

파이프 골조 온실의 구조 실태 및 안전성 검토

Field Survey and Structural Safety Analysis of Pipe Framed Greenhouses

남 상 운(충남대) · 김 문 기 · 유 인 호*(서울대)

Nam, Sang Woon · Kim, Moon Ki · Yu, In Ho*

Abstract

An investigation and structural safety analysis was conducted to get the basic data for establishing maintenance strategy of pipe framed greenhouses. The number of greenhouses investigated was 108 in total. Most multi-span greenhouses had narrower width and lower height than the standard 1-2W greenhouse, and most of single-span greenhouses were tunnel type. In multi-span greenhouses, the size and interval of frameworks such as rafter, purline, column, and cross beam were mostly suitable, but frameworks of single-span greenhouses were mostly insufficient.

I. 서 론

국내 시설원에 부문의 생산액은 전체 농업 생산액의 10.2%를 차지하고 있으며, 97년 말 현재 전국의 온실 설치면적은 47,246ha이고, 이 중 비닐하우스가 46,892ha(99.3%)로서 대부분을 차지하고 있다. 99년 정부지원사업의 평당 온실 건축비는 유리온실이 50만원, 철골경질판온실 31만원, 자동화비닐온실 12만 3천원으로 파이프 골조 온실의 설치비는 상대적으로 저렴한 편이고, 비교적 견고하고 보온과 통풍성이 양호하며 가격에 비하여 우수한 성능이 인정되어 수출이 증대되고 있는 등 많은 장점을 가지고 있는 시설임에도 불구하고 정부지원사업이나 상당수의 연구개발사업들이 첨단화된 유리온실을 중심으로 이루어지고 있기 때문에 비닐하우스는 상대적으로 낙후되고 있는 실정이다. 국내에서는 90년대 초반 온실의 구조안전 및 구조설계 기준 설정에 관한 연구가 일부 수행된 바 있으나, 파이프 온실은 구조물로서의 공학적 설계나 유지관리에 대한 관심이 부족하여 구조역학적인 연구가 거의 이루어지고 있지 않는 실정이다. 그러나, 파이프 온실 구조는 강풍이나 적설 등으로 인한 파손으로 막대한 경제적 손실을 입으며, 이러한 피해는 환경조절 설비의 설치에 직접적인 영향을 주는 중요한 요인이므로 시설의 구조 역학적인 연구는 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 파이프 골조 온실의 유지관리체계 설정에 필요한 기초자료 제공을 위해 국내에 보급된 파이프 골조 온실의 구조실태를 조사하고 구조해석을 통하여 안전성을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 파이프 골조 온실의 구조 실태 조사

파이프 골조 온실의 구조실태를 파악하기 위해서는 전국을 대표할 수 있는 지역에 대한 조사가 필요하다. 그러나, 전국을 대상으로 한 조사자료의 수집은 현실적으로 어렵기 때문에 본 연구에서는 지역특성을 고려하여 내륙산간지역, 해안지역 및 평야지역으로 구분하여 내륙산간지역은 충주, 음성, 이천 지역, 해안지역은 서산, 홍성, 보령 지역, 평야지역은 논산, 공주, 연기 지역을 선정하고 2000년 1월~2월에 시설농가를 직접 방문하여 상담 및 실측 조사를 실시하였다. 조사는 표본조사 방법을 택하였고, 표본의 크기는 1995년 농업총조사 자료를 이용하여 95%의 신뢰수준에서 결정하였다. 비닐하우스 재배 농가 134,844호(농림부, 1997)를 모집단으로 취할 때 90%이상의 정확도를 얻기 위해서는 96농가 이상의 표본을 조사하여야 한다. 표본선정은 해당지역을 지나는 간선도로를 중심으로 형성된 시설원에 단지에서 1농가씩 무작위로 추출하였으며, 각 지역별 36농가씩 총 108농가를 조사하였다.

