

## 수평전기장에 의해 대전된 입자의 운동제어

백인수, 정병선, 임영진, 이승희

전북대학교 신소재공학부

### Control of Motion of Charged Micro-Particle by In-plane Field

In-Su Baik, Byoung Sun Jung, Young Jin Lim, Seung Hee Lee

School of Advanced Materials Engineering, Chonbuk National University

#### Abstract

We have studied motion of micro-particle immersed in liquid crystal (LC) controlled by in-plane field, which is an important technology in the electro-phoretic display (EPD). In the EPD on and off states are decided by movement of these charged particles and response time is influenced by moving velocity of charged particles. In addition, the velocity can be controlled by intensity of applied voltage such that the higher the applied voltage, the faster velocity of particles become. In this study, we investigated particles's motion as functions of applied voltage, temperature of LC, rubbing direction, operating temperature, and LC phase..

**Key Words** : Micro-particle, Electro-phoretic display, Liquid crystal

#### 1. 서 론

최근, 시간과 공간의 제약에서 자유로울 수 있는 새로운 개념의 정보전달 매체를 필요로 하고 있으며, 기존의 디스플레이(display)와 종이의 장점만을 극대화한 전자종이(electronic paper display)가 이와 같은 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 전자종이는 기존의 종이와 디스플레이 매체를 대신할 수 있고 한번 표현한 화면은 전원이 제거되어도 유지되어 배터리의 수명이 길어 현재 전자책(E-book)등에 사용되고 있으며 휴대폰, personal digital assistance(PDA) 등과 같은 이동통신 기기의 정보소자로 사용될 것으로 기대된다. 또한, 유리기판 뿐만 아니라 유연성이 좋은 플라스틱 기판을 이용해 제작할 수 있어 가볍고 표시와 소거가 용이한 디스플레이이다.

일반적으로 전자종이를 구현하는 방식으로는 대전된 볼을 전기적으로 회전시키는 twist ball 타입의 Gyricon[1], microcapsule내에 양전하를 띄는 흰색의 pigment chip과 음전하를 띄는 검정색의

pigment chip이 상하로 인가되는 전압에 의해 이동하는 방식의 E-ink[2], roll-to-roll 방법으로 제작되는 Microcup[3], 수평 배향된 액정 셀에서 대전된 입자들이 전기장에 의해 이동하는 방식의 mobile fine particle display(MFPD)[4], 색을 띄는 오일을 이용해서 빠른 응답속도를 보이는 electrowetting[5] 방식 등이 있으며 이외에도 많은 모드들이 연구 되고 있다.

EPD방식으로 구현되는 대부분의 전자종이는 반사형으로 구동된다. 하부기판에 흡수층을 두거나 검정색과 하얀색의 입자들을 이용해 어둠 상태와 밝은 상태를 표현한다. 이때의 명암대비율은 10:1 정도이고 반사율은 20~40%이다. 응답속도는 80~100ms이다. 이런 EPD 방식의 전자종이의 응답속도는 입자들의 크기, 전압, 입자의 전하량 등에 의존해 결정된다.

본 논문에서는 액정 안에 분산된 대전된 입자들의 거동에 대해 알아보았다. 수평 배향된 액정 셀에서 수평 전기장을 인가하였을 때 입자들은 인가되는 전압의 세기에 반응하여 이동한다. 이때의 입

자 하나의 이동속도를 측정하였고, 이동속도에 영향을 주는 요인들에 대해 알아보았다.

## 2. 셀 구조 및 실험 조건

본 연구에서 사용된 셀의 구조는 그림 1과 같다. 30  $\mu\text{m}$ 의 간격을 두고 일자형으로 패터닝된 금속 전극이 있는 유리기판과 일반 유리기판 위에 수평 배향막(AL16139)을 코팅하고 셀 갭( $d$ )은 60  $\mu\text{m}$ 로 하였다. 사용된 액정의 유전률 이방성( $\Delta\epsilon$ ) 값은 +8.1이고 액정의  $T_{ni}$  온도는 72 $^{\circ}\text{C}$ 이다. 액정 안에 0.2 wt%의 비율로 직경 5 $\mu\text{m}$ 의 흰색 입자를 분산시키고, 전압은 DC 전압을 0~10V로 변화시키며 인가하였다.

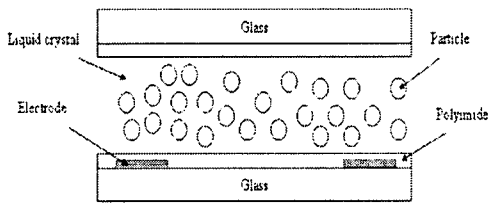


그림 1. 셀 기본 구조.

Fig 1. The fundamental structure of cell.

