



# 목재 인삼재배시설에 대한 재생플라스틱의 대체 가능성 평가

## Possibility for the Replacement of Recycled Plastic Products on Timber Ginseng Cultivation Facilities

송호성<sup>a</sup> · 임성윤<sup>b,†</sup> · 김유용<sup>c</sup> · 유석철<sup>d</sup>

Song, Hosung · Lim, Seong-Yoon · Kim, Yu-Yong · Yu, Seok-Cheol

### ABSTRACT

This study was conducted to examine the possibility of use as a structural material for ginseng cultivation facilities of recycled plastics. In order to determine the possibility that recycled plastic can replace timber used as a structural material for ginseng cultivation facilities, the specimens collected by elapsed time were compared with timber through bending tests. In addition, in order to analyze the effect of external environmental conditions on recycled plastic products, bending test was conducted with the specimens that had completed weathering test and accelerated heat aging test respectively. As a result, the bending strength of recycled plastic specimens with the elapsed time of 360 days was lower than that of timber. But bending strength of recycled plastic specimens exceeded the design allowable stress standard set by the Korea design standard (MOLIT, 2016). There was no degradation in quality of recycled plastic due to the external environment, and it was found that there would be no problem even if it was used as a structural material for ginseng cultivation facilities.

**Keywords:** Ginseng cultivation facility; recyclable plastic; flexural test

### 1. 서론

플라스틱은 비닐봉지, 각종 식품 용기, 농업용·포장용 투명 필름, 장난감, 파이프 등 우리 생활의 많은 분야에서 사용되고 있다. 이렇게 우리 생활에서 광범위하게 사용되는 플라스틱의 재활용률은 약 57% 정도에 불과하다 (K-eco, 2021). Lee (2019)에 의하면, 국내 폐플라스틱 재활용품의 상당 부분은 재생 원료 등으로 사용되고 있다. 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌 계열의 플라스틱 용기는 선별 및 물리적 공정을 거쳐 고품질로 이용되고, 폴리스타이렌 등의 재질로 된 가전기기 부품도 유사한 공정을 거쳐 재생 원료로 유통된다. 농촌에서 발생하는 영농폐비닐의 경우 한국환경자원공사가 농어촌의 폐비닐을 수거하여 폴리에틸렌 물질은 매각하고 멀칭용 고밀도 폴리에틸렌 필름은 물리적 처리를 거쳐 재생 원료화 한다.

그 외에도 폐플라스틱을 재활용한 제품은 포장, 건설, 섬유, 자동차, 전기, 및 전자 제품 등에서 활용되고 있다. Kim (2017)은 농촌에서 발생하는 폐비닐을 아스팔트 포장에 활용할 수 있는지 알아보기 위하여 폐비닐을 용융한 후 19 mm 크기의 단입도 폴리에틸렌골재를 제작하였다. 이를 밀입도 아스콘에 혼합하여 단열효과시험, 동결 용해 후 인장강도와 빙착인장강도 시험, 현장밀도와 공극률 시험을 실시하였으며, 그 결과로 일반 아스콘에 그 혼합물의 2.5%만큼 폴리에틸렌골재를 추가로 혼합하여도 도로포장으로서 큰 문제가 없을 것으로 보고하였다. Pyo et al. (2021)은 생활폐기물에서 수거한 폐플라스틱, 플라스틱 제조과정에서 발생하는 플라스틱 부산물, 및 석탄 화력발전소에서 발생하는 석탄재를 정제한 정제회 등의 3가지의 생활폐기물 및 산업부산물을 전체 체적의 90% 이상 활용한 배합을 개발하여 친환경 플라스틱 칩목 소재로 적용하여 재료단위의 인장강도, 압축강도, 및 휨강도 시험 결과들을 바탕으로 플라스틱 칩목에 적용 가능한 배합들을 도출하였다. Han (2022)은 생활계에서 발생하는 폐비닐을 용융시켜 무기첨가제 등을 혼입한 복합 합금을 이용하여 테트라포드의 형태를 만들 수 있는 예비성형물로 가공하였다. 해안 및 항만에서 사용되는 테트라포드 중량의 약 10%에 해당하는 예비성형물을 삽입한 후 하중 재하 실험을 통해 테트라포드의 취약부에 균열과 파괴 유무를 확인한 결과 사용에 지장이 없음을 확인하였다.

