

## 폐하수중 합성세제분해균의 分離 및 합성세제(ABS) 分解特性

李洪宰 · 許鍾秀 · 曹周植 · 韓文圭 · 崔淳鎬 · 李春熙\*

### Isolation of Synthetic Detergent Decomposing Microorganisms in Wastewater and Synthetic Detergent Decomposition Characterization of the Microorganisms

Hong-Jae Lee, Jong-Soo Heo, Ju-Sik Cho, Mun-Gyu Han, Jeong-Ho Choi and Chun-Hee Lee\*

#### Abstract

A bacterium which degrades efficiently synthetic detergents was isolated from the polluted waters, activated sludge of wastewater treatment plants or polluted soil. This bacterium showed considerably higher growth rate in the agar plate containing 2,000 $\mu$ g/ml of synthetic detergents than any other isolated strains, was identified as a *Pseudomonas fluorescens* or strains similar to it. The strain was named as a *Pseudomonas fluorescens* S1.

Optimum pH and temperature for the growth of the *Pseudomonas fluorescens* S1 were pH 7.0 and 30 $^{\circ}$ C, respectively. The strain was resistant to streptomycin and gentamycin, but sensitive to kanamycin. The strain was greatly resistant to zinc chloride, lead nitrate and copper sulfate, but unable to grow in the presence of relatively low concentrations of mercury chloride and silver nitrate. This strain utilized benzene, catechol, cyclohexane and xylene as a sole carbon source. The strain was well grown in the medium containing ABS 10,000 $\mu$ g/ml.

Degradation of ABS was 55% and 60% at 20 $\mu$ g/ml and 100 $\mu$ g/ml of ABS, respectively. Benzene ring was degraded 45% in 100 $\mu$ g/ml of ABS. During the incubation of the strain in the medium containing ABS 100 $\mu$ g/ml and COD 10,000 $\mu$ g/ml for 4 days, degradation of ABS and COD were reduced to 40 $\mu$ g/ml and 3,200 $\mu$ g/ml, respectively. Total amino acid content of the *Pseudomonas fluorescens* S1 grown with 1,000 $\mu$ g/ml of ABS was 115mg/g cell, whereas its content was decreased in the bacterium grown without synthetic detergent by 9.4%.

---

慶尙大學校 農科大學 農化學科

Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture,  
Gyeongsang National University, Chin Ju, 660-701, Korea.

\* 慶南農村振興院 植環科

Division of Plant Environment, Gyeongnam Provincial Rural Development Administration, Chin Ju 660-370,  
Korea

## 緒 論

유기화합물중 합성세제는 benzene ring의 구조를 기본 골격으로 하는 난분해성 특성을 지니고 있어 미생물에 의한 분해가 잘 일어나지 않으며 강이나 하천으로 유입되어 거품을 일으키는 등 수질오염을 야기시키는 큰 문제점을 안고 있으며, 특히 합성세제는 폐수처리장으로 유입되면 수중 용존산소를 고갈시켜 폐수처리시간을 지연시키는 것으로 알려져 있다<sup>1-10)</sup>. 따라서 WHO에서는 상수원수중 합성세제 농도를 0.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$  이하로 규정하고 있으나<sup>11)</sup>한강을 비롯한 우리나라 대부분의 하천수질은 이 기준치를 훨씬 초과하고 있으며, 또한 매년 합성세제의 수요가 증가하여 수질오염에 큰 문제가 아닐수 없다.

합성세제는 그 종류에 따라 분해능이 다르며 같은 분자식을 가진 것이라도 alkyl chain의 길이, 말단에 결합된 4급 탄소의 유무, side chain의 위치와 수, benzene ring의 결합위치 및 sulfonate의 결합부위에 따라 그 분해정도가 크게 다른 것으로 알려져 있다<sup>12-13)</sup>. Bogan and Sawyer<sup>14-16)</sup>는 폐수처리중 합성세제의 일종인 ABS(alkyl benzene sulfonate)의 제거를 연구한 결과 대다수의 미생물은 합성세제를 소화할 수 있으나 4급 탄소때문에 활성오니법에 의한 완전처리는 거의 어렵다고 하였다. 그러나 ABS의 구조에서 sulfonate group과 alkyl chain끝의 거리가 길수록 분해가 쉬우며 open end chain이 없이 4급 탄소가 존재하면 분해가 현저히 지연된다고 하였다.

