

컴퓨터 제어 Langmuir 통의 제작과 성능 평가

정상돈[†] · 김장주 · 박신종^{*}

한국전자통신연구소 기초기술연구부, *반도체연구단
(1993년 8월 4일 접수, 1994년 1월 14일 채택)

Construction of Computer Controlled Langmuir Trough and Its Performance Test

Sang-Don Jung[†], Jang-Joo Kim and Sin-Chong Park^{*}

Research Department(*Semiconductor Division), Electronics and Telecommunications Research Institute,
Yusong P.O. Box 106, Taejeon 305-600, Korea
(Received 4 August 1993; accepted 14 January 1994)

요 약

컴퓨터로 제어되는 보통 타입의 Langmuir trough를 제작하였다. 테프론으로 가공된 통, 서보메카니즘을 이용한 유기물 압축장치와 기판 담금장치 그리고 상용저울을 개조한 표면압력 측정장치를 이용하여 제작된 장비는 0.025 mN/m의 정확도로 표면압력을 측정 및 제어할 수 있다. 제작된 장비는 공기/물 계면의 단일층에 대한 표면전위 측정 및 단일층의 기판으로의 이전시 접촉각의 측정과 같은 추가적인 실험이 가능하도록 고안되었다. 성능 시험을 위하여 Barium stearate에 대한 등온선 측정과 단일층의 이전 그리고 이전된 막에 대한 XRD 분석을 행하였다. 고체상에서 표면압력 '0'으로 외삽된 분자 하나가 차지하는 면적 값 20 \AA^2 과 단일층 이전시 선형적인 단일층 면적의 감소 그리고 두 층에 해당되는 두께 값 50.4 \AA 으로부터 제작된 장비는 등온선 측정과 단일층 이전 연구에 적합함을 확인할 수 있었다.

Abstract—A fully computer controlled normal type Langmuir trough was successfully constructed. The constructed Langmuir trough is consisted of a PTFE trough, servomechanisms for the barrier and the dipper and a commercial electronic balance modified for the surface pressure measurement. Surface pressure was measured and controlled with an accuracy of 0.025 mN/m. It was successfully used for various supplementary experiments measuring surface potential of a monolayer at the air/water interface and contact angle during monolayer transfer onto a substrate. The trough was used for obtaining the surface pressure-area isotherm of barium stearate and transferring the floating monolayer of barium stearate. The bi-layer thickness of transferred Langmuir-Blodgett film was obtained from XRD. Extrapolated area of 20 \AA^2 at zero surface pressure for solid phase occupied by a molecule, linear decrease of monolayer area during the transfer and the bi-layer thickness of 50.4 \AA demonstrate that the constructed Langmuir trough is suitable for the measuring the isotherm and the transferring the floating monolayers.

1. 서 론

공기와 물의 계면에 놓여있는 양수성(친수성과 소수

성)을 지닌 유기물은 단일층을 형성할 수 있다는 장점 때문에 18세기 중엽부터 단일층에 관한 연구 대상으로 사용되었다. Langmuir[1]는 1917년 유기물이 분산된

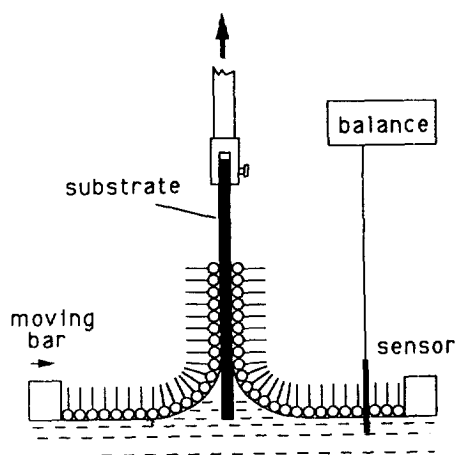


Fig. 1. Schematic representation of Langmuir-Blodgett technique.

물 표면의 표면압력을 측정하는 장치(film balance)를 발표하여 수면위에서 단일층을 형성하는 유기물 분자들의 크기와 형태 그리고 분자 배열에 있어서 방향성 등에 관한 연구를 가능하게 하였다. 1935년에 Blodgett [2]이 처음으로 물 표면의 지방산 염 단일층을 유리 표면위에 이전하는 실험결과를 발표한 후에 이전된 막은 Langmuir-Blodgett(LB) 막이라고 불리우게 되었다. 수면위 단일층을 고체 기판에 이전하는데 사용되는 방법을 Langmuir-Blodgett technique(LB 기술)이라고 하는데, Fig. 1과 같이 일정한 표면압력이 유지되도록 수면위의 단일층을 압축하면서 기판을 물에 수직인 방향으로 움직여 단일층을 이전하는 방법이다.

