尖端産業

生物工學 技術과 未來産業

金 政 會
〈韓國科學技術院生物工學科教授 · 工博〉

1. 서 론

생물공학 또는 생물공학기술이란 생물체가 가지고 있는 기능과 능력을 이용하여 인류생활에 유익하게 이용될 수 있는 물질을 얻기 위하여 미생물학, 생화학 그리고 공학적 지식을 종합시킨 학문분야이며 동시에 산업적인 응용기술이다. 세부적인 기술의 형태를 보면, 생물체 그 자체를 변형시키는 기술, 세포의 대사산물을 생산하는 기술, 생물체 그 자체를 이용하는 기술 그리고 생물체를 이용하여 어떤 물질들을 변환 또는 분해시키는 기술 등을 들 수 있다.

생물공학 또는 생물공학기술은 영어로는 "Bio technology"로 통칭되며 우리나라에서는 경우에 따라서는 유전공학으로 잘못 지칭되기도 하고 또는 생명공학이란 용어로 불리워지기도 한다. 잠시 유전공학기술과 생물공학기술을 알기 쉽게 구별하기 위하여 우리나라의 식량 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 쌀의 생산을 예를 들어 설명하겠다. 연간 쌀생산량을 증가시키기 위해서는 단위면적당 수확량이 많고 병충해에 강한 우량품종을 얻어야 한다. 이 우량품종을 봄에 파종하여 못자리에서부터 여름내내 피땀흘려 잘 가꾼 다음 비가 없고 일기가 좋은 가을날에 벼를 베어 탈곡하여 저장하여야 한다. 만약 이 세가지의 단계 즉 우량품종의 개발, 정확한 재배기술 그리고 수확과정 중 어느 한 단계에서라도 잘 못되면 우리의 목적인 최후 수확량은 감소할 수 밖에 없을 것이다. 벼의 재배과정을 생물공정과 비교해 볼 때 이 세가지 단계를 통틀어 넓은 의미의 생물공학기술이라 할 수 있으며, 이 중에서 특히 우량품종의 개발 단계를 유전공학이라 일컬을 수 있다. 좁은 의미의 생물공학기술은 재배기술과 수확과정을 의미할 수 있다 하겠다.

생물공학기술을 공정측면에서 구분하면 어떤 한 생물체 세포를 이용하여 유용한 물질을 생산하고자 할 때, 우선 단위무게의 세포가 유용물질을 생산할 수 있는 능력(세포의 활성)을 유전공학기술에 의하여 높여야 한다. 다음에는 생물공학기술을 이용하여 그 세포가 잘 증식하여 유용물질을 많이 생산할 수 있도록 세포의 배양조건을 최적화하고 또한 잘 조절해 주고 (배양기술), 그리고 최종적으로 생산된 물질을 배양액으로부터 분리하고 순수하게 정제(분리정제기술) 하여야 한다. 그러므로 생물공정을 벼의 재배와 관련시켜 보면 세포의 활성강화 및 변형-우량품종의 개발, 세포의 배양기술-재배기술, 분리정제기술-수확으로 연결지을 수 있다.

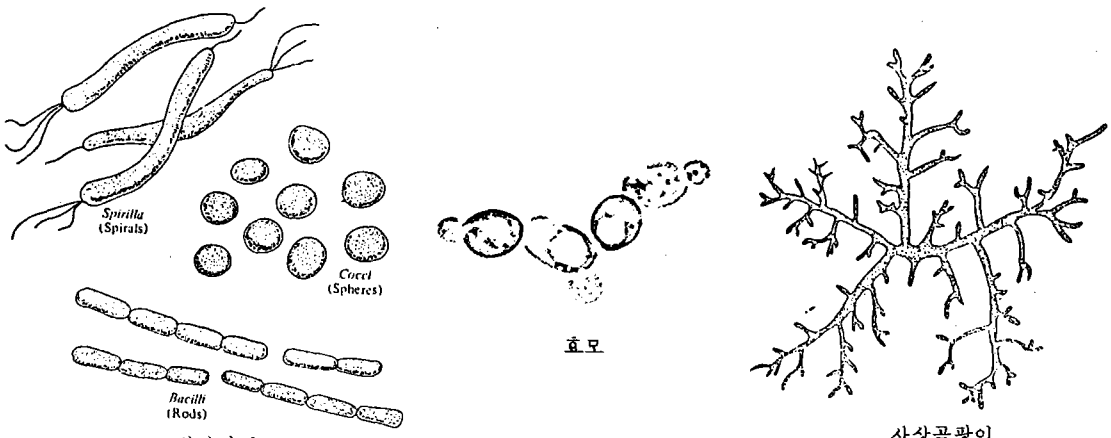
생물공학기술에서 이용되고 있는 생물체로서는 그동안 주로 미생물 세포가 이용되어 왔으며 최근 들어 의약품 생산이나 특수 화학물질의 생산을 위하여 동물 혹은 식물세포가 생물공정에 이용되기 시작하였다. 그리고 생물체의 일부로써 생물체내의 모든 생화학반응을 촉매하는 단

