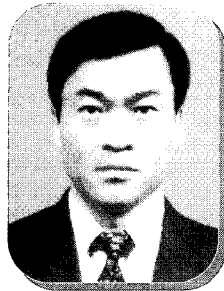
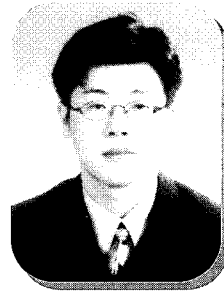


Digital paper 디스플레이를 위한 고분자 입자 기술의 개발



· 서경도 ·
한양대 공과대학
화학공학과 교수



· 류지현 ·
한양대 공과대학
화학공학과 박사과정

1. 서론

현대 사회에서의 디스플레이(display) 소자기술은 인간과 기계 혹은 인간과 인간과의 대화매체로서 정보화 사회의 발전과 함께 그 중요성이 더욱 부각되고 있으며, 특히 최근 컴퓨터 및 미디어 산업의 급격한 진보로 인하여 경량, 박형의 평판 표시소자에 대한 수요자들의 요구가 증가하고 있다. 기존의 디스플레이 매체로는 CRT(브라운관)가 대표적이지만 이는 무게 및 부피가 크다는 단점을 가지고 있으므로 대형 또는 휴대용 디스플레이 매체로는 응용이 매우 어렵다. 이를 보완하는 방법으로 최근 개발이 이루어지고 있는 디스플레이에는 FED(전계 방출 디스플레이), PDP(플라즈마 디스플레이 패널), TFT-LCD(박막 트랜지스터 액정 디스플레이), Organic TFT(유기 박막 트랜지스터), OLED(전기 발광 소자) 등이 있다. 이중 TFT-LCD는 가장 널리 상업화가 되어 있고, 당분간 가장 널리 쓰일 것이라고 예상되는 디스플레이이다. TFT-LCD는 twisted nematic (TN) mode를 이용하며 그림 1에 TFT-LCD의 모식도를 나타내었다.

TFT-LCD는 현재 가장 널리 쓰여지고 있으나, 제조 공정의 어려움 및 제조 공정 중에 많은 재료를 필요로 한다는 단점을 가지고 있다. 여러 공정 중 특히, 액정을 균일하게 배향시키기 위한 배

향 공정을 필요로 하는데, 이는 매우 어려운 공정으로 디스플레이의 응용에 제한을 주는 원인이 되기도 한다. 지금까지의 배향은 주로 silica의 사방 증착법이나, polyimide와 같은 고분자를 부드러운 천으로 문질러 흠을 내는 rubbing법이 주로 이용되고 있으나, 이러한 방법으로는 균일하고, 대형화된 필름을 얻기는 어렵다. 그래서 최근에는 polycinamate 같은 물질의 광중합을 이용한 방법이 널리 연구되어지고 있으나, 실용화 단계까지는 미치지 못한 실정이다. 또한 TFT-LCD의 경우 배향을 통한 빛의 개폐를 이용하고 있으므로 편광판(polarizer)이 필수적으로 필요하다. 배향막(alignment layer) 및 편광판의 사용은 빛의 손실을 초래하여 대

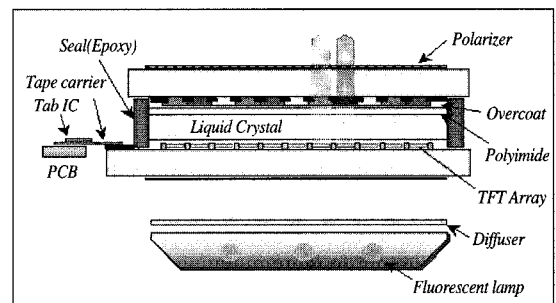


그림 1. TFT-LCD의 모식도.

부분의 TFT-LCD의 경우 최초의 빛에 대해 대략 40% 정도의 강도만을 사용자가 느끼게 된다. 이로 인하여 CRT에 비해서 화면이 매우 어두운 것을 알 수 있다.

TFT-LCD를 비롯하여 현재 개발중인 다양한 표시소자들은 CRT에 필적하는, 또는 그보다 우수한 화질과 적은 소비전력, 경량, 박형 등의 특징으로 인하여 각종 표시기기에 폭넓게 채택되고 있으며 전 세계적으로 연구 개발의 노력이 집중되고 있다. 위의 디스플레이들은 디지털 정보의 수정, 가필, 통신 등에 자유로운 기능상의 이점을 가지고 있지만, 일반적으로 가독성, 사용의 편리성, 전력의 사용 등에서는 인쇄된 종이에 비하여 떨어지는 단점을 가지고 있다. 실제 산업화 사회에서 정보화 사회로 발전함에 따라 종이의 소비가 줄어들 것이라는 예상과는 달리 오히려 종이의 소비량이 꾸준히 늘어나고 있는 실정이다. 현재 우리나라의 1인당 종이 소비량은 계속 증가하여 1999년도 세계 25위에서 2000년도 23위, 2001년도 21위로 2년 사이에 4계단이나 뛴 것으로 조사됐다.(한국일보 발췌) 이러한 현상은 종이의 원료로 사용되는 펄프의 사용증가로 인한 자원의 감소와 폐지로 인한 환경오염 등에도 많은 영향을 미친다.

