

# Encapsulated cholesteric liquid crystal with low driving voltage and easy manufacture process for flexible display

Seo-Yeon Lee and Jae-Hoon Kim \*

*Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea,*  
[jhoon@hanyang.ac.kr](mailto:jhoon@hanyang.ac.kr)

Using encapsulated liquid crystal simplifies manufacturing process due to no need of alignment layer and single-substrate fabrication by printing method. Also encapsulated liquid crystal display shows a good EO performance such as wide viewing angle caused by optically-isotropic nature. None the less it is hard to use encapsulated cholesteric liquid crystal because of the high driving voltage. We demonstrated encapsulated cholesteric liquid crystal display with lowered driving voltage and simplified manufacturing process. Driving voltage was lowered by lowering anchoring energy between liquid crystals and shell polymers also by optimizing the size of LC microcapsules and thickness of LC microcapsule-coated layer.

## 1. Introduction

미래의 디스플레이 패러다임은 매우 얇고 가벼우며, 충격에 강하고 유연하여 장치를 휘거나 굽힐 수 있어야 하고, 그것이 바로 플렉시블 디스플레이이다. 이는 이전의 LCD로 사용했던 유리 기판 대신 플라스틱 소재·필름 등을 기판으로 사용하는데, 롤-투-롤 방식의 대량 인쇄 기술의 상용화로 거대한 시장을 형성할 것으로 기대 되는 미래 유망 산업이다.

플렉시블 디스플레이를 구현하기 위한 핵심 기술 분야로는 플렉시블 유리 및 플라스틱 기판, 다층 박막을 이용한 차단층, 전도성 폴리머나 무기물의 전도층 성장, 새로운 광전물질 개발, 유기/무기/유·무 기 복합형 스위칭 소자 개발 등이 존재한다. [1] 지금까지, 플렉시블 디스플레이 연구는 PDCLC (polymer-dispersed cholesteric liquid crystal) [2], PSCLC (polymer-stabilized cholesteric liquid crystal) [3, 4] 로 연구가 진행되어 왔다. PDCLC 와 PSCLC 를 사용했던 이전 연구는 공정 과정이 복잡하며, 우리의 최종 목적인 롤-투-롤 공정과 같은 프린팅 공정에 어려움이 많다. 그래서 본 연구에서는 마이크로 액정 캡슐 형성 방법을 통해 연구를 진행하였다. 캡슐화 된 액정을

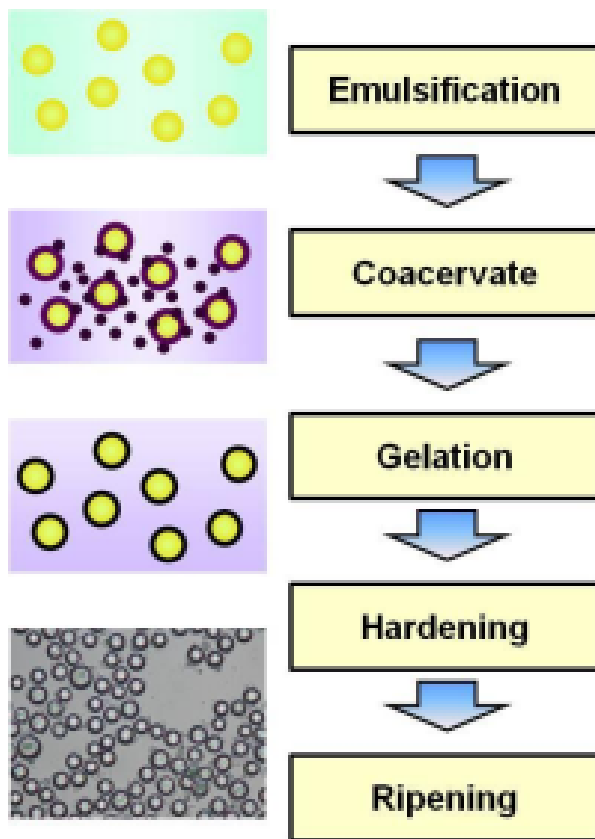
사용한 인쇄 방법을 이용하면, 배향 층 및 단일 기판 제조가 필요 없게 된다. 그로 인해, 제조 과정을 단순화 할 수 있다. 또한, 마이크로 캡슐 형성 방법으로 만들어진 액정 표시 장치는 광학적으로 등방적인 성질로 인한 광 시야각을 가지고 있다. 때문에, 전기장에 의한 광학적 특성에 좋은 성능을 나타낸다. 그러나, 현재 알려진 바로는 캡슐화된 액정을 사용하게 되면 구동 전압이 70V 정도로 높다는 단점이 있다. 본 연구에서 마이크로 액정 캡슐이 코팅 된 층의 두께를 최적화 함으로써, 구동 전압을 저하 시켰다.