Langmuir 통(trough)은 LB 기술을 이용하여 수면위 단일층을 원하는 기판위에 이전하여 LB막을 형성하는데 사용되는 장비를 일컬으며 막 천칭(film balance)이라고도 불리운다. 유기물을 압축하는 방법에 따라 피스톤 오일(piston oil)형[2], Kuhn형[3], 보통(normal)형[4], 벨트(belt)형[5, 6] 그리고 대류(convection)형[7]으로 구분될 수 있다. 제작된 Langmuir trough는 테프론 막대를 이용하여 유기물을 압축하는 보통형이며 한번에 한 종류의 유기물을 기판에 이전할 수 있고 컴퓨터를 통해서 제어된다. 장비의 전체적인 모습은 Fig. 2와 같다.

2. Langmuir 통의 제작

Langmuir 통은 기본적으로 다음과 같은 단위 장치들로 구성되어 있다.

- (1) 물 담는 통(trough)
- (2) 유기물 압축장치(barrier)

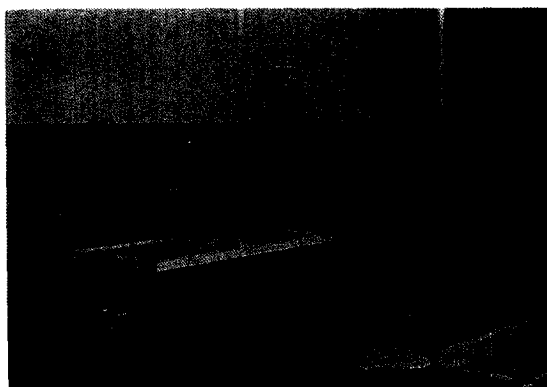


Fig. 2. Photograph of the constructed Langmuir trough.

- (3) 기판 담금장치(dipper)
- (4) 표면압력 측정장치(film balance)
- (5) 제어장치(controller)

제작된 Langmuir 통은 이들에 온도 및 pH 측정을 위한 측정기, 향온 유지를 위한 향온순환장치 등이 포함되어 있으며, 표면전위 측정을 위한 장치 등의 설치가 용이하도록 고안되었다.

2-1. 물 담는 통

유기물은 적당한 용매에 녹여져 물 표면위에 분산되기 때문에 막의 순도와 정확한 표면압력의 측정을 위해서는 물의 순도가 매우 중요하다. 따라서 사용되는 물의 순도가 매우 높아야 될 뿐만 아니라 물과 접하는 물 담는 통의 모든 부분은 화학적, 물리적으로 물에 영향을 주지 않아야 하며, 세척이 용이하여야 한다. 유기물을 압축하는 테프론 막대가 활주하는 통의 테두리는 유기물의 누출 방지를 위해서 재질은 소수성이어야 한다. 또한 가공성이 좋아야 하며 변형이 적어야 한다. 이러한 조건들을 만족시키기 위해서 테프론을 가공하여 통의 테두리로 사용하였다. 알루미늄이나 황동을 가공한 후 테프론을 코팅하여 물 담는 통으로 사용되기도 하는데 코팅된 두께가 매우 얇기 때문에 물의 온도조절에 있어서는 유리하다. 하지만 많은 경우에 미세구멍들이 존재하고 이들을 통해서 금속이온들이 물에 용해되어 단일층의 점성 등에 영향을 주는 단점이 있다[8].

물 담는 통은 테프론 막대가 활주하는 테두리와 바닥 그리고 기판이 담겨지는 부분으로 구성되어 있다. 현재 국내에서는 30 cm×30 cm 이상의 테프론이 흔하게 생산되지 않으며 생산되더라도 밀도가 낮기 때문에 두께 3 cm인 30 cm×30 cm 크기의 판 두장을 접착하여 통의 테두리로 가공하였다. 접착제 또한 테프론과 유사한 계열의 불소수지였기 때문에 실험에 지장이 없었다.

