

인장타이를 이용한 비닐하우스의 보강효과에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Strengthening Effect of Plastic Greenhouse using Tension-tie

장 유 진¹⁾ · 이 수 현²⁾ · 채 승 훈³⁾ · 신 경 재⁴⁾
Jang, Yu Jin · Lee, Swoo Heon · Chae, Seoung Hun · Shin, Kyung Jae

요약 : 최근 기상이변으로 인한 겨울철 폭설로 농가 시설물 중의 하나인 비닐하우스의 붕괴사고가 빈번히 발생하여 농가의 피해가 증가되고 있다. 하지만 이에 대한 정부의 대책이 미약하여 매년 붕괴사고가 일어난다. 프레임 붕괴의 주된 이유는 폭설시 저항할 수 있는 휨내력이 부족하기 때문이다. 본 연구에서는 현재 이용되는 비닐하우스에 인장타이로 보강한 실험연구를 수행하였다. 비닐하우스의 스패는 6.5m이고, 단면은 두 가지 종류($\phi 25.4 \times 1.5$, $\phi 31.8 \times 1.5$)를 사용하였다. 비닐하우스의 곡선 보와 직선 기둥 연결부에 임시적인 인장타이로 스틸 와이어와 로프를 이용하여 보강하였다. 프리텐션을 인장타이에 적용시켰고, 적설하중을 등가의 수직하중으로 파괴할 때까지 적용하였다. 무보강과 로프 보강을 비교한 결과 로프 보강의 붕괴하중이 10~45% 증가하였고 무보강과 스틸와이어 보강을 비교한 결과 스틸와이어 보강의 붕괴하중이 58~73% 증가하였다. 강도와 관련해서는 비교적 스틸와이어가 효과적이거나, 연결부 및 프리텐션 적용이 로프보다 복잡하고 어려우므로 로프가 더 효율적인 것으로 판단된다.

ABSTRACT : The number of cases of collapsed plastic greenhouses in farmlands has increased due to the heavy local snowfall caused by extraordinary atmospheric phenomena. Consequently, the economic losses of farmers have also increased. However the government policy in relation to damage pretension is insufficient and collapse case is repeated every year. The main reason for frame collapse is that the moment capacity of a steel pipe is not sufficient to resist a heavy snowload. In this study, experiments were conducted on the current frame system of a greenhouse with a tension tie. The frame consisted of two sections($\phi 25.4 \times 1.5$, $\phi 31.8 \times 1.5$), and its span length was 6.5 m. A temporary tension tie using a steel wire and a fabric rope was connected to the two joints, to which a curved beam and a straight column were connected. The pretension force was applied at the tension tie, and a vertical force simulating snowfall was applied until failure. The fabric rope frame increased the load-carrying capacity by 10-45% compared to the normal frame without a tension tie, and the steel wire frame increased the load-carrying capacity by 58-73% compared to the normal frame without a tension tie. Steel wire was found to be more effective as far as strength is concerned, but its connection details and pretension application are more difficult and complicated than those of the fabric rope. The test results thus show that the fabric rope is more preferable.

핵심용어 : 비닐하우스, 폭설, 붕괴, 인장타이, 로프

KEYWORDS : greenhouse, heavy snow, collapse, tension-tie, rope

1. 서론

최근 들어 이상기후로 인한 폭설로 겨울철 농가의 주요시설물 중의 하나이자, 소득의 근원인 비닐하우스의 붕괴사고가 빈번해져서 농가의 피해가 증가하고 있다. 우리나라의 농가지도형 비닐하우스(농가지도형은 단동형 비닐하우스를 의미하며, 철재 파이프하우스라고도 한다.)설계도는 1999년 10월에 정부

지원시설이 아닌 농가에서 자체적으로 설치한 단동형 비닐하우스에 대해 기상재해가 발생했을 때 복구지원을 위한 기준으로 사용하기 위해 제작된 것이다(농림부, 1999). 여기서, 농가지도형 비닐하우스는 농가의 경제적 여건상의 문제로 경험에 의하여 자가시공이 이루어졌기 때문에 구조적인 검토가 적용되지 않은 구조체라는 것이다. 이에 비닐하우스의 구조 성능 검토 및 개선을 위한 여러 연구가 진행된 바 있다(이태훈 등, 2001;

1) 경북대학교 건축공학과 석사과정(jyj0117@knu.ac.kr)

2) 교신저자. 경북대학교 건축공학과 박사수료

(Tel. 053-950-5591, Fax. 053-950-6590, E-mail : finksnow@knu.ac.kr)

3) (주)동성중공업 기술연구소 팀장(chaesh@dshi.co.kr)

4) 경북대학교 건축공학과 교수, 공학박사(shin@knu.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2010년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

김보경 등, 2008; 김보경 등, 2009; 신동휘 등, 2009).
그러나 아직도 기상이변에 어떠한 대책도 마련하지 못하고

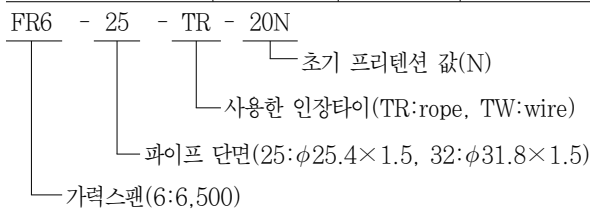
수 있었는데, 안전한 곡물반경을 제시함으로써 비닐하우스 표
준도면에 추가할 수 있는 정보를 제공하고자 한다.

표 1. 실험체 일람표

실험체명	인장타이	프리텐션(N)	파이프단면(mm)				W_1 (mm)	W_2 (mm)	H_1 (mm)	H_2 (mm)	s (mm)
			A (mm ²)	I (mm ⁴)	S (mm ³)	Z (mm ³)					
FR6-25	-	-	$\phi 25.4 \times 1.5$				6,500	6,100	1,700	1,200	880
FR6-25-TR-100N	로프	100									
FR6-25-TR-200N	로프	200									
FR6-25-TW-100N	와이어	100									
FR6-25-TW-200N	와이어	200									
FR6-32	-	-	$\phi 31.8 \times 1.5$				6,500	6,100	1,700	1,300	880
FR6-32-TR-100N	로프	100									
FR6-32-TR-200N	로프	200									
FR6-32-TW-100N	와이어	100									
FR6-32-TW-200N	와이어	200									

* A : 단면적, I : 단면 2차 모멘트, S : 단면계수, Z : 소성단면계수

* W_1, W_2, H_1, H_2, s : 그림 1 참조



매년 피해는 반복되고 있다. 기상이변에 의해 붕괴된 시설의 철거비용, 새로운 시설 설치비용, 작물재배 중단으로 인한 경제적 손실 등 농가의 부담뿐만 아니라 보상으로 인한 국가의 경제적 부담도 되고 있다. 그리고 어떤 경우에는 비닐하우스의 붕괴를 방지하고자 농작물의 피해를 감수하더라도 하우스의 보온 매체인 비닐을 찢어서 구조물의 붕괴에 대비하기도 한다. 이런 반복된 피해에 농림부에서는 2017년까지 현재 사용되고 있는 일반형 규격의 파이프를 내재해형(SPVHS) 규격으로 교체해 목표 두께 내재해형 규격이 아닌 경우의 피해 발생시에는 복구지원율을 하지 않을 것이라고 한다(농림부, 2008).

