

# 비닐하우스용 아연도강관의 강도경년변화 시험

## A Secular Change of Strength for Galvanized Steel Pipes for Vinyl Housing

남 상 운\*(충남대) · 김 문 기 · 권 혁 진(서울대)

Nam, Sang Woon\* · Kim, Moon Ki · Kwon, Hyuck Jin

### Abstract

Bend test for metallic materials was conducted on samples of galvanized steel pipes being used in greenhouse farms. A secular change of yield strength for galvanized steel pipes was analyzed with the part of 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 that the small sized pipe houses of movable type is 7~8 years and the large sized pipe houses of fixed type is 14~15 years.

### I. 서 론

1997년 말 현재 전국의 원예시설 설치면적은 47,246ha이다. 이 중 유리온실이 307ha로 0.6%, 철판 경질판 온실이 65ha로 0.1%이고, 아연도강관을 사용한 비닐하우스가 46,892ha로 99.3%를 차지하고 있다. 최근 첨단 시설농업으로의 발전이 눈부시지만, 철판 유리온실 등의 고비용 시설은 일부 고급작물에 국한될 것이며, 터널형 비닐하우스나 자동화된 연동형 비닐하우스 등의 파이프 골조 온실이 대부분을 점유할 것으로 전망된다. 현재 파이프 골조의 비닐하우스는 구조물로서의 공학적 설계나 유지관리에 대한 인식이 결여되어 있어 시설의 구조역학적인 연구가 거의 이루어지고 있지 않는 실정이다. 90년대 초반 온실의 구조안전 및 구조설계 기준 설정에 관한 연구가 일부 수행된 바 있으며, 이에 의하면 온실의 구조 설계시 이동식 소형 파이프 하우스의 경우는 표준내용년수를 5년으로, 고정식 대형 파이프 하우스의 경우는 10년으로 가정하여 설계하중을 산정하고 있으나 남 등(2000)의 실태조사 결과에 의하면 10년 이상 시설을 사용하고 있는 농가가 16.7%나 되고, 15년 이상 시설을 사용하고 있는 농가도 3.7%로 보고되고 있다. 따라서 파이프 골조 온실의 표준내용년수 구명을 위한 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 파이프 골조 온실의 표준내용년수 구명을 목적으로 실제 농가에서 사용중인 비닐하우스용 아연도강관을 경과년수별로 샘플링하여 강도시험을 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시료채취

은실채배 농가에서 사용중인 파이프를 현장에서 절단하여 시험편으로 사용하였다. 파이프는 지상부위와 지하매설부위로 구분하여 채취하였으며 각각의 경과년수를 설문으로 조사하였다. 가능한 다양한 경과년수별로 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 부위에서 파괴가 일어나 인장시험이 불가능하다. 따라서 인장시험 대신 휨시험으로 대체하였으며, 농업과학공동기기센터(NICEM)의 만능강도시험기(Universal Testing Machine, Z100)를 이용하여 휨강도 실험을 실시하였다. Fig. 1은 시험장치 및 시편설치 모식도로서 시험기 헤드의 곡률반경은 4mm, 지지대의 곡률반경은 16mm이고 지지대의 지간거리는 250mm로 하였고, 하중재하속도는 3mm/min으로 하였다.

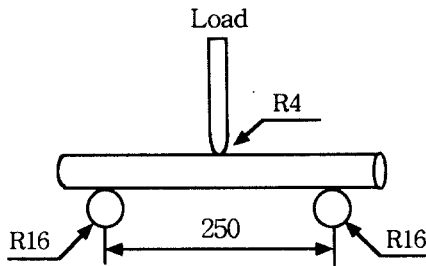


Fig.1. 만능강도시험기의 시편설치 모식도 (unit : mm)

### 3. 분석방법

#### 1) 초기탄성계수

휨시험에서 항복하중에 도달하기 전까지 시험체는 탄성적 거동을 한다. 보의 중앙에 집중하중 재하시의 최대처짐  $\delta$ (cm)는 다음과 같다.

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

여기서,  $P$ 는 하중(kgf),  $l$ 은 스펠(cm),  $E$ 는 탄성계수(kgf/cm<sup>2</sup>),  $I$ 는 단면2차모멘트(cm<sup>4</sup>)이다.

따라서, 파이프의 초기탄성계수는 휨시험 결과의 하중과 처짐 사이의 관계로부터 다음식으로 구할 수 있다.

$$E = \frac{Pl^3}{48\delta I} \quad (2)$$

## 2) 항복강도

하중이 항복하중에 도달하면 시험체의 탄성적 거동은 상실되고 휨강성은 저하하기 시작한다. 계속하여 하중을 증가시키면 순휨부의 휨모멘트는 전소성모멘트  $M_p$ 에 달한다. 전소성모멘트는 식(3)과 같으므로 이때의 하중을  $P_c$ 라고 하면 식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$M_p = f_y Z_{px} \quad (3)$$

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

여기서,  $f_y$ 는 항복강도(kgf/cm<sup>2</sup>),  $Z_{px}$ 는 소성단면계수(cm<sup>3</sup>)이다.

