

O/W형 microemulsion의 생성영역과 입자크기 및 안정성에 관한 연구

오주영, 한창규, 조춘구
(승실대학교 화학공학과)

A study on the formation region, droplet size and stability of O/W microemulsion

Joo-young Oh, Chang-gew Han, Choon-ku Zhoh
(Dept. of chemical engineering, Soongsil Univ.)

요 약

본 연구에서는 ME의 각 성분의 구조가 그들의 생성영역, 입자의 크기 및 안정성에 미치는 영향을 고찰하고자 surfactant로서 POE sorbitan fatty acid 계를 사용하였고, oil로는 포화탄화수소계인 liquid paraffin, squalane, 방향족계열인 alkyl benzoate, Isostearyl benzoate를 그리고 cosurfactant로는 glycerine, propylene glycol, sorbitol, 1,3-butanediol을 사용하여 4성분계 ME을 제조하고, 이 계에서 cosurfactant의 구조적 특성이 ME 생성영역에 미치는 영향과 그리고 oil과 surfactant의 구조 특성이 제조된 ME 입자크기 및 안정성에 미치는 영향을 고찰한 결과, cosurfactant로 polyol류를 사용했을 때, polyol 분자 중 탄소가 같은 경우 OH수가 많을 때, OH기 수가 같을 경우 탄소수가 적을 때 ME생성영역이 크게 나타남을 알 수 있었으며 제조된 ME의 입자 크기를 비교했을 때 oil의 극성일 클수록, surfactant 소수부분의 alkyl chain의 탄소수가 클수록 입자크기가 작게 나타났다. 또한 분산상으로 사용된 oil 중 alkyl benzoate 나 Isostearyl benzoate에 비해서 포화탄화수소계인 liquid paraffin, squalane으로 구성된 ME의 경시안정성이 더 양호하였다.

1. 서론

ME은 일반적으로 water/oil/surfactant (W/O/S)의 3성분계와 water/oil /surfactant /cosurfactant(W/O/S/C)의 4성분계로 구성되며, 이들의 입자 크기는 10~100nm의 초미립 입자 크기 범위로 가시광선의 한계파장 범위보다 작기 때문에 투명하거나 반투명한 유동액체로서 가용화 미셀에 비해 많은 oil을 함유하고 광학적 등방성을 나타낸다고 알려져 있다.^{1~6)} 일반적인 emulsion(macroemulsion)은 동력학적(kinetically)으로 안정하지만, 결국 최소 계면 자유에너지를 갖기 위해서 분리되므로 계면활성제, 고분자와 안정화제 등을 첨가시킴으로 emulsion의 반응속도 상수 값을 줄여줌으로 입자의 합일 속도를 변화시켜 emulsion을 오랫동안 유지시켜 주지만 서로 섞이지 않는 두 상의 접촉면을 최소화시켜 주는 열역학적 driving force는 변화시키지 못한다. 반면에 ME은 화학적 조성, 온도, 압력 등과 같은 인자들의 큰 변화만 없다고 가정한다면 충분히 오랜시간동안 열역학적으로 안정하다. 열역학적 안정성외에도 일반적인 macroemulsion은 제조시 기계적인 장치 의존성이 크다. 작은 입자의 안정한 emulsion을 제조하기 위해서는 점도등 분산상의 bulk 특성과 섞이지 않는 두 상간의 합일을 유도하는 역방향으로의 양의 계면 자유에너지를 극복할 수 있어야 하지만 ME은 적정 조성과 적정조건에서는 자발적으로 형성되거나 약한 교반으로도 쉽게 형성시킬 수 있다.⁷⁾ 위에서 언급했던 바와 같이 열역학적으로 안정하고 광학적 효과가 우수하며 분산입자의 크기가 매우 작아 계의 표면적이 크고, 제조시 자발적인 형성으로 인한 기계적 열적 에너지의 최소화 등의 이점으로 인해 의약품, 화장품, 식료품, 농업용품 및 정유에서 tertiary oil recovery technique 등에 응용성이 점차 확대되고 있는 실정이다.^{8~13)}

본 연구에서는 아직까지는 다소 미흡한 ME의 각 성분의 구조가 그들의 생성영역과 입자의 크기 또한 안정성에 미치는 영향을 고찰하고자 surfactant로서 비교적 인체에 자극이 적은 비이온 계면활성제 중 유화, 분산, 가용화가 좋은 POE(20) sorbitan monolaurate, POE(20) sorbitan monopalmitate, POE(20) sorbitan monostearate를 사용하였고, oil로는 포화 탄화수소 계인 liquid paraffin(LP), squalane(SQ), 방향족 계인 alkyl benzoate(AB), Isostearyl benzoate(ISB)를 그리고 cosurfactant로는 피부보습제로 사용되고 있는 glycerine(Gly), propylene glycol(PG), sorbitol(SOR), 1,3-butanediol (BG)를 사용하여 4성분계 ME을 제조하고, 이 계에서 cosurfactant의 구조적 특성이

ME 생성영역에 미치는 영향과 그리고 oil과 surfactant의 구조 특성이 제조된 ME 입자크기 및 안정성에 미치는 영향을 고찰해 보았다.

2. 실험

2.1. 재 료

4성분계 O/W형 ME을 제조하기 위해 surfactant로서 POE(20) sorbitan monolaurate, POE(20) sorbitan monopalmitate, POE(20) sorbitan monostearate를 사용하였으며, 분산상인 oil로는 포화 탄화수소 계인 liquid paraffin, squalane, 방향족 계열인 alkyl benzoate, isostearyl benzoate를 그리고 cosurfactant로는 glycerin, propylene glycol, sorbitol, 1,3-butanediol을 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. ME 생성영역 고찰

Oil과 surfactant - cosurfactant 혼합물 (surfactant:cosurfactant = 1:1)을 각각 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1의 배합비율로 혼합한 후, thermo magnetic stirrer (Sibata scientific technology Ltd. Japan)를 사용하여 $80\pm 1^{\circ}\text{C}$ 까지 가열한 다음 여기에 같은 온도의 증류수를 가하면서 200 ± 10 RPM으로 30초 동안 교반한 후 30°C 까지 급냉하여 ME를 제조하였다. 이 때 육안으로 보아 투명 또는 반투명한 유동액체로 판별되면 ME이 생성된 것으로 보고 이를 삼상도표에 표시한 후 적정 ME 생성 영역 (minimum surfactant point)을 찾아 내었다.

2.2.2. 계면장력 측정

DU Nouy tensionmeter (Uchita Co, Japan) 를 사용하여 백금-이리듐 고리법으로 각 oil의 water에 대한 초기 계면 장력 및 cosurfactant를 10wt.% 첨가했을 때의 계면장력을 측정하였다. 이 때 water는 25°C 의 증류수를 사용하였으며 표면장력은 72.5 dyne/cm였다.

2.2.3. Oil과 surfactant 구조에 따른 ME 입자의 크기 분포

실험 1에서 찾아낸 ME 생성영역 중 surfactant minimum point인 oil 5wt.%, surfactant 10wt.%, cosurfactant 20wt.%, water 65wt.%로 계를 구성한 후 각 시료를 $70 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 승온시켜 혼합한 후 고압유화장치인 Microfluidizer (작업조건: 압력 10,000psi, 순환횟수 3회)를 이용하여 emulsion을 제조한 후 상온까지 냉각하였다. 제조한 시료는 실온에서 40일간 보관하였다.

2.2.4. 입자크기 측정

제조한 ME을 실온에서 40일간 보관시켜 10일 간격으로 4회 측정하였다. 측정기는 laser light scattering system (PCS 4700, Malvern U.K)을 이용하였고, 측정시 온도는 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. ME 생성영역

Schulman은 oil, water, surfactant로 구성된 계에서 alcohol 등을 cosurfactant로 첨가하면 이들 4성분 계의 oil-water 계면에서 계면압이 증가하여 음(-)의 계면 장력을 형성하기 때문에 ME이 생성된다고 제안하고 있다.^{2,13)} 그러나 Prince는 이 이론이 benzene이나 n-paraffin과 같이 물에 대한 계면장력이 비교적 큰 화합물의 경우 음(-)의 계면장력을 형성하기 위해서는 상대적으로 높은 계면압이 요구된다고 설명하고있다. 즉

$$\gamma_i = \gamma(o/w)_a - \Pi \text{ ----- (1)}$$

γ_i : 총 계면장력

$\gamma(o/w)_a$: alcohol의 감압작용에 의해 감압된 O/W의 계면장력

Π : 흡착된 surfactant film의 계면압

따라서 benzene이나 n-paraffin과 같이 물에 대한 계면장력이 큰 화합물인 경우 oil-water 계면에서 heptanol등의 중쇄 알코올을 cosurfactant로 첨가하면 $\gamma(o/w)_a$ 값

이 alcohol의 감압작용에 의해 흡착된 surfactant film의 계면압보다 작은 값을 가지게 되므로 음(-)의 계면장력이 형성되어 ME이 형성되는 것으로 알려져 있다.¹⁴⁾ 이와 같이 Schulman과 Prince는 ME이 자발적으로 형성되기 위하여 계면장력이 음이나 0이 되어야 한다고 주장했지만, Ruckenstein은 계면장력이 0에 가까운 양수를 가진다 할지라도 자유에너지가 음수인 적은 값을 갖게 된다면 ME이 안정하게 될 것이라고 가정했다. 그는 ME의 열역학적 안정성에 관해 설명했는데, 계면에 surfactant와 cosurfactant가 쌓이게 되면, bulk phase에서의 농도가 감소되고 따라서 화학적 전위차(chemical potential)가 감소하게 되는데 이러한 묽힘효과(dilution effect)에 의해 계의 자유에너지가 감소하게 된다. 즉 ME의 안정화는 음의 계면장력이 형성되기 때문이 아니라, bulk phase에서 surfactant의 농도가 감소하기 때문에 형성된 음의 자유에너지가 양수인 적은 값의 계면장력으로 인한 에너지를 극복할 수 있기 때문에 안정화될 수 있다고 주장했다.¹⁵⁾ 그런데 이와 같이 적은 입자의 계면장력을 측정한다는 것은 불가능한 일이기 때문에 모델을 직접 실험한다는 것도 또한 불가능하다. 하지만 surfactant와 cosurfactant가 혼합된 막이 oil과 water 계면에 흡착되어 순간적으로 음(-)의 계면 자유에너지를 가지게 되면 흡착된 monolayer에 의해 자발적으로 0의 계면장력에 도달하고 이런 상태가 되기 위해서 계는 amphiphatic 성분 즉, surfactant가 필요하게 된다는 이론은 현재로서 상당한 지지를 받고 있다.

본 실험에서는 surfactant로는 alkyl chain이 각기 다른 POE(20)SML, SMP, SMS를 사용하고 oil로는 구조적 특성으로 인해 극성치의 차이를 보이는 LP, SQ, AB, ISB와 cosurfactant로 사용된 alcohol은 OH/C 비가 서로 다른 Gly, SOL, PG, BG를 사용하여 4성분계 ME를 제조하고 이 계에서 각 성분의 특성이 미치는 영향을 비교 고찰하였다.

