

생계면활성제 (Biosurfactants) 와 화장품, 세제, 환경에의 응용

林 京熙

중앙 대학교 공과 대학 화학 공학과

1. 서언

계면 활성제는 식품, 생활용품, 세제, 의약품, 화장품, 섬유, 기계·금속, 건축·토목, 고무, 플라스틱, 도료, 사진 등 우리의 생활 전반에 걸쳐서 널리 쓰이고 있다. 따라서 계면 활성제를 사용하지 않는 공업은 없다¹는 보도는 이제 너무 당연한 이야기로 들린다.

우리 나라에서는 계면 활성제의 최대 수요자가 섬유 공업이지만, 계면 활성제 자체를 주 원료로 사용하는 곳은 세제 산업이다. 이런 점에서 세제의 변천을 돌이켜 보면 세제의 지난 역사를 통해서 앞으로 계면 활성제의 나아갈 바를 가늠할 수 있을 것이며 생계면활성제의 중요성이 부각될 수 있을 것이다.

고대 이집트에서는 세탁을 할 때 세제를 쓰지 않고 냇물 속에 빨래감을 놓고 발로 밟아서 빨았다. 로마 시대에도 세제를 쓰지 않은 것은 마찬가지였지만 빨래는 생계의 중요한 수단이 되는 때도 있었으므로 비중이 컸다고 아니할 수 없다. 이런 시대에는 빨래를 효과적으로 하기 위해서 센물(硬水)을 단물(軟水)로 만들어 사용하거나 비누를 사용하였다. 센물을 단물로 만들기 위해서 고대 에집트인들은 빗물, 데운 물, 또는 소다를 사용하였다. 필자가 어린 시절에도 우리 부모네들은 빗물을 받아서 빨래를 했던 기억이 어제의 일같이 생생하

다.

비누는 가장 오래 된 계면 활성제로서 역사가 깊다. 비누는 갈리아인들이 처음으로 발견한 것으로 믿어지고 있으며 기원 전 2500 년 경의 수메르인들에게도 알려져 있었다. 이 후 비누는 화장품이나 치료제로 간주되어 사용되다가 1000 년 전부터 일반 세제로 사용되기 시작하였지만 여전히 사치품으로 여겨졌다. 그러나 20 세기가 시작되고 최초의 세제(detergent)가 등장함에 따라 비누는 세제로서의 화려한 위치를 점점 잃게 되었다.

기술의 발전과 더불어 세탁기가 등장함에 따라 센물에 매우 예민한 비누를 대체할 필요성이 한층 높아졌다. 1928 년에 독일인 Bertsch²가 비누를 fatty alcohol sulfate로 대체하는데 성공하였으며 이 후 천연 fat에서 얻어진 alkyl sulfate 가 사용되었다. 2차 대전의 종전과 함께 미국의 Procter & Gamble 社는 최초의 합성 세제인 Tide 를 시판하였으며 이의 원료인 alkyl benzene sulfonate 는 석유 화학 공업의 융성으로 말미암아 값도 싸고 쉽게 얻을 수 있어서 합성 세제가 널리 쓰이게 되었다.

그러나 합성 세제의 영역이 확장되면서 계면 활성제에 대한 새로운 기준이 제시되었는데 그것은 다름 아닌 생분해도이었다. 합성 세제가 수질 오염을 야기시키는 원인의 하나가 되었고, 오염된 수질에 의한 토양 오염의 간접적인 원인 제공자도 됨에 따라 계면 활성제의 생분해도를 높이려는 시도가 있게 되었다. 1961 년 독일의 German Detergent Law 를 시작으로 프랑스, 이태리, 일본, 영국 및 미국 등이 환경 오염을 야기시키는 계면 활성제를 규제하고 환경과 조화를 이루는 계면 활성제의 개발과 생산을 유도하게 되었다. 이와 같은 추세는 환경 문제가 심각해 짐에 따라 점차 강화되어 질 것이므로 계면 활성제를 주조로 하는 산업계도 이에 상응하는 대책을 마련하여야 할 것이다. 생계면활성제는 이와 같은 점에서 비추어 볼 때 환경에 전연 해를 끼치지 않는, 환경의 일부인

계면 활성제라는 점에서 앞으로 이 분야의 연구와 개발에 더욱 많은 노력을 기울여야 할 것으로 전망된다.

