

트리글리세라이드를 이용한 N-아실 글리신의 합성 및 물성

신혜린 · 박예원 · 정노희[†]

충북대학교 공업화학과

(2017년 11월 3일 접수: 2017년 12월 3일 수정: 2017년 12월 14일 채택)

Synthesis and Properties of N-Acyl Glycine Used Triglyceride

Hye-Rin Shin · Ye-Won Park · Noh-Hee Jeong[†]

*Department of Engineering Chemistry, College of Engineering, Chungbuk National University,
Cheongju, Chungbuk 28644 Korea*

(Received November 3, 2017; Revised December 3, 2017; Accepted December 14, 2017)

요약 : 단백질 계면활성제로서의 아미노산 계면활성제는 친환경적인 화합물이다. 따라서 아미노산계 계면활성제는 차세대 계면활성제로 기대된다. 아미노산계 계면활성제는 높은 생분해성, 낮은 독성 및 표면 활성 특성을 갖는다. 이 실험에서 아미노산 기반의 계면활성제인 cocoyl glycine은 코코넛 오일과 팜 오일과 같은 트리글리세라이드와 글리신에 의해 합성되었다. 그리고 이것은 표면 장력, 유화 특성, 거품 안정성 및 HLB 값을 측정하였다. 합성된 계면활성제는 FT-IR에 의해 확인되었다. 희석된 계면활성제 수용액에서 코코넛 오일로 합성된 계면활성제의 표면 장력은 1.0×10^{-4} mol/L에서 31.2 dyne/cm 이었다. 희석된 계면활성제의 수용액에서 팜 오일에 의해 합성된 계면활성제의 표면 장력은 3.2×10^{-5} mol/L에서 42.1 dyne/cm 이었다. 기포 안정성은 시간 경과에 따라 기포 높이를 측정했다. 코코넛 오일로 합성된 계면활성제의 초기 기포 높이는 14.5cm이고 5분 후 10.7cm였다. 팜 오일에 의해 합성된 계면활성제의 초기 기포 높이는 3.0 cm이고, 5분 후에 2.8 cm이다. 코코넛 오일로 합성한 계면 활성제의 기포 높이는 팜 오일로 합성한 계면 활성제보다 높았다. 그러나 팜 오일로 합성한 계면활성제의 기포 안정성은 코코넛 오일로 합성한 계면활성제보다 우수하였다. 합성된 계면활성제의 유화 특성은 벤젠과 콩기름에서 관찰되며 유기 용매에서의 유화 성질이 콩기름에서보다 우수하다.

주제어 : 계면활성제, HLB, 표면장력, 기포 안정성, 유화 특성

Abstract : Amino acid based surfactants as protein-surfactants is eco-friendly compound. So, amino acid based surfactants is expected as next generation surfactants. Amino acid based surfactants has high biodegradability, low toxicity and surface active properties. In this experiment, amino acid based surfactants, cocoyl glycine, was synthesized by glycine and triglyceride such as coconut oil and palm oil. And it was tested the surface tension, emulsifying properties, foam stability and HLB value. The synthesized surfactants was confirmed by FT-IR.

[†]Corresponding author

(E-mail: nhjeong@cbnu.ac.kr)

Surface tension of surfactants synthesized by coconut oil on diluted aqueous solutions of surfactants was 31.2 dyne/cm at 1.0×10^{-4} mol/L. Surface tension of surfactants synthesized by palm oil on the diluted aqueous solutions of surfactants was 42.1 dyne/cm at 3.2×10^{-5} mol/L. Foam stability measured the foam height as time passed. Initial foam height of surfactants synthesized by coconut oil is 14.5 cm, and 10.7 cm after five minutes. Initial foam height of surfactants synthesized by palm oil is 3.0 cm, and 2.8 cm after five minutes. Foam height of surfactants synthesized by coconut oil was higher than surfactants synthesized by palm oil. But foam stability of surfactants synthesized by palm oil was better than surfactants synthesized by coconut oil. The emulsifying properties of synthesized surfactants are observed in benzene and soybean oil and emulsifying properties in organic solvent is better than in soybean oil.

