



## 모르타르 충전 비닐하우스 파이프의 강도특성에 관한 연구

### A Study on the Strength Characteristics of Vinyl House Pipe Filled with Mortar

백신원<sup>\*,†</sup> · 김한중<sup>\*\*</sup>

Paik, Shinwon · Kim, Hanjoong

#### Abstract

There are many vinyl houses in rural areas. These vinyl houses have occasionally been collapsed due to heavy snow load in winter. If these vinyl houses are collapsed, many farmers get a lot of economical damages. So it is very important to built safe vinyl house that is able to withstand the applied heavy snow load. In this study, compressive buckling and flexural tests were performed to investigate the strength increase of circular mortar filled pipes. The results showed that buckling load and flexural moment of mortar filled pipes were increased 42 % ~ 82 %, 40 % ~ 44 % respectively more than only pipe without mortar. It is recommended that mortar filled pipes as main members of vinyl house have to be used to prevent collapsing due to the severe snow load.

**Keywords:** Vinyl house; Buckling load; Flexural moment; Mortar filled pipe; Main member

## I. 서 론

비닐하우스는 비교적 적은 비용으로 간단하게 파이프로 되어 있는 서까래 및 가로대를 조립하고 비닐을 덮어 노지에서 자랄 수 없는 계절에 작물을 계절에 관계없이 재배할 수 있는 환경을 조성할 수 있기 때문에 농가에서 주로 많이 사용되고 있는 농가건축물 중에 하나이다. 그러나 비닐하우스는 기후변동이 점점 커지고 기상이변으로 인한 잦은 폭설로 인하여 붕괴되거나 파괴되어 농가에 커다란 피해를 주는 경우도 종종 발생하고 있다. 비닐하우스는 지붕의 형상에 따라 터널형, 아치형, 지붕형 (Architectural Institute of Korea, 2000) 등으로 분류할 수 있고 골조의 폭방향 배치방식에 따라 크게 단동형과 연동형으로 나눌 수 있는데, 단동 비닐하우스가 국내 시설재배면적의 대부분을 차지하고 있다. 비닐하우스는 저렴한 시공비 및 시공의 용이성을 이점으로 1980년대부터 국내에 널리 보급되면서 이를 이용한 온실농업이 더욱 발전되어 왔고 앞으로도 더욱 가속화 될 것으로 전망된다. 최근의

폭설은 단시간에 집중적으로 내리고 일부지역에서는 습설형태로 내리기 때문에 비닐하우스에 과하중으로 작용하여 구조적으로 견디지 못하고 붕괴되는 경우가 많아(Ro, 2014) 2007년 정부에서도 원예특작시설 재해경감대책을 수립하고 시행하여 전보다도 구조적으로 더욱 견고한 내재해형 단동 비닐하우스 시설규격을 개정 고시한 이후 현재 19종의 내재해형 단동 비닐하우스 시설규격을 고시하여 사용하고 있다.

한편 비닐하우스의 구조보강에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았으나, 최근에는 서까래에 강선이나 로프 등으로 수평가새를 설치하여 구조적으로 보강한 연구도 있었으며(Jung and Teng, 2010), 변단면 모듈을 개발하여 모멘트가 큰 부분은 고성능 확대단면을 사용하고 모멘트가 작은 부분은 기존의 단면을 그대로 사용하여 구조적으로 성능을 향상시킨 연구(Oh et al., 2012)도 있었다.

본 연구에서는 비닐하우스의 주 부재로 사용되는 파이프에 모르타르를 충전하여 구조적으로 보강효과가 있는지를 알아 보기 위해 압축좌굴 및 휨 실험을 실시하였다.

## II. 실험 개요

### 1. 사용 재료

본 연구에서는 비닐하우스의 서까래로 사용되고 있는 파이프중 가장 직경이 큰  $\phi 31.8 \times 1.5t$ 를 사용하였으며, 시멘트는 국내 S사에서 제조한 밀도  $3.15 \text{ g/cm}^3$ 의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

\* Professor, Dept. of Civil, Safety and Environmental Engineering in Hankyong National University

\*\* Professor, Dept. of Bioresources and Rural Systems Engineering in Hankyong National University

† Corresponding author

Tel.: +82-31-670-5281 Fax: +82-31-670-5289

E-mail: paiksw@hknu.ac.kr

Received: May 18, 2015

Revised: August 12, 2015

Accepted: August 19, 2015

Table 1 Mixing table ( $kg/m^3$ )

