Journal of the Korean Chemical Society
2009, *Vol. 53, No. 2*
Printed in the Republic of Korea

자화수에서 계면활성제 임계미셀농도 변화에 관한 연구

이성현 · 이석근† · 전상일*
강릉대학교 자연과학대학 화학과
*강릉대학교 치과대학 치의학과 구강병리학교실
(2009. 1. 30 접수)

Study on the Critical Micelle Concentration Changes of Surfactants in Magnetized Water

Sung Hyun Lee, Suk Keun Lee†, and Sang Il Jeon*
Department of chemistry, College of Natural Science, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea
**Department of Oral Pathology, College of Dentistry, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea*
(Received January 30, 2009)

요 약. 자화수는 물분자의 수소결합에 의한 배열이 특이한 구조를 갖게 됨에 따라 다양한 물리화학적 성질을 나타낸다. 본 연구에서는 자화수가 계면활성제의 임계미셀농도 (critical micelle concentrations, CMC) 변화에 미치는 영향을 다음과 같이 관찰하였다. 25 °C에서 전도도계(conductivity meter)를 이용하여 음이온 계면활성제인 SDS (sodium dodecyl sulfate)와 양이온 계면활성제인 CTAB (cetyltrimethylammonium bromide)의 CMC를 측정하였고, 표면장력계를 사용하여 SDS와 CTAB 그리고, 비이온 계면활성제인 Pluronic F-68의 CMC를 측정하였다. 또한 Isothermal titration calorimeter (ITC)를 이용하여 25 °C에서 SDS의 열량변화를 측정하여 CMC의 변화율을 측정하였다. 결과적으로, 자화수에서 계면활성제의 CMC는 증류수에 비해 현저하게 낮아지는 경향을 보였는데, SDS는 자화수에서 약 2.7~6.5% 정도 낮아짐을 보였고, CTAB는 자화수에서 약 2.3~3.0% 정도 낮아짐을 보였으며, Pluronic F-68은 자화수에서 약 24.2% 정도 낮아짐을 보였다.

주제어: 계면활성제, 자화수, 임계미셀농도, 표면장력, 전도도, 등온적정열량

ABSTRACT. The magnetized water is known to have a unique pattern of hydrogen bond between water molecules, thereby producing different physicochemical properties from the ordinary water. We have examined the effect of magnetized water on the change of critical micelle concentrations (CMC) of some surfactants. The CMC changes of SDS (sodium dodecyl sulfate) and CTAB (cetyltrimethylammonium bromide) dissolved in the magnetized water have been determined by the conductivity measurement at 25 °C and that of SDS, CTAB and Pluronic F-68 have also been examined by the surface tension method at 25 °C. The CMC variation of SDS was examined by ITC (Isothermal Titration Calorimeter) at 25 °C. The CMC of SDS, CTAB, and Pluronic F-68 are more decreased in the magnetized water, SDS is about 2.7~6.5 %, CTAB is about 2.3~3.0%, and Pluronic F-68 is about 24.2 %, than in the control water.

Keywords: CMC, Magnetized, Magnetized Water, Water, Surfactant

서 론

물의 자화(磁化)현상에 대하여는 이미 오래 전부터 많은 연구가 행하여져 왔다. Lielmezs와 Alleman는 온도변화에 따른 물의 점성에 미치는 약한 자기장의 영향을 발표하였고,[1] Simola와 Virtamo는 강한 자기장 내에서 수소원자의 에너지 준위를 계산하였다.[2] Vacek은 25 °C의 물에서 순수한 산소의 용해도에 대한 외부 자기장의 영향에 관해 발표하였으며,[3] Zhang과 Wu는 자화수를 사용하여 사육된 물고기의 신장 내 calcium crystal이나 조직 내 calcium의 농도가 평범한 물에서 사육된 물고기 보다 현저하게 낮았다고 보고 하였다.[4] 또한 생체물질 내에서의 반응에 대하여 Ma 등은 일반적인 물보다 자화수에서 glutamate decaraboxylase의 활성도가 30% 정도 증가한다고 하였으며,[5] Jeon 등은 자화수에서 염류의 용해속도 변화와 NaCl, KCl 및 석고의 결정화 양상과[6] 염류의 침전반응 및 석고의 가수 경화속도에 미치는 영향에 관한 연구 등 자화수의 물리화학적 성질에 대한 연구를 보고 하였다.[7]

