



발리 로드맵과 바이오플라스틱

Vali - roadmap and BioPlastic

진 인 주 / 한국바이오플라스틱협회 회장, 인하대학교 나노시스템공학부 교수

바이오플라스틱의 중요성

작년 12월 15일 인도네시아 발리에서 열린 유엔기후변화협약 13차 당사국 총회는 2013년부터 세계 모든 나라가 지구온난화를 일으키는 온실가스를 줄이는데 동참키로 하는 발리 로드맵을 채택하였다. 1997년 12월 일본 교토의 3차 당사국 총회에서 채택된 교토의정서는 유럽연합을 비롯한 39개 선진국이 2012년까지 1990년 대비 5.2%의 온실가스 감축을 규정하고 있는데, 그 효력이 2012년에 끝남에 따라 발리 로드맵이 그 이후의 온실가스 감축을 구체화하기 위한 계획서로 2009년말까지는 주요 선진국들이 구체적인 감축목표를 정해야 한다. 특히 교토의정서 기준을 거부했던 미국도 동의함으로써 모든 나라가 온실가스 감축협상에 참여해야 한는데 그 중요성이 있다. 한국은 개도국으로 분류되어 OECD국가 중 유일하게 교토의정서의 의무감축대상에서 제외되었으나, 이제는 온실가스 감축을 본격적으로 준비해야 할 시점에 온 것이다. 2004년도 UNDP 보고서에 따르면 한국은 1990년 2억 4,100만 톤에 불과하던 이산화탄소 배출량이 2004년에는 4억 6,500만 톤으로 급상승하여 전

세계 9위의 배출량을 보였다. 중국, 인도 다음으로 높은 증가율(93%)인데, 같은 기간 일본은 17%, 미국은 23%증가했고, 독일은 18% 감소했다. 온실가스 배출량을 줄이기 위한 다각적인 노력은 이미 전세계적으로 진행되고 있다. 마일리지 대폭 개선된 친환경 자동차와 대체 에너지 자원의 개발, 화석연료 대신 바이오매스(biomass)를 기반으로 하는 식물유래자원의 이용 등이 그 예이다. 이런 관점에서 특히 바이오플라스틱(bioplastics)의 본격적 활용이 눈에 띈다.

금속, 세라믹과 함께 3대 재료라 불리는 플라스틱은 비교적 짧은 개발 역사에도 불구하고, 인간의 의·식·주생활에서 온갖 편의를 제공하는 필수적인 소재로 자리 잡았다. 아침에 눈을 떠서 하루 일과를 마치고 잠자리에 들 때까지 플라스틱이 없는 인간생활이 어떠할지 상상해 보라.

대략 1억 4천만 톤 정도의 플라스틱이 매년 전 세계적으로 사용되고 있다. 기존 플라스틱의 대부분은 주로 원유를 정제하여 생산되는 석유화학 원료로부터 제조되는데, 내구성이 탁월하지만 폐기시 썩지 않거나 소각시 유해물질이 방출되는 등의 문제점이 지적되고 있다. 이에 대한 해결책

의 하나로 적절한 조건에서 가수분해되거나 미생물 등에 의해서 이산화탄소와 물로 완전히 분해될 수 있는 생분해성(biodegradable) 플라스틱이 개발되어 사용되고 있다. 수술 상처가 아문 뒤 다시 뽑지 않아도 되는 수술용 봉합사 등이 바로 이런 물질이다. 한편, 최근 들어 지속가능한 사회에 관한 관심이 높아지면서 바이오매스 자원으로부터 얻은 원료를 이용하는 바이오매스(biomass-based) 플라스틱들도 상업화되고 있다. 대표적인 것이 옥수수를 발효시켜 얻은 원료를 중합하여 제조하는 poly(lactic acid)(PLA)인데, PLA는 생분해성도 나타낸다. 바이오플라스틱은 생분해성 플라스틱과 바이오매스 플라스틱을 합친 개념으로 전분계 천연고분자, 바이오매스 원료로부터 합성된 생분해성 및 비분해성 고분자, 석유화합계 분해성 고분자 등이 여기에 해당된다.

