

국내외 바이오 플라스틱의 연구개발, 제품화 및 시장 동향

유영선[§], 오유성[†], 홍승회[‡], 최성욱^{§*}

[§]가톨릭대학교 생명공학전공

420-743 경기 부천시 원미구 지봉로 43

[†](주)바이오소재

420-743 경기 부천시 원미구 지봉로 43

[‡](주)제영산업

445-928 경기 화성시 향남읍 길성안길 22

(2015년 4월 16일 접수; 2015년 7월 7일 수정본 접수; 2015년 7월 7일 채택)

International Trends in Development, Commercialization and Market of Bio-Plastics

Young-Sun You[§], Yu-Sung Oh[†], Seung-Hoi Hong[‡], and Sung-Wook Choi^{§*}

[§]Division of Biotechnology, The Catholic University of Korea

43 Jibong-ro, Wonmi-gu, Bucheon-si, Gyeonggi 420-743, Korea

[†]Bio Polymer Co. Ltd.

43 Jibong-ro, Wonmi-gu, Bucheon-si, Gyeonggi 420-743, Korea

[‡]Jeyoung Industrial Co. Ltd.

22 Gilseoungan-gil, Hyangnam-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-928, Korea

(Received for review April 16, 2015; Revision received July 7, 2015; Accepted July 7, 2015)

요 약

환경문제가 대두되면서 이미 선진국의 바이오 플라스틱 공급업체들은 소비자의 관심과 재활용 규제가 친환경 포장재 등의 수요를 불러일으킬 것으로 전망하였다. 이러한 수요에 대응하기 위해 옥수수과 같은 식물체를 활용해 만든 여러 형태의 바이오 플라스틱을 출시해 왔으며, 국내 업체들에서도 점차 이에 대한 관심을 높여가고 있다. 점차 강화되고 있는 폐기물 부담금과 불안정한 국제 유가를 고려할 때, 바이오 플라스틱은 소비자들의 친환경 제품에 대한 관심과 연결되어 국내 플라스틱 산업의 새로운 활로가 될 것으로 기대된다. 이를 위해서는 비교적 초기단계에 있는 국내 친환경 바이오 플라스틱 기술에 대해 기업과 대학에서 활발한 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다. 빠르면 2-3년 내에 기존 생분해 플라스틱 이외에 바이오 베이스 및 산화 생분해 플라스틱을 주원료로 한 식품용기 및 포장재, 산업용품, 농업용품, 일회용품, 산업용랩, 스트래치 필름 및 각종 상품용 제품이 실용화되고, 장기적으로는 생체 의료용재 등과 같은 첨단 고부가 생명 공학기술을 응용한 다양한 종류의 환경 친화 제품의 출시가 예상되며, 향후 바이오 플라스틱 산업은 시장 잠재력과 성장성이 무한한 환경 관련 사업으로 평가된다.

주제어 : 바이오 플라스틱, 생분해 플라스틱, 산화생분해 플라스틱, 바이오 베이스 플라스틱, 바이오매스, 친환경 포장

Abstract : As environmental issues are emerging, bio-plastic suppliers in leading countries have been foreseeing the strong needs for environment-friendly materials such as eco-packing materials due to increased attention and regulation on recycle. To catch up with the demand, various types of bio-plastics based on natural feedstocks were developed and released on a market. These bio-plastic products drew the great attention even in domestic industries. At present, international oil price fluctuation and heavy charge on waste raise the unit cost of production and disposal expense of conventional plastic materials. These conditions make bio-plastic an alternative, because it is not restrained by oil prices and problem in the disposal. It is also expected that bio-plastic will be applied to various types of products including containers, industrial supplies, disposables, and medical supplies. However, the bio-plastic is still in its infancy, thus more research and understanding should be followed to put it to application. Bio-plastic is considered as environment-friendly material with high potential which has the advantages of production and disposal.

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

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: choisw@catholic.ac.kr <http://cleantech.or.kr/ct/>

doi: 10.7464/kset.2015.21.3.141 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.

1. 서론

플라스틱 소재는 다양하고 우수한 기능 및 저렴한 가격으로 현대인의 풍요로운 일상생활과 산업발달에 큰 공헌을 해왔다. 하지만, 대량으로 발생하는 플라스틱 폐기물의 소각이나 매립에 따른 환경호르몬 누출, 맹독성의 다이옥신 검출, 폐기물의 불완전 연소에 의한 대기오염 발생 등과 같은 심각한 환경오염의 원인으로 대두되고 있다. 이러한 플라스틱 폐기물의 문제를 해결하기 위하여, 바이오 플라스틱에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 바이오 플라스틱의 실용화 및 의무화의 압력이 거세지고 있다[1-4].

국제적으로 독일, 이탈리아, 미국 등 선진 각국에서는 쇼핑백 및 플라스틱 병의 분해성 수치 사용을 의무화하는 추세이며, 이에 생분해 플라스틱(biodegradable plastics), 산화생분해 플라스틱(oxo-biodegradable plastics), 바이오 베이스 플라스틱(bio-based plastics) 등 바이오 플라스틱 등의 실용화가 활발히 추진되고 있다[3-6]. 세계 각국은 앞 다투어 환경규제를 강화하고 있고, 우리 정부도 기존의 일반 난분해 플라스틱 제품에 부과되는 폐기물 부담금을 인상하는 정책을 마련하고 있다. 이에 따라 국내 플라스틱 산업이 많은 어려움에 직면할 것으로 예상되며, 이러한 환경 규제는 기존의 플라스틱 산업의 성장에 걸림돌로 작용할 것으로 보인다[7].

국내 플라스틱 산업은 이러한 외부의 한계점을 극복하고, 새로운 시장을 창출하기 위하여 바이오 플라스틱에 대한 새로운 규제 및 사업화 준비가 필요할 것으로 판단된다. 국제적인 경쟁이 치열하지만, 생분해성 이외에도 휘발성 유기화합물 저감, 4대 중금속 저감, 환경호르몬 저감, 탄소 저감 등 인체에 무해한 추가 기능성을 부여한 기술 및 제품 개발, 상용화 추진, 원가절감 등을 통하여 새로운 도약의 기회로 모색할 수 있다[4,5]. 또한, 국내 고분자 플라스틱의 산업발전 및 환경부하 저감을 위하여, 바이오 플라스틱을 사용한 만큼 폐기물 부담금을 감해주는 법안 제정이 시급한 실정이다. 우리나라는 생분해 등 바이오 플라스틱의 실용화가 미미한 편이었지만, 2001년 쓰레기 종량제 봉투에 생분해 소재를 30% 이상 의무 사용하기 위한 환경부 지침이 개정되었으며, 각 시, 군, 구 자치단체의 조례 개정작업이 완료되어, 우리나라도 생분해 플라스틱 시장이 급속하게 성장할 것으로 예상하였다. 그러나 생분해 플라스틱이 가진 물성 및 원가의 한계점들로 인해서 현재는 거의 사용되지 않고 있는 실정으로 다른 대안이 필요하게 되었다[4-6].

그 대안으로서, 기존 제품의 물성 개량 및 경제성 등을 고려한 산화생분해 플라스틱과 바이오 베이스 플라스틱의 개발 및 상업화 연구가 활발하다. 최근 바이오 플라스틱과 관련한 지식재산권을 선점하기 위한 국내의 특허 출원이 급증하는 추세이며, 특히 중소기업 위주로 특허, 기술 개발, 상업화가 재편되어 가고 있는 실정이다. 특허청에 의하면 “선진국에서는 이미 바이오 플라스틱 사용을 의무화하는 등 실용화가 상당한 수준에 있으나 우리나라는 미미해, 이에 대한 대책이 필요하다”며, 햇빛과 미생물에 의해 분해되는 정도를 조절할 수

있는 신개념 분해성 제품이 개발되고 있다[8,9].

전 세계 각국에서 인체에 무해하고, 재활용이 용이하면서도, 가격경쟁력을 유지하고, 또한 기존 플라스틱의 물성을 유지하는 원료 및 제품 개발에 박차를 가하고 있다. 실제적으로 업계 및 학계에서는 기존 생분해 제품의 단점을 보완하기 위한 블렌딩(blending) 및 컴파운딩(compounding) 기술이 개발되고 있으며, 이를 상용화하는 업체들이 계속 출현하고 있다. 또한, 이산화탄소 저감 및 자연계에서 분해되어 환경 부하가 적은 대체품 연구 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 그러한 연구결과로 상당수의 생분해 플라스틱, 산화생분해 플라스틱, 탄소저감형 바이오 베이스 플라스틱 등 친환경 고분자 물질이 출시되었고, 이중 일부는 실용화 단계까지 도달하여 있다.

이에, 본 고에서는 바이오 플라스틱의 현주소를 알아보고 미래를 준비하기 위하여, 바이오 플라스틱과 관련한 생분해 플라스틱, 산화생분해 플라스틱, 바이오 베이스 플라스틱을 중심으로 최근의 연구개발, 제품화 및 시장동향에 대해서 정리 하였다.

2. 바이오 플라스틱의 정의 및 종류별 특징

2.1. 바이오매스 정의

바이오매스(biomass)는 생명체(bio)와 덩어리(mass)를 결합시킨 용어로 “양적 생물자원”이란 개념을 말하는데, 일반적으로 대기중의 이산화탄소가 광합성에 의해 고정된 사탕수수, 옥수수, 임산물 등 식물자원, 미생물 대사산물, 클로렐라(chlorella), 스피룰리나(spirulina) 등 미생물 및 해조류를 총칭한다. 사전적 의미는 식물이나 미생물 등을 에너지원으로 이용하는 생물체를 말하며, 지구상에서 1년간 생산되는 바이오매스는 석유의 전체 매장량과 비슷한 수준이므로, 적정하게 이용하면 고갈될 염려가 없어 무한자원으로 분류되기도 한다. 그러나 포괄적 의미로는 에너지 전용의 작물과 나무, 농산품과 사료작물, 농작 폐기물과 찌꺼기, 임산 폐기물과 부스러기, 수초, 동물의 배설물, 도시 쓰레기, 그리고 여타의 폐기물에서 추출된 재생 가능한 유기 물질을 통틀어 말하기도 한다[10,11].

