

## 간이 느타리재배사의 구조 안전성 평가

염성현<sup>1\*</sup> · 윤남규<sup>1</sup> · 김철수<sup>2</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청, <sup>2</sup>강릉대학교 기계자동차공학부

### Evaluation of Structural Stability of a Simple-typed Cultivation Facility for Growing *Pleurotus ostreatus*

Sung Hyun Yum<sup>1\*</sup>, Nam Kyu Yun<sup>1</sup>, and Chul Soo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

<sup>2</sup>School of Mechanical and Automotive Engineering, Kangnung National University, Wonju 220-711, Korea

**Abstract.** The structural stability of a simple-typed cultivation facility with a width of 5.6 m for growing *Pleurotus ostreatus* was analyzed by modeling the facility as three-dimensional steel frames. The computation was done by using the finite element analysis program, ANSYS and the criterion of determining structural stability was based on the allowable stress design (ASD). The computational results showed that the structure with a straight-typed bed column was more stable than those with other types of bed columns against snow depth but there was little difference against wind velocity. As results, the interval of rafter had a more influence on safety wind velocity than that of bed column, while the interval of bed column was more important to safety snow depth. Finally the bed column against buckling was stable in all cases considered in this paper.

**Key words :** ANSYS, buckling, cultivation facility, *Pleurotus ostreatus*, structural stability

## 서 언

우리나라에 재배되고 있는 버섯은 느타리, 새송이(큰 느타리), 양송이, 표고, 팽이 및 영지 등 19종 정도로 알려져 있으며 2005년 이후 다소 둔화 추세에 있긴 하나 2006년 기준 전국규모 버섯 생산량은 141,467톤(느타리 32.4%, 팽이 24.3%, 양송이 8.4%, 영지 0.2% 및 기타 34.7%)인 것으로 나타나 있다(Ministry of Agriculture and Forestry, 2007).

버섯재배사에 관한 연구는 큰느타리버섯에 관한 내용이 대부분으로 재배사내 환경조절(Yoon 등, 2005; Suh 등, 2004; Yoon 등, 2003)에 대하여 이루어져 왔으며 재배사에 대한 실태조사 및 구조설계 자료 분석(Yoon 등, 2004; Suh와 Yoon, 2005)에 관한 연구가 일부 수행되어져 왔다. 또한 느타리버섯에 관한 자료로 폭 5.6 m 자연환기형 간이 느타리재배사(서까래

φ25.4 × 1.5t @ 600, 직립형 베드기둥 구조)가 '92년 제시되었으나 구조 안전성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 현재 농가에서는 자연환기형 간이 느타리재배사를 기본으로 하여 무창 간이 느타리재배사를 설치하여 재배하고 있으며 보온자재는 물론 베드기둥 형태와 설치 간격을 농가 실정에 맞게 변형하여 설치하고 있어 보온자재의 보온효과 분석에 대한 연구와 더불어 구조 안전성에 관한 기초 연구가 필요한 실정이다. 특히 간이 버섯재배사 바깥 면에는 차광망이나 보온덮개가 씌워져 눈이 흘러내리지 않게 되어 일반 비닐하우스에서 보다 폭설에 대한 구조 안전성이 취약한 편이나 서까래와 시설 내부 구조물인 베드기둥 형태 및 설치간격에 관한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구는 폭 5.6m 간이 느타리재배사의 베드기둥 형태, 서까래와 베드기둥 규격에 따른 구조 안전성을 분석하여 간이 느타리재배사 시공의 기초 자료로 활용하고자 수행하였다.