Fig.1.은 각 성분의 조성에 따른 ME 생성영역을 나타낸 그림이다. Fig.1.에서 공통적으로 나타난 사실은 surfactant와 oil의 종류에 관계없이 Gly를 cosurfactant로 첨가했을 때 전체적으로 가장 큰 생성영역을 나타냄을 볼 수 있다. Sagitani는 oil로 liquid paraffin, surfactant로 비이온계면활성제를 사용하여 oil의 가용화량을 증가시킬 목적으로 다가 alcohol을 사용한 실험에서 diol은 oil의 가용화량을 감소시키고, Gly는 증가시킨다고 보고된 바 있다.¹⁶⁾ 본 실험에서 얻은 결과로 볼 때 cosurfactant 분자 중 친수기로서 OH기를 가지면서 OH:C의 비가 3:3인 Gly, 6:6인 SOL, 2:3인 PG 2:4인 BG를 사용하여 각 oil과 surfactant에서의 ME생성영역을 볼

때 BG가 가장 작은 영역을 나타낸 반면, Gly가 가장 큰 영역을 나타내는 것을 알 수 있다. 이런 현상은 OH/C의 비가 클 수록 물과의 친화력이 크다는 Hendrick의 발표내용¹⁷⁾과 일치함을 알 수 있었다. 이런 경향은 OH/C의 비가 클수록 친수기의 영향으로 surfactant의 친수성 head area를 넓혀 oil이 침입할 수 있는 공간을 넓혀 주는 결과를 가져왔다고 볼 수 있다. Fig.2.는 oil의 초기 계면 장력과 cosurfactant를 10wt.% 첨가했을 때의 oil의 계면장력을 비교 측정하여 나타낸 그림이다. Fig.2.를 통하여 polyol을 cosurfactant로 첨가하였을 때 계면장력이 oil의 종류에 관계없이 현저히 저하됨을 알 수 있었다. 위 결과 들은 cosurfactant로 사용된 polyol이 oil상과 interphase 사이에 분할되어 oil의 특성에 영향을 미쳐 물과의 계면장력을 변화시키는데, 그 변화 정도는 alcohol의 OH/C의 비에 따라 결정된다는 McRobert의 발표내용과¹⁸⁾ 일치됨을 알 수 있으며, 이런 현상은 polyol의 탄소수가 같은 경우 OH수가 많을 수록 친수부분이 강해져 계면 장력을 $\gamma_{O/W}$ 에서 $\gamma_{(O/W)a}$ 로 감압시키는 작용을 하게되며, 그 결과 interphase에서 oil 분자를 최소한으로 줄이는 효과를 가져오기 때문에 $\gamma_{(O/W)a}$ 값이 크게 저하되어 적은 계면압에서 음(-)의 계면장력이 형성되는 것으로 생각된다. 또한 OH 수가 같고 탄소수가 다른 경우 탄소수가 많을수록 친유부분이 강해져 surfactant의 흡착에 의해 형성된 계면압(Π)을 증가시키는 결과를 초래하므로 interphase로 oil 분자를 이탈시키기 때문에 작은 $\gamma_{(O/W)a}$ 값에서 음(-)의 계면장력을 형성하기 어렵게 되는 것으로 생각된다.

3.2. Surfactant와 oil의 구조에 따른 입자크기

ME 입자크기는 지름이 10~100nm 범위에 있고, ME계에 있어서 작은 입자크기는 우수한 광학적 등방성, 안정성 개념에서 큰 의미를 가지고 있다. 본 실험에서는 surfactant와 oil의 구조가 ME의 입자크기에 미치는 영향을 알아보았다. Fig.3.은 surfactant로 친유부분의 alkyl chain이 각기 다른 POE(20)SML, SMP, SMS를 사용하고 oil로는 구조적 특성으로 인해 극성치의 차이를 보이는 LP, SQ, AB, ISB와 cosurfactant로 glycerin으로 계를 구성하고, 고압유화장치를 사용하여 ME을 제조한 후 입자크기를 측정하여 나타낸 그림이다. Fig.3.에서 볼 수 있듯이 포화탄화수소 계열인 SQ, LP보다 큰 극성도를 나타내는 AB.ISB의 경우 입자의 크기가 작게 나타남을 알 수 있다. 이는 surfactant 분자 중의 polyoxyethylene chain이 oil의 극성이 클수록 흡착량을 크게하여 가용화량을 증대시키고 계면장력을 저하시킴으로 O/W ME micelle 내부에서는 oil과 surfactant 소수부분의 인력이 커지고 동시에 입자간의 장력이 커짐으

로 인해 입자의 크기가 작고 안정하게 분포되는 것으로 사료된다. 또한 본 실험에서 surfactant 소수부분의 alkyl chain의 크기가 클수록 입자의 크기가 작게 나타나는 경향을 보이고 있는데, 이는 oil을 가용화시킬 때 미셀의 회합수를 늘리면 더 많은 탄화수소가 미셀 내부로 들어가서 가용화량이 증가되고 이에 따라 surfactant의 친유부분의 alkyl chain이 길어지면 회합수가 증가하므로 더 많은 탄화수소를 미셀 내부로 끌어들이 수 있게 된다. 이 또한 oil의 극성에 따른 경향과 마찬가지로 미셀 내부에서 surfactant의 친유부분과 oil의 친화력(인력)에 따른 영향에 기인하는 것으로 판단된다.

3.3. Surfactant와 oil의 구조가 ME의 안정성에 미치는 영향

Surfactant의 계면에 대한 흡착은 주로 섞이지 않는 두 액체사이의 계면장력을 낮춰줌으로써 계면장력이 늘어나는데 따른 자유에너지의 증가를 낮춰주며 또 계면막을 형성시킴으로써 에멀전 입자-입자 사이의 정전기적 또는 기계적 보호막 역할을 하여 입자가 서로 합쳐지는 것을 방지하여 에멀전이 보다 안정한 상태로 존재할 수 있도록 하는 역할을 한다. 하지만 형성된 에멀전은 시간이 경과됨에 따라 에멀전 입자간의 분산력에 의해 서로 결합하고 있는 상태의 응집이 일어나고, 비중차에 의한 농도차가 생겨 크리밍이 되고 시간이 더 경과하면 합일되어 에멀전이 분리된다. 에멀전의 안정성 평가방법에는 초원심분리, 전기적 방법, 입자크기 측정, 단위부피당 입자의 갯수, 광산란법, 탁도법 등이 있다. 또한 급격한 온도변화에 의해 에멀전의 파괴를 촉진시켜 안정성을 측정하는 방법 등이 있다.¹⁹⁾ 본 실험에서는 Surfactant와 oil의 구조에 따라 에멀전의 안정성을 평가하기 위해서 제조된 에멀전을 실온에서 40일간 방치시켜 10일 간격으로 4회에 걸쳐 입자크기를 측정하였다. Fig.4.~6.은 각 Surfactant와 oil의 구조에 따른 에멀전의 안정성을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 분산상으로 사용한 oil 중에서 포화 탄화수소계인 LP의 경우 생성입자의 크기가 60~70nm범위였으며, 시간에 따른 입자의 크기 증가율은 평균 16%였다. 또한 같은 포화 탄화수소계열이면서 탄소수가 더 많은 SQ의 경우 생성 입자크기가 60~80nm 범위였으며, 입자크기의 증가율은 평균 7%로 매우 안정하게 나타났다. 또한 방향족계인 AB, ISB 경우 초기 입자의 크기는 33~54nm 범위로 작게 형성되었지만, 시간의 경과에 따른 입자크기 증가율은 AB 63%, ISB 87%로 LP와 SQ에 비해 불안정한 것으로 나타난다. 이와같은 현상은 초기 입자형성시 극성도가 큰 AB와 ISB의 경우 본 실험에서 사용한 surfactant의 친수부분(head group)이 전하를 띠지는 않으나, 극성부분인 polyoxyethylene 구조이기 때문에 극성

을 가진 지방산 계나 방향족 화합물 oil인 AB, ISB의 경우 시간이 경과함에 따라 micelle core부분에서 안정하게 위치하기 보다는 palisades interface 쪽으로의 이동이 일어나 계면에서 surfactant의 흡착층을 약화시킴으로 인해 입자들이 충돌할 때 합일되기가 쉽기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

분산상인 oil로서 LP, SQ, AB, ISB를 사용하고, surfactant로는 POE(20) sorbitan monoester계의 SML, SMP, SMS을, cosurfactant로는 피부보습제로 사용되고 있는 polyol류를 사용하여 4성분계 ME를 제조하고, 이 계에서의 각 성분의 구조가 ME생성 영역과 입자의 크기 그리고 안정성에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. cosurfactant로 polyol류를 사용했을 때, polyol 분자 중 탄소가 같은 경우 OH수가 많을 때, OH기 수가 같을 경우 탄소수가 적을 때 ME생성영역이 크게 나타남을 알 수 있었다.
2. 제조된 ME의 입자크기를 비교했을 때 oil의 극성일 클수록, surfactant 소수부분의 alkyl chain의 탄소수가 증가할수록 입자크기가 작게 나타났다.
3. AB나 ISB에 비해서 포화 탄화수소계인 LP, SQ을 분산상으로 사용했을 때 제조된 ME의 경시안정성이 더 양호하였다.

Abstract

This study was investigated to search for the effects of the structure of each component in four-component O/W microemulsion system on its formation region, droplet size and stability. The results was that the more number of OH site, the

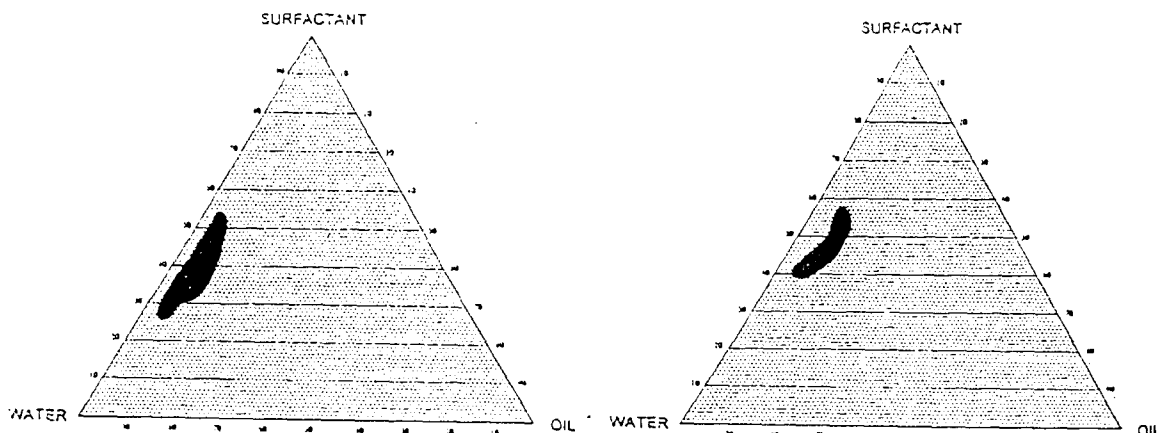
shorter carbon chain length of polyol, the larger formation region of microemulsion was showed. The small microemulsion droplet was obtained on condition that the polarity of oil was large and carbon chain length of hydrophobic group of surfactant was long. In using saturated hydrocarbon (such as liquid paraffin, squalane) as dispersed phase, the stability of microemulsion was better than aromatic oil phase.