그리하여 본 연구에서는 현재 일반적으로 농가에서 사용되어지고 있는 단동형 비닐하우스의 단위실험체를 계획하여 농림부에서 제시한 내재해형 파이프를 사용한 실험체 비닐하우스를 제작하고 내력 실험을 수행하였다. 그리고 김보경(2008, 2009, 2010) 등에 의해 제시된 인장타이 보강법을 사용하여 실제의 보강효과의 정도를 파악하였다. 인장타이의 설치높이가 1.7m 정도로, 설치시에는 사용성면에서 불편이 있겠지만 폭설이 예상되는 시기에 일시적으로 설치하고 적설이 제거되면 바로 해체할 수 있도록 한다. 인장타이로는 섬유재질의 로프를 선택하였지만 로프의 종류 및 성능은 다양하다. 그리하여 인장재로 많이 사용되는 와이어를 이용한 보강과 본 연구에서 선택한 로프의 보강 성능정도를 살펴보고자 한다. 또한 비닐하우스 프레임의 곡선부 가공과정에서 과도한 변형이 일어남을 발견할

2. 실험

2.1 실험체 개요

표 1은 본 연구에서 계획한 실험체 일람표이다. 현재 농가에서 사용되어지는 단동비닐하우스는 스패인이 3.0~8.2m로 다양하지만 본 연구에서는 6.5m 스패인으로 계획하였다. 그림 1처럼 2개의 프레임과 서까래를 이용하여 비닐하우스 골조형태를 갖추고 서까래의 중앙 4점을 가력하도록 하였다. 실험에 사용된 파이프는 농림부에서 제시한 비닐하우스 구조용 아연도금강관(SPVHS)재질이고 단면은 $\phi 25.4 \times 1.5$ 와 $\phi 31.8 \times 1.5$ 두 가지를 사용하였다. 각 단면별 변수로는 인장타이의 종류와 프리텐션의 크기이다. 무보강과 사람의 힘으로 가능할 것으로 판단되는 100N, 200N 프리텐션에 따른 보강효과를 비교하고자 하였다.

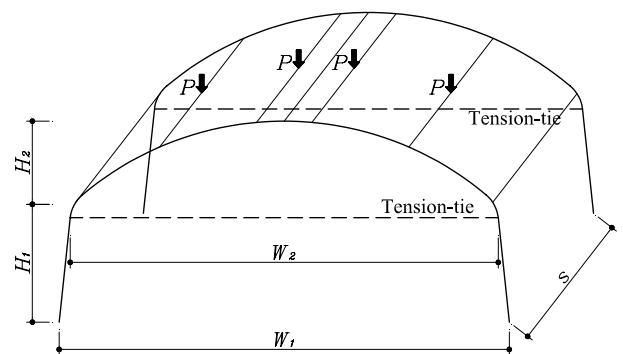


그림 1. 비닐하우스 단위 실험체 형상

2.2 가력 및 측정

적설하중의 기본값으로 최소값인 0.5 kN/m^2 (500 mm 적설심 기준)을 적용하여, 식(1)과 같이 평지붕 적설하중(S_f)에 지붕 경사도계수(C_s)를 곱하여 곡면지붕 적설하중(S_s)을 산정하였다. 표 2는 지붕경사도계수 및 적용하중을 나타낸다(대한건축학회, 2006; 김보경 등, 2009; 김보경 등, 2010). 산정된 곡면지붕 적설하중(S_s)에 서까래 간격($s = 880 \text{ mm}$)를 곱하여 적용하중을 구하였다.

$$S_s = C_b \cdot C_e \cdot C_t \cdot I_s \cdot S_g \cdot C_s \quad (1)$$

여기서,

C_b : 기본 지붕적설하중계수 (0.7)

C_e : 노출계수 (1.0)

C_t : 온도계수 (1.2)

I_s : 중요도계수 (0.8)

S_g : 지상 적설하중의 기본값 (0.5)

C_s : 지붕 경사도계수

표 2. 지붕경사도계수 및 적용하중(N/m)

	0~10°	10~20°	20~30°	30~40°	40~50°	50~60°	60~70°
C_s	1.00	0.85	0.70	0.60	0.40	0.20	0.10
ω	200	170	140	120	80	40	20

그리고 그 하중을 등가의 집중하중으로 치환하여 표 3과 그림 2와 같은 가력 위치를 산정하였다. 그림 2처럼 도르래와 윈치를 이용하여 비닐하우스 프레임 양쪽에서 로프를 감으면서 대변형에도 가력이 가능하도록 가력장치를 고안하였다. 고정도르래와 이동도르래의 원리를 이용하여 각 가력점에 같은 하중이 작용하게 된다.

표 3. 프레임 가력 위치

파이프 규격	L (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)
$\phi 25.4 \times 1.5$	6,500	1,450	1,400	800
$\phi 31.8 \times 1.5$	6,500	1,450	1,400	800

※ 그림 2 참조

그림 3은 로프에 작용하는 하중을 수직으로 정확하게 전달하기 위한 하부도르래로서 두 도르래가 벌어지지 않도록 연결하였다. 또한 프레임의 횡방향 대변형에도 도르래가 이동하면서

수직하중을 전달할 수 있도록 샤클을 이용하여 좌우로 움직일 수 있도록 하였다. 그림 4는 프리텐션을 주기 위해 사용된 인장타이인 로프의 모습이며, 인장로프 단부에 장력을 조절하기 위해 지레작용장치가 부착되어 장력을 쉽게 조절할 수 있는 특징을 갖고 있다. 그림 5와 같이 프레임 직선부재(기둥)의 상단에 인장타이 및 장력을 측정할 수 있도록 로드셀을 설치하고 가력 중에도 인장타이에 작용하는 하중을 모니터링하였다. 그림 6처럼 가력점 한 곳에 5kN 로드셀을 설치하여 가력하중을 측정하였으며, 그 하중을 전산 해석 시 적용하여 실험값과 해석 데이터를 비교하였다. 수직처짐 및 횡변위는 1,000mm 줄변위계를 사용하여 측정하였다.