자화수(magnetized water)는 원래 물분자가 자화되어서 자기장의 특성을 갖는다는 의미가 아니라, 자기장에 의하여 물분자 배열이 바뀌어져서 특이한 물의 특성을 보이는 상태를 의미한다.[6] 모든 물분자들은 변화하는 자기장, 예를 들면 맥동성 자기장에 의하여 반응할 수 있는데 이는 수소원자가 고주파수의 강한 자기장에 의하여 유도되는 magnetic resonance와 구별되는 현상으로 고주파수의 강한 자기장은 수소원자가 순간적으로 자기장 방향으로 spin 배열을 한 후에 바로 원상 복구 되지만, 계속적으로 수소원자의 spin 배열이 지속되는 경우에는 수소원자가 물분자의 쌍극자 특성인 H^-에 영향을 주어서 물분자 배열에 영향을 주게 되는 것이다.[6] 이러한 현상은 자화수의 NMR 관찰에서 T_2 relaxation time이 증가되어지는 것으로 알 수 있는데, 이러한 자화수의 물분자 재배열 현상은 자화수를 평상 상태로 방치하였을 경우에도 기억현상이 있어서 대략 12시간 정도 경과하여야 T_2 relaxation time의 증가현상이 거의 원래 상태로 환원되는 것을 확인하였다.[6]

계면활성제는 단분자의 이온 형태에 따라 이온 계면활성제와 비이온 계면활성제로 분류하고, 이온 계면활성제는 다시 음이온, 양이온, 그리고 양쪽성이온 계면활성제로 분류한다. 계면활성제는 친수성기와 소수성기를 갖고 있기 때문에 수용액 중에 용해되면 소수성기 부분은 물과의 접촉을 피하기 위하여 가운데로 모이고 친수성기 부분은 바깥쪽으로 배향하여 하나의 회합체인 미셀(micelle)을 형성하며, 이때 최초로 미셀을 형성하게 되는 농도를 임계미셀농도(Critical Micelle Concentration) 즉 CMC라고 부른다. 계면활성제는 용액 속에 소량만 존재하더라도 용액 계면이나 표면의 성질을 바꿀 수 있으며, 수용액에서 계면활성제의 농도가 증가함에 따라 세척성, 점성률, 굴절률, 삼투압, 전기전도도, 계면장력 및 표면장력이 크게 변화하게 되지만 CMC를 기준으로 그 이상의 농도에서는 이런 물성들이 더 이상 크게 변화하지 않게 되므로 CMC는 계면활성제의 중요한 특성이다. 실제 문헌상으로는 20 여종의 CMC 결정법이 보고되어 있지만,[8] 정확성과 간편성을 고려해 보면 비교적 용이하게 측정되는 몇 가지 방법들 중 하나가 전기전도도법과 표면장력법이다. 비이온성, 양쪽성 계면활성제 수용액들은 전기전도성이 없어서 전기전도도 측정법은 부적당 하지만, 이온성 계면활성제의 CMC 결정법으로는 제일 간단한 방법으로 정확한 CMC값을 얻을 수 있다. 모든 계면활성제의 CMC를 측정하는 가장 간단한 방법인 표면장력 측정법에는 여러 가지 방법이 알려져 있지만 정확성을 기하기 위해 Wilhelmy plate method 법을 주로 사용한다.[8-10] 각종 방법에 따라 얻어진 계면활성제의 CMC 데이터들은 Mukerjee와 Mysel 에 의하여 보고되어졌다.[11]

본 연구에서는 자화수의 물리화학적인 성질을 알아보기 위해 자화수가 계면활성제의 CMC (Critical Micelle Concentration)에 미치는 영향을 전기전도도계와 표면장력계, 그리고 등온적정열량계(Isothermal Titration Calorimeter, ITC)를 이용하여 측정하였다. 전기전도도는 두 전극 사이에 용액을 채웠을 때에 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도를 말하며, 용액중의 이온세기를 신속하게 평가할 수 있는 항목으로서 전기저항의 역수 ohm^{-1} 또는 mho로 나타내나 현재는 국제적으로 S(Siemens) 단위가 통용되고 있다. 측정원리는 용액에 담겨있는 2개의 전극에 일정한 전압을 가해주면 가한 전압이 전류를 흐르게 하며, 이때 흐르는 전류의 크기는 용액의 전도도에 의존한다는 사실을 이용한 것으로, 물질의 성질이나 용액에서 이온의 이동 속도를 연구하는 데 중요하다. 표면장력계는 계

면을 형성하는 두 액체간의 계면장력을 측정 할 수 있으며, 중점도 및 고점도 액체의 표면장력도 측정할 수 있다. 등온적정열량계(ITC)는 주사기를 사용하여 측정 cell안으로 반응액을 적정함으로서 발생하는 흡수, 방출되는 열을 일반적으로 검출하는 시스템으로, 천연물질을 사용한 분자적 상호작용이나 형태적 에너지학의 연구를 화학적 변형 없이 가능하게 할 수 있는 기기이다.