최근 위와 같은 문제를 해결하기 위하여 디스플레이와 인쇄된 종이의 각각의 장점을 가진 새로운 표시소자로서 전자종이(digital paper)로의 개념이 고려되어지고 있다. 전자종이는 일종의 반사형 디스플레이(reflective display)로서 기존의 종지와 잉크처럼 높은 해상도, 넓은 시야 각도, 밝은 흰색 배경으로 표시매체 중 가장 우수한 시각특성을 가지며, 플라스틱, 금속, 종이 등 어떠한 기판 상에서도 구현이 가능하고, 전원을 차단한 후에도 화상이 유지되고 백 라이트(back light) 전원이 없어 이동 통신기기의 배터리 수명이 오래 유지되어 원가 절감 및 경량화를 쉽게 적용시킬 수 있다. 또한 기존의 종지와 마찬가지로 넓은 면적에서 구현이 가능하므로 다른 어느 디스플레이보다도 대면적에 적용이 가능하다는 특징을 가지고 있다.

한마디로 전자종이란 두루마리처럼 말아서 가지고 다니는 컴퓨터의 모니터와 같은 것으로 1970년대에 제록스가 최초로 연구에 착수하였으며, 당시 이 회사는 정전기의 충전으로 유연성이 있는 얇은 기판에 인쇄 할 수 있는 개발을 추진하였다. 여기에서 전자종이로 사용하는 핵심소재가 일명 트위스트 볼이라고 불리는 자이리온 볼이다. 현재 제록스사는 자이리온 미디어라는 회사를 창립하여 추가 연구가 활발하게 진행되고 있는 중이다. 세계적으로 어느 정도의 연구 성과를 보이는 전자종이의 개발은 위에서 서술한 제록스의 자이리온 볼과 콜레스테롤 액정을 이용한 켈트 디스플레이사의 콜레스테롤 액정 디스플레이, 전기영동법과 마이크로 캡슐을 응용한 E-ink사의 디스플레이가 있다. 이 외에도 토너 또는 액정 등을 이용한 다양한 전자종이로의 연구가 전 세계적

으로 활발하게 진행되고 있다.

전자종이를 개발하고 이를 상품화하기 위해선 새로운 개념의 전자종이에 대한 연구가 매우 중요하다. 이는 독자적 개념의 전자종이가 아닌 기존 개발사들의 개념을 그대로 도입하기 위해서는 많은 특허료를 원천기술 보유회사에 지불하여야 하기 때문이다. 전자종이로의 접근 방법으로는 액정, 전기 발광소자, 가동필름, 미세한 프리즘 등을 이용하여 디스플레이로부터의 접근법과 전기영동법, 트위스트볼, 토너 등을 이용한 종이로부터의 접근법 등 크게 2가지 경로가 있다. 이중 액정을 이용하여 접근하는 방법들의 하나로서 PDLC(Polymer Dispersed Liquid Crystal)의 개념을 도입하여 접근할 수 있다. PDLC란 고분자에 저분자의 액정을 분산 시킴으로써, 고분자와 액정의 굴절률 차이를 유도하고, 전기장으로 굴절률을 조절하여 빛을 조절하는 방법을 이용한 것으로 배향막 및 편광판의 사용없이 단순히 전기장을 통하여 빛을 개폐할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 유연한 필름을 사용하고 편광판을 사용하지 않아도 화상의 표시가 가능하다는 등의 장점으로 인하여 많은 주목을 받고 있다.

본 연구실에서는 다년간 단분산성을 가지는 구형 고분자 입자를 응용하여 최종적으로 입자 내에 액정이 상분리 되어 있는 core-shell 구조의 액정 마이크로캡슐을 제조하는 연구를 계속하여 수행해 오고 있다. 이를 이용하여 디바이스 제조 후 전기광학 특성 측정 결과 기존의 PDLC보다 훨씬 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 이를 바탕으로 액정 마이크로캡슐을 이용하여 새로운 개념의 전자종이로의 적용을 검토한다.