<sup>a</sup> Postdoctoral Researcher, National Institute of Agricultural Sciences

<sup>b</sup> Agricultural Researcher, National Institute of Agricultural Sciences

<sup>c</sup> Agricultural Senior Researcher, National Institute of Agricultural Sciences

<sup>d</sup> Agricultural Researcher, National Institute of Agricultural Sciences

† Corresponding author

Tel.: +82-63-238-4191, Fax: +82-63-238-4145

E-mail: [limsy73@korea.kr](mailto:limsy73@korea.kr)

Received: January 10, 2023

Revised: May 12, 2023

Accepted: June 08, 2023

Kang et al. (2021)은 생활계 복합재질 폐플라스틱을 재활용한 물질재활용 제품의 물성을 향상시키기 위한 방안으로 단일 재질 재활용 폐플라스틱 r-LDPE (Recycled Low Density Polyethylene) 사용량을 변화시켜 물질재활용 제품의 물성을 평가하였으며, 그 결과 r-LDPE 사용량이 증가할수록 생활계 복합재질 폐플라스틱 물질재활용 제품의 인장강도, 연신율은 증가하는 경향을 나타낸다는 결론을 도출하였다. 그리고 r-LDPE 사용량을 5% 이상 혼입 사용할 경우 생활계 복합재질 폐플라스틱의 물질 재활용 제품인 인삼재배시설용 지주대의 품질기준인 GR M3093-2021을 안정적으로 만족시키는 것으로 보고하였다. 그러나 인삼의 경우 최소 6년 이상의 재배 기간이 필요하기 때문에 노지에 설치하는 인삼재배시설의 특성을 반영한 내구성 평가에는 이르지 못하였다.

원예특작시설 내재해형 규격의 목재 인삼재배시설에는 주로 수입산 강질목과 지역별 설계강도 이상의 중질목이 사용되고 있으나, 국내산 낙엽송 목재의 사용 증가에 따라 2014년 농림축산식품부는 이를 구조재로 사용하는 내재해형 모델을 추가하였다 (MAFRA, 2014). 하지만 최근 외래 병충 발생 등으로 인한 수입산 목재의 규제와 국내산 낙엽송의 공급 부족으로 인하여 목재를 대체할 수 있는 구조재가 필요하다. 이에 본 연구에서는 폐플라스틱 재활용 제품의 농업시설 분야 적용 방법의 하나로 생활 플라스틱 폐기물, 영농폐비닐 및 기타 폐플라스틱을 재활용하여, 비교적 구조가 단순하고 설치가 쉬운 인삼재배시설의 구조 재료로 활용하기 위한 기초 연구를 수행하였다. 폐플라스틱을 재활용한 (이하 재생플라스틱) 제품이 인삼 재배시설의 구조재로 사용되는 목재를 대체할 수 있는지에 대한 가능성을 판단하기 위하여, 경과시간별로 채취한 시료를 굴곡 시험을 통해 기존에 사용되고 있는 목재와 비교하였다. 또한 기후적인 조건이나 기상 변화에 따른 외부 환경이 재생플라스틱 제품에 미치는 영향을 조사하기 위하여 내후성 및 열노화 시험을 실시하고, 굴곡 시험을 통해 품질 저하가 발생하는지 조사하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재생플라스틱 제품

본 연구에서 인삼재배시설 구조재로 사용된 재생플라스틱 제품은 생활계 합성수지 폐기물을 재활용한 제품 (이하 재생비닐)과 PVC (Poly vinyl chloride)라 불리는 폴리염화비닐 폐기물을 재활용한 제품 (이하 재생PVC)이다. 재생비닐은 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌 테레프탈레이트, 및 알루미늄 포일로 이루어져 있으며, 재생비닐 자체만은 완전한 경질이 아니기 때문에 인삼재배시설 구조재에 요구되는 직진성을 위한 강성을 만족시키기 위해 내부에  $\phi 19.1 \text{ mm} \times 1.2 \text{ T}$ 의 강관보강재가 삽입되었다. 재생PVC는 주성분인 PVC 외에 여러 종류의 첨가제를 배합하여 생산된 제품이다. Table 1과 2에서 각 제품의 구성 성분을 나타냈다.

연구에 활용된 재생플라스틱은 제품표준인 GR M 3093:2021 재활용 플라스틱 인삼재배시설용 지주대 (KS, 2021)에 명시된 유해중금속 용출시험을 통해 환경위해성평가를 하였으며, 검출된 유해 물질은 없는 것으로 나타났다 (Table 3).

Table 1 Composition ratio of recyclable vinyl

Composition	Ratio (%)
Polyethylene	More than 60~70
Polypropylene	Less than 20~30
Polyethylene terephthalate and aluminum foil	Below 5

Table 2 Composition ratio of recyclable PVC

Composition	Ratio (%)
Poly vinyl chloride	86.73
Thermal stabilizer	1.73
Processing aid	2.6
Foaming agent	0.26
Calcium carbonate	8.67

Table 3 Results of heavy metal leaching test on the recycled plastic products

Detection item	Standard value* (mg/L)	Test result (mg/L)	
		Recyclable vinyl	Recyclable PVC
Arsenic	Below 1.5	Not detected	Not detected
Cadmium	Below 0.3		
Chrome	Below 1.5		
Plumbum	Below 3		
Hydrargyrum	Below 0.005		

\* KS (2021), GR M 3093:2021

## 2. 인삼재배시설 시공 및 시료 채취

인삼은 보통 6년근을 재배하기 때문에 인삼재배시설의 구조재도 6년 동안 사용된다. 본 연구에서는 인삼 생육기간 동안 구조재의 품질이 적정 수준을 유지하는지 알아보기 위하여 직접 인삼재배시설을 시공하였다. 목재와 그 대체재인 재생플라스틱 제품의 구조적인 특성을 비교하기 위해 재생플라스틱 제품을 사용한 시험구와 목재를 사용한 대조구로 구분하였다 (Fig. 1). 목재는 수입산 아피톤을 사용하였으며, 재생플라스틱 제품은 재생비닐과 재생PVC 제품을 각각 사용하였다. 그리고 90일마다 시료를 채취하여 최장 경과기간 360일까지의 시료를 확보하였다 (재생PVC 제품은 최장 기간 270일).