\*Corresponding author: shyum@rda.go.kr

Received July 16, 2008; accepted August 28, 2008

## 재료 및 방법

### 1. 유한요소해석

#### 가. 해석코드 및 경계조건

범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 11.0 (ANSYS Inc., USA)을 이용, 간이 느타리재배사를 3차원 강뼈대 구조물로 모델링 하여 구조 안전성을 검토하였다. 구조안전 판단은 허용응력 설계법을 기준으로 하였으며 파이프에 걸리는 von Mises 응력이 부재의 허용응력(기존 SPVH 파이프의 경우  $\sigma_a=156.9 \times 10^6 \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ , 구조용 강관 SPVHS의 경우  $\sigma_a=211.2 \times 10^6 \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 보다 작을 때로 보았다. 유한요소 격자의 크기는 30mm로 전체 강뼈대 구조물을 등분할하였으며 하중 부가방식을 실제와 동일하게 모사하기 위하여 풍하중과 적설하중이 면을 통하여 자동적으로 골조 파이프에 전달되도록 하였다. 해석에 사용된 요소는 파이프의 경우 3-D Linear Finite Strain Beam 요소인 BEAM188을, 피복재(PE필름)와 하중부가 면은 4-Node Finite Strain Shell 요소인 SHELL181과 SURF154를 사용하였다. 실제 하중을 받는 지붕면은 다겹 보온재로 구성되어 이에 대한 복합 물성치가 필요하나(재료적 비선형해석) 실험값이 없어 단층의 PE필름에 풍하중과 적설하중이 부가되는 것으로 간주하여 해석하였다. 파이프가 지면에 묻히는 지점은 콘크리트 기초로 완전구속(고정)되었다고 가정하였다.

#### 나. 설계하중

간이 느타리재배사에 작용하는 하중으로 고정하중, 풍하중 및 적설하중을 고려하였다. 일반적으로 무창 간이 느타리재배사는 농가마다 다를 수 있으나 우레탄폼, 텐텐지, PE필름, 토이론, PE필름, 토이론, PE필름, 보온덮개 및 차광망(혹색) 순으로 씌우므로 고정하중으로 토이론은 가벼워 고려하지 않고 파이프 자중(밀도  $7,850 \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), 우레탄폼 자중(성형밀도  $30 \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 및 보온덮개 자중( $1 \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 농가 설치기준)만을 고려하였으며 풍하중과 적설하중에 각각 조합하여 적용하였다. 풍하중은 측면유입 풍속만을 고려하였으며 일본의 「원예용 시설안전 구조기준」에 제시된 풍력계수와 Lee 등(1995)이 제시한 풍압을 적용하였다.

$$P_v = c \times 0.0197 \times v_0^2 \times \sqrt{h} \quad (1)$$

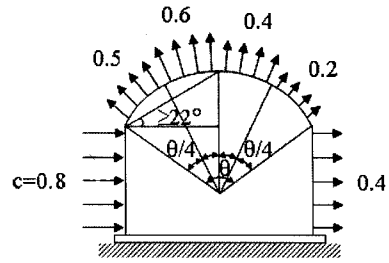


Fig. 1. Wind coefficients applied on each of the faces of a *Pleurotus ostreatus* cultivation facility.

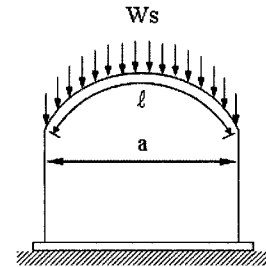


Fig. 2. Snow load applied on the roof of a *Pleurotus ostreatus* cultivation facility.

여기서,  $P_v$ 는 풍압( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ),  $c$ 는 풍력계수,  $v_0$ 는 기준높이  $h_0$ (m)에서의 풍속(기준풍속,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $h$ 는 재배사 측고와 동고의 평균 높이(m)이다.

바람이 없는 조건에서 재배사 폭  $a$ 와 지붕 아치(아크) 길이  $l$ 을 갖는 재배사 위로 눈이 내릴 때 수평면(지표면)에 쌓이는 적설량(안전적설심)을  $D$ (cm), 지붕 아치면에 쌓이는 적설량을  $d$ (cm)라 하면  $D \times a = d \times l$ 의 관계가 성립하므로 지붕 아치면에 쌓이는 적설량은  $d = D \times \frac{a}{l}$ 이 된다. 지붕 아치면(피복 면)에 적용한 적설하중( $W_s$ )은 식(2)와 같다.

