

혼합 계면활성제를 이용한 Chlorosulfonated Polyethylene (CSM) Rubber의 유화안정성 연구

이 은 경 · 최 세 영 · 박 수 진*[†]
청주대학교 화학과, *한국화학연구원 화학소재연구부
(2001년 9월 19일 접수)

Stabilization of Chlorosulfonated Polyethylene (CSM) Rubber Emulsion with Surfactant Mixture

Eun-Kyoung Lee, Seo-Young Choi, and Soo-Jin Park*[†]
Department of Chemistry, Chongju University, Chongju 360-764, Korea
*Advanced Materials Division, Korea Research Institute of Chemical Technology,
P.O. Box 107, Yusong, Taejeon 305-600, Korea
(Received September 19, 2001)

요약 : 본 연구에서는 CSM 고무를 유화하기 위하여 계면화학적 성질을 이용한 반전유화법과 계면활성제로서 비이온 및 음이온 계면활성제를 혼합 사용하였다. 단독계면활성제를 사용하였을 때에는 에멀전의 분리가 발생하였고, 비이온 계면활성제 Span 60과 음이온 계면활성제 SLS를 혼합 사용하는 경우에는 상의 분리가 발생하지 않았다. 그러므로 혼합계면활성제를 사용하여 제조한 에멀전의 droplet size, 전단속도에 따른 점도 및 전단응력과 같은 유변학적 거동을 통하여 에멀전의 안정성을 규명하였다. 혼합계면활성제의 양에 따라 droplet size는 감소하였고, 이에 점도는 증가하였으며, 전단속도에 따른 점도 및 전단응력 측정결과 각각 non-Newtonian 흐름인 shear thinning 거동과 항복응력 값을 보였다. 이러한 실험결과인 유변학적 거동으로부터 CSM 고무를 유화하기 위해서는 반전유화법과 혼합계면활성제를 사용함으로써 에멀전의 안정성을 향상시켰음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT : In this work, the stabilization of chlorosulfonated polyethylene (CSM) rubber emulsion with surfactants, i.e., nonionic (Span 60) or anionic (Sodium laurylsulfate, SLS) surfactants, was investigated. The phase inversion emulsification by interfacial chemical characteristics was used to emulsify the CSM rubber. As a result, the emulsion phase separation was observed in the case of any single surfactant. However, there was no phase separation in the mixture of Span 60 and SLS in the context of emulsion droplet size tests and rheological behaviors. The droplet size decreases by increasing the surfactant mixture, resulting in increasing the viscosity. The viscosity and shear stress determined from shear rate show a shear thinning and yield behaviors. It was then found that the emulsion stabilization can be improved using the phase inversion emulsification method and surfactant mixture.

Keywords : chlorosulfonated polyethylene (CSM) rubber, rheological behavior, phase inversion, emulsification method, surfactant mixture.

[†] 대표저자(e-mail : psjin@pado.kriect.re.kr)

I. 서 론

단독중합에 의하여 결정성 플라스틱을 제조할 수 있는 에틸렌과 프로필렌을 적절한 함량비로 공중합 하는 경우, 불규칙적인 구조가 도입됨으로써 결정성을 감소시키게 되며 사슬의 유연성 및 사슬 간 낮은 인력으로 인하여 유리전이온도 (T_g)가 감소함에 따라 최종적으로 고무상 고분자 물질을 얻을 수 있다. 이와 같이 제한된 화학적 반응성과 할로젠화 반응에 국한되는 치환성을 지닌 폴리에틸렌에 염소를 도입함으로써 고무상 고분자를 제조하려는 노력으로 chlorinated polyethylene (이하 CM)과 chlorosulfonated polyethylene (CSM)을 얻을 수 있었다. 가교점 역할을 하는 sulfonyl chloride 내에 약 1%의 황을 함유하는 CSM rubber는 사슬의 유연성과 염소함량의 비에 따라 다양한 고무상 고분자를 제조할 수 있으며 이 때, 염소함량이 증가함에 따라 강성을 더하고 내유성, 내용제성, 고온에서의 인장강도 등이 개선되나 가공성과 저온 특성이 저하되는 단점을 지닌다. Chlorosulfonated polyethylene (CSM) rubber^{1,2}는 Cl_2 와 SO_2Cl 치환체를 도입하여 광 존재하에 SO_2 와 Cl_2 의 co-reaction을 갖는 Reed-Horn 반응에 의한 chlorosulfonation으로 제조되는 결정성 고분자이며 1951년 DuPont사에 의해 Hypalon이라는 상품명으로 소개되었다.

