

DPC와 다른 양이온성 계면활성제(DTAB, TTAB 및 CDEAB)와의 혼합마이셀화에 관한 연구

李炳煥

한국기술교육대학교 응용화학공학과
(1998. 6. 3 접수)

Mixed Micellar Properties of DPC with Other Cationic Surfactants (DTAB, TTAB, and CDEAB)

Byung-Hwan Lee

Department of Applied Chemical Engineering, Korean University of Technology, Chonan 333-860, Korea
(Received June 3, 1998)

요약. 양이온성 계면활성제인 DPC(dodecylpyridinium chloride)와 다른 양이온성 계면활성제인 DTAB(dodecyltrimethylammonium bromide), TTAB(tetradecyltrimethylammonium bromide) 및 CDEAB(cetyldimethylethylammonium bromide)와의 혼합마이셀화를 연구하기 위하여 전도도법을 이용하였다. DPC/DTAB, DPC/TTAB 및 DPC/CDEAB 혼합계면활성제의 마이셀화에 대한 임계마이셀농도(CMC*)와 반대이온의 결합상수값(B)을 각각 α_1 (DPC의 몰분율)의 함수로서 25°C에서 측정하였으며, 이와같이 측정된 CMC*와 B 값으로부터 유사상태분리모델을 적용함으로써 여러 가지 열역학적 함수값(X_1 , γ_1 , C_1 , a_1^M , β , ΔH_{mix} , 및 ΔG_m°)을 계산하고 분석하였다. 그 결과 DPC/CDEAB 혼합계면활성제가 이상적 혼합마이셀모델에서 가장 큰 벗어남을 나타내었으며 DPC/DTAB 혼합계면활성제는 가장 작은 벗어남을 보였다.

ABSTRACT. The critical micelle concentration (CMC*) and the counterion binding constant (B) in a micellar state of the mixed surfactant systems of dodecylpyridinium chloride (DPC) with dodecyltrimethylammonium bromide (DTAB), tetradecyltrimethylammonium bromide (TTAB), and cetyldimethylethylammonium bromide (CDEAB) were determined at 25°C as a function of α_1 (the overall mole fraction of DPC) by the use of electric conductivity method. Various thermodynamic parameters (X_1 , γ_1 , C_1 , a_1^M , β , ΔH_{mix} , and ΔG_m°) for the micellization of DPC/DTAB, DPC/TTAB, and DPC/CDEAB mixtures were calculated and analyzed for each system by means of the equations derived from the pseudophase separation model. The results show that the DPC/DTAB mixed system has the greatest deviation and the DPC/CDEAB mixed system has the smallest deviation from the ideal mixed micellar model.

서론

혼합계면활성제의 마이셀화에 대한 연구는 실용적인 측면과 이론적인 측면에서 매우 유용하기에 지금까지 여러 종류의 혼합계면활성제에 대하여 활발한 연구가 진행되고 있으며 또한 다양한 이론들이 나오고 있다.¹⁻⁶ 혼합계면활성제의 용액에서는 서로 다른 성분의 머리부분 사이에 새로운 정전기적 인력, 수소결합 및 입체적 효과 등과 같은 다양한 상호작용이 생김으로 인하여 각 성분은 서로 경쟁적

은 협동적으로 혼합마이셀을 이루게 되며 또한 이러한 인자들에 의하여 각 혼합계면활성제는 이상적 혹은 비이상적 혼합마이셀을 이루게 된다.⁷⁻¹⁰

본 실험실에서는 이미 이온성 계면활성제와 비이온성 계면활성제의 혼합체인 SDS/TGME, CPC/HGME 및 CPC/TX-100 혼합계면활성제의 마이셀화에 대하여 연구한 바 있다.^{11,12} 그리고 같은 음전하를 띠는 음이온성 계면활성제인 SDS/DBS 혼합계면활성제의 마이셀화에 대하여서도 이미 연구하였다.¹³

위의 이온성/비이온성 혼합계면활성제들의 마이셀화는 두 성분의 머리부분 사이에 인력이 작용함으로써 비이상적 혼합마이셀모델을 따르는 것으로 나타났으며, SDS/DBS 혼합계면활성제는 위의 이온성/비이온성 혼합계면활성제들보다 이상적 혼합마이셀모델에 더욱 접근하는 경향을 보였다.^{14,15}

지금까지 다양한 종류의 혼합계면활성제에 대하여 연구가 진행되었지만 소수성 탄소사슬의 길이와 머리부분의 구조가 서로 다른 동종의 혼합계면활성제에 대하여 많은 연구가 되지 않았으며, 특히 혼합계면활성제의 마이셀화에 이러한 인자들이 어떤 영향을 미치는지에 대하여 자세한 연구가 되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 양이온성 계면활성제인 DPC와 탄소사슬의 길이 혹은 머리부분의 구조가 서로 다른 양이온성 계면활성제인 DTAB, TTAB 및 CDEAB와의 혼합마이셀화를 연구하였다.