2. 고분자 입자를 이용한 전자종이로의 접근

본 연구실에서는 다년간 고분자 입자를 이용한 고부가가치의 제품을 위하여 다양한 연구를 수행하여 오던 중, 상분리를 이용하여 제조된 액정 마이크로캡슐이 기존의 PDLC보다 우수한 성질을 띠고 있음을 확인 할 수 있었다. 현재 전자종이로의 적용을 위한 연구가 계속 수행중이며 여기에서는 기존의 PDLC의 원리와 장·단점을 살펴보고 본 연구실의 연구성과를 비교하며, 이를 바탕으로 새로운 개념의 전자종이로의 접근방법을 제시하고자 한다.

PDLC의 원리는 액정의 이방성을 이용한다. 즉 액정의 경우 액정의 배향에 따라 두 개의 굴절률을 가지며 일반적인 고분자의 경우 등방성을 보이므로 하나의 굴절률을 가지고 있다. 즉 전장이 없는 경우 고분자 기질 안에 분산되어 있는 액정의 배향 방향은 일정하지 않게 된다. 즉 고분자의 굴절률과 액정영역의 굴절률이 차이가 나며 이 때문에 고분자와 액정사이에서는 산란이 일어나게 되고, 이 결과 불투명하게 보인다. 그러나 전기장을 가하면 액정은 전기장과 평행한 방향으로 배향하게 되고, 이때 고분자와 액

정의 굴절률이 일치하게 되어 산란이 일어나지 않으므로 투명하게 된다. 즉 전기장을 가하면 불투명한 상태에서 투명한 상태가 되고, 이러한 방식으로 빛을 조절할 수 있다. 그림 2에 PDLC의 원리를 단순화시킨 모식도를 나타내었다.

PDLC의 제조는 상분리법을 이용하는데, 상분리법의 경우는 그 정도를 조절하기가 어려울뿐더러, 상분리시 액정영역을 균일한 크기로 조절하기 어렵다. 이로 인하여 전기장하에서 액정의 균일한 배향을 얻기 어려워 hysteresis 현상이나, 구동시의 빠른 응답시

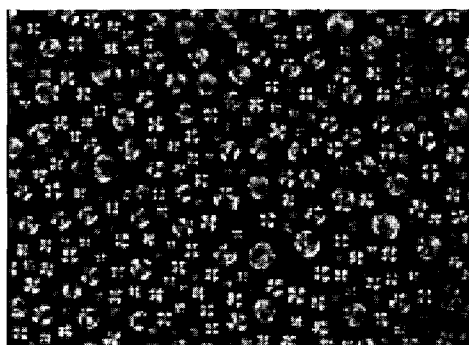
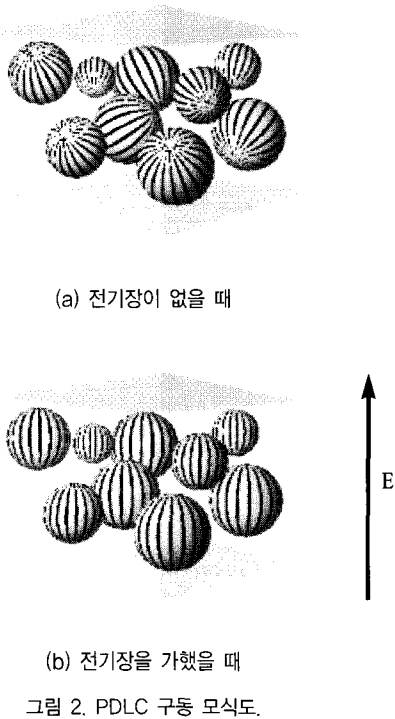


그림 3. 일반적인 상분리법을 이용하여 제조된 PDLC의 편광 현미경 사진.

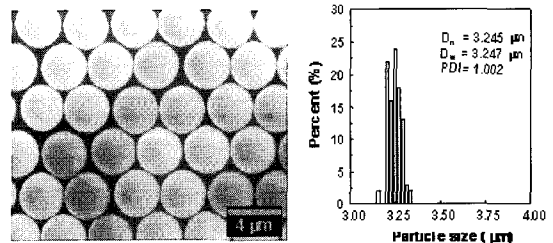
간을 얻기가 어렵다. 그림 3에 일반적인 상분리법을 이용하여 제조된 PDLC의 편광 현미경 사진을 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있듯이 상분리된 액정의 크기가 매우 불균일한 것을 알 수 있다. 이에 반하여 본 연구실에서 제조된 액정 마이크로캡슐은 단분산성의 고분자 seed 입자를 이용하여 액정을 캡슐화를 시킴으로써 최종적으로 입자 내부에 고분자/액정이 균일하게 상분리되어 존재하는 것으로 이를 이용하여 PDLC의 단점을 해결하고 장점을 살려 최종적으로 전자종이로의 적용을 모색한다. 그러기에 우선 아래의 세부적인 항목들을 통하여 연구성과를 확인하고 이를 이용한 전자종이로의 적용 가능성을 타진하여 보고자 한다.

