

음이온(SDE)/양쪽성(TDB, ODB) 계면활성제 혼합미셀의 물리화학적 특성

안 범 수

대진대학교 자연과학대학 화학과
(2004년 7월 8일 접수 ; 2004년 8월 26일 채택)

Physical Characteristics of Anion(SDE)/Zwitterionic(TDB, ODB) Surfactants in Mixed Micelles

Beom-Shu Ahn

Department of Chemistry, Dae Jin University, Pocheon 487-711, Korea
e-mail : bsahn@daejin.ac.kr

(Received July 8, 2004 ; Accepted August 26, 2004)

Abstract : The interaction between anion and zwitterionic surfactants was investigated by means of surface tension, NMR spectroscopy, and fluorescence studies. These systems are N-tetradecyloxymethyl-N,N-dimethyl betaine (C₁₄, TDB), N-octadecyloxymethyl-N,N-dimethyl betaine (C₁₈, ODB), and sodium dodecylethoxy sulfate (SDE). These systems show a composition dependency in micellar properties. When the molar fraction of TDB and ODB was about 0.6, the cmc values of these systems showed minima, whereas the solubilized amount of a water insoluble dye, NMR line width showed maxima. These changes comes from the intramolecular complexes formed in the mixed micelles. The complexes are due to the electrostatic interaction of oppositely charged head groups of betaine and sodium dodecylethoxy sulfate. A comparison of betaine and SDE alkyl methylene group line widths to those of n-methyl group indicates that the interior of the micelle in the restricted region is more immobile than the head group.

Keywords : anionic surfactant, zwitterionic surfactant, micelle, electrostatic interaction, mixed system.

1. 서 론

양쪽성 계면활성제들은 수용액에서 cmc의 pH 의존도, 분자의 안정도, 염에 의한 Krafft 점의 변화 등 여러가지 독특한 성질을 나타낸다. 특히 양쪽성 계면활성제는 수용액 상에서 음이온 계면활성제와 강한 상호작용을 하거나,

착물을 형성하다는 사실은 상당히 흥미롭다. 양쪽성 계면활성제와 일부 음이온 계면활성제의 혼합계에서 Krafft점을 측정한 결과 특정 조성에서 최대치를 갖는 다는 사실을 알았는데, 이는 착물의 형성과 관계가 된다고 볼 수 있다 [1-3]. 양쪽성 계면활성제와 음이온 계면활성제 혼합 용액은 점탄성 성질과 전기 전도도의

급격한 변화를 나타낸다. 양쪽성 계면활성제는 산업적인 측면에서 또한 몇몇 음이온 계면활성제의 보조제 역할을 하는 것으로 알려져 있으나, 그 메카니즘 등에 있어서는 아직 정확히 규명되어 있지 않다.

계면활성을 갖는 betaines은 유동성의 음이온을 갖고 있는 4급 암모늄염으로 보통의 4급암모늄염과 다르다. 이 화합물은 자극성이 낮고 alkyl sulfates, alkyl ether sulfates, 비누류 등의 자극성을 완화시켜 주는 역할을 하기 때문에 많이 연구되고 있다 [4-8]. 그러나 이 계면활성제의 지방족 사슬 길이가 길어질 수록 생물학적 독성은 급격하게 증가하며 또한 임계 미셀농도 값은 반비례 관계를 갖는 것으로 알려져 있다 [9,10]. 계면활성제의 효과를 증가시키는 상승효과는 분자 구조적인 관점에서 볼 때 상대적으로 유사 구조나 이온 특성을 갖는 계면활성제들이 혼합될 때 관찰된다. 반대로 계면활성제의 혼합이 음이온과 양쪽성 혹은 음이온과 다른 특성을 가질 때 얻어지는 상승 효과는 분자 상호작용에 의한 접촉면에서 액체 결정구조나 집합체의 형성에 근본을 둔 완전히 새로운 기능을 보인다 [11-13]. 비록 서로 다른 유형의 계면활성제들 사이에서 특별한 분자의 상호 작용이 없다 하더라도 바람직한 성능은 그런 계면활성제들이 혼합되므로써 얻어질 수 있다. 일반적으로 비이온성 계면활성제를 양쪽성 계면활성제와 같이 사용할 때 유화 및 기포 특성은 각각의 계면활성제를 사용할 때보다 증가한다. 이것은 복합체가 두 계면활성제 사이에서 형성되기 때문이며 이 복합체의 표면 활동성이 각각의 표면 활동성 보다 강하기 때문이다. Alkyl sulfate는 alkyl sulfon betaine과 복합체를 형성하며 그 복합체의 활동성은 각 계면활성제의 활동성 보다 상당히 크다 [14,15].

