

환경생물산업의 현황과 육성전략

김태용

삼성지구환경연구소 수석연구원

1. 지속가능한 발전과 환경생물산업

유엔 세계환경개발위원회(World Commission Environment and Development ; WCED)는 1987년 ‘우리 공동의 미래(Our Common Future)’라는 보고서를 발표하면서 ‘지속가능한 발전’이란 개념을 처음으로 사용하였다. 지속가능한 발전은 환경보전과 경제성장을 동시에 추구하는 새로운 개발 개념으로 1992년 브라질 리우에서 개최된 유엔환경개발회의(UNCED)에서 공론화되었다. 지속가능한 발전은 ‘환경적으로 건전하고 지속가능한 발전(Environmentally Sound and Sustainable Development ; ESSD)’의 줄임 말이다. 지속가능한 발전은 “미래 세대의 욕구를 충족시킬 수 있는 능력과 여건을 훼손하지 않으면서 현재 세대의 욕구를 충족시키는 발전이다”라고 정의하고 있다. 우리나라는 2000년에 국가차원에서 대통령 자문 지속가능발전위원회를 설치하여 국정에 지속가능한 발전 개념이 반영될 수 있는 기반을 만들었다. 이러한 지속가능한 발전의 개념에는 경제적, 환경적, 사회적 가치를 동시에 고려하도록 요구하고 있다. 경제적, 환경적, 그리고 사회적 가치는 서로 상반되거나 혹은 상호 보완적인 가치로 작용할 수 있다. 그러나 이 세 가지 가치가 서로 적정하게 균형을 찾고 최소한의 기준선으로 지켜지는 소위 ‘Triple Bottom-line’으로 인식되어야 한다고 본다.

환경생물산업은 생물과 처리공정을 이용하여 경제적, 환경적 및 사회적으로 유익한 방식에 의해 환경오염물질의 정화, 생태계의 복원, 사전예방, 자원화 등을 달성하려는 분야로, 다른 산업분야에 비하여 지속가능한 발전을 위해 필요성이 상당히 높은 분야이다. 환경생물산업은 환경친화적인 처리기술을 개발하는 분야로 오염원의 근본적 제거방식과 2차 오염원을 감소시키는 방식 등을 다루는 가격경쟁력이 있는 산업이다. 즉 기존의 생산공정을 화학공정에서 생물공정으로 대체함으로써 환경오염물질을 획기적으로 저감시킬 수 있다고 하겠다. 예를 들면 바이오촉매(Biocatalyst)가 이에 해당되며 이를 적용하는 경우 제조공정 중에 발생할 수 있는 많은 유독물질이 근본적으로 발생되지 않는다. 환경오염물질의 정화에 있어서도 화학적 처리는 사용된 화학약품에 의해 2차 오염원이 발생하는 단점이 있는 반면 생물학적 처리는 2차 오염원이 발생하지 않는 장점이 있다. 그러나 생물공정은 화학공정에 비하여 처리시간이 비교적 길고 처리상태가 불안정하다는 단점이 있다.

또한 지속가능한 발전과 지속가능한 자원 관리는 밀접한 관계

를 가지고 있다. 지속가능한 자원 관리를 위해서는 자연자원의 특성을 이용하여 자연자원을 이용하고 지구의 자정능력 범위 내에서 폐기물을 버리도록 하여야 한다. 자연자원은 일반적으로 ‘재생가능자원(Renewable Resource)’과 ‘재생불가능자원(Non-renewable Resource)’으로 구분된다. 재생가능자원은 이용가능량이 시간대에 따라 일정하지 않고 변하기 때문에 어떤 일정기간 동안에 이용할 수 있는 물량이 유동적인 자원을 말하고 재생불가능자원은 인간이 이용하지 않는 한 그 부존량이 시간에 따라 거의 변하지 않고 고정되어 있는 자원을 말한다. 지속가능한 자원관리는 기본적으로 재생가능자원을 재생되는 자원량의 범위 내에서 소비하도록 하고 재생불가능자원은 재생가능자원으로 대체하여야 하며 자연계로의 폐기물의 투기는 자연의 자정능력 범위 내에서 이루어져야 한다. 그러나 일부 재생가능자원도 고갈될 염려가 있기 때문에 적정관리가 요구되고 있다. 재생가능자원은 이용가능량이 때에 따라 변하기 때문에 풍부할 때 최대한 이용하거나 일부를 저장해 두었다가 풍부하지 않을 때 꺼내 쓰는 지혜가 요구된다. 지속가능한 자원 관리에 있어 ‘자원의 순환적 이용’에 환경생물산업이 절대적으로 필요한 분야이며 자연의 자정능력을 대행하거나 훼손된 생태계를 복원하는 등 생명공학 및 환경공학의 역할은 지대하다고 볼 수 있다. 자원의 순환적 이용은 자원 사용에 따른 폐기물의 발생을 억제하고 발생된 폐기물의 전부 또는 일부를 재사용하는 것이며 폐기물의 전부 또는 일부를 재사용하지 않는 경우 재생하거나 열회수하여 순환적으로 이용하는 것을 말한다. 자원의 순환적 이용에 생태계의 기본원리인 물질과 에너지의 흐름을 적용하여야 하는데 이를 위해서는 환경생물산업이 크게 기여할 수가 있다고 본다. 예를 들면 농도도의 환경오염물질을 고속 혐기 미생물반응기로 처리하여 다량의 메탄가스를 생산하여 에너지로 재활용하는 경우가 이에 해당된다. 또한 생명공학 및 환경공학을 이용하여 훼손된 생태계를 복원하여 지속가능한 자원 관리가 가능하도록 하여야 한다. 그리고 수중의 질소, 인 등에 대한 자연의 자정능력을 제고시키는 미생물, 수생식물 등을 개발하거나 훼손된 산림, 하천 등을 복원하기 위한 식물 등을 개발할 수가 있다.

