

의용 소자로의 응용을 위한 생체 지질막의 수면상에서의 전기적 현상 특성 연구

Study on Electrical Phenomena Properties of Bio-lipid Film on Water Surface for Application of Medical Engineering Device

이호식¹, 강현욱², 장경욱⁵, 권영수³, 김태완⁴, M. Iwamoto¹, 이원재^{6,a}
(Ho Shik Lee¹, Hyen-Wook Kang², Kyung Uk Jang⁵, Young-Soo Kwon³, Tae Wan Kim⁴,
M. Iwamoto¹, and Won Jae Lee^{6,a})

Abstract

Monolayers of lipids on a water surface have attracted much interest as models of biological membranes, but also as precursors of multilayer systems promising many technical applications. They exhibit very interesting physico-chemical properties as two-dimensional and interfacial systems. Until now, many potential methodologies have been developed in order to gain a better understanding of the relationship between the structure and function of the monolayers.

Key Wards : Langmuir-blodgett(LB) method, DMPE, Bio membrane

1. 서론

반도체 기술과 이를 응용한 정보처리 기술이 발달됨에 따라 정보를 취득하는 센서에 관련된 기술의 진보와 고도화가 요구되고 있다. 특히 각종 바이오 센서들은 생체 재료와 변환기를 조합하여 구성하는데 조합이나 구성에 대한 여러 가지 원리가 제안되고 있는 단계에 있다. 또한 응용 면에서도 일상 화학 분석 분야나 공업 프로세서, 환경 계측 등 광범위한 분야에 응용되고 있다[1].

생체에서 전기적 현상을 발견한 이래 생체 시스템의 전기적 속성에 관한 연구는 중요한 과제가

되어왔다. 전자 측정기의 개발로 인한 현대식 측정 기술 개발 이후 수동적(passive)인 전기적 특성 측정이 가능하게 하였다. 그러나 지난 수십여 년 간의 노력으로 생체의 전기적 현상에 대한 이해의 크나큰 진전은 있었으나 이러한 현상을 완전히 설명하여 주는 분자적 기전에 대한 이해는 아직 미비한 것으로 알려져 있다[2].

특히 생체 세포나 조직 그리고 이들을 구성하는 성분들의 능동적(active)이거나 수동적(passive)인 전기적 특성에 대한 이해는 전기적 원리들의 진단적 및 치료적 응용 때문에 의학 및 의용 공학 분야에 있어서는 학문 자체 뿐만 아니라 임상적인 측면에서 상당히 중요하다고 생각된다[3].

최근에는 분자 소자, 바이오 칩 등을 위한 소자 구축기술의 하나로써 Langmuir-Blodgett(LB)막이 각광 받고 있다. LB막이란 수면 위에 유기 단분자를 배열, 배향시켜, 이를 기판 위에 한층씩 누적시킨 초박막을 말한다. 이러한 LB의 제작 기법은 배열과 배향을 자유롭게 할 수 있으며, 막의 두께를 단분자 단위(Å)로 쉽게 제어할 수 있다는 장점 때문에 많은 연구가 시도되고 있다[4].

또한, 공기/수면의 계면상 단분자막 또는 LB막에 의해 고체 기판 상에 누적된 LB막의 물성을 측

1. 동경공업대학 전자물리공학과
2. School of Bionics, Tokyo University of Technology
3. 동아대학교 전기공학과
4. 홍익대학교 기초과학과
5. 경원전문대학 자동차과
6. 경원전문대학 전자정보과

(경기도 성남시 수정구 복정동 산 65)

a. Corresponding Author : wjlee@kwc.ac.kr

접수일자 : 2006. 9. 28

심사완료 : 2006. 10. 13

정하는 것은 분자 단위의 물성을 파악하는 것이며, 이러한 물성 연구를 통하여 분자 레벨의 기능성을 발견하는 것은 앞으로 분자 전자 소자를 실현하는데 대단히 중요한 의미를 갖는다[5,6].

본 연구에서는 생체 지질막으로 많이 연구되고 있는 DMPE 물질의 수면 상에서 전기적 현상에 관한 연구를 하고자 한다. 또한 본 연구를 통하여 생체 지질막의 초박막을 이용한 생체 소자로의 응용 가능성을 연구하고자 한다. 특히, 수면상 분자 배열의 변화 과정을 확인한다는 것은 매우 중요한 기초 연구가 될 것으로 판단된다.

