

바이오기반 부틸고무로 친환경 타이어제품을 견인

| 저자 | 최수진 PD / KEIT 바이오PD실
윤정준 수석연구원 / 한국생산기술연구원
정인수 책임연구원 / KEIT 바이오 PD실
권소현 선임연구원 / KEIT 바이오 PD실

SUMMARY

// 목적

★ 타이어생산에 없어서는 안 될 합성고무(synthetic rubber)중 고성능 부틸고무(Butyl rubber)를 바이오기반으로 생산하는 기술에 대해서 주요 현황 및 시사점에 대해서 알아봄

// 주요현황

- ★ 부틸고무는 내산소성이 뛰어나 기체 투과를 효과적으로 방지하여 타이어의 최적 공기압을 유지함으로써 연료절감, 이산화탄소 발생 감소 효과로 생산량의 90% 이상이 타이어 이너라이너(inner liner)¹⁾로 활용되고 있음
- ★ 현재, 유럽 및 미국을 중심으로 바이오기반 원료를 사용하거나 연비 절감형 친환경 타이어 수요가 증가하고 있으며, 환경규제 강화를 통해 무역장벽을 높이고 있어, 친환경 타이어에 대한 관심이 어느 때보다 커지고 있음

// 시사점 및 정책제안

- ★ 오염 유발적인 기존 석유기반 부틸고무대신 친환경공법을 이용한 바이오기반 부틸고무를 활용한 친환경 타이어제품 개발 필요
- ★ 바이오매스(biomass)²⁾를 원료로 생물공학기술과 화학기술을 접목한 '바이오기반 화학제품' 생산기술은 바이오-화학 융합형 산업원천기술로 주목받고 있어, 국내에서도 타이어회사들과 바이오기업들의 전략적인 파트너십 구축과 친환경 제품의 소비자들 인식제고 향상 및 의무사용제도 등을 통한 산업 초기단계에서의 수요창출을 위한 정부의 정책적 지원 필요

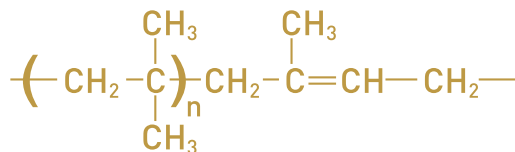
1) 타이어 내부의 공기압을 유지하기 위해 타이어 안쪽에 붙은 공기 밀폐층의 특수고무

2) 태양 에너지를 받아 유기물을 합성하는 식물체와 이들을 식량으로 하는 동물, 미생물 등의 생물유기체를 총칭

1. 개요

// 바이오 부틸고무 정의

- ★ **[부틸고무]** 부틸고무(butyl rubber, isobutylene-isoprene rubber(IIR))는 현재 석유화학적으로 생산되는 이소부틸렌(98%)과 소량의 이소프렌(2%)의 공중합체로 만들어 지고 있음. [그림1]
- ★ 원료 중 이소프렌의 함유량을 조절하여 불포화도(이소부틸렌에 대한 이소프렌의 비율(%))가 서로 다른 다양한 부틸고무 합성이 가능하여 가황속도가 빠르고, 기계적 강도가 높은 고불포화도형과 내오존성 및 내화학성 등이 높은 저불포화도형 등 개별 사용목적에 맞는 다양한 부틸고무 생산이 가능함

