

# 지속가능한 친환경산업 발전 이끈다..

## 화이트 바이오테크놀로지

글\_ 상병인 KIST 수질환경및복원연구센터 선임연구원 biosang@kist.re.kr

### 기획연재순서

- ① DNA
- ② 반도체
- ③ 자동차
- ④ 항공
- ⑤ 로봇
- ⑥ 차세대 전지
- ⑦ 토목
- ⑧ 바이오신약
- ⑨ 스마트 무인기
- ⑩ 인간유전체기능연구
- ⑪ 21세기 차세대 초전도기술
- ⑫ White Biotechnology
- ⑬ 지능형 홈네트워크
- ⑭ 디지털콘텐츠, SW솔루션
- ⑮ 디지털 TV

**생**물공학(BT)은 가장 유망한 미래기술 중의 하나로 지난 수십 년간 발전해 왔다. 생물학이나 공학과 관련된 미래 기술개발은 생물공학을 통해 열매를 맺는다고 할 수 있다. 최근 독일에서는 생물공학을 여러 가지 색으로 표현하여 일반 대중이 알기 쉽도록 하고 있다. 한 예로 의약에 관련된 생물기술을 붉은색인 'Red BT', 농업에 관련된 BT는 녹색인 'Green BT', 해양 생물공학을 푸른색인 'Blue BT' 로 표현하고 있다.

유럽연합(EU)은 특별히 환경과 화학산업을 위한 생물공학기술을 흰색의 'White BT' 로 지칭하자고 제안하고 있으며 이의 발전을 위하여 유럽에서는 유로파바이오라는 산업연합체를 만들어 활발히 활동하고 있다. 처음에는 산업을 상징하는 색으로 여겨지는 철의 색인 Gray 가 거론되었으나, 제철산업에 종사하는 전문가들이 분말을 상징하는 White를 주장하여 이를 채택했다.

이러한 생물기술은 지금 막 탄생한 기술이 아니고 수천년 전부터 포도주와 치즈 등을 만드는데 이미 사용되어 왔다. 근래에 유전자 조작기술과 새로운 생촉매를 고속으로 창출할 수 있는 기술의 발전에 힘입어 이러한 생물기술은 기존 화학산업을 친환경적으로 탈바꿈시킬 것으로 기대되고 있다. 지금 인류는 자연이 선사한 새로운 도구를 기존 화학산업과 같이 인공적인 산업분야에도 적용할 만큼 생물기술이 발전된 시대에 살고 있으며 앞으로 그 추세는 더욱 공고해질 것이다.

### 식품·효소·환경 산업에 적극 이용

생물공학기술을 이용하여 화학 및 환경분야 산업에서 활발하게 제품을 생산하거나 이와 관련된 공정을 운전하는 분야가 있다. 대표적인 분야가 식품산업이

다. 맥주, 와인, 식초, 치즈 등은 생물공학과 식품산업이 만나 생산되는 대표적인 상품이다.

효소산업 역시 생물공학기술이 상당히 안정적으로 적용이 되고 있는 분야이다. 현재 닭고기의 85% 이상이 성장을 촉진하고 맛을 향상시키기 위해 효소가 첨가된 사료로 길러지고 있으며, 우리가 사용하는 종이, 역시 기존의 염소계 화학물질에 의한 표백공정이 효소를 사용하는 공정으로 대체된 공장에서 생산되는 것이 대부분이다. 또한 세제에 포함되어 있는 효소는 세탁 후 섬유의 감촉을 부드럽게 하고 색을 유지시키는데 기존의 화학합성 첨가제에 비해 탁월한 효과를 보이고 있다.

덴마크의 노보사는 면섬유를 제조하기 위하여 사용하는 고온의 강알칼리용액을 탈지용 효소로 대체하여 용수 다소비 산업 중의 하나인 섬유산업의 환경오염도를 크게 낮추는데 성공하였다. 용수사용량은 60%, 에너지는 25%, 비용은 20%를 줄일 수 있었다. 이렇게 첨가제의 형태로 생촉매가 투입되어 공정의 효율을 증진하고 환경오염도를 감소시키는 사례는 섬유산업 이외에 제지, 피혁산업 등이 있다. 최근 이러한 용수 및 환경오염물을 다량 배출하는 산업에 이러한 생촉매를 채용하여 공정을 개선하려는 시도가 상당히 진행되

