

대립계 포도 천창개폐형 비가림하우스의 최적 파이프 규격

염성현^{1*} · 윤남규¹ · 김경원¹ · 이성현¹ · 조용호¹ · 박서준² · 박문균³

¹농업공학연구소 시설자원공학과, ²원예연구소 과수과, ³천안시농업기술센터 포도연구팀

The Optimum Specification of Pipes in Rain-Sheltering Greenhouse with Roof Vents for Large-Grain Grapevine Cultivation

Sung Hyun Yum^{1*}, Nam Gyu Yun¹, Sung Hyoun Lee¹, Gyeong Won Kim¹,
Yong Ho Cho¹, Seo Jun Park², and Mun Kyun Park³

¹Agricultural Facilities and Resources Engineering Division, NIAE, RDA, Suwon 441-707, Korea

²Fruit Research Division, NHRI, RDA, Suwon 441-706, Korea

³Research Team on Grapevine, Agricultural Technical Center, Cheonan 330-846, Korea

Abstract. This study was carried out to: (1) analyze structural stability of representative rain-sheltering greenhouses for large-grain grapevine cultivation with widths of 3.6 m and 5 m in case of using the existing pipe for agriculture; (2) present the optimum specification of pipes in the greenhouse with a width of 5 m under the condition of using the pipe of which ultimate strength has been above $400 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$; (3) evaluate stability and also present the optimum specification of pipes as eaves height was augmented. The above analyses were done for greenhouses with roof vents and also with a main-column interval of 3 m and a rafter interval of 60 cm. First, the existing 3.6 m greenhouse with a rafter of $\phi 25.4 \times 1.5 \text{ t@600}$ was stable for a snow-depth of 35 cm but unstable for a wind velocity of $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Meanwhile the existing 5 m greenhouse with the same rafter was not stable for a wind velocity of $335 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ as well as a snow-depth of 35 cm. This meant that existing greenhouses had to be reinforced to secure stability. Second, the specification of pipes, especially rafter, could be classified as two cases. One had a structural stability at a safe wind velocity of $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and a safe snow-depth of 40 cm for which stability the rafter had to be $\phi 31.8 \times 1.5 \text{ t@600}$, and the other had a stability at $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ -35 cm at the specification of rafter $\phi 25.4 \times 1.5 \text{ t@600}$. Finally, eaves height had a significant effect on safe wind velocity. But it had little influence on safe snow-depth. The results showed that the specification of side-wall pipes had to be reinforced for the safe side velocity according to the increment of eaves height and similarly the specification of fore-end post for the safe fore-end velocity.

Key words : ANSYS, large-grain grapevine, rain-sheltering greenhouse, structural stability

*Corresponding author

서 언

대립계 포도 주산지인 천안·안성 지역 비가림재배 면적은 83.5ha로 노지재배 면적 2,086ha('03)의 4% 수준에 있다. 대립계 포도 비가림재배는 수체나 과실로 유입될 수 있는 빗물을 차단하여 병해의 발생을 줄임으로써 농약살포 횟수를 노지재배에서의 연간 15~18회에서 연간 2~3회로 줄여 노동력 감소 및 저농약 고품질 포도생산이 가능(Park 등, 1997)한 재배 방식

으로 크게 (개량)비가림시설과 비가림하우스로 구분할 수 있다. 비가림시설은 비가림 폭 3m를 갖는 시설로 지붕형태 및 환기구조에 따라 아치형, 양지붕형 및 맞배형으로 크게 구분되어지고(Yum 등, 2004), 비가림하우스는 단일피복 연동형 비닐하우스로 하우스 폭에 따라 3.6m와 5m 그리고 지붕형태 및 환기구조에 따라 천창개폐형, 맞배형 및 혼합형(천창개폐형과 맞배형의 엇갈림 혼합 방식) 등으로 구분되어 설치되고 있다. 이 중 비가림하우스는 비가림시설에 비해 시공비가 비

싸긴 하나 토양 수분관리를 인위적으로 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 대립계 포도 재배 농가들은 비가림하우스에 대한 적정 모델이 없는데다 가운데재배를 하지 않는 이상 노지와 비가림재배의 수확시기가 거의 같아 출하 시 가격 경쟁력이 떨어지고 1-2W형 자동화하우스와 같은 대형 비가림하우스 재배 시 발생하는 여러 가지 생리장해 등을 이유로 비가림하우스 설치를 우려하고 있다. 하우스 폭이 7m인 1-2W형 자동화하우스에서 재배할 경우 턴면 위 20cm 지점에서의 기온이 외기보다 3°C 높고, 시설 내 기온하강속도 또한 현저히 늦는 것으로 나타나(Park 등, 1997) 기존 자동화하우스를 대체할 적정 비가림하우스 모델 개발이 절실한 실정이다. 현지 농가에서는 고온장해 피해를 줄이기 위하여 하우스 폭을 줄여 지붕개폐 면적을 늘리거나 자연환기 효율이 높은 지붕형태를 갖는 비가림하우스를 자체 개발하여 설치하고 있다. 따라서 본 연구는 현재 농가에서 이용하고 있는 하우스 폭 5m 천창개폐형 비가림하우스에 대하여 지역기반 설계조건에서의 구조적 안정성을 검토하여 구조보강 방안을 모색하고, 이를 바탕으로 대립계 포도 비가림하우스의 최적 파이프 규격을 설정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 구조 안전성 분석 방법