디엔 고무와 달리 분자 내에 불포화결합이 없는 CSM rubber는 내후성, 내유성, 내약품성 및 내코로나성이 우수하여 옥외용 전기 절연물 뿐만 아니라 용제계 도료 및 코팅재료에도 많이 응용되고 있다. 그러나 유기용제의 대기방출에 관한 규제가 엄격해지고 있는 최근의 추세에 따라 용제계 도료나 코팅재료 분야에서는 수계형으로의 에멀전 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 에멀전을 제조하는 방법³에는 한 분자내에 친수성 부분과 소수성 부분이 공존하는 양친매성 구조를 지닌 계면활성제⁴의 계면화학적 성질을 이용하는 방법과 호모믹서, 콜로이드 밀 등의 기계적 힘을 이용하는 물리적 방법 또는 이 두 가지 방법을 병용하는 경우로 나눌 수 있다. 기계적 방법은 연속제조가 가능하고 대량생산이 용이한 장점이 있는 반면, 미세한 에멀

전을 제조하는 경우에는 계면화학적 성질을 이용하는 것이 더 유용한 것으로 알려져 있다. 계면화학적 성질을 이용한 에멀전 제조법으로는 반전 유화법⁵, D상 유화법⁶ 그리고 전상온도 유화법⁷ 등이 있다. 반전유화법은 계면활성제를 oil상에 용해시킨 후, 서서히 물을 가하면서 교반하여 연속상을 oil에서 물로 역전시키는 방법으로 널리 이용되고 있다. 반전유화법을 이용하여 O/W 에멀전을 제조하는 경우, 친수성이 강한 유화제를 사용하므로 유화제를 물에 첨가하는 것이 더 유효할 것으로 예상되지만, 실제로는 기름상에 첨가하는 것이 더 미세한 에멀전을 제조할 수 있다고 알려져 있다.^{8,9} 에멀전의 안정성은 입자의 균일성과 미세 정도에 의존하므로¹⁰⁻¹⁵ 상기에서 설명한 물리적 방법과 계면화학적 성질을 이용한 방법을 적절히 이용하는 것이 안정된 에멀전을 제조할 수 있다.

본 연구에서는 물을 분산매로 하기 때문에 화기로부터 안전한 저공해성 물질이며, 또한 석유자원 위기 극복을 위한 자원절약의 일환이 될 수 있는 CSM rubber를 반전유화법과 혼합계면활성제, 즉 비이온 계면활성제인 Span계와 Tween계 및 음이온 계면활성제인 sodium laurylsulfate (SLS)를 사용하여 O/W CSM rubber 에멀전을 제조하고, 입자크기 및 안정성 그리고 전단속도에 따른 점도와 항복응력 등의 유변학적 거동과 흡착특성 및 표면장력을 측정함으로써 에멀전 안정성을 고찰하고자 한다.

II. 실험

1. 원료 및 시약

유화하고자 하는 고분자는 Denki Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha Mitsui Co.의 Chlorosulfonated polyethylene (CSM) rubber를 사용하였다. 그의 구조는 Figure 1에 나타내었다. 유화제로는 일칠화학(주)의 비이온 계면활성제인 sorbitan monostearate (Span 60)와 sorbitan monooleate (Span 80) 및 polyoxyethylene sorbitan monostearate (Tween 60)와 음이온 계면활성제인 sodium laurylsulfate (SLS) 10~25%를 사용하였다. 물은 2번 증류하여 사용하였고, CSM rubber를 용해하기 위해 Katayama Chem.

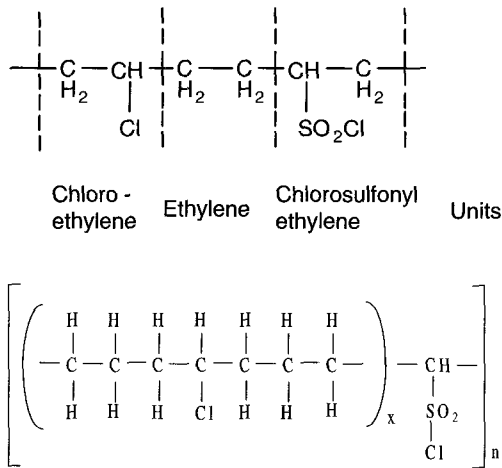


Figure 1. Structures of chlorosulfonated polyethylene rubber (CSM).

Table 1. The Composition of Surfactants for CSM Rubber Emulsion

Polymers (wt%)	Surfactants	Amounts (wt%)
10, 15, 20	Span 60	10, 15, 20, 25
	Span 80	
	Span 60 + Tween 60	
	Span 60 + SLS	

Co.의 xylene 1급 시약을 사용하였다.

2. 실험방법

본 실험의 CSM rubber 에멀전은 계면활성제를 기름상에 용해시킨 후, 서서히 물을 첨가하면서 교반하여 연속상을 기름에서 물로 역전시키는 방법인 반전유화법을 이용하여 제조하였으며, 사용된 비이온 계면활성제와 음이온 계면활성제의 종류와 함량을 Table 1에 나타내었다.

