

광산란법 및 초음파법에 의한 Dodecyl Pyridinium Chloride 수용액의 제2cmc에 관한 연구

이 근 무 · 신 희 명
(과학교육과)

요 약

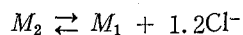
Dodecyl Pyridinium Chloride(DPC) 수용액의 0—70mM농도 영역에서의 광산란 연구로 약 17mM에 있는 제1cmc외에 제2cmc가 43mM에 있음을 알 수 있다.

제2cmc는 첨가물 KCl에 의하여 크게 영향을 받고 이로 인하여 제2cmc는 저하된다.

제1cmc에서의 DPC수용액의 미셀분자량은 20,800이었고 미셀의 이온화도는 0.092이었다.

20°C에서 각 농도의 DPC수용액에서의 진동수 1MC초음파의 속도 측정으로 제1cmc외에 제2cmc가 있음을 알 수 있고 그 결과는 다른 측정법으로 얻은 결과와 일치한다.

수용액에서의 초음파흡수를 20°C 진동수 0.1—90MC에서 측정하였다. 초음파흡수는 제1cmc이상의 농도에서만 관측 되었다. 초음파흡수의 메카니즘은



반응에 기인됨을 알았다. 여기서 M_2 , M_1 은 다른형의 미셀이다. 정, 역반응속도상 수는 각각 $6.6 \times 10^5 \text{sec}^{-1}$, $2.7 \times 10^{11} \text{sec}^{-1} \text{mol}^{-1.2}$ 임이 관측 되었다. 이 반응의 자유에너지, 엔탈피, 엔트로피등 몇가지 반응속도론적 성질도 산출되었다.

서 론

계면활성제 Pyridinium Chloride (DPC) 수용액의 제2cmc에관해 전 보문에서 전기전도도,¹⁾ 점성도,²⁾ 밀도³⁾ 측정으로 연구 한바 있다.

본 실험은 그 일련의 연구로 DPC수용액의 제2cmc 및 미셀의 구조를 규명하고자 광산란 측정, 초음파 전파속도 및 초음파흡수계수측정으로 이들을 연구하였다.

광산란 측정으로는 제1cmc근처의 미셀의 크기를 측정 할 수 있고 또 제1, 제2cmc의 농도도 결정할 수 있다.

초음파속도 및 초음파흡수 측정으로도 제1, 제2cmc의 농도를 결정할 수 있을 것이다.

광산란법에 의하여 얻은 미셀의 크기 및 초음파속도를 이용하면 초음파흡수 측정으로 DPC수용액의 고농도 영역에 있어서의 미셀의 구조변화 및 그들 사이의 반응메카니즘 및 반

응속도 파라미터에 관해 많은 지견을 얻어내는 것이 본 연구의 목적이다.

실 험

〈자 료〉

이 연구에 사용한 DPC는 진 보문^{1,2)}의 것과 동일한 것이다.

먼지 없는 순수한 물은 증류법으로 얻었고 DPC수용액은 Grabatype의 여과장치(pore size 40~50nm)로 5—10기압의 압력하에서 용액이 완전히 투명할 때 까지 여과하여 얻었다.

〈측 정〉

광산란

광산란은 Amincotype의 light scattering photometer(Am. Instrument Co. 제)을 사용하였으며 semi-octagonal cell을 이용하였다.

45°, 90°, 135°에서의 reduced scattering강도 R_θ 는 각각 다음식으로 부터 산출하였다.

$$R_\theta = \phi_\theta \cdot I_\theta / I_0 \dots \dots \dots (1)$$

여기서 I_θ, I_0 는 각각 θ° 와 0° 에서의 세기이다. ϕ_θ 는 장치의 상수이고 이것은 벤젠의 Rayleigh ratio($R_{90_{90}}$)³⁾를 사용하여 결정하였다.

굴절률 경사도(dn/dc)는 Brice-Phoenix type의 differential refractometer (Brice phoenix 제)로 측정 하였다.

모든 측정은 25°C에서 436m μ 의 파장의 광원을 사용하였다.

초음파속도

각농도에서 용액중의 초음파속도 측정은 송 수신 수정판(X cut)사이의 거리로 17.3cm를 유지시킨 측정조를 20°C 항온조 (오차 $\pm 0.02^\circ\text{C}$)에 넣어 평형에 도달 하기까지 약 한 시간 잠그고 pulse 법을 사용하여 진동수 1MC의 초음파속도를 측정하였다.

