

# The Characteristic Behavior of Colloidal Aggregates in Aqueous Solution -Phospholipids, Hybrid Fluorinated Surfactants, $\alpha$ -Sulfonatofatty Acid Higher Alkyl Esters-

권 경 옥

한국 과학 기술 연구원

## I. 서론

계면활성제는 소량의 첨가에의해서 계면의 성질을 현저하게 변화시키는 성질을 기본으로 갖는 물질로 거기서 부터 생겨나는 다종다양한 성질은 일상생활의 장으로부터 최첨단 과학 기술에 이르기까지 계면이 담당하는 모든 분야에 작용하고 있다. 계면활성제는 자발적으로 수용액이나 기름 또는 수용액이나 기름 혼합물에서 미셀, 헥사고날 II, 베지클, 에멀전, 마이크로에멀전 등의 집합체를 형성하며, 그 집합체의 안정성에 관한 물리화학적 상태를 다루는 학문이 콜로이드 과학이다.

이 강연에서는 콜로이드 입자간의 정전상호 작용 즉 계면 전기 현상을 들어 표면 전위와 전기 영동법으로 잴 수 있는  $\zeta$ -전위와의 관계를 알기쉽게 설명하고, 두개의 탄화수소사슬을 갖는 천연계면활성제의 일종인 인지질과 인지질과 분자형태가 유사한  $\alpha$ -Sulfonatofatty Acid Higher Alkyl Esters 및 Hybrid Fluorinated Surfactants의 물적 거동을 통하여 기능성 계면활성제를 위한 분자 설계를 시도해 본다.

## II. 본론

### 인지질<sup>1)-6)</sup>

천연 물질 중에서 전혀 가용은 하지 않더라도 계면활성을 나타내는 것으로 라놀린, 콜레스테롤, 팔미틸 알코올, 담즙산, 그리고 인지질등이 있다. 그중에서도 인지질은 단백질과 함께 생체 막의 골격구조를 형성하는 주요 구성 성분이고 뇌, 신경조직, 난황, 식물의 종자에 많이 포함되어 자연계에 널리 존재하고 있는 물질이다. 또, 인지질은 소수성 탄화수소사와 친수성 극성부를 갖는 전형적인 양친매성 물질로서 생리학적으로 중요한 역할을 갖는 것이 알려져 있고, 특히 Singer-Nicolson의 세포막 모델 이후 리포솜이 만들어 지게끔 되기부터, 약물운반체로서 이용을 목적으로한 많은 연구가 행해져 왔다.

인지질 중에서도 음이온성 인산기와 양이온성 콜린기의 양친매성이온을 친수부에 갖는 포스파티딜콜린(레시틴)은, 생체막 중에 인지질 전 중량의 약 50% 를 차지하고, 비교적 싼 가격으로 대량으로 공급 가능한 biosurfactant로 알려져 있다. 포스파티딜콜린은 다른 합성 계면활성제와 같은 계면활성을 나타낼 뿐만아니라 생분해성이 좋고 그것 자신이 영양소이고 또 좋은 맛을 주는 것으로부터 식품 분야에서는 많이 제품으로 이용되고 있다. 또한, 피부에 포함되어 있는 지질에는 인지질이 많이 포함되어 있는것으로 부터 알수 있듯이 인지질은 피부조직을 보호하고 유효한 안정제로서 극히 중요한 원료로 되어있다. 그림 1은 인지질 친수기부의 pH에 따른 헤리 상태를 나타낸다. 이러한 전기적 상태는 인지질이 라멜라 구조나 베지클을 형성하는데 중요한 영향을 미치며, 물의 함량에 따라서 겔 부터 액 정으로의 흡열 피크가 복잡하게 나타나는 원인이 된다. 그림 2에 지용성 물질을 리포솜에

가용화 시켰을 때, 가용화 양이나 가용화되는 물질에 따라 리포좀 이중막으로부터 단분자막인 미셀로 그 구조가 바뀌는 것을 보여주고 있다. 소수성이 큰 물질일수록 막 내부에, 친수성이 큰 물질일수록 막 표면에 존재하는 것을 시사하고 있다.

