



PLA와 다른 폴리에스터들을 이용한 지속가능한 패키징

Sustainable Packaging Using Polylactic acid and other Polyesters

김영택 / 미국 클렘슨 대학교 패키징학과 조교수

1. 서론

클렘슨 대학교는 PLA 및 다양한 biopolymer를 이용한 Rigid packaging에 적합한 composite를 개발하여 미국 특허 출원 중에 있다. 이 개발은 노스캐롤라이나에 위치한 미국내 대표적인 Neutraceutical 회사인 Gaia-Hurbs가 지분참여한 Earthbottles™의 스폰서십을 통하여, 클렘슨 대학의 패키징학과와 Public service activities Department의 공조로 이루어졌다.

Gaia-Hurbs는 매우 높은 친환경 정책을 추진하는 회사로 알려져 있다. 생산되어지는 제품은 패키징 및 유통과정시 필요한 완충제 조차도 콘으로 만들어진 Biodegradable 재료를 사용하며, 대다수의 제품은 유기농기법으로 제작하는 친환경 기업으로 알려져 있다. 이들의 Quality Control 기준은 미국내에서 가장 높은 것으로 알려져 있으며, 타사 동종 제품과 비교시 높은 가격으로 판매해도 높은 시장 우월성을 장악하고 있다고 알려져 있다.

모든 기업에게 있어서 생산 비용은 가장 중요한 제품의 성공적인 상업화와 이익창출의 척도

이다.

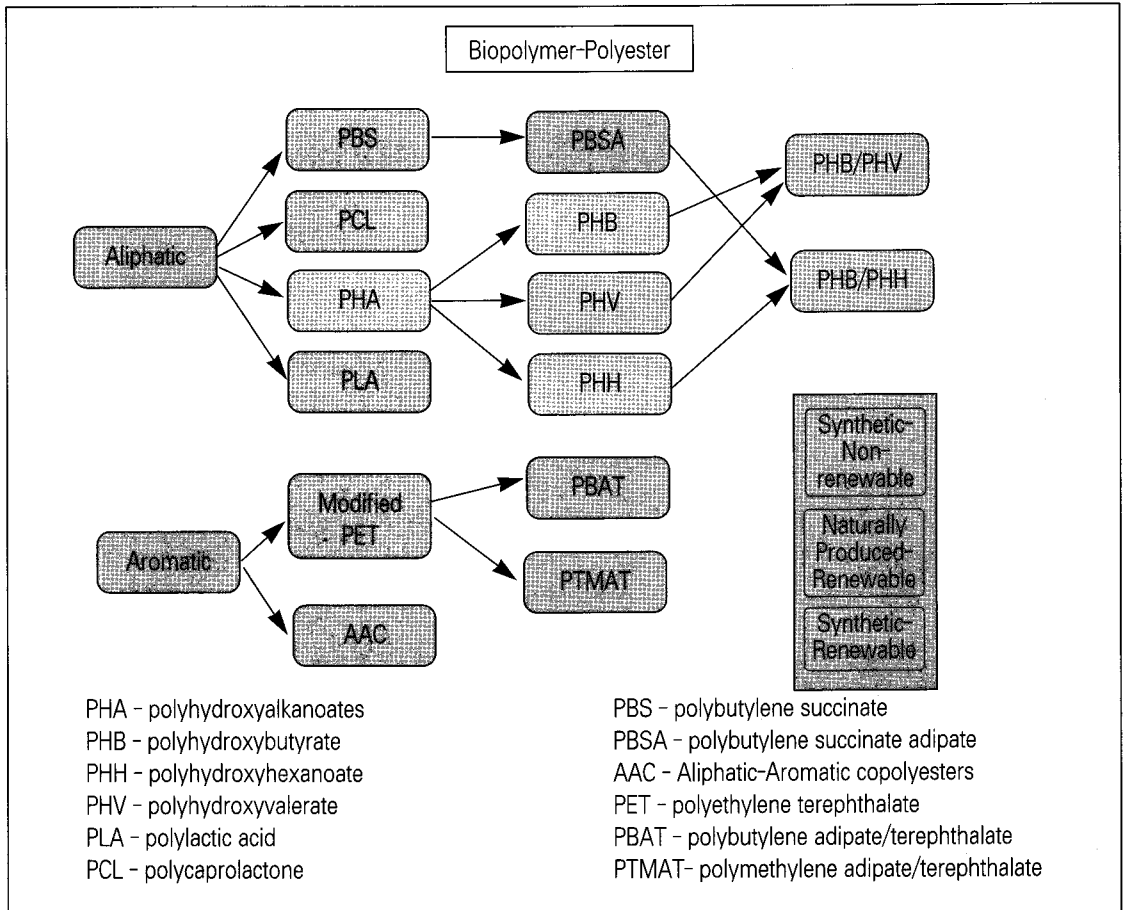
현재, 대다수의 의약 및 Neutraceutical 그리고 phytochemical 제품들은 품질의 안정성과 저장성이 오랫동안 검증된, 플라스틱 병이나 유리 병에 의해서 저장 및 판매 유통되고 있다. 이러한 패키징의 중요 기준은 안정성과 생산 비용이다.

