

# 未來의 産業技術 - 바이오테크놀로지(II)

~에너지, 農業, 鑛業 및 環境에의 利用~

李 尚 基

〈韓國科學技術院 유전 공학센터 · 理博〉

## 1. 풍요社會에의 지름길 - 바이오테크놀로지의 이용

地球의 부존에너지 資源은 한정되어 있고 人口는 폭발적으로 증가한다. 이에 따라 食糧資源은 점차 고갈되고 대기오염을 비롯한 工場廢水 등 각종 公害要因에 의한 環境의 심각한 파괴로부터 人類의 未來는 참담하게만 여겨진다.

그렇다면 사용하고 나면 다시 새롭게 흘러나오는 꿈의 에너지가 개발될 가능성은 없는 것인가? 코끼리만한 송아지가 자라고, 출기에는 토마토가, 뿌리에는 감자가 주렁주렁 열리는 기적같은 食糧資源의 등장과 砂漠의 綠化로부터 食糧 부족의 문제를 해결할 수는 없는 것인가? 工場地帶에 접한 바다의 색깔이 에메랄드빛 綠色으로 빛나고 工場廢水나 生活廢棄物이 완전 淨化되어 살기에 쾌적한 環境을 조성할 수는 없는 것인가?

이제 이러한 모든 문제를 해결하고자 함은 더 이상 夢想家の 부질 없는 꿈은 아니다. 불리한 자연환경을 극복하고 풍요한 미래사회의 구현을 추구하는 人間의 의지와 능력은 無限한 것이어서 에너지, 農業, 鑛業 및 環境에 있어서 현재 人類가 당면하고 있는 여러 가지 난관을 극복하고 자연과 環境 그리고 人間生活의 완전한 조화를 기하기 위해서 바이오테크놀로지 즉 生物工學技術이 활발히 이용되기 시작하였

기 때문이다.

세계의 선진국들은 21세기 초반에 닥칠 것으로 예상되는 에너지 고갈사태에 대비하기 위해 대체에너지 개발을 서두르고 있다. 대체에너지源으로 활발한 研究對象이 되고 있는 것은 一名 ‘綠色에너지’로 불리는 바이오에너지로서 太陽에너지에 의해 탄수화물의 형태로 전환·저장된 地球生物圈의 물질순환과정에서 생겨나는 모든 動·植物 및 微生物과 같은 生物有機體인 바이오매스로부터 얻어진다. 에타놀, 메탄가스, 수소가스 등 언제나 再生이 가능한 바이오에너지를 未來의 대체에너지로 활용하기 위해서 바이오매스 분해기술, 에너지 회수기술과 함께 生物工學技術의 한 분야인 遺傳工學技術이 이용되기 시작하였다.

스폰지처럼 水分을 다량 머금을 수 있는 微生物을 이용하여 최근 美國에서는 砂漠에서 야채를 재배하려는 시도가 추진되고 있다. 사막에서는 폭우가 쏟아져도 수일내로 수분이 증발해 버리지만 이 微生物을 뿌려 놓으면 당분간 수분을 유지할 수 있으므로 速性야채를 재배하려는 것이다. 日本에서는 組織培養으로 人蔘의 대량생산에 성공하였다. 또한 公害없는 微生物農藥과 人工씨앗, 비료가 필요없는 植物, 병충해에 강한 植物의 開發이 추진되고 심지어 植物工場까지 등장하고 있다.

酸性비처럼 최근 들어 심각하게 대두되고 있는 각종 대기오염이나 廢水 등의 문제해결에도

生物工學技術이 동원되고 있다. 최근 美國에서 발견된 炭鑛에서 나오는 유황을 황산으로 전환시키는 微生物이나 일산화탄소를 자원화하는 微生物을 改良함으로써 앞으로 酸性비 문제가 해결될 것으로 기대된다. 한편 微生物을 이용해 工場廢水內의 有害重金屬이나 有機物處理에 대한 연구도 활발하다.