본 연구는 미생물을 이용하여 폐하수중 합성세제의 효과적인 제거를 위하여 오염된 하천수, 토양 및 폐수처리장 sludge등의 미생물 분리원으로 부터 합성세제 분해능이 우수한 미생물을 분리 동정 하였으며, 이들 미생물에 의한 합성세제(ABS)분해 특성을 조사하였으며 그 결과를 보고하는 바이다.

### 1. 합성세제(ABC) 분해균주의 분리 및 동정

미생물분리원으로 부터 합성세제(ABS) 분해균을 분리하기 위하여 경남 및 부산일대의 오염된 하천수, 공단폐수처리장의 폐수 및 sludge 그리고 공단주변 지역의 토양시료등을 채취하여 각 시료를 합성세제의 일종인 ABS(sodium dodecylbenzene sulfonate)가 100ppm의 농도로 들어있는 기본배지(tryptone 10g, yeast extract 5g, NaCl 1g, D.W 1,000ml, pH 7.0)에 접종하여 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서 진탕 배양하여, 이를 동일조성의 고체배지에 다시 접종하여 2~3일간 배양한후 단일 colony를 분리 하였다. 분리된 colony를 ABS의 농도를 점차적으로 높여가면서 배양하여 ABS 2,000ppm의 한천평판배지에서 성장하는 colony를 순수분리 하였다. 순수분리된 균주는 Bergey's manual of systematic bacteriology<sup>17)</sup>에 준하여 동정하였다.

### 2. 합성세제(ABS) 분해균의 성장특성

분리균의 탄화수소산화능 조사는 최소배지에 탄소원으로서 합성세제(ABS) 대신 benzene등 8종의 다른 방향족 탄화수소를 첨가하여 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서 7일간 배양하여 탄소원의 이용 유무를 조사하였다.

분리균의 중금속에 대한 내성조사는 분리균을 액체영양배지에서 배양한 다음 zinc chloride, lead nitrate, copper sulfate, cadmium chloride, chromium nitrate, silver nitrate 및 mercury chloride가 각 농도별로 첨가된 영양한천배지에 접종하여 배양하면서 colony 형성 유무에 따라 중금속 내성을 조사하였다.

합성세제 농도에 따른 분리균의 성장도 조사는 합성세제(ABS)의 농도가 각각 100, 1,000, 2,000, 5,000 및 10,000 $\mu\text{g}/\text{ml}$  함유된 배지에 분리균을 각각 접종하여 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서 배양하면서 시간별로 spectrophotometer(Spectronic 21D)를 이용하여 분리균의 성장도를 측정 비교하였다. 분리균의 배양시간에 따른 배양액중 pH변화조사는 ABS가 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$  농도로 함유된 액체배지에 초기 pH를 5.0, 7.0 및 9.0으로 각각 달리하여 시간별로 각 pH를

## 材料 및 方法

조사하였다.

**3. 합성세제(ABS) 및 합성세제중 benzene 분석**

합성세제 분석은 합성세제(ABS)가 농도별로 첨가된 기본배지에 분리균을 접종하여 30°C에서 배양하면서 배양시간별로 배양액을 채취하여 12,000rpm으로 30분간 원심분리하여 상등액에 잔존하는 합성세제의 양을 음이온 계면활성제 분석방법인 methylene blue법<sup>10)</sup>으로 분석하였으며, 합성세제중 benzene의 분석은 UV-spectrophotometer를 이용하여 223nm에서 흡광도를 조사하여 분석하였다.

**4. 합성세제(ABS) 및 COD의 변화**

합성세제(ABS) 분해와 COD분해와의 관계를 검토하기 위하여 ABS를 100µg/ml 농도가 되게, 그리고 glucose로서 COD를 10,000µg/ml 농도가 되게 최소배지에 동시에 첨가하여 배양하면서 시간별로 배양액을 채취하여 합성세제(ABS) 및 COD의 분해 변화를 각각 조사하였다.