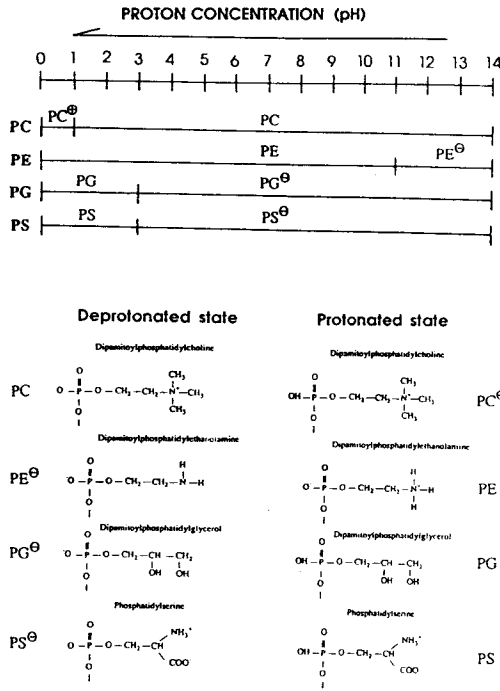


Fig. 1 The molecular structure of phospholipids exists as protonated or deprotonated state at various pH conditions.

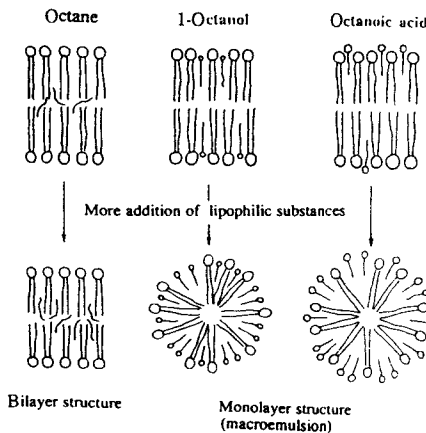


Fig. 2 Schematic model of molecular assemblies with lipophilic substances.

인지질은 두개의 긴 알킬 사슬과 큰 극성기를 지니고 있기 때문에 농도가 낮은 영역에서 액정을 형성하기 쉽고 물에도 기름에도 미셀이 용해하기 어려운 물질이다 (cmc는 25°C에서  $10^{-7} \sim 10^{-10}$  mol/l 정도). 그 때문에 마이크로에멀전 형성에는 계 전체의 HLB(친수기-소수기 균형)의 조절을 목적으로한 양친매성 물질(cosurfactant)의 첨가가 필요하다. 각종 알코올을 이용해서 마이크로에멀전을 조제해본 결과 프로판올의 첨가에 의해 액정 영역을 넘어서 O/W 형 마이크로에멀전을 생성하는 것이 보였다. 인지질과 같은 난용성 물질을 생성 조건을 조절함에 의해 가용화를 많이 할 수 있는 마이크로에멀전의 생성이 가능하다.

### $\alpha$ -Sulfonatofatty Acid Higher Alkyl Esters<sup>7)-8)</sup>

인지질과같이 소수기에 두개의 긴 사슬 탄화수소를 갖는  $\alpha$ -설폰지방산고급알킬에스테르나트륨염  $C_mH_{2m+1}CH(SO_3Na)C_{n+1}H_{2n+1}$  ( $\alpha$ -SF<sub>m-n</sub>)( $\alpha$ -SF)을 이용, 인지질과 같이 전이 온도를 나타내고, 베지클을 형성할 수 있는 최대의 가용화 조건을 찾기위해, m과 n의 각각의 탄화수소 길이가 다른 것을 합성했다. 단분자막, 이분자막, 라멜라 등의 집합체의 거동을 물리-화학적 측면으로부터 검토했다.  $\alpha$ -SF의 상전이 온도는 계면활성제의 소수기 사슬의 길이에 의존하는 것을 알 수 있다. 즉,  $\alpha$ -SF의 상전이 온도는 소수기 사슬 길이의 증가 및 2개의 소수기 사슬 길이의 차가 크면 클수록 감소했다. 그림 3과 같이  $\alpha$ -SF/물 계의 이분자막 구조는 interdigitated bilayer 구조를 취하고 다른 두 분자의 계면활성제의 상호작용보다 분자 내 상호작용이 강함을 보였다. 팽창막, 응축막의 전이의 소수