참 고 문 헌

1. Hoar. T. P. and Schulman . J. H. , Nature(London) 152, 102 (1943).
2. J.H. Schulman, and McRoberts, Trans. Faraday Soc. 42B, 165 (1940).
2. Kozo Shinoda and Hironobu Kunieda, J. Colloid and Interface Science, 42(2) (Feb. 1973).
3. Rober D. Vold and Marjorie J.Vold, " Colloid and Interface Chem.", Addison-Wesley Publishing Co., San Diego, California, 645 (1983).
4. Paul Becher, " Encyclopedia of emulsion technology ", Dekker, N.Y., Vol. 1, 287 (1984).
5. Henri L. Rosano, John L. Cavallo, J. Soc. Cosmet. Chem., 39, 201~209 (May/June (1988)).
6. Shigehiro Yamaguchi, Bjorm Lindmam, Mikael Johstromer and Kozo Shinoda, 油化學, 38, 2, 157~160 (1989).
7. Drew Myers, "Surfactant Science and technology", VCH publisher, 149-155, N.Y. (1992).
8. Wasan, Ginn and shah, " Surfactant Science series ", Dekker, N.Y., Vol.28, 353 (1987).
9. Paul Becher, "Encyclopedia of emulsion technology", Dekker, N.Y. Vol. 1, 318~320 (1984).
10. 關根正巳, Colloid 化學の 進歩と 實際, Nikkol Chem., 100 (1987).

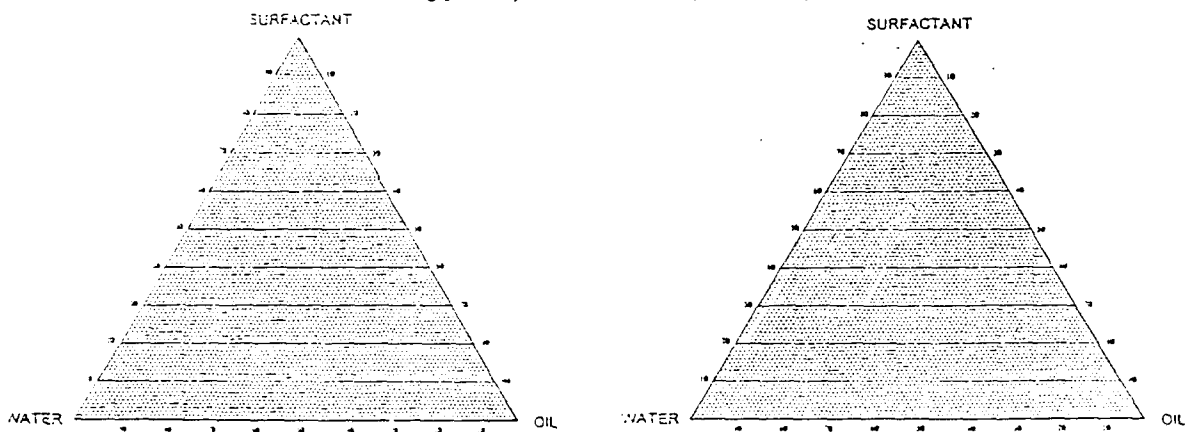
11. Paul Hiemenz, " Principle of Colloid and Surface chem.", 2nd ed., 467~477 (1986).
12. Martin M. Rieger, " Surfactant Science series", Dekker, N.Y., Vol.16, 40 (1985).
13. Ingvar Danielsson, and Bjorn Lindman, " The definition of microemulsion", J. Colloid and surface, 3, 391-392 (1981).
14. Leon M. Prince," Microemulsion : Theory and practice ", Academic press.Inc., N.Y. (1977).
15. Ruckenstein, E. : Chi, J.C. J.Chem.Soc Faraday Trans. 2, 71, 1650 (1975).
16. Hiromichi Sagitani, Yumiko Lkeda and Yasuhara Ogo, 油化學, 33, 3, 30~35 (1984).
17. Hendrickson, Cram and Hammond, " Organic Chem.", McGraw-Hill, Tokyo, 3rd ed., 116 (1970).
18. J.H. Schulman,T.S McRoberts, and D.P.Riley, J.Physiology 107 (1948).
19. Kao Co. " Surfactant " 1st ed., 55-56, Tokyo, Japan (1985).

Figure 1. The formation region of Microemulsion.



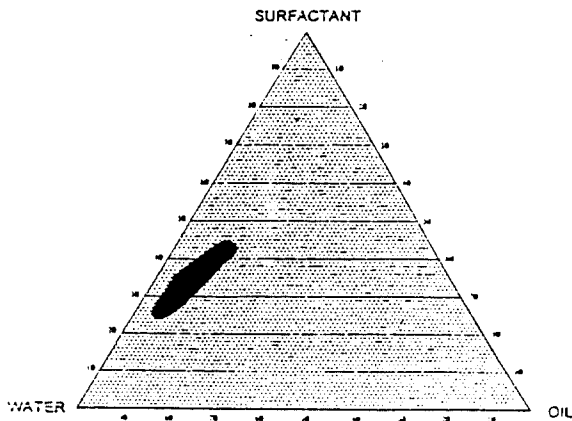
system composition: POE(20)SML/LP/glycerine/water
(SAA: POE(20)SML,Oil: LP, COS: glycerine)

system composition : POE(20) SML/LP/sorbitol/water.
(SAA: POE(20)SML,Oil: LP, COS: sorbitol)

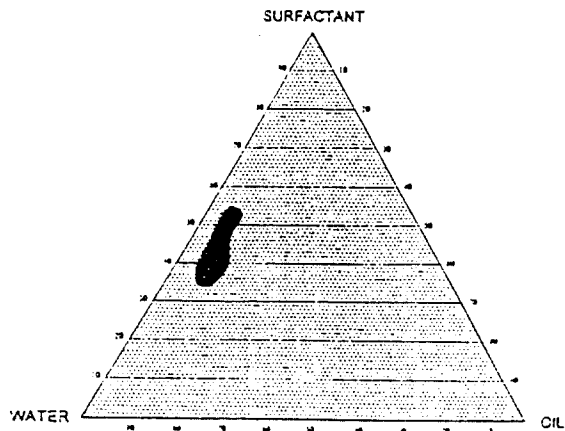


system composition : POE(20) SML/LP/BG/water
(SAA: POE(20)SML,Oil: LP, COS:1,3-Batanediol)

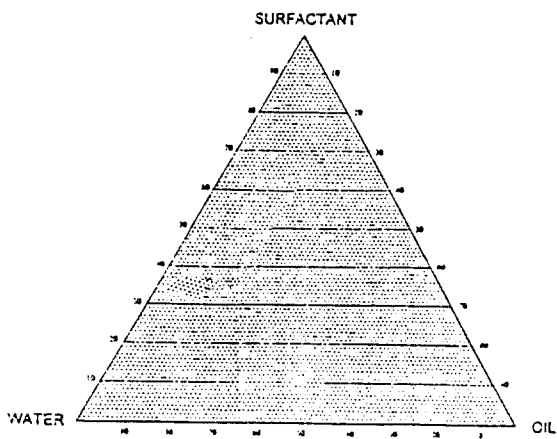
system composition : POE(20) SML/LP/PG/water ater.
(SAA: POE(20)SML,Oil: LP, COS: propylene glycol)



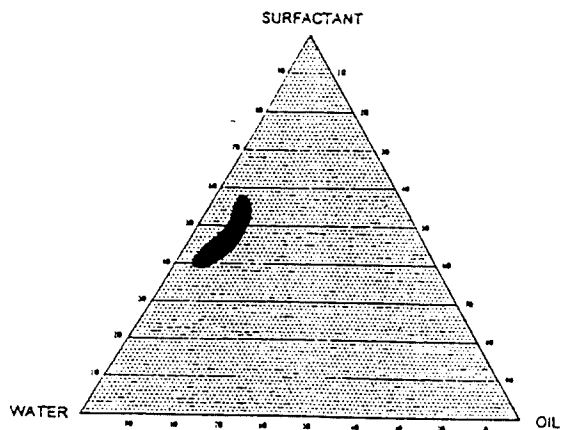
system composition : POE(20) SML/SQ/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SML,Oil: SQ, COS: glycerine)



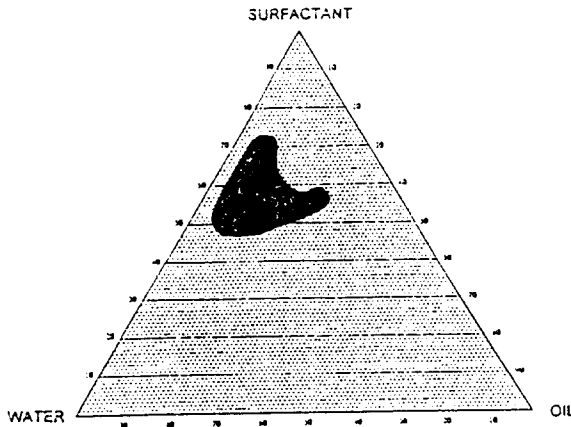
system composition : POE(20) SML/SQ/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SML , Oil: SQ, COS: sorbitol)



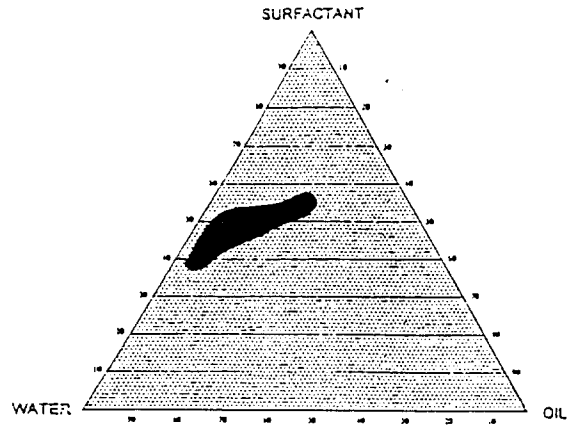
system composition : POE(20) SML/SQ/BG/water
 (SAA: POE(20)SML,Oil: SQ, COS:1,3-Batanediol)



