

2017년도 온실설계기준(안)에 따른 제주지역 비닐하우스의 내재해성 평가

Performance Evaluation of Disaster Resistance of Plastic Greenhouse in Jeju Region according to 2017 Design Code Draft

고 동 우*
Ko, Dong-Woo

Abstract

As the number of plastic greenhouses has increased in Korea, the damage from typhoons and snow has also increased. Structural design codes for a disaster-resistant plastic greenhouse have been revised over the last few decades. In particular, the revised code draft in 2017 have changed in many ways compared to the 1995 code. Nevertheless, There is no study of the effect of new design code on plastic greenhouse. Therefore, this study evaluated the safety of plastic greenhouse against wind load according to 1995 and 2017 codes for type 1 houses, which is most commonly built in Jeju, through comparing the analytical results of plastic greenhouses designed by 1995 code and 2017 code draft. The results are as follows. (1) The uplift load due to the negative pressure on the roof of the plastic greenhouse increased significantly in 2017 code draft. (2) Since the existing members could not meet the design requirements, the rafters had to be replaced with members of the same cross-section as the columns. (3) Due to excessive lifting, measures were also needed to prevent lifting at the foundation of the plastic greenhouse.

주요어 : 비닐하우스, 내재해형 하우스, 들뜸하중, 풍하중

Keywords : Plastic Greenhouse, Disaster-resistant House, Up-lift Load, Wind Load

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 30년간 전세계적으로 WTO와 FTA등 자유무역기조가 확대됨에 따라 국내외 농가들의 피해는 크게 증가하였다. 이와 같은 어려움을 타개하기 위한 방법으로 시설농업의 확대를 통한 농산물의 고품질화가 대안으로 제시되었으며, 실제 일부 농가에서는 시설농업으로 전환하여 성공한 사례도 있다. 보통 시설농업은 대규모화된 기계시설 또는 유리온실을 기반으로 한 농업시스템으로 인식하는 경우가 많으나, 우리나라에서는 비닐하우스를 기반으로 한 시설농업의 면적이 전체 시설면적의 99%에 이르고 있다. 이와 같이 비닐하우스의 면적이 절대적으로 큼에 따라 각종 자연재해로 인해 매년 막대한 피해가 발생하였다.

이에 우리나라에서는 각종 자연재해로 인한 비닐하우스의 붕괴와 농작물의 피해를 최소화하기 위한 노력을 지속적으로 하여 왔다. 이를 위해 농촌진흥청에서는 내재해형 하우스의 표준도면과 시방서¹⁾를 작성하여 보급하고, 2017년부터 농업 또는 임업용으로 비닐하우스를 설치할 경우 구조재로서 내재해

형 규격 파이프(SPVHN)을 사용하지 않으면 재해보상에서 제외시키는 등 비닐하우스의 내재해성을 증진시키고자 하는 노력을 계속하고 있다.

우리나라의 비닐하우스의 구조설계와 관련하여 1995년의 원예시설의 구조안전기준²⁾이 제정되어 원예시설에 대한 계획, 구조, 자재, 시공 및 시설관리 전반에 대한 안전규정을 제시하였다. 1999년 온실구조설계기준 및 해설³⁾에서는 농업용 강구조 고정식 온실에 국한한 구조설계기준을 제시하였으며, 2007년에는 내재해기준이 지정고시⁴⁾되어 내재해기준의 설계강도와 비닐하우스 27종, 인삼재배사 7종에 대한 내재해형 규격, 도면과 시방서를 지정하여 고시하였다.

기존의 온실설계기준은 다양한 온실의 형태와 거동특성을 반영하지 못함에 따라 온실의 안전성과 경제성을 확보할 수 없는 문제점이 있었다. 이에 2017년에는 새로운 온실구조설계기준(안)⁵⁾을 발표하여, 다양한 온실의 유형에 따른 원예시설의 계획, 구조설계, 시공 등에 이르는 전반적인 내용을 상세하게 제시한 통일된 설계기준이 수립되었다. 특히, 2017년 기준(안)은 비닐하우스의 풍하중 산출법에 큰 변화가 있어, 태풍이 잦은 제주지역의 온실의 안정성을 검증하기 위해 제주지역의 내재해형 비닐하우스가 2017기준(안)에 따른 설계기준을 만족하는지에 대한 검증이 필요하다.

* 제주대학교 건축학부 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Jeju National University, dongwko@jejunu.ac.kr)

본 논문은 2017학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의해 연구되었음.

1) 농림수산식품부, 원예특작시설 내재해형 규격 설계도, 시방서, 2010.

2) 농어촌진흥공사, 원예시설의 구조안전기준(안), 농어촌진흥공사 연구과제보고서, 1995.

3) 농어촌진흥공사, 온실구조설계기준 및 해설, 1999.

4) 농림부, 원예특작시설 내재해 기준 지정고시, 농림부, 2007.

5) 농촌진흥청 국립농업과학원, 온실구조설계기준(안) 농촌진흥청, 2017.

따라서 본 연구에서는 가장 보편적인 비닐하우스의 유형인 아치형 하우스와 하우스의 환기성을 높이기 위해 지붕에 삼각고창을 설치한 하우스에 대해 기존 1995년 기준과 2017년 기준(안)에 따라 풍해석을 수행한 후, 각각의 하우스가 1995년 기준과 2017년 기준(안)을 만족하는지 분석함으로써, 2017년 기준(안)에 대응하기 위한 내재해형 하우스의 설계안을 제시하고자 한다.

1.2 선행연구

2010년 이전까지만 하더라도 온실의 구조적 성능에 대한 대부분의 연구는 주로 강구조 유리온실위주로 이루어져 왔다. 강구조 유리온실의 구조에 대해서 주로 온실에 특화된 경량자재의 개발⁶⁾, 경제적이고 안전성이 높은 온실을 제작하기 위한 설계 시스템 구축⁷⁾, 장경간 유리온실의 설계기법 개발⁸⁾ 등과 같이 효율적인 설계법의 개발에 초점을 맞춘 연구가 대부분이었다. 비닐하우스의 내재해성과 관련하여 1998년 풍하중을 고려한 제주형 작물재배용 비닐하우스모델에 대한 구조해석연구⁹⁾가 수행된 후, 2010년을 지나면서 비닐하우스와 유리온실의 거동이 다르다는 인식아래 비닐하우스의 거동특성에 대한 연구가 수행되었다. 2012년 재하시험과 해석을 통한 비닐하우스의 거동특성과 구조적 성능 연구¹⁰⁾, 2016년 현장계측을 통한 내재해형 비닐하우스의 동특성을 파악 연구¹¹⁾는 비닐하우스의 구조적 특성을 연구한 대표적인 연구이다. 비닐하우스의 내재해성과 관련하여 2009년 풍동실험을 통해 비닐하우스의 풍압계수를 제안하는 연구¹²⁾, 2012년 내재해성이 우수한 비닐하우스 골조 시스템에 대한 연구¹³⁾와 내재해성이 우수한 비닐하우스 부재의 단면형상 및 구조시스템에 관한 연구¹⁴⁾가 비슷한 시기에 수행되었다. 2008년에는 해안지역에서 단동형 비닐하우스에 적합한 구조부재를 제안하는 연구¹⁵⁾가 발표되었으며, 2014년에는 적설하중과 연직하중에 대한 안전성을 다양한 곡률을 가지는 아치형 비닐하우스의 거동에 대한 연구¹⁶⁾, 2016년에는 비닐하