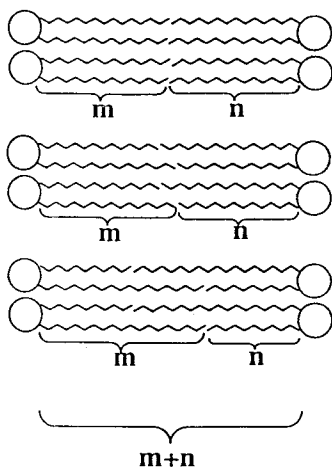


Fig. 3 Interdigitated bilayer models of various  $\alpha$ -SFs

기 사슬길이의 영향은 전개열을 이용해서 검토할 수 있다. 전개열은 응축막으로부터 팽창막으로의 상변화하는데 필요한 열량 ( $\Delta H_s$ ), Clasius-Clapeyron식으로 부터 나타낸다.

$$\frac{dn_e}{dT} = \frac{\Delta H_s}{T(Ae - Ad)}$$

$dn_e/dT$ 는  $\alpha$ -SF 단분자막이 팽창막으로부터 응축막으로의 전이압과 온도에 관한 기울기이다.  $Ae$ 는 전이 할때 분자 점유면적,  $Ad$ 는 응축막의 상태에의한 분자 점유면적이다.  $\Delta H_s$ 에 미치는 사슬길이의 차의 절대치가 작은  $\alpha$ -SF 일수록 그  $\Delta H_s$ 는 크게되고 응집력은 강한것으로 나타났다.

### Hybrid Fluorinated Surfactants

불소 원자는 모든원소중에서 전기음성도가 높고, 불소-탄소 간에 결합거리가 짧기 때문에 C-F결합에너지는 다른것에 비해 상당히 크다. 그때문에 불소를 포함하는 화합물은 탄화수소계에서는 볼 수 없는 좋은 내열성, 내화학약품성, 내용제성, 저독성을 나타낸다. 또, 불소 원자는 분극율이 적은 원자이므로 불소화합물의 분극 에너지는 적다. 그때문에 특히 표면이 불소 원자로 쌓인경우 표면 자유에너지가 저하하고 저마찰성, 비점착성, 발수, 발유, 저굴절을 등의 성질이 부여된다.

불소화알킬사슬을 소수기로 갖는 탄화불소계 계면활성제는 탄화수소계 계면활성제와 비교해서 (1) 물의 표면장력의 절감 효과가 크다 (2) 저농도에서 높은 계면활성을 나타낸다 (3) 내열성, 내약품성이 좋다 (4) 유기 용매 중에서도 계면활성을 나타낸다는 특성이 있다. 최근에는 탄화불소계 계면활성제는 이분자막, 축적 누적막의 전개에 의해 새로운 유기재료로서 가능성을 나타내기 시작했다. 이와같은 탄화 불소계 계면활성제는 다양한 현대 사회에 요구에 충분히 부응하는 소재로서 그 기대가 크며, 그 기대에 접근하기위해서는 정밀한 분자 설계, 조직 설계가 필요하다.

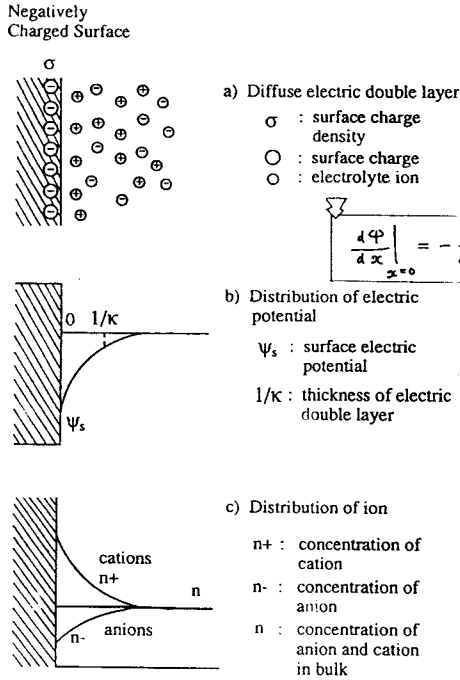
또한 계면활성제를 이중 이상 혼합하는 것의해 계면활성제 단독계에서는 볼 수 없는 기능과 특성을 나타낸다는 보고 이래에, 실사용에서는 계면활성제 단독으로 이용되는 것은 적고, 그 대부분이 계면활성제를 2종류 이상 혼합한 계이다. 탄화불소계 계면활성제는 탄화수소계 계면활성제에 비해서 값이 비싸므로 실용의 면으로 말하면 탄화수소계 계면활성제의 대체로서 사용하기 보다는 탄화수소계 계면활성제와 일부 혼합해서 상승 작용을 높이는 사용법이 유망하다.