COD 측정은 환경오염공정시험법<sup>11)</sup>에 따라 KMnO<sub>4</sub> 용액을 사용하여 시료를 산화시킨 후 잔여 KMnO<sub>4</sub> 양을 분석하여 소모한 산소량을 산출하여 COD 값을 구하였다.

**5. 아미노산 분석**

합성세제 첨가유무에 따른 분리균체중 아미노산 조성을 비교 검토하기 위하여 합성세제(ABS)를 1,000µg/ml 농도로 첨가하여 배양한 분리균과 첨가하지 않고 배양한 분리균을 각각 원심분리하여 균체를 회수한 다음 Sparkman<sup>12)</sup>의 방법에 따라 아미노산을 분석하였다. 즉 균체 50mg에 6 N-HCl 2ml을 가하여 밀봉한 후 24시간 가수분해시켜 vacuum evaporator로 건조시켰다. 이를 loading buffer (0.2M sodium citrate buffer, pH 2.2) 1ml에 녹여 millipore(0.22µm)에 여과한 후 회석하여 amino acid analyzer(LKB 4150 ALPHA, Swe-

den)로 분석하였다.

**結果 및 考察**

**1. 합성세제(ABS) 분해균주의 분리 및 동정**

분리 선별한 합성세제분해(ABS) 균주의 형태 및 생리, 생화학적 특성은 각각 Table 1 및 2와 같다. 분리균은 gram 음성균으로서 간상형의 호기성 세균이며 강한 운동성을 지니고 있었고 편모는 극성이었다. 그리고 이 균주는 catalase 및 oxidase에 양성반응을 나타내었으며 glucose를 산화하고 41°C에서 성장하지 못하고 4°C에서 성장하였으며, 색소의 일종인 pyoverdine을 생성하고 sorbitol을 탄소원으로 자화하는 것으로 미루어

**Table 1. Morphological characteristics of synthetic detergent(ABS) degrading bacterium.**

Characteristics	Bacterium
Gram stain	-
Shape	rod
Motility(swimming)	+
Flagella	polar

Symbols + : positive - : negative

**Table 2. Physiological & biochemical characteristics of synthetic detergent(ABS) degrading bacterium.**

Characteristics	Bacterium
Catalase	+
Oxidase	+
O/F(glucose)	O
H <sub>2</sub> S formation	-
Methyl test	-
Urea	-
Gelatin hydrolysis	+
Starch hydrolysis	-

- 계속 -

Arginine dehydrolysis	-
Denitrification	+
V P test	-
Growth at 41°C	-
Growth at 4°C	+
Pigment	
Pyoverdine	+
Pyocyanin	-
Utilization of	
Acetate	+
Succinate	+
Lactate	+
Citrate	+
Ethanol	+
Maltose	-
Inositol	+
L-glutamate	+
Tyrosine	+
D-Alanine	+
L-Lysine	+
Sorbitol	+
Sucrose	+

Identification *Pseudomonas fluorescens* S1

Symbols + : positive - : negative  
 O/F : Oxidative & Fermentative  
 V P : Voges-Proskuer

Table 3. Utilization of hydrocarbons by *Pseudomonas fluorescens* S1.

Hydrocarbons	<i>P. fluorescens</i> S1
Benzene	+
Phenol	-
Catechol	+
Toluene	-
Salicylate	-
Cyclohexane	+
Naphthalene	-
Xylene	+

Symbols +: positive -: negative

보아 *Pseudomonas fluorescens* 또는 그 유연종인 것으로 판단되었다. 따라서 이 균주를 *Pseudomonas fluorescens* S1이라 명명하였다.

2. 합성세제(ABS) 분해균의 생장특성

Benzene 등 8종의 방향족 탄화수소를 각각 최소 배지에 단일탄소원으로 첨가하여 분리균의 탄화

Table 4. Heavy metals resistance of *P. fluorescens* S1.