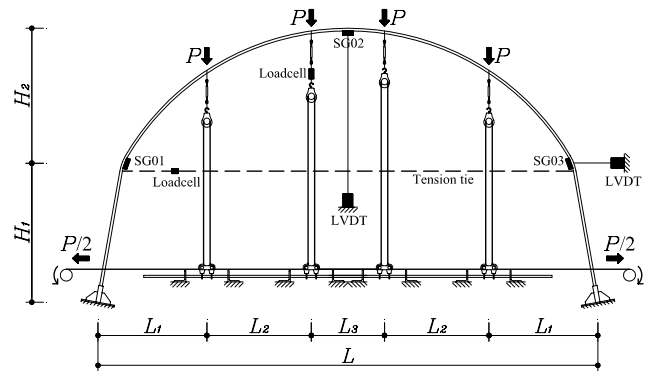


그림 2. 가력실험 세부설치상황



그림 3. 하부도르래

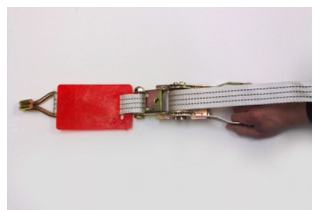


그림 4. 인장타이

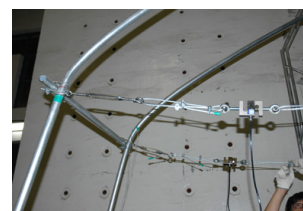


그림 5. 장력 측정 로드셀

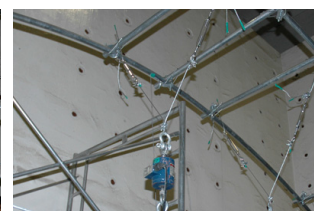


그림 6. 가력하중 측정 로드셀

2.3 재료시험

2.3.1 Stub-column test

농촌진흥청에서 고시된 비닐하우스 구조용 아연도금강관인 SPVHS $\phi 25.4 \times 1.5$ 와 $\phi 31.8 \times 1.5$ 파이프의 재료특성을 구하기 위하여 UTM을 사용하여 stub-column test를 수행하

였다. 두 가지 단면의 시험결과 표 4와 같은 결과가 나왔다. 표 4와 같이 $\phi 25.4 \times 1.5$ 파이프는 실험값 F_y 가 공칭 항복강도 F_y 보다 48% 정도 높게 나타났으며, $\phi 31.8 \times 1.5$ 는 43% 높게 나타났다. 항복강도 실험값이 공칭강도보다 월등히 커진 이유는 파이프의 가공시 법선방향으로 소성가공이 되어 이미 변형경화영역에 도달하였기 때문인 것으로 판단된다. 그림 7은 stub-column test 상황이고 그림 8은 각 단면의 국부좌굴 형상을 나타낸다(좌: $\phi 25.4 \times 1.5$, 우: $\phi 31.8 \times 1.5$).

표 4. 파이프 단면 성능

단면(mm)	공칭강도		실험값		
	F_y (MPa)	F_u (MPa)	F_y (MPa)	F_u (MPa)	항복비 (F_y / F_u)
$\phi 25.4 \times 1.5$	295	400	430	525	0.82
$\phi 31.8 \times 1.5$			425	456	0.93

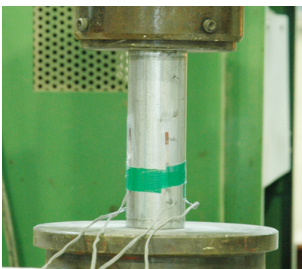


그림 7. 파이프 설치상황



그림 8. 파이프의 국부좌굴형상

2.3.2 인장타이의 인장시험

인장타이로 사용한 단면이 $\phi 4\text{mm}$ 인 스틸와이어와 단면이 $37 \times 2.0\text{mm}$ 인 로프의 인장시험을 수행한 결과 그림 9와 그림 10과 같이 응력-변형률 그래프가 나타났다. 스틸와이어의 탄성계수는 27,000MPa, 로프의 탄성계수는 2,700MPa로 나타났다. 그림 11과 그림 12는 인장 시험상황을 나타낸다.

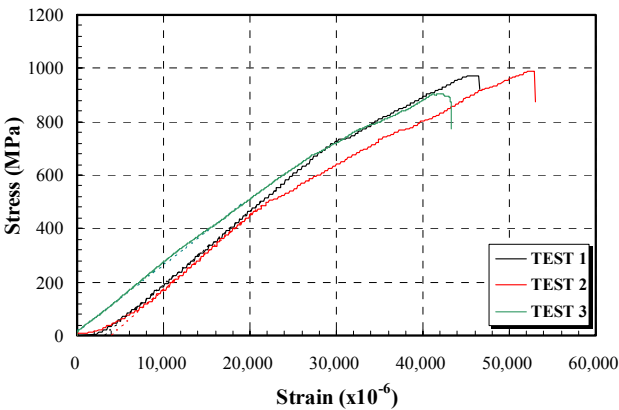


그림 9. 스틸와이어의 응력-변형률 곡선

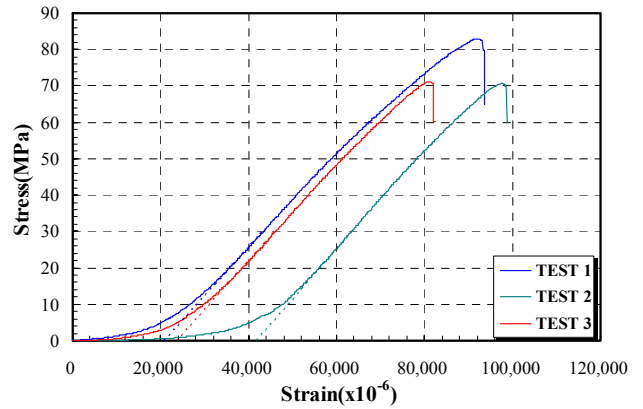


그림 10. 로프의 응력-변형률 곡선



그림 11. 스틸와이어 인장재



그림 12. 로프 인장재

2.3.3 휨시험

파이프 단면치수별 모멘트-곡률을 예측하기 위해 휨시험을 수행하였다. 그림 13처럼 2점 가력을 수행하였고 2개의 스트레인게이지를 통하여 변형률을 측정하였다.