양쪽성 계면활성제는 물에 대한 좋은 용해도, 염과 온도 등에 대한 영향을 작게 받기 때문에 매력적인 측면이 많으나 다른 계면활성제에 비해 상대적으로 생산단가가 높아 공업적인 쓰임에 있어 제한적이었다. 두개 또는 그 이상의 계면활성제 혼합용액은 단일 용액과 여러가지면에서 다르다. 혼합 계면활성제 용액의 활성도가 단일의 경우 보다 cmc 농도, 표면장력등에서 더 큰 효과를 나타낸다. 많은 양쪽성 계면활성제들은 음이온 계면활성제와 강한 상호작용을 할 수 있다. 따라서 양쪽성/음이온 계면활성제

혼합계를 연구하는 일은 흥미로운 일이다. Betaine형은 양이온 계면활성제 보다 음이온 계면활성제와 훨씬 강한 상호 작용을 할 수 있다. 표면 장력을 측정하므로써 양쪽성 계면활성제와 sodium dodecylethoxy sulfate의 상호작용 세기를 조사하였다. 결과는 정전기적인 상호작용 뿐 아니라 van der Waals 상호작용도 중요한 역할을 하였다. 형광을 조사하여 용액에서 계면활성제 농도와 미셀 집합체수 사이의 관계를 알아 보았다. 여기서는 N-tetradecyl oxymethyl-N,N-dimethyl betaine (C₁₄, TDB), N-octadecyl oxymethyl-N,N-dimethyl betaine (C₁₈, ODB)와 sodium dodecylethoxy sulfate (SDE) 혼합체에 대하여 여러 방법을 이용하여 고찰하고자 한다. N-tetradecyl oxymethyl-N,N-dimethyl betaine (C₁₄, TDB), N-octadecyl oxymethyl-N,N-dimethyl betaine (C₁₈, ODB)는 pH에 민감하지 않으며 수용액에서 넓은 pH 범위에 걸쳐 양쪽성의 성질을 갖고 있다.

2. 실험

N-tetradecyl oxymethyl-N,N-dimethyl betaine (TDB)는 dimethyl aminomethyl acetate를 30°C에서 methylene chloride에 용해되어 있는 octadecyl chloro ethyl ether에 가한 후 6시간 교반하였다. 용매를 제거하고 4급 암모늄염을 알코올로 씻어 얻을 수 있었다 [16]. N-octadecyl oxymethyl-N,N-dimethyl betaine (ODB)도 같은 방법으로 합성하였다. sodium dodecylethoxy sulfate (SDE)는 Aldrich사로부터 구입하여 그대로 사용하였다. tolueneazo-β-naphthol (TAN), pyrene은 Sigma사로부터 구입하여 사용하였다. 단일 또는 혼합 계면활성제 수용액의 표면장력은 Shimadzu사의 ST-1 표면장력기를 사용하였으며 NMR 선폭은 Bruker AM-200 spectrometer를 이용하였다. 과량의 TAN용액을 포함하고 있는 계면활성제 용액을 24시간 흔들어 주어 평형에 이르게 한 후 용액만 거르고 에탄올로 묽혀 사용하였다. 490nm에서 UV-spectrometer를 이용하여 광학 농도를 측정하였다. 임계미셀농도(cmc)의 log값을 취하여 양쪽성 계면활성제 농도 변화에 따라 달라지는 모양을 그래프를 이용하여 관찰하였다. 형광은 RF-540 spectrofluorimeter를 이용하여 조사하

였으며 excitation과 emission은 각각 476 nm와 620 nm에서 기록하였다.

3. 결과 및 고찰

TDB-SDE와 ODB-SDE의 농도와 표면장력 사이의 관계를 보면 양쪽 모두에서 여러 농도에 걸쳐 계면활성제의 총 농도가 증가할수록 표면장력은 감소하고 있음을 알 수 있다 (Fig. 1).

