

파이프 골조 온실 구조물의 표준내용연수 연구

A Study on the Standard Durable Years of Pipe Framed Greenhouses

남 상 운*
Nam, Sang Woon

Abstract

In designing the greenhouse structures, snow and wind loads must be estimated on the basis of the probability of occurrence of snow or wind storms of a given intensity. The recurrence interval chosen depends on the standard durable years and safety factors of the greenhouse. This study was carried out to find the standard durable years of pipe framed greenhouses. Bend test for metallic materials was conducted on samples of galvanized steel pipes being used in greenhouse frames. A secular change of collapse loads and flexural rigidity for galvanized steel pipes were analyzed with the parts buried in the ground and exposed in the atmosphere. From those experimental results and corrosion rate of galvanized film, the standard durable years for pipe framed greenhouses are estimated as follows : the small scale pipe houses of movable type is 7~8 years and the large scale pipe houses of fixed type is 14~15 years.

I. 서 론

1997년 말 현재 전국의 원예시설 설치면적은 47,246 ha이다. 이 중 유리온실이 307 ha로 0.6%, 철골 경질판 온실이 65 ha로 0.1%이고, 아연도강관을 사용한 비닐하우스가 46,892 ha로 99.3%를 차지하고 있다. 최근 국내의 첨단시설농업 분야는 많은 발전을 하여 왔지만, 철골 유리온실 등의 고비용 시설은 일부 고급작물에 국한되고 있으며, 터널형 비닐하우스나 자동화된 연동형 비닐하우스 등의 파이프 골조 온실이 대부분을 점유하고 있

다. 국내에서 온실의 구조에 관한 연구는 90년대 초반에 온실의 구조안전 및 구조설계 기준 설정에 관한 연구가 일부 수행된 바 있으나(이 등, 1995) 최근에는 별로 없으며 특히, 파이프 골조의 비닐하우스는 구조물로서의 공학적 설계나 유지관리에 대한 인식이 부족하여 시설의 구조역학적인 연구가 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다.

온실을 설계함에 있어서 고려해야 할 설계하중으로는 고정하중, 내부장치 등에 의한 하중, 적설하중, 풍하중, 지진력 및 작물하중 등이 있으나, 우리나라에는 지진이 거의 없고 파이프 골조 온

실의 경우 경량 구조물이므로 풍하중 및 적설하중이 가장 큰 비중을 차지한다. 풍하중 및 적설하중은 시설의 표준내용연수와 소요의 안전도로부터 재현기간을 구하고, 그 재현기간에 기대되는 값을 기초로 설계하중을 정한다. 농립수산부(1995), 이등(1995)의 설계 기준에 의하면 온실의 구조 설계시 이동식 소형 파이프 하우스의 경우는 표준내용연수를 5년으로, 고정식 대형 파이프 하우스의 경우는 10년으로 가정하여 설계하중을 산정하고 있다. 그러나 파이프 골조 온실의 구조 실태 조사 결과에 의하면 10년 이상 시설을 사용하고 있는 농가가 16.7%나 되고, 15년 이상 시설을 사용하고 있는 농가도 3.7%로 보고되고 있다(남 등, 2000). 따라서 파이프 골조 온실의 표준내용연수 구명을 위한 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 파이프 골조 온실의 표준내용연수 구명을 목적으로 실제 농가에서 사용중인 비닐하우스용 아연도강관을 샘플링하여 강도시험을 실시하고 경과연수에 따른 강도변화를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료채취

온실재배 농가에서 사용중인 파이프를 현장에서 절단하여 시험편으로 사용하였다. 파이프는 지상부와 지하매설부위로 구분하여 채취하였으며 각각의 경과연수를 설문으로 조사하였다. 가능한 한 다양한 경과연수별로 샘플링 되도록 하기 위하여 많은 농가를 방문하였으며, 시험 및 분석에 사용된 샘플수는 지상부위 47개, 지하매설부위 44개였다.