계면활성제의 CMC 형성에 대조군인 증류수와 자화수는 계면활성제 종류에 따라서 서로 다르게 영향을 주었기에 이를 보고하는 바이다.

실험재료 및 방법

시약 및 기기

계면활성제의 CMC 변화는 계면활성제의 특징 즉, CMC 전후의 물리화학적인 성질이 크게 다름을 이용하여 측정할 수 있는데 Conductivity (TPS900C, Pty. Ltd. Brisbane Co, Australia), Surface Tensiometer (K100MK2, KRUSS GmbH Germany), Isothermal Titration Calorimeter (ITC 4200, CSC Co. U. S. A)를 이용하여 실험하였다.

실험에 사용한 계면활성제는 음이온 계면활성제인 SDS (sodium dodecyl sulfate) (Sigma, U. S. A)와 양이온 계면활성제인 CTAB (cetyltrimethylammonium bromide) (Aldrich Chemical Co, U. S. A), 비이온 계면활성제인 Pluronic F-68 (Sigma, U. S. A)를 사용하였으며, 추가 정제는 하지 않았다.

자화수 제조

대조군인 3차 증류수는 증류수 제조장치 (MR-UP900, Puris Co. Korea)를 사용하여 이중으로 여과한 증류수를 사용하였으며, 자화수는 약 600~800 Gauss (Gauss/Telsa meter; 4048 F.W. Bell, Orlando, U. S. A), 7 Hertz 의 맥동성 자기장을 발생시키는 장치 (Decal, Hanil, Co. Korea) 안에서 증류수를 24시간 동안 놓아둠으로써 제조하였다.[6,7]

전도도 측정

음이온 계면활성제인 SDS와 양이온 계면활성제인 CTAB 수용액의 전도도를 25 ℃에서 측정하였는데, SDS는 20.0 mM의 고농도 용액을 만든 후, 고농도 용액에 증류수를 첨가하여 각각 5.0 mM부터 0.5 mM 간격으로 11.0 mM까지 11개 농도의 용액으로 희석하여 각각의 전도도를 측정하였으며, CTAB는 2.0 mM의 고농도 용액을 만든 후, 고농도 용액에 증류수를 첨가하여 각각 0.20 mM부터 0.20 mM 간격으로 1.80 mM까지 9개 농도의 용액으로 희석한 후 각각의 전도도를 측정하였다. 자화수에 대해서도 같은 방법으로 측정하였다.

표면장력 측정

자동 표면 장력계를 이용하여 각 계면활성제(SDS, CTAB, Pluronic F-68)의 CMC를 미리 계산된 프로그램을 이용하여 고농도 용액 20 mL에 증류수 1 mL씩 적정되는 자동 연속 희석 방법으로 SDS는 약 15.2 mM ~ 2.75 mM, CTAB는 1.66 mM ~ 0.317 mM, Pluronic F-68는 0.0846 mM ~ 0.0169 mM 농도까지 25 ℃의 항온상태에서 CMC를 측정하였다. 자화수에 대해서도 같은 방법으로 측정하였다.

등온적정 열량계를 이용한 측정

ITC를 이용한 실험은 음이온 계면활성제인 SDS에 대해서 측정하였다. 25 ℃ 항온 상태에서 reference cell과 측정 cell에 증류수 1.3 mL을 각각 넣었다. 적정 주사기에 SDS 0.1 M 농도 용액 250 μL를 넣고 측정 cell 위에 주사기를 설치하였다. 6시간 이상 항온조 안에서 두 셀을 안정화를 시킨 후, 측정 cell에 SDS 용액을 10 μL씩 5분 간격으로 24번 첨가하면서 그때의 열량 변화를 측정하였다. 자화수에 대해서도 같은 방법으로 측정하였다.

