

플라스틱 온실의 폭설피해 방지를 위한 가지주 장치 개발

Development of a Temporary Pole Supporting System to Protect the Plastic Greenhouses from Heavy Snow Damage

남상운*

Nam, Sang Woon

Abstract

The pipe framed and arch shape plastic greenhouse, which is the most popular greenhouse in Korea, is relatively weak in snowdrift. Reinforcement of rigid frame or column is required to reduce the damage from heavy snow in this type. But additional rigid frames or columns decrease light transmissivity or workability, and increase construction cost. So it is desirable to prepare some temporary poles and to install them when the warning of heavy snow is announced. This study was carried out to develop the temporary pole supporting system using galvanized steel pipes for plastic housing and to evaluate the safe snow load on a temporary pole. A pipe connector, which is inserted in the top of pipe used in the temporary pole and supports the center purline, was designed and manufactured to be able to carry the upper loads safely. And a bearing plate was safely designed and manufactured in order to carry the loads acting on it to the ground. When temporary poles of ø 25 pipe are installed at 2.4m interval, it shows that the single span plastic greenhouses with 5~7 m width are able to support the additional snow depth of 13.9~25.3 cm beyond the snow load supported by main frame.

Keywords : Plastic greenhouses, Heavy snow damage, Temporary pole, Pipe connector, Bearing plate

I. 서 론

우리 나라의 온실 설치 면적은 1999년말 현재 51,200 ha에 이르고 있으며 그 중 유리온실이 363

ha로 0.7%, 철골 경질판 온실이 125 ha로 0.2%이고, 아연도강판을 사용한 플라스틱 온실이 50,712 ha로 99.1%를 차지하고 있다.

전국적으로 가장 많이 보급되어 있는 파이프 골조의 플라스틱 온실은 직경 25.4 mm, 두께 1.5 mm의 파이프를 사용한 폭 6 m 정도의 단동 온실이며, 서까래 간격 60~80 cm일 때 안전 적설심은 10~14 cm 정도에 불과하다(Nam et al., 2000).

* 충남대학교 농업생명과학대학

* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5794
fax: +82-42-821-7248
E-mail address: swnam@cnu.ac.kr

중부지방 대부분 지역에서 플라스틱 온실의 설계기준이 되는 15년 빈도의 설계 적설심은 22 cm 이상으로서 서까래 간격을 60 cm로 하여도 적설에 불안전하므로 폭설에 대한 보강이 필요한 실정이다. 실제로 2001년 1월 7~9일 사이에 경기, 강원, 충청지방을 중심으로 내린 25 cm 정도의 폭설로 플라스틱 온실 3,418 ha가 파손되어 2,228억원의 피해를 입은 바가 있다(중앙재해대책본부, 2001).

그러므로 최소한 10 cm 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 플라스틱 온실의 경우에는 보강용 가지주를 준비해 두었다가 대설 주의 보가 발령되면 설치함으로써 폭설로 인한 피해를 방지할 수 있을 것으로 생각된다. 보강용 가지주는 목재를 사용할 수도 있으나 강도도 크고 구입이 쉬운 플라스틱 온실용 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 플라스틱 온실용 아연도강관을 이용한 응급 보강용 가지주의 설치가 용이하도록 지붕연결장치와 바닥지지판을 개발하고, 아연도강관의 길이와 단면특성에 따른 좌굴하중과 허용축하중을 구하여 온실의 폭과 높이에 따라 가지주로 사용할 파이프의 추가적인 적설하중 지지능력을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

가지주로 사용할 파이프는 플라스틱 온실용으로 많이 사용하는 2종류의 단면을 선택하였으며 이들의 단면특성은 Table 1과 같다. 한편, 온실의 폭과 높이는 다양하기 때문에 본 연구에서의 적용 온실

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

Item	ø 25	ø 32
Outside diameter (mm)	25.4	31.8
Thickness (mm)	1.5	1.5
Section area (cm^2)	1.126	1.428
Moment of inertia (cm^4)	0.807	1.643
Radius of gyration (cm)	0.847	1.073

Table 2 Dimensions of greenhouses adopted in the case study

Case	1	2	3	4	5	6
Width (m)	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Roof height (m)	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6
Eave height (m)	1.20	1.35	1.50	1.65	1.80	1.95

은 실태조사에서 구한 대표적인 규격(Nam et al., 2000)을 대상으로 하였으며 이의 규격은 Table 2 와 같고, 서까래는 직경 25.4 mm(ϕ 25)인 아연도 강관을 60 cm 간격으로 설치한 것을 기준으로 하였다.

