

유한요소법(FEM)에 의한 하우스용 운반장치 작업시 아치형 플라스틱하우스의 구조 안전성 분석

Analysis of Structural Safety for Arch typed Plastic House While working the Carrier of hanged monorail by FEM

전종길* 윤진하* 김경원* 이인복*
 정회원 정회원 정회원 정회원
 J. G. Jeun J. H. Yun K. W. Kim I. B. Lee

1. 서론

비닐하우스용 운반장치란 일반적으로 농가에 보급되고 있는 비닐하우스의 중앙 상부 도리재에 이송레일을 설치하고, 운반장치 상단에 부착된 두 개의 롤러를 이송레일에 걸쳐 수확된 농산물이나 농자재를 운반하는데 사용되는 운반기구를 의미한다.

본 연구에서는 비닐하우스내의 작업에 사용할 목적으로 개발된 운반장치를 아치형 단동하우스에 설치할 경우에 구조해석을 실시하여 운반장치 사용시 하우스의 구조안전성을 분석하였다. 이를 위해 농가 현지 실측 및 해석용 소프트웨어를 이용한 분석을 수행하였는데, 농가 현지조사를 통해서 운반장치의 적재량에 따른 하우스의 골조 처짐량을 측정하였으며, 운반장치에 구조물의 안전성 분석을 위해서는 운반장치에 최대하중 작용시, 적설하중, 풍하중 작용시의 구조적 안전성을 분석하였다. 그리하여 비닐하우스용 운반장치의 사용이나 장치의 설계에 있어 기초적인 자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 운반장치의 개요

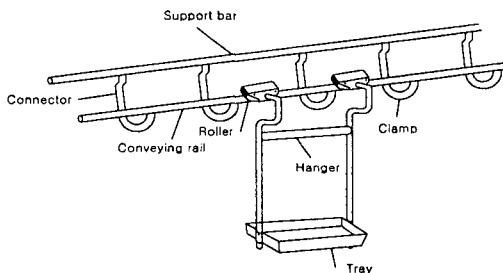


Fig. 1 Diagram of a carrier for plastic house

Table 1 Specification of a carrier for an arch type plastic house

Item		Specification
Tray	Length	50cm(Under), 90cm(Upper)
	Width	46cm(Under), 70cm(Upper)
	Height	25cm
	Material	Polyethylene
Weight of carrier		10kg

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

비닐하우스용 운반장치는 주로 단동하우스에서 농산물이나 농자재를 운반하는 데 사용되는 운반장치로서, Fig. 1과 Table 1은 운반장치의 개략도와 제원이며, 비닐하우스용 운반장치는 트레이, 행거, 롤러, 이송레일, 지지바, 연결대, 격쇠 등으로 구성된다.

나. 구조해석 방법

(1) 분석방법

비닐하우스용 운반장치에 시설원예용 농산물이나 농자재 등을 적재하여 운반할 때 하우스의 구조물에 미치는 영향을 분석하여 그 안전성 여부를 검토하기 위하여, 아치형 단동 플라스틱하우스에 대하여 구조해석을 실시하였다.

구조해석은 구조해석용 소프트웨어인 Ansys 5.6.1을 사용하여 유한요소법(FEM)에 의한 3차원 구조해석을 실시하였다.

구조 안전성 분석방법은 하우스가 받을 수 있는 안전풍속 및 안전적설심을 구한 후 하우스 설치지역의 설계풍속 및 설계적설심과 비교하여 안전성을 판단하는 방법으로 하였다.

(2) 분석을 위한 기본가정

가. 표준내구년수는 10년으로 하고, 확률재현 기간은 15년으로 한다.

나. 국부 풍하중 강도에 대한 고려는 제외한다.

다. 부재의 조립에 따른 단면감소는 무시한다.

라. 안전율은 실제 설계시 필요에 따라 고려하도록 하며, 구조분석에서는 고려하지 않는다.

마. 강풍, 폭설시에는 작업을 하지 않는 것으로 가정하여, 강풍, 폭설시에는 적재하중이 없는 것으로 한다.

바. 구조의 안전성 기준은 각 부재의 최대응력과 허용응력을 기준으로 한다.

사. 적설하중계수 및 풍력계수는 온실구조 설계기준(농림부, 1999)에 따른다.

(3) 온실의 구조해석시 고려해야 할 하중

운반장치의 하중을 고려한 비닐하우스의 구조 안전성 분석에서 분석을 위해 고려한 하중 조건은 다음과 같다.

