

# 새송이버섯 재배사의 공간효율 및 구조안전 검토

## Space Efficiency and Structural Safety of Eryngii Cultivation House

권진근\* · 서원명 · 윤용철

경상대학교 농업생명과학대학 농업시스템공학부

Kwon, Jin-Keun\* · Suh, Won-Myung · Yoon, Yong-Cheol

### Abstract

This study was carried out to set up design criteria of Eryngii cultivation houses. Optimization of lay-out efficiency together with analysis of structural safety were two main tools of approaching toward reasonable models to be developed. Some models tentatively assumed according to the result of field survey and analysis were compared in the aspect of structural safety as well as energy efficiency.

### I. 서론

국내의 경우, 새송이버섯 연구는 1995년부터 인공재배 및 생리학분야에서 많이 이루어져왔지만, 시설의 공간 효율이나 구조적 안전 검토는 거의 이루어지지 않았다. 그러나 농산물 시장개방에 따른 가격경쟁, 에너지 절약, 시공비 절감 및 작업의 효율성 개선 등을 위해서는 버섯재배사 공간 구성의 효율화와 아울러 구조역학적 안정성 및 경제적 타당성 관련 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다. 지금까지 국내에 보급되어 있는 버섯재배사는 기존의 온실 구조를 전용하거나 다소 보완한 간이형과 경량형강의 철골 구조에 패널을 이용한 개량형으로 대별된다. 파이프골조의 간이형 재배사는 물론, 철골조의 개량형 재배사 역시 합리적 공간설계에 의한 환경제어측면의 경제성과 시설물의 구조적 안정성에 대한 검토 없이 재배사나 시공사에 따라 다양한 형태로 시공되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 새송이버섯 재배사의 적정 재배공간을 합리적으로 설계하여 가장 효율적인 재배공간의 모형을 도출하고, 또 자연재해에 의한 구조적 피해를 최대한 경감시키기 위한 자료를 제시하고자 설정된 몇 개의 기준모형을 중심으로 재배공간의 효율을 검토하고 구조해석을 시도하였다.

### II. 재료 및 방법

재배사의 공간활용 최적화 모형 설정을 위하여 현장답사 및 문헌조사 결과 등을 바탕으로 재배공간 설계용 기본 파라미터를 다음과 같이 정의하였다: ① 재배사의 길이(Lemgth=10m), ② 재배사의 끝벽과 재배상 사이의 격리거리(ES=100 cm), ③ 병재배 전용 수직 공간(MH=30cm), ④ 단위 트레이(Tray)의 수용규격(4 x 4병 = 16병), ⑤ 트레이의 규격(TW=40×40cm), ⑥ 재배사의 중앙통로의 폭(TL=240cm), ⑦ 수평방향의 트레이간 여유간격(TG=2cm), ⑧ 지붕 경사각(Slope=15.5°), ⑨ 재배단의 수직 간격(UBH)은 병재배 전용 수직공간(MH)의 2배로 가정, ⑩ 재배사의 측벽과 재배단 사이의 격리거리(WS=70 cm), ⑪ 실내바닥에서 첫 번째 재배단까지의 격리간격은 재배단의 수직거리(60cm)만큼으로 한다.

이상과 같은 조건에서 원하는 재배단수와 각 단의 폭에 의해 재배사의 측고, 동고 및 폭이 결정된다. 5가지 기준모형과 표준설계 모형의 형상치수는 Table 1과 같다.

그리고 Fig. 1은 기준모형 L4R4의 단면형상으로서 병재배 새송이버섯 재배사의 공간활용 최적화를 위한 Bench Mark (BM) 단면이다. 앞으로 본 BM-단면을 기준으로 현장의 여건과 기술적인 제반 문제를 고려하여 실용성과 효율성을 겸비한 최적모형을 개발할 것이다. 재배사의 구조해석은 개량형과 간이형을 포함하여 7가지 모형으로 하였으며, 기본치수는 Table 2와 같다. 이들 모형의 구조해석에는 SAP-2000를 이용하였다.