2.2. 바이오매스 원천

일반적으로 바이오매스는 대기중의 탄소가 광합성에 의해 고정된 식물자원 및 미생물 대사산물 등을 의미하지만, 산업용 플라스틱 원료차원에서는 기존의 생분해 플라스틱을 바이오매스 원천의 범주에 포함시키고 있다(Table 1). 바이오매스의 원천인 초본 에너지 작물은 다 자라는데 2~3년이 소요되고 매년 수확이 가능한 작물로서, 스위치그래스(switchgrass), 대나무, 사탕수수, 벼과의 툴페스큐(tall fescue), 개밀 등이 있으며, 짧은 주기의 목본 작물로는 5~8년이면 수확할 수 있는 속성의 활엽수로서 잡종 포플러, 잡종 버드나무, 은단풍 미루나무, 녹색 물푸레나무, 검정호두나무, 풍나무, 시카모어(플라타너스) 등이 있다. 산업작물은 특정 산업의 화학물질을 생산하기 위해 개발 조성되는 작물을 말하는데, 섬유질 추출용

Table 1. Types of biomass

Division	Land plant		Marine plant
	Grain group	Woody group	
Name of biomass	Switch grass, sorghum, corn, soybeans, etc.	Poplar, willow, maple, walnut wood, weathered wood, Sycamore, etc	Large algae, seaweed, marine bacteria, etc
Harvest time	1-2 times / year	1 time / 8 years	4-6 times / year
Yield (ton/ha)	180	9	565
CO ₂ fixation ability (ton/ha)	5-10	4.6	36.7
Application process	Easy	Complex (including lignin removal process)	Easy
Weakness	Food security	Forest damage	Water removal process
Growth environment	Sunlight, water, land, CO ₂ , nutrients	Sunlight, water, land, CO ₂ , nutrients	Sunlight, water, CO ₂
Climate-dependent	High	High	Very low

케나프(kenaf)와 짚류, 리시놀산(ricinoleic acid) 추출용 피마자 등이 있다. 농작물로는 대개 당류, 기름, 그리고 플라스틱이나 다른 화학물질들을 만드는데 사용될 수 있는 여러 추출물 등을 산출하는 것으로, 현행 유통중인 생산품과 미래에 새롭게 개발될 상품의 성분을 포함하는 작물로 옥수수 전분, 옥수수유, 대두유, 대두가루, 밀전분, 기타 식물유 등을 말한다. 수중 바이오매스 자원으로는 조류, 대형 해조류, 그 외 해초와 해양 미생물 등이 있다. 추수되지 않거나 상업적인 유통과 거리가 먼 줄기나 이파리를 농업 작물찌꺼기로 분류할 수 있는데, 옥수수대(줄기, 이파리, 껍질, 알맹이), 밀짚, 벼짚 등이 있다. 임업 폐기물로는 미리 숙아내고 죽은 나무를 제거하는 등의 수림 관리 작업에 의해 만들어지는 것뿐만 아니라 상업용의 침엽수, 활엽수 중 벌채되지 않았거나 벌목장에서 제외된 수림이 포함된다. 도시 쓰레기로는 주거, 상업, 산업용의 이미 소비된 쓰레기로서 폐지, 판지, 폐가구, 작업장 쓰레기, 플라스틱 폐기물 등이 있다. 또한 바이오매스 가공 과정에 걸처서 생겨나는 바이오매스 공정 폐기물로 총칭되는 부산물과 폐수가 있다. 예를 들면 제표이나 종이를 만들려는 목재 처리 과정에서 생겨나는 톱밥, 나무껍질, 가지, 이파리의 집적 등이 있다. 마지막으로 농장이나 육류 가공 작업에서 생겨나는 쓰레기, 에너지를 포함한 여러 제품을 만드는데 사용될 수 있는 것들이 있다.

최근에는 무한자원에 속하는 1년생 작물, 해조류, 산업 폐기물을 사용하는 경우가 많고, 식용자원인 전분을 사용하는 것보다 비 식용계 유기성 폐자원을 이용한 연구개발이 매우 활발하다.

2.3. 바이오 플라스틱의 정의

바이오 플라스틱이란 바이오매스와 같은 생물자원을 이용하여 제조된 바이오 기반 고분자를 의미하며, 친환경 플라스틱, 그린 플라스틱, 환경 배려 플라스틱 등으로 불리고 있다. 바이오 플라스틱은 바이오매스 기반의 플라스틱 전체를 의미하므로, 여기에는 생분해성이 아닌 플라스틱들이 포함되어 있으며, 지구 온난화와 밀접한 관계가 있다. 지구 온난화의

주요인이 이산화탄소로 인식되면서 석유기반 고분자 플라스틱을 대체할 수 있는 새로운 친환경 소재가 필요하게 되었고, 탄소 중립(carbon neutral)이라는 개념이 등장하면서 바이오매스 기반 고분자가 바이오 플라스틱이란 이름으로 사용되게 되었다.

탄소 중립이란 개념은 성장기에 물, 이산화탄소, 태양광을 이용하여 엽록체에서 광합성작용을 통해 이산화탄소를 소비하고, 폐기되어 자연에서 분해될 때 성장기에 흡수한 정도의 이산화탄소만을 발생시켜 지구상의 이산화탄소 총량을 증가시키지 않는 개념이다. 최근에는 바이오 플라스틱을 탄소중립형 식물유래자원(biomass) 등 재생 가능한 물질을 포함하는 원료를 이용하여 화학적 또는 생물학적 공정을 거쳐 생산된 고분자를 지칭하는데, 좀 더 확대된 개념에서는 “석유 기반 생분해 고분자를 포함한 바이오매스 유래 고분자의 총칭”으로 사용되고 있다.

2.4. 바이오 플라스틱의 종류

바이오 플라스틱이란 탄소저감 및 인체무해 고분자를 지칭하는데, 일부에서는 분해성 플라스틱을 포함시키기도 한다. 분해성 플라스틱은 생분해성, 산화생분해성, 산화분해성, 광분해성, 붕괴성을 총칭하는 개념이다. 성형품, 포장재, 위생용품, 산업용품, 농업용품 등으로 사용한 플라스틱을 폐기시에 소각처리 하지 않고 단순히 매립함으로 위의 범주에서 한 가지 이상의 분해 기작에 의해서 수개월 내지 수 년 이내에 물, 이산화탄소, 메탄가스 등으로 완전 분해되는 플라스틱을 말한다. 그러나 붕괴성의 경우는 분해되는 200~300년 소요되는 기존 난분해성 플라스틱보다는 분해가 빠르지만, 자연계에서 분해되는 기간이 50~100년 정도 소요되어 친환경 플라스틱이라고 하기에는 어렵다. 또한 바이오 베이스 플라스틱은 분해성 플라스틱 범주라기보다는 탄소저감에 초점이 맞춰져 있어 분해성 플라스틱의 범주에 포함시키지 않는 경우가 많다.

분해성 플라스틱은 사용 중에는 일반 플라스틱과 유사한 기능(강도, 내수성, 성형가공성, 내열성 등)을 갖는다. 자연계에서 화학반응 및 미생물의 활동에 의하여 고분자 화합물이

절단되고 저분자 화합물로 변화하는 과정을 통하여 최종적으로는 물과 이산화탄소 등으로 분해되는 플라스틱을 말한다. 이중 바이오매스를 이용한 탄소저감 및 산화생분해 개념을 포함시킨 플라스틱 대체품으로서의 바이오 플라스틱이 있다. 이러한 바이오 플라스틱의 종류를 세분화하면, 첫째로 케나프, 벚짚, 밀짚, 왕겨, 전분, 옥수수 껍질, 식물체 분말 등 식물체를 일반 플라스틱이나 생분해 플라스틱과 혼합하여 제조한 탄소 저감형 바이오 베이스 플라스틱이 있다. 둘째는 PLA (poly lactic acid), PCL (poly-caprolactone) 등 생분해 플라스틱과 일반 플라스틱을 혼합하여 제조하는 탄소 저감형 플라스틱이 있다. 셋째는 PLA, PCL, 및 기타 디올 디에시드 계열의 지방족 폴리에스테르계를 포함하는 생분해 플라스틱이 있다. 넷째는 벚짚, 밀대, 톱밥, 폐지 등을 이용하여 압축성형시킨 천연물계와 종이, 펄프 등을 이용한 셀룰로오스계(cellulose) 등이 있다. 마지막으로 탄소저감형 식물체 바이오매스, 범용 플라스틱, 생분해수지, 생분해 촉진제, 산화제, 상용화제 등을 이용하는 산화생분해 제품이 있다.

최근 주목을 받고 있는 산화생분해 제품은 PE (poly-ethylene), PP (polypropylene) 등 범용 플라스틱을 분해할 수 있는 바이오매스, 생분해 촉진제, 산화제 등을 포함하여 제조한 제품이 사용되고 있다. 식물체, 생분해성 수지 등 바이오매스를 이용한 플라스틱 대체품은 품질은 우수하지만 가격이 높은 것과, 가격은 저렴하지만 가공성, 성형성 등 품질이 낮은 것의 두 가지 중 하나에 속한다. PLA, 폴리에스테르계, 전분계, 생분해 플라스틱, 중합형 바이오 베이스 플라스틱은 전자에 속하며, 셀룰로오스계, 천연물계 플라스틱, 산화생분해 플라스틱, 결합형 바이오 베이스 플라스틱은 후자에 속한다[10-12].