우스에서 풍하중과 적설하중에 대한 저항성능을 향상시키기 위해 하우스의 지붕을 강선으로 보강하는 방안을 제안¹⁷⁾하였다.

이상과 같이 비닐하우스의 내재해성을 확보하기 위한 연구가 다양한 방향에서 수행되어 왔다. 그러나, 기존의 내재해형 온실이 새롭게 바뀌는 온실기준(안)의 조건을 만족하는지에 대한 연구는 수행된 바 없다.

2. 비닐하우스의 횡거동특성

2.1 풍하중에 의한 파괴양상

비닐하우스는 규모에 비하여 중량이 작고, 가설물에 가까운 구조이기 때문에 횡력에 대해 취약할 수 있다. 특히, 제주지역은 태풍이 잦은 지역이므로, 풍하중이 비닐하우스의 내재해성능을 평가하는데 중요한 요소라고 할 수 있다.

강풍 시 발생할 수 있는 비닐하우스의 파괴유형을 <Fig. 1>과 같이 구분할 수 있다. 강풍이 불 경우 비닐하우스는 비닐이 찢어지거나 벗겨져 날아가는 형태의 피해가 가장 흔하며, 경우에 따라 골조가 파손된 후 외피자재가 벗겨져 날아가는 경우도 있다. 측면으로 강풍이 불어 하우스 전체가 길이방향 또는 단방향으로 쓰러지는 피해가 발생하기도 하고<Figs. 1(a), (b)>, 경우에 따라서는 위에서 내리 누르는 풍압에 의해 서까래가 휘기도 한다<Fig. 1(c)>. 약한 지반 또는 골바람과 돌풍이 부는 지형에서는 강한 바람에 비닐하우스가 통째로 뽑히거나 쓰러질 수 있다<Fig. 1(d)>.

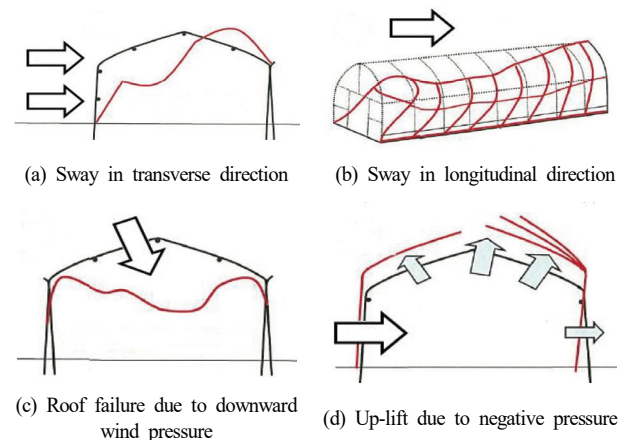


Fig. 1. Failure mode of plastic greenhouse

2.2 풍하중 산정

풍하중 산출과 관련하여 2017기준(안)에서는 지역별 기본풍속을 세분화하고 지붕의 외압계수도 지붕의 형태에 따라 구체화하였다. 특히, 비닐하우스의 대표적인 형태에 해당하는 아치형지붕의 경우 2017기준(안)에서는 지붕아치의 곡률반경에 따라 외압계수를 차등 적용하고, 부압의 영향을 대폭 반영하였다. 또한, 기존 기준에서 불명확하게 제시되었던 가스트계수와 공기밀도를 비닐하우스의 특성을 반영하여 각각 1.0과 1.225

17) 정동주, 김진, 서윤수, 강선으로 보강된 연동형 비닐하우스 골조의 구조거동, 한국농촌건축학회논문집 18(3), 2016, pp.35-42.

- 6) 농림수산식품부, 한국형 유리온실 모델 선정을 위한 경량자재개발 및 규격화 보급방안, 농림수산식품부 연구과제보고서, 1998.
- 7) 농림수산식품부, 온실의 자재절감 및 안전성 향상을 위한최적모델 및 설계시스템 개발, 농림수산식품부 연구과제 보고서 2007.
- 8) 오명호, 김용석, 선설계기법을 이용한 장경간 유리온실 구조시스템 개발, 한국방재학회논문집, 10(1), 2010, pp.1-7.
- 9) 권기린, 민창식, 김용호, 풍하중을 고려한 제주형 작물재배용 비닐하우스모델의 구조해석, 생물환경조절학회지 7(3), 1998, pp.181-190.
- 10) 류희룡 외 4인, 재하시험과 유한요소해석에 의한 플라스틱 필름 온실의 거동특성 분석, 생물환경조절학회지, 21(4), 2012, pp.459-465.
- 11) 신승훈 외 4인, 현장계측을 통한 내재해형 비닐하우스의 동특성 식별, 대한건축학회지회연합논문집 18(6), 2016, pp.143-149.
- 12) 백선영 외 3인, 비닐하우스의 풍압계수 분포에 관한 연구, 대한건축학회연합논문집 25(8), 2009, pp.87-94.
- 13) 심중석, 이준호, 내재해성이 우수한 비닐하우스골조 구조시스템개발에 관한 연구, 한국디지털건축학회논문집 12(1), 2012, pp.5-13.
- 14) 심중석, 한덕진, 내재해성이 우수한 비닐하우스 부재의 단면형상 및 구조시스템에 관한 연구, 한국디지털건축학회논문집 12(4), 2012, pp.67-75.
- 15) 백이 외 4인, 해안지역에서의 단동형 비닐하우스 구조 보강방법에 관한 연구, 한국기계기술학회지 10(1), 2008, pp.33-37.
- 16) 정현목, 윤석호, 아치형 비닐하우스 구조의 안전성 연구, 한국공간구조학회 논문집 14(4), 2014, pp.81-88.