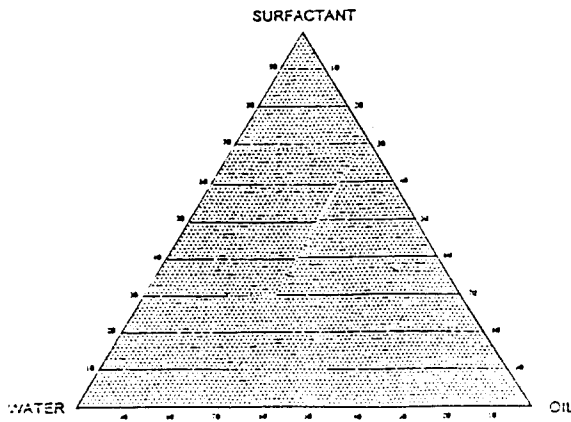
system composition : POE(20) SML/SQ/PG/water
 (SAA: POE(20)SML,Oil: SQ, COS: propylene glycol)



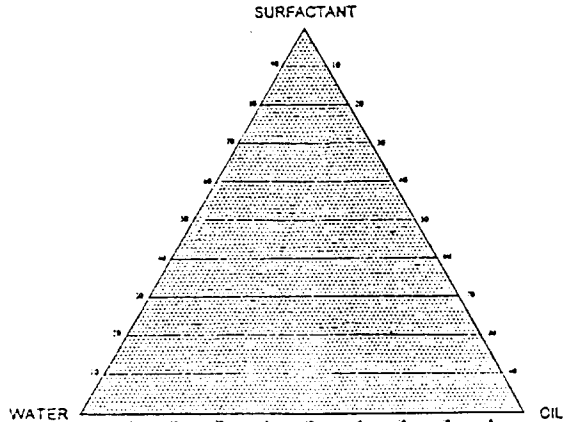
system composition : POE(20) SML/AB/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SML , Oil: AB, COS: glycerine)



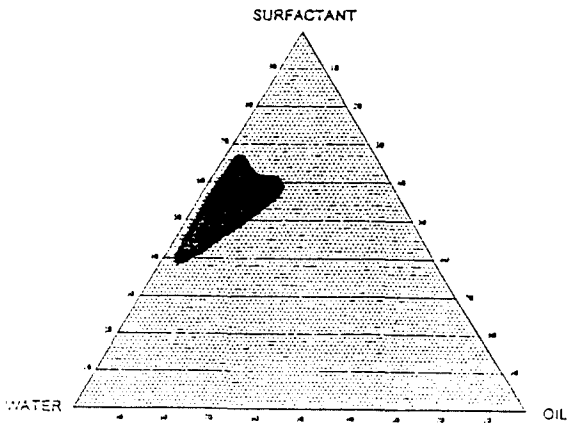
system composition : POE(20) SML/AB/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SML , Oil: AB, COS: sorbitol)



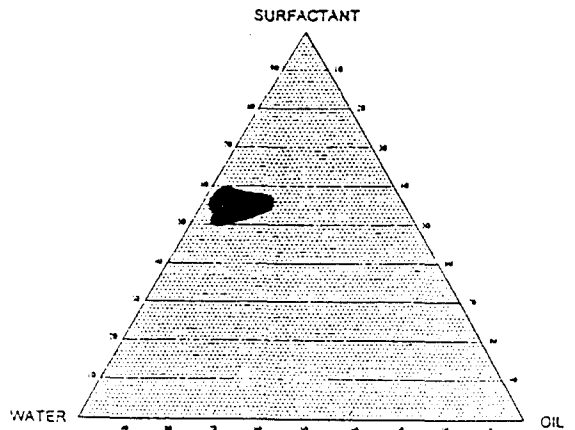
system composition : POE(20)SML/AB/BG/water.
 (SAA: POE(20)SML, Oil: AB, COS: 1,3-Butanediol)



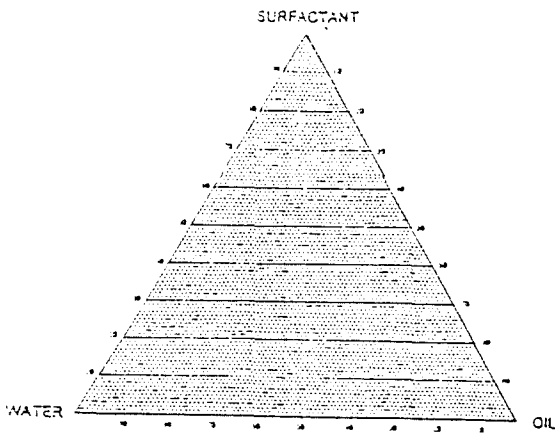
system composition : POE(20) SML/AB/PG/water.
 (SAA: POE(20)SML , Oil: AB, COS: propylene glycol)



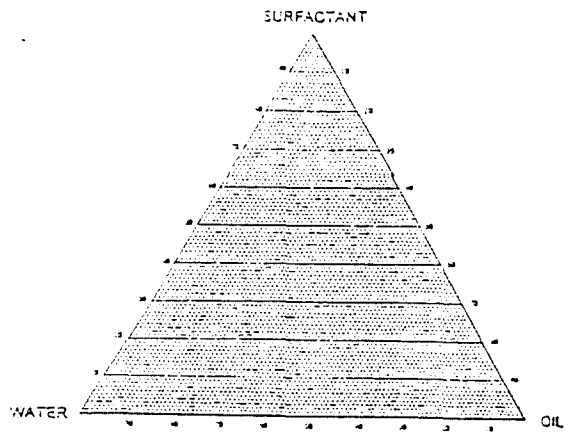
system composition : POE(20) SML/ISB/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SML , Oil: ISB, COS: glycerine)



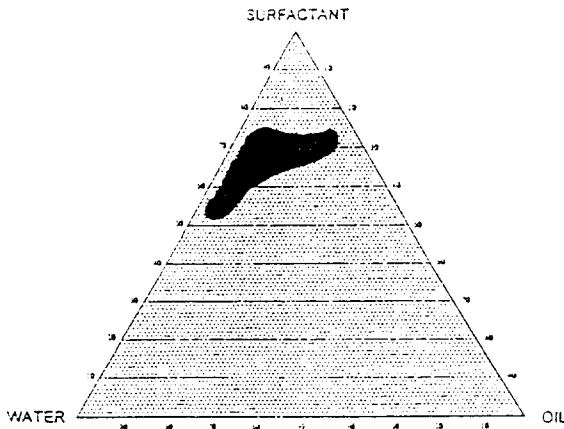
system composition : POE(20) SML/ISB/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SML , Oil: ISB, COS: sorbitol)



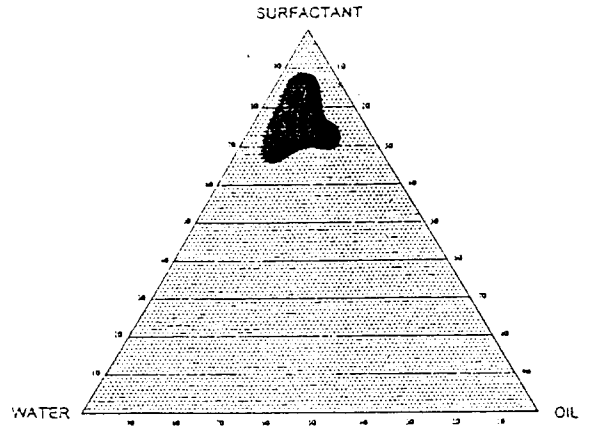
system composition : POE(20) SML/ISB/BG/water
 (SAA: POE(20)SML,Oil: ISB, COS:1,3-Batanediol)



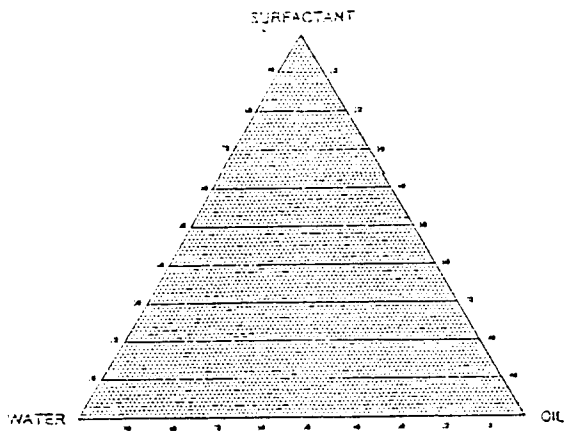
system composition : POE(20) SML/ISB/PG/water
 (SAA: POE(20)SML,Oil: ISB, COS: propylene glycol)



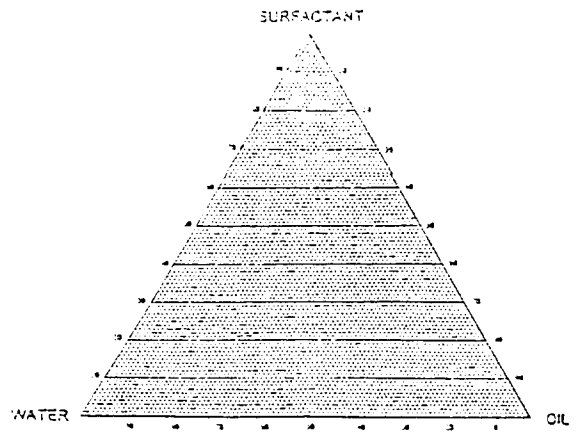
system composition : POE(20) SMP/LP/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: LP, COS: glycerine)



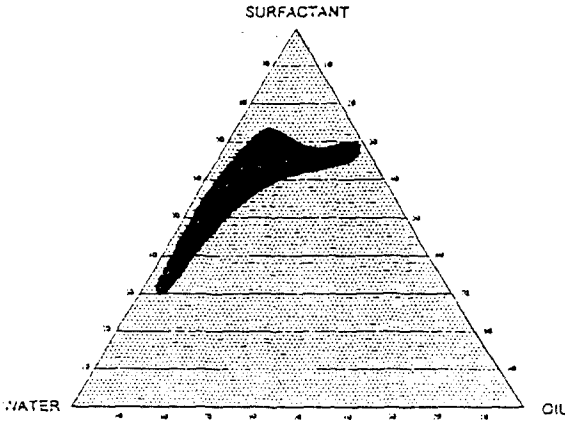
system composition : POE(20) SMP/LP/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: LP, COS: sorbitol)



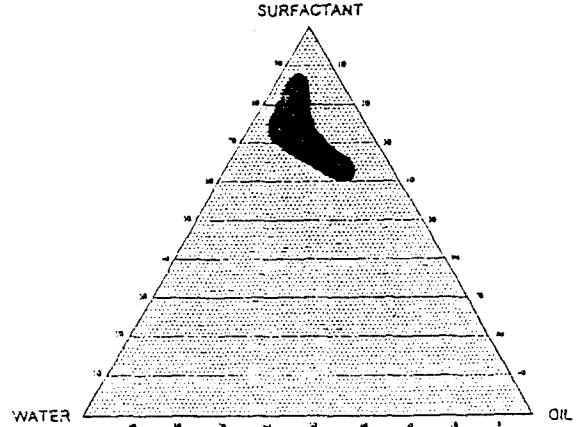
system composition : POE(20) SMP/LP/BG/water
 (SAA: POE(20)SMP,Oil: LP, COS:1,3-Batanediol)