바이오 베이스 플라스틱 및 산화생분해 플라스틱은 재활용이 가능할 뿐만 아니라 매립 시 분해가 가능하며, 소각 시 다이옥신 등의 유해물질 배출이 적고, 열량은 4,000~7,000 kal 로, 범용 플라스틱과 비교하면 현저히 열량이 낮아 소각로를 손상시키는 위험도 억제할 수 있다. 참고로 범용 플라스틱에

서는, 가장 연소 열량이 적은 폴리에틸렌에서도 약 11,000 kal 내외의 열량을 발생한다.

2.5. 바이오 플라스틱의 종류별 특징

바이오 플라스틱 종류에 따라 바이오매스의 함량, 사용 원료 및 종류, 주요 특징, 분해기작, 분해기간, 기존 난분해 고분자의 사용여부를 Table 2에 나타냈다[4,7,12,13].

2.5.1. 생분해 플라스틱

생분해 플라스틱은 바이오매스로부터 전처리, 당화과정을 거쳐 당을 제조하고, 이를 발효과정을 통해 산업상 용이한 고분자 단량체(monomer)를 생산하고, 이 단량체를 중합하거나 석유화학 유래물질을 이용하여 제조하는 두 종류가 있다. 현재 대표적인 생분해 플라스틱인 PLA는 전분을 발효시켜 젖산(lactic acid)을 만들고, 그 젖산을 중합하여 제조하고 있다. 천연 고분자를 원료로 하는 cellulose, hemicellulose, pectin, 및 lignin 류와 저장 탄수화물인 전분 등 식물에서 유래하는 것으로 PLA, TPS (thermo plastic starch) 등과 새우, 게 등의 껍질을 포함한 chitin질을 기초로 한 동물 유래의 것들이 있으며, 미생물 생산 고분자(microbial biopolymer)에는 PHA (poly hydroxyalkanoate), PHB (poly-β-hydroxybutyrate), PHV (poly-β-hydroxyvalerate), 이들의 공중합체인 PHB/PHV 등의 poly-alkanoates가 있다. 또한 단량체를 화학 합성하여 얻는 생분해 플라스틱에는 지방족 폴리에스테르, PCL, PGA (poly glycolic acid) 등이 있으며, 이는 미생물 생산 고분자보다 생산이 비교적 수월하고 기존 플라스틱과 물성 및 응용분야가 유사하므로 개발 시 시장진입의 용이성을 가지고 있어 상업화 가능성이 다른 생분해 플라스틱보다 높은 편이다. 바이오매스 유래 단량체 중합형 플라스틱은 석유계 플라스틱과 생산공정이 유사하여 기존 플라스틱 생산기술을 활용할 수 있으므로 많은 석유화학기업 및 바이오 관련 기업에서 연구개발이 활발히 진행되고 있다[7].

Table 2. Compare features for each type of bio plastics

Division	Bio plastics				
	Biodegradable plastics		Oxo-Biodegradable plastics	Bio based plastics	
	Natural systems	Petroleum base		Combined	Polymerized
Biomass content	More than 50-70%	-	-	More than 20-25%	
Materials	Natural, microbial	Petroleum polymerization	Article biodegradable oxidation, biomass, plants, etc.	Natural-polymer conjugates	Natural-monomer polymerization
Variety	PLA, TPS, PHA, AP, CA etc.	PBS, PES, PVA, PCL, PBAT etc.	Oxo-PE, Oxo-PP, etc.	Bio-PE, Bio-PP, Bio-PET, etc.	
Feature	Biodegradability, expensive, poor physical properties		Adjustable period of biodegradation, oxidative degradation	CO ₂ -reduction, physical properties, waterresistance	
Degradation mechanisms	Microbial degradation		Microbial degradation following oxidative degradation	-	
Universal Plastic	Not use		Use	Use	
Biodegradation period	6 months or less Within 6 months 90% or 45 days 60%		36 months or less Within 6 months 60%	-	

2.5.2. 산화생분해 플라스틱

산화생분해 플라스틱은 고가인 기존 생분해 제품의 응용성 및 생산성 저하 문제, 광분해 제품의 최종 생분해가 어려운 점 등의 단점을 보완할 수 있고, 기존의 양산설비를 그대로 사용하여 설비에 대한 부담이 적은 장점 등의 이유로 최근 전 세계적으로 기술 개발이 활발하게 진행되고 있다.

산화생분해 플라스틱은 기존 범용 플라스틱에 바이오매스, 산화생분해제, 상용화제, 생분해 촉진제, 자동산화제 등을 첨가하여 제품을 제조한다. 산화생분해 플라스틱은 열, 빛, 미생물, 효소, 화학 반응 등의 복합적 작용에 분해가 촉진된다. 산화생분해 플라스틱은 기존 생분괴성, 생/광분해, 화학분해 등을 포함하는 개념으로, 기존 생분괴성, 생광분해의 단점으로 지적된 완전 분해까지 분해기간을 1~5년으로 단축하기 위해 최근 분해 촉진제를 사용하며, 최종 생분해 기간 제어가 가능한 신개념 분해성 플라스틱이다. 현재 그 물성, 원가, 분해 기간 조절의 장점 등이 부각되어 연구 개발 및 제품화가 활발하다[7].

산화생분해 관련 규격기준인 ASTM D 6954에서 산화생분해의 정의 및 시험방법 등이 규정되었으나 최종 생분해 기간이 명시되지 않아 그 기준이 애매한 측면이 있어 국제적으로 인정을 받지 못하고 있었다. 그러나 최근 아랍에미레이트(UAE)에서 산화생분해 관련 규격기준인 UAE Standard 5009:2009를 제정하였고, 2014년 1월 1일부터 난분해 플라스틱 포장재에 대한 규제를 전면 시행하여 산화생분해 포장재 및 제품만 UAE 역내 수입을 허용하면서 다시 산화생분해 플라스틱의 수요가 폭발적으로 늘고 있다. 또한 UAE 법안 발효 이후 프랑스, 이탈리아, 미국, 스웨덴, 파키스탄, 인도 등에서도 산화생분해 플라스틱 포장재 사용에 대한 법령을 제정 중이다. 최근 뉴욕에서는 2015년 1월 1일부터 강력규제를 시작하였고, 6개월 유예기간을 주고 2015년 7월 1일부터 친환경 플라스틱 이외에 사용하는 위반업소에는 막대한 벌금을 부과할 계획이다[7,12].

2.5.3. 바이오 베이스 플라스틱

최근 산업화가 급속히 진행되고 있는 바이오 베이스 플라스틱은 바이오매스와 기존 난분해성 플라스틱을 중합하거나 가교 결합하는 방식으로 제품을 생산한다. 바이오 베이스 플라스틱은 분해성에 초점을 두지 않고 탄소중립형 바이오매스를 일부 적용하여 이산화탄소 저감을 통한 지구온난화 방지를 강조하고 있다. 바이오 베이스 플라스틱은 페트병에서 자동차 분야까지 그 적용 범위가 확장되고 있고, 식량자원의 사용에 대한 문제점을 해결하기 위해 셀룰로오스, 벚짚, 왕겨, 옥수수대, 대두박, 옥수수 껍질, 사탕수수, 팜부산물 등 풍부한 비식량계 부산물 자원을 바이오 플라스틱 원료 소재로 사용하고 있으므로, 산업용품, 자동차, 건축, 토목, 매립형 제품, 포장재, 농원에 등의 다양한 분야까지 적용이 되고 있다[7].

3. 바이오 플라스틱 연구개발 동향

3.1. 바이오 플라스틱 연구개발 배경

기존 생분해 플라스틱의 한계점으로 지적되어 온 인장강도, 신장률 등의 낮은 물리적 특성 및 가공성이 취약한 점, 유통기간 중 생분해 방지를 위한 최종 생분해 기간의 연장 필요성, 기존 제품 대체 및 응용분야 확대 지연, 범용 플라스틱 대비하여 지나치게 높은 가격, 재활용의 어려움 등이 문제시되었으나, 이 같은 문제를 보완한 제품들이 최근 몇 년 전부터는 출시되고 있다. 또한 바이오 플라스틱의 산업적 활용 분야에는 기존 난분해 플라스틱에 바이오매스, 산화생분해제 등을 첨가하여 가공성, 내충격성 등의 물성을 개량한 제품들이 속속 출시되고 있다. 이러한 제품들은 기존 플라스틱의 물성, 가공성, 경제성 측면에서 매우 우수한 장점이 있다.

관련 업계에 따르면 최근 들어 국내외에서 옥수수 프린터, 옥수수 휴대폰, 플랜트 바틀(bottle), 자동차 분야의 바이오카 등, 바이오매스와 범용 플라스틱을 이용해 만든 바이오 베이스 플라스틱 제품이 속속 등장하고 있다. 바이오매스를 이용해 만든 바이오 플라스틱은 최근 대표적인 친환경 소재로 꼽히고 있다. 이산화탄소를 배출하는 석유계 플라스틱을 전부 또는 일부 대체하여 이산화탄소 발생량을 저감시켜 주기 때문이다. 이에 따라 앞으로 가격과 강도 같은 문제를 해결하고, 또한 전분 등 식량자원의 사용을 자제하고 농업부산물, 식품공장 등의 산업부산물, 도시 쓰레기 등 비식량계 유기성 폐자원을 활용한 바이오 플라스틱이 미래형 소재로 각광을 받을 것으로 예상된다[4,8,9].

