

큰느타리버섯 재배사의 환경설계용 자료 분석¹⁾

윤용철 · 서원명 · 이인복^{1*}

경상대학교 농업생명과학대학 농업시스템공학부(농업생명과학연구원)

¹서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부

Analysis of Environmental Design Data for Growing *Pleurotus eryngii*

Yong Cheol Yoon, Won Myung Suh, and In Bok Lee^{1*}

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

¹Dept. of Landscape & Rural Systems Eng., Seoul National University, Seoul 151-741, Korea

Abstract. This study was carried out to file up using effect and requirement of energy for environmental design data of *Pleurotus eryngii* growing houses. Heating and cooling Degree-Hour (D-H) were calculated and compared for some *Pleurotus eryngii* growing houses of sandwich-panel (permanent) or arch-roofed (simple) type structures modified and suggested through field survey and analysis. Also thermal resistance (R-value) was calculated for the heat insulating and covering materials of the permanent and simple-type, which were made of polyurethane or polystyrene panel and 7~8 layers heat conservation cover wall. The variations of heating and cooling D-H simulated for Jinju area was nearly linearly proportional to the setting inside temperatures. The variations of cooling D-H was much more sensitive than those of heating D-H. Therefore, it was expected that the variations of required energy in accordance with setting temperature or actual temperature maintained inside of the cultivation house could be estimated and also the estimated results of heating and cooling D-H could be effectively used for the verification of environmental simulation as well as for the calculation of required energy amounts. When the cultivation floor areas are all equal, panel type houses to be constructed by various combinations of materials were found to be far more effective than simple type pipe house in the aspect of energy conservation maintenance except some additional cost invested initially. And also the energy effectiveness of multi-span house compared to single span together with the prediction of energy requirement depending on the level insulated for the wall and roof area could be estimated. Additionally, structural as well as environmental optimizations are expected to be possible by calculating periodical and/or seasonal energy requirements for those various combinations of insulation level and different climate conditions, etc.

Key words : Degree-Hour, Energy conservation, Heating and cooling load, Heat insulating and covering materials, Permanent and simple type, Thermal resistance

*Corresponding author

¹⁾본 연구는 농림부 농림기술관리센터의 현장애로연구(102016-03-1-SB010)지원으로 수행되었음.

서 언

현재 우리나라에 자생하고 있는 버섯 중 식용버섯은 약 300여 종이나, 그 가운데 재배하여 생산되고 있는 버섯은 19종정도에 불과하다. 인공재배 버섯은 농가의 고소득 작물로 각광을 받고 있으며, 또한 건강식품으로 알려지면서 그 수요가 계속 증가 할 것으로 판단된다. 특히 원산지가 남유럽 일대이고 프랑스, 헝가리, 북아

프리카, 중앙아시아, 남러시아 및 북미 등지의 초원지대 및 아열대성 기후에 자생하고 있는 느타리과의 큰느타리(새송이)버섯의 인공재배법이 개발되었다. 이 버섯의 인공재배법은 1958년에 최초로 시도되었으며, 일본의 경우는 1993년 대만에서 균주를 수입하여 인공재배법을 개발한 후, 1996년부터 전국적으로 병재배 기술을 보급하였다. 국내의 경우도 1995년 경남농업기술원에서 처음으로 연구를 시작하여 1997년 5월경에

툽밥을 이용한 병재배 기술에 성공하여 일반 농가에 보급하여 오고 있는 실정이다(Lee, 2003).

큰느타리버섯은 자실체의 균사조직이 치밀하여 육질감이 뛰어나고, 맛이 탁월하여 자연산 송이와 식미가 거의 유사할 뿐만 아니라 식물섬유, 비타민 D, 칼륨, 단백질이 풍부하고 필수아미노산을 다양하게 함유하고 있는 것으로 발표되었다(Kang 등, 2001). 또한 이 버섯은 저장성도 다른 버섯에 비해 우수하기 때문에 2002년 하반기부터 수요가 급증하면서 기존의 느타리버섯 재배사를 개조하여 냉·난방기 및 기타 설비 장치를 갖추거나 신축하여 버섯을 연중 재배하는 농가가 점점 증가하고 있는 실정이다. 그러나 팽이, 양송이 및 느타리버섯과 같이 중장기적으로는 생산량의 증가에 따른 가격불안 사태가 우려되기 때문에 송이, 표고버섯과 같이 수출전략 작목으로 육성하여야 할 것으로 판단된다.