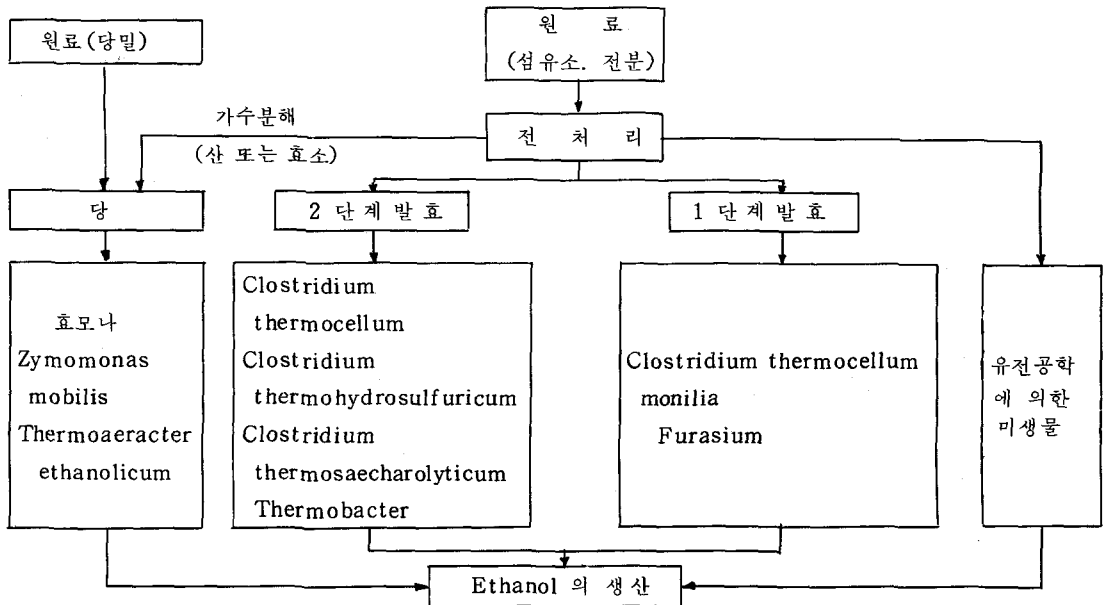
鑛物資源의 개발도 生物工學技術의 이용이 期待되는 분야이다. 微生物을 低品位의 鑛物과 작용시켜 高品位로 제련하거나 우라늄 등의 희귀 금속을 농축할 수 있고 땅속 깊이 매장되어 있는 鑛物資源을 직접 채굴하지 않고 微生物作用에 의해 固體金屬을 水溶性의 液體로 바꾸어 채광할 수도 있다.

이와 같이 거의 무한한 가능성을 지닌 生物工學技術이 에너지, 農業, 鑛業 및 環境問題 해결에 실제로 이용되고 있는 현황과 함께 앞으로의 전망에 관해 분야별로 구체적으로 소개한다.

## 2. 대체에너지개발과 생물공학기술

에너지源으로 오랜 세월을 통해 人類文明 발달에 지대한 공헌을 해 온 石油나 가스, 石炭 등의 매장량이 점차 고갈되어 가고 있음에도 불구하고 세계적으로 工業발전에 따른 에너지 수요는 계속 증가해 가고 있다. 따라서 이들 有限化石에너지를 代替할 수 있는 新에너지의 開發이 시급한 실정이다. 未來의 에너지 資源으로서 각광을 받고 있는 바이오에너지는 生物體가 光合成과정을 통해 農作物, 풀, 木材, 藻類 등의 형태로 合成한 바이오매스로부터 生物轉換되어 얻어진 알코올이나 메탄가스 또는 光合成 微生物에 의해 물을 직접 光分解하여 얻어진 수소 가스 등을 지칭한다. 地球上에서 光合成을 통해 바이오매스 형태로 전환되고 있는 太陽에너지의 年間總量은 全世界가 사용하는 年間總에너지 수요량의 約10倍 가량이 되고 또한 地球上에 現存하는 바이오매스의 總量은 化石燃料의 總量에 필적하므로 太陽에너지와 바이오매스로부터 바이오에너지를 개발하는 것은 현재 人類가 당면한 중대한 과제라 하겠다.

바이오에너지의 형태로써 가장 많은 연구가 진



< 그림 - 1 > 生物工學의 方法에 의한 에타놀의 生産

행되고 있는 에타놀은 石油 대체연료로서 오래전 부터 사용되어 왔으나 이제까지는 石油에 비해 生産單價가 높고 熱量이 낮다는 이유로 인해 實用化가 늦었다. 그러나 1973년의 1次 油類波動 이후 全世界의 에너지 需給과 경제체제가 흔들림으로써 에타놀을 燃料化시키려는 노력이 各國에서 활발히 추진되었고 최근 바이오매스로 부터의 에타놀 생산 및 이용에 있어서 특히 괄 목할 만한 성과를 올리고 있다.