2. 환경생물산업의 현황

국민소득의 향상과 함께 ‘삶의 질’에 대한 욕구 증가, 평균수명 연장, 그리고 건강, 식품 및 환경에 대한 관심 증가 등으로

생명공학 및 환경공학이 중요하게 되는 추세이다. 정보공학(IT), 생명공학(BT), 환경공학(ET) 등이 21세기 성장산업으로 부각됨에 따라 선진국은 각종 육성 정책을 개발하여 시행하고 있는 상황이다. 일본은 정보통신, 생물산업, 환경산업을 3대 유망산업으로 선정하여 정부 지원을 강화하고 있으며 미국도 환경산업을 수출전략산업으로 선정하여 집중적으로 육성하고 있다. 우리나라도 생물산업과 환경산업을 차세대 국가전략산업으로서 육성해야 하는 필요성을 인식하고 2001년도에 발전전략을 정책적으로 수립하여 시행중이다. 과학기술부는 중점연구개발사업, 21세기 뉴프론티어사업 등을 통해 생물산업을 육성하기 위한 기술개발과제를 집중 지원하고 있다. 환경부가 주관이 되어 9개 부처 공동으로 환경산업 발전전략을 수립하였고 10개년 차세대 핵심환경기술개발사업에 착수하였다. 산업자원부는 국가 전략사업으로 지정된 생물산업 분야의 첨단기술인력을 양성하기 위한 구체적 프로그램을 수립하고 지원을 확대할 계획이다.

2-1. 환경생물산업의 개요

환경생물산업은 미생물 및 기타 생물학적인 현상을 이용하여 자연에 유해한 오염물질을 제거하거나 오염된 부분을 회복시키며 더 나아가 유용한 물질 및 에너지를 회수하는 산업을 말한다. 환경생물공학 기술은 전세계적으로 이제 개발단계이므로 집중적인 투자가 이루어 질 경우 기술개발 및 관련산업을 선도할 수 있을 것으로 보인다. 환경산업에 미생물 유전정보의 조작 및 이용 기술의 적용이 확대될 추세로 환경생물산업의 전망은 밝은 편이다. 그리고 환경생물공학 기술은 미래 환경산업의 핵심기술로 급속하게 시장을 형성하여 팽창할 것으로 예상된다. 환경생물산업을 유형별로 분류해 보면 오염방지 및 제거(Protection Process) 분야, 오염지역 복원(Bioremediation) 분야, 오염탐지 및 측정(Detection and Monitoring) 분야, 사전오염방지(Bioprevention) 분야 등으로 나누어질 수 있다.

2-1-1. 오염방지 및 제거(Protection Process) 분야

오염방지 및 제거 분야는 발생된 오염물질의 사후처리로 기존의 응집, 침전, 흡착, 집진, 여과 등 물리화학적 처리방법과 조합하여 미생물 및 효소 등을 이용하는 생물학적 처리 방법을 적용한 분야를 말한다. 예를 들면 수질 및 대기오염물질 중의 난분해성 물질만을 선택적으로 처리할 수 있는 미생물의 제조 등이 이에 해당된다. 또한 고정화된 미생물을 이용하여 기존 처리설비의 설치를 획기적으로 절감하는 경우도 있다. 오염방지 및 제거 분야에는 담체(Media)¹⁾ 및 바이오필터(Biofilter)²⁾를 이용한 폐수처리, 유전자조작 미생물(Genetically Engineered

Microorganism ; GEM)을 이용한 폐수처리, 바이오필터를 이용한 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds ; VOC) 및 악취 제거 등이 있다. 환경산업에 유전자조작 미생물을 이용하는 분야는 현재 연구단계이나 곧 실용화가 예상되고 있다. 전세계적으로 산업발전으로 인한 유해화학물질, 합성화학물질 등이 생태계에 방출되고 있다. 특히 난분해성 물질, 중금속, 침출수, 고농도 유기폐수 처리에 많은 어려움을 가지고 있다. 오염물질 정화를 위한 유전자조작 미생물 균주의 개발은 특정 오염물질 제거 능력을 유전공학적 방법으로 증강시킨 미생물 균주를 확보하는 것으로, 이러한 균주를 이용하면 탁월한 효과를 볼 수 있을 것이라 보고 있다. 처리방법으로 기존의 화학적 변환에 의한 무독화기술은 2차 오염을 유발하고 처리비용 및 에너지 소비 면에서 많은 문제를 가지고 있다. 미국은 수질오염방지기술로 유전공학적 기법을 이용한 폐·하수처리기술, 폐수를 배출하지 않는 폐쇄계 등의 개발에 대한 실용화 연구가 진행 중에 있다. 일본의 경우 환경오염물질 정화 분야인 유기물과 질소, 인의 제거에 유전자조작 미생물 이용기술이 실용화되고 있으나 난분해성물질의 분해 및 처리에 대해서는 아직까지 큰 진전이 없는 상태이다. 유전자조작 미생물 이용기술은 특정물질을 분해할 수 있는 미생물의 개발, 고정화 장치를 이용한 유전자조작 미생물의 유지, 폐수 및 배출가스 처리에의 적용, 난분해성물질 처리 기능 등을 연구하는 분야이다.

