

## 폴리옥시에틸렌계 반응성 계면활성제의 합성 및 물성

조정은\* · 이상철\*\* · 박종권\*\* · 김경실\*\* · 신혜린\* · 김유리\*\* · 신승훈\*\* · 정노희\*,†

\*충북대학교 공과대학 공업화학과, \*\*대양포리솔  
(2019년 1월 11일 접수, 2019년 2월 11일 심사, 2019년 2월 22일 채택)

## Synthesis and Properties of Polyoxyethylene Reactive Surfactant

Jung-Eun Cho\*, Sang-Chul Lee\*\*, Jong-Kwon Park\*\*, Kyung-Sil Kim\*\*, Hye-Lin Shin\*, Yu-Ri Kim\*\*,  
Seung-Hoon Shin\*\*, and Noh-Hee Jeong\*,†

\*Department of Engineering Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea  
\*\*Daeyang polysol Co.,LTD, Sandanro 87, Heungdeok-gu, Cheongju, Korea  
(Received January 11, 2019; Revised February 11, 2019; Accepted February 22, 2019)

### 초 록

본 실험에서 반응성 계면활성제는 비이온성 계면활성제인 polyoxyethylene(23) lauryl ether(Brij 35)와 polyoxyethylene(20) stearyl ether(Brij S20)를 acrylic acid 또는 3-butenic acid를 사용하여 합성하였다. 계면활성제는 FT-IR과 <sup>1</sup>H-NMR로 확인하였으며, 물성은 임계미셀농도, 유화력, 기포력을 측정하였다. 합성한 반응성 계면활성제의 표면장력과 임계미셀 농도는 35 dyne/cm~41 dyne/cm에서  $1.0 \times 10^{-4}$  mol/L~ $9.7 \times 10^{-5}$  mol/L의 값을 가진다. 또한, 계면활성제의 유화력은 대두유, 벤젠, 모노머에서 측정하였으며, 기포의 초기 높이 및 5 min 후의 높이를 측정하여 비교하였다.

### Abstract

In this paper, reactive surfactants were synthesized by using acrylic acid or 3-butenic acid as nonionic surfactants, polyoxyethylene(23) lauryl ether (Brij 35) and polyoxyethylene(20) stearyl ether (Brij S20). The synthesis of surfactants was confirmed by FT-IR and <sup>1</sup>H-NMR. The surface tension, emulsifying property, and foam power and stability were also measured. The surface tension value was 35~41 dyne/cm at an critical micelle concentration (cmc) which was measured as  $1.0 \times 10^{-4}$ ~ $9.7 \times 10^{-5}$  mol/L using a surface tension method. The emulsifying power of synthesized surfactant was measured with benzene, soybean oil and monomer. Also, the initial height of the bubbles and the height after 5 minutes were measured and the values were compared with each other.

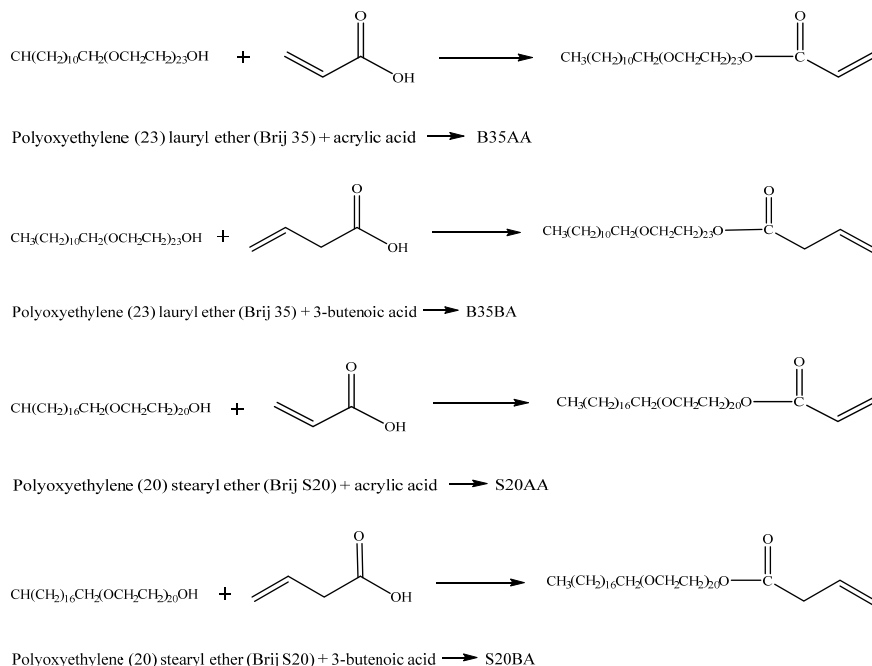
**Keywords:** Reactive surfactants, Polyoxyethylene nonionic surfactants, 3-butenic acid, Critical micelle concentration, Foam stability