가. 고정하중은 표준설계도에 따라 각 부재별로 고려하여 계산한다.

나. 설비하중은 운반장치의 하중만을 고려하는데, 여기에서는 10kg을 적용한다.

다. 작물하중과 지진하중에 대한 영향은 분석에서 제외한다.

라. 설하중은 경사 및 곡면지붕면의 단위적설하중 계산기준에 준하여 다음 식(1)에 의하여 계산한다.

$$S(\text{kg/m}^2) = 0.61 \times S_g \times C_e \times C_t \times C_s \text{----- (1)}$$

여기서,

S_g : 기준 지상적설하중(kg/m²) 으로 30kg/m² 적용

C_e : 노출계수로서 0.8 적용

C_t : 온도계수로서 1.2(비난방 하우스) 적용

C_s : 경사도계수로서 0.8(비난방 하우스) 적용

마. 하우스의 지붕면에 작용하는 풍하중은 식(2), 밀폐형 하우스 지붕면에 작용하는 설계 풍압력은 식(3)으로 계산하였다.

$$W_r = p_r \times A \text{ ----- (2)}$$

$$p_r = q_h \times G \times (C_{pe} - C_{pi}) \text{ ----- (3)}$$

여기서,

W_r : 하우스의 지붕면에 작용하는 풍하중(kg)

p_r : 하우스의 지붕골조용 설계풍압력(kg/m²)

A : 유효 수압면적(m²)

q_h : 온실지붕면 평균높이 h에 대한 설계속도압(kg/m²)

G : 가스트 계수(Gust factor)

C_{pe} : 외압계수

C_{pi} : 내압계수이다.

(4) 적용하중

분석을 위한 구조물예의 적용하중은 ① 운반장치하중+적재하중 ② 운반장치하중+설하중 ③ 운반장치하중+설하중으로 구분하여 작용하는 것으로 하였다.

그리고, 일반구조용 강관의 허용응력은 인장응력, 압축응력, 휨응력 모두 단기 허용응력은 2,400kg/cm²으로 하고, 장기 허용응력은 1,600kg/cm²으로 하며, 운반장치에 의한 작업은 단기 하중으로 간주하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 하우스 운반장치에 최대적재하중 작용시 안전성 검토

운반장치의 최대적재하중(80kg) 작용시의 구조재에 발생하는 응력을 분석하기 위하여 서까래, 도리 및 좌우측 기둥 등 하중을 많이 받는 부재를 선정하여 구조분석한 결과, 아치형 하우스의 경우는 Table 2에서의 분석결과와 같이 부재의 최대응력은 서까래에서 나타났는데, 그 크기는 2,065kg/cm²였으며 그 다음으로 도리(1,224kg/cm²), 좌우측 기둥(1,185kg/cm²)의 순으로 하중을 받는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 운반장치에 최대하중 작용시 아치형 하우스 구조재의 발생 응력값을 나타낸 응력도로서 응력의 단위는 kg/mm²이다. 그리고 기호 SMX는 최대응력값을 나타내고, 최대응력도에서는 응력크기별로 9단계로 구분하여 응력분포를 도해적으로 표현하고 있으며, 기호

DMX는 최대 변형량을 나타내는 것이다.

Table 2 Occurring stress on the load of maximum weight with a carrier for an arch type plastic house

Frame type	Size and Span(mm)	Stress (kg/cm ²)
Rafter	ø 25×1.5t, @900	2,065
Left column	ø 25×1.5t, @900	1,185
Right column	ø 25×1.5t, @900	1,185
Purlin	ø 25×1.5t, @2,875	1,224

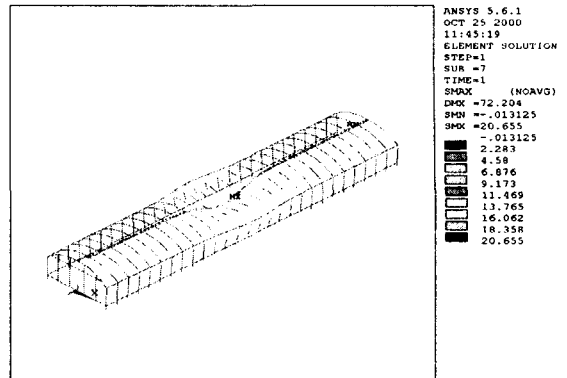


Fig. 2 Maximum stress map of structural frame on the load of maximum weight with a carrier

나. 운반장치 설치시 대상하우스의 안전적설심

하우스에 운반장치 설치시 설하중 작용에 대한 안전적설심을 구하기 위하여 적설심을 최초 10cm부터 1cm 간격으로 적설하중을 증가하면서 적설하중에 대한 구조분석을 실시한 결과, 안전적설심은 Table 3과 같이 30cm로 나타났다.

