

유기초박막의 산화-환원 반응에 관한 연구

A Study on the Oxidation-reduction Reaction of Organic Thin Films

박근호^{1,a}, 송주영¹

(Keun-Ho Park^{1,a} and Ju-Yeong Song¹)

Abstract

We investigated the electrochemical properties for Langmuir-Blodgett (LB) films mixed with 4-octyl-4'-(5-carboxypentamethyleneoxy)azobenzene (denoted as 8A5H) and phospholipid(L- α -dimyristoylphosphatidylcholine, denoted as DMPC and L- α -dilauroylphosphatidylcholine, denoted as DLPC). The LB films of 8A5H, 8A5H-DMPC and 8A5H-DLPC mixture monolayers were deposited by using the LB method on the indium tin oxide(ITO) glass. The electrochemical properties measured by using cyclic voltammetry with a three-electrode system, an Ag/AgCl reference electrode, a platinum wire counter electrode and LB film-coated ITO working electrode at various concentrations(0.1, 0.5, and 1.0 mol/L) of NaClO₄ solution. A measuring range was reduced from initial potential to -1350 mV, continuously oxidized to 1650 mV and measured to the initial point. The scan rates were 50, 100, 150 and 200 mV/s, respectively. As a result, LB films of 8A5H and 8A5H-DLPC mixture monolayers appeared irreversible process caused by only the oxidation current from the cyclic voltammogram and LB films of 8A5H-DMPC monolayer mixture was found to be caused by a reversible oxidation-reduction process.

Key Words : Langmuir-blodgett(LB) film, 8A5H, DMPC, DLPC, Phospholipid, Cyclic voltammetry

1. 서 론

최근 전기전자 재료분야에서 유기재료의 초박막화 기술이 주목되고 있다. LB 기법에 의해 제조된 기능성 유기 초박막은 광학소재, 전자소자 및 바이오센서로의 잠재적인 운용 가능성 때문에 많은 연구가 진행되고 있다[1,2]. Iwamoto 등은 아조벤젠을 가진 지방산에 광 조사를 하여 자외-가시광선 영역에서 가역적인 *cis-trans* 광이성질화현상을 보고하였으며[3-5], 이를 이용한 광메모리와 분자소자영역에서의 응용 가능성 등 LB막의 광범위한 물리화학적 특성이 연구되어 왔다[6-8].

가역적인 *cis-trans* 광이성질화현상과 산화-환원

반응이 일어나는 아조벤젠의 광발색과 전기화학은 아주 흥미를 가지게 하는 연구이며, LB막 소수기의 강한 회합체의 형성으로 인하여 광자극 등으로 인한 *cis-trans* 구조변환이 잘 일어나지 않는다[9]. 이런 단점을 보완하기 위하여 아조벤젠 단분자에 인지질을 도입함으로써 순수한 아조벤젠 단분자의 LB막에서 일어나는 분자회합을 방지하는 효과가 있고, 인지질 자체의 flexible한 특성으로 인하여 보다 효율적인 *cis-trans* 광이성질화현상을 나타내게 하는 혼합막 형태의 LB막에 대한 연구가 이미 보고 된 바 있다[10]. 이와 같이 여러 가지 기능성을 가진 유기 분자간의 전달현상은 물질의 산화-환원 전위차를 토대로 한 에너지 전이차와 전자수용체, 감광체, 전자공여체로 구성된 기능성 분자들에 의해 배향성을 가진다[11,12].

본 연구는 아조벤젠기를 가진 8A5H와 DLPC, 및 DMPC[13,14] 인지질 혼합물을 ITO 기판위에 LB막을 제작하여 전기화학적 특성을 관찰하여 확산계수를 구하였다.

1. 창원대학교 화공시스템공학과
(경남 창원시 사림동 9)

a. Corresponding Author : khopark@sarim.changwon.ac.kr
접수일자 : 2006. 5. 4
1차 심사 : 2006. 7. 7
심사완료 : 2006. 7. 20

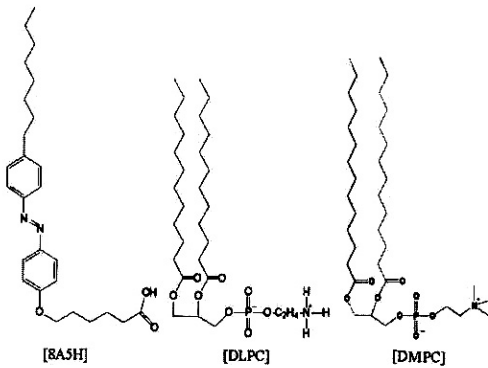


그림 1. 8A5H, DLPC와 DMPC의 분자구조.
 Fig. 1. Molecular structures of the 8A5H, DLPC and DMPC.

