

변위전류법에 의한 지질단분자막의 전기특성에 관한 연구

논문
9-5-3

A Study on the Electrical Properties of Lipid Monolayers by Displacement Current Method

이 경 섭*, 권 영 수**
(Kyung-Sup Lee, Young-Soo Kwon)

Abstract

Maxwell-Displacement-Current(MDC) measuring technique has been applied to the study of monolayers of Dilaurylphosphatidylcholine(L- α -DLPC) and Dimyristoylphosphatidylcholine (L- α -DMPC). The displacement current was generated from monolayers on a water surface by monolayer compression. Displacement current was generated when the area per molecule was about 250Å², 280Å². Displacement current was generated in the gas state, gas/liquid state, and liquid state in the course of monolayer compression. The orientational change of molecules in monolayers was discussed on the basis of the MDCs obtained. Finally, we measured differential thermal analysis of sample.

Key words(중요용어) : Displacement current (변위전류), Differential thermal analysis (열시차 분석), Lipid membrane (지질막)

1. 서 론

전기 전자 산업의 발전에 의한 정보화 사회라고 하는 현대 사회는 고속화, 고효율화를 목표로 하여 실리콘으로 대표되어진 무기 재료를 중심으로 전기 전자 디바이스의 미세화가 연구되어지고 있지만 무기 재료의 극소 제작의 한계성 때문에 유기물 신소재를 이용한 분자 레벨의 전기 전자 디바이스 개발에 관한 연구가 국내외에서 활발하게 진행되어지고 있다.^{1~2)} 유기 재료는 분자 종류가 무한함은 물론 분자 설계가 자유롭고 기능이 다양하기 때문에 반도체에서 제작이 곤란한 디바이스의 제작과 다양한 기능의 디바이스를 실현할 수 있다고 하는 장점때문에 유기 분자 1개 또는 분자 집합체에 전기 전자 디바이스로서의 기능을 갖게 하는 분자 일렉트로닉스와 바이오 일렉트로닉스의 개념으로서 분자 크기로 기능을 하는 분자 소자의 개발이라는 관점에서 주목을 받고 있다.^{1~5)}

분자 디바이스를 제작할 수 있는 유력한 기술로 알려진 Langmuir-Blodgett(LB)법은 유기단분자를 일정한 배열로 박막화 할 수 있고, 단분자제어가 가능하다고 하는 점에서 기대되어지는 방법 중의 하나이다.^{3~6)}

LB막은 수면에 전개된 Langmuir (L)막을 고체 기판 위에 누적시킴으로서 얻어지게 되는데 LB막의 특성을 해명하는데 있어서 우선 L막의 물성을 평가하는 것이 중요하다고 알려져 왔다.^{1~8)} L막의 물성 평가는 수면에 단분자층을 형성하여 분자의 점유 면적에 따른 표면압의 상전이 관계로서 주로 평가를 하고있다.

본 연구에서는 L막에 외부 압력을 가했을 때 발생하는 표면압의 변화, 변위전류, 쌍극자모멘트를 관측하고 그 결과를 평가하였다. 이 측정에는 평판 전극을 사용하여 공기 중의 전극과 수면 속에 전극을 두고 L막을 샌드위치 형태로 하여 양 전극을 단락 시켜 측정하였다. 또한 온도에 따른 분자의 변위 및 배향상태를 보기 위한 열 분석을 시도하였으며 수면 위의 변위전류는 단분자막 배향구조의 변이에 따른 표면압과 변위전류 및 쌍극자모멘트의 변위 형태가 서로 잘 일치하였고 특정 온도에서 단

* : 동신대학교 공대 전기전자공학과

** : 동아대학교 공대 전기공학과

접수일자 : 1996년 3월 20일

심사완료 : 1996년 4월 23일

분자의 배향상태가 변화됨을 관측하였으므로 이 측정 결과를 보고한다.