## 1. 서 론

계면활성제는 한 분자 내에 친수기와 소수기를 동시에 가진 대표적인 양친매성 화합물로서 용액의 표면장력 저하, 습윤, 유화, 가용화, 분산, 기포성 등의 특성을 가지며, 분자 내의 친수성-소수성 그룹사이의 상호작용에 의하여 일정한 질서를 갖게 되어 열역학적으로 안정된 콜로이드 상태의 초분자 결집체를 형성할 수 있다[1,2]. 계면활성제는 친수기의 종류에 따라서 물에 녹았을 때 음이온 또는 양이온으로 해리되는 이온성 계면활성제와 이온으로 되지 않는 비이온성 계면활성제로 분류된다[3-5]. 그중, 비이온성 계면활성제는 친수기가 전하를 띠지 않는 계면활성제를 뜻하며, 수용액에 녹아 작용기의 해리가 일

어나지 않는 것이 특징이다[6-8]. 비이온성 계면활성제의 종류로는 작용기에 따라 에테르형, 에스테르형, 에스테르에테르형, 아미드형 등이 있으며, 친수성 혹은 친유성기의 수를 조절하여 다양한 용도로 쓰인다는 이점이 있다. 또한, 비이온 계면활성제는 이온 계면활성제에 비하여 낮은 임계 미셀 농도와 큰 회합수, 높은 가용화력, 낮은 기포력, 비교적 경도와 전해질 농도에 덜 민감한 성질 등의 장점들을 갖고 있어서 세제, 샴푸, 세정제 등의 생활용품을 비롯한 다양한 산업에서 널리 사용되고 있다[9-11]. 비이온 계면활성제의 임계 미셀 농도는 비교적 낮아서 낮은 농도의 계면활성제를 물에 첨가하여도 계면활성제 집합체를 쉽게 형성하게 된다[11-13]. 비이온 계면활성제를 이용한 반응성 계면활성제의 활용성을 높이기 위하여 카르복실산계를 첨가한 반응성 계면활성제가 제조되고 있다. 또한, 비이온성 계면활성제는 폴리옥시에틸렌 알킬에테르, 폴리옥시에틸렌 알킬페닐에테르 등의 폴리옥시에틸렌계 계면활성제가 주류를 이루고 있다. 이를 통하여, 폴리옥시에틸렌계를 이용한 반응성 계면활성제를 유화 중합에서 많은 연구가 이루어지고 있다[14-16].

† Corresponding Author: Chungbuk National University,  
Department of Engineering Chemistry, Cheongju 28644, Korea  
Tel: +82-43-261-2440 e-mail: nhjeong@cbnu.ac.kr



**Scheme 1. The reaction mechanism of synthesized reactive surfactants.**

본 연구에서는 접착제 제조에 일반적으로 사용되는 비이온계면활성제인 polyoxyethylene(23) lauryl ether(Brij 35), Polyoxyethylene(20) stearyl ether(Brij S20)를 acrylic acid 또는 3-butenic acid와 반응하여 활용성을 증가시키기 위하여 반응성 계면활성제를 합성하였다. 그리고 합성화합물의 합성 여부를 확인하기 위하여 합성화합물을 FT-IR과  $^1\text{H-NMR}$ 을 이용해 구조를 확인하였으며, 합성화합물의 탄소사슬 길이에 따른 계면물성을 비교하기 위해 표면장력, 임계미셀농도(critical micelle concentration, cmc), 유화력, 기포력 등의 물성을 측정하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험재료 및 장치

본 실험에 사용된 비이온 계면활성제인 polyoxyethylene(23) lauryl ether, polyoxyethylene(20) stearyl ether는 Junsei Chemical Co.에서 구입하였으며, 3-butenic acid는 Sigma-Aldrich에서 구입하였다. 또한, acrylic acid, p-toluene sulfonic acid monohydrate, benzene, sodium carbonate는 Samchun Pure Chemical Co.에서 각각 구입하여 정제 없이 사용하였다.