2.1 고분자 seed 입자의 제조

일반적으로 고분자 입자를 제조하는 방법에는 유화중합(emulsion polymerization)과 현탁중합(suspension polymerization)이 이용되어 왔다. 유화중합의 경우 비교적 단분산성의 입자를 얻을 수는 있지만, 크기가 수백 nm 정도의 작은 입자만을 얻는 데 용이하며, 보다 큰 입자를 얻기 위해서는 현탁중합을 이용하지만, 이 경우는 단분산성이 얻어지지 않는다. 그래서 단분산성의 수 μm 의 입자를 얻기 위해 분산중합(dispersion polymerization)이 널리 이용된다. 이러한 분산 중합과정은 본 연구실에서 다년간의 연구 경험을 바탕으로 확립되었다. 아래 그림 4에 분산중합을 이용하여 제조된 단분산성의 고분자 입자의 SEM (전자 주사 현미경) 사진과 그 단분산도를 나타내었다. 최종 액정 마이크로캡슐이 단분산성을 가지기 위해선 seed 입자의 단분산도가 매우 중요하며, 또한 가교제를 공중합시킴으로써 캡슐화된 액정이 분산매로 재확산되는 것을 방지한다.

2.2 액정 마이크로캡슐의 제조

확산 조절 중합법(DPM) 및 용매 공확산법(SCM)을 이용한 액정 마이크로캡슐의 제조에 관한 연구는 본 연구실에서 다년간 꾸준히 연구되어오고 있다. 단분산성의 고분자 seed 입자 내에 액정을 캡슐화시키고 다음과 같은 후처리 과정을 통하여 단분산성 액정 마이크로캡슐을 제조할 수 있다. 용매 공확산법은 액정과 용매를



(a) 고분자 입자의 SEM 사진 (b) 고분자 입자의 분산도

그림 4. 분산중합을 이용하여 제조된 고분자 입자의 SEM 사진 및 분산도.

유화시켜 seed 입자에 팽윤시키고 에멀전이 완전히 사라진 후 용매 증발시켜 액정 마이크로캡슐을 제조하는 것이고, 확산 조절 중합법은 액정과 모노머, 개시제를 유화하여 seed 입자에 팽윤시키고 에멀전이 사라진 것을 확인한 후 중합을 실시하는 방법이다. 그림 5에 각각의 방법에 의한 액정 마이크로캡슐의 제조 모식도를 나타내었다.

모노머의 효과적인 팽윤 및 액정의 캡슐화 후 분산매로 재확산되는 것을 막기 위하여 약 2.5~4 μ m 크기영역의 가교된 단분산성 고분자 seed 입자를 사용한다. 그림 6에서 용매 공확산법을 통하여 고분자 seed 입자 내에 인도메타신(indomethacin)이 캡슐화된 입자의 광학 현미경 사진을 나타내었다. (a)는 선형 고분자 seed 입자를 사용하여, (b)는 가교제를 첨가한 고분자 seed 입자를 이용하여 각각 인도메타신을 캡슐화한 입자이다. 그림에서 보듯이 분산매의 용해도를 조절함으로써 (a), (b) 모든 경우에서 완전한 팽윤이 일어나며, (b)의 가교제를 공중합시킨 seed 입자를 사용함으로써 (a)의 경우와 같이 인도메타신이 분산매로 재확산되는 것을 방지할 수 있다.

액정과 용매 또는 액정과 모노머, 개시제의 혼합물을 첨가하고 homogenizer를 사용하여 유화시켜 에멀전으로 제조한 후 고분자 seed 입자 내로 팽윤시키고, 각각의 후처리 과정을 통하여 액정 마이크로캡슐을 얻을 수 있다. 그림 7에 용매 공확산법에 의하여 제조된 액정 마이크로캡슐의 광학·편광 현미경 사진이며, 편광 현미경을 통하여 캡슐화된 액정이 입자 내부에 존재하는 것을 확인하며, 상분리된 액정의 크기 및 분포도를 확인할 수 있다.