따라서 본 강의에서는 생계면 활성제의 본질, 이것이 기존의 합성 계면 활성제에 비하여 갖는 장점, 및 이의 제조 방법을 고찰해 보고 세제, 화장품, 의약, 환경 오염 개선 등에서의 응용을 살펴 본 후 생계면 활성제가 상용화되기 위해서 넘어야 할 과제들을 정리해 보고자 한다.

2. 생계면활성제와 이의 장점

생계면활성제란 무엇인가를 살펴보기 전에 계면 활성제란 무엇인가에 대해서 논의해 보는 것이 타당하리라 생각된다. 계면 활성제란 낮은 농도에서 표면 (surface) 이나 계면 (interface) 에 흡착되어서 표면 (혹은 계면) 장력을 현저히 바꾸는 물질을 말한다. 여기서 계면이란 섞이지 않는 두 용액상 사이의 상 경계를 말하고 표면이란 두 상 중 하나가 기체 (보통 공기) 일 때의 계면을 말한다. 계면에서의 물리적, 화학적, 전기적 성질이 bulk 에서의 이런 성질들과 판이하게 다른 경우가 많으나, 대체로 계면의 분율이 bulk 의 분율보다 아주 작아서 무시되곤 했다. 그러나 에멀전과 같은 콜로이드 분산계에서와 같이 분산 입자의 크기가 매우 작은 경우에는 계면의 면적이 상대적으로 크기 때문에 이런 경우에는 계면 현상은 아주 중요하게 된다. 계면의 분율이 적은 경우라 할지라도 계면에서의 현상이 특이한 경우 (예를 들면, 촉매 반응, 부식, 세척 작용, 부유 선광) 에는 계면을 고려하여야만 한다. 최근에는 박막, 고분자, 초미립자와 같이 분자 크기 정도의 계를 대상으로 하는 연구가 활성화 됨에 따라 계면 현상은 매우 중요하게 되었으며, 이에 부응하여 계면에 흡착하여 계면의 성질을 바꾸는 계면 활성제의 기능과 역할도 더욱 중요하게 되었다.

계면 활성제는 독특한 화학 구조, 좀 더 정확히 말하면, 양쪽성 구조를 가지는 물질이다. 용매에 대해 인력 (attraction) 을 거의 작용 하지 않는 그룹 (lyophobic group) 과 용매에 대해 강한 인력을 작용하는 그룹 (lyophilic group) 으로 되어 있다. 만일 용매가 물이라면 양쪽성 그룹은 물과 인력이 없는 疏水 그룹과 물과 강한 인력을 나타내는 친수 그룹 (hydrophilic group) 이 된다. 따라서 친수성과 소수성 그룹을 갖는 화합물 즉 알콜, 유기산, ester 등은 계면 활성제이다. 그렇지만 이런 것들이 계면 활성제로서 특정한 목적에 쓰이기 위해서는 표면 장력 감소 같은 surface activity 를 조사한 후 선정되어야 한다.

생계면활성제는 어떤 화합물로부터 화학적 단계를 거쳐서 소수성과 친수성의 양쪽성을 갖는 물질을 합성하여 얻은 것이 아니라, 양쪽성 구조를 갖는 천연물이거나, 천연물을 미생물이나 효소를 사용하여 얻은 양쪽성 구조를 갖는 물질을 말한다. 동물의 부위나 식물로부터 생계면활성제를 추출해 내는 방법보다는 천연물에 미생물이나 효소를 이용한 방법을 통하여 생계면활성제를 얻는 방법이 보다 많이 쓰이고 있다. 다음 section 에서 알 수 있듯이 생계면활성제는 여러 가지 종류의 구조를 가지며, 다양한 HLB 의 값을 나타낸다. 그러나 구조나 HLB 값의 다양성에도 불구하고 표면 장력에 대해서는 대체로 비슷한 영향을 준다.