### 2.2. Polyoxyethylene alkyl ether acrylate의 합성

500 mL 4구 등근바닥 플라스크에 비이온계면활성제 polyoxyethylene(23) lauryl ether 0.1 mol 또는 polyoxyethylene(20) stearyl ether 0.1 mol과 acrylic acid 0.1 mol 또는 3-butenic acid 0.1 mol을 넣고 촉매 p-toluene sulfonic acid monohydrate 0.01 mol과 용매 benzene을 70 °C에서 5 h 동안 반응을 진행한다. 반응이 완료된 후 sodium carbonate 0.01 mol 투입 후 1 h 탈촉 시킨 후 분액깔때기를 이용하여 물로 정제과정을 거친 후, 회전농축증발기로 감압 증류하여 반응성 계면활성제를 얻는다(Scheme 1).

### 2.3. 구조 분석

합성한 계면활성제의 구조를 확인하기 위해 Bruker Co.의 수소핵자기공명분석기  $^1\text{H NMR DPX-500}$ 을 사용하였으며, 실온에서 측정하여 내부 표준물질로는 tetramethylsilane (TMS) 용매 사용하여  $\delta$  단위(ppm)로 표시하였다. 또한, 적외선 분광광도계는 Jasco Co.의 FT-IR 480 plus를 사용하였다.

### 2.4. 물성 평가

계면활성제의 표면장력 측정은 Wilhelmy plate법을 이용하여 25 °C에서  $10^{-5}$  mol/L~ $10^{-1}$  mol/L 농도 범위 내에서 계면활성제 수용액을 만든 후 표면장력계를 이용하여 3회 측정 후 평균값으로 하였다. 계면활성제의 임계미셀농도는 측정한 표면장력의 변곡점 내에서 여러 농도의 수용액을 만든 후 산정하였다[17-19]. 기포력 측정은 KSM ISO 696:2008의 규정에 따라 Ross-Miles법에 의한 기포력 측정 장치를 사용하여 25 °C에서 0.1 wt%의 수용액의 기포력을 3회 반복 측정된 값의 평균치를 나타내었으며, 5 min 지난 후 거품의 높이를 측정하여 거품의 안정도로 표시하였다[20]. 유화력 측정은 Rosano와 Kimura의 방법을 개량하여 측정하였다[21]. 200 mL 비커에 0.1 wt% 농도의 시료가 용해된 수용액 50 mL와 식물유인 대두유와 유기용매인 벤젠, 모노머 각 3가지를 50 mL 취하고 호모게나이저(WiseTis<sup>®</sup>)를 이용하여 3,000 rpm에서 10 min간 교반시켰다. 유화된 액체를 100 mL의 메스실린더에 넣고 실온에서 방치한 다음 일정 시간마다 유화된 액상 전체 부피에 대한 감소비율을 구하여 유화력으로 표시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. $^1\text{H-NMR}$ 에 의한 반응성 계면활성제의 분석

합성화합물에 대한  $^1\text{H-NMR}$  chemical shift의 측정결과를 Figures 1과 2에 도시하였으며, 각 합성화합물의 중요 시그널을 Table 1에 나타내었다.  $^1\text{H-NMR}$  스펙트럼은 장쇄 알킬기의 말단 메틸기의 수소에 대

Table 1. <sup>1</sup>H-NMR Chemical Shift

Surfactants	Chemical shift (ppm)								
	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub>	-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -	-CH <sub>2</sub> O-	-(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>n</sub> -	CH <sub>2</sub> =CHC=O	CH <sub>2</sub> =CHC=O	CH <sub>2</sub> =CH-CH <sub>2</sub> C=O	CH <sub>2</sub> =CH-CH <sub>2</sub> C=O	CH <sub>2</sub> =CH-CH <sub>2</sub> C=O
B35AA	0.79 (3H)	1.15 (20H)	1.42 (2H)	3.59 (92H)	6.1 (1H)	6.30(1H) 5.85(1H)	-	-	-
B35BA	0.89 (3H)	1.25 (20H)	1.6 (2H)	3.64 (92H)	-	-	3.1 (2H)	5.92 (1H)	5.19 (2H)
S20AA	0.80 (3H)	1.19 (32H)	1.46 (2H)	3.60 (80H)	6.0 (1H)	6.30(1H) 5.88(1H)	-	-	-
S20BA	0.82 (3H)	1.23 (32H)	1.50 (2H)	3.59 (80H)	-	-	3.08 (2H)	5.83 (1H)	5.12 (2H)