## 2. Experimental procedure

마이크로 액정 캡슐 형성 순서는, 물과 액정을 분리시켜주는 Emulsification[6] 이라는 과정을 통해 액정을 물방울 형태로 만들어 준다. 그 이후, Coacervate[5] 라는 마이크로 캡슐 형성 방법을 이용하여 콜레스테릭 마이크로 액정 캡슐을 제조한다. 그 다음, Gelation 이라는 과정을 통해 액정 캡슐을 감싸고 있는 물질을 고분자화 시킨다. 이후, Hardening 이라는 과정을 통해 겹질을 딱딱하게 만들어 준다.

## *Encapsulated cholesteric liquid crystal with low driving voltage and easy manufacture process for flexible display*

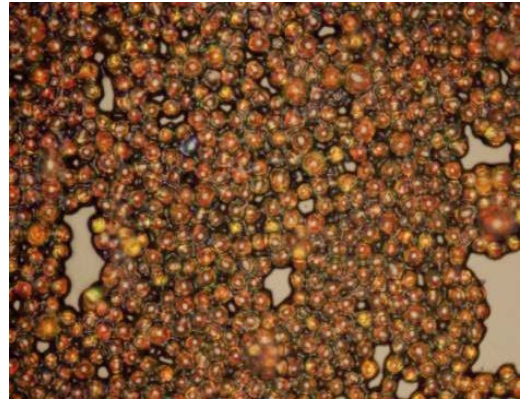
이런 방법을 이용하여 콜레스테릭 마이크로 액정 캡슐 제조 기술을 개발하였다. 또한, 이렇게 만든 콜레스테릭 마이크로 액정 캡슐을 이용해, 이를 균일하게 코팅할 수 있는 코팅 기술을 개발하였다. 이때 여러 가지 코팅 방식 중에 코팅 성능 및 비용 측면에서 가장 적절한 것으로 판단된 바 코팅 방식을 사용하여 마이크로 액정 캡슐을 플라스틱 기판에 균일하게 코팅하는 기술을 개발하였다.



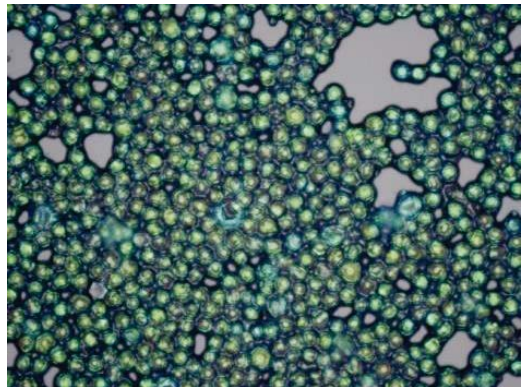
**Figure 1.** 전반적인 액정 캡슐 제작 과정

마이크로 액정 캡슐을 플라스틱 기판 위에 균일하게 코팅 하는 데 있어서 가장 중요한 조건에는 코팅 용액 제조 방법, 코팅 속도 및 코팅 두께 등이 있는데, 본 실험에서는 중요 조건들에 대한 최적화 실험을 통해 최적의 공정조건을 확보하였다. 다음으로, 콜레스테릭

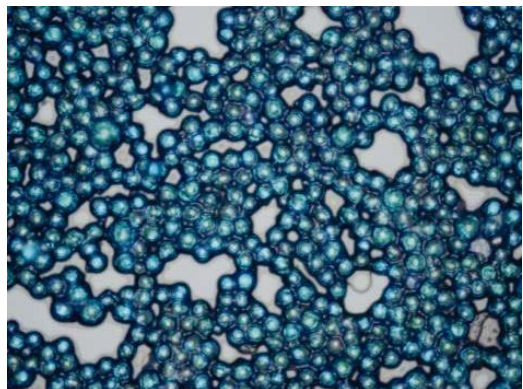
마이크로 액정 캡슐을 사용한 디스플레이의 구동전압을 낮추기 위해 구동 전압에 영향을 주는 조건들에 대한 연구를 진행하였다.