2. 구조해석 및 안전성 검토

구조해석을 실시한 온실의 형태와 부재 단면의 치수는 그림 1, 2에 나타낸 바와 같다. 파이프의 탄성계수는 $1.72 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$, 허용휨응력은 1600kgf/cm^2 의 값을 사용하였다. 같은 형태의 온실이라도 폭과 높이 등이 다양하기 때문에 조사된 온실의 동폭과 지붕높이, 지붕높이와 처마높이와의 상호관계를 분석한 후 단동, 연동온실 각각에 대하여 대표적인 규격(표 1, 2)을 선정하여 구조해석을 실시하였다. 구조해석 결과와 부재의 허용휨응력을 비교하여 구조물이 견딜 수 있는 안전풍속과 안전적설심을 구한 후 지역별 재현기간 15년의 설계풍속, 설계적설심과 비교하여 온실의 구조적 안전성을 검토하였다. 구조물에 단위풍하중과 단위적설하중을 적용하여 구조해석 전용 프로그램(SAP2000)에 의한 구조해석을 실시한 후 안전하중으로 환산하였다.

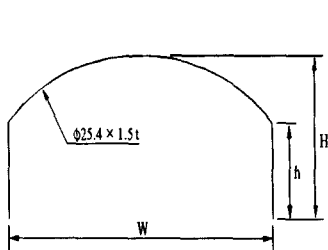


그림 1. 단동온실의 단면도

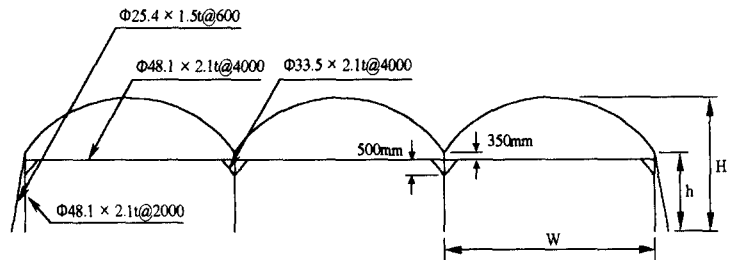


그림 2. 연동(3연동)온실의 단면도

표 1. 구조해석을 실시한 단동 온실의 규격

Case	1	2	3	4	5	6
동폭 W(m)	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
지붕높이 H(m)	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6
처마높이 h(m)	1.20	1.35	1.50	1.65	1.80	1.95

표 2. 구조해석을 실시한 3연동 온실의 규격

1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5
6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
1.90	2.20	2.45	2.70	3.00	1.90	2.20	2.45	2.70	3.00

III. 결과 및 고찰

1. 파이프 골조 온실의 구조 실태

농촌진흥청에서는 1992년 관행 온실을 개량한 농가보급형 자동화 온실을 개발하여 보급하고 있는데 이 중에서 개량아치 연동온실(1-2W형, 폭 7.0m, 지붕높이 4.55m, 처마높이 2.7m)과 단동온실(1-1S형, 폭 5.9m, 지붕높이 2.9m, 처마높이 1.8m)이 가장 선호하는 온실로 알려져 있으며, 우리나라에는 지역별로 특성화된 온실이 일부 분포하고 있으나 파이프 골조 온실의 대부분은 농가보급형 자동화 온실과 유사한 형태를 갖고 있다.

조사된 온실의 폭과 길이는 표 3과 같다. 단동온실의 폭은 6~6.9m가 50.8%로 가장 많고, 6m 미만은 19%이었으며, 대부분이 6m 이상으로 1-1S형에 비하여 넓은 편이었다. 연동온실의 폭은 7~7.9m가 53.3%로 가장 많았으나 전체 평균은 6.5m로 1-2W형에 비하여 좁은 것으로 나타났다. 온실의 길이는 단동, 연동 구분 없이 70m 이상이 대부분이었으며 90m 이상인 온실도 28.7%나 되었다.