3.2. 국내 바이오 플라스틱 연구개발 동향

우리나라의 바이오 플라스틱 기술에 대한 연구는 선진국 수준에는 현저히 못 미치는 것으로 평가되어, 원천 기술개발의 저변 확대가 필요하다. 또한 우리나라의 생분해성 제품 관련 규격기준은 표준물질 대비 90%로, 미국과 일본의 60%에 비해 지나치게 엄격하여 생분해 원천기술을 확보가 미흡한 국내 기업은 대부분 채산성이 맞지 않아 사업을 중단하고 있는 실정이다. 이에 따라 국내 규격 기준을 완화하여, 생분해성 물질을 30% 첨가한 생분괴성 플라스틱 규격 기준을 마련하고, 이를 종량제 봉투에 적용하였으나 인장, 신장 등 물성이 약하고, 생산성이 부족하여 현재는 사업화되지 않고 있다.

바이오 플라스틱의 기술 개발 및 실용화를 위해 초창기 국내에서는 SKC, 대상, SK케미칼, 롯데케미칼(이전 호남석유화학), 한화, 이레화학, 새한 등이 참여하여 왔다. 최근에는 기존 대기업 및 참여업체 등이 협소한 시장규모, 해외에 비하여 너무 높은 생분해 제품 관련 환경마크 인증규격 문제, 바이오매스 제품 원천기술 개발 미흡 등으로 인한 사업 보류, 중단, 인수/합병 등에 의해 많이 정비가 되어 가고 있는 현상이 눈에 띈다.

현재 바이오 플라스틱 제품을 취급하고 있는 업체는 기술력 기반의 전문업체가 주를 이루고 있다. 전분 발포, 생분해, 산화생분해, 바이오 베이스 플라스틱 원료 및 제품을 제조 판매하는 (주)바이오소재, 에코젠이란 상품명으로 제품을 출시한 SK케미칼, 이산화탄소 폴리머를 추진하고 있는 SK이노베이션, 탄소저감 및 인체 무해성 자동차 내장품을 개발하는 SH

글로벌, PLA 필름을 생산하는 SKC, 호남석유화학과 케이피 케미칼을 합병한 롯데케미칼, 웅진케미칼을 합병한 도레이케미칼, 기타 바이오 소재 원료를 사용하여 친환경 완제품을 제조하는 제영산업, 콘프라테크, 포텍, 앤투엔, 에이유, 에코마스터, 세화피앤씨, 태승테크, 대원포장산업, 일신웰스, 비에스지, 유원컴텍, 뉴랩, 네고팩 등이 있다[5,9,12].

현재 국내 기업들은 다른 외국에 비해 상대적으로 우위에 있는 수지의 가공 및 성형기술을 활용하여, 신소재 개발보다 실제 제품화 위주로 전환되어 가고 있는 새로운 국면에 접어들고 있다. 실제 바이오 플라스틱의 상용화 제품, 기존 플라스틱의 대체 제품, 화석연료 사용 절감을 위한 대체 제품 등이 속속 출시되고 있다. 이러한 추세에 맞춰 최근의 연구 중심은 감량화, 재활용 용이, 탄소저감 그리고 산화생분해 등으로 기울고 있는 추세로 생각된다.

3.2. 해외 바이오 플라스틱 연구개발 동향

미국, 일본을 비롯한 유럽의 선진국에서는 바이오베이스 플라스틱 소재 개발을 위주로 하여 사업화를 추진하고 있다. 쇼핑백, 쓰레기 봉투, 진공성형 제품, 사출품, 농업용 멀칭 필름, 완충재, 다층 필름, 기능성 필름 등의 다양한 용도의 바이오 플라스틱 관련 제품 실용화 개발 및 판매가 이루어지고 있다. 미국의 MRI, 스위스의 시바 스페셜티 케미칼스 홀딩 Inc., 일본 KONICA Corp., 일본 다이셀 화학공업, 캐나다 EPI, 영국 Wells, 미국 EPI-Global, 영국 Symphony, 스웨덴 ADD-X Biotech, 싱가포르 Winrigo 등이 산화생분해성 기능을 추가한 고분자 개발 완료 및 추가 개발에 전력을 다하고 있으며, 영국 등 유럽에서는 판매가 활발하다. 기존 폴리올레핀계 열가소성 플라스틱의 자연환경에서 완전분해(물, 이산화탄소 및 바이오매스로 분해)에 관련한 연구는 G. scott, Albertsson, Kostyniak 교수 등에 의해 정립되어 있고, 이후 활발한 연구가 이루어지고 있다[14,15].

바이오 플라스틱 기술과 더불어 유망한 패키징 분야의 한 부분인 감량화는 PET (polyethylene terephthalate) 용기를 중심으로 진행되고 있다. 음료용기 제조 분야에서 경쟁력을 가지고 있는 일본은 감량화 기술의 상용화에 근접하고 있다.

4. 바이오 플라스틱의 제품화 동향

현재 상업적으로 생산 판매되고 있어 실용화 되고 있는 바이오 플라스틱 소재 중 생분해 플라스틱은 PCL, PLA, PBTA (poly butylene adipate terephthalate), TPA (terephthalic acid), PVA (polyvinyl alcohol), PES (poly ethylene succinate), PHA, PHB, PBS (poly butylene succinate) 등과 지방족 폴리에스테르 및 전분과 지방족 폴리에스테르를 혼합 사용한 것이다. 또한 플라스틱 대체용 제품으로 벚짚, 목분, 톱밥 등 유기성 폐자원류와 종이, 펄프류 등 천연계 고분자를 원료로 이용하여 제품화를 한 것도 있다. 천연계 고분자 중에서도 전분이 생분해성 플라스틱 원료로 가장 선호되고 있고, 실제로 전분을 원

료로 한 바이오 플라스틱이 포장 용도로서 현재 가장 많이 실용화되고 있는 추세이다.

다만, 생분해 플라스틱은 단점으로 지적되고 있는 너무 짧은 분해기간, 약한 물성, 내열성 및 내한성, 가격경쟁력, 고분자간 상용성 부족에 따른 재활용이 안 되는 문제 등의 일부 한계성 때문에 유통기한이 짧거나 수분, 미생물 등에 접촉시간이 길지 않은 분야에 국한되어 사용되고 있는 실정이다[9].

이러한 생분해 플라스틱의 단점을 보완한 바이오매스 20~40%와 플라스틱 60~80%를 혼합 사용한 바이오 베이스 플라스틱과 산화생분해제, 상용화제, 산화제 등을 이용한 산화생분해 플라스틱이 지속적으로 출시되고 있다.

현재까지 폴리프로필렌, 폴리에틸렌 등 분자량이 큰 폴리올레핀계 고분자가 수개월 이내에 생분해가 된다는 보고는 없으나, 수년 이내에 생분해가 된다는 보고가 있다. 현재 수개월 내에 생분해되는 폴리에틸렌계 고분자는 PES, PVA가 있으며, 또한 일반 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등 폴리올레핀계 고분자의 생분해 기간을 단축하기 위한 연구 개발이 매우 활발한 실정이다.

바이오매스를 25% 이상 함유한 바이오 베이스 플라스틱은 석유계 플라스틱에 비해 내충격성, 내열성, 성형성 등 물성이 뒤져, 과거에는 식품용기나 포장재 등 몇몇 제품에만 제한적으로 사용되고 있었으나, 연구가 거듭되어 점차로 물성이 개량됨에 따라 자동차, 건축 내장재, 포장재, 식품용기, 생활용품, 사무기기 등에 사용되고 있는 기존의 석유계 플라스틱을 빠른 속도로 대체해 나가고 있다. 특히 단기간 내에 분해가 되지 않아야 하는 산업용 패키징 분야, 미생물 효소 등이 살아 있어 유통 중 식품 포장재의 내구성에 영향을 미칠 가능성이 있는 발효식품 분야, 제품의 내구성이 약화되지 않아야 되는 산업용품 분야, 건축내장재, 필름 등 강도가 강해야 되는 분야 및 농원에 분야를 중심으로 적용이 확대되고 있는 실정이다. 특히 기존에는 전분 가소화 기술만이 있었으나, 현재는 식물체 셀룰로오스를 가소화시킴으로써 물성을 보완하고, 식물체 사용량을 대폭 증가시키는 기술이 개발되어 제품에 적용되는 단계까지 기술이 발전하고 있어 더욱 산업화가 가속될 것으로 전망되고 있다. 현재 상용화 및 개발 진행중인 일부 바이오 플라스틱의 예시는 Figure 1과 같다.



Figure 1. Various products from bio plastics[17].

4.1. 식품관련 포장재 분야

가장 많이 쓰이는 것은 옥수수 및 옥수수 추출물로 만든 바이오 플라스틱이며, 생분해가 용이하여 친환경 소재로 주목받고 있다. 또한 식량자원 사용자제 차원에서 산업용, 농업용을 중심으로 연중 원료 조달이 용이한 왕겨, 목분, 옥피, 두부박, 소맥피, 대두피, 식품공장 부산물 등 비 식용계 유기성 폐자원이 각광받고 있다. 최근에는 물성 보완, 최종 생분해 기간 연장, 가격경쟁력 문제로 산화생분해 및 바이오 베이스 플라스틱으로 일부 대체되고 있다[16].

에로헤드사는 스위스 네슬레 계열사인 미국의 유명한 환경친화기업으로 기존 제품에 비해 플라스틱을 30% 적게 사용한 생수병을 사용한다.

일본에서 시작된 Plant Bottle은 2009년 5월 첫 판매가 된 미네랄워터의 경우, 정작 내용물보다는 이를 담은 페트병이 더욱 화제가 되었다. 페트병 제조사는 환경기능을 강화하여 친환경 제품임을 표방한 해당 제품은 기존 PET 원료에 사탕수수에서 추출한 바이오 에탄올을 일부 적용하여 페트병을 만들었다. 제조사의 설명에 따르면 식물 유래 페트병을 사용했을 경우, “연간 석유 사용량을 2,045 kL 감소시킬 수 있기 때문에 환경에 도움이 된다.”라고 한다.