실 험

양이온성 계면활성제인 DPC, DTAB, TTAB 및 CDEAB는 순도가 98% 이상인 Aldrich 제품을 더 이상 정제하지 않고 바로 사용하였다. 혼합계면활성제의 임계마이셀농도(CMC*)와 마이셀상에서 반대이온의 결합상수값(B)을 구하기 위하여 전편의 논문^{12,13}에서와 같이 전도도법을 이용하였으며, 측정온도는

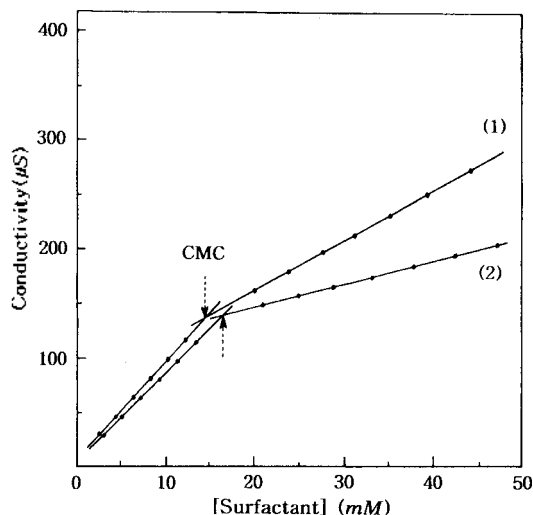


Fig. 1. Variation of the electrical conductivity (μS) with the concentration of surfactant for the micellization of DPC(1) and DTAB(2).

25°C로 일정하게 유지하였다. 또한 혼합계면활성제의 용액에서 각 성분의 조성을 일정하게 유지하기 위하여 우선 각 계면활성제의 저장용액을 만든 후, 이들 용액을 일정한 부피비로 혼합함으로써 DPC/DTAB, DPC/TTAB 및 DPC/CDEAB 혼합계면활성제의 저장용액을 만들었다. 이와같이 만든 각 혼합계면활성제의 저장용액을 묽혀서 농도가 각기 다른 12개 이상의 용액을 제조하여 각 용액의 전도도값을 측정하였다. 이들 용액의 전도도값을 전체 계면활성제의 농도에 대하여 도시하면 Fig. 1과 같이 기울기가 각기 다른 두 직선이 얻어졌다. 두 직선의 교점으로부터 CMC* 값을 그리고 두 직선의 기울기의 비로부터 B 값을 결정하였다.¹⁶⁻¹⁸

결과 및 고찰

양이온성 계면활성제인 DPC와 다른 종류의 양이온성 계면활성제인 DTAB, TTAB 및 CDEAB와의 혼합제인 DPC/DTAB, DPC/TTAB 및 DPC/CDEAB 혼합계면활성제의 임계마이셀농도(CMC*)를 DPC

Table 1. Values of critical micelle concentration (CMC*) and thermodynamic parameters for the micellization of DPC/DTAB mixture at 25°C

α_1	CMC* (mM)	β	a_1^M	a_2^M	C_1 (mM)	C_2 (mM)
0.00	14.7	-	0.00	1.00	0.00	14.7
0.15	14.1	-0.19	0.16	0.81	2.10	12.0
0.35	13.8	-0.11	0.37	0.61	4.82	8.97
0.50	13.7	-0.07	0.52	0.46	6.83	6.84
0.65	13.4	-0.08	0.66	0.32	8.71	4.70
0.85	13.2	-0.11	0.85	0.14	11.2	1.99
1.00	13.2	-	1.00	0.00	13.2	0.00

Table 2. Values of critical micelle concentration (CMC*) and thermodynamic parameters for the micellization of DPC/TTAB mixture at 25°C

