

생분해 촉매제를 이용한 산화생분해 바이오 필름 개발

이진규¹ · 정동석² · 유영선^{2*}

¹이화여자대학교

²가톨릭대학교 생명공학전공

Development of Oxo-biodegradable Bio Film by Using Biodegradable Catalyst

Jin-Kyu Rhee¹, Dong Seok Jung², and Young-Sun You^{2*}

¹Department of Food Science and Engineering, Ewha Womans University, Seoul 03760, Korea

²Division of Environmental engineering, Catholic University of Korea, Bucheon 14662, Korea

Abstract In this study, Biodegradable masterbatch (M/B) was prepared by different kinds and content of biodegradable catalysts added to oxo biodegradable plastics. The bio film was prepared by adding biodegradable M/B to the polyethylene pellet, and the change of physical properties by UV and heat treatment and the stability as food packaging material were confirmed. As a result of the physical property change, Fe salt and Al salt bio film was superior to Ni salt bio film about a decrease in physical property. However, considering the raw material cost and industrial availability, M/B containing Fe salt was selected and additional experiments were conducted by concentration. The bio films prepared with Fe salt M/B 1.0, 1.5 and 2.0 wt% showed excellent physical properties.

Keywords Bio film, Bio-based plastic, Oxo-biodegradable plastics, Biodegradable catalyst, Bio film

서 론

인류의 가장 큰 선물이라는 플라스틱은 요즘 들어 대량으로 발생하는 플라스틱 폐기물의 소각이나 매립에 따른 환경 호르몬 누출, 맹독성의 다이옥신 검출, 폐기물의 불완전 연소에 의한 대기오염 발생 등과 같은 심각한 환경오염의 원인으로 지목되었다. 이러한 플라스틱 폐기물의 문제를 해결하기 위하여 제품 제조 및 사용 중에는 플라스틱 고유의 장점을 그대로 유지하고, 폐기 시에는 이산화탄소 발생을 감소시킬 수 있는 바이오 플라스틱에 대한 연구가 활발한 상황이다¹⁻⁴⁾.

전 세계 각국에서 기존 플라스틱과 비슷한 물성과 가격 경쟁력을 갖고, 인체에 무해하면서도 재활용이 용이한 바이오 플라스틱 제품 개발에 박차를 가하고 있다. 또한 이산화탄소

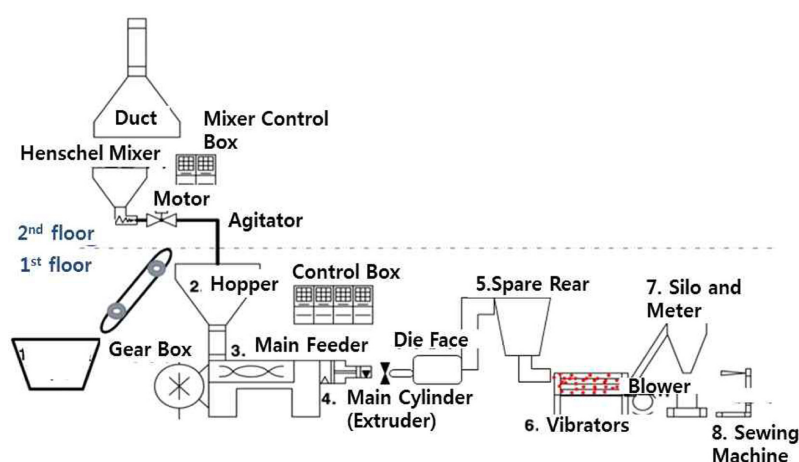
저감, 자연계에서 분해되어 환경부하가 적게 되는 대체품 연구개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 그러한 연구결과로 상당수의 생분해 플라스틱(biodegradable plastics), 산화생분해 플라스틱(oxo-biodegradable plastics), 탄소저감형 바이오 베이스 플라스틱(bio based plastics) 등의 친환경 고분자 물질이 포함된 바이오 플라스틱 제품이 출시되었다. 현재 식품 포장재, 산업용품, 농업용품, 생활용품, 자동차, 산업용품 등 매우 다양한 분야에서 바이오 플라스틱 제품이 적용이 되고 있다⁵⁻⁸⁾. 전 세계적인 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. 특히, 산화생분해 플라스틱과 바이오베이스 플라스틱의 약진으로 그 시장은 예상보다 훨씬 빨리 성장할 가능성이 매우 높다^{9,10)}.