생계면활성제가 갖는 장점은 무엇보다도 생물학적, 생태학적 측면에서 볼 때 자연과 조화를 이룬다는 데에 있다. 생계면활성제는 독성이 적고 생분해도가 아주 좋아서 건강과 환경적 측면에서도 문제를 야기시키지 않는다. 생계면활성제는 재생 자원으로부터 얻기 때문에 환경 문제를 해결하는 데에도 일조를 하게 된다. 따라서 생계면 활성제는 계면 활성제를 사용하는 여러 가지 산업에서 겪는 제약과 규제를 넘어서는 방안임이 확실하다고 여겨진다. 아직까지는 가

격이 다소 비싸고 이들의 활용에 있어서 얻어진 정보가 미미하므로 새로운 생계면활성제의 개발과 더불어 가격을 낮추고 용도를 개발하면 기존 산업체의 경쟁력과 사업성을 한층 높일 수 있을 것으로 판단된다.

3. 생계면활성제의 종류

미생물은 부피에 대한 면적의 비가 크고 다양한 생화학적 경로를 제공해 주기 때문에 생계면활성제 합성에 사용될 수 있는 좋은 대상이다. 많은 미생물은 물과 섞이지 않는 기질에서 성장할 때 여러 종류의 생계면활성제의 혼합물을 생성한다. 이스트나 곰팡이에 의해서도 생계면활성제가 합성되지만 박테리아에 의한 것이 대부분이며, 요즈음에는 lipase 와 같은 효소를 사용하여 합성하기도 한다.

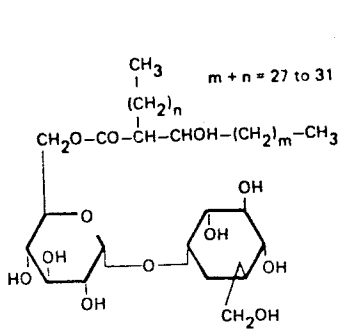
생계면활성제는 양쪽성 구조를 갖는 미생물의 대사 물질이다. 소수성 부분은 long-chain fatty acid, hydroxy fatty acid, α -alkyl- β -hydroxy fatty acid 등이며 친수성 부분은 carbohydrate, amino acid, cyclic peptide, phosphate, carboxylic acid, alcohol 등이다. 물리 화학적 성질, 표면 장력 감소, 에멀전이 형성되었을 때의 이의 안정도 등은 잠재적인 생계면활성제를 찾아내는데 고려해야 할 아주 중요한 요소이다. 이런 요소들은 생계면활성제를 평가하고 미생물을 선별하는데 쓰이기도 한다.

화학 계면 활성제는 친수성의 성질에 따라 분류되지만 생계면활성제는 생화학적 성질이나 사용된 미생물에 따라 주로 다음 5 가지로 구분된다: (1) glycolipids, (2) phospholipids and fatty acids, (3) lipopeptide and lipoprotein, (4) polymeric surfactants, (5) particulate surfactants. 이들 그룹의 주요한 생계면활성제와 생성에 쓰이는 미생물을 표 1에 나타내었다.

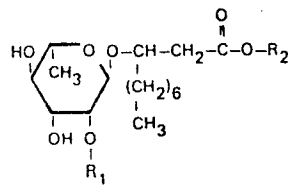
표 1 미생물이나 효소를 이용하여 얻는 생계면활성제

Surfactants	Organisms (genus) or Enzymes
Glycolipids	
Trehalose	<i>Arthrobacter</i> , <i>Brevibacterium</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Norcadia</i>
Sophorolipids	<i>Torulopsis bombicola</i>
Rhamnolipids	<i>Arthrobacter</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Norcadia</i> , <i>Pseudomonas</i>
Ornithine lipids	<i>Agrobacterium</i> , <i>Gluconobacter</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Thiobacillus</i>
Fatty acids	<i>Acinetobacter</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Candida</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Mycococcus</i> , <i>Norcadia</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Pseudomonas</i> Acylpeptides
Phospholipids	<i>Candida</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Thiobacillus</i>
Surfactin	<i>Bacillus subtilis</i>
Polymeric surfactants	
Emulsan (lipoheteropolysaccharide-protein complex)	
Particulate biosurfactants	
Membrane vesicle	<i>Acinetobacter</i>
Sugar esters	Lipase

