

비닐하우스 폭설피해 방지용 가지주 장치의 개발
Development of a Temporary Pole Supporting System
to Protect the Plastic Houses from Heavy Snow Damage

남 상 운
충남대학교 농공학과
Nam, Sang-Woon

Dept. of Agricultural Eng., Chungnam National Univ., Taejeon, 305-764

서 론

우리 나라의 온실 설치 면적은 1999년말 현재 51,200ha에 이르고 있으며 그 중 유리온실이 363ha로 0.7%, 철골 경질판 온실이 125ha로 0.2%이고, 아연도강판을 사용한 비닐하우스가 50,712ha로 99.1%를 차지하고 있다. 파이프 골조의 비닐하우스는 대부분 아치형의 지붕 모양을 하고 있으며, 바람에는 비교적 강하나 적설에 약한 구조이다. 전국적으로 가장 널리 분포하고 있는 직경 25.4mm, 두께 1.5mm의 파이프를 사용한 폭 6m의 단동 온실의 경우 서까래 간격 60~80cm일 때 안전 적설심은 10~14cm 정도에 불과하다(남 등, 2000). 중부지방 대부분 지역에서 비닐하우스의 설계기준이 되는 15년 빈도의 설계 적설심은 22cm이상으로써 서까래 간격을 60cm로 하여도 적설에 불안전하므로 폭설에 대한 보강이 필요한 실정이다. 실제로 2001년 1월 7~9일 사이에 경기, 강원, 충청지방을 중심으로 내린 25cm 정도의 폭설로 비닐하우스 3,418ha가 파손되어 2,228억원의 피해를 입은 바가 있다(중앙재해대책본부, 2001).

그러므로 최소한 10cm 정도의 추가 적설에 대한 보강설계가 필요한 현실이지만 고정기둥의 설치는 작업성을 해치고 골조의 보강은 골격율을 높여 투광성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 건축비의 증가로 경제성에 문제가 있으므로, 환경조절 및 자동화 설비의 설치가 거의 없는 단동 비닐하우스의 경우에는 보강용 가지주를 준비해 두었다가 대설 주의보가 발령되면 설치함으로써 폭설로 인한 피해를 방지할 수 있을 것으로 생각된다. 보강용 가지주는 목재를 사용할 수도 있으나 강도도 크고 구입이 쉬운 비닐하우스용 파이프를 온실 높이에 맞게 절단해서 적당량을 준비해 두면 된다. 그러나 파이프를 지붕 도리에 직접 받치기가 쉽지 않아 연결장치가 필요하며, 또한 적설하중을 받으면 파이프 하단의 지반부분이 침하되므로 바닥의 받침이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 비닐하우스용 아연도 강판을 이용한 응급 보강용 가지주의 설치가 용이하도록 지붕연결장치와 바닥지지판을 개발하고, 아연도강판의 길이와 단면특성에 따른 좌굴하중을 구하여 온실의 폭과 높이에 따라 가지주로 사용할 파이프의 추가적인 적설하중 지지능력을 검토하였다.

재료 및 방법

가지주로 사용할 파이프는 비닐하우스용으로 많이 사용하는 4종류의 단면을 선택하였으며 이들의 단면특성은 Table 1과 같다. 가지주의 적설하중 지지능력은 기둥의 좌굴하중으로 볼 수 있으며, 세장비가 100 이상일 경우 Euler의 기둥 공식을 적용할 수 있다. 세장비가 100이 되는 파이프의 길이는 $\phi 25$ 가 0.9m, $\phi 32$ 는 1.1m, $\phi 42$ 는 1.4m, $\phi 48$ 은 1.6m이고, 온실의 높이는 최소한 1.8m 이상이므로 모든 경우에 적용이 가능하다. 따라서 가지주의 적설하중 지지능력은 다음 식과 같은 Euler의 좌굴하중 공식 (Timoshenko and Young, 1982)을 이용하였다.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (1)$$

여기서, P_{cr} 은 좌굴하중(kgf), E는 탄성계수(kgf·cm⁻²), I는 단면2차모멘트(cm⁴), l 은 기둥의 길이(cm)이다. 이 식은 기둥의 양단을 힌지로 본 것이고, 비닐하우스용 아연도강관의 탄성계수는 1.73×10^6 kgf·cm⁻²으로 하였다(남, 2000).

대한건축학회의 강관구조 설계기준(1998)에서 기둥재의 세장비는 200 이하, 기타 압축재의 세장비는 250 이하로 제한하고 있다. 이 기준에 의하면 $\phi 25$, $\phi 32$, $\phi 42$, $\phi 48$ 파이프에서 각각 제한길이는 1.7m, 2.1m, 2.8m, 3.3m로 되기 때문에 $\phi 25$ 는 2m 이상의 영구 기둥재로 사용하기에는 부적합 하지만, 단기응력에 대하여는 각종 허용응력도를 50% 증가시킬 수 있으므로(대한건축학회, 1998) 임시지주로 사용하는 데는 문제가 없을 것으로 판단된다.