하지만 바이오 플라스틱은 아직까지 사용범위가 제한된 편이다. 기존 고분자제품 대비 물성이 약한 문제, 원가상승으로 기존 플라스틱 제품에 비해 2~3배 정도 고가로 산업화가 지연되는 문제점이 있어 보완연구가 진행되고 있다. 전자체

*Corresponding Author : Young-Sun You
Division of Biotechnology, The Catholic University of Korea,
Bucheon 14662, Korea
Tel : +82-2-6238-6283, Fax : +82-32-344-6283
E-mail : tawake@naver.com

Table 1. Composition of master batch

Function	Recipes (%)	Materials
Inorganic filler	10~20	CaCO ₃ , talc
Oxo-biodegradation catalyst	0.1~1.0	Metal salt : Al, Fe, Ni
Binder resin	60~95	Linear low density polyethylene (LLDPE)
Additive	1.5	Unsaturated fatty acid
Lubricant	1.0~3.0	Waxes
Oxidation accelerator	0.1~1.0	Organic acids (malic acid, citric acid etc)

**Fig. 1.** Schematic diagram of M/B production.

품 및 산업용품 등에서 요구되는 수준의 물성, 강도를 유지하는 것 등 사출 제품, 시트 및 진공성형 제품의 물성 개선에는 효과가 있으나 얇은 박막 포장재로 사용하기 위한 필름 형태로 제작되는 경우 제조된 필름의 물리적 성질이 떨어지는 단점이 있어 해결해야 하는 문제가 남아 있다¹¹⁾.

따라서 본 연구에서는 초기 신장율과 인장강도 등의 물성이 우수하고 생분해 촉매제를 이용한 산화생분해 바이오필름을 개발하고 열과 UV 처리 시험을 하여 물성저하 효과와 생분해도를 확인하고 기존 바이오필름 대비 물성이 우수한 바이오필름 개발을 통해 박막 포장재로서의 개발 가능성을 확인하고자 한다.

재료 및 방법

1. 생분해 마스터배지 (M/B) 제조

생분해성 기능을 갖는 M/B 제조를 위한 성분들과 배합량을 Table 1에 나타내었다.

먼저, 무기 필러(IT CaCO₃, Omiya Korea, Hambak, Korea), 과산화물(CYASORB, Needfill, Inc., Seoul, Korea), 생분해 촉매제인 철 이온 염(TGR, Biopolymer Co. Ltd., Bucheon, Korea), 불포화지방산(Soybean oil, Ottogi Co.

Ltd., Anyang, Korea), 왁스(LC-102N, Lion chemtech, Daejeon, Korea), 그리고 유기산(Citric acid, APS Co. Ltd., Ansan, Korea)을 믹서에 투입한 다음 500 rpm으로 100±10°C에 도달할 때까지 혼합 및 수분건조를 수행하였다. 이후 다이 직경 58 mm, L/D 40:1, 스크류 니딩존 3개, 리버스존 2개인 압출성형기(JTE-58HS, Twin extruder, Jinsan PRM, Korea)를 이용하여 배럴 온도 170°C, 스크류 회전속도 800 rpm으로 스트랜드를 만들었고, 수분 재흡수 문제 방지를 위해 공랭식으로 냉각한 다음, 이를 2~3 mm 크기로 커팅하여 생분해 M/B를 제조하였다. 또한 생분해 촉매제인 철 이온 염(Fe salt)을 알루미늄 이온 염(Al salt) 및 니켈 이온 염(Ni salt)으로 대체하여 동일한 방법으로 생분해 M/B를 제조하여 생분해 촉매제를 각각 함유한 생분해 M/B 3종을 제작하였다. M/B를 제조하는 모식도는 Fig. 1에 나타내었다.

2. 생분해 촉매제 종류별 바이오필름 제조 및 물성평가

알루미늄 이온 염, 니켈 이온 염, 철 이온 염을 이용해 제조된 3종의 생분해 M/B, 고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene, HDPE) (7000F, Lotte Chemical, Seoul, Korea) 및 선형저밀도 폴리에틸렌(Linear low density polyethylene, LLDPE) (UF315, Lotte Chemical, Seoul, Korea)을

Table 2. Composition of Bio films

Division	Composition (%)			Remark
	Bio pellet M/B (Ion salt)	HDPE	LLDPE	
Bio film1	5	85	10	Al salt film
Bio film2	5	85	10	Fe salt film
Bio film3	5	85	10	Ni salt film
Control	-	90	10	-

