

## 생분해성 플라스틱 식생매트의 특성

# Characteristics of Biodegradable Plastic Vegetation Mats

박진오<sup>1</sup> · 김하석<sup>1\*</sup> · 이세현<sup>1</sup>

Jin-O Park<sup>1</sup> · Ha-Seog Kim<sup>1\*</sup> · Sea-Hyun Lee<sup>1</sup>

(Received May 11, 2016 / Revised June 3, 2016 / Accepted June 7, 2016)

This research compared the tensile performance of the vegetation mat, which was developed by using the rapidly growing biodegradable plastic, Poly Lactic Acid(PLA), according to the biodegradation period. The test applied the method defined by Korean Standard KS. In the result of experiment using single-material PLA mesh and PLA plastic, the tensile strength and molecular weight were inverse-proportional to the 5 months of biodegradation period. The thickness of PLA mesh was increased by 11.2~13.4% while the tensile strength of it was reduced by 32.4~55.4%. The tensile strength and molecular weight of PLA plastic were also reduced over time. However, the tension test of vegetation mat comprised of PLA mesh, non-woven fabric (including seeds), and jute net didn't have specific tendency.

**키워드** : 생분해, 식생매트, 두께, 인장강도, 분자량

**Keywords** : Biodegradable plastic, Vegetation mats, Thickness, Tensile strength, Molecular weight

## 1. 서론

종자가 포함되어 있는 식생매트는 폭우, 태풍 등 자연재해에 의해 경사지의 붕괴, 최손 및 유실을 방지하고 식물을 이용한 법면 녹화를 위하여 절재기 및 하천주변 등 경사지반에 시공 된다.

식생매트는 제품에 따라 황마, 대나무 및 부직포 등과 같이 자연적으로 분해되는 친환경 제품과 철선 와이어, 폴리에틸렌(PE) 및 폴리프로필렌(PP) 등과 같은 화학제품으로 구분된다. 화학제품으로 생산된 식생매트는 지반에 묻혀 분해되기까지 200년~400년의 시간을 필요로 하여 환경적인 2차 피해를 야기한다. 또한 씨앗의 발아 및 초목류의 활착 이후에는 시공된 식생매트를 철거하기도 어렵게 된다.

최근 아랍에미리트(UAE), 유럽연합(EU), 미국, 일본 및 싱가포르 등지에서 친환경 기술개발, 국민의 환경가치에 대한 인식제고 및 친환경 제품의 확산·보급을 위하여 바이오 플라스틱 제품을

일반 플라스틱 제품과 구분할 수 있도록 인증 및 로고 등의 사용을 강제하고 있다.

생분해성 플라스틱 시장은 포장재 분야(75%)를 중심으로 의료, 가구, 농업용, 전기재료 등으로 사용범위가 급속도로 확대되고 있으며, 해양수산부에서는 2007년부터 생분해성 어구를 개발하여 보급사업을 실시하고 있다. 반면, 건설분야는 플라스틱 사용량이 많음에도 불구하고 아직까지 생분해성 플라스틱 제품의 제발·보급이 부족한 실정이다.

또한, 기존의 썩지 않는 플라스틱 식생매트를 대체할 수 있는 생분해성 플라스틱 식생매트에 대한 연구개발이 미진하며 공학적 특성 분석을 요구하는 국내시방기준 항목을 만족하는 검증된 연구자료들이 제시되지 못하고 있는 상태이다.

따라서 본 연구에서는 품질이 우수한 생분해성 물질인 PLA (poly lactic acid)를 이용한 생분해성 식생매트를 토양에서 생분해하여 식생매트에 대한 두께, 인장강도 및 분자량 등의 공학적 특성

\* Corresponding author E-mail: bravo3po@kict.re.kr

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 건축도시연구소 (Building and Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 10223, Korea)

을 분석 후 관련 분야의 기초자료로서 활용 하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

식생매트는 제조회사에 따라 다양한 소재를 여러종으로 구성되기 때문에 규격이 통일화되어 있지 않다. 그러나 일반적으로 확인하는 물성은 인장강도, 연신율, 중량 및 두께를 규정하여 관리하고 있다.

일반적으로 조달청에서 등록되어 사용되고 있는 매쉬형태 식생매트의 물성은 Table 1과 같다.