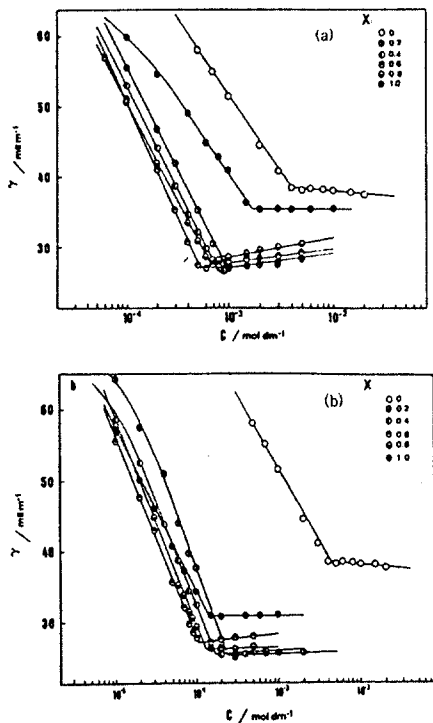


Fig. 1. Variation of surface tension versus total surfactant concentration for different mole ratios of zwitterionic to anionic surfactant: (a) TDB-SDE (b) ODB-SDE.

이 계는 cmc부근에서 최소치를 나타내고 있다. 이와 같은 최소값은 다른 양쪽성-음이온 계면활성제 혼합계에서도 나타나는 것으로 알려져 있다. Cmc에서 표면장력은 표면활도도를 나타내는 하나의 기준으로 삼을 수 있는데, cmc의 값이 낮을수록 계의 표면활도도는 더 높아진다.

TDB-SDE와 ODB-SDE 혼합계에서 양쪽성 계면활성제인 TDB의 몰분율이 0.6일 때 cmc값이 각각 26.6과 25.4 mNm^{-1} 로 나타났다. 혼합계에서 표면장력의 감소 폭이 단일 계면활성제에서의 감소폭 보다 더 크다. Cmc 값의 log를 취하여 양쪽성 계면활성제 몰 분율에 대해서 도시하면 (Fig. 2) 양쪽성 계면활성제의 농도가 증가하

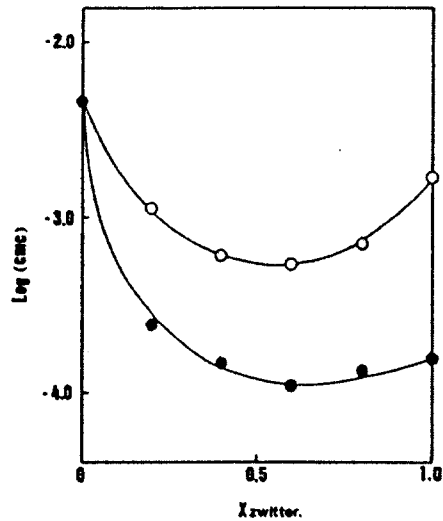


Fig. 2. Relationship between Log(cmc) and mole fraction of zwitterionic surfactant. for TDB-SDE (○) and ODB-SDE(●) system.

면서 cmc값은 감소하여 몰 분율이 0.6부근에서 최소치를 나타냄을 볼 수 있다. 두 계면활성제의 혼합은 수용액에서 혼합 미셀을 형성하는데 서로 반대 전하를 띄는 계면활성제의 cmc는 그렇지 않은 경우 보다 정전기적 상호작용에 의해 더 가까이 끌리게 되어 매우 작은 값을 갖게 된다. 여기서도 betaine의 양이온성 부분과 dodesylethoxy sulfate의 음이온 사이의 정전기적 끌림에 의해 두 계면활성제 사이의 회합이 일어났다고 볼 수 있다. 이온성 계면활성제의 cmc는 첨가하는 염에 따라 크게 영향을 받는데 sodium dodecyl sulfate에 NaCl를 첨가한 경우 cmc의 값이 지수 함수적으로 감소한다. 이온성 계면활성제 수용액에 염을 첨가하는 것은 그 이온이 미셀 표면에 보다 밀착되어 균을 이룬다. 이로써 계면활성제 사이의 반발력이 감소하고

미셀이 안정되기 때문에 cmc가 저하된다. Cmc와 대 이온농도의 관계를 식으로 표시하면 다음과 같다 [17].

$$\log(\text{Cmc}) = -k \cdot \log C_i + \text{const}$$

C_i 는 대 이온농도로 계면활성제 농도 즉 cmc와 첨가염 농도의 합이고 k 는 실험상수로 0.4-0.6의 값을 갖는다. 이온성 계면활성제의 cmc는 첨가하는 염에 의하여 현저하게 저하된다는 것을 알 수 있다. 그러나 비이온성, 양쪽성 계면활성제의 경우 염의 첨가에 영향을 별로 받지 않는다. 양쪽성의 경우 산성에서는 양이온성 계면활성제가 되기 때문에 위의 식이 잘 맞지 않지만 중성-알칼리성에서는 양쪽 이온성이 되어 비이온성과 유사한 행동을 한다.

