

비이온 계면활성제에 대한 친수성기와 소수성기의 그룹 특성

하 윤 식 · 손 만 식 · 백 우 현

경상대학교 자연과학대학 화학과
(1993년 11월 24일 접수)

Hydrophilic and Hydrophobic Group Characteristics for Nonionic Surfactants

Youn-Shick Ha, Man-Shick Son and U-Hyon Paek

*Department of Chemistry, College of Natural Science,
Kyeongsang National University, Chinju 660, Korea
(Manuscript received 24 November 1993)*

Abstract

On the basis of the principle of Bratch's electronegativity equalization, we calculated group partial charges and group electronegativities for nonionic surfactants with Pauling's electronegativity parameters by using numerical calculation method. From calculated output, we have investigated structural stability of micelle, characteristics of hydrophilic and hydrophobic groups, and relation between CMC(Critical Micelle Concentraion) and group partial charge and group electronegativity of hydrophilic and hydrophobic groups for nonionic surfactants.

We have known that CMC by micelle formation depends upon group partial charge and group electronegativity of hydrophilic and hydrophobic groups for surfactants. Also, the structural stability of micelle in H₂O solution is related to the electric double layer by the hydrophilic group of nonionic surfactants with H atoms in water.

CMC is diminished by the decrease of repeating units in hydrophilic group at constant hydrophobic group and is diminished by the increments of alkyl chains in hydrophobic group at constant hydrophilic group for nonionic surfactants.

In conclusion, CMC is diminished because there is no electrostatic repulsion and is diminished of Debye length by the increments of partial charge of hydrophobic group.

Key Words : principle of Bratch's electronegativity equalization, group partial charges, group electronegativities, Pauling's electronegativity parameter, numerical calculation method, hydrophilic and hydrophobic groups, CMC, nonionic surfactants, Debye length

1. 서 론

최근 수질오염에 대한 환경문제가 크게 대두되

면서 가정생활과 공업용으로 널리 사용되어지는 계면활성제(surfactant)에 대한 연구가 급격히 진행되고 있는 추세이다. 이러한 계면활성제는 용액

표면에서 높은 표면 활성을 나타내며, 용액 내부에서는 임계미셀농도(critical micelle concentration: CMC) 이상에서 미셀 콜로이드를 형성하는 물질을 말한다. Mcbain과 Martin(1914)은 계면활성제는 제한된 농도를 넘어서면 개개 분자가 회합하여 용액 내부에서 덩어리(cluster)를 형성하는 특성이 있다고 제안하였으며, 용액내에서의 이러한 특이적인 덩어리를 미셀(micelle)이라고 부른다. 미셀은 보통 30-300개의 단분자로 이루어진 덩어리이다. Rosen(1989)은 단분자의 이온 형태에 따라 이온 계면활성제(ionic surfactant)와 비이온 계면활성제

(Mittelmann, 1949) 등이 보고되었다. 계면활성제의 단분자 구조에서 물과 친화성이 큰 부분을 친수성기(hydrophilic group), 기름과 친화성이 큰 부분을 소수성기(hydrophobic group)라 한다. 이들 가운데 구형 미셀과 그 단분자를 Fig. 1-a(Atkins, 1990)와 Fig. 1-b(Fujimoto, 1984)에 각각 나타내었다.

계면활성제 및 미셀에 대한 연구는 분광학적 방법(Nadeau and Siggia, 1987)과 simulation 방법(Catlow, 1990)에 의한 연구가 발표되고 있으며, 수치 계산(Son *et al.*, 1992)으로써 그 특성을 연구하는 방법도 보고되었다. 또한 탄화수소 계면활

