Journal of Bio-Environment Control, 17(3):197-203, (2008)

착색단고추 재배용 1-2W형 개조온실 구조의 안정성 검토

서원명[1] · 최만권[2] · 배용한[2] · 이종원[3] · 윤용철[1]*
[1]경상대학교 지역환경기반공학과(농업생명과학연구원), [2]경상대학교 대학원, [3]경북대학교 농업토목공학과

Structural Safety Analysis of a Modified 1-2W Type Greenhouse Enhanced for Culturing Paprika

Won-Myung Suh[1], Man-Kwon Choi[2], Yong-Han Bae[2], Jong-Won Lee[3], and Yong-Cheol Yoon[1]*
[1]Dept. of Agricultural Eng., Gyeongsang National Univ.(Institute of Agriculture and Life Science, GNU), Jinju 660-701, Korea
[2]Graduate school, Gyeongsang National Univ., Jinju 660-701, Korea
[3]Dept. of Agricultural civil Eng., Kyungpook National Univ., Deagu 701-701, Korea

Abstract. This study was performed to check the structural safety of modified 1-2W Greenhouses to be utilized for growing Paprika. This type of greenhouse was derived from being remodeled by enhancing the column height of conventional 1-2W type greenhouses. According to the results of structural analysis performed by SAP-2000, there was not significant change in critical snow depth in spite of increasing the column height of 1.2 m by welding. But the critical wind velocities were shown to be 26.0~41.0 m/s, which were 3~18% lower wind velocities compared with those critical velocities estimated for typical type of 1-2W greenhouse. Under the wind loads, those maximum section forces such as shear force, axial force, and bending moment, together with the deformed frame shape of strained greenhouse, were almost similar in both typical type and modified type. Maximum bending moment of column was found at eave's height of column on windward side. Under the snow loads, those maximum section forces such as shear force, axial force, and bending moment, together with the deformed frame shape of strained greenhouse, were almost similar in both typical type and modified type. Maximum section forces except axial force was found at eave's height of column. Maximum axial force was found at inner column. Soil bearing capacity together with the total foundation resistance against wind upheaval was found to be consistently safe enough to resist to both wind load and snow load.

Key words : buckling, column of 1-2W type greenhouse, snow depth, structural analysis, wind velocity

서 론

국내 시설원예 면적은 1990년 약 25,450ha에서 2000년에는 약 52,189ha로서 10년 사이에 2배 이상 증가하였으며, 시설재배 기술 수준도 한 단계 향상되는 전기를 맞이하였다. 2006년 말 현재 시설원예 면적은 약 51,912ha로서 채소류 및 화훼류가 각각 약 48,680ha 및 3,232ha를 차지하고 있으며, 피복재 유형별로는 플라스틱 온실이 49,934ha로 96.2%, 유리온실이 332ha로 0.6%, 경질판 온실이 315ha로 0.6%, 기타 온실이 1,331ha로 2.6%를 차지하고 있다. 또한 시설원예 면적 중 난방면적은 24%정도를 차지하고 있으며, 채소를 재배하는 플라스틱 온실면적 48,371ha중 연동형 플라스틱 온실은 5,311ha로 전체 시설면적의 10.2%를 점유하고 있는 실정이다(농림부, 2006).

(주)경남무역에 의하면 경남지역의 경우, 주요 수출 농산물은 풋고추, 착색단고추, 딸기, 오이, 배추, 단감, 키위, 백합, 장미, 국화, 사과, 배, 메론 및 김치류 등이다. 이들 중 주요 시설원예 수출 채소류는 딸기, 착색단고추, 오이 및 풋고추 등이고 화훼류도 일부 수출

*Corresponding author: ychyoon@gnu.ar.kr
Received July 9, 2008; accepted September 16, 2008

