

가새 설치에 따른 벤로형 지붕 연동온실의 구조성능 평가

신현호¹ · 최만권^{2*} · 조명환² · 김진현² · 서태철³ · 이충근³ · 김승유⁴

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 전문연구원, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 농업연구사,
³농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 농업연구관, ⁴농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과 농업연구관

Structural Performance Evaluation of a Multi-span Greenhouse with Venlo-type Roof According to Bracing Installation

Hyun Ho Shin¹, Man Kwon Choi^{2*}, Myeong Whan Cho², Jin Hyun Kim², Tae Cheol Seo³,
Chung Kuen Lee³, and Seung Yu Kim⁴

¹RDA Research Associate, Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

²Researcher, Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

³Senior Researcher, Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

⁴Senior Researcher, Vegetable Research Division, NIHHS, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract. In this study, the lateral loading test was performed to analyze structural performance of multi-span plastic greenhouse through full-scale experiment and numerical analysis. In order to analyze the lateral stiffness and stress, we installed 9 displacement sensors and 19 strain gauge sensors on the specimen, respectively, and load of 1 mm per minute was applied until the specimen failure. In the comparison between the full-scale experiment and the structural analysis results of a multi-span greenhouse with venlo-type roof according to bracing installation, there was a large difference in the lateral stiffness of the structure. By installing a brace system, the lateral stiffness measured near the side elevation of the specimen increased by up 44%. As the bracing joint used in the field did not secure sufficient rigidity, the external force could not be transmitted to the entire structure properly. Therefore, it is necessary to establish a bracing construction method and design standards in order for a greenhouse to which bracing applied to have sufficient performance.

Additional key words: FEA, bracing, lateral stiffness, wind load

서 론

1990년대에 축고가 3m 전후인 1-2W형 온실이 보급될 당시, 풍하중 설계 시 가새를 적용한 설계가 고려되지 않았지만, 농가에서 작물 재배환경을 향상시키고 토마토 또는 파프리카와 같은 수직 유인형 작물을 재배하기 위해 축고 높이가 5-6m 이상으로 높아진 온실은 풍하중에 대한 구조 안전성이 취약하게 되어 경제적이고 효과적인 보강 방법으로 가새를 이용한 방법들이 온실 설계에 적용되었다(Yu 등, 2012).

온실 설계에 적용되는 가새의 형태는 강봉 또는 강관을 X자로 설치하는 형식으로 구조해석을 통한 검토가 이루어지고 있지만 가새의 최대길이, 설치위치, 연결방법에 대한 명확한 기준이 없어 현장 상황 맞게 시공되고 있다. 따라서 가새를 적용

한 실제성능과 구조해석을 근거한 설계성능에는 차이가 발생한다. 이러한 성능의 차이가 발생하는 원인으로서는 부재 간 연결조건, 부재의 초기결합, 부재의 성능평가 등이 있다(Choi 등, 2017; Choi 등, 2018; Chung 등, 2015).

온실 횡하중 보강을 위해 가새로 사용되는 강관의 좌굴 등 풍하중에 대한 국내 연구는 미미한 실정이며 눈에 의한 피해를 경감시키기 위한 보강방법에 대한 일부 연구결과만 존재한다(Park 등, 2010; Yum 등, 2010). 또한 국내에서 온실 가새 연결은 볼트 타입의 연결부가 사용되나 이러한 연결부에 관한 연구도 미미한 실정이다(Yoo, 2009). 온실 전체의 강도를 확인할 때 축력을 받는 기둥에 대한 좌굴강도 검토는 이루어지지 않고 있으며 기둥에 연결되는 수평 보강대의 연결이 불량할 경우 온실의 전체 강도가 급격히 감소하게 된다. 그러므로 온실 가새에 의한 보강 효과를 분석하는 데는 어려움이 있다.