백질의 일종인 효소가 이용되고 있다. 가장 많이 이용되고 있는 산업미생물을 크게 구분하면 원핵세포인 박테리아, 진핵세포인 효모와 사상곰팡이로 나눌 수가 있는데 그 모양을 살펴보면 〈그림-1〉과 같다. 대개의 크기는 구형인 박테리아의 경우 직경이 0.5～2㎛, 효모의 직경은 3～7㎛ 그리고 사상곰팡이의 경우 직경은 2～5㎛이고 균사의 길이는 50～300㎛ 정도가 된다. 그러므로 미생물을 육안으로는 관찰할 수 없으며 광학현미경으로만 관찰이 가능하다. 가장 널리 알려진 박테리아인 E. Coli(대장균)를 좀더 구체적으로 살펴보면 모양은 간상형이고 직경은 1～2㎛, 부피는 4×10^{-12} ㎤, 무게는 2×10^{-6} ㎍ 그리고 이 속에서 일어나는 화학반응수는 약 3,000종류이며 이것을 반응기에서 배양하였을 때 배양액 1㎖당 약 10^{9}개의 세포를 얻을 수 있다. 이와 같이 육안으로 보이지도 않는 아주 작은 세포내에 3,000종류의 다른 반응이 일어나고 있고 또한 이러한 반응들이 지금까지 화학공학에서 개발한 어느 공장의 제어보다도 훨씬 더 정교하고 정확하게 조절되고 있다는 사실은 생물체만이 가지고 있는 유일한 기능이라 하겠다. 그러므로 우리 인간은 생물체의 능력을 최대한으로 산업에 응용하여 지금까지 화학적으로 합성하기가 힘들거나 또는 화학적으로는 얻을 수가 없었던 특수 물질들을 얻고자 하는 기술활동인 생물공학기술을 다가오는 21세기의 첨단기술로서 그 가능성을 높이 평가하고 있는 것이다. 본고에서는 생물공학기술의 산업화과정, 주요생물공학기술과 상호관계, 생물반응기, 그리고 미래산업으로서의 생물공학기술 순으로 간단히 소개하고자 한다.

2. 생물공학기술의 산업화 과정

인류의 문명이 시작된 이래로 인간은 생물을 이용한 유용한 물질들을 생산해 왔다. 그 대표적인 예로서 술을 비롯한 알콜 음료, 치즈, 간장, 된장과 같은 각 지역 고유의 발효식품들을 들 수 있다. 이러한 고대 기술의 연장으로 과학적인 뒷받침이 없이 가내공업으로 성장해 오던 발효기술이 제2차 세계대전 중에 페니실린 생산이 산업화되면서 공장규모로 급속한 속도로 발전함에 따라 근대 생물공학기술의 모체가 되었다. 이후 생물공학기술의 산업화는 빠른 속도로 진전되어 여러가지 화학물질들이 많이 생산되었다.

연대별로 간략하게 살펴보면 〈表-1〉에서 볼 수 있듯이 초창기로서 1880～1910년대에 식품공업에 이용되는 젖산과 빵효모가 발효생산되기 시작하였고 아울러 화학공업의 원료로서 에탄올 그리고 방직공업에서 직물의 크기를 조절하기 위하여 아밀라제 효소가 이용되었다. 1차 세계대전중(1910～1920)에는 전쟁에서의 화학물질과 에너지 자원의 필요에 의하여 아세톤과 부탄올이 발효기술에 의하여 생산되었으며 이때 최초로 멸균된 배지와 순수 배양기술이 도입되었



