

界面活性劑의 生分解 比較

최대웅 · 이광현 · 김인호

동의대학교 화학공학과

Comparison with Biodegradation of Anionic Surfactants

Dae Woong Choi, Kwang Hyun Lee and In Hyo Kim

Department of Chemical Engineering Donggeui University, Pusan, Korea

ABSTRACT

The course of biodegradation of anionic surfactants, Linear Alkylbenzene Sulfonates(LAS), Sodium Lauryl Ethoxylate Sulfonate(SLES), and Sodium Lauryl Sulfonates(SLS), which are mainly used to make detergents and shampoo, was investigated. The degree of biodegradation was studied as a function of concentration, volumetric flow rate, and temperature in Naktong River. Methylene-Blue Active Substances(MBAS), Total Dissolved Organic Carbon(TOC), and Chemical Oxygen Demand(COD) were measured to evaluate the degree of biodegradation. The degree of biodegradation of LAS was highly dependent upon the concentration and was increased as the concentration was decreased; and that of SLES and SLS was almost constant at the concentration of less than 200 ppm, but was much increased as the volumetric flow rate was increased or the temperature was increased.

Keywords : Linear Alkylbenzene Sulfonates, Sodium Lauryl Ethoxylate Sulfonate, Sodium Lauryl Sulfonates

I. 서 론

영남 지방의 상수원과 공업 용수의 원천인 낙동강의 수질 오염은 생활 수준 향상과 공업화가 이루어지면서 더욱 더 오염도가 높아지고 있는 실정이다.

오염원 중에는 생활 하수중의 세제와 샴푸에 의한 오염원인도 큰 비중을 차지하고 있다. 세제의 주성분은 환경오염의 심각성으로 인하여 A.B.S.→L.A.S.→L.E.A.로 생분해성이 우수한 원료를 사용함으로써 하천의 오염도를 줄이려고 노력하고 있지만 자연 생태계에 의한 정화 능력을 초과하고 오염물로 인하여 하천의 수질은 나빠지고 있다.

현재 국내에 시판되고 있는 합성 세제나 샴푸류는 모두 한국 공업 규격인 KSM2714¹⁾의 기준에 적합한 것이지만 이것은 하수 처리를 하는 경우에 한하고 처리되지 않은 채 강으로 흘러 들어가는 것은 자연 생태계에 의한 정화능력에 의존하므로 문제점이 생기고 있다.

Mcateer와 Kinnard²⁾는 LAS의 생분해도는 MBAS법에 의하여 95%, COD법으로 약 50%정도가 되었으며, Pitter³⁾는 활성슬러지 법으로 처리한 LAS는 COD방법으로 최고 65% 분해되었다.

Wuhrmass와 Mechsner⁴⁾은 LAS의 생분해 예비 실험의 결과를 보면 TOC법에 의한 분해는 55%와 UV파장에 의한 spectrophotometry 방법은 26% 분해되었고, Fischer와 Gerike⁵⁾는 COD법에 의한 LAS의 생분해율이 66.4~94.1%이었다.

또한 Hitoshi⁶⁾ 등이 활성슬러지법에 의한 LAS의 MBAS법으로는 5일 동안 98%, TOC법으로는 34%이나 31일에 TOC는 70%분해 되었고, SLES의 경우는 MBAS법으로 1일에 99%분해되었고 TOC법으로는 65%분해되었다. 24일 후에는 TOC가 검출되지 않았다.

그리고 Kazuaki Miura⁷⁾ 등은 Sludge의 종류와 계면활성제의 농도에 따라 적응력을 시험한 결과, TOC 55~60%가 되었으며, Larson와 Games⁸⁾ 등은 자연수에서 lauryl alcohol ethoxylate의 생분해 실험

험을 하였고, Robert. D. Vashon⁹⁾ 등은 강물 중에 SLS와 SLES의 농도에 따라 무기물화로 생분해 실험을 하였다.

J. Steber와 R. Wierich¹⁰⁾ 등은 ¹⁴C-labelled의 계면활성제와 LAE를 사용한 세제에 대하여 생분해 실험을 하였으며, A. Donath Jobbagy¹¹⁾ 등은 활성 슬러지법에 의한 산소공급(폭기)에 의한 생분해 실험을 하였고, J. L. Berna¹²⁾ 등은 공공하수처리장에서 공정별로 LAS의 감소량을 측정하였으며, G. C. Okpokwasili와 Olisa¹³⁾ 등은 액체세제와 샴푸가 강물에 의해 생분해되는 것을 실험하였고, Alec Breen¹⁴⁾ 등은 폐수와 하천의 생태계 중에서 LAS의 생분해와 세균을 증식할 수 있는 인자에 관하여 실험하였다.