가지주의 적설하중 지지능력은 Euler의 기둥공식 (Timoshenko and Young, 1982)에 의한 좌굴하중과 대한건축학회의 강관구조 설계기준(1998)에 의한 허용축하중을 이용하여 검토하였다. Euler의 좌굴하중 공식은 다음과 같으며 세장비 100 이상에서 적용할 수 있다.

여기서, P_{cr} 은 좌굴하중(kgf), E는 탄성계수(kg f · cm⁻²), I는 단면2차모멘트(cm⁴), l은 기둥의 길이(cm)이다. k는 유효길이계수로서 기둥의 양단을 헌지로 취하면 1.0이고, 플라스틱 온실용 아연도 강관의 탄성계수는 1.73×10^6 kgf · cm⁻²으로 하였다(Nam, 2000).

강관구조 설계기준에 의하면 좌굴을 고려한 압축부재의 허용압축응력(f_c)은 다음과 같다.

$\lambda \leq \lambda_p$ 일 때

$$f_c = \frac{[1 - 0.4(\lambda/\lambda_p)^2]F_y}{n} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$\lambda > \lambda_p$ 일 때

$$f_c = \frac{0.277F_y}{(\lambda/\lambda_p)^2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

여기서, λ 는 압축재의 세장비, λ_p 는 한계세장비, n 은 안전율, F_y 는 강재의 허용응력도를 결정하는 기준값($\text{kge} \cdot \text{cm}^{-2}$)이며, 한계세장비와 안전율은 다음과 같다.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F_y}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$n = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} (\lambda/\lambda_p)^2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

강관구조 설계기준에서 기둥재의 세장비는 200 이하, 기타 압축재의 세장비는 250 이하로 제한하고 있다. 이 기준에 의하면 $\phi 25$, $\phi 32$ 파이프에서 기둥재로의 제한길이는 1.7 m, 2.1 m, 압축재는 2.1m, 2.7m로 되기 때문에 영구 기둥재로 사용하기에는 부적합 하지만, 본 연구에서는 임시지주로 사용하는 것으로 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 한편 단기응력에 대하여는 각종 허용응력도를 50% 증가시킬 수 있으므로(대한건축학회, 1998) 가지주의 허용축하중은 다음식으로 구하였다.

$$P_a = 1.5 f_c \cdot A \quad \dots \dots \dots (6)$$

여기서, P_a 는 허용축하중(kgf), A 는 압축부재의 단면적(cm^2)이다.

아치형 단동 온실의 중앙에 가지주를 설치한 경우에 대한 구조해석을 통하여 추가적으로 지지 가능한 안전 적설심을 구하고, 이 적설심하에서 가지주

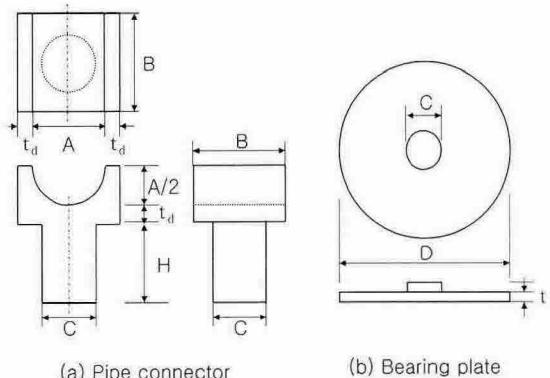


Fig. 1 Schematics of pipe connector and bearing plate for temporary pole installation

에 걸리는 최대 축하중으로부터 가지주의 사용 단면에 따른 설치간격을 검토하였다. 구조해석은 온실 구조를 2차원 프레임으로 단순화하여 SAP2000 구조해석 프로그램을 이용하여 실행하였다.

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.

$$t_d \geq \frac{P_w}{\tau_a \cdot B} \quad \dots \dots \dots (7)$$

여기서, t_d 는 목두께(cm), P_w 는 설계하중(kgf), τ_a 는 허용전단응력($\text{kge} \cdot \text{cm}^{-2}$), B 는 연결장치의 폭(cm)이다.

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

도록 설계하였다. 바닥지지판의 직경과 두께는 다음과 식과 같이 된다.

$$t \geq \frac{P_w}{\pi \cdot d_p \cdot \tau_a} \dots \dots \dots \quad (9)$$

$$t \geq \sqrt{\frac{4P_w}{3\pi \cdot f_{ba}}} \dots \quad (10)$$

여기서, D 는 바닥지지판의 직경(cm), t 는 바닥지지판의 두께(cm), d_p 는 파이프의 직경(cm), σ_a 는 지반의 허용지내력($\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$), f_{ba} 는 바닥판의 허용휨응력($\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$)이다.