Keywords : Surfactants, HLB, Surface tension, Foam stability, Emulsifying properties

1. 서론

계면활성제는 분자 내에 친수성 그룹과 소수성 그룹을 동시에 지니고 있는 양친매성 화합물로서 표면이나 계면에서의 활성기능을 지니고 있는 화합물이며, 소량을 사용하여도 물질의 표면이나 계면에 흡착되어 표면장력을 현저하게 저하시킬 수 있다. 또한, 그 물리적인 성질을 필요에 따라 변화시킬 수 있는 기능성 물질이다[1]. 계면활성제는 많은 산업분야와 세제, 퍼스널 케어 제품, 식품 산업, 소방 등 많은 분야에서 사용된다[2]. 하지만 피부와 접촉하는 기회가 많아지면 피부 단백질변성 같은 원인에 의 하여 접촉성 피부염이 유발될 가능성이 있고 환경오염 문제를 유발할 수 있기 때문에 생체 안정성이 높고, 친환경적인 계면활성제가 필요하다.

아미노산은 자연계에 풍부하게 존재하는 물질로 특히, 인체를 구성하는 주요 성분들이기 때문에 환경 친화적인 소재이며 아미노산류를 이용한 유기합성 공업은 공해가 없는 화학 공정으로서 지속적인 개발이 필요하다[3]. 단백질 계면활성제라고도 불리는 아미노산계 계면활성제는 고부가가치성이 있는 차세대 계면활성제로 기대되어지고 있으며 생체 안정성이 높은 아미노산을 이용한다는 점에서 친환경적이라고 할 수 있다[4]. 또한 아미노산계 계면활성제는 높은 생분해성, 낮은 독성 및 우수한 표면 활성 특성을 가지며, 피부와 눈에 대한 자극이 적고, 경수에 내성을 가진다고 알려져 있다[5]. 아미노산계 계면활성제의 종류에는 SLSA, 올리브계면활성제(Olivem 400), LES, Coco betaine 등이 있다. 아미노산계 계면

활성제의 용도는 인체용 세정제, 점도 증진제, 염색제 등으로 사용되고 있다.

본 연구에서는 메탄올과 수산화나트륨을 반응시켜 이 반응의 촉매인 sodium methoxide를 합성하였다. 그 후, 트리글리세라이드를 sodium methoxide와 반응시켜 트리글리세라이드의 아실기가 결합된 메틸에스테르(CH_3OOCR)를 합성하였다. 그리고 메틸에스테르(CH_3OOCR)를 글리신과 반응시켜 아미노산계 계면활성제를 합성하였다. 합성한 아미노산계 계면활성제의 구조를 FT-IR을 통해 확인하였으며, 합성물의 물성을 확인하기 위해 표면장력, 임계미셀농도, 초기 기포력, 기포안정성, 유화력을 측정하였다.

2. 실험

2.1. 재료 및 장치

합성에 사용된 재료들을 제조사와 함께 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Used Materials in Synthesis

Materials	Assay(%)	Maker
Glycine	99%	Sigma-Aldrich
Coconut oil	100%	Wizgarden
Palm oil	100%	Wizgarden
Sodium Hydroxide	98%	SK chemicals
Methyl alcohol	99.5%	Samchun Chemical Co.

2.2. 실험방법

제조과정은 Fig. 1에 나타내었다. 삼구 플라스크에 0.5 mol 글리신, 0.5 mol 수산화나트륨과 20 ml 증류수에 교반시키면서 녹인다. 0.35 g 수산화나트륨을 20 ml 메탄올에 녹여 sodium methoxide를 제조하여 트리글리세라이드와 반응시킨다. 교반시켜 얻은 생성물은 분액깔때기를 이용해 분리하고 상층의 메틸에스테르는 160°C에서 4 시간 동안 교반시킨다. 그 후 HCl 용액을 이용하여 pH 2 까지 산성화시킨 후 여과시킨다.

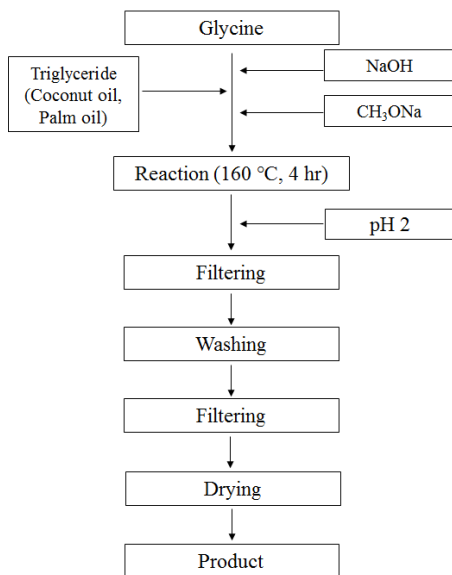
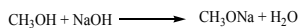
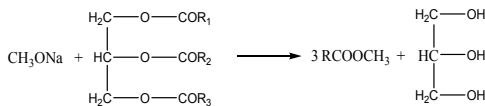


Fig. 1. Flowchart for synthesis of N-Acyl glycine.