바이오 플라스틱은 원료, 분해 작용, 생산방법에 따라 생분해성 플라스틱, 산화생분해성 플라스틱, 바이오 베이스 플라스틱으로 나눌 수 있다.

생분해 플라스틱은 PLA(poly lactic acid), TPS(thermo plastic starch), PHA(polyhydroxyalkanoate), PHB(poly-β-hydroxybutyrate), PHV(poly-β-hydroxyvalerate), poly-alkanoates, PCL(poly-caprolactone), PGA(poly-glycolic acid) 등이 있다.

산화생분해 플라스틱은 셀룰로오스 대비 36개월에 90% 이상이 분해되어야 한다. 기존 범용 플라스틱에 바이오매스, 산화 생분해제, 상용화제, 생분해 촉진제, 자동산화제 등을 첨가하여 제조하여 열, 광, 미생물, 효소, 화학반응 등의 복합적 작용으로 분해된다.

바이오 베이스 플라스틱은 생분해 플라스틱의 단점을 보완한 것으로 생분해 수지와 산화분해제 등을 가하여 만들어 자연에서 분해되기까지 2~5년이 소요된다. 대표적인 제품이 Bio-PE, Bio-PET로 원천 소재는 석유화학 유래 원료가 아닌 사탕수수, 옥수수 등 식물체 바이오매스를 일부 또는 전부를 적용하고 있다.

대표적인 바이오 플라스틱은 옥수수 전분에서 추출한 원료로 만든 PLA다. PLA는 뜨거운 음식을 담거나 아기가 빨아도 환경호

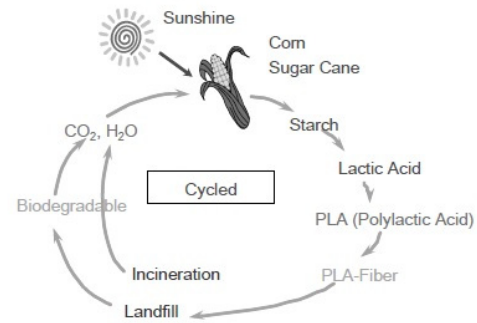


Fig. 1. Creation and decomposition of PLA

로운 및 중금속 등 유해물질이 검출되지 않으며 폐기시 미생물에 의해 100% 생분해되어 물과 이산화탄소로 분해되는 친환경 플라스틱이다. 그러나 비싼 가격과 원료가 되는 곡물가격의 수급 불안정이 활성화에 저해요인이 되고 있다.

## 3. 실험계획 및 방법

### 3.1 실험계획

본 연구는 품질이 우수한 생분해성 물질인 PLA(poly lactic acid)를 이용한 생분해성 식생매트의 생분해 성능을 평가하는 것으로 Table 2와 같이 실험계획을 수립하였다. 실험인자로는 Mat type, Sample shape, 생분해 장소, 토양 종류 및 생분해 기간으로 설정하였으며 각 인자별 수준수는 생분해 기간 5수준을 제외하고 나머지 인자는 2수준으로 고정하였다.

Table 2. Experimental plan

Factors	Levels	Test item
Mat type	2 Type (PLA mesh, PLA mesh + Felt + Jute nets)	Thiness, Tensile strength, Molecular weight
Sample shape	2 Type (PLA mesh, PLA plate)	
Biodegradable place	2 Type (Conditions room, thermo-hygrostat)	
Soil type	2 Type (Artificial soil, red clay)	
Biodegradable period	5 Type (1~5 months)	

### 3.2 실험방법

생분해성 식생매트의 생분해 성능을 검토하기 위하여 식생매트

Table 1. Physical properties of the vegetation mats

Configuration of vegetation mats	Tensile strength (N)		Elongation percentage (%)		Weight (g/m <sup>2</sup> )	Thickness (mm)
	Vertical	Width	Vertical	Width		
Mesh(nylon)+ Filling(cotton)+ Seed	130	110	70	70	300	18
Mesh(nylon)+ Charcoal+ Natural pulp+ Jute	120	120	50	50	520	10
Mesh(Por PE) +Jute et+Jute+ Jute net	98	49	20	20	500	10