2. 실험방법

금속재료의 강도시험은 인장시험을 기준으로 하고 있으나, 본 시험의 아연도강관은 농가에서 사용중인 재료를 채취한 것으로서 부식이 진행중이기 때문에 시험편의 양단을 시험기에 물려서 하중을 재하할 경우 재료가 항복하기 전에 물림장치

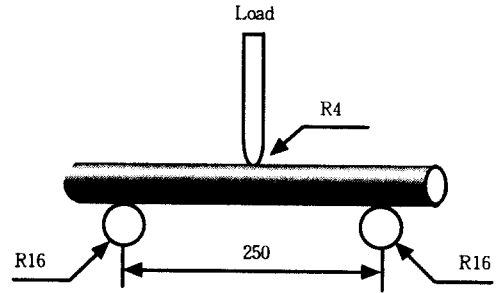


Fig. 1 Schematics of sample setting in universal testing machine(unit : mm)

부위에서 파괴가 일어나 인장시험이 불가능하였다. 따라서 인장시험 대신 휨시험으로 대체하였으며, 휨시험에는 농업 과학 공동 기기 센터(NICEM)의 만능 강도 시험기(Universal Testing Machine, Z100)를 이용하였다. 휨시험은 원래 휨 파괴강도를 조사하기 위한 것이 아니라 만곡부의 결합 여부를 조사하기 위하여 실시하는 것이지만 소성해석방법을 적용하면 간접적으로 휨강도를 구할 수 있으므로 본 연구에서는 금속재료 굽힘시험 방법(KS B 0804)을 준용하였다(최 등, 1997). Fig. 1은 시험장치 및 시편설치 모식도로서 시험기 헤드의 곡률반경은 4 mm, 지지대의 곡률반경은 16 mm이고 지지대의 지간거리는 250 mm로 하였고, 하중재하속도는 3 mm/min으로 하였다.

3. 분석방법

파이프 골조의 내용연수를 판단하기 위해서는 파이프의 부식도 측정을 통한 단면적의 감소를 실측하거나 재하시험에 의하여 내하력을 평가해야 하지만, 현장조건에서의 재하시험은 불가능 하며 단면적 감소를 측정하기는 상당히 어려우므로 휨시험을 통한 하중과 처짐의 관계로부터 초기의 휨강성계수(flexural rigidity)와 붕괴하중(collapse loads)을 구하여 이들의 경년변화를 고찰하였다. 파이프 골조 온실에서 아연도강관은 연동 온실의 기둥과 중방을 제외하고는 대부분 직경 25.4 mm, 두께 1.5 mm의 파이프를 사용하며, 일부는 직경

22.2 mm, 두께 1.2 mm, 극히 일부는 25.4 mm, 1.2 mm 또는 22.2 mm, 1.5 mm의 파이프를 사용하고 있다(남 등, 2000). 본 연구에 사용된 시험편도 직경과 두께가 다양하므로 직접적인 비교를 위하여 초기의 단면 2차모멘트와 소성단면계수를 이용하여 직경 25.4 mm, 두께 1.5 mm인 파이프에 대한 값으로 환산하였다.

1) 휨강성계수

휨시험에서 항복하중에 도달하기 전까지 시험체는 탄성적 거동을 한다. 보의 중앙에 집중하중 재하시의 최대처짐 δ (cm)는 식(1)과 같다.

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} \dots\dots\dots(1)$$

여기서, P 는 하중(kgf), l 은 스펠(cm), E 는 탄성계수(kgf/cm²), I 는 단면2차모멘트(cm⁴)이다.

따라서, 파이프의 휨강성계수 EI (kgf·cm²)는 휨시험 결과의 하중과 처짐 사이의 관계로부터 식(2)로 구하였다.

$$EI = \frac{Pl^3}{48\delta} \dots\dots\dots(2)$$

2) 붕괴하중

하중이 항복하중에 도달하면 시험체의 탄성적 거동은 상실되고 휨강성은 저하하기 시작한다. 하중을 계속 증가시키면 순휨부의 휨모멘트는 소성모멘트 M_p 에 달한다. 이때의 하중을 P_c 라고 하면 소성모멘트는 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$M_p = \frac{P_c l}{4} \dots\dots\dots(3)$$

이후, 하중은 증가하지 않고 변형만이 증가하여 상당히 큰 변형이 생긴 다음 국부좌굴이 생기고, 또 횡좌굴이 발생해서 시험체는 붕괴된다. 즉, P_c 는 붕괴하중(kgf)에 해당된다.