2. 측정 원리 및 실험

지질단분자를 사용하여 수면에 L막을 형성한 후 barrier를 압축, 확장하면 다음 식(1)은 전하량 Q 가 상부 전극 1에 유기 되고, 이들 유기 전하량은 전류계를 통하여 검출된다.¹⁾

$$Q = -\frac{N}{d} \cdot m_z - \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \cdot \phi_s \quad (1)$$

ϵ_0 : 진공의 유전율

ϵ : 공기의 비유전율

d : 상부 전극과 수면과의 거리

S : 상부 전극 면적

ϕ_s : 수면의 전위

N : 지질단분자막의 분자 밀도

m_z : 분자의 쌍극자모멘트 수직 성분

또한 지질 단분자막의 외부에서 압력을 가하면 막의 상태와 구조가 변하게 되므로 이 때, 상부 전극과 하부 전극 사이의 분자간 전속 밀도가 변화할 때 변위전류는 흐르게 되며 외부 회로를 통하여 흐르는 변위 전류 I 는 식(2)와 같다.^{2,5)}

$$I = -\frac{dQ}{dt} = \frac{m_z}{d} \cdot \frac{dN}{dt} + \frac{N}{d} \cdot \frac{dm_z}{dt} + \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \cdot \frac{d\phi_s}{dt} \quad (2)$$

여기에서

- i) 분자의 배향상태가 변화하고, 쌍극자의 수직 방향 성분 m_z 가 변화할 때 흐르는 전류 (제1항)
- ii) 전극 밑에 존재하는 분자의 수가 변화할 때 흐르는 전류 (제2항)
- iii) 수면의 계면전위가 변화할 때 흐르는 전류 (제3항)로서 변위전류를 구분할 수 있다.

그림 1은 본 연구에 사용한 지질단분자의 구조이다. 분자는 L- α -DLPC (Dilauroylphosphatidylcholine), L- α -DMPC (Dimyristoylphosphatidylcholine)로서 분자구조는 알킬체인이 각각 2개인 ($2 \times C_{12}$), ($2 \times C_{14}$) 지방질의

소수기와 인산에스테르, choline기를 갖는 친수기의 양친매성 물질로 구성되어 있으며 각 분자는 클로로포름을 용매로 하여 0.2 mmol/l의 농도로 조성하였다.

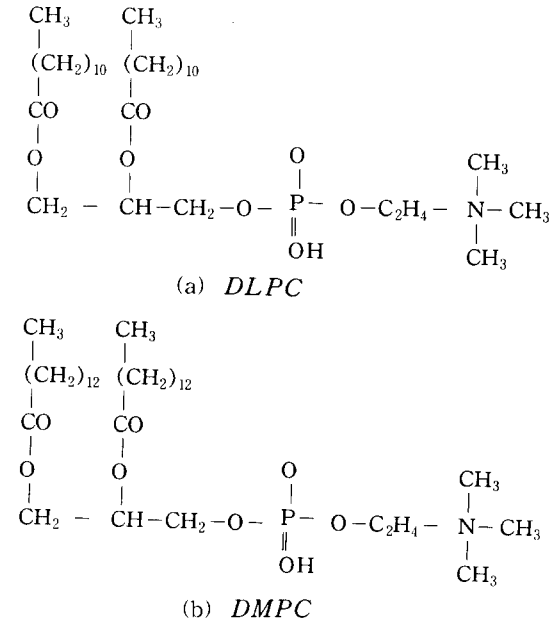


그림 1. 시료의 분자 구조
Fig. 1. Chemical structures used in the present study

그림 2는 본 연구의 측정 장치이다(Nippon Laser NL-LB1000). 전극 1(상부 전극)은 면적이 46.5 cm²의 원형 ITO glass로서 스테인레스 스틸로 씰드를 하였으며 트러포에 탈착이 용이하도록 하였다. 전극 2(하부 전극)는 금선으로서 수중에 설치하였다. 전극 1과 수