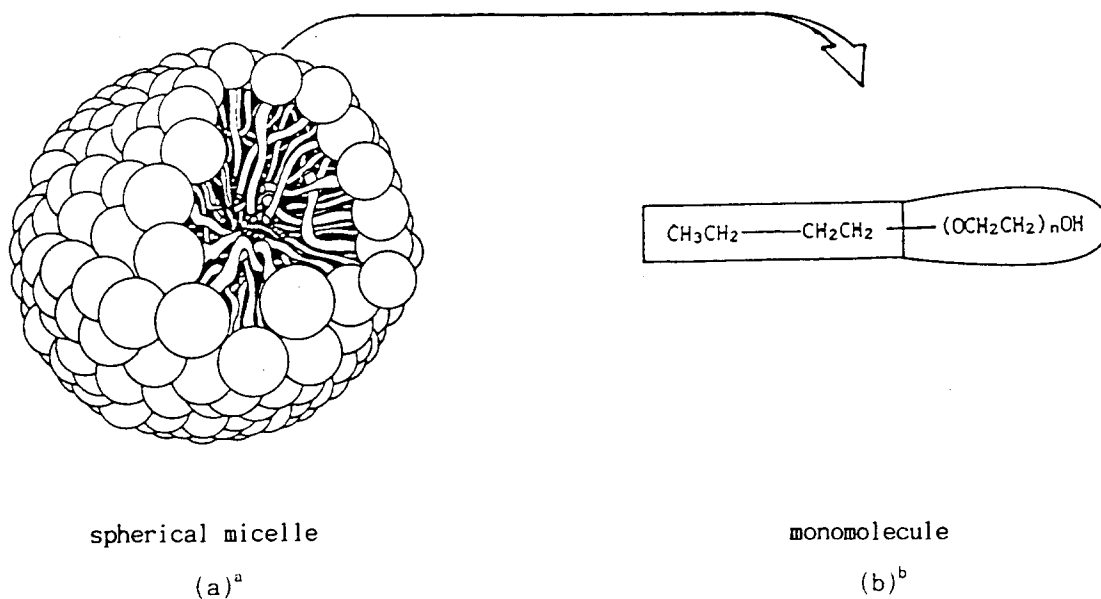


Fig. 1. Structure of spherical micelle(a) and monomolecular(b) composed of hydrophilic and hydrophobic groups.

^aAtkins, P.W., 1990, Physical Chemistry, W.H. Freeman and Company, San Francisco, p.845.

^bFujimoto, T., 1984, New Introduction to Surface Active Agents, Sanyo Chemical Industries, Ltd., p.29.

(nonionic surfactant)로 분류하였고, 이온 계면활성제는 다시 음이온, 양이온, 그리고 양쪽성이온 계면활성제로 분류하였다. 지금까지 미셀 구조에 대하여 제안된 모델들은 이온형 미셀(Mcbain and Salmon, 1920), 층상형 미셀(Mcbain and Salmon, 1920), 구형 미셀(Hartley, 1936), 실린더형 미셀(Harkins and

성제에서 탄소 사슬의 길이는 CMC를 결정하는 주요한 요소로 알려져있다(Tanford, 1980). 탄소 사슬의 길이에 대한 CMC를 예측하는 방법은 수학적 식(Kelbens, 1953)과 실험적 방법(Hsiao *et al.*, 1956)이 제안되었다.

본 연구에서는 미셀 형성을 계면활성제 단분자

들의 상호작용으로 보아 그 계면활성제 단분자들에 대하여 단분자 모델(monomolecular model)을 도입하여 친수성기와 소수성기의 두 그룹으로 나누어서 그룹 전기음성도(group electronegativity)와 그룹 부분전하(group partial charge)를 수치 계산하여 용액 내 계면활성제의 구조적 안정성, 친수성기와 소수성기의 특성, 그리고 그룹 부분전하 및 그룹 전기음성도와 CMC와의 상관성에 대하여 연구하였다.

2. 단분자 모델 및 전기음성도 동등화와 그 계산

단분자 모델에서의 그룹 부분전하와 그룹 전기음성도 수식 계산은 Bratsch(1984, 1985)의 전기음성도 동등화(electronegativity equalization)원리를 이용하였다. 미셀을 형성하고 있는 계면활성제의 단분자 모델을 Fig. 2(Fujimoto, 1984)에 나타내었으며, 단분자 모델에서 친수성기를 그룹 I 그리고 소수성기를 그룹 II로 표시하였다.

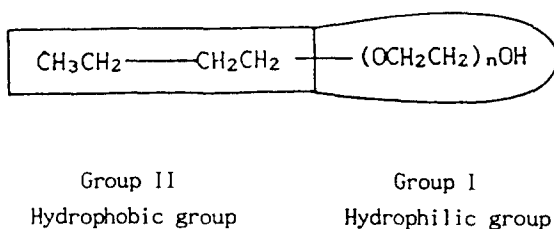


Fig. 2. Monomolecular model for nonionic surfactants.