### 계면 전기 현상<sup>4)</sup>

전해질용액속에 분산하는 콜로이드 입자의 표면은 대전하고 있는 경우가 많다. 이 원인은 전해질이온이 흡착하는 경우와 원래 입자의 표면에 있는 해리기에 유래한 어느 경우든 같이 대전한 두개의 콜로이드 입자가 접근하면 입자간에는 정전기적 반발력이 생긴다. 이것은 진공중에 있는 두개의 부호의 전하간 작용하는 쿨론의 반발력과 비슷하지만 실은 크

게 다르다. 입자가 갖는 전하에 더해서 주위의 전해질 이온의 전하가 본격적인 작용을 한다. 실제 전해질 이온의 작용이야말로 계면 전기 현상의 본질이라고 말해도 좋다.

Fig. 4 DIFFUSE ELECTRIC DOUBLE LAYER



대전 입자의 평면에서 표면에 수직으로 x축을 두고 표면상의 원점  $x=0$ 의 영역이 전해질 용액으로 된다. 대전한 표면이 있으면 그 주위에 전장 E가 생기며 표면의 전하밀도를  $\sigma(\text{C/m}^2)$ 라고한다. 전하와 전장 E는 원인과 결과의 관계이다. 일반적으로 전장은 입자표면과 반대 부호의 전하를 갖는 이온(반대이온)은 끌어들이고 역으로 입자 표면과 동부호의 전하를 갖는 이온(음이온)은 멀어져 간다. 즉 대전 입자는 그 주위에 주로 반대 이온이라고하는 이온층을 당기고 있다. 이 전기 이중층은 이온의 열운동 때문에 반대 이온 층이 확산한 형태로 존재하며 이때문에 확산 전기 이중층이라고 부른다. 이온층 속에서 전장의 강함은 입자 표면으로부터 멀어져 가는 것에 의해서 약해져 제로가된다(그림 4).

힘은 크기를 갖는 벡터이기 때문에 전장 E는 벡터이다. x좌표만 등장하는 1차원 문제에서는  $E>0$  때에 -x 방향으로 향한다. 이온의 열운동에 대해서 정상적으로 생각하면 입자 표면 전하의 중화가

열운동 때문에 불완전한 것이되고 그때문에 생긴 경사진 전장이라고 말할 수 있다.

이 전장의 상태를 아는 것이 계면 전기 현상의 정량적 이해의 제 일보이다. 단 전장 E(벡터)를 다루기 보다 전위  $\psi$ (스칼라)를 생각하는 것이 편리하기 때문에 이하 전위를 이용해서 이야기한다. 어떤 장소에 전위라고 하는것은 전기적 위치에너지 즉 입자표면으로부터 충분히 떨어져 전장이 0으로 되는 점을 전위의 기준점(즉, 전위 0인점)로 할때 거기서 부터 지금 생각하고 있는 장소 까지 +1C의 전하를 움직이는데 요하는 일이다. 전위와 전장과의 관계는 다음과 같다.

$$E = -\frac{d\psi}{dx} \quad (1)$$

이것은 일반적으로 성립되는 관계, 힘 =  $-d(\text{위치에너지})/dx$ 의 일 예이다. 위치에너지가 감소하는 방향으로 힘이 작용하기 때문에 음의 부호가 붙는다. 즉 만일 +x방향으로 +1C의 전하가 이동할때 전기적 위치 에너지(전위)가 상승 한다고 하면

$$\frac{d\psi}{dx} > 0 \text{ 이지만 이때 힘은 역 방향으로 (-x방향) 작용한다.}$$

정전기학에 의하면 전하의 분포가 주어지면 그것에 대응하는 전위 분포는 다음의 포아송 식으로부터 그 경계 조건에 의해 결정된다.

