

# 프로필렌 옥사이드를 부가한 소듐 라우레스 설페이트 음이온 계면활성제의 계면 특성에 관한 연구

이정민 · 박기호 · 신희동 · 정우진 · 임종주<sup>†</sup>

동국대학교 화학생물공학과  
(2023년 3월 30일 접수, 2023년 4월 21일 수정, 2023년 4월 24일 채택)

## Interfacial Properties of Propylene Oxide Adducted Sodium Laureth Sulfate Anionic Surfactant

Jeong Min Lee, Ki Ho Park, Hee Dong Shin, Woo Jin Jeong and Jong Choo Lim<sup>†</sup>

Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University, Seoul 04620, Korea  
(Received March 30, 2023; Revised April 21, 2023; Accepted April 24, 2023)

### 초 록

본 연구에서는 라우릴 알코올에 에틸렌 옥사이드 3 몰과 프로필렌 옥사이드 1 몰을 부가한 후 설페이션을 공정을 거쳐서 ASCO<sup>®</sup> SLES-430을 제조하였으며, 합성한 계면활성제의 구조를 FT-IR, <sup>1</sup>H-NMR 및 <sup>13</sup>C-NMR 분석을 통하여 확인하였다. 합성한 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 임계 마이셀 농도, 정적 표면장력, 유화력, 접촉각 등의 계면 물성과 경구 독성 및 피부 자극성 등의 안정성 지표 등을 측정하였으며, SLES 계면활성제 내에 에틸렌 옥사이드가 각각 2 몰 및 3 몰 부가된 ASCO<sup>®</sup> SLES-226 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-328 계면활성제들과 비교하였다. 특히, ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 기포 생성력과 기포 안정성을 평가하여 기존 세제 제품에서 널리 사용되고 있는 ASCO<sup>®</sup> SLES-226과 ASCO<sup>®</sup> SLES-328과 비교함으로써 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 소형 빌트인 세탁기용 세제 적용 가능성을 검토하였다.

### Abstract

In this study, ASCO<sup>®</sup> SLES-430 surfactant was synthesized by adducting 3 moles of ethylene oxide and 1 mole of propylene oxide to lauryl alcohol followed by a sulfation process, and the structure of the synthesized ASCO<sup>®</sup> SLES-430 was elucidated by performing FT-IR, <sup>1</sup>H-NMR and <sup>13</sup>C-NMR analyses. Interfacial properties such as critical micelle concentration, static surface tension, emulsification index, and contact angle were measured, and environmental compatibility indices such as oral toxicity and skin irritation were also estimated for ASCO<sup>®</sup> SLES-430. Both results were compared with ASCO<sup>®</sup> SLES-226 and ASCO<sup>®</sup> SLES-328 SLES surfactants possessing 2 moles and 3 moles of ethylene oxide, respectively. In particular, both foaming ability and foam stability were evaluated for ASCO<sup>®</sup> SLES-430 and compared with ASCO<sup>®</sup> SLES-226 and ASCO<sup>®</sup> SLES-328, which have been widely used in detergent products, in order to test the potential applicability of ASCO<sup>®</sup> SLES-430 in detergent product formulation for a small capacity built-in washing machine.

**Keywords:** Propylene oxide adduct, Sodium laureth sulfate anionic surfactant, Foam stability, Detergents products

## 1. 서 론

계면활성제(surface active agent, surfactant)는 세척력(detergency), 가용화력(solubilization capacity), 유화력(emulsification power), 분산력(dispersion capacity), 침투력(penetration ability), 기포력(foaming ability) 등의 특성을 가지고 있어서 세제, 생활용품, 화장품, 세정제, 펄프, 제지, 식품, 잉크, 안료, 접착제, 도료, 섬유 처리제, 윤활유, 콘크리트, 플라스틱, 광택 필름, 의약품, 전자 제품, 농업 제품 등 많은 산업 분야에서 널리 사용되고 있다[1]. 계면활성제는 친수성의 대전성 유무에 의하여 이온 계면활성제(ionic surfactant)와 비이온 계면활성제(nonionic surfactant)로 분류되며, 이온 계면활성제는 친수성이 음전하를 띠고 있는 음이온 계면활성제(anionic surfactant)와 양전하를 띠고 있는 양이온 계면활성제(cationic surfactant), 그리고 pH 조건에 따라 음전하 또는 양전하를 띠는 양쪽 계면활성제(zwitterionic 혹은 amphoteric surfactant)로 구별된다. 계면활성제는 임계 마이셀 농도(critical micelle concentration, CMC) 이상의 농도 조건에서 계면활성제의 종류와 특성에 따라 단분자층(monolayer), 이중층(double layer), 마이셀(micelle), 역마이셀(reverse micelle), 마이크로에멀전(microemulsion), 액정(liquid crystal), 리포솜(liposome) 등과 같은 다양한 중

<sup>†</sup> Corresponding Author: Dongguk University  
Department of Chemical and Biochemical Engineering, Seoul 04620, Korea  
Tel: +82-2-2260-3707 e-mail: jongchoo@dongguk.edu

류의 초분자적 미세구조(molecular assembly)를 얻을 수 있다[1,2].

특히 친수성이 음전하를 띠고 있는 음이온 계면활성제는 온도 변화에 덜 민감하고 가격이 저렴하며, 침투력과 기포력이 우수하고 다양한 종류의 오염물에 대한 우수한 세정력을 보이는 등의 장점으로 인하여 계면활성제 사용량의 많은 부분을 차지하고 있는 세탁 세제, 주방 세제 및 화장품 등 다양한 산업에서 널리 사용되고 있다. 음이온 계면활성제로는 설페이트(sulfate)와 설포네이트(sulfonate) 등의 황산계(phosphate), 인산계(phosphate), 카복실레이트계(carboxylate) 등이 주로 사용되며, 그중에서도 세정력이 뛰어나고 기포력이 우수한 소듐 라우레스설페이트(sodium laureth sulfate 혹은 sodium lauryl ether sulfate, SLES,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OSO}_3\text{Na}$ )는 세탁 세제 및 주방 세제 등에서 널리 사용되고 있다[3-8].

기포(foam)는 기체 거품(gas bubble)이 액체 필름(liquid film)에 의해서 분리되어 분산된 콜로이드 분산 시스템의 하나로서 우리 주변의 일반 생활용품으로부터 다양한 산업에서 응용되어 사용되고 있다. 예를 들면 기포는 식품(삼페인, 소다, 맥주, 휘핑크림 등), 화장품, 생활용품(면도용 크림, 샴푸, 목욕용 폼 제품 등), 세제, 건축 용품(콘크리트), 소화기, 살충제, 제초제 등과 제품 외에도 부유 부상에 의한 광석 회수(forth ore flotation)의 광업, 토양정화(soil remediation) 등의 환경 산업, 제지 탈묵(deinking), 석유 회수 증진법(enhanced oil recovery, EOR) 등 광범위한 산업 분야에 적용되어 사용되고 있다[9-12].