## 3. 굴곡 시험

경과일에 따라 채취한 목재와 재생플라스틱 제품의 강도를 측정하기 위한 방법에는 인장, 압축, 또는 굴곡 시험 등이 있다. 그런데 원예특작시설 내재해형 목재 인삼재배시설의 구조 안전성 평가에 있어서 적설심을 적용한 휨 강도를 주요 지표로 사용하고 있기 때문에, 본 연구에서는 재생플라스틱 제품의 좌굴이나 처짐 등으로부터 구조적으로 안전한 지에 대한 평가를 위하여 굴곡 시험을 실시하였다.

KS 규격인 플라스틱-굴곡성의 측정 (KS, 2012)은 일정한 조건에서 플라스틱의 굴곡성을 측정하는 방법에 관하여 규정하고 있으며, 시험편과 시험조건 및 시험속도 등을 포함하고 있다. 이 규격은 시험편의 굴곡 거동을 조사하고 굴곡 강도, 굴곡 탄성률 및 굴곡 응력-변형의 상관관계를 측정하는 데 사용하며, 시험방법은 지점 간 거리의 중앙부에 힘을 가하는 3점 시험을 사용한다.

대조구와 시험구로부터 각각 채취한 시료를 30 cm 길이로 잘라 시험편으로 사용하였다. 신제품이 아닌 경과일이 어느 정도 지난 시료를 가공할 경우 손상부위에 의한 파단이나 물리적 특성의 변화를 가져올 수 있기 때문에 별도의 가공을 하지 않았다. Fig. 2는 굴곡 시험 전과 후의 시험편과 기구에 대한 개략도이며, Fig. 3은 굴곡 시험을 위해 각 시험편을 설치한 사진이며, 만능재료시험기의 가압봉과 지지대, 및 시험편 단면의 치수를 표시하였다. 가압봉과 지지대는 시험편과 접촉하는 부분이 반원 형태로써 반지름이 각각 20 mm와 15 mm이고, 지지대 사이의 중심거리는 모든 시험편에서 170 mm이다.

굴곡 시험은 최대 재하 하중 300 kN, 인장·압축·휨 시험이 가능한 만능재료시험기를 이용하였으며, 하중 재하속도를 2 mm/min로 하여 시험편 종류별로 5회 반복하였다. 시험 종료 시점은 연신율 증가 없이 하중이 급속히 감소하는 파단점