과거 10년 전만 해도, 이러한 제품에 대하여 biopolymer를 이용한 패키징 방법은 위의 두가지 척도를 만족시킬수 없었다. 그러나 현재 oil값의 상승에 따른 플라스틱 제품들의 가격인상, biopolymer를 생산하는 기술의 발전, nanotechnology 이용한 gas barrier 성질의 향상, 그리고 친환경제품의 시대적 요구 (sustainability or "green" issues)는 충분히 플라스틱이나 유리에 기초한 패키징 방법을 대체할수 있는 수단으로서 많은 과학자 및 기업에 의해서 연구되어지고 있다.

그러므로, 필자는 현재 클렘슨 대학에서 개발한 rigid packaging을 바탕으로 다양한 개념들의 정리와 현재의 시장상황 및 biopolymer를 이용한 패키징 산업의 미래를 조명하고자 한다.



(그림 1) 다양한 biodegradable polyesters.



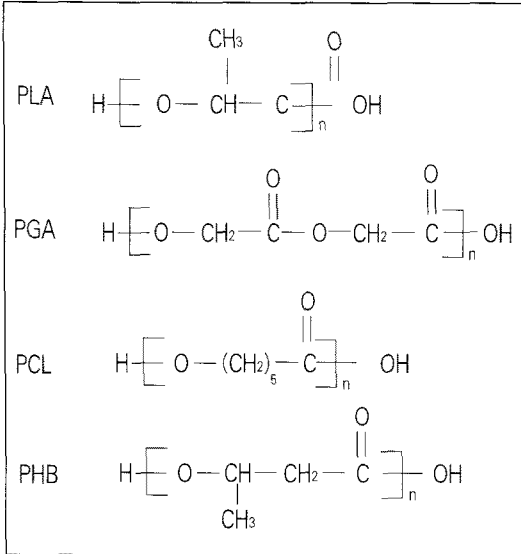
1. Sustainable Packaging과 정의

현재 Sustainable 패키징에 대한 정의는 기업과 처해진 환경 및 조건에 따라 다양하게 이루어지고 있다. 이것은 또한, “green packaging”, “renewable, recyclable or triggered packaging”, “ethical packaging” 등 다양한 개념들로 확장되어지고 있다. 패키징의 라이프 사이클에 대한 기업의 친환경 전략적 관점에서 정의 되어질때, 이

것은

- 패키징의 수명동안, 소비자와 커뮤니티에 대하여, 유익하고 안전하면 건강성을 주어야 하며,
- 또한, 가격과 성능면에서 시장의 기준에 부합하여야 하며
- 재생가능한 또는 재생된 재료의 사용을 극대화 하며
- clean production technologies and best practices 을 사용하여 제품화 되어야 하며

(그림 2) 다양한 aliphatic biopolymer들의 구조적 특징



- 모든 예상 가능한 끝에서 무해한 물질로부터 제조되어야 하며

- 그리고, 생물학적 그리고 산업적 환경에서 효과적으로 복구 및 유용되어지는 것으로 정의 되어진다.