테두리의 모서리는 직각 대신에 둥그렇게 가공되었는데 각이진 부분은 유기물에 강한 스트레스를 주며 이로 말미암아 막의 붕괴가 촉진된다는 보고[9]도 있다. 테두리의 높이 즉, 담겨진 물의 깊이가 낮을수록 표면 파동을 줄이는데 유리하지만[10] 마모에 따른 재가공을 고려하여 그 높이를 1 cm로 하였다. 이중 또는 삼중 결합을 지니는 유기물의 경우 고분자화를 방지하기 위하여 물의 온도를 충분히 낮추어야 할 필요가 있다. 테프론의 경우 열 전도도가 낮고 얇게 가공하기가 어렵기 때문에 열 전도성이 좋으며 구리나 알루미늄보다 가공성이 좋은 황동위에 2 mm 두께의 테프론 판을 접착하여 통의 바닥으로 사용하였다. 그 위에 테프론 테두리를 볼트로 고정하였다. 기판이 담겨지는 부분은 테프론 봉을 가공하여 고정시켰는데 최대 3인치 웨이퍼가 담겨질 수 있다. 가공된 물 담는 통의 내부 표면적은 1,100 cm²이며, 약 2.5리터의 물이 채워진다. 통의 하부는 항온 수조로서 단열을 위하여 2 cm 두께의 아크릴로 제작되었다.

2-2. 유기물 압축장치

유기물을 압축하는데 사용되는 테프론 막대의 선형적인 움직임을 위하여 1 mm리드(나사가 일 회전할 때 나사산이 이동한 거리)로 가공된 길이 60 cm의 나사와 75 W 서보모터로 구성된 선형 운동 서보메카니즘을 채택하였다. 이렇게 구성된 서보메카니즘과 제어장치를 이용함으로써 유기물이 차지하고 있는 면적은 5×10^{-4} cm²의 정확도로 측정되고 제어되며, 압축속도는 2.4×10^{-2} cm²/min에서 750 cm²/min까지 조절 가능하였다.

2-3. 기판 담금장치

기판 담금장치를 단순히 단일층의 이전을 위해서만 사용하는 경우 부하가 적기 때문에 소형 직류모터 등을 사용해도 무방하다. 하지만 담금속도가 매우 느릴 경우 움직임이 멈춰질 가능성이 있다. 이러한 단점을 해결하고 기판 담금장치에 다른 용도를 부여하기 위하여 유기물 압축장치와 동일한 용량의 서보모터를 사용하였다. 이렇게 함으로써 기판의 단순한 수직이동 뿐만 아니라 특별한 개조없이 표면전위 측정기를 부착하여 표면전위 측정용 진동전극과 물표면 사이의 간격을 조절하는 것이 가능하다. 또한 개조된 저울을 부착함으로써 기판의 접촉각 측정 및 단일층을 기판에 이전할 때의 접촉각 측정도 가능하다.

기판의 담금속도는 22-tricosenoic 산과 이와 유사한 유기물 단일층의 이전특성을 고려할 때 600 mm/min 보다 빨라야 하며, 점도가 큰 단일층이나 소수성이 약한 기판에 대해서는 0.06 mm/min 보다 느릴 수 있어야

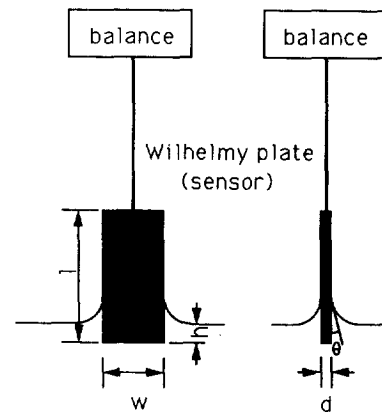


Fig. 3. A Wilhelmy plate partially immersed in water.

한다고 알려져 있다[11]. 제작된 기판 담금장치의 담금속도는 0.04 mm/min에서 1200 mm/min까지 조절 가능하며 최대 담금거리는 150 mm이다.