실험 결과

전도도 측정 비교

계면활성제의 전도도 측정값은 CMC 전에는 농도가 증가할수록 전도도의 증가폭이 커 기울기가 크지만, CMC 이후에는 농도가 증가하여도 전도도의 증가폭이 작아지면서 기울기가 작아지는 양상을 보인다. 따라서 농도에 따른 증가폭의 기울기가 꺾이는 지점을 최소자승법으로 구해 CMC를 얻을 수 있다.

음이온 계면활성제인 SDS의 CMC를 측정한 결과 증류수를 용매로 사용했을 경우 25 ℃에서 7.96 mM이 계산 되었으나, 자화수를 용매로 사용했을 경우에

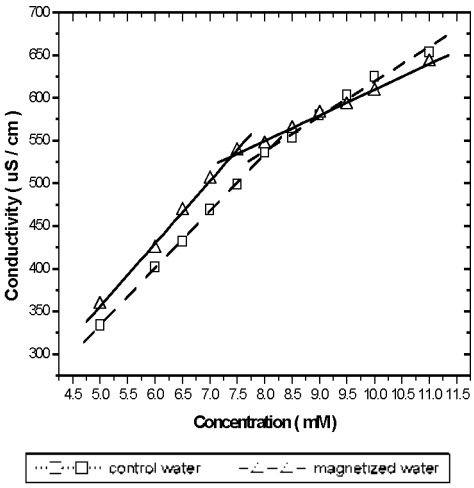

Fig. 1. Conductivity as a function of the SDS concentration dissolved in the control and magnetized water at 25 °C.

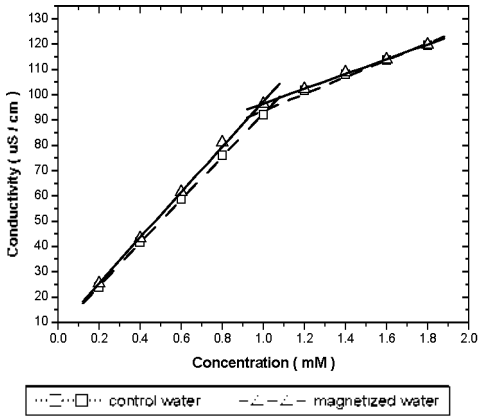

Fig. 2. Conductivity as a function of the CTAB concentration dissolved in the control and magnetized water at 25 °C.

는 7.44 mM이 계산 되어(*Fig.* 1) 증류수에 비해 자화수에서 약 6.5% 정도 낮아짐을 보였다. 양이온 계면활성제인 CTAB의 CMC는 증류수를 용매로 사용했을 경우 25 °C에서 1.02 mM이 계산 되었으나, 자화수를 용매로 사용했을 경우에는 0.99 mM이 계산되어(*Fig.* 2) 증류수에 비해 자화수에서 약 3.0% 정도 낮아지는 경향을 보였다.

표면장력 측정 비교

계면활성제의 표면장력 측정값은 CMC 전에는 농도가 증가할수록 표면장력 측정값의 감소폭이 크게

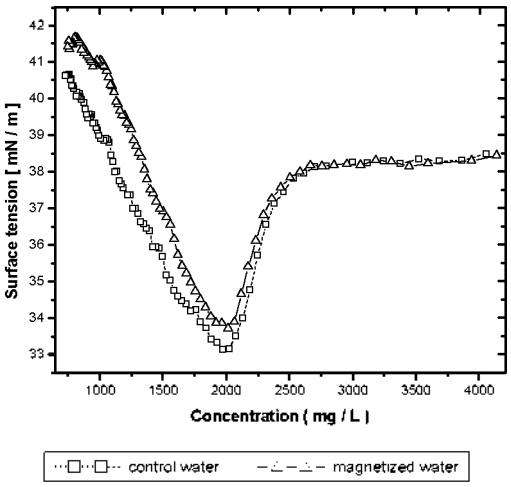

Fig. 3. Surface tension as a function of the SDS concentration dissolved in the control and magnetized water at 25 °C.