식(3)과 (4)로부터 항복강도는 다음식으로 구할 수 있다.

$$f_y = \frac{P_c l}{4Z_{px}} \quad (5)$$

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

$$Z_{px} = \frac{1}{6}(d_o^3 - d_i^3) \quad (6)$$

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

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.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 초기탄성계수

Fig.2는 휨강도 시험 결과의 한 예이다. 은실 구조의 각 부위별 변형제한이  $l/100 \sim l/150$ 이므로 본 시험의 경우 처짐 1.7~2.5mm로써 대체로 초기 직선구간에 해당된다.

Table 1은 식(2)에 의해서 구한 아연도강관의 경과년수별 초기탄성계수값을 나타낸 것이다. 공장출하시 탄성계수값은  $1.73 \times 10^6$ kgf/cm<sup>2</sup>정도에서 15년 경과시 지상부위는 10~18%, 지하매설부위는 12~33% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

Table 1. 비닐하우스용 아연도강관의 경과년수별 초기탄성계수의 변화

경과년수(년)	초기탄성계수( $10^6$ kgf/cm <sup>2</sup> )	
	지상부위	지하매설부위
0	1.73 (1.66~1.86)	1.73 (1.66~1.86)
5	1.71 (1.68~1.74)	1.65 (1.52~1.72)
10	1.62 (1.54~1.70)	1.60 (1.46~1.69)
15	1.47 (1.41~1.56)	1.35 (1.16~1.53)
20	1.34 (1.28~1.40)	1.12 (1.06~1.18)

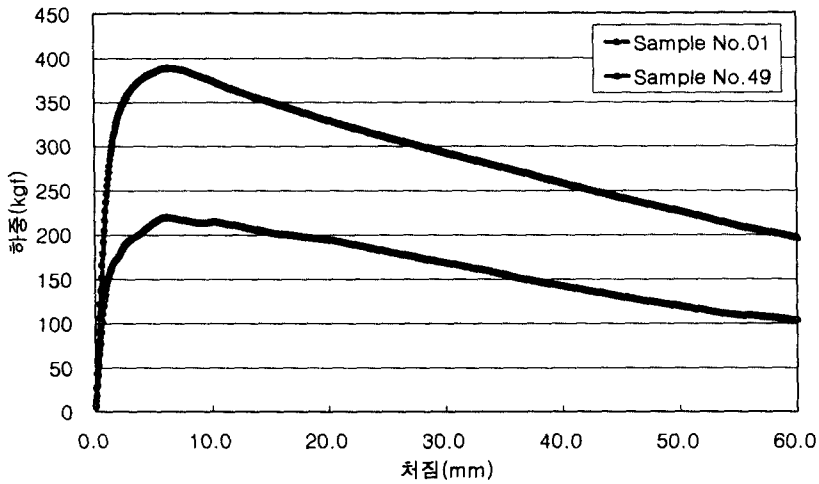


Fig. 2. 휨강도 시험 결과의 예.

No.01 ; 공장제품(  $\phi 25$ , 1.5t), No.49 ; 지하매설부위 7년경과(  $\phi 25$ , 1.2t)

## 2. 항복강도

휨강도 시험 결과로부터 식(7)에 의하여 구한 항복강도는 지상부위 Fig.3 및 지하매설부위 Fig.4와 같다. 두께 40mm 이하의 강관 및 구조용 강재의 항복강도는  $2400 \text{ kgf/cm}^2$  이상이어야 하고, 이를 기준값으로 하여 인장 및 휨 허용응력을  $1600 \text{ kgf/cm}^2$ 로 설계하도록 규정하고 있다 (대한건축학회, 1998). 그림에서 보는 바와 같이 항복강도가  $2400 \text{ kgf/cm}^2$ 미만으로 떨어지는 시기는 지상부위의 경우 평균경과년수 15년, 지하매설부위의 경우는 약 8년으로 나타나고 있다.

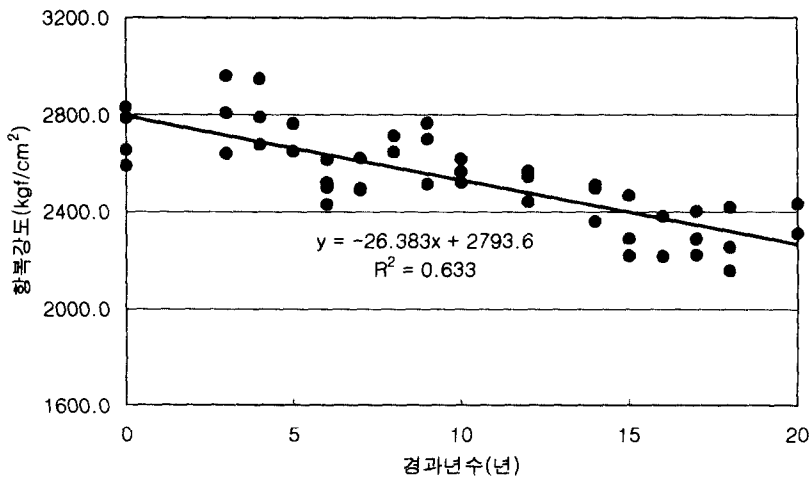


Fig. 3. 지상부위 아연도강관의 경과년수별 항복강도 변화.