또한 이들의 구조 몇몇을 그림 1에 나타내었다. Glycolipid 는 탄수 화물과 사슬이 긴 aliphatic acid (또는 hydroxy aliphatic acid) 가 결합된 것이다. Glycolipid 는 생계면활성제 중에서 가장 많이 연구가 된 것이며, 박테리아의 세포막에 존재하는 glycosyl diglyceride 는 가장 보편적인 glycolipid 이다. 생계면활성제의 특성 결정의 목적에서 연구된 가장 좋은 예의 glycolipid 는 trehalose lipids^{3,4}, sophorolipids^{5,6}, rhamnolipids^{7,8} 이다. 이들은 미생물을 이용하여 trehalose, sophorose, rhamnose 에 lipid 부분을 붙인 것이다.

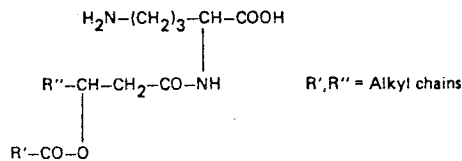


Trehalose-6-monocorynomylate
from *Rhodococcus erythropolis*

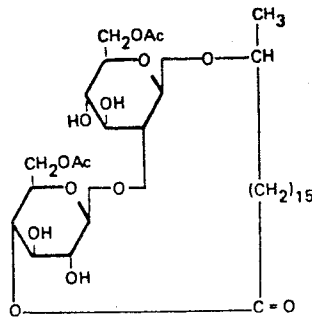


- RL 1: R₁ = L- α -Rhamnopyranosyl- R₂ = β -Hydroxydecanoic acid
- RL 2: R₁ = H R₂ = β -Hydroxydecanoic acid
- RL 3: R₁ = L- α -Rhamnopyranosyl- R₂ = H
- RL 4: R₁ = H R₂ = H

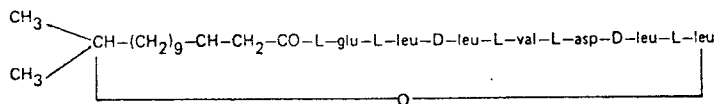
Four rhamnose lipids from *Pseudomonas*
Species



Ornithine-containing lipid from *Pseudomonas rubescens*



Lactonic sophorose lipid from *Torulopsis magnoliae (bombicola)*



Surfactin from *Bacillus subtilis*

그림 1. 생계면활성제와 이의 구조들

어떤 종류의 박테리아는 n-alkane 에서 배양되었을 때 상당량의 phospholipid 와 fatty acid 를 배출한다^{9,10}. 이 생계면활성제들은 alkane 이 물에 분산되어 있는 광학적으로 투명한 microemulsion 을 형성할 능력이 있다. *Thiobacillus thiooxidans* 는 유황을 젖게 하는 역할을 하는 phospholipid 를 상당량 생산해 낸다.¹¹

Decapeptide 항생 물질과 lipopeptide 항생 물질은 뚜렷한 계면 활성을 나타낸다.^{12,13} 또한 peptide 를 함유하는 lipid 도 계면활성을 나타낸다. Cyclic lipopeptide 인 surfactin 은 이제까지 알려진 생계면활성제 중에 가장 효과적인 것이다.¹⁴ 이 생계면활성제는 0.0055 % 의 농도에서 표면 장력을 72로부터 27.9 mN/m 로 낮춘다. Surfactin 이 붉은 핏물을 녹이는 성질은 제한적으로 사용되었으나 이런 성질은 생계면활성제 제조에 쓰이는 미생물을 선별하는 신속한 방법으로 사용되게 되었다.¹⁵

Polymeric biosurfactant 의 하나인 emulsan 은 heteropolysaccharide 이다.¹⁶ 이것은 계면 장력을 낮추는데는 효과적이지 못하나 탄화 수소를 물에 유화시키는 능력이 좋다. 또한 이것은 오늘날까지 알려진 emulsion stabilizer 로서도 가장 좋아서, 분산상의 농도가 아주 높은 경우에도 에멀전 변환이 일어나지 않는다.¹⁷