2. 실험

본 실험에 사용한 8A5H는 Dojindo(주, 일본)에 주문 제조한 것을 연구용으로 구입하여 그대로 사용하였다. 친수성 choline기를 가진 DLPC와 DMPC (99 %)는 Sigma Chemical Co.에서 제조한 것을 구입하여 정제하지 않고 사용하였다. 8A5H와 이들 인지질의 분자구조식은 그림 1에 나타내었다.

그리고 용매로 사용한 chloroform은 덕산약품(주)에서 제조된 시약을 사용하였다. 전기화학적 특성에 사용한 전해질은 sodium perchlorate로 일본 Junsei Chemical Co., Ltd에서 제조한 특급시약을 사용하였다. 트루프 세척에 사용된 시약으로는 덕산약품의 acetone과 Junsei Chemical Co., Ltd에서 제조한 N,N-dimethylformamide (DMF) 및 isopropyl alcohol 1급 시약을 각각 사용하였다. LB 막의 제막을 위한 ITO 유리기판 친수성 처리에 사용된 시약으로 초자류 세척용 Extran MA 01 alkalisch 용액은 Merck에서 제조한 것을 사용하였고, Tedia Company Inc.에서 제조한 potassium hydroxide 1급 시약을 사용하였다.

LB제막장치는 England에서 제작된 NIMA Technology Langmuir-Blodgett Tough 611을 사용하였다. Single barrier를 갖춘 장치로 제막이 용이하며 표면압 센서가 부착된 초순수를 채운 후, 기수 계면에 8A5H와 인지질 DMPC의 혼합액을 전개시킨 후에 barrier를 40 mm/min의 속도로 3회 압축 및 확장을 통하여 제막 압력을 결정한다. 본 제막 실험에서는 표면압력은 각각 중간막 이상의 압력을 주고, dipper의 속도를 2 mm/min으로 고정하였다.

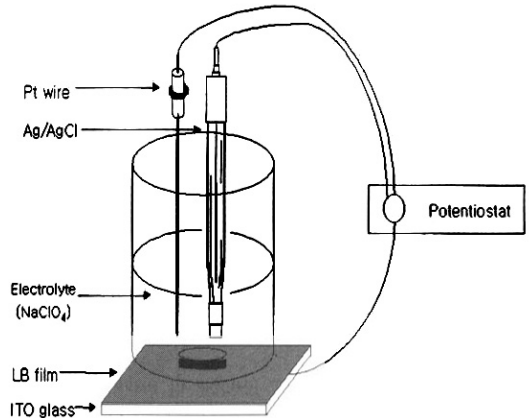


그림 2. 전기화학 전지 측정장치.
 Fig. 2. The cell of electrochemical measuring equipment.

그리고 전기화학적 특성은 미국의 EG&G Princeton Applied Research Co.에서 제작한 Potentiostat/Galvanostat Model 273A를 사용하여 순환전류전압법으로 측정하였다. 측정 장치는 그림 2에 나타내었으며, 기준전극으로 ITO glass로 3전극 cell장치로 측정하였다. 그리고 주사속도(scanning rate)로는 100 mV/s에서 전해질 농도는 0.1, 0.5, 및 1.0 N NaClO₄에 대해 각각 측정하였다. 그리고 0.1 N에서 8A5H와 인지질 DMPC 혼합비 변화에 따른 혼합 LB막을 각각 50, 100, 150, 그리고 200 mV/s로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 8A5H와 DLPC를 각각 0.2 mol/L의 농도로 chloroform 용액에 희석한 후 수면상에 200 μL로 전개시킨 후 표면압 isotherm 곡선을 나타낸 것이다. 8A5H 막인 곡선4의 경우에는 65 Å² 부근까지는 수면상에 막분자가 자유롭게 배치되어 있는 기체막을 알 수 있고, 65 Å²부터 55 Å²까지 액체 팽창막을 알 수 있고, 분자당 점유 면적이 줄어들면서 압력이 상승하기 시작하여 58 Å²부터 50 Å²부근까지 액체응축막을 이루고 있음을 알 수 있다. 압축이 계속되면서 점유면적이 50 Å²부터 38 Å²까지 고체막을 이루고 있다. 38 Å²이후부터는 고체막이 더욱 더 압축되다가 20 Å²이후로는 막이 붕괴되는 현상을 보이고 있다. 8A5H-DLPC 혼합