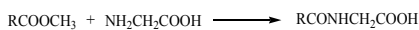
Step1.



Step2.



Step3.



Scheme 1. Reaction equation of N-Acyl glycine by triglyceride.

여과 후 얻은 반응 생성물을 헥산을 이용하여 수세시킨 후 여과하여 최종 생성물을 얻는다. 전체 반응에 대한 반응식은 Scheme 1에 나타내었다. 최종 생성물을 얻고 난 후, 여러 분석을 하였다.

첫째, 비누화가 측정을 위해 오일 2 g 과 0.5 N KOH의 에탄올 용액 25 ml 을 준비한다. 3구 플라스크에 오일과 25 ml 0.5 N KOH의 에탄올 용액을 넣고 80 °C에서 30 분간 교반시킨다. 반응이 완료된 용액을 냉각시키고 페놀프탈레인 한 두 방울 떨어뜨린다. 완전히 보라색이 된 용액을 0.5 N HCl로 적정한다. 0.5 N 염산의 부피를 측정한다. 그 후, 비누화가의 식에 적용한다.

둘째, HLB 값의 측정을 위해 비누화가를 통해 얻은 평균 분자량을 통해 합성한 계면활성제의 분자식을 유추한 후, Griffin 식에 적용하여 HLB 값을 구한다.

셋째, 기포력을 측정하기 위해 10⁻⁴~10⁻¹ mol/L 용액을 만들어 50 ml용액에 200 ml 용액을 떨어뜨린 후 기포의 높이를 측정하고, 떨어뜨린 직후부터 1분 후의 기포 높이와 5분 후의 기포 높이를 측정한다.

넷째, 유화력을 확인하기 위해 합성한 계면활성제 0.1 mol/L 용액을 만든 후, 두 개의 100 ml 메스실린더에 각각 벤젠 50 ml와 계면활성제 0.1 mol/L 용액 50 ml를 혼합한 용액과 대두유 50 ml와 계면활성제 0.1 mol/L 용액 50 ml를 혼합한 용액을 넣고 시간이 지남에 따라 흰색의 유화된 층의 높이를 측정한다.

2.3. 기기 분석

2.3.1. FT-IR 분석

계면활성제의 합성 여부를 알아보기 위해 FT-IR(FT/IR-480 Plus, Jasco)로 피크를 관찰하여 정성분석 하였다. 합성이 되면 피크가 이동하거나 사라지기 때문에 생성물과 글리신, 트리글리세라이드의 피크를 비교 분석하여 합성 여부를 확인하였다.

2.3.2 표면장력 분석

합성한 계면활성제를 증류수에 넣어 10⁻⁶~10⁻¹ mol/L 용액을 만들어 표면장력 측정기(Kyowa interface science Co.)로 표면장력을 측정하였다. 각각 3번씩 측정하여 평균값을 사용하였다. 계면활성제는 각각 고유한 임계미셀농도

(CMC)를 갖는데 임계미셀농도를 경계로 표면장력, 삼투압 등 용액의 성질이 현저하게 변한다. 표면장력을 이용하여 임계미셀농도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 합성 결과

코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신과 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 흰색 고체의 형태를 가졌다. 코코넛 오일과 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 수율을 구하였다. 수율은 이론적으로 반응했을 때의 값과 실제 값의 비를 백분율로 나타낸 것이다. 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 수율은 63.8%, 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 71.3%이었다. 코코넛 오일과 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 녹는점을 측정하였다. 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 녹는점은 178°C, 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 녹는점은 169.3°C이었다.