김만영¹⁵⁾ 등은 세제 및 생활하수관련 오염성분이 수질 오염에 미치는 영향과 주반응체제의 일차 생분해도 및 최종 생분해도를 COD분해법으로 측정하고, J. L. Berna¹⁶⁾ 등은 LAS와 신진대사된 sulphophenyl carboxylic acid의 monitoring에 대하여 연구하였다.

그리고 R. J. Larson¹⁷⁾ 등은 자연환경계 중에서 LAS의 생분해 활동 조사 LAS무기물 반감기 범위는 호기성에서 1~2일, 혐기성은 Sludge에 흡수된 양만 제거되었다.

또한 Fiskal¹⁸⁾은 공공폐수 중의 SLS 생분해를 온도별, 농도별과 순화시간을 측정하였고, Thomas W.¹⁹⁾는 혐기성 상태에 SLS와 SLES의 생분해가 일어나고 LAS는 혐기성 상태에서는 분해가 일어나지 않음을 확인하였다.

본 연구에서는 낙동강 물에 대하여 계면활성제 LAS, SLES, SLS 등을 시료로 하여 온도, 농도, 유량 등의 변화에 따른 생분해도를 화학적 방법 (MBAS, TOC, COD)으로 측정하고 낙동강 자체정화력(자연 생태계)에 의한 계면활성제 생분해 정도가 계절에 따른 강물유속, 온도, 계면활성제 농도변화등에 의한 자정능력을 비교연구하였다.

II. 실험

1. 시료 및 시험 용액 조제

(1) 시료

본 실험에 사용한 시료인 LAS는 linear alkyl benzen에 무수SO₃로 sulfation한 순도 99.5%의 (주) L. G화학 제품을 NaOH로 중화하여 사용하였으며 또한 SLES는 lauryl alcohol에 ethylen oxide을 3 mol 축합하여 얻은 LAE에 chlorosulfuric acid로 sulfation하여 얻은 것을 NaOH로 중화한 68.57% (주)

선진화학 제품을 사용하였고 그리고 SLS는 lauryl alcohol에 chlorosulfuric acid로 sulfation하여 NaOH로 중화한 순도 29.95%의 (주) 선진화학 제품을 사용하였다.

(2) 시험 용액 조제

하구연 을속도에서 채취한 낙동강물 50l에 각 anionic surfactant을 넣고 sludge는 각 실험마다 30 g/l씩 주입하였다.

미생물의 배양 용액은 강물의 자정 능력을 test 하기 때문에 넣지 않았다.

강물 자체의 미생물은 실험 기간동안 강물 채취 시기가 달라 세균수의 차이는 sludge로 보완하고 glucose로 비교 실험한 결과 거의 비슷하여 실험에 영향을 미치지 않으므로 무시하였다.

Sludge는 세제와 샴푸를 제조하는 (주) 동산유지의 폐수 처리장에서 10회전 순화(acclimation)된 것을 사용하였으며 채취한 강물 50l에 sludge 1.5 kg을 넣고 LAS용액으로 25 ppm, 50 ppm, 그리고 SLES와 SLS용액은 100 ppm과 200 ppm을 각각 만들어 사용하였다.

Sludge에 흡수된 Anionic Surfactant의 흡수량은 최대 0.38에서 최소 0.17 ppm이므로 무시하였다.²¹⁾

2. 실험 장치 및 분석법

실험장치는 Fig. 1에서와 같이 강물의 흐름을 조정하는 flow meter를 사용하여 pump로서 계속 순환시켜 일정한 유속을 유지시키고 용기내에 전열기(heater)로서 온도를 조절하면서 계면활성제 생분해를 관찰할 수 있는 장치를 만들었다.

5°C의 실험은 1~2월에 실험하여 일정 온도를 유지하였다.

본 실험의 anionic surfactant는 MBAS¹⁾, TOC²²⁾ 및 COD²³⁾ 방법으로 측정하였다.

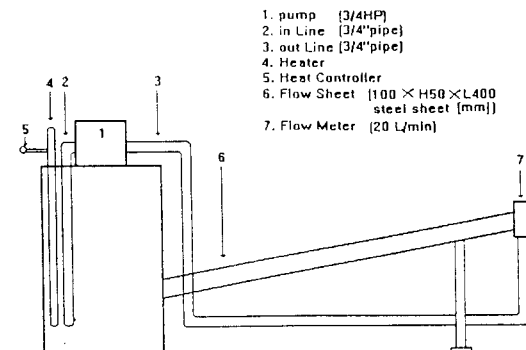


Fig. 1. Apparatus for biodegradation.