이 외에도 vesicle 과 같은 입자성 생계면활성제도 표면 활성을 하는 능력이 있는 것으로 보고되었다.¹⁸

4. 생계면활성제의 제조와 계면 과학의 역할

유기체는 에너지, 환원 능력, 전구체 등을 사용하여 성장과 복제에 필요한 분자 원소들을 합성한다. 친수 및 소수 그룹을 합성하는 대사 경로는 다양

하며 특정한 효소들만이 관련된다. 생계면활성제 합성에 관하여 다음과 같은 3 가지 경로가 제시되고 있다.¹⁹

(가) 친수 부분과 소수 부분을 따로 합성해서 부치는 방법

(나) 친수 부분의 합성과 기질에 좌우되는 소수 부분의 합성 및 이들의 연결

(다) 소수 부분의 합성과 기질에 좌우되는 친수 부분의 합성 및 이들의 연결

기질에 좌우되는 소수 부분과 친수 부분을 만든 후 이들을 연결하는 방법도 가능하다. 일반적으로 친수성 부분은 상당히 복잡한 구조를 가지고 있으며 합성 경로도 다양하다.

미생물을 이용해서 생계면활성제를 제조하려면 미생물이 기질인 탄화수소에 붙어야 한다. 따라서 미생물에 의한 기질의 섭취는 미생물이 기질에 먼저 효과적으로 부착되어야 한다. 기질이 액체인 경우에는 미생물과 기질 사이의 계면 장력이 부착 정도를 설명해 줄 수 있으며, 기질이 고체인 경우에는 wetting behavior 로 설명될 수 있다. 이와 같이 발효나 environmental control 에서의 탄화 수소 붕괴에서는 계면 장력이나 wettability 가 매우 중요한 인자임을 알 수 있다. 따라서 생계면활성제의 연구에 있어서는 미생물학, 생화학의 지식과 더불어 계면 과학의 지식이 필수적이라 아니할 수 없다.

미생물이 기질에 부착되어 생성된 생계면활성제는 여러 가지 방법으로 기질의 효용도를 높인다. 생계면활성제는 액상의 기질을 에멀전화 하고, micelle 도 형성하며, 미생물 표면에 spread 된다. 기질이 고체이면 기질 표면이 생계면활성제로 말미암아 젖게 되고, 작은 균열이 있는 경우에는 균열 사이로 침투되어서 활성화된 표면이 증가하게 된다. 기질이 고체일 때의 생계면활성제의 역할을 그림 2에 도시하였다.

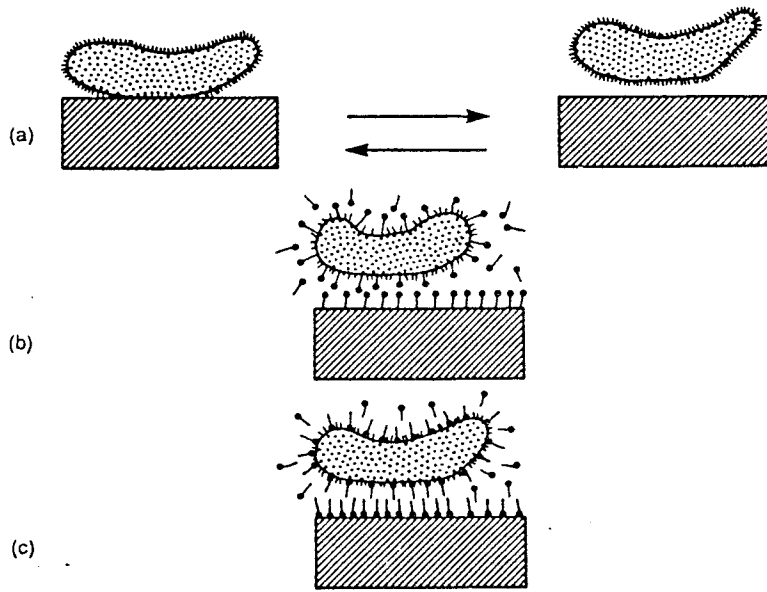


그림 2. 미생물의 기질에의 부착에 관한 계면 활성제의 영향.