Table 2. FT-IR of Functional Groups

Surfactants	Frequency (cm <sup>-1</sup> )			
	C-H (alkane)	C=O (ester)	C=C (alkene)	C-O-C (ether)
B35AA	2,920, 2,873	1,724	1,644	1,105
B35BA	2,917, 2,882	1,735	1,642	1,113
S20AA	2,915, 2,883, 2,850	1,730	1,641	1,113
S20BA	2,849, 2,883, 2,915	1,732	1,643, 1,650	1,112

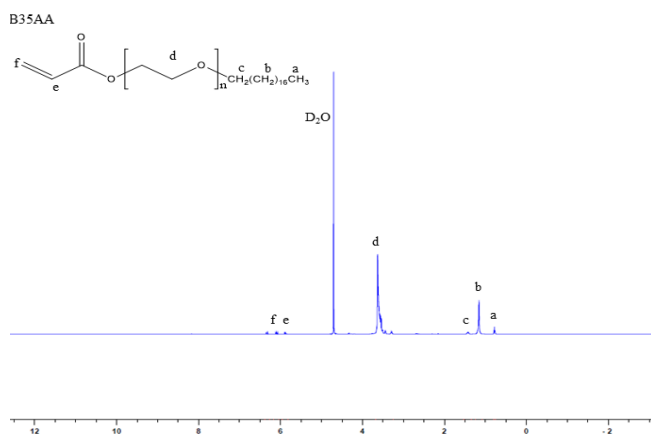


Figure 1. <sup>1</sup>H-NMR Chemical shift of B35AA.

한 시그널이 0.80~0.87 ppm, -(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>이 1.25~1.29 ppm, -OCH<sub>2</sub>-이 1.46~1.58 ppm, -(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>이 3.57~3.70 ppm, 3-butenic acid에 의한 -CH<sub>2</sub>-C=O이 3.0~3.14 ppm, CH<sub>2</sub>=CH-CH<sub>2</sub>이 5.83~5.98 ppm, CH<sub>2</sub>=CH-CH<sub>2</sub>이 5.15~5.21 ppm으로 나타났고 acrylic acid에 의한 CH<sub>2</sub>=CHC=O이 6.00~6.12 ppm, CH<sub>2</sub>=CHC=O이 5.86~5.92 ppm, 6.26~6.31 ppm으로 나타났다. 두 가지의 합성화합물의 스펙트럼은 유사하게 측정이 되었고, 이를 통하여 반응성 계면활성제가 합성된 것을 확인하였으며, 합성화합물 모두 상온에서 고체 상태로 굳어졌다. 최종 합성 수율은 77~80%가 얻어졌다.

### 3.2. FT-IR에 의한 합성 계면활성제의 분석

계면활성제의 합성 여부를 확인하기 위해 분석결과를 Table 2에 나타내었다. FT-IR 스펙트럼에서 화합물의 주요 특성피크를 살펴보면, C-H기의 신축 진동피크는 2,840~3,000 cm<sup>-1</sup>, 에스테르의 C=O기 피크는 1,720~1,780 cm<sup>-1</sup>, 알켄의 C=C기 피크는 1,640~1,680 cm<sup>-1</sup>, 에터

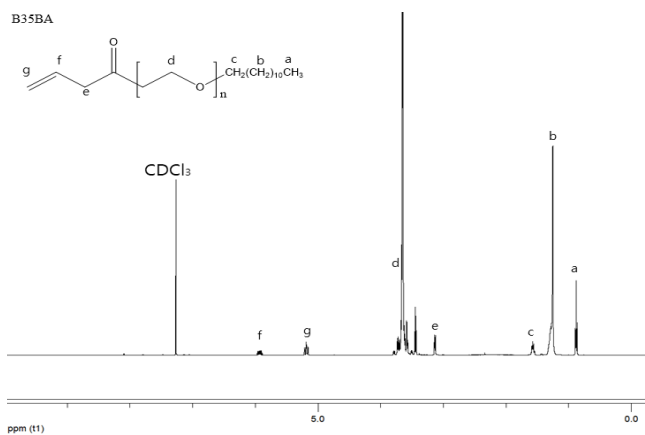


Figure 2. <sup>1</sup>H-NMR Chemical shift of B35BA.