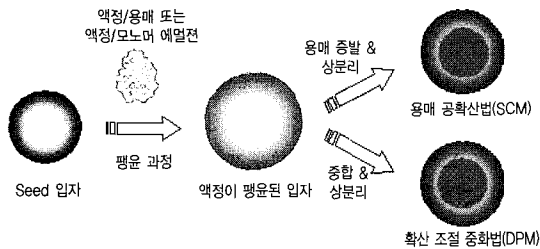
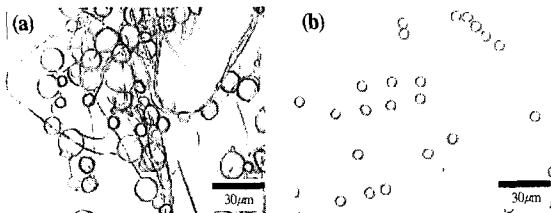


그림 5. 팽윤법에 의한 액정 마이크로캡슐의 제조.

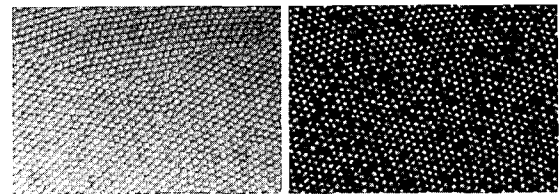


(a) 선형 seed 입자를 이용한 캡슐 (b) 가교 seed 입자를 이용한 캡슐
그림 6. 인도메타신/고분자 마이크로캡슐의 광학 현미경 사진.

유화된 에멀전이 고분자 seed 입자 내로의 팽윤은 분산매를 통한 확산에 의하여 일어나게 되므로, 팽윤시 고려되어야 할 점으로는 모노머-분산매간 용해도, 에멀전의 액적 크기 등이 있다. 따라서, 팽윤시키고자 하는 액정에 따른 반응 분산매의 용해도 조절 등의 실험 조건 확립이 필요하다. 본 연구실에서는 위의 방법을 이용, 액정이 도입된 입자를 제조한 바 있다. 그림 8에 확산 조절 중합법에 의하여 제조된 액정 마이크로캡슐의 SEM 사진과 메탄올을 이용하여 하루동안 액정을 추출시킨 후의 SEM 사진을 나타내었다. 사진에서 확인하듯 단분산성의 액정 마이크로캡슐 사진과 메탄올에서 하루동안 추출시킨 후 추출된 액정이 고분자 입자 내부에서 빠져나간 영역을 확인할 수 있다.

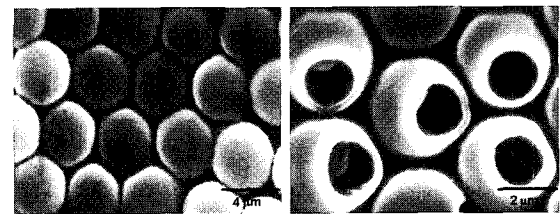
2.3 디스플레이 디바이스의 제조

디스플레이 디바이스는 액정 마이크로캡슐과 PVB (Sekisui Chem.)를 바인더로 사용하여 제조한다. 우선, 액정 마이크로캡슐과 10wt%의 BL-S 에탄올 용액을 무게비 1 : 1로 혼합하여 그 혼합물을 ITO 글라스 위에 코팅시킨 후, 또 다른 ITO 글라스를 사용하여 혼합물이 ITO 글라스 사이에 오도록 한다. 이때 ITO 글라스간의 간격은 PET 필름 스페이서(spacer)를 사용하여 11 μ m로 고정시킨다. 위와 같은 과정을 통하여 최종 디스플레이 디바이스를 완성하며, 그림 9에 제조된 디스플레이 디바이스의 모식도를 나타내었다. 디스플레이 디바이스 제조에서 마이크로캡슐의 입경 및 분포의 균일함에 따라 해상도 및 전기광학 특성 변화에 영향을 미칠



(a) 액정 마이크로캡슐 : 광학현미경 (b) 액정 마이크로캡슐 : 편광 현미경

그림 7. 용매 공확산법을 이용하여 제조된 액정 마이크로캡슐의 광학 및 편광 현미경.



(a) 액정 마이크로캡슐 (b) 액정 마이크로캡슐 : 메탄올에서 하루동안 추출

그림 8. 확산 조절 중합법을 이용하여 제조된 액정 마이크로캡슐의 전자 주사 현미경 사진.

것으로 보여지며, 이에 대한 제조 조건의 확립이 필요하다.