〈그림-1〉 미생물의 형태학적 특징

〈表-1〉 생물공학 기술과 제품의 산업화 과정

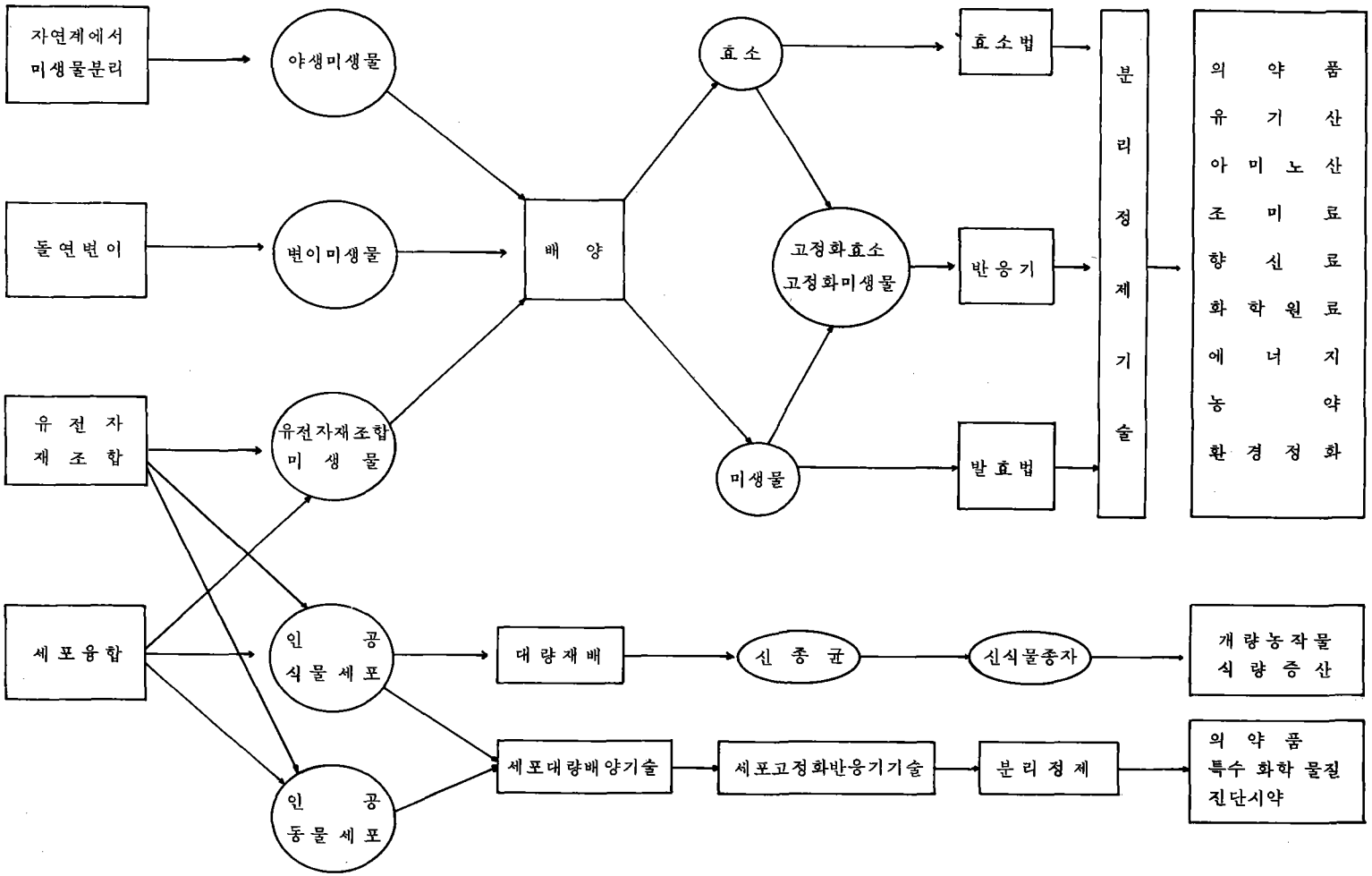
연 대	대표적인 생물공학 제품			
	화학물질	효소제제	항생제	기 타
1880–1900	lactic acid			bakers yeast (빵효모)
1900–1910	*ethanol*	*amylases*		
1910-1920	acetone butanol			
1920–1930	citric acid			
1930–1940	gluconic acid	proteinases		riboflavin
1940–1950	itaconic acid	cellulases pectinases	penicillin G streptomycin tetracycline neomycin	vitamin B_{12}
1950–1960	glutamic acid lysine kojic acid	glucose oxidase catalase	penicillin V semi-synthetic-penicillins erythromycin kanamycin cycloheximide	gibberellins dextran single cell protein oxidized steroid
1960–1970	valine	glucose isomerase glucoamylase lipases lactase	cephalosporins gentamycins lincomycin rifamycin	xanthan gum insecticide nucleocides
1970–1980	comenic acid aspartic acid malic acid xylitol	rennet dextranase melibiase	adriamycin sagamicin bleomycin bicyclomycin	modified steroids ribose fructose syrup