온실 설계에 사용되는 가새는 일반적인 시스템 비계와 다르게 기둥 측면과 상부에 일정한 간격으로 설치하며, 부재의 두

*Corresponding author: choimk82@korea.kr

Received October 5, 2022; Accepted October 21, 2022

계와 길이는 설계자에 따라 다르게 설치되고 있다. 또한 가새를 적용한 온실의 구조성능평가 방법에 대한 기준도 없는 실정이다. 따라서 온실의 극한하중을 파악하기 위해 가새가 설치된 온실의 구조성능을 실험을 통해 파악할 필요가 있다.

건축구조물의 경우 실제 상황에 맞는 다양한 조건을 고려한 연구들이 이루어지고 있으며(Cho와 Kim, 2019; Park 등, 2018), 온실 구조물에 대한 실험연구는 많지 않은 실정이다(Choi 등, 2017). 본 연구는 가새가 설치된 온실의 구조성능을 분석하기 위해 실물 크기의 실험체를 대상으로 횡방향 하중재하 실험을 수행하였다. 해석조건은 가새 적용 여부를 변수에 고려해 온실의 성능을 비교 분석하였다.

재료 및 방법

1. 플라스틱 연동온실 실험체

1.1 시험체 제작

본 실험에서는 원에텍작 내재해형 규격(MAFRA and RDA,

2014)으로 설계된 온실로 폭 8.0m, 측고 6.0m, 동고 7.1m, 기둥간격 4.0m, 길이 8.0m의 2연동 실물 크기 온실을 제작하였으며 기둥 측면과 상부에 X형 가새 보강을 적용하였다(Fig. 2). 온실 설계에 적용한 가새의 연결부 형태는 Fig. 1과 같으며 조립된 실험체 예시는 Fig. 2와 같다.

온실 실험체 제작에 사용된 주요 부재의 단면치수는 Table 1과 같다. 기둥의 재질은 SRT275(항복강도 275MPa)이며, 단면치수는 125×75(가로×세로)×2.9mm(두께)이다. 서까래의 재질은 SPVHS(항복강도 295MPa)이며, 단면치수는 31.8mm(외경)×1.5mm(두께)이다. 가새의 재질은 SPVHS(항복강도 295MPa)이며, 단면치수는 21.7mm(외경)×1.8mm(두께)이다.

1.2 하중 재하

일반적인 가설 구조물의 조립체를 대상으로 하는 국내의 실험 기준으로 미국 ANSI/SSFI SC100-5/05와 일본가설공업회의 자체 규정에 관한 실험방법이 존재하나 가새를 적용한 국내 온실 구조물에 대한 실험기준은 존재하지 않는다(Lee

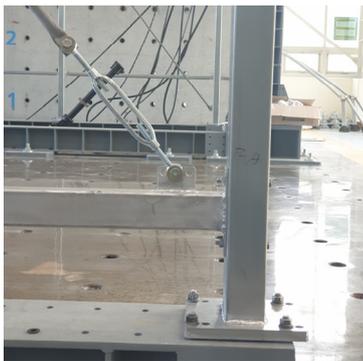
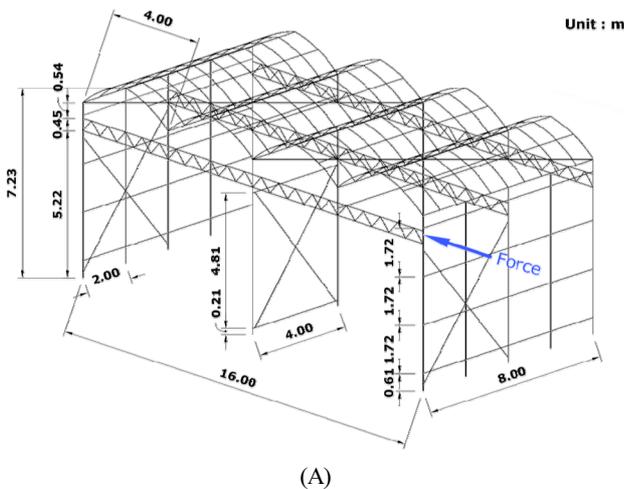


Fig. 1. Configuration of bracing member connection.