되고 있는 실정이다. 주요 농산물의 수출국은 아시아, 미주, 유럽 등 아주 다양하고 수출액 또한 년간 12,000천불 정도이다. 주요 수출 채소류인 딸기, 착색단고추, 오이 및 풋고추의 국내 전체 시설재배 면적은 '05년 말 현재 각각 7,200ha, 260ha, 5,400ha 및 5,300ha이고, 이들 중 경남이 차지하는 비율은 각각 약 34%(2,400ha), 40%(100ha), 6%(320ha) 및 37%(1,900ha)정도로써 오이를 제외하면 그 비율이 상당히 높은 편이다(농림부, 2006). 특히 이들 수출 농산물 중 착색단고추는 2004년 서부경남지역의 18개 시군을 중심으로 조사한 한 결과에 의하면, 착색단고추 재배를 희망하는 농가가 점점 증가할 것으로 조사되었다. 이와 같이 착색단고추가 차지하는 비중은 상당히 크지만, 착색단고추 전용재배시설이 전무한 실정이기 때문에 현재는 주로 측고가 상대적으로 높은 온실이나 1-2W형 온실에서 재배되고 있는 실정이다. 착색단고추의 재배특성상 측고가 낮은 온실에서 재배되면 작업성은 물론 착색단고추의 품질도 상당히 떨어지는 것이 사실이다. 따라서 착색단고추 재배 농가들은 1-2W 온실의 측고를 인위적으로 600mm, 1,200mm 또는 1,400mm까지 높이는 등 온실의 구조를 일부 개선하여 재배하고 있는 것으로 조사되었다.

이들 주요 작물들의 재배시설은 시설의 설계기준에 준하여 시공되어도 강풍이나 폭설 등의 기상이변에 의하여 연중 재해가 발생하고 있고 또한 난방비 급등으로 인하여 경영악화를 초래하고 있어 구조의 안정성 검토 및 설계의 보완은 물론 저비용 고효율 시설의 개발과 보급이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 지금까지 온실에 대한 안정성 검토는 몇 몇 연구자들에 의하여 지속적으로 연구되어왔다(Kim 등, 1995, Lee, 1995; Lee 등, 2004; 2006; Park 등, 2005; Lee 등, 2006). 그러나 기존 1-2W형 연동온실의 측고를 높인 개조형 연동온실에 대한 구조안전성을 검토한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 1-2W형 연동온실의 기본형과 개조형에 대하여 우선 구조안전성을 비교 검토하였다.

재료 및 방법

1. 구조해석을 실시한 연동비닐하우스의 형태

Fig. 1은 1-2W 기본형 온실의 기둥을 1,200mm정도 이어댄 기둥을 나타낸 것이다. Fig. 1에서 정확히 보이지는 않지만, 이어댄 기둥의 최종 처리작업으로 페인트로 처리한 것이다. 그리고 Fig. 1의 우측에 보이는 ϕ5mm 정도의 구멍은 파이프를 이어대기 할 때 보조용으로 사용한 것이지만, 이어대기 작업이 완료되면 볼트나 피스로 마감한다. Fig. 2는 실제로 현장에서 기둥을 높일 때, 사용한 단면을 나타낸 일예이고, 온실의 측고를 높이는 방법을 개략적으로 설명하면 다음과 같다. 즉 내·외측 기둥에 관계없이 이어댈 기둥을 온실의 길이 방향으로 인위적으로 5~6개 정도 먼저 절단한다. 그리고 절단한 기둥 1~2개를 대상으로 작키를 이용하여 한 번에 500~600mm 정도 들어 올린 후, 기둥의 흔들림과 용접을 용이하게 하기 위하여

Fig. 1. Columns of 1-2W type greenhouse.

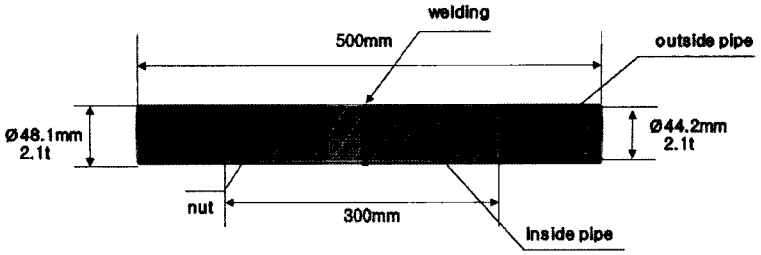

Fig. 2. Cross section of modified pipe.