바이오플라스틱의 종류

생분해성 플라스틱에는 전분계, PLA를 포함하는 지방족 및 방향족 폴리에스터와 그 공중합체, 그리고 미생물에 의해 생산되는 poly(hydroxyalkanoate)(PHA) 등이 있는데, 이들의 물성을

[사진 1] 바이오플라스틱 창립총회



[표 1]에 비교하였다. [표 1]에서 PBS는 poly(butylene succinate)로 지방족 폴리에스터이며, PHB는 poly(3-hydroxybutyrate)로 자연에서 가장 흔히 발견되는 PHA이고, PCL은 polycaprolactone이다. 전분계 플라스틱과 PBS는 주로 포장용과 농업용 등으로 사용되고 있으며, PHA는 comono-mer 조성과 분자량에 따라서 다양한 물성을 나타낼 수 있다.

현재 옥수수로부터 가장 대규모로 생산되고 있는 바이오플라스틱인 PLA는 미국 곡물회사인 카길의 자회사 네이처웍스 사가 10년간의 개발을 마치고 2002년 12월부터 출하하고 있다. 옥수수를 발효, 정제하여 모노머인 lactic acid를 얻어 이를 중합한다. PLA의 온실가스 배출을 분석한 네이처웍스 자료에 의하면 기존 플라스틱인 PS에 비하여 29%, PET에 비하면 56% 정도 더 적은 온실가스를 배출하고 있다. 대규모의 상업 생산이 본격화되면 PLA 1톤당의 이산화탄소 배출량은 오히려 마이너스 값이 될 것으로 예상하고 있다. 아직은 바이오플라스틱 전반에 대한 객관적인 온실가스 배출 데이터가 없지만 이들이 온실가스 감축에 기여하리라는 것은 의심의 여지가 없겠다. 대부분의 생분해성 플라스틱들은 아직 내구성 제품에 적용되기에는 물성이 부족하다. 특히, PLA의 경우 내충격성과 내열온도가 다소 취약하여, 현재는 주로 포장용으로 사용되고, 일부는 섬유로도 사용되고 있다. 그러나 꾸준한 물성 개선 노력으로 향후 자동차 및 전자기제품 및 섬유의 비중이 높아질 것으로 예상된다.

한편, 바이오매스 자원으로부터 원료의 일부를 얻을 수 있는 바이오플라스틱으로는 polytrimethyleneterephthalate(PTT), PBS, po-



특 집

[표 1] 주요 바이오플라스틱의 물성 비교

구분	PLA	modified starch	PBS	PTT	PHB	PCL
density(g/cm ³)	1.25	1.2	1.23	1.35	1.17	~
yield strength(MPa)	53	30	62	67.6	18~20	14
elongation at yield (%)	10~100	600~900	710	-	10~17	660
flexural modulus (MPa)	350~450	10~30	470	2760	1000~1200	-
HDT(°C)	~	85~105		97	59	- -
melting point(°C)	120~170	-	90~120	225	-	58~60
Tg(°C)	~	-	-45 ~ ~10	45~75	-	-
	NatureWorks	Cornpol (Japan Corn Starch)			Biomer	

lyurethane, nylon 69 등이 있으며 이들에 대한 상업화 노력도 활발히 진행되고 있다. 네이처웍스는 옥수수 이외의 비곡물을 원료로 개발하고 있다.

