



바이오매스 플라스틱 동향과 전망

Development and Perspective of Biomass-based Plastics

K. Oshima / (재)바이오인더스트리협회

I. 서론

2002년 12월에 국가전략으로서 채택된 「바이오테크놀로지(BT) 전략 대강」과 「바이오매스·일본(BN) 종합전략」에 의하여 원재료로서의 재생가능 자원, 즉 바이오매스(BM) 및 바이오매스 베이스자재에의 관심이 급속히 높아지고 있다. 현재로서는 BT를 적용한 다양한 BM 베이스 자재가 제조되어 이용되고 있으나 여기서는 수지(폴리머, 플라스틱, 레진)로 한정하고 (바이오매스플라스틱 : BP) BM자체를 폴리머 체인으로 하는 '천연물계' BM 베이스 모노머를 화학적 방법에 의해 중합한 타입(화학합성계) 및 인위적인 환경하의 바이오프로세스에 의해 중합하는 타입(바이오합성계)으로 정리, 분류하여 그 현황을 개관하기로 한다.

1. BP 및 BP로 될 자재 현황

공업적 자재로서의 BP를 [표 1]에 종합해 본다. 식재, 식품첨가, 화장품 원료로서 사용되고

있는 다양한 재료가 많지만 성형재료로서 식용상의 관점에서 보는 경우 천연물계로서는 셀룰로우스나 정분의 화학적 수식에 의한 유도체(아세틸화 셀룰로우스(CA)나 메스테르화 전분 등), 화학합성계로서는 폴리유산(PLA), 폴리글리콜산, 폴리트리메틸렌테레프탈레이트나 폴리부틸렌석시네이트(PBS), 바이오합성계에서는 폴리하이드록시알카노에이트(PHA)로 대표되는 미생물생산계 지방족 폴리에스테르와 아미노산의 일종인 폴리- γ -글루타민산이 대표적 일 것이다.

1-1. 천연물계 BP

셀룰로우스 및 전분으로 대표되는 다당류계를 가소화한 것을 대표로서 제시한다.

1-1-1. 셀룰로우스 유도체

셀룰로우스를 구성하는 글루코우스가 가지는 3종의 수산기를 화학적으로 수식(에스테르화, 에테르화, 혹은 카보네이트화 등)하여 수소결합을 차단하는 것에 의해 가소화한 타입, 특

