

바이오매스 및 생분해 촉매제를 이용한 산화생분해 투명 바이오 필름 개발

유영선¹, 김영태², 박대성³, 최성욱^{1,*}

¹가톨릭대학교 생명공학전공
14662 경기 부천시 원미구 지봉로 43

²(주)파워랩
28174 충북 청주시 흥덕구 강내면 다락태성길 31-3

³건국대학교 녹색기술융합전공
27478 충북 충주시 충원대로 268

(2016년 11월 8일 접수; 2016년 12월 6일 수정본 접수; 2016년 12월 6일 채택)

Development of Oxo-biodegradable Transparent Bio Films Using Biomass and Biodegradable Catalyst

Young-Sun You¹, Young-Tae Kim², Dae-Sung Park³, Sung-Wook Choi^{1,*}

¹Division of Biotechnology, The Catholic University of Korea
43 Jibong-ro, Wonmi-gu, Bucheon-si, Gyeonggi, 14662, Korea

²Powerwrap Co. Ltd.

31-3 Daraktaeseong-gil, Gangnae-myeon, Heungdeok-gu, Cheongju-si, Chungbuk, 28174, Korea

³Division of Green Technology Convergence, The Konkuk University of Korea
268 Chungwondaero, Chungju-si, Chungbuk, 27478, Korea

(Received for review November 8, 2016; Revision received December 6, 2016; Accepted December 6, 2016)

요 약

식물로부터 유래하는 바이오매스를 25% 이상 함유하는 바이오 베이스 플라스틱은 탄소배출을 억제하는 효과가 있고, 한정된 자원인 석유의 소비량을 줄일 수 있으며, 산화생분해 첨가제를 추가 적용하면 폐기 후에는 미생물에 의해 생분해되기 때문에 친환경적인 소재로 최근 연구가 활발하다. 본 연구에서는 염화비닐수지에 식물체 유래 가소제, 생분해 촉매제를 첨가하여 생분해성 및 물성변화등을 관찰하였다. 또한 초기 신장율과 인장강도 등의 물성이 우수한 자연에서 분해되는 산화생분해 투명 바이오 필름을 제조하여 식품포장재로서의 제품 안전성을 시험하였다. 염화비닐 수지와 1차 가소제, 2차 가소제, 방담제, 안정제를 비율에 맞게 투입한 다음, 고속혼합기에서 혼합한 후, 압출성형기를 이용하여 압출한 뒤 냉각 와인더 롤을 통해 두께 12 μm의 대조구와 산화생분해 투명 바이오 필름을 제조하였다. 기계적 물성으로 인장강도, 연신율 및 최대하중 연신율을 측정하였으며, 생분해 실험을 실시하였다. 식물체 유래 가소제, 생분해 촉매제로 제조된 투명 바이오 필름은 대조구 대비 인장강도 및 연신율이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 ASTM D 6954-04 방법에 따라 45일간 생분해 테스트를 한 결과 표준물질인 셀룰로오스 분말 대비 61.4%의 생분해를 나타내었다.

주제어 : 바이오 플라스틱, 투명 바이오 포장 필름, 바이오 베이스 플라스틱, 바이오매스, 친환경 포장, 산화생분해 플라스틱

Abstract : Bio-based plastics containing the biomass content higher than 25 wt% have been considered as environment-friendly materials due to their effects on the reduction in the CO₂ emission and petroleum consumption as well as biodegradability after use. In this study, poly vinyl chloride, plant-derived plasticizers, by adding a biodegradable catalyst was observed a change in the biodegradability and physical properties. To produce the oxidative decomposition transparent bio film, which is broken down in the initial percent elongation and physical properties such as tensile strength, it was to test the safety of the product as a food packaging material. Poly vinyl chloride, primary plasticizer, secondary plasticizer, anti fogging agent, the combined stabilizer

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: choisw@catholic.ac.kr; Tel: +82-2-2164-4449; Fax: +82-2-2164-4865

doi: 10.7464/ksct.2017.23.2.133 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

were mixed in a high speed mixer, then extruded using an extrusion molding machine, after cooling, winding, to produce a oxidative decomposition transparent bio film and the control film, with a thickness of 12 μ m through winder role. Mechanical properties tensile strength, elongation, and the maximum load elongation and biodegradation test. Transparent bio film produced by biodegradation catalyst is compared with the control film. Tensile strength and elongation of films were found to be no significant difference. Further, as a result of the biodegradation test for 45 days based on the ASTM D6954-04 method, biodegradability of film is 61.4%

Keywords : Bio plastics, Food packaging fim, Bio based plastics, Biomass, Eco packaging, Oxo-biodegradable plastics

1. 서론

환경에 대한 중요성을 인식하기 시작하면서, 환경을 오염시키지 않는 기술개발이 활발하다. 우리 생활에 필수품이 된 플라스틱은 썩지 않아 환경오염의 주범이 되었으나, 최근 자연에 분해되는 플라스틱 기술개발이 활발해지고 있으며, 그 수요 또한 폭발적으로 증가하고 있다[1-3].