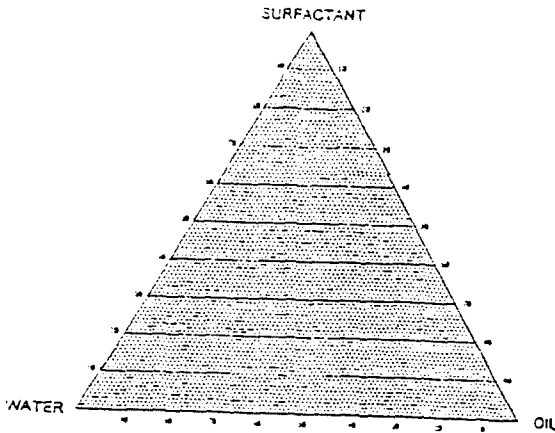
system composition : POE(20) SMP/LP/PG/water
 (SAA: POE(20)SMP,Oil: LP, COS: propylene glycol)



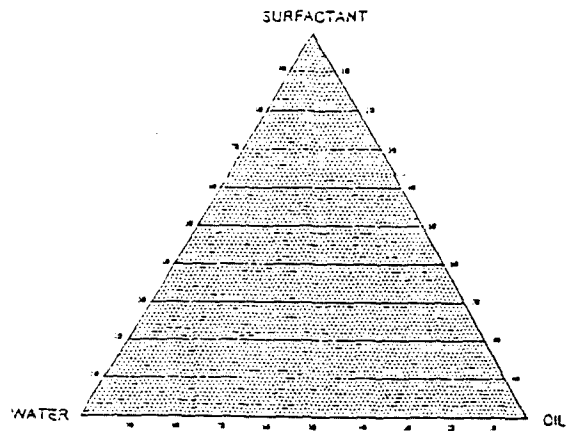
system composition : POE(20) SMP/SQ/glycerine/water.
(SAA: POE(20)SMP , Oil: SQ, COS: glycerine)



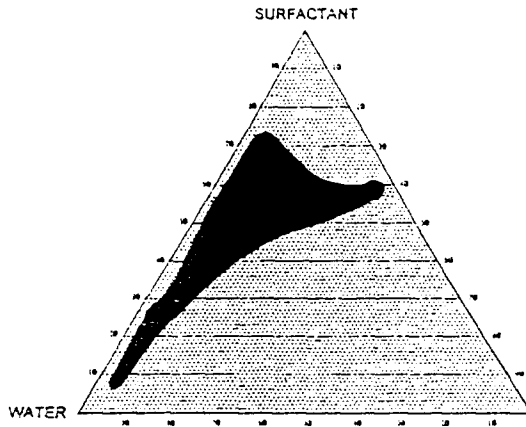
system composition : POE(20) SMP/SQ/sorbitol/water.
(SAA: POE(20)SMP , Oil: SQ, COS: sorbitol)



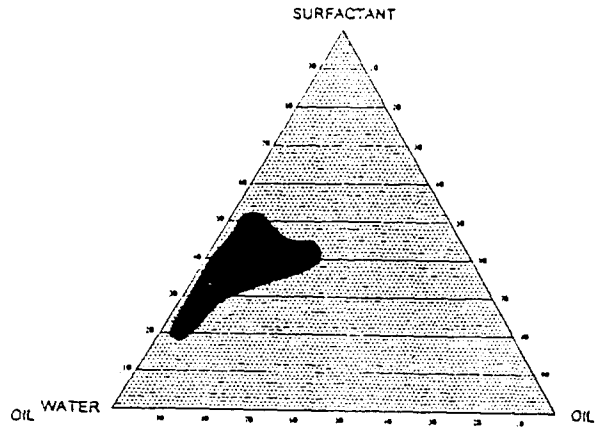
system composition : POE(20) SMP/SQ/BG/water
(SAA: POE(20)SMP, Oil: SQ, COS: 1,3-Batanediol)



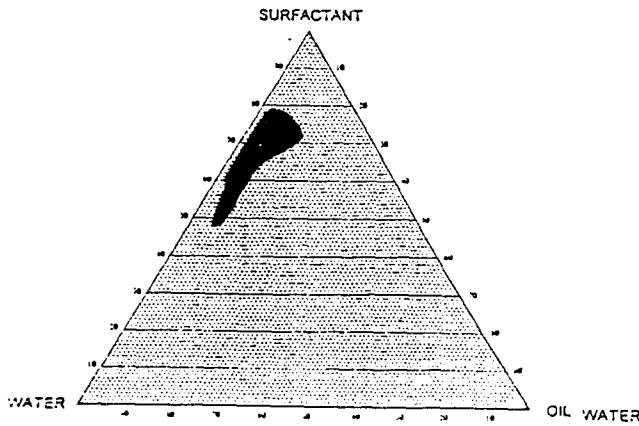
system composition : POE(20) SMP/SQ/PG/water
(SAA: POE(20)SMP, Oil: SQ, COS: propylene glycol)



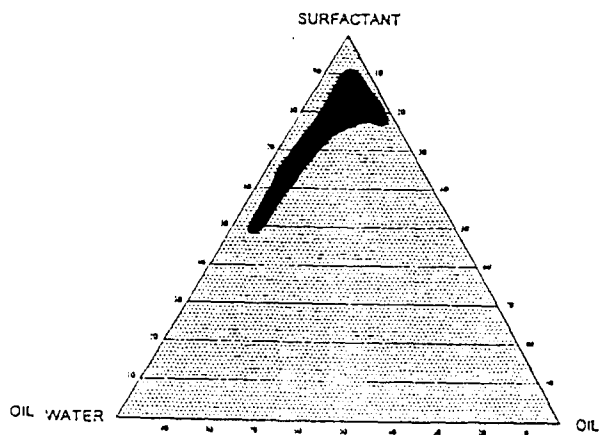
system composition : POE(20) SMP/AB/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: AB, COS: glycerine)



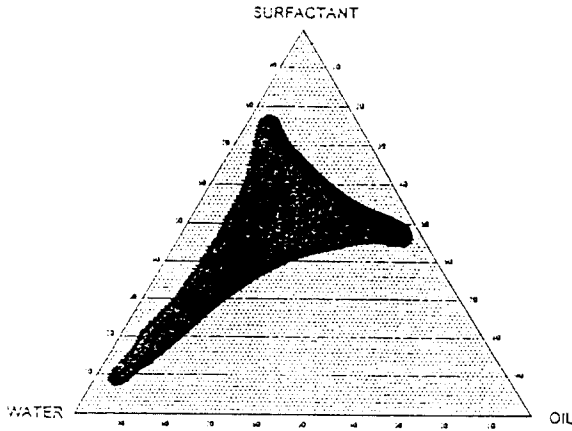
system composition : POE(20) SMP/AB/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: AB, COS: sorbitol)



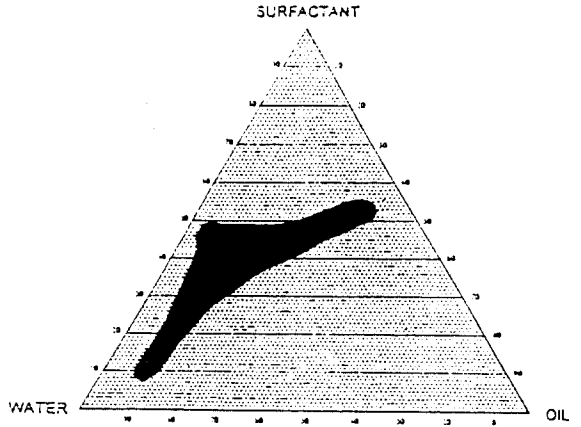
system composition : POE(20) SMP/AB/BG/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: AB, COS: 1,3-Butanediol)



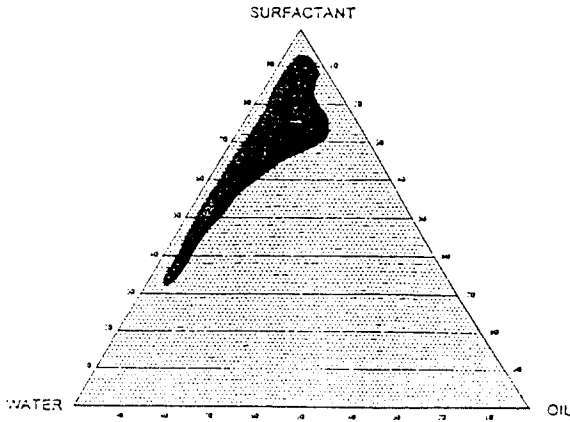
system composition : POE(20) SMP/AB/PG/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: AB, COS: propylene glycol)



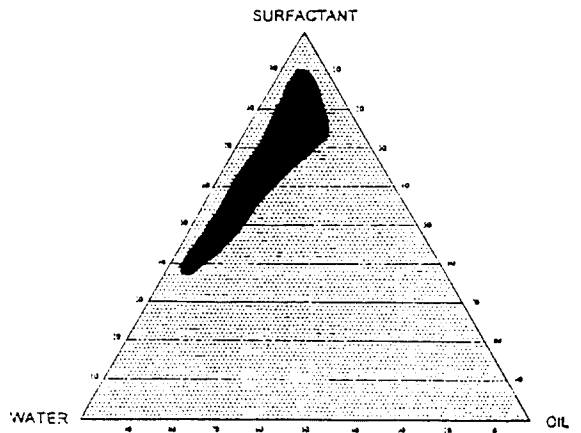
system composition : POE(20) SMP/ISB/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: ISB, COS: glycerine)



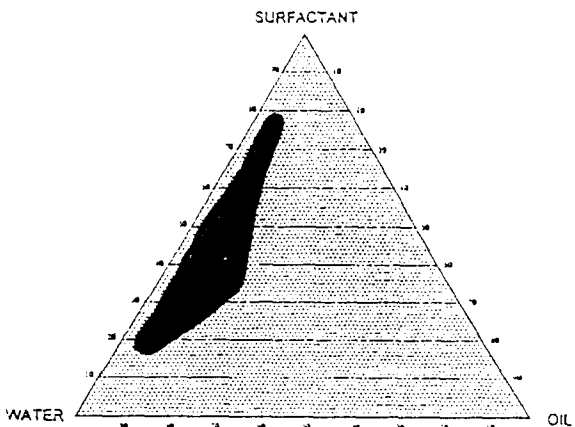
system composition : POE(20) SMP/ISB/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: ISB, COS: sorbitol)