하지만 아직 바이오매스 소재는 내구성 등이 검증되지 않아 제한적으로 사용되고 있는 상황이며, 이에 따라 개별 기업들은 적용 범위를 넓히기 위해 관련 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

브라질의 브라스켄은 Bio-PE, Bio-PP 등 대량생산 설비를 구축하여 가장 활발하게 사업화 되고 있고, 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. ‘플랜트 보틀’은 현재 30%의 바이오 플라스틱 수지를 혼합한 PET병이다. ‘플랜트 보틀’은 바이오매스 유래 원료인 MEG (mono-ethylene glycol) 30%와 PTA (purified terephthalic acid)가 70%로 혼합된 병으로 대표적인 바이오 베이스 플라스틱이다.

(주)이토엔과 제이필름(주)가 공동 개발한 차 음료 잔여물인 차 찌꺼기를 필름에 적용한 향균 소취 효과를 가진 차들이 필름을 기능성 필름을 제조하였다. 차들이 필름은 플라스틱 사용량을 2.5~10%를 줄일 수 있어 석유계 원료의 대체로 인한 플라스틱 사용 절감 효과도 있다.

SK케미칼은 바이오플라스틱 ‘에코젠(Ecozen)’을 적용해 개발한 에듀케이션아이코퍼레이션의 유아용 식기 ‘마더스콘 스마트에코테이너’를 출시하였고 출시 후 2년 동안 관련 제품의 매출액이 10배 이상 증가하는 효과를 보였다.

CJ제일제당, 유한양행, 한살림, 월마트, 현대카드, 중외제약, 아모레퍼시픽, 나들가게, 미니스탑, 스타벅스, 동화약품, 유한양행, 국립박물관 등은 전분, 산화제, 산화생분해 첨가제 등을 이용하여 제조한 바이오 베이스 봉투 또는 산화생분해 비닐봉투를 사용하고 있다.

멀칭필름 등 농업 분야에서는 작물이 생육중에 분해가 되

지 않고 잡초방제, 보온, 보습효과가 지속되는 산화생분해 필름 적용이 멀지 않았고, 작물 생육 시 지지대 도움 역할을 하는 농업용 바인더 테이프는 국내 적용은 물론 해외에도 수출을 하고 있다. 식품 포장용기 특히 김치, 유제품, 젓갈, 고추장, 된장 등의 발효식품 포장재는 제품 유통 중에 식품내의 미생물, 효소 등에 의해 포장재가 분해되는 문제점이 있어, 분해기간이 2~5년 정도 유지되는 친환경 유사생체막 포장용기를 적용하고 있다. 대부분 반투명 제품이 주종을 이루었으나, 최근 투명 산화생분해 제품이 개발되어 다양한 분야에 적용되어 상품화 되고 있다.

4.2. 전자제품, 휴대폰 등

한국후지제록스의 옥수수 프린터 “다큐 프린트 C2255”에는 천연 식물성 팜유 성분으로 구성된 크레용과 유사한 형태의 네 가지 컬러 스틱이 순간적으로 녹아 용지에 출력되는 솔리드 프린팅 기술도 적용되었다. 또한 바이오 베이스 플라스틱을 복합기 내부의 드럼 카트리지 커버에 사용하여, 생성부터 폐기까지 발생하는 이산화탄소 배출량을 기존 플라스틱 제품 대비 16% 가량 줄였다.

삼성전자의 “친환경 에코폰(SCH-W510)”은 휴대폰 배터리 커버 등에 옥수수 전분을 발효해 만들어진 바이오 플라스틱을 40% 함유한 친환경 소재를 사용하여 국내 휴대폰 최초로 환경오염물질 발생 저감으로 친환경상품진흥원이 환경마크도 획득하였다. 특히, 휴대폰 패키지 제작에도 친환경적 요소를 적용, 분리 수거한 종이를 해리하여 펄프와 섞어 만든 재생용지인 크라프트 용지를 사용했다.

또한 삼성전자는 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 미국 대두협회 친환경 인증을 취득한 식물성 콩기름 잉크를 사용하고 있다. 이를 통해 삼성전자는 휘발성 유기 화합물에 의한 환경오염을 줄이고 연간 온실가스 686톤을 절감해 연간 약 24만여 그루의 나무를 심는 효과를 거둘 것으로 기대하고 있다.

NTT 도코모는 케나프 섬유 강화 바이오 플라스틱을 사용한 FOMA 단말기 “N701i ECO”를 개발했다고 발표하였다. 이 친환경 휴대폰의 본체는 케나프 섬유로 강화한 PLA로 내열성이나 강도가 우수하다. 동 플라스틱을 사용한 “N701i ECO”의 식물 성분 비율은 90%로 높은 수치를 달성하였고, 제조 과정에서 기존의 ABS 수지와 비교해 이산화탄소 배출량을 반으로 줄이는 등 전 과정에서 환경보호를 표방하고 있다. 모토로라 또한 PC (polycarbonate) 소재에 10~20% 전분 사용하여 제조한 친환경 휴대폰을 출시하고 있다.

그 외에도 적용된 제품을 살펴보면, 소니는 컴퓨터 케이스 중량의 70%를 식물유래 소재로 대체하였으며, 후지쓰는 노트북에 10~20%의 전분을 사용하였다.

4.3. 산업용 포장재 분야

일본 ‘Victor Creative Media’사는 비식용 쌀 10% 및 플라스

틱을 원료로 하여 제조한 한 CD 및 DVD 케이스를 제조하고 있다. 이러한 종류의 바이오 플라스틱은 이전 종이부채 손잡이 나 벤치 의자를 만드는데 사용된 적이 있으나, 이번에 새로운 용도에 적용을 하였다. 현재, 단위 케이스당 생산비용은 기존 석유 유래 플라스틱으로 제작된 CD 및 DVD 케이스 가격보다 3~5엔이 높다고 한다. 회사 관계자는 쌀이 재배될 때, 벼가 이산화탄소를 흡수하기 때문에, 쌀이 소각될 때 발생하는 이산화탄소는 대기 중 이산화탄소 총량 관점에서 증가하거나, 감소하지 않는 탄소 중립이기 때문에 비식용 쌀이 사용된 만큼 이산화탄소가 저감된다고 강조한다.

미국 캘리포니아의 ‘바이오솔라(BioSolar)’사는 솔라 모듈을 제작하면서 석유로 만든 플라스틱을 사용해왔다. 그러나 원유가격이 치솟으면서, 아주까리씨(castor bean)로 만든 바이오 베이스 플라스틱을 사용하기 시작했다.

향수를 판매하는 ‘센티벤트(Scent-Events)’사는 바이오 플라스틱으로 제작된 용기를 사용하면서 기업 이미지 개선은 물론 비용 절감 효과를 거두고 있는 것으로 전해졌다.

4.4. 자동차 분야

자동차업계에서도 식물 소재 플라스틱 사용에 적극적이다. 미국, 일본의 자동차 제조사는 석유 의존성 감소, 환경규제를 대비하여 바이오 플라스틱 전환 노력을 하고 있고, 하이브리드 자동차, 전기 자동차의 등장으로 내, 외장재에 석유화학 대체 제품 적용 사례가 지속적으로 증가하고 있다.

미국의 포드는 1930년대에 식물유래 플라스틱을 대시보드(dash board), 외장패널(body panel)에 적용하였고, 1941년에 콩 섬유 강화 플라스틱으로 만든 자동차 모형을 제조하였다. 그 외에 식물기반 가죽소파 덮개(leather upholstery), 압축 목재섬유로 제조된 판넬이 오랫동안 사용되어 왔으나, 그 후 2차 세계대전의 여파, 성능과 경제성 면에서 우수한 석유계 플라스틱 시장이 빠르게 성장하면서 바이오 소재는 무관심하게 되었으나, 최근 매우 빠른 속도로 활성화되는 추세이다.

2009년 12월 시장에 선보인 포드 자동차의 신형 하이브리드카의 경우, 자동차 차체 12곳에 식물 소재 플라스틱을 사용했다. 식물에서 추출한 폴리에스테르를 기존 재료에 혼합해 새롭게 만든 친환경 플라스틱을 차체 천장이나 기둥 등의 내장에 주로 사용하였다. 사용된 양은 실제 자동차 내장면적의 60%를 점유할 정도이다. 해당 신차는 차량가격이 비싸졌는데도 불구하고, 당초 판매 목표였던 월간 3,000대를 큰 폭으로 뛰어넘어, 한 달 동안 약 1만 4천대가 팔릴 정도로 큰 성공을 거두었다.

도요타는 자체 개발한 Eco-Plastic을 스페어 타이어 커버와 매트 제작에 사용함으로써 자동차 업계 최초로 2003년에 바이오 플라스틱을 차량 내에 도입하였다.

혼다는 FCX 컨셉트카에 옥수수 유래원료로 제조한 폴리에스테르 소재인 PPT (polypropylene terephthalate)와 PET 혼합물로 좌석, 팔걸이 등, 사람의 피부가 접촉하는 부위에 사용되고 있으며, 밀도가 더 높은 PTT (poly trimethylene terephthalate)의 경우 지붕, 트렁크 라이닝 등에 적용하고 있다. Mazda는 옥

수수 88%와 석유화합물 12%를 사용한 차량 내/외장용 바이오 플라스틱 부품을 개발하여 적용하고 있다. 이 제품은 생분해 플라스틱에 비해 강도는 3배, 열 저항은 25% 향상되었다고 한다. 또한 폴리프로필렌 제조과정보다 약 30% 수준의 에너지로 제조 가능하여 보다 친환경적이다.