自動車燃料로서 에타놀의 熱量은 가솔린의 70%에 불과하지만 가솔린에 에타놀을 10~20% 혼합시킨 가소홀의 경우에는 자동차의 엔진을 변조할 필요없이 가솔린의 에너지 효율 및 엔진 주행거리를 5~10% 增加시킬 수 있을 뿐만 아니라 옥탄가를 높이기 위해 납을 첨가할 필요가 없어 大氣汚染을 걱정할 필요가 없게 되며 또한 가소홀을 사용할 경우 腐蝕性이 낮아 엔진의 수명연장을 期待할 수 있다. 이미 美國이나 브라질에서는 가소홀이 實用化되어 市販되고 있다.

에타놀 생산의 원료로서 일반적으로 이용되고 있는 바이오매스는 설탕을 추출하고 남은 사탕 수수의 찌꺼기인 당밀이나 澱粉物質이지만 林産資源이나 볏짚 등 농산폐기물에 풍부한 再生資源으로서 전체 바이오매스의 1/3~1/2을 차지하고 있는 섬유소資源을 이용하는 것이 가장 바람직하다. 그러나 섬유소를 원료로 사용할 경우 여러 가지 前處理과정을 거쳐야 하므로 아직 實用化 단계에는 도달하지 못한 상태이다.

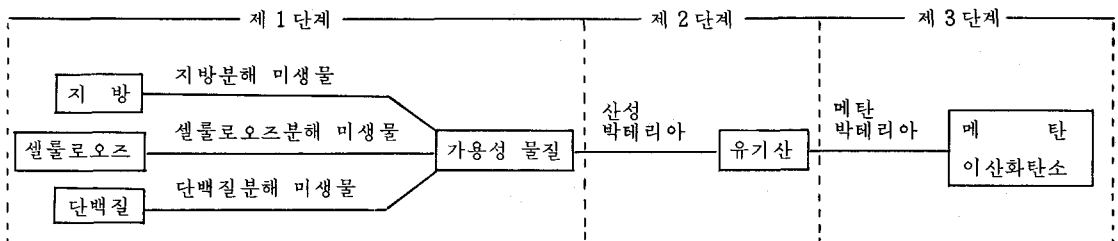
<그림-1>에 이들 原料物質로부터 生物工學的 과정을 통해 생산되는 에타놀의 생산법을 도시하였다.

바이오매스를 燃料化시키는 또 하나의 방안으로서 生物體로부터 有來되는 여러 가지 有機物을 嫌氣性醱酵을 거쳐 메탄가스로 전환시킬 수 있다. 이러한 방법을 거쳐 생산된 가스를 바이오가스라 하는데 메탄발효를 거친 가스는 60~70%의 메탄을 포함하고 있다. 메탄가스의 생산이용은 公害源으로 작용할 수 있는 農畜産廢棄物이나 都市汚物의 處理를 겸할 수가 있으므로 일석이조의 효과를 얻을 수 있다.

메탄의 생성과정은 <그림-2>에서와 같이 세 단계로 이루어지는데 첫단계에서 고분자유기물이 加水分解와 通氣性微生物의 작용으로 可溶性低分子 有機物質이 酸性微生物에 의해 酢酸 등의 有機酸으로 전환되면 제3단계에서 이들 有機酸이 메탄生成菌의 작용으로 메탄가스와 CO<sub>2</sub>로 전환되는 것이다.

아직 實用化 단계에 와 있지는 않지만 水素 가스도 未來의 에너지源으로 有望하다. 특히 水素 가스는 化石燃料와는 달리 연소된 후에 水分만이 남게 되므로 無公害연료일 뿐만 아니라 물을 분해하여 거의 無限大로 얻을 수 있다. 生物工學的으로 水素가스를 생산하려면 水素還元 酵素를 갖는 綠藻類나 光合成細菌을 이용해야 하는데 아직 기술적으로 해결해야 할 몇가지 문제점이 남아 있어 실용화까지는 아직 상당한 시간이 걸릴 것으로 예상된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 바이오에너지의 이용은 밝은 전망을 가지고 있음에도 불구하고 그 기술적 수준은 몇가지 부분을 제외하고는 아직 實驗室的 規模에 머물러 있는 형편이다. 그 이유로서는 바이오매스의 전환기술 중 섬유소의 당화법, 전처리법, 에타놀 醱酵工程, 알코올의