2-4. 표면압력 측정장치

물의 표면압력을 측정하는 방법으로는 Wilhelmy 판 방법과 Langmuir 방법[12]이 주로 사용되고 있는데 본 장비 제작에서는 Wilhelmy 판 방법을 채택하였다. Wilhelmy 판 방법의 장점은 그 구성의 단순함에 있다. Langmuir 방법은 평균적인 표면압력을 측정하는 반면 이 방법은 국부적인 표면압력을 측정한다. 따라서 점성이 큰 고분자와 같이 국부적으로 표면압력 차이가 큰 단일층의 경우 표면압력의 분포 등을 구할 수 있다. 또한 단일층 이전시 센서로 사용되는 Wilhelmy 판을 기판에 가능한 근접시킴으로써 이전압력을 보다 정확하게 유지할 수 있다. 표면압력 측정용 센서로는 백금, 유리, 여과지 등이 주로 사용되는데, 백금은 오염되기 쉬우며 유리의 경우는 충분히 물에 젖지 않는 현상(dewetting)이 생겨나는 단점을 지니고 있다[4]. 여과지와 같은 종이를 사용함으로써 이러한 단점들을 극복할 수 있다는 것이 Gaines[13]에 의해서 충분히 확인되었으며, 본 제작에서도 폭 2 cm의 Whatman chromatography paper 1을 센서로 사용하였다.

Fig. 3과 같이 센서를 물속에 일부만 잠기게 담그면 중력방향으로의 힘(F)은 다음과 같이 표현된다.

$$F = \rho_p g w h d - \rho_w g w h d + 2\gamma(d+w)\cos\theta \quad (1)$$

여기서 ρ_p , ρ_w , γ 그리고 θ 는 각각 센서의 밀도, 물의 밀도, 표면장력 그리고 접촉각을 나타내며 g , w , h 그리고 d 는 각각 중력가속도, 센서의 폭, 물속에 잠긴 길이 그리고 센서의 두께를 나타낸다. 표면압력(π)은 다음과

같이 깨끗한 물의 표면장력(γ_0)과 유기물이 떠있는 물의 표면장력(γ_1)의 차이로 정의된다.

$$\pi = \gamma_0 - \gamma_1 = \Delta\gamma \quad (2)$$

센서가 물에 충분히 젖어서 접촉각이 '0'에 근사할 때 깨끗한 물과 유기물이 떠있는 물에 대하여 식 (1)과 (2)로부터 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\Delta F = F_0 - F_1 = 2\Delta\gamma(d+w) \quad (3)$$

센서의 두께($d < 0.05$ cm)가 폭(W)에 비해서 훨씬 작을 때 최종적으로 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\Delta F = 2w\Delta\gamma = 2\pi w \quad (4)$$

따라서, 폭이 2 cm일 때 mg 단위로 측정된 무게의 변화는 mN/m의 단위를 지니는 표면압력의 4배가 된다. 이러한 관계를 이용하기 위하여 0.1 mg까지 측정할 수 있는 전자저울(Satorius B120S)을 사용하였으며, 표면압력의 정확도는 0.025 mN/m였다. 무게 값은 컴퓨터에 의해서 읽혀지고 표면압력 값으로 환산된다. 상용 저울은 부피가 커서 취급하기 불편하기 때문에 저울의 센서부분만을 분리하여 사용하였다.

기관 담금장치에 부착된 또 다른 전자저울에 기관을 매달고 담금질을 함으로써 단일층 이전시 접촉각 측정이 가능하다. 기관을 물에 담그기전 중력 방향의 힘 $[F(0)]$ 과 물에 담근 후 시간 경과에 따른 중력 방향의 힘 $[F(t)]$ 은 각각 다음과 같이 나타내어 진다.

$$F(0) = \rho_s W L D \quad (5)$$

$$F(t) = F(0) - \rho_w g W H D + 2\gamma_1 (D+W) \cos\theta \quad (6)$$

여기서 ρ_s , W , D , L 그리고 H 는 각각 기관의 밀도, 폭, 두께, 길이 그리고 물속에 잠겨진 기관의 길이를 나타낸다. H 와 θ 는 시간 t 의 함수가 된다. 기관 담금 속도가 V 일 때 식 (2)와 (6)으로부터 다음과 같이 시간 경과에 따른 접촉각을 측정할 수 있는 관계식을 얻을 수 있다.

$$\cos\theta = \frac{[F(t) - \rho_s L - \rho_w V t] D}{2[\gamma_0 - \pi(t)]} \quad (7)$$

즉, 표면압력 측정용 저울로부터 $\pi(t)$ 를 구하고 기관 담금장치에 부착된 저울로부터 $F(t)$ 를 구함으로써 단일층 이전시 접촉각을 측정할 수 있다. 이렇게 측정된 접촉각은 단일층 이전시 단일층과 기관의 접촉 등을 규명하는데 유용하게 사용될 수 있다[14, 15].