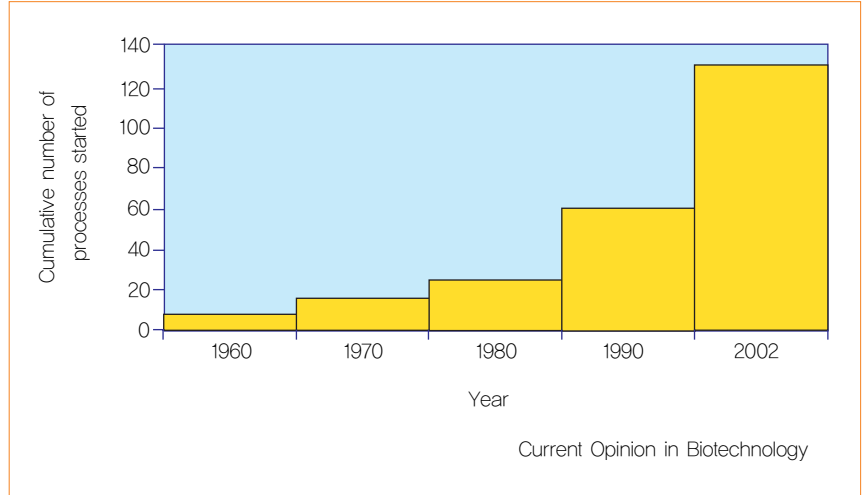
고 있는 상황이다.

이러한 성공적인 사례에 자극이 되어 기존의 화학적 촉매나 반응을 효소를 이용한 공정으로 대체하려는 움직임이 화학 산업을 중심으로 진행되고 있다. 이러한 효소를 이용한 공정은 에너지 소비를 줄이고 부산 폐기물을 저감시키며 환경에 유해한 독성물질의 사용을 줄일 수 있어서 주목을 받고 있다. OECD는 이미 화학 산업에서 친환경적으로 기존 제품을 지속적으로 생산하는데 사용되고 있는 효소관련 사례 21개 공정을 조사하여 발표하기도 하였다.

환경분야에 적용된 생물공학기술의 대표적인 사례는 수자원관리와 토양 및 지하수 복원분야이다. 19세기에서 20세기로 들어서면서 하수 및 오수를 생물학적으로 처리하여 지속가능한 수자원을 확보하려는 노력이 계속되었고 최근에는 물속에 함유되어 있는 미량 유해물질을 생물학적으로 제거하려는 공정이 보고되고 있다. 유류를 비롯한 화학약품의 사용 및 저장시설의 증가는 이러한 물질이 환경을 오염시킬 수 있는 기회 역시 증가시켰다. 이들 오염된 화학약품에는 발암 물질이 상당부분 차지하고 있어 환경에 친화적인 미생물을 이용한 복원기술이 사용되고 있다.

**생물정유 · 바이오가스생산기술로 확대**

환경을 보호하면서 기존의 산업생산을 유지할 수 있는 방안으로 구상되고 있는 것이 국제연합이 제안한 ‘지속가능한 발전’ 전략이다. 이 전략의 성공적인 수행을 위한 필요한 기술로 생물공학이 상당부분을 차지하고 있다. 몇 가지 제안 사례는 대기중의 이산화탄소를 탄수화물로 전



〈그림 1〉 상업화된 생촉매 공정의 변화 추이 (Current Opinion in Biotech, 2003)



〈그림 2〉 유럽 EuropaBio 조직 구조

환하는 BT 기술, 전환된 탄수화물을 BT 기술을 활용하여 수소, 메탄, 에탄올, 프로판올, 아세톤, 부탄올 등 중요한 기초 원자재를 생산하는 기술, 이들 원자재를 에너지화하거나 기초 화학산업 재료로 전환하는 BT 기술 등이다. 현재 연구가 진행되고 있는 대표적인 공정으로는 생물정유기술(Biorefinery)과 바이오가스(Biohydrogen, Biomethane) 생산기술

이다.

에탄올, 에틸렌과 같은 기초화학물질을 재생 가능한 탄수화물로 생산하는 일종의 정유공장을 건설하려는 시도가 미국에서 활발히 진행되고 있다. 전세계적으로 폐기물로 버려지는 바이오매스 자원을 이러한 기초화학물질로 전환할 경우 전세계 수요량의 약 40%를 충당할 수 있을 것으로 전망된다. 이러한 재생자원으로부터

에탄올, 에틸렌을 생산할 경우 기존 석유 자원에 비하여 이산화탄소 배출저감은 거의 108%에 이른다.