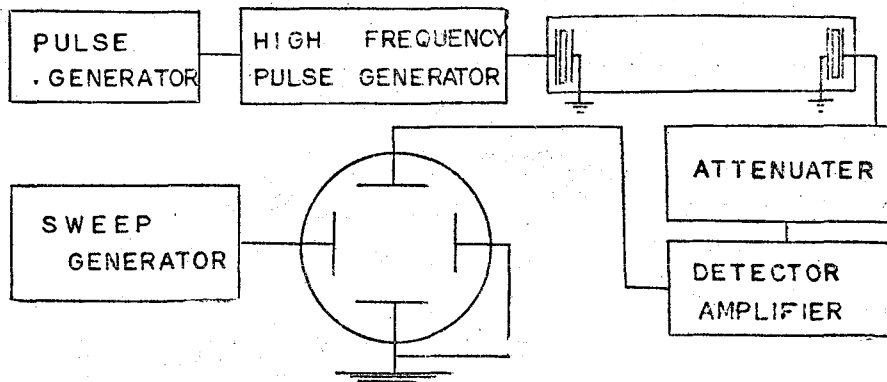


Fig. 1. Block diagram of the apparatus for measurement of ultrasonic velocity by pulse method.

여기에 사용한 Oscilloscope는 time scale이 있는 Heathkit Model 10-12이었으며 측정장치는 Fig. 1과 같다.

초음파 흡수

초음파 흡수 측정은 DPB 수용액⁴⁾의 경우와 같이 0.1~0.9MC에서는 간섭법으로 1MC~90MC에서는 pulse법으로 측정하였다. 여기서 사용한 수정판(X cut)진동자의 진동수 및 검파회로의 진동수 지시판의 진동수는 국립전파연구소에서 표정하였다.

결과 및 토의

광산란

Fig. 2는 DPC수용액 및 이에 중성 전해질을 첨가한 수용액의 제1cmc 근처의 농도에 대한 R_{90} 을 도시한 것이다. 이 그림에서는 R_{90} 가 처음 어느 농도까지는 변화가 작으나 그 농도 이상에서는 농도 증가와 더불어 갑자기 증가함을 볼 수 있다. 이 농도가 미셀이 형성되는 제1cmc이고 그 값은 Table 1과 같다.

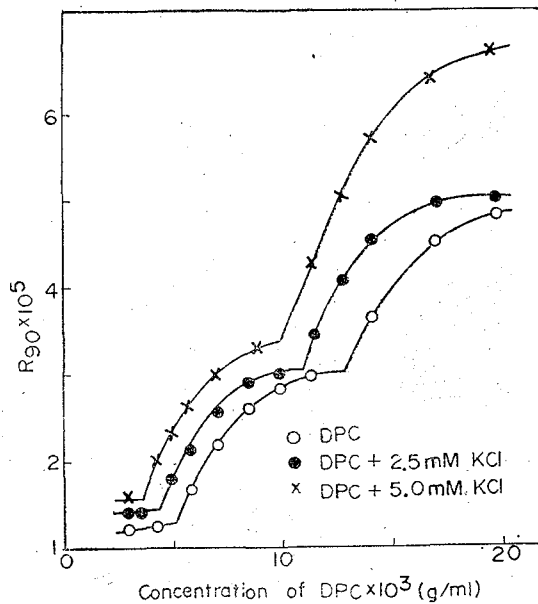


Fig. 2. Light scattering of DPC in the neighborhood of 1st cmc.

또 이그림에서 중성 전해질 KCl을 첨가하였을때, 제1cmc가 감소됨을 볼 수 있다. (이 효과는 이미 잘 알려져 있는 사실이고 중성전해질 존재로 미셀입자가 커지기 때문이다.)⁵⁾

Debye식(2)은 미셀의 분자량 측정에 쓰이고 미셀 분자량(M)의 역수는 $(C-C_0)$ 에 대한 $K(C-C_0)/(R_{90}-R_{90,0})$ 를 도시하므로써 얻을 수 있다.

$$\frac{K(C-C_0)}{R_{90}-R_{90.0}} = \frac{1}{M} + 2B(C-C_0) \dots\dots\dots(2)$$

여기서 $R_{90.0}$ 은 제1cmc에서의 Rayleigh비, B 는 상수, C 는 용액의 농도(g/ml), C_0 는 제1cmc, $K=2\pi^2n_0^2(\partial n/\partial c)^2/NA\lambda^4$, n 및 n_0 은 각각 용액과 용매의 굴절률, NA 는 Avogadro수, λ 는 빛의 파장이다.

Fig. 3는 DPC수용액의 Debye plot인데 낮은 농도에서는 직선을 나타낸다. Debye 식은 하전이 없는 Colloid입자에 대하여서만 정확히 성립하므로 미셀의 하전효과를 감안 하여야 한다. 따라서 집합수와 미셀의 분자량은 미셀의 하전효과에 대한 보정식⁶⁾을 써서 계산되어야 한다.