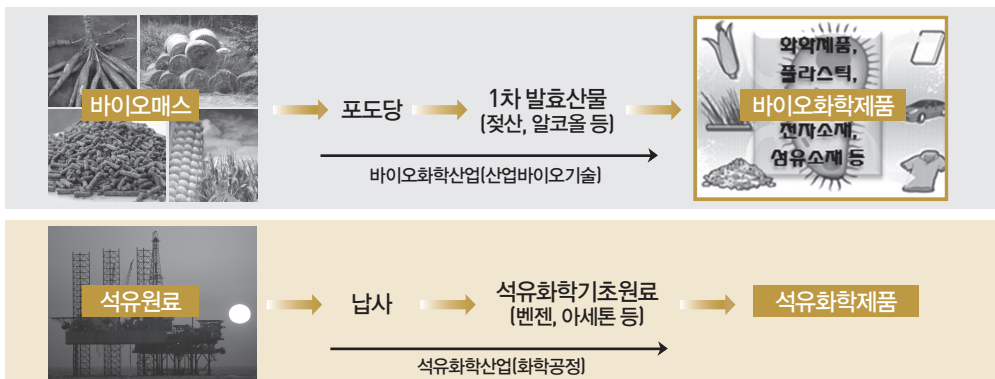


| 그림 1 부틸고무의 구조 |

- ★ **[바이오부틸고무]** 재생가능한 자원인 탄수화물, 지방, 단백질, 수분으로 구성된 사탕수수나 옥수수 등을 발효시키는 과정에서 탄수화물 분자가 분열하면서 생성된 당분을 특수한 미생물을 이용해 부틸고무의 주원료인 이소부틸렌이나 이의 전구체인 이소부탄올로 전환시키는 기본 원리를 바탕으로 특화된 친환경적인 바이오공정을 통해 생산하고 이를 이용해서 만들어지는 부틸고무를 바이오부틸고무라 하며, 이는 이산화탄소 감축과 관련한 글로벌 트렌드에 부합하는 산업 원료임

// 산업 및 제품의 특징

- ★ 바이오부틸고무는 석유 의존형 화학산업을 지속성장 가능한 산업으로 변모시키기 위해 바이오매스를 기반물질로 산업바이오기술을 활용하여 화학제품 및 연료를 생산하는 바이오화학산업의 제품군에 속함. [그림2]



| 그림 2 바이오화학산업과 석유화학산업 비교 |

★ 부틸고무는 내산소성이 뛰어나 기체 투과를 효과적으로 방지하여 타이어의 최적 공기압을 유지함으로써 연료절감, 이산화탄소 발생 감소 효과를 유도하기 때문에, 이러한 장점으로 현재 생산량의 90% 이상이 타이어 이너라이너(inner liner)³⁾로 활용되고 있음 [그림3]



| 그림 3. 부틸고무의 산업분야별 이용 현황⁴⁾, Sealant Product⁵⁾, Pharmaceutical Uses⁶⁾ |

2. 산업 환경

// 산업환경과 트렌드의 변화

- ★ 세계적 산업환경은 글로벌화의 가속화와 함께 국제적인 공동 환경규제, 석유자원 고갈 및 수요의 증가에 따른 원유가 급등, 기후변화 협약 등이 기존 에너지/화학 산업의 경쟁력을 약화시키고 있음. 특히, 이산화탄소 같은 온실가스의 발생을 억제함으로써 지구환경을 보전하고자 하는 범세계적인 노력의 일환인 교토의정서(Kyoto Protocol), 유럽의 리치(REACH), 최근의 발리 로드맵(Balley Roadmap) 등은 석유자원을 중심으로 하는 기존의 에너지/화학산업에 대한 근본적인 해결책을 요구하고 있음(Elsatomoers and Composites, 2012)
- ★ 자연계에서 지속적으로 생산되는 식물자원인 바이오매스(자연계에 존재하는 생물이 가진 유기물질을 총칭)는 재생 가능할 뿐만 아니라 환경 친화적이기 때문에 석유자원을 대체할 수 있는 중요한 자원으로 부각되고 있음. 이와 같은 바이오매스를 원료로 생물공학 기술(미생물 및 효소 등 생촉매 이용)과 화학기술을 접목한 ‘바이오기반 화학제품’ 또는 ‘바이오 연료’ 등의 물질을 생산하는 기술인 산업바이오기술은 새로운 산업의 영역으로 미국 및 유럽을 중심으로 활발하게 연구가 진행되고 있음 (Elsatomoers and Composites, 2012)