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (2)$$

$$\left. \frac{d\psi}{dx} \right|_{x=0} = -\frac{\sigma}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (3)$$

$\psi_x$ 는 점  $x$ 에의한 전위,  $\rho(x)$ 는 점  $x$ 에의한 전하밀도  $\epsilon_r$ 은 전해질 용액의 비유전율,  $\epsilon_0$ 는 진공의 유전율이다. 전기력선의 개념으로부터 시작하자. 정전하로부터 전기력선이 나와서 (-) 전하를 흡수한다. 단위 면적당  $E$ 개의 전기력선이 통과할때에 이 장소의 전장은  $E$ 라고 정의하자. 어떤 장소  $x$ 에 전장  $E(x)$ 로 여기서부터 약간 떨어진 장소로  $x+\Delta x$ 의 전장이  $\Delta E(x+\Delta x)$ 가 된다고 하자. 이 전장의 차  $E(x+\Delta x) - \Delta E(x)$ 는 왜 생긴 것일까. 이것은 꼭  $\Delta x$ 에 포함된 총전하  $\rho(x)\Delta x$ 를 만드는 자기력선 수 만큼 증가한것이다. 어떤 양의 전하로부터 나오는 (혹은 흡수되는) 전기력선은 몇개일까. 이 갯수는 진공중에 있어서는 전기량을 진공 유전율로 나눈것으로서 정의된다. 전하가 물이라고하는 용매중에 있을때는 물분자를 갖는 쌍극자 moment가 전기력선을 도중에 흡수해버리기 때문에 그 갯수가 감소한다. 따라서 전장은 감소한다. 이 감소의 정도가 비유전율 ( $25^\circ\text{C}$ 의 경우  $\epsilon_r = 78.5$ )이다. 즉 매질중에 전하로부터 나오는 전기력선의 갯수는 (전기량)/ $\epsilon_r \epsilon_0$ 이다.

$$\text{따라서 } E(x+\Delta x) - E(x) = \frac{\rho(x)\Delta x}{\epsilon_r \epsilon_0} \text{이다.} \quad (4)$$

양변을  $\Delta x$ 로 나누어서  $\Delta x \rightarrow 0$  이라고하면  $[E(x+\Delta x) - E(x)]/\Delta x \rightarrow dE/dx$ 이기때문에 (2)식이 얻어진다. (3)식은  $x=0$ 의 면으로부터 나오는 전기력선이라고 생각한다. 요컨데 원인이 되는 전하  $\rho$  및  $\sigma$ 와 결과라고하는 전위  $\psi$ 가 포아슨 식(2) 및 경계조건 (3)식으로 서로 결합하여 있다. 어쨌든 통상의 정전기학에서는 경계조건 (3)식에서 포아슨 식을 풀면 되지만 콜로이드의경우 얘기가 복잡하다. (2), (3)식에 등장하는  $\sigma$ 와  $\rho(x)$ 가 정전기학의 경우 알고 있는 양인데 비하여, 콜로이드의경우  $\rho(x)$ 가 미지량이다 ( $\sigma$ 는 미리 주어짐). 즉  $\rho(x)$ 는 전해질 이온이 지나는 전하에 유래하지만 전해질 이온의 분포 그것이 지금부터 구하려는 전위  $\psi(x)$ 의 관수이다. 즉 (2)식에 하나의 식이 더 필요하다. 거기서 이온의 분포가 볼츠만 분포를 따른다고 생각한다. 점  $x$ 의한 양이온의 농도  $n_+(x)$ 와 음이온의 농도  $n_-(x)$ 는 그 점의 전위  $\psi(x)$ 를 이용해 다음과같이 나타낼 수 있다.

$$n_+(x) = n \exp(-ve\psi(x)/kT) \quad (5)$$

$$n_-(x) = n \exp(+ve\psi(x)/kT) \quad (6)$$

여기서  $n$ 은 입자의 표면으로부터 충분히 떨어진 양이온과 음이온의 정도이다 (거기에는 전기적으로 중성).  $v$ 는 원자가수,  $e$ 는 단위 전하,  $k$ 는 볼츠만 정수이다. 볼츠만 분포는 어떤 계가 에너지  $E$  상태에 있을 확률  $\exp(-E/kT)$ 이라는 통계학 법칙이다. 어떤 장소  $x$ 에 있는 양이온의 농도는 그 장소에 있는 양이온의 존재 확률에 비례한다. 장소  $x$ 에의한 양이온의 위치에너지는  $ve\psi(x)$ 이기 때문에 그 장소의 존재 확률은 위치에너지가  $ve\psi(x)$ 인 확률, 즉  $\exp(-ve\psi(x)/kT)$ 에 비례한다고 말할수 있다.  $\psi=0$ 가 되는 장소(표면으로부터 충분히 떨어진 장소)는 농도가  $n$ 이 되기때문에 (5)가 얻어진다. 점  $x$ 에의한 전하 밀도  $\rho(x)$ 는 그 장소에 있는 양이온 전하 (양이온 한개당, 전하  $ve$ 와 농도  $n_+(x)$ 의 적분)  $ven_+(x)$ 와 음이온의 전하  $-ven_-(x)$ 의 합과 같기때문에 (5)식과 (6)식을 이용해서

$$\rho(x) = ven_+(x) - ven_-(x) = ven[\exp(-ve\psi(x)/kT) - \exp(+ve\psi(x)/kT)] \quad (7)$$