“biodegradable”은, 자연적인 환경아래에서 물질이 환경에 해가 되지 않는 물질로서 분해되는 과정으로서 정의 되어 질수 있다. 유사한 개념으로서, “compostable”은 microbes에 의한 생분해와 특정한 조건에서 물과 이산화탄소로 전환되어지는 물질로 정의되어져 왔다.

2. 다양한 이용가능 Biopolymer

최근 10년동안에, 새로운 물질에 대한 탐색은 폭발적으로 증가되었다. 성장하는 환경에 대한 인식을 바탕으로, 이러한 새로운 물질에 대한 탐

색은 특별히 친환경물질 (eco-friendly materials)에 치중되었다. 이러한 친환경물질에 대한 관심은, 재생이 불가능하고, 또는 분해되기 어렵거나, 분해되지 않는 물질로부터, 재활용되거나 쉽게 분해될 수 있는 물질로의 변환을 의미하며, 그러한 물질의 개발은 단지 새로운 물질을 찾는 과학자에게 좋은 동기부여일 뿐만 아니라, 세계를 둘러싼 인간의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 기회로서 친환경정책을 위한 기업 및 정부에게 있어도 많은 관심을 불러 일으켰다.

현재 많은 과학자들은 산업체에서 이용가능한 다양한 바이오폴리머들을 연구 개발하고 있다.

패키징 분야에서, 현재 성공적인 패키징 분야에서 사용되는 폴리에스터는 polylactic acid (PLA), polyglycolic acid (PGA), polycaprolactan (PCL) 그리고 PHB 들이 있다. (그림 1)에서 보듯, 특히 사항으로서는, 폴리에스터는 크게 aliphatic과 aromatic 폴리에스터로 나뉘어진다. 이 중, 녹색과 파랑색으로 표현된 폴리에스터들은, renewable이 가능한 biodegradable 폴리에스터이며, 붉은 색으로 표시된 폴리에스터는 renewable은 가능하진 않으나, compostable이 가능한 biodegradable 폴리에스터이다. 많은 폴리에스터 중, 식물에서 유래하면서, renewable이 가능한 것은 푸른색으로 표시된 PLA가 유일하다.

3-1. 주된 원료에 따른 분류

Plant based polyester로 PHA, PHB, PHV, PHB/PHV, PLA가 포함되며, Petroleum based polyester로서는 PHA, PGA, PLA, PBS, PLA, PHT, PBAT, PBST 등이 포함되어 질 수 있다.



이들의 대표적인 폴리에스터의 구조적 특징은 (그림 2)에서 표시되었다.

3-2. 미생물 발효에 의해 생산된 폴리에스터

Polyhydroxyalkanoates(PHAs) 계통의 폴리에스터로서, PHB, PHV, PHH, PHB/PHV, PHB/PHH, aliphatic 폴리에스터를 포함한다. 상업적으로 이용되는 주된 PHA로서는 PHB와 PHV가 있다. 이러한 PHA 계통의 폴리에스터는 당으로 준비된 배지에서 미생물의 발효 및 중합 공정으로 생성되어진다. 이것은 폴리에스터 역사상 처음으로 패키징 물질로 알려졌다며, brittle하고 높은 crystallinity를 가지며, 일반적으로 polystyrene계통의 폴리머들의 성질과 유사하다.

3-3. 합성 재생 가능한(Synthetic Renewable) 폴리에스터

PLA는 옥수수나 다른 곡류에서 추출된 당성분을 이용한 미생물 발효(Fermentation)를 통하여 생산된 lactic acid를 주원료로 하여 화학적 폴리머중합 과정을 거쳐 생산된다. Petroleum을 통한 모노머의 생산과정을 통하여 생산되어질수도 있으나, 상업화 되지는 않고 있다. PLA는 패키징 산업에서 가장 주목을 받고 성공적으로 이용되어지는 폴리머로서 약 50년전 처음으로 합성되어졌다.

PLA의 대표적 장점은 PLA의 제조는 hydrocarbon으로부터 합성된 폴리머와 제조비용 보다 30~50% 더 적은 화석연료를 필요로 한다. 이러한 장점을 바탕으로 carbondioxide emissions을 효과적으로 줄일 수 있는 Sustainable packaging의 주된 물질로써 이용되

어지고 있다.