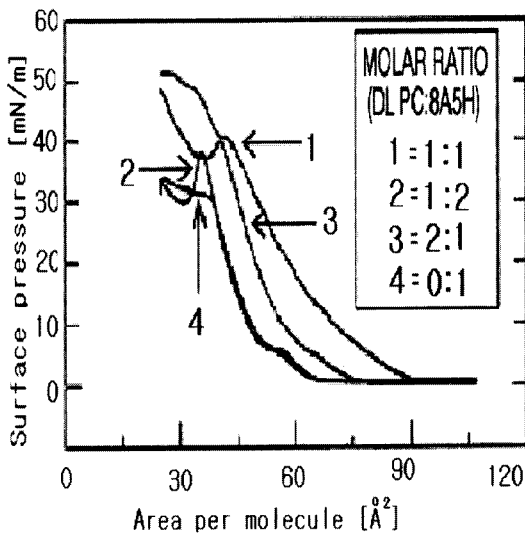


그림 3. 8A5H와 8A5H-DLPC 혼합물의 π -A 등온선.

Fig. 3. Surface pressure-area isotherm for 8A5H and 8A5H-DLPC mixture.

막의 경우는 곡선1은 90 Å²에서 압력이 상승하기 시작하여 45 Å²부터 막이 붕괴되는 현상을 보였다. 그리고 곡선2는 거의 곡선4와 유사한데 다만 30 Å²에서 막이 파괴되었으며 곡선3은 73 Å² 압력이 상승하기 시작하여 45 Å²부터 막이 붕괴되는 현상을 보였다.

그림 4에서는 DMPC와 8A5H혼합물 0.2 mol/L를 chloroform 용액에 각각 혼합비(1:1, 1:2, 2:1)에 따라 희석하여 수면상에 전개한 후 isotherm 곡선을 측정하여 나타낸 것으로 곡선 1은 87 Å²에서 50 Å²까지 기체막을 형성 하다가 압력이 점점 상승하여 23 Å²에까지 고체막을 형성하다가 이후 막이 붕괴되기 시작하였다. 2곡선은 처음부터 45 Å²부터 압력이 급속히 증가하여 30 Å²까지 고체막을 형성하다가 이후 20 Å²에서 막이 붕괴된다. 그리고 곡선3 역시 곡선 2와 유사하게 약45 Å²부터 30 Å²까지는 고체막을 이루고 13 Å²이후부터는 막이 붕괴되는 현상을 보였다. 따라서 이 경우 고체막을 형성하는 범위에서 제막이 가능하며 적정압력은 대체적으로 고체막형성 영역인 10 mN/m부터 30 mN/m까지이다.

한편 ITO 전극에 대하여서 순환전류전압곡선을 용액 0.1 N NaClO₄에서 ITO 전극에 대해 -1350 mV에서 1650 mV까지 측정하였다. ITO 전극의 측

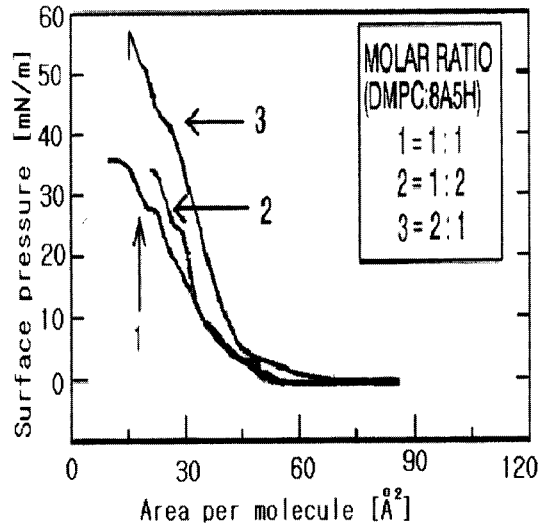


그림 4. 8A5H-DMPC 혼합물의 π -A 등온선.

Fig. 4. Surface pressure-area isotherm for 8A5H-DMPC mixture.

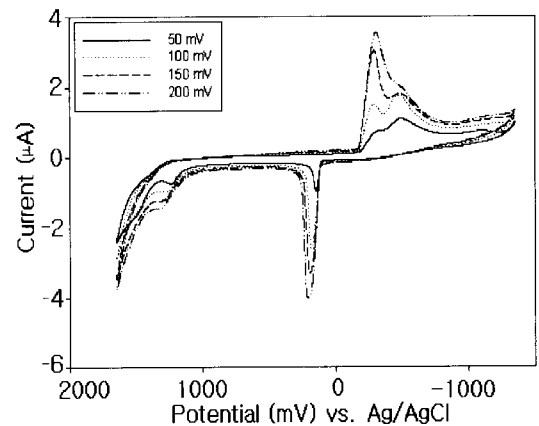


그림 5. 0.1 N NaClO₄ 용액에서 ITO 전극상의 8A5H-DMPC(1:1)의 단분자 LB막에 대한 순환전류전압곡선.