크라이슬러는 자동차시트 및 타이어 보강재 등에 전분, 밀짚 등 바이오매스 소재를 적용한 자동차를 시판하고 있다.

2014년 출시된 BMW의 i3 전기차의 폴리프로필렌 트림 내부는 케나프 섬유로 보강이 되었다. 보이지 않는 내부에 탄소섬유로 보강된 플라스틱(carbon fiber reinforced polymer, CFRP)을 사용한 것이 아니라 눈에 보이는 직관적인 위치에 사용하여 기존의 디자인과 차별화를 두었으며, 관련 업계와 소비자에게 긍정적인 평가를 받았다. 이러한 호평에 힘입어 Ford와 협력 회사들은 자동차 앞좌석에 있는 글러브 박스에도 자연섬유를 이용하였다. 이러한 자동차 부품용 자연섬유는 독일 정부의 지원으로 셀룰로오스, 대마, 사이잘, 케나프, 아마섬유, 밀짚 등에 대한 연구로 범위가 넓어졌다. Ford는 자연섬유 공급에 대한 문제, 다년간 일련의 제조에 필요한 양의 조달 보장과 같은 문제가 있는 것을 확인하였고 이러한 문제를 해결하기 위한 연구를 계속하고 있다. 단기 및 중기적으로 볼 때, 더 많은 자동차 제조업체들이 친환경 목표를 달성하기 위한 방법으로 자연 섬유를 사용할 것으로 예측된다.

친환경 자동차 내장재 개발 및 적용이 활발한 해외와 달리 국내는 선진국 주도로 움직이는 자동차 분야에 한국에서도 2011년 (사)한국바이오소재패키지협회, SK케미칼, 에이유, SH글로벌, 바이오소재연구소가 공동연구 계약을 하고 개발에 박차를 가하고 있다[17].

4.5. 건축자재 분야

LG하우시스는 새집증후군, 아토피 등 환경질환을 예방할 수 있는 친환경 건축자재의 수요가 지속적으로 증가함에 따라, 2008년부터 신축 접착이 가장 빈번한 인테리어 제품인 바닥재를 천연소재로 대체하고자 노력해 왔다. 최근 옥수수(PLA), 천연석, 편백나무, 진황토, 구연산 등의 천연원료를 사용해 TVOC, 포름알데히드 등의 환경질환을 유발하는 유해물질이 없는, 옥수수의 학명(zea mays)에서 이름을 딴 “지아(zea)마루”가 생산 판매하고 있다. “지아마루”는 매년 재생산이 가능한 옥수수 등의 무한자원인 식물성 원료를 사용함으로써, 생산에서 폐기까지 발생하는 CO₂ 발생량을 50% 이상 감소시켜 지구 온난화 방지에 효과적이다. 또한 시공 시 발생되던 환경·품질 등의 문제점을 개선하기 위해 황토와 무기질을 혼합한 황토판을 접착제로 사용하고, 전문 시공 교육을 받은 사람만이 “지아마루”를 시공하게 하는 전문시공인증제를 도입하고 있다.

버섯 유래 소재를 만드는 Ecovative도 순조롭게 사업 중이다. New York 인근에서 8년전 두 대학생이 시작해서, 이제는 대부분의 지속가능하지 않은 소재(스티로폼)들을 옥수수 껍질 같은 농업 부산물과 균사체들로 만들어진 생분해성 소재 mycofoam으로 대체하고자 Dell, Crate and Barrel, 및 Steelcase

같은 브랜드 기업들과 협력하고 있다. 최근 회사는 합판의 대체 소재로 포름알데히드가 없는 “접착 없이 성장한(grown-not-glued)” Myco Board를 출시하며 다른 소재로 확대했다. 회사는 New York City의 박물관에 절연 소재로 약 1만개의 성장 벽돌(grown bricks)을 만들었다. 회사는 더욱 확대되기를 기대하면서 다른 사람들도 이 소재로 실험해 볼 수 있도록 “스스로 키우는(Grow It Yourself)” 키트를 내놓았다.

Dosier의 노스캐롤라이나 소재 회사 Biomason는 박테리아와 영양성분을 혼합하여 몇 일 안에 벽돌이 될 수 있도록 박테리아와 영양성분을 혼합하여 그러한 것을 해내고 있다. Dosier는 당초에는 과학과 공학에는 지식이 없었고 그녀의 빈방에서 실험을 시작했었다. 현재, 그녀의 회사는 샌프란시스코에 소규모 파일럿 설비를 건설하고 있다.

일찍부터 산업화에 적용된 탄소저감형 전자재인 WPC (wood plastic combination), 합성목재, MDF (medium density fibreboard) 등은 토목공사, 펜션 등 건물 외벽 장식, 공원, 건축 조경 분야, 산 바다 등 회수곤란지역 토목공사, 사방공사용 형틀, 토사붕괴 방지재 등에 사용되고 있다. 그러나 아직 바이오매스 소재는 내구성 등이 완전히 검증되지 않아 제한적으로 사용되고 있는 상황이다. 이에 따라 개별 기업들은 적용 범위를 넓히기 위해 관련 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 또한 일부 기업들도 상징적 기술력 확보 차원에서 바이오 플라스틱을 활용한 제품 개발을 시작한 상태이다.

4.6. 문구류, 농원예용, 비닐 필름 분야

현대카드, 중외제약, 일본 이토엔-차들이 포장 필름을 바이오 플라스틱으로 대체하였다. 월마트, 풀무원, 국순당, 유한양행, 동화약품, 국립박물관, 미니스탑, 아모레퍼시픽, 본도시락 등에서도 포장재와 용기류 등을 바이오 베이스 플라스틱으로 변경하였으며, CJ는 선물용 포장재에 미강 3%를 적용하다가 최근 대두피 등을 다량 적용하고 있다.

KGC 인삼공사는 정관장 ‘다연세트’에 PLA (Polylactide)소재로 변경했다. 토양매립 시 자연분해가 가능하고 기존 PET 대비 탄소 배출량을 50%나 경감시킨다. 또한 기존 종이박스에 PLA 필름을 합지하는 제품을 출시 준비 중이다.

KTNG는 2015년 출시한 보렘 시가 슬림 제품의 외포장 투명 필름을 KBMP 인증한 (주)바이오소재 기술을 적용한 산화분해 필름을 적용하였다.

레고는 장기적인 지속가능성 프로그램의 일부로 회사가 생산하는 플라스틱 블록에 PLA를 사용할 가능성을 모색하고 있다고 발표했다. 세계 최고의 장난감 제조업체로서 레고는 덴1마크, 멕시코, 헝가리 그리고 2017년부터 가동되는 중국에 있는 거대한 성형공장들을 위해 연간 60,000톤의 플라스틱을 소비한다. 레고의 소재기술자인 Alan Rasmussen은 2014년에 “PLA로의 전환은 필연입니다. 단지 시간의 문제일 뿐입니다.”라고 말했다.

문구 화일류의 경우 2012년에는 홉플러스, 일본 다이소 등에 판매되는 제품에만 적용되고 있으나, 향후 전 품목에 확대 적용이 예상된다. 한편 농업분야에는 육묘포트, 결착테이프,

멀칭필름 등에 일부 적용이 되고 있다.

4.7. 종이, 펄프 분야

기존의 PE로 코팅된 종이 제품에 생분해 기능 부여, 사용 후 물에 다시 해리하여 재활용을 할 수 있는 수용성 코팅(alkaline sensitive coating) 기술을 적용한 친환경 종이제품이 개발되어 국내 시판 및 해외에 수출이 되고 있다. 또한 기존 플라스틱 두부용기를 대체하기 위한 펄프몰드에 바이오 필름을 코팅한 제품개발이 완료되어 상용화 준비를 하고 있으며, PVC 벽지를 대체할 수 있는 바이오매스를 적용한 벽지 개발 등이 매우 활발하다[12,16].

‘네네치킨’은 포장박스를 식물성 콩기름으로 인쇄된 친환경 포장박스로 전면 교체했다. 콩기름 인쇄는 대두유를 사용해 인쇄하는 공법으로 대기로 배출될 시 오존 농도를 증가시키는 휘발성 유기물질이 사용되지 않는다. 천연원료이기 때문에 미생물에 의해 쉽게 분해돼 환경오염 발생을 줄일 수 있다.

‘Normacorc’가 포도주의 밀봉문제를 해결하기 위해 개발한 합성 코르크는 전 세계적으로 가장 널리 알려진 합성 포도주 마개가 되었다. 2014년도에 들어 한층 더 지속가능한 포장재의 개발필요성에 따라, Normacorc는 Braskem의 ‘I’m Green PE’를 원료로 사용한 최초의 식물기반 포도주병 마개인 환경친화적 코르크, Select Bio를 출시했다. Normacorc의 선임과학자인 Olav Aagaard는 “사탕수수로 만든 Braskem 환경친화적 PE의 사용으로 탄소중립적 코르크 마개 제조를 위한 소재를 얻을 수 있습니다.”라고 말했다. Braskem의 녹색 플라스틱은 100% 재생이 가능한 원료인 사탕수수 에탄올을 사용해 제조된다. 녹색 플라스틱은 플라스틱 생산체인에 직접 투입할 수 있는 대체재이며 생분해성은 아니지만 전통적인 PE를 재생하는 것과 같은 방법으로 재생이 가능하다.