3) 타이어 내부의 공기압을 유지하기 위해 타이어 안쪽에 붙은 공기 밀폐층의 특수고무

4) 출처 : ICIS Chemical Profile : Butyl Rubber, 2005(<http://www.icis.com/resources/news/2005/06/03/682359/chemical-profile-butyl-rubber/>)

5) 출처 : C.R.Laurence(<http://crlaurence.com/crlapps>)

6) 출처 : prlog.org, “butyl rubber reliably seals sterile containers for injection solutions”

★ 전 세계 시장에서 바이오산업의 성장과 함께 다양한 친환경 제품이 시장을 점령해가고 있는 가운데 가장 큰 제조업 시장 중 하나인 타이어산업도 친환경 타이어 제품개발이 전세계적으로 경쟁이 가열되고 있음. 또한 중국산 저가 타이어에 대해 반덤핑 제소까지 한 미국의 타이어 업체들은 친환경 타이어로 소비자들의 다양한 수요 충족과 더불어 새로운 시장 개척을 하고 있음

3. 국내외 개발 동향

국외 개발 동향

★ **[바이오기반 합성고무 개발 동향]** 기존의 석유원료대신에 친환경공법을 통해 재생가능한 바이오원료를 기반으로 친환경 타이어 개발연구가 타이어 회사와 생물공학 회사간의 전략적인 협력을 통해 활발히 이루어지고 있음

- 세계 최대 타이어 제조사인 미국의 굿이어(Goodyear Tire & Rubber Co)사와 생물공학회사인 제넨코(Genencor)사간의 협력을 통해, 타이어 제조용 합성고무원료 중 이소프렌을 바이오매스로부터 생물공학적 방법으로 생산하는 기술로 만든 세계최초의 개념 데모 타이어가 공개됨 (2009. 12.). 이에, 굿이어는 바이오이소프렌을 이용한 타이어 개발에 박차를 가하여, 2018년까지 친환경 타이어의 생산량을 30% 이상 끌어올릴 계획
- 유사하게, 일본에서도 타이어 제조사인 브리지스톤(Bridgestone)사와 세계적인 첨단 발효기술을 지닌 아지노모토(Ajinomoto)사간의 공동연구를 통해 이소프렌을 바이오매스를 통해 생산하는데 성공하였으며, 또한 이로부터 합성고무를 개발 중 (그림4)