현재까지 큰느타리버섯에 관한 연구는 주로 버섯의 기능성, 균사배양이나 배지의 환경조절 분야(Kang 등, 2001; Gal, 2003; Kim 등, 1997) 또는 재배사내의 환경조절분야(Suh 등, 2002a, 2002b; Suh 등, 2003; Yoon 등, 2003; Lee, 2003)에서 많이 이루어져 왔던 것이 사실이다. 그러나 경험이나 관행에 의존하여 개조 및 신축되는 상이한 구조를 갖고 있는 큰느타리버섯 재배사의 구조적 안전성이나 시설의 공간구성의 효율성과 관련한 연구는 전무한 실정일 뿐만 아니라 환경조절기술이 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 조사 및 검토한 후, 그 결과를 발표한 적이 있다(Suh 등, 2002a, 2002b; Suh 등, 2003; Yoon 등, 2003; Suh & Yoon, 2004; Yoon 등, 2004, Suh & Yoon, 2005). 본 연구에서는 큰느타리버섯 재배사의 에너지 이용효율과 소요에너지 산정에 대한 기초 자료를 얻기 위하여 Suh & Yoon(2005)이 발표한 자료에서 제시한 재배사 모형(영구형 단동 및 연동과 반영구형 단동)들을 대상으로 열수지 시뮬레이션을 실시하였다. 또한 재배사의 단열재 및 피복재를 대상으로 열전달 저항치(R-value)를 산정한 후, 재배사의 냉·난방 소요에너지를 산정하였다.

재료 및 방법

Fig. 1은 Suh 등(2005)이 공간활용 최적화를 검토한 결과 샌드위치 패널형(영구형)의 Bench Mark 단면(BM-단면)으로 제시한 것이다. 그리고 Fig. 2는 영구형과 마찬가지로 Suh 등(2005)이 현재 농가에서 선호하고 있는 보온 덮개(반영구)형 재배사를 다소 보완한 구조의 단면이다. 이 단면은 영구형 단동과 폭, 측고 및 동고 등을 같게 함으로서 재배사내의 공간활용에 주안점을 둔 것이다. 이 두 모형을 대상으로 열수지 시뮬레이션에 의한 에너지 이용효율 검토와 R-값을

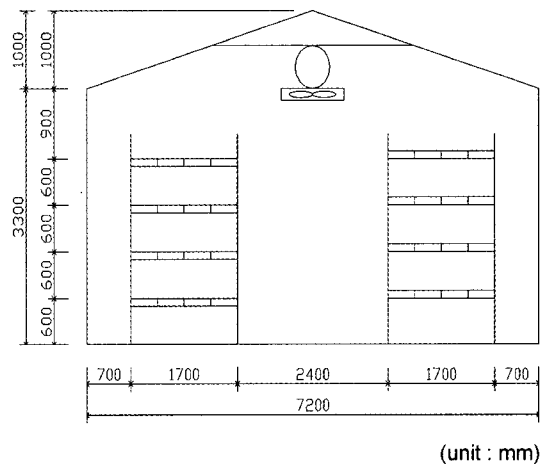


Fig. 1. Schematics of a tentative model section (L4R4-type).

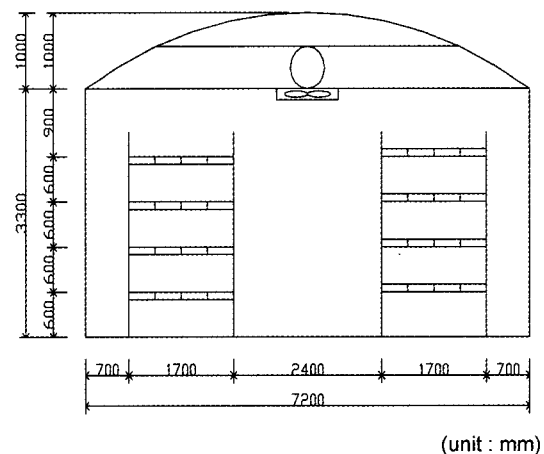


Fig. 2. Schematics of a tentative model section (Simple-type).

산정하였다. 그리고 재배사의 길이는 일반적으로 농가에서 선호하고 있는 20m로 가정하였다.

대상 공간에 대한 환경설계는 물론 구조설계를 효율적으로 수행하는 수단으로서 모형 시뮬레이션 기법이 매우 유용하게 이용되고 있다. 특히, 폐쇄된 공간에서 작물을 재배하는 온실이나 버섯재배사의 경우는 적정 환경을 조성하기 위하여 인위적으로 제반 환경인자들을 제어하는 관제로 노지 재배상황과는 달리 기술과 에너지 집약적 재배가 이루어진다. 따라서 환경의 지배인자인 기상상태와 재배시설물의 구조 형상적 변화에 따른 다양하고 장기적인 에너지 소요량의 변화를 조사하고 분석하는 것은 관련 산업의 경영합리화에 필수적 요소다. 따라서 본 연구에서는 조사 및 실측자료를 바탕으로 버섯재배사의 냉·난방부하를 Degree-Hour(D-H) 및 R-값을 이용하여 간접적으로 추정하였다. D-H 및 R-값 산정할 때, 대상 모형은 Fig. 1의 단동 및 2연동과 Fig. 2의 단동구조를 중심으로 검토하였으며, Fig. 2의 반영구형 모형은 보온피복재를 7층과 8층으로 한 경우를 대상으로 하였다.

1. 설정온도에 따른 월별 냉·난방 D-H 계산

설정온도(T_s)에 따른 월별 냉·난방 D-H계산에 사용된 기상자료는 경남 진주지역의 평년기상(TMY)에 가까운 1987년의 매시간별 평균온도로 하였다. 설정온도는 큰느타리버섯의 적정재배온도인 16~18°C(평균 17°C)를 기준으로 하고, 최저 14°C에서 최고 20°C까지 변화시키면서 매 시간별 평균온도를 기준으로 월별 및 연중 D-H를 계산하였다.