Heavy metals	Concentration(µg/ml)	<i>P. fluorescens</i> S1
Zn	200	+
	500	+
	1000	+
Pb	200	+
	200	+
	500	+
	1000	+
Cu	200	+
	500	+
	1000	+
Cd	100	+
	200	+
	400	-
Cr	100	+
	200	+
	400	-
Ag	50	+
	100	-
	200	-
Hg	50	+
	100	-
	200	-

Zn : ZnCl<sub>2</sub> Pb : PbNO<sub>3</sub> Cu : CuSO<sub>4</sub>  
 Cd : CdCl<sub>2</sub> Cr : Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> Ag : AgNO<sub>3</sub>  
 Hg : HgCl<sub>2</sub>

Symbols +: resistant -: sensitive

수소산화능을 조사한 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 benzene, cyclohexane, xylene 및 합성세제 분해 중간대사 산물인 catechol은 탄소원으로 이용하였고 phenol, toluene, salicylate 및 naphthalene은 탄소원으로 이용하지 못하였다.

그리고 zinc, lead, copper, cadmium, chromium, silver 및 mercury 등 중금속에 대한 내성을 조사한 결과 Table 4에서 보는 바와 같이 zinc, lead 및 copper에 대해서는 1,000µg/ml의 고농도에도 강한 내성을 나타냈으나 silver 및 mercury에 대해서는 100µg/ml의 비교적 저농도에도 거의 내성을 나타내지 못했다.

다음은 합성세제(ABS)를 100µg/ml의 농도로 첨가한 액체배지에 초기 pH를 달리하여 시간별로 배양액중 pH변화를 조사한 결과 Fig. 1에서 보는 바와 같이 초기 pH 5.0, 7.0 및 9.0에서 배양 1일후 pH는 각각 pH 6.6, 7.1 및 7.8이었으며 그 후 배양시간이 경과함에 따라 배양액중의 pH는 모두 7.0~7.5 범위에 접근하였다.

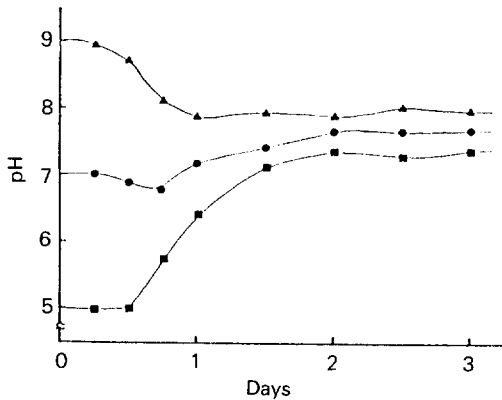


Fig. 1. Change of pH in culture media With ABS. Initial pH ■:pH5 ●:pH 7 ▲:pH 9

합성세제 (ABS)농도에 따른 분리균의 생육은 합성세제(ABS)를 첨가하지 않은 배지와 합성세제(ABS)를 농도별로 첨가한 배지에 각각 배양하면서 성장도를 비교한 결과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 ABS를 100µg/ml 농도로 첨가한 배지에서의 분리균 생장은 ABS를 첨가하지 않고 배양한 배지에서와

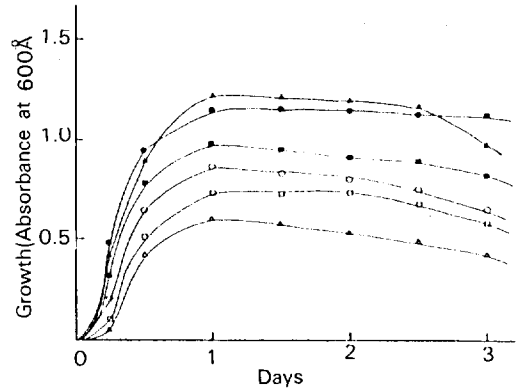


Fig. 2. Growth curves of *P. fluorescens* S1 at the various concentrations of synthetic detergent(ABS).

- : without ABS
- ▲: with ABS (100µg/ml)
- : with ABS (1,000µg/ml)
- : with ABS (2,000µg/ml)
- : with ABS (5,000µg/ml)
- △: with ABS (10,000µg/ml)

거의 대등한 생장을 나타내었으며, ABS농도가 높을수록 분리균의 생장은 약간 저해를 받았으나 10,000µg/ml 농도에서도 분리균의 생장은 비교적 양호하였다.