비가림하우스의 구조 안전성은 유동해석을 통하여 구한 입력장을 구조해석의 경계조건으로 하는 유체-구조 연성해석(Yum 등, 2005; Yum 등, 2005; Yum 등, 2006) 기법을 사용하지 않고 풍력계수(Lee 등, 1995)를 적용하여 해석하였다. 해석코드는 3차원 유한요소해석 프로그램(ANSYS 8.1)을 이용하였으며 구조 안전성 판단 기준은 파이프에 걸리는 최대응력(von Mises 응력)이 부재의 허용응력보다 작을 때로 보았다. 부재의 허용응력은 기존에 설치되어 있는 비가림하우스 구조 안전성 분석 시(일반 농업용 파이프 즉, 기존 비닐하우스 아연도 강판, 허용응력 $\sigma_a = 156.9\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)와 최

Table 1. Strength of the pipe to be considered and criterion of judgment of structural stability.

| Pipe | Material characteristics | | Criterion of judgment |
|--------|---|--|--|
| | Ultimate stress ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$) | Yield stress ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$) | |
| SGH400 | 400.0 | 295.0 | $\sigma_m < \sigma_a$ ($= 186.7\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$) ² |

²Allowable stress,

$$\sigma_a = \frac{\text{Min}[\text{Ultimate stress} \times 0.7, \text{Yield stress}]}{\text{Factor of safety}(= 1.5)}$$

$$= 186.7\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$$

적 파이프 규격 설정 시(강판 SGH400 등 구조용 강판, 허용응력 $\sigma_a = 186.7\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)에 대하여 각각 다른 값을 적용하였다(Table 1). 부재에 걸리는 von Mises 응력은 피복재와 파이프 요소를 50로 등분할하여 전체 절점 수 약 65만개 수준에서 구하였으며 구조 안전성은 요소격자 크기에 따른 응력의 정확도를 고려하여 구해진 von Mises 응력의 2%를 추가로 고려하여 판단하였다. 또한 파이프의 탄성계수와 프와송비는 $210 \times 10^3\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ 과 0.3을, 피복재(PE 필름, 0.1 mm)의 탄성계수와 프와송비는 $1.1 \times 10\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ 과 0.42를 적용하였으며 설계하중은 고정하중(D), 풍하중(P_v), 작물하중(W_f) 및 적설하중(W_s)을 적용하였다. 풍하중은 일본의원예시설 안전기준에 제시된 풍력계수를 적용하여 측면 및 전후면 유입 풍속을 모두 고려하였으며 작물 성숙기인 여름철 태풍내습을 고려하여 991.74m^2 당 하중 1800kg 을 조합하여 적용하였다(Table 2 및 Fig. 1). 적설하중은 곡부보 부근에는 1.5배의 하중($1.5W_s$)을, 그 밖의 피복 면에는 W_s 의 하중이 부가되도록 하였으며 단위체적중량은 $1.0\text{kg}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, 절감계수는 지붕경사각을 고려(Lee 등, 1995)하여 적용하였다. 고정하중은 파이프 자중으로 파이프 밀도 $7,850\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 을 적용하였다. 그리고 구조해석 시 파이프가 지면에 묻히는 부위(파이프와 지표면의 교차 지점)는 완전 구속(고정)되었다고 가정하여 해석하였다. 풍속은 $25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 까지 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 간격으로, 적설하중은 25cm에서 40cm까지 5cm 간격으로 해석하여

Table 2. Combination of load applied to analyze structural stability.

| Classification | Combination of load |
|--------------------|--|
| Safe wind velocity | Dead load + wind load (P_v) + crops load (W_f) |
| Safe snow-depth | near ravines |
| | the other faces |
| | Dead load + $1.5 \times$ snow load ($1.5W_s$) |
| | Dead load + snow load (W_s) |

대림계 포도 천창개폐형 비가림하우스의 최적 파이프 규격

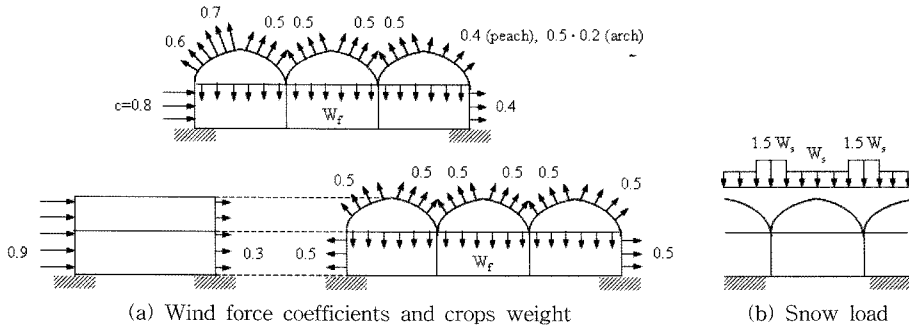


Fig. 1. Design loads applied to analyze structural stability of rain-sheltering greenhouse.

구조 안전성 범위를 판단하였다.

