

인지질 유기박막의 유전특성에 관한 연구

°송진원, 이경섭°

동신대학교 대학원 전기전자공학과, 동신대학교 공과대학 전기전자공학과°

A Study on the Dielectric Properties of Phospholipid Organic Thin Films

°Jin-Won Song, Kyung-Sup Lee°

Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ. Grad., Dept. of Electrical & Electronic Eng.

**Abstract** - The dielectric constant of a monolayer on a material surface was calculated with consideration of the local field acting on polar molecules with a permanent dipole moment, and the interaction working between the molecules and a material. It is revealed that the dielectric relaxation time  $\tau$  of monolayers in the isotropic polar orientational phase is determined using a linear relationship between the monolayers compression speed  $\alpha$  and the molecular area. The dielectric relaxation time of phospholipid monolayers was examined on the basis of analysis developed here.

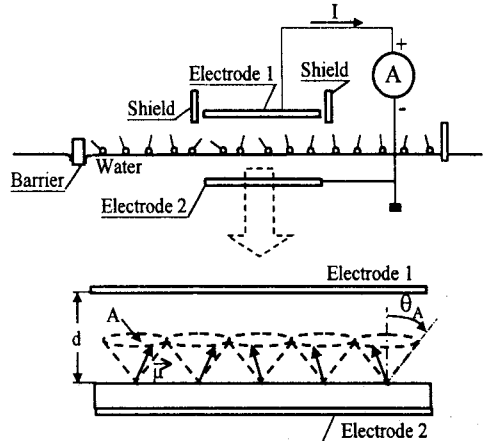


그림 1. 수면위의 분자모델

Fig. 1. molecular model on water surface

1. 서 론

분자 수준의 두께를 가지고 있는 유기단분자를 수면위에 전개하고 이 유기단분자막에 외부자격을 주었을 때 여러 단계의 형태로 단분자막이 변화하는 것은 이미 여러 실험결과로 알려져 있는 사실이다.<sup>1)~4)</sup> 이러한 단분자의 특성에 대한 연구방법은 여러 가지가 있고 특히 Debye 이론을 기초로 Langmuir막의 유전완화시간에 대한 이론과 완화시간  $\tau$ 를 결정하기 위한 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 완화시간  $\tau$ 는 계의 평형 상태로의 이행 속도를 나타내는 중요한 파라미터이다. 이러한 완화시간은 여러방법의 실험으로 관찰될수 있는데 특히 TSC에서 폐회로에 흐르는 전류가 변위전류 측정에서도 관찰되고 있어 이의 연구또한 활발히 이루어 지고 있다.<sup>4)~6)</sup>

따라서 본 연구에서는 압력자격 속도  $\alpha$ 를 변화시켜 발생되어지는 변위전류를 관측하여 유기박막의 유전완화특성을 알아보았다.

2. 이론 및 실험

수면위에 전개된 단분자막에 외부자격을 주었을 때 유기단분자는 즉시 평형 상태에 도달하지 못하고, 시간의 경과에 의해 비평형 상태에서 평형 상태로 되는데 이러한 현상을 완화현상이라고 하며, 완화되는데 걸리는 시간을 완화시간이라고 한다.

그림 1에서처럼 수면위에 전개된 단분자는 쌍극자 모멘트  $\mu$ 를 가지고 있고 분자면적을 A라 할 때 분자의 운동은  $\theta_A$ 의 범위안에서 일어나게 되며 여기서  $i$   $\theta_A = \sin^{-1} \sqrt{A/A_0}$  ( $A_0 = \pi l^2$ ) 이다.

수면위의 단분자막에 외부자격으로서 압력을 가하면 전기분극이 발생하고(압전), 평형상태로부터 벗어나려는 방향으로 힘이 작용한다.<sup>5)</sup>

이때, 파라미터 S의 평형상태로부터 미소 변위를  $\Delta S$ 로 둔다면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta S = S - S_{eq} \tag{1}$$

여기서, 비평형 상태의 파라미터 S는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \frac{\int_0^{\theta_A} \cos \theta \sin \theta d\theta}{Z} \tag{2}$$

따라서  $\Delta S$ 는 식 (3)과 같이 된다.

$$\Delta S = S - S_{eq} \cong \frac{RU(t)}{kT} \langle (\cos \theta)^2 - (\cos^2 \theta) \rangle \tag{3}$$

식 (3)의 좌변은 0이므로 식 (4)와 같이 된다.