<그림-2> 메탄의 생성과정

分離 및 脫水, 太陽에너지 轉換의 效率性 등 많은 難題가 아직 해결되지 않은 상태로 남아 있기 때문이다. 그러나 최근 遺傳工學技術을 이용한 섬유소분해균주의 改良, 섬유소 분해효소의 클로닝, 우수한 알코올 생산균주의 확보, 섬유소 분해능과 알코올 발효능을 동시에 갖는 새로운 菌株의 개발 등의 연구가 활발하여 앞으로 바이오에너지 생산에 관한 전망은 무척 밝다고 할 수 있다.

### 3. 농업과 생물공학기술

농작물의 育種과 品種改良으로 식량을 量産할 수 있게 되면 현재의 심각한 식량난은 해결될 수 있을 것이다. 식량을 증산하기 위해서는 여러 가지 방법이 있겠으나 遺傳子操作, 細胞融合 등 生物工學技術을 동원함으로써 더 큰 효과를 얻을 수 있다. 既存의 育種 방법은 넓은 圃場이 필요하고, 작업은 生育期間에만 가능하며, 많은 시설·인력 및 경비가 들 뿐만 아니라 오랜 세월이 소요된다. 그러나 有用遺傳子를 지닌 種子나 種苗의 保存, 유전자 풀(pool) 설정에도 시설과 경비가 절감되는 生物工學技術의 이용에 의해 이러한 결점을 보완할 수 있다.

豆科植物을 제외한 主곡이 되는 벼, 보리, 밀, 옥수수 등은 질소고정능력이 없기 때문에 질소질 비료를 주어야 한다. 그러나 이들 主곡 작물에 共生하는 微生物에 豆科植物에 共生하는 질소고정균의 질소고정 유전자를 도입시키면 질소공급을 자동적으로 할 수 있게 되어 豆科植物과 같이 질소질 비료를 주지 않아도 될 것이다. 실제로 中共에서는 질소를 고정하는 박테리아를 논에 뿌려 14%의 쌀을 증산하고 있다.

곡물의 量的인 증산 뿐만 아니라 質的인 개량에도 遺傳工學技術이 이용된다. 탄수화물이 主成分인 벼의 단백질 함량을 특수 組織培養을 통해 8~16% 높임으로써 영양소의 균형을 유지시키려는 연구가 추진 중이다.

새로운 품종과 種의 創造는 서로 다른 특성을 지닌 두 개의 異種 植物細胞를 서로 융합시킴으로써 가능해진다.

1978년 西獨의 막스·프랑크 연구소는 이와 같은 방법을 이용하여 이 세상에 없었던 새로운 식물을 만들어 냈다. 토마토와 감자가 동시에 열리는 식물로서 실제 먹을 수는 없었지만 세포융합에 의한 品種改良에의 轉機를 마련한 것이다. 이밖에도 植物細胞의 융합기술을 이용하여 耐寒性, 耐病性, 耐熱性, 耐燥性, 耐鹽性, 少肥性, 耐蟲性 식물의 품종개량이 各國에서 활발히 전개되고 있다.

植物體의 細胞를 떼어내 씨앗으로 만드는 人工씨앗도 관심있게 연구되고 있는 분야이다. 하나의 作物에서 수백만 개의 씨앗을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 세포융합을 통해 얻은 雜種植物도 人工씨앗으로 大量栽培할 수 있기 때문이다. 현재 농업분야에 대한 生物工學技術의 應用으로 가장 실현성이 높은 것으로 평가되고 있는 人工씨앗 제조기술은 美國, 日本에서 상치, 셀러리의 人工씨앗을 개발하여 商品化를 추진하고 있으며 벼, 보리 등의 人工씨앗 개발도 서두르고 있다.