아치형 하우스의 경우는 최대 안전적설심 작용시 부재의 최대응력이 서까래에서 나타났는데, Table 4에서와 같이 그 값은 1,594kg/cm² 였으며, 그 다음으로 양쪽 기둥(1,581kg/cm²)에서 발생하였으며 도리의 최대응력이 915kgf/cm²로 가장 작게 나타났다. 이 때, 각 부재에 발생하는 응력은 부재의 허용최대응력(2,400kg/cm²) 보다 모두 작은 값을 나타내었다.

Fig. 3~4은 아치형 하우스의 최대 안전적설심인 30cm 적설시 하중 분포도와 유한요소법에 의해 분석된 응력도를 나타낸 것이다.

Table 3 Safety snow depth in arch type plastic house

Frame type	Safety snow depth in materials(cm)	Safety snow depth(cm)
Rafter	30	30
Left column	30	
Right column	30	
Purlin	Over 35	

Table 4 Occurring stress in the load of maximum snow depth

Frame type	Size and Span(mm)	Stress (kg/cm ²)
Rafter	ø 25×1.5t, @900	1,594
Left column	ø 25×1.5t, @900	1,581
Right column	ø 25×1.5t, @900	1,581
Purlin	ø 25×1.5t, @2,875	663

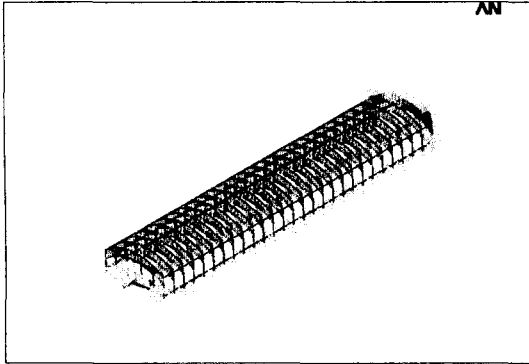


Fig. 3 Load distribution map in the load of maximum snow depth in an arch type plastic house

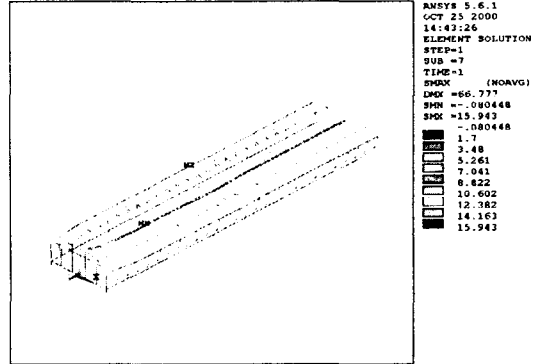


Fig. 4 Maximum stress map of structural frame acting on the load of maximum snow depth

다. 운반장치 설치시 대상하우스의 안전풍속

하우스에 운반장치 설치시 풍하중 작용에 대한 안전풍속을 구하기 위하여 풍속을 최초 10m부터 1m 간격으로 풍하중을 증가하면서 풍하중에 대한 구조분석을 실시한 결과, 안전풍속은 Table 5와 같이 21m/s로 나타났다.

대상하우스의 운반장치 설치시 안전풍속은 Table 5와 같으며, Table 6은 아치형 하우스의 최대 안전풍속 작용시의 부재의 발생 응력값을 나타내고 있다. Fig. 5~6은 풍속 21m/s의 풍하중시 아치형 하우스의 하중 분포도와 응력도이다.

풍하중에 의해 발생하는 응력이 양쪽 기둥의 경우 서로 큰 차이를 나타내나 바람이 부는 방향은 일정하지 않으므로 풍하중을 받는 쪽 기둥과 반대쪽 기둥의 응력은 같다고 해석하는 것이 바람직할 것이다.