이론적인 소성모멘트는 항복강도에 소성단면계

수를 곱한 것과 같으므로 식(4)와 같이 된다.

$$M_p = f_y Z_m \dots\dots\dots(4)$$

여기서, f_y 는 항복강도(kgf/cm²), Z_m 는 소성단면계수(cm³)이다.

식(3)과 (4)로부터 이론적인 붕괴하중은 다음식(5)로 구할 수 있다.

$$P_c = \frac{4f_y Z_m}{l} \dots\dots\dots(5)$$

한편, 중공 원형단면의 소성단면계수는 식(6)과 같으므로 이론적인 붕괴하중은 식(7)과 같이 된다.

$$Z_m = \frac{1}{6} (d_o^3 - d_i^3) \dots\dots\dots(6)$$

$$P_c = \frac{2}{3} \frac{f_y}{l} (d_o^3 - d_i^3) \dots\dots\dots(7)$$

여기서, d_i 와 d_o 는 파이프의 내경 및 외경(cm)이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 휨강성계수의 변화

Fig. 2는 휨시험을 실시한 후 시료의 변형을 촬영한 사진의 한 예이며, Fig. 3은 휨강도 시험 결과의 한 예이다. 온실 구조의 각 부위별 변형의 허용범위는 $l/100 \sim l/150$ 이므로 본 시험의 경우 처짐 1.7~2.5 mm로써 대체로 초기 직선구간에 해당된다.

Table 1은 식(2)에 의해서 구한 아연도강관의 경과연수별 휨강성계수값을 나타낸 것이다. 공장 출하시 탄성계수값은 1.73×10^6 kgf/cm²로 나타났다. 초기의 휨강성계수값은 1.4×10^6 kg·cm²에서 15년 경과시 지상부위는 10~19%, 지하매설부위는 12~33% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

Table 1 Secular change of flexural rigidity of galvanized steel pipes

Periods (year)	Flexural rigidity(10 ⁶ kgf · cm ²)	
	Exposed in the atmosphere	Buried in the ground
0	1.40 (1.34~1.50)	1.40 (1.34~1.50)
5	1.38 (1.36~1.40)	1.33 (1.23~1.39)
10	1.31 (1.24~1.37)	1.29 (1.18~1.36)
15	1.19 (1.14~1.26)	1.09 (0.94~1.23)
20	1.08 (1.03~1.13)	0.90 (0.85~0.95)

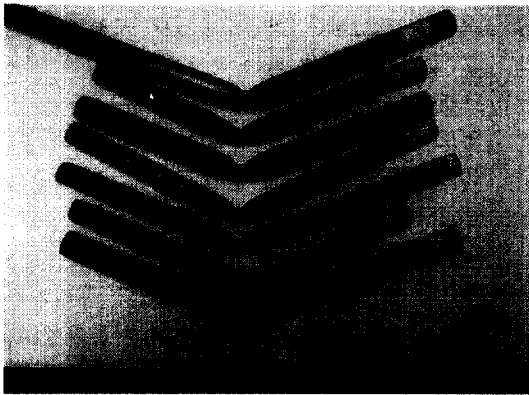


Fig. 2 Specimens of steel pipes deformed by the bend test

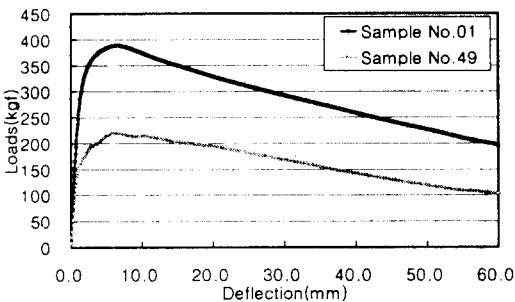


Fig. 3 An example of load-deflection curve obtained by bend test for galvanized steel pipes

No. 01 : new material(ϕ 25.4, 1.5t)

No. 49 : 7 years old pipe buried in the ground (ϕ 25.4, 1.2t)