Type	Water (kg)	Cement (kg)	Fine Aggregate (~5 mm) (kg)	Fine Aggregate (5~10 mm) (kg)	AE content/cement (%)
Mortar I	225	450	1350	-	1.3
Mortar II	225	450	778.7	951.8	

잔골재는 5 mm이하와 5 mm이상 10 mm이하의 두 종류를 사용하였는데, 밀도는 각각  $2.62 g/cm^3$ 과  $2.69 g/cm^3$ 였으며, 흡수율은 각각 1.15 %와 2.0 %이었다. 또한 파이프 충전에 필요한 충분한 워커빌리티를 얻기 위해 AE감수제를 사용하였는데, 시멘트 중량비로 약 1.3 %를 사용하였다. 한편 비어있는  $\phi 31.8 \times 1.5t$  파이프의 1 m당 단위중량은 11.0 N/m이며, 모르타르 충전  $\phi 31.8 \times 1.5t$  파이프의 1 m당 단위중량은 25.7 N/m이다.

## 2. 실험변수 및 배합

파이프 충전에 필요한 모르타르 배합은 물-시멘트비(W/C)를 50 %로 하고, 단위시멘트량  $450 kg/m^3$ 을 기준으로 하였으며, Table 1은 이에 대한 배합표이다.

본 연구에서는 파이프를 모르타르로 충전했을 때의 효과를 알아보기 위해  $\phi 31.8 \times 1.5t$  파이프 길이를 30 cm, 50 cm, 100 cm로 하고 각 모르타르별로 충전하여 각각 8개의 시편을 제작하고 28일이 경과한 후 압축좌굴실험을 통해 좌굴강도를 측정하였으며, 휨 시험의 경우 길이를 50 cm로 하고 각 모르타르별로 충전하여 각각 5개의 시편을 제작한 후 3등분점재하시험을 통해 휨강도를 측정하였다.

## III. 실험 결과 및 분석

### 1. 좌굴실험

Table 1의 배합에 대한 28일 압축강도를 측정하였는데, 모르타르 I의 압축강도는 31.4 MPa, 모르타르 II의 압축강도는 39.8 MPa로 측정되었다.

각 길이별 미충진 파이프 및 모르타르 충전 파이프의 좌굴강도를 측정한 결과의 평균값은 Table 2와 같고, 각 길이별 좌굴강도의 평균값 변화는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 모르타르 I로 충전한 파이프의 좌굴강도는 미충진 파이프에 비해 30 cm 길이에서는 42 %, 50 cm 길이에서는 62 %, 100 cm 길이에서는 66 % 증가하는 결과를 보였으며, 모르타르 II로 충전한 파이프의 좌굴강

Table 2 Buckling load results

Type	Specimen length (cm)	Mortar type	Buckling load (kN)
30-0	30	-	56.9
30-I		I	81.0
30-II		II	86.4
50-0	50	-	46.9
50-I		I	76.1
50-II		II	79.8
100-0	100	-	36.4
100-I		I	60.4
100-II		II	66.1

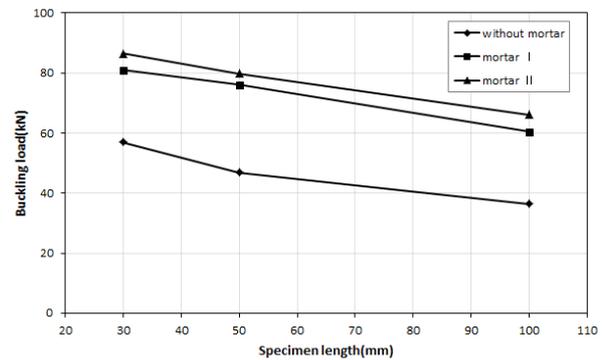


Fig. 1 Buckling load according to the specimen length

도는 미충진 파이프에 비해 30 cm 길이에서는 52 %, 50 cm 길이에서는 70 %, 100 cm 길이에서는 82 % 증가하는 결과를 보여, 비닐하우스의 서까래로 사용되고 있는 파이프를 모르타르로 충전해서 사용하면 좌굴강도가 크게 증가하기 때문에 설하중에 의한 비닐하우스의 붕괴방지에 효과가 매우 클 것으로 사료된다.