$$W_s = \rho \times d \times \alpha \quad (2)$$

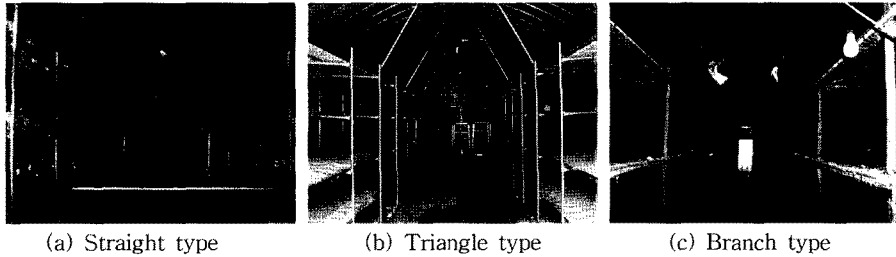
여기서,  $\rho$ 는 수평면에 대한 단위체적중량( $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-3}$ ),  $\alpha$ 는 지붕경사 및 피복재의 종류에 따른 절감계수이다. 바깥 면에는 보온덮개나 차광망이 씌워져 눈이 흘러내리지 않게 되므로 절감계수는 1.0을 적용하였다.

#### 다. 재료 물성치

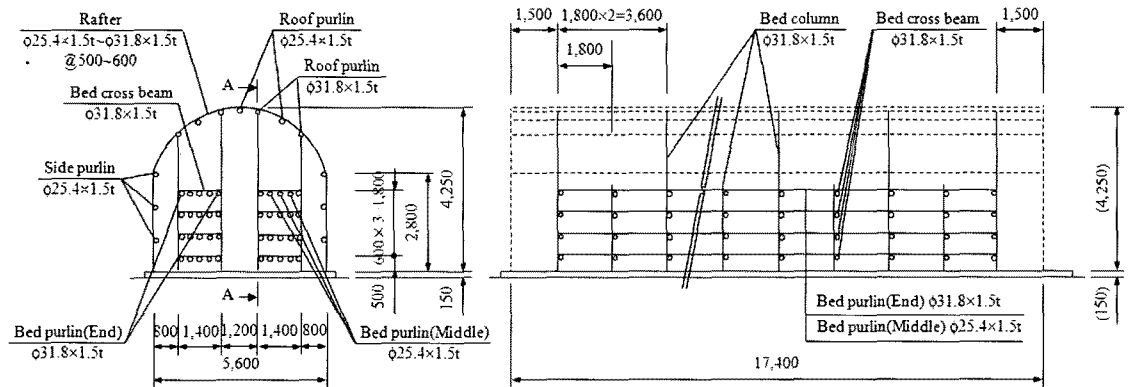
해석에 사용한 파이프의 밀도는  $7,850 \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 탄성계수와 프와송비는 각각  $206 \times 10^9 \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 0.3이며, 피복재(PE필름, 0.1 mm)의 탄성계수와 프와송비는 각

**Table 1.** Material properties of the structural pipe.

Material	Ultimate stress, $\sigma_u \times 10^{-6} (N \cdot m^{-2})$	Yield stress, $\sigma_y \times 10^{-6} (N \cdot m^{-2})$
SPVHS (SGH400)	392.4	289.4



**Fig. 3.** Inside view of *Pleurotus ostreatus* cultivation facilities according to the configuration of bed columns.



**Fig. 4.** Main cross-section view (left) and its section A-A (right) of the 5.6 m *Pleurotus ostreatus* cultivation facility with a straight-typed bed column of  $\phi 31.8 \times 1.5$  t @ 1,500  $\times$  3,000.

각  $1.1 \times 10^9 N \cdot m^{-2}$ 와 0.42이다. 구조용 강관 SPVHS의 허용응력  $\sigma_a$ 는 안전계수를 1.5로 적용(AIK, 2006; Yum 등, 2007b)하지 않고 2007년 KS 규격 개정으로 파이프 품질이 개선되었다는 전제하에 1.3으로 적용(Yum 등, 2007a)하여  $\sigma_a = \text{Min}[\sigma_u \times 0.7, \sigma_y / 1.3]$ 로부터 구하였다.