kg/m²로 제시하였다. 비닐하우스의 설계풍하중은 건축물과 마찬가지로 설계풍압(P)과 유효수압면적(A)의 곱으로 구하며, 설계풍압을 도출하는 과정은 다음의 식(1) ~ 식(4)와 같다.

$$W = P \text{ (N/mm}^2\text{)} \times A \text{ (mm}^2\text{)} \quad (1)$$

$$P = q_h \times G_f \times (C_{pe} - C_{pi}) \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2)$$

$$q_h = \frac{1}{2} \times \rho \times V_h^2 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (3)$$

$$V_h = V_0 \times \left(\frac{h}{h_0} \right) \times K_{zt} \quad (4)$$

여기서, q_h 는 온실의 평균높이($h = h_e + f/2$)에 대한 설계속도압, G_f 는 가스트계수(=1.0), C_{pe} 와 C_{pi} 는 각각 외압계수와 내압계수, ρ 는 공기밀도(=1.225kg/m³), V_h 는 설계지역의 지표면으로부터 온실의 평균높이(h)에 대한 설계풍속(m/s), V_0 는 지표면 높이($h_0=10$ m)에서의 기준풍속, h 는 지표면으로부터 온실과 버섯재배사의 평균높이, α 는 풍속고도분포지수(=0.25), K_{zt} 는 지역계수이다. 이를 바탕으로 제주에서 가장 많이 사용되는 감귤 1형 하우스가 평지에 위치하였을 때, 설계풍속(V_h)과 설계속도압(q_h)을 구하면, 각각 32.01m/s과 627.6N/m²이다.

3. 아치형 하우스의 풍거동

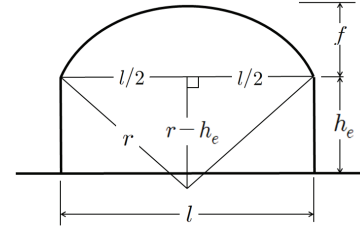
3.1 지붕 곡률에 따른 풍하중의 크기 비교

아치형 하우스의 풍거동을 분석하기 위해 풍하중에 취약한 단면방향에 대한 2차원 평면골조 해석을 수행하였다. 이를 위해 <Table 1>과 같이 하우스의 기본적인 폭과 높이를 감귤 1형과 동일하게 5,500mm와 4,500mm로 정한 후, 아치지붕의 곡률반경을 2017기준(안)에서 제시하는 곡률반경의 범위(4,000mm~6,500mm)에서 부재력의 변화를 비교하였다.

<Fig. 2>의 (a)와 (b)는 각각 지붕아치의 곡률반경의 변화에 따른 1995기준과 2017기준(안)에서 제시하는 아치형 하우스의 지붕의 외압계수이다. 1995기준에서는 3개의 구역으로만 나누어 풍압계수를 적용하였으나, 2017기준(안)에서는 지붕을 8개

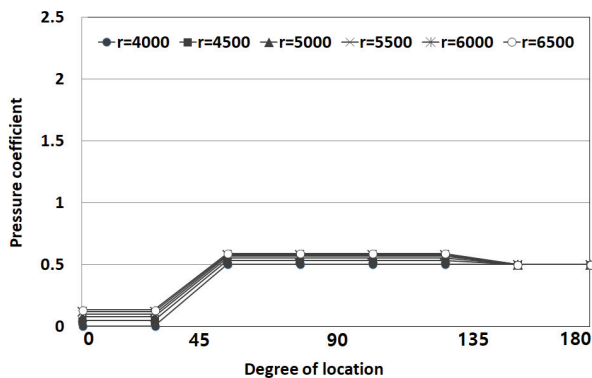
Table 1. Height of plastic house on radius of curvature of roof (unit: mm)

Radius of curvature (r)	Roof height (f)	Eave height (h_e)
4,000	1,095	3,405
4,500	938	3,562
5,000	824	3,676
5,500	737	3,763
6,000	667	3,833
6,500	610	3,890

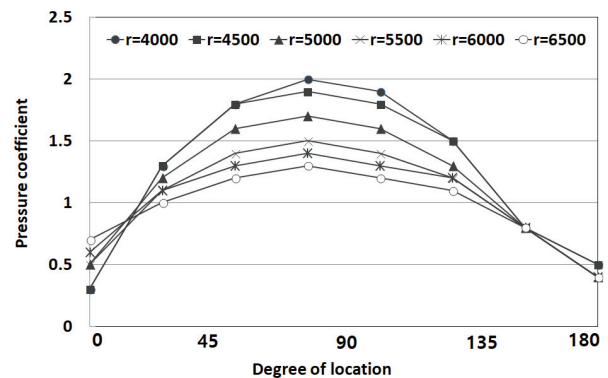


구역으로 세분화하였으며, 지붕의 위치에 따른 외압계수도 곡률반경에 따라 차등을 두어 지붕형태에 따른 풍압의 변화를 반영하였다. 2017기준(안)에서 제시하는 외압계수는 곡률반경이 증가함에 따라 지붕 가장자리의 외압계수는 -0.3에서 -0.7까지 증가한 반면, 지붕의 중앙부의 외압계수는 -2에서 -1.3으로 감소하였다. 2017기준(안)에서는 지붕 중앙부의 외압계수를 곡률반경에 따라 1995기준보다 2배에서 3.6배까지 큰 값을 제시하였다. 이와 같은 외압계수 분포의 차이로 인해 실제 하우스의 반응은 큰 차이를 나타내게 되었다.

해석결과 나타난 지점반력으로부터 적용기준과 지붕의 곡률반경의 변화에 따른 비닐하우스에 작용하는 풍하중을 <Table 2>에서 비교하였다. 1995기준에 따라 풍해석을 수행한 결과, 곡률반경이 4000mm에서 6500mm로 증가함에 따라 횡방향 반력은 8.04kN에서 8.70kN으로 8%증가하고, 연직방향 인발력은 3.29kN에서 3.96kN로 20% 증가하였다. 그리고, 동일한 모델을 2017기준(안)에 따라 풍해석을 수행하게 되면, 곡률반경이 증가함에 따라 횡방향 반력은 5.08kN에서 5.21kN로 3% 증가하였으나, 연직방향 인발력은 11.28kN에서 8.43kN으로 25% 감소하였다.



