

HLB 변화와 전상유화에 의해 형성된 에멀전의 안정성

양희정 · 김재현 · 조완구* · 박수남[†]

서울산업대학교 자연생명과학대학 정밀화학학과

*전주대학교 대체의학대학 대체건강관리학부

(2009년 3월 4일 접수 ; 2009년 5월 2일 채택)

The Stability of Emulsions Formed by Phase Inversion with Variation of HLB of Surfactant

Hee-Jung Yang · Jae-Hyun Kim · Wan-Goo Cho* · Soo-Nam Park[†]

*Department of Fine Chemistry, College of Nature and Life Science, Seoul National University
of Technology, 172, Gongneung 2-dong, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea*

**School of Health Alternative Medicine, College of Alternative Medicine, Jeonju University,
45 Baengma-gil, Wansan-gu, Jeonju, 560-759, Korea*

(Received March 4, 2009 ; Accepted May 2, 2009)

Abstract : Caprylic/Capric triglyceride-in-water emulsions stabilized by Nikkol HCO-60 and HCO-10 were prepared using emulsion inversion point method at different HLB values. Emulsions with various droplet sizes were formed, and emulsion inversion point was detected by electrical conductivity. The change in emulsion droplet sizes and long term stability were monitored using laser scattering method and visual method. The droplet sizes and stability of emulsions were affected by HLB of surfactant. At emulsion inversion point, the water volume fraction increased as the HLB of surfactants decreased. According to our analysis, this resulted from a tendency of forming the W/O (water-in-oil) emulsion as the HLB of surfactants was decreased. The emulsion inversion point was clearly detected by the microscope and the electric conductivity meter. Nanometer-sized emulsion was obtained at the optimum HLB by using emulsion inversion point method. The main pattern of instability of emulsions in HLB 12 and 13 systems was Ostwald ripening. However, The patterns of instability of emulsions below 11 of HLB systems were Ostwald ripening and coalescence. All emulsions produced with surfactants in the range of HLB 8-13, creaming caused by density difference between water phase and oil phase.

Keywords : emulsion, HLB, inversion, stability, creaming

[†]주저자 (e-mail: snpark@snut.ac.kr)

1. 서론

에멀전은 산업적으로 광범위하게 사용되고 있으며 에멀전의 입자크기를 포함한 물리적 성질은 유화제의 양, 유화제의 용해 위치, 염과 보조유화제의 존재 유무 등의 조건과 유화방법에 따라 다양한 결과를 보인다[1-3]. 유화는 일반적으로 초기 유화 형태와 최종 유화 형태가 같은 직접 유화 방법으로 제조된다. 따라서 분산상을 연속상에 첨가하면서 교반하는 과정을 거친다. 그러나 상전이 유화는 연속상을 분산상에 첨가하고 전상과정을 거쳐 최종 에멀전을 제조하는 방법이다.

에멀전 계에서 최적의 유화제를 선정하는 것은 매우 중요하다. 에멀전에서는 일반적으로 안정성이 높은 에멀전이 요구되는데 단일 계면활성제로는 안정성이 좋은 경우가 흔치않다[4]. 예를 들면 친수성의 사슬 길이의 분포가 넓은 경우 보다 안정한 에멀전이 생성된다. 복합 유화제의 사용은 에멀전의 안정성을 향상시킴이 보고되었다[5]. Bancroft에 의하면 사용한 유화제가 좀 더 용해성이 좋은 상이 연속상이 된다고 보고하였다[6]. Griffin이 HLB 개념을 도입한 이래 온도에 따른 변화 등의 약점을 가지고 있지만 HLB는 유화제의 선정에 현재 까지도 편리하게 사용되고 있다[7]. 높은 HLB (hydrophilic lipophilic balance)를 가진 계면활성제는 물에 용해성이 좋고 낮은 HLB를 가진 유화제는 오일에 친화성이 높다. 따라서 높은 HLB를 가진 유화제는 O/W (oil-in-water) 에멀전에 유리하고 낮은 HLB의 유화제는 W/O (water-in-oil) 에멀전을 형성한다. 오일에 따라 달라지지만 일반적으로 HLB 10-16의 유화제가 O/W 에멀전 형성에 유리하다. 따라서 이는 서로 HLB가 다른 유화제의 수많은 조합이 가능함을 의미한다. HLB가 8보다 작으면 일반적으로 W/O 에멀전을 형성하며 HLB가 8-11인 경우의 유화제는 친수성과 친유성의 균형을 이루게 되며 이 결과로 에멀전의 평균 HLB를 변화시키면 에멀전의 과도기적 상전이(transitional phase inversion, TPI)가 일어난다. 이때 전상점에서는 계면 간에 극소의 계면장력을 수반한다. TPI는 유상과 수상의 비율을 변화 시켜도 일어남도 보고되었다[8]. 즉 HLB가 다른 유화제를