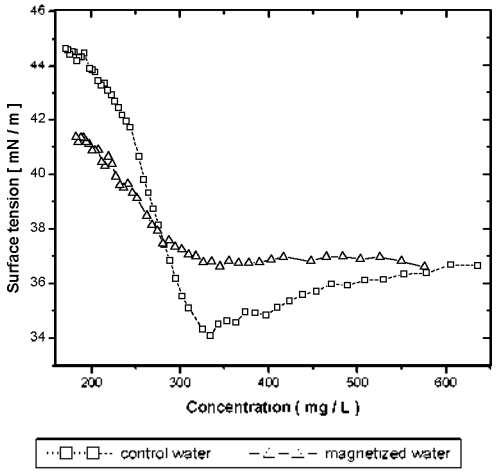

Fig. 4. Surface tension as a function of the CTAB concentration dissolved in the control and magnetized water at 25 °C.

증가하여 기울기가 크지만, CMC 이후에는 농도가 증가하여도 측정값의 감소폭이 거의 없어서 기울기가 일정해지는 양상을 보인다. 따라서 기울기가 최초로 일정해지는 지점을 최소자승법으로 구해 CMC를 얻을 수 있다.

표면 장력계를 사용하여 25 °C에서 각 계면활성제(SDS, CTAB, Pluronic F-68)의 CMC를 측정한 결과 SDS의 CMC는 증류수에서는 8.61 mM, 자화수에서는 8.38 mM이 계산 되어 2.7% 낮아짐을 보였으며, CTAB의 CMC는 증류수에서는 0.88 mM, 자화수에

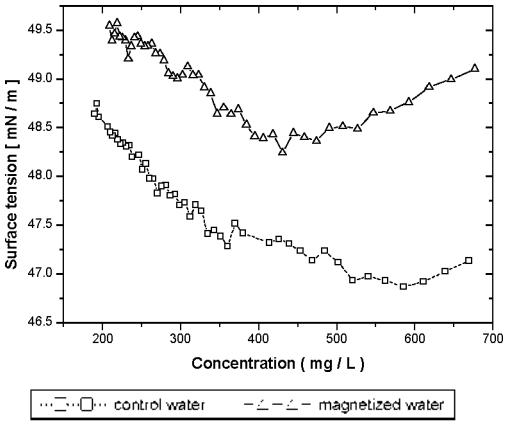

Fig. 5. Surface tension as a function of the Pluronic F-68 concentration dissolved in the control and magnetized water at 25 °C.

서는 0.86 mM이 계산 되어 2.3% 낮아짐을 보였다. 또한, Pluronic F-68의 CMC는 증류수에서는 0.062 mM, 자화수에서는 0.047 mM이 계산되어 24.2%가 낮아진 것으로(*Figs.* 3 ~ 5) 보였다.

등온적정 열량계 측정 비교

계면활성제의 ITC 측정값은 reference cell과 측정 cell과의 온도 차이를 열량 값으로 나타나는데, CMC 이전에는 농도가 증가할수록 두 cell 간의 열량 값의 차이가 증가하여 변화량의 기울기가 크지만, CMC 이후에는 두 cell 간의 열량 값의 차이가 감소하여 변화량의 기울기가 작아진다. 따라서 농도에 따른 기울기가 꺾이는 지점을 최소자승법으로 구해 CMC를 얻을 수 있다.[12]

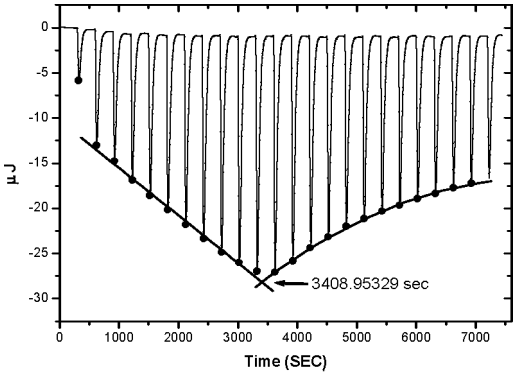

Fig. 6. Heat flow as a function of the titration time of SDS, in the control water at 25°C.

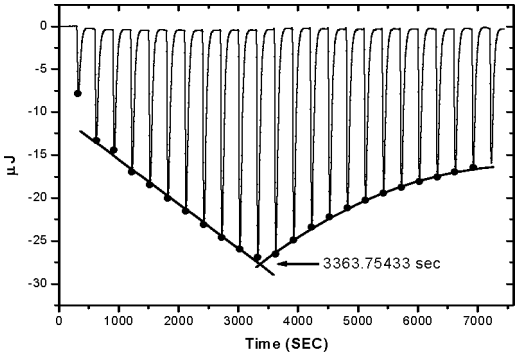

Fig. 7. Heat flow as a function of the titration time of SDS, in the magnetized water at 25 °C.