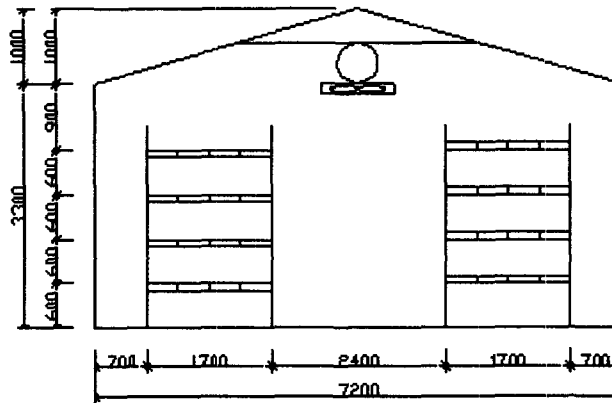


Fig. 1. Schematics section of a tentative model(L4R4-type).

Table 1. Section properties of standard model and 5 tentative models.

구분	단수(단)	열수(열)	폭(m)	측고(m)	동고(m)	단면적( $m^2$ )	바닥면적( $m^2$ )	표면적( $m^2$ )	부피( $m^3$ )
L4R4	4	4	7.20	3.30	4.30	27.4	72.0	195.4	273.6
L4R3	4	3	6.36	3.30	4.18	23.8	63.6	179.6	238.0
L3R4	3	4	7.20	2.70	3.70	23.0	72.0	174.8	230.4
L3R3	3	3	6.36	2.70	3.58	20.0	63.6	160.0	199.8
L4R4(연동)	4	4	2x7.20	3.30	4.30	54.7	144.0	324.9	547.2
표준*	-	-	7.0	3.5	5.15	30.3	70.0	207.9	302.8

\*표준: 표준버섯재배사(경기도 농촌진흥원)

### III. 결과 및 고찰

#### 1 버섯재배사 공간활용 최적화 모형 설정

기준모형들을 대상으로 모형의 각 특성치들은 Table 3과 같으며, 이들 특성치들에 대한 모형간 비교결과를 요약하면 다음과 같다: ① SSA : 재배사 바닥면적  $1m^2$ 당 건물표면적 비율로서, 이 값이 작으면 보온, 즉 냉난방 측면에서 유리하다. 기준모형 L4R3에 비해 L3R4는 14%정도 낮으며, L4R4의 경우는 4% 정도의 효율개선에 불과하나 연동의 경우 한쪽 벽면의 노출표면적 감소로 약 20%까지 표면적비율을 줄일 수 있다. ② NBPUFA : 재배사 바닥면적  $1m^2$ 당 재배병 수는 농지의 평면적 이용효율과 관련된다. 표에서 알 수 있듯이 BM-단면인 L4R4가 토지이용효율면에서 가장 유리하며, 가장 불리한 L3R3 대비 57% 이상 개선할 수 있다. 이런 현상은 L4R4-연동형에서도 동일한 결과를 가져온다. ③ SV :

재배사 바닥면적  $1\text{ m}^2$ 당 건물 내부부피로서, 이 특성치는 NBPUFT와 함께 재배사의 구조형상 관련 특성치로서 측고나 동고의 증가가 실내환경관리에 어떤 영향을 주는지 가늠하는 셈이다. ④ SAPUB : 재배 병수당 건물 표면적비로서, 여기서는 100병을 기준으로 기준 모형간 건물표면적을 비교하였다. 표에서 열의 수가 많은 4열형(R4형)이 3열형(R3형)보다 유리하며, 특히 연동구조가 되면 개선효과가 현저하게 증폭됨을 알 수 있다. ⑤ VOLPUB : 재배 병수당 건물 체적의 크기로서, 이 또한 SAPUB와 함께 재배사의 구조 및 환경 측면에서 안정성과 경제성 검토에 중요한 특성치임을 확인할 수 있다.