2.4 전기광학 특성 측정

최종 제조된 디스플레이 디바이스의 전기 광학 특성은 헬륨-네온 레이저 (632.8nm)를 이용하여 측정한다. 그림 10에서 액정 마이크로캡슐을 이용하여 제조된 디스플레이 디바이스의 전기광학 측정 결과(a)를 기존의 방법으로 제조한 고분자 분산형 액정(b)과 비교하여 나타내었다. 곡선 (b)는 30V 부근에서 10%의 투과도를 보이고 응답속도 또한 완만한 경사를 보이는 반면, 곡선 (a)는 훨씬 낮은 10V 부근에서 10% 투과도를 보이며 그 응답속도 또한 매우 빠른 우수한 성질을 확인할 수 있다. 이는 균일한 액정영역의 크기 및 분포도에 의하여 기존의 PDLC 디스플레이 디바이스보다 훨씬 좋은 결과를 보이는 것으로 사료되어 진다.

2.5 액정 마이크로캡슐의 개질

일반적인 상분리 제조 방법에선 PDLC의 개질이 매우 어려운 반면, 분산 중합을 통하여 고분자 seed 입자 제조시 다른 물질을 공중합시킴으로서 고분자 기질에 쉽게 기능성을 부여할 수 있다. 예를 들면, imide계의 가교제를 제조하여 이를 styrene이나 methylmethacrylate (MMA)와 같은 모노머와 공중합함으로써 디스

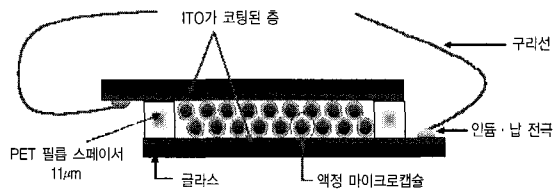


그림 9. 디스플레이 디바이스의 제조 모식도.

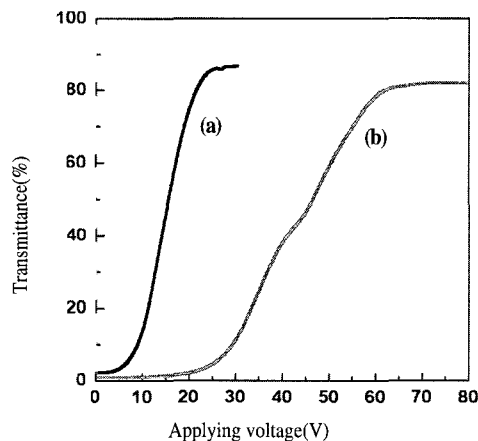


그림 10. 디스플레이 디바이스의 전기광학 특성 측정 결과 곡선.

플레이 제조시 필요한 물성인 열정 안정성을 얻을 수 있다. 또, 위의 모노머와 불소계의 단량체를 공중합시킴으로서 구동 전압이 낮은 액정 마이크로캡슐을 얻을 수 있으며, 사용하는 액정의 종류를 다르게 함으로써 다양한 성질을 보이는 액정 마이크로캡슐을 제조할 수 있다. 특히, smectic 상을 보이는 액정과 nematic 상을 보이는 액정으로 제조된 액정 마이크로캡슐을 혼합하여 디스플레이 디바이스를 제조함으로써 다단계의 switching을 보이는 필름을 제조할 수 있으리라 사료된다. 또한 사용되는 모노머의 종류에 따라 극성이 달라지게 되고 이로 인하여 여러 가지 형태의 상분리를 보임을 그림 11에서 알 수 있다.

2.6 전자종이로의 모색

위와 같은 과정을 통하여 제조된 액정 마이크로캡슐이 기존의 PDLC의 단점을 충분히 보완할 수 있음을 확인하였으며, 이러한 연구결과를 전자종이로 적용하고자 이색성 색소(dichroic dye)를 도입한다. 이색성 색소를 도입함으로써 액정 마이크로캡슐과 색소분자 사이에 게스트-호스트 상호작용(guest-host interaction)에 의하여 전자종이로의 접근을 모색한다.

어떤 색소분자들은 빛이 분자의 한 축을 따라 편광될 때 어떤 파장의 빛을 더 흡수하는데 이러한 색소를 이색성 색소라고 한다. 색소분자가 액정 속에 용해되었을 때 이들 색소분자들은 액정의 방향자를 따라 배열하려는 경향이 있다. 이 효과를 게스트-호스트 상호작용이라 부른다. 즉 색소분자들은 액정 호스트 분자들에 의해 배열되는 게스트 분자들이 된다. 어떤 색소분자들은 액정에 걸어주는 전기장으로 인해 액정과 색소분자 모두가 재배열을 한다. 이러한 이색성 색소를 이용, 액정 마이크로캡슐에 적용하여 전자종이로서의 가능성을 확인한다. 이색성 색소는 액정에 용해가 잘되고, 액정에 따라 서로 상이한 색을 띄게 되는 특성들에 의