Bratsch는 두 가지 가정으로 전기음성도 동등화를 유도하였다. 즉, 원자가 결합할 때, '두 원자의 전기음성도는 같아질 때까지 이동한다'는 Sanderson(1951, 1954)의 전기음성도 동등화와 '원자의 전기음성도는 원자의 부분전하에 대하여 선형 함수(linear function) 관계가 성립한다'는 Huheey(1965)의 전기음성도 가정이다. 이러한 두 가지 가정으

로 부터 다음 식을 유도하였다.

$$\chi_{eq} = \chi_A + \chi_A \delta_A \quad (1)$$

(1)식에서 χ_{eq} 는 전기음성도 동등화이고, χ_A 와 δ_A 는 원자 A의 전기음성도와 부분전하이다. (1)식을 원자에서 그룹으로 확장하면 (2)식과 같다.

$$\chi_{eq} = \chi_G + (\chi_G/N_G)\delta_G \quad (2)$$

(2)식에서 χ_G , N_G 그리고 δ_G 는 그룹에 대한 전기음성도, 원자의 수, 부분전하이다.

Bratsch는 전하 보존(charge conservation) 계에 대하여 전기음성도 동등화, χ_{eq} 를 (3)식과 같이 일반식으로 표현하였다.

$$\chi_{eq} = (N_T + q) / \Sigma(\nu/\chi_A) \quad (3)$$

(3)식에서 N_T , q 는 단분자 전체에 대한 원자의 수와 전하이고, ν 는 그룹에서의 원자의 수이다.

그룹 전기음성도, χ_G 는 (4)식과 같이 정의 할 수 있다.

$$\chi_G = N_G / \Sigma(\nu/\chi_A) \quad (4)$$

또한, (2)식을 정리하면 다음의 (5)식과 같은 그룹 부분전하, δ_G 을 얻을 수 있다.

$$\delta_G = N_G [(\chi_{eq} - \chi_G) / \chi_G] \quad (5)$$

그룹 전기음성도와 그룹 부분전하 수식 계산에서 사용되어진 파라미터(parameter)는 원자의 단일 전기음성도(single electronegativity, χ)이다. 본 연구에서 사용한 단일 전기음성도는 Pauling(Jolly, 1984)의 전기음성도 값을 사용하였다. 비이온 계면활성제에서 단분자의 각 성분은 C, H, 그리고 O 원자이다. 이들 원자에 대한 Pauling 파라미터인 단일 전기음성도는 $\chi_C=2.55$, $\chi_H=2.20$, 그리고 $\chi_O=3.44$ 이다.

3. 결과 및 고찰

Rosen(1989)이 분류한 계면활성제 중에서 비이온 계면활성제에 대하여 용매, CMC 형성 온도,

그리고 CMC를 Table 1에 나타내었다. Table 1에 나타낸 비이온 계면활성제의 친수성기는 폴리에틸렌글리콜(polyethyleneglycol)형이다. 용매가 물일 때, 25°C에서 CMC의 증가에 따라서 비이온 계면활성제를 1부터 35까지 나열하였다.

Table 1. Critical micelle concentration(CMC) for nonionic surfactants in water at 25°C.