지붕연결장치는 Fig. 1과 같이 파이프의 상단에 끼울 수 있도록 아래쪽(C)을 파이프의 내경보다 약간 작게 하고 끼우는 길이(H)는 파이프의 직경 이상으로 하였으며, 위쪽은 지붕의 중앙 도리에 걸쳐서 받칠 수 있도록 도리 파이프의 직경보다 약간 큰 반원의 홈(A)을 만들었다. 단면의 두께(t_d)는 상부하중을 안전하게 가지주로 전달할 수 있도록 설계하였다.

$$t_d \geq \frac{P_w}{\tau_a \cdot B} \quad (2)$$

여기서, t_d 는 목두께(cm), P_w 는 설계하중(kgf), τ_a 는 허용전단응력(kgf·cm⁻²), B는 연결장치의 폭(cm)이다.

바닥지지판은 지반의 허용지내력으로부터 소요단면적을 산출하여 직경(D)을 구하고, 상부하중을 안전하게 지반에 전달할 수 있도록 편칭전단 및 휨에 저항할 수 있는 두께(t)를 구하였다. 또한 바닥지지판 위에 파이프를 설치하기 쉽고 미끄러지지 않도록 파이프 내경보다 약간 작은 돌출부(C)를 갖도록 설계하였다.

$$D \geq \sqrt{\frac{4P_w}{\pi \cdot \sigma_a}} \quad (3)$$

$$t \geq \frac{P_w}{\pi \cdot d_p \cdot \tau_a} \quad (4)$$

$$t \geq \sqrt{\frac{4P_w}{3\pi \cdot f_{ba}}} \quad (5)$$

여기서, D 는 바닥판의 직경(cm), t 는 바닥판의 두께(cm), d_p 는 파이프의 직경(cm), σ_a 는 지반의 허용지내력(kgf · cm⁻²), f_{ba} 는 바닥판의 허용휨응력(kgf · cm⁻²)이다.

결과 및 고찰

Euler의 기둥공식으로 구한 각 파이프의 길이에 따른 좌굴하중은 Table 2와 같다. 온실의 높이가 높아짐에 따라 기둥의 길이가 길어지면 좌굴하중은 급격히 감소하게 된다. 국내에 분포하고 있는 비닐하우스는 대부분 폭 5~8m, 높이 2~3.5m 정도이므로(Nam et al., 2000), 가지주의 길이는 2.1~3.6m까지 3m를 중심으로 30cm 간격으로 설정하고, 온실의 폭은 5, 6, 7, 8m에 대하여 검토하였다.

추가적으로 부담할 수 있는 적설하중과 온실의 폭에 따른 가지주 설치간격은 안전을 고려하여 지붕경사에 따른 감소계수를 무시하고 다음 식으로 구하였다.

$$s = \frac{P_{cr}}{\rho \cdot d \cdot w} \quad (6)$$

여기서, s 는 가지주 설치간격(m), ρ 는 단위적설중량(1.0 kgf · cm⁻¹ · m⁻²으로 함), d 는 추가 적설심(cm), w 는 온실의 폭(m)이다(Fig. 2). 추가 적설하중을 모두 가지주가 받는 것으로 하고, 연속보의 하중 분담율과 비교하면 안전율 1.6을 고려한 것이 된다.

Fig. 3은 추가 적설심 10cm를 지지하기 위하여 필요한 가지주의 설치간격을 온실의 폭과 높이에 따라 나타낸 것이고, Fig. 4는 추가 적설심 20cm에 대한 결과이다.

지붕높이가 2.4m인 온실에서 $\phi 25$ 파이프를 가지주로 사용할 경우 추가적으로 10cm의 적설심을 지지하기 위하여는 온실의 폭이 6m일 때 4m 간격으로, 폭이 8m일 때 3m 간격으로 설치해야 한다. 지붕높이가 3m인 경우에는 각각 설치간격을 3m, 2m로 줄여야 한다(Fig. 3). 추가적으로 20cm의 적설심을 지지하기 위하여는 $\phi 25$ 파이프로는 곤란하고, 폭 6m, 높이 3m인 온실에서 $\phi 32$ 파이프를 약 3m 간격으로 설치하면 된다. 온실의 폭이 8m인 경우에 $\phi 32$ 파이프는 2m 간격, $\phi 42$ 파이프는 6m 간격으로 설치하여야 한다(Fig. 4).