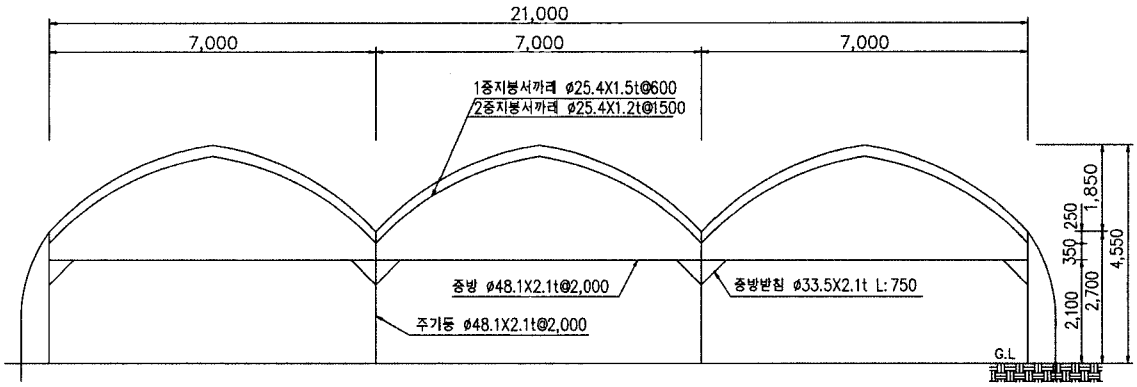

Fig. 3. Typical type of 1-2W greenhouse.

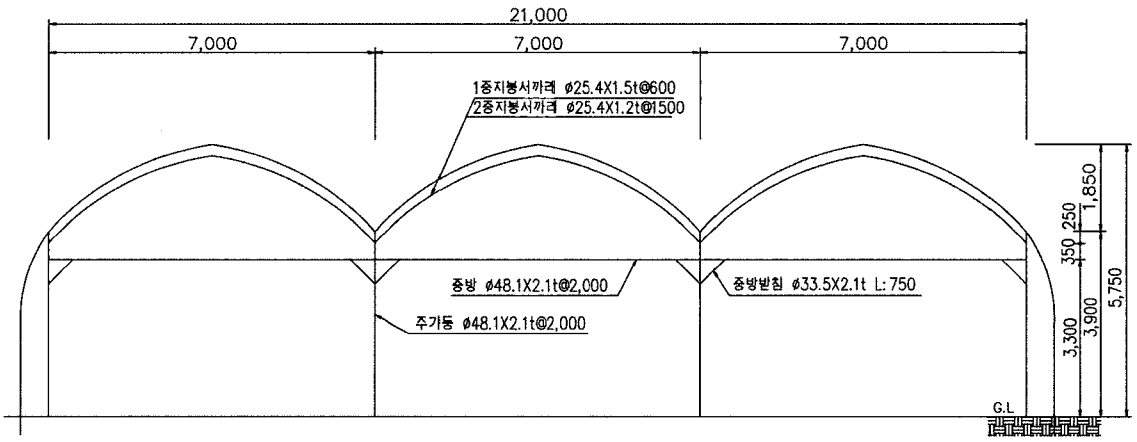

Fig. 4. Modified type of 1-2W greenhouse.