미생물은 부착 자유 에너지에 따라 붙거나 떨어지며 (그림 2a), 생계면활성제는 cell 과 기질을 모두 젖게 한다. 미생물 표면과 기질 사이의 상호 작용은 계면 활성제의 화학적 성질과 cell 과 기질의 표면 에너지에 의존한다. 미생물이 기질에 부착되어서 기질을 공격할 수 있기 위해서는 생계면활성제가 spread 되어야 한다. 공기와 미생물과 기질을 그림 3 에서와 같이 1, 2, 3으로 표시하면 spreading coefficient SP, 즉

$$SP = \gamma_{13} - \gamma_{12} - \gamma_{23}$$

가 양의 값을 가질 때 spreading 이 자발적으로 일어난다.²⁰ 여기에서 γ 는 계면 장력을 나타낸다. 따라서 기질과 공기 사이의 계면 장력과 미생물이 관련되는 계면 장력을 알아야 하며 후자의 경우에는 cell surface energy²¹ 를 측정하여야 한다.

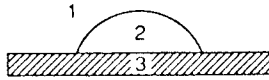


그림 3. 공기 (1), 미생물 (2) 기질 (3) 사이의 wetting

미생물학적, 생화학적, 계면 과학적 고찰이 이루어진 뒤에는 biotechnology 에 의한 생산 및 분리가 뒤따르게 된다.

5. 생계면활성제의 응용

생계면활성제는 원유 업계에서 주로 사용되었다. 원유 업계에서는 땅 속에 저장되어 있는 원유를 회수하거나 유출된 원유를 처리하는데 생계면활성제를 사용하였다. 상업화된 유일한 생계면활성제인 emulsan 도 유출 원유 처리와 원유 저장 용기의 세척 등에 사용되고 있다. 생계면활성제는 원유 업계 뿐만 아니라 표 2에서 보는 바와 같이 거의 모든 업종에 사용될 수 있는 상당한 잠재력을 가지고 있는 물질이다. 여기에서는 본 symposium 의 관심의 대상인 화장품을 중심으로 의약 및 environmental control 에 생계면활성제가 어떻게 이용되고 있나 간단히 살펴 보고자 한다.

(가) 화장품

현재 화장품 업계에서 요구하는 계면활성제로서 갖추어야 할 조건들은 계면활성제가 무엇보다도 건강과 위생상 문제를 야기시키지 않아야 하며, 3-4

TABLE Biosurfactant Functions Most Likely to be Needed by Potential Industrial Users [10]

Functions	Industrial users										
	Agriculture	Building and construction	Elastomer and plastics	Foods and beverages	Industrial cleaning	Leather	Metals	Paper	Paint and protective coating	Petroleum and petrochemical products	Textiles
Emulsification	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Deemulsification										X	
Wetting, spreading, penetration	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Solubilization, solids dispersal	X		X	X						X	X
Air entrainment, foaming		X	X	X		X				X	
Defoaming				X			X				
Detergency				X	X	X	X			X	X
Antistatic			X					X			X
Corrosion inhibition					X					X	

년 동안 에멀전이나 suspension 을 안정하도록 유지시킬 수 있어야 하며, 화장품이 표준 성질을 나타내도록 하여야 한다는 것이다. 이 조건을 두루 갖춘 합성 계면 활성제는 CTFA (The Cosmetic, Toiletry, and Fragrance Association) Cosmetic Ingredients Handbook 에 수록된 것만도 1708 종이나 되는데 화장품에는 glycerol monostearate 가 가장 많이 쓰이고 있다.

생계면활성제는 천연물이기 때문에 독성이 적고 자극성이 없어서 합성 계면활성제에 비해서 건강과 위생적인 측면에서 훨씬 안전하다. 또한 피부와 용화가 잘 되어서, 예를 들면 1 mol 의 sophorolipid 와 12 mol 의propylene

glycol 을 섞은 계면활성제는 skin moisturizer 로 쓰이고 있다.²² Lipase 에 의한 sugar ester 의 생합성은 자극성이 적어서 피부와 눈의 화장품으로 사용되기에 적합한 것으로 보여져서 관심을 끌고 있다.