Table 2. Section properties and main frame sizes of selected models for structural analysis.

	폭 (m)	측고 (m)	동고 (m)	기둥간격 (m)	기둥 및 서가래			비고
					호칭 치수(mm)	단면적( $\text{cm}^2$ )	단면계수( $\text{cm}^2$ )	
기준 (영구-2연동)	2(7.2)	3.30	4.30	3.00	H 150x75x5x7 (C75x45x15x2)	17.3 (3.64)	85.6 (8.79)	
기준 (영구-단동)	7.20	3.30	4.30	3.00	H 150x75x5x7 (C75x45x15x2)	17.3 (3.64)	85.6 (8.79)	
표준 (영구-단동)	7.00	3.50	5.15	3.00	2C100x50x20x2.3 (C100x50x20x1.6(Truss))	10.34 (3.67)	32.2 (11.7)	지붕 Truss
나동 (영구-단동)	7.50	3.30	4.15	3.10	H 50x75x5x7 (C75x45x15x2)	17.3 (3.64)	85.6 (8.79)	
나동(간이-단동)	6.00	3.30	4.00	0.65	$\phi 33.5 \times 2.1$	2.07	1.53	
문산(간이-단동)	7.00	3.35	5.20	1.95	$\phi 48.1 \times 2.1$	3.04	3.35	
영세(간이-단동)	6.00	2.40	3.20	0.50	$\phi 25.4 \times 1.5$	1.11	0.61	

Table 3. Spatial characteristics of standard model and 5 tentative models.

모형	특성치	'SSA	NBPUFA	SV	SAPUB	VOLPUB	유효 총재배용량 (병)
		표면적/ $\text{m}^2$ 바닥 ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ )	병수/ $\text{m}^2$ 바닥( 병/ $\text{m}^2$ )	부피/ $\text{m}^3$ 바닥 ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ )	표면적/병( $\text{m}^2/100$ 병)	부피/병 ( $\text{m}^3/100$ 병)	
L4R4		2.715	142.2	3.80	1.91	2.67	10,240
L4R3		2.824	120.8	3.74	2.34	3.10	7,860
L3R4		2.428	106.7	3.20	2.28	3.00	7,680
L3R3		2.515	90.6	3.14	2.78	3.47	5,760
L4R4(연동)		2.256	142.2	3.80	1.59	2.67	2(10,240)
표준		2.970	-	4.33	-	-	-

범례 : SSA : 바닥 단위면적당 건물표면적, NBPUFA : 바닥 단위면적당 재배병수

SV : 바닥 단위면적당 건물체적, SAPUB : 재배병당 건물표면적, VOLPUB : 재배병당 건물체적

## 2. 재배사 모형의 구조역학적 분석

대상 모형별로 계산된 최대 휨모멘트( $M_{\max}$ ) 및 축방향력(P)과 이들을 바탕으로 산정한 한계 적설심 및 풍속은 Table 4와 같다.

앞으로 최적화 모형개발을 위해서는 주로 샌드위치 패널형 영구재배사에 국한하여 추가적으로 분석하고 개발할 것이다.

기준모형의 구조역학적 적합성 검토 결과에 의하면, 표에 제시된 4가지 영구 재배사 모형 중에서 표준모형을 제외한 나머지 3가지 모형은 풍하중과 설하중 하에서 공히 충분한

안정성을 갖추고 있음은 물론 두 하중간의 균형이 어느 정도 확보됐다고 할 수 있다. 반면에 표준모형의 경우에는 지붕구조가 트라스 구조이고 그나마 과잉 설계됨으로서 한계적설심은 필요 이상으로 큰 반면에 지붕의 동고가 지나치게 높음은 물론 지붕경사가 상대적으로 급하여 한계풍속이 여타 영구형 모형에 비해 현저히 낮고 구조적 안정성 측면에서 풍하중과 설하중 간의 균형이 잡혀있지 않다는 것을 알 수 있다.

Table 4. Estimation of limit wind velocity and snow depth based on calculated section forces.