또한 PLA의 높은 투명성(Transparent)과 stiffness 성질로 인하여, PET, HIPS, PVC and Cellulosics으로 기초된 패키징의 대체물로서 각광 받고 있다.

현재 PLA는 미국, 일본, 중국 그리고 네덜란드에서 생산되어지나, 가장 많은 PLA를 생산하는 곳은 1997년에 설립된 NatureWorks LLC이다 ((표 1) 참조). 특이사항으로서는, 네덜란드에서 Hycail에 의해 생산되는 PLA는 생산량은 적다 할지라도, 모두, NON GMO 곡류를 사용하여 만들어진 lactic acid로 폴리머 중합되어졌다. 네덜란드를 제외한 국가에서의 생산은 GMO에 대한 설명이 언급되어 있지 않다.

상업적 응용으로서는, PLA를 이용한 캔디포장, shrinking label 같은 다양한 flexible packaging 분야에서 성공적으로 응용되었으며, 또한, Thermoformed 패키징 또는 single-serve drink bottle과 같은 rigid packaging 분야에서도 성공적인 응용 및 관심이 증폭되고 있다.

3-4. Synthetic Non-renewable polyester

대표적으로 사용되어지는 폴리에스터로서는 PCL을 들수 있다.

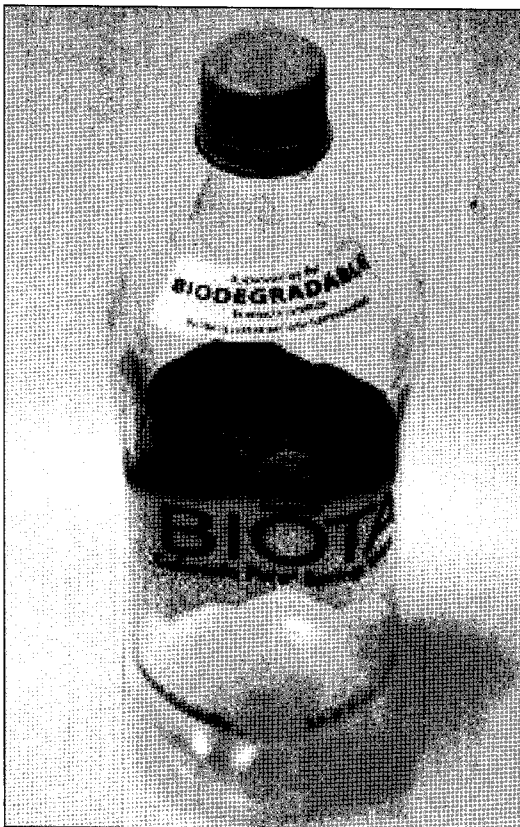
이것은 caprolactone의 ring-opening polymerization 공정을 통하여 생산되어진다. 대체로 낮은 melting temperature와 점도를 가지고 있어, 높은 processibility를 나타낸다. 이러한 계통의 폴리에스터는 Petroleum으로부터 생산되어졌다 할지라도 완벽하게 biodegradable한 성질을 지닌다.

Oil Based 폴리에스터중 2 종류의 AAC는

[표 1] 다양한 biopolymer의 생산 업체들

Plant Based		
Polylactic acid (PLA)	NatureWorks LLC	USA
	Toyota(Bio-Green Division)	Japan
	Tate & Lyle(Hycail)	Netherland
	Hisun	China
Polyhydroxyalkanoate(PHA)	Metabolix/ADM (Nature's Plastic)	USA
Oil Based		
Polyesters	BASF(Ecoflex™)	German
	Eastman(Eastar Bio™), Novamont	USA
	Dupont(Biomax™)	

(그림 2) PLA로 만들어져 판매되고 있는 생수병.
(Brands of America, Inc, USA)



BASF에 의해 생산판매되어지는 Ecoflex™ 과, Eastman에 의해서 생산 판매되어지는 Eastar Bio™이 있다((표 1) 참조).