이러한 다양한 분야에서 고려하여야 할 가장 중요한 특성 중의 하나가 기포 안정성(foam stability) 문제이다. 예를 들면 삼페인, 소다, 맥주, 휘핑크림 등의 음식물, 화장품과 면도용 크림, 샴푸, 목욕용 폼 제품, 주방세제 등과 같은 생활용품의 경우에는 제품마다 요구되는 기간에 기포가 파괴되지 않고 안정한 상태로 유지되어야 하며, 반면에 콘크리트와 일반 세제 등 같은 경우에는 기포가 짧은 기간에 소멸되어야 한다. 또한 종류당 내에 존재하는 기포의 경우에도 열전달 효율을 저하시키므로 가능한 한 빨리 기포가 파괴되어야 한다.

오사이 1인 가구의 급격한 증가에 따라 빌트인 세탁기와 같은 소형 세탁기가 널리 보급되고 있으며, 이에 맞춰서 소형 세탁기용 세제 또한 기포의 발생량을 줄일 수 있는 계면활성제 사용이 불가피한 상황이다. 특히 세제의 기포력(거품양)과 세척력은 무관하고, 기포가 많이 발생하는 세제를 사용하여 세탁하는 경우, 린스 과정에서 많은 양의 물이 필요하며, 하천이나 바다에 배출된 폐수 중에 남아있는 기포는 수중 생태계에 심각한 영향을 가져온다고 알려져 있다[13,14].

본 연구에서는 기존의 세탁용 세제에서 널리 사용되는 3 몰의 에틸렌 옥사이드(ethylene oxide, EO)가 부가되어 있는 ASCO<sup>®</sup> SLES-328 [2-(2-(2-(dodecyloxy)ethoxy)ethoxy)ethyl sulfate]에 프로필렌 옥사이드(propylene oxide, PO) 1 몰을 부가하여 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 [1-(2-(2-(2-(dodecyloxy)ethoxy)ethoxy)ethoxy)propan-2-yl-sulfate]을 제조하였으며, 합성한 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 임계 마이셀 농도(critical micelle concentration, CMC), 정적 표면장력(static surface tension), 유화력, 접촉각(contact angle) 등의 계면 물성과 경구 독성(oral toxicity) 및 피부 자극성(dermal skin irritation) 등의 안정성 지표 등을 측정하여 에틸렌 옥사이드를 각각 2 몰과 3 몰 부가하여 제조한 ASCO<sup>®</sup> SLES-226 [2-(2-(2-(dodecyloxy)ethoxy)ethyl sulfate]과 ASCO<sup>®</sup> SLES-328 계면활성제들과 비교하였다. 또한 본 연구의 관심사인 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 기포 생성력(foaming ability)과 기포 안정성을 평가하여 기존 세제 제품에서 사용되고 있는 ASCO<sup>®</sup> SLES-226과 ASCO<sup>®</sup> SLES-328과 비교함으로써 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 소형 세탁기용 세제 적용 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험재료

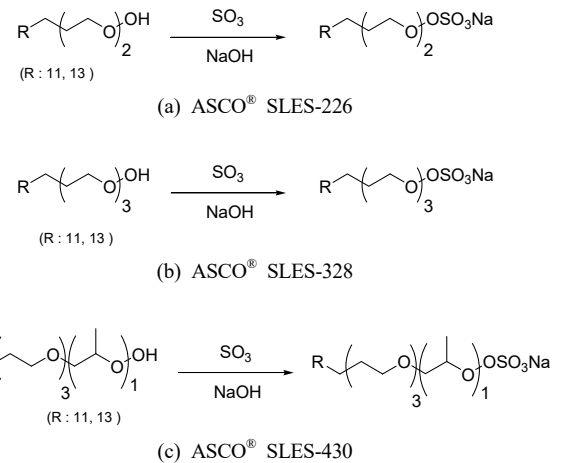
계면활성제 합성에 사용한 라우릴 알코올(lauryl alcohol)은 중량 기준으로 75%의 라우릴과 25%의 미리스틸(myristyl) 혼합물로 이루어져 있으며, 말레이시아 Energy사에서 구입하여 추가 정제 과정 없이 사용하였다. Scheme 1의 중화 반응에서 사용한 삼산화황(SO<sub>3</sub>)은 현대제철에서 구매한 황을 450 °C까지 가열하여 황 가스를 생성한 후 수분이 완전 제거된 건조 공기와 반응시켜 사용하였으며, 45 wt% 농도의 수산화나트륨(sodium hydroxide solution, NaOH) 수용액은 Sigma-Aldrich에서 구입하여 별다른 정제 과정 없이 그대로 사용하였다. 계면활성제 시료는 Nanopure (Sybron-Brinkman Inc.) 이온 교환 시스템을 거친 3차 증류수를 사용하여 제조하였다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 합성

라우릴 알코올에 에틸렌 옥사이드 및 프로필렌 옥사이드를 각각 부가하는 반응은 한농화성(주)에서 진행하였다. Scheme 1에 나타난 2-(2-(2-(도데실옥시)에톡시)에탄올)[2-(2-(2-(dodecyloxy)ethoxy)ethoxy)ethanol], C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>O<sub>3</sub>]과 2-(2-(2-(도데실옥시)에톡시)에톡시)에탄올[2-(2-(2-(dodecyloxy)ethoxy)ethoxy)ethoxy)ethanol], C<sub>18</sub>H<sub>38</sub>O<sub>4</sub>]은 1 몰의 라우릴 알코올에 2 몰 및 3 몰의 에틸렌 옥사이드를 각각 부가하여 제조하였다. 또한 1-2-(2-(2-(도데실옥시)에톡시)에톡시)프로판-2-올[1-(2-(2-(2-(dodecyloxy)ethoxy)ethoxy)ethoxy)propan-2-ol], C<sub>21</sub>H<sub>44</sub>O<sub>5</sub>]은 1 몰의 라우릴 알코올에 3 몰의 에틸렌 옥사이드와 1 몰의 프로필렌 옥사이드를 각각 부가하여 제조하였다.

본 연구에서 사용한 계면활성제 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430은 한농화성(주)에서 라우릴 알코올에 에틸렌 옥사이드 및 프로필렌 옥사이드를 각각 부가시켜 합성한 2-(2-(도데실옥시)에톡시)에탄올, 2-(2-(2-(도데실옥시)에톡시)에톡시)에탄올 및 1-2-(2-(2-(도데실옥시)에톡시)에톡시)프로판-2-올 1 몰을 각각 1.02 몰의 삼산화황 가스와 45-50 °C의 온도 조건에서 반응시켜 각각 제조하였다. 반응 후 반응기에 남아 있는 삼산화황 가스는 기-액 분리를 통하여 제거하였으며, 최종 생성물인 설포산은 50% NaOH 수용액으로



Scheme 1. Synthetic routes of ASCO<sup>®</sup> surfactants: (a) ASCO<sup>®</sup> SLES-226, (b) ASCO<sup>®</sup> SLES-328, (c) ASCO<sup>®</sup> SLES-430.