구 분	설하중시 (x h)		풍하중시 (x V <sup>2</sup> )		한계적설심 (cm)	한계풍속 (m/s)
	휨모멘트(kgf·m)	축방향력(kgf)	휨모멘트(kgf·m)	축방향력(kgf)		
기준(영구-2연동)	7.22	10.77	0.10	0.26	123.1	71.9
기준(영구-단동)	10.09	7.96	0.12	0.32	161.9	64.8
표준(영구-단동)	10.45	0.86	0.10	0.34	434.7	38.7
나동(영구-단동)	10.93	9.13	0.15	0.34	141.6	62.8
나동(간이-단동)	1.83	1.27	0.05	0.06	19.1	20.1
문산(간이-단동)	2.38	1.47	0.17	0.17	35.8	17.7
영새(간이-단동)	1.41	0.93	0.03	0.03	10.5	18.0

한편 기준모형의 단동구조와 2연동구조를 비교해 보면, 동일한 골조재를 사용한다는 전제 하에서 연동에서는 곡부 연결부의 예상 적설심 증가로 인하여 한계적설심의 저하가 예상되는 반면에 한계 풍속의 측면에서는 연동구조가 단동에 비해 유리함을 알 수 있다. 기준모형에서 사용한 골조재는 농가에 세워져 있는 상업용 버섯재배사의 대표적 사례인 나동(영구-단동)에 사용된 것과 같은 것으로 가정했으므로 앞으로 기준모형에 적합한 골조재의 형상 및 치수에 대해서는 추가적인 구조해석적 분석 및 검토가 필요할 것이다. 특히 농업용 시설의 구조재로 활용되고 있는 강철재 각관, 경량 H형강 및 C형강 등을 중심으로 다양한 단면들에 대한 구조해석적 비교검토가 요구되며, 아울러 기둥부재와 바닥기초, 기둥, 서까래 등의 결합부 고정형식에 따른 단면력 및 응력의 변화를 면밀히 검토할 필요가 있을 것이다.

#### IV. 결론

새송이 버섯재배사의 최상의 단면형상을 제시할 수 있는 단계는 아니지만, L4R4-단동형 및 연동형이 난방 및 냉방 관리측면, 실내 기상 안정성, 단위 평면적당 토지 이용효율, 등의 종합적 공간 활용도 측면에서 합리적임을 확인할 수 있다.

여기서 특히 유의할 점은 표준 재배사의 특성치로서 여타 기준 모형에 비해 축고는 물론 동고가 현저히 높다는 것을 알 수 있다. 축고 부분은 재배단수의 조정이나 단과 단 사이의 공간 활용면에서 다소 변화를 줄 수는 있으나 재배와 직접적인 관련이 없는 천정부 공간을 크게 잡은 것은 문제가 있다. 특히 지붕에 트라스 골조를 계획함으로써 냉방기기를 비롯한 공기 분산용 덕트, 가습장치, 등의 설치가 용이하지 않은 결점이 있으며, 앞에서 언급한 모형의 각종 특성치의 비교에서 SSA 및 SV 등이 현저히 불리하다는 것을 발견할 수 있다. 구조적 안전 검토에서는 특히 농업용 시설의 구조재로 활용되고 있는 강철재 각관, 경량 H형강 및 C형강 등을 중심으로 다양한 단면들에 대한 구조해석적 비교검토가 요구되며, 아울러 기둥부재와 바닥기초, 기둥, 서까래 등의 결합부 고정형식에 따른 단면력 및 응력의 변화를 면밀히 검토할 필요가 있을 것이다. 간이형과 영구형을 불문하고 연중 버섯을 생산하는 재배사의 경우에는 고가의 냉방 및 난방설비가 갖춰져 있는 것이 일반적이므로 기상 재해로 인한 시설물의 손실피해에 대한 대비는 물론 이들 각종 환경조절용 설비들로 인한 추가적인 하중 요인에 대한 안정성 검토가 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다.