農業의 根本이면서 동시에 制約인 土地와 기후로부터 解放되려는 노력도 활발하다. 스웨덴에서는 植物細胞를 多量培養할 수 있는 生物反應器의 개발을 시도하고 있다. 植物組織의 體內에서 일어나는 生化學反應을 의약품생산과 같은 방법으로 유도하여 組織體를 大量培養하려는 의도이다. 그러나 이 경우 植物의 부가가치가 낮은 것이 결점이며 효율적인 프로세스의 개발도 아직 이루어지지 않아 실용화가 늦은 편이다. 組織培養과 太陽熱을 이용한 人工照明, 人工營養을 통해 速性栽培를 하는 植物工場은 현재 유럽, 美國, 日本 등에서 가동되고 있으며 높은 생산성과 질적으로 우수한 제품의 생산이 期待되고 있다.

한편 축산분야에 있어서도 遺傳工學技術이 도입되어 品種改良을 시도하고 있다. 動物에서는 植物과 같이 하나의 細胞에서 싹이 나와서 완전한 成體로 生育시킬 수 있는 특징은 없으므로 分化發生能力을 갖는 胚細胞를 이용하여 클론(clone)된 動物을 만들 수 있지만 아직 그 成功의 확률은 희박한 실정이다. 다만 核置換技術

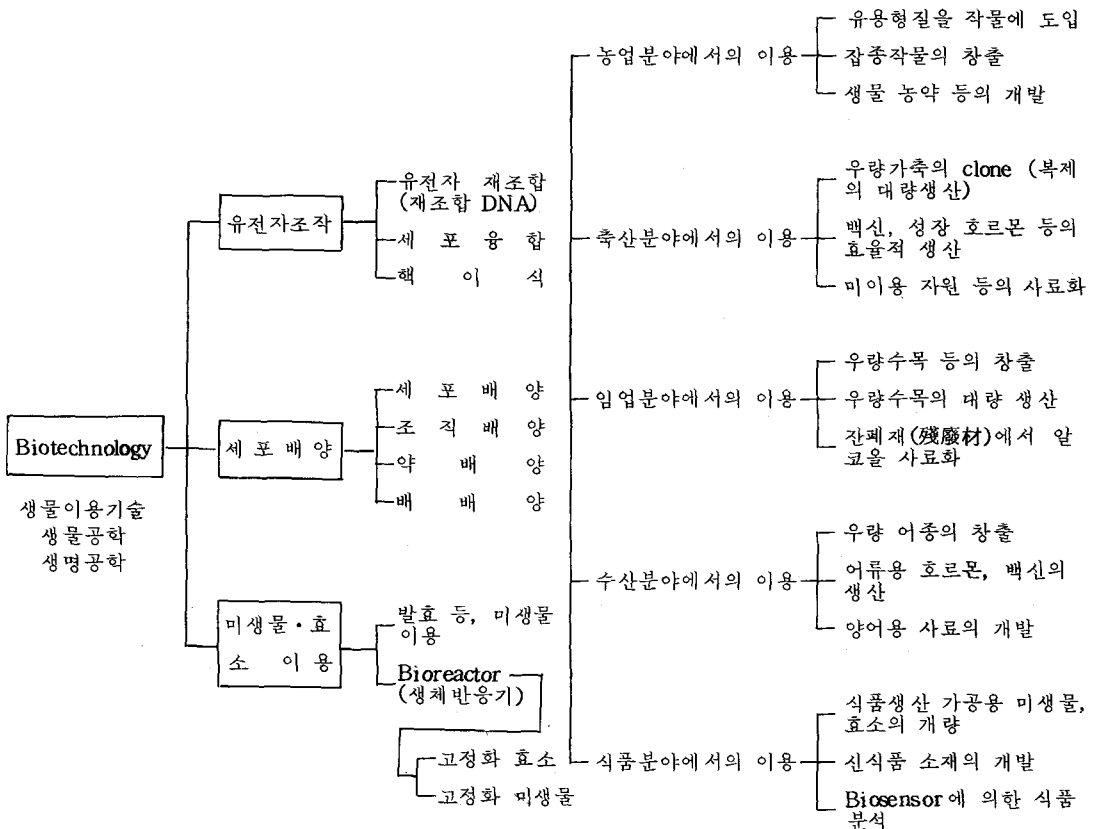
을 이용하여 슈퍼·마우스를 탄생시킨 것이 이제까지의 성과이다.