(A)

(B)

Fig. 2. 3D Views in full-scale of the experimental specimen. (A): Geometry properties and load point, (B): Test set-up example.

Table 1. Member dimension and material properties.

Classification	Column	Rafter	Purlin of rafter	Upper/lower chord	Diagonal member	Bracing member	Gutter
Steel grade	SRT275	SPVHS	SPVHS	SRT275	SPVHS	SPVHS	6063-T5
Yield strength (MPa)	275	295	295	275	295	295	110
Out diameter (mm)	125×75	31.8	25.4	75×45	21.7	21.7	65×100
Thickness (mm)	2.9	1.5	1.5	2.1	1.8	1.8	2.0

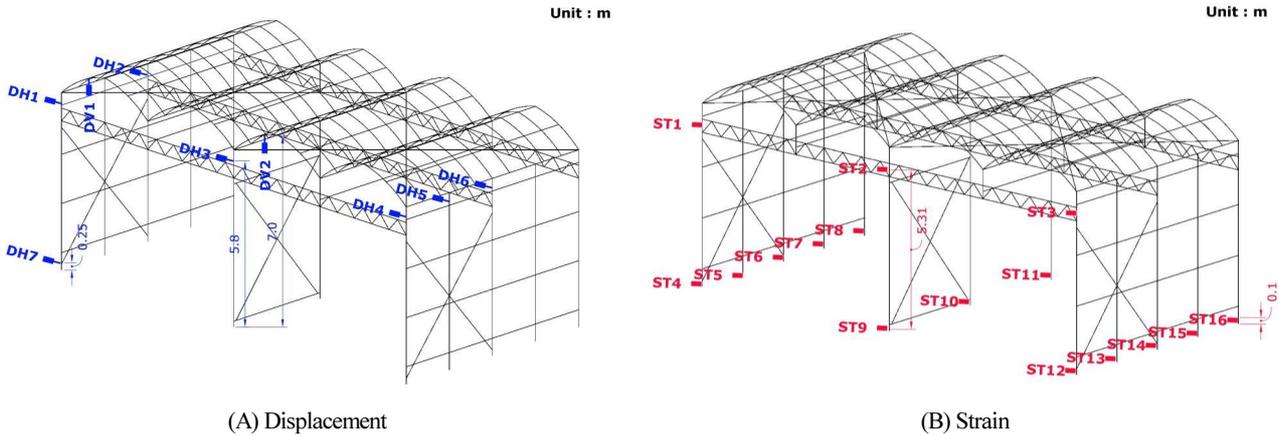


Fig. 3. Location of a sensors. (A): Displacement, (B): Strain.

등, 2020). 본 연구에서는 100kN 용량(DSCS, BONGSHIN, KOREA)의 동적가력기를 이용하여 6,250mm 높이에서 1mm·min⁻¹ 변위제어 방식으로 가력하였다. 가력기와 기둥은 U볼트를 이용해 연결하였다.

실험체에는 변위계와 변형률계가 Fig. 3과 같이 설치되었다. 수평변위를 측정하기 위해 지면으로부터 250, 5,800, 7,000mm 높이에 큰 변위를 측정할 수 있는 와이어 변위계(DP type, TML, JAPAN)를 지면으로부터 수평 및 수직하게 9지점(수평 7개, 수직 2개)을 설치하였다. 또한 실험체에 가해지는 하중에 의한 각 부재의 응력상태를 확인하기 위해서 변형률계(FLA-5-11-1L, TML, JAPAN)를 지면으로부터 100mm, 5,310mm 높이에 16지점을 설치하였다.