### 3. 합성세제(ABS) 및 합성세제중 benzene의 분해

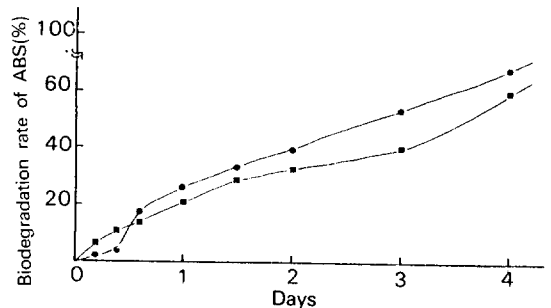


Fig. 3. Biodegradation rate of ABS by *P. fluorescens* S1 during the culture periods. Cultivation was carried out in 100ml of LB medium with ABS at 30°C for 4 days.

- : ABS 20µg/ml
- : ABS 100µg/ml

분리균에 의한 합성세제(ABS)의 배양시간별 분해율을 조사하기 위하여 ABS를 20 $\mu$ g/ml 및 100 $\mu$ g/ml의 농도로 첨가하여 배양하면서 배양 시간별로 ABS 분해율을 조사한 결과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 ABS 20 $\mu$ g/ml 농도에 비해 100 $\mu$ g/ml 농도에서 배양 9시간 이후부터 분해율이 높았으며, 배양 4일후 ABS 20 $\mu$ g/ml 및 100 $\mu$ g/ml 농도에서의 분해율은 각각 55% 및 60% 였다.

합성세제 (ABS)를 20 - 2,000 $\mu$ g/ml 농도 범위내에서 각 농도별로 첨가하여 3일간 배양한후 ABS 분해율을 조사한 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 ABS 200 $\mu$ g/ml 농도에서 그 분해율은 27%였고, ABS 500 $\mu$ g/ml 및 1,000 $\mu$ g/ml 농도에서의 분해율은 각각 25% 및 15%로서 합성세제(ABS)의 농도가 높을수록 분해율이 낮아지는 것을 알 수 있었다.

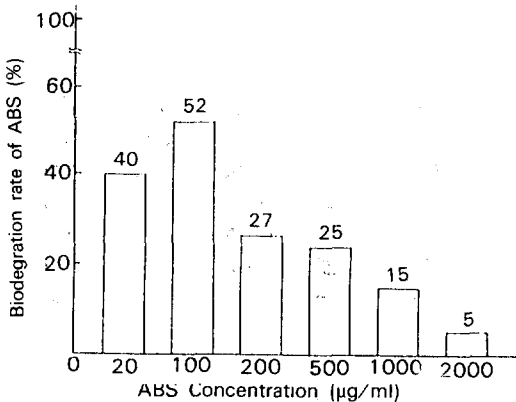


Fig. 4. Comparison of biodegradation rate by *P. fluorescens* S1 at various levels of synthetic detergents(ABS).

Cultivation was carried out in 100ml of LB medium with ABS, in a 300 ml-flask with shaking at 30 $^{\circ}$ C for 3 days.

그리고 합성세제(ABS)중 benzene을 UV-scanning한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 223nm에서 합성세제 첨가후 배양초기에 비하여 배양 3일후 흡광도가 줄어드는 것으로 미루어 보아 합성세제중 benzenering도 분해되는 것으로 판명되었다.

그리고 합성세제중 benzene ring의 분해율을 조사하기 위하여 합성세제(ABS)를 20 $\mu$ g/ml 및 100 $\mu$ g/ml 농도로 첨가하여 배양하면서 배양시간별 benzenering의 분해율을 조사한 결과 Fig. 6에서 보는 바와 같이 ABS농도 20 $\mu$ g/ml 및 100 $\mu$ g/ml에서 배양 4일후 ABS분해율은 각각 38% 및 45%로서 합성세제 분해율에 비례해서 benzene ring도 분