2-1-2. 오염지역복원(Bioremediation) 분야

오염지역복원 분야는 토양 내에 존재하는 미생물 또는 외부에서 주입된 미생물에 의하여 오염물질을 인체에 무해한 물질로 변환시키는 방법이다. 이 방법은 오염지역복원 방법 중 가장 무해하고 안정적인 처리 방법이며 전체 오염지역복원 분야의 시장에서 약 20%를 차지하고 있다. 토양오염, 지하수오염, 해수기름오염, 유해농약물질오염 등 다양한 오염원을 처리할 수 있다.

오염지역복원 분야는 지표면처리 방식(On-site Bioremediation), 지중처리 방식(In-situ Bioremediation), 굴착 후 처리 방식(Ex-situ Bioremediation) 등으로 나누어진다. 지표면처리 방식으로는 오염토양 내에 존재하는 미생물을 이용하는 방식(Biostimulation)과 순치된 미생물을 새로이 첨가하는 방식(Bioaugmentation)으로 또다시 구분된다. 그리고 지중처리 방식은 휘발성유기화합물 제거에 효과적인 방식(Bioventing)이다. 굴착 후 처리 방식은 심한 오염지역이나 미생물의 생장에 부적합한 지역에서 주로 쓰이며 굴착된 토양을 슬러리 상태로 만든 다음, 생물반응기(Bioreactor)에 주입하여 처리하는 방식을 말한다. 최근에 유류, 염소화합물(PCB 등), 중금속 등으로 오염된 토양

1) 담체란 수처리에 사용되는 수중미생물의 농도와 특성을 향상시킬 목적으로 사용되는 구조물을 지칭하는 것으로 미생물이 부착하여 거주할 수 있는 지역을 제공한다.
 2) 바이오필터는 여재 표면에 부착된 미생물에 의해 오염물질을 분해하는 고정상 부착성장공법을 적용한 것을 말하며 여재층 내 공극에는 부유미생물이 성장하게 된다.

과 저니(Sediment)를 주요 대상으로 정화기술이 활발히 연구되고 있다. 기술개발분야로는 대상물질 분해 및 무독화미생물 탐색, 기능강화 및 개발, 생물반응기 개발, 종합적 처리공정 개발 등으로 이루어지고 있다. 선진국은 기존의 확보된 기술과 사업 수행 경험을 토대로 유전자조작 미생물 균주를 개발하여 기술우위를 점유하고 있다.

2-1-3. 오염탐지 및 측정(Detection and Monitoring) 분야

오염탐지 및 측정 분야는 미생물 및 효소가 특정오염물질과 반응하는 특성을 이용하는 영역이다. 오염물질의 총량을 측정하는 바이오센서에서 현재는 특정 미생물 개체의 유전자 조각과의 결합을 측정하는 유전자감지 DNA-Chip, 즉 바이오 칩³⁾으로 발전하고 있다. 오염탐지 및 측정 분야로는 바이오 칩에서 핵심이 될 미생물의 탐색(Screening), DNA 해독 등이 선행되어야 하며 개발된 미생물을 이용한 환경친화적 미생물 제재 개발, 이를 이용한 녹·적조 방제 분야, 그리고 바이오 칩의 다양한 내용(Contents)을 개발하여 응용하는 영역 등이 있다. 현재 활발히 연구되고 있는 DNA-Chip은 질병관련 유전자 존재유무를 확인하는 생명공학 분야이나 이를 환경생물산업에 응용하여 사업화하는 기술이 개발 중이다. 환경생물산업 분야에 응용된 바이오 칩은 현장에서 미생물의 분포조사, 진단 등이 가능하며 최근 LOC(Laboratory on a Chip)의 개념으로 실험실에서 하는 분석처리가 현장에서 가능한 시제품이 출시되고 있다. 구체적으로 미생물을 탐색(Screening)하거나 DNA를 해독하는 기술 등이 거론되고 있다. 질소, 인, 중금속, TCA 등 유해물질에 대한 바이오센서(Biosensors)를 개발함으로써 미생물을 이용하여 현장에서 독성화학물질을 총체적으로 모니터링 할 수 있는 장치개발이 요구된다. 미생물이용 바이오센서, 효소 및 항체이용 바이오센서, 유전자감지 바이오센서 등이 개발되고 있다. 미생물이용 바이오센서는 특정 미생물을 이용하여 BOD 등을 측정하는 분야이고 측정시간, 비용 등을 줄여 주는 효과가 있다. 그리고 효소 및 항체이용 바이오센서는 효소 및 항체의 특이적 결합력을 이용한 것으로 특정오염물질, 생화학적 무기 탐지 등에 적용할 수가 있다. 또한 유전자감지 바이오센서는 미생물 내 유전자의 특이적 결합력을 이용한 것으로 음용수 내의 병원균 감지 등에 활용이 가능하다.