2. 설정온도 범위에 따른 월별 냉·난방 D-H 계산

실내 설정온도를 단일온도로 설정하는 대신 정적범위의 온도(제어범위)로 설정함으로써 보다 현장성에 가

까운 조건하에서 냉·난방 D-H의 변화를 검토하였다. 이 때 사용한 적정재배 온도범위를 연중 16~18로 유지한 경우, 난방기간 동안에는 15~17로 유지하고 냉방기간 동안에는 17~19로 유지한 경우, 연중 15~19로 설정온도 범위를 넓게 한 경우로 하였다.

3. R-값 산정

재배사 벽체 및 지붕의 열전달 단면을 가정하고, R-값을 추정하였다. 재배사 재료로 사용되고 있는 자재는 구조형태(영구형, 반영구형)에 따라 크게 두 가지로 대별된다. 영구형은 두께에 차이가 있을 뿐 대부분 폴리스티렌 또는 폴리우레탄으로 압출 성형된 단열재를 채운 양면 시트메탈(sheet metal)로 마감되어 있었다. 반영구형의 피복단면은 여러 층의 피복재로 구성되며, 사용되는 피복재의 종류, 층수 및 재질 등은 사용 농가의 요구에 의해 각각 다르게 선택되고 있기 때문에 체계적으로 접근하기 어려웠다. 특히, 반영구형 재배사의 피복재로 시판되고 있는 각종 자재에 대한 열적 특성치들이 밝혀져 있지 않기 때문에 열전달 특성을 분석하는데 어려움이 많았다.

본 연구에서는 영구형 패널인 경우, 가장 보편적으로 사용되고 있는 두께 100 mm의 폴리스티렌과 폴리우레탄 벽체로 가정하였고, 반영구형은 관행적으로 많이 사용하고 있는 7~8층의 피복을 대상으로 하였으며, 각 재료들의 R-값을 산정하면 Table 1과 같다. Table 1에서 R-값에 나타난 첨자는 단열재의 층수를 나타낸 것으로서 1은 최내측, 7또는 8은 최외측을 의미한다.

4. 재배사의 냉·난방 소요에너지 산정

이상에서 계산된 D-H, 재배사별 열교환 표면적(A), R-값을 중심으로 설정온도 17일 때, 냉·난방 소요열량을 구하여 에너지 효율을 검토하였다.

Table 1. R-values of heat insulating material

Materials	R-values ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Remarks
Plastic film(PE)	$R_1=R_4=R_6=0.07$	thickness 0.05 mm
Cashmere	$R_2=R_6=0.300$	about 80% of carpet(fibrous pad) R-value($0.3657 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
Heat conservation cover	$R_3=R_7=0.200$	about 90~95% of carpet(rubber pad) R-value($0.2163 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
Shading screen	$R_8=0.391$	Grey-White spun bonded polyolefin film(light weight)

Table 2. Monthly Degree-Hour depending on setting temperature

Classification	$T_s = 14^\circ\text{C}$		$T_s = 15^\circ\text{C}$		$T_s = 16^\circ\text{C}$		$T_s = 17^\circ\text{C}$		$T_s = 18^\circ\text{C}$		$T_s = 19^\circ\text{C}$		$T_s = 20^\circ\text{C}$	
	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H
Jan	0	10,221	0	10,966	0	11,711	0	12,456	0	13,201	0	13,946	0	1,4691
Feb	25	7,520	10	8,177	4	8,843	1	9,512	0	10,183	0	10,855	0	11,528
Mar	65	5,868	38	6,585	19	7,310	8	8,043	2	8,781	0	9,523	0	10,267
Apr	1,035	2,440	797	2,923	601	3,446	432	3,997	289	4,574	177	5,183	97	5,822
May	3,052	572	2,512	776	2,018	1,025	1,583	1,334	1,210	1,706	906	2,145	665	2,648
Jun	5,177	23	4,486	52	3,817	102	3,189	195	2,619	345	2,114	560	1,680	845
Jul	7,764	0	7,021	1	6,278	2	5,535	3	4,793	5	4,054	10	3,326	26
Aug	8,115	0	7,371	0	6,627	0	5,883	0	5,139	0	4,395	0	3,655	4
Set	4,159	226	3,538	326	2,949	458	2,396	626	1,887	838	1,431	1,104	1,049	1,442
Oct	2,253	1,058	1,830	1,378	1,461	1,753	1,134	2,171	853	2,634	623	3,147	441	3,709
Nov	211	4,391	124	5,024	71	5,690	37	6,377	20	7,080	10	7,790	5	8,504
Dec	32	9,226	20	9,958	11	10,692	4	11,429	0	12,170	0	12,914	0	13,658
Total	31,889	41,544	27,748	46,165	23,854	51,033	20,202	56,143	16,813	61,516	13,710	67,175	10,912	73,143