III. 결과 및 고찰

Euler의 기둥공식으로 구한 각 파이프의 길이에 따른 좌굴하중과 강판구조 설계기준에 의해 구한 허용축하중은 Table 3과 같다. 온실의 높이가 높아짐에 따라 가지주의 길이가 길어지면 좌굴하중과 허용축하중은 급격히 감소하게 된다. 분석 결과 허용축하중은 Euler의 기둥공식으로 구한 좌굴하중에 대하여 전체적으로 약 1.44의 안전율을 갖는 것으로 나타났다.

가지주 설치여부에 따라 단위하중($1 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-1}$) 작용시 서까래에 걸리는 최대휨모멘트와 안전적 설심은 Table 4와 같다. 가지주를 설치한 경우 서까래에 걸리는 최대휨모멘트는 56~60% (평균 58.2%) 정도 감소하였고, 안전적 설심은 온실 크기에 따라 7.1~25.3 cm 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 가지주를 설치하여 추가로 지지할 수 있는 최대적 설심은 이 값이 되며, 가지주를 더 많이 보강하여 도 서까래의 저항력이 제한되어 있기 때문에 그 이상의 보강 효과를 기대할 수는 없다.

단위하중 작용시의 구조해석 결과에 의한 가지주의 축방향력(Table 5)으로부터 가지주 설치 간격

Table 3 Buckling loads and allowable axial forces of galvanized steel pipe for using in temporary pole

Case	Length (m)	Buckling loads (kgf)		Allowable axial forces (kgf)	
		ø 25	ø 32	ø 25	ø 32
1	2.1	312.5	636.1	216.9	440.4
2	2.4	239.2	487.0	166.5	337.2
3	2.7	189.0	384.8	131.1	266.4
4	3.0	153.1	311.7	106.2	215.7
5	3.3	126.5	257.6	87.6	178.5
6	3.6	106.3	216.5	73.8	149.9

Table 4 Maximum bending moment and safe snow depth in a rafter

Case	Maximum bending moment (kgf · cm)			Safe snow depth (cm)		
	without supporting pole	with supporting pole	decreasing rate (%)	without supporting pole	with supporting pole	additional depth
1	11,361	4,985	56.1	19.8	45.1	25.3
2	16,485	7,045	57.3	13.7	32.1	18.4
3	22,558	9,450	58.1	10.0	23.9	13.9
4	29,578	12,196	58.8	7.6	18.4	10.8
5	37,545	15,287	59.3	6.0	14.7	8.7
6	46,457	18,718	59.7	4.8	11.9	7.1

(Fig. 2)을 구하면 다음식과 같이 된다.

여기서, s 는 가지주 설치간격(m), ρ 는 단위적설 중량($1.0 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 함), d 는 가지주 설치시 안전적설심(cm), ϕ 는 지붕기울기에 따른 감소계수(20~30도에서 0.75로 함), P_b 는 단위하중 작용시 가지주의 축방향력(kgf)이다.

식 (11)에 의해 구한 가지주의 설치간격은 Table 5와 같다. Case 1(폭 5m), Case 2(폭 6 m), Case 3(폭 7 m)의 경우 $\phi 25$ 파이프를 2.4 m 간격(서까래 4개마다 1개)으로 설치하면 적설심은 각각 45.1, 32.1, 23.9 cm 까지 지지할 수 있는

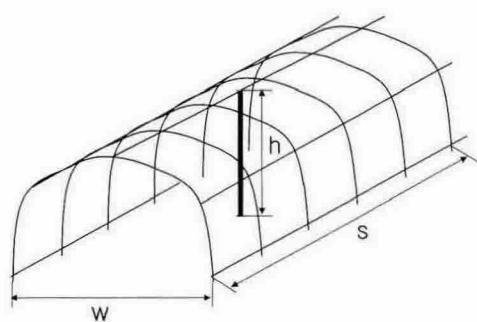


Fig. 2 Schematics of temporary pole installation.