절단한 기둥 내부에 기둥보다 직경이 작은 파이프를 넣고 ϕ5mm정도의 너트나 피스로 내·외부 기둥을 고정시킨다. 그 다음 들어 올린 기둥의 개수만큼 다시 온실길이 방향으로 기둥을 절단한다. 만약, 1,200mm 정도 온실의 측고를 높이고자 할 경우는 이와 같은 방법을 2회 반복하면 된다. 시공업체에 따르면, 방풍벽이 있는 온실의 경우도 시공에는 큰 문제가 없다고 하였다. 물론 시공업체에 따라 개조방법은 조금씩 다를 수 있고, 또 작은 규모의 온실은 크레인을 이용하는 경우도 있다. 이상과 같이 온실의 측고를 인위적으로 개조할 경우, 앞의 설명에서도 알 수 있듯이 온실의 기둥을 인위적으로 들어 올릴 경우, 정확히는 알 수 없지만 온실 구조재에 어떤 형태로 든 변형이 발생하는 것은 틀림이 없는 사실이다. 본 연구에서는 정확히

Table 1. Section and mechanical property of galvanized steel.

Dia-meter (mm)	Thick-ness (mm)	Section area (cm^2)	Geometrical moment of inertia (cm^4)	Section modulus (cm^3)	Radius of gyration of area (cm)	Elastic modulus (kg/cm^2)	Yield stress (kg/cm^2)
25.4	1.2	0.9123	0.6695	0.5272	0.8567	1.73×10^6	2,400
25.4	1.5	1.1263	0.8073	0.6357	0.8467		
33.5	2.1	2.0716	2.5645	1.5311	1.1126		
48.1	2.1	3.0348	8.0437	3.3446	1.6280		

알 수 없는 온실 구조재의 변형은 재외하고 검토하였고, 이어댄 기둥의 강도문제는 추후 취급하기로 하였다.

본 연구에서는 Fig. 3과 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 1-2W 기본형과 개조형 연동온실에 대하여 구조해석을 수행하여 개조에 따른 구조의 안전성을 평가하였다. 검토 대상 온실이 위치한 지역은 진주 인근이다.

2. 구조해석 및 안전성 검토 방법

가. 허용응력 검토

3연동 비닐하우스에 대하여 단위풍하중과 단위적설하중을 적용하여 구조해석 전용 프로그램(SAP2000)으로 구조해석을 실시하여 단위하중에 따른 최대단면력을 구하여 분석모델의 안전풍속과 안전적설심으로 환산하였다. 그리고 구조해석 수행시 부재의 자중과 작물하중은 고려하지 않았으며, 비닐하우스용 아연도강관의 단면 및 역학적 성질은 Table 1과 같고, 본 연구에 사용된 비닐하우스용 아연도강관의 허용응력은 Table 1의 항복응력 2,400kg/cm²의 67%인 1,600kg/cm²으로 하였다.

구조해석을 통해 얻은 최대휨모멘트(M_{max})와 축방향력(N)을 이용하여 최대응력(σ_{max})은 식 (1)과 같이 계산하였으며, 최대응력의 부재의 허용응력을 초과하지 않는 범위내에서 구조안전성을 판별하였다.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z} \mp \frac{N}{A} \quad (1)$$

여기서, σ_{max}: 최대응력(kg/cm^2), M_{max}: 최대휨모멘트(kg·cm), Z: 부재의 단면계수(cm^3), A: 부재의 단면적(cm^2), N: 축방향력(kg)

나. 안전풍속 산정

연동온실에 단위 풍하중을 작용시켜 구조해석을 실시하여 구한 최대 단면력을 이용하여 실제 풍속이 v(m/s)이고, 골조의 간격이 S(m)인 경우의 단면력은 단위 풍하중(m/s)을 작용시켜 구한 최대 단면력에 식 (2)의 값을 곱하여 구할 수 있다. 본 연구에서는 식 (1)에서 실제 풍속(v)을 제외한 나머지 값을 상수화하여 단면력을 산정하였다.

$$0.0197v^2\sqrt{h}\times\frac{S}{100}(kg/cm) \quad (2)$$

여기서, v: 풍속(m/s), h: 온실의 평균높이(m), S: 부재 설치간격(cm)