단위 : 시간 · 온도

결과 및 고찰

1. 설정온도에 따른 월별 냉·난방 D-H계산

냉방이나 난방에 필요한 소요에너지를 간접적으로 비교하는 수단으로 널리 활용되고 있는 D-H 또는 Degree-Day(D-D) 등은 특정 설정온도가 기준이 된다. 본 연구에서는 큰스타리버섯의 적정 온도범위를 설정 기준으로 삼아, 다음과 같은 방법으로 D-H를 상정하였다.

$$D-H = \sum \{(T_s - T_o) \times (\Delta t)\} \quad (1)$$

여기서, T_o = 외기온(°C), Δt = 계산 시간단위(h)

위 식에서 알 수 있듯이, 외기온(T_o)이 설정온도(T_s)보다 높은 경우(음의 값)에는 냉방 부하를 유발하고, 반대로 외기온(T_o)이 설정온도(T_s)보다 낮은 경우(양의 값)에는 난방부하를 유발하는 것으로 간주하여 각각을 따로 합산하였다. Table 2는 각 설정온도별로 산정된 월별 D-H를 요약한 것이다. 이를 바탕으로 각 설정온도별 연간 냉·난방 D-H를 도식화하면 Fig. 3과 같다.

본 연구에서 큰스타리버섯의 적정재배온도 범위를 기준으로 계산된 D-H 역시 기존의 여타 기준으로 산정된 D-H 또는 D-D 자료와 유사하게 월별 냉방 및 난방의 지표로 이용될 수 있음을 알 수 있다.

실내 설정온도를 높게 잡으면 높게 잡을수록 난방 D-H는 증가하는 반면에 냉방 D-H는 감소한다. 이와 같은 현상은 월별은 물론 년 중 D-H 또한 마찬가지였다.

설정온도(T_s)가 14인 경우, 4월부터 10월까지 7개월이 본격적인 냉방기간이 되고 나머지 5개월간은 총 냉방의 1% 미만에 불과하다. 난방의 경우는 냉방과 거의 반대 현상을 나타내고 있다. 그리고 설정온도(T_s)가 17인 경우의 냉방 D-H=20,202 및 난방 D-H=56,143을 기준으로 설정온도 1 증감에 따라 냉방 D-H는 대체로 평균 17.3%의 증감을 보였으며, 난방 D-H는 대체로 평균 9.4%의 증감을 보였다. 따라서 같은 설정온도 변화 당 D-H의 변화의 정도는 냉방이 난방에 비해 훨씬 예민하다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3을 보면, 냉방 및 난방 D-H 증감현상은 설정온도(T_s)의 변화에 따라 거의 직선적인 변화를 보이고 있음을 알 수 있었다.

2. 설정온도 범위에 따른 월별 냉·난방 D-H계산

실내 설정온도를 단일 온도로 설정하는 대신 적정 범위의 온도(제어 범위)로 설정함으로써 보다 현장성에 가까운 조건 하에서의 냉방 및 난방 D-H의 변화를 살펴보았다.

Table 3의 (a)는 재배사 적정온도 범위를 연중 16~18°C, (b)는 난방기간 동안 15~17°C로 유지하고 냉방기간 동안 17~19°C로 유지한 경우, 그리고 (c)는 연중 15~19°C로 설정온도 범위를 넓게 잡은 경우 등에 대해 월별 냉·난방 D-H를 비교 검토한 결과이다.

Table 3에서 큰스타리버섯의 재배적정온도 범위인 16~18°C로 설정한 경우, 난방 및 냉방 D-H는 Table 2에 나타난 16°C 설정시의 난방 D-H와 18°C 설정시의 냉방 D-H와 일치함을 알 수 있다. 따라서 16°C

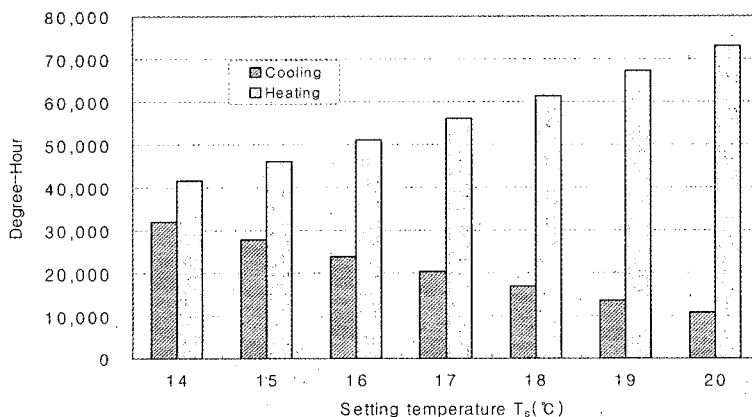


Fig. 3. Yearly Degree-Hour depending on setting temperature.