혼합 미셀 용액의 상호 작용을 알아보기 위해 NMR의 선폭을 조사하였다 (Fig. 3). 양쪽성 계면활성제 TDB의 농도에 따른 N-methyl과 alkyl methylene의 선 폭 변화를 보면 물 분율 0.6에서 큰 변화가 있는데 그 변화는 N-methyl기에서 보다 alkyl methylene기에서 더 크게 나타났다. 이것은 ODB와 SDE의 친 수성기간 상호 작용이 TDB에서 보다 더 크게 작용하며 혼합 비율이 0.6 일 때 두 계면활성제 간 상호 작용이 최대가 된다는 사실을 말해 주고 있다. 그리고 betaine과 alkyl methylene기, N-methyl기 사이의 선폭 넓이는 미셀 내부가 머리 부분에 비해 움직임에 있어 더 자유롭지 못하다는 것을 암시하고 있다. 이와 같은 넓은 선폭은 회합에 의한 수소 원자의 화학적 비등가성 증가뿐 아니라 미셀 형성에 따른 계면활성제 분자 운동의 제한에 기인한다고 볼 수 있다. 선폭은 확산 계수와 관련이 있는데 alkyl methylene기의 선폭은 확산 계수가 낮을수록 넓어진다. 이 넓은 선폭은 분자들의 회합이 오래동안 이루어지며 따라서 큰 집합체의 존재를 입증한다고 볼 수 있다. 미셀간 상호작용과 미셀의 집합체 수(m)는 농도에 의존하는데 아래 식을 이용하면 [18], 그 수를 구할 수 있다.

$$m = M/M_0$$

$$M = \frac{(4\pi^2/k^4 N_A) n^2 (dn/dc)^2}{(C - C_{cmc}) / (R - R_0)}$$

$$M_0 = M_1(1-X_2) + M_2X_2$$

여기서 M_1 , M_2 는 각각 SDE와 betaine의 분자량, M_0 는 혼합계의 평균 분자량 X_2 는 betaine의 몰분율, M 은 미셀의 무게를 나타낸다.

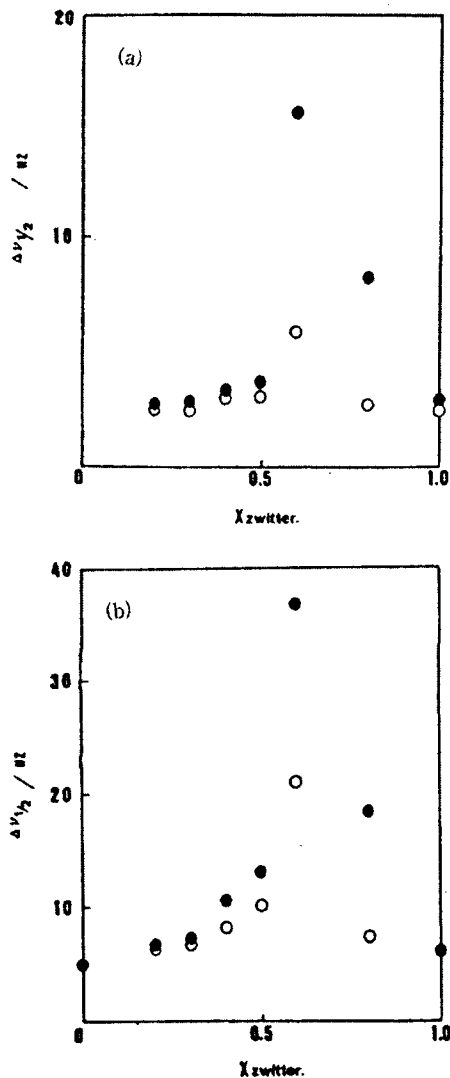


Fig. 3. NMR line width of (a) N-methyl protons and (b) alkyl methylene protons against mole fraction of zwitterionic surfactant. TDB-SDE (○) and ODB-SDE (●).