[표 1] 농업용 자재로서의 BP 현황

폴리머	BT와의 관계			생분해성	비고
	모노머자원	모노머합성	중합		
1. 천연물계 폴리머 ^(b) · 다당류계 - 셀룰로오스 및 그 화학 수식계 - 전분 및 화학수식계 - 키토산 · 단백질계 - 피브로인 - 알긴산 - 글루텐 - 젤라틴 - 글리시닌 · 천연 고무					<ul style="list-style-type: none"> ○ 수식계 : 아세틸화셀룰로오스 (:아세틸화도 <2.4정도까지는 셀룰라제에 의한 분해) 용도: 섬유 등 ○ 수식계 : 에스테르화전분 용도: 필름 ○ 키토인의 탈아세틸화(50%이상)체 용도: 물처리, 식품첨가, 화장품원료, 생분해 성시트 ○ 견사 ○ 수초(다시마, 미역, 녹미체)의 세포벽구성자재, 수용성 용도: 식재, 식품첨가, 섬유외재, 캡셀화제 ○ 스파킹탄, 용도: 식재, 사료, 폴리올을 가스제로하여 사출형, 발포성형기능 ○ 척추동물의 피부, 뼈, 힘줄, 용도: 식전, 화장품 원료 봉합사, 인공피부 ○ 콜라겐의 부분가수분해물, 가역적인 졸겔전이 용도: 가식성 시트 ○ 대두단백 용도: 가식성시트 ○ 고무의 목분비율 주체: 폴리이소프렌, 광분해성도 있음, 용도: 여러 가지
2. 화학합성계 폴리머 ^(c) · 폴리유산 · 폴리글루콜산 · 폴리트리메틸렌테레프탈레이트 · 폴리부틸렌석시네이트 ^(d)		모노머자원 : 물, CO ₂ , NH ₃ 요소 모노머합성 : 바이오합성 중 합 : 바이오합성 주1 : 여기서 말하는 바이오합성은 동식물 체의 생명활동 그 자체 (*in vivo: 합성) 주2: 셀룰로오스 및 전분수식은 화학프로세스			<ul style="list-style-type: none"> ○ 모노머 : (전분, 셀룰로오스→글루코오스→)유산 용도: 경질계 그린플라스틱 등 ○ 가장 단순한 지방족폴리에스테르 모노머 : (사탕수수 등 식물성 바이오매스→) 클리콜산 용도: 봉합사, 가스차단포장 ○ 모노머 : (전분, 셀룰로오스→클루코오스→클리제린→)1,3프로판디올, 용도: 섬유
3. 바이오합성계 폴리머 ^(e) ① 미생물지방족폴리에스테르 · 폴리하이드록시부틸레 · 폴리(HB/HV) ^(f) · 폴리(HB/HX) ^(g) ② 미생물다당류 · 박테리아셀룰로오스 · 카도란 · 플루란 ③ 미생물폴리아미노산 · 폴리g-글루타민산 · 폴리리진		모노머자원 : 바이오매스 모노머합성 : 바이오합성 중 합 : 바이오합성 주: 여기서 말하는 바이오합성은 미생물, 효소의 기능 및 그 발현을 극대화 시키는 BT를 구사한 합성을 가리킨다. 장래에는 합성기능부분을 복사한 합성유전자를 대장 균이나 식물체내에 이식하는 바이오 프로세스의 실현가능성도 생각 할 수 있다.			<ul style="list-style-type: none"> ○ 모노머(전분, 셀룰로오스→글루코오스→)호박산 용도: 연질계 그린플라스틱 등 폴리하이드록시알카노에이트계 ○ 미생물: 원핵성(수소세균, 고초균, 슈트르모나스 등) ○ 탄소원: 글루코오스, 알코올, 유기산 등 ○ 상동 ○ 상동으로 추측(*h) ○ 티그민이나 헤미셀룰로오스를 포함하지 않는 순수 셀룰로오스 합성균: 초산균, 탄소원: 글루코오스 등 용도: 식재, 스피커 콘지 ○ 합성균: 토양분리균, 탄소원: 글루코오스, 마루토스, 자당 등 용도: 식품첨가 ○ 합성균: 플루란균(혹효모) 탄소원: 물엿, 자당 등 용도: 식품첨가(식품섬유) 화장품 원료 등 ○ 청국장 점착물질 합성균: 글루타민산합성균 탄소원: 글루코오스 질소원: 요소, 용도: 흡수성수지 ○ 합성균: 항생물질산생 방선균 탄소원: 글루코오스 질소원: 유반 용도: 사료 영양 강화

(#a) 공업화되어 있는 자재인 것을 전제로 夫白石 榊 · 俗吉 榊 · 供工 藤 謙—편저: '실용화되는 생분해성 플라스틱' 제4~5장 및 생분해성 플라스틱 연구회 편저: '생분해성 플라스틱 핸드북' 제Ⅱ권 제1장~4장을 개편

(#b) 바이오매스(생물자원)의 유래에 의해서 2가지로 분류 가능-식물성 바이오매스계 폴리머: 셀룰로오스계, 전분계, 글루텐, 글리시닌, 천연고무

(#c) 바이오매스 원료로부터 효소 합성한 모노머를 화학공학적 프로세스로 중합한 타입

(#d) 현시점에서는 석유화학베이스모노머를 화학합성한 타입, 가까운 장래에 바이오매스 베이스모노머로부터 화학 합성될 전망(본문 참조)

(#e) 바이오매스 원료로부터 효소 합성한 모노머를 미생물체내에서 효소 중합한 타입

(#f) 폴리(하이드록시 부틸레이트 / 하이드록시 발리레이트)

(#g) 폴리(하이드록시 부틸레이트 / 하이드록시 헥사노메이트)