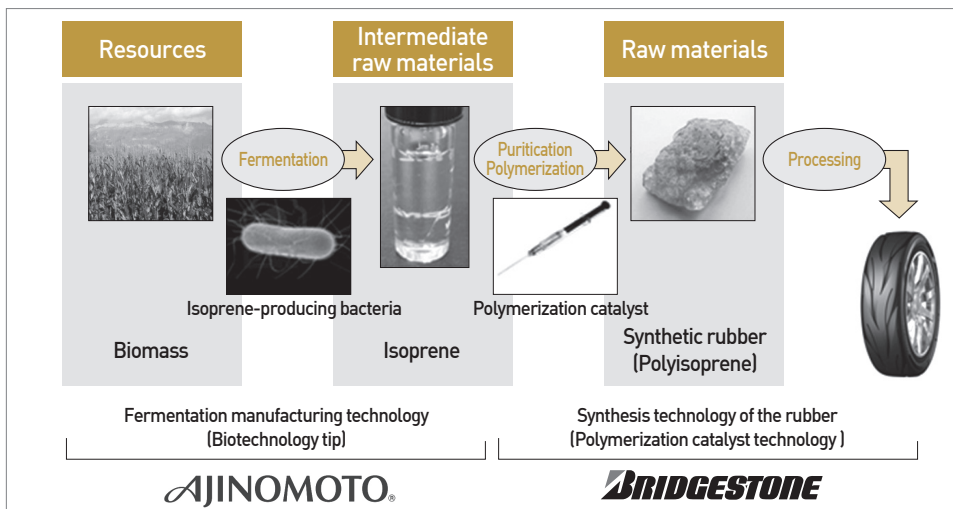
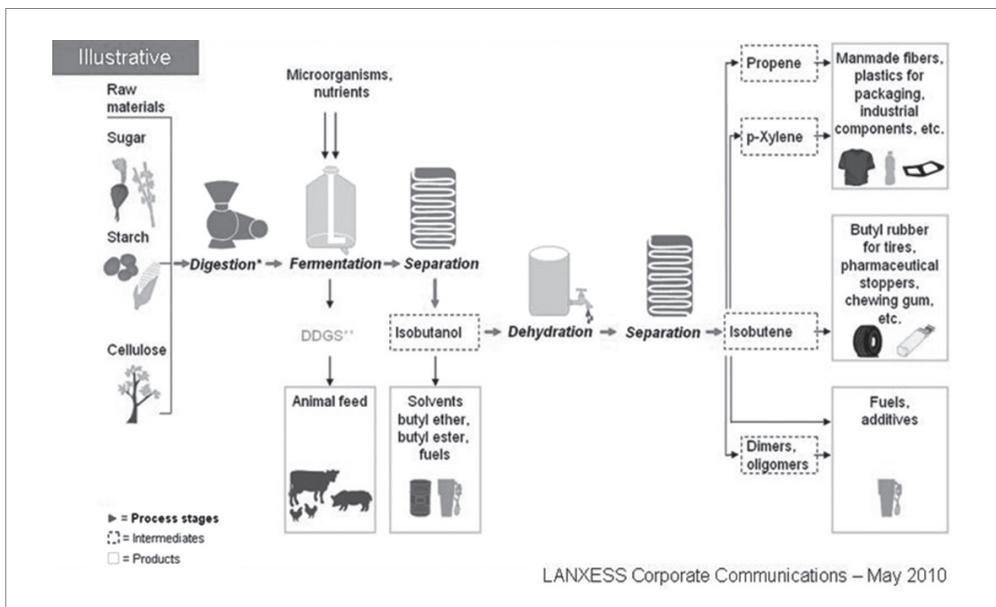


그림 4 친환경타이어개발을 위한 아지노모토사와 브리지스톤사의 연구협력 |

* 출처 : <http://www.bridgestone.com/corporate/news/2012053101.html>

★ **(바이오기반 부틸고무 개발동향)** 독일의 특수화학기업인 랑세스社は 친환경 고품질 합성고무의 개발역량 강화를 위해, 미국 지보(Gevo)社와 부틸고무 원료인 이소부틸렌 생산을 위한 협력연구 중.

- Gevo社가 개발 중인 이소부탄올 생산의 발효공법과 랑세스社가 개발 중인 이소부탄올을 이소부틸렌으로 전환하는 탈수공법을 통해 친환경적이고 지속가능한 이소부틸렌 생산공정이 개발되고있음 [2013-2015년: 파일럿스케일 장비에서 생산공정 검증, 2017-2018년부터: 상업적인 생산 계획]. [그림5]
- 프랑스의 글로벌 바이오에너지(Global bioenergies)社와 화학회사인 아케마(Arkema)社도 프랑스 정부의 지원(3년간 5.2백만 유로)을 받아 바이오매스 활용 바이오기반 이소부틸렌 생산공정을 개발하고 있음. 랑세스社와 Gevo社의 연구방향과 다르게 미생물의 직접발효를 통해 이소부틸렌 생산공정을 개발하고 있음 [Green Chemicals Blog, June 8, 2013]