표 3. 파이프 골조 온실의 동폭과 길이 (단위 : 농가수(%))

온실의 동폭				온실의 길이			
구분	단동	연동	계	구분	단동	연동	계
6m미만	12(19.0)	5(11.1)	17(15.7)	50m미만	6(9.5)	5(11.1)	11(10.2)
6~6.9m	32(50.8)	16(35.6)	48(44.5)	50~69m	20(31.7)	9(20.0)	29(26.8)
7~7.9m	12(19.0)	24(53.3)	36(33.3)	70~89m	19(30.2)	18(40.0)	37(34.3)
8m이상	7(11.2)	0(0.0)	7(6.5)	90m이상	18(28.6)	13(28.9)	31(28.7)
합계	63(100)	45(100)	108(100)	합계	63(100)	45(100)	108(100)

온실의 높이는 지붕높이와 처마높이로 나누어 실측하였으며 그 결과는 표 4와 같다. 지붕높이는 단동의 경우 2.5~2.9m가 42.8%로 가장 많았고, 2.5m 미만도 36.5%나 되었으며 3.0m 이상은 20.7%로 대부분이 농가보급형 자동화 온실에 비하여 낮은 편이었다. 연동의 경우는 5.0m 이상이 31.1%로 가장 많았으나 3.0m 미만도 20%나 되는 등 대체적으로 높이가 낮은 온실이 많았다. 처마높이는 단동의 경우 1.5m 미만이 58.7%나 되어 터널형에 가까운 형태를 보였고, 연동의 경우에도 2.5m 미만이 48.8%이고 전체 평균 2.4m에 불과해 농가보급형 자동화 온실에 비하여 상당히 낮은 것으로 나타났다. 한편, 그림 3에서 보는 바와 같이 처마높이와 지붕높이 사이에는 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 온실의 폭과 높이 사이에는 그림 4와 같이 단동의 경우 밀접한 관련이 있으나 연동의 경우는 무관한 것으로 나타났다.

표 4. 파이프 골조 온실의 지붕높이와 처마높이 (단위 : 농가수(%))

지붕높이				처마높이			
구분	단동	연동	계	구분	단동	연동	계
2.5m미만	23(36.5)	0(0.0)	23(21.3)	1.5m미만	37(58.7)	2(4.4)	39(36.1)
2.5~2.9m	27(42.8)	9(20.0)	36(33.3)	1.5~1.9m	22(34.9)	10(22.2)	32(29.6)
3.0~3.9m	10(15.9)	13(28.9)	23(21.3)	2.0~2.4m	3(4.8)	10(22.2)	13(12.0)
4.0~4.9m	3(4.8)	9(20.0)	11(10.2)	2.5~2.9m	1(1.6)	7(15.6)	8(7.5)
5.0m이상	0(0.0)	14(31.1)	15(13.9)	3.0m이상	0(0.0)	16(35.6)	16(14.8)
합계	63(100)	45(100)	108(100)	합계	63(100)	45(100)	108(100)