Fig. 5. Cyclic voltammograms for LB film monolayer of 8A5H-DMPC mixture (1:1) on an ITO electrode in 0.1 N NaClO₄ solution.

정범위는 주사속도 100 mV/s로 초기 전압 150 mV에서 -1350 mV까지 환원시켰다가 1650 mV까지 산화를 진행하였다가 다시 초기전압까지 순환

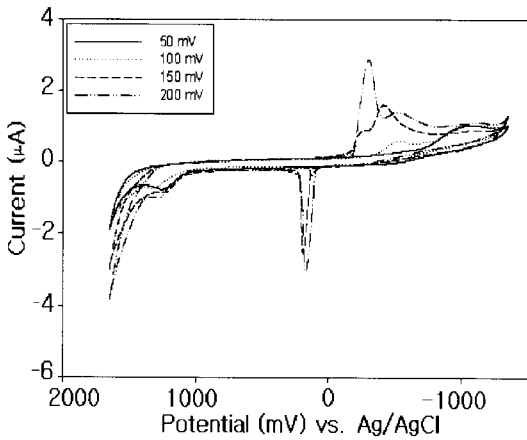


그림 6. 0.1 N NaClO₄ 용액에서 ITO 전극상의 8A5H-DMPC(1:2)의 단분자 LB막에 대한 순환전류전압곡선.

Fig. 6. Cyclic voltammograms for LB film monolayer of 8A5H-DMPC mixture (1:2) on an ITO electrode in 0.1N NaClO₄ solution.

하는 실험을 하였다. ITO 전극에서는 산화-환원 반응이 존재하고 있었다. -750 mV와 -1250 mV 부근에서 환원 전류가 각각 나타났고, -890 mV와 1250 mV 부근에서 산화 전류가 각각 나타났었다. ITO 자체에서는 전해질 NaClO₄ 용액에서 산화-환원반응이 각각 2개 존재하고 각각 뚜렷하게 보여주고 있으며 반응은 가역적 이었다.

그림 5에서는 8A5H와 인지질 DMPC의 혼합비 1:1 단분자 LB막의 전해질 0.1 N NaClO₄에서 주사속도에 따른 -1350 mV에서 1650 mV까지 측정 한 순환전류전압곡선을 나타낸 것이다. 주사속도별 임계산화전류가 0.70, 1.55, 3.11 및 3.95 μA로 각각 나타났다. 그러나 지방산과 인지질을 도입한 Kim [15]과 Son[16]의 보고에서는 환원전류가 나타나지 않았지만 8A5H에 인지질인 DMPC를 도입한 연구에서는 주사속도가 증가함에 따라 -0.95, 2.62, -3.30, 및 -4.00 μA의 환원 전류를 나타내었다. 그리고 그림 6은 8A5H와 DMPC의 혼합비 1:2의 단분자 LB막에 대한 순환전류전압곡선이다. 주사속도별(50, 100, 150, 200) mV 임계산화전류는 0.30, 0.62, 1.60, 및 2.92 μA를 각각 나타내었다. 1:2에서도 마찬가지로 환원 전류가 나타났는데 주사속도별 -0.15, -0.42, -2.55, 및 -3.07 μA의 환원전류를 각각 나타내었다. 또한 그림 7 역시 8A5H-DMPC의

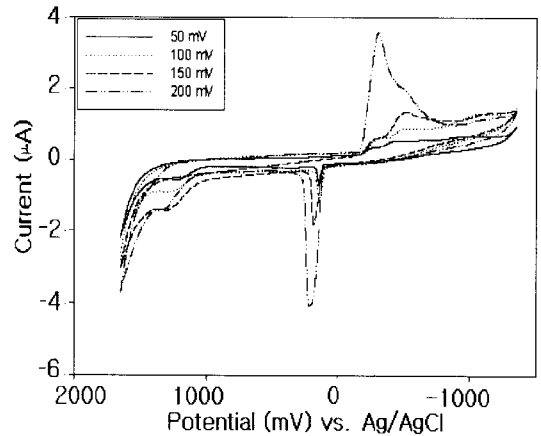


그림 7. 0.1 N NaClO₄ 용액에서 ITO 전극상의 8A5H-DMPC(2:1)의 단분자 LB막에 대한 순환전류전압곡선.

Fig. 7. Cyclic voltammograms for LB film monolayer of 8A5H-DMPC mixture (2:1) on an ITO electrode in 0.1N NaClO₄ solution.