가진 상에 다른 상을 첨가하는 것은 HLB와 동일하게 분산상의 비율 변화를 수반하게 된다. Shinoda[9]등은 최초로 전상점을 통과해서 제조된 에멀전의 입자 크기가 작아짐을 보고하였다. 이들은 HLB를 변화시키기 위해 온도를 변화시켰다. 그 후 많은 연구자들이 격변 전상(catastrophic phase inversion, CPI)과 함께 TPI의 특성을 보고하였다[10-12].

일반적으로 CPI라고 부르는 전상은 유화과정 중 에멀전 입자의 합일과 분쇄의 균형이 더 이상 유지 될 수 없을 때 일어나며 CPI는 계면활성제, 염 또는 첨가제에 의해 야기 될 수 있으며 분산상의 첨가에 의한 온도 변화 등에 의해서도 생길 수 있으나 TPI와는 달리 기작에 대해서는 잘 정의 되어 있지 않다. TPI와 CPI에 대한 그래프는 유화제의 HLB와 유수상 부피 분율로 나타낼 수 있는데 그래프는 에멀전의 형상을 구분하여 TPI와 CPI 선을 표시할 수 있다[13].

에멀전은 일반적으로 최대의 안정성을 확보하도록 설계된다. 에멀전은 전상점에서 가장 불안정하다. 결과적으로 에멀전의 처방은 전상점의 HLB와는 다르게 유화제의 조성을 선택한다. 즉 많은 경우 전상점의 유화제 HLB 조성은 최종 처방에서는 사용되지 않지만 유화 과정 중에는 요구된다. 단일 비이온계의 유화제를 사용하는 경우는 단지 온도에 의해서만 HLB의 변화가 생겨 TPI가 형성되지만 높은 HLB와 낮은 HLB 값을 갖는 유화제를 혼합하여 사용하면 유화 중에 온도에 국한되지 않고 TPI을 형성할 수 있다. 이를 이용하여 궁극적으로 미세 에멀전을 얻을 수 있다[14]. 따라서 유화과정에서 고려해야 할 중요한 사항은 어떤 방법으로 유화제를 유화계에 혼합시킬까하는 것이다. 따라서 유화제의 위치 즉 유화제를 수상과 유상의 어느 상에 용해 할 것인가가 중요한 변수가 된다[15].

본 연구에서는 수첨 POE-경화 피마자유의 에틸렌옥사이드 사슬 길이 조정에 의해 제조된 두 종류의 유화제를 혼합하여 HLB를 변화하고 HLB 변화에 따른 에멀전의 형성과 형성된 에멀전의 입자 크기와 안정성에 대해 평가하고자 한다.

2. 재료 및 실험

2.1 재료

카프릴릭/카프릭 트리글리세라이드(Lexol® GT-865, Inolex, USA)를 유상으로 사용하였으며 유화제로서 Nikkol® HCO 10과 60 (Nikko Chem., Japan)을 사용하였다. Nikkol® HCO 10과 60은 폴리에틸렌글리콜 경화 피마자유로서 각각 폴리에틸렌글리콜의 몰수에 따라 HLB는 6.5와 14.0으로 HCO 10은 오일 용해성 및 HCO 60은 수상에 각각 용해성이 양호하였다. 물은 Milli-Q system (Millipore, USA) 장치를 역삼투압 방식으로 정제 후 사용하였다.

2.2 유화장치 및 유화방법

유화는 호모믹서(ROBOMIX, TK, Japan)를 사용하였으며 교반속도는 1,000 rpm으로 3 mL min⁻¹의 속도로 유화제를 유상에 용해한 후 유상에 수상을 첨가하였다. 이때 유화는 22 °C 실온에서 실시하였으며 상전이점은 전기전도도가 크게 변화하는 시점에서 측정하였다.