먼저, CSM rubber를 xylene에 용해시킨 후, 비이온 계면활성제를 첨가하여 일정속도로 약 30분간 교반한 뒤, 증류수에 음이온 계면활성제를 용해시킨 용액을 약 30분간 서서히 첨가하면서 일정속도로 교반하였다. 교반이 종료된 후, 약 20분간 다시 일정한 속도로 교반하여 CSM rubber 에멀전을 Figure 2와 같이 제조하였다.

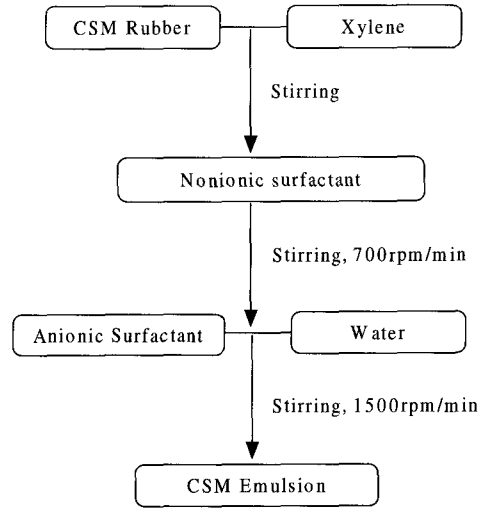


Figure 2. A schematic diagram of chlorosulfonated polyethylene rubber(CSM) emulsion preparation method.

3. 입자크기 및 유동특성 측정

본 실험에서 제조한 에멀전 입자크기는 particle size analyzer (Malvern Instruments Ltd)를 사용하였으며, 시료는 증류수로 250배 희석시켜 셀에 넣고 광산란 방법에 의하여 측정하였다.

그리고 에멀전의 유동특성은 평형 원판형 레오메타인 Rheolab MC100을 사용하였다. 판 간격은 0.5 mm로, 측정온도는 40℃에서 행하였다. 점도와 전단속도와의 관계 그리고 전단응력과 전단속도와의 관계를 알아보기 위하여 전단속도를 5~500 sec⁻¹ 까지 변화시키면서 에멀전의 유변학적 거동을¹⁶⁻¹⁸ 관찰하였다.

4. 흡착특성 및 표면장력

O/W 계면에서의 계면활성제의 흡착특성을 조사하기 위하여 본 실험에서 제조한 CSM rubber 에멀전을 증류수에 약 500배 희석하여 Hewlett Packard (HP-8452A)의 UV-Vis absorption spectroscopy를 사용하여 흡수율을 측정하였다. 또한 CSM rubber 에멀전의 표면장력은 SEO 300A model (SEO Co.)을 사용하여 pendant drop method¹⁹로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 에멀전의 상거동

에멀전 입자들은 브라운 운동에 의하여 충돌하고 합쳐지며, 이 입자들이 서로 충돌시에 상호작용에 의하여 상거동이 결정되게 된다. 즉, 입자간에 작용하는 반발력이 인력보다 클 경우에는 에멀전은 안정한 상거동을 나타내지만 그 반대인 경우라면 응집함으로써 상분리가 발생하게 된다.

본 실험에서 단일 계면활성제를 사용하여 CSM rubber를 유화 시켰을 경우에는 Figure 3에서 볼 수 있듯이 상분리가 일어나는 것을 확인하였으며, 또한 비이온 계면활성제인 Span 60 및 Tween 60을 각각 사용하였을 경우에도 마찬가지로 상분리가 발생되는 것을 관찰하였다. 이는 상기에서 설명한 것과 같이 단독계면활성제를 사용하였을 경우에는 입자간에 작용하는 인력이 반발력보다 크게 되어 입자가 결합함으로써 응집하여 상분리가 발생된 것으로 해석할 수 있다. 그러므로 본 연구의 CSM rubber를 유화시킨 예가 없기 때문에 Cigana와 Favis²⁰에 의해 연구된 polystyrene-ethylene propylene rubber를 유화시 사용된 계면활성제의 농도, 5~30%를 참고로 하여 실험을 진행하였고, 이에 본 CSM rubber는 10%를 시점으로 하여 상분리가 발생하지 않았다. 즉 비이온 계면활성제인 Span 60과

음이온 계면활성제 SLS를 혼합 사용 (10~25%) 하였을 경우에는 안정함을 관찰하였다. 이는 단일 계면활성제를 사용한 것보다 혼합 계면활성제를 사용하여 유화시킨 에멀전이 친수성, 소수성 성질이 각각 다른 두 계면활성제의 합체에 의하여 O/W 계면에 더 조밀하고 강한 계면활성제 intermolecular complex 층이 형성됨으로써 전기이중층간의 상호작용 즉 정전기적 반발력과 흡착층간의 상호작용인 입체장애 반발력이 입자간의 인력보다 큰 값을 지니고 있으므로 다른 입자의 근접을 입체적으로 방해하여 응집을 방해함으로써 본 실험에서 제조한 CSM rubber 에멀전의 안정성을 향상시킨 것으로 사료된다.