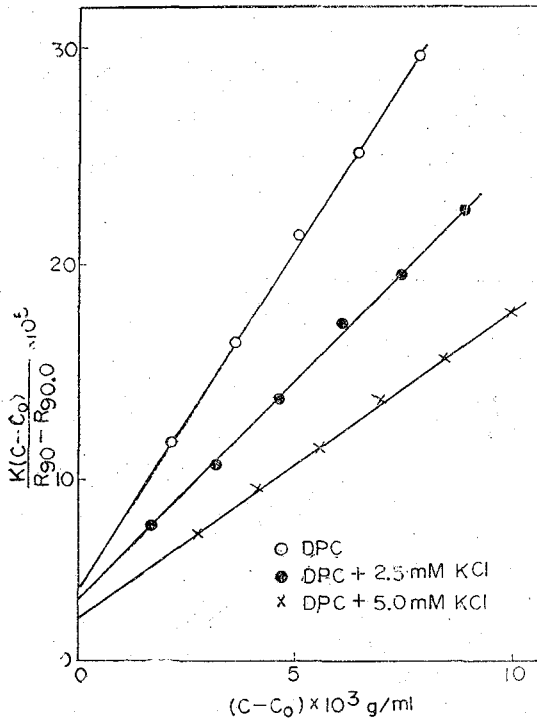


Fig. 3. Debye plot of DPC solution.

Micelle charge (P)는 다음 식⁷⁾으로 부터 계산 된다.

$$P=M\sqrt{2B(X+C_0)} \dots\dots\dots(3)$$

여기서 X 는 전해질의 농도(이 경우 KCl의 농도)이고 (3)에서의 X , C_0 는 mol/ml단위이다.

또 미셀의 이온화도(α)는 다음식⁸⁾으로 부터 계산된다.

$$\alpha = \frac{P}{n}$$

여기서 n 는 집합수이다.

DPC수용액의 집합수, 미셀분자량, P 및 α 의 값은 Table 1과 같다.

Table I. Light scattering data for DPC solution; 25°C, $\lambda=436\mu$.

Solvent	1st cmc(mol/l) $\times 10^3$	M	P	n	α
Water	17.2	20,800	6.81	74	0.092
2.5mM KClaq	14.8	25,000	6.46	88	0.072
5.0mM KClaq	12.1	28,600	5.95	101	0.059

DPC의 고농도 수용액 영역에서의 농도에 대한 R_{90} , R_{45} (또는 R_{135}) 값은 Fig. 4와 같다. 이 그림에서 R_{90} 값은 제1cmc의 경우와 같이 농도증가와 더불어 제2cmc에서 또 다시 갑자기 증가하고 있음을 볼 수 있다. 또 R_{45} (또는 R_{135}) 값도 R_{90} 과 같은 행동을 나타내고 있다.

Ekwall과 그 협력자⁸⁾, Robins와 Thomas⁹⁾도 각기 다른 계면활성제 수용액에서 이와 같은 광산란 행동이 있음을 지적하고 있다.

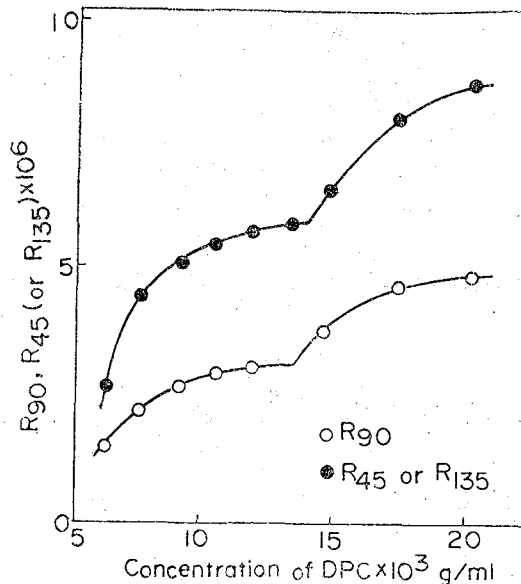


Fig. 4. Light scattering of DPC solution in the neighborhood of the 2nd cmc.

이와 같은 사실들에 비추어 볼때 DPC수용액의 제2cmc는 약 43mM임을 알수 있고 또 이들 R_{45} , R_{90} , R_{135} 값이 제2cmc에서 갑자기 증가함은 제2cmc에서 미셀의 구조에 어떤 변화가 일어났기 때문이고 아마도 미셀의 크기가 증가하였기 때문일 것이다.