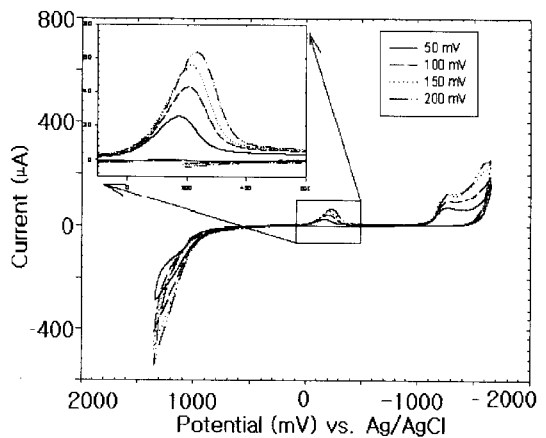


그림 8. 0.1 N NaClO₄ 용액에서 ITO 전극상의 8A5H의 단분자 LB막에 대한 순환전류전압곡선.

Fig. 8. Cyclic voltammograms for monolayer 8A5H LB film on an ITO electrode in 0.1N NaClO₄ solution.

2:1 혼합비에서 주사속도별 임계산화전류는 0.55, 0.9, 1.34, 및 3.6 μA를 나타내었으며 환원전류는 -0.70, -1.23, -1.83, 및 -4.09 μA를 각각 나타내었다.

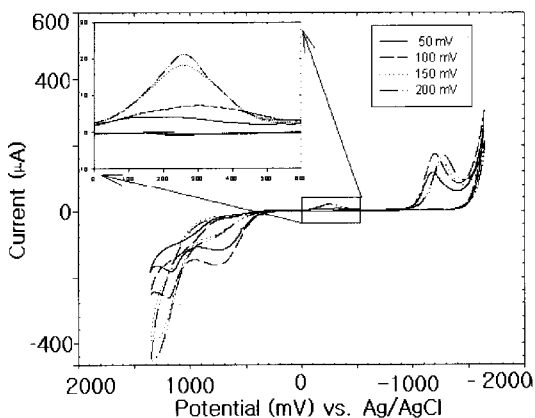


그림 9. 0.1 N NaClO₄ 용액에서 ITO 전극상의 8A5H-DLPC(1:1)의 단분자 LB막에 대한 순환전류전압곡선.

Fig. 9. Cyclic voltammograms for monolayered LB film of 8A5H-DLPC mixture(1:1) on an ITO electrode in 0.1N NaClO₄ solution.

그림 8은 전해질 0.1N NaClO₄에서 ITO 유리에 8A5H를 단분자 LB막의 주사속도에 따른 -1350 mV에서 1650 mV까지 측정된 순환전류전압 곡선을 나타낸 것이다. ITO에 대한 순환전류전압곡선에서는 나타나지 않았던 -50 mV에서 450 mV 사이에서 8A5H에 대한 산화전류 피크가 나타내었다.

8A5H는 *cis-trans* 형태로 광이성질화 현상이 잘 나타났으며, 다른 여러 가지 물성 특성을 증명된 바가 있다[20]. 순환 전류전압법에서 산화·환원적인 가역적인 반응이 일어나지 않고, 환원피크가 나타나지 않았고 산화 전류만 나타내어 비가역적인 반응이 일어난 것을 보였다. 주사속도 50, 100, 150 및 200 mV/s에 증가에 따라 임계 산화 전류가 각각 25.86, 43.02, 56 및 63.54 μA로 전류 값이 커지는 것을 볼 수 있었다. 그리고 임계 산화 전위가 오른쪽으로 조금씩 이동하면서 증가하는 형태를 나타내었다. 그림 9는 8A5H와 인지질 DLPC의 혼합비 1:1 단분자 LB막의 전해질 0.1 N NaClO₄ 에서 주사속도에 따른 -1350 mV에서 1650 mV까지 측정된 순환전류전압곡선을 나타낸 것이다. 그리고 혼합비가 1:2 단분자 LB막에 대한 순환전류전압곡선은 그림 10에 나타내었다. 혼합막에서는 8A5H 단분자막에 비해 적은 값을 가졌고, 혼합비에 따라 8A5H의 양에 따라서 산화 피크가 다르게 나타내었다. 혼합비 1:1에서는 임계 산화 전류가 각각 4.297, 7.318, 18.28 및 21.09 μA로 나타내었고, 혼

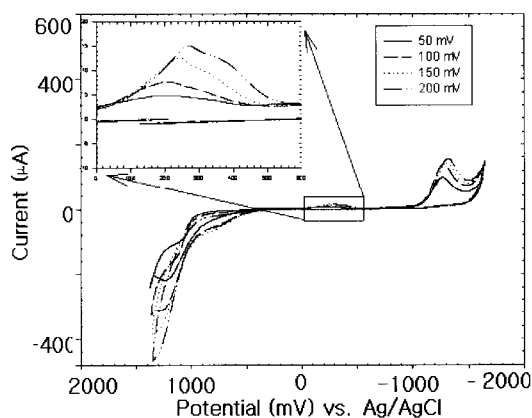


그림 10. 0.1 N NaClO₄ 용액에서 ITO 전극상의 8A5H-DLPC(1:1)의 단분자 LB막에 대한 순환전류전압곡선.