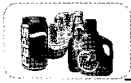
Modified PET는 현재, Dupont에서 생산되어지는 Biomax™ 시리즈 제품들이 대표적이다. 이것은 보통 PLA의 열적안정성(Thermo stability)을 증가시키기 위한 보조제로서(Heat-Stabilizing modifier) 개발 사용되어지고 있다.

3. Rigid packaging 위한 PLA 이용

산업체에서 용기포장의 이용가능성을 가늠짓는 중요 기준은 3가지로 요약되어 질 수 있다.

첫번째로, 높은 gas barrier 성질이다. 많은 식품 및 의약 제품들은 제품의 신선도및 안전성을 유지하기 위해서 다양한 가스(이산화 탄소, 산소 그리고 물)로 인한 제품의 변질 및 손상을 차단하는 패키징을 요구한다.

두 번째로, 제품의 저장과 운반시, 전반적인 안전성을 유지하기위하여 열적 안정성(Thermo

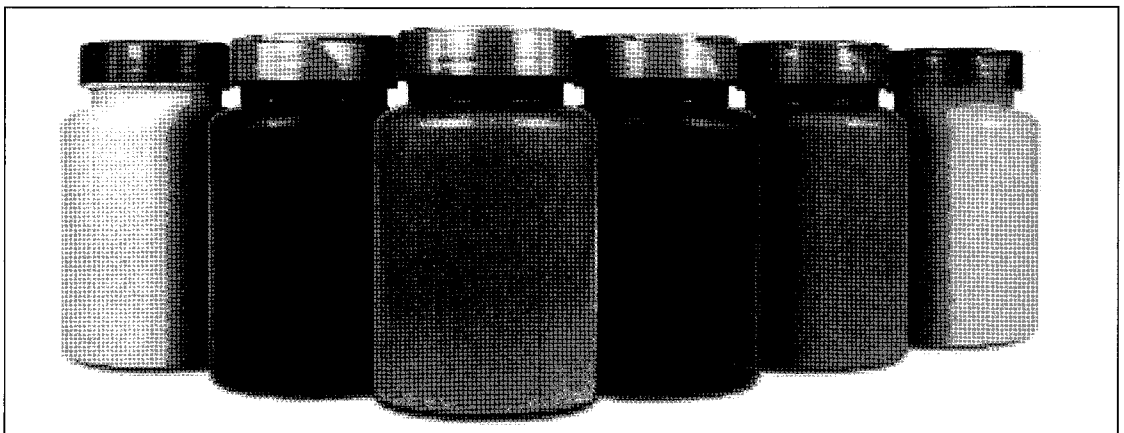


stability)은 필수적이다. 주요한 기준은 패키징의 Deformation 온도가 많이 이용되어진다. 일반적으로, 산업체에서 요구하는 열적안정성의 기준은 대체로, 65~70도 정도로 알려져 있다. 예로써, PET의 열적 안정성은 80~90도이고, PE based packaging은 약 63~70도로 알려져 있다. 이러한 열적 안정성에 대한 검증방법은 현재 공인화된 테스트 방법은 확립되어 있지 않다. 일반적으로, 산업체에서 사용되어지는 열적 안정성 테스트 방법으로는 Thermal mechanical analyzer(TMA)를 이용한 온도에 따른 Dimensional Change의 측정이 있다. 두 번째 방법은 전통적인 방법으로서, 일정한 온도로 셋팅된 오븐에서의 deformation의 정도를 측정하는 것이다. 마지막으로 패키징의 이용가능성을 가늠짓는 기준은, 물리적 성질이다. 패키징은 일정 압력(compression)과 impact에서 견뎌야, 제품의 생산 및 유통과정중 안전성을 보장할수 있다. 이러한 성질을 측정하기 위해서 사용되어지

는 방법으로서, compression 실험과 free drop impact test가 있을수 있다.