Table 3. Monthly Degree-Hour depending on control range of setting temperature

Classification	(a) All season 16~18°C		(b) Heating season 15~17°C Cooling season 17~19°C		(c) All season 15~19°C	
	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating
Jan	0	11,711	0	10,966	0	10,966
Feb	0	8,843	1	8,177	0	8,177
Mar	2	7,310	8	6,585	0	6,585
Apr	289	3,446	177	3,997	177.4	2,923
May	1,210	1,025	906	1,334	905.7	776
Jun	2,619	102	2,114	195	2,114	52
Jul	4,793	2	4,054	3	4,054	1
Aug	5,139	0	4,395	0	4,395	0
Sep	1,887	458	1,431	626	1,431	326
Oct	853	1,753	623	2,171	623	1,378
Nov	20	5,690	124	6,377	10	5,024
Dec	0	10,692	20	11,429	0	9,958
Total	16,813	51,033	13,853	51,860	13,710	46,165

또는 18°C로 단일온도로 설정된 경우에 비해 냉방이나 난방 D-H가 현저히 감소됨을 알 수 있다. 이는 그만큼 온도변화의 폭을 허용하면 생육상의 부적합성이나 생산물의 질적 불균일성 등이 수반될 수밖에 없겠지만, 환경제어에 대한 기술적 한계와 에너지 절약 측면에서의 실용성과 경영효율 등이 동시에 고려된 것이라 볼 수 있다.

특히, Table 3의 (b)와 같이 냉방 및 난방기간에 설정온도의 범위를 각각 따로 설정하여 계절별 설정온도를 차등화 하는 방법을 생각할 수 있으며, (c)와 같이 설정온도 범위를 보다 넓게 설정함으로써 제어의 범위를 확대하는 대신 냉·난방 에너지를 현저히 절감하는 방법을 생각할 수도 있다. Fig. 4는 이상과 같이 3가지 상황을 가정하고 그 결과를 비교한 것으로서, 처리간의 차이가 뚜렷함을 알 수 있었다. 또한 설정온도 및 실내 유지온도를 어떻게 제어하느냐에 따라 에너지 소비량의 변화를 확인할 수 있었으며, 추후 활용될 모형 시뮬레이션의 점검은 물론 현재까지 측정된 기상자료 및 에너지 사용량을 점검해 보는 데도 도움이 될 것으로 판단되었다.

3. R값 산정

열적 수치계산에 채택된 재배사 모형은 크게 영구형

과 반영구형으로 구분되며, 각각에 대한 벽체 단면형상, 열저항 회로 및 열전달 저항치는 다음과 같이 계산하였다.

가. 영구형 재배사

영구형 재배사의 벽체 및 지붕 단면형상과 열저항 회로도는 Fig. 5와 같다. 총 열전달 저항치 계산에 사용된 단열재의 종류는 폴리스티렌으로 된 1-A형과 폴리우레탄으로 된 1-B형으로 구분하였다. 여기서 사용되는 단열재의 두께는 농가에서 일반적으로 채택되는 100 mm를 기준으로 하였다.

영구형의 경우, 총 열전달 저항치는 다음과 같이 계산된다.

$$R_T = R_o + 2R_s + R_{ps} + R_i \quad (2)$$

여기서, R_o ; 재배사 외부 벽체면, R_s ; 0.5 mm 스틸,

R_{ps} ; 폴리스티렌, R_i ; 재배사 내부 벽체면

1-A형 : 100 mm 폴리스티렌 단열($R_{ps}=3.465 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)의 경우

$$\begin{aligned} R_T &= R_o + 2R_s + R_{ps} + R_i \\ &= 0.03 + (2 \times 0.14) + 3.645 + 0.11 \\ &= 3.885 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}) \end{aligned}$$