가지주의 설치간격이 너무 클 경우에는 지붕 도리의 횡좌굴이 문제가 되므로 최대간격을 6m로 하고, $\phi 25$ 또는 $\phi 32$ 파이프를 가지주로 사용하면 적당할 것으로 판단된다. 대체적으로 6m 폭의 온실에서 기본 구조물이 받는 적설하중 이외에 추가적으로 10cm의 적설심을 지지하기 위하여는 $\phi 25$ 파이프를, 20cm의 적설심에 대하여는 $\phi 32$ 파이프를 각각 3m 간격으로 설치하면 될 것으로 사료된다.

추가로 지지할 수 있는 적설심을 $\phi 25$ 는 10cm, $\phi 32$ 는 20cm로 설정하여 지붕연결장치와 바닥지지판의 설계에서 P_w 는 $\phi 25$ 용 360kgf, $\phi 32$ 용 720kgf으로 하였다. 강재의 허용전단응력은 $900 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$, 허용휨응력은 $1600 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$ (대한건축학회, 1998)으로 하고, 지붕연결장치의 폭 B를 2.5cm로 할 경우 목두께는 식 (2)에 의해 0.32cm가 된다. 약간의 여유를 두어서 지붕연결장치의 목두께 t_d 는 5.0mm로 설계, 제작하였다.

가지주는 단단하게 다져진 통로 부분에 설치되므로 지반의 허용지내력은 다져진 마른 점토에 대한 값인 $2.93 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$ (Whitaker, 1979)를 사용하면 바닥지지판의 직경은 식 (3)에 의해 $\phi 25$ 용 12.5cm, $\phi 32$ 용 17.7cm 이상이어야 한다. 바닥지지판의 두께는 식 (4) 및 식 (5)에 의해 $\phi 25$ 용 3mm, $\phi 32$ 용 5mm로 설계 제작하였다. Fig. 5는 $\phi 25$ 용으로 제작된 지붕연결장치와 바닥지지판의 사진이며, Fig. 6은 이것을 이용하여 온실에 가지주를 설치한 모습이다. 이중하우스의 경우에는 가지주 설치 위치의 외부 골조 도리와 내부 골조 도리 사이에 파이프를 끼워서 조립구로 연결해 두면 될 것으로 생각한다.

요약 및 결론

우리나라 온실의 대부분을 차지하고 있는 파이프 골조의 아치형 비닐하우스의 경우 내풍성은 비교적 강하나 적설에 약한 구조이므로 폭설에 대한 보강이 필요하다. 그러나 기둥설치나 골조의 보강은 작업성 및 투광성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 건축비의 증가를 초래하므로 보강용 가지주를 준비해 두었다가 대설 주의보가 발령되면 설치함으로써 폭설로 인한 피해를 방지할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 비닐하우스용 아연도 강판을 이용한 응급 보강용 가지주 장치를 개발하고 추가적인 적설하중 지지 능력을 검토하였다. 파이프 상단에 끼워 지붕의 중앙 도리에 걸쳐서 상부하중을 안전하게 가지주로 전달할 수 있도록 지붕연결장치를 설계 제작하였고, 또한 상부하중을 안전하게 지반에 전달할 수 있도록 바닥지지판을 설계 제작하였다. 대체적으로 폭 6m의 온실에서 기본 구조물이 받는 적설하중 이외에 추가적으로 10cm의 적설심을 지지하기 위하여는 $\phi 25$ 파이프를, 20cm의 적설심에 대하여는 $\phi 32$ 파이프를 각각 3m 간격으로 설치하면 될 것으로 판단되었다.

Table 1. Section characteristics of galvanized steel pipe for using in temporary pole.

Item	$\phi 25$	$\phi 32$	$\phi 42$	$\phi 48$
Outside diameter(mm)	25.4	31.8	42.3	48.1
Thickness(mm)	1.5	1.5	2.1	2.1
Section area(cm^2)	1.126	1.428	2.652	3.035
Moment of inertia(cm^4)	0.807	1.643	5.372	8.044
Radius of gyration(cm)	0.847	1.073	1.423	1.628

Table 2. Buckling loads of galvanized steel pipe for using in temporary pole.