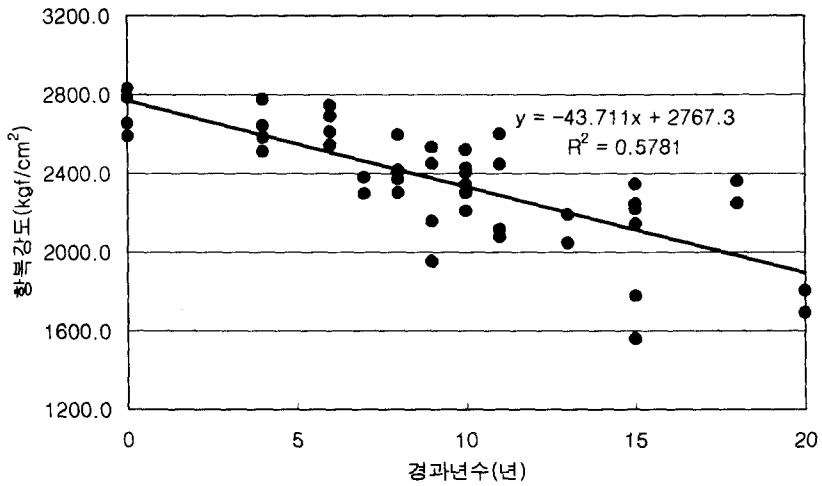


Fig. 4. 지하부위 아연도강관의 경과년수별 항복강도 변화.

### 3. 표준내용년수

남 과 유(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. 일본의 기술자료(亞鉛めっき鋼構造物研究會, 1998)에 의하면 아연도금의 부식속도는 토양속에서 16.3~33.0 g/m<sup>2</sup>/년, 대기중에서 7.8~10.9 g/m<sup>2</sup>/년으로 보고하고 있다. 한국산업규격에서 강관의 아연도금 부착량은 138 g/m<sup>2</sup>이상으로 규정하고 있으므로 아연도금 피막의 내용년수는 토양속에서 4.2~8.5년, 대기중에서 12.7~17.7년으로 추정할 수 있다. 본 시험에서의 경과년수별 항복강도 변화와 위의 고찰 결과로부터 파이프 골조 온실의 표준내용년수를 추정해 보면, 이동식 소형 파이프 하우스의 경우는 7~8년으로, 고정식 대형 파이프 하우스의 경우는 14~15년으로 설정할 수 있을 것으로 판단된다.

지하매설부위에서 채취한 파이프중 5개의 시험편은 휨시험 도중 만곡부 외측이 파열되는 현상이 발생되었다. 만곡부 외측이 파열된 시험편중에서 경과년수가 가장 짧은 것은 10년이었으며, 10년이상 경과된 지하매설부위 파이프중 22.7%에서 파열 현상이 나타났다.

## IV. 요약 및 결론

비닐하우스용 아연도강관의 강도 경년 변화를 시험하고, 파이프 골조 온실의 표준내용년수를 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온실 구조의 각 부위별 변형제한  $l/100 \sim l/150$ 에 해당되는 처짐구간에서 시험체는 대체로 탄성적 거동을 하는 것으로 나타났다.

2. 비닐하우스용 아연도강관의 초기탄성계수값은 공장출하시  $1.73 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$  정도에서 15년 경과시 지상부위는 10~18%, 지하매설부위는 12~33% 정도 감소하는 것으로 나타났다.
3. 강관의 항복강도 기준값  $2400 \text{ kgf/cm}^2$  미만으로 떨어지는 시기는 지상부위의 경우 평균경과년수 15년, 지하매설부위의 경우는 약 8년으로 나타났다.
4. 경과년수별 항복강도 변화 시험 결과와 아연도금 피막의 부식속도 등으로부터 파이프 골조 온실의 표준내용년수를 추정해 보면, 이동식 소형 파이프 하우스의 경우는 7~8년으로, 고정식 대형 파이프 하우스의 경우는 14~15년으로 설정할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김문기, 남상운, 손정의, 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. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1995, 온실구조설계기준, 한국첨단농업시설협의회.
5. 대한건축학회, 1998, 강관구조 설계기준 및 해설, 기문당.
6. 이석건 외, 1995, 원예시설의 구조안전기준 작성, 농어촌진흥공사 농어촌연구원, pp.260.
7. 최재진, 전찬기, 김기형, 1997, 구조재료실험법, 원창출판사, pp.297-327.
8. 최종술, 권숙인, 김송희 역, 1990, 금속강도학, 도서출판 희중당.
9. 한국강관협회, 1989, 강관구조편람, 건설도서.
10. 한국강구조학회, 1998, 강구조 건축물의 설계, 구미서관.
11. 한국공업표준협회, 1988, 비닐하우스용 아연도강관, KS D 3760.
12. 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.
13. 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, 技術資料.
14. 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.