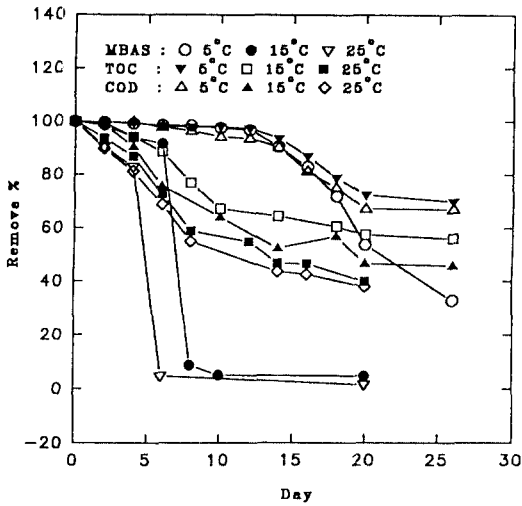


Fig. 2. MBAS, TOC, COD of LAS at various Temperatures (Flow rate 10 l/min, Initial Conc. 25 ppm).

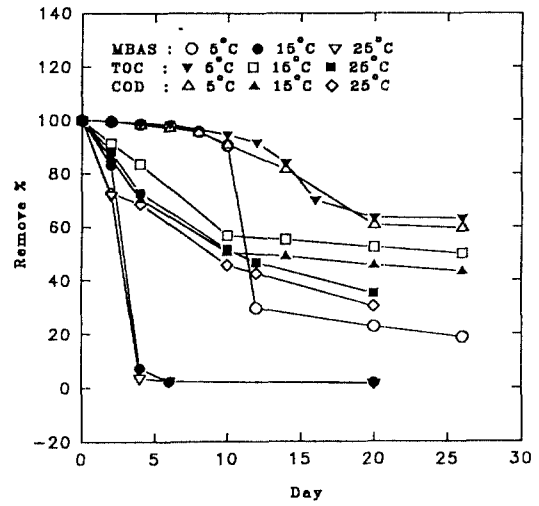


Fig. 3. MBAS, TOC, COD of LAS at various Temperatures (Flow rate 20 l/min, Initial Conc. 25 ppm).

III. 결과 및 고찰

1. 온도의 영향

Fig. 2에서는 LAS 농도가 25 ppm이고 유량 10 l/min 일 때 분해율을 나타내었으며, MBAS법으로 5°C 26일 동안에 약 67%, 25°C 6일 동안 약 95% 각각 분해되었으며 TOC 법으로 5°C 26일 동안 약 30%, 15°C 26일 동안 약 46% 정도 각각 분해되었다. 또한 COD 법으로 5°C 26일 동안 33%, 15°C에서는 54%, 25°C 8일 동안에 45%, 20일 동안에 약 62% 분해되었다.

Fig. 3에서는 LAS 농도가 25 ppm이고 유량이 20 l/min 일 때이며 MBAS법으로 5°C 26일에 약 81%, 15°C 6일 동안 약 98% 분해되었으며 TOC 법으로는 5°C 20일 동안에 약 37%, 15°C 14일 동안 약 45%, 20일에 약 48%이며, 25°C에서는 10일 약 48% 20일 동안에 65%가 각각 분해되었다.

또한 COD 법으로는 5°C에서 20일 동안 40%, 15°C 14일에 약 51%, 20일에 약 55%이며, 25°C에서는 10일 동안에 약 54%, 20일 약 70%가 각각 분해되었다.

Fig. 2, 3에서 LAS 경우 수온이 15°C 이상인 봄에서 가을까지는 KSM2714에서 규정한 생분해율이 6일 동안 90% 이상이 되므로 MBAS 기준에는 합격이나 동결기(5°C)에는 6일 만에 2% 정도밖에 생분해 되지 않으므로 불합격이었다. 따라서 거의 분해되지 않는 상태로 있었다.