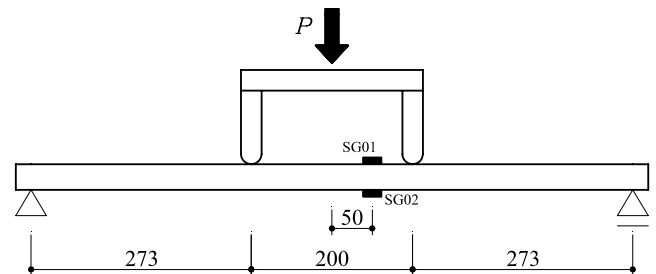


그림 13. 스트레인게이지의 설치위치

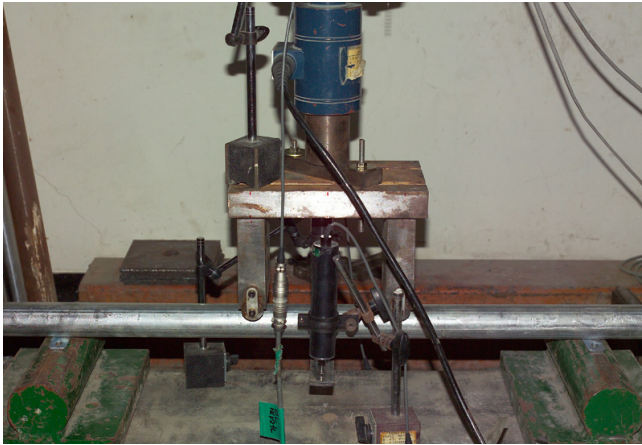


그림 14. 파이프 휨시험 전경

스트레인게이지로 측정된 변형률을 식 (2)의 관계식을 이용하여 $M-\phi$ 곡선을 구하였으며, 식 (3)과 식 (4)로 구한 이론상의 M_p 값과 M_u 값을 파이프별로 그림 15에 비교하여 나타내었다.

$$\phi = \varepsilon / y \tag{2}$$

$$M_p = Z_p \times F_y \tag{3}$$

$$M_u = Z_p \times F_u \tag{4}$$

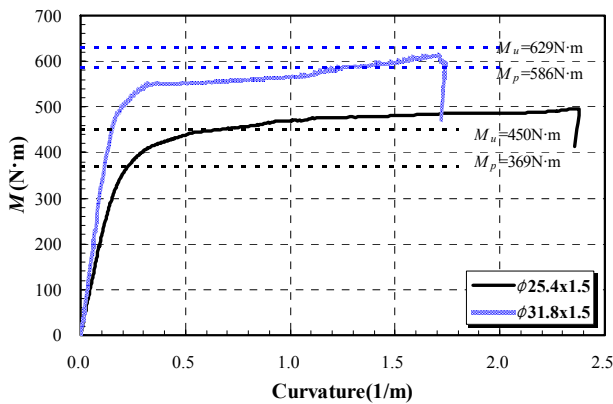


그림 15. 파이프의 M - κ 곡선

3. 실험 결과

3.1 FR6-25 실험체 가력실험

FR6-25 실험체에 대하여 가력실험을 수행한 결과, 다음과 같은 결과가 나왔다. 그림 16은 FR6-25 실험체의 수직하중-인장재장력 관계를 나타낸다. TW100(와이어 보강)의 경우가 TR100(로프 보강)의 경우보다 인장타이에 작용하는 하중이 더 크게 나타났으며 붕괴하중이 17% 증가하였다. TW200의 경우가 TR200보다 붕괴하중이 29% 증가하였다.

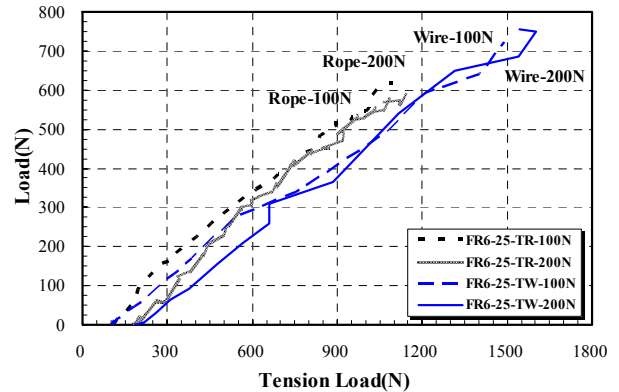


그림 16. FR6-25 실험체 수직하중-인장재장력 곡선

그림 17은 FR6-25 실험체의 수직하중-처짐 그래프이다. 프리텐션에 의해 TR100은 12mm, TR200은 6mm, TW100은 11mm, TW200은 23mm 정도 치울림이 발생하였고 그 시점에서 가력이 시작되었다. 무보강시보다 TR100의 경우 붕괴하중이 35% 증가, 처짐은 58%정도 감소하였으며, TW100의 경우 붕괴하중이 58% 증가, 처짐은 90%정도 감소하였다. 그리고 무보강시보다 TR200의 경우 붕괴하중이 29% 증가, 처짐은 54%정도 감소하였고, TW200의 경우 붕괴하중이 65% 증가, 처짐은 93%정도 감소하였다. 각 인장력에 대하여, 최대수직하중은 크게 차이가 나지 않았고, 프리텐션하중이 구조물의 전체강성에 크게 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

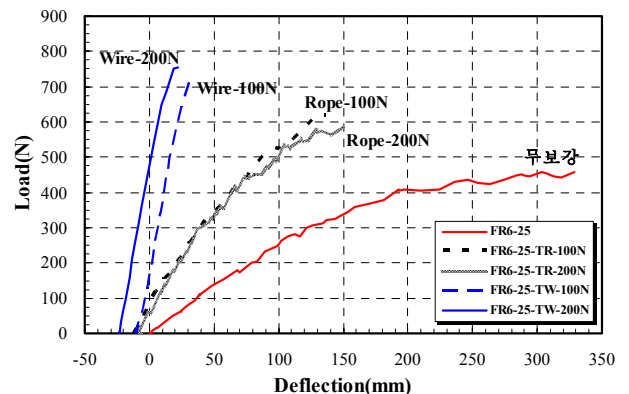


그림 17. FR6-25 실험체 수직하중-처짐 곡선

비닐하우스에 수직하중이 작용할 경우 국부변형이 크게 예상되는 부분에 스트레인 게이지(SG)를 부착하여 변형을 관찰하였다(그림 2 참조). 그림 18은 FR6-25 실험체의 수직하중-변형률(SG01) 그래프이다. 프리텐션에 의하여 인장변형을 하다가 가력시부터 압축변형을 하는 것을 확인할 수 있었다. 무보강시보다 TR100의 경우에 변형률이 53%정도 감소하였으며, TW100의 경우에는 95%정도 감소하였다. 그리고 무보강시보다 TR200의 경우에 변형률이 54%정도 감소하였으며,

TW200의 경우에는 98%정도 감소하였다.