2.3. 유화입자 크기 측정

유화입자는 Dynamic light scattering 방법을 활용한 입자측정기(DLS, ELSZ, Otsuka Elec., Japan)를 사용하여 에멀전을 희석 없이 실온에서 측정하였다.

2.4 전기전도도 측정

에멀전 형성과정 중의 전기전도도 측정은 디지털 전도도 측정 장치(JENWAY 4200, Bibby Scientific Ltd., UK)를 사용하였다.

2.5 유화안정성 평가

에멀전의 안정성 평가는 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법은 수상의 분리 정도를 육안으로 평가 하였고, 두 번째 방법은 입도 분포 측정 장치(DLS, ELSZ, Otsuka Elec., Japan)를 이용하였다. 상 분리는 에멀전 제조 후에 경시에 따른 계면의 위치를 측정하였으며 입도 분포의 측정은 농후한 에멀전을 그대로 이용하였다. 입자의 형태를 촬영하기 위해 현미경(DFC 290, Leica, Germany)을 사용하였다. 벌크 에멀전의 촬영은 디지털 카메라(COOLPIX S610, Nikon)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

에멀전의 입자 크기는 유상과 수상을 혼합하는 순서, 유화제를 유상 또는 수상에 용해하는 위치, 유상 또는 수상의 첨가속도 등 다양한 에멀전 제조 방법으로 목적에 부합되는 에멀전을 형성할 수 있다[12].

본 실험에서는 카프릴릭/카프릭 트리글리세라이드를 유상으로 하고 폴리에틸렌글리콜 경화 피마자유인 Nikkol® HCO 10과 60의 함량을 조절하여 HLB를 각각 8, 9, 10, 11, 12, 13으로 변화하여 에멀전을 제조하였다. 유화제의 전체 함량은 2.0 wt%을 사용하고 유화제를 유상에 위치하여 전상유화를 실시하여 HLB에 따른 에멀전의 입자 크기 및 안정성 등을 관찰하였다. 이때 유상은 10.0 wt%로 고정하였고 수상을 서서히 첨가하면서 전상이 일어나는 물의 분율(f_w)을 측정하여 전상점으로 하였다.

혼합 유화제의 HLB_{mix}는 HLB가 각 6.5인 HCO 10과 14.0인 HCO 60을 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$HLB_{mix} = HLB_{10}A\% + HLB_{60}B\% \quad (1)$$

여기서 HLB₁₀, HLB₆₀ 그리고 HLB_{mix}는 각각 HCO 10, HCO 60 및 혼합 계면활성제의 HLB를 나타내고 A, B의 %는 무게 비율이며 25 °C를 기준으로 HLB를 계산하였다.

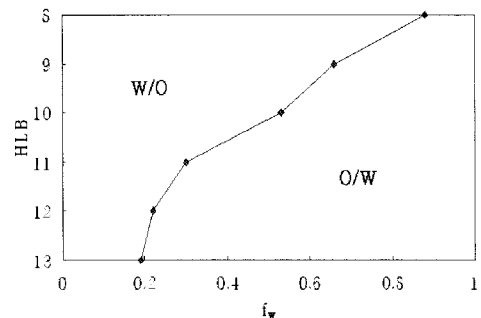


Fig. 1. Simplified-phase map for caprylic capric triglyceride/water/HCO at the surfactant concentration of 2.0 wt%.

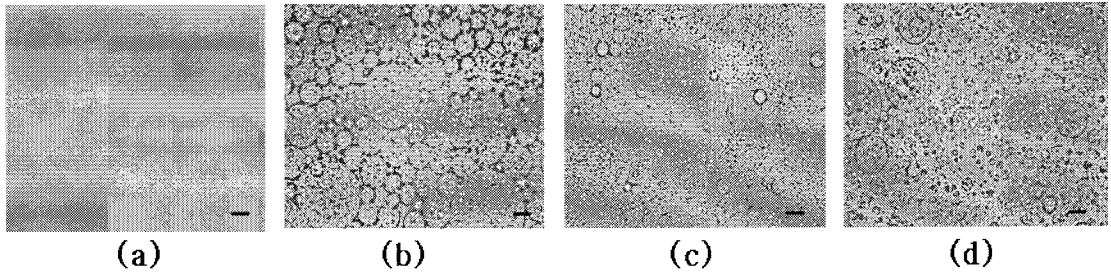


Fig. 2. Microscope images of emulsions at the inversion point(HLB = 13). The bar equals 5 mm in the panel. (a): $f_w = 0.12$, (b): $f_w = 0.16$, (c): $f_w = 0.17$, (d): $f_w = 0.18$