다. 안전적설심 산정

연동온실에 단위 적설하중을 작용시켜 구조해석을 실시하여 구한 최대 단면력을 이용하여 실제 적설심이 D(cm)이고, 골조의 간격이 S(cm)인 경우의 단면력은 단위 적설심(1cm)을 작용시켜 구한 최대 단면력에 식 (3)의 값을 곱하여 구할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 식 (3)에서 실제 적설심(D)을 제외한 나머지 값을 상수화 하여 단면력을 산정하였다.

$$\rho\times D\times\alpha\times\frac{S}{100}(kg/cm) \quad (3)$$

여기서, ρ: 적설의 단위체적중량(적설심 50cm까지 1.0kg/cm·m² 적용), α: 지붕경사에 따른 적설하중 절감계수(지붕경사 20~30°일 때 0.75 적용)

라. 기둥의 좌굴 검토

적설하중과 같은 하중을 받는 기둥부재에 대해서는 좌굴 검토를 하여야 하므로 Euler의 좌굴하중 식 (4)를 이용하여 임계압축응력을 계산하였다.

$$F_e = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (4)$$

여기서, F_e: 임계압축응력(kg/cm^2), P_{cr}: 좌굴하중(kg), E: 탄성계수(kg/cm^2), I: 단면2차모멘트(cm^4), L: 기둥의 길이(cm), K: 기둥의 유효길이 계수(일단 고정, 타단

Table 2. Maximum section forces and limit wind velocity of greenhouse by unit wind load.

Members		Typical type			Modified type		
		Max. moment (kg·m)	Axial force (kg)	Limit wind velocity (m/s)	Max. moment (kg·m)	Axial force (kg)	Limit wind velocity (m/s)
1-layer rafer	Ø25.4×1.5@600	$0.0097v^2$	$0.0541v^2$	31.93	$0.0122v^2$	$0.0631v^2$	28.49
2-layer rafer	Ø25.4×1.5@1500	$0.0029v^2$	$0.0010v^2$	58.69	$0.0062v^2$	$0.0017v^2$	40.60
column	Ø48.1×2.1@2000	$0.0478v^2$	$0.2600v^2$	32.49	$0.0752v^2$	$0.3000v^2$	26.11
cross beam	Ø48.1×2.1@2000	$0.0251v^2$	$0.1700v^2$	44.52	$0.0466v^2$	$0.2100v^2$	33.07
cross beam supporter	Ø33.5×2.1@2000	$0.0097v^2$	$0.0176v^2$	49.92	$0.0151v^2$	$0.0785v^2$	39.53

힌지의 경우 설계값 0.8), r: 단면2차반경(cm), KL/r: 유효세장비

결과 및 고찰

1. 안전풍속

연동온실에 단위 풍하중을 작용시켜 구조해석을 실시하여 최대 단면력과 한계풍속을 구한 결과는 Table 2와 같으며, 1-2W 기본형의 하중재하도, 구조물 변형도 및 모멘트 단면력도는 Fig. 5~Fig. 7과 같다.

Table 1에서 알 수 있듯이 1-2W 기본형 온실의 기둥을 1.2m 높인 개조형 온실이 견딜 수 있는 각 구조재들의 한계풍속은 약 26.1m/s에서 40.6m/s로서 기본형의 한계풍속 약 31.9m/s에서 49.2m/s인 것에 비

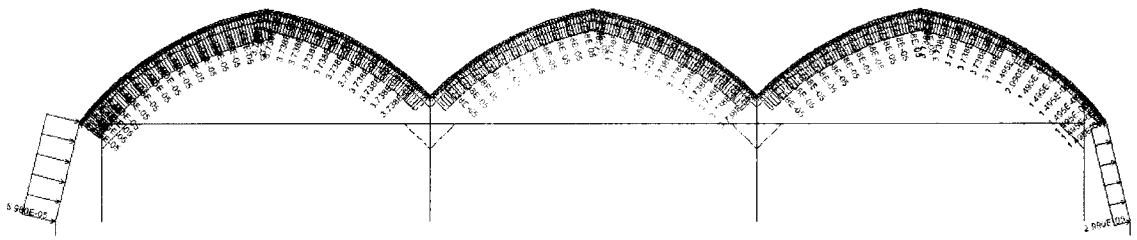

Fig. 5. Loading diagram of unit wind load of 1-2W typical type greenhouse.