라. 해석 모델

폭 5.6m, 지붕 경사각 27.4°, 2열 4단 베드를 갖는 아치형 간이 느타리재배사에 대하여 베드기둥 설치 형태에 따라 3개 유형으로 구분하여 서까래  $\phi 25.4 \times 1.5$  t @ 600, 베드기둥  $\phi 31.8 \times 1.5$  t @ 1.8m  $\times$  1.8m, 1.8m  $\times$  3.6m인 조건에서 안전풍속과 안전적설심을 비교하였다(Fig. 3, Table 2). 여기서 1.8m  $\times$  1.8m는 베드기둥이 1.8m 매 칸마다 지붕까지 연결된 것을 의미하

며, 1.8m  $\times$  3.6m는 베드기둥은 매 칸마다 설치하되 한 칸 건너 지붕까지 연결된 것을 의미한다. 이 때 베드기둥 형태만 다를 뿐 하우스 규격, 파이프 규격 및 소재(SPVH)는 동일하도록 하였으며 상세치수는 Fig. 4와 같다.

또한 동일 재배사 규격(폭 5.6m, 지붕 경사각 27.4°, 2열 4단 베드)에서 SPVHS 파이프 소재를 사용하고 직립형 베드기둥 구조를 갖는 경우에 대하여 서까래 규격  $\phi 25.4 \times 1.5$  t ~  $\phi 31.8 \times 1.5$  t @ 500 ~ 600과 베드기둥 설치간격 1.5m  $\times$  3.0m(재배사 길이 L=15m), 1.8m  $\times$  3.6m (L=17.4m), 2.0m  $\times$  4.0m (L=19m)에 따른 안전풍속과 안전적설심을 검토하였다(Fig. 4, Table 2). 이 때 베드기둥이 지붕가로대에 연결되는 지점은 서까래 간격(s)을 10등분하여 서까래로부터의 거리(x)에 따른 von Mises 응력을 검토하여 응력이 가장 작

**Table 2.** Analysis classification according to the specifications of rafter and bed column.

No.	Pipe	Rafter (mm)	Bed column	
			Specification (mm)	Type
1	SPVH	φ 25.4 × 1.5 t@600	φ 31.8 × 1.5 t@1,800 × 1,800	Straight, Triangle, Branch
2			φ 31.8 × 1.5 t@1,800 × 3,600	
3			φ 31.8 × 1.5 t@1,500 × 3,000	
4			φ 31.8 × 1.5 t@2,000 × 4,000	
5	SPVHS (SGH400)	φ 25.4 × 1.5 t@600	φ 31.8 × 1.5 t@1,800 × 3,600	Straight
6			φ 31.8 × 1.5 t@1,500 × 3,000	
7			φ 31.8 × 1.5 t@2,000 × 4,000	
8			φ 31.8 × 1.5 t@600	

**Table 3.** Critical buckling load and allowable stress of the bed column.

Bed column	Bed column of the 1st row				Bed column of the 2nd row			
	L (mm)	L/r	$\sigma_{cr} \times 10^{-6}$ (N·m <sup>-2</sup> )	$\sigma_{allow} \times 10^{-6}$ (N·m <sup>-2</sup> )	L (mm)	L/r	$\sigma_{cr} \times 10^{-6}$ (N·m <sup>-2</sup> )	$\sigma_{allow} \times 10^{-6}$ (N·m <sup>-2</sup> )
φ 31.8 × 1.5 t	1,306.2	122.1	136.4	71.0	1,897.1	177.3	64.7	33.7

게 나타나는 지점인  $x/s=0.1$ 에 있게 하였다.