큰느타리버섯 재배사의 환경설계용 자료 분석

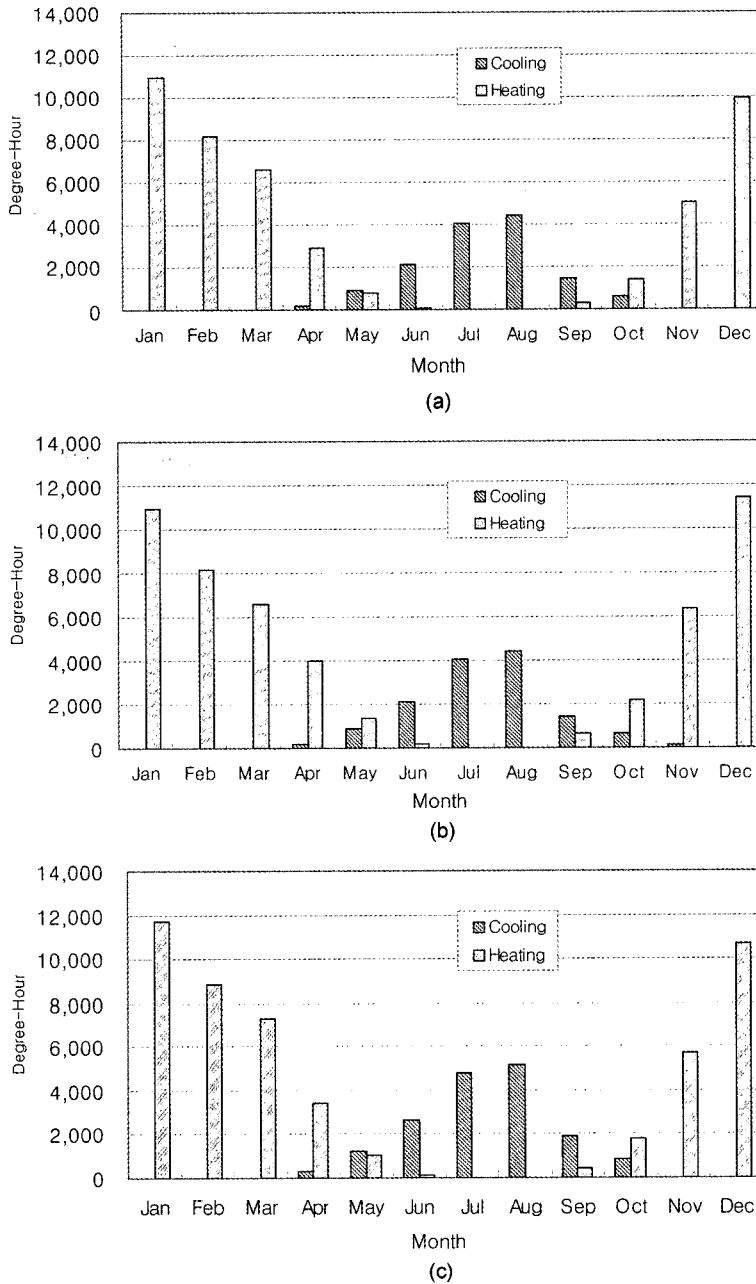


Fig. 4. Monthly Degree-Hour depending on control range of setting temperature; (a) Controlled temperature(16~18°C), (b) Controlled temperature(Heating 15~17°C, Cooling 17~19°C), and (c) Controlled temperature(15~19°C).

1-B형 : 100 mm 폴리우레탄 단열($R_{pu}=4.382 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)의 경우 $= 4.802 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}$

$$R_T = R_o + 2R_s + R_{pu} + R_i$$

$$= 0.03 + (2 \times 0.14) + 4.382 + 0.11$$

나. 반영구형 재배사
반영구형 재배사의 벽체 및 지붕 단면형상과 열저항 회로는 Fig. 6과 같다. 총 저항치 계산에는 관행적으

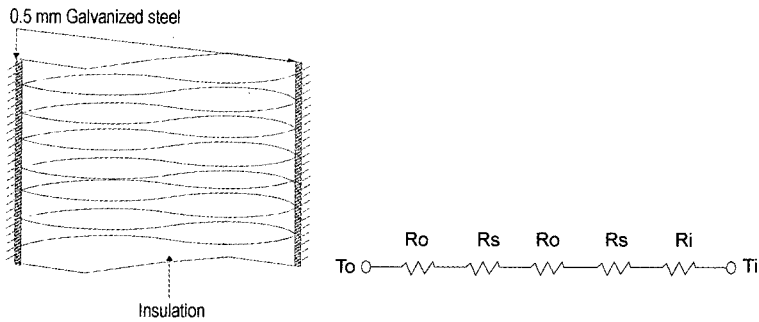


Fig. 5. Cross section of panel type wall & resistance circuit.

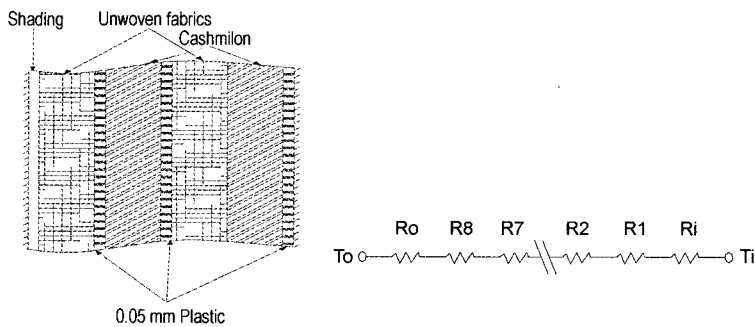


Fig. 6. Cross section of 8 layer heat conservation cover wall & resistance circuit.

로 많이 사용되는 있는 8층 피복의 경우를 2-A형으로 하였으며, 7층의 경우는 8층의 경우에서 보온덮개 또는 카시미론이 한층 없는 2-B형으로 했다.

반영구형에 대한 총 열전달 저항치는 다음과 같이 계산된다.

$$R_T = R_o + \sum_{j=1}^n R_j + R_i \quad (3)$$

2-A형 : 8층 피복(차광막, 보온덮개, 비닐, 카시미론, 비닐, 보온덮개, 카시미론, 비닐)

$$R_1 = R_4 = R_6 = \text{플라스틱 필름}(0.05 \text{ mm})$$

$$R_2 = R_4 \text{ 카시미론}$$

$$R_3 = R_7 \text{ 보온덮개}$$

$$R_8 = \text{차광막}$$

$$\begin{aligned} R_T &= R_o + R_s + 2R_7 + 3R_6 + 2R_5 + R_i \\ &= 0.03 + 0.39 + (2 \times 0.2) + (3 \times 0.07) + (2 \times 0.3) + 0.11 \\ &= 1.74 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}) \end{aligned}$$

2-B형 : 7층 피복(2-A형에서 보온덮개 또는 카시미론이 한층 없는 경우)

$$R_T = 1.74 - (0.2 \text{ or } 0.3) = 1.54 \text{ or } 1.44 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1})$$