2. 입자 크기 및 전단속도에 따른 점도의 영향

에멀전의 불안정성²¹은 크리밍, 응집, 합체와 밀접한 관계가 있다. 크리밍 현상은 droplet들을 서로 더 근접하게 할 때 상기 과정들이 상호작용을 하여 응집과 합체가 형성됨으로써 에멀전의 불안정성을 야기시키게 된다. 하지만 에멀전의 높은 점도와 작은 droplet size는 크리밍 속도를 감소시키기 때문에 에멀전의 안정화를 이끌게 된다. 에멀전의 안정성에 대해서는 전단속도에 강하게 의존하는 흐름특성인 non-Newtonian 흐름이 만족^{22,23}되어야 한다. 또한 Ruckenstein¹⁵ 그리고 Dickinson 등²³에

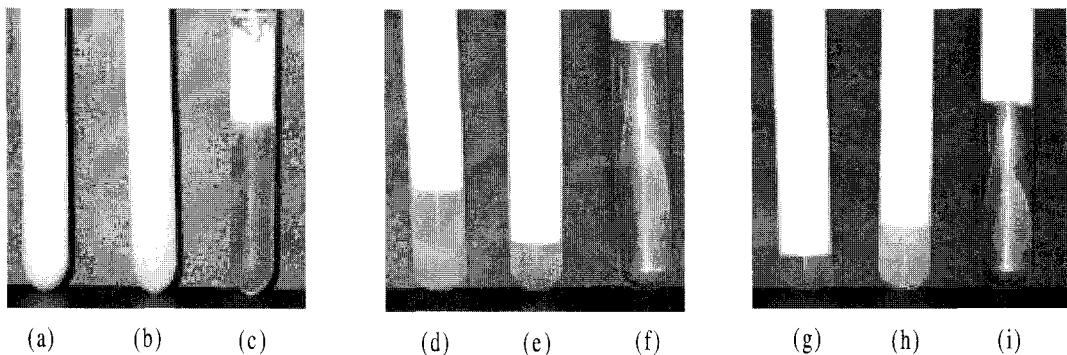


Figure 3. Pictures showing phase separation of CSM rubber emulsion with single surfactant.

- (a) CSM 10% Span 80, (b) CSM 10% Span 60, (c) CSM 10% Tween 60,
- (d) CSM 15% Span 80, (e) CSM 15% Span 60, (f) CSM 15% Tween 60,
- (g) CSM 20% Span 80, (h) CSM 20% Span 60, (i) CSM 20% Tween 60

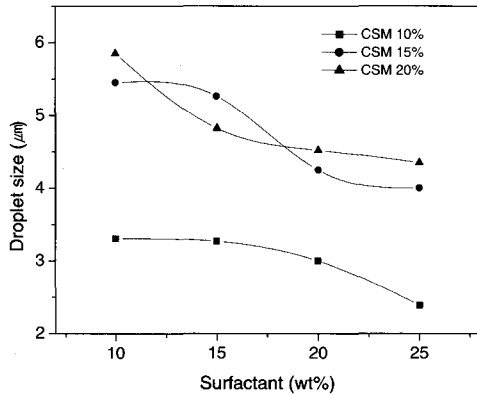


Figure 4. Effect of surfactant weight percent on droplet size.

의하면 항복응력이 존재하는 경우, 특히 안정화에 더 효과적인 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다. 이는 droplet들에 대한 부력이 항복응력 보다 작게 되기 때문에 droplet들은 분리되지 않고, 안정화가 이루어지며 이에 따라 에멀전 또한 안정화가 이루어지게 되는 것으로 설명하고 있다. Figure 4는 본 실험에서 제조한 에멀전이 계면활성제의 양이 증가함에 따라 입자크기가 감소하는 것을 보여주고 있으며, 이에 대하여 Figure 5에서 점도는 증가하며, 전단속도에 따라 점도가 감소하는 non-Newtonian 흐름인 shear thinning 거동²⁴을 나타내고 있다. 이는 Barnes 등의²² 실험결과와 일치함으로써 본 실험에서 제조한 CSM rubber 에멀전이 안정하다는 것으로 해석할 수 있다.

일반적으로 계면활성제의 농도가 증가함에 따라 droplet size가 작아지게 되고, 이 droplet size는 에멀전의 점도에 영향을 미친다.^{25,26} 이는 본 실험의 결과와 일치하는 것으로써 작은 droplet 크기를 갖는 에멀전은 큰 droplet 크기를 갖는 에멀전 보다 높은 점도를 보이며 droplet 크기의 감소는 에멀전들의 shear thinning 거동을 향상시키는 것으로 다음과 같이 설명할 수 있다. 첫째, 계면활성제의 농도가 증가하게 되면 미셀 형성이 많아지게 됨으로써 미셀간의 응집력이 증가하게 되어 점도가 증가하게 되는 것이다. 둘째, droplet size가 감소되면 droplet들 사이의 평균거리²⁷가 감소되고 이에 따라 droplet 사이의 유체역학 상호작용이 증가하기 때