하중, 변위, 변형률은 멀티 레코더 TMR-200/300 시리즈를 이용하는 다채널 동적 데이터(TMR-720, TML, Japan)처리를 위한 소프트웨어 장비를 통해 기록하였다. 샘플링은 10Hz로 설정하였고 데이터는 CSV 형식으로 변환하여 데이터 분석에 이용하였다.

2. 온실 구조해석

Table 1과 Fig. 2와 같이 실험체를 3D 모델링하여 범용구조해석 프로그램인 SAP2000 Ver.23.3.1(Computer and Structure,

Inc., USA)을 사용하여 선형해석을 수행하였다. 하중은 구조 실험 결과와 비교하기 위해 10kN 씩 단계적으로 하중을 증가시켜 해석을 수행하였다. 지점 조건은 모두 고정으로 설정하였고, 가새의 양 끝단은 end releases 기능을 이용하여 모멘트가 전달되지 않고 축력만 받도록 모델링하였다.

결과 및 고찰

1. 실험 결과

실물 크기 실험체의 가력실험은 횡방향으로 점진적으로 하중을 가력하여 실험체가 파열음을 내면서 파괴되었을 때 종료하였다. 실험체가 파괴되었을 때 최대하중은 42.44kN이었고 이때 최대 변위는 DH4 지점에서 252.2mm이었다. Fig. 4는 DH4 지점의 하중-변위 그래프를 나타낸 것이다. 하중이 증가하면서 변위도 증가하는 선형거동을 보였으며 Fig. 5와 같이 최대하중이 도달했을 때 볼트가 절단되어 빠지거나 너트가 풀리면서 하중이 급격히 저하되었다. 횡하중 가력 실험결과 이전 연구들과 유사하게(Choi 등, 2017) 접합부가 충분한 강성을 확보하지 못하여 하중을 각 부재로 원활하게 절단하지 못하고 파괴가 발생한 것으로 판단된다.

2. 횡하중 가격 실험과 구조해석 결과 비교

2.1 변위

구조해석으로부터 얻은 변위와 실험으로부터 측정된 변위 데이터를 하중 단계별로 Fig. 6에 나타냈다. 수직 변위는 거의

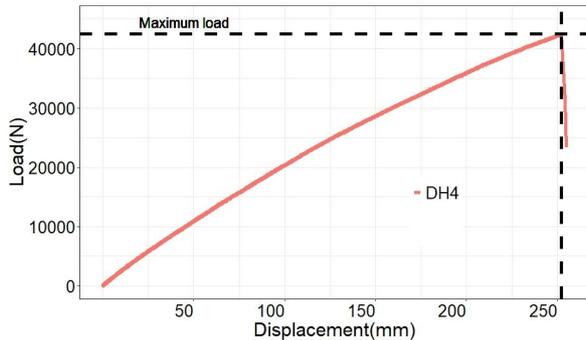


Fig. 4. Load-displacement curve at DH4 location.



Fig. 5. The failure mode of specimens with bracing members installed in the column top.

변화가 없었고 수평 변위는 측정된 모든 지점에서 하중이 증가하면서 변위가 점점 증가하였으며 동일한 하중에서 실험으로 측정된 변위가 해석으로 구한 변위보다 100mm 이상 큰 값을 나타내는 지점도 있었다. 최대하중에 도달했을 때 DH1, DH3, DH4 지점에서 변위가 최대 115.9mm, 112mm, 117.5mm 차이가 발생하였다. 수평변위를 측정된 모든 지점에서 하중 증가에 비례하여 변위가 증가하면서 극한하중에 도달하였다. 가새는 횡 방향의 변위를 억제시키기 위해 설치하는데 본 실험에서는 가새 본래의 역할을 수행하지 못한 것으로 판단된다. 따라서 가새를 온실 설계에 적용할 때는 횡 방향 변위를 억제하기 위한 정확한 가새의 시공방법 및 설계기준 마련이 필요할 것으로 판단된다.