이상에서 열거한 바와 같이 生物工學技術을 農業에 이용하여 제 2의 綠色革命을 이루려는 人類의 意志는 지대한 것이지만 실제로 새로이 창조된 動·植物이 환경에 적응하면서 증식되어야 農作物의 增産이 가능한 것이므로 그 실현은 아직 요원하다. 따라서 未來의 生物工學的 食糧增産은 다음의 세 가지 방안을 고려해서 이루어질 것으로 사료된다. 첫째, 기존 육종법을 遺傳工學技術과 混用하면서 점진적으로 수량과 품질을 改善해 나가고 둘째 방법으로는 새로운 적응품종을 遺傳子操作에 의해 創製해 내며 셋째로 微生物이나 動·植物에 필요한 물질을 생산하는 DNA를 移植하여 量産할 수 있는, 소위 工場農業을 개발하는 방향으로 연구가 展開될 것이다.

<그림-3>에 농업 및 관련 산업에 있어서의 生物工學技術의 이용분야를 표시해 보았다.

#### 4. 광업과 생물공학기술

鑛山의 坑內水와 같은 특수한 환경에서 生育하고 있는 細菌을 이용하여 金屬을 製鍊할 수 있다. 소위 박테리알리칭(bacterial leaching)이라고 부르는 生物工學技術이 鑛業에 이용되고 있는 좋은 본보기이다. 최근 油田, 鑛山, 海洋, 湖沼 등에 서식하는 微生物에 관한 연구가 활발하여 石油, 天然가스 등 연료광물의 鑛床, 黃化鑛鑛床, 鐵鑛鑛床의 형성이나 변화에 있어서 微生物의 役割이 명확하게 밝혀져 있고 또한 微生物의 기능과 작용을 이용함으로써 油田, 天然가스田, 金屬鑛床의 탐사나 회수가 가능하게 되었다.



<그림-3> 農業 및 관련 산업분야에 있어서의 生物工學技術의 利用

었다. 특히品位가 낮은 鑛石을 微生物을 이용하여 鑛石속에 함유되어 있는 金屬成分을 溶出하여 品位가 높은 金屬으로 回收하는 연구가 많이 이루어지고 있다.

이제까지 주로 알려진 주요 細菌은 黃酸化細菌과 鐵酸化細菌으로 前者는 *Thiobacillus thiooxidans*나 *Thiobacillus concretivorus* 등의 *Thiobacillus*屬 細菌이다. 이들은 黃 또는 無機黃化合物을 酸化할 때 생기는 에너지를 이용하여 공기 중의 탄산가스를 고정하여 증식하는 好氣性 獨立營養 細菌이다. 한편 後者에는 *Ferrobacillus ferrooxidans*나 *Ferrobacillus sulfooxidans*가 있어 제 1철이 제 2철로 酸化할 때 생기는 酸化에너지와 탄산가스를 이용하여 生育하는 化學獨立營養 細菌이다. 이들 leaching에 관여하는 細菌의 특성을 <表-1>에 구체적으로 표시하였다.

왜 이러한 세균이 leaching의 기능을 가지는가는 현재로는 확실히 해명되어 있지 않다. 그

러나 다음과 같은 두 가지 가설로 설명된다. 즉 金屬의 溶蓄은 純化學的인 반응에 의하나 이때 細菌이 촉매적으로 작용하여 溶解條件을 갖추어 준다는 間接作用說과 細菌이 직접 有用金屬에 작용하여 그 자체의 生化學反應으로 金屬이 溶出된다는 直接作用說이다.

박테리알리칭에 관한 연구는 美國, 캐나다, 호주 등 광물자원이 풍부한 나라에서 특히 활발하며 황화동광 뿐만 아니라 우라늄, 니켈, 망간, 비스무스에 대한 leaching과 구리, 아연, 철 등의 회수 및 leaching廢液處理 등에 관한 연구도 진행되고 있다.

박테리알리칭의 특징은 10~100 ppm 정도의 低濃度金屬溶液에 대해서도 충분한 효율을 발휘하며 박테리알리칭에 이용되는 微生物은 특별한 營養源을 필요로 하지 않는 것이 많으므로 運轉經費나 設備投資가 적다는 長點이 있는 반면 다른 여러 가지 生物反應과 마찬가지로 作用速度가 느리다는 缺點이 있다. 따라서 앞으

