

특집 : 효소의 산업적 이용기술(V)

극한환경미생물 이용기술: 극한환경미생물이 보유한 극한효소의 산업적 이용기술

성 문 회

생명공학연구소 환경생물소재연구실

극한환경미생물(Extremophile)이란?

지구상에는 생명체가 전혀 서식하기 어렵다고 생각되는 극한환경이 존재하고있다. 예를 들면 영양분이 전혀 없다고 판단되는 환경, 온천수 및 화산 등의 고온 환경, 남극 및 북극대륙과 같이 엄한 추위의 땅, 염 농도가 대단히 높은 염 호수나 염전, pH가 극단적으로 산성 또는 알칼리성으로 편재된 장소 등이다(표 1. 극한환경미생물의 생육환경 참조).

이와 같이 생명체의 서식이 불가능하다고 생각되는 극한환경에도 각각의 환경에 적응하여 서식하는 미생물이 분리되어 보고되고 있다. 이러한 미생물들을 극한환경미생물이라고 하며, 극한 미생물은 진화의 긴 과정에서 엄밀한 극한 환경에 적응하여 생존능력을 획득하였다고 추측되고 있다. 극한 미생물은 지구상의 통상적인 일반 환경에 서식하는 일반 미생물과 기본적으로 같은 생육방식을 취하고 있는 데, 유전적 정보는 DNA의 염기 배열로 결정되며, 단백질은 아미노산으로부터 만들어지고, 세포는 지질 막으로 외계로부터 구분되어져 있다. 따라서 극한환경인 표 1과 같은 엄밀한 환경에 적응하여 생육하고 있는 극한미생물은 대체 어떠한 방식으로 생육하는 것인가에 대해서는 미생물 연구자뿐만 아니라, 생물의 생명현상 및 외계의 생명체 존재에 관심을 가지고 있는 일반인에게도 대단히 흥미로운 분야이다.

극한환경미생물의 분포

지구상 위에 생물이 전혀 서식하기 어렵다고 생각되는 극한 환경에 적응하여 생육하는 미생물들을 총칭하며, 극한환경에 적응하여 서식하는 극한환경미생물의 분포도를 그림 1에 그려

표 1. 극한환경미생물의 생육환경

온도	-10 ~ 100°C
압력	~ 1,000기압(해저 10,000m에 상당)
pH	1 ~ 12
삼투압	3.5M ~ 4.5M(20 ~ 30%)의 식염농도
탄소원	50% 이상의 당농도, 석유, 벤젠, 톨루엔, 탄산가스등 이용

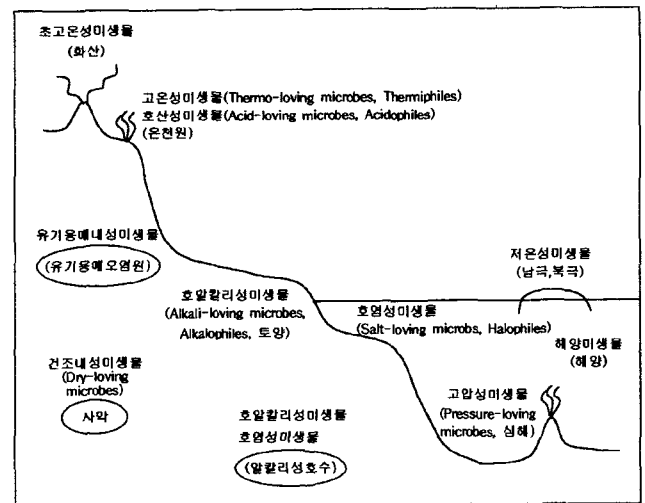


그림 1. 극한환경에 적응하여 서식하는 극한환경미생물의 분포. 보았다.

극한환경미생물의 분류

극한환경미생물은 55°C 이상의 고온 환경에 적응하여 생육하는 고온성 미생물(thermo-loving microbes, THERMOPHILES), 4°C 이하의 저온 환경에 생육하는 저온성 미생물(cold-loving microbes, PSYCHROPHILES), pH 1 ~ 2의 산성 환경에 생육하는 호산성 미생물(acid-loving microbes, ACIDOPHILES), pH 10 ~ 12의 알칼리성 환경에 생육하는 호알칼리성 미생물(alkali-loving microbes, ALKALOPHILES), 20 ~ 30% 염분 환경에 생육하는 호염성 미생물(salt-loving microbes, HALOPHILES), 500기압 이상의 고압 심해저 환경에서 생육하는 고압성 미생물(pressure-loving microbes, BAROPHILES), 사막 등의 건조환경에 생육하는 건조내성 미생물(dry-loving microbes, XEROPHILES) 등으로 분류되고 있다.

