

2004-1-554

해양미생물의 세계

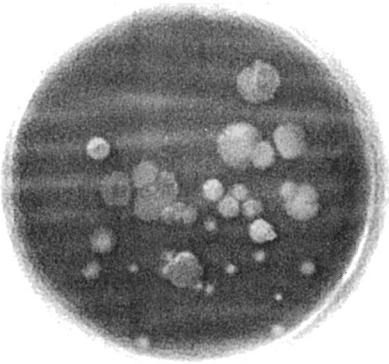
글 | 이홍금 | 극지연구소 책임연구원

서론

우리의 맨눈으로는 보이지 않는 미생물은 동물이나 식물이 적응해서 살아갈 수 없는 혹독한 환경도 마치 자기 한테는 최상의 조건인 것처럼 끗끗하게 번식하면서 살아가고 있다. 90°C 이상의 높은 온도나 10°C 이하의 온도에서도, 레몬즙보다 더 시거나 양잿물 같은 알칼리성 환경에서도, 400기압 이상의 고압에서도 자라는 것들이 있다. 우리가 매일 먹는 김치에도 있고 하수처리장에도 있고 영양분이 전혀 없을 것 같은 콘크리트나 광물을 이용해서 에너지를 얻어 살아가기도 한다. 이러한 미생물은 지구상에 생명이 탄생한 이 후 약 38억년 동안 진화해온 생물군으로서 세균, 고세균, 곰팡이, 남조세균, 미세조류 등을 포함하고 있으며 생물다양성이 가장 높다. 생물다양성은 오랜 기간 동안의 진화와 환경변화에 적응하여 온 특성들을 가지고 있으므로 생명공학의 중요한 자원이 될 수 있다.

지구 표면적의 70%를 차지하고 있는 해양은 평균 수심 4,000m, 염분 35%, 해수의 90~95%의 온도로 연평균 5°C 이하의 특성을 지닌 생명체의 주거지이자 지구상의 생명을 최초로 탄생시킨 모태일 뿐만 아니라 생물이 진화한 보금자리다. 해양의 해수, 해저퇴적층, 갯벌이나 부유물질표면 또는 해양생물 표피나 내부기관에는 다양한 형태와 생리적 특성을 지닌 해양미생물들이 존재하고 있다.

해양미생물은 높은 수압, 염도, 저온 등 육상에 비해 극한 환경에 속한다 할 수 있는 해양에 적응하기 위하여 육상미생물과는 다른 대사를 질을 생산하거나 생리작용을 발전시켜왔다. 친압성, 친냉성, 호염성, 빈영양성의 특성을 지닌 미생물 외에도 다양한 종류의 해양식물이나 해양동물의 표면이나 내부조직에 공생생활을 하면서 번식하는 종류도 있다. 해양미생물은 해수와 퇴적층에서의 물질순환에 아주 중요한 역할을 수행하고 있으며 근래에는 해양오염이나 어병 문제뿐만 아니라 생명공학적 활용



미생물 콜로니사진
산호에서 분리한 미생물들이 한천배지 위에 군락을 이루고 있다

면에서도 많은 관심을 받고 있다.

해양미생물은 그 동안 접근이 어려워 육상의 미생물이나 병원성 미생물보다 연구는 많이 되어 있지 않지만 육상 환경에서 서식하는 생물 연구의 한계를 넘어서서 생명공학기술의 새로운 돌파구를 마련해 줄 수 있는 중요한 자원이며 개발 가능성이 무한한 아주 작은 생명체이다.