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

여기서, P_v : 풍하중, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

c : 풍력계수

v : 풍속, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

h : 온실 대표 높이, m

$$W_f = 1800 \text{kg} / 991.74 \text{m}^2 \quad (2)$$

$$W_s = \rho \times D \times \alpha$$

여기서, W_s : 적설하중, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

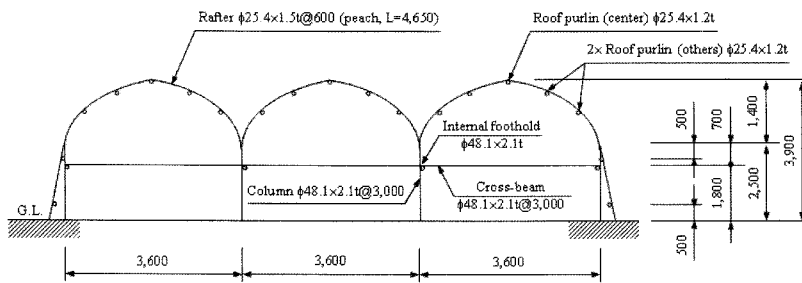
ρ : 단위체적중량, $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{m}^{-2}$

D : 적설심, cm

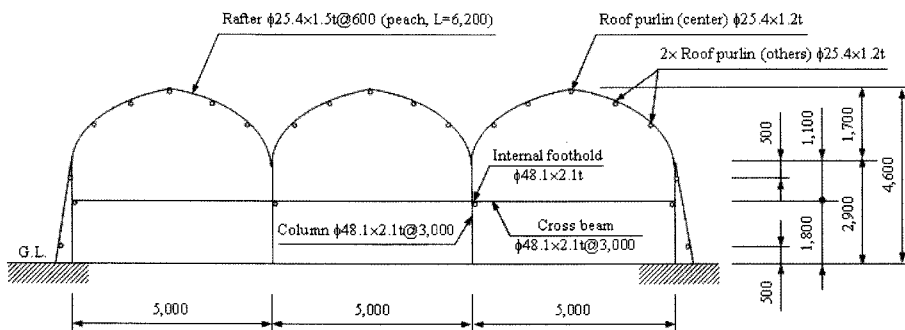
α : 절감계수

2. 비가림하우스 규격(농가 기준)

대림계 포도 주재배지에 시공되고 있는 천창개폐형 3.6m(폭 3.6m × 축고 2.5m × 동고 3.9m, 복숭아형)와 천창개폐형 5m(폭 5m × 축고 2.9m × 동고 4.6m, 복숭아형) 비가림하우스에 대하여 구조적 안전성을 검토하였다. 천창개폐형 3.6m의 경우 농가에서는 내부발판을



(a) Rain-sheltering greenhouse with a width of 3.6 m



(b) Rain-sheltering greenhouse with a width of 5 m

Fig. 2. Configuration and dimension of an existing rain-sheltering greenhouse to be analyzed (unit : mm).

Table 3. Determination of design wind velocity applied to analyze structural stability of the existing rain-sheltering greenhouse.

| Main region | Cheonan-Anseong | | | Gimcheon-Youngdong | | | Gyeongsan | | |
|---|-------------------|--------|----------|--------------------|----------|---------|-----------|-------------|---------|
| | Suwon | Icheon | Cheongju | Daejon | Seongsan | Seongju | Daegu | Young-cheon | Miryang |
| Near city or county | | | | | | | | | |
| Design velocity of city or county ($m \cdot s^{-1}$) | 24.2 | 21.5 | 31.3 | 27.9 | 29.9 | 22.1 | 31.1 | 34.0 | 28.8 |
| Distance from the main region(km) | 35.7 | 33.6 | 36.0 | 36.6 | 20.4 | 25.8 | 14.1 | 24.9 | 37.8 |
| Distance-weighted average velocity ($m \cdot s^{-1}$) | 25.8 ^z | | | 26.6 | | | 30.9 | | |
| Main design wind velocity ($m \cdot s^{-1}$) | | | | 30.9 ^y | | | | | |

$${}^zV = \frac{35.7 \text{ km} \times 24.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} + 33.6 \text{ km} \times 21.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} + 36.0 \text{ km} \times 31.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{35.7 \text{ km} + 33.6 \text{ km} + 36.0 \text{ km}} = 25.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$${}^yV = \text{Max}[\text{Cheonan} \cdot \text{Anseong's design wind velocity, Gimcheon} \cdot \text{Youngdong's, Gyeongsan's}] = 30.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Table 4. Determination of design snow-depth applied to analyze structural stability of the existing rain-sheltering greenhouse.

| Main region | Cheonan-Anseong | | | Gimcheon-Youngdong | | | Gyeongsan | | |
|--|-------------------|--------|----------|--------------------|----------|---------|-----------|-------------|---------|
| | Suwon | Icheon | Cheongju | Daejon | Seongsan | Seongju | Daegu | Young-cheon | Miryang |
| Near city or county | | | | | | | | | |
| Design snow-depth of city or county (cm) | 26.2 | 28.5 | 39.9 | 25.8 | 24.4 | 17.3 | 21.5 | 19.1 | 13.5 |
| Distance from the main region (km) | 35.7 | 33.6 | 36.0 | 36.6 | 20.4 | 25.8 | 14.1 | 24.9 | 37.8 |
| Distance-weighted average depth (cm) | 31.6 ^z | | | 22.8 | | | 16.8 | | |
| Main design snow-depth (cm) | | | | 31.6 ^y | | | | | |

$${}^zD = \frac{35.7 \text{ km} \times 24.6 \text{ cm} + 33.6 \text{ km} \times 28.5 \text{ cm} + 36.0 \text{ km} \times 39.9 \text{ cm}}{35.7 \text{ km} + 33.6 \text{ km} + 36.0 \text{ km}} = 31.6 \text{ cm}$$

$${}^yD = \text{Max}[\text{Cheonan} \cdot \text{Anseong's snow-depth, Gimcheon} \cdot \text{Youngdong's, Gyeongsan's}] = 31.6 \text{ cm}$$

모델에 포함시켜 해석하였으며 농가에 따라 설치 개수와 위치가 다른 측면가로대는 측창 개폐 부위 두 곳에 설치되어 있는 것으로 보고 해석하였다. 구조해석에 사용된 하우스는 3연동으로 상세 파이프 규격은 Fig. 2와 같다. 연동하우스 설계 시 일반적으로 30년 빈도 기준을 적용하므로 설계하중은 대립계 포도 재배지역의 기상자료에 근거한 재현기간 30년에서의 설계풍속과 설계적설심을 적용하였으며 기상자료가 없는 지역의 설계하중은 인근 지역의 값을 거리 가장 평균하여 적용하였다. 농가 기준 비가림하우스 구조 안전성 분석 시 적용한 설계풍속(V)은 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 설계적설심(D)은 35cm이다(Table 3과 4).