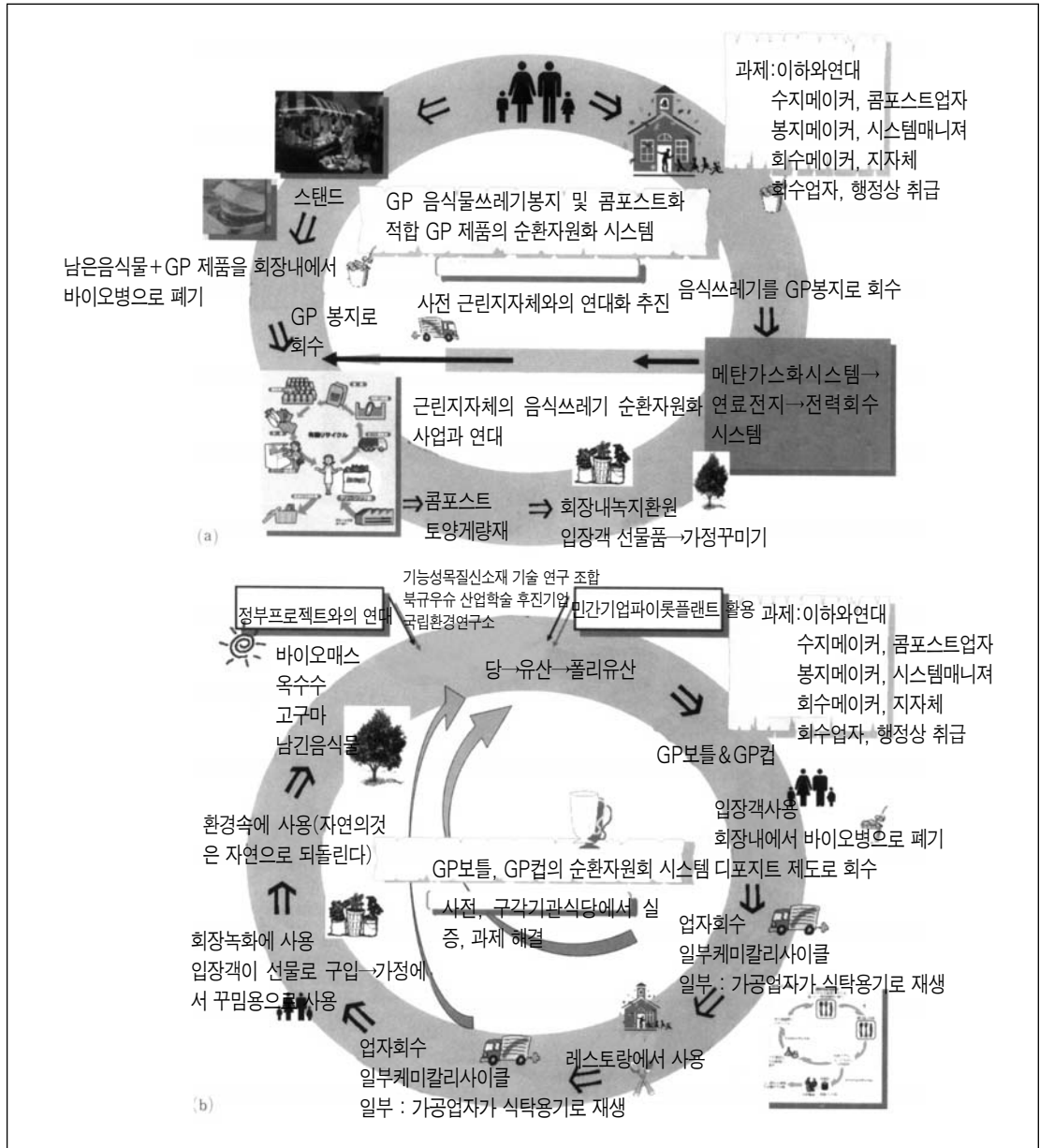
(#h) P & G사 및 澁化學工業(주)의 개발에 의한



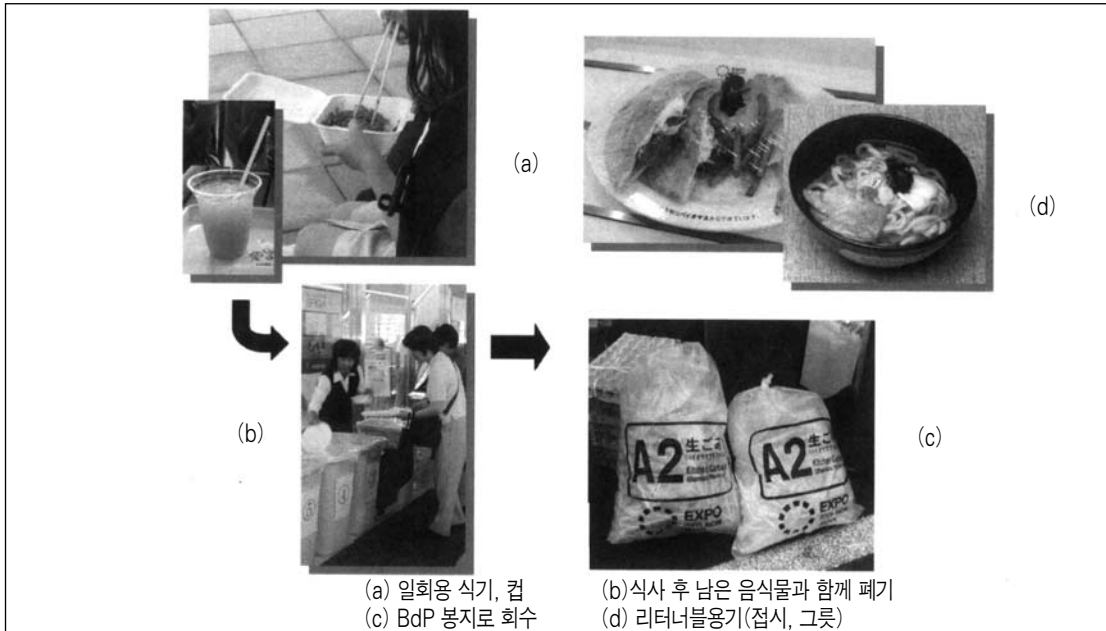
히 CA와 같은 에스트라화체가 공업적으로 중요하다.

셀룰도우스 디아세테이트는 포장(필름, 시트), 사출성형(자동차 핸들이나 안경테 등) 및

[그림 1] 아이찌지구박람회장 BP 도입 컨셉



[사진 1] 아이찌지구박람회에서의 BP도입 과정



섬유(담배필터용 등)나 도료, 셀룰로우스, 트리아세테이트는 불연성 사진용 필름 용도가 있으며 디와트리의 중간 정도까지의 초화도에서는 셀룰라제에 의한 생분해성이 커서 반경질 타입의 생분해성플라스틱(BdP)으로서의 용도(발포시이트 시설원예용품 등 사출 사출성형물 식기구류)가 있다.

일본국내에서는 다이셀화학공업(주)이 제조하고 있으며 최근 동사에서는 실용화를 향한 가소제개발에 성공하며 BP로서의 새로운 시장진개를 시작하고 있다고 전해지고 있다.

1-1-2. 전분유도체

전분도 글루코우스폴리머이며 셀룰로우스와 많이 닮은 아미로우스형(직쇄상폴리머 : 분자량 수십만)과 아미로팩틴형(분리폴리머 : 분자량

수억)이 있다. 이들은 자연계에 혼재하며 그 혼재비는 BM의 종류에 의존한다. 전문의 식품재료용도는 총 수확량의 몇 퍼센트밖에 되지 않으며 그 시장규모를 초과한 잉여분은 공업용도(사료, 오일, 당원료 등)로 이용되고 있고, 가장공업용 원재료로서 적합한 것은 집중적인 재배, 수확이 가능한 옥수수전분이다(전세계 규모로 4~5억톤/연간).

