

## Aeromonas caviae 에 의한 Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate 의 分解條件

權五根 · 金斗熙

慶北大學校 保健大學院

### Identification of *Aeromonas caviae* and the Activity Test for Biodegradation of Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate

Oh Geun Kweon · Doo Hie Kim

*Graduate School of Public Health, Kyungpook National University, Taegu, Korea*

#### Abstract

This paper was carried out to isolate and identify *Aeromonas caviae* which can degrade Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate(SDBS) effectively. And the affecting factors for the ability of bacterial degradation were also studied.

From October 1991 to February 1992, two hundred samples from sewage in Taegu area and Nakdong river waters in Talsung Gun area were tested. Minimal salt medium which contain SDBS only as a carbon source was used as a culture medium.

The isolated new strain was identified as *Aeromonas caviae* Kim & Kweon. The optimal pH for SDBS degradation were 7.0 and temperature, 32°C. It was taken 24 hours to degrade SDBS of 20mg/l completely under the optimal pH and temperature. And in the case of 30 mg/l of SDBS, it was taken 36 hours.

The nitrogen sources were added to the minimal salt media containing 20mg/l of SDBS, and they were incubated at 32°C for 14 hours. 86.9% SDBS were degraded after addition of 0.03% peptone as a organic nitrogen source. And 70.5% SDBS after addition of 0.05%

ammonium sulfate as a inorganic nitrogen source.

In the case of metal compounds(0.015%), the degradation rate for SDBS were 3.5 fold increased in the media containing magnesium chloride and calcium chloride than in the media that were not containing these metal compounds. And where the media containing magnesium chloride was 0.05%, the degradation rate was 65.8%.

And above 0.3% NaCl, the degradation rate was decreased slowly.

## I. 서 론

인류가 천연유지를 이용하여 세척제로 비누를 제조하여 사용한 역사는 오래 되었으나 석유화학제인 합성세제가 개발된 것은 제 1차 세계대전 중의 일이다(허동섭 등, 1989). 합성세제는 비누에 비해 생산비용이 적게 들고 경수 사용시에 생기는 칼슘염이나 마그네슘염을 만들지 않는다는 장점때문에 오늘날까지 많이 사용되고 있다(Swisher, 1970). 세척용으로 사용되는 합성세제는 음이온계 세제이며 초기에는 주로 경성세제인 Alkyl Benzene Sulfonate(ABS)가 사용되었으나 1965년 이후에는 세제의 Alkyl기가 미생물에 의해서 ABS 보다 쉽게 분해되는 연성세제인 Linear Alkyl Benzene Sulfonate(LAS)로의 전환이 이루어 지고 있다(강영호, 1983).

그러나 LAS 계 세제도 분해가 완전히 되지 않은 채 생활하수를 통하여 하천으로 유입되어 ABS 처럼 수중에서 거품을 형성함으로써 물속의 산소공급을 차단하여 하천이나 호수의 자정작용을 방해하며, 하수처리시 폭기조에서 공기를 투입할 때도 거품을 형성하여 처리 효율을 감소시켜 하수처리비용을 증가시킨다(김동민, 1973). 또한 LAS 는 미

생물에 의해 분해되면 폐놀계의 분해산물이 생성되는데 이것은 어류에 대한 독성이 ABS 보다 2~3 배 강하다(강영호, 1983; 김확성, 1986).

LAS 가 인체에 미치는 영향은 피부와 친화력이 높아 피부를 거칠게 하며 다량 섭취시 위장장애를 초래한다(堀口傳, 1975).

LAS 의 생분해성에 관해서는 大場健吉(1971)이 하수로부터 *Pseudomonas surfactantissimilis* 외에 수종을 분리하여 분해와 흡착에 관하여 연구하였으며, Anderson 등(1989)은 청정수역과 오염수역으로부터 LAS 분해세균을 분리하여 분해능을 비교 분석하였다.

LAS 생분해에 관해서는 국내에서도 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이혜주와 홍순우(1980)는 한강으로부터 *Pseudomonas syringae* 외에 수종을 분리하여 LAS 에 대한 분해능과 적응력을 조사하였으며, 허동섭 등(1989)은 하수종말처리장으로부터 활성오니를 채취하여 LAS 의 생분해성에 관하여 연구한 바 있다.

그러나 LAS 의 생분해성에 관한 이러한 연구들은 LAS 의 분해능이 어느 정도인지에 관한 것으로서 분해능에 미치는 요인에 대하여는 고려하지 않고 있다.