자료 : Chemtech july (1977)

고 미생물의 발효생리 등이 연구되었다. 그후 구연산과 글루콘산 등이 산업화되었고 1930년 중반에 최초로 생리활성물질인 라이보플라빈이 산업화되었다. 1940년대에 들어와 제2차 세계대전이 일어나면서 전쟁의 필요물자로서 생물공학기술을 이용하여 화학물질과 에너지 자원으로 에탄올, 부탄올, 아세톤 등이 대량 생산되었고 식량자원의 확보를 위하여 효모단백질의 생산 그리고 항생제로서 페니실린의 공업화가 이루어졌다. 이때 페니실린의 발효생산기술이 기초가 되어 근대 생물공학기술은 일대 전환점을 맞이하였고 이후 현저한 발전을 거듭하였다. 그 결과로서 수백종의 항생제가 발견되고 생산되었으며 또한 항염제로서 스테로이드의 변환 및 생산 등으로 인류의 건강과 복지를 위하여 생물공학기술은 큰 비중을 차지하게 되었다. 또한 여러가지 다른 화학물질로서 조미료, 효소제제, 향신료, 생물고분자, 미생물살충제, 식량자원의 부족을 해결키 위한 단세포단백질 등이 개발되었다. 그리고 glucose isomerase 효소의 생산으로 설탕보다 감미도가 2배 가량 높은 과당의 생산이 본격화되었다. 최근 들어 유전공학기술의 발전으로 백신, 항암제, 홀몬제, 단일클론항체 등 의약품 생산에 생물공학기술의 중요성이 더욱 강조되고 있으며 유전공학기술과 더불어 21세기의 첨단기술로서 인류의 건강과 복지를 위하여 큰 각광을 받게 되었다.

3. 주요 생물공학기술과 상호관계

생물공학기술을 크게 구분하여 우수 생물체의 선발 및 개량, 세포의 대량 배양기술 그리고 분리정제기술로 나눌 수 있다. 〈그림-2〉에서 볼 수 있듯이 우선 우수 생물체의 선발 및 개량에서는 자연계에 널리 존재하고 있는 미생물을 수집하여 능력이 우수한 미생물을 선발하는



資料 : 일본 발효공학회지 62권 6호 (1984)