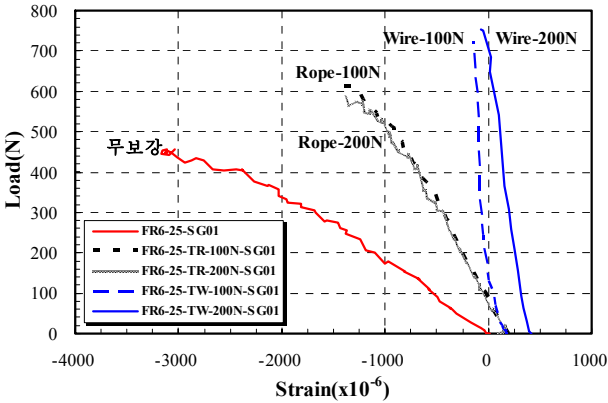


그림 18. FR6-25 실험체 수직하중-변형률(SG01) 곡선

그림 19는 FR6-25 실험체의 수직하중-변형률(SG02) 그래프이다. 프리텐션에 의해 압축변형을 하다가 가력시부터 인장 변형을 하였다. 무보강시보다 TR100의 경우에 변형률이 45%정도 감소, TW100의 경우에는 89%정도 감소하였다. 그리고 무보강시보다 TR200의 경우에 변형률이 43%정도 감소, TW200의 경우에는 90%정도 감소하였다.

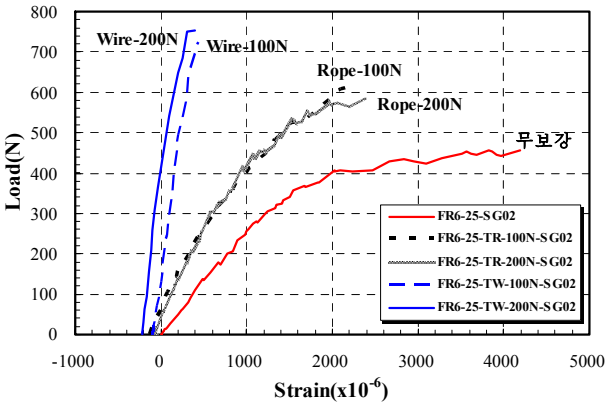


그림 19. FR6-25 실험체 수직하중-변형률(SG02) 곡선

그림 20은 FR6-25 실험체의 수직하중-변형률(SG03) 그래프이다. SG01과 같은 경향으로 프리텐션의 의해 인장변형을 하다가 가력시부터 압축변형으로 변화하였다. 무보강시보다 TR100의 경우에 변형률이 62%정도 감소하였다. 그리고 무보강시보다 TR200의 경우에 변형률이 62%정도 감소하였다. 이상적인 경우 SG01과 SG03은 같은 경향을 보여야 하지만 와이어 보강의 경우는 약간의 차이를 보인다. 이는 구조체가 SG01이 부착된 기둥방향으로 sway 붕괴형상이 발생하였기 때문에 SG01이 압축변형을 하고 SG03은 압축변형에서 인장 변형으로 변환한 것으로 판단된다.

와이어 보강의 경우 무보강이나 로프 보강의 경우에 비하면

변형률이 아주 작게 나타났다. 이는 와이어 보강의 경우 실험체의 파괴모드가 면의 횡좌굴로 인하여 실험이 종료되었기 때문이다. 무보강시 파괴모드가 휨파괴에서 보강시에는 횡좌굴로 파괴되는 다른 파괴 양상을 알 수 있었다.

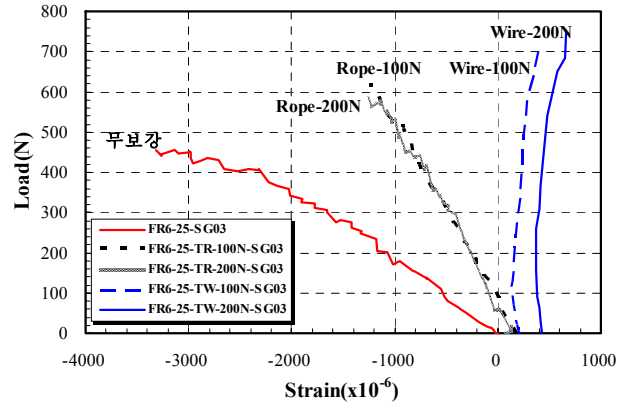


그림 20. FR6-25 실험체 수직하중-변형률(SG03) 곡선

3.2 FR6-32 실험체 가력실험

FR6-32 실험체 가력실험을 수행한 결과, 다음과 같은 결과가 나왔다. 그림 21은 FR6-32 실험체의 수직하중-인장재장력 관계를 나타낸다. $\phi 25.4 \times 1.5$ 와 마찬가지로 TR100의 경우보다 TW100의 경우가 인장타이에 작용하는 하중이 더 크게 나타났으며 붕괴하중이 55% 증가하였다. TR200의 경우보다 TW200의 경우가 붕괴하중이 20% 증가하였다.