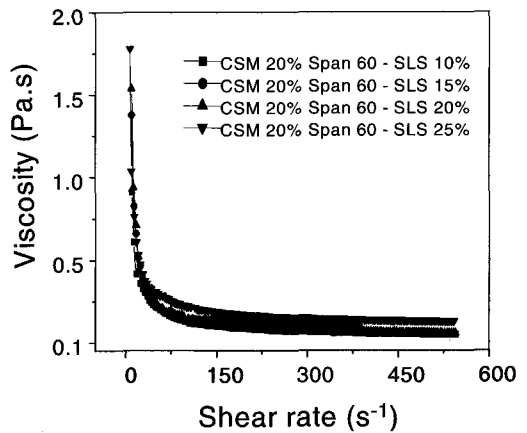
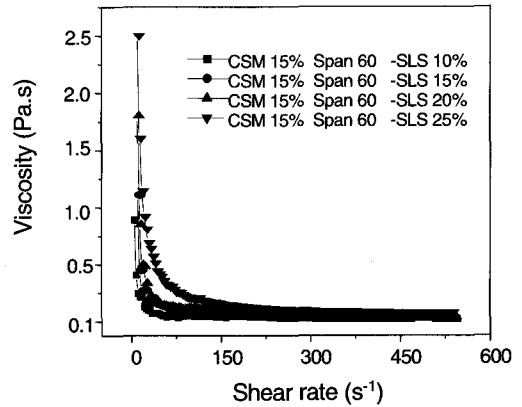
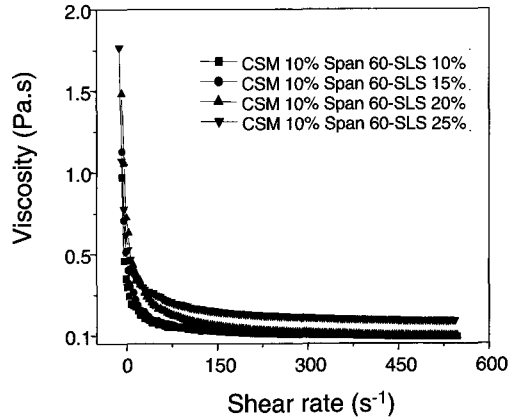


Figure 5. Effect of shear rate on viscosity for CSM rubber emulsions of different surfactant concentrations.

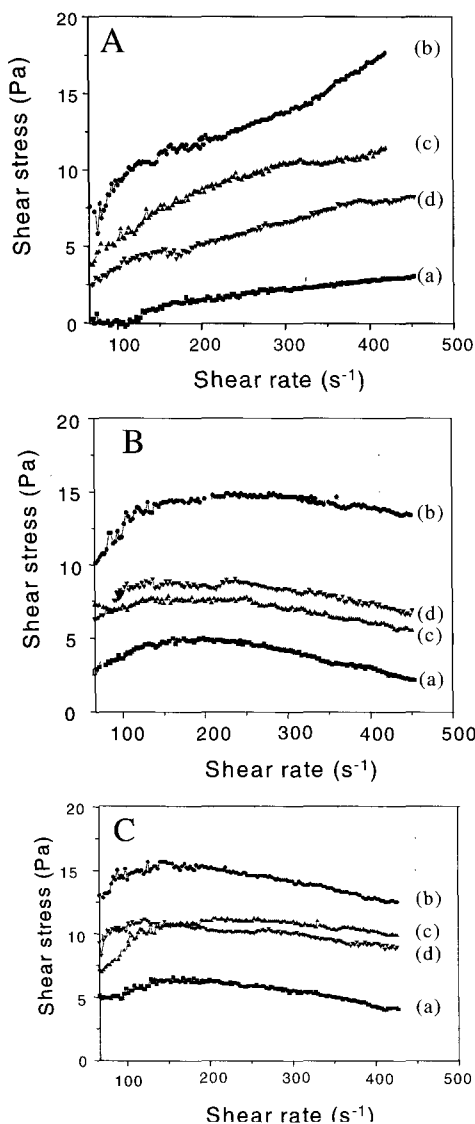


Figure 6. Effect of shear rate on shear stress for CSM rubber emulsions of different surfactant concentrations.

- A : (a) CSM 10%, Span 60-SLS 10%
- (b) CSM 10%, Span 60-SLS 15%
- (c) CSM 10%, Span 60-SLS 20%
- (d) CSM 10%, Span 60-SLS 25%
- B : (a) CSM 15%, Span 60-SLS 10%
- (b) CSM 15%, Span 60-SLS 15%
- (c) CSM 15%, Span 60-SLS 20%
- (d) CSM 15%, Span 60-SLS 25%
- C : (a) CSM 20%, Span 60-SLS 10%
- (b) CSM 20%, Span 60-SLS 15%
- (c) CSM 20%, Span 60-SLS 20%
- (d) CSM 20%, Span 60-SLS 25%

문에 점도의 증가와 더불어 shear thinning 거동을 보인다고 할 수 있다. 그러므로 본 실험에서 제조한 CSM rubber 에멀전이 shear thinning 거동을 나타내기 때문에 안정하다고 해석할 수 있다.