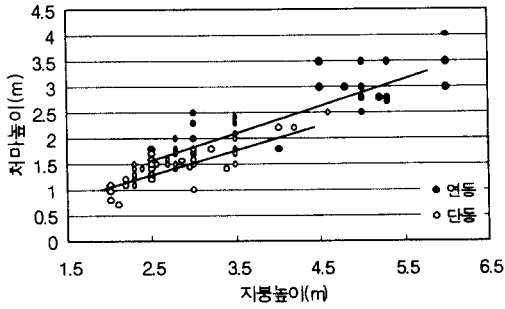


그림 3. 농가에 설치된 파이프 골조 온실의 지붕높이와 처마높이의 관계

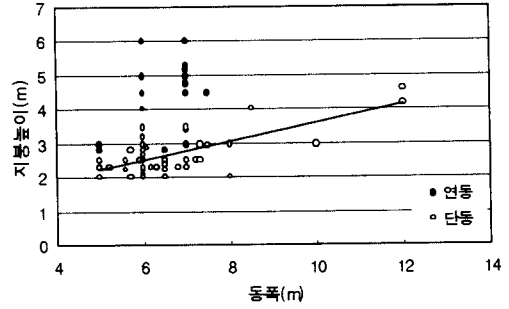


그림 4. 농가에 설치된 파이프 골조 온실의 동쪽과 지붕높이와의 관계

파이프 온실의 주요 골조는 서까래와 도리로 구성되어 있으며, 연동온실에서는 기둥과 중방이 추가된다. 서까래의 규격 및 설치간격은 표 5와 같다. 농가보급형 자동화 온실의 서까래는 공칭 직경 25.4mm, 두께 1.5mm의 파이프를 60cm 간격으로 설치하도록 되어 있다. 조사대상 농가에서 연동온실의 경우에는 거의 대부분 농가보급형 자동화 온실의 규격에 가깝게 설치되어 있으나, 단동온실의 경우에는 상당수가 22.2mm, 1.2t의 파이프를 사용하고 있으며, 설치간격도 60cm이하는 36.5%에 불과하고 91~100cm 간격으로 설치하고 있는 농가도 17.5%나 되는 것으로 조사되었다. 서까래의 규격 및 설치간격은 온실의 구조 안전성에 큰 영향을 미치는 요인이므로 파이프 골조 온실의 표준내용년수를 정확히 규명하고 안전도를 고려한 재현기간별 설계하중을 산정하여 구조해석을 통한 파이프 골조 온실의 안전성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

표 5. 파이프 골조 온실의 서까래 규격

(단위 : 농가수(%))

직경, 두께	서까래 부재 단면			설치간격			
	단 동	연 동	계	구 분	단 동	연 동	계
22.2, 1.2t	17(27.0)	0(0.0)	17(15.7)	60cm이하	23(36.5)	33(73.4)	56(51.9)
22.2, 1.5t	3(4.8)	0(0.0)	3(2.8)	61~70cm	12(19.0)	8(17.8)	20(18.5)
25.4, 1.2t	2(3.2)	2(4.4)	4(3.7)	71~80cm	13(20.6)	2(4.4)	15(13.9)
25.4, 1.5t	39(61.8)	43(95.6)	82(75.9)	81~90cm	4(6.4)	1(2.2)	5(4.6)
31.8, 1.5t	2(3.2)	0(0.0)	2(1.9)	91~100cm	11(17.5)	1(2.2)	12(11.1)
합 계	63(100)	45(100)	108(100)	합 계	63(100)	45(100)	108(100)

1-2W형 연동온실의 기둥은 공칭 직경 48.1mm, 두께 2.1mm의 파이프를 2.0m 간격으로 설치하도록 되어 있다. 조사대상 온실의 약 68.9%는 농가보급형 자동화 온실과 같은 규격의 기둥을 설치하고 있었으나, 26.7%의 농가가 구조해석적인 검증 없이 농가보급형 자동화 온실보다 작은 단면의 부재를 사용하고 있었다(표 6). 한편, 기둥간격은 28.9%의 농가가 농가보급형 자동화 온실보다 넓은 간격으로 설치하고 있는 것으로 나타났다. 농가보급형 자동화 온실의 중방 규격은 기둥과 같은 단면의 파이프를 4.0m 간격으로 설치하도록 되어 있다. 농가에서 실측 조사한 결과는 표 6과 같다. 33.3%의 농가에서 농가보급형 자동화 온실보다 작은 단면의 부재를 사용하고 있었으며, 설치간격은 대부분 기둥간격과 같았고, 기둥간격이 1.5m와 2.0m인 10농가(22.2%)만이 기둥 2개마다 1개씩의 중방을 설치하고 있었다.