Table 3. Composition of Bio films containing Fe salt

Division	Composition (%)		
	Bio pellet M/B (Fe salt)	HDPE	LLDPE
Bio film 4	0.5	89.5	10
Bio film 5	1.0	89	10
Bio film 6	1.5	88.5	10
Bio film 7	2.0	88	10
Control	-	90	10

혼합한 후 스크류 온도 200°C에서 필름성형기(BS-55, Boosung, Hanam, Korea)로 압출하여 두께 50 μm 의 바이오필름을 제조하였다. 생분해 M/B를 이용하여 각각 제조한 3종을 ASTM D 5208-01방법¹²⁾에 의한 UV 노출법으로 27°C 조건에서 340 nm UV Lamp를 사용하여 UV와 필름 샘플 간 거리는 최대 150 mm 조건으로 하여 100시간 조사 및 68 $\pm 5^\circ\text{C}$ 에서 1,000시간 열처리한 다음, 처리한 바이오필름의 인장강도, 신장율의 물성을 Universal Testing Machine (DTU, Daekyung Tech, Incheon, Korea) 이용해 비교하였고, 원료 사용 비율은 Table 2에 나타내었다.

3. 생분해 촉매제 함량별 바이오필름 제조 및 물성평가

생분해 촉매제 중 철 이온 염을 0.5, 1.0, 1.5, 2.0% 비율로 각각 첨가한 생분해 M/B, 고밀도 폴리에틸렌(High density polyethylene, HDPE) (7000F, Lotte Chemical, Seoul, Korea) 및 선형저밀도 폴리에틸렌(Linear low density polyethylene, LLDPE), (UF315, Lotte Chemical, Seoul, Korea)을 혼합한 후 스크류 온도 200°C에서 필름성형기(BS-55, Boosung, Hanam, Korea)로 압출하여 두께 50 μm 의 바이오 필름 4종을 제조하였다. 제조한 4종의 바이오 필름과 대조구에 340 nm UV를 각각 100시간 동안 조사하면서 20시간마다 시료를 채취하여 인장강도, 신장율의 물성을 Universal Testing Machine (DTU, Daekyung Tech, Incheon, Korea) 이용해 비교하였고 바이오필름의 원료 사용 비율은 Table 3에 나타내었다.

4. 분자량 감소평가

제조된 바이오필름 4종과 대조구를 UV 340 nm에서 300,

400, 500, 600시간 조사 처리한 필름의 분자량 측정을 실시하였고 분자량 감소 평가는 고온 GPC (Gel permeation chromatograph)를 이용해 측정하였다. GPC분석기기는 PL-GPC 220 system를 이용하며 컬럼은 2 $\times$ PLgel mixed-B (7.5 $\times$ 300 mm)이며 용매는 TCB+0.04% BHT (after drying with 0.1% CaCl_2) mix이다. injector의 검출온도는 160°C이며, 유속은 1.0 mL/min, 주입량은 200 μL , 표준시료는 Polystyrene, 데이터처리는 Viscotek omisec를 사용하였다. 실험을 진행할 때 시료 전처리하는 제공된 시료를 그대로 사용하며 시료 용해상태는 완전 용해상태이며 시료용액여과는 0.45 μm PTFE filter를 사용하였다.

5. 생분해성 평가

생분해성 평가는 산화생분해 평가방법인 ASTM D6954-04방법¹³⁾에 따라 테스트하였다. 분해성 평가는 Fig. 2와 같이 3단계로 구분되며, 1단계에서는 ASTM D 5208-01 CYCLE A방법으로 UVA 340 nm로 300시간 처리하여 화학적 분해를 시킨 후, UV처리한 시료의 생분해도를 KSM-3100-1의 방법으로 퇴비화 조건에서 측정하였다.

6. 식품 포장재로서의 바이오필름 안정성 실험

KFDA의 규정에 따라 앞서 언급한 배합과 방법에 의해 제조된 철 이온 생분해 촉매제를 적용한 바이오필름의 식품포장재로서 적용 가능성평가를 위해 재질시험으로는 4대 중금속 함량측정(mg/Kg), 용출시험은 납, 총 용출량, 과망간산칼륨 소비량(mg/L)을 식품공전의 기구 및 용기·포장의 기준·규격 중 합성수지제 시험방법¹⁴⁾에 의거하여 측정함으로써 식품포장재로서의 적합성 여부를 판정하였다.