2-1-4. 사전오염방지(Bioprevention) 분야

사전오염방지 분야는 오염물질의 배출을 억제하거나 원천적으로 발생이 되지 않도록 하는 영역이며 기존 촉매, 화학물질 등을 미생물이 분비하는 효소 즉, 바이오촉매(Biocatalyst) 등으로 대체하는 경우가 이에 속한다. 기존 촉매 및 화학물질을 미생물

촉매로 대체하는 경우 제조공정 중에 발생할 수 있는 많은 유독 오염물질이 근본적으로 발생되지 않는다. 그러므로 바이오촉매기술을 생산공정에 적용할 경우 오염물질을 근본적으로 억제한다는 점에서 선진국에서 활발히 연구되고 있으며 앞으로 실용화도 활발히 전개될 것으로 기대된다. 그리고 독성물질을 생태계에 잔류시키는 기존의 농약을 대체할 생물농약(Biopesticides) 등과 같은 분야도 이에 해당된다고 볼 수 있다. 생물농약은 일반적으로 동물, 식물, 미생물에서 유래한 농약을 일컫는다. 그러나 미국의 환경청(EPA)은 여기에도 광물을 포함한 천연물에서 유래한 농약을 포함하고 있다. 생물농약은 단순히 천적을 이용하는 방법에서부터 나아가서 유전자 정보를 이용하는 획기적인 방법까지 개발되어 지고 있다. 미국의 EPA는 현재 널리 사용되거나 앞으로 그 전망이 밝은 생물농약을 크게 세 가지로 구분하고 있다. 즉 미생물농약(Microbial Pesticides), 식물농약(Plant Pesticides), 생화학농약(Biochemical Pesticides)으로 나누고 있다. 미생물농약은 유효성분으로 세균, 곰팡이, 바이러스 그리고 조류 등의 미생물을 함유한 농약이다. 식물농약은 유전자를 변형한 식물, 그 자체가 농약이란 의미를 가지고 있다. 즉 식물농약은 식물에 이식한 유전물질로부터 식물체가 생산하는, 농약기능이 있는 물질을 일컫는다. 그리고 생화학 농약은 비독성 메커니즘으로 병해충과 잡초를 방제하는 천연물질을 말한다.

2-2. 환경생물산업의 시장 현황

환경생물산업 관련 오염방지 및 제거 분야는 주로 바이오 수처리설비를 말하며 국내 시장규모는 <표 1>과 같다. 바이오 수처리설비의 시장규모는 2000년에 560억원에서 2005년에 2,010억원, 2010년에 2,590억원에 달할 것으로 추정된다. 이것은 수처리설비 시장규모를 기준으로 산정하였다.

환경생물산업 관련 오염지역복원 분야의 국내 시장규모는 <표 2>와 같다. 2000년에 100억원에서 2005년에는 600억원, 2010년에는 2,150억원에 달할 것으로 전망된다. 이러한 시장규모는 환경복원·창조 분야의 시장규모를 기준으로 산정한 결과이다.

환경생물산업과 관련된 오염탐지 및 측정 분야는 바이오 칩을 이용한 분야로 이에 대한 세계 시장규모는 <표 3>과 같다. 바

<표 1> 환경생물산업의 오염방지 및 제거 분야 국내 시장규모 전망
(단위 : 억원)

구 분	2000년	2005년	2010년
수처리설비 시장규모	11,150	20,090	12,930
바이오 수처리설비 시장규모	560	2,010	2,590

주 : 국내 수처리설비 시장규모 중 환경생물산업 부분을 2000~2001년에 전체의 5%, 2002~2003년 7%, 2004~2006년 10%, 2007~2008년 15%, 2009~2010년 20%로 추정

자료 : 박종식·김태용, 무한한 가능성 환경산업, 삼성경제연구소, 2001.

3) 바이오 칩(Bio-Chip)은 미생물의 유전자 정보를 실리콘 기판 위에 반도체 제작방식을 적용해 소형화, 집적화 된 형태로 제작한 것을 말한다.

<표 2> 환경생물산업의 오염지역복원 분야 국내 시장규모 전망
(단위 : 억원)

구 분	2000년	2005년	2010년
환경복원·창조 시장규모	4,650	9,480	14,310
바이오 환경관련 시장규모	100	660	2,150

주 : 국내 환경복원·창조 시장규모 중 환경생물산업 부분을 2000년에 전체의 2%, 2001~2003년이 5%, 2004~2006년 7%, 2007~2008년 10%, 2009~2010년 15%로 추정
자료 : 박종식·김태용, 무한한 가능성 환경산업, 삼성경제연구소, 2001.

<표 3> 바이오 칩 관련 세계 시장규모 전망
(단위 : 백만 달러)

구 분	2005년	2010년
Base Case	317	3,725
Aggressive Case	711	8,000

주 : 바이오 칩 시장을 전체 DNA-Chip 시장의 20%로 추정.
자료 : 삼성종합기술원, 2000.

이오 칩의 세계 시장규모는 2005년에 3억 달러, 2010년에 37억 달러에 달할 것으로 전망된다. 이것은 보수적인 관점에서 추정하는 것이다. 바이오 칩 관련 세계 시장규모를 의욕적으로 추정한다면 2005년에 7억 달러, 2010년에는 80억 달러에 달할 것으로 추정되고 있다. 바이오 칩 관련 세계 시장규모는 전체 DNA-Chip 시장의 20%에 해당될 것으로 가정하였다.