<表-1> Bacterial leaching에 관여하는 세균의 特性

구 명 區 分	<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	<i>Thiobacillus concretivorus</i>	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	BK-3	11 Fe	FB-1
세균의 크기	0.5 × 1.0 μ	0.5 × 1.5 ~ 2.0 μ	0.5 × 100 μ	0.5 × 1.0 ~ 1.5 μ	0.5 × 1.0 ~ 2.0 μ	0.5 × 1.0 ~ 2.0 μ
운동성	+	+	+	+	+	+
편모	단일극편모	단일극편모	극편모	극편모	극편모	단일극편모
그람염색	-	-	-	-	-	-
최적생육온도	28 ~ 30 °C	28 °C	30 °C	30 °C	27 ~ 30 °C	25 °C
최적생육 PH	2.0 ~ 3.5	2.0 ~ 4.0	2.5 ~ 3.5	2.8 ~ 2.9	2.5 ~ 3.0	2.0 ~ 3.5
산소요구도	+	+	+	+	+	+
탄소원	+	+	+	+	+	+
탄산가스	+	+	+	+	+	+
포도당	-	-	-	-	-	-
질소원						
암모니아태질소	+	+	+	+	+	+
질산태질소	-	+	±	±	+	+
산화물						
황	+	+	-	+	+	+
제 1 철	-	-	+	+	+	+
티오황산염	+	+	+	+	+	+
황화수소	-	+	-	-	-	-

微生物을 이용한 폐기물 處理 方法

<表-2>

	폐기물의 종류	미생물 이용처리 기술
일 반 폐기물	가정하수	호기처리
	분뇨	혐기소화, 호기처리
	부패성 쓰레기	혐기소화, 호기, 혐기매립, 소각
산 업 폐 기 물	산업배수	호기처리, 혐기처리, 농축, 응집처리
	유기성 sludge (오니)	혐기소화, compost
	농산폐기물	혐기소화, compost
	섬유성 폐기물	혐기소화, compost, 효소, 소각
	동물 분뇨	혐기소화, compost, 호기처리
	난분해성 물질	특수균에 의한 분해, 호기처리, 소각
기 타	잡 쓰레기	소각, 호기, 혐기매립, 혐기소화
	합질소, 합인 배수	호기, 혐기처리에 의한 고차처리

로의 기술개발동향은 遺傳子操作技術을 이용한 力價 높은 微生物의 育種, 철산화 또는 황산화 酵素나 金屬親和性이 높은 효소의 개발과 量産化研究, 工程의 효율화 연구 등에 焦點이 맞추어질 것으로 보인다.

5. 환경문제와 생물공학기술

人類의 生産활동 및 생활양식은 17세기 말의 産業革命을 계기로 質的 또는 量的으로 비약적인 발전을 거듭하여 그 후 과학기술의 진보에 따라 그 발전이 가속화되었다. 이에 따라 인위적으로 방출되는 여러 가지 물질들이 自然의 環境淨化能力을 上廻하게 되어 심각한 公害문제를 야기하게 되었다. 특히 10~20년 전부터는 各國에서 公害가 社會문제가 되어 대부분의 나라에서는 이에 대한 개선조치가 다각도로 연구되고 있다. 公害의 종류에는 大氣오염, 水質오염, 토양오염, 소음, 진동, 지반의 침하, 악취 등 여러 가지가 있으며 公害의 종류나 특성에 따라 그 처리법도 物理, 化學 또는 生物學的인 방법을 동원하여 다양하게 개발되고 있다.

公害문제의 해결에 이용되는 生物工學技術은 주로 효모, 곰팡이, 세균, 방사선균 및 원생동물 등의 미생물을 이용하여 固型폐기물이나 液體폐기물을 처리하는 것이다. <表-2>에 나타

난 바와 같이 폐기물의 종류에 따라 好氣處理, 嫌氣消化, 퇴비화(compost) 또는 매립처분 등의 방법으로 미생물이 이용된다.

微生物 이용에 의한 폐기물 처리기술의 특징을 살펴보면 우선 유지관리비가 저렴하고 자연의 생태계를 그대로 연장한 처리공정으로 안전성이 높을 뿐만 아니라 폐기물의 처리와 병용하여 자원의 유효한 활용이 가능하다는 점이다. 따라서 현재 이 분야에서 많이 이루어지고 있는 연구는 기존 처리기술의 효율성을 높이는 연구와 더불어 폐수처리와 함께 대량으로 발생하는 Sludge의 비료 또는 사료화 연구라든지 생물학적 脫질소技術, 嫌氣消化法에서 발생하는 메탄가스의 회수법, 가축 분뇨나 유기성 Sludge에서 발생하는 惡臭物質의 無臭化技術, 工場廢水 등에 함유되어 있는 有害重金屬의 회수, 종합적 폐기물처리 System의 개발 등이 있고 또한 최근 들어 리그닌(lignin), 섬유소, 바가스(bagasse), 아민類, nitro化合物, biphenyl化合物, sulfonic acid, polyethylene glycol, phthalic acid, ester, nylon oligomer, styrene polymer 등 난분해성 물질을 미생물을 이용하여 분해하려는 연구도 활발히 추진되고 있다.