Table 1. Summary of Surfactants Studied During This Study

	Chemical structure	Chemical formula	Alkane chain length (m)	Number of moles of ethylene oxide (n)	Number of moles of propylene oxide	MW (g/mol)	pH
ASCO <sup>®</sup> SLES-226		CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>m</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>n</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OSO <sub>3</sub> Na	11-13	2	0	384	12.20
ASCO <sup>®</sup> SLES-328		CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>m</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>n</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OSO <sub>3</sub> Na	11-13	3	0	431	6.17
ASCO <sup>®</sup> SLES-430		CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>m</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>n</sub> CH <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> )OSO <sub>3</sub> Na	11-13	3	1	473.1	7.20

로 중화하였다. ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 수율은 모두 98% 이상이었으며, 물을 첨가하여 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 최종 제품의 고형분을 각각 28%, 30% 및 32% 되도록 희석하여 실험에 사용하였다. 본 실험에서 사용한 계면활성제 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430에 대한 분자식, 분자량 및 pH 등을 Table 1에 정리하여 나타내었다.

### 2.2.2. 계면활성제의 계면 특성

계면활성제 수용액의 정적 표면장력 측정은 Du Noüy ring 장력계 (Kruss K100, Germany)를 사용하여 25 °C에서 수행하였으며, 계면활성제 농도 증가에 따른 표면장력과 탁도(turbidity) 측정을 통하여 계면활성제 수용액의 CMC를 결정하였다. 표면 과잉 농도(surface excess concentration,  $\Gamma$ )는 계면활성제 농도 변화에 따른 표면장력 측정 결과로부터 Gibbs의 흡착식(Gibbs adsorption equation) (1)을 이용하여 구하였다.

$$\Gamma = - (1/2RT) (d\gamma/d \ln C) \quad (1)$$

여기서 R은 기체 상수, T는 절대 온도  $\gamma$ 는 표면장력, C는 수용액에서의 계면활성제 농도를 각각 나타낸다. 또한 물-공기 계면에서 계면활성제 단분자가 차지하는 면적( $\sigma$ )은 다음 식 (2)을 이용하여 구하였다.

$$\sigma = 10^{20} / (N_A \Gamma) \quad (2)$$

여기서  $N_A$ 는 아보가드로의 수를 나타낸다.

계면활성제의 유화력은 유화 지수(emulsification index, EI)를 측정하여 결정하였다. 이를 위하여 동일 부피의 1 wt% 계면활성제 수용액과 n-헥사데칸을 15 mL 유리 시험관에 넣은 후 와류 믹서(vortex mixer)로 교반하여 에멀전을 제조하였다. 제조한 에멀전을 30 °C의 항온조에 넣은 후, 에멀전 시료의 초기 높이와 24 h 이후의 에멀전 높이를 각각 측정 후 다음의 식 (3)을 이용하여 유화지수(emulsification index, EI)를 결정하여 유화력을 나타내었다.

$$EI = [(24 \text{ h 후 에멀전 높이}) / (\text{에멀전 시료 초기 높이})] \times 100 \quad (3)$$

계면활성제 수용액의 접촉각은 농도 1 wt% 계면활성제 수용액 3.0  $\mu$ L을 슬라이드 글라스에 떨어뜨린 후 drop shape analysis system (Kruss DSA100, Germany)를 사용하여 측정하였다. 1 wt% 계면활성

제 수용액의 기포 생성력과 기포 안정성은 FoamScan (IFAC, Germany) 장치를 사용하여 25 °C에서 측정하였다. 기포 생성력은 기포가 160 cm<sup>3</sup>만큼 생성되는 데 필요한 시간을 기준으로 결정하였으며, 기포 안정성은 초기에 생성된 기포가 1500 s 동안 소멸한 기포 부피를 측정하여 나타내었다.

### 2.2.3. 계면활성제의 성능 평가

합성한 계면활성제의 경구 독성 및 피부 자극성 평가는 공인기관인 바이오톡스텍(biotoxtech)에서 진행하였다. 경구 독성 평가는 OECD Guideline Test Chemicals 423 method (Guideline for testing of chemicals: Acute oral toxicity)에 근거하여 측정하였으며, 반수치사량(lethal dose 50, LD<sub>50</sub>)으로 나타내었다[15]. 반수치사량이란 피실험 동물에 실험 대상 물질 투여 시 절반이 죽게 되는 양이며, 피실험 동물의 체중 kg 당 실험 대상 물질 투여량(mg)으로 나타내었다. 급성 피부자극성 시험은 OECD/OCDE 405 method (Guideline for testing of chemicals: Acute eye irritation/corrosion)에 근거하여 측정하였다[16].

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 계면활성제 분석

합성물 ASCO<sup>®</sup> SLES-226의 구조는 <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR 및 FT-IR 분광 광도계를 사용하여 분석하였으며, 각각의 결과를 Figure 1에 나타내었다.

<sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, CD<sub>3</sub>OD),  $\delta$ : 0.71~0.82, 3H(CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, t) 1.11~1.30, 18H(-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, m) 1.42~1.58, 2H(-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, d) 3.35~3.40, 2H(-CH<sub>2</sub>-O-, d) 3.48~3.68, 8H(-O-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O-, m) 3.85~3.90, 2H(-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O-SO<sub>3</sub>Na, d) 4.00~4.09, 2H(-CH<sub>2</sub>-O-SO<sub>3</sub>Na, d) (Fig. 1(a))

<sup>13</sup>C-NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>),  $\delta$ : 13.0, 22.3, 25.5, 25.7, 29.0, 29.1, 29.2, 29.3, 29.4, 31.7, 46.9, 47.1, 47.3, 47.5, 47.8, 48.0, 48.2, 66.7, 66.8, 67.7, 68.8, 69.2, 69.7, 70.1, 70.9, 71.0 (Fig. 1(b))

Figure 1(a)에 나타난 합성물 ASCO<sup>®</sup> SLES-226의 <sup>1</sup>H-NMR (CD<sub>3</sub>OD) 결과에서 볼 수 있듯이 1.11~1.30 ppm 피크는 ASCO<sup>®</sup> SLES-226의 알킬기를 나타내며, 3.35~3.40 ppm 피크는 알코올에 부가된 에틸렌 옥사이드의 proton (O-CH<sub>2</sub>)을 나타낸다. ASCO<sup>®</sup> SLES-226의 적외선 스펙트럼에서는 Figure 1(c)에서와 같이, O-H stretching band (3200~3500 cm<sup>-1</sup>), C-H stretching band (2850~3000 cm<sup>-1</sup>), S=O sulfate (1500~1650 cm<sup>-1</sup>) 등이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

합성물 ASCO<sup>®</sup> SLES-328의 구조는 <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR 및 FT-IR