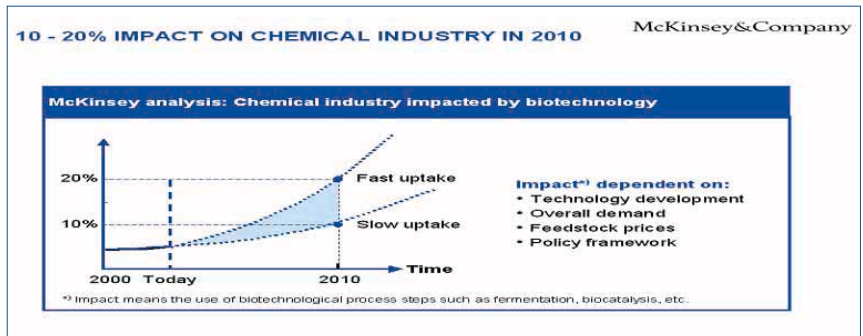
또 다른 분야는 생물공정을 이용한 기존 화학제품을 대체할 수 있는 친환경 화학제품 생산분야이다. 지금까지 대부분의 고분자는 석유자원을 기반으로 개발되고 생산되었으나 생물고분자는 미생물을 이용하여 설탕과 옥수수전분과 같은 재생가능자원에서부터 생산된다. 최근 미국의 카길다우사는 폴리락타이드(상품명 : NatureWorks)를 미생물을 이용하여 생산한 후 이미 각종 포장재, 섬유, 전자제품 외장재 등으로 시장에 출시하기 시작하였다. 또한 미국의 듀폰사는 1, 3-propandiol을 미생물로부터 생산하여 폴리에스테르를 만드는데 성공하였으며 이를 '소로나' 라는 제품으로 출시하였다. 이렇게 재생 가능한 탄수화물로부터 고분자를 생산할 경우 화석원료의 사용을 17~55%까지 절감할 수 있어 결과적으로 이산화탄소 배출량을 감소시키는 결과를 가져온다.

정밀화학 및 고부가가치 화학제품을 생물공학기술을 이용하여 생산하려는 분야 역시 주목을 받고 있다. 네덜란드 DSM사에서는 기존 10단계의 화학반응단계를 거쳐야 합성할 수 있는 항생제(Cephalexin)를 생축매를 이용하여 2단계로 간소화하는데 성공하였다. 이러한 경우 사용되는 각종 화합물과 에너지를 65% 감소시켰으며, 비용을 50% 감소시키는 효과를 얻었다. 현재 정밀화학공정을 이러한 생축매를 이용하여 대체하려는 시도는 이미 상당히 유용한 것으로 인정받고 있으며, 연구뿐만 아니라 이미 상업화에 성공한 공정의 수도 <그림1>에서 볼 수 있듯이 상당

<표 1> 화학기업의 퇴조 (미국 상장 기업의 시가총액 표)