의 C-O-C기 피크는 1,100~1,110 cm<sup>-1</sup>에서 나타났다. 이의 결과로 반응성 계면활성제가 합성되었음을 확인하였다.

### 3.3. Hydrophilic lipophile balance (HLB) 계산

계면활성제를 구성하고 있는 친수기와 친유기의 상대적 강도에 따라 친수성 혹은 친유성의 정도를 수치로 나타낸 것을 J. T. Davies법을 이용하여 산정하였고 아래의 식 (1)으로 계산한다.

$$HLB = 7 + \sum(\text{hydrophilic group}) - \sum(\text{hydrophobic group}) \quad (1)$$

계면활성제의 HLB 값은 Davies의 산정 방식에 의하여 B35AA은 10.8, B35BA는 10.3, S20AA는 6.9, S20BA는 6.4로 계산되었다. HLB가 6~10일 때는 O/W 에멀전 유화제로 사용이 가능하다.

Table 3. Surface Properties of Synthesized Reactive Surfactants

Surfactants	T cloud (°C)	$\gamma_{cmc}$ (mN/m)	cmc (mol/L)	$\Gamma_{max}$ (mol/cm <sup>3</sup> )	A <sub>min</sub> (nm <sup>2</sup> )
B35AA	< 0	39.61	$9.77 \times 10^{-5}$	2.6	0.64
B35BA	< 0	35.80	$1.02 \times 10^{-4}$	3.22	0.52
S20AA	< 0	40.32	$5.5 \times 10^{-5}$	3.14	0.53
S20BA	< 0	38.28	$9.55 \times 10^{-5}$	3.45	0.48

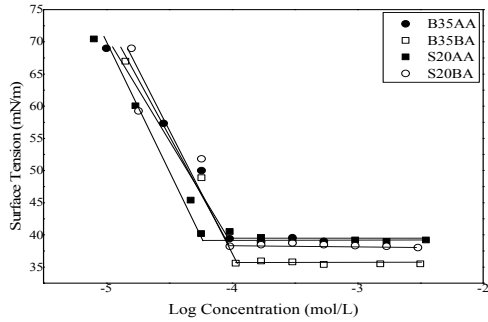


Figure 3. Surface tension of reactive surfactants.

3.4. 표면장력

계면활성제의 표면장력 측정은  $10^{-5} \sim 10^{-1}$  mol/L 농도의 계면활성제 수용액을 만든 후 Wilhelmy plate법을 이용하여 측정하였다. 각 반응성 계면활성제의 표면장력( $\gamma_{cmc}$ )을 측정하여 임계미셀농도를 Figure 3에 나타내었다. B35AA의 표면장력은 39.6 mN/m일 때의 임계미셀농도는  $9.54 \times 10^{-5}$  mol/L의 값이다. B35BA의 표면장력은 35.94 mN/m일 때의 임계미셀농도는  $1.02 \times 10^{-4}$  mol/L의 값을 나타내었다. S20AA의 표면장력은 39.97 mN/m일 때의 임계미셀농도는  $5.62 \times 10^{-5}$  mol/L의 값이다. S20BA의 표면장력은 38.82 mN/m일 때의 임계미셀농도는  $9.55 \times 10^{-5}$  mol/L의 값을 나타내었다. 탄소 길이에 따라  $-\log[cmc]$  값은 감소하는 것을 확인할 수 있고, 입자를 형성하는 표면에 배향하는 입자의 크기가 작아져서 농도가 높아질수록 표면장력이 낮아지는 현상을 보였다. 최대 표면 초과 농도( $\Gamma_{max}$ )와 분자당 최소 영역( $A_{min}$ )에 관하여 식 (2)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \Gamma_{max} &= (1/RT)(-d\gamma/d\ln C)_T \\ &= (4.606RT)^{-1}(-\partial\gamma/\partial\log C)_T \end{aligned} \tag{2a}$$

$$A_{min} = 10^{14}/(N\Gamma_{max}) \tag{2b}$$

R은 이상기체상수 8.314 J/mol, T는 켈빈 온도,  $(-\partial\gamma/\partial\log C)_T$ 는  $\log C$ 에 대한 표면장력 기울기를 나타낸다. N은 아보가드로 수  $6.023 \times 10^{23}$ 이다. 최대 표면 초과 농도( $\Gamma_{max}$ )와 분자당 최소 영역( $A_{min}$ )을 Table 3에 나타내었다.