한편 비대칭도 Z_{45} ($Z_{45}=R_{45}/R_{135}$)값은 미셀의 모양을 알아낼 수 있는 유용한 정보를 제공할 것이다. 그러나 Z_{45} 값은 연구된 DPC수용액 전영역에 걸쳐 1.00~1.02사이에 있다. 따라서 고농도 영역일지라도 DPC미셀의 크기는 너무 작아서 광산란에 대하여 이렇다 할 비대칭성을 나타내지 못한다고 볼 수 있다.¹⁰⁾

Fig. 5는 DPC수용액에 중성 전해질 KCl을 첨가하였을때의 제2cmc부근의 광산란 실험

결과를 도시한 것이다. 이 그림에서 보듯이 제2cmc에서도 제1cmc의 경우와 같이 중성 전해질의 존재로 인하여 제2cmc가 감소한다. 제2cmc의 경우도 제1cmc의 경우와 동일한 현상이고 중성 전해질의 존재로 미셀입자가 커지기 때문일 것이다.

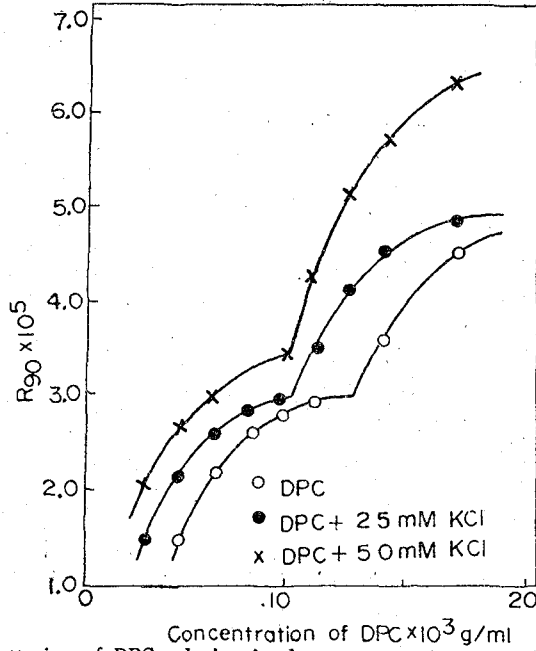


Fig. 5. Light scattering of DPC solution in the presence of KCl in the neighborhood of the 2nd cmc.

초음파 속도

초음파속도—농도 곡선은 Fig. 6와 같다. 이 그림에서 초음파속도가 급변하는 농도가 0.017

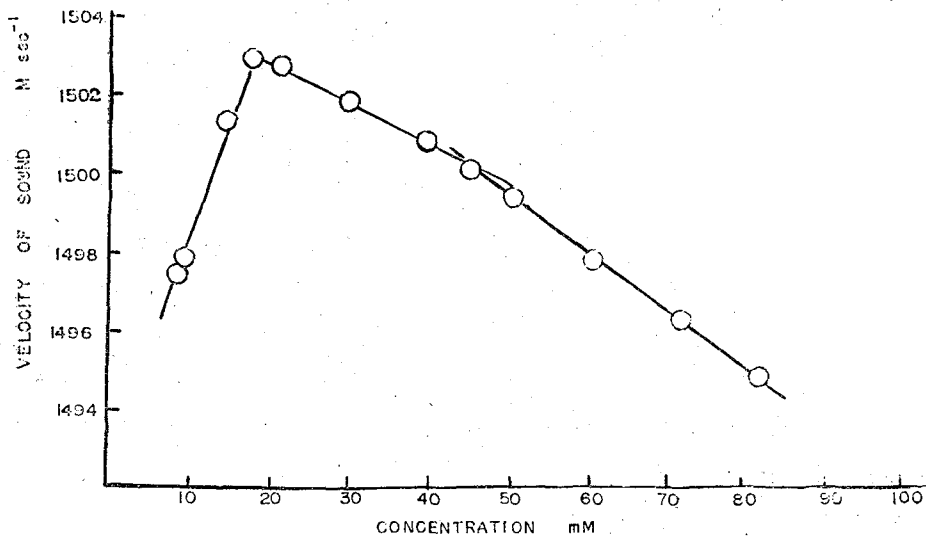


Fig. 6. Velocities of sound (1MC) at various concentration of DPC.

mol/l, 0.043mol/l이다. 이들 값은 각각 광산란, 비전기전도도¹⁾, 밀도,²⁾ 점성도²⁾ 측정에서 얻은 제1cmc와 제2cmc값과 잘 일치하므로 DPC의 제2cmc는 약 0.043mol/l이다.

초음파흡수

Fig. 7은 관측된 수치를 도시한 흡수스펙트럼의 일부를 보인다. 이 모양으로부터 관측치가 Single relaxation에 적용할 수 있는 다음과 같은 식에 따름을 알 수 있다.

$$\frac{\alpha}{f^2} = \frac{A}{1+(f/fr)^2} + B \dots\dots\dots(4)$$

여기서 α 는 흡수계수, f 는 진동수, fr 은 relaxation진동수, A 는 초과흡수, B 는 고전적 흡수를 나타낸다.