로 나타낸다. (2)식이  $\rho$ 를 주어서  $\psi$ 를 구한 것에 대해서 (7)식은  $\psi$ 를 주어서  $\rho$ 를 구한 식으

로 되는 것에 주의 할것. 이식을 연립시켜서  $\rho$ 를 소거하면 다음과 같은 미지수로서  $\psi$ 만을 갖는 방정식이 얻어진다.

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{ven}{\epsilon_r\epsilon_0} \left[ \exp\left(-\frac{ve\psi(x)}{kT}\right) - \exp\left(\frac{ve\psi(x)}{kT}\right) \right] \quad (8)$$

이식은 포아슨 식과 볼츠만 분포의 식을 연립한 식으로 포아슨-볼츠만 식으로 불리워지고 계면전기 현상의 이론의 출발점이 되는 식이다.

$\exp(\text{작은수}) \approx 1+(\text{작은수})$  라고하는 근사식을 이용해서 (8)식은 다음과 같이된다.

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \kappa^2\psi \quad (9)$$

이 식에서  $\kappa$ 는 다음 식으로 정의되고 디바이 핵셀 식으로 얻어진다.

$$\kappa = (2nv^2 e^2 \epsilon_r \epsilon_0 kT)^{1/2} \quad (10)$$

(10)식은 잘풀려서 이해는

$$\psi(x) = \psi_0 \exp(-\kappa x) \quad (11)$$

이다. 여기서

$$\psi_0 = \sigma / \epsilon_r \epsilon_0 \kappa \quad (12)$$

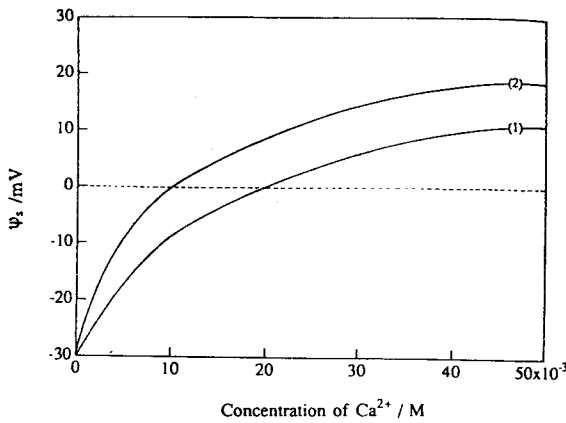


Fig. 5 The predicted value of surface potential change for DPPG as a function of binding constant and calcium ion concentrations.

(1)  $K=50 \text{ M}^{-1}$ , (2)  $K=100 \text{ M}^{-1}$ .

$$\sigma = (n\epsilon_r \epsilon_0 kT/2)^{1/2} \left[ \exp(ve\psi_0/2kT) - \exp(-ve\psi_0/2kT) \right] \quad (13)$$

또 (8)식은 다음과 같이 주어진다.

$$\psi(x) = \frac{2kT}{ve} \ln \left[ \frac{1+r \exp(-\kappa x)}{1-r \exp(-\kappa x)} \right] \quad (14)$$

여기서,  $r = \frac{\exp(ve\psi_0/kT) - 1}{\exp(ve\psi_0/kT) + 1}$

실제로 대입해보면 ( $ve\psi_0/kT < 1$ ) 일가염 중, 실온에서 약 25 mV 이하가 된다.