Table 5 Axial force for unit load and temporary pole interval for the safe snow depth

Case	Axial force (kgf)	Temporary pole interval(m)	
		ø 25	ø 32
1	251.2	2.6	5.2
2	269.2	2.6	5.2
3	310.5	2.4	4.8
4	351.6	2.2	4.4
5	392.6	2.0	4.1
6	433.4	1.9	3.9

것으로 나타났다. 즉, 기본 구조물이 받는 적설하중 이외에 각각 25.3, 18.4, 13.9 cm의 적설심을 추가적으로 지지할 수 있는 것으로 나타났다.

한편 Case 4(폭 8 m), Case 5(폭 9 m), Case 6(폭 10 m)의 경우에는 가지주를 설치하여도 서까래의 단면 부족으로 적설심은 각각 18.4, 14.7, 11.9 cm 까지 밖에 지지할 수 없는 것으로 나타났다. 서까래와 가지주 파이프 모두 ø32로 변경하여 같은 방법으로 적설지지능력을 검토하면, 안전적설심은 12.4, 9.8, 7.8 cm로 증가하고 가지주를 각각 2.7, 2.5, 2.4 m 간격으로 설치시 안전적설심은 30.1, 24.1, 19.4 cm로 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 3 및 Fig. 4). 따라서, 폭이 8 m 이상인 온실에서 내설성을 증대시키기 위해서는 서까래 골조를 ø32 파이프로 설계해야 할 것으로 판단된다.

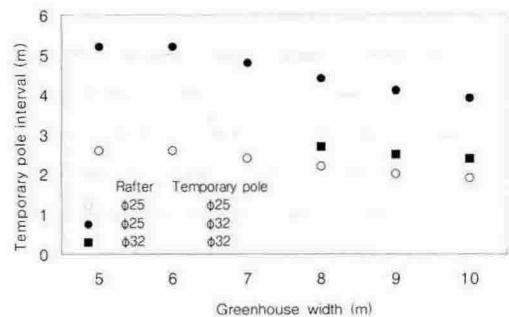


Fig. 3 Temporary pole interval for the safe snow depth and pipe size

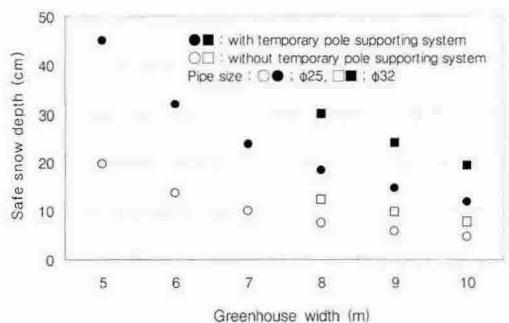


Fig. 4 Safe snow depth for single span plastic greenhouses with or without temporary pole supporting

여기서 제시한 가지주의 설치 간격은 최소한계이며, 추가적으로 지지하고자 하는 적설심이 더 작은 경우에는 간격을 더 넓게 설치할 수 있고, 간격을 좁힐 경우에는 가지주가 아닌 서까래가 먼저 붕괴되므로 더 큰 적설하중을 지지할 수는 없으며 따라서 이보다 더 작은 간격으로 설치하는 것은 불필요하다.

지붕연결장치와 바닥지지판의 설계에서 P_w 는 최대 허용축하중의 1.5배를 사용하여 ø25용은 330 kgf, ø32용은 660 kgf으로 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 2.5 cm로 할 경우 모두께는 식 (7)에 의해 0.3 cm가 된다. 약간의 여유를 두어서 지붕연결장치의 모두께 t_d 는 5.0 mm로 설계하여 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 (8)에 의해 $\phi 25$ 는 12.0 cm , $\phi 32$ 는 16.9 cm 이상이어야 한다. 바닥지지판의 두께는 식 (9) 및 식 (10)에 의해 $\phi 25$ 는 3 mm , $\phi 32$ 는 5 mm 로 된다. Fig. 5는 $\phi 25$ 용으로 제작된 지붕연결장치와 바닥지지판의 사진이며, Fig. 6은 이것을 이용하여 온실에 가지주를 설치한 모습이다. 이중피복 온실의 경우에는 가지주 설치 위치의 외부 골조 도리와 내부 골조 도리 사이에 파이프를 끼워서 조립구로 연결해 두면 될 것으로 생각한다.