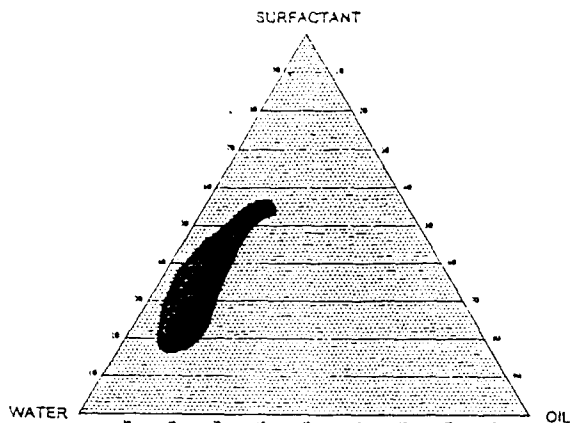
system composition : POE(20) SMP/ISB/PG/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: ISB, COS: propylene glycol)



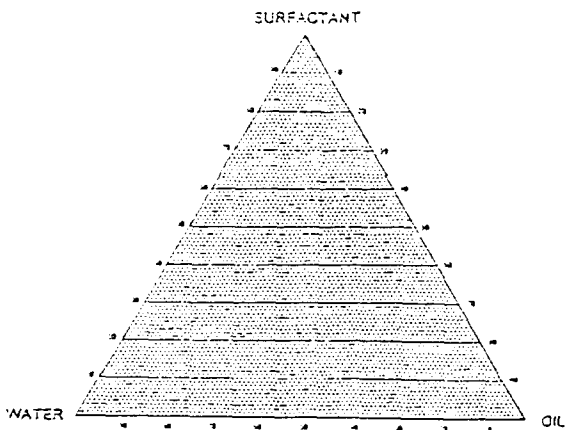
system composition : POE(20) SMP/ISB/BG/water.
 (SAA: POE(20)SMP , Oil: ISB, COS: 1,3-Butanediol)



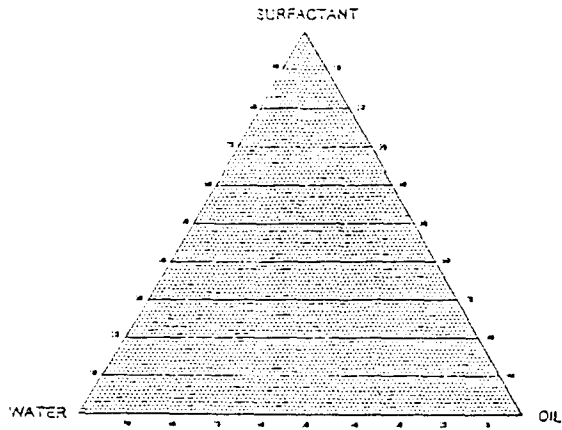
system composition : POE(20) SMS/LP/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: LP, COS: glycerine)



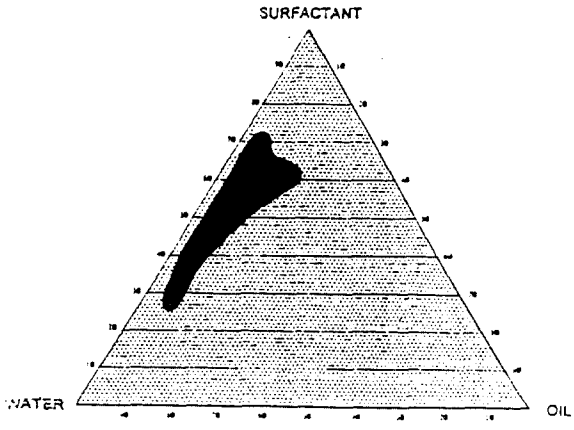
system composition : POE(20) SMS/LP/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: LP, COS: sorbitol)



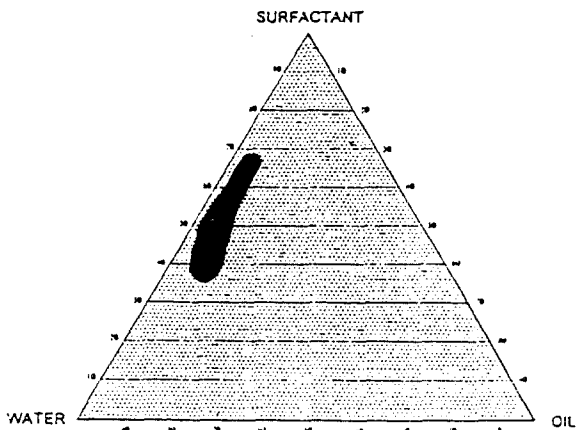
system composition : POE(20) SMS/LP/PG/water
 (SAA: POE(20)SMS, Oil: LP, COS: propylene glycol)



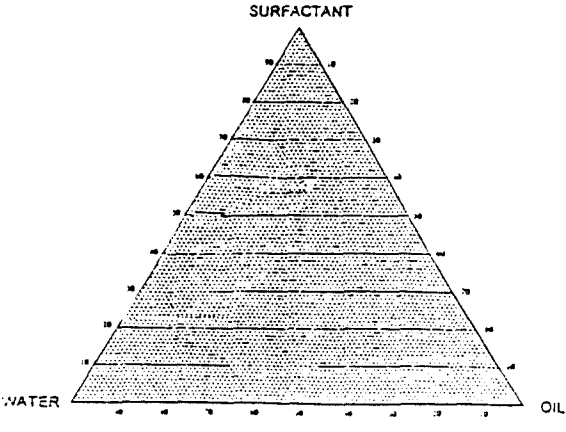
system composition : POE(20) SMS/LP/BG/water
 (SAA: POE(20)SMS, Oil: LP, COS: 1,3-Butanediol)



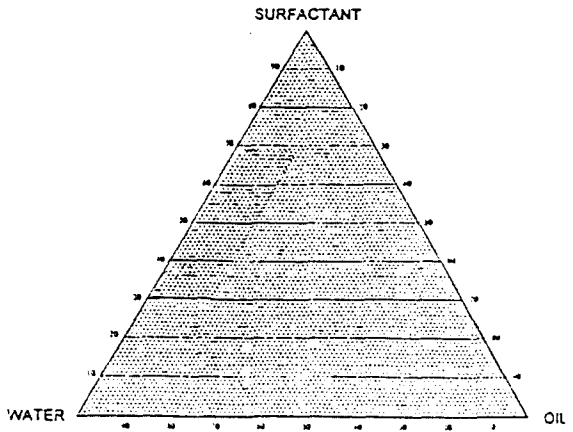
system composition : POE(20) SMS/SQ/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: SQ, COS: glycerine)



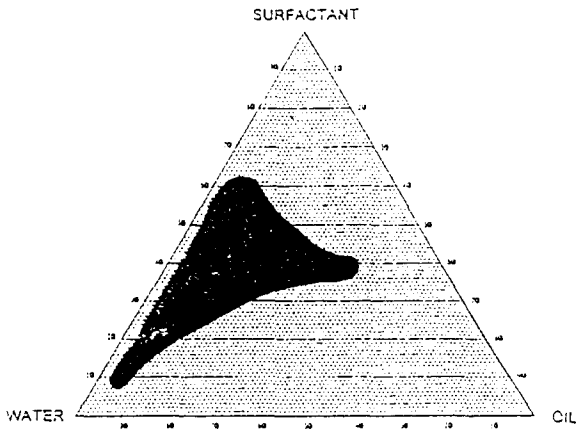
system composition : POE(20) SMS/SQ/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: SQ, COS: sorbitol)



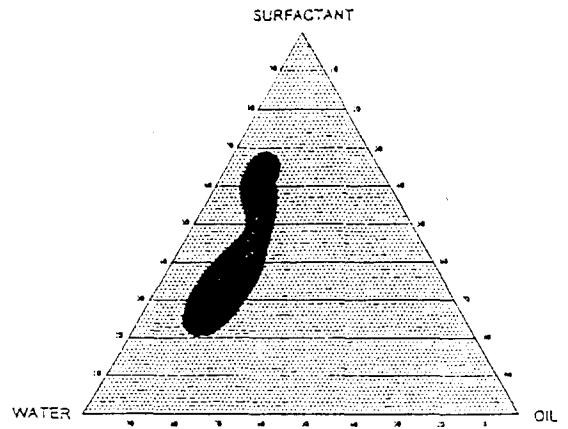
system composition : POE(20) SMS/SQ/BG/water
 (SAA: POE(20)SMS, Oil: SQ, COS: 1,3-Butanediol)



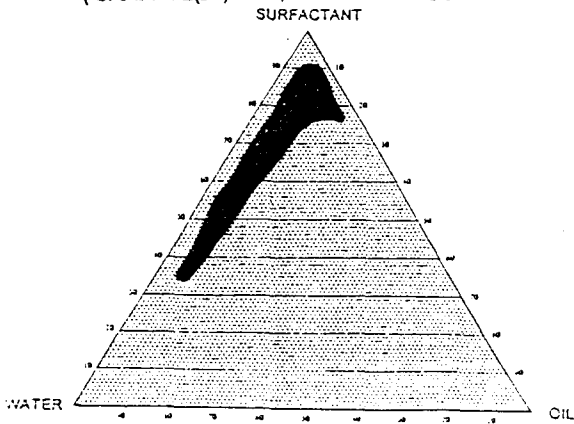
system composition : POE(20) SMS/SQ/PG/water
 (SAA: POE(20)SMS, Oil: SQ, COS: propylene glycol)



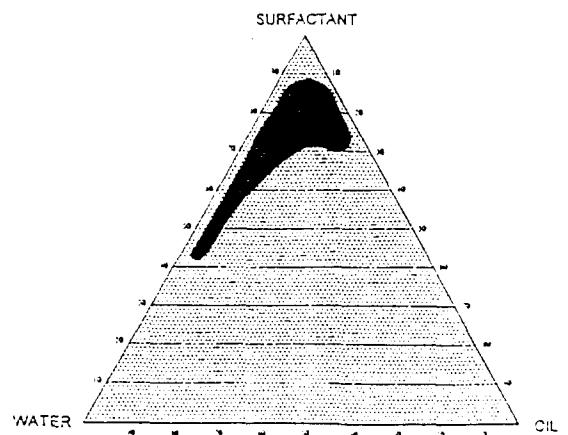
system composition : POE(20) SMS/AB/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: AB, COS: glycerine)



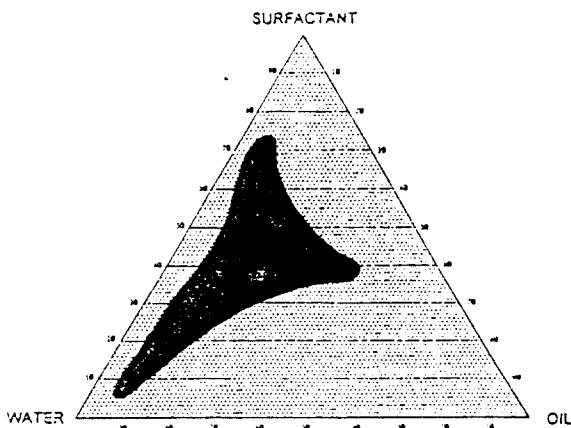
system composition : POE(20) SMS/AB/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: AB, COS: sorbitol)