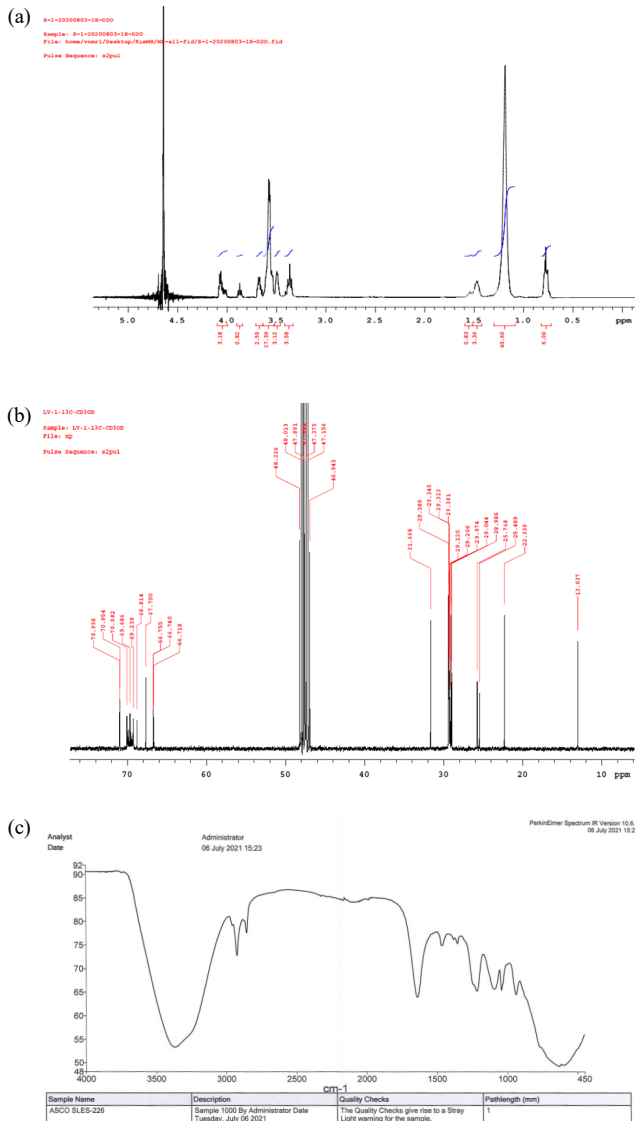


Figure 1. Spectral data of ASCO® SLES-226: (a) <sup>1</sup>H-NMR spectrum in CD<sub>3</sub>OD-D<sub>2</sub>O, (b) <sup>13</sup>C-NMR spectrum in CD<sub>3</sub>OD, (c) FT-IR spectrum.

분광 광도계를 사용하여 분석하였으며, 각각의 결과를 Figure 2에 나타내었다.

<sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, CD<sub>3</sub>OD),  $\delta$ : 0.85~0.95, 3H (CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, t) 1.21~1.42, 18H (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, m) 1.52~1.68, 2H (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, d) 3.45~3.52, 2H (-CH<sub>2</sub>-O-, d) 3.55~3.77, 12H (-O-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O-, m) 3.95~4.01, 2H (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O-SO<sub>3</sub>Na, d) 4.09~4.18, 2H (-CH<sub>2</sub>-O-SO<sub>3</sub>Na, d) (Figure 2(a))

<sup>13</sup>C-NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>),  $\delta$ : 13.0, 22.3, 25.5, 25.7, 29.0, 29.1, 29.2, 29.3, 29.4, 31.7, 46.9, 47.1, 47.3, 47.5, 47.7, 47.8, 48.0, 48.2, 66.7, 66.8, 67.7, 68.8, 69.2, 69.7, 70.1, 70.9, 71.0 (Fig. 2(b))

Figure 2(a)에 나타난 합성물 ASCO® SLES 328의 <sup>1</sup>H-NMR (CD<sub>3</sub>OD) 결과에서 볼 수 있듯이 1.11~1.30 ppm 피크는 ASCO® SLES 328의 알킬기를 나타내며, 3.45~3.52 ppm 피크는 알코올에 부가된 에틸렌 옥사이드의 proton (O-CH<sub>2</sub>)을 나타낸다. ASCO® SLES-328의 적외선 스펙트럼에서는 Figure 2(c)에서와 같이, O-H stretching

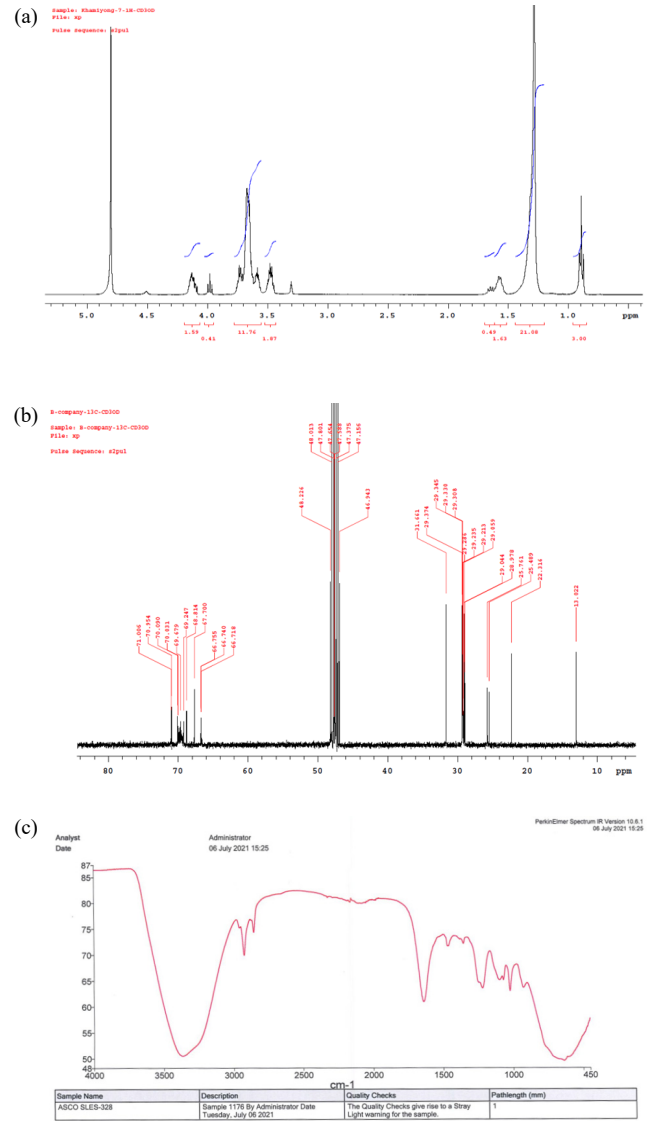


Figure 2. Spectral data of ASCO® SLES-328: (a) <sup>1</sup>H-NMR spectrum in CD<sub>3</sub>OD-D<sub>2</sub>O, (b) <sup>13</sup>C-NMR spectrum in CD<sub>3</sub>OD, (c) FT-IR spectrum.

band (3200~3500 cm<sup>-1</sup>), C-H stretching band (2850~3000 cm<sup>-1</sup>), S=O sulfate (1500~1650 cm<sup>-1</sup>) 등이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

합성물 ASCO® SLES-430의 구조는 <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR 및 FT-IR 분광 광도계를 사용하여 분석하였으며, 각각의 결과를 Figure 3에 나타내었다.

<sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, CD<sub>3</sub>OD),  $\delta$ : 0.87~0.92, 3H (CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, t) 1.11~1.20, 3H (-O-CH<sub>2</sub>-CH-CH<sub>3</sub>-, t) 1.22~1.40, 18H (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, m), 1.51~1.69, 3H (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-, t) 3.45~3.51, 3H (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O-, t) 3.52~3.73, 12H(-O-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O-, m) 3.96~4.00, 2H (-O-CH<sub>2</sub>-CH-CH<sub>3</sub>-O-SO<sub>3</sub>Na, d), 4.50~4.61, <sup>1</sup>H(-O-CH<sub>2</sub>-CH-CH<sub>3</sub>-O-SO<sub>3</sub>Na, s) (Fig. 3(a))

<sup>13</sup>C-NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>),  $\delta$ : 14.1, 18.2, 18.4, 22.7, 25.7, 26.0, 26.1, 29.3, 29.4, 29.5, 29.6, 31.9, 32.8, 63.0, 66.2, 70.0, 70.1, 70.5, 70.6, 71.4, 71.5, 76.2, 76.6, 77.0, 77.3 (Figure 3(b))

Figure 3(a)에 나타난 합성물 ASCO® SLES-430의 <sup>1</sup>H-NMR (CD<sub>3</sub>OD) 결과에서 볼 수 있듯이 1.22~1.40 ppm 피크는 ASCO®

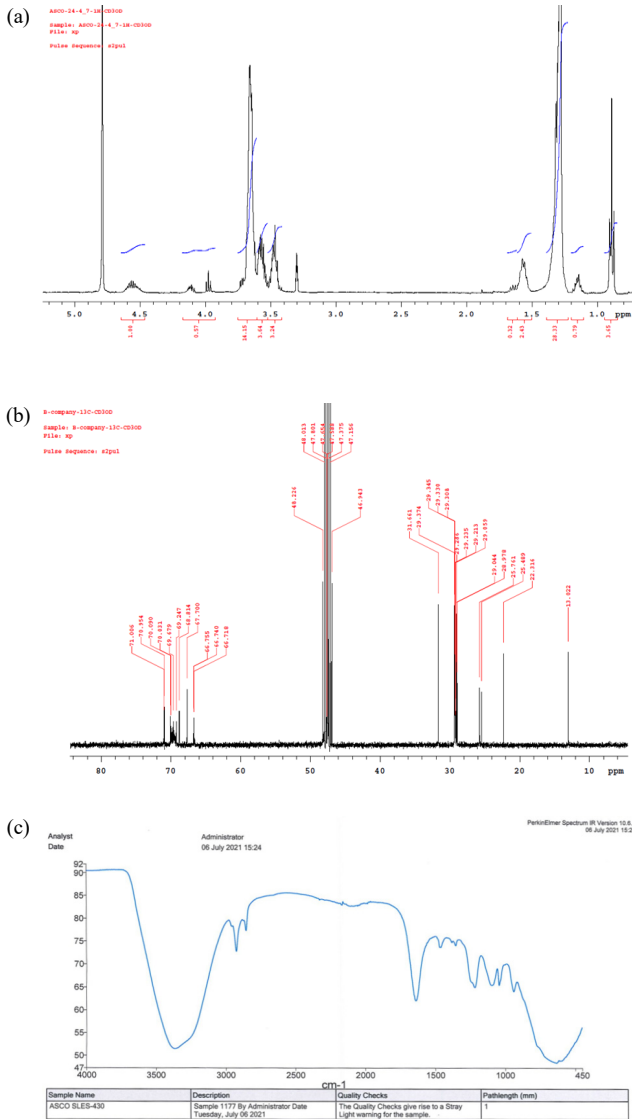


Figure 3. Spectral data of ASCO® SLES-430: (a) <sup>1</sup>H-NMR spectrum in CD<sub>3</sub>OD-D<sub>2</sub>O, (b) <sup>13</sup>C-NMR spectrum in CD<sub>3</sub>OD, (c) FT-IR spectrum.

SLES-430의 알킬기를 나타내며, 1.11~1.20 ppm 피크는 알코올에 부가된 프로필렌 옥사이드의 branch carbon proton (CH-CH<sub>3</sub>)을 나타내며, 4.50~4.61 ppm 피크는 프로필렌 옥사이드의 main chain의 branched carbon proton (O-CHCH<sub>3</sub>)을 나타낸다. ASCO® SLES-430의 적외선 스펙트럼에서는 Figure 3(c)에서와 같이, O-H stretching band (3200~3500 cm<sup>-1</sup>), C-H stretching band (2850~3000 cm<sup>-1</sup>), S=O sulfate (1500~1650 cm<sup>-1</sup>) 등이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3.2. 계면 특성

합성한 SLES 계면활성제 수용액의 농도 변화에 따른 표면장력과 탁도를 측정하여 Figure 4에 나타내었으며, 이 결과들로부터 결정된 계면활성제의 CMC와 CMC에서의 표면장력  $\gamma_{CMC}$ 를 Table 2에 정리하여 나타내었다. Table 2의 결과에서 볼 수 있듯이 ASCO® SLES-226, ASCO® SLES-328 및 ASCO® SLES-430 계면활성제의 CMC는 각각  $2.11 \times 10^{-3}$ ,  $2.48 \times 10^{-3}$  및  $2.31 \times 10^{-3}$  mol/L이었으며, CMC에서

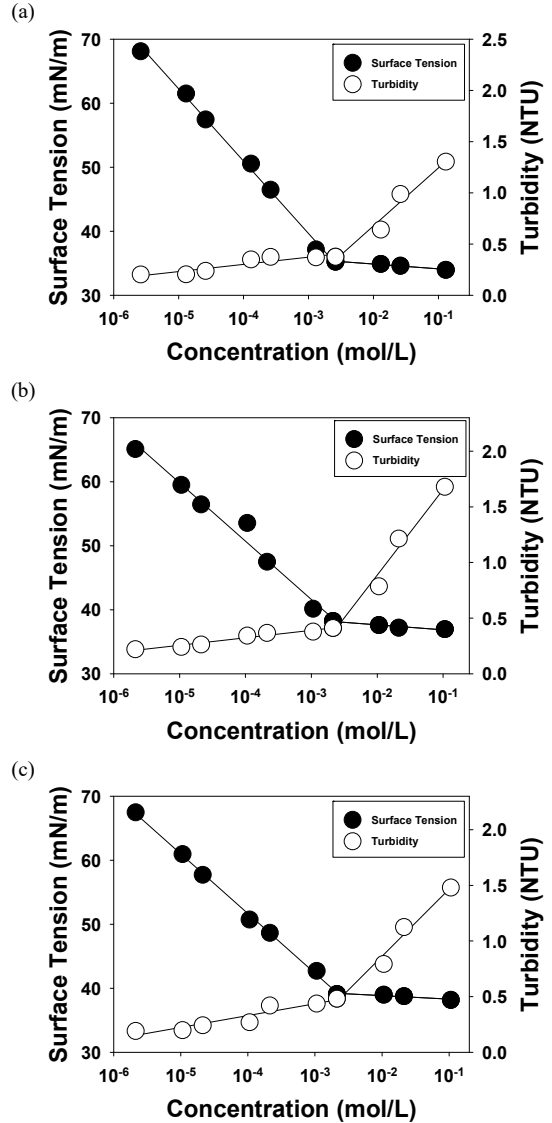


Figure 4. Surface tension measurement of surfactant solutions using a Du Noüy ring tensiometer at 25 °C: (a) ASCO® SLES-226, (b) ASCO® SLES-328, (c) ASCO® SLES-430.