Nonionic Surfactant	CMC(M) ^a
1 C ₁₆ H ₃₃ (OC ₂ H ₄) ₇ OH	1.70 × 10 ⁻⁶
2 C ₁₆ H ₃₃ (OC ₂ H ₄) ₉ OH	2.10 × 10 ⁻⁶
3 C ₁₆ H ₃₃ (OC ₂ H ₄) ₁₂ OH	2.30 × 10 ⁻⁶
4 C ₁₆ H ₃₃ (OC ₂ H ₄) ₁₅ OH	3.10 × 10 ⁻⁶
5 C ₁₅ H ₃₁ (OC ₂ H ₄) ₈ OH	3.50 × 10 ⁻⁶
6 C ₁₆ H ₃₃ (OC ₂ H ₄) ₂₁ OH	3.90 × 10 ⁻⁶
7 C ₁₄ H ₂₉ (OC ₂ H ₄) ₈ OH	9.00 × 10 ⁻⁶
8 C ₁₄ H ₂₉ (OC ₂ H ₄) ₆ OH	1.00 × 10 ⁻⁵
9 C ₁₂ H ₂₅ CHOHCH ₂ CH ₂ OH	1.30 × 10 ⁻⁵
10 C ₁₃ H ₂₇ (OC ₂ H ₄) ₈ OH	2.70 × 10 ⁻⁵
11 C ₁₂ H ₂₅ (OC ₂ H ₄) ₂ OH	3.30 × 10 ⁻⁵
12 C ₁₂ H ₂₅ (OC ₂ H ₄) ₃ OH	5.20 × 10 ⁻⁵
13 C ₁₂ H ₂₅ (OC ₂ H ₄) ₄ OH	6.40 × 10 ⁻⁵
14 C ₁₂ H ₂₅ (OC ₂ H ₄) ₅ OH	6.40 × 10 ⁻⁵
15 C ₉ H ₁₉ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₁₀ OH	7.50 × 10 ⁻⁵
16 C ₁₂ H ₂₅ (OC ₂ H ₄) ₇ OH	8.20 × 10 ⁻⁵
17 C ₈ H ₁₇ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₃ OH	9.70 × 10 ⁻⁵
18 C ₁₂ H ₂₅ (OC ₂ H ₄) ₈ OH	1.09 × 10 ⁻⁴
19 C ₈ H ₁₇ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₄ OH	1.30 × 10 ⁻⁴
20 C ₈ H ₁₇ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₅ OH	1.50 × 10 ⁻⁴
21 C ₉ H ₁₉ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₃₁ OH	1.80 × 10 ⁻⁴
22 C ₁₀ H ₂₁ CHOHCH ₂ OH	1.80 × 10 ⁻⁴
23 C ₈ H ₁₇ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₆ OH	2.10 × 10 ⁻⁴
24 C ₈ H ₁₇ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₇ OH	2.50 × 10 ⁻⁴
25 C ₈ H ₁₇ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₈ OH	2.80 × 10 ⁻⁴
26 C ₁₁ H ₂₃ (OC ₂ H ₄) ₈ OH	3.00 × 10 ⁻⁴
27 C ₈ H ₁₇ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₉ OH	3.00 × 10 ⁻⁴
28 C ₈ H ₁₇ C ₆ H ₄ (OC ₂ H ₄) ₁₀ OH	3.30 × 10 ⁻⁴
29 C ₁₀ H ₂₁ (OC ₂ H ₄) ₄ OH	6.80 × 10 ⁻⁴
30 C ₁₀ H ₂₁ (OC ₂ H ₄) ₆ OH	9.00 × 10 ⁻⁴
31 C ₁₀ H ₂₁ (OC ₂ H ₄) ₈ OH	1.00 × 10 ⁻³
32 C ₈ H ₁₇ CHOHCH ₂ OH	2.30 × 10 ⁻³
33 C ₈ H ₁₇ OC ₂ H ₄ OH	4.90 × 10 ⁻³
34 C ₈ H ₁₇ (OC ₂ H ₄) ₃ OH	7.50 × 10 ⁻³
35 C ₈ H ₁₇ (OC ₂ H ₄) ₆ OH	9.90 × 10 ⁻³

^a Rosen M. J., 1989, Surfactants and Interfacial Phenomena, John Wiley and Sons, New York, p.122.

Pauling 전기음성도를 이용하여 비이온 계면활성제에 대한 친수성기와 소수성기의 그룹전하와 그룹 전기음성도에 대한 수치 계산 결과를 각각 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 δ_I 은 친수성기의 그룹 전하, δ_{II} 는 소수성기의 그룹 전하, χ_I 은 친수성기의 그룹 전기음성도, 그리고 χ_{II} 는 소수성기의 그룹 전기음성도이다.

Table 2. The group partial charge and group electronegativity of hydrophilic(Group I) and hydrophobic groups(Group II) with Pauling's electronegativity parameter for nonionic surfactants.