Fig. 4는 양쪽성 계면활성제 농도에 변하는 집합체수를 보여 주고 있는데 물분율이 0.6 일 때 모두 최대치를 나타내고 있다. 혼합 비율에 따라 미셀 크기가 달라지는 것은 betaine과 SDE 사이의 친수성 머리 부분끼리 서로 끌어당기므로 인해 미셀 전하가 중성화 되는 것과 관련된다고 믿어진다. 집합체 수에서 두 계가 다른 것은 betaine의 사슬 길이가 다르기 때문에 영향을 받은 것으로 보인다. 두 혼합계에서 혼합비에 따라 확산계수도 달라지는데 양쪽성 계면활성제의 비가 0.6일 때 모두 최소 값을 나타낼 것이다. ODB/SDE계와 TDB/SDE계가 서로 다른 값을 보여 줄 것으로 믿어지는데 이것은

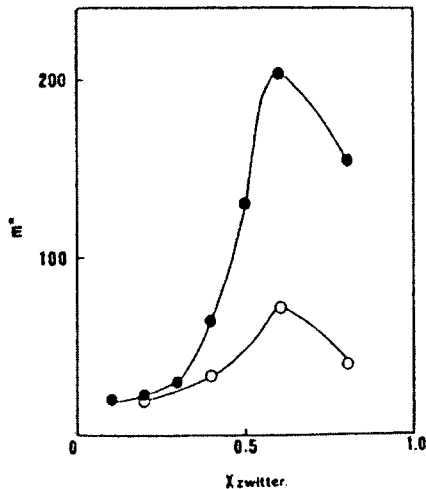


Fig. 4. Relationship between micellar aggregation number and zwitterionic surfactant mole fraction in the mixed systems. TDB-SDE (○) and ODB-SDE(●).

미셀의 크기나 모양에 있어 다르기 때문에 나타나는 현상일 것이다. TDB/SDE계와 TNB/SDS계에서 미셀은 서로 다른 형태를 띄는 것으로 보여진다. 두 혼합계에서 미셀 모양의 차이는 미셀 구성시 계면활성제 분자들의 겹침이 서로 다르기 때문에 생긴다고 볼 수 있다. 두 혼합계에서 양쪽성 계면활성제의 물분율에 따라 상대적 점성도도 달라진다. 분산-응집 상태를 점성

도 관점에서 보면 전단 속도를 바꾸어 전단 속도를 측정하였을 때, 잘 분산되어 있는 분산계에서 전단력과 전단속도는 정비례 관계를 띄며 뉴턴 점성을 갖는다. 그런데 입자간에 응집이 일어나는 분산계에서는 약한 전단 응력에서 응집체가 파괴되지 않고 큰 점도를 나타낸다. 그러나 강한 전단 응력에서는 약한 응집체가 파괴되어 작은 입자가 되어 점도는 작아진다. 고분자 용액의 점성도 등에서 잘 나타난다. 이런 경우는 전단힘 또는 전단 속도에 의하여 점성도가 변한다. 작은 전단힘에서는 전단 속도가 작고 점도가 높지만, 전단힘을 증가하면 점도가 낮아진다. 반대로 전단 응력이 작을 때는 점도가 작고 전단응력을 크게하면 점도가 커지는 경우가 있는데 일종의 비뉴턴점성으로 Diltancy라 한다. TDB/SDE 계에서도 대부분의 농도 영역에서 뉴턴 흐름을 보여주고 0.6 부근에서 가파르게 증가할 것이다.

TAN이 혼합 계면활성제 용액에서 가용화되는 문제를 조사하였다 (Fig. 5). 양쪽성 계면활성제의 농도에 따라 가용화되는 TAN양을 살펴보자. 두 계면활성제들이 혼합되면 각각 단일로 있을 때보다 가용화되는 양이 많아지는데 양쪽성 계면활성제의 농도가 0.6 일 때 최대가 되었다. 가용화제가 비극성 일 때 미셀 내부에 탄화수소와 공존하고 지방족 알콜과 같은 극성 화합물은 가용화될 때 친수성 부분이 물에 극성 방향으로 미셀에 가용화되는 것이고, 염료나 당류와 같이 물에 가용화될 수 있는 극성들은 미셀과 공존할 수 없지만 표면에 흡착을 일으켜 가용화된다.