3.5. Cloud point 측정

교반봉, 온도계 등이 부착된 유리 시험관을 항온수조 내에 장치하여 측정하였다. 온도를 일정하게 유지시킬 수 있는 장치에 합성된 반응성 계면활성제를 각각 1 wt% 시료 수용액으로 만들고 용액을 튜브에 담아 항온수조 내에 고정된 후 서서히 가열하면 특정 온도에서 불투명하게 되는데, 불투명하게 되는 온도보다 약 5~10 °C 정도 더 가열한 후 서서히 냉각시키면서 용액이 뿌옇게 변하는 온도를 측정하였

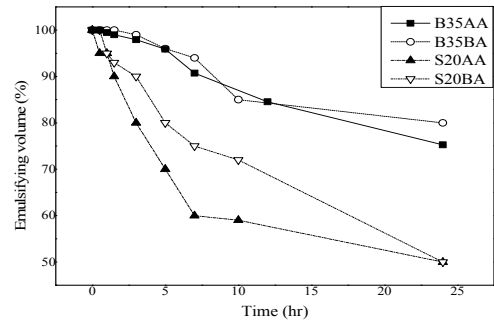


Figure 4. Emulsifying volume of monomer with synthesized surfactants.

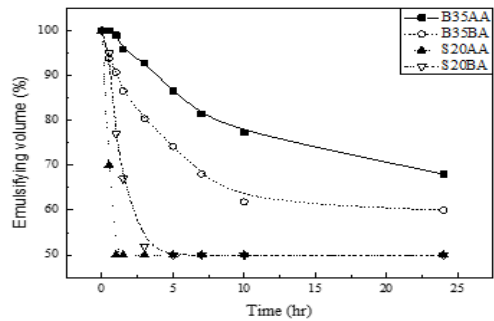


Figure 5. Emulsifying volume of benzene with synthesized surfactants.

다. 실험을 통해 합성한 계면활성제의 cloud point가 전부 0 °C 이하임을 확인하였는데, 이러한 결과는 합성한 계면활성제가 낮은 온도에서도 좋은 물성을 나타낼 수 있어서 다양한 분야의 산업에 적용을 기대할 수 있다.

3.6. 유효력

계면활성제의 유효력은 Rosano와 Kimura의 방법을 이용하여 측정하였다. 200 mL 비이커에 0.1 wt% 농도의 시료가 용해된 수용액 50 mL와 모노머 2-ethyl hexylacrylate와 vinyl acrylate를 각각 25 mL 취하고 균질기를 이용하여 3,000 rpm에서 10 min간 교반시켰다. 또한, 유기용매인 벤젠과 대두유에서 각각의 유효력을 측정하였다. 모노머, 벤젠, 대두유에서 유효력 측정결과 시간의 흐름에 따라 서서히 유효상이 감소하는 경향을 보였으며, Figure 4에서 모노머의 유효력은 상대적으로 B35AA와 B35BA가 70% 이상의 유효력을 보였으며, S20AA와 S20BA는 5 h까지 급격히 감소하였으며 그 이후 50%까지 감소하였다. 벤젠에서의 유효력 측정결과 시간의 흐름에 따라 서서히 유효상이 감소하는 경향을 보였으며, B35AA와 B35BA는 10 h 후 60% 이상 유지하는 것을 확인하였다. S20AA와 S20BA는 초기 유효력이 급격히 감소함을 Figure 5에서 보여주고 있다. 대두유에서는 B35BA가 나머지 반응성 계면활성제보다 65% 이상의 유효력을 Figure 6에서 보

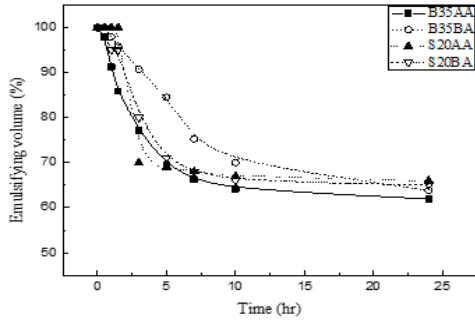


Figure 6. Emulsifying volume of soybean oil with synthesized surfactants.