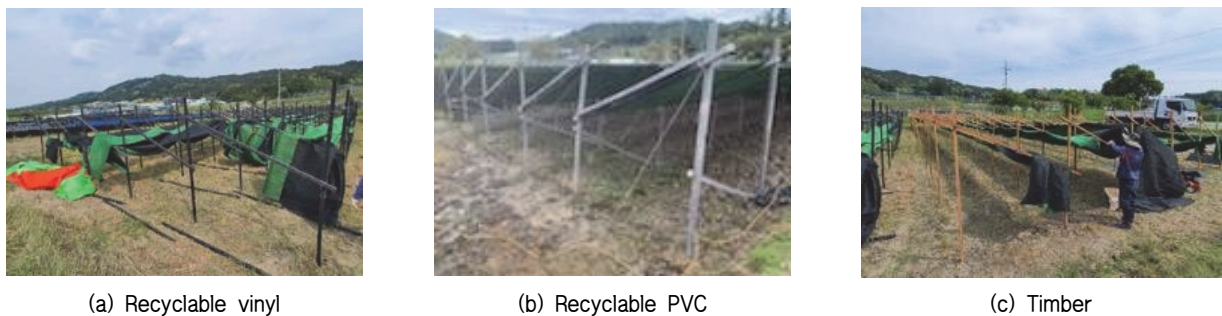


Fig. 1 Ginseng cultivation facilities using recycled plastic products and timber

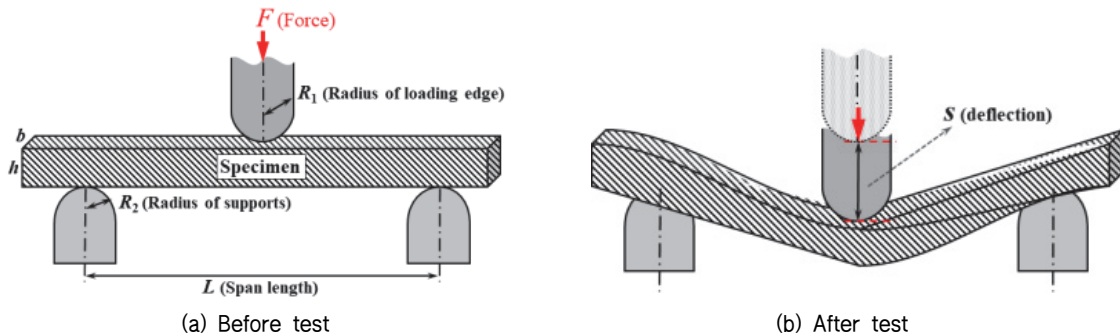


Fig. 2 Description of flexural test

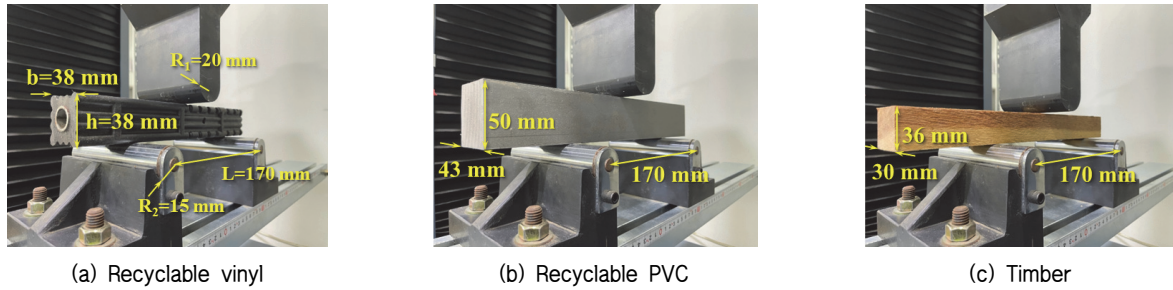


Fig. 3 Dimensions of specimens and apparatus for flexural test

또는 지지대의 높이를 고려하여 크로스헤드 이송 거리가 30 mm를 초과하지 않도록 설정하였다. 시험편에 가해진 하중은 만능재료시험기에 부착된 하중계를 이용하여 측정하였으며, 변형거리는 시험기 크로스헤드의 이송 거리를 이용하였다.

굴곡 시험 중의 하중과 이에 대응하는 시험편의 변형을 기록하여 식 (1)~(2)로부터 굴곡 응력-굴곡 변형을 구할 수 있다. 굴곡 탄성률  $E_f$ 은 굴곡 응력-굴곡 변형 곡선의 초기 탄성 구간에서 Fig. 4와 식 (3)에 의해 계산된다.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1)$$

$$\varepsilon_f = \frac{6sh}{L^2} \quad (2)$$

- where,  $\sigma_f$  : Flexural stress (MPa)  
 $\varepsilon_f$  : Flexural strain (-)  
 $F$  : Applied force (N)  
 $L$  : Span length between supports (mm)  
 $b$  : Width of specimen (mm)  
 $h$  : Thickness of the specimen (mm)  
 $s$  : Deflection (mm)

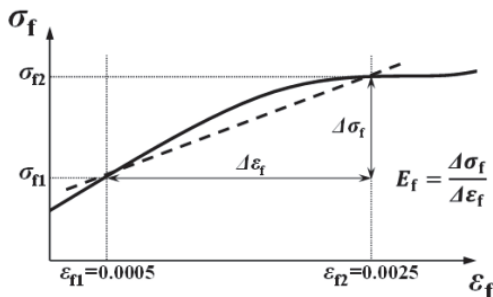


Fig. 4 Flexural stress–flexural strain for determination of flexural modulus

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (3)$$

#### 4. 내후성 시험

인삼재배시설 구조재로 사용된 재생플라스틱 제품은 눈, 비, 우박, 및 바람 등과 같이 직접적인 외력 외에 기상이나 환경에 의한 변형이 발생할 수 있다. 이러한 기상이나 기후 등 외부 환경 인자에 견디는 성질을 내후성이라 한다. 환경의 영향을 조사하는 내후성 시험은 야외에서 직접 수행하는 폭로시험과 실험실에서 수행하는 촉진실내시험으로 나뉜다. 본 연구에서는 야외폭로시험에 비해 환경조건 제어가 용이하고 결과를 빨리 확인할 수 있는 크세논아크 촉진실내시험을 채택하였다 (KS, 2018). 내후성 시험 시간은 총 1,000시간이며 시험조건을 Table 4에 요약하였다. 그리고 내후성 시험이 끝난 후 시험편을 만들어 굴곡 시험을 5회 반복 실시하였다.