2.2 응력

각 기둥 부재(수직재)에 설치된 변형률계로부터 측정된 하중을 실험과 구조해석으로 계산하여 하중-응력 곡선을 분석하였다(Fig. 7). 하중-응력 그래프는 10kN, 20kN, 30kN, 40kN, 그리고 최대하중에 도달한 시점의 데이터를 사용하였다. ST-ST3 지점은 트러스와 기둥이 조립된 위치에서 측정하여 실험과 해석 결과의 차이가 많이 발생하였다. 그 외 기둥 부재의 하중-응력 비교 그래프의 경우 압축응력을 받는 유사한 경향을 보였으며 가새와 기둥부재가 연결되는 곳에 설치된 지점에 응력이 집중되어 실험값이 해석값보다 큰 경우도 있었다(ST5, ST7, ST13). 최대하중이 도달하였을 때는 기둥 하단에서 측정된 응력이 강재의 항복강도 275MPa를 약간 초과하는 곳은 5 지점이었으며 11 지점은 항복강도 보다 월등히 낮은 응력값을 보였다. 기둥 부재 재료의 강도가 충분히 하중을 견딜 수 있음에도 불구하고 가새의 접합부에 파괴가 발생한 것은 가새 설

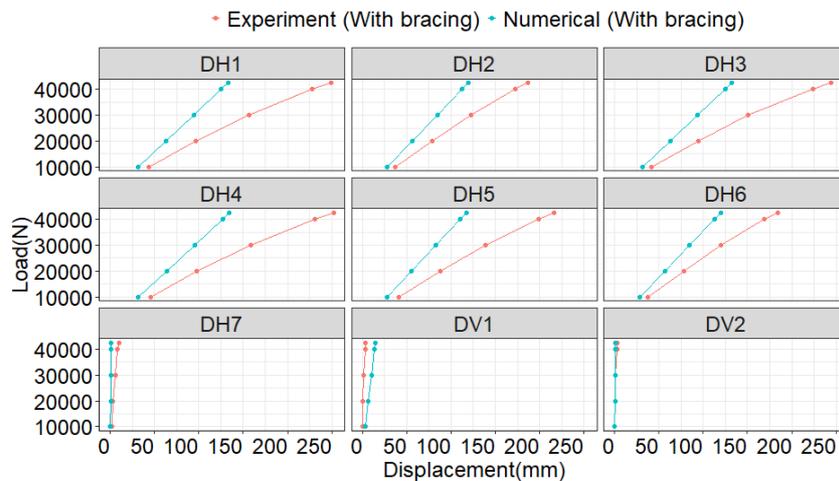


Fig. 6. Load-displacement graph at displacement measurement location.

치에 필요한 볼트 강도 및 사이즈 등 접합부에 대한 명확한 기준 없이 시공되었기 때문에 판단된다.

2.3 횡강성

구조해석을 위해 Fig. 8과 같이 가새의 설치 유무에 따라 온실 구조물을 모델링하였다. 가새는 실험에 사용한 동일한 크기로 모델링하였으며 가새와 기둥이 연결되는 양쪽 끝단은 모

멘트가 전달하지 않도록 설정하였다. 하중은 단계적으로 10kN, 20kN, 30kN, 40kN, 그리고 마지막으로 실험 최대하중을 적용하여 구조해석을 수행하였다.

수치해석적으로 가새의 설치 유무에 따른 횡강성을 비교하기 위해 실험결과에서 가장 큰 변위가 발생한 DH4 지점의 횡강성을 분석하였다. 가새가 없는 모델은 $0.17\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ 의 횡강성을 나타냈으며 가새가 적용된 모델은 $0.31\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ 의 횡