단순한 응용제품으로서의 물 혹은 글리세린을 첨가 초상화시켜 발포성형한 완충재나 저발포컵/트레이 용도가 실용화되어 있으나 이것만으로는 내수성, 내유성이 떨어지기 때문에 각종 BdP, 예를 들면 폴리비닐알코올(PVA 용도 : 완충재), 폴리카프로락톤(PCL 쓰레기회수 봉지)이나 PBS(멀티필름) 등 또 CA(식기구류) 등과 브랜드한 타입이 개발되어 있으며



[그림 2] 바이오리사이클시스템 '아이찌지구박람회 모델' 실현



Novamont사(이탈리아)가 'MATER-Bi' 를 일본에서는 일본식품화공(주)가 '플라콘'으로서 시장에 내놓고 있다.

셀룰로우스의 경우와 마찬가지로 글루코우스의 3종의 수산기를 에스트르화, 에테르화 혹은 카보네이트화 한 가소화 전분은 내수성, 내유성은 물론 내열성도 개선된다.

이 타입의 수식계는 일본콘스탄티(주)가 '콘폴'로서 상시하고 있으며 일본에서는 BdP계 멀티필름으로 전개되고 있다.

1-1-3. 뉴타입

[표 1]에서 나와 있지는 않지만 최근 목질칩이나 목은쌀을 가소화하여 수지와 복합화한 타입이 등장하였다.

어글리퓨처에쓰(주)가 개발한 브랜드는 이들을 변성한 BM이 50%를 넘은 컴파운드이며 천연물계 자체로서 주목되고 있으며 이미 목질계 BP(수지는 PP나 PLA)는 식탁트레이, 쌀계 BP(수지는 PE)는 규격봉지로서 실용화되고 있다. PP나 PE가 BP로 치환된 타입은 모든 자재가 BM계로 되며 새로운 컨셉의 컴파운드로서의 전개가 기대된다.


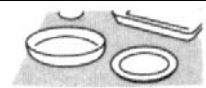

1-2. 화학합성계

여기서는 PLA 및 PBS에 관해 서술해 본다

1-2-1. PLA

PLA는 BM 즉 옥수수, 사탕무, 사탕수수 등 재생가능한 식물이나 목은쌀에서 추출한 전분

[표 2] 현재의 총괄현황

도입 BP 제품	실용성	재자원화특성(실증)			-종합- ① BP제품으로서의 실용성 관점에서 ② 자원순환성 관점에서 ③ 폐기물삭감의 관점에서 ④ 과제
		바이오 리사이클	머터리얼 리사이클	케미칼 리사이클	
 쓰레기 봉지 (55만장)	◎	◎ 보완자재	○	(◎)	① 실증 ② 바이오리사이클 보완자재 ③ 음식쓰레기의 매립, 소각처분량 삭감 ④ 연질계 BP의 개발, 실용화
 일회용식기구(200만점 효과)	◎	◎	○	(◎)	① 실증 ② 바이오리사이클 자재 ③ 비 BP 제품의 소각 처분량 삭감 동시 비료화처리에 의한 미이용 BM계 폐기물 삭감
 리터너블식기구 (12만점)	○~◎	◎	○	(◎)	① 실증 ② 머터리얼리사이클 가능(BM에서 나와 BM으로 돌아감) ③ 비 BP 제품의 소각, 매립처분량 삭감 BP와의 복합화에 의한 미이용 BP계 폐기물 삭감 ④ 일부에 관해서는 품질설계(기계보강 등 개량)

주) 케미칼리사이클에 관해서는 전망(현재 R&D가 진행중)

* 비석유계자재로 여기까지 되었다→금후과제 : 이성과를 사회환원하여 어떻게 하여 BM 제품, BP의 보급에 기여하는가

으로부터 합성되는 유산을 원료로 한 BP로서 주목되고 있다.