한편, ASIC (American Institute of Steel Construction, 2005)는 일반 기둥의 좌굴곡선을 이용하여 모르타르 충전 파이프의 좌굴강도를 결정하도록 하고 있다. ASIC에서 제안하고 있는 모르타르 충전 파이프의 좌굴강도  $P_{cr}$ 은 다음 식으로 구할 수 있다 (Moon et al., 2012).

$$P_{cr}/P_o = 0.658\lambda^2 \text{ for } \lambda \leq 1.5 \quad (1a)$$

$$P_{cr}/P_o = 0.877/\lambda^2 \text{ for } \lambda > 1.5 \quad (1b)$$

여기서,  $\lambda$ (좌굴계수) =  $\sqrt{\frac{P_o}{P_{cr}^e}}$

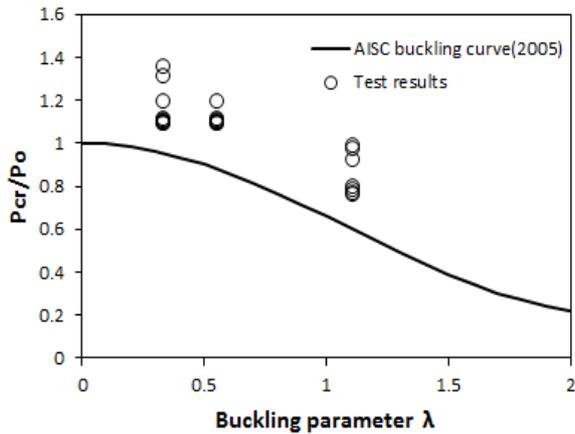


Fig. 2 Buckling load of AISC and test results (without mortar)

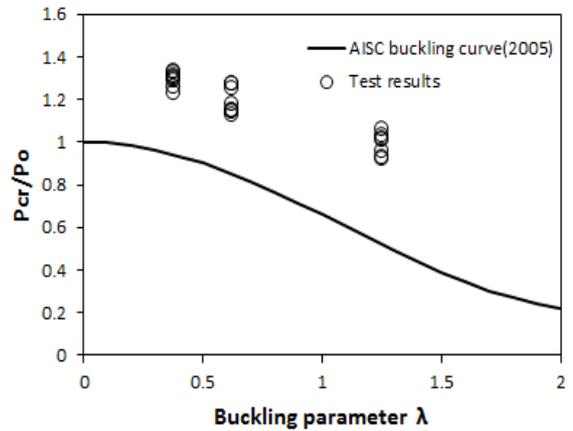


Fig. 4 Buckling load of AISC and test results (mortar II)

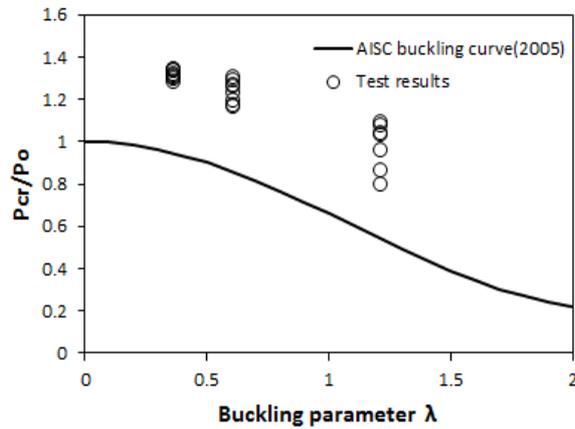


Fig. 3 Buckling load of AISC and test results (mortar I)

진 파이프의 좌굴곡선 및 실험결과 값을 비교한 그래프이고, Fig. 3은 모르타르 I 으로 충전한 파이프의 좌굴곡선 및 실험 결과 값을 비교한 그래프이며, Fig. 4는 모르타르 II 로 충전한 파이프의 좌굴곡선 및 실험결과 값을 비교한 그래프이다. Fig. 2, Fig. 3, Fig. 3에서 보는 바와 같이 실험결과값이 AISC의 제안식보다 상당히 큰 결과값을 나타냈는데, 이는 본 연구에서 사용된 파이프의 직경이 매우 적어 크기효과로 인한 결과로 예측할 수 있고, 또한 본 연구의 파이프 좌굴실험의 양단을 힌지로 가정하였는데, 실제로는 힌지보다 더 구속되었기 때문인 것으로 사료된다.