반영구형 재배시는 기존의 터널식 재배시설과 유사한 형태에 보온을 강화한 구조로서 주로 피복재의 층수는 7~8층이지만, 사용하는 피복 재료는 매우 다양하였다. 그리고 어떤 이론적 근거에 기초하거나 특별한 효과가 입증된 것이 아니라 농민들의 경험과 심정적 판단에 의해 관행적으로 이루어지고 있는 실정이었다. 특히, 최근에는 두께 20 mm전후의 스티로폼을 단열증진 목적으로 사용하는 농가도 있었으나, 스티로폼이 갖고 있는 재료의 특성상 균열이 생기거나 조각이 형성됨으로서 구조적 연속성을 상실하는 경우가 일반적이므로 단열효과가 높지 않을 것으로 판단되었다.

최 외측 피복재로 설치되는 검정색 차광막은 투과되는 빛의 양을 줄이기 위하여 사용되는 재료로서 벚섯 재배사와 같이 원천적으로 광의 투과가 차단된 구조에서는 차광재의 의미보다는 보온재로 이용되는 셈이다. 따라서 동절기 광의 흡수율을 높여 보온효과가 있는 반면에 하절기에는 오히려 냉방부하를 증가시키는 부작용 또한 적지 않을 것으로 판단되었다.

특히, 층수를 늘림으로서 보온이나 단열성을 높이는 주된 효과는 재료자체의 열 저항성 보다는 여러 겹의 층을 형성함으로써 층과 층간의 공기층 때문인 것으로 판단되지만, 시공의 변잡스러움이나 유지관리 측면에서 효율성이 매우 낮을 것으로 판단된다.

4. 재배사들의 냉·난방 소요에너지 산정

모형 재배사를 중심으로 재배사의 설정온도에 따라 난방 및 냉방 소요열량을 산정해 볼 수 있다. 이미 앞에서 계산된 D-H, 재배사별 열교환 표면적(A)과 단열정도에 따른 R-값을 중심으로 몇 가지 설정온도별로 계산된 냉·난방 소요열량을 요약하면 Table 4와 같다. 소요열량 산정에는 다음과 같은 식을 이용하였다:

$$Q = A \times \frac{D-H}{R} \times 3600 \quad (4)$$

여기서, Q = 부하열량(J), A = 열전달 표면적(m²)
 $D-H$ = Degree-Hour(°C · h)
 R = 열전달 저항(m² · K · W⁻¹)

Table 4는 영구형과 반영구형 재배사의 폭과 길이를 각각 7.2m와 20.0m로 동일하게 적용했으며, 비교 목적상 실내 재배공간의 배치도 동일하다고 가정하였다. 단, 2연동 영구형의 경우는 바닥면적이 단동형의 2배이므로 이를 바닥 단위면적당(괄호 내)으로 환산하였다.

Table 4에서 알 수 있듯이 에너지 효율측면에서 가

장 유리한 재배사 모형은 2연동 영구형 구조임을 알 수 있었다. 소요 에너지 측면에서도 연동 재배사는 단동 재배사에 비해 냉방과 난방 모두 바닥면적 1m²당 약 10%의 에너지를 절약할 수 있음을 알 수 있었다. 2연동 구조는 2개의 단동이 측벽에서 결합되는 형식이므로 결국 한 쪽 측벽부에 해당하는 만큼 열전달이 감소되기 때문이다.

영구형 단동구조에서 벽체 및 지붕의 단열재가 다른 경우를 검토하기 위하여 폴리스티렌 100mm 단열에 대한 폴리우레탄 100mm 단열의 단열성능비만을 단순 비교한 결과, 냉·난방부하 모두 0.809(35.36/43.71, 98.26/121.46)로서 같은 단열두께라 하더라도 재료만 바꾸더라도 냉방 및 난방 면에서 약 19%의 열부하를 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

영구형 구조에서는 일반적으로 폴리스티렌 100mm 단열재가 주를 이루지만, 일부 오래된 노후 구조에서 폴리스티렌 50mm 단열재를 사용하고 있는 경우도 발견되었다. 따라서 이런 경우에 대한 단열성능을 100mm 단열재의 경우와 비교해 보면, 냉·난방부하모두 1.804(78.87/43.71, 219.17/121.46)로서, 단열두께가 100mm인 경우에 비해 단열두께가 50mm로 감소되면 냉·난방 측면에서 약 80%의 열부하가 가중됨을 알 수 있었다.