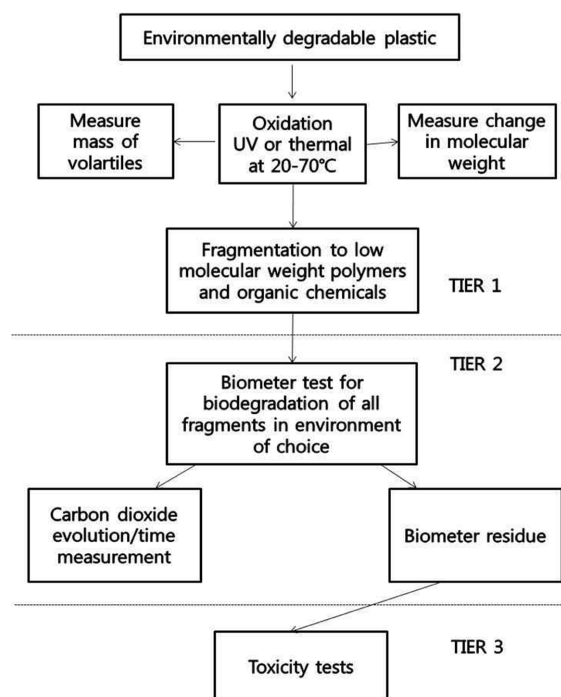


Fig. 2. Diagram of Standard guide for Exposing and Testing by oxidation and biodegradation (ASTM D 6954-04).

결과 및 고찰

1. 촉매제 종류별 바이오필름 물성

국가식품클러스터에서 ASTM D 882¹⁶⁾방법에 따라 생분해 촉매제 종류별로 알루미늄 이온 염, 니켈 이온 염, 철 이온 염 M/B 각 5%와 HDPE 85%, LLDPE 10%를 혼합하여 제조한 바이오필름1(Al salt), 바이오필름2(Fe salt), 바이오필름3(Ni salt)인 총 3종의 바이오필름 및 대조구 필름을

제조하였고 모든 필름을 UV처리하였다. 처리한 필름을 25×102 mm로 재단한 샘플에 대해서 인장강도, 신장율을 측정하였다. 그 결과는 Table 4에 나타내었다.

일반적인 대조구 고밀도 폴리에틸렌 필름의 인장강도 및 신장율은 39.65 MPa와 985.14%로 나타났다. 추가로 생분해 촉매제인 알루미늄 이온 염, 철 이온 염, 니켈 이온 염을 각각 첨가하여 제조한 바이오필름은 대조구와 물성이 비슷한 것으로 나타났다. 그 중에서 바이오필름3의 경우 인장강도가 바이오필름1이나 바이오필름2에 비해 높은 수치를 나타내었다. 또한 신장율 시험에서는 바이오필름2가 바이오필름1과3에 비해 높은 신장율 수치를 나타내었다. 이 시험은 5회 반복하여 평균을 냈으며 UV를 조사하면서 50시간마다 시료를 채취하여 바이오필름의 인장강도를 Fig. 3, 신장율을 Fig. 4에 나타내었다.

100시간 조사한 바이오필름1, 2, 3의 결과를 살펴보면 바이오필름1의 경우 UV조사 시간에 따라 인장강도가 처리 전 31.05 MPa이고 50시간 UV조사 처리 후 25.57 MPa로 17.65% 감소, 100시간 처리 후 1.67 MPa로 94.62% 감소하였다. 신장율의 경우 바이오필름1이 처리 전 신장율 990.27%에서 50시간 처리 후 신장율 121.93%로 87.69% 감소, 100시간 처리 후 100% 감소하여 바이오필름1은 인장강도 및 신장율의 감소율 우수한 수치로 확인되었다. 바이오필름2는 처리 전 인장강도 30.04 MPa에서 50시간 처리 후 14.51 MPa로 51.70% 감소, 100시간 처리 후 0 MPa로 100% 감소하였다. 바이오필름2는 처리 전 신장율 1018.19%에서 50시간 처리 후 16.84%로 98.35% 감소, 100시간 처리 후 0%로 신장율이 100% 감소하였다. 바이오필름2 또한 인장강도 및 신장율의 감소율이 모두 우수하였다. 바이오필름3은 처리 전 인장강도 39.65 MPa에서 50시간 처리 후 29.44 MPa로 25.75% 감소, 100시간 처리 후 26.08 MPa로 34.22% 감소하였고, 처리 전 신장율 985.14%에서 50시간