본 연구는 미생물에 의한 합성세제 성분

중 LAS의 일종인 Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate(SDBS)의 분해능이 우수한 균주를 분리 동정하고, 이 균주의 SDBS 분해능에 영향을 주는 몇 가지 요인에 대한 실험을 하여 약간의 성적을 얻었으므로 보고하는 바이다.

## II. 재료 및 방법

SDBS 분해균의 분리를 위하여 1991년 10월부터 1992년 2월 사이에 대구시 신천하수와 달성군 지역의 낙동강 하천수 약 200건을 채취하여 탄소원으로 SDBS만을 첨가한 액체최소배지(홍순덕 등, 1984)를 사용하였으며 그 조성은 표 1과 같다. 본 실험에 사용한 SDBS는 Wako社(日本 和光純藥, Lot No ECH8106), 그리고 yeast extract와 peptone은 Difco社(美國)의 제품이며 그 외 시약은 특급 및 1급 시약을 사용하였다.

채취한 시료를 각각 20ml씩 취하여 액체최소배지 80ml에 접종하고 SDBS의 농도가 20mg/l가 되도록 하여 최종량을 100ml로

한 후, 진탕 배양기(Jeio-Tech, 韓國)에서 120 rpm으로 2일간 배양하여 거품이 완전히 사라진 배양액을 선택하였다. 이 배양액을 한천영양배지에 도말하여 30°C에서 48시간 배양한 후, 형태가 다른 집락을 순수분리하였으며, 이들 개개의 집락을 1백금이 취하여 20mg/l의 SDBS를 함유한 액체최소배지 100ml에 접종하고 30°C에서 2일간 진탕배양하여 분해능이 우수한 한 균주를 최종선발균주로 하였다.

최종선발균주는 Bergey's manual of systematic bacteriology(Kruger 등, 1984)와 Manual of clinical microbiology(Balows 등, 1991)에 준해서 동정하였다.

동정된 균주를 한천영양배지상에서 30°C에서 48시간 배양한 후 그 집락을 1백금이 취하여 20mg/l의 SDBS가 든 액체최소배지 100ml에 접종하여 2일간 진탕배양하였다. 이 배양액 10ml를 취하여 원심분리기(Centrifuge, T-20, Italy)로 3,000rpm에서 30분간 원심분리하여 상등액을 버리고 침전균액을 취하여 20mg/l의 SDBS가 든 액체최소배지 100ml에 접종하고 30°C에서 24시간 배양하여 SDBS에 순화시킨 다음 그 중 10ml를 취해 원심분리하여 침전균액을 본 실험을 위한 시험균으로 사용하였다. 본 실험에 사용한 액체최소배지의 조성은 표 1에 준하였고, 실험목적에 따라 pH, 온도, SDBS 농도, 질소원의 종류, peptone의 농도, 금속염의 종류, MgCl<sub>2</sub>의 농도 및 NaCl의 농도 등을 변화시키며 실험하였다.

SDBS 측정방법은 환경오염공정시험법(환경청, 1987)의 메틸렌블루법을 이용하여 SDBS와 메틸렌블루가 반응하여 생성된 청

표 1. 액체최소배지의 조성

성분	농도
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.15%
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.35
NH <sub>4</sub> Cl	0.05
NaCl	0.05
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.014
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.015
Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate	0.002
중류수	1l

주: pH는 7.0으로 조정하였음

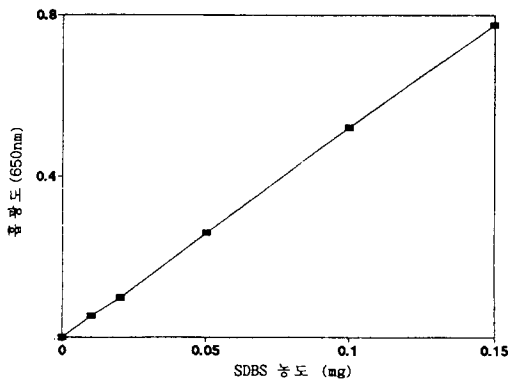


그림 1. SDBS 농도와 흡광도와의 관계

색의 착화합물을 클로로포름으로 추출하여 분광광도계(Milton Roy, spectronic 1201, 美國)로 650nm 에서 흡광도를 측정하였으며, SDBS 분해율은 각 시료를 분석하여 얻은 흡광도를 그림 1의 검량곡선상에서 SDBS 량으로 환산하여 정량하였다.