극한환경미생물 중에서도 최근 연구가 집중되고 있는 초고온성 미생물(hyper-thermophile, 75°C 이상의 고온에서 생육 가능한 미생물)의 생육온도, 서식지 및 생육환경을 표 2에 나타내었다.

표 2. 초고온성 미생물의 생육온도 및 서식지

극한미생물	생육온도	서식지	생육환경
<i>Thermotoga maritima</i>	55~90°C	해양	혐기상태
<i>Aquifex pyrophilus</i>	67~95°C	해양	호기상태
<i>Pyrobaculum aerophilum</i>	75~104°C	해양	호기/혐기상태
<i>Staphylothermus marinus</i>	65~98°C	해양	혐기상태
<i>Pyrodictium occultum</i>	82~110°C	해양	혐기상태
<i>Thermoplasma maritimum</i>	75~98°C	해양	혐기상태
<i>Pyrococcus furiosus</i>	70~105°C	해양	혐기상태
<i>Archaeoglobus fulgidus</i>	60~95°C	해양	혐기상태
<i>Methanopyrus kandleri</i>	84~110°C	해양	혐기상태
<i>Methanococcus igneus</i>	45~ 91°C	해양	혐기상태
<i>Sulfolobus acidocaldarius</i>	60~85°C	육지	호기상태
<i>Metallosphaera sedula</i>	50~80°C	육지	호기상태
<i>Acidianus infernus</i>	60~95°C	육지	호기/혐기상태
<i>Stygiolobus azoricus</i>	57~89°C	육지	혐기상태
<i>Thermoproteus tenax</i>	70~97°C	육지	혐기상태
<i>Pyrobaculum islandicum</i>	74~103°C	육지	혐기상태
<i>Thermophilum pendens</i>	70~95°C	육지	혐기상태
<i>Desulfurococcus mobilis</i>	70~95°C	육지	혐기상태
<i>Methanothermobacter sociabilis</i>	65~97°C	육지	혐기상태

극한환경미생물의 이용기술

극한환경미생물 이용기술의 중요성

극한환경미생물에 대한 연구가 미국·유럽·일본 등의 주요 기술선진국에서 국가연구개발사업(일본: Japan Marine Science & Technology Center, DEEPSTAR program 등)의 일환으로 활발히 수행되어 최근 새로운 미생물의 분류체계인 고세균(Archaea)의 분류를 탄생(그림 2 참조)시켜 세계적으로 극한환경미생물연구에 대한 관심이 집중되고 있으며, 극한환경미

생물이 보유한 극한효소를 이용한 산업적 응용연구가 활발히 진행되어 산업화의 사례가 계속 보고되고 있다. 이러한 극한환경미생물 이용기술은 21세기 신기술의 개념인 환경과 친화, 경제적 친화, 사회적 친화 및 국제적 친화의 개념이 도입된 21세기 프론티어 기술로 대두되고 있어 국내에서도 국가 전략적 연구개발 사업으로서 추진되어야 할 필요성이 매우 높다고 판단된다.