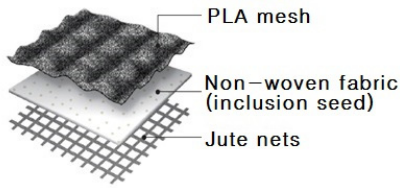


Fig. 2. Configuration of vegetation mat

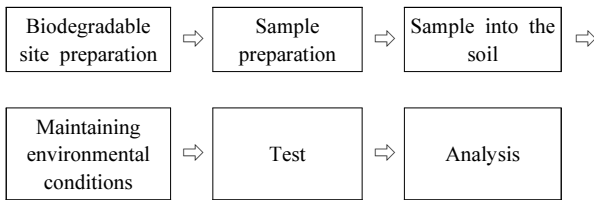


Fig. 3. Experimental method

제작은 Fig. 2와 같이 생분해성 식생매트가 식생의 활착, 경사지반 보호 등을 수행하기 위하여 시공 후 식생매트가 생분해되더라도 일정기간까지는 식생매트의 기본적인 물성값을 유지하기 위해 생분해성 물질인 PLA(poly lactic acid)로 제조한 매쉬, 부직포 및 황마네트가 결합한 형태로 제조하였다. 사용할 생분해성 식생매트를 제조 후 Fig. 3과 같이 토양과 생분해 조건별로 식생매트가 토양에 묻혀서 식생매트와 토양이 충분히 접할 수 있도록 한 후 기간별 생분해 후 그 특성을 측정하였다.

생분해 성능을 확인하기 위하여 햇빛을 충분히 받으며 미생물 활동을 촉진할 수 있는 온습도를 유지할 수 있도록 생분해장을 조성하였다. 벽은 채광이 좋은 유리벽으로 하고 온도는 냉온풍기로 10℃~30℃를 유지하고 주 3회 토양 표면이 젖을 정도의 물을 주어 토양의 습도를 유지하였다. 또한 항온항습기 및 생분해장의 실험결과 차이 발생여부를 확인하기 위해 실내 항온항습기의 온도 26℃, 상대습도 95%를 유지하도록 생분해 조건을 조성하였다. 햇빛을 받은 생분해장과 시험결과를 비교하여 시험결과 유사성을 확인하고자 하였다.

이외에 생분해도 파악이 용이한 형상을 확인을 위하여 매쉬의 원재료인 PLA를 매쉬 및 판형으로 제작하여 인장 실험을 실시하였다.

### 3.3 사용재료

본 실험에 사용한 생분해성 재료는 환경호르몬 및 중금속 등 유해물질로부터 안전하고 생분해 성능이 PLA(poly lactic acid)를 이용하였으며 그 특성은 Table 3과 같다.

Table 3. Properties of PLA

Raw materials	PLA	PBAT	Coupling agent
Combination	65	35	0.5

### 3.4 측정방법

#### 3.4.1 PLA 매쉬의 두께 측정

식생매트의 두께 측정방법은 KS K ISO 9863-1(지오신세틱스-규정 압력에서의 두께 측정)에 따라 실시하였다. 시험편이 놓여 있는 기준판과 한정된 크기의 시험편 면적에 규정된 압력을 가하는 평행한 원형 프레스 푸트 접촉면 사이의 거리를 측정하였다.

#### 3.4.2 PLA 매쉬의 인장강도

식생매트의 인장강도는 KS K ISO 10319(지오신세틱스-광폭 인장강도 시험)을 준용하여 실험을 실시하였다. 시험편은 톱니모양의 썬기형 조에 시험편을 물린 후 분당 (20±5)%의 변형 속도를 유지하여 인장하중을 가하였다.

연신율은 인장강도 시험결과를 바탕으로 하여 시험하는 동안 시험편의 실제 게이지 길이가 증가한 비율로 계산하였으며, 최대 하중에서의 신장변형률을 백분율로 하여 0.1%까지 기록하여 산출하였다.



Fig. 4. Measuring thickness of the vegetation mats

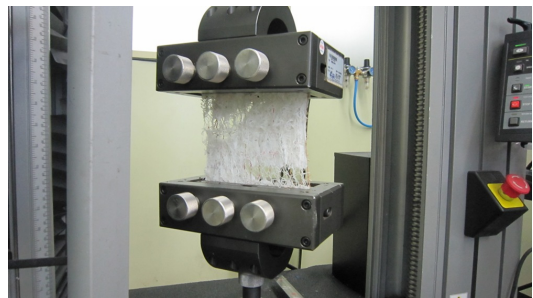


Fig. 5. Vegetation mat tensile strength measurements

### 3.4.3 PLA 플라스틱의 인장 실험

PLA 플라스틱의 인장강도는 KS M 3006 (플라스틱의 인장성 측정 방법)에 따라 측정하였다.