### III. 결 과

하천수에서 분리한 SDBS 분해균은 한천 영양배지상에서 생육이 왕성하였으며 점성이 없는 집락을 형성하였다. 이 균주는 그람 음성의 통성 혐기성 간균으로 세포의 한쪽 끝에 두개의 편모를 가진 운동성세균이며(그림 2), 그 외의 형태적, 생리적 및 생화학적 성상은 표 2와 같으며 이러한 특성은 Bergey's Manual of systematic bacteriology (Kriger등, 1984)와 Manual of clinical microbiology(Balows 등, 1991)의 *Aeromonas caviae* 와 일치하여 *Aeromonas caviae* 로 동정하였으며, *Aeromonas caviae* Kim & Kweon 으로 명명하였다.

SDBS 농도에 따른 분해율을 측정하기 위하여 액체최소배지에서 SDBS 농도를 5~30 mg/l 까지 단계적으로 변화시킨 후 경시적

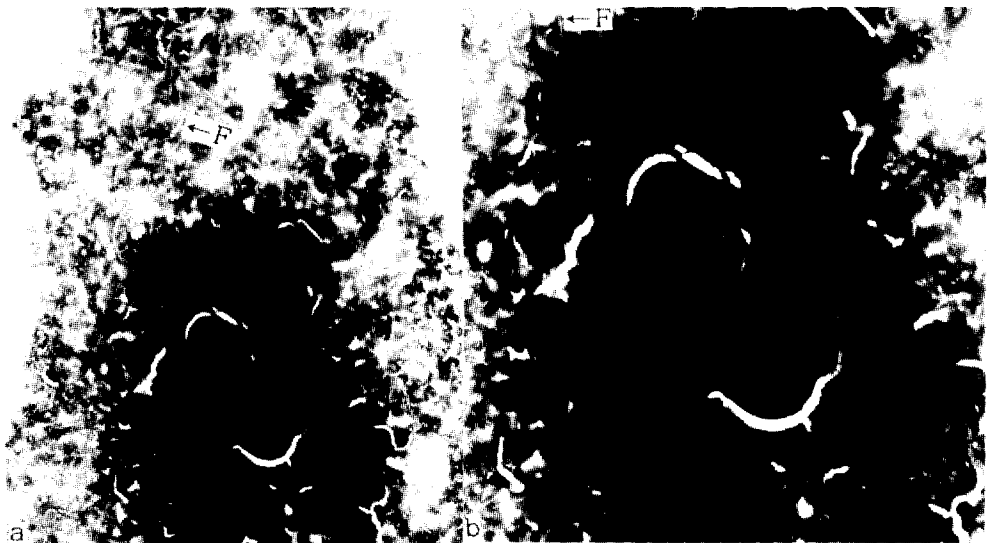


그림 2. *Aeromonas caviae* Kim & Kweon의 전자현미경 사진. 한천 영양배지에 접종하여 32°C에서 48 시간 배양한 후 Phosphotungstic acid 염색. F: 편모 a: ×10,000 b: ×20,000

표 2. 분리균과 *Aeromonas caviae* 와의 생화학적 특성 비교

특 성	<i>A. caviae</i>	분리균
Gram staining	-	-
Shape	rod	rod
Motility	+	+
Oxidase	+	+
Catalase	+	+
Indole	+	+
H <sub>2</sub> S on triple sugar iron agar	-	-
Voges-Proskauer test	-	-
Urea hydrolysis	-	-
Lysine decarboxylase	-	-
Ornithine decarboxylase	-	-
Arginine dihydrolase	+	+
Growth in KCN medium	+	+
Esculin hydrolysis	+	+
Beta-hemolysis on sheep blood agar	-	-
Gelatin hydrolysis 22°C	+	+
Lipase	*	+
Gas from glucose	-	-
Acid from : Glucose	+	+
Lactose	±	+
Cellobiose	+	+
Sucrose	+	+
Maltose	+	+
Arabionase	+	+
Raffionase	-	-
Inositol	-	-
Dulcitol	-	-
Sorbitol	-	-
Salicin	+	+
Mannitol	+	+
Rhamnose	*	-
Melibiose	*	+
Amygdalin	*	+
N-acetyl-glucosamine	*	+
Gluconate	*	-
Caprate	*	±
Adipate	*	-
Malate	*	+
Penyl-acetate	*	-

주 : - ; <20% 양성, + ; ≥80% 양성, ± ; 20~80% 양성

\* : 본 실험에서 추가한 시험

변화에 따른 SDBS의 분해량을 측정한 결과와 그림 3과 같다. 전체적인 분해곡선의 형태는 초기 몇시간 동안은 분해율이 매우 낮았으나, 시간이 경과함에 따라 점차 빨라지는 것으로 나타났으며, SDBS의 농도가 높을수록 초기 분해율이 낮았다. 5mg/l의 농도가 완전히 분해되는 데는 12시간, 20mg/l는 24시간 그리고 30mg/l는 36시간이 소요되었다.