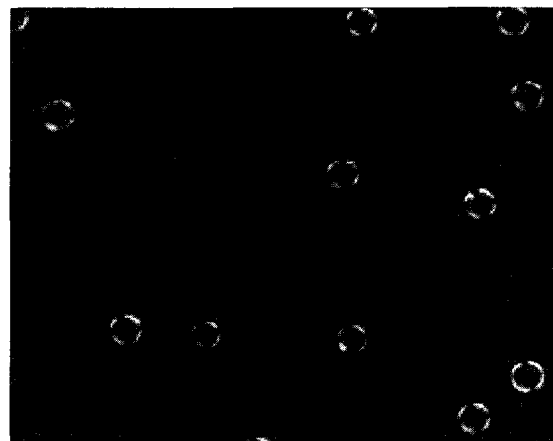


그림 11. Butyl acrylate를 모노머로 이용하였을 때의 편광 현미경 사진.

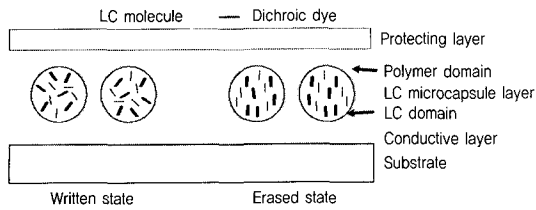


그림 12. 이색성 색소를 이용한 디스플레이 디바이스의 제조 모식도.

하여 디스플레이로 적용할 때 편광판이 필요 없어짐으로 하여 화면의 매우 밝으며, 뛰어난 시각 특성을 가지고, 또한 제조 원가를 절감할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그림 12에서 이색성 색소를 이용한 액정 마이크로캡슐의 디스플레이 디바이스의 모식도를 나타내었다.

3. 결론

새로운 상분리 제조방법인 용매 공확산법과 확산 조절 중합법에 의하여 제조된 액정 마이크로캡슐의 제조와 그 특성을 확인하였다. 기존의 PDLC 제조에 사용되는 상분리법과는 달리 상분리된 액정영역의 크기 및 분포도가 균일한 것을 확인하였으며, 이로 인하여 최종 제조된 디스플레이 디바이스의 전기광학 특성 측정에서 기존의 PDLC의 전기광학 특성보다 뛰어난 효과를 얻을 수 있었다. 또한 도입되는 물질을 변화함으로써 기존의 제조방법보다 훨씬 간단하게 요구되는 물성을 부여할 수 있음을 확인하였다. 추가적으로 이러한 상분리 제조방법을 바탕으로 이색성 색소를 도입함으로써 현재 많은 주목을 받고 있는 전자종이로의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

[1] N. H. Park, S. I. Park, and K. D. Suh, "The effect of mono-sized liquid crystal domains on electro-optical properties in a polymer dispersed liquid crystal prepared by using monodisperse poly(methylmethacrylate)/liquid crystal microcapsules", *Liq. Cryst.* Vol. 29, p. 783, 2002.
 [2] N. H. Park and K. D. Suh, "The morphology of liquid crystals in monodispersed polymer particles using thermodynamics and diffusion behavior", *Colloid Polym. Sci.*, Vol. 280, p. 751, 2002.
 [3] S. A. Cho, N. H. Park, J. W. Kim, and K. D. Suh, "Preparation of mono-sized PMMA/liquid crystal microcapsules by solute co-diffusion method", *Colloid Surf. A*, Vol. 196, p. 217,

2002.