	Partial Charge		Group Electronegativity	
	δ_I	δ_{II}	χ_I	χ_{II}
1	-1.3275	1.3275	2.4288	2.3032
2	-1.4655	1.4655	2.4268	2.3032
3	-1.6196	1.6196	2.4250	2.3032
4	-1.7328	1.7328	2.4239	2.3032
5	-1.3558	1.3558	2.4277	2.3031
6	-1.8881	1.8881	2.4227	2.3032
7	-1.3080	1.3080	2.4277	2.3029
8	-1.1714	1.1714	2.4303	2.3029
9	-0.4791	0.4791	2.4293	2.3025
10	-1.2572	1.2572	2.4277	2.3027
11	-0.6832	0.6832	2.4496	2.3025
12	-0.8190	0.8190	2.4404	2.3025
13	-0.9271	0.9271	2.4355	2.3025
14	-1.0152	1.0152	2.4324	2.3025
15	-1.0545	1.0545	2.4261	2.3260
16	-1.1502	1.1502	2.4288	2.3025
17	-0.6521	0.6521	2.4404	2.3278
18	-1.2030	1.2030	2.4277	2.3025
19	-0.7289	0.7289	2.4355	2.3278
20	-0.7910	0.7910	2.4324	2.3278
21	-1.3232	1.3232	2.4216	2.3260
22	-0.4918	0.4918	2.4736	2.3019
23	-0.8423	0.8423	2.4303	2.3278
24	-0.8854	0.8854	2.4288	2.3278
25	-0.9220	0.9220	2.4277	2.3278
26	-1.1452	1.1452	2.4277	2.3022
27	-0.9536	0.9536	2.4268	2.3278
28	-0.9811	0.9811	2.4261	2.3278
29	-0.8591	0.8591	2.4355	2.3019
30	-0.9918	0.9918	2.4303	2.3019
31	-1.0834	1.0834	2.4277	2.3019
32	-0.4355	0.4355	2.4293	2.3011
33	-0.4702	0.4702	2.4736	2.3011
34	-0.7030	0.7030	2.4404	2.3011
35	-0.8778	0.8778	2.4303	2.3011

Table 2의 비이온 계면활성제는 단분자 전체 전하가 0을 유지하는 물질이다. 이러한 전체 전하가 0인 물질을 친수성기와 소수성기로 나누어 계산한 결과 친수성기는 음의 부분전하, 소수성기는 양의 부분전하로 분포되어 있음을 알 수 있다. 따라서 용매가 물일 때, 미셀 형성에서의 계면활성제 단분자에 대한 전체 전하분포는 친수성기는 음의 부분전하 분포를, 소수성기는 양의 부분전하 분포를 이루고 있다는 것을 계산 결과로서도 알 수 있다. 이러한 전하 분포는 두 그룹 사이의 그룹 전기 음성도 차이에 의하여 전하의 동적인 평형이 이루어지며, 동적인 평형(dynamic equilibrium) 상태는 미셀 형성에서 안정도를 증대시켜 줄 수

있을 것이다. 그리고 친수성기가 갖는 표면전하와 물이 갖는 전하에 의하여 형성된 전기 이중층(electrical double layer) 현상도 미셀의 안정도를 이해하는데 도움이 될 수 있을 것으로 사료되어진다.

비이온 계면활성제 단분자를 전체 덩어리인 미셀까지 확장하면, 미셀의 구조적 안정성을 예측할 수 있다. 즉, 비이온 계면활성제로 부터 형성되는 미셀은 친수성기가 갖는 음의 부분전하와 소수성기가 갖는 양의 부분전하 사이의 상호인력과 반발력에 의하여 동적인 평형이 이루어진다. 또한 음의 부분전하를 이루는 친수성기의 주위 환경(environmental effect)은 양의 부분전하를 갖는