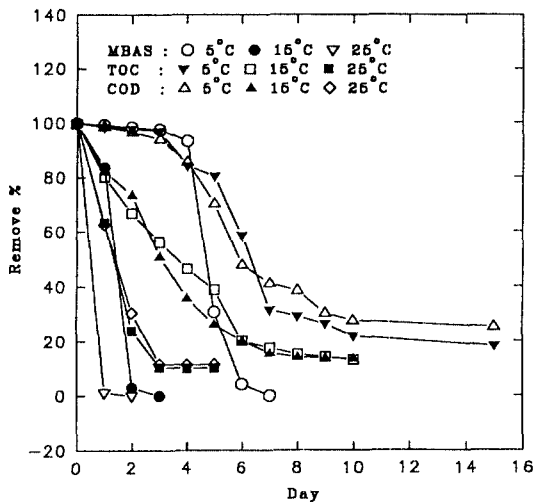


Fig. 4. MBAS, TOC, COD of SLES at various Temperatures (Flow rate 20 l/min, Initial Conc. 100 ppm).

Fig. 4에서 SLES가 농도 100 ppm이고 유량 20 l/min 일 때 MBAS 법으로 5°C 6일에 약 96%, 7일 동안에 완전히 분해되었다. 그리고 15°C에서는 3일, 25°C에서는 2일 동안에 각각 완전히 분해되었다.

TOC 법으로는 5°C 10일 약 74%, 15°C 10일 약 87%, 25°C에서는 5일 동안에 약 90%가 각각 분해되었다. 또한 COD법으로는 5°C 10일에 약 73%, 15°C 10일 약 86%, 25°C 5일 동안에 약 90%가 각각 분

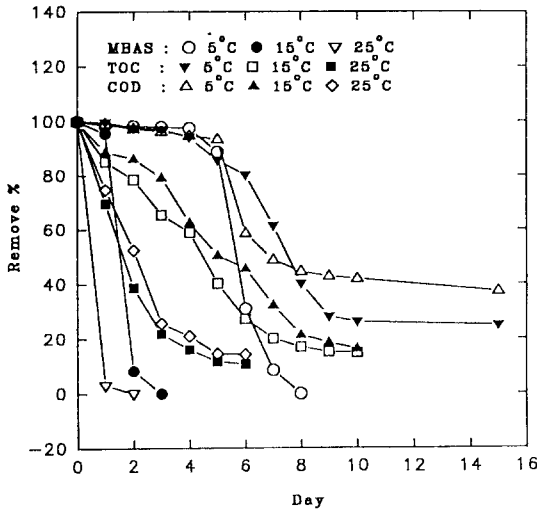


Fig. 5. MBAS, TOC, COD of SLES at various Temperatures (Flow rate 10 l/min, Initial Conc. 200 ppm).

해되었다.

Fig. 5에는 SLES가 농도 200 ppm, 유량 10 l/min 일 때 MBAS 법으로 5°C, 6일에 약 69%, 8일 동안에 완전히 분해되었으며, 15°C 3일, 25°C에는 2일 만에 완전히 분해되었다. 그리고 TOC 법으로는 5°C 10일 약 74%, 15°C 10일 약 85%, 25°C 6일 약 90%가 각각 분해되었다. 또한 COD 법으로 5°C 10일 약 58%, 15°C 10일 약 84%, 25°C에서는 6일 동안에 약 86%가 각각 분해되었다.

Fig. 4, 5에서 SLES는 동절기에는 5°C, 유량 10 l/min 일 때에는 6일 동안에 69%가 분해되므로 불합격이나, 유량이 20 l/min일 때는 6일 동안에 96% 분해되므로 합격이었다.

Fig. 6에는 SLS의 농도 100 ppm, 유량 20 l/min일 때 나타내었으며 MBAS법으로 5°C, 4일 만에 완전히 분해되었으며 15°C에서는 2일 이내, 25°C에서는 1일 이내에 완전히 분해되었다. 그리고 TOC 법으로는 5°C, 10일에 약 93%, 15°C, 6일에 약 94%, 25°C, 4일에 약 96%가 각각 분해되었다. 또한 COD 법으로는 5°C, 10일에 약 84%, 15°C, 6일에 84%, 25°C, 4일 동안에 약 90%가 각각 분해되었다.

Fig. 7에서는 SLS 농도 200 ppm, 유량 10 l/min 일 때 나타내었으며, MBAS법으로 5°C 5일 동안에 완전히 분해되나 3일까지는 거의 분해가 일어나지 않았다. 그리고 15°C에서는 2일 이내에 25°C에서는 1일 이내에 완전히 분해되었다.