Length(m)	Buckling loads(kgf)			
	ϕ 25	ϕ 32	ϕ 42	ϕ 48
2.1	312.5	636.1	2079.9	3114.4
2.4	239.2	487.0	1592.4	2384.5
2.7	189.0	384.8	1258.2	1884.0
3.0	153.1	311.7	1019.2	1526.1
3.3	126.5	257.6	842.3	1261.2
3.6	106.3	216.5	707.7	1059.8

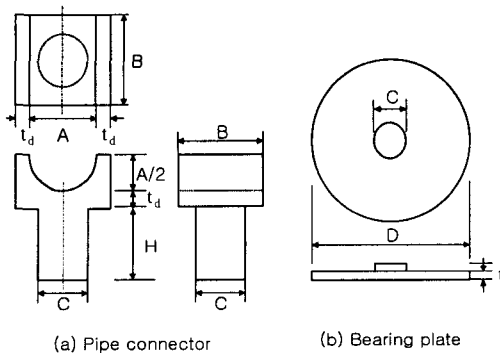


Fig. 1. Schematics of pipe connector and bearing plate for temporary pole installation.

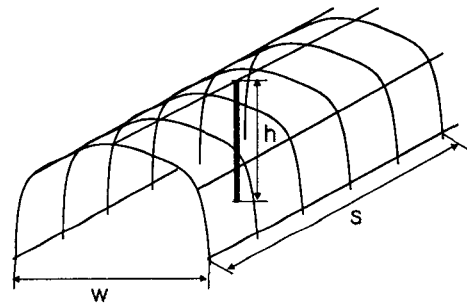


Fig. 2. Schematics of temporary pole installation.

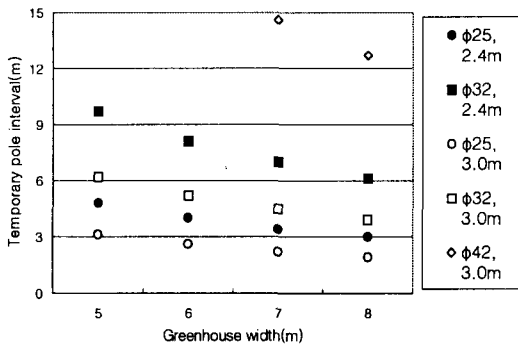


Fig. 3. Temporary pole interval for additional snow depth of 10cm.

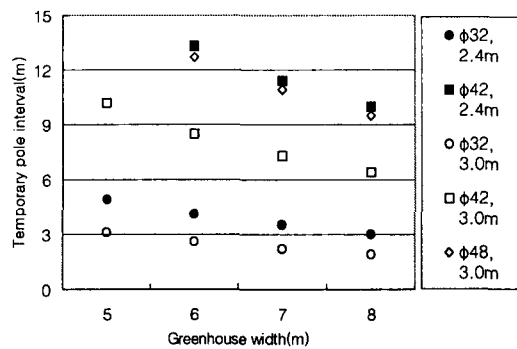


Fig. 4. Temporary pole interval for additional snow depth of 20cm.



Fig. 5. A pipe connector and a bearing plate to install the temporary pole using $\phi 25$ pipe.

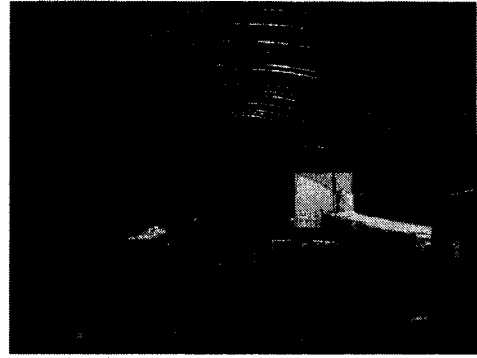


Fig. 6. Actual view of the greenhouses installing the temporary pole.

인용문헌

1. 김문기, 남상운. 1995. 파이프하우스의 구조안전에 관한 실험적 연구. 생물생산시설환경 4(1). p.17-24.
2. 남상운. 2001. 파이프 골조 온실 구조물의 표준내용연수 연구. 한국농공학회지 43(1). p.96-101.
3. 남상운, 김문기, 유인호. 2000. 파이프 골조 온실의 구조 실태 및 안전성 검토. 한국농공학회 학술발표논문집. p.315-320.
4. 대한건축학회. 1998. 강관구조 설계기준 및 해설. 기문당. p.39-146.
5. 중앙재해대책본부. 2001. 폭풍설 피해 복구 계획서.
6. 小川秀雄, 津下一英, 佐藤義和. 1989. 파이프하우스의強度에關する實驗的研究(1). 農業施設 19(3). p.173-182.
7. 日本施設園藝協會. 1999. 地中押し込み式パイプハウス安全構造指針. pp.57.
8. Midwest Plan Service. 1983. Structures and environment handbook. 409 Structural steel design. p.1-25.
9. Timoshenko, S. and D.H. Young. 1982. Elements of strength of materials. 문운당. p.284-296.
10. Whitaker, J.H. 1979. Agricultural buildings and structures. Reston Publishing Company. p.153-168.