

인지질 단분자막의 유전완화현상에 관한 연구

조수영*, 이경섭**

*동신대학교 대학원 전기전자공학과, **동신대학교 전기광전자공학부

A study on the Dielectric Relaxation Phenomena of phospholipid monolayers Film

Su-Young Cho, Kyung-Sup Lee

Abstract

In this paper, We introduced that the method for determining the dielectric relaxation time τ of floating monolayers on water interface. Displacement current flowing across monolayer is analyzed using a rod-like molecular model. It is revealed that the dielectric relaxation time τ of monolayers in the isotropic polar orientational phase is determined using a linear relationship between the monolayer compression speed a and the molecular area A_m . A displacement current gives a peak at $A=A_m$. The dielectric relaxation time τ of phospholipid monolayers was examined on the basis of the analysis developed here.

Key Words : dielectric relaxation time, displacement current

1. 서론

최근 세계는 디지털기술과 인터넷 등 IT(정보기술)의 급속한 발전이 진행되고 있다. IT기술은 재료·생물·환경·문화 등의 분야와 융합 및 결합하면서 IT-NT(nano, technology), IT-BT(bio, technology), IT-ET(environmental, technology) 등의 신산업을 창출해 나가고 있으며 또한, 컴퓨터의 처리속도, 저장용량 등 IT기술의 획기적 발전이 NT 및 BT의 기술 발전에 토대가 되고 있다. NT(나노기술)는 나노미터(10^{-9} [m]) 수준의 영역에서 물질의 구조, 형상 등을 조작·제어·가공하여 고성능 고기능의 소자 및 소재를 생성하는 초미세기술로서, 향후 물리, 화학, 생물, 전자, 기계 등 모든 과학영역의 차원을 변혁시켜 나갈 전망이다.

이를 계기로 본 연구에서는, 유기단분자를 이용하여 단분자레벨로 막제어가 가능한 LB(Langmuir-Blodgett)법에 주목하여 연구를 실행하였다. LB

법은 수면상에 단분자막을 형성시킨 후 일정한 표면압력을 가하면서 형성된 단분자막을 고체기판 위에 누적하는 기술로서, 널리 알려진 박막제작 기술 중에서 가장 손쉽게 일정한 균일막을 제작할 수 있는 방법이다. 특히 단분자막을 [A]정도의 두께로 조절할 수 있는 장점이 있다.¹⁻⁵⁾

이러한 LB법에 의해 인지질계 단분자인 DLPC를 이용하여 변위전류법에 의한 외부자력에 따른 변위전류를 측정하였고, 단분자의 유전완화현상을 주목해서 실험결과 및 특성에 대하여 고찰하였는데, 압축 속도에 따른 분자의 최대 점유면적은 선형관계를 얻을 수 있었으며, 점유면적이 좁아짐에 따라 완화시간이 짧아짐을 알 수 있었다.

2. 실험

2.1 이론

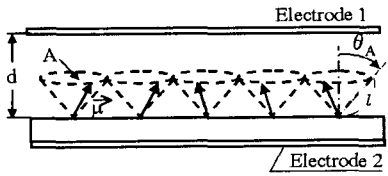


그림 1. 수면위의 분자모델

Fig. 1. Molecular model on water surface

그림 1은 수면위의 유기 단분자의 모델을 나타내었다.

단분자의 단층은 길이 l 을 가진 극분자로 구성되며, 각 분자는 분자의 긴 축을 따르는 방향에서 전기적 쌍극자 모멘트 μ 를 가지며, 그것은 수면으로부터 경사각 θ 를 갖게 되며, 분자는 $0 < \theta < \theta_A$ 범위내에서 운동을 하게 된다.

여기서 $\theta_A = \sin^{-1} \sqrt{A/A_0}$ ($A_0 = \pi l^2$) (A : 분자의 면적)이다.

분자의 운동은 Debye-Brownian 운동 방정식을 만족한다고 가정하면, 식 (1)과 같다.

$$\frac{d}{dt} (S(t) - S_{eq}) = - \frac{S(t) - S_{eq}}{\tau} + \frac{1 - \langle \cos^2 \theta \rangle}{\xi} RU(t) \quad (1)$$

여기서, $S(t)$ 는 시간 $t=t$ 일 때, 경사각 θ 에서 물의 표면 위에 존재하는 분자들의 열역학의 평균을 나타내고 있으며, $\cos(\theta)$ 에 의하여 주어진 방위성 순서 파라메타 이다. ξ 는 단분자의 마찰상수이고, R 은 $t=0$ 일 때 단분자에 적용되는 상호작용이다.