해양에서 미생물의 역할

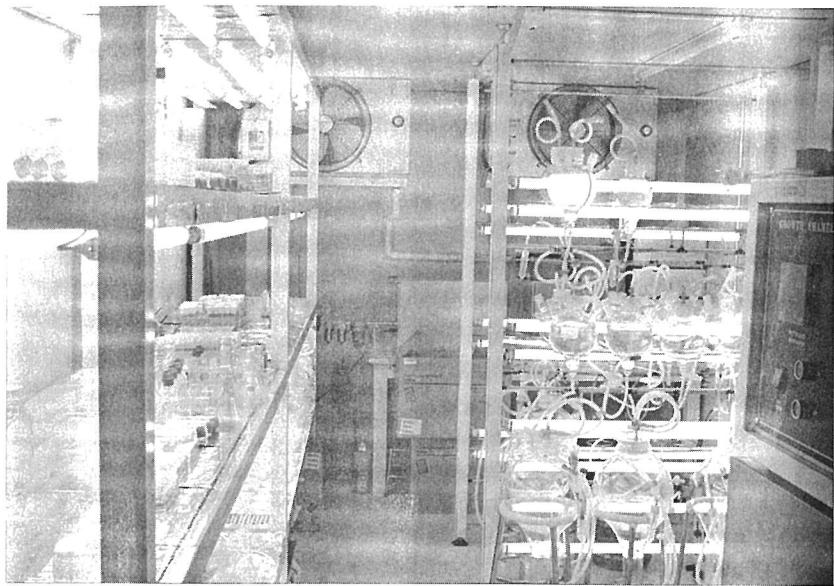
해양에서 먹이사슬의 첫 번째 주자로서 1차 생산자의 역할을 담당하는 미생물은 미세조류다. 빛에너지를 이용하여 이산화탄소를 고정해서 탄수화물을 만드는 가장 중요한 생물군은 식물성 부유생물로 단세포 미세조류가 대부분을 차지하고 있다. 황산화 세균이나 질산화 세균은

빛에너지 대신 생체 내의 화학반응에서 생기는 에너지를 이용해서 이산화탄소를 고정시키나, 그 양은 무시할 정도로 미약하다.

수심 200m 이하에서 빛이 도달하지 않아 광합성이 이루어지지 않은 깊은 바다에서도 미생물에 의한 1차 생산량이 많은 곳이 있다. 바로 심해 열수구다. 심해의 열수구에서 지구 내부로부터 검은 연기가 새어나오는 분출구 부근은 몇 백도 이상의 높은 온도에다 암모니아, 황화수소, 수소, 이산화탄소, 메탄 등의 가스와 칼슘, 철, 망간, 구리 등의 금속이 풍부하게 존재한다. 새우류, 관벌레 등 이 곳에 서식하는 생물들은 떠돌아 다니는 세균이나 부착세균을 먹고 산다. 황산화세균은 황화수소를 산화하는 해양생물들의 체내에 공생하고 있으며 이러한 환경에서는 광합성이 아니라 무기물을 산화시키면서 에너지를 얻는 미생물이 1차 생산자의 역할을 담당하고 있다.

해양에서의 미생물의 가장 중요한 역할 중의 하나는 육상과 마찬가지로 분해자로서의 역할이다. 미생물은 대부분의 물질을 분해하여 성장할 수 있기 때문에 해양에 유입되는 여러 오염물질을 분해함으로써 해양의 자정작용에 중추적 역할을 담당하고 있다.

또한 다양한 생리적 특성을 지닌 종이 존재함으로써 해양에서의 탄소, 질소, 황, 인, 철, 망간 등의 물질순환에 기여하고 있다. 해양세균은 해양의 1차 생산량의 30~50%를 분해하는데, 이러한 세균은 분해자일 뿐만 아니라 먹이사슬에 있어서 다른 생물을 위한 중요한 먹이의 역할도 갖고 있다. 실제로 미세편모류는 매일 해양세균의 30~50%를 섭식하며 요각류, 선충류, 다모류, 치자어 등도 세균이나 규조류를 섭생한다.