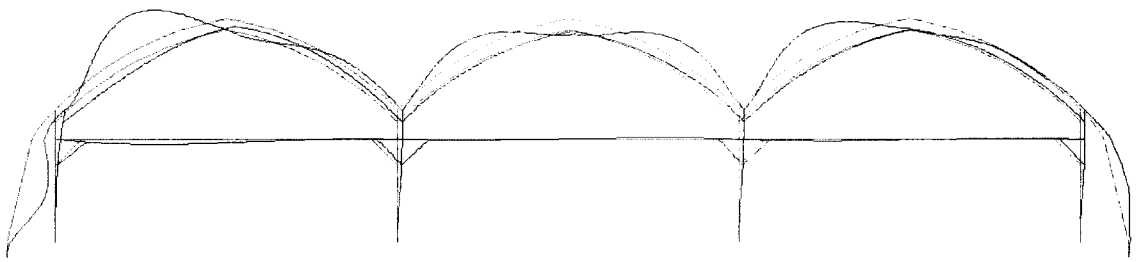

Fig. 6. Displacement diagram of 1-2W typical type greenhouse.

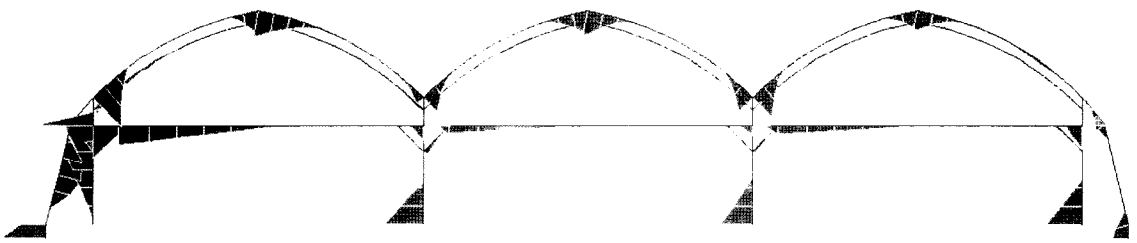

Fig. 7. Bending moment diagram of 1-2W typical type greenhouse.

Table 3. Maximum section forces and limit snow depth of greenhouse by unit snow load.

Members		Typical type			Modified type		
		Max. moment (kgf·m)	Axial force (kgf)	Limit snow depth (cm)	Max. moment (kgf·m)	Axial force (kgf)	Limit snow depth (cm)
1-layer rafer	Ø25.4×1.5@600	0.1922D	1.6877D	50.42	0.1922D	1.7177D	50.38
2-layer rafer	Ø25.4×1.5@1500	0.0827D	0.0232D	122.78	0.1053D	0.0326D	96.46
column	Ø48.1×2.1@2000	1.9000D	4.2300D	27.49	1.9520D	4.5500D	26.73
cross beam	Ø48.1×2.1@2000	1.1100D	5.0000D	45.93	1.0900D	5.3800D	46.56
cross beam supporter	Ø33.5×2.1@2000	0.3800D	2.1000D	61.93	0.4100D	1.4200D	58.26

하여 감소하였다. 따라서 풍속에 대한 구조물의 안전성이 부재에 따라 약 2.5~18.2%정도 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 구조를 개조한 경우, 자연재해가 발생하여 구조적으로 치명적인 피해를 보더라도 지자체나 정부로부터 어떠한 보상도 받을 수 없음을 고려할 때, 인위적인 구조변경은 지양하여야 할 것으로 판단된다.

단위풍하중 작용시 변형도를 비롯하여 축방향력, 전단력 및 모멘트 등의 최대 단면력은 기본형이나 개조형에 관계없이 거의 유사한 경향으로 나타났으며, 최대 휨모멘트는 풍상측의 처마높이 부위에서 발생하는 것으로 나타났다.