(a) 1995 code



(b) 2017 code

Fig. 2. Comparison of pressure coefficient for roof of house

Table 2. Reaction for wind load (unit: kN)

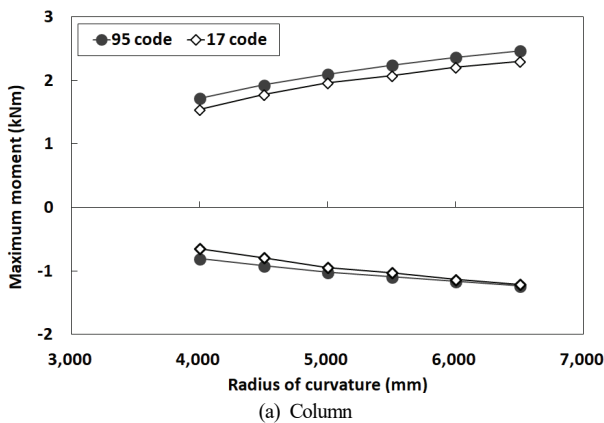
Radius of curvature (mm)	1995 code		2017 code	
	RX	RZ	RX	RZ
4,000	8.042	3.295	5.087	11.281
4,500	8.240	3.509	5.350	11.044
5,000	8.383	3.679	4.835	10.100
5,500	8.509	3.811	5.042	9.180
6,000	8.611	3.896	5.130	8.919
6,500	8.702	3.962	5.215	8.440

2017기준(안)에 따른 하중의 크기를 1995기준에 따른 결과와 비교하면, 횡방향 하중은 40%감소한 반면 연직방향 인발력은 2 ~ 3배 증가하여 2017기준(안)에서는 부압에 의한 인발효과를 크게 반영하였음을 알 수 있다.

3.2 부재력 비교

<Fig. 3>의 (a)와 (b)는 1995기준과 2017기준(안)에 따라 풍하중을 작용시켰을 때, 하우스 지붕의 곡률반경에 따른 기둥과 서까래에 작용하는 최대 휨모멘트의 변화이다. 속이 찬 기호와 속이 빈 기호는 각각 1995기준과 2017기준(안)에 따라 풍하중을 적용하였을 때 최대 휨모멘트이다.

<Fig. 3(a)>에서 보듯이 1995기준과 2017기준(안)에 따른 풍하중을 적용한 결과 나타나는 기둥의 최대 모멘트는 거의 비슷하였으며, 곡률반경이 4,000mm에서 6,500mm로 증가함에 따라 최대 모멘트는 1.4~1.6배 증가하였다. Fig. 3(b)는 서까래에 작용하는 최대모멘트로서, 정모멘트와 부모멘트 모두 2017기준(안)에 따른 풍하중을 적용하였을 때 더 크게 나타났다. 최대 정모멘트는 곡률반경이 4,000mm일 때는 2017기준(안)의 결과가 2.9배 크게 나타나고, 곡률반경이 6,500mm일 때는 1995기준의 결과와 거의 비슷한 수준으로 나타났다. 반면 부모멘트는 모든 곡률반경에 대해 2017기준(안)의 해석결과가 2배 ~ 3배 크게 나타났다.



4. 비닐 하우스의 내풍성 평가

현재 제주지역의 보편적인 비닐하우스에 대한 내재해성을 평가하기 위해 3가지 모델을 선정하였다. 제주지역에서 가장 많이 시공되는 감귤 1형 하우스에 대해 1995기준에 따른 풍하중을 적용한 모델(Arc-95)과 2017기준(안)에 따라 풍하중을 적용한 모델(Arc-17), 그리고, 감귤 1형의 환기성능을 개선하기 위해 아치형지붕의 중앙에 삼각고창을 둔 삼각고창형 하우스에 2017기준(안)에 따른 풍하중을 적용한 모델(Tri-17)이다.

4.1 해석모델

<Fig. 4>는 감귤 1형하우스와 삼각고창형 하우스의 정면도와 측면도이다. 삼각고창형 하우스 1개동의 바닥은 감귤 1형과 동일하지만, 중앙부의 높이는 아치형보다 0.25m높은 4.75m이다. 기존 감귤 1형 하우스는 1995기준과 2017기준(안)의 아치형하우스의 풍압계수를 적용하였고, 삼각고창형 하우스는 2017기준(안)의 복숭아형 지붕에 해당하는 외압계수를 적용하여 풍하중을 산정하였다. <Fig. 5>는 1995기준과 2017기준(안)에 따른 풍압계수를 적용하였을 때의 감귤1형 하우스에 적용된 외압계수와 삼각고창형 하우스에 적용된 외압계수이다. 지붕 풍상면 측의 외압계수는 아치형 하우스가 더 큰 반면, 풍하면 벽체에 작용하는 외압계수는 삼각고창형 모델이 더 크다. 이와 같은 외압계수의 분포로부터 2017기준(안)에서 부압의 영향이 크게 반영되어 아치형 모델이 삼각고창형 모델보다 들뜸에 의한 인발력방향의 영향을 더 받음을 알 수 있다.

원예특작시설 내재해형 규격 설계도와 시방서에서 내재해형 비닐하우스 구조용 파이프를 SPVHS, SPVHS-AZ로 제작하도록 하고 있기 때문에, 그에 상응하는 탄성계수($2.05 \times 10^5 \text{MPa}$)와 단위중량(77kN/m^3)을 적용하였으며, 항복강도는 295MPa를 적용하였다. 하우스를 구성하는 기둥과 서까래 등의 각 골조들을 실제 부재와 동일한 단면의 보요소로 모델링 하였으며, 하우스의 길이방향으로 6m 마다 설치된 타이는 인장력에 대한 강성만 갖는 후크요소로 모델링 하였다. 내재해성을 평가하기 위한 하중조합은 각각의 기준(1995기준과 2017기준(안))에서 제시하는 하중조합을 적용하였다.