Fig. 10. Cyclic voltammograms for monolayered LB film of 8A5H-DLPC mixture(1:2) on an ITO electrode in 0.1N NaClO₄ solution.

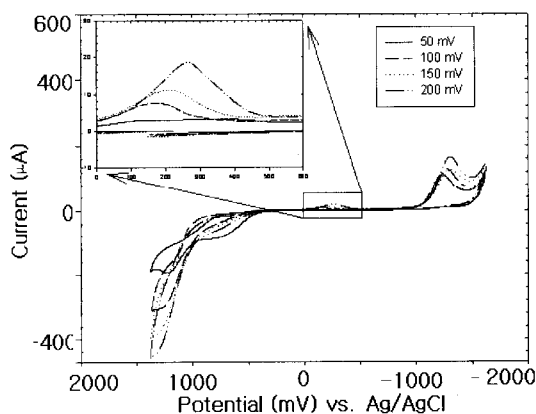


그림 11. 0.1 N NaClO₄ 용액에서 ITO 전극상의 8A5H-DLPC(1:2)의 단분자 LB막에 대한 순환전류전압곡선.

Fig. 11. Cyclic voltammograms for LB film of 8A5H-DLPC mixture(1:2) on an ITO electrode in 0.1N NaClO₄ solution.

합비 1:2는 1:1에 비해 8A5H 양이 적어 각각 4.1, 7.2, 12.45 및 15.16 μA 으로 각각 임계 산화전위도 오른쪽 이동하는 현상을 가지고 있었다.

표 1과 표 2는 8A5H 단분자막, 8A5H-DMPC

표 1. 8A5H-DMPC 혼합 LB막에 대한 확산계수(D).

Table 1. Diffusivity(D) for the LB Film of 8A5H-DMPC Mixture.

LB film (8A5H:DMPC)	Average a_n	$D^{1/2}$ ($\times 10^3$)	$D[\text{cm}^2\text{s}^{-1}]$ ($\times 10^6$)
1 : 1	61.54	2.8640	8.203
1 : 2	153.87	1.1147	1.242
2 : 1	117.78	1.2740	1.623

표 2. 8A5H와 8A5H-DLPC 혼합 LB막에 그리고 8A5H와 DLPC 및 DMPC의 혼합에 대한 확산계수(D).

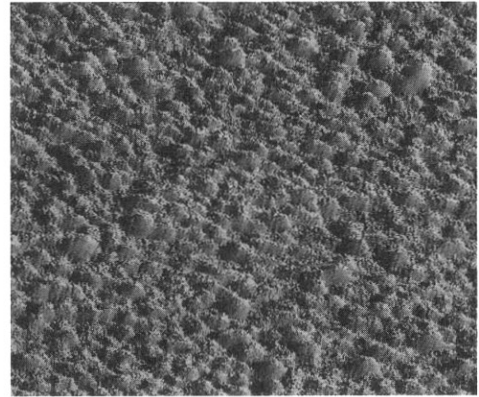
Table 2. Diffusivity (D) for the LB film of 8A5H and 8A5H-DLPC Mixture.

LB film (8A5H:DLPC)	Average a_n	$D^{1/2}$ ($\times 10^6$)	$D[\text{cm}^2\text{s}^{-1}]$ ($\times 10^{11}$)
1 : 0	0.53	16.498	27.218
1 : 1	0.4713	5.010	2.5100
1 : 2	0.4505	3.887	1.5109
2 : 1	0.5092	8.851	7.8340

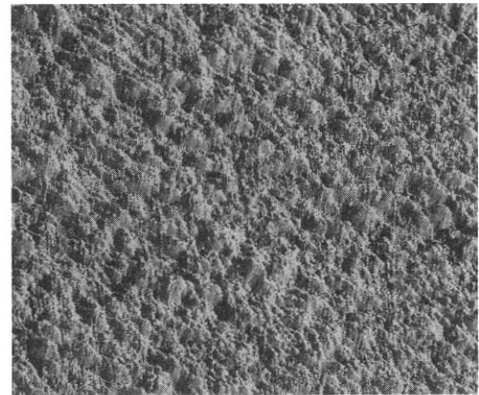
및 8A5H-DLPC 혼합비에 R따른 LB 막에 따라 각각의 확산계수를 계산하여 나타낸 것이다.