3. 지붕높이, 지붕형태 및 처마 높이

천창개폐형 5m 비가림하우스에 대하여 지붕높이(=동고-처마높이)를 1.6m와 1.8m, 지붕형태를 아치형과 복숭아형으로 구분하여 최적 파이프 규격을 설정하였다. 이때 농가에서 대부분 공통적으로 사용하고 있는 파이프 규격은 변경 없이 그대로 적용하였으며 시공비를 고려하여 주기등과 중방 간격을 3m, 서까래 간격을 60cm로 설치한 조건에서 하우스 규격 및 하중에 대하여 최적 파이프 규격(서까래, 방풍벽파이프(측벽서까래), 지붕가로대(중앙) 및 마구리기둥 등)를 설정하였다. 또한, 일부 농가에서 시설 내 기온 상승으로 인한 대립계 포도의 고온장해 및 착색불량 문제를 줄이기 위한 방편으로 Fig. 3에서와 같이 덕면으로부터 곡부

대립계 포도 천창개폐형 비가림하우스의 최적 파이프 규격

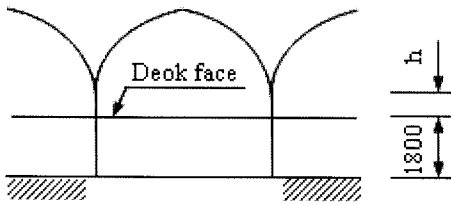


Fig. 3. A net height of h from the "deok" face to the ravine (unit : mm).

보까지의 높이(h)를 70cm로부터 최대 130cm 정도까지 시공하고 있어 해당 높이에 따른 구조 안전성을 검토하였다. 최적 파이프 규격은 지붕높이, 지붕형태, 처마높이 및 서까래와 하중에 따른 구조적 안전성 분석 결과를 참고하고 최종적으로 전후면 유입 풍하중에 대한 구조적 안전성을 검토하여 설정하였다.

결과 및 고찰

1. 비가림하우스의 구조 안전성(농가 기준)

폭 3.6m×측고 2.5m×동고 3.9m(복숭아형)이고 주기동 간격 3m×서까래 간격 60cm인 천창개폐형 3.6m 비가림하우스에 대한 구조적 안전성 분석 결과, 적설심 35cm에서는 파이프의 최대응력이 $133.0\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ 으로 허용응력($\sigma_a=156.9\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)보다 작아 구조적으로 안전한 것으로 분석되었으나 측면 및 전후면 유입 풍속

$35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서는 측벽에 위치한 방풍벽파이프(측벽서까래) 하단과 마구리기둥 하단에서 응력이 각각 $228.0\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ 과 $276.0\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ 으로 허용응력을 초과해 불안정한 것으로 분석되었다(Table 5).

폭 5m×측고 2.9m×동고 4.6m(복숭아형)이고 동일 주기동 및 서까래 간격을 갖는 천창개폐형 5m 비가림하우스의 경우에는 적설심 35와 측면 및 전후면 유입 풍속 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 모두 허용응력을 초과해 불안정한 것으로 분석되었다(Table 5). 허용응력을 초과하는 von Mises 응력은 폭 3.6m의 경우 측면풍속 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 시 방풍벽파이프에서, 폭 5m의 경우에는 측면풍속 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 시 방풍벽파이프와 주기동, 적설심 35cm에서는 곡부보에서 각각 나타나는 것으로 분석되었다(Table 6). 따라서 하우스의 구조적 안전성을 높이기 위해서는 기존 비닐하우스용 아연도 강관을 사용할 경우, 폭 3.6m의 경우에는 방풍벽파이프를, 폭 5m의 경우에는 방풍벽파이프, 주기동 및 곡부보 등의 규격을 각각 강화하여야 하는 것으로 분석되었다. 파이프 규격 강화는 시공비 상승으로 이어지므로 기존 비닐하우스 아연도 강관보다 항복강도 및 인장강도가 높은 파이프(강관 SGH400 등)를 사용하는 구조보강 방안도 고려해야 할 필요성이 있는 것으로 판단되었다. 구조 역할 측면에서는 폭 3.6m의 경우 측면풍속에 대해서는 방풍벽파이프, 주기동 및 곡부보 순으로, 적설심에 대해서는

Table 5. von Mises stress on pipes and its location in the existing rain-sheltering greenhouse with widths of 3.6 m and 5 m.