Table 4. Tensile strength and Elongation at break of bio films

Division	UV treatment time (hrs)	Tensile strength (MPa)	Percent elongation (%)
Bio film1 (Al salt)	0	31.05	990.27
	50	25.57	121.93
	100	1.67	0
Bio film2 (Fe salt)	0	30.04	1018.19
	50	14.51	16.84
	100	0	0
Bio film3 (Ni salt)	0	39.36	917.83
	50	30.51	877.13
	100	22.73	838.52
Control	0	39.65	985.14
	50	29.44	1018
	100	26.08	949.59

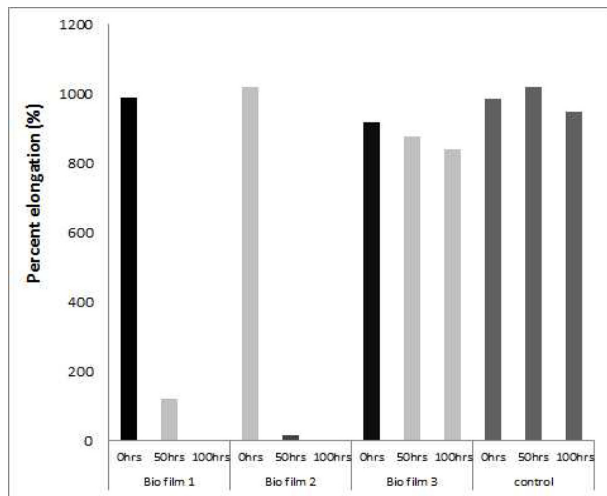


Fig. 3. Elongation at break of bio films.

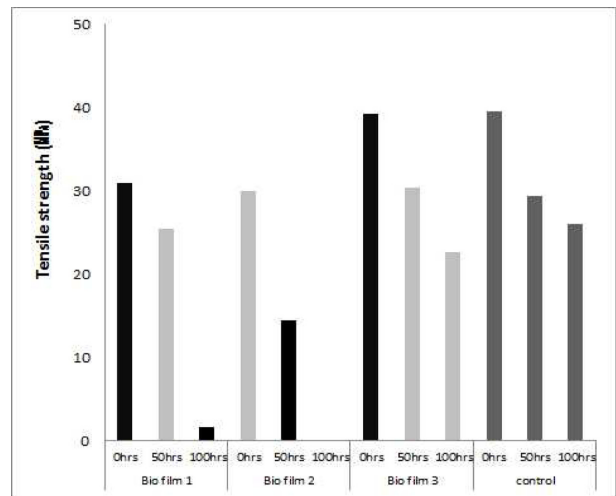


Fig. 4. Tensile strength at break of bio films.

처리 후 1018%로 3.34% 증가, 100시간 처리 후 949.59%로 3.61% 감소하여 커다란 차이를 보이지 않았다. 시험 결과에 따라 판단하면 Fe salt가 함유된 바이오필름2의 인장강도 및 신장율의 감소를 수치가 가장 우수하였다.

3종의 바이오필름 및 대조구를 $68 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 1000시간 동안 열처리하면서 500시간마다 샘플링하여 인장강도와 신장율을 측정하였고 그 결과는 Table 5에 나타내었다.

UV조사 시간에 의한 인장강도와 신장율을 살펴보는 것과 동시에 열처리 시간에 대한 인장강도와 신장율을 살펴보았는데 바이오필름1은 열처리 1000시간 후 감소율이 99.14%, 신장율 감소율이 99.28%이었고, 바이오필름2는 1000시간 처리 후 인장강도 감소율이 96.03%, 신장율 감소율이 99.41%였다. 바이오필름3의 경우 1000시간 처리 후 인장강도 감소율이 78.65%, 신장율 감소율이 99.31%였지만 인장강도 감

소율이 적었다. UV조사 처리 결과와 마찬가지로 Al salt, Fe salt가 함유된 바이오필름1,2의 인장강도와 신장율의 감소율이 우수하며 유사하였다. 하지만 원재료 원가, 산업적인 이용 가능성을 고려하여 Fe salt가 포함된 바이오필름2를 선택하였다.

2. 촉매제 함량별 바이오필름 물성 바이오필름 UV 분해 평가

생분해 촉매제 중 인장강도, 신장율이 가장 우수한 Fe salt를 적용한 바이오필름2의 추가적인 농도별 효과를 보기 위하여 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%의 농도로 제조한 바이오필름 4-7을 100시간 동안 UV처리한 후 20시간마다 샘플을 채취해 인장강도, 신장율을 측정하였고, 그 결과를 Table 6에 나타내었다.