α_1	CMC* (mM)	β	a_1^M	a_2^M	C_1 (mM)	C_2 (mM)
0.00	4.02	-	0.00	1.00	0.00	4.02
0.15	4.35	-0.56	0.05	0.91	0.67	3.68
0.35	4.96	-0.41	0.14	0.80	1.86	3.22
0.50	5.83	-0.34	0.22	0.72	2.89	2.90
0.65	6.80	-0.32	0.34	0.59	4.42	2.38
0.85	9.24	-0.23	0.59	0.35	7.82	1.42
1.00	13.2	-	1.00	0.00	13.2	0.00

Table 3. Values of critical micelle concentration (CMC*) and thermodynamic parameters for the micellization of DPC/CDEAB mixture at 25°C

α_1	CMC* (mM)	β	a_1^M	a_2^M	C_1 (mM)	C_2 (mM)
0.00	0.79	-	0.00	1.00	0.00	0.79
0.15	0.89	-1.40	0.01	0.96	0.13	0.75
0.35	1.09	-1.34	0.03	0.91	0.38	0.71
0.50	1.32	-1.34	0.05	0.84	0.66	0.66
0.65	1.70	-1.37	0.08	0.76	1.10	0.59
0.85	2.89	-1.44	0.19	0.55	2.46	0.43
1.00	13.2	-	1.00	0.00	13.2	0.00

의 전체 물분율(α_1)의 변화에 따라 25°C에서 측정하였으며, 그 결과를 각각 Table 1~3에 나타내었다. 또한 각 혼합계면활성제에 대하여 α_1 에 따른 CMC* 값의 변화를 Fig. 2에 서로 비교하기 위하여 나타내었다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 DPC/DTAB 혼합계면활성제는 α_1 의 증가에 따라 CMC* 값이 약간 감소하는 경향을 나타내었지만, DPC/TTAB과 DPC/CDEAB 혼합계면활성제는 α_1 의 증가에 따라 CMC* 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 각 혼합계면활성제의 마이셀화에서 반대이온의 결합상수값 (B)을 α_1 의 변화에 따라 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 DPC/DTAB과 DPC/TTAB 혼합계면활성제는 α_1 의 증가에 따라 B 의 값이 감소하는 경향을 나타내었다.

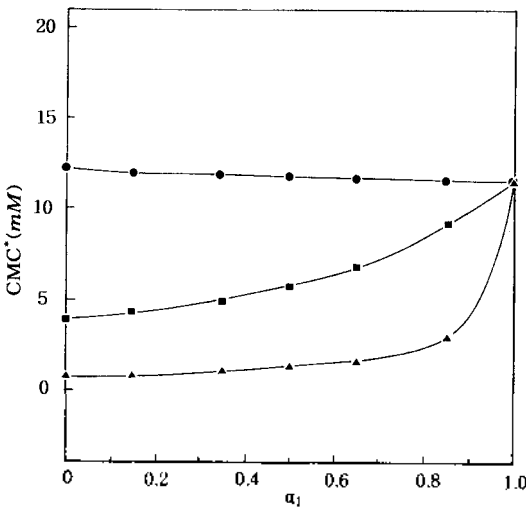


Fig. 2. Plots of CMC* vs α_1 for the micellization of DPC/DTAB (●), DPC/TTAB (■), and DPC/CDEAB (▲) mixtures at 25°C.

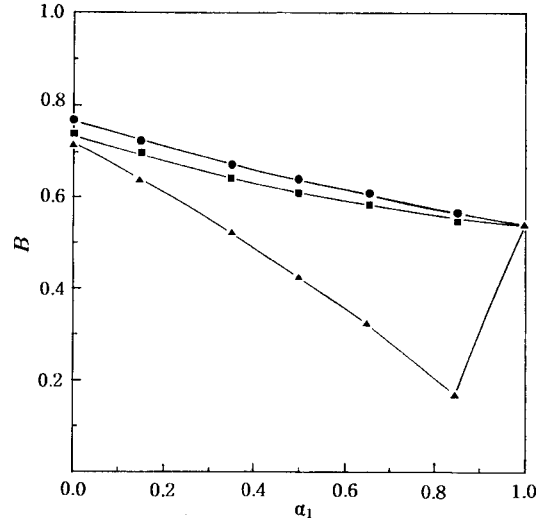


Fig. 3. Plots of B vs α_1 for the micellization of DPC/DTAB (●), DPC/TTAB (■), and DPC/CDEAB (▲) mixtures at 25°C.