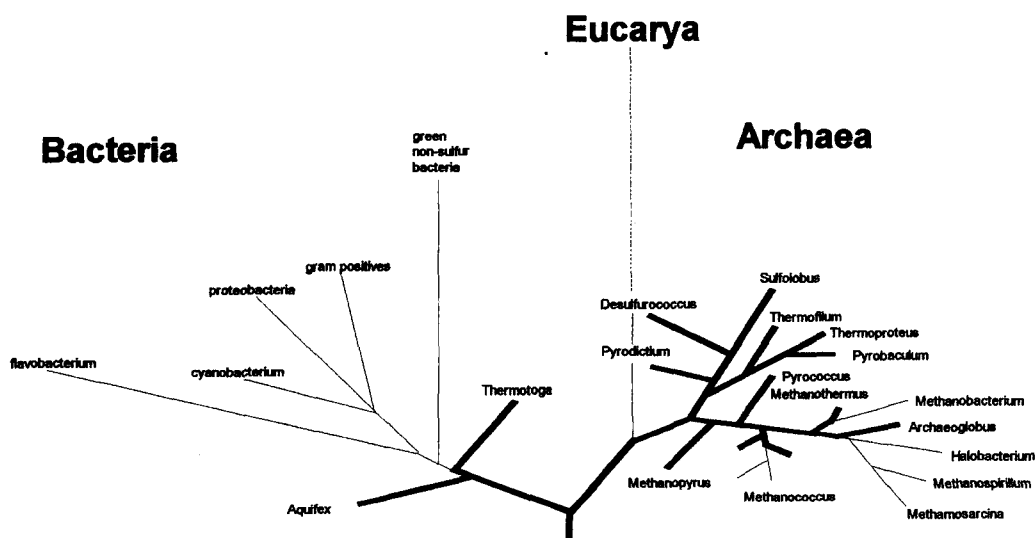
극한환경미생물 이용기술

극한환경미생물 이용기술에는 극한환경에 적응하여 생육하는 신규 극한환경미생물의 탐색·분리·보존 및 체계적인 계통적 분류 체계의 구축을 통한 미생물의 자원화 기술과 신규로 탐색·분리된 극한환경미생물 및 극한환경미생물이 보유한 극한효소의 산업적 이용기술이 포함된다.

이러한 극한환경미생물 이용기술에 속하는 주요기술로는 ① 극한환경미생물의 탐색·분리·보존기술, ② 극한환경미생물의 계통적 분류기술, ③ 극한환경미생물의 게놈 분석 연구, ④ 극한환경미생물이 보유한 극한효소(extremozyme)의 분리 및 특성연구를 통한 산업적 이용 및 응용기술, ⑤ 극한환경미생물을 이용한 환경정화기술, ⑥ 화학공정의 대체·보완 및 지속가능개발(Sustainable Development)을 위한 환경조화형 생물전환공정기술이 있다.

최근 현재까지 기존의 기술로는 배양이 불가능한 극한환경미생물(unculturable extremophile)을 이용한 유용 미생물자원의 탐색 및 산업적 이용에 대한 연구 및 기술개발이 점차 추진되고 있어 극한환경미생물 이용기술의 범위는 더욱 확대되고 있는 추세이다.

극한환경미생물 이용기술의 연구 및 기술개발 동향



*Redrawn and modified (based on C.R.Woese's model) by S.Burggraf and K.O.Stetter.

그림 2. 극한환경미생물 고세균(Archaea)의 계통도.

표 3. 극한환경미생물 이용기술의 연구 및 기술개발 내용

년도	기술개발 내용	
	국내	국 외
1879		· 프랑스 P. Miquel이 세느강에서 70°C 이상의 고온에서 생육하는 간균의 분리(1920년 고온성미생물 <i>Bacillus stearothermophilus</i> 로 명명)
1969		· 미국 T.D. Brock이 미국 엘로우스톤공원 온천에서 고온성미생물 <i>Thermus aquaticus</i> 의 분리
1970~1980		· 고온성미생물연구 및 고온성미생물이 보유한 내열성효소의 연구의 활성화
1977		· 미국 C.R. Woese가 원핵생물(Procarya, Bacteria) 및 진핵생물(Eucarya) 외 제 3의 생물로 고세균(Archaea)의 분류를 주장함
1985		· 일본 Nitto Chem사가 아크릴아마이드 생산 생물전환반응기의 산업화 추진(1989년 생물전환반응 개량기술을 개발하여 획기적 생산성의 증대확득) · K. B. Mullis가 유전자 증폭기술(polymerase chain reaction, PCR) 개발
1990		· 일본 JAMSTEC 6500m까지 잠수가 가능한 Shinkai 6500의 진수 및 Deepstar project의 시작: 심해저의 극한미생물의 탐색·분리 및 배양기술연구가 활발히 추진됨
1993	· 고온성미생물의 내열성효소 연구시작 (DNA polymerase, protease, xylanase, lipase, amino acid racemase)	· 1993. 12. 12. 뉴질랜드에서 Thermophiles '93 국제 학술대회 개최
1995	· 과기처 생명공학기술개발사업의 일환인 "생체기능의 산업적 이용기술"의 대과제에서 "특수환경미생물의 기능 및 공정이용기술" 중과제 추진	· 덴마크 Novo Nordisk사 펄프 및 제지가공용 효소 Pulpzyme HC의 개발
1996	· 1996. 8. 30. 연세대학교 "특수환경미생물의 탐색 및 응용" 심포지엄 개최	· 극한미생물 <i>Methanococcus jannaschii</i> 게놈분석 완료 1996. 6. 2. 제 1회 Extremophiles 국제학술대회 개최 (포르투갈)
1997		· 극한미생물 전문연구저널(Extremophiles) 발간 · 극한미생물 <i>Archaeoglobus fulgidus</i> 게놈분석
1998~1999	· 1998. 8. 31. 연세대학교 "BRC International Symposium on Extremophiles" 개최	· 1998. 1. 18. 제 2회 Extremophiles 국제학술대회 개최 (일본) · 극한미생물 <i>Aquifex aeolicus</i> 의 게놈분석 · 극한미생물 <i>Pyrococcus horikoshii</i> 의 게놈분석
2000		· 2000. 9. 3 제 2회 Extremophiles 국제학술대회 개최 (독일) 예정