〈그림 - 2〉 **주요 생물공학 기술과 상호관계**

screening 법에 의하여 얻어진 야생미생물, 야생미생물의 능력을 증가시키기 위하여 전통적으로 사용해 오던 돌연변이법에 의하여 얻어진 변이미생물, 그리고 최근 각광을 받고 있는 유전공학기술인 유전자 재조합법 또는 세포 융합법에 의해서 유전적 형질을 변형시켜 어떤 물질의 생산능력을 증가시키거나 또는 새로운 물질을 생산하는 능력을 부여시킨 인공적으로 개량된 유전자 재조합세포를 들 수 있다. 그리고 유전공학기술은 비단 미생물세포뿐만 아니라 동물·식물세포에도 똑같이 적용하여 능력이 좋은 새로운 인공세포를 만들어 낼 수 있게 되었다. 이러한 생물체세포를 이용하여 원하는 물질을 생산하는 단계에서는 미생물 경우에는 직접 기계적 교반식 발효조에서 미생물을 배양하면서 물질을 분비케 하는 전통적인 발효법과 미생물이 분비한 효소를 반응촉매로 이용하여 어떤 물질을 변환시키는 효소법 그리고 효소나 미생물 자체를 불용성의 고체물질에 고정화하여 계속 반복 사용하는 고정화 효소 및 고정화 미생물 반응기 기술이 있다. 이때 고정화된 효소 및 미생물이 얼마나 오랫동안 그 능력을 유지할 수 있느냐 하는 것(안정성)이 가장 큰 문제로 대두되고 있으며 최근에 효소의 안정성을 증가시키기 위하여 효소분자의 구조자체를 설계하고 변형시키는 단백질공학이 새로 부각되고 있다. 식물세포에서는 식물체내에 포함되어 있는 소량이면서도 부가가치가 높은 의약품 물질, 화학물질 및 향신료 등을 생산하기 위하여 활성이 좋은 새로운 식물세포를 만들거나 농작물을 개량하여 식량증산을 하기 위하여 새로운 식물종자를 만드는데 유전공학기술이 이용된다. 동물세포의 경우에도 마찬가지로 의약품 및 진단시약으로 사용할 수 있는 단일클론항체 등을 생산할 수 있는 새로운 인공세포를 만드는데 역시 유전공학기술이 이용된다. 동·식물세포에서도 개량된 인공세포를 대량 배양할 수 있는 생물공학기술이 개발 중에 있으며 특히 이 분야는 미생물의 대량 배양기술보다도 훨씬 복잡하고 까다롭고 또한 아직도 전혀 모르고 있는 문제점들이 많은데다가 최근 동식물세포를 직접 이용하려는 경향 때문에 생물공학기술 중에서도 혁신기술로 등장하게 되었다. 이상과 같은 생산공정이 끝나면 원하는 제품을 순수하게 분리 정제하는 downstream processing 기술을 거쳐 최종적으로 원하는 제품이 나오게 된다. 분리정제기술로는 〈表-2〉에서 볼 수 있듯이 우선 세포를 배양액으로부터 분리하기 위하여 원심분리기, 여과 및 침전법 등이 이용되고 세포가 제거된 배양액으로부터 화학물질을 분리정제키 위하여는 침전법, aqueous two phases system 법, 이온교환수지법, affinity chromatography 법 그리고 ultrafiltration 법 등이 이용된다.

〈表-2〉 생물공학 제품의 분리 정제 기술

세포 및 고형물질의 분리 :
○배양액의 전처리 및 conditioning
○침전법 ○원심분리법 ○여과법
화학물질의 분리 및 정제 :
○침전법 ○추출법 ○흡착법 ○이온교환 수지법
○Gel filtration chromatography 법
○Affinity chromatography 법
○Aqueous two phases system 법
○Ultrafiltration 법 ○Electrophoresis 법
○Immunoaffinity chromatography 법
○High performance liquid chromatography 법

요즈음 유전공학의 발전과 더불어 분리정제기술이 강조되고 있는 것은 부가가치가 높은 의약품들 특히 백신제제, 홀몬제제, 항암제 등은 인체내에 직접 투여되고 또한 세포내 또는 세포의 배양액 중에 미량 생산되므로 회수율을 높이고 인체내에서의 부작용을 방지하기 위하여 고수율과 고순도로 제품을 신속하게 정제하여야 되기 때문이다.

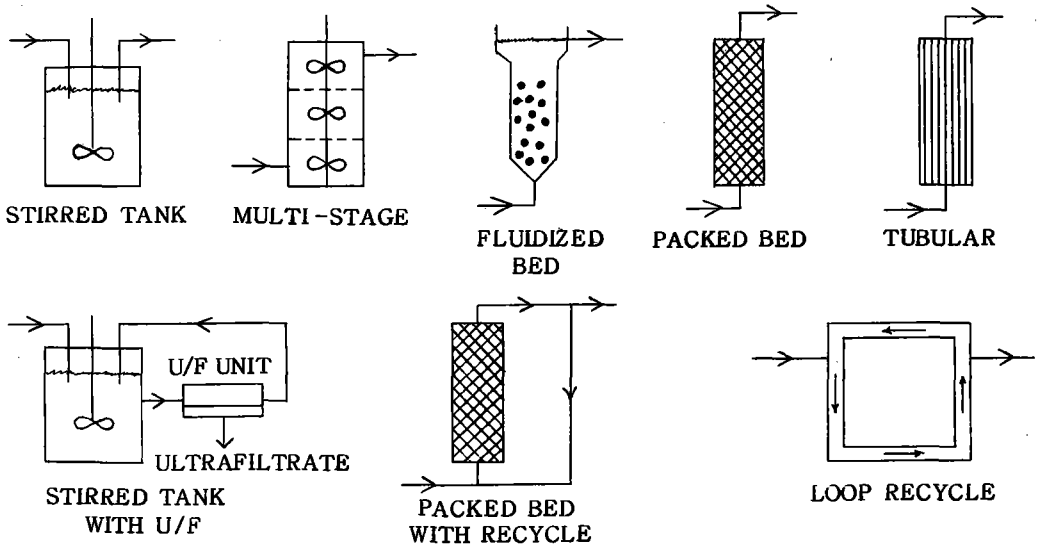
4. 생물반응기 (Bioreactor)