생계면활성제의 HLB 는 대개 알려져 있지 않아서 이 HLB 의 값과 에멀전의 안정도에 미치는 영향 등을 조사하면 화장품에 사용될 수 생계면활성제의 수는 훨씬 늘어날 것으로 전망된다.

(나) 의약품

생계면활성제의 낮은 독성과 자극성은 의약품에 사용되는 계면활성제가 갖추어야 할 필수적인 조건에 맞는 것이다. Phospholipid 와 protein 의 복합체는 lung surfactant 로서 허파의 벽에 분비되어서 허파가 제 모습을 유지하도록 해준다. 그러나 조산아의 경우에는 미숙하여서 미처 이 계면 활성제가 분비되지 않아서 허파가 collapse 되어 사망하게 되는데 이를 sudden infants death syndrome 이라고 한다. 따라서 이런 미숙아들에게는 lung surfactant 를 aerosol 형태로 만들어 흡입케하여 생명을 구하고 있다.²³

이 외에도 항생 작용^{24,25}과 AIDS 바이러스의 복제를 방해하는 작용²⁶을 하는 생계면활성제도 보고 되어 있어서 앞으로 의약 분야에도 생계면활성제의 역할이 증대될 것으로 보인다.

(다) Environmental Control

생계면활성제는 천연물이기 때문에 자연의 일부이며 사용 후 방출되거나 폐기되어도 생분해도가 좋아서 자연과 조화를 이루는데 아무런 문제가 없는

것으로 여겨진다. 계면활성제를 기조로 하는 산업이 환경에 관련된 규제와 법규에 시달려야 하는 점을 고려하면 생계면활성제가 갖는 잠재성은 참으로 크다고 하겠다. 또한 생계면활성제는 재생 자원을 기질로 하여 생합성에 의해서 얻어짐으로 환경 오염 물질을 줄이는 데에도 큰 공헌을 할 것으로 기대된다. 이와 같이 생계면활성제가 본질적으로 갖는 자연과의 조화성은 계면 활성제 공업과 이와 관련된 산업의 나아갈 바를 제시해 준다고 보여진다.

생계면활성제는 당면한 환경 문제를 해결하는 데에도 쓰이고 있는데, 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 원유 업계가 유출된 원유를 제거하거나 원유 저장 용기를 세척하는데 사용하고 있다. 이런 용도를 위하여 emulsan 과 같은 생계면활성제의 개발과 보급이 활성화될 전망이다.

또한 원유 업계에서는 지하에 있는 원유를 회수하기 위하여 계면활성제를 투입하여 원유를 에멀전화 하는데 이 때에도 생계면활성제를 사용하고 있다. 이 방면에는 Phillips 석유 회사가 연구를 활발히 하고 있다.²⁷ 원유 회수시 지하에 생계면활성제를 사용하는 것은 아주 중요한 의미를 갖는다. 화학 합성 계면 활성제를 투입하는 경우 이에 의한 지하와 지하수의 오염은 매우 심각한 문제가 아닐 수 없다. 지하와 지하수의 오염은 이를 처리하는데 수 세대가 걸린다는 사실은 생계면활성제의 사용의 중요성을 실감케 한다.

6. 앞으로의 과제

상당히 많은 잠재력과 잇점에도 불구하고 생계면활성제를 개발하고 상업화하는 데에는 몇 가지 넘어야 할 과제가 있다. 생계면활성제는 화학 합성 계면활성제에 비하여 가격이 비싸다. 생계면활성제의 제조에는 발효 공정이 제일 비싼 공정임으로 가격을 떨어뜨리기 위한 발효 공정의 연구가 수행되어야 한다.

이 외에도 유전자 조작을 통한 생합성, immobilized cell 을 이용한 공정, 효소를 이용한 공정 등이 연구되어야 한다. 앞에서 언급했듯이 이와 같은 연구는 생물학적, 생화학적, 계면 과학적 측면에서 두루 검토되어 시행되어야 한다.