극한환경미생물의 이용기술의 연구 및 기술개발에 대한 내용과 국내·외 기술개발 동향에 대하여 표 3과 표4에 정리하여 요약하였으며, 최근 게놈분석기술의 발달에 따라 게놈연구 및 게놈분석이 적극 추진되고 있는 고온성 및 초고온성 미생물의 게놈분석연구에 대하여 별도로 표 5에 정리하여 보았다.

기존의 기술로 배양이 불가능한 극한환경미생물을 이용한 유용 미생물자원의 탐색 및 산업적 이용기술

최근 현재까지 기존의 기술로는 배양이 불가능한 극한환경미생물(unculturable extremophile)을 이용한 유용 생물자원의 탐색 및 산업적 이용에 대한 연구 및 기술개발이 점차 추진되고 있어 극한환경미생물 이용기술의 범위는 더욱 확대되고 있는 추세이다.

생물산업

· 배양이 불가능한 극한환경미생물(unculturable extremophile)이란?

극한환경미생물 이용기술의 가장 기본적이고 중요한 기술은 극한환경으로부터 신규 극한미생물을 탐색·분리하는 기술이다. 이용 가능한 현재의 기술로는 일반적인 자연환경에서 조차 약 95 % 이상의 미생물들이 분리·배양되지 않고 있음은 이미 알려져 있는 사실이다. 이러한 사실은 채취한 시료에서 현미경상으로는 관찰이 되지만, 인공적으로는 배양이 되지 않는 많은 미생물들이 존재함으로써 알 수가 있는 사실이다. 최근에 동인도의 열대어(surgeon fish)의 장내에 존재하는 거대세균(500 by 80 um), 반추위동물의 위에 존재하는 세균, 주자성세균(magnetotactic) 등이 이제까지 배양이 불가능한 미생물들로 보고되고 있다. 아직도 극히 작은 부분의 극한환경미생물만

표 4. 극한환경미생물 이용기술의 국내·외 기술개발 동향

구분	기술(연구) 과제명	주요 성과	비고
국내	<ul style="list-style-type: none"> · 신규 고온성미생물의 기능연구를 통한 유용 D-펩타이드 합성 및 생산기술연구 · 초호열성 미생물의 고농도 배양 및 산업적 응용기술 개발연구 · 유기용매 내성균의 기능해석 및 산업적 고도이용기술 개발연구 · 미생물에 의한 활성비타민 D3 변환기술 개발연구 · 페놀류의 분해 및 전환효소의 개발과 응용 · 생물전환기술에 의한 유용 의약품 D-아미노산 생산 생물전환기술연구 · 고온성 절대공생 미생물의 신규아미노산 생합성 효소를 이용한 유용 아미노산의 생물전환기술연구 	<ul style="list-style-type: none"> · 저칼로리 고감미료의 효소적 합성기술 개발 · 초호열성 미생물의 최적 배양법 확립 · 유기용매 처리 및 불질변환기술 확립 · 저영양성미생물의 분리기술 및 유용성 개발 · 페놀오염처리기술 개발 · 유용 D-아미노산 생산 생물전환기술 확립 · 고온성 절대공생미생물의 탐색·분리 및 이용기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> · 국책 생명공학 · 국책 생명공학 · 국책 생명공학 · 국책 생명공학 · 선도기술개발 · 선도기술개발 · 국제공동
국외	<ul style="list-style-type: none"> · 일본 Nitto Chem사의 아크릴아마이드 생산 생물촉매전환기술 · 미국 Woods Hole Oceanographic Institution Program · 일본 JAMSTEC Deepstar Program · 일본 RITE 생물학적 CO₂ 고정화 project · 유럽 극한미생물 및 극한효소 Program · 덴마크 Novo Nordisk사의 극한효소 용도개발 project · 일본 Marine Biotechnology institute Biodegradation project 	<ul style="list-style-type: none"> · 범용화학제품의 청정기술 개발 및 산업화 · 심해저의 극한미생물 탐색 및 이용기술 확립 · 심해저의 극한미생물 탐색 및 이용기술 확립 · 미생물을 이용한 생물학적 CO₂ 고정화기술 개발 · 극한효소의 이용기술 및 산업화기술 확립 · 산업용 효소시장의 점유를 위한 극한효소의 용도개발 · 석유 및 페놀의 오염현장처리기술의 개발 	