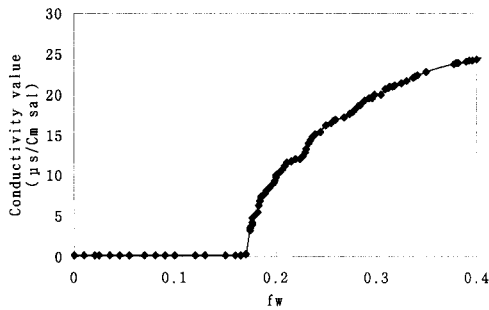


Fig. 3. Electrical conductivity as a function of time for emulsions(HLB = 13) with water volume fraction(f_w).

Fig. 1에 HLB에 따른 에멀전의 전상점의 물 분율(f_w)을 나타냈다. HLB가 낮아짐에 따라 전상점의 물 분율이 증가하였다. 이는 HLB가 낮을수록 W/O 타입의 에멀전을 형성하려는 경향에 기인되는 것으로 생각된다. 따라서 실온에서 그래프상의 상단 영역은 W/O 영역을 나타내며 하단 영역은 O/W 에멀전을 나타낸다. Fig. 2에 혼합 유화제의 HLB가 13일 때 전상점 부근에서의 현미경 사진을 나타냈다. 입자의 형태가 전상점 이하에서와 전상점 부근에서 에멀전 입자의 형태가 많은 차이를 보였다. 전상점 이하((Fig. 2 (a))에서는 미세한 W/O 형태의 에멀전을 보였으며 전상점에서는 불균일한 형태의 에멀전을 보였다((Fig. 2 (b)). 전상의 유무를 좀 더 명확하게 관찰하고자 유화과정 중의 전기전도도 변화를 관찰하여 Fig. 3에 나타냈다. 수상 첨가되면서 전상 전에는 전기전도도 수치를 보이지 않는 W/O 형태의 에멀전에서 수상이 첨가됨에 따라 전기전도도 값이 점차 증가하였다. 이는 에멀전이 W/O 형태에서 전상점

을 거쳐 O/W 형태의 에멀전으로 전상되었음을 보여준다.

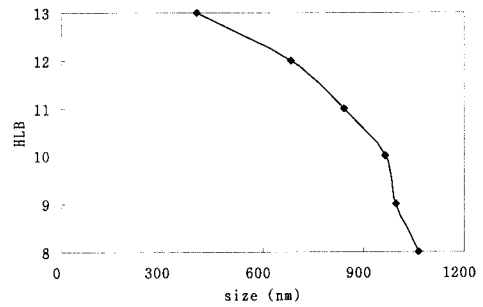


Fig. 4. Diameter of droplet as a function of the mixed HLB values for emulsions with 10.0 wt.% oil and 2.0 wt.% surfactants.

Fig. 4에 HLB 변화에 따라 전상유화법에 의해 제조된 에멀전의 초기 입자크기를 나타냈다. HLB가 증가함에 따라 입자의 크기가 작아지며 HLB 13에서는 400 nm 크기의 입자를 보여 나노 에멀전의 양상을 나타냈다. HLB의 적절한 선택으로 작은 에멀전 입자를 얻을 수 있음을 보여준다. 이와 같은 결과는 일반적으로 전상 유화법으로 제조된 에멀전은 입자 크기가 작은 에멀전을 제조할 수 있다[16, 17]는 실험 결과와 같은 양상을 보여준다. Shinoda 등은 전상점에서 유상과 수상의 계면장력이 최소가 되면서 입자 크기가 작은 에멀전이 제조됨을 보고하였다[13]. Fletcher 등은 헵탄을 유상으로, Aerosol® OT를 유화제로 사용하고 수용액 상의 염화나트륨 농도에 의해 HLB를 조정하여 에멀전을 형성한 경우 역시 전상점에서 가장

작은 입자 크기와 안정성을 보유한 에멀전이 생성됨을 보고하였다[17].