음이온 계면활성제인 SDS의 CMC를 측정한 결과 증류수를 용매로 사용했을 경우에 25 °C에서 8.31 mM이 측정되었으나(*Fig.* 6), 자화수를 용매로 사용했을 경우에 25 °C에서 7.93 mM이 측정되어(*Fig.* 7) 증류수에 비해 자화수에서 CMC가 약 5.6% 정도 낮아짐을 보였다.

총괄 및 고찰

자화수가 각종 동식물의 성장을 촉진한다는 현상학적인 보고는 잘 알려져 있는 반면에 자화수의 물리화학적인 성질을 과학적으로 분석한 연구는 비교적 드물다.[6,7,13-16] 본 연구는 자화수의 물리화학적 특성을 연구하는 일련의 과정에서 자화수가 계면활성제의 CMC에 미치는 영향을 관찰함으로써 자화수 특성의 일부를 파악하고자 하였다.

이번 실험에 사용된 계면활성제로 음이온 계면활성제는 SDS를 양이온 계면활성제는 CTAB, 비이온 계면활성제로는 Pluronic F-68을 사용했으며, 자화수와 증류수에서 각 계면활성제들의 CMC를 측정한 결과는 *Table* 1과 같다. 음이온 계면활성제인 SDS의 CMC는 측정하는 기기에 따라 7.9 ~ 8.6 mM, 양이온 계면활성제인 CTAB의 CMC는 0.9 ~ 1.1 mM 사이의 값들을 갖는다고 알려져 있다.[17] *Table* 1에서 증류수를 사용한 계면활성제들의 CMC 값들은 다른 문헌에서 측정한 값들의 범위 내에서 잘 일치하는 것을 볼 수 있으므로, 우리의 실험 결과가 타당하다고 할 수 있다. 또한, 우리가 실험한 전도도나 표면장력 측정값들은 같은 농도를 한번에 10번씩 측정된 것들의 평균값으로서, 전도도 측정값은 ± 0.02 μS/cm의 표준 편

Table 1. The critical micelle concentration values of some surfactants dissolved in the control and magnetized water at 25 °C

	control water			magnetized water		
	Conductivity method	Surface tention method	Isothermal Titration Calorimeter method	Conductivity method	Surface tention method	Isothermal Titration Calorimeter method
SDS	7.96	8.61	8.31	7.44	8.38	7.93
CTAB	1.02	0.88	·	0.99	0.86	·
Pluronic F-68	·	0.062	·	·	0.047	·

※ unit : mM(mmol/L)

차를 가지며, 표면장력 값은 ± 0.08 mN/m의 표준 편차를 가진다. 따라서 *Table* 1에서 증류수와 자화수를 사용한 계면활성제들의 CMC 값들 차이는 측정 방법에 따른 값들 간의 오차 범위를 벗어난 것으로, 실험으로 얻은 측정값이 타당하다 할 수 있다.

일반적으로 계면활성제가 CMC를 형성할 때의 과정을 살펴보면, 다시 말해서 계면활성제의 거동을 열역학적으로 살펴보면 물에 계면활성제가 첨가되어있는 상황일 때, 소수성기를 둘러싼 물분자들은 계면활성제가 없는 경우보다 열적 움직임이 줄어들게 된다. 이는 구조가 덜 융통성 있게 변화하는 것으로 물의 구조화를 의미하는 것이다. 따라서 계면활성제가 물 속에 흩어져 있을 때 계면활성제의 소수성기 근처에 존재하던 물분자들은 소수성기와 분리되어 떨어지려 하며 자신들끼리 구조화를 이루게 된다.[18] 원래 소수성기들 주위의 물은 일반적으로 구조화되어 있다고 한다. 즉, 물의 구조화가 많으면 소수성기들의 활성화를 높여 소수성기들 간의 소수성 상호작용을 증가시키게 되는 것이다.[19-24] 만약 물의 구조화가 많이 그리고 여러 곳에서 cooperative하게 일어난다면, 당연히 소수성기들 간의 상호인력을 증가시켜 소수성기들 간의 모임을 증진시킬 것이다. 대조군인 증류수에 비하여 자화수는 물분자가 치밀하게 구조화되어서 수많은 cluster들을 형성함으로서, 물분자 사이의 결합 및 반응력이 증가된 것이며,[6,7] 그 결과 자화수에서 계면활성제의 CMC는 일반적으로 더 낮아진다고 생각할 수 있다.