2. 안전적설심

1-2W형 연동온실에 단위적설하중을 작용시켜 구조해석을 실시하여 최대 단면력과 한계적설심을 구한 결과는 Table 3과 같으며, 온실의 개조 전후에 있어서 한계적설심은 한계풍속과는 달리 큰 차이를 없는 것으로 나타났다.

Table 2와 Table 3에 나타낸 개조형 온실의 경우, 온실의 구조를 개조할 때에 발생될 수 있는 온실의 변위를 전혀 고려하지 않고 검토한 결과이다. 따라서 실제로 이러한 변위까지 고려한다면, 한계풍속과 한계적설심은 이상에서 검토한 결과보다 적게 나올 가능성이 충분히 있기 때문에 이러한 점을 충분히 감안하여 온실의 구조를 개조하여야 할 것으로 판단된다. 그리고 구조해석시 작물하중과 구조물의 자중을 고려하지 않은 정적해석을 수행하였으므로 실제 구조물이 견딜 수 있는 한계풍속과 한계적설심은 계산결과보다는 다소 감소할 것으로 판단되므로 추후 구조물의 자중과 작물하중을 모두 고려한 동적해석 수행을 통해 구조물의 한계하중을 산정할 필요가 있다. 또한 기둥 이음부에 대한 하중실험을 통하여 이음부에 대한 응력을 고찰할 필요가 있으며 기둥부재의 용접시 일직선으로 부재가 형성되지 않고 휨 현상 등이 발생할 경우에는 풍속과 적설심이 온실구조물에 고르게 분포하지 않고 국부적으로 집중하중이 작용하여 실제 구조물의 한계하중보다는 감소할 우려가 있으므로 용접부재에 대한 세밀한 분석이 요구된다.

단위적설하중 작용시에도 변형도를 비롯하여 축방향력, 전단력 및 모멘트 등의 최대단면력은 기본형이나 개조형에 관계없이 거의 유사한 경향으로 나타났으며, 축방향력을 제외한 최대단면력은 처마높이 부위에서 발생하였으며, 최대축방향력은 내측기둥에서 발생하였다.

3. 기둥의 좌굴 검토

기본형 및 개조형 연동온실의 한계적설심은 Table 2 및 Table 3에서 보는 바와 같이, 각각 27.46cm, 26.43cm인 것을 알 수 있다. 이러한 한계적설심에 따른 내측기둥에 대한 좌굴하중을 검토한 결과, 기본형과 개조형의 좌굴하중은 각각 2,943kg, 1,410kg였고 압축하중은 각각 391.3kg, 377.7kg인 것으로 나타나 좌굴하중 범위에 들어 안전한 것으로 분석되었다. 그러나 기본형 및 개조형의 내측기둥 유효세장비는 각각 132.7, 191.6인 것으로 나타나, 허용응력설계법에 의한 강구조설계기준(한국강구조학회, 2003)의 세장비 제한값인 200을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

4. 기초의 안전성

기본형 및 개조형 연동온실의 기초에 대한 안전성은 Table 2 및 Table 3에서 구한 한계풍속 및 한계적설심에 대하여 휨모멘트에 대한 편심의 영향은 고려하지 않고 지내력과 인발저항력에 대해서만 검토하였다. 지반에 전달되는 축방향력은 온실의 자중 및 설하중에

의한 축방향 압축력을 비롯하여 기초의 자중 및 기초 상부의 흙중량 등으로 하였고 점성토와 사질토의 허용지내력을 각각 5t/m^2, 20t/m^{2}으로 가정하였다.