이에 반하여 DPC/CDEAB 혼합계면활성제는 α_1 의 증가에 따라 B 의 값이 급격하게 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였으며, α_1 이 0.85일 때 최소값을 나타내었다. DPC/CDEAB 혼합계면활성제의 B 값이 다른 혼합계면활성제들과는 다르게 특이한 현상을 나타내는 것은 혼합되는 두 성분이 서로 다른 길이의 탄소사슬과 서로 다른 구조의 머리부분을 갖기 때문인 것으로 생각된다. 즉 DPC 분자가 DTAB 혹은 TTAB 분자와 혼합마이셀을 이룰 때 두 성분은 길이가 비슷하거나 약간 긴 탄소사슬을 가짐으로써 혼합마이셀상에서 반대이온들과 결합을 이루는데 입체적으로 서로 방해가 되지 않는다. 그러나 DPC 분자가 CDEAB 분자와 혼합마이셀을 이룰 때는 두 성분의 탄소사슬의 길이가 서로 크게 다르고 또한 CDEAB 분자의 머리부분이 입체적으로 복잡함으로써 혼합마이셀상에서 DPC 분자가 반대이온들과 결합하는데 CDEAB 분자가 입체적으로 장애를 일으키게 된다.

혼합계면활성제의 마이셀화에서 마이셀상으로 존재하는 DPC의 물분율(X_1)은 식(1)에 의하여 계산할 수 있으며, 각 혼합계면활성제에 대하여 이와 같이 계산한 결과를 Fig. 4에 도시하였다.^{2,11-13}

$$\ln \text{CMC}^* = \{X_2^2/(X_1^2 - X_2^2)\} \ln[\alpha_2/(X_2 \text{CMC}_2)] - \{X_1^2/(X_1^2 - X_2^2)\} \ln[\alpha_1/(X_1 \text{CMC}_1)] \quad (1)$$

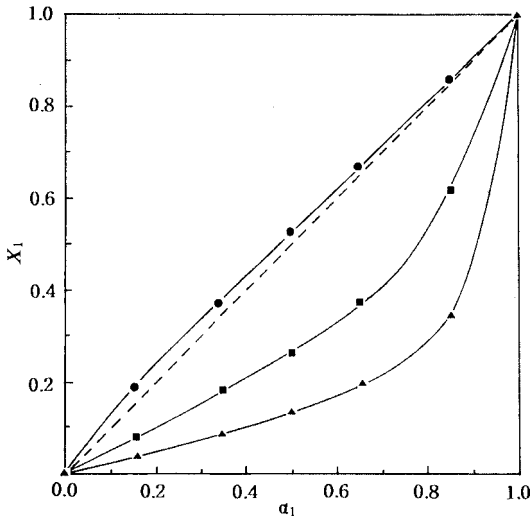


Fig. 4. Plots of X_1 vs α_1 for the micellization of DPC/DTAB (●), DPC/TTAB (■), and DPC/CDEAB (▲) mixtures at 25°C.

Fig. 4에서 알 수 있듯이 DPC/DTAB 혼합계면활성제에 대한 그래프는 대각선(이상적 혼합마이셀모델)과 거의 일치하였지만, DPC/TTAB과 DPC/CDEAB 혼합계면활성제는 대각선에서 크게 음의 벗어남을 보였다. DPC와 DTAB 분자는 서로 같은 양전하를 띠며 또한 같은 길이의 수소성 탄소사슬을 가짐으로 인하여 이들 분자는 서로 구분이 없이 마치 단일 성분의 마이셀화처럼 혼합마이셀을 이루게 된다. 이것과 비교하여 DPC 분자가 서로 다른 길이의 탄소사슬을 가진 TTAB 혹은 CDEAB 분자와 혼합마이셀을 이룰 때에는 소수성이 더욱 큰 TTAB과 CDEAB 분자가 DPC 분자보다 혼합마이셀상으로 더욱 많이 들어가게 됨으로써 이들 혼합계면활성제는 비이상적 혼합마이셀모델을 따르게 된다.