2-5. 제어장치

유기물 단일층의 압축은 서보모터의 회전에 의해서 이루어지는데 서보모터에 회전수에 비례해서 펄스를 발생하는 엔코더(encoder)만 부착된 경우, 즉 위치와 속도 제어를 엔코더에만 의존하는 경우 정지상태에서 소음이 발생하고 순간적으로 부하가 커지면 제어가 불가능해지기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 회전속도에 비례해서 전압을 발생하는 타코미터(tachometer)와 엔코더가 부착된 서보모터를 사용하여 속도는 타코미터 그리고 위치는 엔코더를 이용하여 각각 제어 및 측정하였다. 그 결과 정지상태에서 소음이 발생되지 않았으며 제어가 불가능한 상태가 생겨나지 않았다. 서보모터의 제어에는 위치와 속도를 제어하는 제어기와 제어기의 명령에 따라 서보모터에 전압을 공급하는 드라이버(driver)가 필요하다. 제어기로는 PRD-2(서전시스템)를, 그리고 드라이버로는 PAV-300(NDK)을 사용하였다. 이러한 제어방식은 유기물 압축장치 뿐만 아니라 기관 담금장치에도 적용되었다.

서보모터가 1회전하면 엔코더에서 1,000개의 펄스가 발생되며 드라이버에서 그 수는 4배 증가된다. 이 펄스수를 계산함으로써 유기물 압축대가 실제 이동한 거리를 구할 수 있으며, 이로부터 유기물이 차지하는 면적을 알 수 있다. 이러한 목적으로 PC3001(서전시스템) 펄스카운터를 사용하였다.

2-6. 컴퓨터접속

피스톤 오일형[2]이나 Kuhn형[3] 등과 같이 별도의 제어장치 없이 유기물을 압축하는 경우 유기물을 빠른 시간에 원하는 표면압력으로 유지시킬 수 있어서 단일층의 이전에는 유리하다. 하지만, 유기물 단일층이 차지하고 있는 면적이나 이전비와 같은 정보를 얻을 수 없기 때문에 근래에는 거의 사용되고 있지 않다. 최근의 상용장비는 거의 모두 컴퓨터에 의해서 제어되고 있다.

표면압력과 면적 등의 실험자료를 획득, 기록 및 처리하고 유기물 압축장치와 기관 담금장치 제어기에 명령을 주며, 표면압력의 제어시 비교기 역할을 하는 주 제어기로서 PC/AT를 사용하였다. 표면압력 측정용 전자저울과 pH 측정기 그리고 표면전위 측정장치는 데이터가 1비트씩 순차적으로 전송되는 시리얼 방식에 의해 접속되는데, PC에는 기본적으로 하나(COM1) 또는 두 개(COM1, COM2)의 시리얼 포트 밖에 없기 때문에 MS/DOS V3.1 이상과 XENIX에서 사용 가능하며 4포트까지 추가로 접속할 수 있는 MPSC(multi-port serial card, Decision-Computer International)를 사용하였다. 시리얼 방식은 패러렐 방식에 비해 전송 속도가 느린 것이 흠이지만 비용이 적게 들고 잡음의 영향이 적으며 이를 통해 컴퓨터와 접속되는 주변장치의

종류가 상대적으로 많다. 이의 접속을 위해서는 컴퓨터와 주변장치 모두 동기방식, 패리티(parity) 검사, 출발 비트(start bit)와 정지 비트(stop bit)의 수, 자료 비트(data bit)의 수와 전송속도(baud rate) 등의 조건들을 일치시켜야 한다[16].

서보모터 제어기인 PRD-2는 전송속도가 클럭(clock) 속도에 비례하는 패러렐방식에 의해 접속되는데 STD I/O(standard input/output)방식이기 때문에 PC I/O로 변환시켜 주는 I/O 보드를 추가로 사용하였다. 별도의 패러렐포트를 필요로 하지 않고 슬롯(slot)에 직접 연결되기 때문에 서보메카니즘을 이용한 또 다른 장치를 추가로 설치하기가 용이하다. 서보모터에 부착된 엔코더에서 발생된 펄스의 수를 계산하는 PC3006 펄스카운터도 슬롯에 직접 연결되며 동시에 두 종류의 펄스를 계산할 수 있다. 이와 같이 본 장비에서는 컴퓨터의 슬롯에 직접 연결해야 하는 보드를 4개 이상 사용하지만 컴퓨터의 여유분 슬롯이 3개 뿐이기 때문에 4개의 확장슬롯을 지닌 슬롯확장카드를 사용하였다.