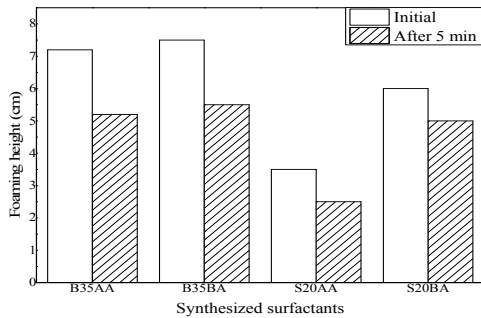


Figure 7. Foaming power and stability of synthesized reactive surfactants.

여준다. 그 결과로 polyoxyethylene(23) lauryl ether로 합성한 반응성 계면활성제가 더 우수한 유화력을 보였다.

### 3.7. 기포력

Figure 7은 기포력 및 기포 안정도를 측정한 결과이다. 결과를 보면 B35AA와 B35BA의 경우 초기의 높이가 각각 7, 7.5 cm의 기포력을 가졌으며, S20AA와 S20BA의 초기 기포 높이는 각각 3, 6 cm의 기포력을 나타내었다. Brij 35의 비이온 계면활성제를 사용하였을 때가 초기 기포 높이의 우수함을 보였다. 5 min 후의 기포력에서는 B35AA와 B35BA의 경우 3.3, 6 cm의 기포력을 가졌으며, S20AA와 S20BA의 기포 높이는 각각 2.4, 5 cm의 기포력을 나타내었다. 3-butenoic acid를 이용한 경우가 acylic acid를 이용한 계면활성제보다 기포력이 좋았으며, polyoxyethylene의 개수가 많은 Brij 35를 사용했을 때가 더 우수한 기포력을 나타내었다.

## 4. 결 론

본 실험에서 polyoxyethylene(23) lauryl ether(Brij 35), polyoxyethylene(20) stearyl ether(Brij S20)을 acrylic acid 또는 3-butanoic acid와 반응시켜 반응성 계면활성제를 합성하였고 물성을 비교하였다.

1. 합성한 반응성 계면활성제의 합성수율은 77~80%로 반응이 진행되었으며, 백색의 고체의 형성을 나타내었다. Cloud point는 4가지 모두 0 °C 이하로 측정되었으며, HLB는 6~10 범위의 값으로 계산되었다.

2. 25°C에서 임계미셀농도와 표면장력은 B35AA의 표면장력은 39.6 mN/m일 때의 임계미셀농도는  $9.54 \times 10^{-5}$  mol/L의 값이다. B35BA의 표면장력은 35.94 mN/m일 때의 임계미셀농도는  $1.02 \times 10^{-4}$  mol/L의 값을 나타내었다. S20AA의 표면장력은 39.97 mN/m일 때의 임계미셀농도는  $5.62 \times 10^{-5}$  mol/L의 값이다. S20BA의 표면장력은 38.82 mN/m

일 때의 임계미셀농도는  $9.55 \times 10^{-5}$  mol/L의 값을 나타내었다.

3. 유화력은 모노머, 벤젠, 대두유에서 유화력 측정결과 시간의 흐름에 따라 서서히 유화상이 감소하는 경향을 보였으며, polyoxyethylene(23) lauryl ether로 합성한 반응성 계면활성제가 더 우수한 유화력을 보였다. 기포력은 3-butenoic acid를 이용한 경우가 acylic acid보다 기포력이 좋았으며, polyoxyethylene(23) lauryl ether를 사용했을 때가 더 우수한 기포력을 나타내었다.

## 감 사

이 연구는 중소벤처기업부의 일환으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다(2017020997).