또한, 수용액과 같은 극성 용매에서 대부분의 용질은 이온화, 이온 흡착, 이온 용해 등의 과정에 의하여 표면 전하를 띠며, 이러한 표면 전하는 인접한 극성 용매의 전하 분포에 영향을 준다. 하전된 표면 근처의 극성 용매 영역은 용질의 반대이온에 의해 중성화된 전기 이중층을 형성하게 되는데, 용매와 접촉하고 있는 표면들은 양이온 보다는 음이온으로 더 하전되어 있는 경우가 많다. 이것은 양이온이 음이온에 비하여 더 수화되어 있어서 용매의 내부에 존재하려는 경향이 크고, 음이온은 극성이 더 커서 흡착하려는 경향이 더 크기 때문이다.[17] 따라서 증류수 보다 자화수에서 계면활성제의 소수성기들 간의 상호인력이 증가 되었으며, 강한 전기 이중층 구조를 형성하였기에 SDS의 CMC는 약 2.7 ~ 6.5 % 정도 낮아짐을 보였고, CTAB는 약 2.3 ~ 3.0 % 정도 낮아짐을 보였으며, 양이온 계면활성제 보다는 음이온 계면활성제의 흡착 성질이 크기 때문에 음이온 계면활성제의 CMC 감소 효과가 약 3% 더 크게 나온 것이라 생각 할 수 있다. 비이온 계면활성제의 친수성기는 음의 부분전하 분포를, 소수성기는 양의 부분전하 분포를 이루고 있는데,[17] 자화수의 수많은 물 분자들에 의해 둘러싸여진 계면활성제는 소수성기에서의 양의 부분전하가 크게 증가하여 정전기적 반발이 작아지기 때문에 그 감소 효과가 크게 측정된 것이라 생각되며, 이는 반대이온의 세기에 의해서 보다 더 쉽게 엉키게 된다고 설명했던 Schultz-Hardy의 규칙에서 나타난 것과 같다.[25] 자화수가 수많은 cluster들을 형성함으로서 증류수 보다 강한 전기이중층 구조를 형성한 것이라 생각되어지며 그 결과 Pluronic F-68의 CMC는 다른 계면활성제 보다 감소효과가 크게 측정되었으며 약 24.2 % 정도 낮아짐을 보였다.

자화수의 물리화학적 현상은 이 실험에 국한되는 것이 아니라 다른 광범위한 생물현상에서도 나타나고 있으며,[4-7,15,26,27] 특히 최근에는 nano/micro clustered water 라는 새로운 개념의 물이 생체에 중요한 영향

을 미치는 현상들이 연구되고 있다.[28,29] 앞으로 인류의 수자원의 어려움을 해결하기 위해서는 물에 대한 폭넓은 연구가 수행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 자화수의 기억현상(memory effect)을 이용하여 24시간 동안 약 800 Gauss의 맥동성 자기장으로부터 얻은 자화수를 사용해 계면활성제의 CMC가 2.3 ~ 24.2 % 감소된 결과를 얻었으며, 만약 보다 높은 자기장 또는 24시간 이상의 자화 시간으로 자화 처리되는 환경에서 계면활성제의 CMC 변화를 관찰한다면 더 저농도에서 CMC가 형성될 것이라 생각된다. 계면활성제의 CMC가 증류수보다 자화수에서 낮아졌다는 것은 세제를 사용한 환경오염을 줄일 수 있는 가능성을 가지고 있으므로 이러한 현상을 인류생활에 이용하기 위해서는 앞으로 자화수의 분자 물리화학적 및 분자 생물학적 연구가 심도 있게 수행되어야 한다고 사료된다.

결 론

본 연구에서 일반 대조군 증류수와 자화수에서 계면활성제의 CMC 변화를 관찰한 결과는 다음과 같다.

1. 음이온 계면활성제인 SDS의 CMC는 전도도 측정에서는 증류수에 비해 자화수에서 약 6.5 % 정도 낮은 농도에서 CMC가 형성되었고, 표면장력 측정에서는 약 2.7 % 정도 낮은 농도에서 CMC가 형성됨을 보였으며, 등온적정열량계 측정에서는 약 5.6 % 정도 낮은 농도에서 CMC가 형성됨을 보였다.