표 6. 파이프 골조 연동 온실의 기둥과 중방 규격

기둥단면		기둥간격		중방단면		중방간격	
구 분	농가수(%)	구 분	농가수(%)	구 분	농가수(%)	구 분	농가수(%)
31.8, 1.5t	5(11.1)	1.5m	2(4.4)	31.8, 1.5t	6(13.3)	2.0m	22(48.8)
38.1, 2.1t	7(15.6)	2.0m	30(66.7)	38.1, 2.1t	9(20.0)	2.4m	7(15.6)
48.1, 2.1t	31(68.9)	2.4m	7(15.6)	48.1, 2.1t	28(62.2)	3.0m	8(17.8)
각관 60	2(4.4)	3.0m	6(13.3)	각관 60	2(4.4)	4.0m	8(17.8)
합 계	45(100)	합 계	45(100)	합 계	45(100)	합 계	45(100)

2. 구조해석 및 안전성 검토

구조물에 단위풍하중과 단위적설하중을 적용시켜 구한 최대단면력으로부터 각 부재에 발생 되는 최대응력을 구하고, 이것이 부재의 허용응력을 초과하지 않는 범위에서 각 구조물이 견딜 수 있는 안전풍속과 안전적설심을 구한 결과는 그림 5~8과 같다. 단동온실의 경우 서까래 간격(S)이 커질수록 또한 온실의 폭과 높이가 커질수록 안전풍속 및 안전적설심이 작아지는 것으로 나타났다. 연동온실의 경우 역시 온실의 폭과 높이가 커질수록 안전풍속 및 안전적설심이 대체로 작아지는 것으로 나타났으나, 높이가 커짐에 따라 폭에 따른 안전풍속의 차이는 작아지는 것으로 나타났다.