혼합마이셀상에서 서로 다른 두 성분 사이에는 단일 성분이 마이셀을 이룰 때와는 다르게 정전기적 반발력, 수소결합, 이온-쌍극자 상호작용 혹은 입체적 장애 등과 같은 특수한 상호작용이 생기게 된다. 혼합마이셀상에서 두 성분 사이의 상호작용의 세기를 나타내는 β 값은 식(2)에 의하여 계산될 수 있으며, 각 혼합계면활성제의 마이셀화에 대하여 이와 같이 계산한 β 값을 각각 Table 1~3에 나타내었다.

$$\beta = \{1/(1 - X_1)^2\} \ln\{(\alpha_1 \text{CMC}^*)/(X_1 \text{CMC}_1)\} \quad (2)$$

Table 1~3에 의하면 β 값은 α_1 에 따라 작은 차이를 보였으며, 각 혼합계면활성제에 대하여 이러한 β 값을 평균하여 Table 4에 나타내었다. 본 실험실에서 이미 연구하였던 다른 혼합계면활성제에 대한 β 값도 비교하기 위하여 함께 나타내었다. Table 4에서 알 수 있듯이 이온성/비이온성 혼합계면활성제의 β 값은 이온성/이온성 혼합계면활성제의 β 값보다 더욱 작은 값을 나타내었다. 또한 동일한 종류의 이온성/이온성 혼합계면활성제 중에서 탄소사슬의 길이가 크게 다른 혼합계면활성제일수록 β 값은 더욱 작아지는 경향을 나타내었다. 즉 DPC/CDEAB 혼합계면활성제에 대한 β 값이 DPC/DTAB과 DPC/TTAB 혼합계면활성제에 대한 β 값보다 더욱 작은 값을 나타내었다. DPC 분자와 CDEAB 분자의 탄소사슬의 길이가 서로 크게 다름으로 인하여 혼합마이셀상의 표면에서 DPC 분자와 CDEAB 분자의 머리부분이 서로 멀리 떨어지게 되며, 그 결과 두 성분의 머리부분 사이에는 정전기적 반발력이 더욱 감소하게 된다. 한편 마이셀상에서 두 성분이 서로 혼합됨으로써 생기는 계의 엔탈피변화값(ΔH_{mix})은 식(3)에 의하여 계산될 수 있으므로 각 혼합계면활성제의 마이셀화에 대한 ΔH_{mix} 값을 계산하여 평균값을 Table 4에 나타내었다. ΔH_{mix} 값도 β 값처럼 이온성/비이온성 혼합계면활성제가 이온성/이온성 혼합계면활성제보다 작은 ΔH_{mix} 값을 나타내었으며, 동일한 종류의 이온성/이온성 혼합계면활성제에서 두 성분의 탄소사슬의 길이가 서로 다를수록 더욱 작은 ΔH_{mix} 값을 나타내었다.

Table 4. Mean values of β and ΔH_{mix} for the micellization of DPC/DTAB, DPC/TTAB, DPC/CDEAB, and other mixed surfactant systems in water at 25°C

mixtures	β	ΔH_{mix} (cal/mol)
DPC/DTAB	-0.11	-12
DPC/TTAB	-0.37	-36
DPC/CDEAB	-1.37	-101
SDS/DBS ^a	-0.14	-12
SDS/TGME ^b	-2.11	-58
CPC/HGME ^c	-2.06	-203
CPC/TX-100 ^d	-2.26	-289

^aThe values in this horizontal line are from reference 13; ^bfrom reference 11; ^cfrom "Faculty Reports of Korea University of Technology" (p. 331, Vol. 1, No. 1, Dec. 1994); ^dfrom reference 13.

$$\Delta H_{mix} = X_1(1 - X_1)\beta RT \quad (3)$$

혼합계면활성제의 마이셀화에서 각 성분이 마이셀 속으로 들어가는 정도가 다르게 됨으로써 각 성분의 활동도계수는 서로 달라지게 된다.¹⁹ 식(4)에 의하여 각 혼합계면활성제의 마이셀화에 대한 γ_1 과 γ_2 를 계산하여 각각 Fig. 5와 6에 나타내었다. Fig. 5에서 알

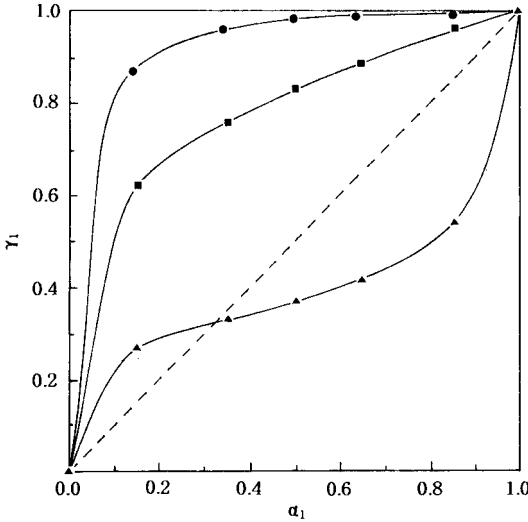


Fig. 5. Plots of γ_1 vs α_1 for the micellization of DPC/DTAB (●), DPC/TTAB (■), and DPC/CDEAB (▲) mixtures at 25°C.