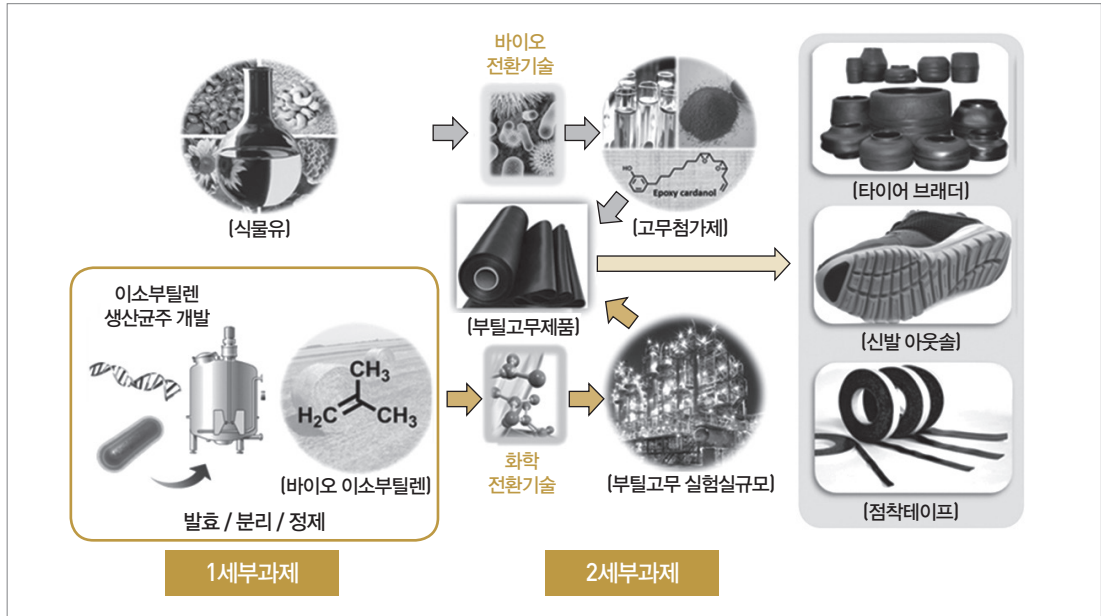


| 그림 5 랑세스社の 이소부틸렌 생산공정 |

// 국내 개발 동향

★ 산업통상자원부의 산업핵심기술개발사업으로 ‘고부가가치 바이오 부틸고무 제조 기술 개발’이 2014년 선정되어, 산·학·연이 공동연구팀((주)ApTech, 한국생명공학연구원, 한국생산기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국화학연구원, 홍익대, (주)용진유화, 유성화엔테크 등)을 구성

- 국산화 사례가 전문한 부틸고무의 제조와 관련한 주요 기술(바이오 기반 이소부틸렌 생산기술, 바이오 기반 고무배합 첨가제와 부틸고무 제품 생산기술)이 개발되고 있음 [그림 6]



| 그림 6 총괄 연구개발 도식도 |

4. 산업분석 및 시장 전망

/// 바이오화학제품 시장 동향

★ 바이오유래 폴리머 생산 2020년까지 세배 이상 증가

– 독일의 Nova 연구소에 따르면, 2020년이 되면 국제 바이오유래 녹색카본형 폴리머 생산이 정점에 달해 1,200만 톤⁷⁾에 이를 것이라고 예측

★ (바이오플라스틱) 국제유가가 및 환경이슈에 따라 '17년까지 매우 빠르게 성장 예측

– 국제 유가가 배럴당 100 달러 이상 지속적으로 유지됨에 따라, 바이오플라스틱에 대한 수요가 2012년 98만 톤에서 2017년 290만 톤으로 증가(CAGR : 약 27%)할 것으로 예상됨(자료 : Waste-management-world.com, 2013.4)

★ (아시아) '18년까지 중국과 일본이 바이오화학소재의 아시아 전체 생산의 78%를 차지할 것으로 예상되는데, 막대한 내수기반을 가진 중국과 화학기술 경쟁력을 바탕으로 한 일본이 주축을 이루고 있음

⁷⁾ 이 값은 '20년에 예상되는 전체 폴리머 생산량'이 4억 톤이라는 것을 감안했을 때, 1.5%(11년 점유율이 3%(20년)로 증가할 것이고, 바이오유래 생산량이 전체 생산량의 증가보다 빠르게 성장할 것으로 예측