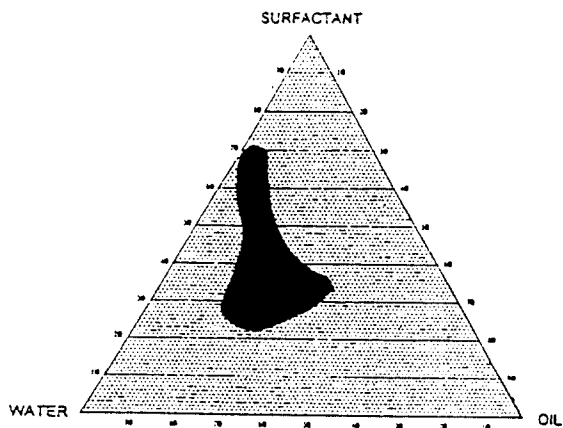
system composition : POE(20) SMS/AB/PG/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: AB, COS: propylene glycol)



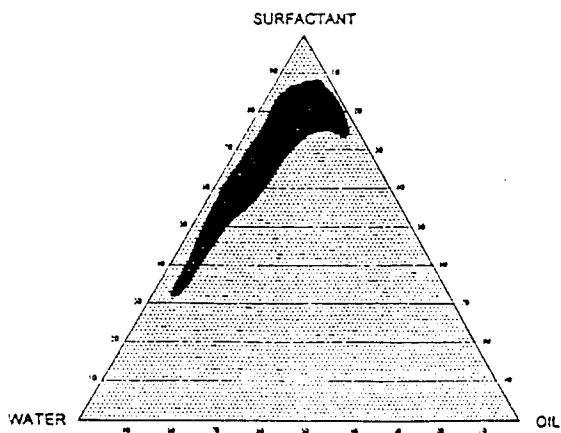
system composition : POE(20) SMS/AB/BG/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: AB, COS: 1,3-Butanediol)



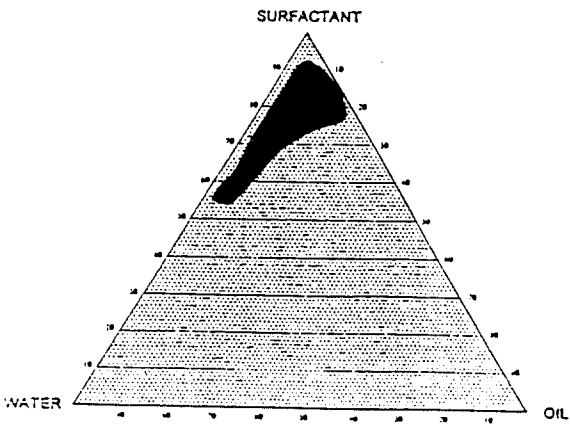
system composition : POE(20) SMS/ISB/glycerine/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: ISB, COS: glycerine)



system composition : POE(20) SMS/ISB/sorbitol/water.
 (SAA: POE(20)SMS, Oil: ISB, COS: sorbitol)



system composition : POE(20) SMS/ISB/BG/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: ISB, COS: 1,3-Butanediol)



system composition : POE(20) SMS/ISB/PG/water.
 (SAA: POE(20)SMS , Oil: ISB, COS: propylene glycol)

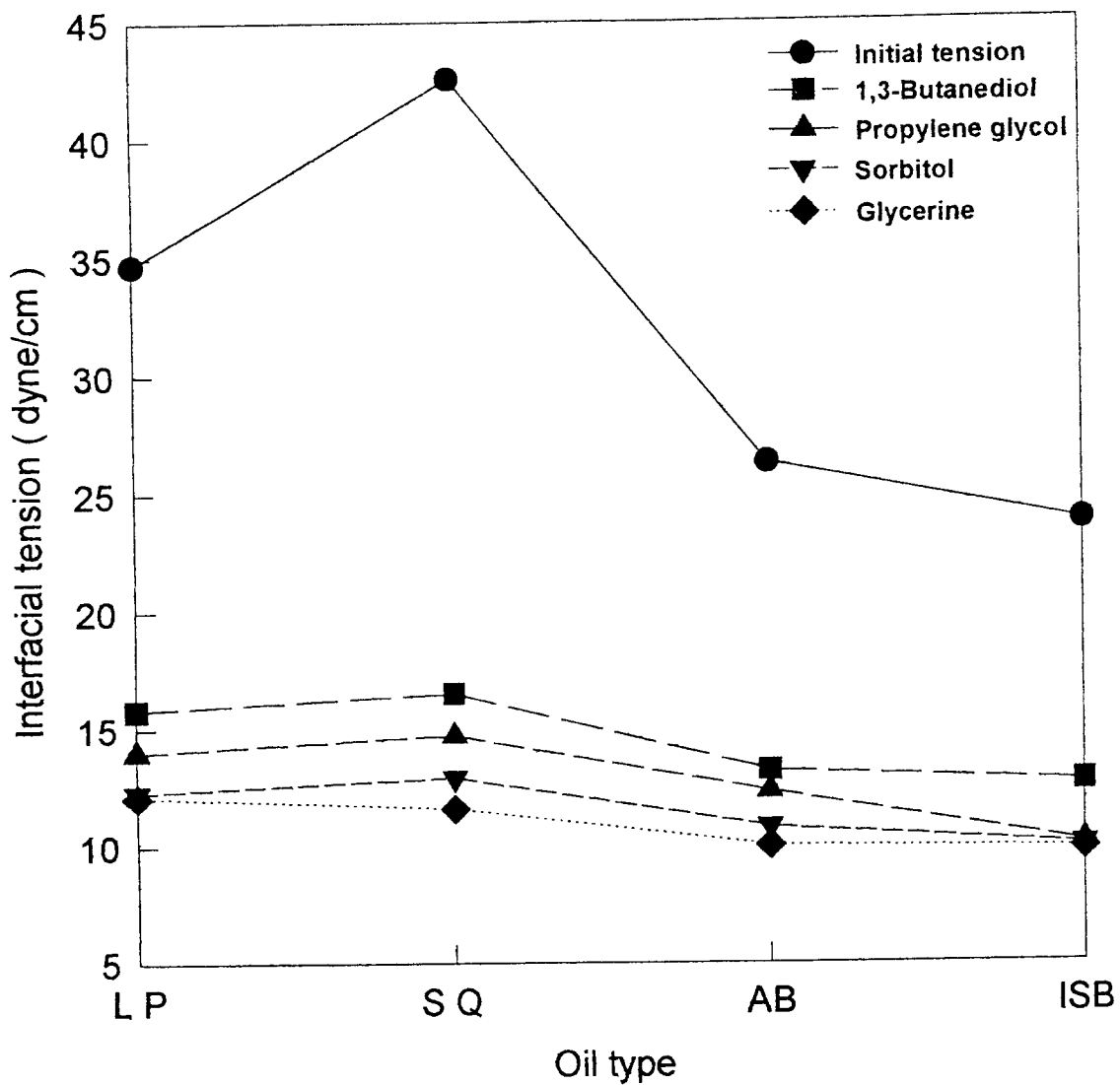
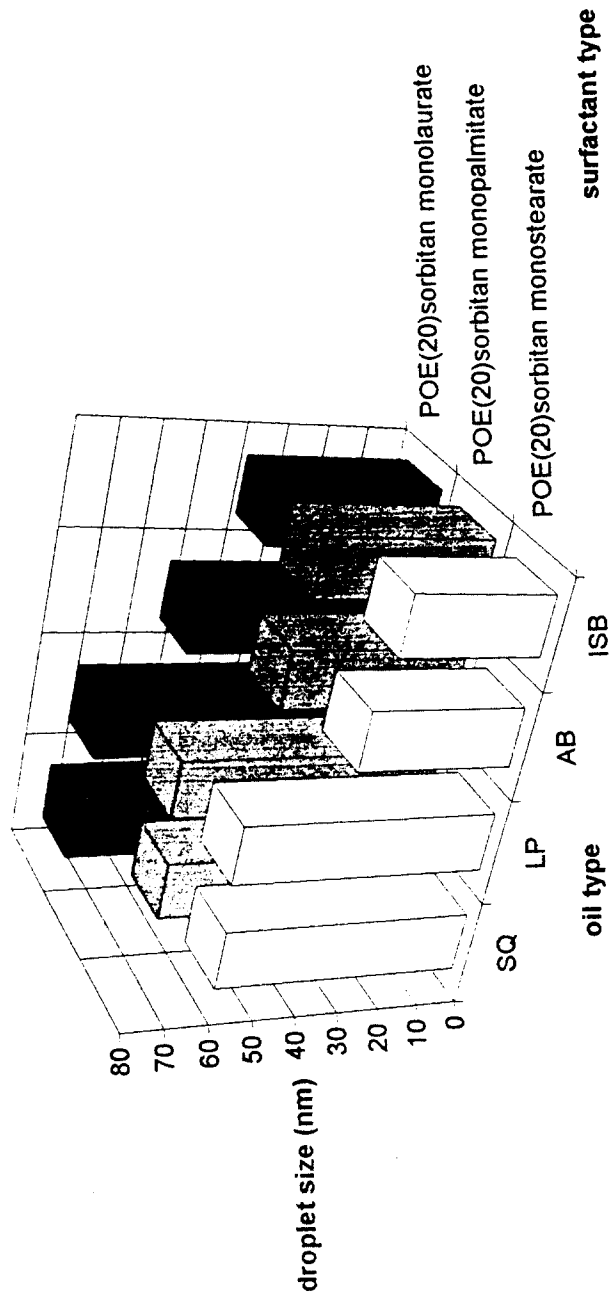


Figure 2. The interfacial tension of oils.

Figure 3. The effect of the structure of various surfactants and oils on the droplet size.