바이오 플라스틱(bio plastics)은 크게 생분해 플라스틱(biodegradable plastics), 산화생분해 플라스틱(oxo-biodegradable plastics) 및 바이오 베이스 플라스틱(bio based plastics)로 나누어지는데, 이중 바이오 베이스 플라스틱에 산화생분해 첨가제가 더 포함된 산화생분해 플라스틱은 옥수수 등 식물로부터 유래하는 바이오매스를 25%이상 함유하는 플라스틱에 추가로 산화생분해 첨가제를 첨가한 플라스틱으로, 그 원료인 바이오매스가 광합성에 의해 생성되는데 이 과정에서 대기 중의 이산화탄소를 필요로 한다. 따라서 탄소배출을 억제하는 효과가 있고, 한정된 자원인 석유의 소비량을 줄일 수 있으며, 폐기 후에는 미생물에 의해 분해되고, 특히 물성개선 및 가격경쟁력 유지 측면에서 친환경적인 소재로 각광을 받고 있다[4,5].

친환경 소재로 주목을 받고 있는 바이오 플라스틱 중 바이오 베이스 플라스틱은 기존 생분해 플라스틱의 단점으로 지적되어 온 조기 생분해문제, 물성저하, 가격경쟁력, 재활용의 어려움을 극복할 수 있어 급격히 산업화가 진행되고 있다. 일본에서 시작된 플랜트 보틀(Plant Bottle)은 기존 PET원료에 사탕수수에서 추출한 바이오 에탄올을 약 30% 첨가 사용한 페트병으로 화제가 되었으며, 코카콜라는 Bio PET 음료수 병인 ‘플랜트 보틀(Plant Bottle)’을 개발 및 상용화에 들어가 2009년부터 지금까지 전 세계 20여 개국에서 200억 개 이상 판매했으며 향후 바이오매스 함량을 대폭 증가시킨 제품을 출시하기 위해 연구개발 중이다. 삼성전자에서는 리모컨, 설명서 등 TV 액세서리의 포장재로 사탕수수 원료를 첨가한 바이오 플라스틱을 적용하여 제품을 판매하고 있으며, 프리미엄 스마트 TV와 UHD TV의 액세서리 포장재로 100% 재생지를 사용한 친환경 박스와 미국대두협회 친환경 인증을 취득한 식물성 콩기름 잉크를 사용하고 있다. 그 외에도 휴대용 찬합류, 유아용세트, 바이오 비닐, 식품용기, 농업용 멀칭필름, 각종 1회용품들을 비롯한 식품 용기분야, 자동차 및 건축재 분야에도 바이오 플라스틱의 사용이 증가하고 있는 추세이다[6]. 최근 세계 각국에서는 난분해 플라스틱에 대한 사용 규제와 더불어 바이오 플라스틱의 식별표시제도를 운영하고 인증라

벨을 부여하고 있다. 아랍에미레이트(UAE)는 환경보호를 위해 2009년부터 관련 법안제정작업을 시작하여 2012년 1월부터 일회용품, 쓰레기 봉투에 대해 규제를 시행 선포한 이후, 2014년 1월 1일부터 산화생분해(oxo-biodegradable) 포장재 및 제품만을 UAE 역내 수입 및 유통이 가능하게 하고 난분해 플라스틱 사용을 금지하여 세계 각국에서 그에 대한 대응을 하기 위해 고심하고 있어 전세계의 주목을 받고 있다[7].

전 세계적으로 친환경에 대한 시장 요구와, 기업의 연구개발 속도에 힘입어, 바이오 플라스틱은 금세기 초 세계 플라스틱 시장의 1~5%를 차지하는 수준이었으나, 2016년 이후에는 10% 이상을 점유하는 산업으로 성장할 것으로 전망된다. 하지만 바이오 플라스틱중 생분해 플라스틱은 아직까지 사용범위가 제한된 편이다. 원가상승으로 기존 플라스틱 제품에 비해 2~3배 가량 비싸고, 기존 합성 플라스틱 보다 물성이 낮아 전자제품 및 산업용품 등에서 이용하기 위해서 해결해야 하는 문제가 남아 있다[8,9].

최근에 플라스틱에 탄소저감형 식물체 바이오매스, 범용 플라스틱, 생분해수지, 생분해 촉진제, 산화제, 상용화제 등을 이용한 바이오 베이스 플라스틱, 산화생분해 플라스틱 제품이 개발 되어 물성 개선에는 효과가 있으나 가공성이 떨어지며 얇은 박막 포장재로 사용하기 위한 필름 형태로 제작되는 경우 제조된 필름의 물리적 성질이 떨어지는 단점이 있다 [10,11].