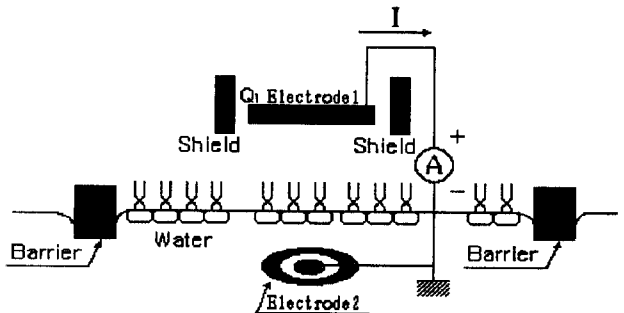


그림 2. 변위전류측정장치
Fig. 2. A schematic diagram of MDC measurement system

면의 거리는 약 1 mm로 하였고 지질단분자를 수면에 전개시킨 후 5분간 방치하여 Barrier의 압축 속도를 40 mm/min의 속도로 압축, 확장하였다. 또한 열에 의한 분자의 배향 상태 변화를 관측하기 위한 열 시차 분석은 실온에서 150°C까지의 범위에서 승온속도 10 °C/min로 측정하였다. (MAC Science, TG/DTA2000)

3. 실험 결과 및 고찰

지질단분자를 수면에 전개시켜 barrier를 압축, 확장했을 때 분자의 점유 면적에 대한 표면압, 변위전류 및 쌍극자모멘트의 변화 결과를 그림 3에 나타내었다.

그림 3 (a), (b)는 DLPC와 DMPC의 분자 구조 중 소수기 부분인 알킬체인에 의존한 변위전류 발생 지점을 관측하기 위한 낮은 압력에서의 실험 결과이다. 분자의 점유 면적을 $400 \text{ \AA}^2 \sim 50 \text{ \AA}^2$ 부근까지 압축하였으며 압축이 시작되었을 때 변위전류는 발생하지 않았고 DLPC는 120 \AA^2 , DMPC는 105 \AA^2 에서 표면압의 변화를 볼 수 있었고 변위 전류는 DLPC의 경우에는 250 \AA^2 , DMPC는 280 \AA^2 부근에서 발생됨을 알 수 있었는데 변위전류의 발생 지점으로 보아 분자가 갖고 있는 알킬체인의 회전 모델 반경에 의한 계산 값과 일치하지는 않으나 이는 2개의 알킬체인이 서로 방해받고 있기 때문이라 생각되어진다. 그림 4 (a), (b)는 DLPC와 DMPC의 압축 과정에 있어서 분자의 배향특성을 알아보기 위한 비교적 높은 압력에서의 실험 결과이다. 그림 4 (a)에서 2의 영역은 표면압이 변화하지 않고 있는 상태에서 변위전류와 쌍극자모멘트가 변화되는 기상/액상 상태로 생각되며 쌍극자는 변위전류의 변이와 더불어 직선적으로 변화됨을 알 수 있었다. 그림 4 (a)의 3영역은 액상 상태로서 변위전류 피크 후 표면압이 증가하여도 쌍극자는 거의 평형을 유지한 단일 액상 상태로 생각되어지며 그림 4 (a) 4영역의 50 \AA^2 부근에서는 분자구조의 배향성이 흐트러지는 막이 붕괴되는 상태라고 생각되어진다.

그림 4 (b)는 DMPC의 높은 압력에서의 실험 결과이다. 그림 중 2의 영역은 쌍극자모멘트가 변이전류의 변이와 더불어 직선적으로 변화하는 기상/액상상태이고, 3과 4의 영역은 액상 상태로서 변위전류 피크 후 표면압이 증가하여도 쌍극자의

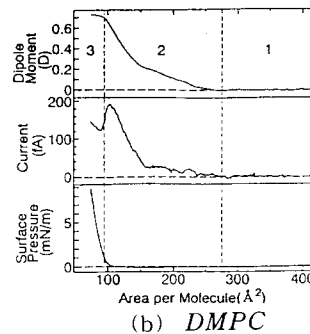
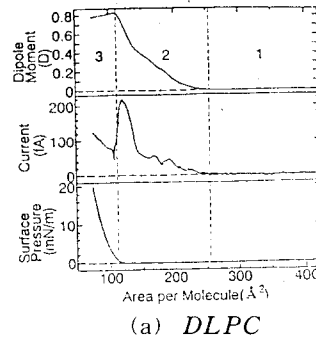