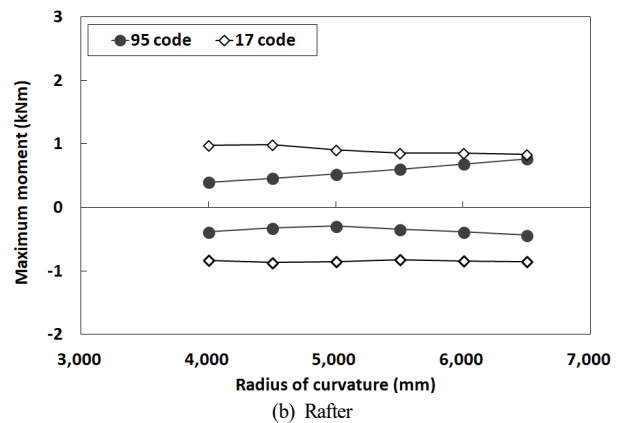


Fig. 3. Maximum moment of elements for wind load

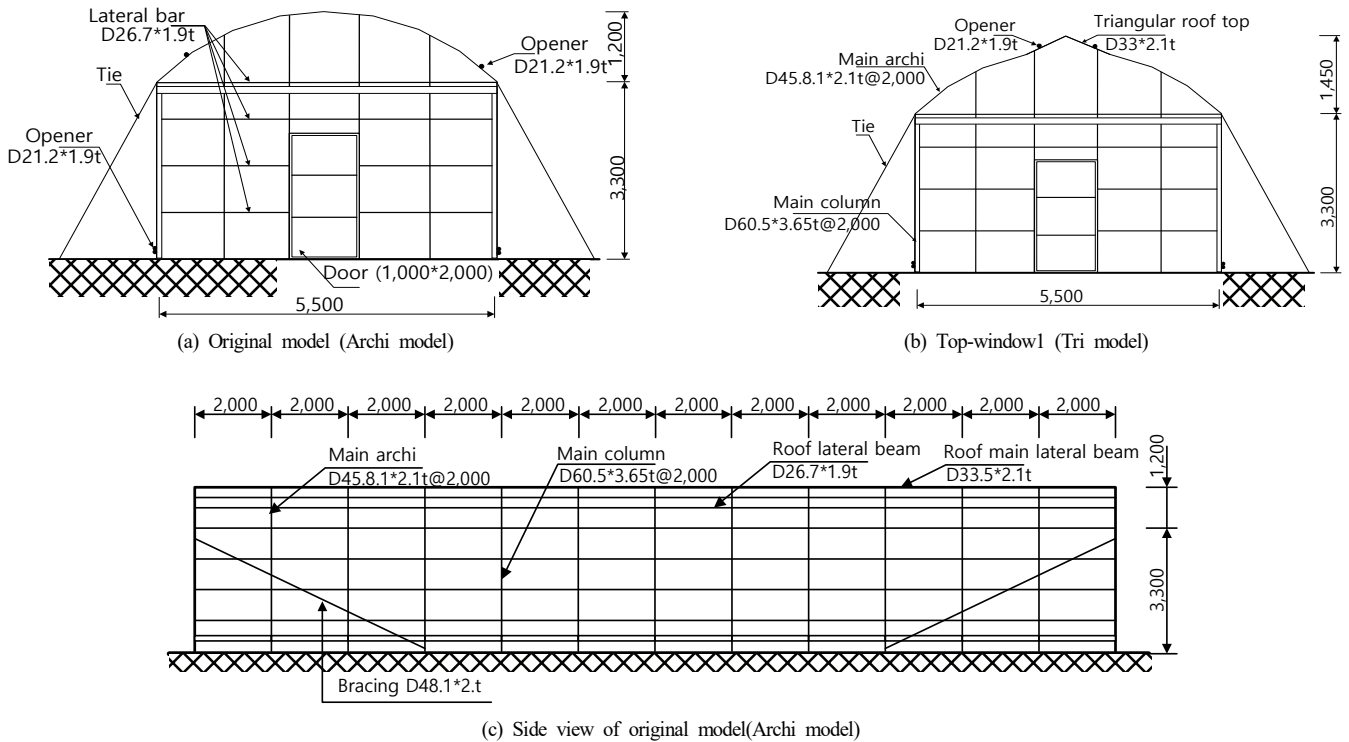


Fig. 4. Drawings of plastic greenhouses

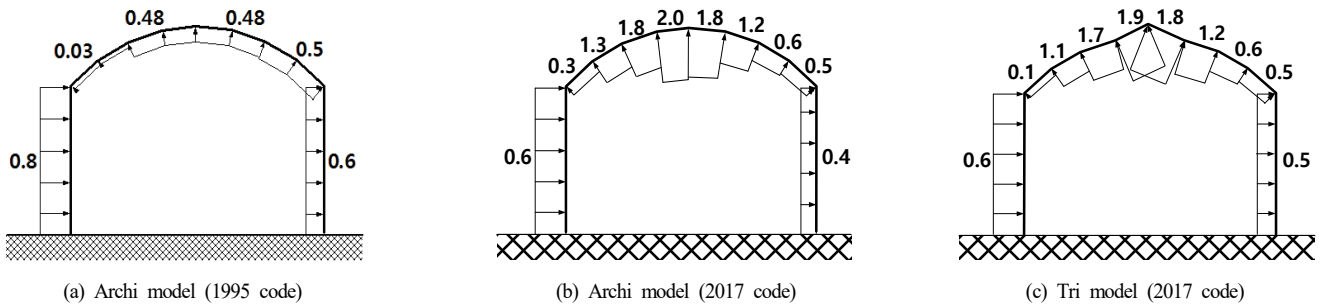


Fig. 5. External pressure coefficient of plastic greenhouse

Table 3. Reaction forces for models

Model	Reaction force (kN)		
	FX	FZ	$\sqrt{(FX^2 + FZ^2)}$
Arc-95 (A)	112.7	93.5	140.43
Arc-17 (B)	92.3	214.3	233.33
Tri-17 (C)	102.8	189.9	215.94
(B)/(A)	0.82	2.29	1.66
(C)/(B)	0.91	0.89	0.93

4.2 해석결과

감굴 1형 하우스에 1995기준과 2017기준(안)에 따른 풍하중의 크기를 비교하기 위해 풍해석결과 나타난 지점반력을 <Table 3>에서 비교하였다. 감굴 1형 하우스의 1995기준과 2017기준(안)에 따른 풍하중에 대한 횡방향 반력은 각각 112.7kN과 92.3kN이었으며, 아치 지붕에 작용하는 부압에 의한

인발력의 합에 해당하는 FZ는 각각 93.5kN과 214.3kN으로 나타났다. 2017기준(안)에 따라 풍해석을 수행할 경우, 횡방향 하중은 1995기준의 82% 수준으로 떨어진 반면, 하우스에 작용하는 연직방향 인발력은 2.3배 증가하여 부압에 의한 풍하중이 증가하였음을 알 수 있다.