Table 4 Condition of Xenon–Arc accelerated weathering tester

Contents	Experimental condition
Irradiance range	550 W/m <sup>2</sup>
Wavelength	290-800 nm
Temperature	63±3°C
Relative humidity	50±5%
Water spray	18 min
Light	102 min

#### 5. 장기 열노화 시험

본 실험은 장기간 고온에 노출 시킨 플라스틱의 열적 내구성을 평가하기 위하여 실시하였다. 재생플라스틱 제품의 노화 정도를 평가하기 위해서는 실제 사용 환경에 노출시켜 얻은 자료로부터 측정하는 방법이 있으나 시간이 오래 소요된다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 사용 환경보다 가혹한 조건을 적용하여 평가 시간을 단축하는 가속시험 방



법을 통해 노화 손상 정도를 추정하였다. 가속시험은 제품의 특성이나 성능을 열화 촉진하는 것이다. 재생플라스틱의 성능 열화에 영향을 미치는 환경적인 인자에는 비나 눈에 의한 수분, 일사에 의한 자외선 및 온도변화 등이 있다. 본 연구에서는 가장 주요한 인자로서 온도를 선택하였으며, 실제 환경보다 높은 온도에서 시험하는 가속시험 방법을 적용하였다. 장기 열노화 시험은 KS M ISO 2578:1993을 근거로 하여 60°C 온도에서 1,000시간 동안 수행하였다 (KS, 2017). 시험 후 굴곡 시험용 시편으로 제작하여 굴곡 시험을 5회 반복 실시하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 굴곡 시험 결과

본 연구에서는 재생플라스틱 제품이 기존의 목재를 이용한 인삼재배시설 구조재를 대체할 수 있는지에 알아보기 위해 굴곡 시험을 실시하였으며, Fig. 5에 시험 후 시험편의 외관 사진을 경과시간별로 나열하였고, Fig. 6과 Table 5에 굴곡 시험 결과를 정리하였다.

대체로 재생플라스틱 제품의 굴곡 강도는 목재보다 작게 나타났다. 모든 경과시간에서 재생PVC와 목재의 경우 굴곡 변형 0.1 미만에서 시험편의 파단이 발생하였으나 재생비닐