2-3. 환경생물산업체 현황

생물학적 오염방지 및 제거 분야와 관련된 선진기업의 현황을 정리하면 <표 4>와 같다. 주로 고정미생물 이용기술과 유전자조작 미생물(Genetically Engineered Microorganism ; GEM) 이용기술을 활발하게 개발하고 있다. 고정미생물 이용기술은 유럽 국가에서 주로 개발되어 현재 실용화단계에 있으며 유전자조작 미생물 이용기술은 북미, 일본 등에서 주로 개발되고 있는데 이제 연구단계에 있어 실용화에는 좀더 시일이 필요하다 하겠다.

고정미생물 이용기술을 적용하는 경우 기존 처리장치에 비하

여 소요 부지가 20%로 감소하기 때문에 최근 국내 적용이 활발하게 추진되고 있다. 고정미생물 이용기술의 주요 개발자로는 프랑스의 Degremont, OTV, 독일의 Linpor 등의 산업체가 있다. 그리고 유전자조작 미생물 이용기술은 특정 물질을 분해할 수 있는 미생물의 개발, 고정화 장치를 이용한 유전자조작 미생물의 유지, 폐수 및 배출가스 처리에의 적용, 난분해성 물질 처리 적용 등을 연구하고 있다. 주요 개발자로는 미국의 Envirogen, 캐나다의 NRC, 일본의 Kubota 등의 산업체가 있다. 최근의 유전공학의 비약적인 발전을 고려할 때 유전자조작 미생물의 실용화는 빠른 시일 내에 이루어질 것으로 예상된다. 환경감시용 바이오센서 분야와 관련된 선진기업 현황을 살펴보면 <표 5>와 같다. 주로 미생물 이용 바이오센서, 효소 및 항체 이용 바이오센서, 유전자감지 바이오센서 등이 개발되고 있다. 미생물 이용 바이오센서는 일본 기업들이 활발하게 개발하고 있으며 현재 폐수처리분야에 실용화되고 있다. 그리고 효소 및 항체 이용 바이오센서는 유럽, 북미, 이스라엘 등에서 개발 중에 있으며 유전자감지 바이오센서는 북미에서 주로 개발하고 있다. 주요 개발자로는 미생물 이용 바이오센서에서 일본의 Kao, Nippon Suisan 이, 효소 및 항체 이용 바이오센서에서 캐나다의 NRC, 이스라엘의 IIBR, 유럽연합의 EMST, 미국의 YSI가, 유전자 감지 바이오센서에서 캐나다의 NRC, 미국의 Affymetrix 등의 산업체가 참여하고 있다.

바이오센서는 미생물이나 미생물이 분비하는 효소가 특정 오염물질과 선택적으로 반응하는 특성을 이용한 것으로 특정 오염물질과 효소를 반응시켜 나오는 신호를 쉽게 해독할 수 있는 형태로 전환시켜 준 것을 말한다. 초기에 개발된 바이오센서는 전체 미생물을 이용하여 수중의 오염물질 총량을 추정하는 BOD 센서에서 시작하여 현재는 특정 병원균의 유전자 조각과의 결합을 통하여 병원균을 파악할 수 있는 DNA 센서의 형태로 발전하고 있다. DNA 센서는 최근 급속하게 실용화가 활발히 이루어지는 것으로 생물체의 근본적인 유전물질인 DNA를 인지하기 때문에 그 정확도에서 다른 종류의 바이오센서 보다 한 걸음 진보한 것이라 할 수 있다. 또한 바이오 칩은 미생물의 유전자 정

<표 4> 생물학적 오염방지 및 제거 분야 선진기업 현황

구 분	기술내용 및 적용범위	주요 개발자	기술적용 단계
고정미생물 이용기술	- 미생물의 고정화를 통해 고농도 미생물 유지 가능 - 폐수 및 배출가스처리에 적용 - 처리장치가 간편함	- Degremont(프) - OTV(프) - Linpor(독)	- 폐수(실용화) - 배출가스(도입기)
유전자조작 미생물(GEM) 이용기술	- 유전자조작으로 특정물질 분해 가능 미생물 제조 - 폐수 및 배출가스 처리 - 난분해성물질 처리 적용	- Envirogen(미) - NRC(캐) - Kubota(일)	- 연구단계

자료 : 박종식·김태용, 무한한 가능성 환경산업, 삼성경제연구소, 2001.

<표 5> 환경감시용 바이오센서 분야 선진기업 현황

구분	기술내용 및 적용범위	주요 개발자	기술적용 단계
미생물 이용 바이오센서	- 특정미생물 이용 BOD 측정 - 측정시간 단축	- Kao(일) - Nippon Suisan(일)	- 폐수(실용화)
효소/항체 이용 바이오 센서	- 효소/항체의 특이적 결합력 이용 - 특정오염물질 및 생화학적 무기 탐지	- NRC(캐) - IIBR(이스라엘)	- 독가스측정(실용화) - EMST(EU) - YSI(미)
유전자감지 바이오센서	- 미생물내 유전자와의 특이적 결합력 이용 - 식수내의 병원균 감지	- NRC(캐) - Affymetrix(미)	- 정수장 수질 (실용화)

자료 : 박종식·김태용, 무한한 가능성 환경산업, 삼성경제연구소, 2001.

보를 실리콘 기판 위에 반도체 제작 방식을 적용하여 소형화, 집적화 된 형태로 제작한 것을 말한다. 대량생산이 가능하기 때문에 바이오 칩의 가격 또한 상당히 낮아질 것으로 기대된다. 이러한 바이오 칩은 현재까지 많은 노력과 비용문제로 측정하지 않았던 음용수 및 대기중의 유해 세균 및 바이러스를 손쉽게 측정함으로써 우리 주변의 환경을 개선하는데 크게 기여할 것으로 보인다.