본 연구에서는 인장강도와 연신율 및 최대하중연신율 등의 물성이 우수하고 탄소중립형 바이오매스 및 생분해 촉매제가 포함된 투명 바이오 필름을 제조하여 식품포장용 필름으로서 사용한 후의 환경 친화성을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1. 투명 바이오 필름 원료 레시피 개발 및 제조

고투명 바이오 필름의 주 원료인 염화비닐 수지(P-1000, Hanwha Chemical Co. Ltd, Seoul, Korea)와 필름을 유연하게 해주기 위한 1차 가소제(A-5004, Misung petrochemical Co. Ltd, Cheongju, Korea) 2차 가소제(Epoxydized soybean oil, E.S.O, Sajo Co. Ltd, Seoul, Korea) 제품의 표면에 물방울이 맺히지 못하도록 하기 위한 방담제(ALMAX-9000, Ilshinwells Co. Ltd, Seoul, Korea), 열안정성을 위한 칼슘 - 아연계 유기복합체 안정제(LTX, KD chem Co. Ltd, Ansan, Korea)를 비율에 맞게 혼합하여 슈퍼믹서에 투입한 후 1,400 rpm, 140 $^{\circ}$ C \pm 5 $^{\circ}$ C를 유지하며, 12분간 믹싱하여 배합물을 준비하였다.

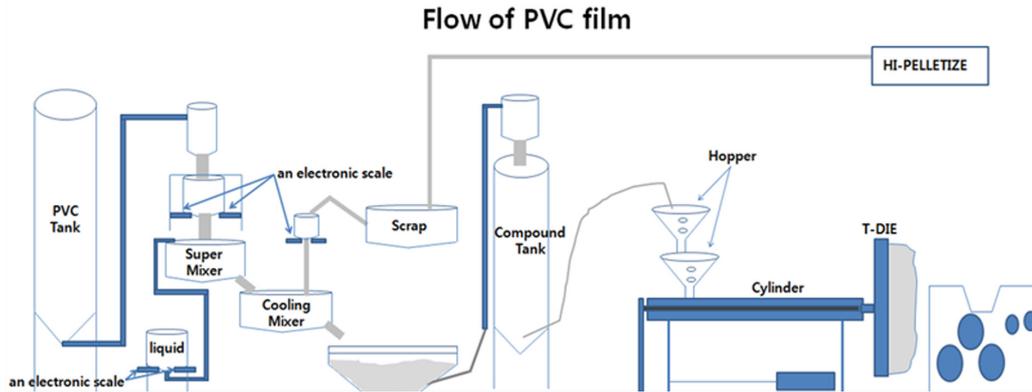


Figure 1. Schematic diagram of Oxo-biodegradable transparent Bio films production.

Table 1. Composition of transparent bio films

Bio film type		Control	Bio film
Composition (kg)	Poly vinyl chloride	100	100
	Primary plasticizer	39	39
	Secondary plasticizer	9	9
	Anti-fogging	1.5	1.5
	Stabilizer	1	1
	TGR	-	1

이후 다이 직경 90 mm, L/D 28인 압출 성형기(#90-28, Power INC, Cheongju, Korea)를 이용하여 스크류 온도 180 ~ 200 °C를 유지하며, 배합물을 T-DIE (T-DIE, Cn tech industrial company, Hwaseong, Korea) 온도 200 ~ 205 °C로 유지하면서 압출한 다음 냉각을 위해 냉각롤 1, 2, 3번을 20 ~ 26 °C를 유지하여 통과시킨 후 와인더 롤을 통해 두께 12 μm의 대조구 필름을 제조하였고, 같은 조건에서 배합물에 생분해 촉매제(TGR, Bio Polymer Co. Ltd, Bucheon, Korea)를 추가하여 바이오 필름을 제조하였다. 제조한 대조구 및 산화 생분해성 및 투명한 바이오 필름의 원료 사용 비율과 제조방법은 각각 Table 1, Figure 1에 나타내었다.

2.2. 바이오매스 유래 유기탄소 함량 측정

바이오매스 유래 유기탄소 함유 비율을 측정하기 위해 미국의 공인 시험기준인 ASTM D6866 (유럽 CEN16137)[12] 방법으로 시험하는 미국 BETA 연구소에 의뢰하였다. ASTM D6866은 2002년도부터 미국 농무성(USDA) 주관으로 시작된 고분자 중 유기탄소의 함량을 측정하여 바이오매스 함량을 정하는 방법으로 세계적으로 널리 사용되는 시험규격이다. 탄소는 질량이 조금씩 다른 ¹²C, ¹³C, ¹⁴C의 동위원소를 가지고 있다. 이들 동위원소 중 ¹⁴C는 시간이 지나면 다른 원소로 변하는 불안정 동위원소 중에 하나이지만 나무와 같은 바이오매스에는 여전히 ¹⁴C가 일부분이 남아있다. 이와는 다르게 화석연료로 만들어진 수지는 ¹⁴C를 포함하지 않는 차이점을 이용하여 바이오매스의 함량을 측정한다.