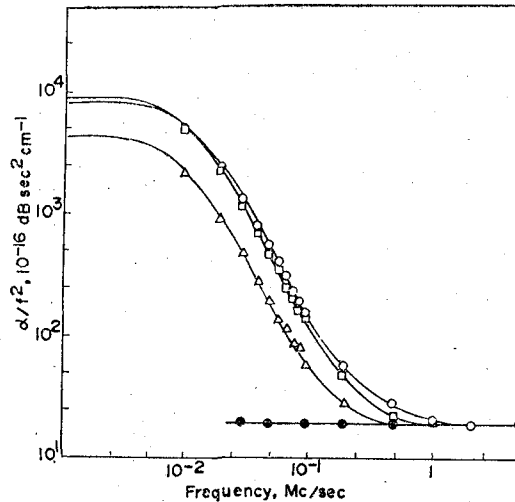


Fig. 7. Ultrasonic absorption (α/f^2) in dodecyl Pyridinium Chloride solution at 20°C: ● 10mM; △ 20mM; □ 40mM; ○ 60mM.

Fig. 7.에서 α/f^2 값을 보아 DPC수용액의 제1cmc(약 17m μ)이하 농도용액에서는 초과흡수가 없음을 나타낸다. 즉 relaxation현상은 제1cmc이상의 농도용액에서만 일어나는 것으로 보아 미셀이 초음파의 초과 흡수의 원인이 된다고 생각된다.

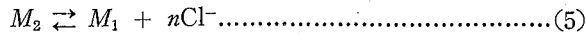
Table 2에는 실험 흡수치를 식(4)에 적용하여 구한 A 와 fr 값의 일부를 나타낸다. 이 실험치를 보아 두 group으로 나눌 수 있다. 그 하나는 17-40mM 영역의 수용액이고 여기서의 fr 은 109~118KC이며 초과흡수 A 는 농도 증가와 더불어 증가한다. 또 하나는 45mM 이상의 영역이고 여기서의 fr 은 126~136KC이며 A 는 농도 증가와 더불어 감소한다. 이 사실은 저자에 의한 점성도,²⁾ 밀도,²⁾ 전기전도도,¹⁾ 광산란측정에서도 약 42mM이하와 이상의 두 영역이 있고 위의 실험 결과와 잘 일치한다. 이것은 미셀이 42mM을 전후하며 그 형태 및 부피가 변화함을 나타낸다. 즉 제2cmc가 이 부근에 있음을 나타낸다.

DPC수용액의 초과흡수는 제2cmc이상의 농도에서 나타남을 볼 수 있다. 이것은 DPB수

Table 2. Relaxation frequency and excess absorption in DPC solution at 20°C.

Concentration mM	f_r (KC)	A $\times 10^{-13} \text{dBsec}^2 \text{cm}^{-1}$
15	—	—
20	109	4.02
30	115.5	8.52
40	118	8.88
50	126	8.70
60	133	8.42
70	137.5	8.22
80	138.5	8.04
90	136	7.38

용액에서의 논문⁴⁾에서 논한바와 같이 흡수는 미셀과 counter ion 사이의 반응에서의 Volume relaxation에서 일어난다고 결론지을 수 있고 이 용액에서도 다음과 같은 미셀과 counter ion 사이의 해리-재결합반응이 초음파흡수의 메카니즘이 된다고 생각된다.



여기서 M_2 와 M_1 은 두가지 다른 형의 미셀이다.

음압에 의하여 교란되는 동안 counter ion이 어느 일정농도를 유지하면서 충분한 속도로 완화평형에 도달한다고 하면 초음파흡수와 농도사이의 관계는 다음과 같은 식으로 된다.

$$\beta_r = \frac{(\Delta V_0)^2}{RT} \frac{C_{M_2} + C_{M_1}}{C_{Cl^-}^n / K + K / C_{Cl^-}^n + 2} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 β_r 은 relaxational compressibility, ΔV_0 는 반응에 의한 Partial mol volume 변화이다.

Relaxational Compressibility는 다음식으로 부터 구할 수 있다.

$$\beta_r = \frac{2(\alpha\lambda)_{max}}{\pi\rho v^2} \dots\dots\dots (7)$$

여기서 $(\alpha\lambda)_{max}$ 는 relaxation 진동수에서의 파장마다의 흡수계수, ρ 는 용액의 밀도, v 는 음속이다.