표 5. 극한환경미생물 중 고온성미생물의 게놈연구 및 게놈분석 현황

고온성 및 초고온성 미생물	게놈 크기(kbp)	게놈분석 현황
<i>Acidianus ambivalens</i>	1,855	
<i>Acidianus briertyi</i>	1,880	
<i>Acidianus infernus</i>	1,829	
<i>Aquifex aeolicus</i>	1,551	완료(1998)
<i>Archaeoglobus fulgidus</i>	2,178	완료(1997)
<i>Archaeolobus lithotrophicus</i>	1,891	
<i>Archaeolobus profundus</i>	1,813	
<i>Fervidobacterium islandicum</i>	1,535	
<i>Metallosphaera prunae</i>	1,879	
<i>Metallosphaera sedua</i>	1,890	
<i>Methanobacterium thermoautotrophicum</i>	1,751	완료(1997)
<i>Methanococcus igneus</i>	1,658	
<i>Methanococcus jannaschii</i>	1,660	완료(1996)
<i>Pyrococcus horikoshii</i>	1,738	완료(1998)
<i>Pyrobaculum aerophilum</i>	1,709	
<i>Pyrodictium abyssi</i>	1,627	
<i>Sulfolobus acidocaldarius</i>	2,760	
<i>Sulfolobus metallicus</i>	1,932	
<i>Sulfolobus shibatae</i>	3,010	
<i>Sulfolobus solfataricus</i>	2,795	
<i>Stygiolobus azorcus</i>	1,543	
<i>Thermosiphon africanus</i>	1,550	
<i>Symbiobacterium toebii</i>	2,775	

참고 : · *Escherichia coli*의 게놈크기는 4.6 Mbps이며, *Bacillus subtilis*의 게놈크기는 4.20 Mbps임.
 · *Symbiobacterium toebii*는 생명공학연구소 환경생물소재연구소 재연구실에서 국내의 토양에서 탐색·분리한 신규 고온성 절대공생미생물임.

이 탐색·분리되어지고 있다고 할 수가 있다. 선진각국조차 많은 노력에도 불구하고 현재의 기술로는 이 분야에서의 성과는 기대에 크게 못 미치고 있다.

· 분자생물학을 이용한 배양이 불가능한 미생물분석법의 확립

최근 분자생물학 기술을 이용하여 미생물의 배양에 의존하지 않고, 새로운 미생물을 탐색하는 기술이 점차 개발되고 있다. 현재 알려진 16S rRNA의 database를 이용하여 각종 미생물그룹에 특이적인 분자탐침(molecular probe)들이 개발되어 있으며, 이를 이용한 환경시료 분석기술이 발달되고 있다. 예로써 특정그룹의 미생물에 디자인 된 probe를 이용하여 in situ hybridization으로 미생물의 배양 없이 자연계 시료의 미생물 분포를 분석할 수 있다. 또한 환경에서 미생물의 배양하지 않고도 직접 DNA를 추출하여 molecular chronometer로 널리 알려진 16S rRNA의 염기서열을 계통·분석하여 기존에 알려지지 않은 새로운 미생물의 존재가 보고되고 있다.