식 (2)와 같은 τ 는 유전완화 시간이다.

$$\tau = \frac{\xi}{kT} \frac{\langle (\cos \theta - \langle \cos \theta \rangle)^2 \rangle}{1 - \langle \cos^2 \theta \rangle} \quad (2)$$

단분자의 유전완화 시간 τ 는 분자 면적의 함수로서 결정되어질 수 있다.

2.2 실험장치

그림 2는 본 연구에서 사용한 지질단분자의 분자 구조이다. 인 지질계 분자인 DLPC는 인산염 지

르코린의 약자이고, DLPC의 D는 두가지의 체인, L은 lauryl(12:0)로서 C_{12} 를 의미하고 있으며 생체막의 구성분자로서 알려져 있다. 또 친수기 부분은 PC(인산염 지르코린) 이외에 PE(인산염 지르코린 에타놀아민)도 있으나, PE보다 PC쪽이 더 늘어난 구조를 하고 있다. 분자는 클로르포름을 용매로 하여 0.2 mmol/l 의 농도로 조성하여 온도 20°C , pH 6.0의 순수한 물에 전개시켰다.

그림 3은 본 연구에 사용된 측정장치이다. LB trough는 barrier속도와 온도의 제어가 가능한 PTFE(polytetrafluoroethylene) coating 처리된 스테인레스 트러프이고, 전극 1은 Shield된 ITO glass로서 수면과의 거리는 LCZ meter를 이용하여 약 1mm간격을 유지하였으며 through에 탈착이 용이하도록 하였다. 전극에서 검출된 변위전류는 전류계(Keithley 6517 electrometer)를 통하여 측정하였다. 변위전류 측정은 수면위에 시료를 전개한 후 barrier의 속도를 30, 40, 50mm/min로 압축하여 측정하였다.

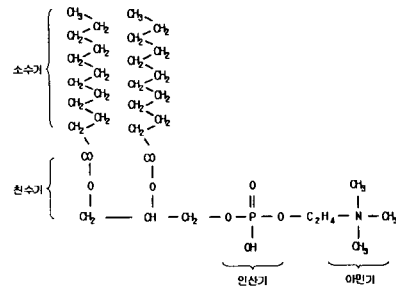


그림 2. DMPC의 분자구조

Fig. 2. Molecule structures of DMPC

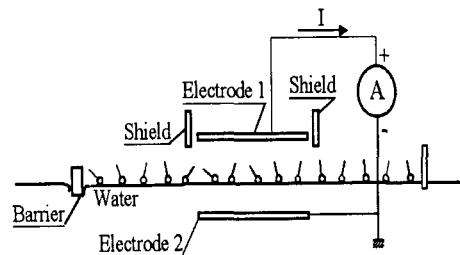
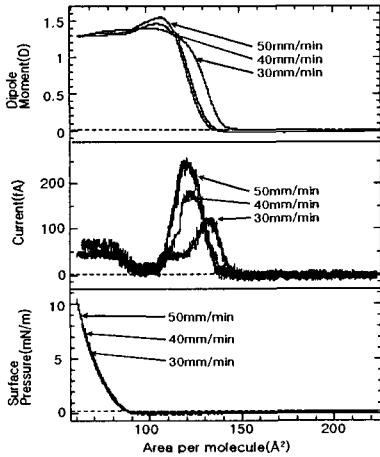


그림 3. 변위전류 측정장치

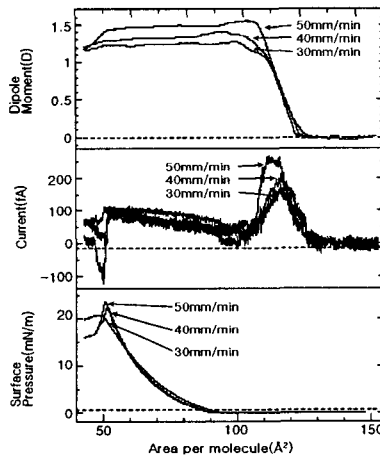
Fig. 3. Apparatus of displacement current measurement

3. 결과 및 고찰

그림 4의 (a)는 비교적 낮은 압력에서 자격속도 (30, 40, 50 mm/min)에 의한 변위전류의 발생지점을 관측한 실험 결과이다.



(a). 낮은 압력에서 결과



(b). 높은 압력에서 결과

그림 4. 베리어 압축시 π -A, I-A, D-A
Fig. 4. π -A, I-A, D-A of barrier compress

변위전류는 30 mm/min 일 때 150 \AA^2 , 40 mm/min 일 때 140 \AA^2 , 50 mm/min 일 때 138 \AA^2 부근에서 발생하기 시작하였으며, 자격속도 30 mm/min 일 때 134 \AA^2 부근에서 125 fA, 40 mm/min 일 때 123 \AA^2 부근에서 190 fA, 50

mm/min 일 때 120 \AA^2 부근에서 260 fA의 피크값이 나타났다.