2. 사용 물질과 실험장치

그림 1에서와 같이 본 실험에서 사용한 LB 성막 물질인 L- α -dimyristoylphatidyl ethanolamine (DMPE) 는 알킬기를 갖는 이중 생체 지질막이다. 본 연구에서 사용한 DMPE 용액은 클로르포름 (CHCl_3)과 에탄올 (Ethanol)를 9:1 (부피비)로 한 용매에 녹여 $3 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ 의 농도로 하여 사용하였다.

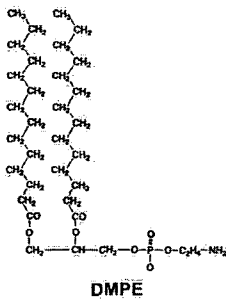


그림 1. DMPE의 물질 구조.

Fig. 1. Structure of DMPE molecular.

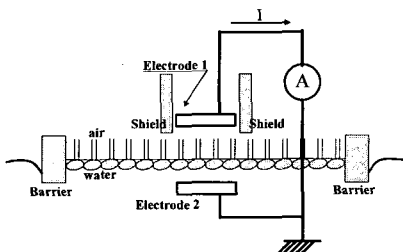


그림 2. 실험 장치의 개략적인 구조.

Fig. 2. Block diagram of experiment setup.

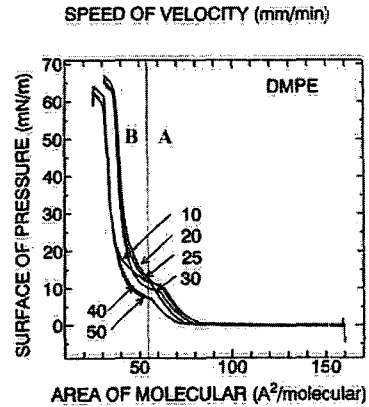


그림 3. 압축속도를 변화 시켰을 때의 π -A 관측.
Fig. 3. π -A isotherms with varying barrier speed.

또한 그림 2는 본 실험에 이용된 측정 장치의 개략도이다. 여기서 하부 전극은 수면 안에 설치하였으며, 상부 전극은 수면 위에 약 1 mm 정도 거리를 두고 성막 물질 위에 설치하여 변위 전류를 측정하였다. 그리고 π -A 등온선 측정시 표면압 (π) 값은 필름 balance meter를 이용하였고, 측정시 제어 값과 실험 측정 값은 모두 컴퓨터를 통해 실시하였다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 압축 속도에 대한 π -A의 변화

그림 3은 DMPE의 물질을 이용하여 배리어 (barrier)의 여러 압축 속도에서 측정된 π -A 등온선이다. DMPE의 경우, 압축속도를 20, 30, 40, 50, 60 mm/min으로 변화시켰을 때 π -A 등온선 변화를 측정된 결과이다. DMPE는 π -A 등온선의 측정 곡선이 속도의 변화에도 불구하고 일치하고 있어, 이 결과는 배리어의 압축 속도가 π -A 등온선 측정시 영향을 주지 않는다고 생각된다. 또한 DMPE의 경우는 상전이 위치와 π -A 등온선 곡선의 속도 변화에 대한 결과가 약간의 차이가 있다. 이러한 차이는 측정시 성막 물질을 수면 상에 전개할 때, 수면 상에 물질을 뿌릴 때, 매우 적은량인 μl 정도로 조절하기 때문에, 물질량의 부정확성에 기인된다고 추정되며, 추후 더욱 연구되어야 할 것이다.

3.2 π -A, π -I, π -D의 관계

그림 4는 barrier 를 일정속도로 압축할 때, 표면압, 변위 전류를 관측한 결과이며, 변위 전류에

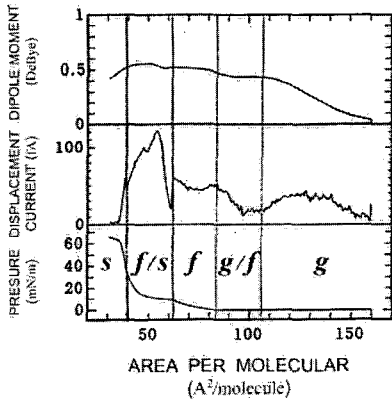


그림 4. 수면상 성막 물질의 π -A, π -I, π -D의 관계.
 Fig. 4. π -A, π -I, and π -D isotherms of L-film on water surface.