3.2. 분석 결과

3.2.1. 적외선 스펙트럼

계면활성제의 합성 여부를 확인하기 위해 생성물, 트리글리세라이드, 글리신의 FT-IR 스펙트럼을 비교 분석하여 Fig. 2에 나타내었다. 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 (a)로 N-H 신축진동 피크가 3317 cm⁻¹ 로 (c) glycine과 비

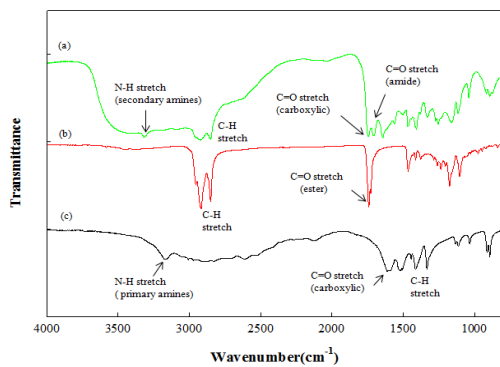


Fig. 2. FT-IR spectra (a) surfactant synthesized by coconut oil (b) coconut oil (c) glycine.

교하였을 때 왼쪽으로 이동하였다. (a)의 C=O 신축진동 피크가 1704 cm⁻¹, 1644 cm⁻¹ 로 카복실산 과 아마이드에 의해서 나타났지만 (b) 코코넛 오일은 1741 cm⁻¹로 에스테르에 의해서 나타난 것을 확인하였다. 따라서 생성물은 2차 아민이며 아마이드라는 것을 확인하였다.

3.3. 물성평가 결과

3.3.1. 비누화가

비누화는 에스테르화의 역반응으로 에스테르가 가수분해를 일으켜 카복실산과 알코올을 생성하는 반응이며, 비누화 값은 지정된 조건 하에서 유지 1 g 당 비누화에 필요한 수산화칼륨 mg이다. 비누화 값은 다음 식(1)에 의해 계산하였다. 28.05은 0.5 N 수산화칼륨의 분자량이고, a 는 본 시험에 소요되는 표준 염산용액소비량(ml)이고, F는 0.5 N HCl 농도계수이다. S 는 시료채취량(g)이다.

$$S.V = \frac{28.04 \times (b-a) \times F}{S} \dots\dots\dots (1)$$

비누화가는 코코넛오일은 105.2, 팜오일은 131.4의 결과를 얻었다. 비누화가는 지방산의 분자량을 대략적으로 파악할 수 있는 척도이다. b 는 22.7 ml, 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 a는 15.13 ml, 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 a는 13.24 ml, F는 0.991, S는 2 g 이었다. 값들을 대입하였을 때 비누화가는 각각 105.2, 131.4이다. 또한 비누화가를 통해 대략적인 평균 분자량을 다음 식 (3)을 통해 알 수 있다.

$$\text{평균분자량} = \frac{168300}{S.V} \dots\dots\dots (2)$$

얻은 지방산의 평균 분자량을 이용하여 알킬기의 평균값을 얻어 대략적인 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신과 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 분자량을 얻었다. 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 분자량은 577.72 g/mol, 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 분자량은 471.17 g/mol 이었다.

3.3.2. HLB (Hydrophilic-Lipophilic Balance)

계면활성제의 친수성과 소수성의 균형을 나타내는 지표인 HLB를 구하였다. HLB의 값이 10보다 작을 때는 지용성이고, 10보다 클 때는 수용성이다. 1.5에서 3 사이의 값을 가지는 계면활성제를 사용하면 소포제로 이용 가능하고, 3에서 6 사이의 값은 W/O 에멀전, 7에서 9사이의 값은 습윤 및 퍼짐제, 13에서 15사이의 값은 세정제, 12에서 16사이의 값은 O/W 에멀전, 15에서 18 사이의 값은 가용화제 또는 향수성 물질로 이용 가능하다.[9]. 우리가 합성한 계면활성제는 비이온 계면활성제이기 때문에 HLB를 구하기 위해 Griffin의 식(1)을 이용하였다. 수올과 HLB의 값은 Table 3 에 나타내었다.

$$HLB = 20 \times M_h / M \dots \dots \dots (3)$$

M은 전체분자량을 의미하고 M_h는 친수성 부분의 분자량을 의미한다.

Table 3. Yield and HLB of Amino Acid Surfactants

Compound	Yield(%)	HLB
Surfactant synthesized by cocomut oil	63.8	3.7
Surfactant synthesized by palm oil	71.3	4.8

따라서 합성한 계면활성제는 W/O 에멀전으로의 이용이 기대되어진다.