시장규모

바이오플라스틱의 세계시장규모는 자료마다 차이를 보이지만 대체로 미국, 유럽, 일본 등 아시아가 각각 1/3씩 점하고 있다. 2007년 미국과 유럽의 생산량은 각각 40만~45만 톤 규모이고, 2010년에는 각각 90만~100만 톤으로 예상되고 있다. 식물자원유형으로 보면 미국은 주로 옥수수를 이용하는 데 비해, 유럽은 옥수수를 제외한 전분이 가장 많고 그 다음이 옥수수, 셀룰로오스 순이다. 한편, 가공방법으로 구분할 때 유럽의 경우는 필름블로잉, 사출 성형, 압출성형의 순서이며, 미국 시장에서는 필름블로잉, thermoforming, 압출, 사출의 순서이다. 바이오플라스틱을 용도별로 구분하면 미국, 유럽 모두 포장용, 일회용의

순서로 큰 비중을 차지하고 있으며, 그 다음으로 유럽의 경우 의료용이 큰 시장을 이루지만 미국에서는 섬유제품이 의료용품보다 다소 큰 규모를 보이고 있다. [표 2]에는 국내외의 바이오플라스틱 메이커들을 나타내고 있다.

국내 바이오플라스틱 현황

2002년 산자부가 집계한 국내 석유화학제품 자료를 보면 플라스틱과 합성섬유 사용량은 각각 500만톤 규모이다. 2015년에 기존 플라스틱 시장의 0.7%, 기존 합성섬유시장의 0.3%를 바이오플라스틱으로 대체한다고 가정하면 전체 바이오플라스틱의 연간 사용량은 5만톤 규모로 예상된다. 국내 바이오플라스틱시장의 형성과정은 외국의 경우와는 차이가 있다. 교토의정서의 발효와 이에 따른 환경친화적인 그린 소재의 점진적 사용이 전세계적인 움직임이었다면, 국내에서는 법 규제에 의해서 환경소재가 사용되기 시작하였다. 따라서 순수 생분해성 플라스틱의 사용

[표 2] 바이오플라스틱 수지 메이커

구분	국내기업	국외기업
PLA		Nature Works, Toyota Motors
PBS 계	이래화학	BASF, Mitsui Chem, Eastman, Showa High Polymer
starch	대상	Novamont, Japan Corn Starch, BIOP
PHB		Metabolix
PCL		Dicelle, Dow

에 초점이 맞추어져 왔다. 그러나 전술한 바와 같이 우리나라도 온실가스 감축을 준비하게 됨에 따라 정부차원에서 산업바이오전략을 세우는 등 바이오플라스틱에 새롭게 접근하는 계기가 마련되고 있다. 현재 생활잡화용 사출품, 일반식품 포장용 시트, 산업용 블리스터 필름, 완충재 등이 상업화되어 사용되고 있으며, 멸칭용 필름, 쇼핑백, 전기전자부품포장용 시트, 각종 섬유 등과 전자제품 및 자동차 내외장재, 수축포장필름, 통기성 필름, 발포식품용기 등 기능성 제품들이 속속 개발되고 있다.

국내의 바이오플라스틱에 대한 체계적인 연구개발은 1993년 과학기술처의 선도기술과제를 효시로 출발하였다. KIST와 대학, 삼양사, 코오롱, 새한, SK, LG, 대상 등의 기업들이 다수 참여하여 산·학·연 공동연구사업이 추진되었으나, IMF 금융위기와 맞물리면서 많은 기업들이 어려움을 겪었으며 자연스레 이 분야의 연구활동도 상당히 위축되었다. 1999년 5월에는 도레이새한, 대상, 이래화학, KIST, 한양대 등이 주축이 되어 생분해성 플라스틱의 중요성을 알리고 동시에 관련 연구개발을 활성화하고 그 응용을 확대하기 위해 한국생분해성플라스틱협회를 설립하였고, 2001년 6월에 준법인단체로 등록하였다. 협의회는 2001년부터 생분해성 종량제 봉투

의 분해 실험, 생분해성 플라스틱의 퇴비화 및 매립 분해성 실험, 생분해성 및 생분괴성 플라스틱의 혐기성 소화시 생분해도 실험 등을 수행하였다. 국제회의에도 적극 참여하였으며 2004년 6월에는 서울에서 제8차 World Conference on Biodegradable Polymers & Plastics 학술대회를 개최하기도 하였다. 아울러 일본의 JBPA, 중국의 BMG, 미국의 BEPS 등 관련 기구들과 활발한 정보교류를 갖고 있다.