$$\Delta S = \frac{\tau}{\epsilon} \langle 1 - (\cos^2 \theta) \rangle RU(t) \tag{4}$$

따라서, 식 (3)과 식 (4)를 정리하면 완화시간  $\tau$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = \frac{\xi}{kT} \frac{(\cos \theta)^2 - (\cos^2 \theta)}{1 - (\cos^2 \theta)} \quad (5)$$

- $U(t)$ : 단위계단함수
- $R$ :  $t=0$ 일 때 단분자에 적용되는 상호작용
- $Z$ : 분배함수
- $\tau$ : 단분자막의 완화시간
- $\xi$ : 단분자의 마찰상수

따라서 완화시간  $\tau$ 는 단분자의 면적 함수로 결정되어진다.

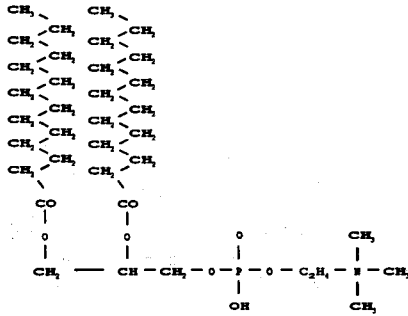


그림 2. L- $\alpha$ -DMPC의 분자구조  
fig. 2. Molecule structure of L- $\alpha$ -DM

그림 2는 본 연구에 사용한 지질단분자 L- $\alpha$ -DMPC(L- $\alpha$ -Dimyristoylphosphatidylcholine)의 구조로서 클로로포름을 용매로 하여 LB trough의 수면 위에  $2 \times 10^{-3} \text{ mmol/l}$ 의 농도로 조성하여 온도  $20^\circ\text{C}$ , pH 6.0의 순수한 물에 전개하였다.

LB trough는 barrier와 상부전극(전극 1), 하부전극(전극 2), 표면압계로 구성되어 있고 상부전극과 수면과의 거리는 LCZ meter를 사용하여 1mm로 조절하였고 상부전극에서 검출된 변위전류는 고감도전류계(Keithley 6517)를 사용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

수면위의 단분자막에 외부 자극으로서 압력을 가할 때 유전완화현상은 압축속도에 의존하여 변화하는 현상이라고 생각할수 있어, 실험조건으로 압축 속도를 30, 40, 50 mm/min으로 하여 변위전류를 측정하였고, 유전완화현상을 관찰하였다.

그림 3~5는 베리어 속도  $\alpha$ 에 따른 변위전류 곡선이다. 수면위 단분자를 압축하였을 때 변위전류의 최대값은 a영역에서 발생하였다. 이는 표면압의 변화가 시작되기 전으로서 기상상태에서 쌍극자 모멘트의 변이가 일어난 기/액상 상태로 변화가 일어난 것으로 생각되며, 변위전류의 최대값은 압축 속도에 비례하여 압축 속도가 빠를수록 크게 나타났다. 최대값 이후 변위전류가 일정한 값을 갖는 액상상태인 b영역이 존재하다가, 그 후에 분자막의 붕괴와 함께 변위전류는 급격히 떨어졌다가 차츰 0이 되었는데(영역 c) 여기에서 평형상태에 도달했다고 생각할 수 있다. 또한 각각의 속도에 따라 평형상태에 도달했다고 생각되는 지점의 점유 면적과 압축속도가 늦어질에 따라 작게 나타났는데, 이는 속도가 늦을수록 완화시간이 길다는 것을 알 수 있었다.