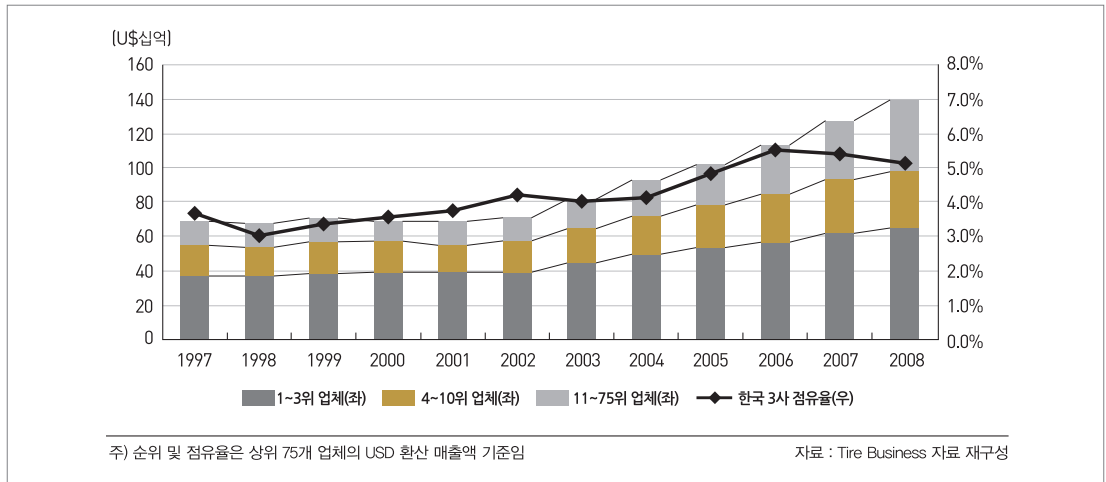
[표 1 화학제품의 분야별 세계시장 예측 (단위 : 10억 달러)]

년도	2005년		2010년		2025년	
	전체	산업바이오 기반	전체	산업바이오 기반	전체	산업바이오 기반
범용화학제품	475	0.9	550	5-11	857	50-86
기능성화학제품	375	5	435	87-110	679	300-340
정밀화학제품	100	15	125	25-32	195	88-98
폴리머	250	0.3	290	15-30	452	45-90
전체	1,200	21.2	1,400	132-183	2,183	483-614

* 출처 : Bachmann, 2005; Cygnus Business Consulting & Research; Informa Economics et al.

부틸고무 시장 동향

★ 부틸고무의 주요 시장인 세계 타이어 시장규모는 아시아 지역을 중심으로 꾸준한 성장세를 보이고 있으며 2008년 기준으로 약 1,400억 US달러(약 145.5조 원)를 형성하고 있음 [그림7]



[그림 7 세계 타이어 시장규모]

* 출처 : KIS Credit Monitor(2010. 9. 27)

★ 세계 부틸고무 시장은 미국 최대 에너지기업인 엑손(Exxon)사와 바이엘(Bayer)의 석유화학부문이 분사한 랑세스(Lanxess)사에 의해 양분되고 있으며 (표 2 참조), 이 중 랑세스사는 현재 한국타이어, 금호타이어, 넥센타이어 등 국내 우수 타이어 업체들과 파트너십을 맺고 고품질 부틸고무를 공급하고 있음

| 표 2 Capacity and Product of Butyl Rubber Manufacturers(ten million ton), 2010 |

Company	Capacity	Main Product
Exxon Mobil Chemical (USA)	29.5	CIIR
Japan Butyl Co., Ltd. (Japan)	14.5	IIR, CIIR, BIIR
Exxon Mobil Chemical (UK)	11	IIR, CIIR, BIIR
Socabu (France)	7	IIR, CIIR, BIIR
LANXESS (Canada)	13.5	IIR, CIIR, BIIR
LANXESS (Belgium)	13	IIR, CIIR, BIIR
Nizhnekamskneftekhim (Russia)	10	IIR, CIIR
Togliattikauchuk (Russia)	6	IIR
Sinopec Beijing Yanshan Petrochemical Co., Ltd. (China)	4.5	IIR
Total	109	