이 방법으로는 Cargill-dow사(현 Nature works사)가 옥수수베이스 전분계 PLA의 14만 톤/년간 플랜트를 가동중이며 또 사탕수수를 BM으로 한 방법으로 도요타자동차가 1,000t/년 플랜트를 가동시켰다고 한다. 최근에는 가정용 쓰레기로부터 유산발효법에 의한 유산을 원료로 하는 순환시스템이나 또 중기 등의 농업수확, 벌채 등의 폐 BM으로부터 추출하는 셀룰로오스를 당화하여 유산으로 하는 바이오법도 검토되고 있다.

PLA는 모노머로서의 유산을 합성하는 과정에서 BT가 적용되며 이런 의미에서 '바이오 모노머' 계 라고 말할 수 있다.

PLA는 완전생분해성을 나타내는 BdP의 일종이지만 생분해성을 직접적으로 요구하는 제품의 대부분이 필름상이므로 경질계이지만 주재료서의 대접을 받지 못하였다. 그러나 최근에는 그 자원, 환경저부하특성이 주목되어 경질성을 살린 문구(화일, 필기구 등)나 생활잡화(화장품케이스, 랩필름컨터, 포장류) 등으로 나오고 있으며 가수분해성을 억제(미쓰비사(우))하여 무기물과의 마이크로한 컴포지트화(유니티카(주))를 실현한 타입에서는 내구성과 내열성이 크게 향상되어 전자, 전기기기 등의 적용이 시작되었고 전자렌지 대응 가능한 식품용기도 개발되었다.

또 자동차 내장품으로서도(도요타자동차, 도레이) 검토되고 있다.



1-2-2. PBS

1980년대까지는 일반적으로 지방족폴리에스테르는 통상의 축중합법으로서는 분자량이 겨우 5×10^3 정도로 생분해성이 있다해도 플라스틱으로서의 용도는 생각지 못하였으나 쇼와덴코(주) 및 쇼와고분자(주)는 분자량은 수만에서 수십만으로 올리는 검토를 가하였고 용접을 PE 수준인 90~120도 정도로 설계, 식품 첨가제 등 안전성이 높다고 되어 있는 화합물을 원료로서 선택한다고 하면 디올과 디칼본산의 조합을 한정되어 일반적으로 호박산 또는 아디핀산과 1,4-부탄디올(1,4-BD)로부터 축합반응으로 제조된다.

이 계통은 쇼와고분자가 '비오노레'라는 상품명으로 출시하고 있다.

연질계 BdP로서 쓰레기 회수 봉지나 멀티필름 계다가 포장자재나 토목자재로서의 실적도 가지고 있고 PE 그레이드에 따른 PBS의 변성 타입도 많다.

호박산은 일반적으로 무수말레이산→말레이산→호박산으로 합성되나 BM을 원료로 한 방법으로는 전분→글루코우스→호박산의 루트가 있으며 미쓰비시(주)와 아지노모도(주)는 이 방법에 의한 호박산을 원료로 한 PBS계 수지를 BP로서 내놓고 있다(2003년 3월).

또 독립행정법인 지구환경산업기술 연구기구(RITE)는 고지에서 추출한 셀룰로우스를 출발물질로 한 호박산 합성법(셀룰로우스→글루코우스→호박산)을 개발하였으며 2003년부터 쇼와고분자와 함께 2007년을 목표로 공압기술화 공동개발을 하고 있다.

또 이들 모두 2004년부터 경제산업성의 바이

오존로세스 실용화개발사업(RITE 보조사업)으로 채택되어 있다.

1-3. 바이오합성계

바이오합성계의 범주에 들어가는 타입은 다수 있으나 폴리하이드록시부틸레이트(PHB)와 같은 미생물산생계가 대표적인 예이나 이 타입은 제조코스트가 최대의 과제이다.

2. 실용성의 실증과 보급

2-1-1. 아이찌지구박람회장의 도입

BT 전략대강 및 BN 종합전략에서는 BP와 BdP는 기반자재의 하나로서 나라가 숭선하여 개발, 보급시책을 담당하는 것이 실행 전술로서 명기되어 있다.