| W × Eaves H × Roof H @Column × Rafter (Roof shape, Rafter L) Pipes | von Mises stress ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$) | Wind velocity | | |
|--|--|-------------------------------------|---|-------------------------|
| | | Side $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ | Fore-end $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ | Snow-depth 35 cm |
| 3.6 m × 2.5 m × 3.9 m @3 m × 60 cm (Peach, L = 4,650) | Gutter beam | φ48.1 × 2.1 t | | |
| | Column | φ48.1 × 2.1 t@3000 | | |
| | Rafter | φ25.4 × 1.5 t@600 | | |
| | Side wall | φ25.4 × 1.5 t@600 | 228.0 ² @Side wall | 276.0 @Fore-end post |
| | Cross beam | φ48.1 × 2.1 t@3000 | | 133.0 @Gutter beam |
| | Cross-beam strut | - | | |
| 5 m × 2.9 m × 4.6 m @3 m × 60 cm (Peach, L = 6,200) | Internal foothold | φ48.1 × 2.1 t | | |
| | Cross-beam bracing | φ48.1 × 2.1 t | | |
| | Roof purlin ³ | φ25.4 × 1.2 t | 345.0 @Side wall | 518.0 @Fore-end post |
| | Side purlin | φ25.4 × 1.2 t | | 167.0 @Gutter beam |
| | Fore-end post ⁴ | φ25.4 × 1.5 t | | |
| | Fore-end crossing | φ25.4 × 1.2 t | | |

²Inclined value means that the stress is greater than the allowable stress of pipe.

³No. of roof purlins : 3 pieces for $w=3.6\text{ m}$, 5 pieces for $w=5\text{ m}$.

⁴No. of fore-end posts : 3 pieces for $w=3.6\text{ m}$, 5 pieces for $w=5\text{ m}$.

Table 6. von Mises stress on each of pipes in the existing rain-sheltering greenhouse with widths of 3.6 m and 5 m.

| W × Eaves H × Roof H @Column × Rafter (Roof shape, Rafter L) | Condition | von Mises stress (N · mm ⁻²) | | | | | | | |
|--|--------------------------------|--|--------|--------|-----------|-------------|-------------|------------|-------------------|
| | | Gutter beam | Column | Rafter | Side wall | Roof purlin | Side purlin | Cross beam | Internal foothold |
| 3.6 m × 2.5 m × 3.9 m @3 m × 60 cm (Peach, L = 4650) | Side 35 m · s ⁻¹ | 90.1 | 143.0 | 74.1 | 228.0 | 59.4 | 68.8 | 41.2 | 10.9 |
| | Snow-depth 35 cm | 133.0 | 34.9 | 79.7 | 23.1 | 71.8 | 12.6 | 25.2 | 6.3 |
| 5 m × 2.9 m × 4.6 m @3 m × 60 cm (Peach, L = 6200) | Side 35 m · s ⁻¹ | 122.0 | 232.0 | 109.0 | 345.0 | 95.9 | 108.0 | 73.5 | 10.9 |
| | Snow-depth 35 cm | 167.0 | 51.6 | 106.0 | 54.0 | 111.0 | 22.7 | 38.1 | 6.4 |

Table 7. Characteristics of structural stability according to loads in rain-sheltering greenhouse with an arch-shaped roof height of 1.6 m.

| Specification | von Mises stress (N · mm ⁻²) ^a | | | | | | | | |
|---|---|----------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | Side velocity (m · s ⁻¹) | | | | Snow-depth (cm) | | | | |
| | 25 | 30 | 35 | 40 | 25 | 30 | 35 | 40 | |
| W 5 m × Eaves H 2.5 m × Roof H 4.1 m @Column 3 m × Rafter 60(Arch, L = 6200) | | | | | | | | | |
| W 5 m × Eaves H 2.5 m × Roof H 4.1 m @Column 3 m × Rafter 60(Arch, L = 6200) | | | | | | | | | |
| Gutter beam | φ48.1 × 2.1 t | Rafer and side wall | | | | | | | |
| Column | φ48.1 × 2.1 t@3000 | φ25.4 × 1.5 t@600 | | | | | | | |
| Cross beam | φ48.1 × 2.1 t@3000 | 126.0 | 180.0 | 243.0 | 317.0 | 120.0 | 141.0 | 162.0 | 183.0 |
| Cross-beam strut | - | | | | | | | | |
| Internal foothold | φ48.1 × 2.1 t | | | | | | | | |
| Cross-beam bracing | φ48.1 × 2.1 t | Rafter and side wall | | | | | | | |
| Roof purlin(center) | φ25.4 × 1.5 t | φ31.8 × 1.5 t@600 | | | | | | | |
| Roof purlin(others) | φ25.4 × 1.5 t/4ea | 85.3 | 121.0 | 164.0 | 213.0 | 114.0 | 133.0 | 152.0 | 172.0 |
| Side purlin | φ25.4 × 1.5 t | | | | | | | | |
| Fore-end post | φ48.1 × 2.1 t/4ea | | | | | | | | |
| Fore-end crossing | φ25.4 × 1.5 t | | | | | | | | |

^aValue at a uniform mesh size of 50mm, [stress]: Range of stability, [stress]: Range of unstableness

꼭부보, 서까래 및 지붕가로대 순인 것으로 나타났으며 5m의 경우에도 유사한 결과를 보였다. 반면 내부발판에 걸리는 응력은 다른 부재에서보다 상대적으로 작게 나타났다. 이는 구조 보강에 차지하는 비율이 작음을 의미하는 것이나 내부발판은 하우스 시공 시 작업 편의성을 제공할 수 있고, 중방브레싱은 하우스의 전체적인 비틀어짐을 방지하는 데 어느 정도 기여하고 있는 측면이 있을 수 있어 구조 안전성만으로 설치유무 필요성을 판단하기에는 어려울 것으로 판단된다.