2.3. 물성시험 및 평가

물성평가는 ASTM D3039 방법[13]에 따라 테스트 하였다. 대조구 및 투명 바이오 필름을 만능재료시험기(WL2100C UTM, Withlab Corporation, Gunpo, Korea)를 이용하여 인장강도, 연신율 및 최대하중연신율을 측정하였다.

2.4. 생분해성 평가

생분해성 평가는 산화생분해 평가방법인 ASTM D6954-04 방법[14]에 따라 테스트 하였다. 분해성 평가는 Figure 2와 같

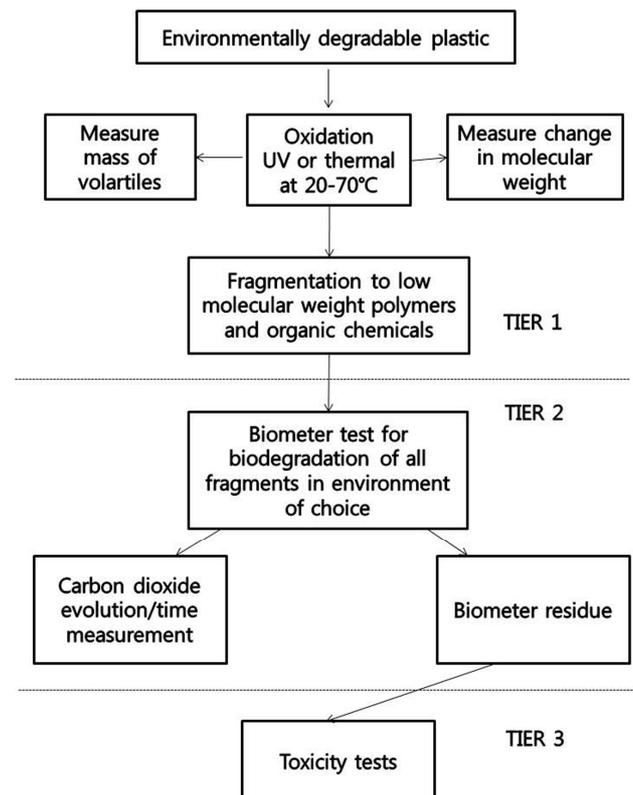


Figure 2. Diagram of standard guide for exposing and testing by oxidation and biodegradation (ASTM D6954-04).

이 3단계로 구분되며, 1단계에서는 ASTM D5208-01 CYCLE A방법[15]으로 UVA 340 nm로 200시간 처리하여 화학적 분해를 시킨 후, UV 처리된 시료를 표준 물질인 셀룰로오스와 함께 퇴비화 조건에서 배양하면서 플라스틱의 초기적 생분해도와 붕괴도를 적정 방법으로 이산화탄소 방출량을 정량하여 생분해도 값을 측정하는 KSM-3100-1의 방법으로 측정하였다.

2.5. 식품포장재로서의 바이오 필름 안정성 실험

KFDA의 규정에 따라 제조된 투명 바이오 필름의 중금속 함량(mg L⁻¹), 용출테스트를 통한 과망간산칼륨 소비량(mg L⁻¹), 납 함량(mg kg⁻¹), 총용출량(mg L⁻¹) 등을 식품공전의 기구 및 용기·포장의 기준·규격 중 합성수지제 시험방법[16]에 의거하여 측정함으로써 식품포장재로서의 적합성 여부를 판정하였다.

2.6. 유럽 RoHS 기준 적합성 평가

유럽의 RoHS 지침에 따라 6가지 규제물질 실험을 IEC 62321 방법[17]에 따라 실시하였다. 그 과정은 Figure 3과 같다.