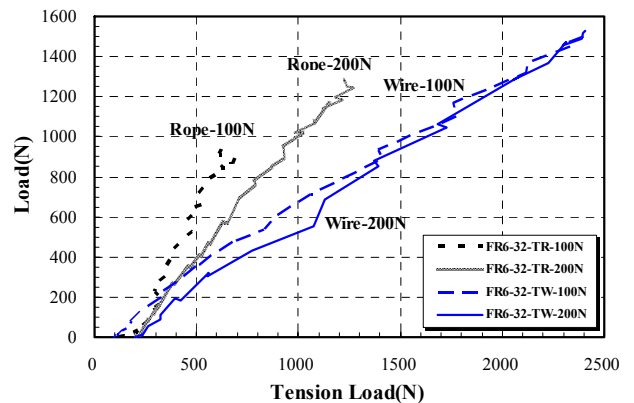


그림 21. FR6-32 실험체 수직하중-인장재장력 곡선

그림 22는 FR6-32 실험체의 수직하중-처짐 그래프이다. 프리텐션에 의해 TR100은 6mm, TR200은 24mm, TW100은 6mm, TW200은 10mm 정도 치울림이 발생하였고 그 시점에서 가력이 시작되었다. 무보강시보다 TR100의 경우 붕괴하중이 10% 증가, 처짐은 33%정도 감소하였으며, TW100의 경우 붕괴하중이 70% 증가, 처짐은 78%정도 감소하였다.

그리고 무보강시보다 TR200의 경우 붕괴하중이 45% 증가, 처짐은 44%정도 감소하였고, TW200의 경우 붕괴하중이 73% 증가, 처짐은 82%정도 감소하였다. $\phi 25.4$ 실험체와 마찬가지로 각 인장타이에 대하여, 프리텐션의 하중은 구조물의 전체강성에는 영향이 작은 것으로 보인다.

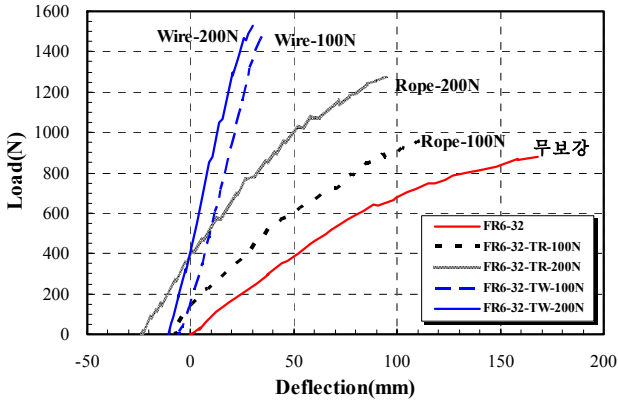


그림 22. FR6-32 실험체 수직하중-처짐 곡선

그림 23은 FR6-32 실험체의 수직하중-변형률(SG01) 그래프이다. 프리텐션에 의하여 인장변형을 하다가 가력시부터 압축변형을 하였다. TR100의 경우에 변형률이 무보강과 크게 차이를 보이지 않았고, TW100의 경우에는 변형이 크게 나타나지 않았다. 그리고 무보강시보다 TR200의 경우에 변형률이 40%정도 감소하였으며, TW200의 경우에도 TW100과 마찬가지로 변형이 크게 나타나지 않았다.

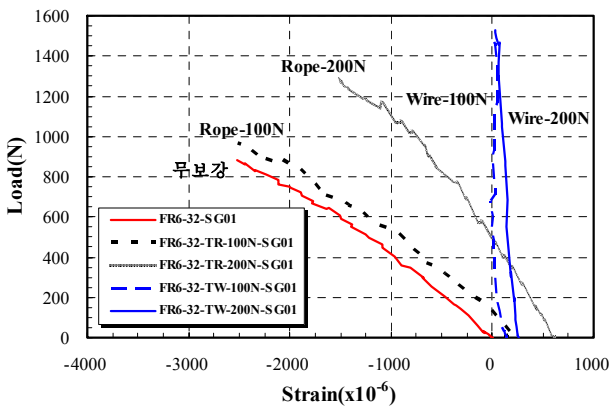


그림 23. FR6-32 실험체 수직하중-변형률(SG01) 곡선

그림 24는 FR6-32 실험체의 수직하중-변형률(SG02) 그래프이다. $\phi 25.4$ 실험체와 마찬가지로 프리텐션에 의해 압축변형을 하다가 가력시부터 인장변형을 하였다. 무보강시보다 TR100의 경우에 변형률이 36%정도 감소, TW100의 경우에는 80%정도 감소하였다. 그리고 무보강시보다 TR200의 경우에 변형률이 44%정도 감소, TW200의 경우에는 84%정도

감소하였다.

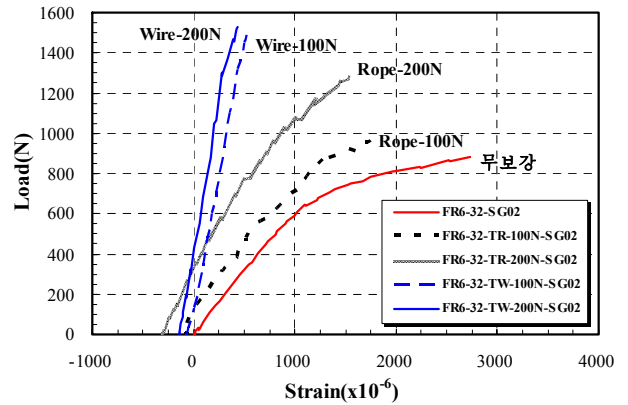


그림 24. FR6-32 실험체 수직하중-변형률(SG02) 곡선

그림 25는 FR6-32 실험체의 수직하중-변형률(SG03) 그래프이다. 무보강시의 변형률이 SG01에 비하여 아주 작은 변형을 한 것은 SG01이 부착된 기둥방향으로 sway 변형이 크게 일어났기 때문이다. 와이어 보강의 경우에도 조금의 sway 변형을 보이고 다른 실험체의 SG03은 SG01과 거의 같은 경향을 보이고 있다.

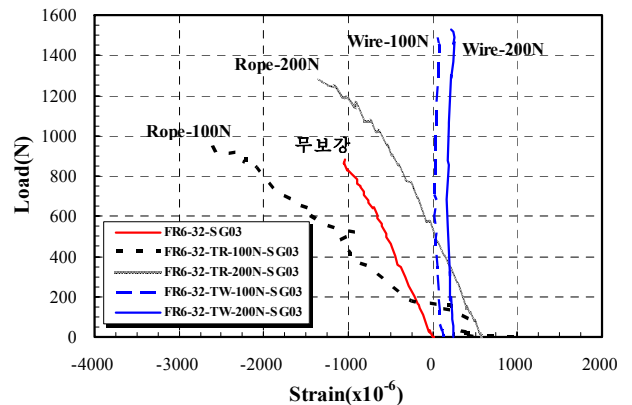


그림 25. FR6-32 실험체 수직하중-변형률(SG03) 곡선

와이어 보강의 경우 $\phi 25.4$ 실험체와 마찬가지로 구조체가 충분한 휨내력을 받기 전에 면의 횡좌굴이 발생하였다. 실제 현장의 비닐하우스의 경우는 면의 변형시 tie down 로프가 면 외방향으로 저항하는 구조재로 작용하기 때문에 면의좌굴강도가 증가한다. 실제 붕괴된 비닐하우스를 살펴보면 면외붕괴는 거의 발생하지 않고 그림 26의 형태인 면내 휨파괴로 붕괴된다(김보경 등, 2010). 그림 26은 무보강시, 그림 27은 타이 보강시 파괴모드이다. 그림 28은 FR6 실험체 지지부 변형, 그림 29는 FR6 실험체 기둥-보 연결부의 국부좌굴 사진이다.