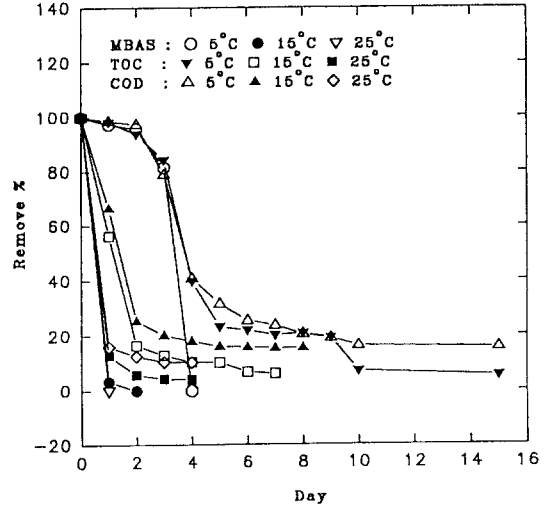


Fig. 6. MBAS, TOC, COD of SLS at various Temperatures (Flow rate 20 l/min, Initial Conc. 100 ppm).

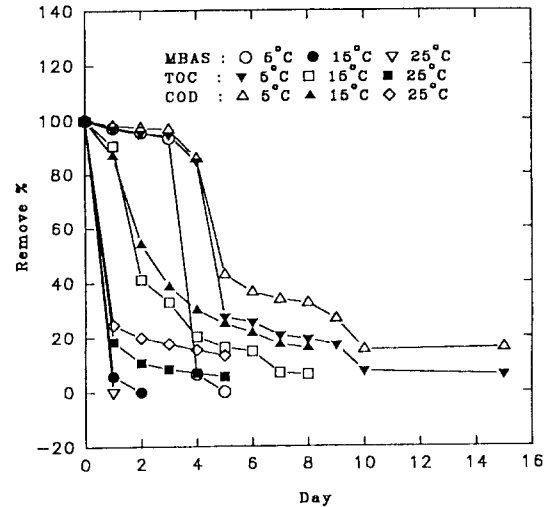


Fig. 7. MBAS, TOC, COD of SLS at various Temperatures (Flow rate 10 l/min, Initial Conc. 200 ppm).

또한 TOC법으로는 5°C 10일에 약 93%, 15°C 8일에 약 94%, 25°C 4일 동안에 약 93%가 각각 분해되었으며, COD법으로는 5°C 10일에 약 85%, 15°C 8일에 약 84%, 25°C 5일에 약 87%가 각각 분해되었다.

Fiskal²⁰⁾ 등은 SLS 생분해도 측정시 순화시간이 온도, 농도에 따라 변화하며 30°C에서는 농도에 관

제없이 가장 짧고, 750 ppm까지는 35°C에서, 1,000 ppm에서는 25°C, 31°C, 20°C 순서로 순화시간이 짧았다.

Fig. 6, 7의 SLS에서는 5°C일 때 순화시간이 가장 길었으며 15°C, 25°C에서는 극히 짧았다. 그러므로 SLS는 계절에 관계없이 생분해 규격에는 합격하는 것을 알 수 있었다. 따라서 세제와 샴푸의 원료 중 SLS가 가장 생분해성이 좋다고 할 수 있었다.

국내에서 시판되고 있는 분말세제의 경우는 대부분이 LAS를 주원료로 사용하고 있으며 나머지는 SLES를 사용하고 있다. 샴푸의 경우는 시판하고 있는 전 품목이 SLES와 SLS를 사용함으로써 세제에 비하여 수질오염에 영향이 적다고 할 수 있다.

LAS를 주원료로 사용하고 있는 제품은 한국공업규격에 의한 생분해시험에는 합격이나 현 실험적으로 가정오수로 방류하면 본 실험결과에 의해 10월까지는 강물의 자정능력에 의해 생분해가 가능하지만 11월부터 3월까지의 동절기로서 강물의 수온이 5°C 이하가 되므로 생분해는 MBAS법일 경우에는 LAS와 합격범위인 6일 이내의 생분해는 불가능하다.

SLS는 동절기에는 MBAS법 경우에는 수질 오염에 영향이 없다고 할 수 있다. 그러므로 낙동강의 자정능력에 의하면 계면활성제의 오염을 줄여 수질은 향상시킬 수 있는 것은 동절기보다 하절기가 유리하다. 하절기가 동절기에 비해 강우량이 많으므로 수량이 많아 유속이 빨라지고 기온의 상승이 높아져 동절기에 비해 2배 이상의 계면활성제를

생분해시킬 수 있다. 그러나 세제 사용량은 동절기에 비해 하절기는 2배정도 증가하지만, 잔존 계면활성제의 양은 동절기와 비슷하게 측정되었다.