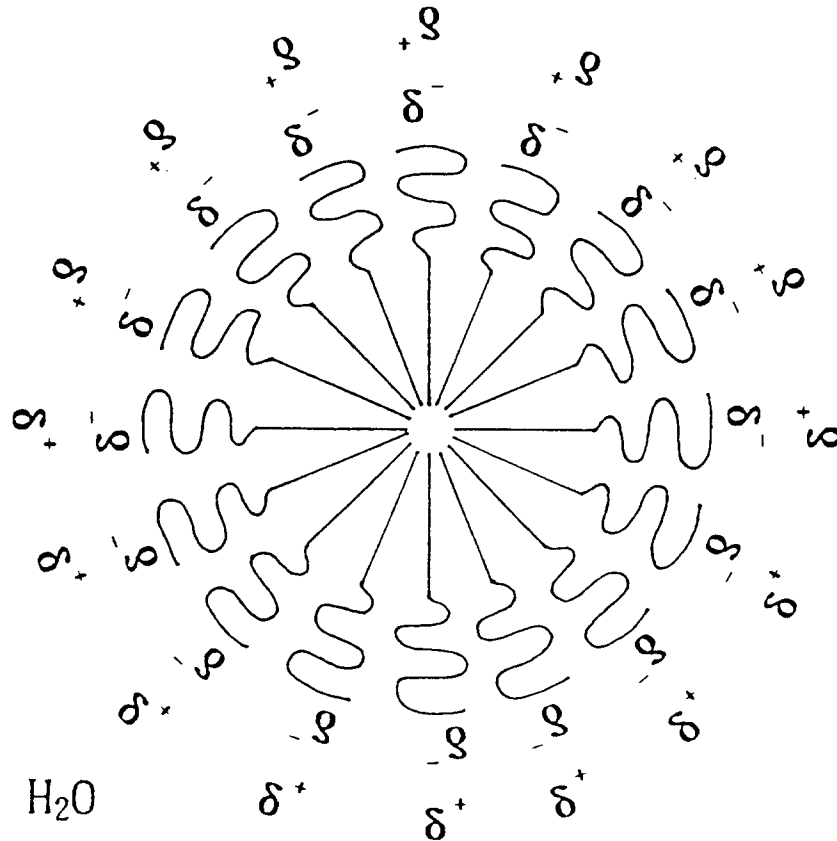


Fig. 3. Structure of micelle representing to electrical double layer between nonionic surfactants and H₂O solution.

물 분자의 수소 원자로써 둘러 쌓여진 전기이중층을 이루기 때문에 용액 내에서 미셀이 안정한 상태로 존재하게 됨을 알 수 있다. 용매인 물 분자와 친수성기와 소수성기로 구성된 비이온 계면활성제의 전기 이중층 구조를 간단한 모형인 구형 미셀 형태로 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 4는 비이온 계면활성제에서 친수성기는 일정하고 친수성기가 변할 때, 친수성기의 부분전하와 CMC의 상관성을 나타낸 그림이다. 17, 19, 20, 23, 24, 25, 27, 그리고 28의 비이온 계면활성제는 소수성기가 $-C_8H_{17}C_6H_4$ 알킬기와 고리 화합물로 이루어져 있고, 친수성기는 에틸렌 옥사이드 반복 단위(repeating unit)로 이루어져 있는 비이온 계면활성제이다. 이러한 8종류의 비이온 계면활성제에서 친수성기가 갖는 에틸렌 옥사이드의 반복 단위는 각각 $-(OC_2H_4)_{10}OH$, $-(OC_2H_4)_9OH$, $-(OC_2H_4)_8OH$, $-(OC_2H_4)_7OH$, $-(OC_2H_4)_6OH$, $-(OC_2H_4)_5OH$, $-(OC_2H_4)_4OH$, 그리고 $-(OC_2H_4)_3OH$ 이다. 에틸렌 옥사이드의 반복 단위가 10에서 3으로 감소함에 따라 CMC는 감소하고, 친수성기의 음의 부분전하도 감소한다. 다시 말해서 친수성기의 반복단위가 10에서 3으로 감소함에 따라 친수성기의 음의 부분전하가 감소하게 되고, 같은 알킬기를 갖는 소수성기에서는 상대적으로 부분전하가 증가하게 된다. 그러면 수용액 중에서 주위에 존재하는 다른 단분자들의 소수성기가 갖는 강한 전하에 의하여 Debye 길이가 감소하게 되고, 이 때문에 계면활성제 단분자들이 접근하더라도 정전기적 반발이 줄어들어 보다 쉽게 미셀을 형성하게 될 것이다. 즉, 낮은 정전기적 반발에 의하여 CMC가 낮아지게 될 것으로 사료된다.

Fig. 5는 비이온 계면활성제에서 친수성기는 일정하고 소수성기가 변할 때, 소수성기의 부분전하에 대한 CMC와의 상관성을 나타낸 그림이다. 5, 7, 10, 18, 26, 그리고 31은 소수성기가 알킬기이고 친수성기는 폴리에틸렌옥사이드, $-(OC_2H_4)_8OH$ 를 가진 비이온 계면활성제이다. 이러한 비이온 계면활성제는 앞에서 나온 17, 19, 20, 23, 24, 25, 27, 그리고 28의 비이온 계면활성제와는 반대로 친수성기가 일정하고 소수성기가 변하는 계면활성제이다. 6가지의 비이온 계면활성제에서, 친수성기는