이미 2003년도 시책 중에서 농림수산성 및 경제산업성 식당에서의 식기구의 적극적인 사용시험이 행해졌으며 또 2004년부터는 '아이찌지구박람회' 회장내의 도입도 계획되어 경제산업성은 '바이오프로세스실용화개발사업'을 채택하였다(당 컨소시엄은 이 사업의 위탁처(재단법인 바이오인더스트리협회)내에 조직화된 전임부서).

'아이찌지구박람회'는 2005년 3월 25일부터 185일간 아이찌현의 나가꾸데와 세토시에서 개최되었으며 데카인 '자연의 지혜'를 구현화시키기 위해서 개최 전후를 통한 회장내외에 걸친 다각적인 환경의 배려가 활용이 추진되었다.

회장내에서의 BP 및 BdP 제품의 활용이 추진되었다.

즉 회장내에서 발생한 쓰레기의 메탄가스화

및 콤포스트화를 통한 순환자원화로 BdP 쓰레기 봉지를 보완자재로 활용하며 회장에서 운영되는 음식점 및 테마레스토랑에 BdP 일회용 식기구 /BP 리터너블 식기구를 도입, 전자는 음식물쓰레기와 같은 취급을 하여 콤포스트화처리, 후자는 폐기단계에서 다양한 재자원화를 실증하는 사업이다(그림 1) 및 [사진 1]).

회기전의 사전사업(2004.4.1~2005.3.24) 성과를 살려서 회기기간 중(2005.3.25~9.25 : 회장특정 시설에 도입) 및 회기 후(2005.9.26~2006.3.31 : 자원환경부하 절감 효과분석 및 평가 등)에 걸친 실증사업을 전개하고 있다.

2-1-1. 물품으로서의 실용성

리터너블식기구에서 일부 충격성 개량과제가 나왔으나 대부분의 식기구가 요구하는 기능을 발현하여 위생안정성의 기준 규격(컨소시엄규격)에 적합하였다.

2-1-2. 바이오리싸이클 시스템(그림 2)

특히 개막후 약 2개월간 사용된 일회용식기구와 남긴 음식물의 콤포스트화 처리물을 농지에 사용, 배추를 재배하여 박람회장에 가지고 와서 입장객들에게 전시, 배포 새로운 자재의 등장을 강하게 호소할 수가 있었다.

2-1-3. 파손품의 머터리얼리싸이클링성

BP는 일반적으로 신장점도가 낮아서 성형하기 어려운 자재이다. 기존수지를 문제없이 성형 가능한 금형이라도 BP의 경우 구석구석까지 균일하게 흘러들어가기 어렵거나 금형에서의 박

리가 어렵다는 등 극복해야 할 기술과제가 남아 있으며 더구나 식기구로서 사용된 물품의 사용품으로는 자재자체의 열화도 생각되어져 BP의 리싸이클은 즉 '바이오리싸이클(콤포스트화나 메탄가스화)'로 받아들여져 있었다.

당 컨소시엄에서는 금회의 아이찌지구박람회장에 도입한 BP제 식기구의 성형시 발생하는 짜투리나 파손품을 원료(일부)로 한 실용물품으로의 재생은 BP의 머터리얼리싸이클성을 실증하는 최초의 케이스로 받아들여지고 있다. 이와 함께 현재 케미칼리싸이클성 및 재자원화성을 포함한 자원, 환경에 대한 저 환경 임팩트성의 실증에 몰두하고 있다.

이들은 배경으로 BP는 다양한 재자원화 시스템에 대응가능하며 축산배설물이나 전지재 등과의 바이오리싸이클을 이용하여 폐기물 절감에도 공헌 가능한 자재로서 더욱이 머터리얼리싸이클이나 케미칼리싸이클을 이용하여 지속가능한 자재라는 것을 실증 할 수 있다고 생각한다.

즉 BP는 자원순환형 사회의 기반자재로서의 기본적 요건을 만족시키고 있다는 결론이지만 현 시점에서는 자재의 해외 의존도가 높고 코스트상의 문제를 포함하고 있으나 금회의 사업성과를 사회환원하는 행정적인 지원을 기대해 본다. ☐

신제품 및 업체 소개
월간 포장계 편집실
(02)2026-8655~9
E-mail : kopac@chollian.net