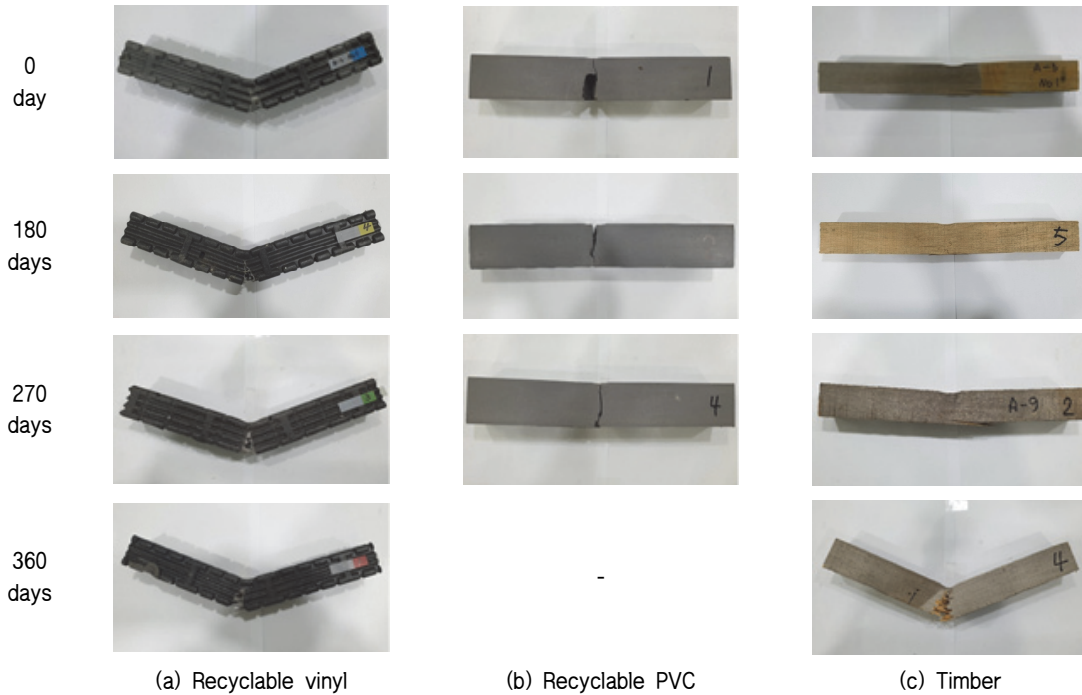


Fig. 5 Fracture shape by flexural test of specimens by elapsed time

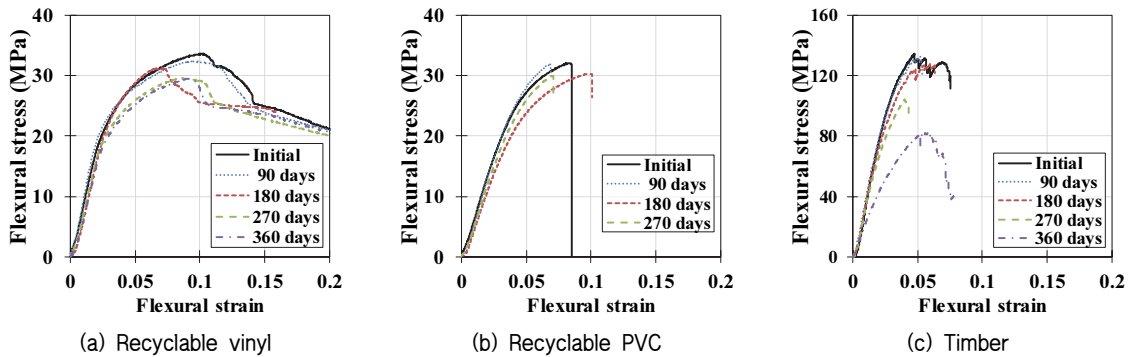


Fig. 6 Flexural stress–flexural strain curves by elapsed time

**Table 5** Flexural test result of specimens by elapsed time

Elapsed time (Day)	Flexural strength (MPa)			Flexural modulus (MPa)		
	Recyclable vinyl	Recyclable PVC	Timber	Recyclable vinyl	Recyclable PVC	Timber
0	33.26	32.06	134.31	1,020.87	1,611.06	3,593.70
90	32.33 (-2.8%)*	31.82 (-0.7%)	132.25 (-1.5%)	961.03 (-5.9%)	1,598.99 (-0.7%)	4,129.20 (14.9%)
180	31.14 (-6.4%)	30.30 (-5.5%)	127.00 (-5.4%)	990.45 (-3.0%)	1,522.61 (-5.5%)	3,964.20 (10.3%)
270	29.52 (-11.2%)	29.89 (-6.8%)	104.11 (-22.5%)	1,124.62 (10.2%)	1,502.01 (-6.8%)	2,919.40 (-18.8%)
360	29.45 (-11.5%)	-	82.27 (-38.7%)	1,065.61 (4.4%)	-	2,590.60 (-27.9%)

\* Rate of change in strength relative to initial value

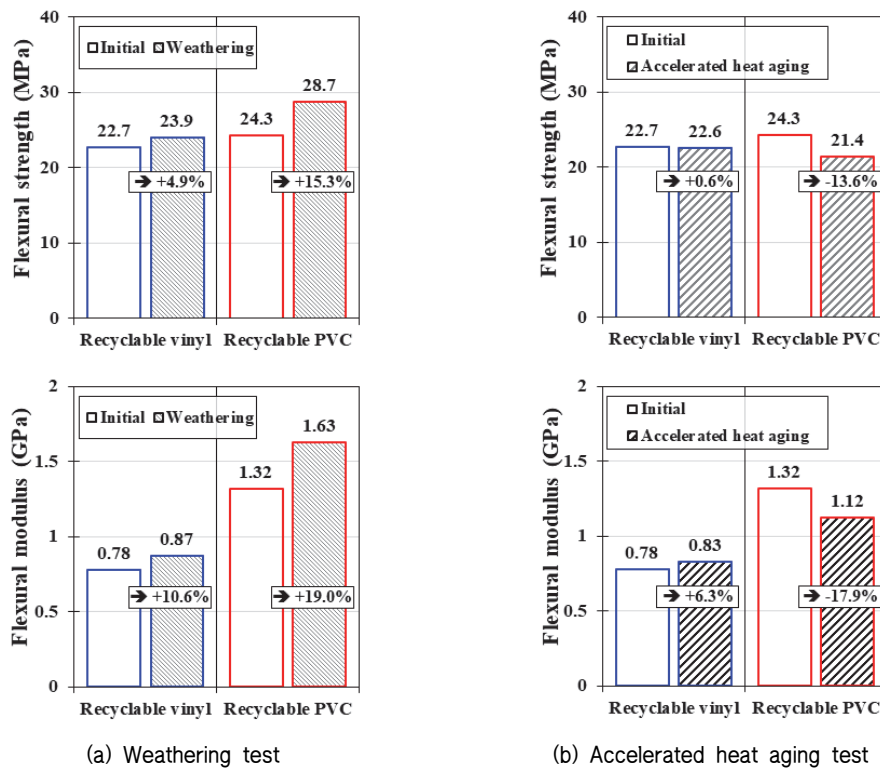
의 경우 시험편의 파단 없이 굴곡 변형이 0.2를 초과하는 것으로 나타났는데, 이는 재생비닐의 외형은 파괴되었음에도 보강재로 인한 현상으로 판단된다.

목재의 경우 경과시간이 길어질수록 굴곡 강도가 점점 감소하는 경향을 보이고 있으며, 경과시간 360일에서는 초기 대비 38.7% 감소하였다. 그에 비해 재생플라스틱 제품들은 굴곡 강도가 크게 감소하지 않았는데, 초기 강도와 비교했을 때 재생비닐은 360일 경과에서 11.5%, 재생PVC는 270일 경과에서

6.8%의 강도 감소를 나타냈다. 굴곡 탄성률은 재생플라스틱 제품은 초기 대비 감소 정도가 10%미만이거나 오히려 약간 증가하는 경향을 보이기도하나, 시간이 지나도 그 품질을 일정 수준으로 유지한다고 보는 것이 타당할 것으로 판단된다.