생물반응기란 원래 효소 또는 생물체의 세포를 이용하여 생물화학 반응을 일으킬 때 그 반응조를 의미하였으나 최근 들어 그 의미와 범위가 넓어져서 반응조뿐만 아니라 전반적인 생물공학 제품의 생산기술 및 생산시스템을 의미한다. 생물반응기 즉 생물공학제품의 생산기술 및 시스템은 화학공정과 비교해 볼 때, 상압·상온

조건하에서 반응이 이루어져 에너지가 적게 들고, 반응의 특이성이 높아 부산물이 적으며 따라서 수율이 높은 것이 큰 장점으로 알려져 있다. 반면에 아직도 생물공정에서는 최종제품의 농도가 낮은 것과 효소의 경우 안정성이 약한 것이 큰 단점으로 되어 있다. 최근 단백질공학의 발전으로 효소의 안정성 향상에 밝은 전망을 주고 있으며 또한 제품의 농도를 높이기 위하여 고농도 세포배양법 등이 개발중에 있다. 생물반응기 분야에서 혁신적으로 이루어지고 있는 것들은 반응조 그 자체의 개발 즉 새로운 형태의 반응조, 반응조의 운전방법 및 조절, 그리고 고농도 세포배양법 등이 주축을 이루고 있다. 반응조의 종류는 이제까지 교반기와 모터를 이용한 기계적 교반식 발효조 즉 세포가 호흡에 필요한 산소는 공기를 반응액 속으로 계속 불어넣어 주며 산소전달이 잘되고 배양액이 잘 혼합될 수 있도록 교반을 하는 발효조가 주종을 이루었다. 수년전부터 고정화 효소법과 고정화 미생물법이 개발되면서부터 고정화된 효소나 미생물을 관형의 반응조에 충전시킨 후 반응물질과 생산물을 각각 계속해서 유입시키고 회수하는 연속식 충전층 반응기(packed bed reactor)가 일부 개발되었으며 또한 다양한 형태의 반응조들이 개발되고 있다. 대표적인 예로서 유동층 반응기, 반응생성물의 일부를 순환시키는 순환식 반응기, ultrafiltration 또는 microfiltration membrane과 같은 여과장치를 결합시킨 반응기 그리고 hollow fiber 반응기 등을 들 수 있다 (〈그림-3〉 참조). 그리고 반응조의 운전방법에 따라 일정한 반응조건하에서 일정기간 동안 반응을 시키는 회분식, 반연속식 그리고 연속식 반응기로 나눌 수 있다. 이러한 일련의 모든 조작들은 반응물질과 생물체와의 접촉형태를 변형시키거나, 생물체의 안정성을 높이거나 또는 반응조내의 생물체의 농도를 증가시켜 생물공정의 수율과 생산성을 높이기 위하여 수행하는 일련의 생물공학의 반응기 기술이라 하겠다.

이상과 같은 여러 종류의 반응조들을 Scale-up하여 실제 산업계에서 사용하려 할 때는 물질전달과 열전달 측면에서 어려운 문제점들이 야기되고 있다. 그래서 실제로 산업계에서 현재 사용되고 있는 것은 기계적 교반식 발효조가 거의 대부분이고 고정화 미생물을 이용하는 충전층 반응기가 아미노산의 변환법 또는 가수분해 반응에 일부 응용되고 있을 뿐이다.

발효조의 Scale-up에 관한 문제는 항생제공업이 시작되면서부터 지금까지 계속해서 꾸준하게 연구가 진행되고 있다. 산소를 필요로 하지 않는 혐기적 발효계는 사실상 큰 문제가 없지만