감굴 1형 하우스에 1995기준과 2017기준(안)에 따라 풍하중을 작용시켰을 때, 최대휨모멘트를 <Fig. 6>에서 비교하고 있다. 2017기준(안)의 풍하중을 적용할 경우 서까래에 작용하는 최대모멘트는 0.87kNm로 1995기준을 적용하였을 때의 최대모멘트 0.78kNm보다 1.11배 증가하였으며, 기둥에 작용하는 최대모멘트는 2.09kNm로 1995기준에 따른 풍하중에 대한 최대모멘트 2.20kNm의 95%수준으로 감소하였다. 2017기준(안)을 적용할 경우 서까래의 요구부재력은 증가한 반면, 기둥에 요구되는 모멘트는 감소하였다. 삼각고창모델의 서까래의 최대 모멘트는 거의 비슷한 반면, 기둥에 작용하는 최대모멘트는 2.09kNm에서 1.87kNm로 감소하였다. <Fig. 6>의 (a)의 수평점선은 서까래와 기둥에 사용된 부재 $\phi 45.8 \times 2.1t$ 와 $\phi 60.5 \times 3.65t$ 의 휨성능이다.

각 설계기준에서 제시하는 방법에 따라 하중을 산출하고 하중조합을 수행한 결과 나타난 요구-성능비를 <Fig. 6(b)>에 정리하였다. 감굴 1형모델에 1995기준에 따라 풍하중을 적용하였을 경우(Arc-95), 서까래와 기둥의 요구성능비는 모두 1을 초과하여 요구부재력이 성능을 초과하였다. 2017기준(안)에 따라 풍하중을 적용하였을 경우에도 감굴 1형 하우스(Arc-17)와 삼각고창형 하우스(Tri-17) 모두 요구성능비는 1을 초과하였다. 이로부터 현재의 내재해형 하우스인 감굴 1형은 기존의 기준과 2017기준(안)에서 요구하는 성능을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

5. 고찰

5.1 외압계수의 변화에 따른 휨모멘트의 변화

2017기준(안)으로 개정되면서 풍하중에 대한 풍압계수는 감소하였으나, 부압에 의한 들뜸하중은 <Fig. 5>에서 보듯이 2배 가까이 증가하였다. <Fig. 7>의 (a)와 (b)는 각각 횡하중과 들뜸하중이 작용할 때, 아치형 비닐하우스의 골조에 작용하는 휨모멘트이다. 횡력이 작용할 경우 풍상면과 풍하면의 기둥상부에 각각 정모멘트와 부모멘트가 발생하는 반면, 들뜸하중에 대해서는 서까래의 양측에 정모멘트가 발생한다. 따라서, 풍하중 작용 시 발생하는 들뜸하중은 풍상면 기둥의 정모멘트를 증가시켜 가장 큰 부재력을 요구하는 부분이 된다. 들뜸하중이 풍상면측 기둥의 정모멘트에 미치는 영향을 파악하기 위해 일반적인 구조역학공식에 따라 횡하중과 들뜸하중에 대한 풍상면

측 기둥의 정모멘트의 값을 구하면 다음과 같다.

- (1) 횡력에 대한 풍상면 기둥의 최대 정모멘트

$$M_B = \left(P - \frac{5P(h)^2(2k+3) + 2fh}{2\beta} \right) h \quad (5)$$

- (2) 들뜸하중에 대한 풍상면 기둥의 최대 정모멘트

$$M_B = \left(\frac{wl^2}{4} - \frac{5h+4f}{\beta} \right) h \quad (6)$$

위에서 $k = \frac{I_b}{I_c} \frac{h}{l}$, $\beta = 5h^2(2k+3) + 4f\{5h+2f\}$ 이다.

<Fig. 8>은 아치지붕의 곡률반경과 기둥에 대한 서까래의 단면2차모멘트의 크기(I_b/I_c)가 변화함에 따라 기둥에서 발생하는 정모멘트 중 들뜸하중의 비율이다. 이때, 들뜸하중의 크기는 2017기준(안)에 따른 해석결과 나타난 횡방향반력에 대한 연직방향반력의 비율(0.83)을 적용하였다. 기둥에 대한 서까래의 단면2차모멘트의 비율이 0.3보다 작을 때는 곡률반경의 크기에 상관없이 13%정도를 차지하였으나, 보의 단면2차모멘트의 비율이 증가함에 따라 들뜸하중에 의한 기둥의 정모멘트의 증가비율은 감소하였으며, 보의 단면2차모멘트가 기둥의 단면2차모멘트와 동일할 경우 들뜸하중으로 인한 기둥의 휨모멘트는 곡률반경에 따라 0.108 ~ 0.117의 범위였으며, 보의 단면2차모멘트가 기둥보다 2배 큰 경우에는 0.088 ~ 0.103으로 감소하였다. 따라서, 동일한 여건일 때 보의 강성이 증가할 경우 들뜸에 의한 기둥의 최대 부모멘트를 감소시키는 효과를 줄 수 있는 것으로 나타났다.

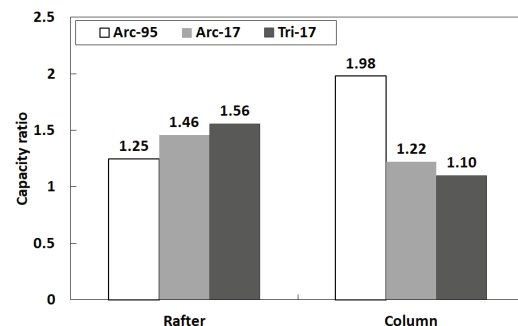
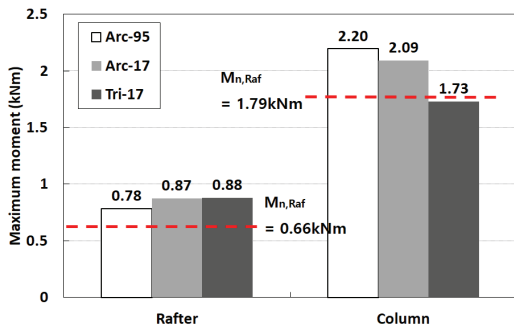