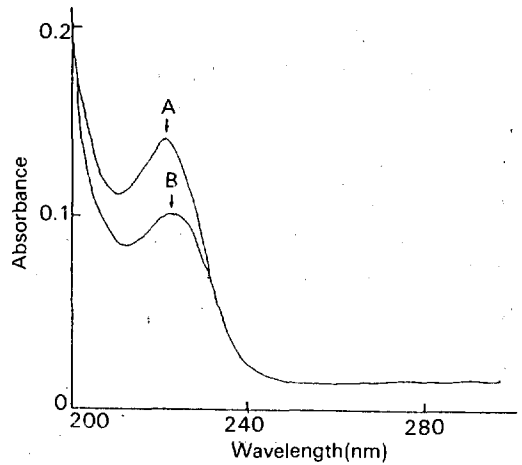


Fig. 5. UV-spectra of benzene ring during biodegradation by *P. fluorescens* S1. The strain was incubated in LB medium with ABS(100 $\mu$ g/ml). A is the culture extracts 0 time and B is the culture extracted 3 days after cultivation.

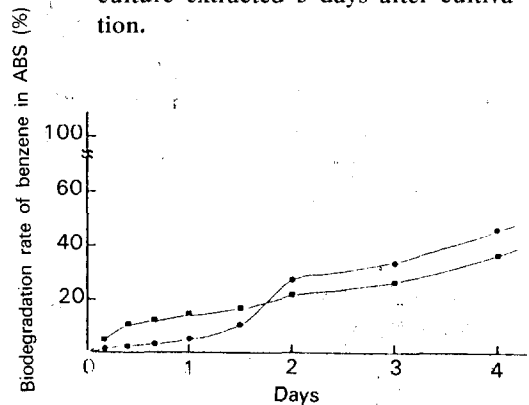


Fig. 6. Biodegradation rate of benzene ring in ABS by *P. fluorescens* S1 during culture.

■: ABS 20 $\mu$ g/ml  
●: ABS 100 $\mu$ g/ml

해되는 것으로 나타났다.

**4. 합성세제(ABS) 분해와 COD분해와의 관계**

합성세제 (ABS)의 분해와 COD분해와의 관계를 조사하기 위하여 최소배지에 ABS 100µg/ml과 glucose로서 COD 10,000µg/ml을 동시에 첨가하여 분리균을 배양하면서 ABS와 COD분해와의 관계를 검토한 결과는 Fig. 7에서 보는 바와 같다. COD는 배양초기부터 24시간까지 급격하게 분해되다가 그 이후부터 서서히 계속해서 분해되었으며, ABS는 초기부터 서서히 계속적으로 분해되었다. 3일후 COD는 32%, ABS는 40% 각각 분해되었다. 따라서 시간별 ABS의 분해와 COD의 분해양상은 서로 비교적 비슷한 경향이었으나 ABS와 COD의 분해율은 일치되지 않았으며, 이는 Maghey and Klein<sup>2)</sup>이 ABS의 분해와 COD의 분해는 반드시 일치되지 않는다고 보고한 결과와 비슷한 경향이였다.

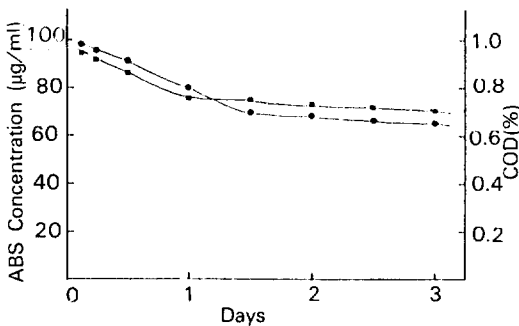


Fig. 7. Change of ABS and COD concentrations in the minimal medium containing COD 1%(as Glucose) and ABS 100µg/ml.