2. 지붕높이 1.6m(아치형)의 최적 파이프 규격

지붕높이가 1.6m이고 지붕형태가 아치형인 비가림하우스의 구조 안전 범위는 서까래 φ25.4×1.5t@600의 경우 안전풍속 30m·s⁻¹, 안전적설심 35cm인 것으로 분석되었

으며 서까래 φ31.8×1.5t@600에서는 안전풍속 35m·s⁻¹, 안전적설심 40cm인 것으로 나타났다(Table 7). 즉, 안전풍속 35m·s⁻¹와 안전적설심 40cm을 갖는 파이프 규격은 서까래 φ31.8×1.5t@600, 방풍벽파이프 φ31.8×1.5t@600 이었으며 안전풍속 30m·s⁻¹와 안전적설심 35cm을 갖는 파이프 규격은 서까래 φ25.4×1.5t @600, 방풍벽파이프 φ25.4×1.5t@600인 것으로 나타났다(Table 8).

3. 지붕높이 1.8m(복숭아형)의 최적 파이프 규격

지붕높이가 1.8m이고 지붕형태가 복숭아형인 비가림하우스의 구조 안전 범위는 서까래 φ25.4×1.5t@600의 경우 안전풍속 30m·s⁻¹, 안전적설심 35cm인 것으로 분석되었으며 서까래 규격 φ31.8×1.5t@600에서는 안전풍속 35m·s⁻¹, 안전적설심 40cm인 것으로 나타났

대림계 포도 천창개폐형 비가림하우스의 최적 파이프 규격

Table 8. The optimum specification of pipes and its structural stability of the greenhouse.

| W × Eaves H × Roof H @Column × Rafter | Structural stability Specification of pipes | | Safe velocity and snow-depth (von Mises stress, N · mm ⁻²) | | |
|---|--|-------------------|---|-------------------------|---------------------|
| | | | Side velocity | Fore-end velocity | snow-depth |
| 5 m × 2.5 m × 4.1 m @3 m × 60 cm (Peach, L = 6,200) | Rafter | φ31.8 × 1.5 t@600 | | | |
| | Side wall | φ31.8 × 1.5 t@600 | 35 m · s ⁻¹ | 35 m · s ^{-1s} | 40 cm |
| | Roof purlin(center) | φ31.8 × 1.5 t | (163.0@Side wall) | (146.0@Fore-end post) | (173.0@Gutter beam) |
| | Fore-end post | φ59.9 × 2.1 t/4ea | | | |
| | Rafter | φ25.4 × 1.5 t@600 | | | |
| | Side wall | φ25.4 × 1.5 t@600 | 30 m · s ⁻¹ | 30 m · s ⁻¹ | 35 cm |
| | Roof purlin(center) | φ25.4 × 1.5 t | (179.0@Side wall) | (161.0@Fore-end post) | (166.0@Gutter beam) |
| Fore-end post | φ48.1 × 2.1 t/4ea | | | | |

Table 9. Characteristics of structural stability according to loads in rain-sheltering greenhouse with a peach-shaped roof height of 1.8m.

| Specification | | von Mises stress (N · mm ⁻²) ^z | | | | | | | |
|---|--------------------|---|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | Side velocity (m · s ⁻¹) | | | | Snow-depth (cm) | | | |
| W 5 m × Eaves H 2.5 m × Roof H 4.3 m @Column 3 m × Rafter 60 (peach, L = 6200) | | 25 | 30 | 35 | 40 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| Gutter beam | φ48.1 × 2.1 t | | | | | | | | |
| Column | φ48.1 × 2.1 t@3000 | | | | | | | | |
| Cross beam | φ48.1 × 2.1 t@3000 | 125.0 | 179.0 | 242.0 | 315.0 | 119.0 | 140.0 | 161.0 | 182.0 |
| Cross-beam strut | - | | | | | | | | |
| Internal foothold | φ48.1 × 2.1 t | | | | | | | | |
| Cross-beam bracing | φ48.1 × 2.1 t | | | | | | | | |
| Roof purlin(center) | φ25.4 × 1.5 t | | | | | | | | |
| Roof purlin(others) | φ25.4 × 1.5 t/4ea | | | | | | | | |
| Side purlin | φ25.4 × 1.5 t | 84.7 | 121.0 | 163.0 | 212.0 | 113.0 | 132.0 | 151.0 | 171.0 |
| Fore-end post | φ48.1 × 2.1 t/4ea | | | | | | | | |
| Fore-end crossing | φ25.4 × 1.5 t | | | | | | | | |

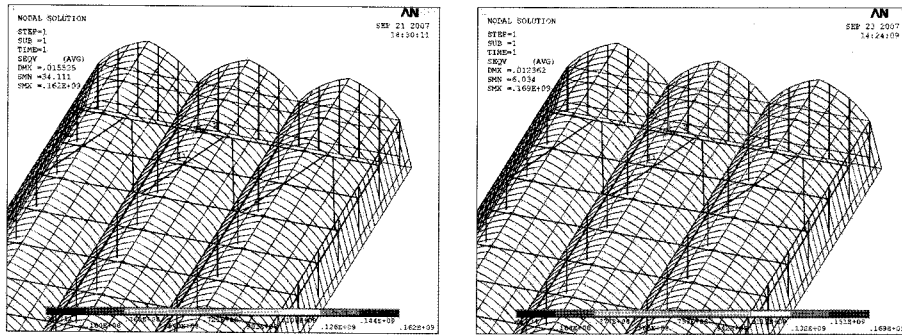
^zValue at a uniform mesh size of 50mm, stress: Range of stability, stress: Range of unstableness

Table 10. The optimum specification of pipes and its structural stability of the greenhouse.