〈그림-3〉 여러가지 형태의 생물반응기

산업적으로 중요한 많은 발효산물들은 산소를 필요로 하는 호기적 상태에서 생산되고 있다. 이때 가장 문제가 되고 있는 것이 공기속에 들어있는 가스상태의 산소를 배양액 속으로 용존시키는 과정이다. 염산가스와 같이 물에 대한 용해도가 큰 경우에는 가스를 물에 용존시키는 문제가 쉽겠지만, 불행하게도 산소는 물에 대한 용해도가 극히 낮기 때문에(상온·상압하에서 약 7ppm 정도) 대부분의 경우 미생물이 요구하는 산소의 양보다 통기와 교반에 의하여 배양액 속으로 전달되는 산소의 양이 절대적으로 부족하다. 실험실 규모의 작은 발효조(10ℓ 정도)에서 산업에서 이용되는 생산 규모의 발효조(약 50～300 m^3)로 크기가 증가될 때 가장 두드러지게 변하는 물리적인 인자는 발효조내 배양액의 부피에 대한 배양액의 표면적의 비율로서 그 값이 현저하게 감소된다. 또한 발효조를 Scale-up 시킬 때 발효조의 외형적인 모든 칫수를 똑같은 비율로 즉 닮은꼴의 형태를 유지하고 그리고 운전조작 조건 중에 어느 한가지, 예로서 교반에 들어가는 단위부피당 에너지양을 작은 발효조에서나 큰 발효조에서 똑같이 해 주더라도 교반기의 교반속도, 교반기 주변에서의 전단응력, 난류정도 등이 모두 변하게 된다. 이상과 같은 결과로 인하여 배양액의 부피에 대한 표면적의 비율이 큰 작은 발효조에서는 온도조절, 혼합, 그리고 산소전달 등이 비교적 용이하게 이루어지나, 발효조가 커질수록 산소전달, 발효열의 냉각 및 온도조절이 매우 어렵게 된다. 특히 사상균의 발효시에는 배양액의 점도 증가로 인하여 산소전달 효과가 현저하게 떨어져서 발효조의 생산성이 크게 감소된다.

또한 기계적 교반식 발효조의 최대 산소절단 용량은 상온·상압하에서 약 3～4 $g-O_2/\ell-hr$ 정도이므로 산소의 전달속도가 제한이 되지 않고 대수적으로 증식할 수 있는 미생물의 농도는 약 10～20 g/ℓ 밖에 안된다. 그러므로 발효조내 미생물의 농도를 증가시켜 생산성을 향상시키기 위하여는 발효조의 산소전달 용량이 높아야 한다. 최근 공기 대신 순수산소를 넣어 주어 세포의 농도를 200 g/ℓ 까지 증가시킨 예가 보고되고 있지만 생산비 측면에서 볼 때 산소를 생산하는 공정의 비용 때문에 경제성이 문제시되고 있다. 그러므로 현재 사용하고 있는 발효조보다 산소전달 용량이 현저히 높은 새로운 형태의 발효조의 개발도 꾸준히 진행되고 있다.

5. 미래산업으로서의 생물공학기술

앞서 생물공학기술의 산업화 과정에서 볼 수 있듯이 생물공학산업은 19세기 말에 출범하여 20세기에 들어와 1·2차 세계대전을 거치면서 획기적인 발전을 해온 결과 여러 분야에서 이미 생물공학제품이 인류의 생활에 필수불가결하게 되었다. 1953년에 모든 생물체의 유전정보를 가지고 있는 DNA의 2중나선구조가 밝혀지면서부터 급속도로 발전하고 있는 분자생물학 및 생명과학의 발전으로, 생물체의 기능을 바꿀 수 있는 유전공학기술은 산업체에서 필요로 하는 새로운 미생물 세포 및 동식물 세포를 만들어 낼 수 있게 되었고 그 가능성 및 응용영역은 무한하다 할 수 있겠다. 그러므로 이러한 세포들을 대량 배양하여 어떤 제품을 대량 생산하는 생물공학기술 역시 유전공학기술과 더불어 미래의 첨단산업으로서 무한한 가능성을 지닌 분야이다. 생물공학기술의 세부 분야 및 개발대상으로서는 〈表-3〉에서 볼 수 있듯이 의약품공업, 발효 식품공업, 화학공업, 에너지산업, 농업, 광업 그리고 환경에 이르기까지 다양하게 관련이 됨을 알 수 있다. 그러므로 생물공학기술은 기존의 화학공정의 기술혁신뿐만 아니라 에너지 및 식량자원의 확보, 환경보존 및 의약품 생산에 의한 질병의 치료 등 인류의 생존과 복지에 관련되는 광범위한 분야에 걸쳐 중대한 파급효과를 가져올 것임에 틀림이 없다. 그리고 〈表-3〉 에서 나열한 각 분야에 대한 세부설명은 이미 본 협회지 1984년 9월호에 실린 "유전공학의 산업적 전망"에서 많은 부분이 언급되어 있으므로 본고에서는 중복설명을 피하기 위하여 생략하기로 하겠다.