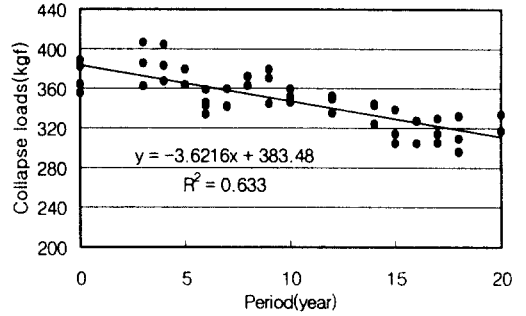


Fig. 4 Secular change of collapse loads for galvanized steel pipes exposed in the atmosphere

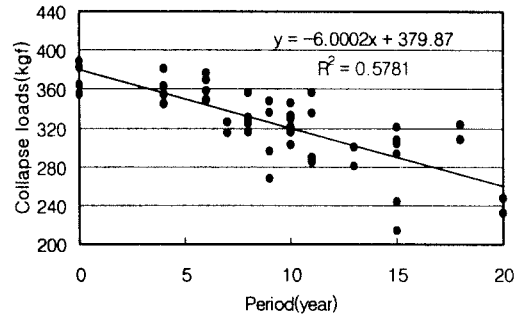


Fig. 5 Secular change of collapse loads for galvanized steel pipes buried in the ground

2. 붕괴하중의 변화

휨시험 결과로부터 구한 지상부위와 지하매설부위에 대한 붕괴하중의 경년변화는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다. 두께 40 mm 이하의 강관 및 구조용 강재의 항복강도는 2,400 kgf/cm² 이상이어야 하고, 이 값을 기준으로 하여 인장 및 휨 허용응력을 1,600 kgf/cm²로 설계하도록 규정하고 있다(대한건축학회, 1998). 식(7)에 이 기준을 적용하여 항복강도를 2,400 kgf/cm²로 하면 직경 25.4 mm, 두께 1.5 mm인 파이프의 붕괴하중은 329.4 kgf이다. 시험에 사용된 샘플 재료의 직경이나 두께가 다양하고, 제조연도 및 제조회사도 각각 다르며, 초기 강도를 알 수 없으므로 객관적인 비교는 곤란하지만 대체적인 경향을 파악하는데는 큰 문제가 없을

것으로 판단된다. 그림에서 보는 바와 같이 붕괴 하중이 329.4 kgf 미만으로 떨어지는 시기는 지상 부위의 경우 평균경과연수 15년, 지하매설부위의 경우는 약 8년으로 나타나고 있다.

3. 표준내용연수

남 등(2000)의 실태조사에 의하면 지면부위는 약 7년, 휨가공부위는 10년, 서까래부위는 13년 정도 지나면 파이프 표면의 상당부분이 녹스는 것으로 분석되었으며, 지하매설부위 등 부식에 취약한 부분은 대체로 2년 정도 경과하면 녹슬기 시작하여 10년 정도 경과하면 완전히 녹스는 것으로 보고하고 있다.

일본 亞鉛めっき鋼構造物研究會의 기술자료(1998)에 의하면 아연도금의 부식속도는 토양속에서 16.3~33.0 g/m²/년, 대기중에서 7.8~10.9 g/m²/년으로 보고하고 있다. 한국산업규격에서 강관의 아연도금 부착량은 138 g/m² 이상으로 규정하고 있으므로 아연도금 피막의 내용연수는 토양속에서 4.2~8.5년, 대기중에서 12.7~17.7년으로 추정할 수 있다.

Wraglen(1972)는 방식을 하지 않은 강의 부식속도를 습윤환경하에서 5~100 μm/년으로 보고하고 있다(윤 등, 1997). 아연도 강관의 내용연수는 아연도금 피막의 내용연수보다 최소한 몇 년은 클 것이므로, 본 연구에서의 경과연수별 강도변화 시험 결과는 파이프의 부식 실태 조사 및 아연도금 피막의 부식속도 등과 대체로 일치하는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

한편, 지하매설부위에서 채취한 파이프 중 일부의 시편은 휨시험 도중 만곡부 외측이 파열되는 현상이 발생되었다. 만곡부 외측이 파열된 시험편 중에서 경과연수가 가장 짧은 것은 10년이었으며, 10년 이상 경과된 지하매설부위 파이프 중 22.7%에서 파열 현상이 나타났다.