식(7)에서 보는 바와 같이 β_r 은 초음파흡수 측정치로 부터 구할 수 있다. 또 식(6)은 $(C_{M_2} + C_{M_1})/\beta_r$ 과 $C_{Cl^-}^n$ 와의 관계곡선에서 $C_{Cl^-}^n/K=1$ 일때 극소치를 가짐을 뜻 한다. 활성제의 양이온이 완전히 미셀에 회합되어 있다고 하면 $C_{M_2} + C_{M_1}$ 은 미셀농도 C_M 과 같고 집합수를 써서 계산할 수 있다.

$$C_{M_2} + C_{M_1} = C_M / m = (C - C_0) / m \dots\dots\dots (18)$$

여기서 C 는 계면활성제의 농도이고 C_0 는 제1cmc이다.

광산란의 실험에 의하면 DPC미셀의 집합수 m 은 74이고 counter ion농도 C_{Cl^-} 은 활성제 미셀농도에 비례하고 그 비는 0.092이다.

실험치를 식 (7) 에대입하여 얻은 C_M/β_r 값을 도식하면 Fig.8과 같이 된다. Fig.8곡선의 극소치에 대해 수직치는 식 (6)에서 $4(\Delta V^0)^2/RT$ 에 해당하고 수평치 C에서 C_{cr}^{-n} 가 얻어지고 $K=(C_{cr})^{-n}$ 이다.

이들 실험치로 부터 $n=1, 2, 3, \dots, n$ 개의 K 및 ΔV^0 값을 산출하고 이것을 식 (6)에 대입 각농도에서의 C_M/β_r 을 산출 C_M/β_r 과 C사이의 이론곡선을 그리면 Fig.8과 같이 된다. 이 그림에서 실험치가 $n=1.2$ 곡선과 42mM 이하에서는 잘 일치함을 나타낸다. 따라서 이 범위에서는 반응(5)에서 다음과 같은 반응에 의하여 일어난다고 결론지을 수 있다.

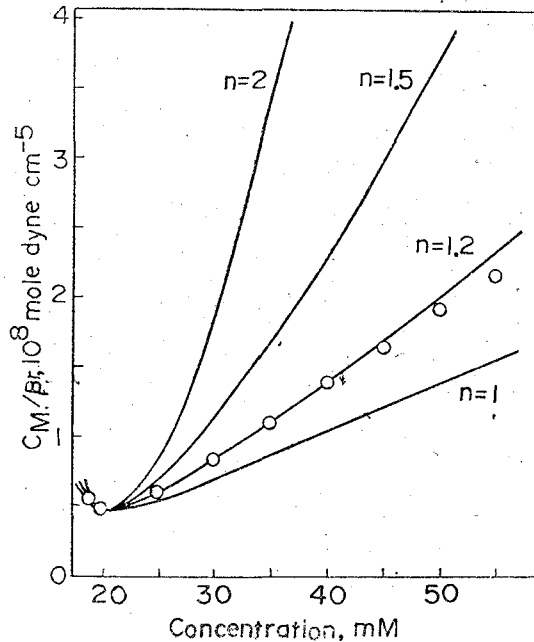


Fig. 8 The relation of relaxational compressibility to the concentration.



Fig.8에서 제2cmc 이상에서는 실험치와 잘 일치되지 않는다. 이것은 이 범위에서의 미셀의 성질이 그 이하농도에서의 미셀의 성질과 다르기 때문이라고 생각된다.

이상으로 42mM이하농도용액에서의 윗반응의 평형상수는 $2.38 \times 10^{-6} \text{mol}^{-2}$ 이고 자유에너지를 차지하는 3.28Kcal/mol이다.

이 반응에서 relaxation진동수와 반응상수 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{1}{\tau} = 2\pi f_r = k_f + k_b C_{Cl}^{-2} \dots \dots \dots (10)$$

여기서 k_f 는 정방향의 속도상수, k_b 는 역방향의 속도상수이다. 이 식은 f_r 가 C_{Cl}^{-2} 에 비례함을 나타내고 있으나 실험치는 Fig.9와 같이 직선이 되지 않는다. 그러나 식 (10)은 이 곡선의 $C_{Cl}^{-2}=0$ 으로의 외연장값 f_r^0 의 2π배가 k_f 로 됨을 나타낸다. 따라서 이 외연장값으로

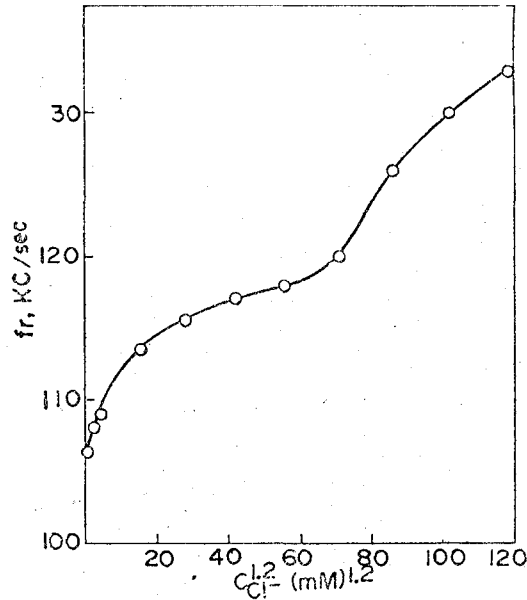


Fig. 9. Relaxation frequency at various concentration of dodecyl pyridinium chloride solution at 20°C.