2.7. 투명도 평가

투명도 평가는 ASTM D1003 표준 시험 방법[18]에 따라 헤이즈를 측정하였다. 헤이즈는 빛이 투명한 재료 안을 통과할 때 재료의 종류에 따라서는 반사나 흡수 외에 그 재료의 고유 성질에 따라 광선이 확산되어 불투명한 흐림상 외관이 나타나는 현상이다. 이같이 투명한 것에 입사한 광선이 확산하는 정도를 헤이즈 라고 하고, 확산 투과율(Td)과 전광선 투

과율(Tt)을 측정하고 그 비율(Td/Tt × 100)로 표시하며, 이러한 헤이즈 값이 1 이하이면 광학적으로 매우 우수한 재료이며, 3 이하이면 광학 재료로 사용할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 투명 바이오 필름의 물성

ASTM D3039 방법에 따라 기존의 제품과 생분해 촉매제 및 바이오매스가 적용된 바이오 필름을 15 × 150 mm로 제단한 샘플에 대해서 기계적물성(인장강도, 연신율, 최대하중 연신율)을 측정하였다. 그 결과는 Table 2에 나타내었다.

제조된 대조구와 투명 바이오 필름의 인장강도와 연신율은 Figure 4, 5에 나타내었다.

인장강도 및 연신율은 대조구와 바이오 필름 모두 MD 방향이 TD 방향보다 높게 나타났다. 바이오 필름의 TD 방향의 인장강도 및 연신율은 대조구 대비 조금 낮게 나타났지만 유

Table 2. Tensile strength and Elongation at break of transparent bio films

	Tensile strength (kgf mm ⁻²)	Percent elongation (%)	Maximum weight elongation percentage (%)
Control MD	3.112	217.292	214.188
Control TD	2.424	412.236	406.356
Bio film MD	4.147	262.236	259.736
Bio film TD	2.210	401.716	395.232

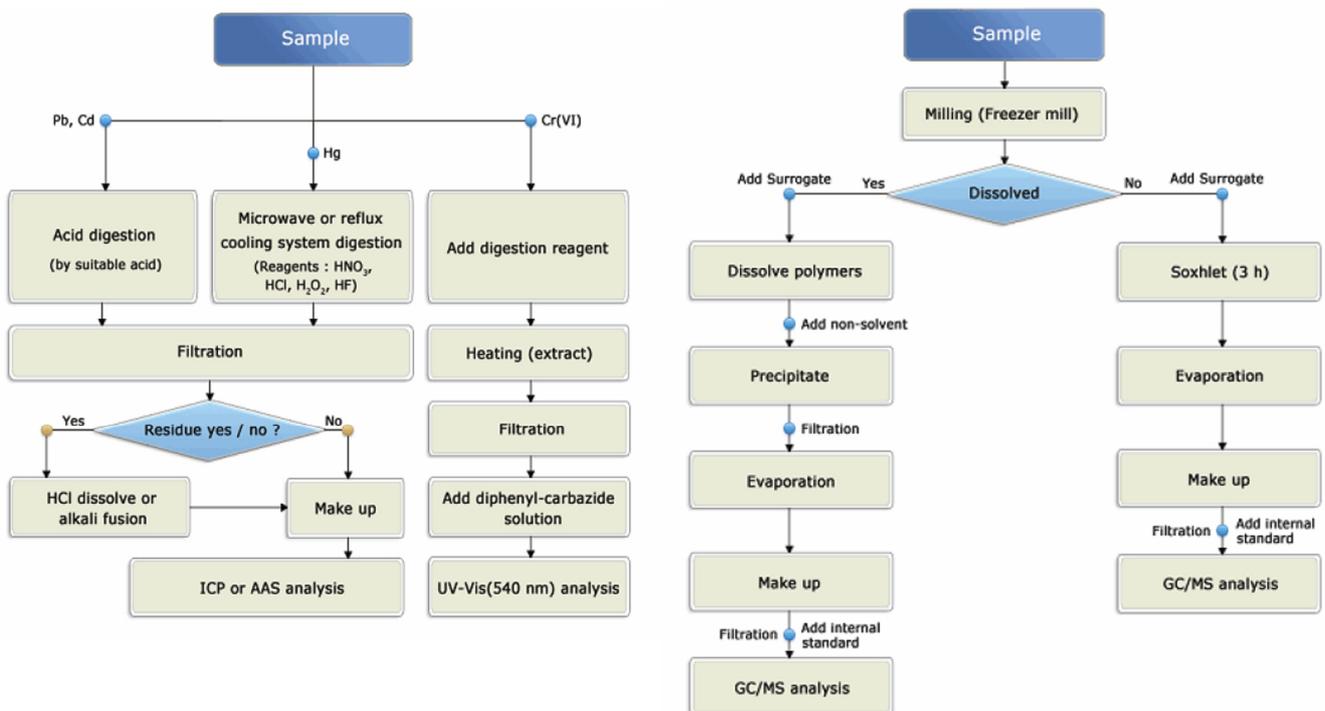


Figure 3. Flow chart of heavy metal, PBBs and PBDEs analysis.