Fig. 6. Analysis results for original model

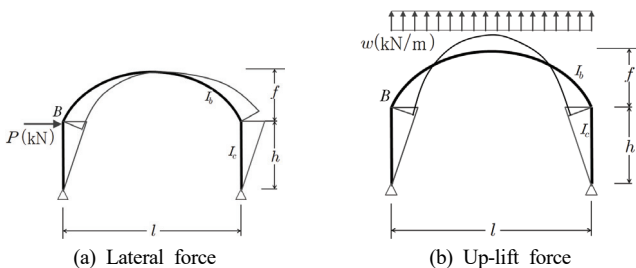


Fig. 7. Bending moment diagram for arch frame

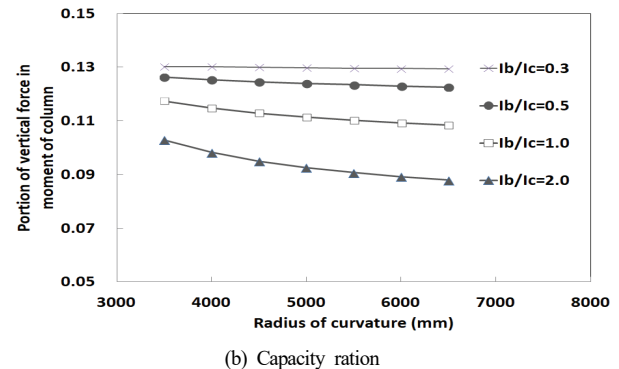


Fig. 8. Portion of vertical force of positive moment in column

5.2 단면의 개선

기존 하우스에 대한 해석을 수행한 결과, <Fig. 6(b)>에서 서까래부재의 요구성능비는 1.5에 가깝고, 현재 기둥에 적용된 부재($\phi 60.5 \times 3.65t$)가 하우스에 사용할 수 있는 파이프형 부재 가운데 가장 큰 부재이기 때문에, 서까래의 부재를 기둥과 동일한 부재로 교체하여 해석을 수행하였다.

수정된 부재로 해석을 수행한 결과 풍하중에 대한 서까래와 기둥의 최대모멘트를 <Fig. 9(a)>에 나타내었다. 서까래의 부재를 변경함으로써 전체적으로 서까래의 요구모멘트는 증가한 반면, 기둥의 요구모멘트는 감소하였다. 감골 1형과 삼각고창형 하우스의 서까래의 최대 모멘트는 각각 0.87kNm에서 1.26kNm로, 그리고 0.96kNm에서 1.17kNm으로 증가한 반면, 기둥의 최대모멘트는 각각 2.09kNm에서 1.44kNm로, 1.87kNm에서 1.50kNm로 크게 감소하였다. 새로운 부재를 적용하여 요구성능을 평가한 결과, <Fig. 9(b)>에서 보듯이 감골 1형과 삼각고창형 모두 요구성능비가 1보다 작은 것으로 나타나 요구성능을 만족하는 것으로 나타났다.

따라서, 2017기준(안)에 의해 풍압계수가 변화함에 따라 요구 부재력이 증가하고, 이로 인해 기존 감골 1형 하우스와 이를 개량한 삼각고창형 하우스는 기존 부재로는 풍성능을 만족하지 못하였으나, 서까래 부재를 기존의 기둥과 동일한 부재로

교체하면 2017기준(안)에 따르더라도 요구성능을 만족함을 알 수 있었다.

5.3 기초 인발력에 대한 보강

2017기준(안)에서는 부압에 의한 효과가 크게 증가함에 따라 지점부분에서 큰 인발력이 발생하였다. 가설시설물에 가까운 비닐하우스의 특성상 과도한 인발력은 <Fig. 1(c)>와 같이 하우스에 들뜸에 의한 붕괴를 초래할 수 있다.

1995기준에 따라 해석을 수행한 경우, 하우스의기둥에서 발생하는 최대 인발력은 1.73kN인 반면, 2017기준(안)을 적용할 경우 감골1형과 삼각고창형 각각 5.19kN와 4.53kN으로 1995기준에서의 인발력보다 각각 3배와 2.6배 증가하여 기초부분의 인발력을 검토하였다.

<Fig. 10>은 감골 1형 하우스의 시방서에 나타낸 기초도면으로서, <Fig. 10(a)>는 연동형 하우스의 외곽 모서리 부분 기둥의 기초이고, <Fig. 10(b)>는 연동형 하우스의 내부 주기둥의 기초이다. 이를 바탕으로 기초부분의 콘크리트 무게와 상부토양의 무게를 개략적으로 산출하면 외곽 모서리부분 기둥의 기초부분의 무게는 0.70kN이고, 주기둥의 기초부분의 무게는 2.238kN이다. 기초부분의 자중의 영향을 반영하여 1995기준의 해석결과를 살펴보면, 기초와 상부토양의 무게가 인발력보다 크기 때

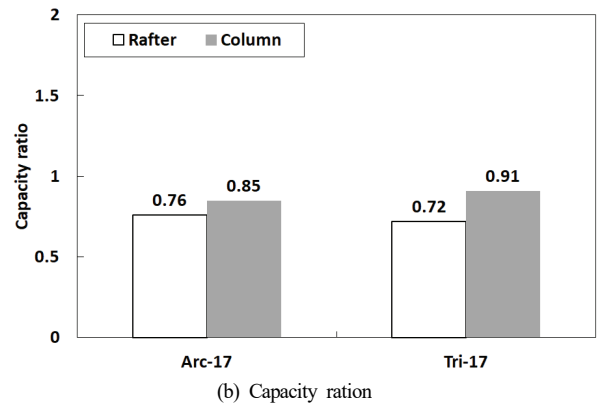
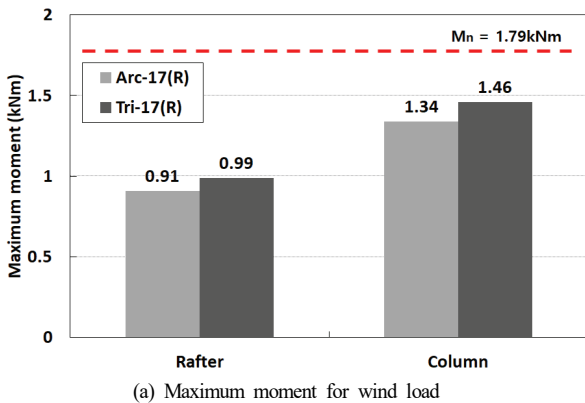