그림 4의 (b)는 비교적 높은 압력에서 자격속도 (30, 40, 50 mm/min)에 의한 변위전류의 발생지점을 관측한 실험 결과이다.

변위전류는 30 mm/min 일 때 133 \AA^2 , 40 mm/min 일 때 131 \AA^2 , 50 mm/min 일 때 132 \AA^2 부근에서 발생하기 시작하였으며, 자격속도 30 mm/min 일 때 129 \AA^2 부근에서 160 fA, 40 mm/min 일 때 126 \AA^2 부근에서 220 fA, 50 mm/min 일 때 122 \AA^2 부근에서 270 fA의 피크값이 나타났다.

따라서 본 실험의 결과로 보아 자격속도 α 가 빠를수록 변위전류의 크기가 비례함을 알 수 있었으며 이론식과 잘 일치함을 알 수 있었다

그림 4에서 변위전류가 최대값을 보이는 분자당 점유면적을 베리어 속도에 의해 나타내면 그림 5와 같다. α 와 A_m 은 선형적인 관계를 나타내며 압축속도가 빠르면 A_m 이 작아지는 것을 알 수 있다. 여기에서 점성계수 ζ 를 구하면 $1.89 \times 10^{-19} \text{ Js}$ 이다.

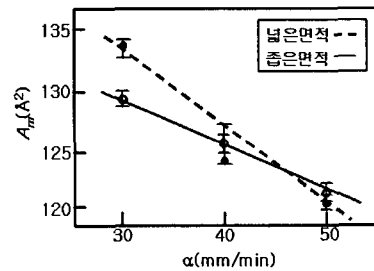


그림 5. α 와 A_m 의 관계
Fig. 5. Relationship between α and A_m

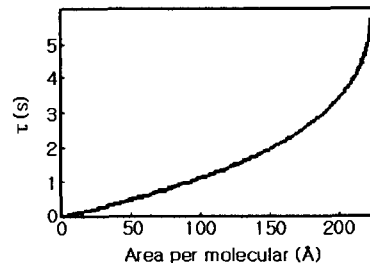


그림 6. 유전완화시간
Fig. 6. Dielectric relaxation time

그림 5에 의해 구한 ξ 로부터 단분자의 유전완화 시간을 계산한 결과를 그림 6에 나타냈다. 유전완화 시간은 150 \AA^2 에서 1.959, 100 \AA^2 에서 1.106, 50 \AA^2 에서 0.488으로 분자 영역에 의존하여 점유면적이 좁아짐에 따라 짧아지는 것을 알 수 있었다.

Review of scientific instruments, AIP, vol.62, No.9, pp. 2228~2283, 1991

4. 결 론

수면 위 DLPC 유기 단분자막의 압력자극에 의한 변위전류와 표면압등을 측정하였는데 압축속도가 빠를수록 변위전류의 최대값은 크게 나타났으며, 단분자의 유전완화 시간을 결정하기 위해 압축 속도 a 와 분자 면적 A_m 사이에서 선형관계가 주어지는 것을 알 수 있었다. 이러한 선형관계로부터 점성계수 $\xi = 1.89 \times 10^{-19} \text{ Js}$ 를 구할 수 있었다. 구해진 마찰 상수에 의해 유기 단분자의 유전 완화시간을 결정할 수 있었으며 유기 단분자의 유전완화 시간은 약간의 시간이 소요되었고, 분자 영역에 의존함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] M.Iwamoto. T.Sasaki, "Thermally stimulated discharge of Au/LB/Air-Gap/Au structures incorporating Cadmium Arachidate Langmuir Blodgett films", Jpn. J. Appl. Phys. Vol 29, No 3, pp.536-539, March(1990)
- [2] V. K. Srivastava, In physics of Thin Films, Built-up Morecular Films and Rheir Application, 314-315, 1984
- [3] Abraham Ulman, An Introduction to ultrathin organic films, 339-402, Academic Preess, New York, 1991
- [4] Keiji Ohara and Masaaki Nakajima, "Displacement current generated during compression of fatty acid and phospholipid monolayers at the water-air interface", Thin Solid Films, 226, pp. 164-172, 1993
- [5] Y.Majima and M.Iwamoto, "A New Displacement Current Measuring System Coupled with the Langmuir-Film Technique",