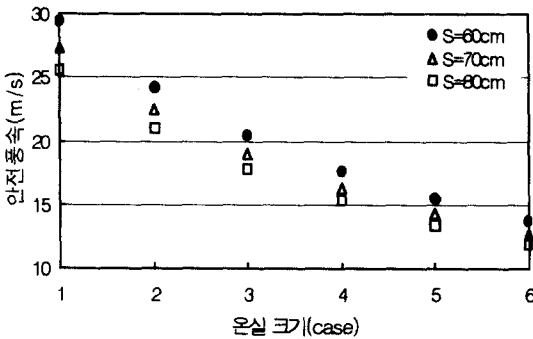


그림 5. 단동온실의 크기에 따른 안전풍속

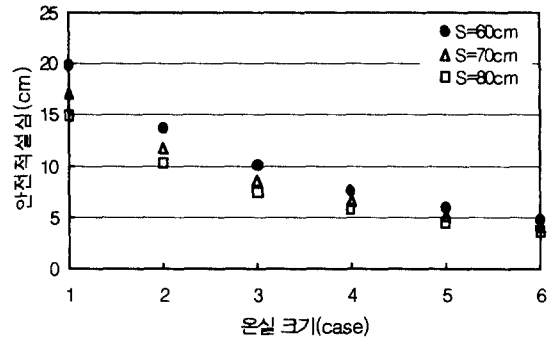


그림 6. 단동온실의 크기에 따른 안전적설심

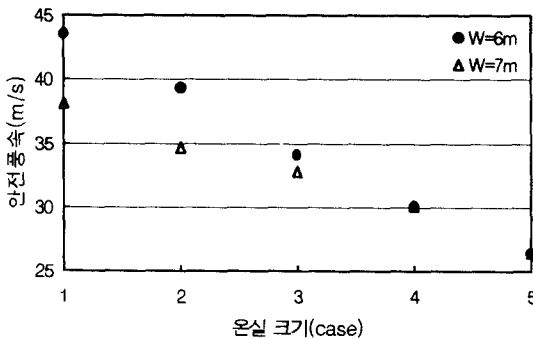


그림 7. 연동온실의 크기에 따른 안전풍속

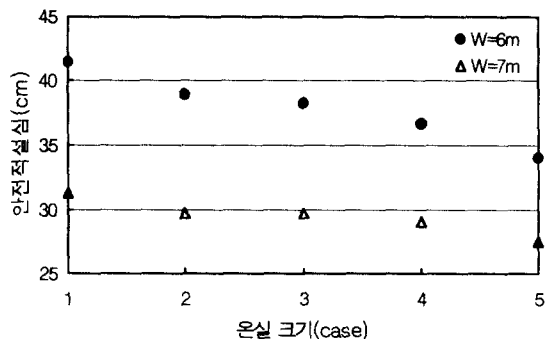


그림 8. 연동온실의 크기에 따른 안전적설심

온실의 높이와 폭 등이 매우 다양하여 단적으로 평가하기는 곤란하지만, 본 분석에서는 단동 온실의 경우 모든 조사대상지역에서 대부분의 규격이 15년 빈도의 설하중에 대하여 불안정한 것으로 나타나 적설에 대한 보강 또는 제설대책을 강구해야 할 것으로 판단되며, 15년 빈도의 풍하중에 대해 안전을 확보하기 위해서는 온실의 폭과 높이를 제한하거나 또는 서까래 단면 치수를 증가시켜야 하는 것으로 판단되었다. 연동온실의 경우 서산지역을 제외한 모든 조사대상지역에서 대부분의 규격이 15년 빈도의 풍하중과 설하중에 대하여 안전한 것으로 나타났다.

IV. 요약 및 결론

파이프 골조 온실의 구조실태를 조사하고 안전성을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단동온실은 농가보급형 온실에 비하여 폭이 넓고 높이가 낮으며, 특히 처마높이가 낮은 터널형태를 보이고 있으며, 연동온실은 농가보급형 자동화 온실보다 폭이 좁고 높이도 낮은 것이 많았다.
2. 연동온실의 서까래 규격은 농가보급형 자동화 온실에 가까우나 단동온실은 농가보급형 온실에 비하여 부재단면이 작거나 서까래간격이 넓은 경우가 많았다.
3. 연동온실에서 기둥과 중방의 규격은 대체로 농가보급형 자동화 온실과 유사하게 설치되어 있었다.
4. 단동온실의 경우 대부분 조사대상지역에서 15년 빈도의 풍하중 및 적설하중에 대하여 불안정한 것으로 나타나 보강이 필요할 것으로 판단되었으며, 연동온실의 경우는 대부분 안전한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김문기, 손정익, 남상운, 1992, 생물생산시설의 구조설계에 관한 연구(2), 생물생산시설환경 1(2), pp.148-153.
2. 김문기, 남상운, 손정익, 윤남규, 1994, 지역별 특성화 온실의 실태 및 구조적 안전성, 생물생산시설환경 3(2), pp.128-135.
3. 김문기 외, 1995, 시설구조의 기준화 및 작물재배 연구, 농촌진흥청 연구보고서, pp.89-144.
4. 김문기, 남상운, 1995, 파이프하우스의 구조안전에 관한 실험적 연구, 생물생산시설환경 4(1), pp.17-24.
5. 이석건 외, 1995, 원예시설의 구조안전기준 작성, 농어촌진흥공사 농어촌연구원, pp.260.
6. 이시영 외, 1998, 농가보급형 비닐하우스 1-2W형의 구조분석 시뮬레이션에 의한 규격 개선 연구, 한국생물생산시설환경학회 학술논문발표요지 7(1), pp.89-93.
7. 이현우, 이석건, 1995, 경북지방 파이프하우스의 안전골조간격에 관한 연구, 생물생산시설환경 4(2), pp.195-202.
8. 小川秀雄 外, 1990, パイプハウスの強度に關する實驗的研究, 農業施設 20(3), pp.262-269.
9. 立花一雄 外, 1980, 施設園藝ハウスの設計と施工, オーム社, pp.236.
10. 日本農業施設學會, 1990, 農業施設ハンドブック, 東洋書店, pp.256-277.