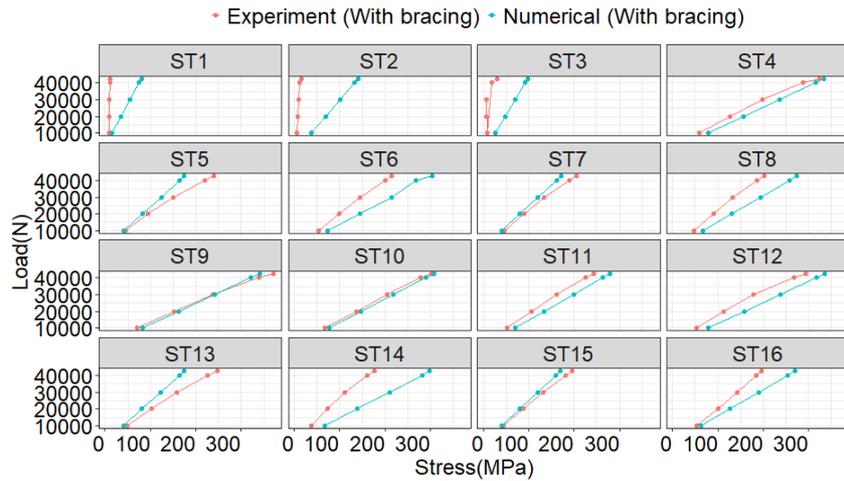


Fig. 7. Load-stress graph at displacement measurement location.

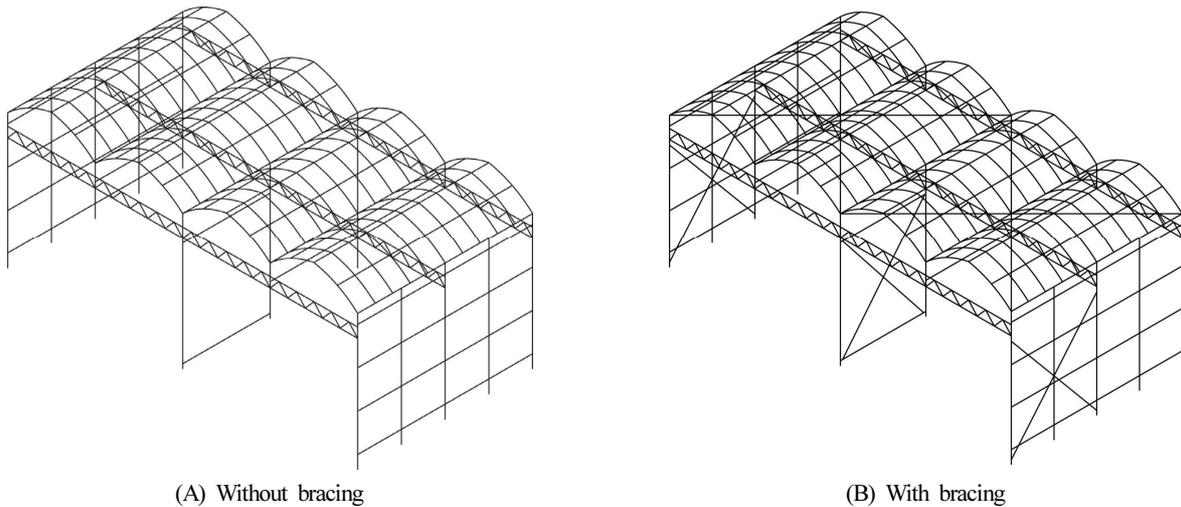


Fig. 8. Greenhouse modeling without (A) or with (B) bracing.

Table 2. Numerical lateral stiffness comparisons.