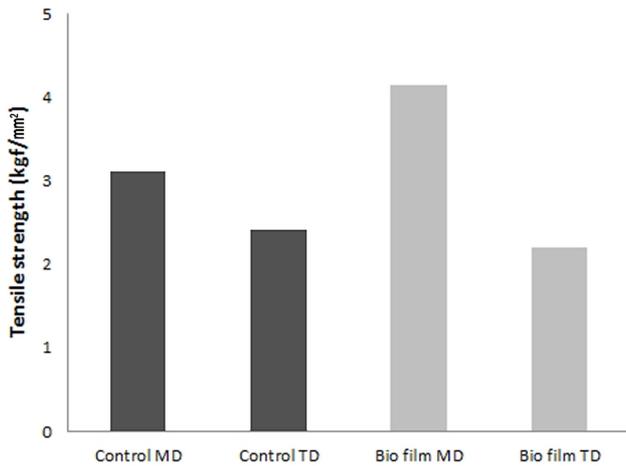


Figure 4. Tensile strength at break of control and bio films.

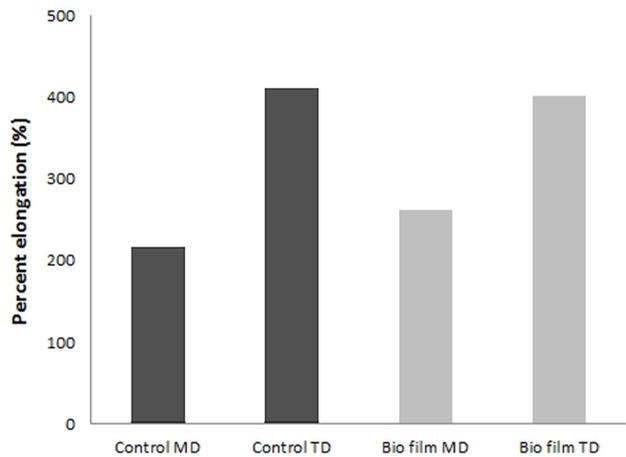


Figure 5. Percent elongation of control and bio films.

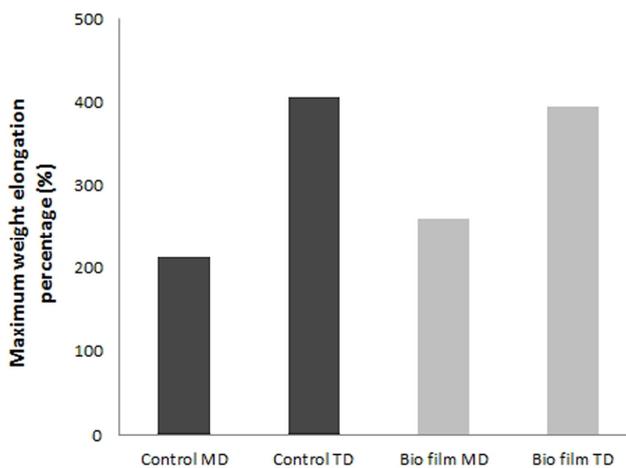


Figure 6. Maximum weight elongation of control and bio films.

의차가 90% 이상으로 강도가 약화 되지 않았다. 반면에 MD 방향의 인장강도와 연신율은 대조구와 비교하였을 때 높은 수치를 나타내었다. 이는 바이오 필름의 강도가 증가하여 대

조구 보다 더 우수한 것으로 나타났다.

제조된 대조구와 투명 바이오 필름의 최대하중연신율은 Figure 6에 나타내었다.

최대하중연신율은 MD 방향에서 대조구에 비해 높은 수치로 나타나 더 우수하였고, TD 방향의 경우 대조구 보다 조금 떨어졌으나 유의차가 90% 이상인 경우 큰 차이가 없는 것으로 판단되어 측정에 이용된 바이오 필름과 대조구는 비슷한 수준으로 판단되었다.

3.2. 바이오 필름의 유기탄소 함량 평가

ASTM D6866 시험법을 이용하여 BETA 연구소에 의뢰하여 유기탄소 함량 시험분석을 실시하였다.

ASTM D6866 시험규격은 제품내 유기탄소 함량을 측정하는 규격으로 미국 시험분석기관인 미국 BETA 연구소를 통하여 샘플 25 g으로 시험을 진행하였다. 시험결과 투명 바이오 필름 내 유기 탄소함량은 35%로서 미국 농무성 인증기준인 25%보다 높은 것으로 나타났다.