의 표면장력  $\gamma_{CMC}$ 은 각각 36.00, 38.65 및 37.93 mN/m이었다. 에틸렌 옥사이드가 각각 2 몰과 3 몰이 부가된 ASCO® SLES-226과 ASCO® SLES-328를 비교해보면, 에틸렌 옥사이드 부가 몰수가 증가할수록 CMC와 CMC에서의 표면장력  $\gamma_{CMC}$  값이 모두 증가함을 알 수 있는데 이는 에틸렌 옥사이드 부가 몰수가 증가할수록 계면활성제 시스템의 친수성이 증가하기 때문이다[17,18]. 한편 동일한 몰수의 에틸렌 옥사이드가 부가되어 있는 ASCO® SLES-328 및 ASCO® SLES-430 계면활성제의 CMC와 CMC에서의 표면장력  $\gamma_{CMC}$  값을 비교해보면, 프로필렌 옥사이드를 1 몰 부가시킨 ASCO® SLES-430 계면활성제의 CMC와 CMC에서의 표면장력  $\gamma_{CMC}$  값이 ASCO® SLES-328에 비하여 모두 감소함을 알 수 있는데 이는 프로필렌 옥사이드를 부가할수록 계면활성제 시스템의 소수성이 증가하기 때문이다[19-21].

Figure 4에 나타난 계면활성제 농도 변화에 따른 표면장력 측정 결과로부터 CMC 이하 농도 조건에서의 기울기 값을 사용하여 표면 과잉 농도  $\Gamma$ 를 결정하였으며[18,22-24], 그 결과를 Table 2에 정리하여

**Table 2. Summary of Interfacial Properties of Surfactants Measured at 25 °C**

	CMC (mol/L)	$\gamma_{CMC}^a$ (mN/m)	$\Gamma^b$ (mol/m <sup>2</sup> )	$\sigma^c$ (Å <sup>2</sup> )	Contact angle <sup>c</sup> (°)	Emulsification index <sup>d</sup> (%)	Foaming ability <sup>f</sup> (sec)	Foam stability <sup>g</sup> (%)
ASCO <sup>®</sup> SLES-226	$2.11 \times 10^{-3}$	36.00	$1.22 \times 10^{-6}$	136.15	$32.07 \pm 2.20$	$53.65 \pm 3.75$	$158.5 \pm 2.12$	$15.62 \pm 4.42$
ASCO <sup>®</sup> SLES-328	$2.48 \times 10^{-3}$	38.65	$7.87 \times 10^{-7}$	211.07	$29.01 \pm 1.04$	$50.48 \pm 2.09$	$173.0 \pm 2.08$	$16.24 \pm 0.87$
ASCO <sup>®</sup> SLES-430	$2.31 \times 10^{-3}$	37.93	$8.17 \times 10^{-7}$	203.32	$29.94 \pm 0.38$	$49.59 \pm 1.49$	$204.0 \pm 2.00$	$29.07 \pm 0.94$

<sup>a</sup> Surface tension measured at CMC

<sup>b</sup> Surface excess concentration calculated using Gibbs adsorption equation

<sup>c</sup> Area occupied per surfactant molecule at the air-water interface

<sup>d</sup> Percentage of emulsion height with 1 wt% surfactant solution and n-hexadecane after 24 h

<sup>e</sup> Measured with 1 wt% surfactant concentration

<sup>f</sup> Time for foam volume to increase up to 160 cm<sup>3</sup> where initial foam was generated with 1 wt% surfactant solution

<sup>g</sup> Percentage of foam volume decrease during 1500 s, initially generated with 1 wt% surfactant concentration

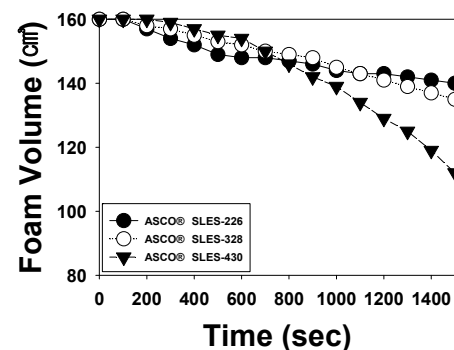
나타내었다. Table 2에서 볼 수 있듯이 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의  $\Gamma$ 는 각각  $1.22 \times 10^{-6}$ ,  $7.87 \times 10^{-7}$  및  $8.17 \times 10^{-7}$  mol/m<sup>2</sup>이었으며, 또한 식 (2)로부터 결정된 계면활성제 단분자가 물-공기 계면에서 차지하는 면적  $\sigma$ 는 각각 136.15, 211.07 및 203.32 Å<sup>2</sup>이었다. 일반적으로 계면활성제의 표면장력은 물-공기 계면에 배향하는 계면활성제 단분자의 농도가 높을수록 표면장력이 낮아진다[18,22-24]. 따라서 에틸렌 옥사이드가 각각 2 몰과 3 몰이 부가된 ASCO<sup>®</sup> SLES-226과 ASCO<sup>®</sup> SLES-328를 비교해보면, 에틸렌 옥사이드 부가 몰수가 감소할수록 계면활성제 시스템의 소수성이 증가하여 물-공기 계면에 배향하는 계면활성제 단분자의 농도가 증가하므로 ASCO<sup>®</sup> SLES-226가 ASCO<sup>®</sup> SLES-328에 비하여  $\Gamma$  값이 크고,  $\sigma$  값이 작음을 알 수 있다. 한편 동일한 몰수의 에틸렌 옥사이드가 부가된 ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제의  $\Gamma$ 와  $\sigma$  값을 비교해보면, 프로필렌 옥사이드를 1 몰 부가시킨 ASCO<sup>®</sup> SLES-430이 ASCO<sup>®</sup> SLES-328에 비하여  $\Gamma$  값이 크고  $\sigma$  값이 작음을 알 수 있다. 이는 프로필렌 옥사이드를 부가할수록 계면활성제 시스템의 소수성이 증가하여 물-공기 계면에 배향하는 계면활성제의 수가 증가하기 때문이며, ASCO<sup>®</sup> SLES-430이 ASCO<sup>®</sup> SLES-328과 비교하여 계면활성제 단분자가 물-공기 계면에서 좀 더 조밀하게(compact) 배향하는 것을 의미한다[18,22-24].

접촉각은 고체 표면의 액체에 대한 젖음성(wettability)을 평가하는 지표로 사용되며, 액체가 고체 표면 위에서 열역학적으로 평형을 이룰 때의 각으로서 액체, 고체 및 기체의 접촉점(contact point)에서 액체 방울 곡선의 끝점과 고체 표면의 접촉점으로부터 측정한다[17,18,22-24]. 접촉각이 높으면 고체 표면의 액체에 대한 젖음성이 낮고 소수성(hydrophobicity)으로 인하여 고체 표면은 낮은 표면 에너지(surface energy)를 갖지만 접촉각이 낮으면 고체 표면의 액체에 대한 젖음성이 높고 친수성(hydrophilicity)으로 인하여 고체 표면은 높은 표면 에너지 값을 갖는다[17,18,22-24]. 본 연구에서는 pendant drop tensiometer를 사용하여 1 wt% 계면활성제 수용액의 접촉각을 25 °C에서 측정하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 볼 수 있듯이 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 접촉각은  $32.07 \pm 2.20$ ,  $29.01 \pm 1.04$  및  $29.94 \pm 0.38$ °이었다. ASCO<sup>®</sup> SLES-328의 접촉각이 ASCO<sup>®</sup> SLES-226에 비해 작은 것은 상대적으로 친수성이 큰 ASCO<sup>®</sup> SLES-328이 ASCO<sup>®</sup> SLES-226에 비해 슬라이드 글라스 고체 표면에 대한 젖음성이 크다는 것을 의미한다. 또한 ASCO<sup>®</sup> SLES-430이 ASCO<sup>®</sup> SLES-328과 비교하여 접촉각이 큰 것은 ASCO<sup>®</sup> SLES-430이 상대적으로 소수성이

크므로 고체 표면에 대한 젖음성이 낮다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 CMC와 CMC에서의 표면장력 측정 결과와 일치함을 알 수 있다.