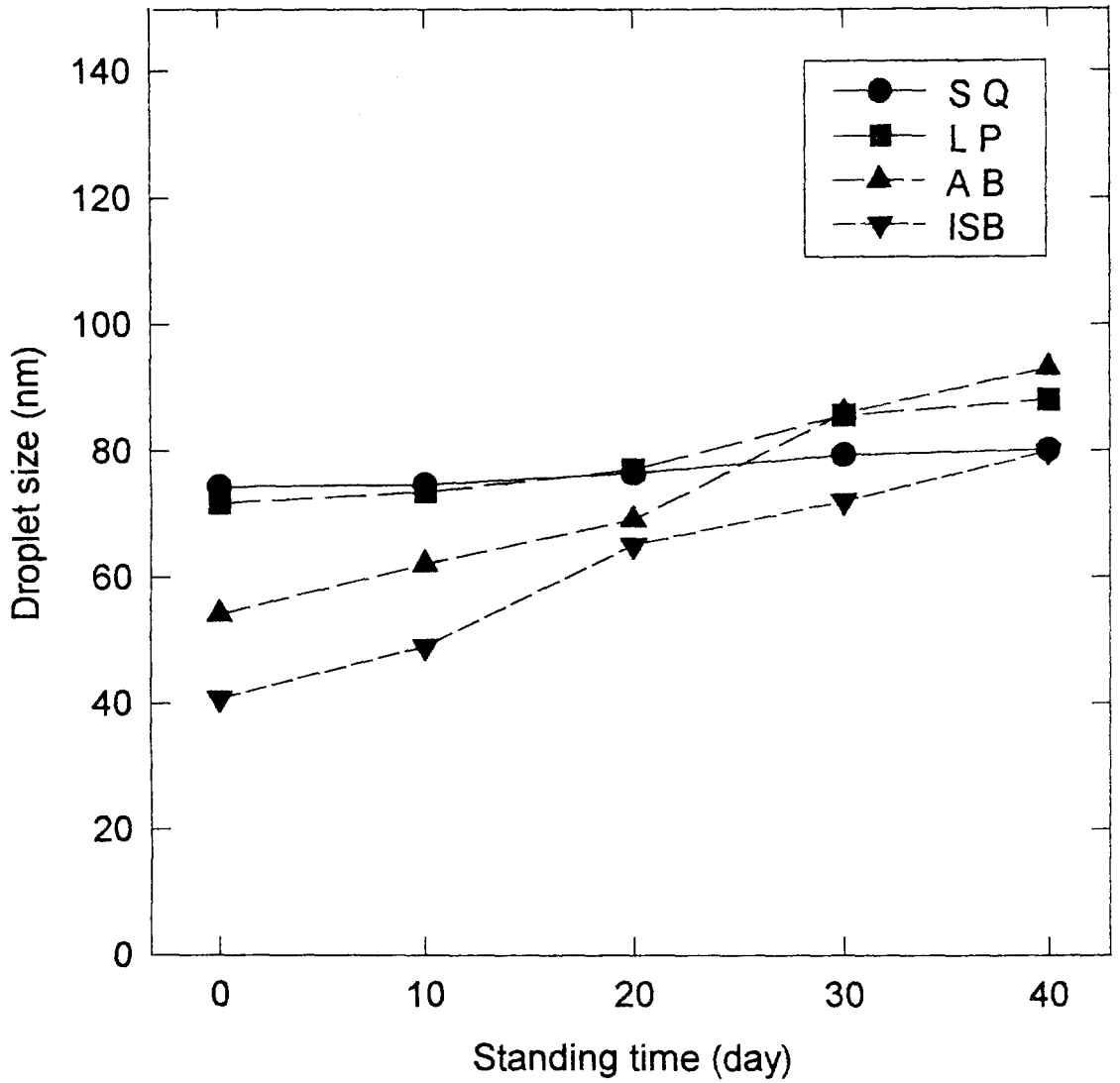


Figure 4. Microemulsion droplet size vs. standing time.
 (surfactant : POE(20) sorbitan momolaurate system.)

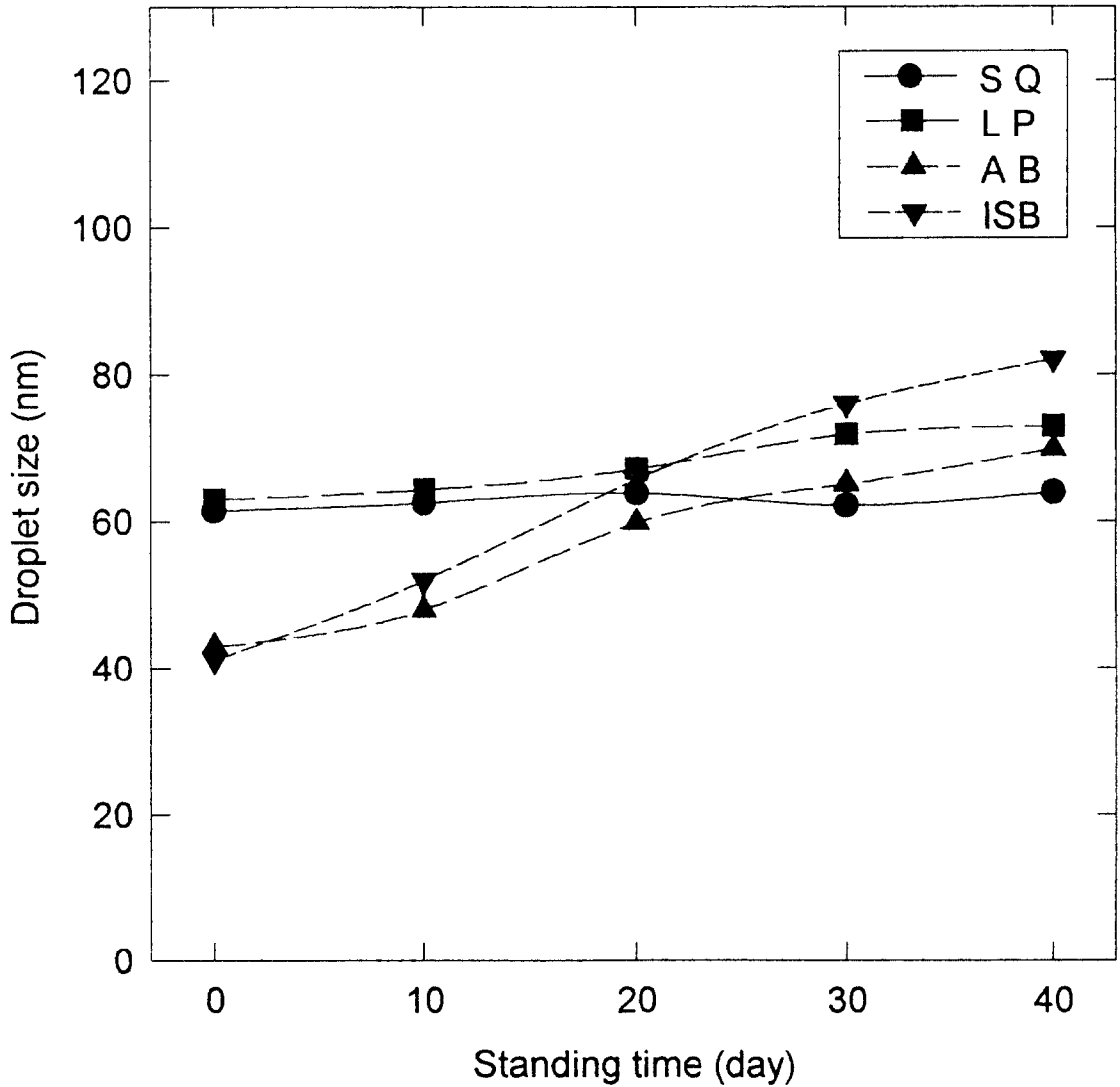


Figure 5. Microemulsion droplet size vs. standing time.
 (surfactant : POE(20) sorbitan monopalmitate system)

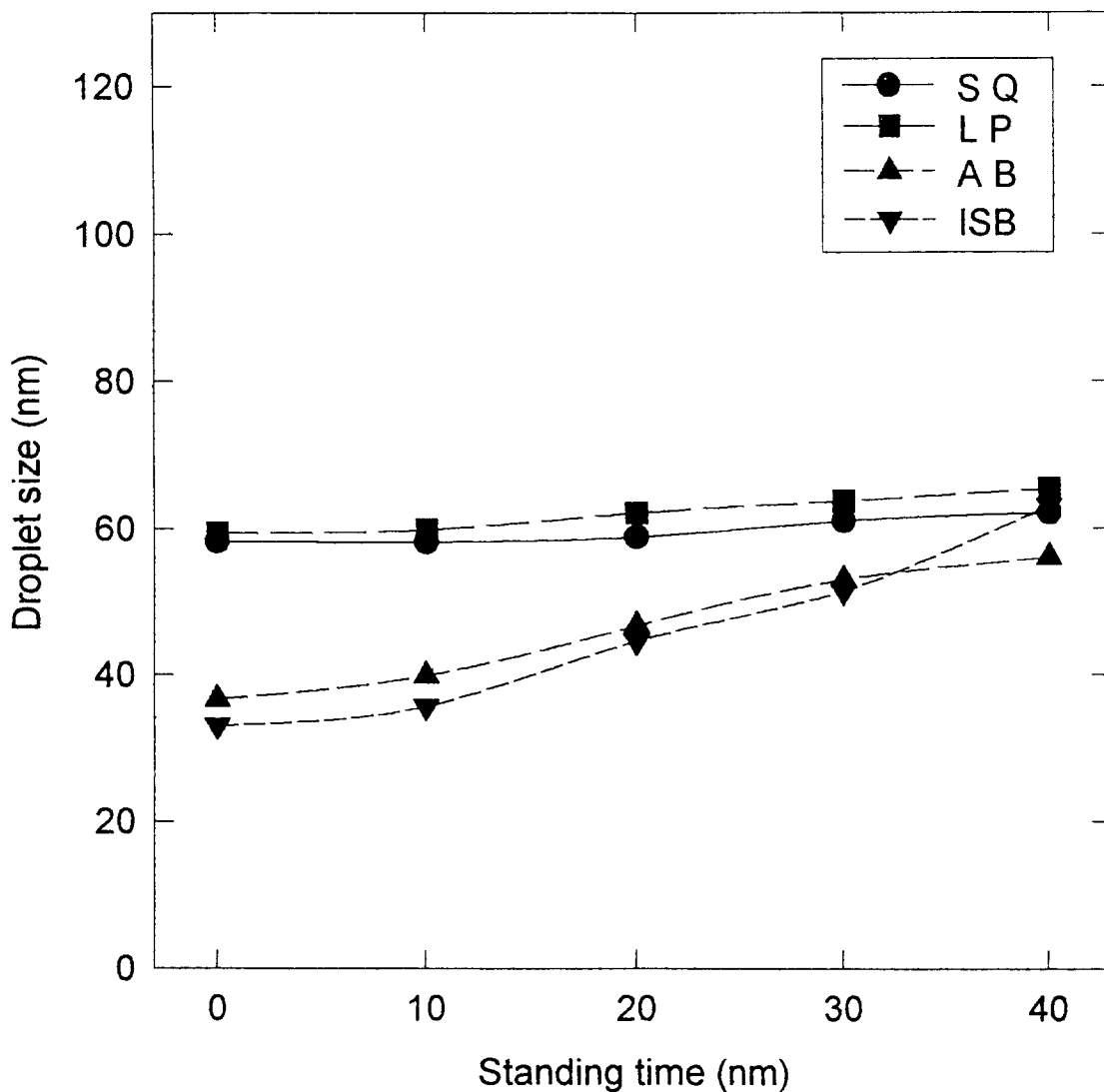


Figure 6. Microemulsion droplet size vs. standing time.
 (surfactant : POE(20) sorbitan monostearate system)