2. 유량의 영향

Fig. 8에는 LAS, SLES 및 SLS의 25°C에서 유량 10, 20 l/min 일 때 TOC로 측정된 분해율을 나타내었다. LAS의 농도가 일정하고 유량이 10 l/min일 때 20일 동안에 약 60% 분해되었으며, 유량이 20 l/min일 때는 20일 동안에 약 65%가 각각 분해되었다.

또한 SLES는 유량이 10 l/min일 때 6일 동안에 약 89% 분해되었고, 유량이 20 l/min일 때 3일 동안에 약 89%가 각각 분해되었으며 SLS는 유량이 10 l/min일 때 7일에 약 93% 분해되었고, 유량이 20 l/min일 때 5일에 약 95%가 각각 분해되었다. 그리고 LAS의 경우는 유량이 많을수록 생분해 속도가 빠르나 어느 정도 분해 후에는 거의 같은 속도로 분해되었다.

또한 SLES와 SLS는 유량의 변화에 따라 분해율의 속도가 아주 민감하게 나타내었으며 특히 SLES는 유량이 2배 증가하면 생분해 속도가 2배 가까이 빨라졌다.

G. C. Okpokwasili and A. O. Olisa¹³⁾가 강물 중에서 계면활성제의 생분해도를 측정된 SLS의 결과와 본 실험의 결과가 비슷하게 나오나 낙동강 물이 약간 자정 능력이 강함을 알 수 있었다.

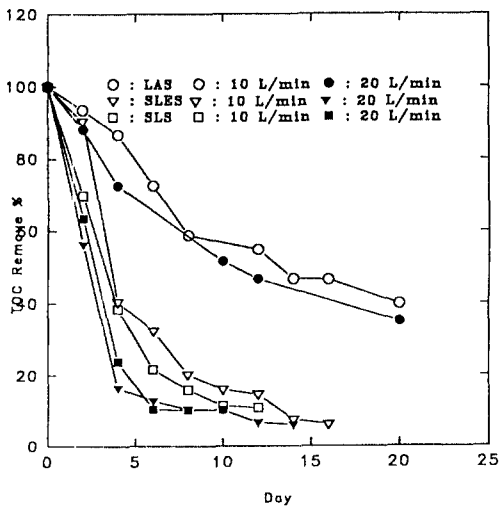


Fig. 8. TOC of LAS, SLES, SLS at various Flow rates (Temperature 25°C, Concentration LAS 25 ppm, SLES, SLS 100 ppm).

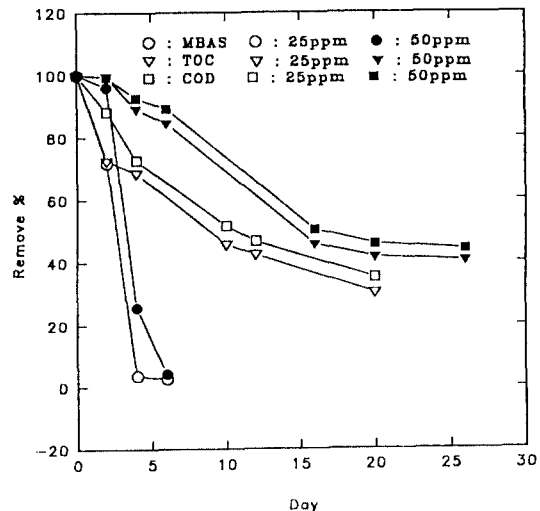


Fig. 9. MBAS, TOC, COD of LAS at various Concentrations (Flow rate 20 l/min, Temp. 25°C).

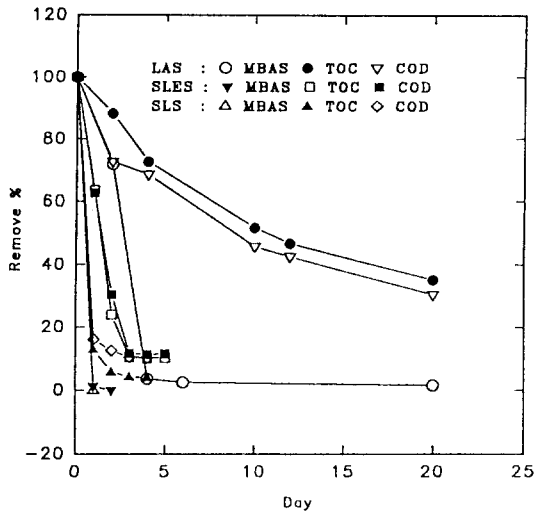


Fig. 10. Biodegradation of LAS, SLES, SLS by various Analytical Methods (Flow rate 20 l/min, Temp. 25°C, Initial Conc. LAS 25 ppm, SLES, SLS 100 ppm).