유화물의 안정성은 다양한 기작에 의해 동시 다발적으로 일어난다[18]. 즉 응집, 합일, 크리밍, 오스트왈드 라이퍼닝 및 침전 등이 대표적인 에멀전 불안정화 기작이다. 그 중에서 크리밍 현상의 속도, v 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다[18].

$$v = a^2 Drg / 3hy(f) \quad (2)$$

여기서 a 는 유화입자의 반경, D_r 는 내상과 외상의 비중 차이, g 는 중력가속도, h 는 용매의 점도이며 $y(f)$ 는 유화입자 상호간의 유체역학적 상호작용을 설명하는 변수이다.

또한 오스트왈드 라이퍼닝은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다[17]. 즉 오스트왈드 라이퍼닝 속도, w 는

$$w = da^3/dt = 8gC^{eq}V_m Dz(f)/9RT \quad (3)$$

여기서 g 는 유상과 수상의 계면장력, V_m 는 분산상의 몰 부피($m^3 mol^{-1}$), C^{eq} 는 분산상의 연속상에 대한 용해도($m^3 m^{-3}$), D 는 분산상의 연속상에 대한 확산계수($m^2 s^{-1}$), R 은 기체상수, T 는 절대온도이며 $z(f)$ 는 오스트왈드 라이퍼닝 속도가 분산상의 분율 (f)에 기인하는 계수이다. 오스트왈드 라이퍼닝 속도는 입자 반경의 세제곱으로 표현할 때 직선의 그래프로 얻을 수 있음을 보여준다.

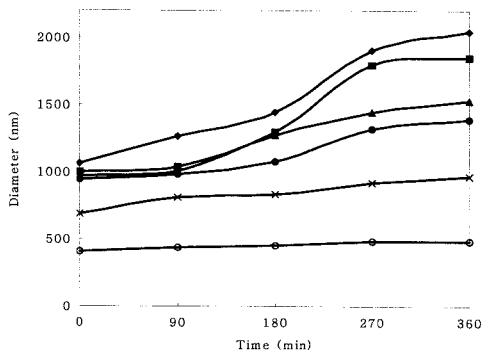


Fig. 5. Diameter of droplet of emulsions as a function of time for emulsions varied HLB value of surfactants. HLB: ◆, 8; ■, 9; ▲, 10; ●, 11; ×, 12; ○, 13.

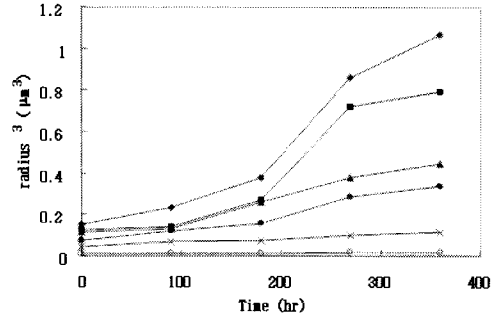


Fig. 6. Number average of radius cubed versus time for various HLB of surfactants used in emulsions. HLB: ◆, 8; ■, 9; ▲, 10; ●, 11; ×, 12; ○, 13.

Fig. 5는 전상유화로 제조된 에멀전의 안정성을 관찰하고자 경시에 따른 입자 크기의 변화를 관찰한 결과이다. 입자 크기는 HLB 13에서는 경시에 따라 입자 크기의 변화가 적었고 HLB가 낮아짐에 따라 입자 크기가 비교적 크게 증가하는 양상을 보였다. HLB에 따른 에멀전 불안정화 기작을 설명하고자 에멀전 입자 변화와 오스트왈드 라이퍼닝 속도 식(3)과의 상관성을 Fig 6에 나타냈다. HLB 13과 12의 유화제로 제조된 에멀전에서는 w 의 변화가 직선을 보이는데, 이는 나노에멀전의 불안정화 기작인 오스트왈드 라이퍼닝에 의한 입자 크기의 증가로 설명할 수 있다. 그러나 입자 크기가 큰 HLB 11 이하에서는 w 의 직선을 볼 수가 없고 이는 통상 마이크로에멀전의 불안정화 기작인 합일과 오스트왈드의 동시 기작으로 추정된다. 또한 동시에 내상과 외상의 비중차이에 의한 크리밍 현상에 의한 수상의 분리 현상도 관찰되었다.