미생물 배양실 빛을 필요로 하는 다양한 해양미세조류를 배양하고 있다

해양미생물의 이용

생물다양성 협약 이후 생명공학 소재 탐색 및 확보 측면에서 생물자원의 확보가 생명공학 산업에서 원천기술의 선점으로 인식되고 있다. 2005년 ABS(Access of Benefit Sharing) 협약 발효 이전에 독자적으로 생물소재를 확보하지 못할 경우, 비싼 기술료나 자원이용에 대한 부담료 등으로 인하여 기술 종속을 면치 못할 상황이 전개된 것이다. 삽면이 바다로 둘러싸인 우리나라에서만 서식하는 고유 해양미생물자원과 그 자원이 관할 영토 외의 지역에서 서식하는 미생물 자원을 확보하고, 이 중 유용 생물자원의 유전체 정보를 신진학으로써 경쟁력을 높이는 것도 생물자원의 무기화에 대비하는 한 가지 전략

이 될 수 있을 것이다.

미생물은 방향족화합물, 석유의 탄화수소, 목재의 페프 등을 비롯한 다양한 복합물질을 분해하는 능력을 지니고 있다. 미생물의 유류 분해능은 매년 선박사고로 $1.9 \times 10^6 \sim 6.1 \times 10^6$ 톤의 기름이 해양으로 유출되기 때문에 큰 주목을 받고 있다.

석유화합물 중 특히 다환 방향족 탄화수소(PAHs : Polycyclic aromatic hydrocarbons)는 독성이 매우 강하기 때문에 미국 환경청에서는 PAHs를 발암성, 돌연변이 유발성, 그리고 내분비계 교란물질로 지정하

였다. 생물정화기술은 산소 공급, 토양 혼합, 유류분해미생물 첨가, 유화제 또는 영양물질 첨가 또는 다양한 미생물 생장 촉진물질 첨가 등을 통하여 미생물의 오염물질 분해기능을 죄적화시키기 위한 미래 해양환경정화기술의 핵심이다.

비브리오나 슈도모나스 그룹의 세균은 무척추동물의 유생이 단단한 표면에 부착되는 착생과정에 관여를 하고, 변태를 유도하는 물질을 생산한다고 밝혀졌다. 해양미생물은 고부가가치의 고분자물질이나 효소 등의 신소재, 의약품 및 농수산용 신물질의 생산자로서 앞으로도 무궁무진하게 개발할 필요가 있는 해양자원이다. 해양미생물의 산업적 응용사례로는 호염성 해양미생물로부터 항생제 이스타마이신 개발, 다양한 바이오플리머 생산,

| 유의
비롯
는 능
유류
1.9 ×
해양으
을 받

| 항족
aro-
이 매
령에서
발성,
회정하
해미
· 미생
물질
기술

| 물의
를 하
해양
신소
로도
해양미
부터
생산.

내한성 미생물을 이용한 세제용 효소의 개발이나 빙핵활성 단백질생산, 내한성 유전자를 이용한 알파 인터페론의 안정화 등 다양한 방면에서 이용되고 있다.

심해에서 고세균의 분리배양 등으로 앞으로 새로운 해양미생물의 기능이 밝혀짐에 따라 산업적 이용은 더욱 확대될 것이다. 생명공학의 새로운 소재를 제공해 줄 수 있는 해양미생물 중 공생미생물과 심해 열수구의 미생물을 좀 더 집중적으로 소개하면 다음과 같다.

해양 공생미생물

공생이란 서로 다른 생물종 간 사이에서 각자의 증식이 조화롭게 유지되며 서로를 이용하는 관계로, 일종의 공동생활의 형태이다. 육상이나 해양에서의 공생관계에 있어서 미생물은 수분, 산도, 온도, 삼투압 등 여러 가지 물리적인 조건에 노출되었을 때 숙주생물에게서 보호를 받기도 하고 짹짓기를 하거나 먹이를 유인하기 위한 발광기관을 갖기도 하고 산호의 미세조류 사이처럼 서로에게 필요한 영양물질을 제공하기도 한다.