SDBS 분해능에 미치는 초기 pH의 영향을 알아 보기 위해 액체 최소배지의 pH를 5.0~11.0까지 단계적으로 조정하고 30°C에서 14시간 배양하였으며 결과는 그림 4와 같다.

pH 6.8~7.5 사이에서는 50% 이상의 비교적 높은 분해율을 보였으며, 산성영역에서 보다는 알칼리영역에서의 분해율이 높은 것으로 나타났으며 최적 pH는 7.0으로 60.4%의 분해율을 나타냈다.

SDBS 분해능에 미치는 배양온도의 영향을 알아보기 위하여 pH를 7.0으로 하고 액체최소배지의 온도를 20~40°C까지 단계적으로 조정하여 배양하였으며 결과는 그림 5와 같다.

28~35°C사이에서는 57% 이상의 비교적 높은 분해율을 나타냈으며 32°C에서 62.7%로 가장 높았으나 40°C 이상에서는 전혀 분해가 되지 않았다.

SDBS 분해능에 미치는 질소원의 영향을 알아보기 위하여 NH<sub>4</sub>Cl을 제외한 액체최소배지에 peptone, yeast extract, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, KNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NaNO<sub>3</sub> 및 NaNO<sub>2</sub>를 0.05%씩 첨가하여 배양한 결과는 그림 6과 같다.

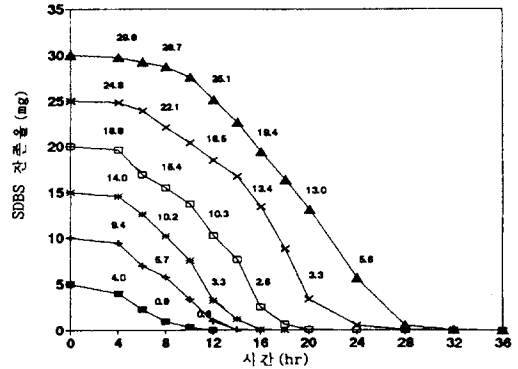


그림 3. 시간에 따른 SDBS 농도의 변화. 액체최소 배지에 SDBS의 농도를 5~30mg/l까지 단계적으로 조정하고 pH 7.0, 온도 32°C에서 분해균을 배양하여 시간에 따른 SDBS 제거율을 측정하였다.

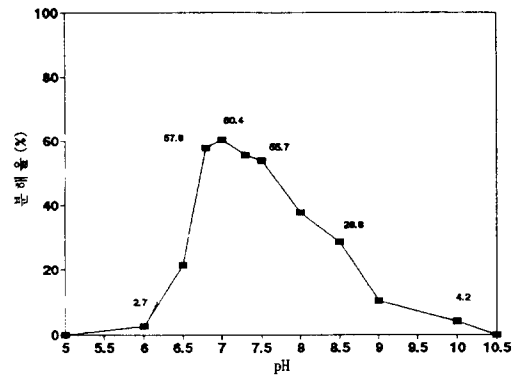


그림 4. 분해율과 pH와의 관계. SDBS 20mg/l를 함유한 액체최소배지에 분해균을 접종하고 30°C에서 14시간 배양한 후 분해율을 측정하였다.

유기질소원으로는 peptone을 첨가하였을 때 분해율이 86.9%로 가장 높았으며, 무기질소원으로는 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 첨가하였을 때 분해율이 70.5%로 가장 큰 효과를 나타냈다. 질소원을 첨가하지 않았을 때는 분해율이 7.3%로 매우 낮게 나타났다.