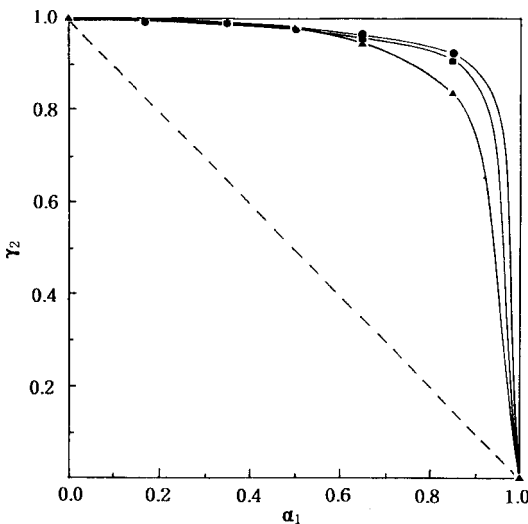


Fig. 6. Plots of γ_2 vs α_1 for the micellization of DPC/DTAB (●), DPC/TTAB (■), and DPC/CDEAB (▲) mixtures at 25°C.

수 있듯이 DPC/DTAB과 DPC/TTAB 혼합계면활성제에서 DPC의 활동도계수를 나타내는 γ_1 은 대각선(이상적 혼합마이셀모델)에서 크게 양의 벗어남을 나타내었지만, DPC/CDEAB 혼합계면활성제에서는 α_1 이 약 0.3일 때 그래프가 변곡점을 나타내었다. 그리고 Fig. 6에서는 모든 혼합계면활성제의 γ_2 는 이상적 혼합마이셀모델에서 크게 양의 벗어남을 보였으며, 각 혼합계면활성제 사이에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이러한 현상은 DPC가 혼합마이셀을 함께 이루는 다른 양이온 계면활성제의 종류에 따라서 상호작용의 세기가 달라짐으로써 일어나는 현상이다.

$$\gamma_i = \exp\{\beta(1 - X_i)^2\} \quad (4)$$

위의 활동도계수를 이용하면 혼합마이셀상에서 각 성분의 활동도(a_i^M)를 식(5)에 의하여 계산할 수 있다.²⁰ 각 혼합계면활성제의 마이셀화에 대하여 이와 같이 계산한 각 성분의 활동도를 각각 Table 1~3에 나타내었다. Table 1~3에서 보는 바와 같이 모든 혼합계면활성제의 a_1^M 값은 α_1 이 증가할수록 증가하는 경향을 그리고 a_2^M 의 값은 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. DPC/DTAB 혼합계면활성제에서 a_1^M 은 α_1 과 거의 같은 값을 나타내었으며 a_2^M 은 α_2 (= 1 - α_1)와 거의 같은 값을 나타내었다. 이것은 두 성분이 거의 같은 비율로 이상적인 혼합마이셀을 형성하고 있음을 나타낸다. 그러나 DPC/TTAB과 DPC/CDEAB 혼합계면활성제에서 a_1^M 은 α_1 보다 훨씬 작은 값을 그리고 a_2^M 은 α_2 보다 훨씬 큰 값을 나타내었다. 또한 이러한 경향은 DPC/TTAB 보다 DPC/CDEAB 혼합계면활성제에서 더욱 크게 나타났다. 이것은 이들 혼합계면활성제의 마이셀화에서 탄소사슬의 길이가 긴 TTAB 분자와 CDEAB 분자가 DPC 분자보다 혼합마이셀속으로 더욱 많이 들어가기 때문이며 또한 TTAB 분자보다 CDEAB 분자가 혼합마이셀속으로 더욱 많이 들어가기 때문이다.