2-7. 되먹임 제어

유기물 단일층의 이전은 표면압력이 일정하게 유지되는 상태에서 이루어져야 되기 때문에 되먹임 제어를 이용하였다. 먼저 전자저울로부터 무게 값을 읽고 이를 표면압력(π_m)으로 환산하여 일정하게 유지시키고자 하는 표면압력 값(π_{sv})과 비교하여 오차($\epsilon = \pi_{sv} - \pi_m$)를 구하게 된다. 다음에 아래와 같은 비례제어 관계식을 이용하여 오차에 좌우되는 제어변수(Y)의 값과 부호를 결정하게 된다.

$$Y = K\epsilon \quad (8)$$

여기서 K는 비례제어 상수이다. 제어변수로는 유기물 압축막대의 이동거리를 선정하였다. 이동방향과 거리가 결정되면 미리 설정된 이동속도로 압축막대가 이동하도록 컴퓨터는 제어기에 명령을 하게 된다. 압축막대의 이동이 완료된 후 컴퓨터는 전자 저울을 통하여 표면압력을 측정하고 비교하여 또 다시 제어기에 명령을 하게 된다. 이와 같은 과정을 반복함으로써 유기물 단일층의 표면압력을 일정하게 유지시킬 수 있다. 제작된 본 장비의 경우 보통 0.05-2.5 정도의 비례제어상수(K) 값이 사용되는데, 이 값은 유기물의 종류, 표면압력, 그리고 기관의 크기와 담금속도 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 실험적으로 결정되어야 한다. 만일 적합하지 않은 값을 사용하게 되면 표면압력이 진동하거나 발산할 수 있다.

2-8. 제어 프로그램

제작된 장비의 제어를 위하여 MS/DOS상에서 Turbo-

C V 2.0을 이용하여 제어 프로그램을 작성하였다. Turbo-C는 그래픽 기능 뿐만 아니라 포트제어 기능이 뛰어나기 때문에 측정된 실험자료를 화면에 그림으로 나타내면서 장비를 제어하는데 적합하였다. 시리얼포트를 제어하기 위해서는 제어프로그램을 실행시키기 전에 컴퓨터의 CPU와 포트를 연결해주는 프로그램(device driver)과 주변장치와의 통신조건들을 맞추어 주는 프로그램을 실행시켜야 하는데 이 프로그램은 MPSC용 프로그램(multiserial software P. C. COM)을 수정하여 작성되었다. 제어 프로그램은 사용의 편리함을 위하여 메뉴방식으로 작성되었으며[17] 직접 작성되었기 때문에 다양한 실험이 가능하다.

3. 성능 평가

제작된 장비의 성능을 살펴보기 위하여 표준적인 물질인 스테아릭 염(stearic salt)의 표면압력-면적 등온선을 구해 보았다. 또한 스테아릭 염의 단일층을 고체 기관 표면에 이전하는 실험을 행하였으며, XRD를 이용하여 이전된 막의 구조를 살펴보았다.

3-1. 등온선 측정

유기물의 누출은 분자 하나가 차지하는 면적의 정확도 뿐만 아니라 막의 이전을 위한 표면압력 제어에도 큰 지장을 초래하므로 이의 확인은 장비의 성능 평가에 있어서 필수적이다. 수면위의 스테아릭 산 단일층은 안정성이 부족하여 등온선을 마련하는데 적합하지 않은 것으로 알려져 있기 때문에[12] 금속 이온을 물에 녹여 상대적으로 안정한 금속 염을 형성하도록 하였다. 이를 위하여 스테아릭 산(99+%, Fluka)이 녹여진 클로로포름 용액을 BaCl_2 가 1 mM/l의 농도로 녹여진 탈이온화된 물(deionized water, 18 M Ω -cm, pH 5.8) 표면에 분산하여 barium stearate(BaSt_2)를 형성한 후 20°C에서 표면압력-면적 등온선을 마련하였다. 그 결과 Fig. 4와 같이 상 전이가 분명한 등온선을 구할 수 있었다. 고체 상태에서 표면압력 '0'으로 외삽된 분자 하나가 차지하는 면적은 약 20 Å²으로 기존에 발표된 결과[18]와 거의 차이가 없었다. 따라서 본 장비에 유기물의 누출 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