토마토 줄기에서 얻어진 섬유소로 만들어진 골판지 포장재가 처음으로 선보여 졌다. Duijvestijn의 토마토가 이 바이오 유래 박스에 포장되었다. 포장재를 만든 Greenery의 제품 선임 매니저 Aad van Dijk는 버려지던 식물을 가치 있는 제품으로 바꾼 혁신이라고 말했다. 그는 “줄기는 박스를 만드는데 사용되었고, 잎들은 작은 포장을 위해 사용되었다. 바이오플라스틱을 위해 식물 즙에서 원료를 추출하려는 계획도 있다. 박스는 공급 컨소시엄 Biobased Westland에서 개발하였으며, Smurfit-Kappa에서 생산되었다. 이 바이오유래 포장재 개발은 포장재 산업에서 혁명을 불러일으킬 것이다. 이 박스는 1.0 버전으로, 중국에는 모든 제품으로 확대하기를 바라고 있다. 하지만, 이를 우리 고객과 함께 하기를 원한다”라고 말했다[17].

5. 바이오 플라스틱의 시장 동향

5.1. 시장 특성

바이오 플라스틱 중 가장 활발하게 적용되고 있는 패키징 산업시장의 세계 거시동향을 분석하여 보면 북미, 유럽, 일본 등 선진국은 기술력과 시장점유율 우위를 바탕으로 친환경 패키징 분야 등 부가가치가 큰 고급 패키징 분야의 시장개척이

두드러지는 반면, 개발도상국들은 가격 우위를 바탕으로 하는 저급 패키징의 대량 거래가 주를 이룬다. 이러한 동향은 선진국 주도 시장은 개발도상국이 쉽게 진입할 수 없을 것으로 비춰지는데, 이는 선진국과 개발도상국 사이의 기술 장벽이 더욱 확고한 시장 진입 장벽을 구축하고 있기 때문인 것으로 분석된다. 따라서 친환경 에코 패키징 분야 시장은 선진국 주도형의 고부가 가치 시장으로써, 기술력으로 인해 시장 진입 장벽이 높다는 것이 가장 큰 특징이라고 할 수 있다[12,17,18]. 반면 우리나라의 경우, 점차 가해지는 각국의 환경 관련 규제에 인해서 세계 시장에서 우위를 유지하기 위해서는 반드시 진입해야 할 시장이라고도 볼 수 있다.

5.2. 국내 시장 동향

국내에서 생분해성 플라스틱과 관련된 연구는 1990년대 이후 SK, 대상 등 대기업 및 연구기관, 벤처기업들을 중심으로 꾸준히 이루어지고 있지만, 아직은 시장 규모가 작고, 높은 가격으로 인해 사업화는 활발하지 못한 실정이다. 과거에 쓰레기 종량제 봉투, 음식물 쓰레기 봉투 등 일부 분야에서 사용이 되었지만 현재는 거의 실용화가 이루어지지 않고 있다. 쇼핑백의 경우 사용을 억제하기 위해 마트 등에서 유상 제공하고 있으나 사용이 크게 줄지 않아 정책의 실효성을 거두지 못하였다. 최근 대형 마트를 중심으로 난분해성 쇼핑백 사용을 자발적으로 사용억제하고, 종이백, 장바구니 사용을 권장하고 있다. 그러나 장바구니는 휴대를 해야만 하는 불편함이 있고, 종이봉투의 경우는 물에 약한 단점이 있을 뿐만 아니라 강도가 약해 무거운 물건을 담기가 어렵다. 따라서 강도, 물성, 생산성이 우수하면서도 환경 친화적인 쇼핑백이 출시된다면 그 대체 전망은 매우 밝다고 할 수 있다[11]. 소비자들의 높아진 의식구조로 환경배려형 상품의 수요가 늘어가고 있으며, 바이오 플라스틱의 수요도 급속하게 증가하고 있는 추세이다. The Freedonia Group Inc. 보고서인 “World plastics”의 국내 바이오 플라스틱의 수요전망은 Table 3과 같다[19].

5.3. 해외 시장 동향

선진국에서는 수십 년 전부터 패키징의 상품보호와 부가가치 상승효과를 인식, 민간 또는 관 주도의 패키징 단체를 구성하고 전문 인력을 육성하는 등 패키징 육성정책을 펼쳐오고 있다. 그 결과 미국의 패키징 산업은 세 번째, 호주는 여섯

번째 등으로 큰 산업으로 성장하였고 이것은 국가적인 차원에서 조직적인 패키징 진흥 정책이 뒷받침이 되었기 때문이었다. 이들 국가는 선진국에서는 이미 친환경적인 패키징 소재를 개발하여 적극적으로 이용하고 있는데, 에코 패키징 기술은 마케팅 면으로나 인류사회에 공헌하는 면에서 매우 중요한 분야로 부각되고 있기 때문이다[17]. 전 세계 각국의 환경 대응형 바이오 플라스틱 기술 개발에 있어 중점적으로 고려하고 있는 목표는 감량 가능성, 재활용 용이성, 재사용 가능성, 원료 소재 대체, 인체 무해성 등인 것으로 알려지고 있다. 주로 환경에 민감한 유럽과 미국이 시장을 주도할 것으로 보이고, 정부의 규제의 강화로 인한 성장보다는 선진국의 대형 마트 중심으로 시장 변화를 주도할 것으로 예상되며, 현재도 그런 움직임이 감지되고 있는 실정이다. 2013년까지도 국가별 순위 및 수효비중은 일정부분 선진국 순으로 유지되고 있었다. 그러나 향후에는 기존 주력시장이었던 미국과 유럽의 비중이 상대적으로 감소하고, 아시아 지역이 세계시장의 주력으로 등장할 것으로 예상되고 있으며, 중국과 한국 등의 수요도 꾸준히 증가할 것으로 예상되고 있다.

5.4. 국내 시장 전망

바이오 플라스틱은 1980년대 후반부터 대두된 기존 플라스틱의 대체품으로써, 1990년대 중반 이후 환경 규제가 강화되면서 새롭게 부각되고 있는 신흥 산업 분야이다. 국내 기업들은 식품 포장재, 산업용 포장재, 면도기, 칫솔, 포크, 수저 등의 다양한 일회용 플라스틱 제품에 대한 대체원료를 출시하여 일회용 플라스틱 제품을 급속하게 바이오매스 소재로 대체하고 있어, 추후 바이오 플라스틱의 국내시장 규모는 최소 5조원 이상이 될 것으로 예상하고 있다.

국내 수요는 2008년 4,000톤에서 2013년 12,000톤으로 5년간 약 3.75배 성장하였다. 2008년 이후의 CAGR은 5년간 30.26%를 나타내며 빠르게 성장하였으며, 2015년 이후에도 CARG 21.67%의 높은 성장을 예상하고 있다. 한편 세계시장에서의 국내시장 점유율은 2.0% 이하로 그 비중이 미미한 수준이다. 특히 세계 10위권의 경제 대국이며 녹색성장을 강조하고 있는 우리나라의 상황으로 볼 때, 상대적으로 매우 작은 시장규모로 볼 수 있다[16,18].

기존 바이오 플라스틱 시장의 대부분을 생분해성 플라스틱이 차지하고 있었다. 그러나 2014년 이후부터는 세계시장의 흐름과 같이 탄소저감형 바이오 베이스 플라스틱의 수요가 시장을 주도하는 양상으로 변화하고 있다. 이는 가격에 매우 민감한 국내 플라스틱의 특성을 반영한 것으로 상대적으로 물성이 우수하고, 가격경쟁력을 유지할 수 있는 산화생분해 플라스틱 및 바이오 베이스 플라스틱의 수요가 증가할 것으로 예상된다.

현재 생분해 플라스틱은 물성이 기존 플라스틱 제품에 미치지 못하고 가격이 상대적 고가여서 상업적으로 사용이 미미한 실정이나, 플라스틱 폐기물에 대한 규제 강화가 증가되고 있고 국민들의 환경의식 수준이 높아짐에 따라 기존 플라스틱의 물성을 유지하면서 원가절감을 이룬 산화생분해 및

Table 3. Bio plastics demand in kinds (Korea)

	1998	2003	2008	2013	2018
Plastics resin demand	2,750	3,850	5,290	6,500	7,800
Bio resin kg / Plastics m ton	-	-	0.76	2.31	5.13
Bio plastics demand	neg	neg	4	15	40
Biodegradable plastics	neg	neg	3	5	12
PLA	neg	neg	1	2	5
Other biodegradable	neg	neg	2	3	7
Bio based plastics	-	neg	1	10	28

바이오 베이스 플라스틱을 중심으로 큰 폭으로 수요가 증가할 전망이다.

현재까지 국내 바이오 플라스틱 제품은 대량생산 체제 미흡 등으로 사실상 산업화가 시작되지도 않았다고도 볼 수 있지만, 최근 (사)한국바이오소재패키징협회, 광양경제자유무역청 등이 협력하여 10만평 규모의 바이오 밸리 조성 및 산업바이오연구센터를 추진하는 등, 빠른 속도로 대량생산 체제가 구축되어 시장이 활성화 될 것으로 전망된다.

5.5. 해외 시장 전망

The Freedonia Group에서 발표한 “Degradable Plastics to 2008” 보고서에 따르면 미국의 분해성 합성수지 수요는 2008년 까지 매년 9% 정도씩 증가하였고, Nikkei Biotechnology Annual Report에 따르면 유럽, 일본 등의 천연물 포장재 시장은 환경 규제에 의해 급속히 성장하여 9조 이상이 될 것으로 전망하고 있다. 인도, 방글라데시, 태국, 인도네시아, 베트남 등 동남아시아 지역은 전통적으로 플라스틱 포장재의 사용량이 많고, 유럽 등지로 제품을 수출하는 생산 기지의 역할을 하고 있었는데 최근 플라스틱에 대한 사용 규제가 강화되면서 분해성 제품에 대한수요가 급증하고 있는 추세이다[18].