$$a_i^M = \gamma_i X_i \quad (5)$$

단량체상으로 존재하는 각 성분의 몰농도(C_i)는 혼합마이셀속에서 각 성분의 활동도와 임계마이셀농도의 함수로서 식(6)에 의하여 계산된다.²¹ 각 성분의 활동도와 임계마이셀농도(CMC_i)를 이용하여 계산한 C_i 값을 Table 1~3에 함께 나타내었다. Table 1~3에서 보듯이 각 혼합계면활성제에서 C_1 은 α_1 의

증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었지만, C_2 는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고 각 혼합계면활성제에서 C_1 값을 서로 비교하여 보면 DPC/CDEAB 혼합계면활성제에서 C_1 값이 DPC/DTAB과 DPC/TTAB 혼합계면활성제에서 C_1 값보다 더욱 작은 값을 나타내고 있다. 이것은 DPC 분자가 탄소사슬의 길이가 더욱 긴 CDEAB 분자와 혼합마이셀을 이룰 때 CDEAB 분자의 도움으로 혼합마이셀속으로 더욱 많이 들어감을 나타낸다.

$$C_1 = i X_1 CMC_1 \quad (6)$$

계면활성제분자의 마이셀화에서 단량체상의 계면활성제분자가 마이셀을 이룸으로써 계의 전체 자유에너지는 감소하게 되며, 그 결과 마이셀화로 인한 계의 자유에너지변화값(ΔG_m°)은 대체적으로 음의 값을 나타내게 된다. 일반적으로 이온성 계면활성제의 마이셀화에 대한 ΔG_m° 은 B 와 CMC^* 의 함수로서 식 (7)과 같다.²² 식 (7)에 의하여 각 혼합계면활성제의 마이셀화에 대한 ΔG_m° 값을 계산하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 각 혼합계면활성제의 ΔG_m° 값은 측정된 α_1 의 범위에서 모두 음의 값을 나타내었으며, DPC/DTAB과 DPC/TTAB 혼합계면활성제는 대체적으로 α_1 이 증가할수록 ΔG_m° 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나

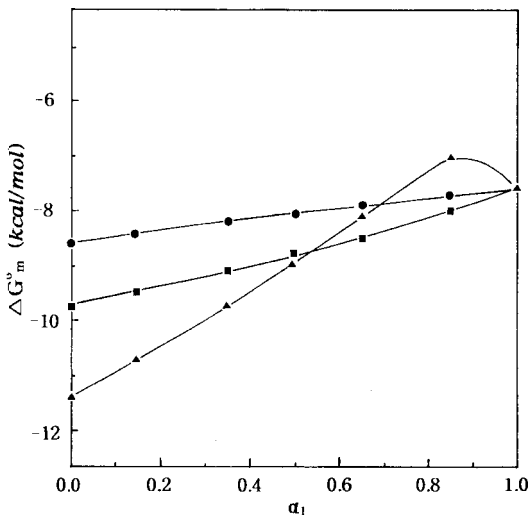


Fig. 7. Plots of ΔG_m° vs α_1 for the micellization of DPC/DTAB (●), DPC/TTAB (■), and DPC/CDEAB (▲) mixtures at 25°C.

DPC/CDEAB 혼합계면활성제의 경우에는 α_1 이 증가할수록 증가하다가 감소하는 경향을 나타내었으며, α_1 이 0.85일 때 ΔG_m° 값이 최대값을 나타내었다.