3-2. 단일층 이전 실험

일정한 표면압력으로 유지되고 있는 단일층에 수직인 방향으로 기관을 담금질 하면 단일층이 기관에 이전되는데, 이전이 이루어짐에 따라 단일층이 차지하고 있는 면적은 감소하게 된다. 단일층을 이전할 때 표면압력을 일정하게 제어하는 것은 균일한 LB막을 얻는데 가장

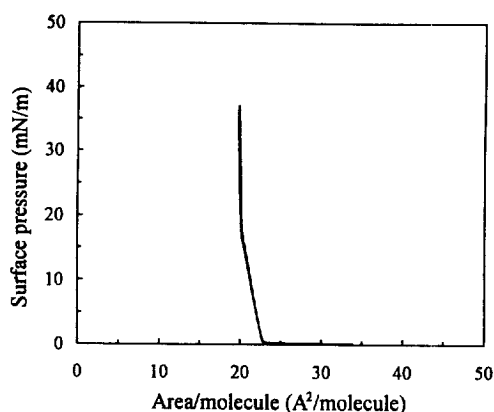


Fig. 4. Surface pressure-area isotherm of stearic acid on 10^{-3} M BaCl_2 solution.

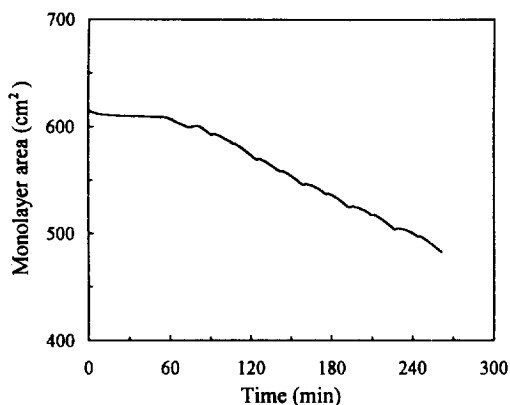


Fig. 5. Monolayer area versus time during the monolayer transfer of BaSt_2 onto Si substrate.

중요하다. 따라서 본 장비의 표면압력 제어 성능을 살펴보기 위하여 BaSt_2 단일층의 이전을 시도하였다. 기판으로는 Si 웨이퍼를 사용하였다. 이전압력과 압축속도 그리고 비례제어상수 값을 각각 25 mN/m과 2 mm/min 그리고 0.05로 정하여 12층을 이전하였는데, 매층 이전 후 2분 동안 담금을 정지하였다. 단일층의 면적은 Fig. 5와 같이 시간경과에 따라 거의 선형적으로 감소하여 이전이 잘 이루어짐을 알 수 있었다.

3-3. BaSt_2 LB 막의 XRD 분석

이전된 LB 막에 대한 X-선 회절(XRD) 패턴은 막의 규칙성과 방향성에 관한 정보를 제공해 주기 때문에 이로부터 막의 질을 정성적으로 판단할 수 있다. 이를 위해서 12층 이전된 BaSt_2 LB 막의 XRD($\text{CuK}\alpha$) 분석을 행하였다. 그 결과 Fig. 6과 같이 분명한 Bragg 정점들이 구해졌다. 각각의 Bragg 정점에 해당하는 각도(θ_n)와

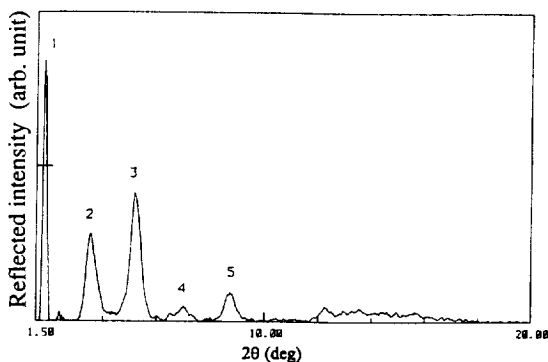


Fig. 6. XRD pattern of BaSt_2 LB films(12 layers) on Si substrate.