[4] J. W. Kim, S. A. Cho, H. H. Kang, S. H. Han, I. S. Chang, O. S. Lee, and K. D. Suh, "New approach to produce monosized polymer microcapsules by the solute co-diffusion method", *Langmuir*, Vol. 17, p. 5435, 2001.
 [5] N. H. Park, S. I. Park, and K. D. Suh, "A novel method for encapsulation of a liquid crystal in monodisperse micron-sized polymer particles", *Colloid Polym. Sci.*, Vol. 279, p. 1082, 2001.
 [6] N. H. Park, S. A. Cho, J. Y. Kim, and K. D. Suh, "Preparation of polymer-dispersed liquid crystal films containing a small amount of liquid crystalline polymer and their properties", *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 77, p. 3178, 2000.
 [7] K. Kato, K. Tanaka, and M. Date, "Reflective liquid crystal color display technologies", *Electron Comm. JPN* 2, Vol. 81, p. 32, 1998.
 [8] J. W. Doane, A. Golemme, J. L. West, J. B. Whitehead, JR., and B. G. Wu, "Polymer dispersed liquid crystals for display application", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol. 165, p. 511, 1988.
 [9] D. Raj, "Dichroic display technology potentials and limitations", *Mater. Chem. Phys.*, Vol. 43, p. 204, 1996.
 [10] L. C. Chien, C. Lin, D. S. Fredley, and J. W. McCargar, "Side-chain liquid-crystal epoxy polymer binders for polymer-dispersed liquid crystals", *Macromolecules*, Vol. 25, p. 133, 1992.
 [11] C. Carfagna, E. Amendola, M. Giamberine, H. Hakemi, and S. Pane., "Liquid crystalline epoxy resins in polymer dispersed liquid crystal composites", *Polymer International*, Vol. 44, p. 465, 1997.
 [12] B. K. Kim and S. H. Kim, "Copolymer composition-dependent light transmission of polymer/liquid crystals composite films", *J. Polym. Sci. B: Polym. Phys.*, Vol. 36, p. 55, 1998.
 [13] S. A. Carter, J. D. LeGrange, W. White, J. Boo, and P. Wiltzius, "Dependence of the morphology of polymer dispersed liquid crystals on the UV polymerization process", *J. Appl. Phys.*, Vol. 81, p. 5992, 1997.
 [14] S. C. Peng, J. N. Yu, and S. N. Lee, "Effect of droplet size on the dielectric properties of PDLC films", *J. Polym. Sci. B: Polym. Phys.*, Vol. 35, p. 1373, 1997.
 [15] G. P. Montgomery Jr., "Light scattering from polymer-dispersed liquid crystal films: Droplet size effects", *J. Appl. Phys.*, Vol. 69, p. 1605, 1991.
 [16] S. C. Jain, D. K. Rout, and S. Chandra, "Electro-optic studies on polymer dispersed liquid crystal films prepared by solvent-

induced phase separation technique", Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 188, p. 215, 1990.

[17] N. A. Vaz, G. W. Smith, and G. P. Montgomery, JR., "A light control film composed of liquid crystal droplets dispersed in an epoxy matrix", Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 146, p. 17, 1987.

[18] J. Jacobson, B. Comiskey, J. Albert, "Microencapsulated electrophoretic display", US. Pat. 5, 961, 804, Massachusetts Institute of Technology, 1999.

[19] J. D. Albert, "Electrophoretic displays with luminescent particles and materials for making the same", US. Pat. 6, 300, 932 B1, E Ink Corporation, 2001.

[20] G. M. Duthaler, P. T. Kazlas, P. S. Drzaic, "Assembly of microencapsulated electronic displays", US. Pat. 6, 312, 304 B1, E Ink Corporation, 2001.

[21] M. J. Little, W. P. Robinson, E. A. Gifford, "Bistable paper white direct view display", US. Pat. 6, 329, 967 B1, Intel Corporation, 2001.

[22] G. P. Crawford, "A bright new page in portable displays", IEEE SPECTRUM, p. 40, 2000.

[23] K. Sekine, A. Baba, and W. Saito, "Rewritable medium using polymer dispersed liquid crystal films", Proceedings of Japan Hardcopy '99, p. 221, 1999.

[24] H. Yoshikawa, M. Omodani, and Y. Takahashi, "A study of digital paper by using surface electric charge driving of guest-host type liquid crystal medium", Proceedings of Japan Hardcopy '99, p. 245, 1999.

[25] B. Comiskey, J. D. Albert, J. Jacobson, "An electrophoretic ink for all-printed reflective electronic displays", Nature, Vol. 394, p. 253, 1998.

[26] E. Wolarz, D. Kilian, W. Haase, and D. Bauman, "Thermal and dielectric properties of oriented liquid crystalline polysiloxane doped with azo-dye", J. Polym. Sci. B: Polym. Phys., Vol. 37, p. 369, 1999.

[27] D. Bauman and H. Moryson, "Guest-host interactions in dichroic dye-liquid crystal mixture in smectic A and nematic phases", J. Mol. Struct., Vol. 404, p. 113, 1997.

성 명 : 서경도

❖ 학 력

- 1977년 2월 한양대 고분자공학과 공학사
- 1984년 3월 일본 동북대 화학과 이학석사
- 1987년 3월 일본 동북대 화학과 이학박사

❖ 경 력

- 1987년-1989년 일본 동북대 조수
- 1989년-1991년 동양나일론 책임연구원
- 1991년-1994년 한양대 공업화학과 조교수
- 1995년-1999년 한양대 공업화학과 부교수
- 2000년-현재 한양대 응용화학공학부 교수

성 명 : 류지현

❖ 학 력

- 1998년 2월 한양대 화학공학과 공학사
- 2000년 2월 한양대 대학원 공업화학과 공학석사
- 현재 한양대 대학원 화학공학과 박사과정

❖ 경 력

- 2000년-2002년 금호석유화학(주) 라텍스연구소