$$\Delta G_m^\circ = (1 + B)RT \ln CMC^* \quad (7)$$

결론

DPC/DTAB, DPC/TTAB 및 DPC/CDEAB 혼합계면활성제의 마이셀화를 비이상적 혼합마이셀모델로 분석한 결과, 두 성분의 탄소사슬의 길이가 똑같은 DPC/DTAB 혼합계면활성제는 거의 이상적 혼합마이셀을 이루는 것으로 나타났다. 이것과 비교하여 두 성분의 탄소사슬의 길이가 서로 다른 DPC/TTAB과 DPC/CDEAB 혼합계면활성제는 비이상적 혼합마이셀을 이루는 것으로 나타났으며, 이러한 비이상적 성질은 탄소사슬의 길이가 서로 다를수록 더욱 크게 나타났다. 특히 머리부분의 구조가 서로 다른 DPC/CDEAB 혼합계면활성제는 이상적 혼합마이셀모델에서 가장 큰 음의 벗어남을 나타내었으며 또한 여러 가지 특이한 현상들을 보였다. 즉 DPC/CDEAB 혼합계면활성제의 경우에는 B 의 값이 α_1 의 증가에 따라 크게 감소하다가 증가하는 경향을 나타내었으며, α_1 이 0.85일 때 최소값을 나타내었다. 그러나 ΔG_m° 값은 α_1 의 증가에 따라 급격하게 증가하다가 감소하는 경향을 나타내었으며, α_1 이 0.85일 때 최대값을 나타내었다. DPC/CDEAB 혼합계면활성제의 마이셀화에 대한 β 값의 평균값은 -1.37을 그리고 ΔH_{mix} 의 평균값은 -101 cal/mol을 나타내었다. 이러한 값은 DPC/DTAB과 DPC/TTAB 혼합계면활성제에 대한 값들보다 훨씬 작은 값을 나타내었지만, 다른 이온성/비이온성 혼합계면활성제에 대한 값과 비교하면 훨씬 큰 값을 나타내었다. DPC 분자와 CDEAB 분자는 서로 다른 길이의 탄소사슬과 서로 다른 구조의 머리부분을 가짐으로써 혼합마이셀상에서 두 성분의 머리부분들이 서로 멀리 떨어지게 되며, 그 결과 두 성분의 머리부분 사이에 정전기적 반발력이 감소함으로써 이들 혼합계면활성제는 비이상적 행동을 나타내게 된다.

인용문헌

1. Ueno, M.; Asano, H. In *Mixed Surfactant Systems*; Ogino, K.; Abe, M., Ed.; Marcel Dekker Inc.: New

- York, U.S.A., 1993; p. 258.
2. Holland, P. M. In *Mixed Surfactant Systems*; Holland, P. M.; Rubingh, D. D., Ed.; ACS Symposium Series; Washington DC., U.S.A., 1992; p. 31.
 3. Treiner, C.; Hertz, M.; Vaution, C.; Puisieux, F. *J. Colloid Interface Sci.* **1988**, *125*, 261.
 4. Shiloach, A.; Blankshtein, D. *Langmuir* **1988**, *14*, 1618.
 5. Park, J. W.; Chung, M. A.; Choi, K. M. *Bull. Korean Chem. Soc.* **1989**, *10*, 437.
 6. Sarmoria, C.; Puvvada, S.; Blankshtein, D. *Langmuir* **1992**, *8*, 2690.
 7. Junquera, E.; Pena, L.; Aicart, E. *Langmuir* **1995**, *11*, 4685.
 8. De Lesi, R.; Inglese, A.; Milioto, S.; Pellerito, A. *J. Colloid Interface Sci.* **1996**, *180*, 174.
 9. Semchyschyn, D. J.; Carbone, M. A.; MacDonald, P. M. *Langmuir* **1996**, *12*, 253.
 10. Kamenka, N.; Burgaud, I.; Zana, R.; Lindman, B. *J. Phys. Chem.* **1994**, *98*, 6785.
 11. Chung, J. J.; Kim, Y. C.; Lee, B. H. *J. Kor. Chem. Soc.* **1997**, *41*, 284.
 12. Lee, B. H. *J. Kor. Chem. Soc.* **1995**, *39*, 896.
 13. Lee, B. H. *J. Kor. Chem. Soc.* **1997**, *41*, 12.
 14. Nishikido, N.; Moroi, Y.; Matuura, R. *Bull. Chem. Soc. Japan* **1975**, *5*, 1387.
 15. Warr, G. G.; Greiser, F.; Healy, T. W. *J. Phys. Chem.* **1983**, *87*, 1220.
 16. Zana, R.; Picot, C.; Duplessix, R. *J. Colloid Interface Sci.* **1983**, *93*, 43.
 17. Shanks, P. C.; Franes, E. I. *J. Phys. Chem.* **1992**, *96*, 1794.
 18. Zana, R.; Levy, H. *Langmuir* **1997**, *13*, 402.
 19. Holland, P. M.; Rubingh, D. N. *J. Phys. Chem.* **1983**, *87*, 1984.
 20. Rathman, J. F.; Christian, S. D. *Langmuir* **1990**, *6*, 391.
 21. Kamrath, D. F.; Franes, E. I. In *Surfactants in Solution*; Mittal K. L., Ed.; Plenum Press: New York, U.S.A., 1984; p. 129.
 22. Zana, R.; Levy, H.; Papoutsis, D.; Beinert, G. *Langmuir* **1995**, *11*, 3694.