Table 1. Apparent lattice constant d_n of barium stearate transferred onto the Si substrate

n	$d_n(\text{\AA})$
1	49.57
2	49.91
3	51.31
4	50.58
5	50.71
average	50.42

$\text{CuK}\alpha$ 의 파장($\lambda = 1.5417 \text{\AA}$)을 다음과 같은 식에 대입하여 격자 상수(d_n)를 구하였다.

$$d_n = \frac{n\lambda}{2\sin\theta_n} \quad (9)$$

그 결과를 Table 1에 수록하였으며 평균 격자 상수 값은 50.4\AA 이었다. BaSt_2 는 기판을 담그고 뺄 때 모두 이전되어 Y-형[2]의 막을 형성하였기 때문에 격자 상수의 값은 BaSt_2 분자의 두 층에 해당된다. 측정된 값은 BaSt_2 분자 두 개의 이론적인 길이인 50.8\AA [19]과 큰 차이가 없기 때문에 이전된 BaSt_2 는 기판에 거의 수직한 방향으로 배열되어 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

국내 최초로 컴퓨터 제어 Langmuir 통을 성공적으로 제작할 수 있었다. 직접 작성된 제어 프로그램은 장비의 대부분의 기능을 자동화했기 때문에 보다 향상된 장비를 개발할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 스테아릭 염에 대한 등온선 측정과 단일층의 이전 그리고 이전된 막의 두께 측정 결과로부터 제작된 장비는 유기물 단일층의 등온선 측정과 단일층 이전 특성 연구에 적합함을 확

인할 수 있었다.

w : water

감 사

본 연구의 재정적 지원을 해 주신 한국통신(KT)에 감사를 드립니다. 또한 LB 막의 XRD 분석에 도움을 주신 한국전자통신연구소 물성분석실의 김상기씨께도 감사를 드립니다.

사용기호

d : sensor thickness [m]
 D : substrate thickness [m]
 g : gravitational constant [mN/g]
 F : gravitational force [gcm/sec²]
 h : immersed depth of sensor [m]
 K : proportional constant [m²/mN]
 L : substrate length [m]
 w : sensor width [m]
 W : substrate width [m]
 Y : control variable [m]
 γ : surface tension [mN/m]
 ε : error of the surface pressure deviating from set value [mN/m]
 θ : contact angle
 π : surface pressure [mN/m]
 π_m : measured surface pressure [mN/m]
 π_{sv} : set value of feedback surface pressure [mN/m]
 ρ : density [kg/m³]

하첨자

0 : clean water surface
 1 : water surface covered with surfactant
 p : Wilhelmy plate
 s : substrate

참고문헌

1. Langmuir, I.: *J. Am. Chem. Soc.*, **39**, 1848(1917).
2. Blodgett, K. B.: *J. Am. Chem. Soc.*, **57**, 1007(1935).
3. Sugi, M.: *J. Molecular Electronics*, **1**, 3(1985).
4. Mingins, J. and Owens, N. F.: *Thin Solid Films*, **152**, 9(1987).
5. Daniel, M. F. and Hart, J. T. T.: *J. Molecular Electronics*, **1**, 97(1985).
6. Kumehara, H., Kasuga, T., Watanabe, T. and Miyata, S.: *Thin Solid Films*, **178**, 175(1989).
7. Nitsch, W. and Kurthen, C.: *Thin Solid Films*, **178**, 145(1989).
8. Albrecht, O.: *Thin Solid Films*, **99**, 227(1983).
9. Albrecht, O.: *Thin Solid Films*, **178**, 93(1989).
10. Yun, W. B. and Bloch, J. M.: *Rev. Sci. Instrum.*, **60**, 214(1989).
11. Peterson, I. R.: *Thin Solid Films*, **134**, 135(1985).
12. Adamson, A. W.: "Physical Chemistry of Surfaces", 4th Ed., Wiley(1982).
13. Gaines, G. L., Jr.: *J. Colloid Interface Sci.*, **62**, 191(1977).
14. Clint, J. H. and Walker, T.: *J. Colloid Interface Sci.*, **47**, 172(1974).
15. Robinson, I., Sambles, J. R. and Cade, N. A.: *J. Colloid Interface Sci.*, **133**, 321(1989).
16. Goften, P. W.: "Mastering Serial Communications", SYBEX Inc.(1986).
17. 정상돈, 김장주: "유기물 박막 제조장치 제어 프로그램", 등록번호 90-01-12-1764.
18. Gaines, G. L., Jr.: "Insoluble Monolayers at Liquid-Gas Interfaces", John Wiley & Sons(1986).
19. Fromherz, P., Oelschlagel, U. and Wilke, W.: *Thin Solid Films*, **159**, 421(1988).