3.3.3. 표면장력 및 임계미셀농도

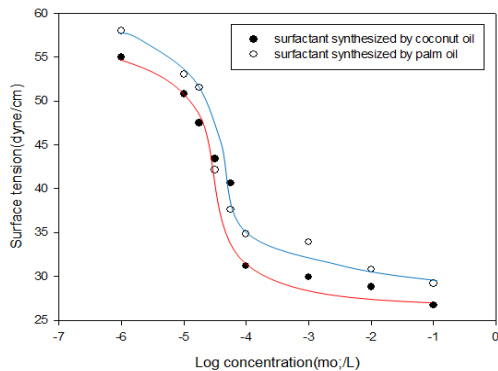


Fig. 3. Surface tension and CMC of N-Acylglycine.

계면활성제의 표면장력을 측정하기 위해 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신과 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신을 증류수에 넣어 10⁻⁶~10⁻¹ mol/L 용액을 만들어 시료를 만들었다. 3번 측정하여 평균값을 사용하였다. 표면장력의 값은 Fig. 3 에 나타내었다. 표면장력 그래프의 수치가 급격히 변하는 곳에서 임계미셀농도를 알 수 있다. 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 1.0 × 10⁻⁴ mol/L에서 31.2 dyne/cm, 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 3.2 × 10⁻⁵ mol/L에서 42.1 dyne/cm 의 값을 얻었다. 각각의 임계미셀농도는 1.0 × 10⁻⁴ mol/L 와 3.2 × 10⁻⁵ mol/L 이었다.

3.3.4. 기포력

계면활성제 용액의 특징적인 현상 중의 하나로 기포의 생성을 들 수 있다. 순수한 액체는 기포를 만들지 않지만, 특정한 물질을 용해하고 있는 액체는 거품을 만들 수 있다. 이 거품은 세척에 많은 도움을 준다[10]. 초기 기포 높이는 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 10⁻⁴~10⁻¹ mol/L에서 0.1~14.5 cm 이었고, 팜 오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 10⁻⁴~10⁻¹ mol/L에서 0~3.0 cm 이었으며, 그에 따른 그래프를 따라서 초기 기포력은 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신이 더 우수함을 알 수 있었다. 5분 후의 기포높이는 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 10⁻⁴~10⁻¹ mol/L에서 0.1~10.7 cm 이었고, 팜 오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 10⁻⁴~10⁻¹ M에서 0~2.8 cm 이었다. 따라서 5분 후의 기포력도 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신이 더 우수함을 알 수 있었다.

그러나 초기와 5분 후의 기포 높이의 차이는 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 3.8 cm 이고, 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 0.2 cm 임을 확인하였다. 따라서 기포 안정성은 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신이 더 우수한 것을 확인하였다. 초기 기포높이 그래프는 Fig. 4에 나타내었고, 5분 후의 기포높이 그래프는 Fig. 5에 나타내었다.

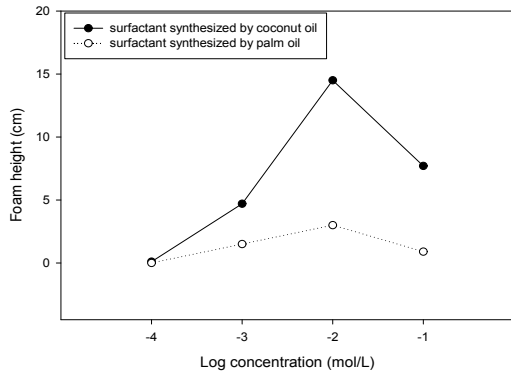


Fig. 4. Initial foam height of N-Acyl glycine.

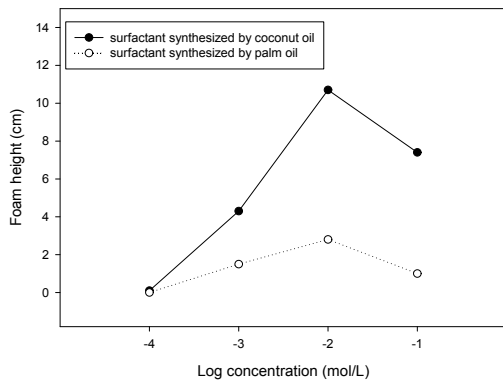


Fig. 5. Foaming height of N-Acyl glycine after 5 minute.