Fig. 9. Analysis results for original model

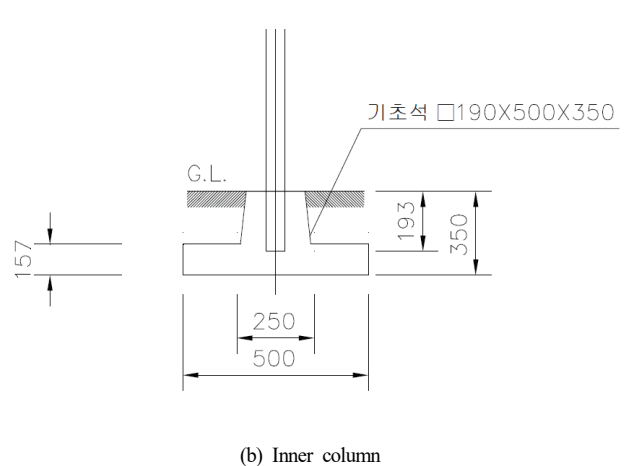
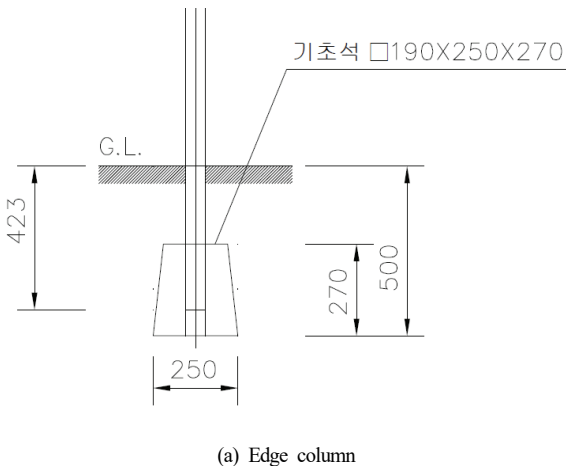


Fig. 10. Details of footing of type-1 house

문에 실제 들뜸이 발생하지 않으나, 2017기준(안)에 따른 해석을 수행하게 되면 기초와 토양의 무게를 고려하더라도 인발력이 발생하여 들뜸에 의한 붕괴의 발생가능성이 매우 크다.

따라서 부압에 의한 하우스의 붕괴를 방지하기 위해서는 현재 감굴 1형의 하우스에서 기초의 저면을 획기적으로 크게 하거나 들뜸을 방지할 수 있는 기초의 상세를 개발해야 할 것으로 나타났다.

6. 결론

대표적인 비닐하우스의 형태에 해당하는 아치형 하우스에 대한 풍해석과 제주지역의 감굴 1형 하우스와 이를 보완한 삼각고창형 하우스에 대한 내재해성 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 2017기준(안)에 따라 풍하중을 가하게 되면, 기존기준보다 횡방향하중은 40%정도 감소한 반면, 연직방향 하중은 2~3배 증가하여 2017기준(안)에 따라 풍하중을 가할 경우 부압에 의한 들뜸하중이 크게 작용하였다.

2. 제주도에서 가장 많이 지어지는 감굴 1형 하우스를 1995기준과 2017기준(안)에 따라 풍하중을 산정하여 내재해성을 평가한 결과 1995기준에 대해서 서까래는 요구성능을 만족하였으나, 기둥에서 과도한 모멘트가 작용하여 요구성능을 넘어섰으며, 2017기준(안)에 대해서도 기둥의 요구성능을 만족하지 못하였다.

3. 기존 감굴 1형 하우스의 서까래부재를 기존 $\phi 45.8 \times 2.1t$ 에서 $\phi 60.5 \times 3.65t$ 으로 변경한 후, 2017기준(안)에 따른 풍하중을 적용하여 내재해성을 평가한 결과 요구성능을 만족하였다. 따라서 기존 감굴 1형 하우스와 이를 보완한 삼각고창형 하우스의 서까래 부재를 기둥과 동일한 부재를 사용한다면 강화된 2017기준(안)의 풍하중에 대한 요구성능을 만족할 수 있는 것으로 나타났다.

4. 2017기준(안)에서 아치지붕에 작용하는 부압으로 인해 들뜸하중이 크게 작용하여 기초의 들뜸과괴가 예상되기 때문에, 이를 방지하기 위해 현재 독립기초형식으로 된 기초의 기초저면을 넓히거나 인발력에 충분히 저항할 수 있는 기초상세를 개발해야 할 것으로 나타났다.

7. 농어촌진흥공사, 온실구조설계기준 및 해설, 1999.
8. 농촌진흥청 국립농업과학원, 온실구조설계기준(안), 농촌진흥청, 2017.
9. 류희룡 외 4인, 재하시험과 유한요소해석에 의한 플라스틱 필름 온실의 거동특성 분석, 생물환경조절학회지, 21(4), 2012.
10. 백선영 외 3인, 비닐하우스의 풍압계수 분포에 관한 연구, 대한건축학회연합논문집, 25(8), 2009.
11. 백이 외 4인, 해안지역에서의 단동형 비닐하우스 구조 보강방법에 관한 연구, 한국기계기술학회지, 10(1), 2008.
12. 신승훈 외 4명, 현장계측을 통한 내재해형 비닐하우스의 동특성 식별, 대한건축학회지회연합논문집, 18(6), 2016.
13. 심중석, 이춘호, 내재해성이 우수한 비닐하우스골조 구조시스템개발에 관한 연구, 한국디지털건축학회논문집, 12(1), 2012.
14. 심중석, 한덕진, 내재해성이 우수한 비닐하우스 부재의 단면형상 및 구조시스템에 관한 연구, 한국디지털건축학회논문집, 12(4), 2012.
15. 오명호, 김용석, 선설계기법을 이용한 장경간 유리온실 구조시스템 개발, 한국방재학회논문집, 10(1), 2010.
16. 정동조, 김진, 서윤수, 강선으로 보강된 연동형 비닐하우스 골조의 구조거동, 한국농촌건축학회논문집, 18(3), 2016.
17. 정환목, 윤석호, 아치형 비닐하우스 구조의 안전성 연구, 한국공간구조학회논문집, 14(4), 2014.

접 수 일 자 : 2020. 01. 10
초 심 : 2020. 02. 04
게재확정일자 : 2020. 02. 18

참고문헌

1. 권기린, 민창식, 김용호, 풍하중을 고려한 제주형 작물재배용 비닐하우스 모델의 구조해석, 생물환경조절학회지, 7(3), 1998.
2. 농림부, 원예특작시설 내재해 기준 지정고시, 농림부, 2007.
3. 농림수산식품부, 한국형 유리온실 모델 선정을 위한 경량자재개발 및 규격화 보급방안, 농림수산식품부 현장애로기술개발과제 연구보고서, 1998.
4. 농림수산식품부, 온실의 자재절감 및 안전성 향상을 위한최적모델 및 설계시스템 개발, 농림수산식품부 현장적용기술개발 연구과제 보고서, 2007.
5. 농림수산식품부, 원예특작시설 내재해형 규격 설계도, 시방서, 농림수산식품부, 2010.
6. 농어촌진흥공사, 원예시설의 구조안전기준(안), 농어촌진흥공사 연구과제보고서, 1995.