3. 농도의 영향

Fig. 9에는 LAS가 25, 50 ppm 일 때 MBAS, TOC 및 COD로 측정된 것을 나타내었다. LAS는 25 ppm에서는 유량이 20 l/min이고 온도가 25°C에서 4일 동안에 약 97%가 분해되었으나 50 ppm의 경우에는 같은 조건에서 6일 동안에 약 97%가 분해되었다. 온도가 낮을수록, 농도가 높을수록 분해속도는 3배 정도 늦어지는 것을 알 수 있다.

또한 TOC법으로는 25 ppm에서 같은 조건을 두고 관찰하면 10일 동안에 약 48%, 50 ppm에서는 20일 동안에 약 54%가 각각 분해되었으며 COD법으로는 25 ppm에서 같은 조건에서 10일 동안에 약 55%, 50 ppm에서는 20일 동안에 약 58%가 각각 분해되었다.

그리고 SLES와 SLS의 농도는 100 ppm와 200 ppm을 실험하였으나 농도에는 별 영향이 없었다. 이 원인은 농도의 차이가 적기 때문이라 사료된다.

4. 실험 방법에 따른 최적 조건에서 분해율 비교

Fig. 10에는 LAS, SLES 및 SLS의 MBAS, TOC 및 COD법으로 측정된 것을 나타내었다. 실험방법에 따라 분해율의 차이는 크게 나타났다. LAS는 MBAS법으로 측정된 것은 4일 동안에 약 96%가 분해되었으나 TOC법으로는 10일 동안에 약 48%, COD는 10일 동안에 약 55%가 각각 분해되었다. 또한 SLES는 MBAS법으로는 2일 이내에 완전분해되었고 TOC법으로 측정된 것은 4일 동안에 90%

분해되었으며, COD측정치는 4일 동안에 약 89%가 각각 분해되었다.

그리고 SLS는 MBAS법으로는 1일 이내에 완전 분해되었고, TOC법으로는 3일 동안에 약 96%가 분해되었고, COD는 3일 동안에 약 90%가 각각 분해되었다. 그리하여 LAS, SLES와 SLS를 MBAS법으로 측정시의 분해율을 보면, SLS는 1일 이내, SLES는 2일 이내에 완전히 분해되었으나, LAS의 경우는 4일 동안에 약 96%가 분해되었다.

그리고 TOC법으로 측정시 SLS는 3일 동안에 약 96%, SLES는 4일 동안에 약 90%가 각각 분해되었다. 그리고, LAS는 10일 동안에 약 48%, 20일 동안에 약 65%가 각각 분해되었으며 COD법으로 측정시 SLS는 3일 동안에 약 90%, SLES는 4일 동안에 약 89%가 각각 분해되었다. 또 LAS는 10일 동안에 약 55%, 20일 동안에 약 70%가 각각 분해되었다.

IV. 결 론

Anionic surfactant LAS, SLES, SLS 등을 사용하여 온도, 농도, 유량 등을 변화시켜 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① LAS는 동결기(5°C)에서 순화시간 7일 SLES는 4일, SLS는 3일간 소요되었다.
- ② SLS와 SLES는 15°C, 25°C에서는 순화시간이 거의 소요되지 않았다.
- ③ LAS의 경우는 농도에 따라 분해도 차이가 컸으며 25 ppm일 때는 50 ppm일 때보다 2배 정도 생분해도가 빨랐다.
- ④ SLES와 SLS는 유량이 많을수록 분해속도가 2배 정도 빨랐다.
- ⑤ 생분해에 가장 큰 영향은 온도에 의한 영향이 가장 크며 그 다음은 유량이며 그리고 농도 순서였다.
- ⑥ LAS는 TOC보다 COD 측정치가 높고, SLES와 SLS는 TOC 측정치가 높았다.