| W × Eaves H × Roof H @Column × Rafter | Structural stability Specification of pipes | | Safe velocity and snow-depth (von Mises stress, N · mm ⁻²) | | |
|--|--|-------------------|---|------------------------|---------------------|
| | | | Side velocity | Fore-end velocity | snow-depth |
| 5 m × 2.5 m × 4.3 m @3 m × 60 (Peach, L = 6,200) | Rafter | φ31.8 × 1.5 t@600 | | | |
| | Side wall | φ31.8 × 1.5 t@600 | 35 m · s ⁻¹ | 35 m · s ⁻¹ | 40 cm |
| | Roof purlin(center) | φ31.8 × 1.5 t | (162.0@Side wall) | (151.0@Fore-end post) | (169.0@Gutter beam) |
| | Fore-end post | φ59.9 × 2.1 t/4ea | | | |
| | Rafter | φ25.4 × 1.5 t@600 | | | |
| | Side wall | φ25.4 × 1.5 t@600 | 30 m · s ⁻¹ | 30 m · s ⁻¹ | 35 cm |
| | Roof purlin(center) | φ25.4 × 1.5 t | (178.0@Side wall) | (167.0@Fore-end post) | (165.0@Gutter beam) |
| Fore-end post | φ48.1 × 2.1 t/4ea | | | | |

다(Table 9). 안전풍속 35m · s⁻¹와 안전적설심 40cm을 갖는 파이프 규격은 서까래 φ31.8 × 1.5t@600, 방풍벽 파이프 φ31.8 × 1.5t@600이며, 안전풍속 30m · s⁻¹와 안

전적설심 35cm을 갖는 파이프 규격은 서까래 φ25.4 × 1.5t@600, 방풍벽파이프 φ25.4 × 1.5t@600인 것으로 나타났다(Table 10). Fig. 4는 지붕높이 1.8m(복



(a) Side wind velocity of $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

(b) Snow-depth of 40 cm

Fig. 4. Distribution of stress on pipes in rain-sheltering greenhouse with a width of 5 m.

Table 11. Von Mises stress on pipes according to a net height of h.

| Net height h | W × Eaves H × Roof H @Column × Rafter | von Mises stress ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$) | | | | | |
|-----------------|--|--|--|---------------------------|--|--|-----------------------------|
| | | Safe velocity | | Safe snow- depth 40 cm | Safe velocity | | Safe snow-depth 35 cm |
| | | Side $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ | Fore-end $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ | | Side $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ | Fore-end $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ | |
| 70 cm | 5 m × 2.5 m × 4.3 m @ 3 m × 60 cm (Peach, L = 6200) | 162.0 (Stable) | 151.0 (Stable) | 169.0 (Stable) | 178.0 (Stable) | 167.0 (Stable) | 165.0 (Stable) |
| 90 cm | 5 m × 2.7 m × 4.5 m @ 3 m × 60 cm (Peach, L = 6200) | 195.0 (Unstable) | 170.0 (Stable) | 170.0 (Stable) | 213.0 (Unstable) | 188.0 (Unstable) | 165.0 (Stable) |
| 110 cm | 5 m × 2.9 m × 4.7 m @ 3 m × 60 cm (Peach, L = 6200) | 231.0 (Unstable) | 191.0 (Unstable) | 170.0 (Stable) | 253.0 (Unstable) | 210.0 (Unstable) | 166.0 (Stable) |

Table 12. The optimum specification of pipes and its structural stability of the greenhouse with heights of 90 cm and 110 cm, respectively.

| W × Eaves H × Roof H @Column × Rafter | Structural stability Specification of pipes | Safe velocity and snow-depth (von Mises stress, $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$) | | |
|--|--|--|------------------------------------|---------------------|
| | | Side velocity | Fore-end velocity | snow-depth |
| 5 m × 2.7 m × 4.5 m @3 m × 60 (Peach, L = 6,200) | Side wall | $\phi 31.8 \times 1.7 \text{ t} @ 600$ | $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ | 40 cm |
| | Fore-end post | $\phi 59.9 \times 2.1 \text{ t} / 4\text{ea}$ | (177.0@Side wall) | (170.0@Gutter beam) |
| | Side wall | $\phi 25.4 \times 1.7 \text{ t} @ 600,$ $\phi 31.8 \times 1.5 \text{ t} @ 3000$ | $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ | 35 cm |
| | Fore-end post | $\phi 48.1 \times 2.3 \text{ t} / 4\text{ea}$ | (181.0@Side wall) | (165.0@Gutter beam) |
| 5 m × 2.9 m × 4.7 m @3 m × 60 (Peach, L = 6,200) | Side wall | $\phi 33.5 \times 2.1 \text{ t} @ 600$ | $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ | 40 cm |
| | Fore-end post | $\phi 59.9 \times 2.3 \text{ t} / 4\text{ea}$ | (166.0@Side wall) | (170.0@Gutter beam) |
| | Side wall | $\phi 31.8 \times 1.5 \text{ t} @ 600$ | $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ | 35 cm |
| | Fore-end post | $\phi 59.9 \times 2.1 \text{ t} / 4\text{ea}$ | (173.0@Side wall) | (163.0@Gutter beam) |

승아형)인 천창개폐형 5m 비가림하우스 최적 파이프 규격에 대한 측면풍속 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 와 적설심 40cm에서의 파이프 응력 분포도를 나타낸 것이다.