두 계면활성제 사이의 상호작용 세기는 소위 β 파라미터라 불리는 값에 의해 결정될 수 있으며 이값은 공기/용액 계면의 단일층이나 혼합미셀에서 상호작용의 비이상성 정도를 나타낸다. β 의 값이 큰 마이너스 값을 가질수록 서로 다른 두 계면활성제 사이의 끌어당기는 상호작용이 크다는 것을 나타낸다. Rubingh의 비이상용액 이론에 따르면 [19], 상호작용 파라미터 β 는 아래식과 같이 계산될 수 있다.

$$\beta = \frac{\ln \{(\text{CMC}_{\text{mix}} \cdot a) / (\text{CMC}_1 \cdot X_1)\}}{(1 - X_1)^2}$$

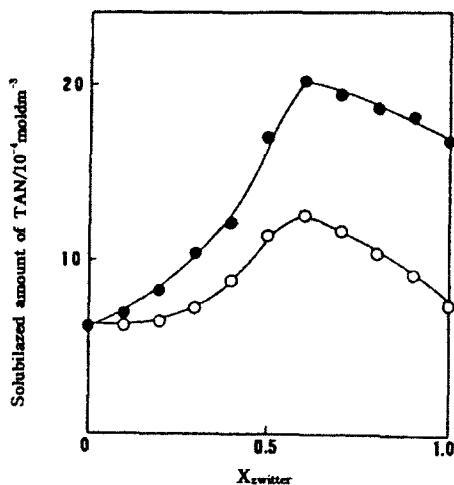


Fig. 5. Solubilized amount of TAN against molar fractions of zwitterionic surfactant for TDB-SDE (○) and ODB-SDE(●) system.

CMC_1 , CMC_{mix} 는 계면활성제 1과 혼합물의 임계 미셀 농도이고, X 는 혼합계에서 특정 계면활성제의 몰 분율이다. 두 혼합계에서 임계 미셀 농도값의 변화와 음이온 계면활성제 몰분율 관계를 Fig. 6에 나타내고 있다. 최소값을 보이기 전까지 음이온 계면활성제의 농도가 증가할수록 임계농도 값은 감소하고 있다. 두 혼합계의 미셀화 과정 열역학이 이상 용액에 따르면, 미셀과 계면활성제 분자가 평형에 있을 때, 혼합 미셀의 임계농도 값은 아래 식으로 나타내어지는 선위에 있을 것이다.

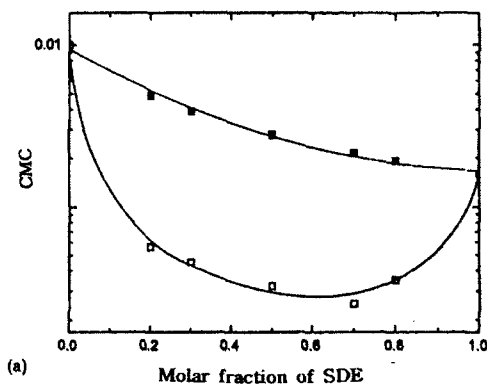
$$\frac{1}{CMC_{a/z}} = \frac{X}{CMC_a} + \frac{1-X}{CMC_z}$$

$CMC_{a/z}$, CMC_a , CMC_z 는 각각 음이온/양쪽성 계면활성제, 음이온 계면활성제, 양쪽성 계면활성제 농도, 그리고 X 는 혼합계에서 음이온 계면활성제의 몰 분율을 나타낸다.

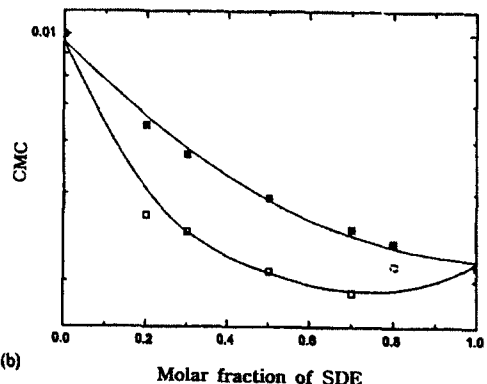
두 혼합 계면활성제계에서 각각의 음이온 계면활성제에 대해 윗식을 이용하여 계산한 이론적인 CMC값과 실험값이 그림에 나타나 있는데 이론값에 비해 실험치가 모든 범위에 걸쳐 낮은 수치를 보여주고 있다. 일정한 이온세기와 낮은 농도에서 Gibbs의 흡착식은 다음과 같이 나

타낼 수 있다 [20].

$$-dv/RT = S_{R^-} \cdot d(\ln a_{R^-}) + S_z \cdot d(\ln a_z) = S_{R^-} \cdot d(\ln C_{R^-}) + S_z \cdot d(\ln C_z)$$



(a)



(b)

Fig. 6. CMC values at different mole fractions of SDE in the SDE/zwitterionic mixed systems: (a) SDE/TDB (b) SDE/ODB system (■; ideal value □; observed value).