**2. 좌굴 안전성**

압축하중(적설하중)을 받는 베드기둥은 재료의 항복에 이르기 전에 좌굴(세장비에 따라 비탄성좌굴(중간기둥)이나 탄성좌굴(긴 기둥))에 의해 먼저 파괴될 수 있으므로 베드기둥을 탄성선형거동에서의 축 하중을 받는 양단 핀 연결 이상기둥으로 보고 좌굴에 대한 안전성을 검토하였다. 베드기둥에 걸리는 압축하중은 베드기둥 지면 구속지점 각 열( $a_1 \sim b_1$  : 1번열 베드기둥,  $a_2 \sim b_2$  : 2번열 베드기둥)에서의 가장 큰 값을 적용하였으며 기둥 길이는 1번열 베드기둥에서는  $a_1 b_1$ , 2번열 베드기둥에서는  $a_2 b_2$ 로 보았다(Fig. 5). 이 때 베

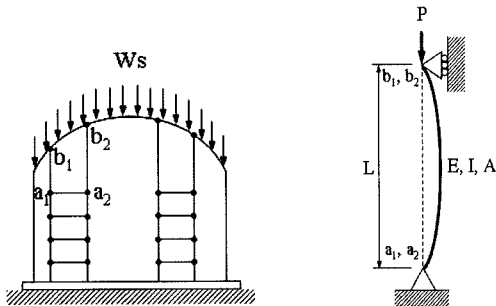
드기둥과 지붕가로대의 축심 간에는 편심이 없는 것으로 간주하였다.

양단 핀 연결 이상탄성기둥의 거동은 Euler 곡선으로 표시되며 기둥에 걸리는 압축응력  $\sigma_c (=P/A)$ 가 재료의 비례한도  $\sigma_{pl}$ 보다 작고 기둥의 세장비  $L/r$ 이 임계 세장비보다 큰 영역에서 식 (3)을 적용할 수 있다 (Gere와 Timoshenko, 1988).

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} \tag{3}$$

여기서,  $\sigma_c$ 는 임계응력,  $P_{cr}$ 은 임계좌굴하중(Euler 하중),  $E$ 는 탄성계수,  $L$ 은 기둥 길이,  $r$ 은 회전반경 ( $=\sqrt{I/A}$ ),  $I$ 는 단면 2차 관성모멘트,  $A$ 는 단면적이다.

임계 세장비,  $(L/r)_c$ 는 식 (3)에서  $\sigma_c = \sigma_{pl}$  조건에서 구할 수 있으며 구조용 강에서는 보통 비례한도를 항복강도  $\sigma_y$ 와 같다고 가정하므로  $(L/r)_c = \sqrt{\pi^2 E / \sigma_{pl}} = \sqrt{\pi^2 E / \sigma_y}$  으로부터  $(L/r)_c = 83.8$ 을 구할 수 있다. 베드기둥 열의 세장비는 각각  $L_1/r = 1306.2/10.7 = 122.1$  과  $L_2/r = 177.3$ 으로 임계 세장비보다 커 Euler 하중을 적용할 수 있으므로 기둥의 임계응력을 식 (3)으로부터 구하였다. 좌굴에 대한 기둥의 허용응력은 임계응력을 탄성좌굴 영역에서 미국 강구조협회(AISC, 1980)가 제안한 안전계수  $n = 23/12 \approx 1.92$ 로 나누어 구하였다. 각 베드기둥 열의 임계응력과 좌굴에 대한 허용응력은 Table 3과 같다.



**Fig. 5.** A buckled simply-supported (hinged-hinged) column under an axial compression force due to snow load and a curve for compressive stress ( $P/A$ ) versus slenderness ( $L/r$ ).

결과 및 고찰

1. 재배사의 구조 안전성

가. 베드기둥 형태

SPVH 소재의 서까래와 베드기둥을 갖는 폭 5.6m 아치형 간이 느타리재배사의 베드기둥 형태에 따른 구조안전성 분석 결과, 안전풍속의 경우 베드기둥 형태에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며 베드기둥을 매 칸마다 지붕까지 연결하더라도 안전풍속을 높이는 데는 한계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 안전적설심의 경우 직립형 구조가 안전성 측면에서 훨씬 유리한 시설인 것으로 나타났다. 베드기둥을 두 칸마다 지붕까지 연결한 경우(1.8m×3.6m)의 안전적설심은 직립형 21cm > 삼각형 7cm = 분기형 7cm로 직립형이 3배 이상 높았으며 베드기둥을 매 칸마다 지붕까지 연결한 경우

(1.8m×1.8m)에서의 안전적설심 또한 직립형이 훨씬 높게 나타났다. 즉, 동일 서까래 규격과 베드기둥 설치 간격에서 직립형이 안전적설심 측면에서 우수할 뿐만 아니라 베드기둥을 매 칸마다 설치하여 안전적설심을 높이고자 할 경우에도 직립형에서 그 효과를 크게 볼 수 있는 것으로 나타났다(Fig. 6).