부터 k_f 값을, 또 이 k_f 값과 평형상수 K 값으로 부터 k_b 를 구하면 다음과 같다.

$$k_f = 6.6 \times 10^5 \text{sec}^{-1}, k_b = 2.7 \times 10^{11} \text{sec}^{-1} \text{mol}^{-1.2}$$

반응의 활성화에너지는 반응속도와 밀접한 관계가 있는 relaxation진동수의 온도 효과로부터 산출할 수 있다.

35mM용액의 각 온도에서는 흡수곡선을 Fig. 10.에 나타낸다. 여기서 보는 바와 같이 온

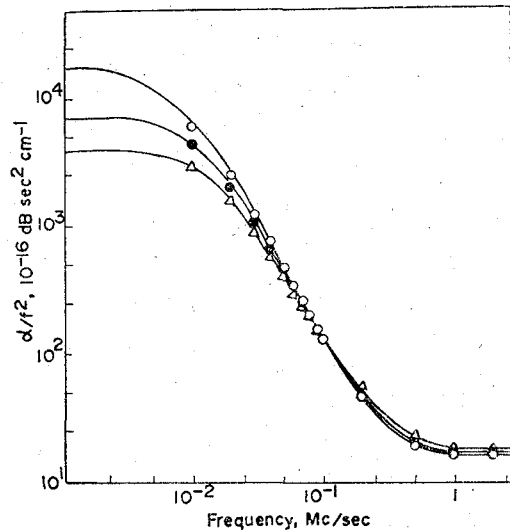


Fig. 10. Ultrasonic absorption(α/f^2) in 35mM dodecyl pyridinium chloride solution at various temperatures ○ 15°C ● 25°C △ 35°C

도가 높아짐에 따라 relaxation진동수는 증가하고 초과흡수는 감소하여 간다.

지금 $K \ll C_i^2$ 라고 가정하면 $\Delta F = \Delta H - T\Delta S = -RT \ln K$ 관계식으로 부터 식(6)은 다음과 같은 근사식으로 바꾸어 쓸수 있다.

$$\ln \frac{\beta_r T}{C_M} = \ln \left(\frac{\Delta V^0}{R} \right)^2 \frac{1}{C_i^{-n}} + \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \dots (11)$$

ΔV^0 는 온도에 관계없는 상수라 하고 식 (11)를 도사하면 Fig. 11과 같이 된다. 이 곡선의 경사도로 부터 ΔH 와 ΔS 를 구하면 $\Delta H = -1.2 \text{Kcal/mol}$, $\Delta S = -18.6 \text{e.u.}$ 이다.

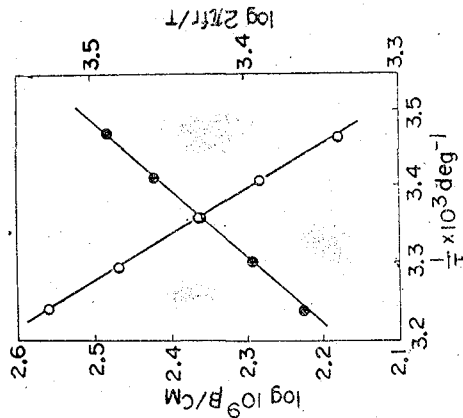


Fig. 11. Plot of $\log 2\pi f_r/T$ and $\log \beta_r T/C_M$ vs. $1/T$ for 35mM dodecyl pyridinium Chloride solution; $\circ \log 2\pi f_r/T$ $\bullet \log 10^9 \beta_r T/C_M$.

$\log 2\pi f_r/T - \frac{1}{T}$ 곡선을 그리면 Fig. 11과 같이 된다. 이 곡선의 경사도로 부터 다음과 같은 Davies식¹¹⁾

$$f_r = \frac{f_b}{2\pi} = \frac{F_b}{2\pi} \cdot \frac{kT}{h} \exp\left(-\frac{\Delta H_b^\ddagger}{RT}\right) \dots \dots \dots (12)$$

$$F_b = \exp\left(-\frac{\Delta S_b^\ddagger}{R}\right)$$

에 의하여 역반응의 활성화에너지 ΔH_b^\ddagger 를 구하면 1.3Kcal/mol이다.