3. 전단속도에 따른 전단응력

Figure 6은 본 실험에서 제조한 에멀전들이 모두 항복응력값이 나타남을 보여주고 있다. Ruckenstein¹⁵에 의하면 에멀전의 안정성이 항복응력의 존재와 관계가 있다고 보고하였다. 이 항복응력 값은 Casson 방법²⁸을 사용하여 zero 전단속도에서 곡선을 외삽하여 구한다. 항복응력이 존재한다는 것은 에멀전 입자간에 내부구조를 형성한다는 것을 의미함으로써 본 실험에서 제조한 에멀전 모두가 안정하다는 것을 제시해 주는 것이다. 특히 혼합계면활성제 15%를 사용하여 제조한 에멀전들의 항복응력 값 (CSM 10%: 7.73 Pa, CSM 15%: 10.23 Pa, CSM 20%: 8.25 Pa)은 혼합계면활성제 10% (CSM 10%: 0.21 Pa, CSM 15%: 2.63 Pa, CSM 20%: 5.12 Pa), 20% (CSM 10%: 3.83 Pa, CSM 15%: 6.81 Pa, CSM 20%: 9.13 Pa), 25% (CSM 10%: 2.56 Pa, CSM 15%: 6.21 Pa, CSM 20%: 7.43 Pa)를 사용한 것보다 높은 항복응력 값을 보이는 것은 에멀전 droplet과 polymer network 사이의 상호작용이 10%, 20%, 25%를 사용한 것보다 상대적으로 더 크기 때문인 것으로 여겨진다. 또한 20% CSM을 유화시킨 에멀전들이 10%, 15% CSM보다 높은 항복응력 값을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 항복응력 값이 유변학적 탄성기여에 비례하기 때문인 것으로 사료된다.

4. 흡착특성 및 표면장력

Figure 7은 UV 스펙트럼으로써 흡착특성²⁹을 나타내고 있다. 본 그림에서 제시된 바와 같이 220 nm에서 발색단의 존재를 확인 할 수 있다. CSM rubber에 대한 계면활성제의 흡착은 입자표면의 전하와 계면활성제의 전하와의 관계, 그리고 흡착된 형태에 따른 흡착층의 반발 등으로 안정화된다. 본 실험의 흡착특성에서는 O/W 계면에 계면활성제 분자들이 더 조밀하게 충전되어 보다 많은 흡착을

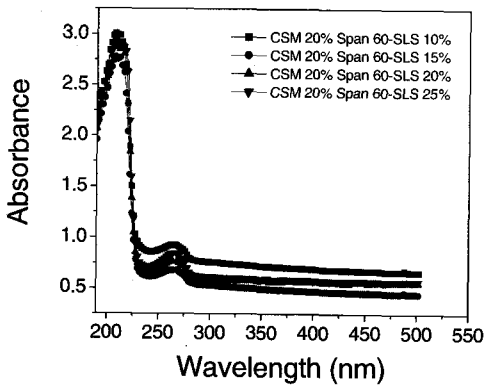
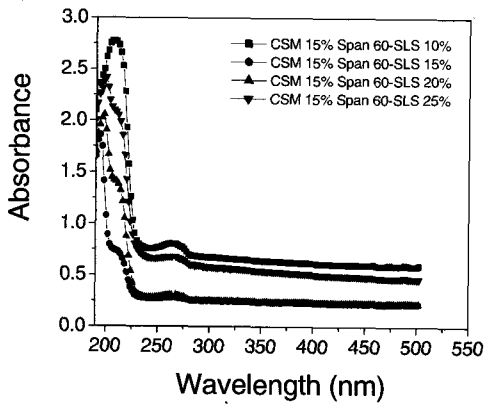
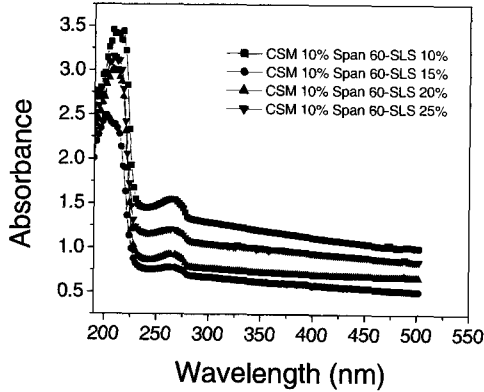


Figure 7. UV-Spectra of CSM rubber emulsion with surfactant concentration.