3. 환경생물산업의 육성 전략

3-1. 국가 기술개발 전략

3-1-1. 환경생물공학 기술개발의 마스터플랜 수립

과학기술부, 환경부, 산업자원부 등 정부부처별로 추진중인 연구개발과제를 연구의 내용 및 성격에 따라 재분류하고 환경생물공학의 Technical Road Map을 작성하여 이를 바탕으로 인력양성, 기술개발 지원 등이 추진될 수 있는 종합계획을 수립하도록 한다. 정부, 국공립연구소, 기업, 학계 등이 포함하는 환경생물공학 기술개발 체계를 구축하여 추진하도록 한다. 또한 정부, 국공립연구소, 기업, 학계가 역할 분담을 실시하여 기술개발과제를 효율적으로 분담하여 수행하도록 한다. 국공립연구소는 공공성이 큰 기술, 기업은 사업성이 높고 고부가가치 기술, 학계는 학술성이 강한 기초기술을 중심으로 담당하도록 한다. 그러나 사업성이 높고 고부가가치기술이라도 기술개발비 및 인력소요가 큰 기술은 산·학·연 공동으로 추진하는 것이 바람직하다.

3-1-2. 민간주도의 환경생물공학 기술개발 추진

정부주도에 의한 환경생물공학 기술의 실질적인 사업화가 제대로 이루어지기 힘들다는 점을 고려하여 민간주도의 환경생물공학 기술개발 체계를 구축하여 추진하도록 한다. 정부는 동반자, 조연자, 협력자의 사고방식으로 의식구조가 변화하여야 하며 교육프로그램 및 관련 법규를 합리적으로 강화함으로써 새로운 환경생물공학 기술의 수요를 창출하여야 한다. 민간은 해외기술의 습득에 의존하지 않고 환경생물공학 기술확보를 위해 다양한 인력 및 자금을 투자하여 이익을 창출하는 선진적 사고방식으로

전환하여야 한다. 정부에서 기술개발자금지원 시 개발과제의 내용 및 목표를 한정하지 말고 민간부문이 창의적으로 개발과제를 도출하여 주도적으로 참여하는 산·학·연 연구개발체제, 또는 기술력 및 개발인력 확보에 한계가 있는 중소기업들은 연구조합, 협회 등에서 주관하여 공동으로 참여하는 체제를 구축하도록 한다. 민간부문은 연구개발에 주력하도록 하고 정부에서는 자금, 세금혜택 등을 통해 지원을 하되 연구개발 수행 및 결과에 대한 엄격한 심사 및 평가를 통하여 그 결과에 대한 인센티브 또는 제재조치를 명확하게 하도록 한다.

3-1-3. 환경생물공학 관련 벤처사업 활성화

개발이 완료된 환경생물공학 기술의 사업화에 있어 위험성의 분산과 신속한 사업화를 위해 정부에서 중점적으로 지원하고 있는 벤처기업제도를 적극적으로 활용하도록 한다. 유망 환경생물공학 기술은 정부, 국공립연구소, 학계 등이 지원을 하고 민간부문이 주체가 되는 벤처기업으로 육성하는 것이 바람직하다. 대기업들은 환경생물공학 관련 벤처기업들을 네트워크로 구성하여 시스템기술을 개발하거나 벤처기업에 자본 참여를 통하여 사업화를 촉진하도록 한다. 환경생물공학 관련 벤처기업으로 선정되면 국제경쟁력을 갖추게 될 때까지 지속적으로 지원하는 등 정부의 행정적 뒷받침이 필요로 하다. 경우에 따라서는 지역의 특성을 살려 환경생물공학 벤처단지 또는 학교를 지정하여 지원을 실시하고 활성화를 유도하는 방안을 적극적으로 검토하도록 한다.

3-1-4. 환경생물공학 기술의 실적용 사례 확대

현장위주의 연구개발과제를 도출하여 현장에서 연구개발을 수행한다면, 즉 실제 적용 사례를 확대한다면 개발된 기술의 사업화의 어려움은 많이 해소될 것이다. 예를 들면 현재 가동중인 환경기초시설이나 생산공정을 통해 연구개발이 이루어진다면 사업화 성공 가능성이 높아지고 실용화 기간도 단축시킬 수가 있다. 개발된 생명공학 및 환경공학 기술의 실제 적용을 확대하기 위한 방안을 구체적으로 강구하여 정책적으로 추진할 필요가 있다. 예를 들면 실제 적용 시 소요되는 비용을 정부에서 일정비

을 지원하거나 각 적용대상기술마다 현장과 협력관계를 체결토록 하여 실적용 현장선정, 실적용 플랜트 설치 및 운영 시 발생하는 다양한 어려움을 사전에 해소하며, 기술평가업무의 실적평가와 초기부터 연계 추진하여, 기술평가서의 발급 소요기간을 줄여 해당 기술이 실수요자에게 최대한 빨리 홍보할 수 있도록 한다.