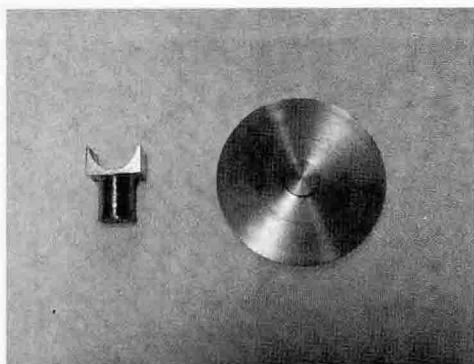


Fig. 5 A pipe connector and a bearing plate to install the temporary pole using $\phi 25$ pipe

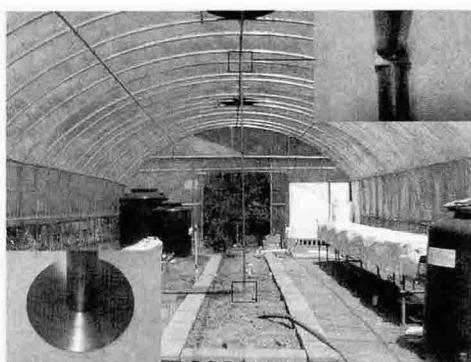


Fig. 6 Actual view of the temporary pole installed in greenhouse

IV. 요약 및 결론

우리나라 온실의 대부분을 차지하고 있는 파이프 골조의 아치형 플라스틱 온실은 폭설이나 강풍으로 인하여 많은 피해를 입고 있다. 특히 대부분 지역의 설계적설심이 단동 온실의 안전적설심을 초과하고 있으므로 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 플라스틱 온실용 아연도 강관을 이용한 응급 보강용 가지주 장치를 개발하고 추가적인 적설하중 지지 능력을 검토하였다. 파이프 상단에 끼워 지붕의 중앙 도리에 걸쳐서 상부하중을 안전하게 가지주로 전달할 수 있는 지붕연결장치와 상부하중을 안전하게 지반에 전달할 수 있는 바닥지지판을 설계하여 제작하였다. 폭이 각각 5, 6, 7 m인 온실에서 가지주로 $\phi 25$ 파이프를 2.4 m의 간격으로 설치하면 기본 구조물이 받는 적설하중 이외에 각각 25.3, 18.4, 13.9 cm의 적설심을 추가적으로 지지할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 폭이 각각 8, 9, 10 m인 온실의 경우에 내설성을 증대시키기 위해서는 서까래 골조 자체를 $\phi 32$ 파이프로 바꾸어야 할 것으로 판단되며, 이 경우 가지주로 보강하면 안전적설심은 각각 30.1, 24.1, 19.4 cm까지 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

본 논문은 2000년도 농림기술개발사업에 의하여 수행한 연구결과의 일부임

References

- Architectural Institute of Korea. 1998. *Design Standard and Explanation of Steel Pipe Structure*.

- Gimundang press. Seoul. p.39–146. (in Korean)
2. Japan Greenhouse Horticulture Association. 1999. *Structural Safety Guide of Pipe Houses with Ground Anchoring*. pp.57. (in Japanese)
 3. Kim, M. K. and S. W. Nam. 1995. Experimental studies on the structural safety of pipe houses. *J. Bio. Fac. Env.* 4(1): 17–24. (in Korean)
 4. Lee, H. W. and S. K. Lee. 1995. A study on the safety frame interval of pipe houses in Kyungpook region. *J. Bio. Fac. Env.* 4(2): 195–202. (in Korean)
 5. Midwest Plan Service. 1983. *Structures and Environment Handbook*. 409 Structural steel design. p.1–25.
 6. Nam, S. W. 2000. A study on the standard durable years of pipe framed greenhouses. *Journal of the KSAE* 43(1): 96–101. (in Korean)
 7. Nam, S. W., I. H. Yu and J. W. Kim. 2001. Maintenance, repair and reinforcement of pipe framed greenhouses. Seoul. Ministry of Agriculture and Forestry. p.108–134. (in Korean)
 8. Nam, S. W., M. K. Kim and I. H. Yu. 2000. Field survey and structural safety analysis of pipe framed greenhouses. *Proceedings of the KSAE annual conference*. p.315–320.
 9. National Disaster Prevention and Countermeasures Headquarters. 2001. Repair work plan for heavy snow damage. (in Korean)
 10. Ogawa, H., I. Tsuge, Y. Sato, S. Hoshiba and S. Yamashita. 1989. Experimental analysis on strength of pipe houses with ground anchoring. *J. of Agricultural Structures, Japan*. 19(3): 173–182.
 11. Timoshenko, S. and D.H. Young. 1982. *Elements of Strength of Materials*. Munoondang press. Seoul. p.284–296. (translated in Korean)
 12. Whitaker, J.H. 1979. *Agricultural Buildings and Structures*. Reston Publishing Company. p.153–168.