시험체 생분해를 위한 시료는 아령형태로 가공하여 실내에서 인공토에 묻어 21℃~23℃의 조건을 유지하고 생분해 1개월마다 인장실험을 실시하였다.

### 3.4.4 PLA 플라스틱의 분자량 실험

분자량 측정은 Schambek SFD GmbH의 장비(GPC/SEC System)를 사용하였다. 4ml vial에 측정할 PLA 플라스틱 시료(min 10mg)를 넣은 후 염화메틸(CH<sub>2</sub>Cl)용매를 첨가하여 시료를 녹인다. 완전히 녹인 다음 실린지 필터를 통해 불순물을 제거한 후 분자량을 측정하였다.



Fig. 6. Tensile specimens of PLA plastic

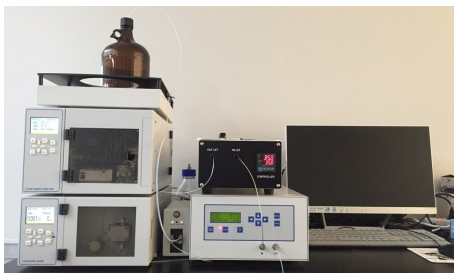


Fig. 7. GPC/SEC system

## 4. 실험결과

### 4.1 공학적 특성 분석

식생매트의 생분해성에 따라 식생매트의 단면적과 중량이 줄어들면서 물리적 성질도 변화가 예상된다. 이러한 물리적 성질의 변화를 살펴보기 위하여 두께, 인장강도, 연신율 및 분자량 등을 살펴 보았다.

### 4.1.1 식생매트의 두께

본 연구에서 향온함습기에서 생분해를 실시한 PLA 소재의 매쉬의 두께 변화를 측정하였다. 생분해 시작 이후 Fig. 8과 같이 두께가 지속적으로 증가하였으며 5개월 시점에는 11.2%~13.4% 수준인 19.00mm 및 19.22mm까지 두께가 증가 하였다.

Ryu et al.(2001)에 이론에 따르면 PLA 소재는 배합에 따라 차이는 있지만 60일에 흡수과정이 거의 완료되며, Lee(2011)에 이론에 따르면 PLA가 토양분해 과정에서 길이는 약 10% 감소하지만 두께는 30% 증가한다고 하였다.

본 연구에서 PLA 소재 매쉬의 두께증가는 PLA가 생분해 과정에서 수분을 흡수하면서 두께가 증가한 것으로 판단된다.

### 4.1.2 식생매트의 인장강도

향온함습기에서 생분해를 실시한 PLA 매쉬, 부직포(씨앗포함) 및 황마네트로 혼합 시료의 인장강도는 특정한 경향성을 나타내지 못했다.

Yoon and Ji(2009)등의 이론에 따르면 PLA 강도 유지기간이 6개월에서 1년으로서 효소 및 미생물에 의해 큰 영향을 받지 않으며, Lee(2011)의 이론에서는 효소처리에 의해 약간 감소되었으나, 강도저하는 없다고 하였다. 본 연구에서 5개월까지 효소 및 미생물 영향이 적어서 인장강도 변화가 뚜렷하게 발생하지 않기 때문에 사료된다.

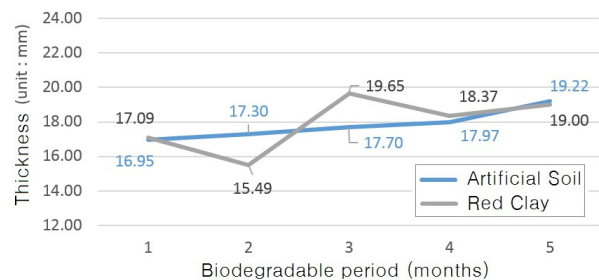


Fig. 8. PLA mesh change in thickness(biodegradable conditions room)