■: COD                      ●: ABS

**5. 아미노산 변화**

합성세제(ABS)를 1,000µg/ml 첨가하여 배양한 균과 첨가하지 않고 배양한 균과의 균체내 아미노산조성변화를 조사비교한 결과 Table 5에서 보는 바와 같이 총 아미노산함량은 합성세제(ABS)를 첨가하여 배양한 분리균이 115.0mg/g로 무첨가 배양한 분리균의 104.9mg/g에 비하여 9.4% 증가

되었으며, 합성세제를 첨가하여 배양한 분리균은 첨가하지 않고 배양한 분리균에 비하여 cysteine 함량이 2.4배 많이 생성되었다. 합성세제를 첨가하지 않고 배양한 분리균에서는 산성 아미노산인 Asx(Asp Asn) 및 Glx(Glu Gln)가 비교적 많이 생성되었으며, 합성세제를 첨가하여 배양한 분리균에서는 염기성 아미노산인 histidine, lysine 및 arginine이 비교적 많이 생성되었다.

Table 5. Comparison of amino acids compositions of *P. fluorescens* S1 cultivated with or without ABS.

No.	Amino acids	Amount of amino acid			
		without mg/g	ABS (%)	with 0.1% ABS mg/g	(5)
1	Asx	8.68	(8.28)	8.99	(7.82)
2	Thr	5.34	(5.09)	5.29	(4.60)
3	Ser	4.28	(4.08)	8.46	(3.88)
4	Glx	11.64	(11.10)	10.56	(9.19)
5	Pro	9.88	(9.42)	12.36	(10.75)
6	Gly	5.03	(4.80)	5.42	(4.71)
7	Ala	6.43	(6.13)	6.83	(5.94)
8	Cys	0.55	(0.52)	1.44	(1.25)
9	Val	5.96	(5.68)	5.21	(4.53)
10	Met	4.56	(4.24)	6.14	(5.34)
11	Ile	5.56	(5.30)	5.94	(5.17)
12	Leu	7.12	(6.79)	8.01	(6.97)
13	Tyr	6.70	(6.39)	5.65	(4.91)
14	Phe	8.21	(7.83)	8.86	(7.71)
15	His	3.70	(3.53)	6.45	(5.61)
16	Lys	5.33	(5.08)	6.66	(5.79)
17	Arg	6.02	(5.74)	6.70	(5.83)
Total amino acid		104.9	(100*)	115.0	(100*)

\* : Index

**摘 要**

오염된 하천수, 토양 및 폐기물 침출수등의 미생물 분리원으로 부터 합성세제(ABS)를 유일

탄소원으로 이용할 수 있는 미생물들을 분리하여, 이중 합성세제(ABS) 분해능이 가장 우수한 한 종의 균을 분리하여 동정한 결과 *P. fluorescens* 또는 그 유연균으로 밝혀졌으며, 최적 생장온도는 30℃였고 최적 생장 pH는 pH 7.0이었다.

분리균주의 탄화수소 자화능 및 중금속에 대한 내성을 조사한 결과 benzene, cyclohexane, xylene 및 catechol은 탄소원으로 이용할 수 있는 반면 phenol, toluene, salicylate, naphthalene은 탄소원으로 이용하지 못하였으며, 중금속중 zinc chloride, lead nitrate, copper sulfate에 대하여는 강한 내성을 나타내었으나 mercury chloride, silver nitrate에 대하여는 내성이 약했다.

분리균의 합성세제(ABS) 분해율을 조사한 결과 ABS 20μg/ml의 농도에서 4일후 약 55%, 100μg/ml 농도에서는 약 60% 각각 분해되었다. 합성세제(ABS) 분해에 따른 benzene ring의 분해율을 조사한 결과 시간이 경과 할수록 합성세제(ABS) 분해에 비례하여 benzene ring도 분해되었다. ABS농도 20μg/ml 및 100μg/ml에서 benzene ring은 각각 38% 및 45% 분해되었다.

COD의 분해와 ABS 분해를 비교검토한 결과 COD는 배양 24시간까지 급격하게 분해되었으나 그 이후부터 서서히 계속해서 분해되었으며 ABS는 처음부터 서서히 계속적으로 분해되었다.