표 1에서는 8A5H-DMPC 혼합 LB막의 산화반응에서 나타난 확산계수를 나타내었는데 혼합비가 1:1일 때 확산계수가 가장 크게 나타났으며, 1:2일 때 확산계수 값이 작은 것은 상대적인 DMPC양의 증가로 기인된 것으로 보이며 그리고 2:1의 경우는 8A5H의 양의 증가로 인한 회합에 기인된 것으로 생각된다.

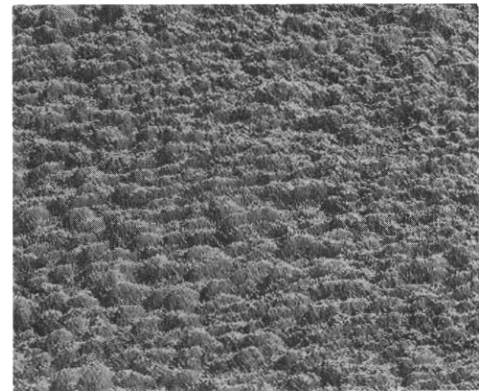
그리고 표 2에서 역시 산화반응에서 혼합 LB막의 확산계수를 나타낸 것인데 8A5H-DLPC 혼합비가 2:1일 때 확산계수가 다른 것에 비해 크게 나타



(a) ITO substrate



(b) 8A5H-DLPC(1:1)



(c) 8A5H-DLPC(1:2)

그림 12. ITO 유리기판 및 8A5H-DLPC 혼합물 LB막의 AFM 이미지 (1×1 μm).

Fig. 12. AFM image of ITO substrate and LB film of 8A5H-DLPC mixture (1×1 μm).

난 것은 제막시의 오차로 생각되며 다른 혼합 LB 단층막은 큰 차이가 보이지 않는다.

LB막은 주사속도가 증가할수록 산화-환원 전류가 크게 나타는 것을 알 수 있으며, 8A5H와 DMPC의 혼합막일 때 확산계수가 상대적으로 8A5H와 DLPC의 혼합막일 때 보다 확산계수가 크게 나타나는 것은 choline group의 친수성이 소수기인 탄소수의 길이에 제막 시 큰 영향을 미친 것으로 생각된다.

그림 12는 친수 처리된 ITO 기판과 유기 LB층막의 표면 상태를 알아보기 위한 AFM 이미지를 나타낸 것으로 (a)는 순수한 ITO기판 자체의 표면을 보여주고 있으며 상의 크기는 $1 \times 1 \mu\text{m}$ scale로 하였다. 나머지 (b)와 (c)는 친수 처리한 유리기판에 8A5H와 인지질의 혼합 LB막으로 제막되어진 표면을 AFM으로 관찰하였다. (a)의 이미지를 보면 표면이 4~5 nm 정도의 굴곡을 가지고 있으며 아주 거친 것을 알 수 있었다.

이것은 전도성을 가지게 하기 위해 유리에 $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ 계 화합물을 코팅한 경우인데 코팅표면이 아주 균일하게 코팅이 되지 않았음을 보여준다.

그림 12의 (b)와 (c)는 8A5H와 DLPC의 혼합비 1:1과 1:2의 LB막의 표면을 각각 나타낸 것으로서 같은 위치인 중앙부의 코팅된 표면을 보면 수직거리의 각각 약 2.65와 약 2.64 nm로 거의 같으며, 시료가 표면 전반에 일정하게 제막이 잘 되었음을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 아조벤젠기를 함유한 8A5H와 인지질인 DLPC 및 DMPC를 혼합하여 수면상에서 표면압을 측정하고 LB막의 전기화학적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수면상에서 8A5H 분자는 압축과정에서 기체막, 액체 팽창막 그리고 액체응축막, 고체막을 이루는 것을 알 수 있었고, 8A5H와 DLPC, DMPC의 경우는 기체막에서 액체응축막 및 고체막 거동을 보이는 것을 알 수 있었다.
2. 8A5H와 DLPC 및 DMPC의 혼합LB막은 주사속도가 증가할수록 산화-환원 전류가 크게 나타났으며, 혼합막의 확산계수가 DLPC 보다 DMPC 혼합 쪽이 상대적으로 크게 나타난 것은 choline group의 친수성이 최소 제막 탄소수의 길이인 DLPC에 제막 시 큰 영향을 미친 것으로 사료된다.