의해 쌍극자 모멘트(Dipole Moments)를 구하여 그린 것이다. DMPE에 대해 살펴보면, π -A와 변위 전류의 변화에 대해 그림 4와 같이 나누어 생각할 수 있다. 즉, gas : 기체상태, gas/fluid : 기체와 액체의 혼합 상태, fluid : 액체 상태로 추정된다.

이때, 그림 4에서 π -I 결과는 160 Å^2 에서 부터 30 Å^2 까지 50 mm/min의 일정 배리어 속도로써 압축하는 동안 DMPE 분자막으로 부터 발생한 변위 전류를 나타낸 것이다. 변위 전류 측정 결과를 보면 각각의 상전이 위치가 π -A 측정보다 세밀하게 보여진다.

즉, g/f \rightarrow f (약 83 Å^2), s/f \rightarrow s (약 45 Å^2)의 상전이가 π -A 특성에서는 보이지 않지만, 변위 전류 측정에서는 명확하게 보이고 있다.

이와 같은 결과로 볼 때, π -I의 주요한 특성 중에 하나는 π -A에서의 변화는 매우 적게 보이지만 π -I에서는 변화가 뚜렷하게 보인다는 것이다. 따라서, π -I의 측정 즉, 변위 전류의 측정은 상변이 현상을 매우 효과적으로 판단할 수 있다. 또한, 쌍극자 모멘트를 계산하면 쌍극자 모멘트가 g/s 상태에서부터 상승하여 f와 f/s상태에서 DMPE는 40 Å^2 에서 0.55D, DLPE는 0.5D로 측정 계산된다. 한편, f 상태와 s상태에서 구한 쌍극자 모멘트값은 M. MOHWALD가 구한 값과 비교하면 아래와 같이 나타난다.

본 실험에서 측정된 결과에서 고체 상태의 쌍극자 모멘트 값은 MOHWALD의 결과와 거의 일치하고 있으며, 액체 상태의 결과는 약간의 차이를 나타내고 있다.

표 1. 쌍극자 모멘트 값의 비교.

Table 1. Compare to dipole moment.

	고상(solid ; s)	액상(fluid ; f)
MOHWALD	0.55 D	0.35 D
실험	0.5 D	0.5-0.4 D

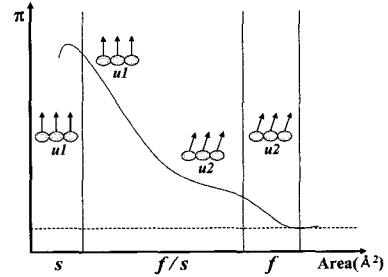


그림 5. 고체상태, 액체/고체 혼재 상태, 액체 상태의 단분자 상태와 쌍극자 모멘트의 가정.

Fig. 5. Assumption of dipole moment and monolayer, fluid, liquid/fluid and solid state.

3.3 실험 결과와 시뮬레이션

압축 배리어를 등속도로 압축하는 경우, 분자 운동에 의해 상부 전극에 유도되는 전하는

$$Q = -NS\mu/d \tag{1}$$

여기서, N 은 분자밀도, S 는 전극면적, d 는 상부 전극과 분자 사이의 거리이고, A 는 단분자 점유면적, μ 는 쌍극자 모멘트이며, 상부 전극에 흐르는 변위 전류는

$$I = -dQ/dt = S/d(\mu \cdot dN/dt + N \cdot d\mu/dt) = (S/d) \cdot (a/A)(-\mu/A + d\mu/dA) \tag{2}$$

여기서, $a(=dA/dt)$ 는 배리어 속도이다. 식 (2)의 첫째 항은 분자가 집합되면서 나타나는 것이며, 두 번째 항은 쌍극자 모멘트의 변화에 의한 항이다.

그림 5에 각각 쌍극자 모멘트의 상태를 가정하여 그린 것이다. 이러한 가정 하에 액체 상태의 쌍극자 모멘트를 μ_2 , 고체 상태의 쌍극자 모멘트를 μ_1 이라 할 때, f/s 공존시 즉, 액체(fluid) 상태와 고체(solid) 상태가 공존하는 경우를 생각해본다. f/s 공존 시에 초기에는 fluid 상태가 100 % 이어

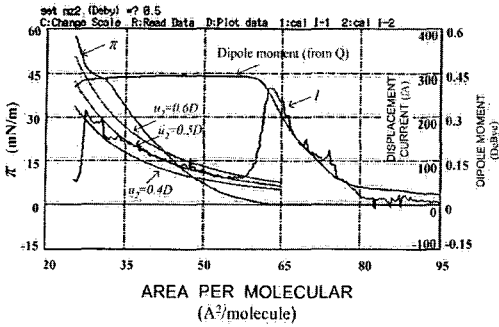


그림 6. 쌍극자 모멘트를 변화 시켰을 때의 시뮬레이션 결과.
 Fig. 6. Results of simulation with various dipole moment.

