development of environment control complex of micro-climatic factors for *Oyster* mushroom cultivated in protected environment. Proceedings of the 2002 Annual Con. the Korean Society of Agricultural Engineering. p. 121-124 (in Korean).
- Suh, W.M., Y.C. Yoon, S.W. Park, and J.K. Kwo. 2003. Instrumentation and control of environment factors in *eryngii* growing house. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment. Con. 2003 Spring Conference 12(1):161-165 (in Korean).
- Suh, W.M. and Y.C. Yoon. 2004. An analysis on thermal insulation effect of farm structures coated with

영구형 큰느타리버섯 재배사의 환경요인 분석

- surface treatment. J. of KSAE. 46(4):39-46 (in Korean).
10. Suh, W.M. and Y.C. Yoon. 2005. Analysis of structural design data for growing *Pleurotus eryngii*, J. of KSAE. the paper under contribution (in Korean).
 11. Suh, W.M. 2005. Structural modification and productivity optimization in *Pleurotus eryngii* cultivation facilities equipped with complex environment control system. Research Paper of ARPC. p. 154-196 (in Korean).
 12. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and H.W. Lee. 2003. Analysis of environment factors in *Pleurotus eryngii* cultivation house. J. Bio-Env. Con. 12(4):200-206 (in Korean).
 13. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and C. Yu. 2004. Analysis of actual state of facilities for *Pleurotus eryngii* cultivation. J. Bio-Env. Con. 13(4):217-225 (in Korean).
 14. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and I.B. Lee. 2005. Analysis of environmental design data for growing *Pleurotus eryngii* cultivation. J. Bio-Env. Con. 14(2):95-105 (in Korean).