(a)



(b)



(c)

**Figure2.** 간단한 코아서베이션과 멤브레인의 에멀전 과정을 통해 콜레스테릭 액정 마이크로 캡슐 제조 기술을 이용해 만든 캡슐의 현미경 이미지, 각각 (a) 빨강, (b) 초록, (c) 파랑.

이를 통해, 콜레스테릭 마이크로 액정 캡슐 디스플레이의 구동 전압에 크게 영향을 주는 조건으로는 액정 캡슐의 사이즈, 마이크로 액정 캡슐 코팅 층의 두께, 마이크로 캡슐 내부의 콜레스테릭 액정과 표면의 앵커링 에너지 및 투명 전극 기판에 대항하는 맞은 편 전극 형성 방법 등의 네 가지로 압축되었다. 이에 각각의 조건들에 대한 최적화 실험 진행 결과, 액정 캡슐의 사이즈는 8 마이크로가 가장 적당한 것으로 나타났다. 마이크로 액정 캡슐 층의 두께는 15 에서 20 마이크로미터 정도가 적당하였으며, 투명 전극에 대항하는 맞은 편 전극은 스크린 인쇄 방법을 적용하여 마이크로 액정 캡슐 층의 상부에 직접 형성하는 방법을 선택하였다. 또한, 마이크로 캡슐 내부의 콜레스테릭 액정과 표면 간의 앵커링 에너지를 최대한 낮추기 위해 계면활성제를 첨가하여 표면 장력을 최소화하였다.

### 3. Conclusion

콜레스테릭 액정 크기의 최적화를 통해 마이크로 캡슐 코팅 두께 및 마이크로 캡슐 층뿐만 아니라 마이크로 액정 캡슐의 제조에 있어서 계면 활성제는 액정 분자와 고분자 겹질 사이의 표면 장력을 감소 시키는 역할을 한다. 콜레스테릭 액정을 사용하여 마이크로 캡슐화 한 플렉시블 디스플레이는 구동 전압을 약 70 V 에서 40 V 로 대폭 감소시킬 수 있다. 또한, 바 코팅을 이용하여 제조 공정 전체를 단순화 한 제조 공정이 가능하다. 이 과정을 통해 얻어진 콜레스테릭 마이크로 액정 캡슐화 된 플렉시블 디스플레이는 구동 전압의 감소와 더 단순화 된 제조 방법이 가능하며, 전자 피부나 작은 크기의 전자 종이 디스플레이와 같은 ESL 의 응용제품에 적용이 가능하다. 또한, 균일한 크기의 액정 캡슐은 전기장에

의한 광학적 특성에 매우 중요한 역할을 하고 있다.

### References

- [1] EIC, “유럽 플렉시블 디스플레이 시장 동향,” 2007.11., pp.2-3
- [2] P. P. Crooker and D. K. Yang, “Polymer-dispersed chiral liquid crystal color display,” *Appl. Phys. Lett.*, **57**, 2529 (1990).
- [3] H. S. Kitzerow, B. Liu, F. Wu, and P. P. Crooker, “Effect of chirality on liquid crystals in capillary tubes with parallel and perpendicular anchoring,” *Phys. Rev. E* **54**, 568 (1996)
- [4] I. Dierking, L. L. Kosbar, A. C. Lowe, and G. A. Held, “Polymer network structure and electro-optic performance of polymer stabilized cholesteric textures - I. The influence of curing temperature,” *Liq. Cryst.* **24**, 387 (1998).
- [5] N. Agnihotri, R. Mishra, C. Goda, and M. Arora.” *Microencapsulation – A Novel Approach in Drug Delivery: A Review*,” *Indo Global J. Pharm. Sci.*, **2**(1), 1 (2012).
- [6] H. Yuyama, T. Watanabe, G. H. Ma, M. Nagai, and S. Omi, “Preparation and analysis of uniform emulsion droplets using SPG membrane emulsification technique,” *Colloids and Surfaces*, **168**, 159 (2000).