나. 서까래 및 베드기둥 규격

구조용 강관 SPVHS 소재의 서까래와 직립형 베드기둥을 갖는 폭 5.6m 아치형 간이 느타리재배사의 서까래 규격과 베드기둥 설치간격별 구조안전성 분석 결과, 안전풍속은 시설내부 베드기둥 설치간격이 넓어지더라도 서까래 간격이 줄어들수록 높아져 시설 내부적 요소인 베드기둥 간격보다는 시설 외부적 요소인 서까래 간격에 영향을 더 받는 것으로 나타났다. 그러나

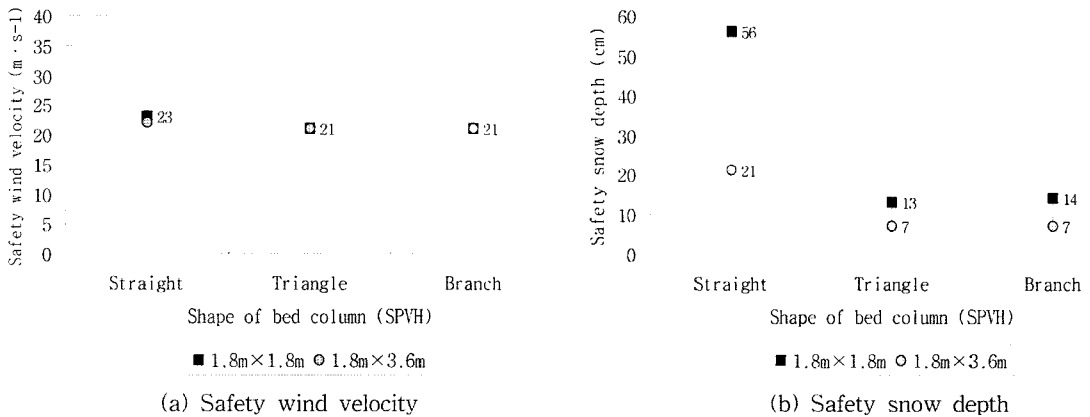


Fig. 6. Structural stability according to the configuration of bed column.

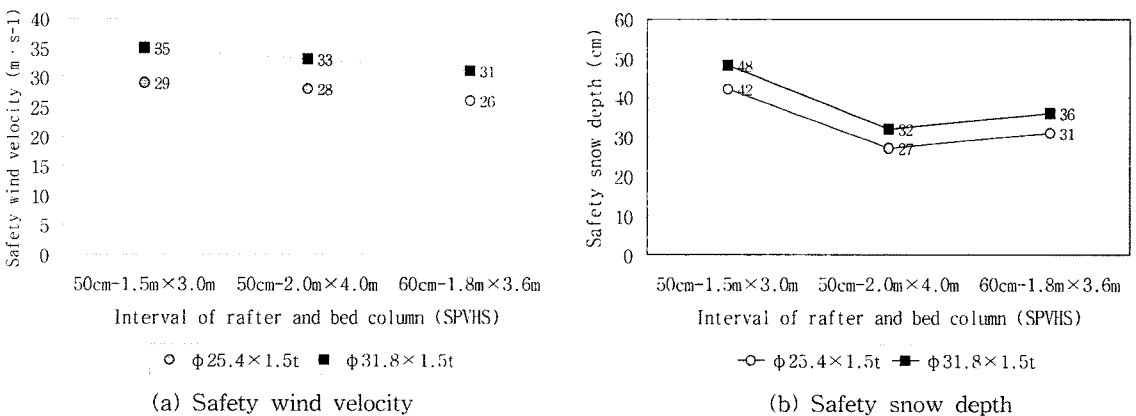


Fig. 7. Structural stability according to the specifications of rafter and bed column.