Rank	1969		1979		1989		1999	
	Company	Mkt Cap	Company	Mkt Cap	Company	Mkt Cap	Company	Mkt Cap
1	IBM	\$115	IBM	\$37.6	Exxon	\$62.5	Microsoft	\$601.0
2	AT&T	26.7	AT&T	36.6	GE	58.4	GE	507.2
3	General Motors	19.8	Exxon	24.2	IBM	54.1	Cisco	355.1
4	Eastman Kodak	13.3	General Motors	14.5	AT&T	48.9	Wal-Mart	307.9
5	Exxon	13.3	Schlumberger	11.9	Phillip Morris	38.7	Exxon Mobil	278.7
6	Sears, Roebuck	10.5	Amoco	11.8	Merck	30.6	Intel	275.0
7	Texaco	8.3	Mobil	11.7	Bristol Myers Squibb	29.4	Lucent	228.7
8	Xerox	8.2	GE	11.5	Dupont	29.1	AT&T	226.7
9	GE	7.0	Sohio	10.8	Amoco	27.9	IBM	196.6
10	Gulf Oil	6.4	Chevron	9.6	Bell South	27.9	Citigroup	187.5
11	JM	6.0	Atlantic Richfield	9.3	Coca-Cola	26.0	America Online	169.5
12	Dupont	4.9	Texaco	7.8	General Motors	25.6	AIG	167.4
13	Avon Products	4.9	Eastman Kodak	7.8	Mobil	25.6	Oracle	159.5
14	Coca-Cola	4.7	Phillips Petroleum	7.4	Wal-Mart	25.4	Home Depot	158.2
15	Mobil	4.7	Gulf Oil	6.8	Procter & Gamble	24.3	Merck	157.1
16	Procter & Gamble	4.5	Procter & Gamble	6.1	Chevron	24.1	McWorldcom	149.3
17	Chevron	4.3	Getty Oil	6.1	GTE	23.1	Procter & Gamble	144.2
18	Polaroid	4.1	JM	5.9	Bell Atlantic	21.9	Coca-Cola	143.9
19	Merck	4.1	Dupont	5.8	Pacific Telesis	21.0	Dell Computer	130.1
20	Atlantic Richfield	3.8	Dow Chemical	5.8	Ford Motor	20.6	Bristol-Myers Squibb	127.3
21	American Home Prod	3.6	Sears, Roebuck	5.7	Johnson & Johnson	19.8	Pfizer	125.6
22	ITT	3.5	Merck	5.4	Dow Chemical	19.2	Johnson & Johnson	125.3
23	Amoco	3.4	Xerox	5.2	SBC Communicatior	19.2	Sun Microsystems	121.0
24	Johnson & Johnson	3.3	Conoco	5.1	Eli Lilly	19.1	Hewlett-Packard	115.9
25	GTE	3.2	Halliburton	5.0	Ameritech	18.4	Yahoo!	113.9

주: 녹색 : 화학기업, 붉은색 : IT 산업체



<그림 3> BT에 영향 받는 화학산업의 규모 예측 전망(EuropaBio자료, 2003)

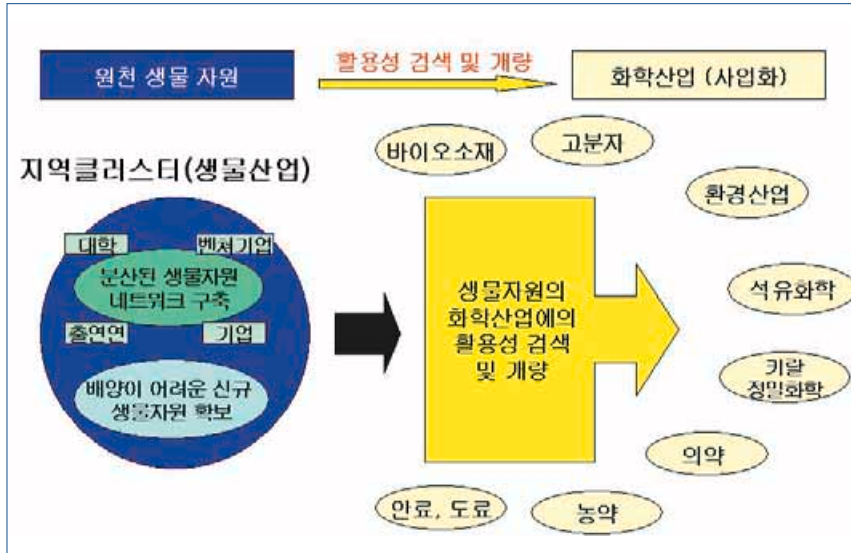
히 급격하게 증가하고 있는 추세다. 또한 이렇게 성공적으로 상업화된 정밀화학분야도 화장품이나 식품관련 화합물에서 고분자, 의약 등으로 빠르게 그 분야를 넓혀가고 있는 추세다.

### '공해' 산업을 '환경친화' 산업으로...

한국의 화학산업의 생산액은 1990년의 17조 원, 2000년 56조 원으로 10년 만에 3.5배 증가하는 등 빠른 성장을 보이고 있다. 국내 화학산업의 비중은 제조업 총생산액의 4.6%에 달하며, 부가가치가 32.5%에 이르고 있어 화학산업은 과거

우리 나라 경제발전의 견인차 역할을 하였다. 그러나 <표1>에서 볼 수 있듯이 일반 대중이 인식하고 있는 화학산업의 위상은 계속해서 추락하고 있는 상황이다. 이러한 상황은 우리 나라뿐만 아니라 선진국인 미국이나 유럽에 있어서도 동일한 상황으로 판단된다.