HLB에 따른 에멀전의 안정성에서 정전기적인 반반력에 의해 응집과 합일이 억제되며 에멀전 표면에서의 입자의 농도가 일정하다고 가정하면, 운동학적인 측면에서의 크리밍 현상은 에멀전 입자의 상승에 기인하며 이때의 입자 상승 속도는 물과 에멀전 계면의 속도와 일치한다. 입자의 크기가 감소하면 입자의 상승속도는 감소한다. 이는 Winsor계에서 제조된 O/W 에멀전의 안정성 실험결과의 일치한다[17]. 즉 Winsor 계에서 제조된 Aerosol® OT 에멀전의

안정성은 염화나트륨의 농도에 따라서 안정성의 증가를 보인다. 저 농도의 염화나트륨에서는 크리밍 현상이 주요한 에멀전 불안정성의 요인으로 보고하였다[19].

Fig. 7에 360 시간 후의 에멀전 사진으로부터 HLB가 낮아질수록 분리 정도가 증가하였다. 이는 입자의 크기로 인한 효과로 식(2)에서 입자 크기가 증가함에 따라 상대적으로 크리밍 속도가 증가하는 것으로 생각된다.

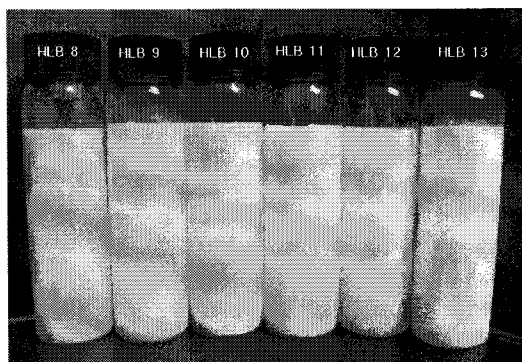


Fig. 7. Photograph of emulsions after 360 hours.

4. 결론

본 연구에서는 수침 POE-경화 피마자유의 에틸렌옥사이드 사슬 길이 조절에 의해 제조된 두 종류의 유화제를 혼합하여 HLB를 변화시키고 그에 따라 형성되는 에멀전의 전상점과 물 분율의 변화에 따른 상 지도를 얻었다. 또한 형성된 에멀전의 입자 크기와 안정성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 에멀전의 전상점은 계면활성제의 HLB가 낮아짐에 따라 전상점의 물 분율이 증가하였다. 이는 HLB가 낮을수록 W/O (water-in-oil) 타입의 에멀전을 형성하려는 경향에 기인되는 것으로 생각된다.
2. 전상점 이하에서는 미세한 W/O 형태의 에멀전에서 전상점에서는 불균일한 형태를 보였으며 이는 현미경과 전기전도도 측정으로 명확하게 구분되었다.
3. HLB의 적절한 선택과 전상 유화에 의하여 나노 크기의 에멀전 입자를 얻을 수 있었다.
4. HLB 12와 13의 유화제로 제조된 에멀전에

서는 입자 크기의 변화가 미세하였으며 이는 오스트왈드 라이퍼닝에 의해 작은 입자를 소모하여 입자의 크기가 증가하는 것으로 생각되며 HLB 11 이하의 유화제 조합에서는 오스트왈드 라이퍼닝이나 합일에 의한 입자 크기의 변화되는 것으로 생각된다.

5. 수분의 분리는 입자의 크기에 의한 크리밍 현상으로 입자 크기가 클수록 크리밍 속도가 커져 내상과 외상의 비중차이에 의한 크리밍 현상으로 수상의 분리 현상만이 관찰되었다.