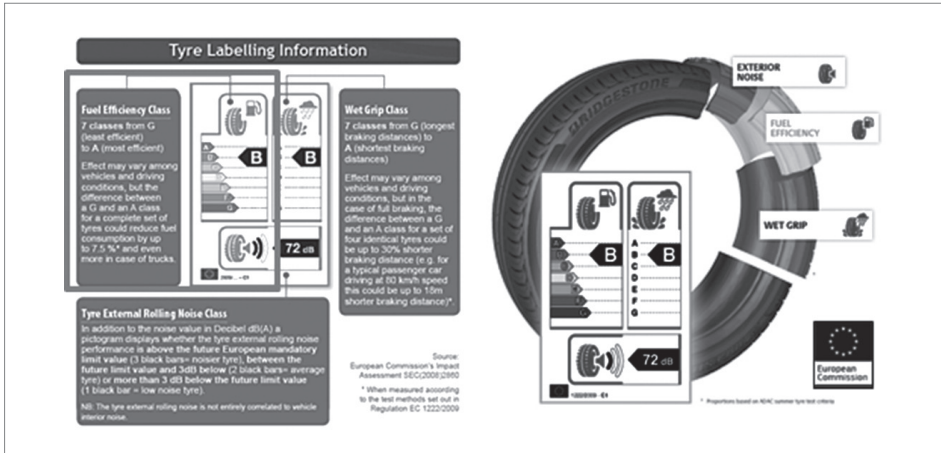
* 출처 : China Specialty Synthetic Rubber Industry Report, 2010

- ★ 연간 120만 톤 규모의 세계 부틸고무 시장은 2012년을 기준으로 57%의 수요를 아시아-태평양 시장이 차지하고 있으며, 이 지역의 급격한 도시화, 교통량 확대, 시장 고급화로 인해 연간 약 6%(약 6만 킬로 톤)씩 수요가 증가하고 있음 (출처: Naver Magazine Cast(2013. 6))

5. 이슈와 시사점

// 이슈

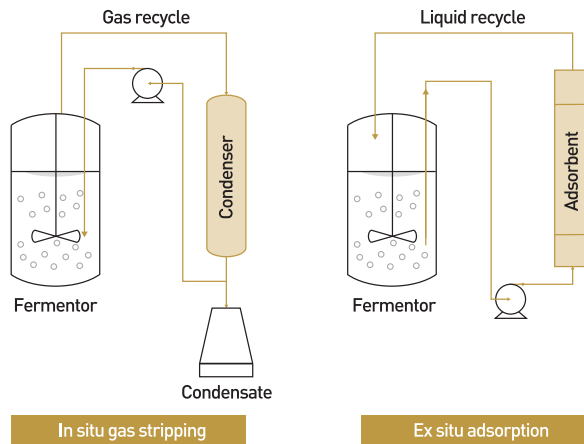
- ★ 유럽연합(EU)은 지난 2013년 11월부터 자동차 타이어에도 세탁기나 냉장고와 같은 에너지 효율성을 표시하는 ‘에너지라벨’제도를 도입하여 오는 2020년까지 자동차 1대당 CO2 배출량을 95g/km(이 중 타이어에 해당하는 비중은 10g/km(24%))로 낮추는 것을 목표로 하고 있으며, 이러한 정책적 이슈로 고성능 친환경 타이어 시장이 점차 활성화 될 것으로 기대
- ★ 국내에서도 또한 지난해 12월부터 국제적 흐름에 동반한 ‘타이어 에너지효율 등급 표시’ 의무화를 시행하고 있어 국내외적으로 친환경-고기능성 원료의 확보 및 개발이 업계의 뜨거운 감자로 부상함. 이러한 조치로 모든 차가 친환경 타이어를 장착할 경우 연간 200억 L의 연료와 5,000만 톤의 CO2 감축 효과가 있을 것으로 추정됨
- ★ 부틸고무의 원료인 이소부틸렌이나 그 전구체인 이소부탄올과 같은 화학소재를 미생물이나 생축매를 이용한 생물공정기술로의 생산에 어려운 문제점 중에 하나가, 생산물인 화학소재의 독성문제임. 특정 화학소재들은 비교적 낮은 농도에서도 생리학적으로 미생물 생장에 저해를 주어 발효공정상에서 생산성, 생산농도 및 생산수율 등을 감소시킴



| 그림 8 타이어 제품에 대한 EU 에너지라벨링 제도 |

* 출처 : European Commission(http://ec.europa.eu/energy/efficiency/tyres/labelling_en.htm)