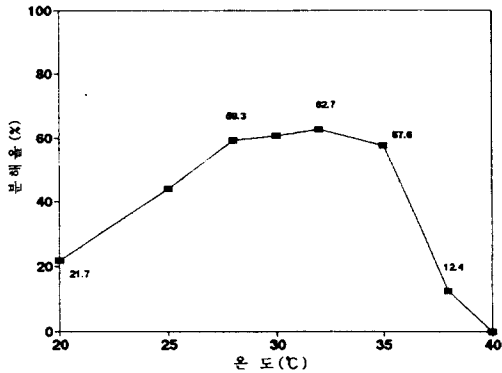


그림 5. 분해율과 온도와의 관계. SDBS 20mg/l 를 함유한 액체최소배지에 분해균을 접종하고 pH 7.0으로 조정하여 14 시간 배양한 후 분해율을 측정하였다.

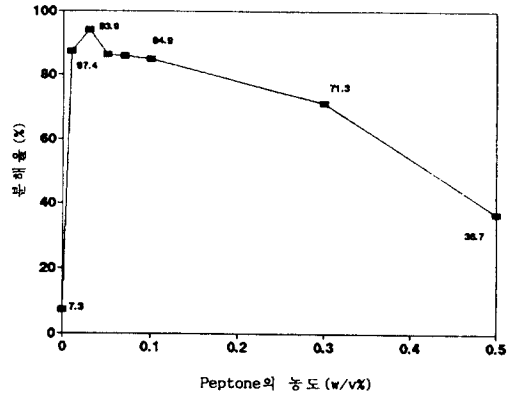


그림 7. 분해율과 Peptone 의 농도와의 관계. SDBS 20mg/l가 함유된 액체최소배지에 분해균을 접종하고 pH 7.0, 32°C에서 14 시간 배양한 후 분해율을 측정하였다.

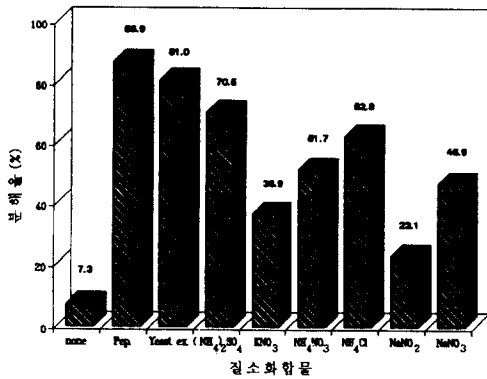


그림 6. 분해율과 질소화합물과의 관계. SDBS 20 mg/l가 함유된 액체최소배지에 분해균을 접종하고 pH 7.0, 32°C에서 14 시간 배양한 후 분해율을 측정하였으며 질소화합물의 농도는 각각 0.05%로 하였다. none 은 질소화합물을 첨가하지 않은 대조군이다.

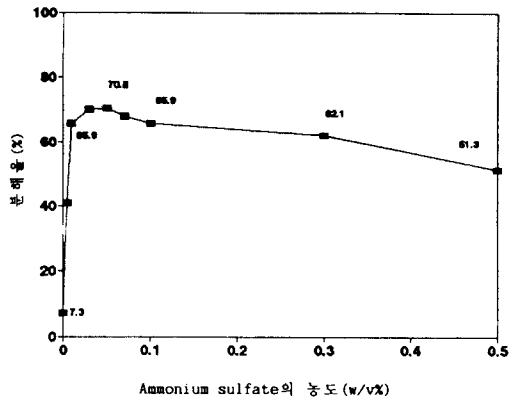


그림 8. 분해율과 Ammonium sulfate 의 농도와의 관계. SDBS 20mg/l가 함유된 액체최소배지에 분해균을 접종하고 pH 7.0, 32°C에서 14 시간 배양한 후 분해율을 측정하였다.

유기질소원인 peptone 의 농도와 SDBS 의 분해율과의 관계는 그림 7 과 같다.

peptone 을 0.01% 첨가하였을 때 SDBS 분해율이 87.4%로 급격히 증가하였고 0.03 % 첨가하였을 때 93.9%로 가장 높았으나 그 이상의 농도에서는 서서히 저하되어 0.5

% 첨가시에는 36.7%의 매우 낮은 분해율을 나타내었다.

무기질소원인 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 농도와 SDBS 의 분해율과의 관계는 그림 8 과 같다.

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 0.01% 첨가하였을 때 SDBS 분해율은 65.9%로 급격히 증가하였으며, 0.