냉장고에 넣어두었던 싱싱한 고등어가 깜깜한 곳에서 표면에 파란 불빛을 내는 것을 관찰할 수 있는데, 이는 고등어 표피에 있는 미생물이 내는 빛의 현상이다. 이러한 발광현상은 플라빈, 긴사슬의 알데히드가 있고, 산소가 공급되면 루시퍼라제라는 효소에 의해 빛이 생성되기 때문이다. 발광현상은 반딧불이처럼 직접 빛을 내기도 하는 동물기관이나, 동물의 표면이나 내부에서 자라는 발광세균들에게서 발견된다. 이는 주로 주의를 끌기 위한



시료 채취 _ 바닷가 바위에 붙어 있는 부착물에도 다양한 미생물이 살고 있다

수단으로 발달되었으며, 짹짓기, 먹이사냥, 먹이 유인, 포식자를 피하는 데에 이용되고 있다.

포토박테리움 속과 몇 종의 비브리오는 해양에 서식하는 발광세균으로 바다물고기의 표피에서 존재하며 물고기 사체에서 많이 분리된다. 바다물고기 중 발광기관을 가지고 있는 종류가 있는데, 포니피쉬의 경우 관모양의 발광기관이 있어 기관 내부 액에서 포토박테리움 세균의 농도가 ml당 10^{11} 개체수 이상이 되면 발광된다. 플래쉬라이트피쉬는 눈 밑에 발광기관을 가지고 있으며 빛의 양을 조절하는 반면, 어떤 종류들은 물고기로부터 영양분을 받는 즉시 그대로 빛을 방출하는 경우도 있다.

오징어류인 스퀴드의 경우에도 조직 안에 발광샘을 갖고 있으며 포토박테리움이 번식한다. 해양에 있어서 발광세균과의 공생관계는 알부터 발생단계에 시작된 것이 아니라 발광세균이 감염한 후 공생관계가 시작된 것으로 알려져 있다. 생화학적인 발광현상은 극미량의 물질을



파리 _ 파리의 표피나 파래뿌리와 돌 사이의 얇은 막에서도 수십 종의 해양미생물이 살고 있다

분석하는 면역분석법에 많이 이용되었으며 발광막을 이용하여 바이오센서의 개발에도 이용되고 있다.

해양동물이 방어작용을 위해 생산하는 여러 가지 독소의 원생산자가 공생미생물임이 밝혀짐에 따라 해양공생미생물은 생리활성물질의 생산자로서 근래에 많은 주목을 받고 있다. 해면, 산호, 군체명개 등의 해양저서생물로부터 스테롤, 알칼로이드, 테르페노이드, 할로겐화합물 등 여러 구조의 다양한 화학성분이 분리되고 있는데, 이러한 물질들은 항생, 항진균, 항바이러스, 항암활성, 면역억제효능 및 효소저해능 등 다양한 생리활성을 갖는다. 해양생물의 이러한 성분들은 공생미생물에 의해서 생산될 것이라고 가정되어 왔는데, 해면의 일종인 테다니스 이그니스의 생리활성물질이 공생세균 마이크로코코스에 의해 생성됨이 밝혀짐으로써 이 가설이 증명되었다.

미국 메릴랜드대학 해양생물공학센터의 콜웰 박사는 카리브해역에서 디지에아 등 여러 종류의 해면에서 분리

한 미생물들은 해면을 둘러싼 해수에서와는 다른 종류로, 해면미생물들이 생물공학적으로 유용한 세포독성물질을 생산함을 발견하였다. 미국 스크립스 해양연구소의 페니칼 박사는 새우의 일종인 팔레몬의 알 표피에서 분리한 세균이 항진균물질을 생산하며, 이 항진균물질이 숙주인 팔레몬 새우에 질병을 일으키는 곰팡이류를 억제하여 새우의 생존율을 높이는 역할을 한다고 보고하였다. 이러한 연구결과는 유용물질이 미생물에 의해 생산되고 고등숙주생물이 이를 이용하여 다른 생물과의 화학방어작용에 사용할 수 있다는 일례로, 해양생물과 공생미생물과의 관계는 양식이나 새로운 생리활성물질의 개발 등에 활용될 수 있다.