결론적으로, 생계면활성제의 개발에 있어서 고려되어야 할 사항은 싼 기질을 사용하여야 하고, 싼 공정을 개발하여야 하며, 수율이 높아야 하고, 얻어진 생계면활성제가 어떤 특정한 목적에 매우 활동적이어야 한다는 것이다. 이와 같은 조건이 만족되면 생계면활성제 공업과 이의 관련 산업은 한층 더 발전하게 될 것이다.

참고 문헌

1. Greek, B. F., Chem. Eng. News, **68**, 37 (1990)
2. Henkel K GaA, Fettalkohole, Rohstoffe, Verfahren und Verwendung, Dusseldorf, 1981.
3. Batrakov, S. G., Rozynov, B. V., Koronelli, T. V., Bergelson, L. D., Chem. Phys. Lipids, **29**, 241 (1981)
4. Ristau, E., Wagner, F., Biotechnol. Lett., **5**, 95 (1983)
5. Cooper, D. G., Paddock, D. A., Appl. Environ. Microbiol., **47**, 173 (1984)
6. Gobbert, U., Lang, S., Wagner, F., Biotech. Lett., **6**, 225 (1984)
7. Hisatsuka, K., Nakahara, T., Sano, N., Yamada, K., Agr. Biol. Chem., **35**, 686 (1981)
8. Parra, J. L., Guinea, J., Manresa, M. A., Robert, M., Mercade, M. E., Comelles, F., J. Am. Oil. Chem. Soc., **66**, 141 (1989)
9. Asselineau, C., Montrosier, H., Prom, J. C., Savgnac, A., Wiby, M., Eur. J. Biochem., **28**, 102 (1972)
10. Cirigliano, M. C., Carman, G. M., Appl. Environ. Microbiol., **50**, 846 (1985)
11. Beeba, J. L., Umbreit, W. W., J. Bacteriol., **108**, 612 (1971)

12. Marahiel, M., Denders, W., Krause, M., Kleinkauf, H., Eur. J. Biochem., **99**, 49 (1979)
13. Suzuki, T., Hayashi, K., Fujikawa, K., Tsukamoto, K., J. Biochem (tokyo), **57**, 226 (1965)
14. Arima, K., Kakinuma, A., Tamura, G., Biochem. Biophys. Res. Commun., **31**, 488 (1968)
15. Mulligan, C. N., Cooper, D. G., Neufeld, R. J., J. Ferment. Technol., **62**, 311 (1984)
16. Rosenberg, E., Zuckerberg, A., Rubinovitz, C., Gutnik, D. L., Appl. Environ. Microbiol., **37**, 402 (1979)
17. Zosim, Z., Gutnik, D. L., Rosenberg, E., Biotech. Bioeng., **24**, 281 (1982)
18. Kappeli, O., Finnerty, W. R., J. Bacteriol., **140**, 707 (1979)
19. Syldatk, C., Wagner, F., in Biosurfactants and Biotechnology, Surfactant Science Series, Vol. 25, Marcell Dekker, New York, 1987, pp 89-120.
20. Adamson, A. W., Physical Chemistry of Surfaces, 5th ed., Wiley, 1990.
21. Gerson, D. f., Zajic, Z. E., ACS Symposium Series 106, pp29-57 (1979).
22. Yamane, T., J. Am. Oil Chem. Soc., **64**, 1657 (1987)
23. White, R. J., Damn, D., Miller, J., Spratt, K., Schilling, J., Howgood, S., Benson, B., Cordell, B., Nature, **317**, 361 (1985)
24. Neu, T. R., Hartner, T., Poralla, K., Appl. Microbiol. Biotechnol., **32**, 518 (1990)
25. Lang, S., Katsiwela, E., Wagner, F., Fat. Sci. Technol., **91**, 363 (1989)
26. Mintz, G., Cat. Rev. News Lett., **2**, 8 (1990)
27. Phillips Petroleum Co., U. S. Patent 4,446,919 (1984)