유럽 바이오 플라스틱 협회장 포그렐(Hasso von Pogrell)에 따르면 바이오 베이스 플라스틱 소재인 PE와 PET 등이 급성장을 하고 있고, 생분해 플라스틱 역시 높은 성장세를 보이고 있다. 특히 PLA 소재와 PHA소재가 성장을 견인하고 있다. 이에 대한 시장 전망을 Figure 2 및 3에 나타내었다. 또한, 포그렐은 바이오 플라스틱 소재가 포장재에서 전자제품과 자동차 산업에 이르기까지 다양한 산업군에서 활용되며, 이 중 포장재시장이 선도적인 바이오 플라스틱 시장이라고 지적하고 있다. 2011년 기준 독일 시장 내 산업별 플라스틱 소비규모를 살펴보면 포장재가 34.7%로 압도적인 우위를 차지하며, 이어 건설(23.4%), 자동차(9.9%), 전자·전기제품(6.2%) 순으로 활용되고 있다. 이에 따라 향후 이 분야 내 바이오 플라스틱의 활용 수요 역시 높을 것이라고 내다보고 있다.

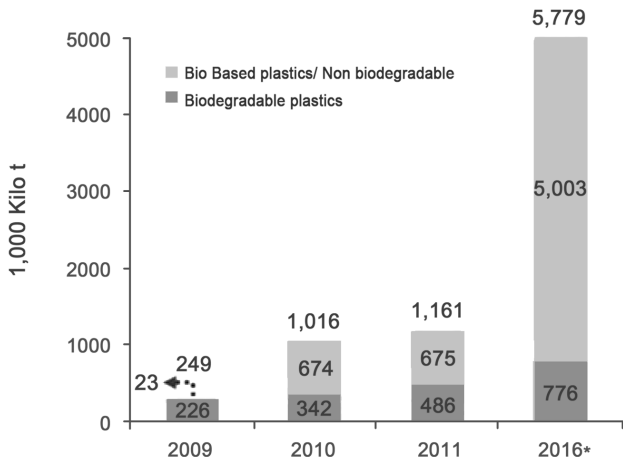


Figure 2. Status and prospects of global market of Bio plastics (Habdelsblatt, European Bio plastics e. V. 2014).

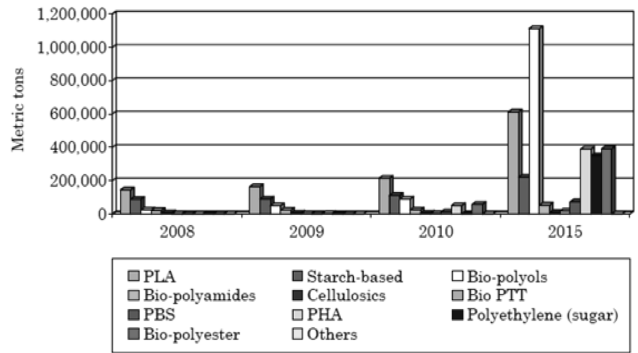


Figure 3. World bio plastics demand forecast (The Freedonia Group, “Degradable Plastics to 2008”).

European bio plastics (University of applied sciences and arts hanover) 보고서에 의하면 2010년 기준 바이오 플라스틱을 가장 많이 생산한 국가는 미국으로 북미와 남미를 합하여 총 54.3%를 생산하였고, 이어서 유럽이 16.7%, 아시아 18.5% 비율로 생산하였다. 또한 종류별 생산량은 Bio-PE가 28%로 가장 많이 생산되었고, 그 다음으로 biodegradable starch blends 16%, PLA 15%, PHA 12% 순이고 그 외에는 모두 10% 미만의 비율로 생산되었다[20].

바이오 플라스틱은 금세기 초 전체 플라스틱 시장의 1~5%를 차지하나, 2016년 이후에는 10% 이상을 점유하는 산업으로 성장할 것으로 전망된다. 최근 바이오 베이스 플라스틱의 약진으로 그 시장은 예상보다 훨씬 빨리 성장할 가능성이 매우 높다[12,18-20].

산화생분해 및 바이오 베이스 플라스틱의 본격적인 시장진입은 제조사들의 상용화 플랜트 설비 가동시기에 따라 변화가 있을 수 있지만, 산화생분해 및 바이오 베이스 플라스틱이 기존의 범용 플라스틱의 대체가 용이하다는 점에서 파격적인 시장변화가 예상된다. 특히 생분해 플라스틱의 경우 기존 설비의 지속적인 사용이 어려운 단점이 있었지만, 산화생분해 및 바이오 베이스 플라스틱의 경우 이러한 장벽이 높지 않아 시장진입이 상대적으로 용이할 것으로 판단된다. 이미 일부 시장에 진출하여 상품화가 이루어지고 있는 건축자재, 자동차 내장재, 식품용기, 산업용품, 문구, 생활용품 등의 사례를 보면 그 가능성은 더 높아 보인다.

6. 결론

소비자의 환경보호에 대한 관심 증대는 환경관련 기술개발 수요 증대로 이어지고, 바이오 플라스틱, 바이오 소재 및 에코 패키징 산업 구조 변화를 초래하고 있다. 바이오 플라스틱은 환경보호에 대한 관심 증대와 함께 경제적인 성공, 환경보호 및 사회 후생적 측면을 모두 포괄하는 개념인 지속 가능한 발전에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한, 소비자들은 소형화, 경량화, 편리성, 이동성 등의 고기능성 패키징 제품에 대한 기술혁신을 요구하고 있으며, 이러한 변화는 패키징 산업에 대한 긍정적인 요인으로 작용할 수 있다.

지속 가능한 발전 개념은 단순히 환경보호 차원에만 머무르지 않고 경제성장의 질, 기후변화, 생태 다양성, 종업원 교육훈련, 보건과 안전, 노령화 인구구조 등을 포괄하고 있는데, 개별업체에 대해서는 이에 대응하기 위한 기술개발 투자 증대와 비용증대가 필요한 실정이다. 이와 관련하여 향후 기업의 성과나 경제성장의 측정기준이 이러한 지속가능성을 반영하는 방향으로 변화하게 될 것으로 예상된다. 이는 기업들이 지속가능성에 대한 투자를 비용의 개념이 아닌 새로운 미래 경쟁력 확보 수단으로 받아들여야 한다는 것을 의미한다. 바이오 플라스틱 및 이를 이용한 에코 패키징 산업은 지속 가능한 발전을 추구하여야 하며, 이를 위해서는 정부의 지속적인 지원과 관련 규제의 합리성이 요구된다.

감사

본 논문은 2015년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원, 경기도의 경기도지역협력연구센터사업(GRRC 가톨릭대 2015-B03), 농림수산식품기술기획평가원 고부가가치식품기술개발사업(과제번호 313030-3) 및 경기도기술개발사업(과제번호 D151506)으로 수행되었습니다.

References

1. Brown, D. T., "Plastic Waste Management," Mustafa, N. (ed.) pp. 1-35. Marcel Dekker Inc., New York(1993).
2. Guillet, J. E., "Polymers and Ecological Problems," Baum, B., and White, R. A. (eds.), Plenum Press, New York, pp. 45-60 (1973).
3. 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**, 339-346 (1992).
4. Chung, M. S., Lee, W. H., You, T. 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).
5. Huag, J. H., Shetty, A. S., and Wang, M. S., "Biodegradable Plastics," *A Rev. Adv. Polym. Technol.*, **10**, 23-30 (1990).
6. Doane, W. M., "USDA Research on Starch-based Biodegradable Plastics," *Starch*, **44**, 292-295 (1992).
7. You, Y. S., Oh, Y. S., Kim, U. S., and Choi, S. W., "National Certification Marks and Standardization Trends for Biodegradable, Oxo-biodegradable, Bio Based Plastics," *Clean Technology*. In Press.
8. Lee, J. W., "Bio-plastics," *KISTI Market Report*, **1**(1), 24-27 (2011).
9. You, Y. S., Kim, M. K., Park, M. J., and Choi, S. W., "Development of Oxo-biodegradable Bio-plastics Film Using Agricultural By-product Such as Corn Husk, Soybean Husk, Rice Husk and Wheat Husk," *Clean Technol.*, **20**(3), 205-211 (2014).
10. Jegal, J. G., Jo, G. M., and Song, B. G., "Research Trends of Biomass Based Polymeric Materials Polym," *Sci. Technol.*, **19**(1), 307-317 (2008).
11. Korea National Environmental Technology Information Center (KONETIC), Market Analysis Report (2007. 11. 19)
12. You, Y. S., "2014 The Present and Future of Eco-friendly Bio-plastics Industry," *The Monthly Packaging World*, **02**, 102-105 (2014).
13. Biz Service Center for Global Environmental Regulation (COMPASS), Analysis Report No BSC Report 130-14-003, 2014.
14. Scott, G., "Photo-biodegradable Plastics: Their Role in the Protection of the Environment," *Polym. Deg. Stabil.*, **29**, 136-143 (1990).
15. Albertsson, A. C., Barenstedt, C., and Karlsson, S., "Susceptibility of Enhanced Environmentally Degradable Polyethylene to Thermal and Photo-oxidation," *Polym. Deg. Stabil.*, **37**, 163-168 (1992).
16. You, Y. S., "Trend of Eco-Packaging Technology," *The Monthly Packaging World.*, **201**, 118-128 (2010).
17. Korean Bio Material Packaging Association, Available from: <http://www.biopack.or.kr>, Accessed Dec. 10, 2014.
18. 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.
19. The Freedomia Group, Inc., "World Bio Plastics Industry Study," 2548, 2009.
20. European Bioplastics, Available from: <http://www.en.european-bioplastics.org>, Accessed Dec. 15, 2014.