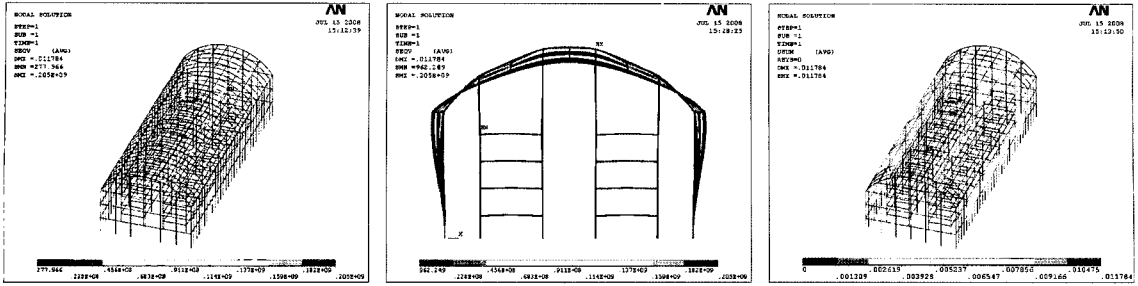


Fig. 8. von Mises stress distribution(left), von Mises stress distribution with deformed shape(middle) and displacement distribution(right) of the *Pleurotus ostreatus* cultivation facility with a rafter of  $\phi 31.8 \times 1.5$  t @ 500 and a bed column of  $\phi 31.8 \times 1.5$  t @ 1,500  $\times$  3,000 at safety snow depth of 48 cm.

Table 4. Stability of bed columns against buckling.

Snow depth	Pipe		Compressive stress, $\sigma_c \times 10^{-6} (\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$	
	Rafter (mm)	Bed column (mm)	Bed column of the 1st row	Bed column of the 2nd row
42 cm	$\phi 25.4 \times 1.5$ t@500	$\phi 31.8 \times 1.5$ t@1,500 $\times$ 3,000	11.9	12.8
48 cm	$\phi 31.8 \times 1.5$ t@500		12.5	14.4
56 cm	$\phi 25.4 \times 1.5$ t@600	$\phi 31.8 \times 1.5$ t@1,800 $\times$ 1,800	11.2	10.4

안전적설심의 경우에는 서까래 간격을 10cm 좁히더라도(60cm → 50cm) 베드기둥의 간격이 넓어질 경우 (1.8m  $\times$  3.6m → 2.0m  $\times$  4.0m) 오히려 낮아지는 것으로 나타나 안전풍속과는 반대로 서까래 간격보다는 베드기둥 간격에 더 크게 영향을 받는 것으로 나타났다 (Fig. 7).

## 2. 베드기둥의 좌굴 안전성

해석을 수행한 모든 경우에서 베드기둥은 좌굴에 대해 안전한 것으로 나타났다. 안전적설심 42cm의 경우 1번열과 2번열 베드기둥에 걸리는 압축응력은 각각  $11.9 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ 과  $12.8 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 각각의 좌굴에 대한 기둥의 허용응력  $71.0 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ 과  $33.7 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$  보다 작은 것으로 나타났으며 안전적설심 48cm에서도 베드기둥 열에 걸리는 압축응력은 각각의 허용응력보다 작아 좌굴에 대하여 안전한 것으로 나타났다. 또한 SPVH 파이프를 사용하는 경우, 탄성계수가 SPVHS와 동일하다고 가정하고 임계응력은 탄성계수와 세장비(또는 기둥 길이 및 단면 2차 관성모멘트)에만 관계되므로 기둥의 허용응력을 동일하다고 볼 때 안전적설심 56cm에서도 좌굴에 대해 안전한 것으로 나타났다. 안전적설심 56cm의 경우, SPVH 파이프를 사용하고 서까래 규격 또한 약함에도 불구하고 압축응력이 다른 경우에서 보다 다소 작은 이유는 베드기둥

이 때 칸마다 설치되어 베드기둥에 걸리는 적설하중이 상대적으로 작아졌기 때문이다.