위의 식을 이용하여 음의 전하를 띠고있는 디팔미토일포스파티딜글리세롤 (DPPS)로 이

는  $x=0$ 에있는 전위로, 표면 전위로 불리워진다. 전위 분포를 그리면 그림 4에서 알 수 있듯이 표면으로부터 거리  $1/\kappa$  떨어져면 전위  $x=0$ 에의한 값의  $1/e$  즉 약  $1/3$ 으로 감소한다.  $1/\kappa$ 는 전기 이중층의 두께 혹은 디바이 길이라고한다. 전장이 어느정도 까지 도달하는가하는 지침이된다. 일가염(NaCl, KCl)에서는  $1/\kappa$ 의 값은 농도 0.1M에서 약  $10\text{\AA}$ , 0.01M에서는  $30\text{\AA}$ , 0.001M에서는 약  $100\text{\AA}$ 이다. (10) 식으로 부터 아는 것처럼  $1/\kappa$ 는 농도의 평방근에 반비례하는 것으로부터 농도를 100배 희석하면  $1/\kappa$ 은 약 10배로 10배 희석에는  $1/\kappa$  약 3배로 늘어난다. (12) 식에서 표면전하 밀도  $\sigma$ 와 표면 전위  $\psi$ 는 서로 비례 관계이지만 근사식을 이용하지않는 식은 다음과같다.

루어진 리포좀의 칼슘이온 농도의 증가에따른 표면전위의 이론값을 그림 5에 나타냈다. DPPS는 중성 pH에서 음의 전하를 띠며, 실제로 약 -30 mV의 표면전위를 나타내 실험치와 이론치가 일치하고 있는 것을 볼 수 있다.

실험적으로 표면 전위  $\psi_0$ 의 값을 알면 (13)식, 혹은 (14)식을 이용해서  $\mu$ 의 값을 얻을 수 있다. 대표적인 결정법의 하나는 전기영동도의 측정을 들 수 있다.

### 전기영동 현상

분산계에 전장을 가하면 입자는 그전하와 반대 부호의 전극으로 이동한다. 그러나 동시에 액체로부터 점성 저항을 받기 때문에 이윽고 이들 2개의 힘은 균형 맞아서 입자는 등속으로 움직이게 된다. 일반적으로 단위 전장당 영동속도를 전기 영동도라고 부르는  $\mu$ 로 표시한다. 액체 속에서 입자가 운동하고 있는 경우 분자간력에 의한 입자 근처의 액체는 그 입자와 함께 이동하지만 입자로부터 떨어 질수록 입자의 영향을 받을 수 없다고 생각할 수 있다. 이 입자와 액체와의 상대 속도가 영이되는 면을 미끄럼 면이라고 부르고 제타( $\zeta$ ) 전위는 이 미끄럼 면의 전위로서 정의 된다. 따라서 엄밀히 제타 전위는 입자 표면의 전위와 일치하지 않고 입자 표면에 흡착한 액체 분자의 상만큼 바깥쪽의 전위  $\zeta$ 이지만 근사적으로  $\zeta$ -전위를 표면 전위  $\psi_0$ 라고 생각한다.  $\zeta$  전위와 전기영동도의 관계 식은 많이 제창되지만 대표적인 것으로 Smoluchowski식이다. 입자의 크기가 전기 이중층의 두께에 비해서 충분히 클때의 입자 표면은 근사적으로 평면이라고 할 수 있다. 이 입자의 표면에 작용하는 힘의 균형을 생각하면 이 부분에서는 외부 전장에 의한 전기력과 액체로부터의 점성에 대한 두개의 힘이 작용하고 있다. 입자 표면에 작용하는 전기력은 표면 전하 밀도  $\sigma$ , 외부 전장을  $E$ 라고 하면 단위 면적당 표면에 작용하는 전기력인 힘 ( $\sigma, E$ )로서 나타낸다. 또, 점성 저항은 액체의 점성율에 속도 균배를 곱한것이된다. 액체 속도가 입자의 표면에서 0이고 확산전기 이중층의 두께 정도 떨어진 면  $U$ 가 되는 경우 속도 균배  $U/(1/k)$ 로 표시된다.