## References

1. M. J. Rosen and J. T. Kunjappu, *Surfactants and Interfacial Phenomena*, 4th ed., 219-233, Wiley-Interscience, USA (2002).
2. F. H. Kirkpatrick and H. Sandberg, Effect of anionic surfactants, nonionic surfactants and neutral salts on the conformation of spin-labeled erythrocyte membrane proteins, *Biochim. Biophys. Acta Biomembr.*, **298**(2), 209-218 (1973).
3. D. A. Edwards, R. G. Luthy, and Z. Liu, Solubilization of polycyclic aromatic hydrocarbons in micellar nonionic surfactant solutions, *Environ. Sci. Technol.*, **25**, 127-133 (1991).
4. H. K. Ko, B. D. Park, and J. C. Lim, Studies on phase behavior in systems containing np series nonionic surfactant, water, and D-limonene, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **11**(6), 679-686 (2000).
5. H. Kunieda and K. Shinoda, Phase behavior in systems of nonionic surfactant/water/oil around the hydrophile-lipophile-balance-temperature (HLB-temperature), *J. Dispers. Sci. Technol.*, **3**(3), 233-244 (2010).
6. J. C. Lim, Effect of Cosurfactant on Intermediate Phase Formation in systems containing alkyl ethoxylate nonionic surfactant, water and lubricant, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **16**(6), 778-784 (2005).
7. P. G. Nilsson, H. Wennerstroem, and B. Lindman, Structure of micellar solutions of nonionic surfactants. Nuclear magnetic resonance self-diffusion and proton relaxation studies of poly(ethylene oxide) alkyl ethers, *J. Phys. Chem.*, **87**(8), 1377-1385 (1983).
8. S. Laha and R. G. Luthy, Inhibition of phenanthrene mineralization by nonionic surfactants in soil-water systems, *Environ. Sci. Technol.*, **25**(11), 1920-1930 (1991).
9. H. Saito and K. Shinoda, The solubilization of hydrocarbons in aqueous solutions of nonionic surfactants, *J. Colloid Interface Sci.*, **24**(1), 10-15 (1967).
10. G. Chigwada, D. Wang, D. D. Jiang, and C. A. Wilkie, Styrenic-nanocomposites prepared using a novel biphenyl-containing modified clay, *Polym. Degrad. Stab.*, **91**, 755-762 (2006).
11. P. G. Nilsson and B. Lindman, Water self-diffusion in nonionic surfactant solutions. Hydration and obstruction effects, *J. Phys. Chem.*, **87**(23), 4756-4761 (1983).
12. M. Akram, S. Yousuf, T. Sarwar, and K. U. Din, Micellization and interfacial behavior of 16-E2-16 in presence of inorganic and organic salt counterions, *Colloids Surf. A*, **441**, 281-290 (2014).
13. M. Bourrel, J. L. Salager, R. S. Schechter, and W. H. Wade, A correlation for phase behavior of nonionic surfactants, *J. Colloid Interface Sci.*, **75**(2), 451-461 (1980).

14. A. Jonsson and B. Jonsson, The influence of nonionic and ionic surfactants on hydrophobic and hydrophilic ultrafiltration membranes, *J. Membr. Sci.*, **56**(1), 49-76 (1991).
15. A. Guyot and K. Tauer, Reactive surfactants in emulsion polymerization, *Polym. Synth.*, **111**, 43-65 (2005).
16. H. A. S. Schoonbrood and J. M. Asua, Reactive surfactants in heterophase polymerization. 9. Optimum surfmer behavior in emulsion polymerization, *Macromolecules*, **30**(20), 6034-6041 (1997).
17. J. I. Amalvy, M. J. Unzué, H. A. S. Schoonbrood, and J. M. Asua, Reactive surfactants in heterophase polymerization: Colloidal properties, film-water absorption, and surfactant exudation, *J. Polym. Sci.*, **40**, 2994-3000 (2002).
18. H. Kunieda and K. Shinoda, Evaluation of the hydrophile-lipophile balance (HLB) of nonionic surfactants. I. Multisurfactant systems, *J. Colloid Interface Sci.*, **107**(1), 107-121 (1985).
19. S. G. Oh and D. O. Shah, Relationship between micellar lifetime and foamability of sodium dodecyl sulfate and sodium dodecyl sulfate/1-hexanol mixtures, *J. Am. Oil Chemist. Soc.*, **7**(7), 1316-1318 (1991).
20. F. O. Opawale and D. J. Burgess, Influence of interfacial properties of lipophilic surfactants on water-in-oil emulsion stability, *J. Colloid Interface Sci.*, **197**, 142-150 (1998).
21. R. C. Pasquali, N. Sacco, and C. Bregni, The studies on hydrophilic-lipophilic balance (HLB): Sixty years after William C. Griffin's pioneer work, *Lat. Am. J. Pharm.*, **28**(7), 313-317 (2009).