## 2. 휨실험

본 연구에서는 미충진 파이프 및 모르타르 충전 파이프의 휨강도를 알아보기 위하여 길이 50cm 파이프의 시편에 모르타르 I 과 모르타르 II 를 충전하고 양생하여 지간의 길이를 45 cm로 한 3등분점 재하 (4 point bending test) 시험을 통해 휨강도를 측정하였다. Fig. 5는 지간중양의 처짐을 지간의 1/2로 나눈 백분율인 드리프트 (Drift)를 x축으로 하고 y축을 모멘트로 나타낸 실험결과 곡선으로 미충진 파이프와 모르타르 I 및 모르타르 II 로 충전한 파이프들 중 대표적으로 각각 하나씩만을 나타낸 그래프이다.

한편, AISC는 모르타르 충전 파이프의 휨 강도를 예측하기 위해 Fig. 6과 같은 응력분포를 이용한 소성응력 분배법 (Plastic stress distribution method)을 제안하고 있다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 미충진 파이프의 휨실험에서는 6% 드리프트에서 하중점에서의 변형이 최대로 발생하였기 때문에 6% 드리프트를 기준으로 미충진 파이프 및 충전 파이프의 휨강도 평균값과 AISC의 소성 응력 분배법에 따른 휨강도를 정리한 것이 Table 3과 같다. Table 3에서 보는 바와 같

$$P_{cr}^e (\text{탄성좌굴강도}) = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{(kL)^2}$$

$$P_o (\text{압축강도}) = f_y A_s + C_1 f'_c A_c$$

$$EI_{eff} (\text{유효휨강성}) = E_s I_s + C_2 E_c I_c$$

$$C_2 = \left( 0.6 + 2 \left( \frac{A_s}{A_s + A_c} \right) \right) \leq 0.9$$

$$C_1 = 0.95 (\text{모르타르 충전 파이프})$$

$$A_s = \text{파이프 단면적} (mm^2)$$

$$A_c = \text{모르타르 단면적} (mm^2)$$

$$f_y = \text{파이프 항복강도} (MPa)$$

$$f'_c = \text{모르타르 압축강도} (MPa)$$

본 연구의 파이프 좌굴실험의 양단이 힌지인 경우로 가정하여 유효좌굴길이 계수  $k$ 를 1.0으로 하고 식 [1a]와 [1b]를 이용하여 AISC의 좌굴곡선을 구할 수 있었다. Fig. 2는 미충

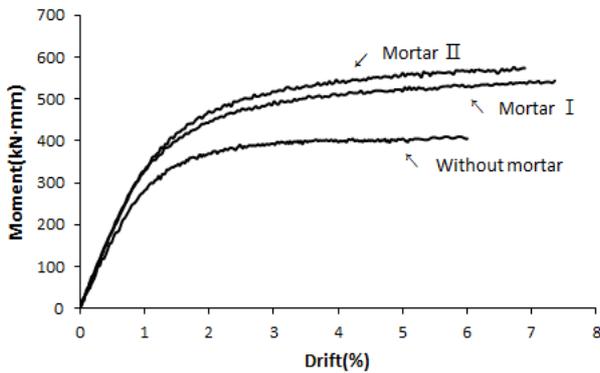


Fig. 5 Moment drift curves

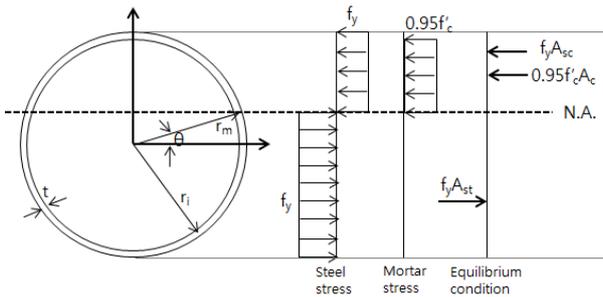


Fig. 6 Plastic stress distribution

Table 3 Flexural Moment results

Type	Mortar type	Moment at 6% drift (kN · mm)	ASIC (2005) Moment (kN · mm)
F - 0	-	399	445
F - I	I	555	493
F - II	II	573	500

이 모르타르 I 으로 충전한 파이프의 휨강도는 미충진 파이프보다 40%가 증가하고, 모르타르 II 로 충전한 파이프의 휨강도는 미충진 파이프보다 44%가 증가한 결과를 보여 기둥의 좌굴강도와 마찬가지로 휨강도에서도 모르타르 충전효과가 매우 큼을 알 수 있었다. 또한 미충진 파이프의 휨강도값은 ASIC의 값보다 적고, 모르타르로 충전한 파이프의 휨강도값은 ASIC의 값보다 큰 결과를 보여 소성응력 해석법이 미충진 파이프의 경우에는 약간 과하게 평가되고 충전한 파이프의 경우에는 보수적으로 평가됨을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 비닐하우스의 주 부재로 사용되는 파이프에 모르타르를 충전하여 구조적으로 보강효과가 있는지를 알