S_{R^-} , S_z 는 각각 음이온, 양쪽성 계면활성제의 표면에서 과잉 농도를 나타내고, C_{R^-} , C_z 는 각각의 용액중 농도를 가리킨다. 음이온 계면활성제와 양쪽성 계면활성제의 몰분율이 일정하게 유지될 때 위 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-dv/RT = S_{R^-} \cdot d(\ln C_T) + S_z \cdot d(\ln C_T) = (S_{R^-} + S_z) d(\ln C_T) = S_T \cdot d(\ln C_T)$$

S_T , C_T 는 각각 전체 표면 과잉농도와 용액 중의 전체 계면활성제 농도를 가리킨다. $v - \ln C_T$ 식으로 부터 S_T 를 얻을 수 있다. 음이온 계면활성제와 양이온 계면활성제 사이의 상호작용은 주로 정전기적 인력에 의한 것이다. 음이온 계면활성제와 Betaine 형태의 양쪽성 계면활성제 혼합계에서는 Betaine이 양성자를 받아 들어 양이온 계면활성제와 같이 행동한다. 따라서 음이온 계면활성제와 강한 상호작용을 할 수 있다.

두 계면활성제 혼합계에서 집합체 수 N 은 quencher가 있을 때와 없을 때의 형광을 각각 측정하므로써 결정할 수 있다. 아래식에서 I_i , I_0 는 각각 quencher가 있을 때와 없을 때의 형광세기, $[Q]$ 는 quencher 농도, $[M]$ 은 혼합미셀 농도를 나타낸다. S_i , S_T 는 전체와 개개의 계면활성제 농도를 말한다.

$$I_i = I_0 \exp(- [Q] / [M])$$

$$\ln(I_i/I_0) = \{N([S_i] - CMC) \} / [Q]$$

전체 계면활성제 농도를 일정하게 유지하며 quencher 농도를 변화 시키면서 형광을 측정한다. $\ln(I_i/I_0)$ 와 $[Q]$ 사이의 관계로 부터 여러 농도에서 계면활성제 혼합 용액의 집합체 수 N 을 구할 수 있다. 양이온 계면활성제와 음이온 계면활성제 혼합계에서는 음이온 계면활성제를 조금만 가해도 집합체수의 급격한 증가를 가져온다. 음이온 계면활성제의 몰 비율이 양이온 계면활성제의 몰 비율에 가까워짐에 따라 집합체 수 N 은 계속 증가하여 두 계면활성제의 몰비가 같아질 때 최대가 된다. 서로 반대되는 전하끼리의 정전기적 인력에 의하여 미셀내 계면활성제들은 서로 가까이 정렬하게 된다. 그러나 양쪽성 계면활성제 미셀에서는 알짜 전하가 없다. 음이온 계면활성제를 가하면 전하의 급격한 증가를 가져오고, 일반적으로 계면활성제들은 느슨하게 정렬하게 된다. 따라서 미셀의 집합체수를 감소시키는 결과를 가져온다. 반면 음이온 계면활성제에 양쪽성 계면활성제를 가하면 미셀에서 음이온 계면활성제 사이에 자리 잡게 되고 음이온 사이의 정전기적 반발을 차단하는 역할을 하게 된다. 따라서 이와같은 혼합계에서 계면활성제들은 미셀에서 서로 가까이 정렬하게 되고 미셀의 집합체 수는 증가하게 된다.

4. 결론

양쪽성 계면활성제 N-dodecyl-N,N-dimethyl betaine, N-tetradecyl-N,N-dimethyl betaine와 음이온 계면활성제 sodium dodecylethoxy sulfate 사이의 상호작용에 대하여 표면장력, NMR 스펙트럼, 형광분광법을 이용하여 고찰하였다. 여러 농도에서 미셀의 성질을 조사하였다. 두 계면활성제의 농도비에 따라 여러 물리화학적 성질 cmc, 용매화 정도, 점도, 미셀의 크기, NMR의 선폭 등의 값이 변하였다. 뉴튼 점성을 보여 주었으며 서로 다른 두 계면활성제 사이의 정전기적 인력에 의해 미셀에서 분자내 착물이 형성되었다. 두 혼합계에 대하여 형광을 조사하여 미셀의 집합체 수 변화를 고찰하였다.