3.3. 바이오 필름 생분해도 평가

생분해성 평가는 ASTM D6954-04 방법에 따라 45일간의 생분해성 시험을 하였고 그 결과를 Table 3, Figure 7, 8에 나타내었다. 본 연구에 의해 제조된 투명 바이오 필름의 이산화탄소 방출량에 의해 계산된 평균 생분해도는 46.7%이었고 대조구인 셀룰로오스는 76.1%로 나타났다. 특히 16일 이후부터

Table 3. Biodegradable test result of bio film

Test item	Test result		Unit
Biodegradability test of bio film	Mean Biodegradation calculated from Carbon dioxide evolved - Test material	46.7	%
	Mean Biodegradation calculated from Carbon dioxide evolved - Reference material	76.1	
	Test material / Reference material	61.4	

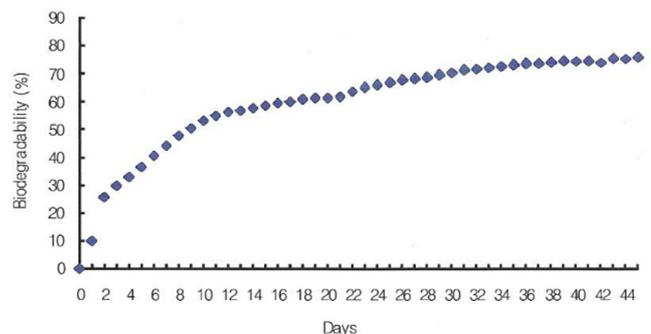


Figure 7. Curve of biodegradability of reference material.

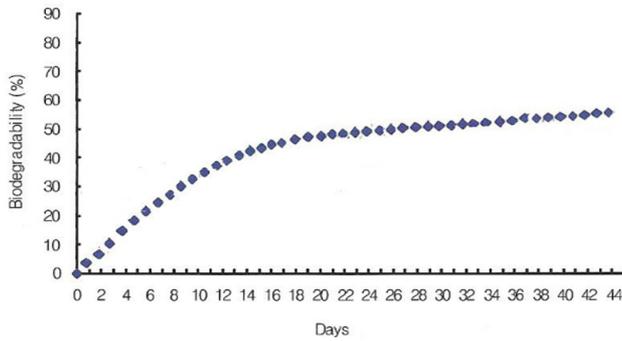


Figure 8. Curve of biodegradability of transparent bio films.

Table 4. Safety analyses on the transparent bio films as food packaging materials

Total heavymetal content	Unit	Test result
Lead (Pb)	mg kg ⁻¹	< 10
Cadmium (Cd)		< 10
Mercury (Hg)		< 10
Chrome (Cr ⁶⁺)		< 10
Extraction test	Unit	Test result
Lead (Pb)	mg L ⁻¹	< 1
Potassium permanganate consumption		< 10
Total Extraction		< 10

본 연구에 의해 제조된 투명 바이오 필름의 경우 생분해도는 거의 일정하게 분해되는 것을 확인할 수 있었다. 표준물질에 비해 61.4%의 생분해도를 나타내었다.

3.4. 식품포장재로서 제품 안정성

생분해 촉매제 및 식물성 가소제를 첨가하여 제조된 포장재인 투명 바이오 필름의 안정성을 식품공전 제 7. 기구 및 용기포장에 관한 기준 및 규격에 따라 평가한 시험결과를 Table 4에 정리하였다.

재질시험에서 Pb, Cd, Hg, Cr⁶⁺은 측정 설비의 검출한계인 10 mg kg⁻¹ 이하였으며, 합계로서 100 이하인 규격기준에 적합한 것으로 나타났다. 용출시험결과 중금속, 과망간산칼륨 소비량 및 총 용출량이 규격기준에 알맞은 것으로 나타났다.

3.5. 유럽 RoHS 기준에 의한 안전성

IEC 62321 시험 방법에 따라 측정된 결과 불검출로 나타나 유럽 RoHS 기준에 적합하였고, 측정결과는 Table 5에 나타내었다.

3.6. 투명도 평가 결과

ASTM D 1003 시험법을 이용하여 투명 바이오 필름의 헤이즈를 측정하였다. 그 결과 투명 바이오 필름의 헤이즈는 3으로 투명성이 우수함을 알 수 있었다.

Table 5. Safety analyses on the bio film as RoHS standard

Content	Unit	Test result	MDL	Test methods
Lead (Pb)	mg kg ⁻¹	Not detected	5	*1
Cadmium (Cd)		Not detected	0.5	
Mercury (Hg)		Not detected	0.5	*2
Chromium (Cr)		Not detected	0.5	*3
Total-PBBs		Not detected	-	*4
Mono-BB		Not detected	10	
Di-BB		Not detected	10	
Tri-BB		Not detected	10	
Tetra-BB-		Not detected	10	
Hexa-BB		Not detected	10	
Hepta-BB		Not detected	10	
Octa-BB		Not detected	10	
Nona-BB		Not detected	10	
Deca-BB	Not detected	10		
Total-PBDEs	Not detected	-		
Mono-BDE	Not detected	10		
Di-BDE	Not detected	10		
Tri-BDE	Not detected	10		
Tetra-BDE	Not detected	10		
Hexa-BDE	Not detected	10		
Hepta-BDE	Not detected	10		
Octa-BDE	Not detected	10		
Nona-BDE	Not detected	10		
Deca-BDE	Not detected	10		