Table 5. Tensile strength and Elongation at break of bio films

Division	Heat treatment time (hrs)	Tensile strength (MPa)	Percent elongation (%)
Bio film1 (Al salt)	0	35.03	1007.02
	500	13.23	316.11
	1000	0.3	7.21
Bio film2 (Fe salt)	0	33.03	1051.17
	500	15.33	350.10
	1000	1.31	6.15
Bio film3 (Ni salt)	0	34.05	990.27
	500	15.48	327.20
	1000	7.27	6.83
Control	0	29.65	925.14
	500	29.01	924.65
	1000	28.94	923.13

Table 6. Tensile strength and Elongation at break of bio films

Division	UV treatment time (hrs)	Tensile strength (MPa)	Percent elongation (%)
Bio film4 (Fe salt 0.5%)	0	39.82	977.59
	20	32.85	1022.59
	40	25.53	993.05
	60	27.03	936.29
	80	23.47	764.94
	100	21.5	641.62
Bio film5 (Fe salt 1.0%)	0	37.81	956.53
	20	28.99	1028.64
	40	23.41	864.07
	60	12.35	128.17
	80	8.60	88.08
	100	6.52	37.42
Bio film6 (Fe salt 1.5%)	0	38.69	959.68
	20	24.56	1022.96
	40	16.38	105.84
	60	8.41	14.43
	80	5.36	7.11
	100	3.08	6.37
Bio film7 (Fe salt 2.0%)	0	41.99	957.04
	20	27.43	1021.23
	40	10.11	11.11
	60	7.78	9.91
	80	2.23	3.95
	100	0	0
Control	0	39.65	985.14
	20	23.91	1011.4
	40	29.88	1019.41
	60	29.00	1016.59
	80	26.49	966.19
	100	26.08	949.59

0.5%에서 2.0%으로 Fe salt 함량이 높아질수록 인장강도와 신장율이 모두 줄어들어 감소율이 높아졌다. 바이오필름 4-7의 인장강도를 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 이중 0.5% 처리한 바이오필름4는 100시간 처리해도 46.01%로 감소율이 낮았다. ASTM D 6954¹³⁾ 기준에 따라 열, UV를 처리 후 인장강도 및 신장율 보유율이 5%이하 즉, 인장강도 및 신장율이 95% 이상 감소하면 성능이 우수하다 판단할 수 있다. 이 기준에 따라, 바이오필름5는 인장강도 감소율이 82.76%로 조금 낮은 수치로 확인되었다. 본 연구에서는 100시간 UV 처리로, 기존 방법인 200시간 처리 시에는 인장강도 감소율이 95% 이상 될 것으로 예상된다. 바이오필름6,7은 100시간 처리 후 인장강도를 측정할 수 없을 정도로 약화되어서 가장 우수한 것으로 확인되었다.

또한 Fig. 6은 UV 처리시간 별로 신장율이 점점 줄어 들고 있는데, 바이오필름4는 100시간 처리 후에도 34.37%로 신장율 감소가 크지 않았고 바이오필름5는 96.09%, 바이오필름6은 99.34%, 바이오필름7은 100%로 바이오필름4에 비해 바이오필름5-7은 신장율 감소가 매우 우수하였다.

3. 분자량 감소평가

상기 바이오필름4-7번 중 생산성 및 가격 경쟁력을 고려하여 가장 우수한 바이오필름5를 선택하여 UV 처리한 후 분자량을 측정하였고 비교예로는 현재 가장 범용적으로 사용되는 영국 W사의 필름데이터를 사용해 비교하였다(Table 7).

위 표에서 보면 바이오필름5는 약 500시간 UV처리 후 분자량이 4,980Da으로 ASTM D 6954 및 UAE S 5009 기

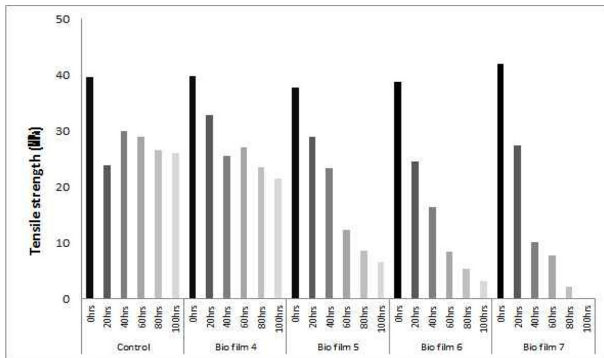


Fig. 5. Tensile strength of Bio films.