그림 3. 낮은 압력에서의 π -A, I-A, D-A
Fig. 3. π -A, I-A, D-A of low pressure

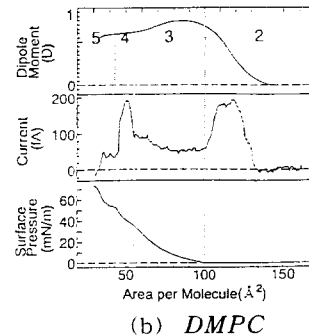
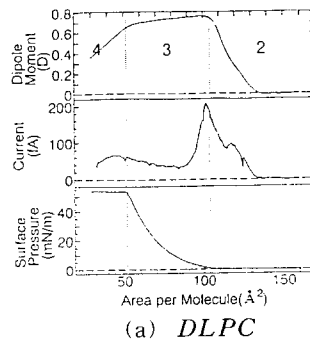


그림 4. 높은 압력에서의 π -A, I-A, D-A
Fig. 4. π -A, I-A, D-A of high pressure

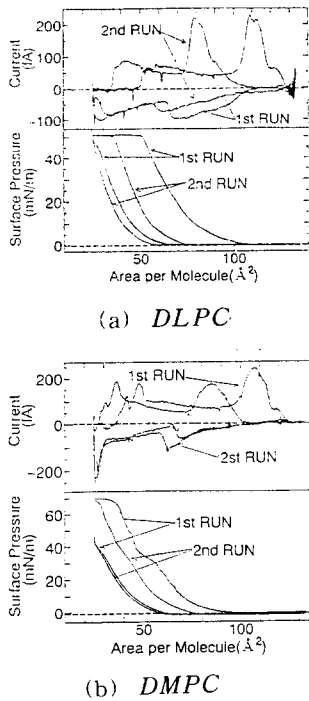


그림 5. 압축, 확장 시의 $\pi-A$, $I-A$
 Fig. 5. $\pi-A$, $I-A$ of compression and expansion

변화는 거의 평형 상태인 단일 액상 상태로 생각된다. 변위전류의 피크를 2회 나타내었으며 표면압의 증가와 더불어 40\AA^2 부근에서 분자구조의 배향성이 흐트러지는 막이 붕괴되는 상태라 생각한다.

그림 5의 (a), (b)는 트러프에 전개된 DLPC, DMPC 지질단분자막을 2회 압축, 확장했을 때의 표면압과 변위전류인데 지질단분자막의 외부에서 자극을 가하기 위하여 barrier를 '역으로' 변화시켜도 단분자막의 제어가능하다는 것을 알 수 있었고 전개막을 30\AA^2 부근까지 압축시켜도 압축되어진 지질단분자막은 완전하게 붕괴되지 않음을 알 수 있었다.

그림 6 (a), (b)는 시료의 열시차 분석 결과이다. 이 결과로 보아 DLPC는 46.9°C , DMPC는 61.1°C 에서 흡열반응에 의한 분자의 배향상태가 변화됨을 알 수 있었고 시료의 중량은 각각 46°C 와 57°C 부근으로부터 감소되어짐을 알 수 있었다.

4. 결 론

지질단분자막($L-\alpha$ -DLPC, $L-\alpha$ -DMPC)

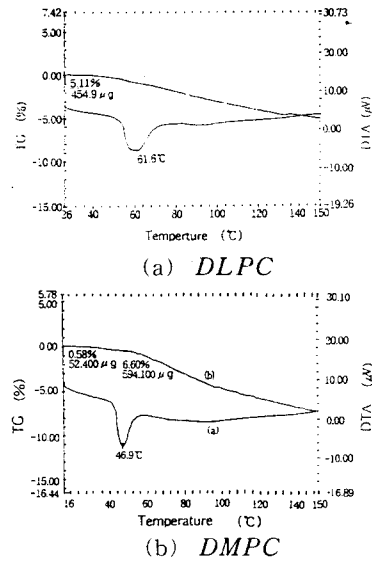


그림 6. 열시차 분석 결과
 Fig. 6. Result of differential thermal analysis(DTA)