2. 양이온 계면활성제인 CTAB의 CMC는 전도도 측정에서는 증류수에 비해 자화수에서 약 3.0 % 정도 낮은 농도에서 CMC가 형성됨을 보였고, 표면장력 측정에서는 증류수에 비해 자화수에서 약 2.3 % 정도 낮은 농도에서 CMC가 형성되는 경향을 보였다.

3. 비이온 계면활성제인 Pluronic F-68의 CMC는 표면장력 측정에서 증류수에 비해 자화수에서 약 24.2 % 정도 낮은 농도에서 CMC가 형성됨을 보였다.

4. 자화수는 증류수에 비해 계면활성제인 SDS, CTAB, Pluronic F-68 등에 더 긴밀하게 반응하여 소수성 상호작용 및 강한 전기 이중층 구조를 형성하여 계면활성제 분자간 응집력을 빠르게 증가시켰다.

인 용 문 헌

1. Lielmezs, J.; Alleman, H. Thermochim Acta. **1977**, *21*(2), 225.
2. Simola, J.; Virtamo, J. J. Phys. B. **1978**, *11*(19), 3309.
3. Vacek, V. Thermochim. Acta. **1980**, *35*(2) 181.
4. Zhang, Y. S.; Wu, H. W. Z. Urol. Nephrol. **1987**, *80*(9), 517.
5. Ma, Y. L. H.; Ren, S.; Ren, E. K.; Zhen, G.; Hao, Y.; Zhao, W. J. Tongji Med. Univ. **1992**, *12*(4), 193.
6. Jeon, S. I.; Kim, D-R.; Lee, S. K. J. Korean Chem Soc. **2001**, 45, 2, 116.
7. Jeon, S. I.; Kim, D-R.; Lee, S. H.; Kim, D. S., Lee, S. K. J. Korean Chem Soc. **2002**, 46, 1, 7.
8. K. Shinoda, Colloidal surfactants; Academic Press: New York, U. S. A., **1963**.
9. Tokiwa, F.; Tsujii, K. J. Colloid Interface Sci., **1972**, 42, 343.
10. Goddard, E. D.; Benson, G. C. Can. J. Chem., **1957**, 35, 986
11. Mukerjee, P.; Mysels, K. J. Critical Micelle Concentrations of Aqueous Surfactants System; National Bureau of standards, Washington D. C, U. S. A., **1970**.
12. H.Heerklotz, J.Seelig. Biochimica et Biophysica Acta **2000**, *1508*, 69.
13. Schimmelpfeng, J.; Dertinger, H. Bioelectromagnetics **1997**, *18*(2), 177.
14. Hazlewood, C.F.; Nichols, B. L.; Chang, D. C.; Brown, B. Johns Hopkins Med. J. **1971**, *128*(3), 117.
15. Akber, S. F. Med. Hypotheses **1997**, *48*(1), 71.
16. Akver, S. F. Eur. J. Radiol. **1989**, *9*(4), 198.
17. Rosen, M. J. Surfactants and Interfacial Phenomena: 3rd, Wiley, New York, U. S. A., **2004**.
18. Tanford, C. The Hydrophobic Effect; Wiley, New York. U. S. A., **1972**.
19. Lumny, R.; Eyring, H. J. Phys. Chem. **1954**, *58*, 110.
20. Jeon, S. I.; Jhon, M. S. J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. **1984**, *22*, 3555.
21. Kim, W. G.; Jeon, S. I.; Jhon, M. S. J. Polym. Sci. Polym. Chem. **1987**, Vol. 25, 467.
22. Jeon, S. I.; Andrade, J. D. J. Colloid Interface Sci. **1991**, *142*, 159.
23. Jeon, S. I.; Jhon, M. S. J. Polym. Sci. Polym. Chem. **1989**, *27*, 237.
24. Myers, D. Surfactant Science and Thechnology; VCH, New York, U. S. A., **1988**.
25. Atkins, P. W., Physical Chemistry; Freeman and

Company, San Francisco, U. S. A., **1990**.
26. Coey, J. M. D.; Cass, S. J. Magnetism and Magnetic Materials. **2000**, *209*, 71.
27. Higashitani, K.; Oshitani, J. J. Colloid Interface Sci. **1998**, *204*(2), 363.
28. Murphy, D.; Pinho, M. N. D. J. Membrane Sci. **1995**, *106*, 245.
29. Kawagoe, M.; Takeshima, M.; Nomiya, M.; Qiu, J.; Morita, M.; Mizuno, W.; Kitano, H. Polymer, **1999**, *40*, 1373.