함으로써 UV 스펙트럼 흡수율이 낮게 나타난다고 해석할 수 있다. 특히 주목해야 할 사항은 CSM rubber 10%, 15%, 20% 모두 혼합계면활성제의 양을 15% 사용하였을 경우가 UV 스펙트럼 흡수율이

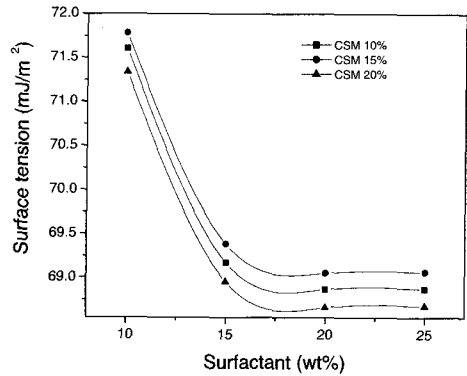


Figure 8. Surface tension of CSM rubber emulsion with surfactant concentration.

가장 낮게 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 혼합 계면활성제가 O/W 계면에 흡착을 많이 함으로써 계면을 더욱 활성화시켜 CSM rubber 표면에 흡착되어 두꺼운 흡착층을 형성시키며 이 흡착층간의 반발력이 입자간의 인력보다 큰 값을 보이므로 분산입자 사이의 응집이 억제되는 입체장애 안정화 효과에 의해서 CSM rubber 에멀전이 안정화된다고 해석할 수 있다. 이는 앞서도 살펴본 전단속도에 따른 전단응력을 측정된 결과에서 계면활성제 15%를 사용하였을 경우 가장 높은 항복응력 값을 보임으로써 에멀전 droplet과 polymer network 사이의 상호작용이 상대적으로 더 크게 되어 가장 안정한 거동을 보이는 결과라고 해석한 사항을 뒷받침 해주는 결과라고 사료된다.

한편, 일반적으로 계면활성제는 저농도의 수용액에서 표면장력을 크게 감소시키는 특성을 지닌다. 수용액에서 물분자는 분자간의 인력으로 인하여 열역학적으로 안정하지만 서로 재결합하려는 에너지 준위가 낮은 응집상태를 이루고 있다. 따라서 에너지 준위가 비교적 높고 열역학적으로 불안정한 상태에서는 표면적을 감소시키려고 한다. 이와 같은 현상이 표면장력으로 나타나는 것으로 표면장력은 각 표면에서 분자간에 작용하는 응집력의 크기라고 할 수 있다. 본 실험에서 표면장력은 pendant drop method를 이용하여 용액이 맺어지는 모양을 분석하여 측정하였으며 Bashforth-Adams 방법³⁰을 이용하여 표면장력을 계산하였고 그 결과를

Figure 8에 나타내었다. Figure 8에서와 같이 계면활성제의 양이 증가함에 따라 표면장력의 감소를 나타내나 한계농도 이상에서는 거의 일정한 값을 보였다. 표면장력의 감소는 계면활성제의 소수성기가 물과 멀리하고자 하여 수표면에 존재하거나 CSM rubber 표면에 모여 배향하는 반면, 친수성기는 수중에 배향하게 되므로 물과 CSM rubber 사이의 접촉면을 줄이려는 특성 때문에 표면장력이 감소하는 것으로 해석할 수 있다. 계면활성제의 농도가 낮을 때에는 분자상태로 분산되어 있어 표면장력에 영향을 미치지만 어느 한계농도 이상이 되면 농도의 영향을 거의 받지 않게 된다. 이는 어느 한계농도 이상에서는 용해된 계면활성제 분자의 소수성기가 상호간에 결합하여 내부로, 친수성기는 외부로 배향하는 미셀 집단체를 만들고 분자상태로 분산된 용액의 농도에는 변화가 없기 때문이다. 계면활성제가 미셀을 형성하기 시작하는 농도인 임계미셀농도 (cmc)를 전후로 하여 표면장력, 계면장력, 전기전도도, 세정력, 점도, 밀도, 용해도 등의 특성이 급격히 변화한다.³¹ 그러므로 본 실험에서는 표면장력의 측정결과인 Fig. 8의 계면활성제 농도와 표면장력의 곡선의 변곡점으로부터 cmc를 구하였다. CSM rubber 10%, 15% 그리고 20% 모두 혼합계면활성제 15% 부근에서 cmc를 형성하였다고 할 수 있다. 계면활성제가 15% 이하에서는 단량체로 존재하고 있으나 이 이상에서는 단량체와 미셀이 공존하여 평형상태를 이루고 있으므로 표면장력이 일정한 값을 가지며, 본 CSM rubber를 유화시키는데 필요한 혼합계면활성제의 양이 대략 15% 정도가 적당할 것으로 해석할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 지금까지 시도되지 않았던 CSM rubber를 반전유화법과 혼합계면활성제를 이용하여 유화시켜 에멀전을 제조하였으며, 제조된 CSM rubber 에멀전의 안정성을 유변학적 거동을 통하여 알아보았다. 단독 계면활성제를 사용했을 경우에는 에멀전의 상분리가 발생되었으나, 비이온 계면활성제 Span 60과 음이온 계면활성제 SLS를 혼합 사용