· 배양이 불가능한 이유

자연계에 일반적으로 존재하지만 배양이 불가능한 미생물이 존재하는 이유는, 일반적으로 실험실에서 조성하는 물리·화학적 요소들을 실제 자연환경처럼 재현하지 못하기 때문으로 생각되어지고 있다. 또한 생명공학연구소 환경생물소재연구소에서 최근 국내에서 분리한 신규 고온성 절대공생미생물(*Symbiobacterium toebii*)의 탐색·분리연구를 통하여 생물학적 요소인 공생관계도 극한환경에서 기존에 배양이 불가능한

미생물을 포함하는 자연환경에서 분리·배양에 중요한 영향을 끼치는 배양성을 결정하는 중요한 요소로 작용하고 있음을 보고하였다. 실제로 *Symbiobacterium toebii*의 계통분류학적 연구수행을 통하여 어느 미생물군에도 속하지 않은 새로운 속의 미생물로 동정되어, 자연계에 많은 신규 unculturable 미생물이 존재함을 시사하고 있다. 이러한 공생미생물 탐색기술을 이용하여 새로운 그룹의 극한환경미생물의 탐색·분리를 통하여 신규 미생물자원의 확보 및 산업적 이용기술에 새로운 전기를 마련할 것으로 기대되며, 현재 과학기술부 국가지정연구실 사업로 수행중인 “고부가가치 제약원료물질 생산 고기능 생물촉매기술” 과제의 핵심개발기술로 개발을 추진하고 있다.

· 배양이 불가능한 미생물의 학문적 가치와 산업적 이용 가치

알려지지 않은 배양이 불가능한 수많은 신규 미생물에 대한 연구는 미생물의 주요기능인 지구 전체적인 질소 탄소 등의 물질순환을 이해하는 데에 학문적으로 매우 중요한 역할을 할 것이다. 그리고 신규로 탐색·분리된 신규 극한환경미생물의 산업적 이용가치는 신규 유용 미생물자원과 효소자원의 확보 차원에서 더욱 중요시 될 것으로 판단된다.

현재 많은 극한환경미생물들의 계통연구 및 계통분석 연구가 활발히 진행되어 *Pyrococcus horikoshii*, *Methanococcus jannaschii*, *Aquifex aeolicus*, *Archaeoglobus fulgidus*들에 대한 계통염기서열분석이 완료되었으며, 많은 극한환경미생물에 대한 계통프로젝트가 현재 진행 중에 있다. 극한환경미생물은 산업적으로 이용 가능한 수많은 유전 정보를 가지고 있어 극한환경미생물의 계통분석으로부터 얻은 정보를 이용하여 유용한 효소자원 및 생물자원을 탐색하는 연구(bioinformatics)가 활발히 진행되고 있다.

국내 생명공학연구소에서도 국내의 토양에서 신규로 탐색·분리된 신규 절대공생 고온미생물인 *Symbiobacterium toebii*(그림 3. 참조)로부터 유용 효소자원에 대한 유전적 정보를 확보하기 위하여 현재 계통프로젝트를 추진하고 있다. *Symbiobacterium toebii*의 게놈크기는 약 2.75Mb이며, *Symbiobacterium toebii*가 보유하고 있는 신규 내열성 tryptophan indole-lyase을 가진 제한 효소단편을 선정하여 염기서열분석을 추진하고 있다.

극한환경미생물이 보유한 극한효소의 산업적 이용기술

극한효소의 산업적 이용기술

극한환경미생물 중에서도 55°C 이상의 고온에서 생육이 가능한 고온성미생물이 보유한 내열성 효소(thermostable enzyme 또는 줄여서 thermozyme이라고도 함)는 55°C ~ 100°C의 고온에서도 안정하며, 유기용매, 계면활성제, 효소변성제 등에 대해서도 높은 안정성을 보유하고 있어 산업적 응용에 대한 연구 및 기술

생물산업

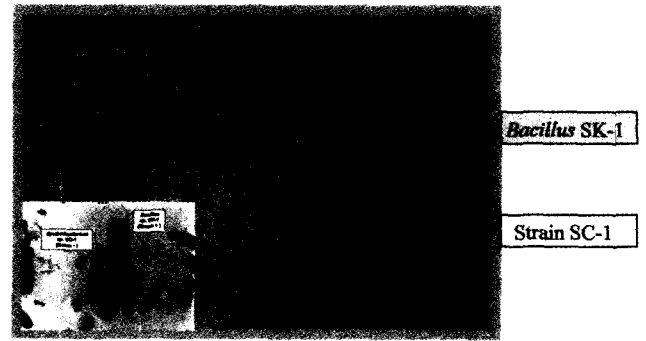


그림 3. 신규 고온성 절대공생미생물 *Symbiobacterium toebii* SC-1 탐색 및 발견.

그림설명:

· Strain SC-1: 신규 고온성 절대공생미생물 *Symbiobacterium toebii* SC-1의 colony.