아치형 하우스의 경우는 최대 안전풍속 작용시 부재의 최대응력이 바람을 받는 쪽 기둥에서 나타났는데 그 크기는 2,306kg/cm² 였으며, 그 다음으로 반대편 기둥(1,335kg/cm²), 서까래(1,140kg/cm²), 도리(386kg/cm²)의 순으로 하중을 받는 것으로 나타났다.

Table 5 Safety wind velocity in plastic house

Frame type	Safety wind velocity in materials(m/s)	Safety wind velocity (m/s)
Rafter	42	21
Left column	21	
Right column	21	
Purlin	Over 40	

Table 6 Occurring stress in case of acting on the load of maximum wind velocity

Frame type	Size and Span(mm)	Stress (kg/cm ²)
Rafter	ø 25×1.5t,@900	1,140
Left column	ø 25×1.5t,@900	2,306
Right column	ø 25×1.5t,@900	1,335
Purlin	ø 25×1.5t,@2,875	386

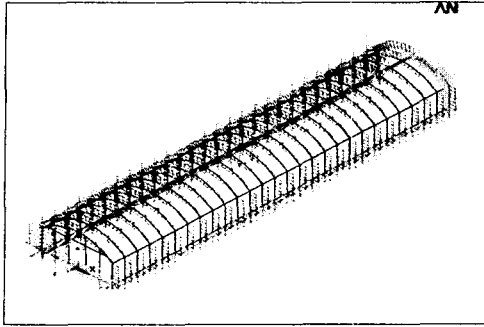


Fig. 5 Load distribution map in the load of maximum wind velocity

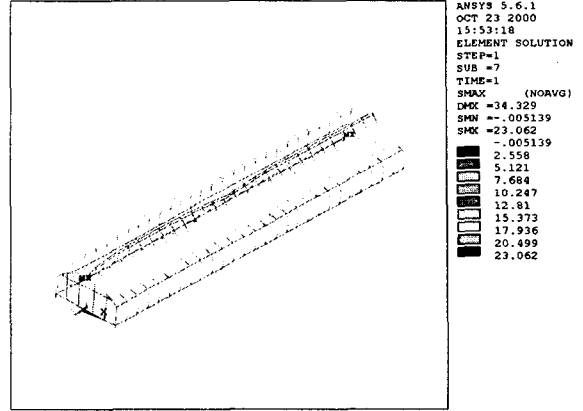


Fig. 6 Maximum stress map of structural frame in the load of maximum wind velocity

4. 결론 및 요약

시설내에서 농산물이나 농자재를 효과적으로 운반할 수 있도록 개발되어 보급되고 있는 비닐하우스용 운반장치를 하우스에 설치하여 사용할 경우에 하우스의 구조적인 안전성을 검토하기 위하여 변형을 측정하고 구조해석을 실시하였다. 구조해석은 현재 농가에 많이 보급되어 있는 아치형의 플라스틱 하우스에 대하여 최대하중 작용시, 적설하중, 풍하중 작용시의 구조 안전성을 3차원 해석을 통하여 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 비닐하우스용 운반장치로 최대 적재가능 하중 80kg을 운반하는 경우 부재의 허용응력 측면에서는 구조적으로 안전한 것으로 나타났으나, 부재의 변형 측면에서는 대상 하우스가 안전하지 못한 것으로 나타나 하우스 설계시 허용응력 및 부재의 변형을 반드시 함께 고려해야 하는 것으로 나타났다.

나. 대상 하우스에 개발된 운반장치를 설치하여 사용하는 경우, 안전적설심은 30cm인 것으로 분석되었고, 안전풍속은 21m/s로 분석되었다. 그러나, 이 경우에도 부재의 허용응력 측면에서는 안전하지만 부재의 변형 측면에서는 안전하지 못한 것으로 나타났다.

다. 하우스 설계용 안전적설심이 30cm 이상이거나 안전풍속이 21m/s 이상인 지역에 설치된 아치형 단독하우스에 분석한 운반장치를 사용할 경우에는 별도의 구조보강이 필요한 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 농림부. 1999. 온실구조설계기준 및 해설
2. Nelson, G. L., H. B. Manbeck and N. F. Meador. 1988. Light agricultural and industrial structures. Van Nostrand Reinhold Co. : 147-161.
3. 立花一雄, 羽倉弘人, 高橋和彦. 1978. 施設園藝ハウスの設計と施工. オム社 : 19-41.
4. 日本施設園藝協會. 1981. 園藝用施設安全構造基準(暫定基準). 日本施設園藝協會 : 12-17.