- ★ 따라서, 화학소재의 미생물에 대한 저해현상으로 인한 문제점들을 해결하고 생산성 제고를 위해, 생산 후 분리정제의 첫째 단계인 추출공정을 발효공정에 접목시켜서, 생산물인 화학소재를 in-situ (발효기 안에서) 또는 in-stream (발효액의 순환상에서)로 연속 분리하는 공정 개발 등이 필요함 [그림9]
- ★ 특히, 부틸고무 원료인 이소부틸렌은 낮은 boiling point (-6.9도)로 인하여, 미생물의 발효공정상에서는 발효 배가스로 배출됨. 따라서, 기체상으로 존재하는 생성물의 포집, 저장 및 농축과 부틸고무원료로 사용하기 위한 고순도의 분리정제공정 개발 기술이 필요함



| 그림 9 In situ와 in stream 통합생물공정 |

/// 시사점

- ★ 바이오기반의 원료나 사용 시 온실가스 배출절감에 기여하는 등 환경에 기여하는 친환경 타이어제품 개발을 통한 타이어 시장의 세계적인 주도권을 갖기 위한 경쟁이 매우 치열한 단계임
- ★ 오염 유발적인 기존 석유기반 고무소재대신 친환경공법을 이용한 바이오기반 고무소재 활용 타이어제품개발은 바이오-화학 융합형 산업원천기술이므로, 국내의 타이어회사들과 바이오기업들의 전략적인 파트너쉽 구축 필요
- ★ 바이오화학제품의 원료인 바이오매스의 공급은 바이오화학산업의 첫 걸음임. 국내에서는 자원이 부족하여, 전량 바이오매스를 수입에 의존하여야 하므로, 자원이 풍부한 동남아시아나 중국과 같은 나라와의 협력을 통한 대규모 바이오매스의 안정적인 공급을 위한 정부지원이 필요
- ★ 바이오부틸고무와 같은 바이오기반의 제품은 기존 석유기반 제품에 비해, 아직까지는 가격경쟁력 측면에서 열위에 있으므로 산업 초기 단계에서는 수요창출을 기조로한 정부의 정책적 보조와 친환경 제품의 소비자들의 인식제고 향상과 의무사용제도 등의 지원도 필요

[참고자료]

1. “식물성오일기반 바이오탄성체의 합성과 특성”, 이혁[2012], 47-1호, Elastomers and Composites
2. “바이오화학소재의 산업적 생산을 위한 추출발효공정”, 안정오[2014], 9월호, 미생물과 산업
3. “ICIS Chemical Profile : Butyl Rubber” [<http://www.icis.com/resources/news/2005/06/03/682359/chemical-profile-butyl-rubber/>]
4. “China specialty synthetic rubber industry report”, 2010, Research in china
5. “바이오부탄을 생산기술 개발동향 및 전망” 이상현&엄문호[2013] 16-2호, 공협화학전망
6. “Sepaeartation and purification technologies in biorefineries” Shang-Tian et al. [2013]
7. “탈석유화학산업 바이오플라스틱의 창조적 역할과 발전방안” 심우석&남장근[2013], KIET 산업연구원

[국내외 주요 기술개발 현황]

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간
(주)ApTech (주)유성화연테크	고부가가치 바이오 부틸고무 제조 기술 개발	바이오 기반 이소부틸렌 생산기술, 바이오 기반 고무배합첨가제와 부틸고무 제품 생산기술	2014.6 ~ 2019.5