하였을 때에는 상분리가 일어나지 않는 안정한 거동을 보였다. CSM rubber 에멀전의 droplet size, 점도, 전단응력과의 관계 그리고 UV를 통한 O/W 계면의 흡착특성 및 표면장력으로부터 에멀전의 안정성을 확인할 수 있었다. 혼합계면활성제의 양이 증가함에 따라 droplet size는 감소하였고, 이에 따라 점도는 증가하였다. 또한 전단속도에 따른 점도와 전단응력을 측정한 결과 shear thinning 거동과 항복응력이 존재함을 확인할 수 있었다. 특히 혼합계면활성제 15%를 사용하여 제조한 CSM rubber 에멀전이 가장 높은 항복응력 값 및 흡착특성을 보였다. 이러한 미세한 droplet size 및 흐름특성과 항복응력 값 그리고 UV 스펙트럼의 흡수율로부터 본 실험에서 제조한 CSM rubber 에멀전이 안정하다는 것을 규명할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. J. A. Brydson, "Rubbery Materials and their Compounds", Elsevier, New York, 1988.
2. V. Brajko, "Elastomers and Rubber Compounding Materials", Elsevier, New York, 1989.
3. D. Attwood and A. T. Florence, "Surfactant Systems", Chapman and Hall, New York, 1983.
4. R. M. K. Cobb, in "Emulsion Technology", H. Bennett Ed., 7, Chemical Pub., New York, 1946.
5. H. Sagitani, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **58**, 738 (1981).
6. N. Endo, H. Sagitani, and Yukaraku, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **40**, 133 (1991).
7. K. Shinoda and H. Saito, *J. Colloid Interface Sci.*, **30**, 259 (1969).
8. T. J. Lin, H. Kurihara, and H. Ohta, *J. Soc. Cosmet. Chem.*, **24**, 797 (1973).
9. T. J. Lin, H. Kurihara, and H. Ohta, *J. Soc. Cosmet. Chem.*, **26**, 121 (1975).
10. A. C. Hellgren, P. Weisenborn, and K. Holmberg, *Progr. Org. Coat.*, **35**, 79 (1999).
11. H. Fruhner, K. D. Wantke, and K. Lunkenheimer, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. as Aspects*, **162**, 193 (1999).
12. K. Buszello, S. Harnisch, R. H. Müller, and B. W.

- Müller, *Eur. J. Pharma. Biopharm.*, **49**, 143 (2000).
13. B. Abismail, J. P. Canselier, A. M. Wilhelm, H. Delmas, and C. Gourdon, *Ultrasonics Sonochem.*, **6**, 75 (1999).
 14. D. D. Vleeschauer and P. van der Meeren, *Colloids surfaces A: Physicochem. Eng. as Aspects*, **152**, 59 (1999).
 15. E. Ruckenstein, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **79**, 59 (1999).
 16. D. Miller, E. M. Wiener, A. Turowski, C. Thunig, and H. Hoffmann, *Colloids surfaces A: Physicochem. Eng. as Aspects*, **152**, 155 (1999).
 17. P. F. Luckham and M. A. Ukeje, *J. Colloid Interface Sci.*, **220**, 347 (1999).
 18. R. Pal, *J. Colloid Interface Sci.*, **225**, 359 (2000).
 19. A. W. Adamson, "Physical Chemistry of Surfaces", 5Ed, John Wiley, New York, 1990.
 20. P. Cigana and B. D. Favis, *Polymer*, **39**, 3373 (1998).
 21. M. M. Rieger, *Cosm. Toilet.*, **106**, 59, (1991).
 22. H. A. Barnes, *Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. as Aspects*, **91**, 89 (1994).
 23. E. Dickinson, M. I. Goller, and D. J. Wedlock, *Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. as Aspects*, **75**, 195 (1993).
 24. C. D. Han, "Rheology in Polymer Processing", Academic Press, New York, 1976.
 25. B. P. Binks "Modern Aspects of Emulsion Science", The Royal Society of Chemistry, London, 1998.
 26. A. Kim, S. J. Park, and J. R. Lee, *J. Colloid Interface Sci.*, **197**, 119 (1998).
 27. Y. Chen and H. Conrad, *ASME Fed.*, **249**, 105 (1999).
 28. C. W. Macosko, "Rheology Principles, Measurements and Applications", John Wiley and Sons, New York, 1994.
 29. S. J. Park and J. R. Lee, *J. Colloid Interface Sci.*, **219**, 178 (1999).
 30. R. Zana, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **57**, 1 (1995).
 31. T. Nakagana and K. Shinoda, "Solvent Properties of Surfactant Solution", Marcel Dekker, New York, 1967.