3.3.5. 유화력

유화란 한 액체가 미세한 입자 상태로 다른 액체에 분산된 상태로 존재하는 혼합물을 일컫는다. 유화제의 종류, 농도 등평형적인 성질과 계면 화학적 성질 등이 각각 유화에 있어서 중요한 요소로 관여한다. 또한 유화의 안정성은 분산상과 연속상의 상분리가 일어나는 시간을 측정하여 평가할 수 있다[11]. 72시간 경과 시 약 70%의 유화력을 갖는 것을 확인하였다. 벤젠과 대두유를 비교하였을 때 벤젠에서의 유화층의 높이가 대두유에서의 유화층의 높이보다 변화가 없고 줄어들지 않는 것을 확인하였다. 따라서 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신과 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 벤젠과 같은 유기용매에서 더 좋은 유화력을 가지고 있는 것을 확인하였다. 벤젠에서의 유화력 그래프는 Fig. 6, 대두유에서의 유화력 그래프는 Fig. 7에 나타내었다.

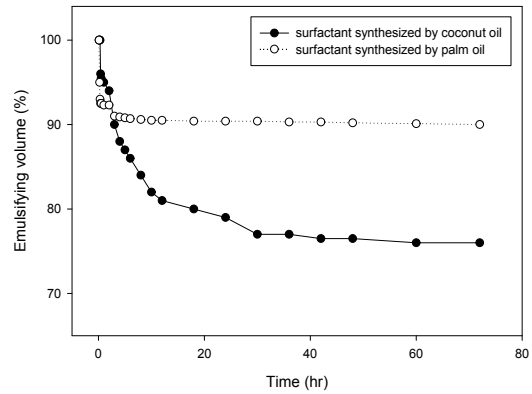


Fig. 6. Emulsifying volume of N-Acyl glycine for benzene.

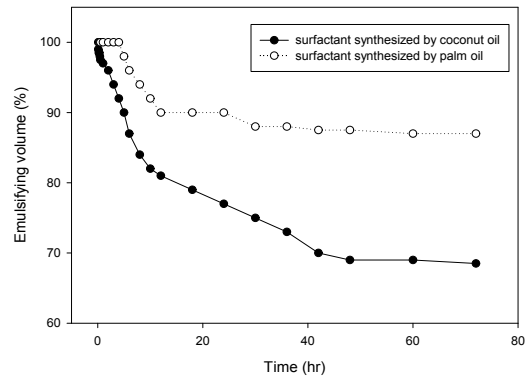


Fig. 7. Emulsifying volume of N-Acyl glycine for soybean oil.

4. 결론

본 연구에서 트리글리세라이드를 이용한 아미노산계 계면활성제를 합성하였다. 합성된 아미노산계 계면활성제는 FT-IR 스펙트럼, 수율, HLB, 표면장력, 기포력, 유화력 통해 최적의 조건을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. FT-IR을 통해 N-H 신축진동 피크가 3317 cm^{-1} 로 글리신과 비교하였을 때 왼쪽으로 이동하였고, C=O 신축진동 피크가 코코넛 오일에서는 1741 cm^{-1} 로 에스테르에 의해 나타났지만, 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신은 1704 cm^{-1} 과 1644 cm^{-1} 로

카복실산과 아마이드에 의해서 나타남을 알 수 있었다. 이를 통해, 코코넛 오일과 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 합성을 확인하였다.

2. 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신과 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 생성물은 흰색고체이고, 각각 63.8%, 71.3%의 수율을 확인하였다.
3. HLB는 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 경우 3.7, 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 경우 4.8 임을 확인하였고, W/O 유화제로 응용이 기대되어진다.
4. 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 임계미셀농도는 3.2×10^{-5} mol/L에서 나타났고, 표면장력은 42.1 dyne/cm로 측정되었고, 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 임계미셀농도는 1.0×10^{-4} mol/L에서 나타나고, 표면장력은 32.1 dyne/cm로 측정되었다.
5. 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 기포력은 14.5 cm, 5분 후 10.7 cm, 팜오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 기포력은 3 cm, 5분 후 2.8 cm임을 확인하였으며, 이를 통해, 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 초기 기포력이 팜 오일로부터 유도된 N-아실 글리신보다 우수하고, 상대적으로 팜 오일로부터 유도된 N-아실 글리신의 기포 안정성이 코코넛 오일로부터 유도된 N-아실 글리신보다 더 우수함을 확인하였다.