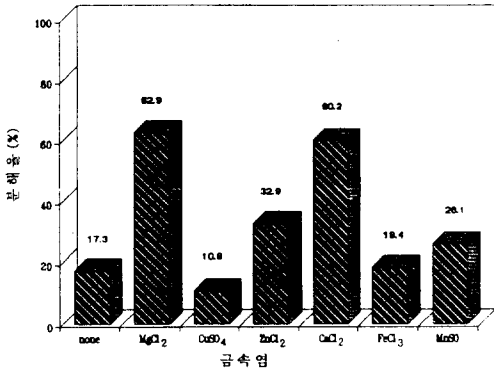


그림 9. 분해율과 금속염과의 관계. SDBS 20mg/l 가 함유된 액체최소배지에 분해균을 접종하고 pH 7.0, 32°C에서 14 시간 배양한 후 분해율을 측정하였으며, 금속염의 농도는 0.015%로 조정하였다. none 은 금속염을 첨가하지 않은 대조군이다.

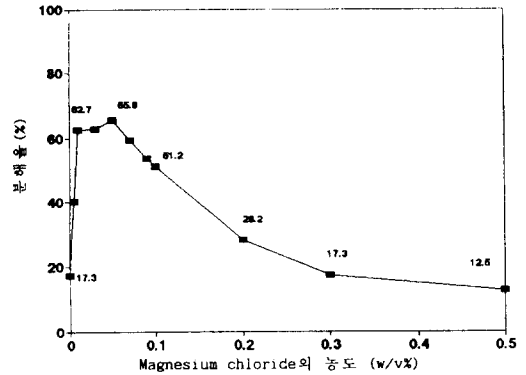


그림 10. 분해율과 Magnesium chloride의 농도와 의 관계. SDBS 20mg/l가 함유된 액체최소배지에 분해균을 접종하고 pH 7.0, 32°C에서 14 시간 배양한 후 분해율을 측정하였다.

05% 첨가하였을 때 70.5%로 가장 높았으나 그 이상의 농도에서는 서서히 감소하였다.

SDBS의 분해능에 미치는 금속염의 영향을 조사하기 위하여 MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O를 제거한 액체최소배지에 MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, ZnCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>(Anhydrous), FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O 및 MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O를 0.015(v/w%)씩 첨가하여 배양한 결과는 그림 9와 같다.

MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O와 CaCl<sub>2</sub>(Anhydrous)를 첨가하였을 때는 분해율이 각각 62.9%와 60.2%로 첨가하지 않았을 때의 17.3%보다 약 3.5배 정도 높았으나 FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O는 별다른 영향을 주지 않았으며 CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O의 경우는 10.8%로 오히려 저해효과를 나타냈다.

MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O의 농도와 SDBS 분해율과의 관계는 그림 10과 같다.

MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O를 0.01% 첨가하였을 때 SDBS 분해율은 62.7%로 급격한 증가를 보였으며 0.05% 첨가시에 65.8%로 최대분해

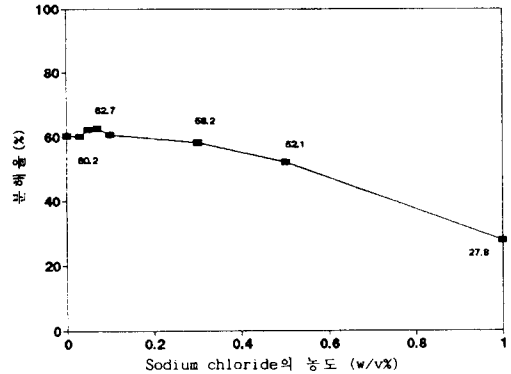


그림 11. 분해율과 Sodium chloride의 농도와 의 관계. SDBS 20mg/l가 함유된 액체최소배지에 분해균을 접종하고 pH 7.0, 32°C에서 14 시간 배양한 후 분해율을 측정하였다.

율을 보인 후 0.1% 이상에서는 급격히 저하되었다.

NaCl 농도와 SDBS 분해율과의 관계는 그림 11과 같다. NaCl을 첨가하지 않았을 때 SDBS 분해율은 60.3%였으며 0.3%를 첨가할 때까지는 분해율에 큰 차이가 나지 않



았으나 그 이상의 농도에서는 서서히 감소하여 1.0%에서는 27.8%로 급격히 저하되었다.

#### IV. 고 찰

합성세제 분해균의 속류는, Cain(1977)이 조사한 바에 의하면 19속이었고 배경속 등(1982)은 한강수계로부터 8속의 새로운 속을 분리 동정하였으며, 김전기 등(1987)은 부산 수역천과 온천천으로부터 다시 8속을 분리 동정하였다. 따라서 지금까지 보고된 합성세제 분해균속은 약 35속에 이르고 있으며, 이는 자연계에 존재하는 많은 미생물들이 합성세제를 분해할 수 있음을 보여주고 있다.