Classification	Experiment (With bracing)	Numerical (With bracing)	Numerical (Without bracing)	Remarks
Lateral stiffness ($\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$)	0.19	0.31	0.17	Capacity increased by 44%

강성을 가짐을 알 수 있었다. Table 2에 나타난 것처럼 가새 시스템을 적용함으로써 횡강성이 최대 44%까지 증가하였다. 따라서 구조해석은 모든 절점을 고정으로 가정하여 분석한 결과이므로 실제온실의 접합부 결속력을 증가시키면 횡강성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 실험형 실험과 구조해석을 통해서 현장에서 사용되는 가새 시스템을 적용한 강관 골조 플라스틱 연동온실의 횡하중 가력시험을 수행하고 성능을 분석하였다. 횡강성과 응력을 분석하기 위해 실험체에 변위와 변형률계를 각각 9개소 및 16개소 설치하였으며 가새의 설치 유무에 따른 성능을 비교하기 위해 구조해석을 수행하였다. 실험형 실험과 가새의 설치 유무에 따른 구조해석 결과 비교에서 구조물의 횡강성이 많은 차이를 보였다. 실험체의 측고 부근에서 측정된 횡강성은 가새 시스템을 설치함으로 강성을 최대 44%까지 증가시켰다. 현장에서 사용하는 가새의 접합부가 충분한 강성을 확보하지 못함으로써 외력을 전체 구조물에 적절히 전달하지 못하여 횡강성이 구조해석 결과보다 많이 저하되는 현상이 나타났다. 따라서 온실 설계 시 구조성능의 신뢰성을 높이기 위해서 가새 시스템의 연결방법, 설치위치, 부재의 최대길이 등 온실의 접합부에 대한 명확한 시공방법과 설계기준이 정립되어 온실 설계가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

추가 주제어: 가새, 유한요소해석, 풍하중, 횡강성

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ015063012 022)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Cho K.H., and S.B. Kim 2019, Compressive strength of concrete-encased composite columns according to design specifications. *J Korean Soc Steel Const* 31:223-231. (in Korean) doi:10.7781/kjoss.2019.31.3.223
- Choi M.K., H.R. Ryu, M.W. Cho, and I.H. Yu 2017, Effect of the member joint on structural performance of an arch-type multi-span greenhouse: A full-scale experimental and numerical study. *Protected Hort Plant Fac* 26:402-410. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2017.26.4.402
- Choi M.K., H.R. Ryu, M.W. Cho, and I.H. Yu 2018, Evaluation of steel-pipe connections in plastic greenhouse using bending test. *Protected Hort Plant Fac* 27:391-399. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.4.391
- Chung D.H., G.Y. Kim, and J.H. Won 2015, Effects of minimum horizontal load on structural safety of system supports. *J Korean Soc Saf* 30:37-43. (in Korean) doi:10.14346/JKOSOS.2015.30.5.37
- Lee S.W., S.C. Jeong, S.J. Kim, and J.H. Won 2020, Experimental study on ultimate load of system scaffolding according to catwalk width and bracing installation. *J Korean Soc Steel Const* 32:127-137. (in Korean) doi:10.7781/kjoss.2020.32.2.127
- MAFRA and RDA 2014, Design and construction code on horticultural and herbal facilities for disaster resistance. National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, Korea. (in Korean)
- Park S.E., J.W. Lee, S.G. Lee, and J.H. Choi 2010, Analysis and reinforcing method of greenhouse frame for reducing heavy snow damage. *J Korean Soc Hazard Mitig* 10:1-7. (in Korean)
- Park Y.S., G. Cui, and Y.C. Park 2018, Experimental study on compressive seam strength of bolted connection in extra-deep corrugated steel plates. *J Korean Soc Steel Const* 30:309-316. (in Korean) doi:10.7781/kjoss.2018.30.5.309
- Yoo J.H. 2009, Evaluation of gusset plate connection stiffness in braced frames. *J Korean Soc Steel Const* 21:105-113. (in Korean)
- Yu I.H., E.H. Lee, M.W. Cho, H.R. Ryu, and Y.C. Kim 2012, Development of multi-span plastic greenhouse for tomato cultivation. *J Bio-Env Con* 21:428-436. (in Korean)
- Yum S.H., S.H. Kim, S.B. Lee, M.Y. Kim, and C.S. Kim 2010, Effect of a supplementary pole on the structural stability in the single-span plastic greenhouses. *J Bio-Env Con* 19:63-69. (in Korean)