· *Bacillus* SK-1: 신규 고온성 절대공생미생물의 공생균인 *Bacillus* sp. SK-1의 colony.

· 사진안의 사진: 고온성 절대공생미생물 *Symbiobacterium toebii* SC-1과 공생균인 *Bacillus* sp. SK-1의 전자현미경 사진.

개발이 활발히 추진되고 있으며, 고온성미생물 중에서도 75°C 이상의 고온에서도 생육이 가능한 초고온성 미생물이 보유하고 있는 내열성효소(protease, amylase, DNA polymerase, DNA수식 효소) 등이 현재 산업적으로 이용되고 있으며(표 6 참조), 산업용 효소산업, 화학산업, 제지 및 펄프, 식품 및 사료, 섬유 및 피혁, 금속 및 광산, 에너지 산업 등에 매우 폭넓게 활용되어 고온성미

표 6. 고온성미생물이 보유한 내열성효소의 산업적 이용

- 초고온성미생물 *Thermus* 균주가 가지고 있는 내열성 DNA 중합효소는 유전자의 증폭(polymerase chain reaction, PCR) 기술에 사용되어 분자생물학발전에 획기적인 기여를 하고 있다. 이러한 유전자증폭기술은 암, 에이즈, 치매등의 질환 연구에 활용되고 있으며, 범죄수사의 한 기법으로도 사용되고 있다.
- 초고온성미생물이 가지고 있는 단백질분해효소(protease)는 난분해성인 닭털이나 머리카락을 분해하여 현재 폐기되고 있는 닭털과 머리카락으로부터 유용 아미노산 및 펩타이드를 생산하고 있어 환경보호 및 자원절약에 기여하고 있다.
- 초고온성미생물 *Thermotoga* 균주가 가지고 있는 자일란 분해효소(xylanase)는 90°C 고온의 반응조건에서 자일로올리고당(xylo-oligosaccharide)을 보다 효율적으로 생산할 수 있어 산업화가 추진되고 있다.
- 초고온성미생물 *Pyrococcus* 균주가 가지고 있는 내열성 아밀라아제(amylase)는 현재 미국에서 산업화되어 전분당화에 직접 사용되고 있다.
- 1995년 덴마크의 Novo Nordisk사는 극한효소를 사용하여 Pulpzyme을 개발하여 펄프를 분해하고, 갈색색소를 제거시켜주어 표백에 필요한 염소량을 감소시켜 폐수처리의 시간과 경비를 현저히 감소시킨 제지 및 펄프제조 신공정기술을 개발하였다.
- 1999년 생명공학연구소의 미생물전환연구팀은 국내의 토양에서 탐색·분리한 신규 고온성 절대공생미생물이 보유한 내열성 효소들을 사용하여 고부가가치 의약품 아미노산으로 사용·가능한 방향족아미노산 생산기술 특허를 취득하였다.

생물이 보유한 극한효소 이용기술은 21세기 미래 생명과학산업의 근간을 이루게 될 것으로 판단되고 있다.

또한 고압 심해저 환경에서 생육하는 고압성 미생물이 보유한 극한효소(extremozyme)는 고온·고압 및 유기용매 등의 극한조건에서 생물전환반응을 수행할 수 있는 생물촉매로 직접 사용할 수 있어 기존의 화학합성공정의 대체를 위한 환경조화형의 생물전환공정기술 연구가 일본을 중심으로 적극적으로 추진되고 있다.

극한효소의 산업적 이용기술의 경제적 중요성

극한환경미생물이 보유한 극한효소의 산업적 이용은 산업용 효소산업, 화학산업, 제지 및 펄프, 식품 및 사료, 섬유 및 피혁, 금속 및 광산, 에너지 산업 등으로 매우 폭넓은 산업에 적용될 수 있는 기술로 판단되어 경제적 중요성이 매우 높은 기술로 판단되고 있다.

· 산업용 효소시장의 석권:

산업용 효소의 세계시장은 1997년 12억 달러 규모이며, 용도별분포는 세제용 34.8%, 식품용 12.3%, 섬유가공용 12.3%, 기타 40.6%로 구성되어 있다. 이 중에서 화학산업 및 의약산업에서의 생물전환용 생물촉매로 사용된 효소의 시장은 단지 5%내이다. 이와 같이 화학산업 및 의약산업에서 효소가 많이 이용되지 못한 이유는 효소의 안정성이 낮기 때문으로 극한환경미생물이 보유한 안정한 극한효소의 이용은 산업용 효소시장 전체를 석권하리라 판단된다.