본 연구에서 분리 동정한 *Aeromonas caviae* Kim & Kweon 의 SDBS 분해능은 SDBS 30mg/l 를 36시간에 완전히 분해하였는데, 이 균주의 분해능은 大場健吉(1971)이 보고한 *Pseudomonas surfactassimilas* 와 유사하였다.

이 균주에 의한 SDBS 분해율은 SDBS의 초기 농도가 높을수록 낮았는데 이것은 SDBS의 농도가 높아짐에 따라 균의 생육이 저해를 받아 적응하는데 더욱 긴 시간이 소요되기 때문인 것으로 사료된다(大場健吉, 1971).

SDBS의 생물학적인 분해경로는 많은 단계로 구성되어 있으며, 표면활성 소실은 이 분해경로의 초기에 일어나고(Huddleston 등, 1963) 표면활성 소실의 원인 SDBS의 분해정도는 메틸렌블루에 대한 반응성 소실과 일치한다고 알려져 있다(이혜주와 홍순

우, 1980).

Mckinney 와 Symons(1959), 홍순덕 등(1984), 전홍기 등(1989)은 SDBS의 분해가 이루어지는 과정에서 SDBS 분해산물이 메틸렌블루 활성물질로 작용하여 잔존율이 다소 증가하는 현상이 일어난다고 하였으나 본 실험에서는 분해가 종료될 때까지 계속 감소하였으며 증가하는 현상은 일어나지 않았다.

SDBS 20mg/l 를 함유한 액체최소배지에 유기질소원으로 peptone 을 0.03% 첨가하여 14시간 배양했을 때 분해율이 93.9%로 무기질소원으로  $(NH_4)_2SO_4$ 를 0.05% 사용했을 때의 70.5%보다 높게 나타난 것은 SDBS 이외에 다른 영양원이 공급될 경우에 SDBS의 분해율이 보다 더 빨라진다는 Bernarde 등(1965)과 이혜주와 홍순우(1980)의 보고와 일치하였다. 그러나 peptone의 농도를 0.5%로 하였을 때 SDBS의 분해율은 36.7%로 매우 낮았는데 이것은 균주가 유기물의 농도가 증가할수록 난분해성인 SDBS를 이용하기보다는 분해하기 쉬운 유기물을 이용하여 성장하기 때문인 것으로 생각된다.

SDBS의 분해능에 미치는 금속염의 효과에서는 금속염을 첨가하지 않았을 때에 비하여  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  와  $CaCl_2(Anhydrous)$ 의 영향이 매우 크게 나타나  $Mg^{2+}$ 와  $Ca^{2+}$ 가 SDBS의 분해를 촉진하는 필수 요소인 것으로 나타났다. 또한 이들 두 요소는 SDBS의 분해율에 대하여 비슷한 효과를 가지는 것으로 나타나 서로 대체할 수 있는 요소인 것으로 생각된다. 그러나  $Cu^{2+}$ 를 첨가하였을 때는 오히려 억제작용을 나타내어 이 요소가 높은 농도로 존재하는 경우에는 SDBS가

거의 분해되지 않을 것으로 생각된다.

NaCl 농도는 0.1%까지는 60% 정도의 분해율로 일정하였으나 그 이상의 농도에서는 저해효과를 나타내었다.

본 실험은 *Aeromonas caviae* Kim & Kweon 의 SDBS 분해에 미치는 인자들의 영향을 조사한 것으로 SDBS 의 농도를 30mg/l 이하로 하여 실험한 결과 균체량과 SDBS 농도 사이의 관계와 균체량과 분해속도와의 관계에 따른 균주의 분해한계농도는 알아내지 못하였으며, 이 균주가 자연계의 혼합집락속에서 SDBS 의 분해에 어떤 식으로 영향을 주는지에 관하여는 앞으로 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## V. 요 약

본 논문은 연성세제의 일종인 Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate(SDBS)의 분해능이 높은 균주를 분리하고 분해에 미치는 요인을 알아 보기 위하여 수행되었다. 균의 분리에는 1991년 10월부터 1992년 2월 사이에 대구시 신천 하수와 달성군 지역의 낙동강 하천수 약 200건을 채취하여 탄소원으로 SDBS 만을 첨가한 액체최소배지를 이용하였다.