Foamsan을 이용하여 25 °C 온도 조건에서 1 wt% ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제 수용액에 대한 기포 생성력 및 안정성을 각각 측정하였으며, 그 결과를 Figure 5와 Table 2에 나타내었다. Figure 5와 Table 2에 나타낸 결과에서 볼 수 있듯이 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제 시스템에서 160 cm<sup>3</sup> 부피의 기포를 생성하는데 각각  $158.5 \pm 2.12$ ,  $173.0 \pm 2.08$  및  $204.0 \pm 2.00$  s 소요되는 것으로 나타났으며, 따라서 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제의 기포 생성력이 가장 낮은 것을 알 수 있다. 또한 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제 시스템에서 초기 생성된 기포의 부피 기준 1,500 s 동안 감소한 기포의 부피 퍼센트로 나타낸 기포 안정성은 각각  $15.62 \pm 4.42$ ,  $16.24 \pm 0.87$  및  $29.07 \pm 0.94$  %로 나타났으며, 이는 ASCO<sup>®</sup> SLES-430이 ASCO<sup>®</sup> SLES-226 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-328에 비하여 생성된 기포가 비교적 짧은 시간에 소멸하는 것을 의미한다. 따라서 ASCO<sup>®</sup> SLES-430이 ASCO<sup>®</sup> SLES-226 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-328에 비하여 기포가 잘 생성되지 않고 생성된 기포의 안정성도 떨어지는 것을 알 수 있다.

ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제 수용액의 기포 생성력 및 안정성 측정 결과는 표면장력 측정 결과와 일치하는 것을 알 수 있다. 즉, 표면장력이 높은 계면활성제 경우에는 수용액과 공기의 계면에 배향하는 계면활성제 단분자 수가 적어서 표면 에너지 저하 효과가 낮으므로 계면활성제 수용액-공기계면은 상대적으로 높은 에너지 상태를 유지하게 되어 기포가 불안



**Figure 5. Foam stability measurement at 25 °C by using Foamsan.**

**Table 3. Summary of Measurement of Toxicity and Skin Irritation Properties**

	Toxicity <sup>a</sup> (LD <sub>50</sub> ) (mg/kg)	Skin irritation score <sup>b</sup>
ASCO <sup>®</sup> SLES-226	> 2000 mg/kg	Unclassified
ASCO <sup>®</sup> SLES-328	> 2000 mg/kg	Unclassified
ASCO <sup>®</sup> SLES-430	> 2000 mg/kg	Unclassified

<sup>a</sup> The amount of substance required to kill 50% of the test rats within 24 h

<sup>b</sup> The primary skin irritation category measured 72 h after patch removal according to the globally harmonized system of classification and labeling of chemicals (GHS)

정하여 쉽게 파괴되게 된다[17,18,22-24]. 반면에 표면장력이 작은 계면활성제 경우에는 공기와 수용액의 계면에 배향하는 계면활성제 단분자 수가 많아서 표면 에너지를 효과적으로 낮출 뿐 아니라 기포 필름에 더욱 조밀하게 배향하여 표면 점도(surface viscosity)를 증가시켜 기포 사이에 위치한 배수(water film drainage) 속도를 감소시킴으로 인하여 기포는 안정한 상태를 유지하게 된다[17,18,22-24].

ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제 시스템의 유화력은 헥사데칸과 같은 부피의 1 wt% 수용액을 외류 믹서를 사용하여 5 min 동안 혼합한 후 24 h 후 에멀전 높이를 측정하는 방법으로 진행하였다. 유화 지수 EI는 식 (3)을 이용하여 결정하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2의 결과에서 볼 수 있듯이 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 유화 지수는 각각  $53.65 \pm 3.75$ ,  $50.48 \pm 2.09$  및  $49.59 \pm 1.49\%$ 로 측정되었으며, ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제의 유화력은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

### 3.3. 성능 시험

ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제의 인체 안전성 평가를 위해 급성 경구 독성 및 피부 자극 성능 시험을 시행하였으며, 그 결과들을 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 볼 수 있듯이 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제의 LD<sub>50</sub> 값은 2000 mg/kg으로서 기존 세제에 널리 사용되는 도데실벤젠설펜산 나트륨(sodium dodecylbenzenesulfonated) 음이온 계면활성제의 LD<sub>50</sub> 값인 650 mg/kg과 폴리옥시에틸렌라우닐에테르(polyoxyethylene lauryl ether, PLA) 비이온 계면활성제의 LD<sub>50</sub> 값인 1.19 mg/kg과 비교하여 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제 모두 독성이 매우 낮은 것을 알 수 있다[18,23,24].

급성 피부 자극 시험은 급성 피부 자극성 시험은 OECD/OCDE 405 method (Guideline for testing of chemicals: Acute eye irritation/corrosion)를 이용하여 측정하였으며[16], ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제 모두 “unclassified”로 측정되었다. 따라서 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제 모두 피부 자극성 문제는 없는 것으로 판단되었다. 따라서 급성 경구 독성 및 피부 자극 성능 시험 결과에 따르면 ASCO<sup>®</sup> SLES-226, ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제 모두 세제 제품 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 라우릴 알코올에 3 몰의 에틸렌 옥사이드와 1 몰의 프로필렌 옥사이드를 추가시킨 후 설폐이션 공정을 거쳐서 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제를 제조하였으며, 합성한 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 임계 마이셀 농도, 정적 표면장력, 유화력, 접촉각 등의 계면 물성과 경구 독성 및 피부 자극성 등의 안정성 지표 등을 측정하여 에틸렌 옥사이드가 각각 2 몰과 3 몰 부가하여 제조한 ASCO<sup>®</sup> SLES-226과 ASCO<sup>®</sup> SLES-328 계면활성제들과 비교하였다. 또한 본 연구의 관심사인 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 기포 생성력과 기포 안정성을 평가하여 기존의 ASCO<sup>®</sup> SLES-226과 ASCO<sup>®</sup> SLES-328과 비교함으로써 ASCO<sup>®</sup> SLES-430의 소형 세탁기용 세제 적용 가능성을 검토하였다.