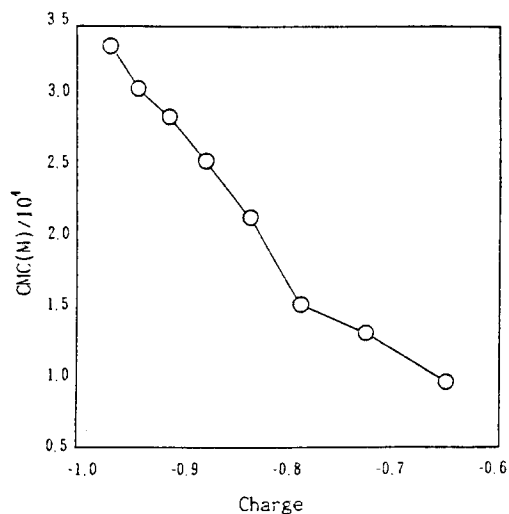


Fig. 4. Correlation with group partial charges of hydrophilic group and CMC for 17, 19, 20, 23, 24, 25, 27 and 28 nonionic surfactants.

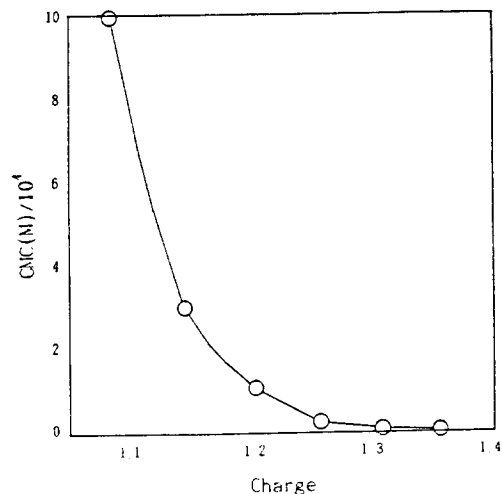


Fig. 5. Correlation with group partial charges of hydrophobic group and CMC for 5, 7, 10, 18, 26 and 31 nonionic surfactants.

일정한 $-(OC_2H_4)_8OH$ 작용기이고, 소수성기의 알킬기는 $-C_{10}H_{21}$, $-C_{11}H_{23}$, $-C_{12}H_{25}$, $-C_{13}H_{27}$, $-C_{14}H_{29}$, 그리고 $-C_{15}H_{31}$ 이다. 알킬 그룹의 탄소의 수가 10에서 15로 증가 할 때, CMC는 감소하지

만 소수성기의 양의 부분전하는 증가한다. 이것은 소수성기의 알킬 그룹의 탄소의 수가 10에서 15으로 증가함에 따라 친수성기의 그룹 전기음성도는 증가하고 아울러 CMC가 낮아지게 된다.

이러한 현상은 앞에서 언급한 것처럼 일정하고 친수성기의 반복단위가 변화할 때와 같은 경향임을 알 수 있다. 즉 소수성기에서의 부분전하가 증가하면 주위 환경을 이루고 있는 단분자들의 전하가 커지고, Debye 거리가 줄어들어 정전기적 반발이 작아지기 때문에 보다 쉽게 미셀을 형성할 것으로 보인다. 따라서 계면활성제의 CMC도 낮아질 것이다. 이것이 반대이온의 세기에 의해서 보다 더 쉽게 엉키게 된다고 설명했던 Schult₂-Hardy (Atkins, 1990)의 규칙에서 나타난 것과 같다.

비이온 계면활성제에서 친수성기와 소수성기에 대한 그룹 특성을 수치 계산한 결과, 일정한 친수성기를 갖는 비이온 계면활성제는 소수성기의 길이가 길어지면 소수성기의 부분전하가 증가하고, CMC는 감소함을 알 수 있었다. 이러한 계산 결과는, Shinoda(1954)가 계산한 결과와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 일정한 소수성기를 가지는 비이온 계면활성제에서, 친수성기의 반복 단위가 감소하면, 친수성기의 음의 부분전하는 감소하고 CMC도 감소함을 알 수 있다. 이것은 바로 앞

에서 언급하였던 Schult₂-Hardy(Atkins, 1990)의 규칙으로 설명되어질 수 있을 것이다. 따라서 CMC는 친수성기와 소수성기의 그룹 부분전하와 그룹 전기음성도에 밀접한 관련이 있다는 것을 알았다. 비이온 계면활성제에 대하여 CMC 감소에 따라, 친수성기와 소수성기의 구조 특성, 그룹 부분전하, 그리고 그룹 전기음성도에 대한 관계를 Table 3에 나타내었다.