3-1-5. 경쟁력이 있는 선진국과 국제 공동연구 추진

선진국에서도 생명공학 및 환경공학 분야의 첨단기술이 대부분 시작단계이기 때문에 초기단계부터 사업성이 높은 과제를 중심으로 경쟁력이 있는 해외 연구기관과 공동으로 연구개발을 추진하도록 권장한다. 이를 위해서는 장기적이고 지속적인 투자를 유도하고 전문적인 생명공학 및 환경공학 기술정보를 제공하며 해외 기술선과 공동연구를 주선하는 국내 전담기관이 있어야 할 것이다. 국제 공동연구를 통해 연구거점을 확보하여 유망 기술을 습득함은 물론 수출전략거점 지역으로 발전시켜 나가도록 한다. 공동연구가 이루어지면 사업화를 위하여 선진국 기업의 자본참여를 유도하는 것도 좋은 방안이다. 선진국뿐만 아니라 동남아시아, 중남미, 동구권 등과도 국제 공동연구과제를 수행하여 개발된 기술 및 상품의 수출에 기여하도록 한다.

3-2. 사업 추진 전략

환경생물산업 분야는 특성상 기존의 환경산업 혹은 생물산업 영역과 연계되는 것이 대부분이므로 기존 사업 추진주체 중심으로 기술개발 및 사업수행을 전개해 나가는 것이 유리하다고 여겨진다. 즉 환경생물산업을 추진하려는 기업은 자체적으로 기존 사업과 연계하여 기술개발 및 사업화를 추진하는 것이 유리하다. 그리고 기술개발 및 사업화 추진과정에서 유망단위 분야의 분사(Spin-off)를 적극 검토하여 벤처기업으로 독립시키는 것이 좋다. 특히 생명공학(BT)과 환경공학(ET)이 융합하는 환경생물공학에 대한 중요성은 정책적으로 상당히 높으며 첨단기술의 개발과 함께 사업화 가능성이 비교적 높은 영역이라 할 수 있다. 사업화 가능성이 높은 해당 산업분야에서 기술개발을 주도하는 것이 전략적으로 유리할 것이다. 예를 들면 미생물을 이용한 환경오염물질의 정화, 오염 토양 및 지하수 복원, 폐자원의 재활용 등에 관한 분야는 환경산업에서 접근하는 것이 사업 측면에서 유리할 것이고 바이오 칩, 생촉매, 생물농약 등은 생물산업에서 주도하여 환경산업으로 확대, 적용하는 것이 사업화에 유리할 것으로 보인다.

3-2-1. 오염방지 및 제거 분야

오염방지 및 제거분야는 대부분 미생물을 이용한 수처리설비로 담체(Media) 및 바이오필터(Biofilter)를 이용한 하·폐수처리, 유전자조작미생물을 이용한 하·폐수처리, 바이오필터를 이용한 휘발성유기화합물 및 악취 제거 등의 사업에 중점적으로

참여하여야 할 것이다. 기존에 보유중인 BAF(Bio Aerated Filter), 담체 등과 같은 기술을 고도화시키면서 사업화와 연계되도록 하고 기존처리장의 개보수(Revamping) 사업에 적극 진출하는 것을 검토하도록 하여야 할 것으로 보인다. 또한 난분해성 유기물질 처리사업을 적극적으로 확대하고 중국, 동남아 등의 하·폐수시장에 진출할 수 있는 기반을 갖추어야 할 것이다. 그리고 우리 나라는 미생물처리제가 주로 폐수처리용 중균제로 시판되고 있으나 난분해성물질 분해제 등 특수기능제제는 거의 없는 실정이다. 우리 나라 미생물처리제 기술은 선진국 대비 약 40% 수준에 머물러 있고 영양제 및 보조제의 개발이 미흡한 상황이다. 향후 전략적인 시장창출과 기술우위를 선점하기 위해 가장 문제시되는 Bulking을 제어하는 제재, 화학폐수에 의존하는 PVA, PA, BTX, 페놀, EG, Dye 성분, Surfactant 등을 제거하는 화학 폐수처리제, 염색 및 피혁 폐수처리제, 제지 및 펄프 폐수처리제 등의 개발이 요망된다.

3-2-2. 오염지역복원 분야

오염지역복원 분야에서는 토양복원이 대부분으로 On-site Bioremediation(Biostimulation, Bioaugmentation), In-situ Bioremediation(Bioventing), Ex-situ Bioremediation(Bioreactor) 등의 사업에 집중하는 것이 유리하다. 현재 신규로 발주되고 있는 군부대 오염토양정화 사업에 적극 참여하도록 하고 다양한 미생물의 균주를 보유하고 있는 벤처기업과의 업무제휴를 확대하여야 할 것으로 여겨진다. 선진사와의 기술협력을 확대하여 폐기물매립장 조기안정화 공법, Soil Flushing & Washing, Soil Vapor Extraction, Bioventing 등에 대한 기술을 조기에 확보하여야 할 것이다. 최근 기업의 인수·합병시 공장의 토양 및 지하수 오염 등의 환경잔존위험성을 평가하는 컨설팅을 금융권에서 요구하고 있으므로 이와 관련된 컨설팅 사업과 연계하여 추진하는 것이 좋다. 장기적으로는 중금속으로 오염된 토양의 복원 사업도 추진하여야 할 것으로 보인다.