이러한 경우는 반영구형에서도 비슷한 경향을 발견할 수 있었다. Table 4에서 피복이 8층인 경우에 비해 카시미론이 한층 제거된 7층 피복의 경우도 냉·난

Table 4. Heating and cooling load depending on different growing structures (Setting temperature $T_s = 17^\circ\text{C}$)

Structure type	Heat insulating material	Surface area (m ²)	Thermal resistance (m ² · K · W ⁻¹)	Quantity of heat (MJ)	
				Cooling	Heating
Permanent (single-span)	polyurethane panel t=100 mm	336.20	4.802	5,092 (35.36)	14,150 (98.26)
	polystyrene panel t=100 mm	336.20	3.885	6,294 (43.71)	17,490 (121.46)
Permanent (two-span)	polystyrene panel t=100 mm	606.40	3.885	11,352 (39.42)	31,547 (109.54)
Simple (single-span)	heat conservation cover 8-layer	340.32	1.740	14,224 (98.78)	39,531 (274.52)
	heat conservation cover 7-layer	340.32	1.440	17,187 (119.35)	47,766 (331.71)
Permanent (single-span)	polystyrene panel t=50 mm	336.20	2.153	11,357 (78.87)	31,560 (219.17)

() : Heating or cooling loads per unit floor area (MJ · m⁻²)

방부하는 모두 1.21(119.35/98.78, 31.71/274.52)로서, 냉·난방 공히 약 21% 정도의 열적 부하가 증가됨을 알 수 있었다.

다음으로는 반영구형 재배사의 단열성능을 살펴보기 위하여 동일한 공간조건을 가진 영구형에 대비해 보았다. 영구형의 폴리스티렌 100 mm 단열재에 대한 반영구형 8층 피복 단열의 단열성능비만을 단순 비교한 결과, 냉·난방부하 공히 2.260(98.78/43.71, 274.52/121.46)로서, 냉방 및 난방에서 각각 약 2.3배의 열부하가 발생됨을 알 수 있었다.

결국, 재배사내의 환경인자와 태양복사 등을 고려하지 않고 R값만을 이용하여 단순 비교한 경우, 동일한 공간구조를 갖춘 재배사는 다중 피복의 반영구형 재배사에 비해 규격화된 두께 및 재질로 생산되고 있는 영구형 재배사가 단열성능 면에서 현저히 유리하였으며, 단동 대비 연동구조의 냉·난방 에너지 효율의 개선정도, 그리고 각종 단열 정도에 따른 에너지 소요량의 차이를 쉽게 가늠할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 이들 자료를 중심으로 재배사내의 환경인자와 태양복사 등을 좀 더 고려하면, 주어진 지역의 기상 상황을 중심으로 재배사의 구조형상, 특히 벽체 및 지붕 등의 주요표면의 단열 정도와 표면상태 등에 따라 계절별 또는 재배 주기별 냉방 및 난방 에너지 소요량을 예측할 수 있으므로 적절한 경제성 분석을 통한 재배사의 구조 형상적 최적화를 꾀할 수 있을 것으로 판단되었다.

적 요

본 연구에서는 큰느타리버섯 재배사의 에너지 이용 효율과 소요에너지 산정에 대한 기초 자료를 얻기 위하여 기존에 제시한 재배사 모형(영구형 단동 및 연동과 반영구형 단동)들을 대상으로 열수지 시뮬레이션을 실시하였다. 또한 재배사의 단열재 및 피복재의 열전달 저항치를 산정한 후, 재배사의 냉·난방 부하량을 추정하였다. 진주지방의 경우, 큰느타리버섯 재배사의 냉·난방 D-H 증감현상은 실내 설정온도의 변화에 따라 거의 직선적인 변화를 보였으며, 변화의 정도는 냉방 D-H가 난방 D-H에 비해 훨씬 예민하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 설정온도는 물론 실내 유지온도의 제어 양상에 따라 소요 에너지의 변화를 예측할

수 있을 뿐만 아니라, 앞으로 개발될 버섯 재배사의 환경모형 시뮬레이션 검정과 에너지 소요량 추정에도 산정된 D-H가 유익하게 활용될 수 있을 것으로 판단되었다. 그리고 동일한 재배공간 확보를 전제로 할 경우, 다중 피복의 반영구형 재배사에 비해 다양한 두께 및 재질로 생산되고 있는 영구형 재배사가 단열성능 면에서 현저히 유리하였다. 단동 대비 연동구조의 에너지 효율, 단열 정도에 따른 에너지 소요량의 변화를 쉽게 가늠할 수 있을 뿐만 아니라 주어진 지역과 주요 표면의 단열 정도와 표면상태 등에 따라 계절별 또는 재배 주기별 소요 에너지를 예측함으로써 재배사의 구조 및 환경적 최적화를 꾀할 수 있을 것으로 판단되었다.

주제어 : 디그리아워, 에너지 보전, 냉·난방 부하, 단열재 및 피복재, 영구형 및 반영구형, 열저항

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. 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).
- 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. 121-124 (in Korean).
- Suh, W. M., Y. C. Yoon, S. W. Park, and J. K. Kwo. 2003. Instrumentation and control of environment fac-

- tors in *eryngii* growing house. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment. Con. 2003 Spring Conference. 12(1):161-165 (in Korean).
8. Suh, W. M. and Y. C. Yoon. 2004. An analysis on thermal insulation effect of farm structures coated with surface treatment. J. of KSAE. 46(4):39-46 (in Korean).
 9. 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).
 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. 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).
 12. Lee, H. W. 2003. Cultivation technology and functionality of *Pleurotus eryngii* (seminar). Mushroom Institute of Jinju National University and Mushroom Association of Gyeongnam. 43-63 (in Korean).