ABS를 첨가하지 않고 배양한 균과 ABS를 1,000 μg/ml 농도가 되게 첨가하여 배양한 균과의 균체내 아미노산조성을 비교한 결과 아미노산총량은 각각 104.9mg/g 및 115.0mg/g으로서 ABS를 첨가하여 배양한 분리균에서 9.4% 증가 되었으며, 균체내에 Glx(Glu + Gln) 및 proline이 각각 11.1%, 9.2%로 비교적 많이 함유하고 있었고, 특히 cysteine은 ABS를 첨가하지 않고 배양한 분리균에 비해 ABS를 첨가하여 배양한 균에서 약 2.4배 높게 나타났다. ABS를 첨가하지 않고 배양한 분리균은 산성 아미노산인 Asx(Asp + Asn)와 Glx(Glu + Gln)가 비교적 많이 생성된 반면, ABS를 첨가하여 배양한 분리균에서는 염기성 아미노산인 his-

tidine, lysine 및 arginine이 비교적 많이 생성되었다.

## 參 考 文 獻

1. Alexander, M. (1981) : Biodegradation of chemicals. environmental concenrn. *Science*. 211, 132.
2. Salyer, J. H., Lappein, H. M. and Greaves, M.P. (1985) : Degradation of the herbicide mecoprop by a synergistic microbial community. *Appl. Environ. Microbiol.* 49, 429.
3. Chakrarty, A. M., Ghosal, D. You, I. S. and Chatterjee, D. K. (1985) : Microbial degradation of halogenated compounds. *Science*. 228, 135.
4. Safe, S., Platonow, N. and Huzinger, O.(1975) : Metabolism of chlorobiphenyls in the goat and cow. *J. Agr. Food chem.* 23, 259.
5. Goto, M., Hattorn, M. and Sugiura, K.(1975) : Metabolism of pentachloro and hexachlorobiphenyls in rats. *Chemosphere*. 4, 177.
6. Yoshimure, H., and Yamamoto, H. (1973) : Metabolic studies on polychlorinated biphenyls. *Chwm. Pharm. Bull.* 21, 2239.
7. Haque, R., and Schmedding D. (1974) : Aqueous solubility adsorption and vapor behavior of polychlorinated biphenyl arochlor. *Environ. Sic. and Technol.* 8, 139.
8. William, E. (1975) : Screening test for assessment of ultimate biodegration and aquatic interaction. *Adv. Appl. Microbiol.* 17, 265.
9. Cain, R. B. (1977) : *Surfactant biodegradation in waste waters.* in p 283, Cally, A. G. Foister, C. F. and Stafford, D. A. eds. Treatment of Industrial Effluents. John Willy and Sons, New York.
10. 堀國博: 新界面活性劑. (1975) : 三共出版株



式會社, 東京, p443.

11. United States Public Health Service, (1962)  
: Drinking water standards, PHS publication  
NO 956 US Government printing office.  
Washington, D. C. p22.
12. Huddleston, R. L. and Allred, R. C. (1963)  
: Microbial oxidation of sulfonate alkyl ben-  
zens. *Dev. Ind. Microbial.* **4**, 24.
13. Huddleston, R. L. and Nielson, A. M.(1979)  
: LAS biodegradation. *Household & Personal  
Products Ind.* **82**, 72.
14. Bogan, R. H. and Sawyer, C. N. (1954)  
*Sewage Industrial Wastes.* **26**, 1069.
15. Bogan, R. H. and Sawyer, C. N. (1955) :  
*Sewage Industrial Wastes.* **27**, 917.
16. Bogan, R. H. and Sawyer, C. N. (1956) :  
*Sewage Industrial Wastes.* **28**, 637.
17. Krieg, N. R. and Holt, J. G. (1984) : *Bergey's  
manual of systematic bacteriology.* vol 1. willam,  
wilkins(eds.), Baltimore, London.
18. Hayaishi, K., (1975) : A rapid determination  
of sodium dodecyl sulfate with methylene  
blue. *Anal. Biochem.* **67**, 503.
19. Kim, S. S. (1986) : 環境汚染公害公定試験法  
解説. 新光出版社.p227
20. Spackman, D. H., Stein, W. H. and Moore,  
S. (1958) : Automatic recording apparatus  
for use in the chromatography of amino  
acids. *Anal. chem.* **30**, 1190.
21. Maghey, P. H, and Klein, S. A. (1959) :  
*Sewage. Ind. Wastes.* **31**, 877.