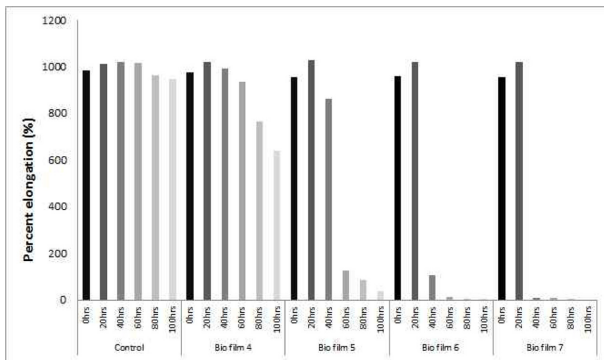


Fig. 6. Percent elongation of Bio films.

Table 7. Molecular weight of Bio film5

UV treatment time (hrs)	MW	Other company (wells)
300	6,750	42,000
400	5,050	21,000
500	4,980	-
600	3,920	-
700	Test end	7,500
900	-	6,160
1,400	-	5,010

Table 8. Safety analyses on the bio film as food packaging materials

Division	Content	Unit	Test result
Heavy Metal	Lead (Pb)	mg/kg	< 10
	Cadmium (Cd)		< 10
	Mercury (Hg)		< 10
	Chrome (Cr6+)		< 10
Extraction test	Lead (Pb)	mg/L	< 1
	Potassium permanganate consumption		< 10
	Total Extraction		< 10

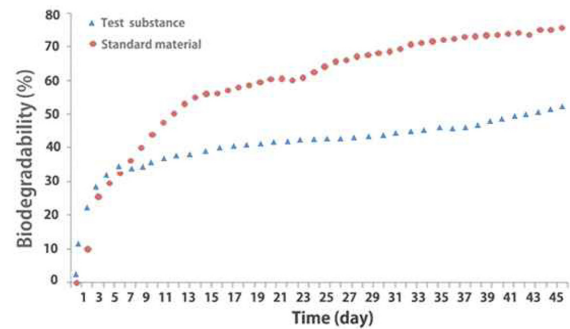


Fig. 7. Curves of biodegradability calculated by the average carbon dioxide emissions.

준인 5,000Da 이하로 적합하였다. 하지만 대조구인 영국 W 사 필름은 1,400시간 조사 후 5,010Dalton이었다. 바이오필름5는 500시간, 영국 W사의 필름은 약 1,400시간으로 바이오필름5의 분자량 감소가 훨씬 우수하여 최종 생분해 기간이 짧을 것으로 예측된다.

4. 바이오필름 생분해도 평가

산화생분해 방법에 의한 45일간의 생분해성 평가 결과를 Fig. 7에 나타내었다. ASTM D 6954에 따라, 생분해성 평가의 표준물질인 셀룰로오스의 이산화탄소 발생률과 비교하여 생분해성을 평가하고 있는데, 본 연구에 의해 제조된 바이오필름의 이산화탄소 방출량에 의해 계산된 평균 생분해도는 39.2%로 나타났다. 특히 8일 이후부터 바이오필름의 생분해도는 거의 일정하게 분해되는 것을 확인할 수 있었다. 표준물질에 비해 51.5%의 생분해도를 나타내었다.

5. 식품포장재로서 제품 안정성

산화생분해 바이오필름의 안정성을 식품공전제 7. 기구 및 용기포장에 관한 기준 및 규격¹⁵⁾에 따라 평가한 시험결과를 Table 8에 정리하였다. 제질시험에서 Pb, Cd, Hg, Cr6+은 검출되지 않았으며, 용출시험결과 납 및 과망간산칼륨, 총 용출량 또한 기준에 적합하였다.

요 약

얇은 박막 형태로 제작된 기존의 바이오필름은 일반 필름과 비교하여 인장강도, 신장율 등의 물성이 감소되는 단점이 있어 실질적인 활용이 어려웠다. 본 연구에서는 바이오필름 초기 신장율 및 인장강도를 비롯한 물리적 성질 개선과 생분해 촉매제를 사용하여 생분해 기간을 단축시킬 수 있고 일반 고분자와 상용성이 뛰어나며 열, 빛, 수분, 효소 등에 의한 복합분해가 이루어지는 바이오필름을 개발하였다. 국가식품클러스터에서 ASTM D 882¹⁶⁾방법에 따라 생분해 촉매제 종류별로 선별된 생분해 촉매제 3종(알루미늄 이온염, 철 이온염, 니켈 이온염)이 각각 포함된 생분해 마스터배치(M/B)를 이용하여 HDPE와 LLDPE를 혼합해 바이오필름1-3을 제작하였다. 바이오필름1-3의 물성을 비교 평가하기 위하여 샘플링된 바이오필름과 대조구를 UV 노출법과 열처리하였다. 바이오필름과 대조구의 초기 물성은 유사한 수치를 나타냈다. 바이오필름1-3의 UV 노출 및 열처리 시험결과에 따라 판단하면 Al salt와 Fe salt가 포함된 바이오필름1,2의 인장강도 및 신장율의 감소율이 높은 것으로 확인되었다. 하지만 재료 원가와 산업적인 이용 가능성을 고려하였을 때 Fe salt가 포함된 바이오필름2를 선택하였으며 Fe salt 함량별 실험을 진행하였다.