해양신의약 개발에 있어서 장기적인 안목으로 해양 유래 생리활성물질 연구의 대상생물을 전망할 때 가장 중요한 생물로 지목되는 것은 해양미생물이다. 해양천연물은 특성상 유용물질의 대량생산 단계에 들어가면 자원확보의 문제점에 봉착하게 된다.

예를 들면 이끼벌레 유래 브라이오스타틴이 경우 임상 3단계에서 몇 톤의 이끼벌레가 필요했는데, 자연상태에서 번식하고 있는 이끼벌레를 채취할 경우 이는 이끼벌레의 멸종을 자초하는 일이다. 브라이오스타틴이 신약시장 진입이 가능하게 됨에 따라 이끼벌레의 양식, 브라이오스타틴 생산 공생미생물의 배양, 브라이오스타틴 생합성유전자를 이용한 유전공학적인 방법에 의한 생산 및 브라이오스타틴의 화학합성 등의 방법으로 대량공급의 문제 해결을 활발히 시도하고 있다.

복어의 테트로톡신의 경우도 복어의 공생미생물인 슈도모나스 일종이 실제 생산자라고 보고됨에 따라 테트로



미생물을 분리배양하고 있는 실험실 사진

독신을 의약품인 신경독으로 개발하는 데 복어알을 수집할 필요 없이 공생미생물 슈도모나스를 대량배양함으로써 물질의 대량공급이 가능하다. 미생물은 대량 배양조건이 확립되면 바로 생리활성 물질의 대량생산에 진입할 수 있다는 장점이 있기 때문에 해양공생미생물의 대량배양을 통하여 해양생물유래 유용물질의 대량생산의 문제점도 손쉽게 해결할 수 있다는 차원에서도 해양공생미생물의 중요성은 더욱 크게 부각되고 있다.

심해 열수구의 미생물

지구상의 생명체는 대부분 태양에너지에 의지하고 일차생산자인 광합성생물로부터 영양분을 얻는 데 반해, 심해환경에서는 화학무기자가 영양세균(무기물을 산화하여 생체에 필요한 에너지를 얻고 이산화탄소를 이용하여 탄수화물을 스스로 합성할 수 있는 생명체)이 광합성식

물의 역할을 대체하고 있음이 밝혀졌다.

즉, 심해에서는 태양에너지가 아니라 환원형의 무기물이 산화됨으로써 방출되는, 이를바 지구에너지가 생명체의 에너지원이 된다. 이것은 생물학의 패러다임의 전환으로, 20세기의 대표적인 생물학적 발견의 하나로 손꼽히고 있다. 1977년 갈라파고스제도 주변에서 우즈홀 해양연구소의 ALVIN 잠수정을 이용한 해저탐사에서 빛이 없는 심해 2,550m 깊이에서 심해홍합, 30cm나 되는 대형 백색조개, 길이가 2m가 넘는 관벌레를 발견하고 현장에서 생물의 채집, 관찰 및 실험이 이루어졌다는 것은 그 당시 충격적일 만큼 대단한 일이었다.

열수구 미생물 군집들의 서식처는 크게 해수, 무척추동물의 조직, 매트가 있다. 열수는 낮은 pH, 황화수소, 메탄, 일산화탄소, 이산화탄소, 수소 등의 가스와 실리콘, 철, 망간, 아연 등의 미네랄이 높은 농도로 존재하여 주위의 해수와는 완연히 다른 특성을 지니고 있다. 갈라파고스 지역에서 온도가 50°C 이하의 중온 열수구와 그 주위 해수에서는 ml당 최고 10억 마리의 세균이 존재하는 것으로 밝혀졌는데, 이것은 일반 심해해수나 주변 해수에서의 $6 \times 10^4 \sim 10^6 / \text{ml}$ 의 세균수에 비해 상당히 높은 편으로 연안에서의 세균수와 유사한 수준이다.