에 외부 자극으로서 압력을 가하고, 시료의 열시차분석을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 변위전류법에 의하여 지질단분자막의 변위전류를 검출하였다.
- (2) 분자의 점유면적당 변화되는 표면압, 변위전류, 쌍극자모멘트의 변이형태가 잘 일치함을 알 수 있었다.
- (3) 수면에 전개된 지질단분자막은 좁은 면적까지 압축하여도 막은 완전하게 붕괴되지 않음을 알 수 있었다.
- (4) 시료의 열시차 분석으로 $L-\alpha$ -DLPC는 46.9°C 부근, $L-\alpha$ -DMPC는 61.6°C 부근에서 분자의 배향상태가 변화됨을 알 수 있었다.

* 이 논문은 1995년도 동신대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. O. Albrecht, H. Gruler and E. Sackmann, "Polymorphism of Phospholipid Monolayers", 39, pp. 301~313, 1978
2. A. Fischer, M. Lösche, H. Möhwald and E.

- Sackmann, "On the Nature of the Lipid Monolayer Phase Transition", *J. Physique Lett.*, 45, pp. 785~791, 1984
3. A. Miller, C. A. Helm and H. Möhwald, "The Colloidal Nature of Phospholipid Monolayers", *J. Physique*, 48, pp. 693~701, 1987
 4. S. Kato, M. Akiyama, Y. Amemiya, I. Hatta, "Temperature Dependence of the Ripple Structure in Dimyristoylphosphatidylcholine Studied by Synchronous X-ray Small-Angle Diffraction", *Biochimica et Biophysica Acta*, 1028, pp. 103~109, 1990
 5. G. Roberts, "Langmuir-Blodgett Films", Plenum, New York, 1990
 6. Y. Majima and M. Iwamoto, "A New Displacement Current Measuring System Coupled with the Langmuir-Film Technique", *Review of scientific instruments*, AIP, Vol.62, No.9, pp. 2228~2283, September, 1991
 7. Y. Majima and M. Iwamoto, "Study on the Dynamic Behavior of Stearic Acid Monolayers at the Air-Water Interface", *JPN. J. Appl.*, 30(1), pp. 126~130, 1991
 8. Y. Majima, Y. Kanai, M. Iwamoto, "Maxwell Displacement-Current Generation due to Trans-Cis Photoisomerization in Monolayer Langmuir-Blodgett Film", *JPN. J. Appl. Phys.*, 72, pp. 1637~1641, 1992
 9. Jiuzhi Xue, C.S-Jung and M.W-Kim, "Phase Transition of Liquid-Crystal Films on an Air-Water Interface", *Physical Review Letters*, 69, No. 3, pp. 474~477, 1992
 10. R. M. Dana, M. Ptak, "Surfactin: interfacial Properties and Interactions with Membrane Lipids in mixed Monolayers", *Thin Solid Films*, 210/211, pp. 730~732, 1992
 11. M. Iwamoto, "Maxwell Displacement Current Across Single Monolayers", *Thin Solid films*, 244, pp. 1031~1036, 1994
 12. J. Y. Wang, R. A. Uphaus, Jinkang Wang and D. A. Jaeger, "Monolayer Study of Cleavable Phospholipids", *Thin Solid Films*, 342, pp. 277~282, 1994
 13. 이경섭, 권영수 "지질단분자막의 배향특성에 관한 연구" 대한전기학회, 하계학술대회 논문집, pp 1217, 1995

저자소개

이 경 섭



1956년 11월 9일생. 1983년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1991년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1994년 2월~1995년 2월 동경공업대학 전자물리공학과 객원연구원. 1988년~1996년 현재 동신대학교 공대 전기전자공학과 부교수

권 영 수



1950년 1월 17일생. 1973년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1976년 경북대학교 전기공학(석사). 1988년 일본동경공업대학 전자물리(박사). 1983년~1988년 동경공업대학 공학부 연구원. 1990년, 1992년 동경공업대학 연구원. 1996년 현재 동아대학교 전기공학과 교수