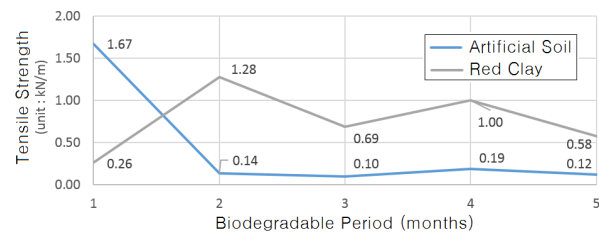


Fig. 9. PLA plate change in tensile strength(thermo-hygrostat)

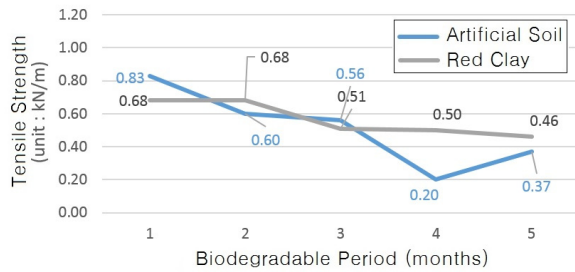


Fig. 10. PLA mesh change in tensile strength(biodegradable conditions room)

반면 생분해장에서 준비한 PLA 매쉬 시료의 인장강도는 생분해 기간에 Fig. 8과 같이 반비례하였으며, 5개월 시점에서 32.4%~55.4% 수준인 0.46kN/m 및 0.37kN/m로 감소 하였다. 시료가 매쉬 형상이기 때문에 흙과의 접촉면 증가 하여 복합소재 식생매트보다 생분해 진행이 증가하면서 점진적으로 인장강도가 감소한 것으로 사료된다.

#### 4.1.3 PLA 플라스틱의 인장강도

아령형태의 PLA 플라스틱 시료에 대한 인장강도 시험결과 1개월 경과시료는 12.95MPa, 2개월 경과시료는 11.88MPa, 3개월 경과시료는 8.3MPa로 지속적으로 질량이 감소하였다.

매월 약 10% 비율로 인장강도가 감소하였다. 이는 생분해장 PLA 매쉬의 인장강도 감소비율과 비슷함을 알 수 있다.

Table 4. PLA plastic change in tensile strength

	Ultimate tensile strength (MPa)			Weight reduction (g)		
	1 month	2 months	3 months	1 month	2 months	3 months
Specimen A	11.00	11.88	8.46	-0.01	0.27	0.45
Specimen B	14.90	-	8.14	-0.16	0.25	0.49
Average	12.95	11.88	8.30	-0.085	0.26	0.47

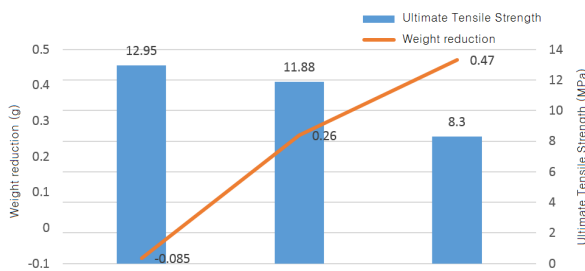


Fig. 11. PLA plastic change in tensile strength

Table 5. PLA plastic change in molecular weight

Biodegradable period	1	2	3	4	5	6	7	8	Average
1 month	106.1	101.1	93.5	91.1	92.6	91.1	91.5	96.0	95.4
2 months	90.5	87.6	92.0	91.2	90.8	93.0	92.5	92.0	91.2
3 months	91.2	90.3	94.7	93.1	92.5	94.4	93.8	95.1	93.1
4 months	92.2	83.9	103.0	93.1	96.2	91.9	85.2	88.1	91.7
5 months	82.4	82.9	84.2	83.5	85.0	83.4	82.7	91.0	84.4

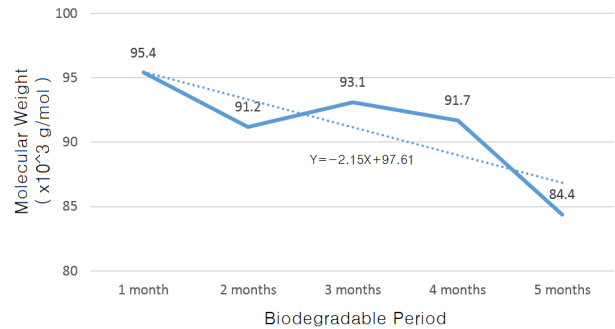


Fig. 12. PLA plastic change in molecular weight

#### 4.2 PLA 플라스틱 생분해성 평가

분자량 측정은 결과 생분해기간에 따라 분자량이 지속적으로 감소하고 있다. 분자량 감소비율(약 2%/month)이 PLA 플라스틱의 인장강도 저감비율(약 10%/month)에 비하여 현저히 적음을 알 수 있다.