열수구의 해수에는 저서생물의 먹이가 되는 미세생물의 밀집도가 낮은 데 반하여 대부분의 미생물들은 무척추동물의 체내에서 공생관계를 이루며 서식하고 있다. 즉, 해수에서 저서생물체내로 유입되는 황화수소를 이용하여 에너지를 얻으면서 이산화탄소를 고정하여 생산한 유기물을 저서생물체로 전달하고 있다. 호열성 심해미생물로는 메탄생선균이 처음 스모커에서 분리된 이후 분류

학적으로 고세균(archaea)에 속하는 다양한 미생물들이 심해 스모커나 높은 온도의 퇴적물에서 분리되었다. 캘리포니아만 내 가이마스해분의 열수구들은 특히 세균성 매트가 많이 형성되어 있는데, 어떤 것은 황산화세균으로 구성된 매트가 최고 400m의 두께로 퇴적되어 있으며 이 퇴적층 사이로 350℃나 되는 열수가 흘러나오고 있다.

생물공정에 사용되는 미생물 종류는 몇 종류에 지나지 않으며, 대부분 육상에서 분리되었다. 그러나 해양환경은 다양한 생태환경과 이에 적응한 특이한 미생물들이 많이 존재하고 있어 생물공학적인 유망성이 크다. 특히 심해는 가장 극한 해양환경이기 때문에 강력한 후보자 자격을 갖고 있다고 할 수 있다. 열수구가 발견된 후 열수 시료로부터 미생물을 배양하는 방법을 연구하기 시작하였으며, 1983년 드디어 최적성장온도가 105℃이며 고세균에 속하는 파이러티움이 보고된 이래 새로운 많은 호열성 고세균들이 발견되었다. 호열성 세균은 세포내 거대분자, 특히 효소가 고온에도 안정적이기 때문에 다양한 호열성 세균에서 분리한 수십 종류의 효소들은 생물공정에 이용될 수 있는 가능성을 지니고 있다.

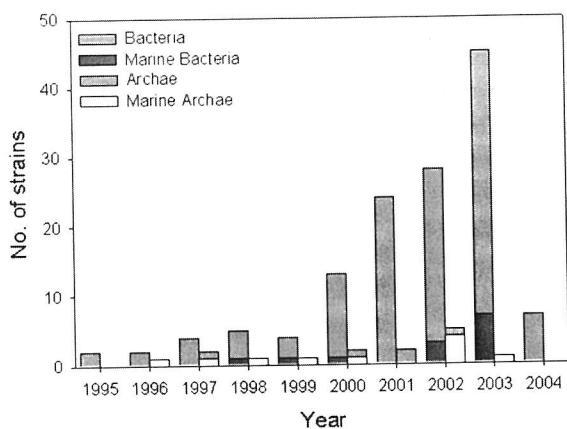
또한 단백질의 열안정성에 대한 구조와 기능연구를 통하여 단백질의 열역학적인 안정성을 위한 요소들이 밝혀짐으로써 단백질공학연구에 큰 진전을 가져올 수 있었다. 높은 압력, 큰 온도 차이, 높은 농도의 독성 화합물에 잘 적응할 수 있는 미생물들은 생물정화과정의 개선에도 응용될 수 있다.

해양 미생물 유전체 연구 현황

유전체 연구는 DNA 염기서열이 어떤 구조를 가지고 어떻게 배열되어 있는지를 나타낸 유전자 지도를 작성하고 각각의 유전자에 대한 기능분석과 그 활용기술을 개발함으로써 완성된다. 인간 유전자 지도 초안이 발표되자 특히 출원들도 미국 셀레라 제노믹스사의 6,000여 건을 비롯해 볼ту처럼 터졌다. 이러한 유전정보를 선점하기 위해 선진국을 비롯한 세계 각국이 생물정보 전쟁을 치루고 있다. 무엇보다 대다수 미생물의 경우, 사람 등 고등동물보다는 훨씬 작은 사이즈의 유전자를 가지고 있으며, 이것은 유전체 연구 재료로 미생물이 갖는 가장 큰 매력이다. 이와 같은 이유로 미국 DOE에서는 1994년에 미생물 유전체 연구계획을 수립하고 다양한 미생물에 대한 유전체 연구를 수행하여 왔다.