표 5. 실험결과

실험체명	P(N)	Tension(N)	수직처짐(mm)	변형률(x10 ⁻⁶)			파괴모드
				SG01	SG02	SG03	
FR6-25	456 (100%)	-	329.1 (100%)	-3,038 (100%)	4,191 (100%)	-3,317 (100%)	면내 휨파괴
FR6-25-TR-100N	617 (135%)	1093	136.4 (42%)	-1,413 (47%)	2,298 (55%)	-1,250 (38%)	면외 횡좌굴
FR6-25-TR-200N	586 (129%)	1144	150.1 (46%)	-1,383 (46%)	2,396 (57%)	-1,252 (38%)	면외 횡좌굴
FR6-25-TW-100N	722 (158%)	1488	31.7 (10%)	-143 (5%)	441 (11%)	409 (-12%)	면외 횡좌굴
FR6-25-TW-200N	754 (165%)	1545	22.6 (7%)	-71 (2%)	399 (10%)	658 (-19%)	면외 횡좌굴
FR6-32	882 (100%)	-	168.2 (100%)	-2,517 (100%)	2,734 (100%)	-1,033 (100%)	면내 sway
FR6-32-TR-100N	969 (110%)	659	113.0 (67%)	-2,510 (99%)	1761 (64%)	-2,591 (251%)	면외 횡좌굴
FR6-32-TR-200N	1,278 (145%)	1,220	94.8 (56%)	-1,514 (60%)	1541 (56%)	-1,349 (131%)	면외 횡좌굴
FR6-32-TW-100N	1,499 (170%)	2,400	36.4 (22%)	7 (-0.3%)	532 (20%)	56 (-5%)	면외 횡좌굴
FR6-32-TW-200N	1,527 (173%)	2,409	30.3 (18%)	24 (-0.9%)	433 (16%)	216 (-21%)	면외 횡좌굴

※ 그림 2에서 Strain Gauge 위치를 참조

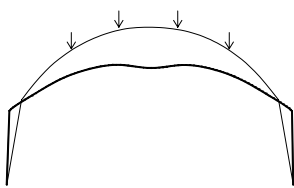


그림 26. 무보강시 파괴모드(면내 휨파괴)

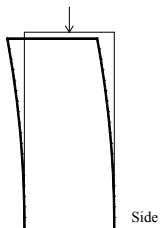


그림 27. 타이보강시 파괴모드(면외 횡좌굴)



리고 무보강과 스틸와이어 보강을 비교한 결과 스틸와이어에 프리텐션을 적용하였을 경우 내력이 58~73%까지 증가하였고, 처짐은 78~93%까지 감소하였으며, 파괴모드가 로프보강과 같은 휨파괴에서 횡좌굴로 바뀌었다. 스틸와이어 보강의 경우가 로프의 경우보다 좋은 효과가 나타났다. 와이어 보강이 이상적인 보강모델이라 할 수 있으나, 와이어의 경우 현장에서 초기 긴장력의 적용과 연결 상세가 복잡하다. 반면 로프는 초기 긴장력을 주기에 편리하여 로프를 이용한 방법이 더 실용적일 것으로 판단된다.

3.3 곡률반경 산정

파이프 실험체를 가력 하기 전에 그림 30과 같이 곡률을 측정하여 가공잔류 변형률에 대해서 알아보았다. 식 (5)~식 (7)의 관계식을 이용하여 곡률반경과 가공잔류 변형률을 구한 결과 표 6과 같다. 그림 31과 그림 32는 곡률 반경과 곡률 측정 모습이다.

$$R = \frac{4c^2 + b^2}{8\epsilon} \tag{5}$$

$$\phi = 1/R \tag{6}$$

$$\epsilon = \phi \times y \tag{7}$$



그림 28. 실험체 지지부 횡변형



그림 29. 실험체 기둥의 국부좌굴

전체 실험체 실험 결과의 요약은 표 5와 같다. 무보강과 로프보강을 비교한 결과, 로프에 프리텐션을 적용하였을 경우 내력이 10~45%까지 증가하였고, 처짐은 33~58%까지 감소하였으며, 파괴모드가 휨파괴에서 횡좌굴 파괴로 바뀌었다. 그

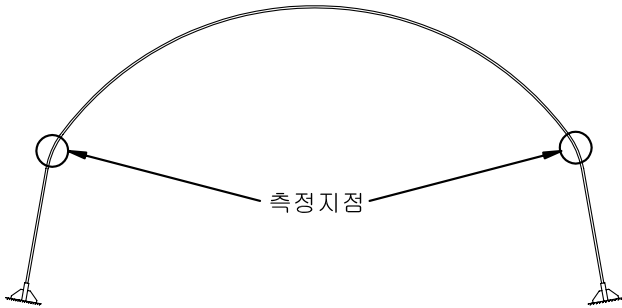


그림 30. 곡률측정 위치

표 6. 곡률 반경 및 곡률 측정 결과

단면(mm)	b(mm)	c(mm)	R(mm)	ϕ	$\varepsilon (\times 10^{-6})$
$\phi 25.4 \times 1.5$	150	5.8	500.5	0.0020	25,374
$\phi 31.8 \times 1.5$	150	6.2	472.6	0.0021	33,642