그간 어려운 상황에서도 몇몇 기업의 꾸준한 활동과 한국생분해성플라스틱협회의 노력을 기반으로 국내 생분해성 플라스틱 시장이 유지되어 왔으며, 최근들어 바이오플라스틱산업의 중요성이 크게 인식되고 관련 산업체 수가 증가함에 따라서 한국생분해성플라스틱협회의 법인화 필요성이 제기되었다. 이에 따라 산업자원부와의 사전 협의를 거쳐 2007년 12월 5일 창립총회를 갖고 법인 설립절차를 밟게 되었다. 한국바이오플라스틱협회(Korean Bioplastics Association, KBPA)에는 기존의 생분해성 수지 메이커들은 물론이고, 다수의 성형업체들, 그리고 바이오플라스틱을 사용하는 대기업들 다수가 적극 참여하고 있다. 앞으로 협회를 중심으로 바이오플라스틱의 응용 확대를 통해 국가적 agenda인 온실가스 감축에 기여할 수 있을 것으로 기대한다. ^㉞



친환경 바이오복합재료 포장재료

Biobased Chemicals and Materials

윤진산, 심재훈 / 인하대학교 고분자신소재공학과 교수, 박사과정

1. 서론

플라스틱은 인류 생활의 편리성을 비약적으로 발달시켜 인류의 의·식·주에서 없어서는 안 될 소재가 되었을 뿐만 아니라 끊임없는 연구 개발의 결과로 점차 유리, 금속, 종이, 목재, 석재 등과 같은 기존 재료를 대체하였으며, 값싼 장점을 활용하여 식품 및 상품의 포장재로 많이 쓰이고 있다.

최근 지구 온난화를 경감시키고 점차 고갈되어 가고 있는 화석 원료의 사용을 줄이기 위하여 기존 화석 원료 자원으로부터 생산되는 플라스틱의 일부 혹은 전부를 천연 자원으로 대체하여 생산되는 환경 친화성 바이오 복합재료에 관한 관심이 점차 증대되고 있다.

환경 친화성 바이오 복합재료는 플라스틱의 재활용과 함께 환경보호를 위한 상호 보완적 역할을 할 수 있는 소재이다.

환경 친화성 바이오 복합재료는 모든 성분이 천연 자원 유래 원료로부터 생산되는 것 뿐만 아니라 기존 난분해성 플라스틱에 천연 자원 유래 원료가 일부 분 함유된 것을 모두 포함한다. 난분해

성 플라스틱은 자연환경 내에서 분해되지 않기 때문에 대량의 플라스틱 폐기물이 커다란 사회문제로 대두되고 있다. 용이하게 회수될 수 있는 플라스틱 재료는 재사용하거나 연료로서의 에너지 회수, 또는 화학적 분해를 통하여 원료로 재활용할 수 있다.

그러나 음식물 및 상품 포장재, 위생용품, 1회용품 등에 사용된 플라스틱은 회수하기가 어려울 뿐만 아니라 비경제적이므로 폐기 후 자연환경에서 완전히 분해되는 재료로 대체하는 것이 바람직하다. 전자의 환경 친화성 바이오 복합재료는 이 목적에 적합하다.

그러나 전자의 환경 친화성 바이오 복합재료는 여전히 가격 경쟁력이 취약하며 물성 또한 만족스럽지 못한 경우가 많다. 이에 비하여 후자의 환경 친화성 바이오 복합재료는 높은 경제성을 비교적 쉽게 구현할 수 있다.

본고에서는 우선 모든 성분이 천연 자원 유래 원료로부터 생산되는 바이오 복합재료의 동향을 소개하고자 하며 추후 경제성이 높을 것으로 예상되는 범용 플라스틱과 천연 자원 유래 원료의 복합재료를 소개하고자 한다.