그러나 微生物이용 폐기물 처리기술은 前述한 바와 같이 그 범위가 광범위하게 걸쳐 있고 관련 미생물의 生化學的 기능에 대한 이해

에너지, 농업, 광업 및 환경분야에 있어서 생물 공학 기술의 단계별 이용 현황과 전망

<表-3>

연대 분야	1981 ~ 1985	1986 ~ 1990	1991 ~ 2000
에너지 농업 광업	1) Biomass에서 alcohol 생산 2) 근류균의 질소 고정능의 개량 3) 단세포 단백질의 생산	1) 유기 폐기물에서 methane, alcohol 생산 2) 금속 leaching 3) 공중 질소고정 유전자를 대장균에 삽입	1) 미생물 전지 2) 고효율 수소생산 미생물의 개발 3) 미생물 태양 전지 4) 녹말을 직접 발효하는 효모 개발 5) Cellulose 자원을 당화하고 alcohol 발효하는 효모의 개발 6) 신규 호열성 미생물에 의한 alcohol 발효 7) SCP의 영양 개선 8) 식물성 성분을 미생물로 생산
환경정화	1) 황성오나의 사료화 2) 유기 폐기물의 처리 3) 중금속 제거	1) 수중의 질소, 인산 처리 2) 화학물질의 조직적 검사를 위하여 화학물의 독성 시험법의 개발과 화합물의 생분해 시험법의 개발	1) 중유(重油)의 회수 2) 영양물의 회수 3) 난 분해물의 처리 4) 잔류 농약의 무해 처리화 5) 악취 물질의 정량 6) 유전 독성의 정성, 정량 7) 화학 공업의 최적화

가 충분치 않아 아직도 개량의 여지를 많이 남기고 있다. 예를 들면 폐수의 好氣性 처리에 가장 많이 도입되고 있는 活性汚泥法에 있어서 가장 큰 문제인 팽화현상(bulking)을 방지할 수 있는 기술을 개발하거나 絲狀性細菌의 연구, block 形成機構의 해명은 이 분야 연구의 좋은 과제이다. 또한 遺傳工學的 技法에 의한 高效率 活性汚泥用 미생물의 개발, 보다 강력하고 안전성이 높은 凝集劑의 개발, Sludge의 燃燒處理에 대비한 力價 높은 Sludge 分解菌이나 酵素의 개발도 중요성이 높은 과제라 할 수 있을 것이다.

## 6. 맺는 글

이제까지 살펴본 에너지, 농업, 광업 및 환경 분야에 있어서의 生物工學技術의 이용현황과 전망을 과거 3~4년간의 연구성과와 향후 3~4년간의 발전추이 그리고 서기 2000년까지의

장기전망 등 3 단계로 나누어 유형별로 정리해 보았다(<表-3>).

前號에서 상세히 記述한 醫藥, 醱酵, 食品 및 化學工業 분야에서의 마찬가지로 에너지, 農業, 鑛業, 環境분야에 있어서도 生物工學技術은 무한한 잠재력과 가능성을 지니고 있음을 알 수 있다. 바이오테크놀로지는 그야말로 未來를 향한 첨단산업인 것이다.

그러나 현실적으로 살펴볼 때 산업전반에 걸친 生物工學技術의 이용은 他分野技術의 이용에 비하면 아직 胎動期에 불과하므로 그만큼 기술적으로 극복해야 할 여러 가지 어려움이 남아 있다. 즉 20세기의 鍊金術이라고까지 지칭되는 바이오테크놀로지를 이용하여 인류의 미래에 대한 장미빛 꿈을 실현하기 위해서는 아직도 상당한 기간을 기다려야 할지도 모른다. 따라서 이 분야 연구발전에 있어 성급한 期待는 禁物이며 한단계씩 발전해 나가려는 연구자세가 필요하다고 하겠다. ♣