6. 결 론

생물공학기술은 생물체내의 물질대사, 생물체

생물공학기술의 응용분야와 중요한 개발대상

〈表－3〉

응용분야	개 발 대 상	육종기술[1]	생산기술[2]
의약품공업	인형호르몬, IFN, 효소, Vaccine의 양산	GE	F
	가축의 Virus성 질병용 Vaccine의 양산	GE	F
	Monoclonal 항체의 양산(면역진단약, 제암제 등)	GE	L
	신항생물질, 기타 신의약품 생산균의 육종, 이용	GE, CF, S	BR, E, F, C
	항생물질, Vitamin, Steroid 호르몬의 대폭적 생산성 향상	GE, S	BR, E, F, C
	고성능 분석, 분석용 기기(진단용 Sensor 등)	GE, S	BR
발효, 식품	아미노산, 유기산, 핵산관련물질, 이성화당, 효소 등의 대폭적 생산성 향상	GE, S	BR, E, F, C
공 업	내열성의 효소, 미생물의 육종 및 이용	GE, S	BR, E, F, C
	식용, 사료용 효모 단백질(SCP)의 질적개선과 양산	GE	BR, E, F, C
	곤충 Phermone, 식물호르몬 등 생물활성물질의 생산	GE	BR, E, F, C
화학공업	석유화학 Process에 Bioreactor 도입(탈 energy 및 설비 소형화)	GE, S	BR, C
	석유화학제품(ethyleneglycol, plastic, acrylamide 등) Bioreactor에 의한 생산	GE, S	BR
	지방산, 살충제, 제초제 등 유용화합물의 Bioreactor에 의한 양산	GE, S	BR
	반합성법 개발에 의한 화학합성반응의 수율 및 energy효율의 개선	GE, S	BR, C
Energy산업	cellulose 등 식물 Biomass를 원료로 한 alcohol의 대량생산	GE, CF, S	BR
	광합성 세균에 의한 수소의 대량생산	GE, CF, S	BR
	광합성을 효율적으로 하는 energy용 식물의 대량재배	GE, CF	A
농 업	박토에 자라는 공중질소고정형 신종농작물의 육종, 이용	GE, CF	A
	사막, 한냉지대에 자라는 신종농작물의 육종, 이용	GE, CF	A
	항병, 항충해성이 강한 고품질 다수확 농작물의 육종, 이용	GE, CF	A
광 업	Leaching 용 미생물의 개량 이용	GE, CF, S	F
환 경	폐유, 산업폐수, 도시폐수, 유해물질을 분해 정화하는 미생물의 육종, 이용	GE, CF, S	F

註 : 1) CF : 세포융합법 GE : 유전자재조합법 S : 재래의 미생물 Screening법
2) A : 식물재배법 BR : Bioreactor법 C : 반합성법 E : 효소법 F : 발효법
L : 동물세포 배양법

資料 : 생명공학의 약학적응용, 심포지움 논문집(1985)

의 구조와 기능, 생물체내의 조절기작 그리고 유전정보의 발현과 조절 등에 관련된 기초 생명과학에 기반을 두고 여기에 공학적인 원리를 가미시킨 process technology이기 때문에 기초 생명과학분야의 발전 없이는 21세기 첨단과학으로 일컬어지고 있는 생물공학기술의 발전은 기대할 수 없다. 요즈음 신문지상이나 TV방송을 통하여 첨단과학의 강조는 충분히 되고 있으나 첨단과학을 뒷받침하고 있는 기초과학의 역할은 무시되고 있는 듯한 것이 현실이다. 또한 유전공학기술과 생물공학기술의 관계에서도 유전공학만 강조하다 보니 유전공학이면 모든 것이 다 되는 것처럼 잘못 인식이 되고 있는 것 또한 사실이다. 따라서 첨단기술로서의 유전공학기술이 산업으로서 발전하려면 그 핵심 생산기술인 생물공학기술이 함께 발전하지 않으면 아무런 소용이 없게 된다. 그러므로 21세기의 첨단산업으로 생물공업이 발전하기 위해서는 기초생명과학분야, 유전공학기술, 생물공학기술의 발전이 다함께 이루어져야 할 것이다. ♣