동일한 몰수의 에틸렌 옥사이드가 부가되어 있는 ASCO<sup>®</sup> SLES-328 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제의 CMC와 CMC에서의 표면장력  $\gamma_{CMC}$  값을 비교해보면, 프로필렌 옥사이드를 1 몰 부가시킨 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제의 CMC와 CMC에서의 표면장력  $\gamma_{CMC}$  값이 ASCO<sup>®</sup> SLES-328에 비하여 모두 감소하였으며, ASCO<sup>®</sup> SLES-430이 ASCO<sup>®</sup> SLES-328과 비교하여 상대적으로 소수성이 크므로 고체 표면에 대한 젖음성이 낮은 것을 알 수 있었다. 특히 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제는 기존에 세제 산업에서 사용하고 있는 계면활성제들에 비하여 독성이 매우 낮고 피부에 대한 자극성이 없으며, ASCO<sup>®</sup> SLES-226 및 ASCO<sup>®</sup> SLES-328에 비하여 기포 생성력이 낮고 생성된 기포도 쉽게 소멸하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 에틸렌 옥사이드 3 몰과 프로필렌 옥사이드를 1 몰이 부가된 ASCO<sup>®</sup> SLES-430 계면활성제는 계면 활성이 비교적 우수하고 기포의 발생량을 줄일 수 있는 장점 등으로 소형 세탁기용 세제로의 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

## 감 사

본 연구는 산업통상자원부 월드클래스플러스사업 (P133500002, 탄소 중립화를 위한 바이오 천연원료 사용으로 가정용 주방, 개인용품 및 화장품 적용이 가능한 친환경 음이온 계면활성제 개발)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

- C. Cowan-Ellsberry, S. Belanger, P. Dorn, S. Dyer, D. McAvoy, H. Sanderson, D. Versteeg, D. Ferrer, and K. Stanton, Environmental safety of the use of major surfactant classes in north america, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, **44**, 1893-1993 (2014).
- P. R. Darapureddi and R. R. Nayak, Synthesis, surface properties and effect of an amino acid head group of 11-(2-methoxy-4-vinylphenoxy)undecanoic acid-based anionic surfactants, *J. Surfactants Deterg.*, **19**, 1133-1142 (2016).
- T. Cserhádi, E. Forgács, and G. Oros, Biological activity and environmental impact of anionic surfactants, *Environ Int.*, **28**, 337-348 (2002).
- A. Wibbertmann, I. Mangelsdorf, K. Gamon, and R. Sedlak, Toxicological properties and risk assessment of the anionic surfactants category: Alkyl sulfates, primary alkane sulfonates, and  $\alpha$ -olefin sulfonates, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **74**, 1089-1106,

- (2011).
5. I. S. Bair, W. J. Kim, G. Y. Chi, D. S. Han, and S. S. Bae, Liquid detergent composition with good foaming power and low temperature stability, *KOR Patent* 1020020067743 (2002).
  6. Y. K. Oh, K. H. Cho, S. W. Kwak, J. H. Baek, and H. S. Ryu, Laundry detergent composition and method for preparing there of, *KOR Patent* 1020050076646 (2005).
  7. S. T. Eum, Composition of non-hazardous detergent, *KOR Patent* 1020030090214 (2003).
  8. C. U. Lee, Liquid neutral detergent compositions for minimizing the damage on clothing and skin, *KOR Patent* 1019940033917 (1994).
  9. J. J. Bickerman, *Foams: Theory and Industrial Applications*, **1**, 1-27, Reinhold Publishing Co., New York, USA (1953).
  10. R. K. Prudhomme and S. A. Khan, *Foams: Theory, Measurements, and Applications*, **57**, 401-410, CRC Press, New York, USA (1996).
  11. D. Exerowa and P. M. Kruglyakov, *Foam and Foam Films: Theory, Experiment, Application*, **5**, 502-504, Elsevier Science, Amsterdam, NLD (1988).
  12. P. R. Garrett, *Defoaming: Theory and Industrial Application*, **45**, 221-268, CRC Press, New York, USA (1993).
  13. Y. Hyunjung, L. Arum, S. Eugene, and A. Heari., Analysis of consumption life characteristics of single-person households using consumption life indicators in Korea, *J. Consum. Policy.*, **48**, 277-301 (2017).
  14. N. E. Lee and S. Y. Kim, A Study on designing user-friendly washing machines for single people in their 20's and 30's- user research on goal directed design process, *HCI Korea 2014*. February 12-14, Jeongseon, Korea (2014).
  15. OECD 423 Guideline for testing of chemicals: Acute oral toxicity (2002).
  16. OECD/OCDE, 404 Guideline for testing of chemicals: Acute dermal irritation/corrosion (2015).
  17. J. C. Lim, M. C. Lee, T. K. Lim, and B. J. Kim, Synthesis of sorbital based nonionic surfactants and characterization of interfacial and adhesive properties for waterborne pressure sensitive adhesives, *Colloids Surf. A*, **446**, 80-89 (2014).
  18. S. M Lee, J. Y. Lee, H. P. Yu, and J. C. Lim, Synthesis of environment friendly nonionic surfactants from sugar base and characterization of interfacial properties for detergent application, *J. Ind. Eng. Chem.*, **38**, 157-166 (2016).
  19. Y. Du, Z. H. Zhou, M. Gao, L. Han, L. Zhang, F. Yan, M. Wang, and L. Zhang, Adsorption and wettability of extended anionic surfactants with different PO numbers on a polymethylmethacrylate surface, *Soft Matter*, **17**, 6426-6434 (2021).
  20. X. Liu, Y. Zhao, Q. Li, and J. Niu, Surface tension, interfacial tension and emulsification of sodium dodecyl sulfate extended surfactant, *Colloids Surf. A*, **494**, 201-208 (2016).
  21. Y. Du, Q. Zhang, Y. Zhu, Z. Zhou, F. Zhang, L. Zhang, F. Yan, M. Wang, and L. Zhang, Adsorption of extended surfactants at the water-PTFE interface: The effect of PO number, *J. Mol. Liq.*, **348**, 118465 (2022).
  22. K. H. Park and J. C. Lim, Synthesis of phospholipid based zwitterionic surfactant from coconut oil source and characterization of their interfacial, antiseptic and antiviral properties, *J. Ind. Eng. Chem.*, **115**, 241-250 (2022).
  23. Y. J. Lee, K. H. Park, H. D. Shin, and J. C. Lim, Synthesis of carboxylate-based anionic surfactant from coconut oil source and characterization of interfacial properties, *Appl. Chem. Eng.*, **32**, 260-267 (2021).
  24. D. N. Yea, S. M. Lee, S. H. Jo, H. P. Yu, and J. C. Lim, Preparation of environmentally friendly amino acid-based anionic surfactants and characterization of their interfacial properties for detergent products formulation, *J. Surfactants Deterg.*, **21**, 541-552 (2018).

#### Authors

Jeong Min Lee; B.Sc., Graduate Student, Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University, Seoul 04620, Korea; mini079411@naver.com

Ki Ho Park; M.Sc., Graduate Student, Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University, Seoul 04620, Korea; pkh@aekyung.kr

Hee Dong Shin; M.Sc., Graduate Student, Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University, Seoul 04620, Korea; wonhyoprince@naver.com

Woo Jin Jeong; B.Sc., Graduate Student, Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University, Seoul 04620, Korea; krong226@naver.com

Jong Choo Lim; Ph.D., Professor, Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University, Seoul 04620, Korea; jongchoo@dongguk.edu