감 사

본 연구는 1995년도 동의대학교 자유공모과제연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 1) 한국표준규격협회 KSM. 2714.
- 2) McAtteer, J. H. and L. M. Kinnard : Sodium Al-

- kane Sulphonates Dependences of Properties on Molecular Weight, Fourth Int Congress on Surface Active Substances Brussels. 1964.
- 3) Pitter, P : Surface Active Agents in Waster Water XII. Evaluation of Surfactant Biodegradation by The COD Technique and Ultra Violet Spectra(in English).
 - 4) Wuhramann, K. and K, Mechsner : EAWAO News(Switzerland) No. 3, 1974.
 - 5) Fischer, W. K. and P. Gerike : Biodegradability of Two Primary Alcohol Ethoxylates Nonionic Surfactants under Partial Condition, *Water Research*, **9**, 1137, 1975.
 - 6) Hitoshi Sekiguchi, Kazuaki Miura, Kenkichi Oba and Akira Mori : Biodegradation of α -olefin Sulphonates(AOS) and Other Surfactants Oils & Fats Chemistry, **24**(3), 145-148, 1975.
 - 7) Kazuaki Miura, Kiyoshi Yamanaka, Takao Sangai, Koichi Yoshimura and Nobuta Hayashi : Application of Biological Oxygen Consumption Measurement Technique to The Biodegradation Test of Surfactants: *Oil & Fat Chem.*, **38**(5), 351-355, 1979.
 - 8) Robert, J. Larson and Larry, M. Games : Biodegradation of Lenear Alcohol Ethoxylates in Natural Water, *Environmental Science Technology*, **15** (12), 1488-1492, 1981.
 - 9) Robert, D. Vashon and Burneys, Schwab : Mineralization of Linear Alcohol Ethoxylates and Linear Alcohol Ethoxy Sulfates at Trace Concentration in Estuarinewater.
 - 10) J. Steber and P. Wierich : The Environmental Fate of Detergent Range Fatty Alcohol Ethoxylates-Biodegradation Studies with a 14 C-Labelled Model Surfactant, *Tenside Detergent*, **20**(4), 183-187, 1983.
 - 11) A. Donath Jobbagy, J. Kalman and R. Hajos : Intensification of Activated Sludge Waster Water Treatment Water Sc. Tech., **18**, 307-311, 1986.
 - 12) J. L. Berna, A. Moreno and J. Ferrer : An Assessment of The Ultimate Biodegradation of LAS *Tenside Burt. Det.*, **30**(3), 217-222, 1993.
 - 13) G. C. Okpokwasili and A. O. Olisa : River-water Biodegradation of Surfactants in Liquid Detergents and Shampoos *Water Res.*, **25**(11), 1425-1429, 1991.
 - 14) Alec, Breen, Luis Jimenez, Gray S. Sayler and Thomas W. Federle : Plasmid Incidence and Linear Alkylbenzen Sulfonate Biodegradation in Waster Water and Pristine Pond Ecosystems, *Journal of Industrial Microbiology*, **9**, 37-44, 1992.
 - 15) 김만영, 최용수, 김재용, 김광열 : Primary and Ultimate Biodegradation of Dish Washing Detergent and Effect of Detergent and Other Pollutants Related Domestic Sewage on Water Pollution J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, **4**(3), 558-568, 1993.
 - 16) J. L. Berna, J. Ferrer, A. Moreno, D.Prats and F. Ruiz Bevia : The Fate of LAS in The Environment *Tenside Detergent*, **30**(3), 217-222, 1993.
 - 17) R. J. Larson, T. M. Rothgeb, R. J. Shimp, T. E. Ward and R. M. Ventullo : Kinetics and Practical Significance of Biodegradation of LAS in The Environment, *J.A.O.C.S.*, **70**(7), 645-657, 1993.
 - 18) Fiskal J., Papp E. and Schultheisz, Z. : Study of The Biodegradation of Surfactants in Communal Waste Water, *Hungarian Journal of Industrial Chemistry Veszprem*, **16**, 427-438, 1988.
 - 19) Thomas, W. Federle and Burney, S. Schwab : Mineralization of Surfactants in an Aerobic Sediments of a Laundromat Wacter Water Pond *Water Res.*, **26**(1), 123-127, 1992.
 - 20) Fiskal, J. Papp : Biodegradation of Sodium Lauryl Sulfate, *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, **16**, 427-428, 1988.
 - 21) Atsuko. Adachi, Michiyo Kamide, Reiko Kawafune, Naoko Miki and Tadashi Kobayashi : Removal Efficiency of Anionic and Nonionic Surfactants from Chemical Waste Water by a Treatment Plant using Activated Carbon Adsorption and Coagulation Precipitation Processors *Environmental Technology*, **11**, 133-140, 1990.
 - 22) W. G. Cutler and R. C. Davis : *Surfactant Science Series, Vol. 5-III* Marcel Dekker. Inc., New York 903-938, 1981.
 - 23) 山田春美, 河村清史, 河野哲郎 : 증크롬산칼리로서 COD측정: 수처리기술 **14**(12), 1229-1246, 1973.