4. 결 론

수용성 용매에서 비이온 계면활성제가 미셀을 형성하여, 그 구조적 안정성은 Fig. 3과 같은 전하 분포로써 물과 전기 이중층을 형성하는 구조로 된다는 것을 알 수 있다. 비이온 계면활성제는 소수성기가 일정하고 친수성기의 반복 단위가 감소할 때와 친수성기가 일정하고 소수성기의 알킬 사슬이 증가할 때는 CMC를 감소시킬 수 있다는 것도 알 수 있었다. 이와 같이 CMC의 감소는 소수성기에서 부분전하를 크게 만들어 bebye 길이를 감소 시킴에 따라 정전기적 반발력을 감소시켜서 나타난 특성임을 알 수 있었다.

Table 3. Correlation CMC with structure of hydrophilic and hydrophobic group, partial charge, and group electronegativity for nonionic surfactants.

Surfactants	Group	Structure ^a	δ^b	χ^c	CMC ^d
Nonionic	Hydrophilic ^e	decreasing	decreasing(-)	increasing	decreasing
Surfactants	Hydrophobic ^f	increasing	increasing(+)	increasing	decreasing

^a Structure which is hydrophilic or hydrophobic groups, that is, alkyl functional groups for nonionic surfactants and repeating units for nonionic surfactants.

^b Partial charge of hydrophilic or hydrophobic groups, that is, the increasing or decreasing values as symbol in the parenthesis.

^c Group electronegativity of hydrophilic or hydrophobic groups.

^d Critical micelle concentration for nonionic surfactants.

^e Hydrophilic groups at constant hydrophobic group.

^f Hydrophobic groups at constant hydrophilic group.

참고문헌

- Atkins, P. W., 1990, Physical Chemistry, W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- Bratsch, S. G., 1984, Electronegativity Equalization with Pauling Units, *J. Chem. Edu.*, 61, 588.
- Bratsch, S. G., 1985, A Group Electronegativity Method with Pauling Units, *J. Chem. Edu.*, 62, 101.
- Catlow, C. R. A., 1990, NATO ASI Series, 293, 1.
- Fujimoto, T., 1984, New Introduction to Surface Active Agents, Sanyo Chemical Industries, Ltd., p.29.
- Harkins, W. D. and R. Mittelman, 1949, *J. Colloid Sci.*, 4, 367.
- Hartley, G. S., 1936, Aqueous Solutions of Paraffin Chain Salts, Hermann, Paris.
- Hsiao, L., H. N. Dunning, and P. B. Lorenz, 1956, Critical Micelle Concentrations of Polyoxyethylated Non-Ionic Detergents, *J. Phys. Chem.*, 60, 657.
- Huheey, J. E., 1965, The Electronegativity of Groups, *J. Phys. Chem.*, 69, 3284.
- Jolly, W. L., 1984, *Morden Inorganic Chemistry*, McGraw-Hill, p.72.
- Klebans, H. D., 1953, Structure and Aggregation in Dilute Solutions of Surface Active Agents, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 30, 74.
- Mcbain, J. W. and J. T. Martin, 1914, *J. Chem. Soc.*, 105, 957.
- Mcbain, J. W. and C. S. Salmon, 1920, *J. Am. Chem. Soc.*, 43, 426.
- Nadeau, H. G. and S. Siggia, 1987, *Surfactant Science Series*, 23, 860.
- Rosen, M. J., 1989, *Surfactants and Interfacial Phenomena*, John Wiley and Sons, New York, p.122.
- Sanderson, R. T., 1951, An Interpretation of Bond Lengths and a Classification of Bonds, *Science*, 114, 670.
- Sanderson, R. T., 1954, *J. Chem. Edu.*, 31, 2.
- Shinoda, K., 1954, The Critical Micelle Concentrations in Aqueous Solutions of Potassium Alkyl Malonates, *J. Phys. Chem.*, 59, 432.
- Son, M. S., Y.S. Ha, and U.H.Paek, 1992, *J. Nat. Sci. (Kyeongsang National Uni.)*, 8, 169.
- Tanford, C., 1980, *The Hydrophobic Effect: Formation of Micelles and Biological Membranes*, John Wiley and Sons.