감사의 글

본 논문은 (재)서울테크노파크 연구개발 사업의 일환으로 서울테크노파크 지원(과제번호: R&BD-2008-001)을 받아 수행된 연구 결과의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. H. J. Park and S. C. Kim, The Characteristic Control of Spherical Silica Particle Using by W/O Type Emulsion(I), *J. of the Korean Oil Chemist' Soc.*, 23(1), 1 (2006).
2. M. J. Choi, Y. M. Lee, and B. S. Jin, Studies on the Formation of Liquid Crystal and the Stability in W/O Emulsion Systems using Beeswax and Silicone Surfactant, *J. of the Korean Oil Chemist' Soc.*, 21(4), 279 (2004).
3. H. J. Yoo, D. J. Cheong, C. H. Cheong, M. S. Kim, H. S. Ham, H. S. Park, and T. W. Kim, Preparation and Optimization of Silicone Softener for PP Finish, *J. of the Korean Oil Chemist' Soc.*, 21(3), 191(2004).
4. B. W. Brooks and H. N. Richmond, Dynamics of Liquid-liquid Phase Inversion Using Nonionic Surfactants, *Colloids and Surfaces*, 58, 131 (1991).
5. Th. Tadros, P. Izquierdo, J. Esquena, and C. Solans, Formation and Stability of

- Nanoemulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 108, 303 (2004).
6. W. D. Bancroft, The Theory of Emulsification, *J. Phy. Chem.*, 17, 501 (1913).
 7. W. C. Giffin, Classification of Surface Active Agents by HLB, *J. of Cosmetics and Chemistry*, 1, 311 (1949).
 8. S. Sajjadi, F. Jahanzad, and M. Yianneskis, Catastrophic Phase Inversion of Abnormal Emulsions in the Vicinity of the Locus of Transitional Inversion, *Colloids and Surfaces*, 240, 149 (2004).
 9. K. Shinoda, M. Harrin, H. Kunieda, and H. Saito, Principles of Attaining Ultra-low Interfacial Tension—the Role of Hydrophilic-lipophilic Balance of Surfactant at O/W Interface, *Colloids and Surfaces*, 2, 301 (1981).
 10. J. L. Salager, A. Forgiarini, L. Marquez, A. Pena, A. Pizzino, M. P. Rodriguez, and M. Rondon-Gonzales, Using Emulsion Inversion in Industrial Processes. *Advances in Colloid and Interface Science*, 108, 259 (2004).
 11. S. Sajjadi, M. Zerfa, and B. W. Brooks, Dynamic Behaviour of Drops in Oil/Water/Oil Dispersions, *Chemical Engineering Science*, 57, 663 (2002).
 12. S. E. Salager, E. C. Tyrode, M. T. Celis, and J. L. Salager, Influence of the Stirrer Initial Position on Emulsion Morphology. Making Use of the Local Water-to-Oil Ratio Concept for Emulsion Engineering Purpose. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41, 4808 (2001).
 13. I. Cuéllara, J. Bullóna, A. M. Forgarinib, A. Cárdenasa, and M. I. Briceñoob, More Efficient Preparation of Parenteral Emulsions or How to Improve a Pharmaceutical Recipe by Formulation Engineering, *Chemical Engineering Science*, 60, 2127 (2005).
 14. H. J. Yang, W. G. Cho, and S. N. Park, Stability of Oil-in-Water Emulsions Prepared Using the Phase Inversion Composition Method, *J. Ind. Eng. Chem.*, 15, 331 (2009).
 15. S. Sajjadi, Effect of Mixing Protocol on Formation of Fine Emulsions, *Chem. Eng. Sci.*, 61, 3009 (2006).
 16. K. Shinoda and H. Kunieda, Conditions to Produce So-called Microemulsions: Factors to Increase the Mutual Solubility of Oil and Water by Solubilizer, *J. Colloid Interface Sci.*, 42, 381 (1973).
 17. B. P. Binks, W. G. Cho, P. D. I. Fletcher, and D. N. Petsev, Stability of Oil-in-Water Emulsions in a Low Interfacial Tension System, *Langmuir*, 16, 1025 (2000).
 18. N. Watabe, Y. Tokuoka, and N. Kawashima, Influence of Synthetic Perfumes on Stability of O/W Emulsion in Sodium Dodecyl Sulfate-*n*-Dodecane-Water Ternary Systems, *Colloid Polym. Sci.*, 286, 769 (2008).
 19. W. G. Cho, Stability of Emulsions Prepared from Winsor Systems, *J. Ind. Eng. Chem.*, 9(2), 261 (1998).