· 정밀화학산업의 대체 및 신생물공정기술 개발:

의약/농약/염·안료/도료/화장품/향료/축매/접착제/사진용 화합물 등을 포함하는 정밀화학분야의 세계시장 규모는 '93년 4,700억 달러, '96년 5,500억 달러이며(2000년 6700억 달러, 2005년 8700억 달러 추정), 국내시장 규모는 '93년 12조5천억원(156억 달러, 년 평균 성장률 13%)에 달하고 있으며, 이러한 정밀화학산업은 점진적으로 극한환경미생물이 보유하고 있는 극한효소를 사용한 청정 생물전환공정기술로 대체되거나, 기존 정밀화학공정과 연계된 신생물공정기술의 도입으로 정밀화학산업기술의 핵심기술로 대두될 것이다.

맺음말

극한환경미생물 이용기술은 21세기 사회 문화적 기술개념인 환경의 보존을 목표로 한 환경 친화기술, 사회 친화기술, 국제 친화기술 및 미래와의 친화기술에 적극 기여할 청정기술 및 대체기술로 그 중요성은 산업지속개발을 위한 생명공학(Biotechnology for Industrial Sustainable Development)의 핵심 요소기술로 더욱 강조되고 있다.

이러한 극한환경미생물 이용기술 중에서도 극한환경미생물이 보유한 극한효소의 산업적 이용기술은 미래지향적이며, 신

산업창출이 가능한 첨단기술이며, 기존 기술에의 파급효과가 큰 기술로 국가전략기술로의 추진이 적극 요구된다.

참고문헌

1. 한문희 등, “생명공학기술 -현재와 미래-”, 생명공학연구소(1996).
2. “13,599의 화학상품”, 일본 화학공업일보(1999).
3. “日經바이오 年鑑 '99”, 일본 日經바이오테크(1998).
4. 성문희 등, “생물촉매 및 생물전환기술 기술동향 보고서”, 생물촉매기술연구회(1994).
5. 성문희, 박영훈, 생물전환기술의 원리 및 응용 현황, 바이오인더스트리 통권 제 13호(1996).
6. 박영훈 등, “화학공정의 대체·보완을 위한 환경조화형 복합생물공정기술개발”. 중기 거점기술개발 연구기획사업보고서(1998).
7. “산업기술백서”, 한국산업기술진흥협회(1996).
8. 신동식, 정부의 청정생산기술 기원 대책, 생물화학, 제 10권 3호(1996).
9. 김인호 등, “기술평가(Technology Assessment) 연구(I)”, 과학기술정책관리연구소(1997).
10. “지속가능개발을 위한 생명공학 심포지움”, 생명공학연구소(1998).
11. 장용근, 나노테크놀로지를 이용한 바이오센서, 생명공학동향, 제 5권 1호(1997).
11. 장호남, 생물반응기의 현황과 전망, 생명공학동향, 제 2권 4호(1994).
11. 오평수, 효소와 생물공정기술, 생명공학동향, 제 2권 4호(1994).
12. 정태화 등, “신기능효소기술 개발 1단계 최종보고서” 과학기술처(1995).
13. 안종석 등, “특수환경 미생물의 기능 및 공정 이용기술 1단계 최종보고서”, 과학기술처(1997).
14. Tairo Oshima, “생명은 열수로부터 시작되었다”, 동경화학동인(1995).
15. “International Congress on Extremophiles '98” Abstracts, Yokohama Japan(1998).
16. Jakob. K. Kristjansson, “Thermophilic Bacteria”, CRC Press(1992).
17. Michael W. W. Adams et al, Extremozyme: Expanding the Limits of Biocatalysis, Biotechnology 13(1995).
18. Michael T. Madigan et al, Extremophiles, Scientific American April(1997).
19. Karl O. Stetter, Microbial Life in Hyperthermal Environments, ASM News 61(6)(1995).
20. 윤기홍, 이정기, Extremophile과 Industrial Enzyme에 관한 연구, 생명공학동향 제 3권 1호(1995).
21. 오성훈, 극한효소의 개발현황 및 산업화 가능성, 바이오인더스트리 통권 제 19호(1998).
22. 성문희, 극한 환경에 서식하는 극한 미생물과 고온성 미생물, 미생물과 산업 21(3)(1995).