추가적으로 농도별 효과를 알아보기 위하여 철 이온염의 농도를 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%의 함량으로 제조한 바이오필름 4-7과 대조구를 비교 평가하였다. 앞의 시험과 동일한 조건의 UV 처리를 하였으며 그 결과 0.5%에서 2.0%으로 철 이온염의 함량이 높아질수록 인장강도와 신장율이 모두 줄어들어 감소율이 높아졌다. 추가적인 바이오필름의 생분해도 측정 시험을 통해 생분해성 평가의 기준물질인 셀룰로오스에 대비하여 평균 생분해도는 39.2% 확인하고 UV처리를 통한 분자량 테스트 결과 대중적으로 사용되는 필름에 비해 분자량 감소가 훨씬 우수한 것으로 나타났다. 바이오필름4-7 모두 활용할 수 있지만 가격경쟁력과 생산성을 고려할 때 바이오필름5가 가장 우수한 것으로 판단되었다. 앞으로 Fe salt가 포함된 바이오필름은 기존의 필름 대비 우수한 물성을 가지고 생분해 촉매제를 통한 분해기간 단축과 같은 여러 특징을 포함하여 국내 포장 산업의 다양한 분야에 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 중기청 제품품질기술개발사업(S2346615), 경기도 기술개발사업(D151506) 및 농기평 고부가가치식품기술개발사업(313030-3, 316058)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Brown, D. T. 1993. Plastic Waste Management. Marcel Dekker Inc, New York. Mustafa. N. (ed.), pp. 1-35.
2. Guillet, J. E. 1973. Polymers and Ecological Problems. Baum, B. and White, R.A. (eds.), Plenum Press, New York, pp. 45-60.
3. Garcia, C., Hernandes, T. and Costa, F. 1992. Comparison of humic acids derived from city refuse with more developed humic acids. Soil Sci. Plant Nutr., 38: 339-346.
4. Chung, M. S., Lee, W. H., You, Y. S., Kim, H. Y. and Park, K. M. 2003. Manufacturing multi-degradable food packaging films and their degradability. J. Food Sci. Technol, Korean 35: 877-883.
5. Huag, J. H., Shetty, A. S., and Wang, M. S. 1990. Biodegradable plastics, A review. Adv. Polym. Tech. 10: 23-30.
6. Doane, W. M. 1992. USDA research on starch-based biodegradable plastics. Starch, 44: 292-295.
7. Lee, J. W. bio-plastics. 2011. KISTI Market Report, 1: 24-27.
8. Korea National Environmental Technology Information Center (KONETIC). 2007. market analysis reptot.
9. Expert Group Meeting. 2002. Environmental Degradable Polymers and Sustainable Development. ICS-UNIDO - Development of Plastics Manufacturing Industry, Dr. Ingo Sartorius, Europe.
10. The Freedonia Group Ink. 2009. World Bio plastics. Industry Study 2548.
11. Lee, S. I., Sur, S. H., Hong, K. M., Shin, Y. S., Jang, S. H., and Shin, B. Y. 2001. A study on the properties of fully biophotodegradable composite film. J. Int. Ind. Technol. 29: 129-134.
12. ASTM D 5208-01. 2001. Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Exposure of Photodegradable Plastics. USA.
13. ASTM D 6954-04. 2004. Standard Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation, USA.
14. KFDA. 2001. Food Codes. Korean Food and Drug Administration, Seoul. Korea. pp. 28-60.
15. IEC 62321. 2008,2013. Determination of levels of six regulated substances (lead, mercury, cadmium, hexavalent chromium, polybrominated biphenyls, polybrominated diphenyl ethers).
16. ASTM D 882. 2001. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.

투고: 2016.12.08 / 심사완료: 2016.12.18 / 게재확정: 2016.12.29