유전체 염기서열 고속분석과 생물정보학 기술이 발달하면서 전체 유전체가 분석되는 생물의 수가 급속히 늘고 있다. 미국 TIGR의 GOLD 데이터베이스에 따르면 2004년 4월 현재 전체 유전체 분석이 완결되어 공개된 생물은 196종이며, 분석이 진행 중인 생물은 929종에 이른다. 상대적으로 유전체 크기가 작고 생리작용이 다양한 미생물 유전체가 분석된 종의 80% 이상을 차지하며, 현재 진행되는 종의 50% 이상 (508종)이 미생물이다. 미생물 유전체 해독은 초기에 병원성 세균을 대상으로 이루어졌으나, 이후 극한환경 미생물과 산업적 가치가 있는 미생물로 확대되었으며 해양미생물에 대한 연구도 점차 확대되고 있다 (그림 참조).

그림 _ 연도별 유전체 분석 종 수와 미생물 유전체 분석 수
(GOLD, 2004년 4월 현재)



해양은 육상과는 다른 염도, 온도 등의 환경조건 때문에 해양생물은 독특한 구조, 물질대사 경로, 감각 및 방어기작 등을 보유하고 있다. 따라서 새로운 기능을 수행하는 유전자 탐색의 무한한 잠재력을 보유하고 있다. 지금까지 모두 고세균 10종, 세균 13종의 해양미생물의 유전체가 분석되었는데, 특히 고세균은 심해 열수구에서 분리된 균주들로 주로 산업적인 이용가치가 있는 균주들이다.

현재 국내에서 미생물 유전체분석 프로젝트로 분석이 수행되었거나 수행 중인 미생물은 15종이나, 이 중 해양미생물은 제주에서 분리된 색소와 다당체를 생산하는 *Hahella chejuensis* 1종뿐으로 21C 프론티어 연구개발사업 '미생물 유전체 활용기술 개발사업단'에서 2004년 내에 초안이 나올 예정이다.

결언

미생물의 산업적 이용 가능성 때문에 앞으로 더 많은 미생물, 특히 아직까지 중요도가 알려지지 않은 미이용 미생물의 연구가 점차 활발해 질 것으로 기대된다. 자연 환경의 미생물 중에서 실험실 내의 배양이 가능한 종은 1% 미만이므로 나머지 99% 정도의 배양되지 않은 미생물을 활용하기 위해서는 새로운 분리배양 기법의 개발이 선결되어야 할 것이다. 배양이 어려운 배양불가균주의 유전체 연구를 수행하기 위해서는 고분자량 유전체를 확보하는 등의 새로운 기법을 도입하여야 할 것이다.

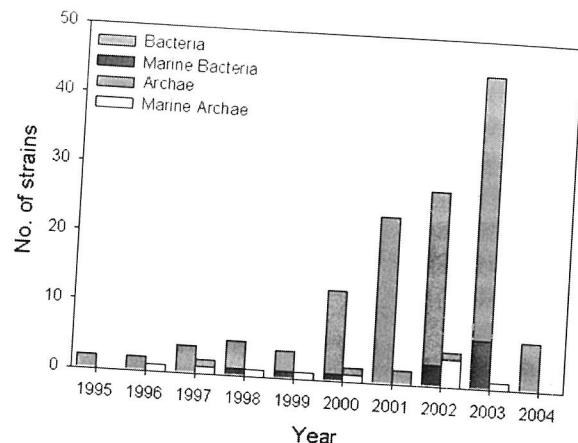
해양 미생물은 새로운 기능의 생물소재를 제공해 줄 수 있는 가능성이 무한하며 육상 환경에서 서식하는 생물 연구의 한계를 넘어서서 생명공학기술의 새로운 돌파구를 마련해 줄 수 있는 중요한 자원이다. 그러나 아직까지 전체 해양 미생물 중 극히 일부분만이 연구된 실정이며 유전체 연구에서도 크게 주목받지 못하고 있다. 따라서 앞으로 해양미생물을 이용하기 위해서는 이들의 생물 다양성을 확보하고 유전자원을 분리하여 이용기술의 개발이 절대적으로 필요하다.