#### 5. 결론

건설자재 중 PLA 소재의 개발된 매쉬형 식생매트를 사용하여 생분해 기간에 따른 두께, 인장강도 및 분자량의 특성에 대한 측정 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 생분해 장에서 생분해한 PLA 매쉬의 두께는 5개월간 생분해가 진행되면서 점차 증가하였다.
2. 생분해 장에서 생분해한 PLA 매쉬의 인장강도는 생분해 기간에 반비례하며 5개월 시점에서 0.46kN/m 및 0.37kN/m로 감소하였다.
3. 단일소재 시료인 PLA 매쉬 인장강도, PLA 플라스틱 인장강도 및 PLA 플라스틱 분자량은 시간에 반비례하는 결과를 나타내었다. 그러나, 향온항습기에서 생분해한 복합소재(PLA 매쉬, 부직포 및 황마네트) 식생매트는 5개월간의 생분해기간동안 인

장강도의 변화가 뚜렷하지 않았다.

4. PLA 플라스틱 시료의 인장강도는 3개월까지 매월 약 10% 비율로 감소하였다.

PLA로 제작된 매쉬형 식생매트는 생분해 과정에서 수분 흡수 및 팽창하지만 5개월까지는 인장강도를 유지하였다. 아울러, 생분해 기간에 따른 물성변화를 파악하기 위하여는 복합소재보다는 단일소재가 바람직할 것으로 사료된다.

상기 실험결과 PLA를 건설자재로 활용할 경우 생분해 기간에 따라 인장강도 감소, 분자량 감소 등 요구 성능실현 후 시간경과에 따라 발생하는 환경오염 저감이 가능할 것으로 판단된다. 현 경기도 연천지역에 현장 시공을 통한 적용 가능성을 검토하고 있으며 분석결과를 바탕으로 PLA를 이용한 식생매트 실용화 가능성을 검토할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 2013년 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 건설기술연구사업(13건설연구R01)임.

## References

Kim, J.H., Cho, S.D., Choi, J.G., Sato, H. (2010). Characteristics of biodegradable plastic drain board, Journal of the Korea Geosynthetics Society, **9(3)**, 67-75 [in Korean].

Lee, S.H. (2010). Evaluation of Enzymatic Treatments and Biodegradability of PLA, Ph.D Thesis, Sookmyung Women's University, Korea.

Ryu, H.C., Kwon, Y.H., Park, J.B., Herr, Y. (2001). Histologic study on tissue response of various resorbable membranes in rats, Journal of Periodontal & Implant Science, **31(1)**, 91-109 [in Korean].

Yoon, C.S., Ji, D.S. (2009). Effect of In vitro degradation on the weight loss and tensile strength of PLA/PEG melt blend fiber, Polymer, **33(6)**, 581-587 [in Korean].

You, Y.S., Oh, Y.S., Kim, U.S., Choi, S.W. (2015). National certification marks and standardization trends for biodegradable, oxo-biodegradable and bio based plastics, Clean Technology, **21(1)**, 1-11 [in Korean].

### 생분해성 플라스틱 식생매트의 특성

본 연구에서는 급속히 성장하고 있는 산업분야인 생분해성 플라스틱인 PLA(Poly Lactic Acid)를 사용하여 개발된 식생매트의 생분해기간에 따른 인장성능을 비교하였다. 시험방법은 한국산업표준(KS)에서 정한 방법을 준용하였다.

단일소재로 제작된 PLA 매쉬 및 PLA 플라스틱으로 실험한 두께, 인장강도 및 분자량은 5개월 생분해 기간에 반비례하는 결과를 나타내었다. PLA 매쉬의 두께는 11.2%~13.4% 수준까지 두께가 증가하였으며 PLA 매쉬의 인장강도는 32.4%~55.4% 수준까지 감소하였다. PLA 플라스틱의 인장강도 및 분자량도 시간경과에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 다만, PLA 매쉬, 부직포(씨앗포함) 및 황마네트로 혼합 구성된 식생매트의 인장시험결과는 특정한 경향성을 보이지 못하였다.