3. 아조벤젠기를 가진 8A5H에 인지질인 DLPC를 도입하였을 경우 비가역 산화반응만 일어났으나 DMPC를 도입하였을 경우 가역적으로 산화·환원 반응 모두 나 일어난다는 것을 알았다.
4. ITO 유리 기판과 혼합 인지질 LB 막을 AFM으로 관찰한 결과 친수 처리한 ITO 기판은 다소 거칠었으나 혼합 LB막은 시료가 표면 전반에 일정하게 제막이 잘 되었음을 볼 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] N. S. Lee, H. K. Shin, J. S. Chang, and Y. S. Kwon, "A study on the current-voltage properties of dipyrindinium molecule using scanning tunneling microscopy", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 18, No. 7, p. 622, 2005.
- [2] M. H. Bae, K. H. Song, T. G. Park, and K. H. Park, "Dynamic behaviors of externally-stimulated monolayers on the water surface", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 13, No. 4, p. 318, 2000.
- [3] X. B. Xu, Y. Majima, and M. Iwamoto, "Molecular switching in phospholipid-azobenzene mixed monolayers by photoisomerization", Thin Solid Films., Vol. 331, p. 239, 1998.
- [4] H. Tachibana, R. Azumi, M. Tanaka, M. Matsumoto, S. Sako, H. Sakai, M. Abe, Y. Kondo, and N. Yoshino, "Structures and photoisomerization of the polyion complex Langmuir-Blodgett films of an amphiphile bearing two azobenzene units", Thin Solid Films., Vol. 284, p. 73, 1996.
- [5] I. Kim, J. F. Rabolt, and P. Stroeve, "Dynamic monolayer behavior of a photo-responsive azobenzene surfactant", Colloids and Surfaces., Vol. 171, p. 167, 2000.
- [6] K. H. Park and J. Y. Song, "A study on the displacement current of fatty acid and

- polyamic acid mixture", J. Ind. Eng. Chem., Vol. 8, No. 2, p. 126, 2002.
- [7] K. H. Park and T. G. Park, "A study on the photoisomerization of functional polyimide monolayers containing azobenzene", J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 11, No. 1, p. 87, 2000.
- [8] H. X. Huang, D. J. Qian, N. Nakamura, C. Nakamura, T. Wakayama, and J. Miyake, "Quartz crystal microbalance and electrochemical studies on the electrode modified by layer-by-layer multilayers of viologen polyelectrolytes", Electrochimica Acta., Vol. 49, p. 1491, 2004.
- [9] K. H. Park and T. G. Park, "A study on the photoisomerization of fatty acid and polyamic acid mixture", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 15, No. 8, p. 695, 2002.
- [10] D. W. Kang and K. H. Park, "Photoisomerization LB monolayer films mixed with fatty acid and phospholipid at difference mixture ratio", J. Kor. Oil Chem. Soc., Vol. 17, No. 3, p. 178, 2000.
- [11] K. H. Park, K. J. Shim, and N. S. Kim, "Photoisomerization of mixture LB films of fatty acid and phospholipid(DOPC)", J. Kor. Oil Chem. Soc., Vol. 19, No. 1, p. 43, 2002.
- [12] B. J. Kim, B. C. Min, and K. H. Park, "Electrochemical properties of langmuir-blodgett films of 4-Octyl-4'-(5-carboxypentamethylenecy)azobenzene and Dilauroyl-L- α -Phosph ayidylcholine mixture", J. Kor. Oil Chem. Soc., Vol. 19, No. 1, p. 49, 2002.
- [13] Y. L. Lee and C. Y. Chen, "Surface wettability and platelet adhesion studies on Langmuir-Blodgett films", Appl. Surface Sci., Vol. 207, p. 51, 2003.
- [14] M. Langner and S. Hui, "Effect of free fatty acids on the permeability of 1,2-dimyristoyl-*sn*-glycero-3-phosphocholine bilayer at the main phase transition", J. Biochimica et Biophysica Acta, Vol. 1463, p. 439, 2000.
- [15] K. H. Park and B. J. Kim, "Electrochemical properties of Langmuir-Blodgett(LB) films mixed with 4-Octyl-4'-(5-carboxypentamethylenecy)azobenzene(8A5H) and phospholipid", J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 14, No. 6, p. 759, 2003.
- [16] T. C. Son, N. S. Kim, and K. H. Park, "The electrochemical characterization of mixture LB films of fatty acid and phospholipids", J. Kor. Oil Chem. Soc., Vol. 20, No. 2, p. 94, 2003.
- [17] J. M. Ko and H. C. Park, "Principles and applications of cyclic voltammetry", Polym. Sci. Technol., Vol. 10, No. 4, p. 519, 1999.