위의 결과는 편심이 없는 이상탄성기둥에 대한 것으로 강판을 용접하는 과정에서 잔류응력  $\sigma_{res}$ 이 생길 수 있으며 이는 비례한도  $\sigma_{pl}(= \sigma_y - \sigma_{res})$ 을 낮게 해 임계 세장비를 증가시키고 좌굴강도(임계 좌굴하중)를 낮춘다(Yang과 Kim, 1988). 또한 재료의 불균일성 등 많은 인자로 인하여 실제와 차이를 보일 수 있으므로 좌굴 안전성에 대한 실험적 검증이 향후 필요할 것으로 판단된다.

## 적 요

유한요소해석 코드인 ANSYS를 이용, 폭 5.6m 간 이 느타리재배사를 3차원 강뼈대 구조물로 모델링하여 베드기둥 형태 및 파이프 규격에 따른 구조적 안전성을 분석하였으며 허용응력 설계법에 기초해 구조안전 여부를 판단하였다. 전산구조 해석 결과, 베드기둥에 따른 구조적 안전성은 안전적설심의 경우, 직립형 베드기둥 구조가 다른 베드기둥 형태보다 훨씬 높게 나타났으나 안전풍속 측면에서는 형태별 차이가 없는 것으로 나타났다. 서까래 규격과 베드기둥 설치 간격에 따른 구조적 안전성은 본 연구에서 고려한 파이프 규격 범위에 있어서 안전풍속 측면의 경우, 베드기둥 설치간

격보다 시설 외부적 요소인 서까래 간격에 더 영향을 받는 것으로 나타났으나 안전적설심 측면에서는 안전 풍속과는 반대로 서까래 간격보다는 시설 내부적 구조 물인 베드기둥 간격이 더 중요한 것으로 나타났다. 베드기둥의 좌굴에 대한 안전성은 해석의 모든 경우에서 안전한 것으로 나타났다.

**주제어** : 구조 안전성, 느타리, 앤시스, 재배사, 좌굴

### 인 용 문 헌

1. American Institute of Steel Construction, Inc. 1980. Manual of steel construction, 8th Ed. 400 North Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611.
2. Architectural Institute of Korea. 2006. Korean building code and commentary (in Korean).
3. James M. Gere and Stephen P. Timoshenko. 1988. Mechanics of Materials, 2nd Ed. p. 519-528.
4. Lee, S.K. et al. 1995. Greenhouse Structural Requirements, Rural Development Corporation of Korea (in Korean).
5. Ministry of Agriculture and Forestry. 2007. Statistics of Agriculture and Forestry (in Korean).
6. Suh, W.M. and Y.C. Yoon. 2005. Data Analysis for Structural Design of *Pleurotus eryngii* Cultivation Facilities. J. of KSAE. 47(3):29-37 (in Korean).
7. 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).
8. Yang, Y.S. and K.S. Kim. 1988. A Study on the Buckling Strength of Welded H-Columns Manufactured from High Strength Steel Plates. J. of AIK. 4(6):225-235 (in Korean).
9. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and C. Yu. 2004. Analysis of Actual State of Facilities for *Pleurotus eryngii*. J. Bio-Enviro. Con. 13(4):217-225 (in Korean).
10. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and H.W. Lee. 2003. Analysis of Environment Factors in *Pleurotus eryngii* Cultivation House. J. Bio-Enviro. Con. 12(4):200-206 (in Korean).
11. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and I.B. Lee. 2005. Analysis of Environmental Design Data for Growing *Pleurotus eryngii*. J. Bio-Enviro. Con. 14(2):95-105 (in Korean).
12. Yum, S.H., K.J. Kwon, S.H. Sung, and Y.D. Choi. 2007a. The Installation Effect and Optimal Pipe Sizes of an Anti-Wind Net by Computational Analysis. J. Biosystems Eng. 32(6):430-439 (in Korean).
13. Yum, S.H., N.K. Yun, K.W. Kim, S.H. Lee, Y.H. Cho, S.J. Park, and M.K. Park. 2007b. The Optimum Specification of Pipes in Rain-Sheltering Greenhouse with Roof Vents for Large-Grain Grapevine Cultivation. J. Bio-Enviro. Con. 16(4):275-283 (in Korean).