이러한 기준에 비추어 볼때, 순수한 PLA는 단지, 압력과 impact에서만 만족할만한 성질을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 일반적으로, PLA는 높은 물투과도와 이산화탄소 투과도, 그리고 상대적으로 낮은 산소투과도를 가지고 있다. 이것은 PLA의 hydrophilic한 구조적 성질에 기인한다. 또한, 순수 PLA 패키징은 산업에서 이용되어지는 기준보다 낮은 45~55도의 열적 안정성을 보유하고 있다. 이러한 두가지 disadvantages로 인하여, 식품음료산업에서의 rigid packaging에 대한 PLA 사용은 상대적으로 많이 제한되어져 있다. 예를 들어, 미국내에서 판매되어지고 있는, PLA 병에 담겨진 생수 (예 : Biota, Brands of America, Inc)는 제품의 lifetime은 높은 물의 투과로 인하여 PET에 담겨져 있을때 보다 5~10배 정도 낮은 것으로 알려져 있다.

(그림 3) 150cc EarthbottlesTM, 뚜껑을 포함한 100% natural 소재로 만들어진 패키징. 현재, Gaia-Hurbs는 2008년 10월 첫 상용화 하였다.



[그림 4] 70℃, 1 hour에서의 열적 안정성: 2% Biomax® Thermal 300를 사용하여 만들어진 PLA Tray(왼쪽)와 Pure PLA로 만들어진 tray(오른쪽), 출처 : DuPont™ Technical data sheet



현재, 이러한 단점들을 보강하기 위한 연구가 산업과 학계에서 많이 진행되어 지고 있다.

단적인 예로서, 2008 년도 9월, DuPont™ 은 Biomax® Thermal 300(heat-stabilizing modifier)라고 불리는 패키징 첨가물을 개발하였다. 그들의 보고에 따르면, 첨가물 2~4%의 사용을 가지고 PLA 제품의 열적 안정성을 95도까지 상승시키는 효과를 보여주었다고 한다 ([그림 4]참조). 단점으로서, 이 첨가물의 구성성분은 대략 50%의 oil based 물질이 사용되어져, 완벽한 Natural 생산품이 될수 없다는 것일수 있다.

또 다른 예로서, 나노테크놀러지를 이용한 EarthBottles™은 150cc PET병과 비교시, 낮은 산소투과도와 동등한 물투과도의 성질을 지닌 패키징을 개발하였다고 보고 하였다([표 3] 참조).

이것은 순수한 PLA로 제조되었을 때보다 7~10 배 정도의 Gas barrier 효과를 보여준다. 또한 열적 안정성에 대해서도 산업적 기준치를 초과한 65~70도 사이로 보고되어졌으며, 물리적 특성으로서는 HDPE병과 비교시, 3배에서 5배의 compression deformation에 대한 저항성을 가지고 있으며, free drop impact 테스트에서도 플라스틱 패키징과 대등한 결과를 보여주었다고 보고되어졌다.

또 다른 방법으로서, 현재 상업화된 제품은 없지만, 많은 기업들은 PLA 제품에 표면 처리를 통한 가스투과도 성질의 조절 (surface modification)을 연구하고 있다, 대표적인 방법

이것은 순수한 PLA로 제조되었을 때보다 7~10 배 정도의 Gas barrier 효과를 보여준다. 또한 열적 안정성에 대해서도 산업적 기준치를 초과한 65~70도 사이로 보고되어졌으며, 물리적 특성으로서는 HDPE병과 비교시, 3배에서 5배의 compression deformation에 대한 저항성을 가지고 있으며, free drop impact 테스트에서도 플라스틱 패키징과 대등한 결과를 보여주었다고 보고되어졌다.

[표 2] 150cc Earth bottle의 가스투과도

Property	Test	Test Method	Earth Bottle	PET	HDPE
Gas & Water	OTR	ASTM D3985	0.0150	0.0340	0.2491
Trans Rate	WVTR	ASTM F1499	0.0110	0.0100	0.0008

출처: Earthbottle™, Technical Data Sheet., OTR : Oxygen Transmission Rate, WVTR : Water Vapor Transmission Rate, 단위: gram/package/day/atm,



(그림 5) Sustainable 패키징 기술의 5가지 요소에 의한 소비자 및 retailer에 대한 매력도(출처 : Business Insight, 2008 Trends in Ethical and Sustainable Packaging)

구 분	Low cost	Short Lead time	High consumer awareness	Application across packaging materials	Application across categories
Recyclable					
Made from recycled materials					
Reduced packaging					
Biodegradable					
Nanotechnology					
Edible packaging					
Key :	Very weak	Weak	Average	Strong	Very strong

으로서는 PLA 제품 표면에 hydrophobic한 물질의 화학적 또는 물리적 코팅을 통한 물투과도의 조절을 들수 있다. 이러한 기술은 flexible film에 유용하게 이용되어질 수 있다.