분리한 균주는 형태적, 생리적 및 생화학적 특성을 근거로 *Aeromonas caviae* Kim & Kweon 으로 동정 명명하였다.

이 균주의 SDBS 분해에 대한 최적 pH는 7.0, 온도는 32°C였으며 이러한 조건에서 SDBS 20mg/l 의 농도에서는 24시간, 30mg/l 는 36시간에 완전히 분해하였다.

이 균주를 SDBS 20mg/l 가 함유된 액체

최소배지에 32°C에서 14시간 배양하였을 때, 유기질소원으로는 peptone 을 0.03% 첨가시에 86.9%, 무기질소원으로는 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 를 0.05% 첨가시에 70.5%로 각각 가장 높은 분해율을 나타냈다.

0.01%의 금속염을 첨가하였을 경우로서 MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O는 62.9%, CaCl<sub>2</sub>(Anhydrous)는 60.2%로서 첨가하지 않았을 때의 분해율 17.3%보다 약 3.5배 가량 높았으나 CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O는 10.8%로서 낮았다. MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O는 0.05%일 때가 65.8%로 가장 높은 분해율을 보였다.

NaCl 의 농도는 0.1%까지는 60% 정도의 분해율로 비교적 일정하였으나 그 이상의 농도에서는 서서히 감소하였다.

## 참고문헌

- 강영호 : 합성세제와 부영양화, 환경과학, 형설출판사, 1983, 쪽 404-405.
- 堀口傳 : 新界面活性劑, 三共出版株式會社, 1975, 쪽 443-456.
- 김동민 : 합성세제와 수질오염, 한국의 과학, 5(11) : 5-8, 1978.
- 김진기, 박송희, 이상준 : Linear Alkylbenzene Sulfonates 분해 세균의 생태학적 연구, 부산대학교 환경문제연구소, 환경연구보 5 : 99-121, 1987.
- 김학성 : 합성세제와 인산염, 환경화학, 동화기술, 1986, 쪽 238-240.
- 大場健吉 : 合成洗劑の微生物による生分解に關する研究, 日衛誌, 25(6) : 494-511, 1971.
- 배경숙, 하영칠, 홍순우 : 서울市域 漢江水界

- 에서의 合成洗劑分解細菌의 分離 및 同定, Kor Jour Microbiol, 20(2) : 98-104, 1982.
- 이혜주, 홍순우 : 미생물에 의한 계면활성제의 분해능과 적응력의 비교, Kor J Microbiol, 18(4) : 153-160, 1980.
- 허동섭, 박창호, 안종일, 정세화, 김 혁 : 혼합 합성세제의 생분해성에 관한 연구, The report of NIRI, 39 : 11-21, 1989.
- 홍순덕, 이상한, 하상철, 하현팔 : 미생물에 의한 합성세제의 분해에 관하여, Kor J Appl Microbiol Bioeng, 12(2) : 91-97, 1984.
- 환경청 : 환경오염공정시험법(수질). 1987.
- Anderson DJ, Day MJ, Russell NJ, White GF : Die-away kinetic analysis of the capacity of epilithic and planktonic bacteria from clean and polluted river water to biodegrade sodium dodecyl sulfate. Applied and Environmental microbiology, 56(3) : 758-763, 1990.
- Ballow A, Hausler WJ, Hurrmann KL, Isenberg HD, Shadong HJ : Manual of clinical microbiology, American Society for Microbiology, Washington D.C., 1991, pp. 396-399.
- Bernarde MA, Koft BW, Horvath R, Shaulis L : Microbial degradation of the sulfonate of dodecylbenzene sulfonate, Appl Microbiol, 13(1) : 103-105, 1965.
- Cain RB : Surfactant Biodegradation in Waste Waters, Treatment of industrial Effluents, John Wiley & Sons, N. Y. 1977, pp. 283-318.
- Huddleston RL, Allred RC : Microbial oxidation of sulfonated alkylbenzenes, Dev Ind Microbiol, 40 : 561-575
- Krieg NR, Holt JH : Bergey's manual of systematic bacteriology, Williams & Wilkins, Baltimore, 1984, No 1, pp. 545-550.
- Mckinney RE, Symons JM : Bacterial degradation of ABS, Sewage and Industrial Wastes, 31(5) : 549-556, 1959.
- Swisher RD : Surfactant biodegradation, Surfactant science series, Marcel Dekker, Inc, New York, 1970, pp. 496.