이상의 고찰 결과를 종합하여 파이프 골조 온실의 표준내용연수를 추정해 보면, 이동식 소형 파이프 하우스의 경우는 7~8년으로, 고정식 대형

파이프 하우스의 경우는 14~15년으로 설정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

시설영농 현장에서 사용중인 비닐하우스용 아연도 강관에 대한 강도의 경년 변화를 시험하고, 파이프의 부식 실태 조사 결과 및 아연도금 피막의 부식속도 등을 분석하여 파이프 골조 온실의 표준내용연수를 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온실 구조의 각 부위별 변형제한 1/100~1/150에 해당되는 처짐구간에서 시험체는 대체로 탄성적 거동을 하는 것으로 나타났다.
2. 직경 25.4 mm, 두께 1.5 mm인 비닐하우스용 아연도 강관의 휨강성계수값은 공장출하시 1.4 × 10⁶ kgf · cm² 정도였지만 15년 경과시 지상부위는 10~19%, 지하매설부위는 12~33% 정도 감소하는 것으로 나타났다.
3. 휨시험 결과로부터 구한 시험편의 붕괴하중이 항복강도 2,400 kgf/cm² 일 때의 이론적인 붕괴하중 329.4 kgf 미만으로 떨어지는 시기는 지상부위의 경우 평균경과연수 15년, 지하매설부위의 경우는 약 8년으로 나타났다.
4. 경과연수별 강도변화 시험 결과와 아연도금 피막의 부식속도 등으로부터 파이프 골조 온실의 표준내용연수를 추정해 보면, 이동식 소형 파이프 하우스의 경우는 7~8년으로, 고정식 대형 파이프 하우스의 경우는 14~15년으로 설정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

본 논문은 2000년도 농림기술개발사업에 의하여 수행한 연구결과의 일부임.

참 고 문 헌

1. 김문기, 남상운, 손정익, 윤남규, 1994, 지역별

- 특성화 온실의 실태 및 구조적 안전성, 생물생산시설환경 3(2), pp.128-135.
2. 김문기, 남상운, 1995, 파이프하우스의 구조안전에 관한 실험적 연구, 생물생산시설환경 4(1), pp.17-24.
 3. 남상운, 유인호, 2000, 파이프 골조 온실의 구조 및 유지관리실태 조사분석, 한국농공학회지 42(4), pp.106-114.
 4. 남상운, 김문기, 권혁진, 2000, 비닐하우스용 아연도강관의 강도경년변화 시험, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.296-301.
 5. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1995, 온실구조설계기준, 한국첨단농업시설협의회.
 6. 대한건축학회, 1998, 강관구조 설계기준 및 해설, 기문당.
 7. 윤병하, 김대용 역, 1997, 금속의 부식과 방지개론, 형설출판사.
 8. 이석건, 김문기, 서원명 외6인, 1995, 원예시설의 구조안전기준 작성, 농어촌진흥공사 농어촌연구원, pp.260.
 9. 최재진, 전찬기, 김기형, 1997, 구조재료실험법, 원창출판사, pp.297-327.
 10. 최중술, 권숙인, 김송희 역, 1990, 금속강도학, 도서출판 회중당.
 11. 한국강관협회, 1989, 강관구조편람, 건설도서.
 12. 한국강구조학회, 1998, 강구조 건축물의 설계, 구미서관.
 13. 한국공업표준협회, 1988, 비닐하우스용 아연도강관, KS D 3760.
 14. 亞鉛めっき鋼構造物研究會, 1998, 土壤中の溶融亞鉛めっきの耐蝕性, 技術資料.
 15. 亞鉛めっき鋼構造物研究會, 1998, 重工業地帯における溶融亞鉛めっきの耐蝕性.
 16. 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.
 17. POSCO, 1996, 강구조물 안전진단 및 보수·보강 지침서, 포항종합제철, pp.436.