양쪽성 계면활성제 (TDB, ODB)와 음이온 계면활성제 (SDE) 사이의 혼합 미셀에서 두 계면활성제 사이의 상호 작용은 양쪽성 계면활성제의 몰 비율이 0.6 부근에서 급격히 변하였다. 이것은 양쪽성과 음이온성 계면활성제가 서로 반대 전하를 띄는 머리 부분끼리 정전기적 인력에 의해 분자내 착물을 형성하기 때문으로 보여진다. 또한 점성도의 변화 등을 고려 할 때 ODB-SDE 계에서 미셀 형태의 변화가 생기는 것으로 믿어진다.

감사의 글

본 연구는 대전대학교 학술연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. P. D. Battle, M. A. Green, and J. F. Vente, Equilibrium Structure of Micelles, Phys. Rev. B, 54, 15967 (1996).
2. G. A. Peterson, D. K. Malik, W. G. Wilson, and M. J. Frisch, Enthalpies and Heat Capacities of Micellization of Some Surfactants, J. Chem. Phys., 109, 10570 (1998).
3. H. E. Katz, M. L. Schilling, C. E. Chiedey, and R. S. Hutton, Surfactant Properties of Fatty acid Derivatives, Chem. Mater., 3,

- 699 (1991).
4. P. D. Gossen and J. F. McGreeger, Effect of Hydrophobic Properties of Ionic Surfactant on Mixed Micelle Formation, *J. Colloid and Interface Science*, 160, 24 (1993).
 5. G. Elicabe and G. Frontini, Studies on Solubility, Viscosity, and Conductivity of Calcium caprate, *J. Colloid and Interface Science*, 181, 669 (1996).
 6. J. Yang, X. G. Feng, Y. Zhang, and H. Wang, Pressure Induced Surfactant Association, *J. Phys. Chem.*, 97, 4484 (1993).
 7. M. S. Lee, H. K. Shim, and Y. I. Kim, Micellization of Polyoxymethylene monohexadecyl ethers in Water, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 316, 401 (1998).
 8. Z. L. Wang, T. S. Ahmad, and L. A. Elsayed, Acid Catalyzed Hydrolysis of Hydrophobic Ketals in Aqueous Catanionic Micelles, *Surf. Sci.*, 380, 302 (1997).
 9. F. Caruso, M. Spasova, and M. Giersig, Effect of Electrolyte and Hydrocarbons on the Cloud Point Transition of C12E8 Solutions, *Chem. Mater.*, 13, 109 (2001).
 10. Y. Yagi, H. Zhou, T. Gudo, and I. Honma, Influence of Dissolved Additives on Cmc of Surfactants, *Langmuir*, 17, 1328 (2001).
 11. Y. S. Kim, J. H. Shin, and Y. I. Lee, Solvent Sublation of Trace Metals by Formation of Metal Complexes, *Bull. Kor. Chem. Soc.*, 22, 19 (2001).
 12. M. F. Ottaviani, F. MonTalti, N. J. Turro, and D. A. Tomalia, Micellar Charge Effects on Spontaneous Nucleophilic Addition and Sustitution, *J. Phys. Chem. B*, 101, 158 (1997).
 13. C. S. Sanchez and R. J. Garcia, Ellipsometry in Microemulsions, *Surface Science*, 473, 133 (2001).
 14. M. A. Zolfigol, B. M. Kiany, and S. E. Mallakpour, Luminescent Probe Study of Water-in-Oil Microemulsions, *Synth. Commun.*, 30, 2573 (2000).
 15. B. F. Mirjalili, M. A. Zolfigol, and A. Bamoniri, Aggregate Morphologies and Applications of Membrane Formaing Amphiphiles, *Molecules*, 7, 751 (2002).
 16. A. H. Beckett and R. J. Woodward, Synthesis of Oxymethyl dimethyl betaine, *J. Pharm. Pharmacol.*, 7, 422 (1963).
 17. M. J. Rosen, "Surfactants and Interfacial Phenomena" 2nd ed., Chap. 3, Wiley Interscience, New York (1978).
 18. T. Kato and T. Semiya, Thermodynamics of Intermicellar Interactions, *J. Colloid Interface Sci.*, 130, 439 (1989).
 19. D. N. Rubingh and K. I. Michel, "Solution Chemistry of Surfactants" vol. 1, p. 330, Plenum Press, New York (1979).
 20. M. J. Rosen, "Surfactants and Interfacial Phenomena" 2nd ed., Chap. 5, Wiley Interscience, New York (1978).