서, 분자수 $N_2 = S/A_2$, $\mu = \mu_2$ 가 되고, f/s 공존 시의 끝에서는 즉, solid 상태 초기는 $N_1 = S/A_1$, $\mu = \mu_1$ 이다. 단, f/s 상태가 fluid 상태에서 solid 상태로 직선 변화한다고 본다.

이때, f/s 상태의 쌍극자 모멘트는

$$\mu' = (1 - f_2) \cdot \mu_1 + f_2 \cdot \mu_2, f_2 = N_2 / (N_1 + N_2) \quad (3)$$

그리고, A 와 N 사이에는

$$A_1 N_1 + A_2 N_2 = N_0 A \quad (4)$$

$$N_1 + N_2 = N_0 \quad (5)$$

$$(A_1 N_1 + A_2 N_2) / (N_1 + N_2) = A \quad (6)$$

또한,

$$f_2 = (A - A_1) / (A_2 - A_1) \quad (7)$$

이 된다. 따라서 정리하면 식 (3)은

$$\mu' = (\mu_2 - \mu_1) A / (A_2 - A_1) + (A_2 \mu_1 - A_1 \mu_2) / (A_2 - A_1) \quad (8)$$

이다. 결국 식 (2)에 식 (4)에 대입하면

$$I = (S/d) \cdot (\alpha/A^2) \cdot (A_1 \mu_2 - A_2 \mu_1) / (A_2 - A_1) \quad (9)$$

이 성립된다. 위 식에 μ_1 값은 그림 4의 (b)에서 구해진 값 즉, 0.5D를 이용하고, μ_2 를 각각 0.4D,

0.5D, 0.6D를 넣어 시뮬레이션 시켜본다.

그림 6에서 보면, 시뮬레이션 할 때, μ_2 를 0.5D로 할 때가 관측된 변위 전류와 가장 잘 일치하고 있다. 이는 앞의 그림 4에서 측정된 쌍극자 모멘트와 일치하는 것으로 보아, 식 (9)는 f/s 공존 시에 이용할 수 있는 식으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서 맥스웰 변위 전류 기술과 필름 균형기술(film balance technique)에 의해 공기 수면상의 생체 지질막 상 변위 거동을 관측했다. 측정할 수 없는 낮은 표면 압력 범위에서 고체상태 전위의 상승은 검출되어 진다. 액체 상태와 고체 상태가 혼합된 곳에서의 극성 질서는 변위 전류의 발생으로 부터 결정된다. 보다 더 fluid/solid 상태 전이를 압축하면, 고체 상태의 도메인(domains)이 형성될 것이다. 결국, 우리는 변위 전류로부터 지질막의 상전이 변화를 보다 명확하게 나누어진다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 시뮬레이션을 통하여 fluid/solid 상태전이 할 때의 변위 전류를 예측할 수 있는 시뮬레이션 식을 유도하여 보았다. 또한, 본 연구를 통하여 생체 지질막의 초박막을 이용한 생체 소자로의 응용가능성을 확인해보았다.

참고 문헌

- [1] 서병설, "생체 임피던스", 의공학회지, 6권, 2호, p. 63, 1985.
- [2] 이상훈, 이연민, 차현철, "세포융합시 전계하에서 식물세포가 받는 영향에 관한 연구", 의공학회지, 17권, 2호, p. 173, 1996.
- [3] 홍승호, "바이오센서", 의공학회지, 10권, 2호, p. 109, 1989.
- [4] A. Ulman, Ultrathin Organic Films, 1991.
- [5] M. Iwamoto and Y. Majima, "Investigation of the dynamic behavior of fatty acid monolayers at the air-water interface using a displacement current-measuring technique coupled with the Langmuir-film technique", J. Chem. Phys., Vol. 94, p. 5135, 1991.
- [6] M. Iwamoto, Y. Majima, H. Naruse, T. Noguchi, and H. Fuwa, "Investigation of photoinduced molecular switching in a single monolayer by a displacement-current-measuring technique", J. Chem. Phys., Vol. 95, p. 8561, 1991.