특히 연안, 연근해, 퇴적물, 해양생물체, 염전 등 기존의 다양한 해양환경뿐 아니라 심해, 열수구, 남극이나 북극과 같은 극한환경에서 서식하는 해양 미생물이 분리되고 현지화 보존이 되어야 하며 유전체 연구도 활성화되어야 할 것이다. 또한 해양미생물유전자은행을 통한 미생물자원의 정보화로 국내 연구진에 의한 미생물의 활용을 효율적으로 하여야 한다.

· 지고
· 성하
· 을 개
· 표되
· 여 견
· 점하
· 전쟁을
· 등 고
· 있으
· 큰 매
· 에 미
· 대한

· 발달
· 히 늘
· 나르면
· 된 생
· 이른
· 다양
· 며, 현
· 미생
· 이루
· 있는
· 점차

그림 _ 연도별 유전체 분석 종 수와 미생물 유전체 분석 수
(GOLD, 2004년 4월 현재)



해양은 육상과는 다른 염도, 온도 등의 환경조건 때문에 해양생물은 독특한 구조, 물질대사 경로, 감각 및 방어기작 등을 보유하고 있다. 따라서 새로운 기능을 수행하는 유전자 탐색의 무한한 잠재력을 보유하고 있다. 지금까지 모두 고세균 10종, 세균 13종의 해양미생물의 유전체가 분석되었는데, 특히 고세균은 심해 열수구에서 분리된 균주들로 주로 산업적인 이용가치가 있는 균주들이다.

현재 국내에서 미생물 유전체분석 프로젝트로 분석이 수행되었거나 수행 중인 미생물은 15종이나, 이 중 해양미생물은 제주에서 분리된 색소와 다당체를 생산하는 *Hahella chejuensis* 1종뿐으로 21C 프론티어 연구개발사업 '미생물 유전체 활용기술 개발사업단'에서 2004년 내에 초안이 나올 예정이다.

결언

미생물의 산업적 이용 가능성 때문에 앞으로 더 많은 미생물, 특히 아직까지 중요도가 알려지지 않은 미이용 미생물의 연구가 점차 활발해 질 것으로 기대된다. 자연 환경의 미생물 중에서 실험실 내의 배양이 가능한 종은 1% 미만이므로 나머지 99% 정도의 배양되지 않은 미생물을 활용하기 위해서는 새로운 분리배양 기법의 개발이 선결되어야 할 것이다. 배양이 어려운 배양불가균주의 유전체 연구를 수행하기 위해서는 고분자량 유전체를 확보하는 등의 새로운 기법을 도입하여야 할 것이다.

해양 미생물은 새로운 기능의 생물소재를 제공해 줄 수 있는 가능성이 무한하며 육상 환경에서 서식하는 생물 연구의 한계를 넘어서서 생명공학기술의 새로운 돌파구를 마련해 줄 수 있는 중요한 자원이다. 그러나 아직까지 전체 해양 미생물 중 극히 일부분만이 연구된 실정이며 유전체 연구에서도 크게 주목받지 못하고 있다. 따라서 앞으로 해양미생물을 이용하기 위해서는 이들의 생물 다양성을 확보하고 유전자원을 분리하며 이용기술의 개발이 절대적으로 필요하다.

특히 연안, 연근해, 퇴적물, 해양생물체, 염전 등 기존의 다양한 해양환경뿐 아니라 심해, 열수구, 남극이나 북극과 같은 극한환경에 서식하는 해양 미생물이 분리되고 현지화 보존이 되어야 하며 유전체 연구도 활성화되어야 할 것이다. 또한 해양미생물유전체은행을 통한 미생물자원의 정보화로 국내 연구진에 의한 미생물의 활용을 효율적으로 하여야 한다.