1970년대 미국 주식시장 시가총액 30위 이내의 기업 중에 상당수가 화학산업에 기반을 둔 기업들이었으나, 21세기 들어서에는 엑슨을 제외한 화학산업체를 상위 기업군에 찾을 수가 없게 되고, 마이크로소프트, 야후와 같은 IT 기업들로 대체되



〈그림 4〉 발전전략 제안

었다. 이러한 화학기업 퇴조는 일반대중들이 느끼는 화학산업의 성장의 한계성에 비롯된 것이라 말할 수 있다.

현재 화학산업은 공해유발산업이라는 명예를 지고 있으며, 유한한 석유자원을 기반으로 하는 것에 대한 불안감에 휩싸여 있는 상태라 할 수 있다. 그러면 이러한 일반대중의 부정적 인식을 바꾸고 지속적으로 성장할 수 있는 길은 무엇인가. 화이트 바이오테크놀로지는 이러한 질문에서 그 필요성이 대두되었다.

화이트 바이오테크놀로지를 화학산업에 적극적으로 적용할 경우 기존 화학산업을 환경친화적이면서 동시에 지속적으로 성장할 수 있는 신화학산업으로 변화시키는데 일조할 수 있을 것이다. 이는 생물기술을 화학산업에 적용할 경우 온화한 반응조건과 공정의 축소 및 수율의 증가 등 결과적으로 오염물을 적게 생산/배출할 수 있기 때문이며, 또한 재생가능자원을 원료의 기반으로 할 경우 결과적으로 이산화탄소의 배출량 감소를 유발하기 때

문이다.

#### 화학산업 전반에 걸쳐 WB 응용 기대

미국의 경우 재생자원으로부터 전체 화학산업에 필요한 원료의 20%를 2020년까지, 50%를 2050년까지 충족하려는 원대한 계획을 발표하바도 있으며 이러한 목표를 달성하기 위하여 미국은 BIO (Biotechnology Industry Organization)라는 산업단체가 중심이 되어 활발한 활동을 벌이고 있다. 이에 자극을 받은 유럽의 경우 2003년 유로파바이오라는 연합체를 구성하여 유럽의 현실에 맞는 화이트 바이오테크놀로지를 발전시키기 위하여 노력하고 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 유로파바이오에는 BT에 기반을 둔 바이오회사들과 이를 적극적으로 도입하여 신산업 창출에 관심이 많은 화학기업들이 서로 연합하고 있는 것을 볼 수 있으며 외부 자문기구를 두고 있다.

유로파바이오에서는 두 가지의 화이트 바이오테크놀로지 발전전망을 내놓고 있

는데, 〈그림3〉에서 볼 수 있듯이 2010년 경에 전체 화학산업 중 10%에서 20%가 생물기술에 의하여 영향을 받고 혜택을 입을 것이라는 전망을 내놓고 있다. 이러한 경우 연간 부가가치 증가액은 약 110억 유로에서 약 220억 유로에 달할 것으로 전망하고 있다.

지속가능한 화학산업의 발전을 위해서는 물질의 재이용, 공정의 청정화 차원이 아닌 근본적으로 새로운 기술을 접목해야 하며, 이러한 신기술 중의 하나가 바로 화이트 바이오테크놀로지이다. 이러한 신기술을 우선적으로 적용해야만 지속적으로 일자리를 창출하고 새로운 시장수요에 대응할 수 있는 혁신을 이루어 내며 현재 및 미래 세대에 대한 책임을 질 수 있을 것이다.

맹목적으로 외국의 사례를 추종할 것이 아니라 냉정하게 우리의 위치를 살펴보면서 우리의 경쟁력을 극대화할 수 있는 발전 전략을 마련해야 한다. 기존에 확보된 생물 유전자원의 쓰임새를 찾는 연구 및 기술개발을 극대화해 결과적으로 단기간에 산업화 기술을 확보할 수 있도록 해야 할 것이다. 이러한 노력의 산물로 얻어지게 될 산업화의 성공은 원천생물 자원을 확보해야 할 필요성과 관련 기초기술의 발전을 촉진하는 자극제가 되어 결과적으로 친환경산업을 활성화하고 다양한 화학산업 전반에 응용될 수 있는 생물기술이 개발될 수 있을 것이다. ㉔



글쓴이는 서울대 화공과를 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 도쿄공대에서 생물공학 박사학위를 받았다.