4. 시장성 및 미래 경향

2007년 Expo East에서 행해진 Earthbottles retailer survey에 따르면, 제품의 sustainability를 위하여 68%의 리테일러는, 유리나 재생가능한 패키징 방법을 선호한다고 조사되었으며, 3 가지 중요한 sustainable

packaging에 대한 기준으로서 Oil에 기초되지 않고 적은 에너지가 사용되는 패키징, biodegradability, 그리고 세계적 트렌드인 sustainability movement에 위배되지 않는 패키징 솔루션을 찾고 있다고 응답하였다.

그리고, 87%의 리테일러는 100% natural 패키징은 시대적 요구에 맞는 패키징 방법이라고 조사되었다. 또한 59%의 리테일러는 소비자들은 약 10%의 sustainable 패키징에 대한 비용 상승에 대하여 용인 할 것으로 예상하며, 20%까지 패키징 생산비용의 상승에 투자할 수 있다고 응답하였다.

Business Insight의 ethical 그리고 sustainable 패키징의 경향에 따른 보고서 (2008년 6월)에 의하면, sustainable 패키징에 대한 요소를 다가지 중요 요소로(low cost, Short lead time, High Consumer awareness, Application across packaging materials, 그리고 application across categories) 나눈 후 이들의 6가지 sustainable 특성들과(recyclable, made from recycled materials, reduced packaging, biodegradable, nanotechnology, edible packaging) 연관하여 소비자와 retailer에 반응을 분석하였다. 특이한 사항으로서는 sustainability 특성상 recyclable 성질은 가장 높은 점수를 모든 요소에서 주된 요구성질이었으며, edible packaging 그리고 nanotechnology는 가장 낮은 점수들을 받았는데, 이것은 이들의 특성상 높은 비용과 낮은 소비자들의 인식에 의한 것으로 분석되었다.

이러한 관점에서 볼때, biopolymeric 폴리에스터의 사용은 sustainable 패키징의 성공에 중요한 요소로 작용할 수 있다. 또한 현재의 고유가의 세계경제 상황과, 대다수의 나라에서 펼쳐지고 있는, 높은 수준의 친환경정책, 또한 대표적 retailers(walmart, Tesco, 그리고 Auchan)들의 sustainable 패키징에대한 압력은, 다양한 폴리에스터의 모든 패키징산업 (rigid, flexible, graphic 그리고 labeling 패키징)에서의 성공과도 매우 밀접한 관계를 지니고 있다.

현재, 생분해 가능한 폴리에스터의 주요한 기술적 단점들이, (높은 가스투과도 낮은 열적안정성), 완벽하게 해결되지는 않았으나, 새로운 대체물질의 개발과 기술력의 향상으로, 가까운 미래에 해결될 것이다.

이러한 기술적 지식을 토대로, 많은 기존의 oil based 패키징 방법은 점차로 축소, 친환경적으로 바뀌어갈 것으로 예상된다. ☐

사단법인 한국포장협회 회원가입 안내

물의 흐름이 자연스러운 것은 물길이 나아있기 때문입니다.

포장산업이 강건하려면 미래를 내다보는 안목이 필요합니다.

포장업계의 발전이 기업을 성장시킵니다.

더 나은 앞날을 위해 본 협회에 가입하여 친목도모는 물론 애로사항을 협의하여

새로운 기술과 정보를 제공받아야 합니다.

포장업계에서 성장하기 원하시면 (사)한국포장협회로 오십시오.

(사)한국포장협회

TEL. (02)2026-8655~9

E-mail : kopac@chollian.net