4. 처마높이에 따른 최적 파이프 규격

지붕높이 1.8m(복승아형)인 천창개폐형 5m 비가림

하우스 규격에 대하여 덕면으로부터 곡부보까지의 높이(h)를 70cm에서 90cm와 110cm로 각각 높였을 때의 구조적 안전성 분석 결과, 적설하중 부가 조건에서 처마높이를 높임에 따라 파이프에 걸리는 최대응력은 거의 차이가 없는 것으로 나타났으나 풍하중 부가 조건에서는 처마높이를 높임에 따라 최대응력이 급격히

커져 처마높이에 따라 구조적 안전성이 상당히 취약해지는 것으로 분석되었다(Table 11). 이는 처마높이가 안전적설심 보다는 안전풍속에 직접적인 영향을 준다는 것을 의미하는 것으로, 처마 높임 시 구조적 안전성을 높이기 위해서는 측면풍속에 대하여 방풍벽파이프(측벽서까래)를, 전후면 풍속에 대해서는 마구리기둥의 규격을 각각 강화하여야 하는 것으로 분석되었다. 덕면으로부터 곡부보까지의 높이를 90cm로 높였을 경우, $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (안전풍속)-40cm(안전적설심)에서는 방풍벽파이프를 $\phi 31.8\times 1.7\text{t}@600$ 으로, $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ -35cm에서는 방풍벽파이프를 $\phi 25.4\times 1.7\text{t}@600$ 과 $\phi 31.8\times 1.5\text{t}@3000$ 을 혼용하여야 하는 것으로 나타났으며, 110cm로 높였을 경우, $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ -40cm에서는 $\phi 33.5\times 2.1\text{t}@600$ 으로, $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ -35cm에서는 $\phi 31.8\times 1.5\text{t}@600$ 으로 방풍벽파이프를 각각 강화하여야 하는 것으로 분석되었다(Table 12).

적 요

본 연구는 기존 비닐하우스 아연도 강관을 사용한 하우스 폭 3.6m와 5m 천창개폐형 대립계 포도 비가림하우스에 대한 구조적 안전성을 검토하고, 인장강도 $400\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ (SGH400 등) 이상의 파이프를 사용하는 조건에서 하우스 폭 5m인 천창개폐형 대립계 포도 비가림하우스에 대하여 구조적으로 안전한 최적 파이프 규격을 제시하고자 수행하였다. 주기둥 3m×서까래 60cm인 천창개폐형 3.6m 비가림하우스의 경우, 적설심 35cm에서는 구조적으로 안전한 것으로 분석되었으나 측면 및 전후면 풍속 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서는 불안정한 것으로 나타났으며, 동일 주기둥과 서까래 간격을 갖는 천창개폐형 5m 비가림하우스의 경우에는 적설심 35와 풍속 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 모두 불안전하여 구조보강이 필요한 것으로 분석되었다. 그리고 동일 주기둥과 서까래 간격을 가지나 인장강도 $400\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ 이상을 갖는 파이프를 사용하는 조건에서 천창개폐형 5m 비가림하우스의 최적 파이프 규격은 지붕높이 1.6m(아치형)와 지붕높이 1.8m(복숭아형)에 대하여 동일하게 두 경우로 규격화할 수 있었다. 즉, 안전풍속 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 안전적

설심 40cm에서 구조적으로 안전한 서까래 규격은 $\phi 31.8\times 1.5\text{t}@600$ 이었으며, 안전풍속 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 안전적설심 35cm에서는 서까래 $\phi 25.4\times 1.5\text{t}@600$ 인 것으로 분석되었다. 덕면으로부터 곡부보까지의 높이는 안전적설심보다는 안전풍속에 직접적인 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 처마를 높임에 따라 측면풍속에 대해서는 방풍벽파이프(측벽서까래)를, 전후면 풍속에 대해서는 마구리기둥의 규격을 강화하여야 하는 것으로 분석되었다.

주제어 : ANSYS, 구조 안전성, 대립계 포도, 비가림 하우스

이용문헌

1. Lee, S.K. et al. 1995. Greenhouse structural requirements. Rural Development Corporation of Korea (in Korean).
2. Park, S.H., T.B. Lee, M.G. Park, and C.S. Song. 2000. Development of rain-sheltering facility for large-grain grapevine cultivation. Cheonan Agricultural Technical Center. p. 5-19 (in Korean).
3. Yum, S.H., H.J. Kim, H. Chun, S.Y. Lee, N.G. Yun, Y.I. Kang, and D.H. Lee. 2005. Analysis of structural stability in a rain-protecting structure of the Deok type for grapevine cultivation. Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery, 2005 Winter Conference 10(1):333-336 (in Korean).
4. Yum, S.H., H.J. Kim, H. Chun, S.Y. Lee, Y.I. Kang, N.G. Yun, and J.H. Jeong. 2005. Analysis on the effect of structural reinforcement on the components of a non-heating greenhouse in Jeju using ANSYS/CFX. Proceedings of the International Conference on Research Highlights and Vanguard Technology on Environmental Engineering in Agricultural Systems. p. 339-344.
5. Yum, S.H., H.J. Kim, H. Chun, S.Y. Lee, Y.J. Choi, and D.H. Lee. 2006. Analysis of structural stability of single plastic greenhouse using CFX. 2006 Korea ANSYS CFX User's Conference. p. 125-130 (in Korean).
6. Yum, S.H., H.J. Kim, S.Y. Lee, Y.I. Kang, N.G. Yun, and Y.C. Lee. 2004. The actual state and computational thermo-fluid analysis according to structural shapes in rain-protecting greenhouses for grapevine cultivation. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment Control, 2004 Spring Conference. 13(1):155-158 (in Korean).