*1. IEC 62321-5 Ed.1.0 : 2013 (AAS)
 *2. IEC 62321-4 Ed.1.0 : 2013 (AAS)
 *3. IEC 62321 Ed.1.0 : 2008 (UV/Vis)
 *4. IEC 62321 Ed.1.0 : 2008 (GC/MS)

4. 결론

본 논문에서는 식물체 유래 가소제, 생분해 촉매제 등을 이용하여 산화생분해 투명 바이오 필름을 개발하였다. 산화 생분해 촉매제 유무에 따라 유형을 나누어 인장강도, 연신을 및 최대하중연신율을 비교한 결과 유사하였다. 탄소 중립(Carbon neutral)형 식물체 바이오매스는 지구의 이산화탄소 총량을 증가시키지 않는 점에서 주목을 받고 있는데 탄소중립형 투명 바이오 필름은 바이오매스 함량이 35%로 USDA 기준인 25% 보다 높았다. 또한 투명 바이오 필름의 중금속 검출 실험결과 유럽 RoHS 기준에 적합하였고, 생분해도를 45일간 측정된 결과 셀룰로오스 대비 61.4%의 생분해를 나타내어 관련 규격기준인 ASTM D 6494 및 UAE S 5009의 기준에도 적합하였다. 이 결과로 향후 국내 산업화 추진 및 해외수출이 용이할 것으로 기대된다.

감사

본 논문은 중기청 제품공정기술개발사업(과제번호 S234-6615), 경기도 기술개발사업(과제번호 D151506) 및 농기평 고부가가치식품기술개발사업(과제번호 313030, 316058)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Guillet, J. E., "Polymers and Ecological Problems," Baum, B., and White, R. A. (eds.), Plenum Press, New York, 45-60 (1973).
- Brown, D. T., "Plastic Waste Management," Mustafa, N. (ed.) Marcel Dekker Inc., New York, 1-35 (1993).
- Garcia, C., Hernandez, T., and Costa, F., "Comparison of Humic Acids Derived from City Refuse with More Developed Humic Acids," *Soil Sci. Plant Nutr.*, **38**(2), 339-346 (1992).
- Huang, J. H., Shetty, A. S., and Wang, M. S., "Biodegradable Plastics, A Review," *Adv. In Polym. Technol.*, **10**(1), 23-30 (1990).
- Bloembergen, S., David, J., Geyer, D., Gustafson, A., Snook, J., and Narayan, R., "Biodegradation and Composting Studies of Polymeric Materials. In: Biodegradable Plastics and Polymers," Doi, Y., and Fukuda, K. (eds.), Osaka, 601-609 (1993).
- You, Y. S., Oh, Y. S., Hong, S. H., and Choi, S. W., "International Trends in Development, Commercialization and Market of Bio-Plastics," *Clean Technol.*, **21**(3), 141-152 (2015).
- Biz Service Center for Global Environmental Regulation (COMPASS) Analysis Report No BSC Report 130-14-003 (2014).
- Expert Group Meeting "Environmental Degradable Polymers and Sustainable Development," Sep. 5~6, 2002 ICS-UNIDO - Development of Plastics Manufacturing Industry in Europe, Dr. Ingo Sartorius.
- The Freedonia Group, Inc., "World Bio Plastics," Industry Study 2548 (2009).
- Lee, S. I., Sur, S. H., Hong, K. M., Shin, Y. S., Jang, S. H., and Shin, B. Y., "A Study on the Properties of Fully Biophotodegradable Composite Film," *J. Int. Ind. Technol.*, **29**, 129-134 (2001).
- Chung, M. S., Lee, W. H., You, Y. S., Kim, H. Y., and Park, K. M., "Manufacturing Multi-degradable Food Packaging Films and Their Degradability," *Korean J. Food Sci. Technol.*, **35**(5), 877-883 (2003).
- ASTM D6866-10, "Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis," USA (2010).
- ASTM D3039, "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials," USA (2005).
- ASTM D6954-04, "Standard Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation," USA (2004).
- ASTM D5208-01, "Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Exposure of Photodegradable Plastics," USA (2001).
- KFDA, Food Codes. Korean Food and Drug Administration. Seoul. Korea. 28-60 (2001).
- IEC 62321, "Determination of Levels of Six Regulated Substances (Lead, Mercury, Cadmium, Hexavalent Chromium, Polybrominated Biphenyls, Polybrominated Diphenyl Ethers)," (2008).
- ASTM D1003, "Standard Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics," USA (2000).