References

1. H.C. Choi, N.H. Jeong, "Addition Effects of Ethanol on Foamability of Cocamidopropyl Betaine", *Journal of Industrial Science and Technology Institute*, Vol.26, No.2 pp. 41-45, (2012).
2. Savanit. B, Sumaeth. C, Pomthong. M, John F. S, "Anionic and cationic surfactant recovery from water using a multistage foam fractionator", *Chemical Engineering Journal*, Vol.93, pp. 241-252, (2003).
3. K.S. Kwack, Y.K. Yoon, N.H. Jeong, D.G. Kim, K.D. Nam, "N-Acyl Amino Surfactant(15) Synthesis and Properties of Sodium N-(2-Dodecyl Succinoyl) 1-Glutamate", *J. of Korean Oil Chemists' Soc.*, Vol.18, No.1 pp. 55-59, (2001).
4. M.S. Kim, H.S. Kim, H.K. Jeong, K.D. Nam, "N-Acyl Amino Surfactant(14) Kinetics for Micelle Formation of sodium N-Acyl sarcosinate Solution", *J. of Korean Oil Chemists' Soc.*, Vol.17, No.2 pp. 105-112, (2000).
5. Nimisha. C, V.K. Tyagi, "Synthesis, Properties, and Applications of Amino Acids Based Surfactants: A Review", *Journal of Dispersion Science and Technology*, Vol.34, No.6 pp. 800-808, (2013).
6. Griffin, William .C, "Calculation of HLB Values of Non-Ionic Surfactants", *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, Vol.5, No.4 pp. 249-256, (1954).
7. B.J. Ha, "Study on the Foam of Soap", *Journal of the Korean Society of Cosmetology*, Vol.8, No.2 pp. 93-98, (2002).
8. T.Y. Kim, S.C. Kim, S.J. Lee, J.H. Lee, K.D. Nam, "Studies on the Surfactants of the N-Acyl Amino Acid(part8)(cmc and Emulsion Stability of N-Acyl Amino Acid Type Anionic Surfactant.)", *J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry*, Vol.6, No.5 pp. 785-794, (1995).
9. G. Zhang, B. Xu, F. Han, Y. Zhou, H.Liu, Y. Li, L. Cui, T.Tan, N. Wang, "Green Synthesis, Composition Analysis and Surface Active Properties of Sodium Cocoyl glycinate", *American Journal of Analytical Chemistry*, Vol.4, pp. 445-450, (2013).
10. Perinelli, D. R., Casettari, L., Cespi, M., Fini, F., Man, D. K., Giorgioni, G., Canala, S., Lam, J. K., Bonacucina, G., Palmieri, G. F., "Chemical-physical

- properties and cytotoxicity of N-decanoyl amino acid-based surfactants: Effect of polar heads", *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspect*, Vol.492, pp. 38-46, (2016).
11. J. D. Xia, Y. M. Xia, I. A. Nnanna, "Structure-Function Relationship of Acyl Amino Acid Surfactants: Surface Activity and Antimicrobial Properties", *Journal of agricultural and food chemistry*, Vol.43, No.4 pp. 867, (1995).
 12. E. Jungermann, J. F. Gerecht, I. J. Krems, "The Preparation of Long Chain N-Acylamino Acids", *J. Am. Chem. Soc.*, Vol.78, No.1 pp 172-174, (1956).
 13. Aurélie Lavergne, Ying Zhua, Aldo Pizzinob, Valérie Moliniera, Jean-Marie Aubry, "Synthesis and foaming properties of new anionic surfactants based on a renewable building block: Sodium dodecyl isosorbide sulfates", *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol.360, No.2 pp.645-653, (2011).
 14. Pu, W., Yuan, C., Hu, W., Tan, T., Hui, J., Zhao, S., Wang, S., Tang, Y, "Effects of interfacial tension and emulsification on displacement efficiency in dilute surfactant flooding", *RSC Advances*, Vol.6, No.56 pp.50640-50649, (2016).
 15. Morgan Durand, Ying Zhu, Valérie Molinier, Thierry Ferron, Jean-Marie Aubry, "Solubilizing and Hydrotropic Properties of Isosorbide Monoalkyl- and Dimethyl-Ethers", *Journal of Surfactants and Detergents*, Vol.12, No.4 pp. 371-378, (2009).