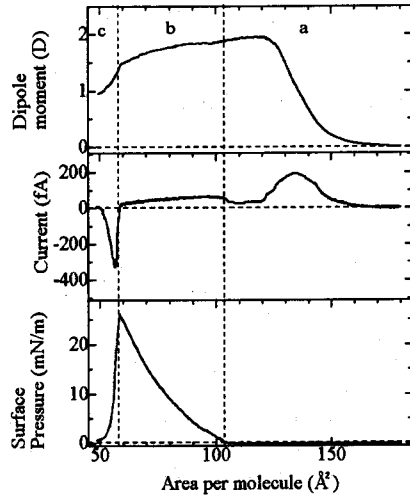


그림 3. 베리어 속도 30mm/min  
Fig. 3. Barrier speed 30mm/min

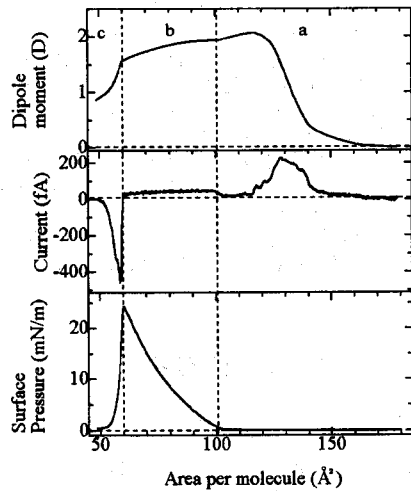


그림 4. 베리어 속도 40mm/min  
Fig. 4. Barrier speed 40mm/min

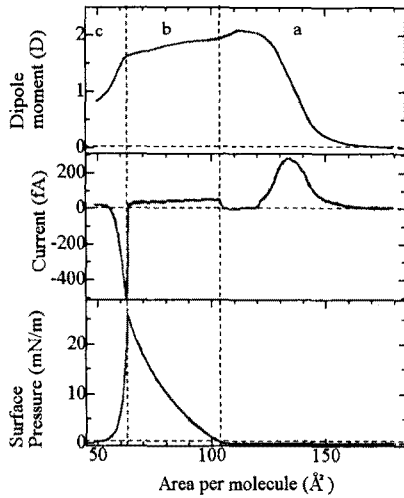


그림 5. 베리어 속도 50mm/min  
Fig. 5. Barrier speed 50mm/min

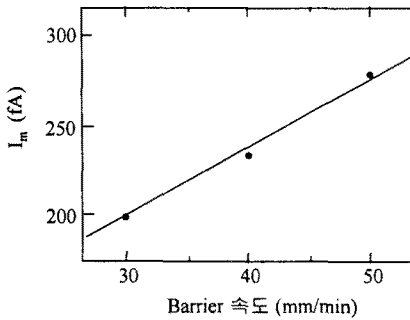


그림 6.  $\alpha$ - $I_m$ 의 관계  
Fig. 6. relationship of  $\alpha$ - $I_m$

그림 6은 베리어의 속도  $\alpha$ 와 변위전류 최대값의 관계를 나타낸 것이다. 속도를 달리 했을 때 나타나는 변위전류의 최대값이 선형적으로 나타나는 것으로 보아  $\alpha$ 와  $I_m$ 은 비례관계가 있음이 확인되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 인지질 L- $\alpha$ -DMPC 유기단분자막에 압력자격을 각각 30, 40, 50 mm/min으로 인가시켜 유전 완화특성의 속도에 대한 의존성을 관찰한 결과는 다음과 같다.

- (1) 수면위 단분자막에 압력자격을 가하였을 때 발생하는 변위전류의 최대값은 압축 속도에 비례하여 속도가 빠를수록 크게 나타났다.
- (2) 변위전류는 최대값 이후 일정한 값을 유지하다가 단분자막의 붕괴와 함께 급격히 저감되며 압축 속도가 늦을수록 유전완화시간이 길어짐을 관측할 수 있었다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Simon Berneche, Mafalda Nina, and Benoit Roux, "Molecular Dynamics Simulation of melittin in a Dimyristoylophosphatidylcholine Bilayer Membrane", *Biophysical Journal*, vol. 75, pp. 1603-1618, 1998
- [2] W. Xu 외 6, "Atomic Force Microscope Measurements of Long-Range Forces Near Lipid-Coated Surfaces in Electrolytes", *Biophysical Journal*, vol. 72, pp. 1404-1413, 1997
- [3] Chang-Hualn Hsieh and Wen-guey Wu, "Solvent Effect on Phosphatidylcholine headgroup Dynamics as Revealed by the Energetics and Dynamics of Two Gel-State Bilayer Headgroup Structures at Subzero Temperatures", *Biophysical Journal*, vol. 69, pp. 4-12, 1995
- [4] Chen-Xu Wu and Mitsumasa Iwamoto, "Analysis of Dielect Dispersion Property of Organic Monolayer Films on a material Surface", *Jpn. J Appl. Phys.* vol. 36(1997) Pt. 1, No. 9A, pp. 5570-5574, September 1997
- [5] Mitsumasa Iwamoto and Chen-Xu Wu, "Analysis of dielectric relaxation phenomena with molecular orientational ordering in monolayers at the liquid-air interface", *Physical Review E*, vol. 54, No. 6, pp.6603-6608, 1996
- [6] Mitsumasa Iwamoto and Yoshinobu Mizutani, "Calculation of the dielectric constant of monolayer films on a material surface", *Physical Review B*, vol. 54, No. 11, pp.8186-8190, 1996