3-2-3. 오염탐지 및 측정 분야

오염탐지 및 측정 분야는 바이오 칩의 기술개발 확보가 매우 중요하다. 중점추진 과제로는 미생물을 탐색(Screening)하거나 DNA를 해독하는 기술 등이 거론되고 있다. 그리고 환경친화적인 미생물 제재를 개발하거나 환경진단 도구(Kit) 등을 상용화하는 것도 매우 중요하다고 여겨진다. 그러므로 DNA-Chip 사업과 연계하여 추진하고 다양한 미생물을 탐색(Screening)하는 기술을 확보하여야 하는데 바이오에너지산업과 연계하여 추진하는 것이 좋다. 관련 유망 벤처기업을 발굴하여 공동으로 사업을 수행하거나 투자하는 것도 고려하여야 할 것이다. 난분해성 유기물을 분해하는 슈퍼미생물을 개발하여 상용화하거나 미생물 DNA를 이용하여 환경진단 도구(Kit) 사업을 전개하는 것이 유망할 것으로 보인다. 장기적으로는 바이오 칩 관련 하드웨어 사

업도 추진하는 것을 검토하여야 할 것이다. 환경계측용 바이오 센서로 실용화 된 것은 미생물과 효소 등을 고정화한 BOD 센서로 1992년 일본에서 상품화되었다. 또한 식품신선도를 감지하는 센서를 제품에 부착할 수 있는 기술개발이 요망된다.

3-2-4. 사전오염방지 분야

사전오염방지 분야는 오염물질의 배출을 억제하거나 원천적으로 발생이 되지 않도록 하는 분야로 바이오촉매, 생물농약 등에 대한 기초연구가 활성화되어야 할 것이다. 이 분야는 환경산업보다는 생물산업 분야에서 접근하는 것이 바람직하다. 아울러 개발된 바이오촉매 등이 적용될 수 있는 생산공정도 함께 고려하여야 한다. 따라서 초기에는 학계, 연구소 등의 연구개발기관에서 추진하다 사업화 단계에서는 적용될 산업분야의 전문가가 참여하는 것이 바람직하다. 그리고 바이오촉매 개발은 선진국도 연구개발의 초기단계로 경제성이 있는 분야를 중심으로 국제 공동 연구를 통하여 정보수집 및 인적 교류를 활발하게 추진하는 것이 중요하다. 또한 기존의 농약과 같이 생태계에 오염물질을 잔류시키는 성질을 근본적으로 제거한 생물농약과 같은 환경친화적인 물질이나 유전자 특성 이용 기술개발은 사회적인 분위기를 조성하면서 정부의 지원을 받아 연구 개발하는 방법이 지속성이 있을 것이다.

4. 맺음말

생물산업과 환경산업, 모두 다 같이 21세기를 이끌어 갈 성장엔진으로 각광을 받고 있는 산업이다. 이러한 두 가지 산업의 영역이 겹치는, 즉 융합되는 분야가 바로 환경생물산업이다. 그러다 보니 환경생물산업은 다른 어느 산업보다도 전망이 매우 좋다고 할 수 있다. 또한 환경생물산업은 1992년 브라질 리우에서 제창한 지속가능한 발전을 위해서도 매우 필요한 분야이기도 하다.

환경생물산업은 오염방지 및 제거, 오염지역복원, 오염탐지 및 측정, 사전오염방지 등의 분야로 나누어 질 수 있다. 그리고 환경생물산업의 시장은 매우 높은 성장률을 나타낼 것으로 보인다. 환경생물산업체는 선진국에 분포되어 있는데 고정미생물 이용기술은 유럽 국가들에서 개발되어 현재 실용화 단계에 있으며, 유전자조작 미생물 이용기술은 북미, 일본 등에서 주로 개

발되고 있다. 미생물 이용 바이오센서는 일본 기업들이 활발하게 개발하고 있으며 효소 및 항체 이용 바이오 센서는 유럽, 북미, 이스라엘 등의 기업들이 개발하고 있다. 그리고 유전자감지 바이오센서는 북미에서 주로 개발하고 있다.

환경생물산업의 육성전략은 크게 두 가지 관점에서 볼 수 있다. 하나는 국가 기술개발 전략의 관점에서 볼 수 있는데 환경생물공학 기술개발의 마스터플랜 수립, 민간주도의 환경생물공학 기술개발 추진, 환경생물공학 관련 벤처사업 활성화, 환경생물공학 기술의 실적용 사례 확대, 경쟁력 있는 선진국과 국제 공동연구 추진 등이 있다. 그리고 다른 하나의 관점은 기업에서의 사업추진 전략의 관점이다. 환경생물산업은 기존의 관련사업을 추진하는 기업들이 추진하는 것이 유리하며 연구개발 중심의 벤처기업으로 시작하는 것이 좋다. 즉 생물산업이나 환경산업을 기반으로 하는 업체가 기존의 사업경험을 토대로 환경생물산업으로 사업영역을 확대하는 것이 권장되고 있다.

참고 문헌

1. 김태용, "바이오환경·에너지산업의 현황과 육성전략", 21세기 충북 생물산업의 육성전략, 2002. 9.
2. 박종식·김태용, 무한한 가능성 환경산업, 삼성경제연구소, 2001. 1.
3. 삼성지구환경연구소, 지속가능한 기업으로 가는길, 2000. 1.
4. 삼성지구환경연구소, 그린시대 그린경영, 1994. 12.
5. 환경관리공단, 환경산업 육성방안에 관한 연구, 1998. 12.



김태용

1981	서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 학사
1983	서울대학교 환경대학원 환경계획학과 석사
1983-1989	현대건설 해외토목사업부 근무
1989-1992	삼성엔지니어링 환경사업부 근무
1992-1993	삼성그룹 기술팀 근무
1993-현재	삼성지구환경연구소 수석연구원