## 2. 외부 환경 영향 적용 후 굴곡 시험 결과

Fig. 7에서 환경 영향 적용 이전과 이후로 구분하여 재생플라스틱 제품 각각의 굴곡 강도와 굴곡 탄성률을 나타내었다.



**Fig. 7** Flexural strength and modulus after weathering and accelerated heat aging test

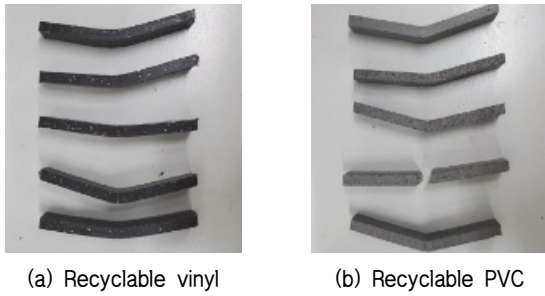


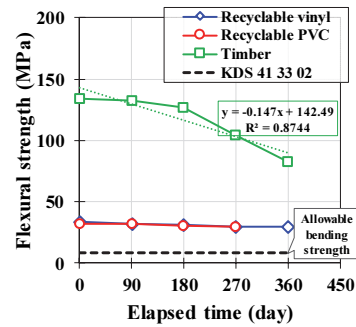
Fig. 8 Fracture shape by flexural test of specimens after weathering and accelerated heat aging test

내후성 시험과 장기 열노화 시험 후 굴곡 시험을 수행한 결과, 재생플라스틱 제품의 굴곡 강도와 굴곡 탄성률은 새 제품 대비 약간 높거나 비슷한 수준으로 나타났다. 재생PVC의 장기 열노화 후 굴곡 강도의 감소 정도가 약 13.6% 정도로 나타났으며, 굴곡 탄성률은 17.9% 감소하였다. 재생비닐의 경우 내후성 시험과 장기 열노화 시험 후 강도 변화는 크게 발생하지 않았다. 이는 앞절에서의 결과와 유사하게, 외부 환경에 어느 정도 노출되어도 재생플라스틱 제품의 품질이 일정 수준을 유지한다고 보는 것이 타당할 것으로 판단된다. Fig. 8에서는 굴곡 시험 후 시험편이 파괴된 형상을 사진으로 나타냈다.

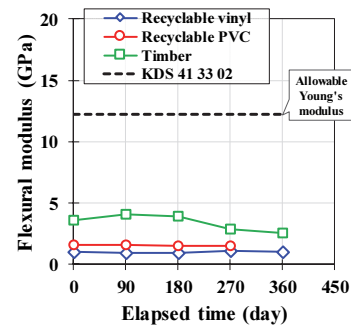
### 3. 재생플라스틱의 목재 대체 가능성

기존의 원예특작시설 내재해형 규격의 인삼재배시설에 사용되는 목재는 외국산 수종을 강도별로 강질목, 중질목, 연질목 등으로 구분하였으며, 이에 대한 강도 기준은 없는 실정이다. 재생플라스틱 제품이 인삼재배시설 구조재로써 목재를 대체할 수 있는지 검토하기 위해 건축구조기준 목구조 재료 및 허용응력 (MOLIT, 2016)의 침엽수 육안등급구조재 낙엽송류의 1등급에 해당하는 기준허용응력 중 휨 강도와 탄성률을 굴곡 시험 결과와 비교하였다 (Fig. 9). 목재의 휨 시험은 플라스틱의 굴곡 시험과 방법이 같으며, 시험으로부터 얻어진 강도 역시 동일한 방법으로 계산되기 때문에 상대적인 비교에 무리가 없을 것으로 판단된다.

대조구에 해당하는 목재는 경과시간 초기인 90일과 180일까지는 강도 감소 정도가 완만하게 이루어지는 것으로 나타났다. 그러나 경과시간 180일 이후에는 그 이전과는 다른 양상을 보이며 강도가 급격하게 감소하는 형태를 보이고 있어 인삼의 생육기간인 6년이 도래하기 전에 건축구조기준의 휨 강도 기준허용값인 8 MPa 미만으로 떨어질 가능성을 클 것으로 보인다. 이에 반해 재생플라스틱 제품은 시간에 따른 강도 감소 정도가 적을 것으로 예측되어, 인삼 생육기간 동안 구조재로써의 성능이 적정 수준을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Flexural strength



(b) Flexural modulus

Fig. 9 Results of flexural test vs. allowable stress of KDS 41 33 02

다 (Fig. 9a).