기본형과 개조형 연동온실의 한계풍속은 Table 2에서 보는 바와 같이 각각 31.9m/s, 26.1m/s로 나타나 한계풍속에 대한 기본형 및 개조형 연동온실의 기초 1개당 인발력은 각각 407kg, 272kg로 인발저항력 811kg(Kim, 2007)보다 작게 나타나 한계풍속에 대한 기초의 인발은 안전한 것으로 나타났다. 그리고 기본형과 개조형 연동온실의 한계적설심은 Table 3에서 보는 바와 같이 각각 27.46cm, 26.43cm로 나타나 한계적설심에 대한 기본형과 개조형 연동온실의 기초 최대접지압은 각각 3.33t/m^2, 3.26t/m^{2}으로 나타나 점성토의 허용지내력 범위내에 있었으며, 1-2W형 연동온실의 허용지내력 4,417kg(Kim, 2007)과 비교하여도 안전한 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 농촌진흥청 지역전략작목산학연협력사업 특화작목연구개발과제로 수행되었음.

적 요

본 연구는 1-2W형 온실의 구조를 개조하여 착색단고추 재배온실로 이용하고 있는 온실의 구조의 안정성을 검토하였다. SAP-2000에 의한 구조해석 결과 1-2W 기본형 온실의 기둥을 1.2m 높였을 경우, 구조물이 견딜 수 있는 한계적설심은 변화는 거의 없으나 한계풍속은 약 26.0~41.0m/s 정도로서 기본형에 비하여 약 3~18% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 풍하중 작용시 변형도를 비롯하여 축방향력, 전단력, 휨모멘트 등의 최대단면력은 기본형이나 개조형에 관계없이 거의 유사한 경향으로 나타났으며, 최대단면력은 풍상측의 처마높이 부위에서 발생하는 것으로 나타났다. 설하중 작용시 변형도를 비롯하여 축방향력, 전단력, 휨모멘트 등의 최대단면력은 기본형이나 개조형에 관계없이 거의 유사한 경향으로 나타났으며, 축방향력을 제외한 최대단면력은 처마높이 부위에서 발생하였으며, 최대축방향력은 내측기둥에서 발생하였다. 한계적설심에 대한 내측기둥의 좌굴은 모두 안전한 것으로 나타났으며 세장비 또한 제한값 범위내에 들어 기본형 및 개조형 모두 만족하였다. 기초의 인발저항력과 지내력은 기본형과 개조형에 관계없이 모두 안전한 것으로 나타났다.

주제어 : 기초, 구조해석, 1-2W형 온실의 기둥, 풍속, 적설심, 좌굴

인 용 문 헌

1. Kim, M. K. and S. W. Nam. 1995. Experimental studies on the structural safety of pipe-houses. J. Bio Env. 4(1):17-24(in Korean).
2. Kim, K. W. 2007. Development of technology to reduce meteorological damage in agricultural structures. Symposium on measure to reduce meteorological damage in agricultural structures. Rural Development Administration. p. 148-150(in Korean).
3. Korea Society of Steel Construction. 2003. Design basis of steel structure by allowable design method. I-21-34(in Korean).
4. Lee, S. G., 1995. Structural design of plastic greenhouses for prevention of meteorological disaster. Kyungpook National University:1-33(in Korean).
5. Lee, S. K., J. W. Lee and H. W. Lee. 2004. Analysis of wind speed and snow depth of single-span plastic greenhouse by growing corp, Proceedings of the 2004 Annual Conference. KSAE:40(in Korean).
6. Lee, S. G., H. W. Lee, J. W. Lee and C. S. Gwak. 2006. A study method for structural safety improvement of greenhouse by structural analysis, Proceedings of the 2006 Annual Conference. KSAE:21(in Korean).
7. Park, C. W., S. G. Lee, J. W. Lee and H. W. Lee. 2005. Optimum design of greenhouse structures using continuous and discrete optimum algorithms. Proceedings of the 2005 Annual Conference. KSAE:33(in Korean).
8. Ministry of Agriculture and Forestry. 2006. Production results of vegetable crop in 2005. 52-64(in Korean).
9. Ministry of Agriculture and Forestry. 2006. Cultural state of floricultural crop in 2005. 3-13(in Korean).