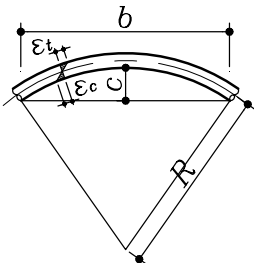


그림 31. 곡률반경



그림 32. 곡률측정 전경

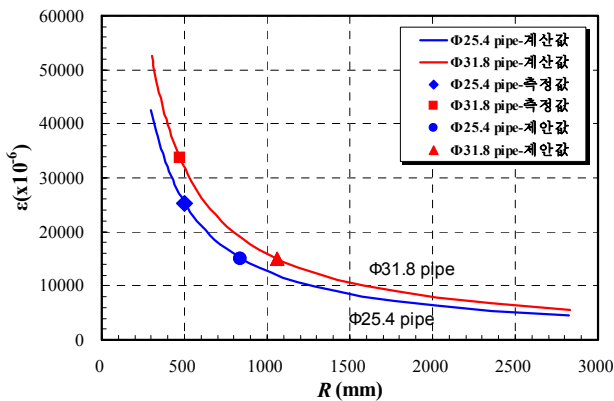


그림 33. 곡률반경과 변형률 곡선

그림 33은 식 (5)~식 (7)을 이용하여 곡률반경과 변형률의 관계를 나타낸 것이다. FR6 실험체 곡률을 측정한 결과를 그래프선상에 표시하여보니 비닐하우스 프레임이 휨가공 과정에서 항복이상의 큰 소성변형으로 제작되어진다는 것을 알 수가 있었다. 그리하여 본 연구에서 제시하고자 하는 것은 비닐하우스 프레임 제작 시 잔류변형이 최대 휨변형률이 $15,000\mu\varepsilon$ 이하로 제작되어지도록 곡률반경을 제한하여, $\phi 25.4 \times 1.5$ 의 경우에는 $\kappa = 0.94 (R = 840\text{mm})$ 이하로, $\phi 31.8 \times 1.5$ 의 경우에는 $\kappa = 1.19 (R = 1,060\text{mm})$ 이하로 하는 것이 적절하다

고 판단된다. 여기서, 원하는 잔류곡률을 얻기 위해서는 그림 34와 같이 $\phi 25.4 \times 1.5$ 의 경우는 $\kappa = 1.38 (R = 722\text{mm})$, $\phi 31.8 \times 1.5$ 는 $\kappa = 1.13 (R = 887\text{mm})$ 을 필요로 하다. 현재 제시된 $15,000\mu\varepsilon$ (항복변형률의 7~8 배정도)는 판폭두께비, 강재의 항복응력에 따라 달라질 수 있는 값이다.

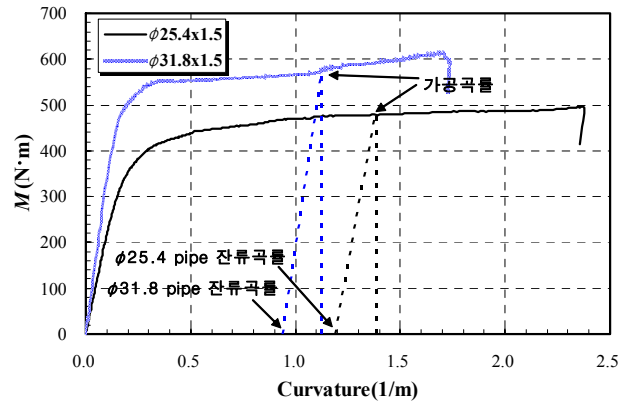


그림 34. 가공곡률과 잔류곡률

4. 결론

본 연구에서는 인장타이를 이용한 비닐하우스의 보강효과에 대하여 연구하였으며, 스펠 6.5m의 두 가지 단면을 가진 파이프 ($\phi 25.4 \times 1.5$, $\phi 31.8 \times 1.5$)를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) FR6 실험체에서 무보강과 스틸와이어보강을 비교한 결과 스틸와이어에 프리텐션을 적용하였을 경우 내력이 58~73%까지 증가하였고, 처짐은 78~93%까지 감소하였으며, 파괴모드가 로프보강과 같은 휨과파괴에서 횡좌굴로 바뀌었다.
- (2) 스틸와이어 보강이 로프 보강에 비해 그 효과가 크게 나타났으므로 와이어 보강이 이상적인 보강모델이라 할 수 있다. 하지만 와이어의 경우 현장에서 초기 긴장력의 적용과 연결 상세가 복잡하고, 로프는 초기 긴장력을 주기에 편리하여 실용성면에서는 로프보강이 유리할 것으로 판단된다.
- (3) 가공된 프레임의 곡률을 측정한 결과 휨가공 과정에서 항복이상의 큰 소성변형으로 제작되어진다는 것을 알 수가 있었다. 그리하여 최대 휨변형률이 $15,000\mu\varepsilon$ 이하로 제작되어지도록 곡률반경을 제한하여, $\phi 25.4 \times 1.5$ 의 경우에는 가공곡률반경을 약 722mm 이상으로 $\phi 31.8 \times 1.5$ 의 경우에는 가공곡률반경을 약 887mm 이상으로 하는 것이 적절하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원 (과제번호 #08지역기술혁신 B01-02)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

대한건축학회(2009) 건축구조설계기준 및 해설, 기문당.
 농림부(2008) 원예특작시설 내재해규격 설계도 및 시방서, 농림부 고시 2008-76호.
 농림부(1999) 원예특작시설 내재해규격 설계도 및 시방서, 농림부 고시.
 김보경, 이수현, 김진욱, 신경재(2010) 장스팬 비닐하우스의 폭설에 의한 붕괴방지법 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제1호, pp.67~74.

김보경, 이수현, 신경재(2008) 폭설시 프리텐션타이를 이용한 비닐하우스 보강방법연구, 2008년도 한국강구조학회 학술대회 발표집, 한국강구조학회, 제19권, 제1호, pp.445~448.
 김보경, 이수현, 신경재(2009) 장스팬 비닐하우스의 폭설에 의한 붕괴방지법 연구, 2009년도 한국강구조학회학술대회 발표집, 한국강구조학회, 제20권, 제1호, pp.227~228.
 신동휘, 이수현, 신경재(2009) 폭설에 의한 비닐하우스 붕괴방지를 위한 실험적 연구, 2009년도 대한건축학회 대구·경북 지회 학술발표대회 논문집, 대한건축학회, 제12권, 제1호, pp.123~126.
 이태훈, 이동근, 안상경(2001) 폭설에 대비한 비닐하우스의 보수 및 보강, 2001년도 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집 (구조계), 대한건축학회, 제21권, 제1호, pp.119~122.

(접수일자 : 2009. 12. 15 / 심사일 2009. 12. 22 / 게재확정일 2010. 3. 19)