Fig. 9b에서 재생플라스틱의 굴곡 탄성계수는 건축구조기준의 허용 탄성계수에 현저하게 못 미치는 것으로 나타났다. 그러나 대조구인 목재의 굴곡 탄성계수 역시 건축구조기준의 허용 탄성계수와 차이가 많이 나고, 오히려 재생플라스틱의 굴곡 탄성계수와 가까운 것으로 나타났다. 이에 목재와 재생플라스틱의 굴곡 탄성계수만을 비교하고자 한다. 목재의 경우 경과시간 90일에서는 초기값 대비 약간 상승하는 모습을 보이지만, 180일 이후에는 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 그에 반해 재생플라스틱은 경과시간이 증가하여도 어느 정도 일정한 값을 유지하는 것으로 나타났다. 이를 통해 재생플라스틱 제품은 인삼재배시설의 구조재로써의 적정 수준의 성능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

## IV. 결론

본 연구에서는 재생플라스틱 제품에 대한 원예특작시설 내재해형 인삼 재배시설의 구조재로써의 활용 가능성을 판단하기 위하여, 경과시간별로 채취한 시료를 굴곡 시험을 통해 기준에 사용되고 있는 목재와 기계적 특성을 비교하고, 외부 환

경 조건에 의한 품질 저하 여부를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인삼재배시설 구조재로 설치한 재생플라스틱 제품의 굴곡 강도는 대조구인 목재보다는 작지만, 건축구조기준에서 정하고 있는 목재의 설계허용응력을 상회하는 것으로 나타났다. 굴곡 시험 결과에서 굴곡 변형 0.1 미만에서 대부분의 시험편에 파단이 발생하였으나, 재생비닐의 경우 외형이 파괴 되었음에도 중심에 삽입된 강재로 인하여 굴곡 변형이 0.2를 초과하는 것으로 나타났다. 재생비닐 자체만으로는 구조재의 역할을 충분히 할 수 없지만, 강재를 보강함으로써 인삼시설 구조재로서의 필요한 요건을 충족시킨다고 볼 수 있다.

(2) 재생PVC는 270일 경과에서 굴곡 강도가 초기대비 6.8% 감소하였고, 재생비닐은 360일 경과에서 초기 대비 11.5% 감소하였는데 이는 수치상으로 3~4 MPa에 불과하다. 그에 비해 대조구인 목재의 경우 굴곡 강도가 점점 감소하여 경과시간 360일에서는 초기 대비 38.7%로 재생플라스틱 제품에 비해 큰 폭으로 감소하였다. 이 결과를 통해 재생플라스틱 제품은 시간이 지나도 그 품질을 일정 수준으로 유지하여 기존의 목재를 대체하는 구조재로서 적합한 것으로 판단된다.

(3) 각각 1,000시간의 내후성 및 장기 열노화 시험을 거친 후에도 그 품질이 일정 수준으로 유지하는 것으로 보이며, 경과시간에 대한 목재의 강도 감소 경향을 보았을 때 목재에 대한 가속 시험을 실시하였다면 더 큰 폭의 변화를 가져올 것이라 예측할 수 있다.

(4) 목재와 재생플라스틱의 굴곡 탄성계수를 비교하면 목재의 경우 장기간의 경과시간 이후에는 점차 감소하는 경향을 보이고 있으나, 재생플라스틱은 경과시간이 증가하여도 어느 정도 일정한 값을 유지하는 것으로 나타났다. 이를 통해 재생플라스틱 제품은 인삼재배시설의 구조재로서 적정 수준의 성능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ01588903)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

1. Han, S., 2022. Development of civil structure applying recycled low quality plastic film waste alloy 107. KEITI-2019002730008. Korea Environmental Industry & Technology Institute. (in Korean).

2. Kang, S., H. Kang, S. Kim, S. Shin, and M. Lee, 2021. Characteristics of materials recycling product using cpw from households according to the amount of r-ldpe. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute* 9(4): 425-432. (in Korean). doi: 10.14190/JRCR.2021.9.4.425.

3. Kim, Y., 2017. Characteristics of asphalt concrete mixed with polyethylene aggregate, *Journal of the Korean Geo-Environmental Society* 18(12): 5-11. (in Korean). doi: 10.14481/jkges.2017.18.12.5.

4. Korea Environment Corporation (K-eco), 2021. Waste recycling performance and company status in 2020. (in Korean).

5. Korean Standard Organization (KS), 2021. GR M 3093: 2021 Recycled Plastic rod for ginseng cultivation facilities.

6. Korean Standard Organization (KS), 2012. KS M ISO 178:2012 Plastics-Determination of flexural properties.

7. Korean Standard Organization (KS), 2017. KS M ISO 2578:1993 Plastics-Determination of time-temperature limits after prolonged exposure to heat.

8. Korean Standard Organization (KS), 2018. KS F 2274:2018 Standard test method for accelerated artificial exposure of plastic building materials.

9. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2014. Standard of anti-disaster for horticultural and herbal facilities (2014-78), 16-18. (in Korean).

10. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2016. KDS 41 33 02: 2016 Wooden structural materials and allowable stresses, 3. (in Korean).

11. Lee, S. H., 2019. Current status of plastic recycling in Korea, *Journal of Korean Inst. of Resources Recycling* 28(6): 3-8. (in Korean). doi: 10.7844/kirr.2019.28.6.3.

12. Pyo, S., D. Sung, H. Lee, and T. Joung, 2021. Development of plastic railway sleeper using municipal plastic waste and coal ash. *Magazine of RCR* 16(1): 12-16. (in Korean). doi: 10.14190/MRCR.2021.16.1.012.