따라서 두개의 힘이 균형 잡힌경우 다음 식처럼 된다.

$$\sigma \times E = \eta U/(1/k)$$

여기서,  $\eta$ 는 액체의 점성율이다. 전기영동도는  $\mu = U/E$

$$\mu = U/E = \sigma/\eta k \quad (15)$$

로 정의되는 것으로 부터 표면전위  $\psi_0$ 와 표면 전하 밀도  $\sigma$ 와의 관계식 ( $\psi_0 = \sigma/\epsilon_0\epsilon_r k$ )를 대입하고, 제타전위를 표면  $\zeta$ 전위라고하면 다음과 같은 식이된다.

$$\mu = \frac{\epsilon_0\epsilon_r}{\eta} \zeta \quad (\text{Smoluchowski식}) \quad (16)$$

따라서 전기영동도  $\mu$ 의 값을 측정하는 것의해  $\zeta$  전위가 얻어진다. 이식은, 또 측정되는 표면의 성질이 딱딱한 면을 기준으로한 것으로, 세포와 같은 면이나, 고분자가 수염처럼 입자의 막을 싸고 있는 경우 식은 약간의 수정이 필요하다. 식이 갖는 물리화학적 의미는 일본 동경 이과대학 약학과의 Dr. Ohshima의 해석을 많이 인용한것을 밝혀둔다. 분산 입자의 안정성에 기초가되는 이론 DLVO (Derjaguin, Landau, Verwey, Over beek) 관해서는 다음 기회에 논하기로한다.

### III. 맺음말

여러 인지질을 이용해 그 집합체들의 물리-화학적 특성을 이론과 연관시켜 연구하면서,

합성계면활성제 쪽에서는 화합물의 분자 형태를 보고 그 분자가 갖는 가용화 능력을 대략 짐작할 수 있다고 생각했지만, 실제로 실험해보면 예상과는 다른 결과가 속출된다. 많이 상상하고 직접 부딪혀 보는 것을 권하고 싶다. 계면 전기 현상에 대해서는 식에서 밀려 모호하게 생각되는 물리-화학적 의미를 확실히 해두고 싶어 자세히 적었다. 소재의 고기능화, 소재의 고부가가치화의 관점으로부터 각종 유기화합물의 불소알킬화와 함께 불소계면활성제가 갖는 특성의 계면화학적 검토가 필요하고, 유기화합물의 불소화법, 불소화에 표현되는 기능, 기능 발현의 원인, 화합물의 응용에 관한 지견이 필요하다고 생각된다.

#### 인용문헌

1. Kyung Ok Kwon, Masahiko Abe, Myung Ja Kim, Keizo Ogino, and Hiroyuki Ohshima  
Effect of Calcium Ions on Phospholipid Aggregates at Subzero Temperature  
Colloids and Surfaces:Biointerface, 3, 25-30, 1994
2. Kyung Ok Kwon, Myung Ja Kim, Masahiko Abe, Tadashi Ishinomori, and Keizo Ogino  
Thermotropic Behavior of Phospholipid Bilayer Interacting with Metal Ions  
Langmuir, 10, 1415-1420, 1994
3. Kyung Ok Kwon, Masahiko Abe, Tadashi Ishinomori, and Keizo Ogino  
Effect of Divalent Metal Ions on Hydration of Phospholipid Molecules  
J. Jpn Oil Chem. Soc., 43, 403-408, 1994
4. Kyung Ok Kwon, Masahiko Abe, Myung Ja Kim, Keizo Ogino, and Hiroyuki, Ohshima  
Calcium Ion Absorption on Phospholipid Bilayers -Theoretical Interpretation-  
J. Jpn Oil Chem.Soc., 43, 23-40, 1993
5. Kyung Ok Kwon, Masahiko Abe, Myung Ja Kim, and Keizo Ogino  
Phospholipid Liposome Fusion by the Fluorescence Probe Method  
J. Jpn. Oil. Chem. Soc., 41, 501-506, 1992
6. Masahiko Abe, Yoshiko Takao, Kyung Ok Kwon, Hitoshi Yamauchi, and Keizo Ogino  
Monolayer Interactions between Phospholipid and Lipophilic Substances  
J. Jpn Oil Chem. Soc., 41, 404-409, 1992
7. Masahiko Abe, Yoichi Ohkuma, Kyung Ok Kwon, Keizo Ogino, Tomomichi Okano, Junko Tanabe, and Masahiro Fukuda  
Bilayer Properties of Sodium 2- Sulfonatofatty Acid Higher Alkyl Esters  
J. Jpn Oil Chem. Soc., 42, 929-934, 1993
8. Masahiko Abe, Yoichi Ohkuma, Kyung Ok Kwon, Keizo Ogino, tomomichi Okano, Junko Tanabe, and Masahiro Fukuda  
Monolayer Properties of Sodium 2- Sufonatofatty Acid Higher Alkyl Esters at the Air/Water Interface  
J. Jpn Oil Chem. Soc., 42, 447-452, 1993