이상으로 DPC수용액의 제1cmc와 제2cmc사이의 초음파의 초과흡수는 미셀과 counter ion 사이의 해리-재결합 반응에 따른 부피 relaxation에 기인된다고 결론지을 수 있다.

DPB와 DPC수용액의 미셀과 counter ion 사이의 해리-재결합 반응의 열역학적 반응속도론적 parameter를 비교하면 Table 3과 같다. 이 표에서 counter ion의 종류에 따라 미셀의 구조에 현저한 변화를 가져온다는 것을 곧 알 수 있다. 그러나 이들 결과만으로는 각 parameter사이의 어느 규칙성을 찾아 내기는 곤란하다. 장차 counter ion을 달리하는 여러 종류의 이 계열의 계면활성제에 대하여 이상과 같은 데이터를 많이 얻음으로써 이들 관계가 규명될 것이 기대된다.

Table 3. Characteristics of the kinetics for the dissociation-recombination reaction between micelle and counter ion. (20°C)

	Dodecyl pyridinium bromide	Dodecyl pyridinium chloride
n	2	1.2
K, M^n	1.0×10^{-5}	2.38×10^{-6}
$\Delta F, \text{kcal/mol}$	6.7	3.28
$\Delta H, \text{kcal/mol}$	-1.4	-2.2
$\Delta S, \text{e.u.}$	-27.7	-18.6
k_f, sec^{-1}	6.9×10^5	6.6×10^5
$k_b, M^{-n} \text{sec}^{-1}$	6.7×10^{-10}	2.7×10^{11}
$\Delta H_b^\ddagger, \text{kcal/mol}$	3.3	1.3

후 기

광산탄실험에 있어 많은 편의를 제공하여 주신 한국과학기술연구소 김은영박사에게 심심한 사의를 표한다. 이 연구는 산학재단의 연구조성비에 의하여 이루어졌기에 사의를 표한다.

Reference

1. 정규철, 이근무. (1971). 서울대학교 사범대학 연구논총, 1, 265.
2. 윤영원, 이근무. (1975). 대한화학회지, 19, 289.
3. G.I. Carr and B.H. Zimm. (1950) J. Chem. Phys., 18, 1616.
4. 이근무. (1973). 대한화학회지, 17, 73.
5. S.H. Herzfeld, M.L. Corrin, W.D. Harkins. (1950) J. Phys. and Colloid Chem., 54, 271.
6. K.J. Mysels and L. H. Princen. (1959) J. Phys. Chem., 63, 1696.
7. J.N. Phillips and K.J. Mysell. (1955) J. Phys. Chem., 59, 325.
8. P. Ekwall, L. Mandell and P. Solyom. (1971) J. Colloid Interface Sci., 35, 519.
9. D.C. Rabine and I.L. Thomas. (1968) J. Colloid Interface Sci., 26, 415.
10. P. Debye and E.W. Anacher. (1951) J. Phys. Colloid Chem., 55, 644.
11. R.O. Davies and J. Lamb. (1957) Quarterly Reviews (London), 11, 134.

Light Scattering and Acoustic study on the Second cmc of the Aqueous Solution of Dodecyl Phridinium Chloride.

Kun Moo Lee, Hee Myung Shin.

(Department of Science, Education)

Abstract

The light scattering study of the aqueous solution of Dodecyl Pyridinium Chloride (DPC) over the concentration range of 0—70mM revealed that there exists a so-called 2nd critical micelle concentration (cmc) at about 43mM in addition to the 1st cmc at 17mM.

The 2nd cmc was greatly influenced by additive KCl which lowered the 2nd cmc.

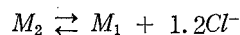
The micelle molecular weight of DPC solution at 1st cmc was 20800 and the degree of ionization of the micelle at 1st cmc was 0.092.

The measurements of the ultrasonic velocity in various concentration of DPC aqueous solution at 20°C, frequency 1MC have revealed that the 2nd cmc exists in addition to the 1st cmc; these results are in good agreement with those obtained by other methods.

The ultrasonic absorption has been measured in aqueous solution of DPC at 20°C over the frequency range of 0.1—90MC.

The excess absorption was observed only in solutions in which the concentration was higher than the critical micellar concentration.

The mechanism for this feature was attributed to the reaction



Where M_2 and M_1 are two types of micelle.

The rate constants of the forward and the reverse reactions were $6.6 \times 10^5 \text{ sec}^{-1}$ and $2.7 \times 10^{11} \text{ sec}^{-1} \text{ mol}^{-1.2}$ respectively. Some kinetic characteristics including the free energy, enthalpy and entropy were calculated.