아 보기 위해 압축좌굴 및 휨 실험을 실시하였는데, 이러한 결과로부터 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 모르타르로 충전한 파이프가 좌굴길이가 증가할수록 미충진 파이프에 대한 좌굴강도비가 증가하고 압축강도가 더 큰 모르타르 II 가 모르타르 I 으로 충전한 파이프보다 미충진 파이프에 대한 좌굴강도비가 더 큰 결과를 나타냈다.
2. 미충진 파이프 및 모르타르로 충전한 파이프의 좌굴강도 실험값은 ASIC의 제안식보다 상당히 큰 결과값을 보여 ASIC에 의한 좌굴강도 산정은 크기효과나 지점의 영향을 고려하더라도 많이 보수적으로 예측됨을 알 수 있었다.
3. 좌굴길이가 1m인 경우 모르타르 I 으로 충전한 파이프의 좌굴강도는 미충진 파이프에 비해 66% 증가하고, 모르타르 II 로 충전한 파이프의 좌굴강도는 미충진 파이프에 비해 82% 증가하는 결과값을 보여 좌굴하중에 대한 모르타르 충전효과가 매우 큼을 알 수 있었다.
4. 드리프트 6%에서 모르타르 I, II 로 충전한 파이프의 휨강도는 미충진 파이프보다 각각 40%, 44% 증가한 결과를 보여 좌굴강도와 마찬가지로 휨강도도 모르타르 충전효과가 매우 큼을 알 수 있었다.
5. 모르타르로 충전한 파이프의 휨강도측정값은 ASIC의 제안값(소성응력 분배법)보다도 큰 결과를 보여 ASIC 제안값은 매우 보수적으로 예측됨을 알 수 있었다.

따라서 본 연구결과를 종합해 보면 농가에서 주로 많이 사용되고 있는 비닐하우스가 겨울철 폭설로 인해 붕괴되는 경우가 많이 발생하여 농가에 커다란 피해를 주고 있는데, 비닐하우스의 주 부재인 서까래로 모르타르 충전 파이프를 사용하면 큰 구조보강증진 효과가 있어 폭설로 인한 붕괴재해 예방에 큰 기여를 할 것으로 사료된다. 다만 추후 연구에서는 모르타르로 충전된 농가보급형 비닐하우스 실규격을 대상으로 보강효과를 알아보는 구조해석 및 좌굴시험을 실시할 필요가 있을 것이다.

#### 사 사

본 연구는 2013년도 한경대학교 교비 파견 연구비의 지원에 의한 것임.

#### REFERENCES

1. American Institute of Steel Construction, 2005. Specification for Structural Steel Buildings, 77-89, Chicago, USA

2. Architectural Institute of Korea, 2000. Building Design Load, 32, Seoul, KOREA
3. Jung, D. J., and C. Teng, 2010. Effect of Wire Bracing to Snow Load Acting on Vinyl House Frame, *Journal of the Korean Institute of Rural Architecture*, Vol.12, No.3: 27-34(in Korean)
4. Lee, J. W., S. G. Lee, and H. W. Lee, 2002. A Field Survey on the Structures of Small Scale Vinyl House by Growing Grop, 2002 *the Korean Society of Agricultural Engineers Conference*, : 129-132(in Korean)
5. Lee, S. G., J. W. Lee, and H. W. Lee, 2004. Analysis of Safety Wind Speed and Snow Depth of Single-span Plastic Greenhouse by Growing Grop, 2004 *the Korean Society of Agricultural Engineers Conference*, : 40(in Korean)
6. Moon, J. H., H. J. Ko, and H. K. Lee, 2012. Development of Non-linear Finite Element Modeling Technique for Circular Concrete-filled Tube(CFT), *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.32, No.3a: 139-148(in Korean)
7. Oh, M. H., G. J. Shin, and G. S. Joo, 2012. Research Trend of Vinyl House in Snowfall, *Journal of Disaster Prevention*, Vol.49: 114-122(in Korean)
8. Ro, K. C., 2014. An Evaluation of the Structural Stability of a Clip Type Prefabricated Greenhouse under Strong Wind and Heavy Snow Conditions, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.15, No.6: 3423-3428(in Korean)