그림 2는 실험에서 사용된 셀의 (a) off 상태,

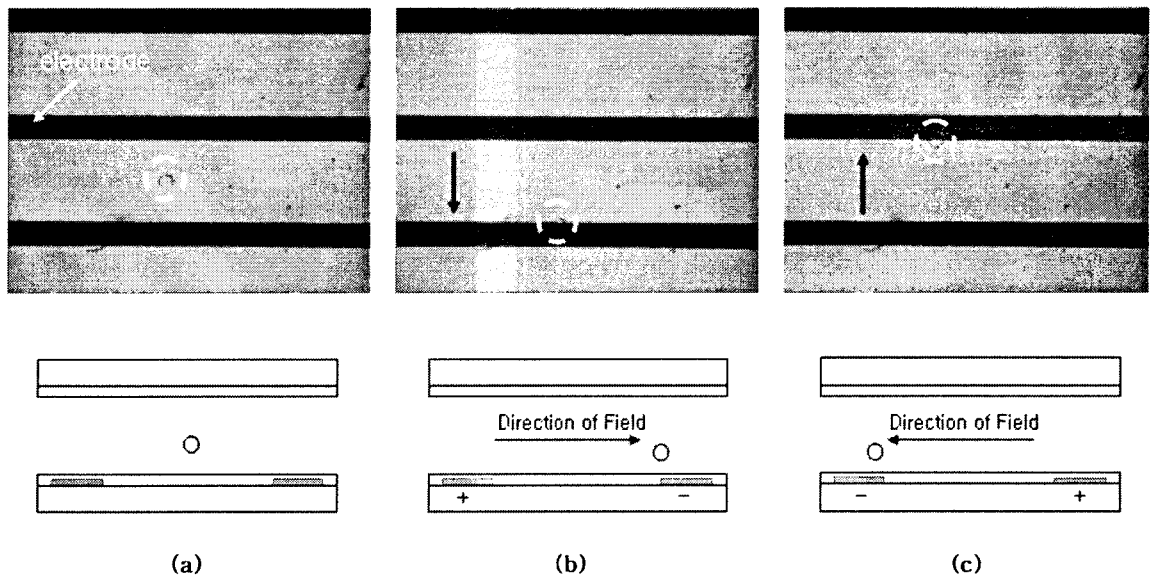


그림 2. (a) off 상태, (b) + 직류 전압을 인가하였을 때, (c) - 직류 전압을 인가하였을 때 입자의 이동 방향.

Fig 2.

(b) + 직류 전압을 인가하였을 때, (c) - 직류 전압을 인가하였을 때 입자의 이동 방향 및 동작 원리를 나타낸다. 전극사이에 위치한 입자는 셀에 직류 전압이 인가 될 경우 수평 전기장의 방향과 일치하게 이동한다. + 직류 전압이 인가되면 수평 전기장의 방향에 따라 대전된 입자는 이동을 하고 - 직류 전압이 인가되면 반대로 이동을 한다. 실험에 사용된 액정은 양의 액정이므로 액정의 러빙 방향이 전기장의 방향과 일치할 경우에는 전압이 인가되어도 액정은 회전하지 않아 입자의 이동에 영향을 주지 않는다. 하지만 러빙 방향이 전기장의 방향과 일치하지 않을 경우에는 전압이 인가되면 액정은 전기장의 방향으로 회전하게 되고 이때 회전하는 액정이 입자의 이동 속도에 영향을 줄 수 있기 때문에 액정의 회전이 입자의 이동 속도에 영향을 미치는가를 알아보기 위해 러빙 방향을 다르게 하여 러빙 방향이 전기장의 방향과 일치하는 셀과 전기장의 방향과 80 $^{\circ}$ 를 이루고 있는 셀을 제작하였다. 입자들의 이동에 영향을 주는 요인으로는 전압의 세기와 대전된 입자의 전하량, 입자의 크기, 액정의 점도,  $d$  등이 있다. 액정의 점도는 온도에 의존해 달라진다. 온도가 10 $^{\circ}\text{C}$  상승하면 점도 값은 1/2정도 낮아지기 때문에 본 연구에서는 온도를 올려가면서 입자의 이동 속도를 확인 하였고 액정의 상이 nematic일 때와 isotropic일 때의 속도를 측정하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 25°C의 온도에서 러빙을 0°와 80°로 했을 때의 인가되는 직류 전압별 입자의 이동 속도를 나타내는 그래프이다. 인가되는 직류 전압의 크기가 커질수록 입자의 이동 속도는 전압의 세기에 비례해 커지는 것을 알 수 있다. 이 결과에 따르면 액정의 러빙 방향은 입자의 이동 속도에 영향을 주지 않는다. 하지만 d가 60 $\mu\text{m}$ 이기 때문에 10V이하의 전압의 세기에서는 액정층 하단부는 충분히 회전을 할 수 있지만 중간 이상의 영역에서는 액정이 충분히 회전을 할 수 없기 때문에 그림 3에서 보는 것처럼 입자의 이동 속도에 크게 영향을 주지 않은 결과를 보여준다.

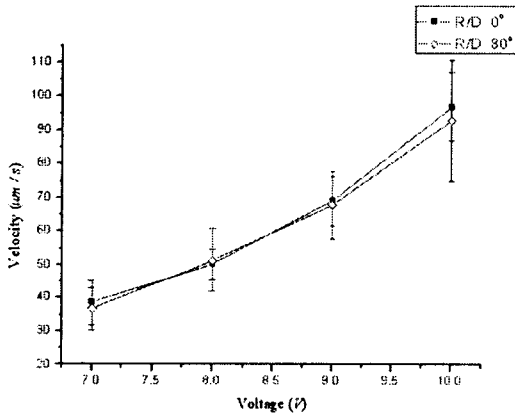


그림 3. 러빙을 0°와 80°로 했을 때의 인가전압별 입자의 이동 속도.

Fig 3. The moving velocity of particle with a applied voltage when rubbing direction is 0° and 80°, respectively.

그림 4는 직류 전압을 7V와 10V로 인가했을 때 온도별 입자의 이동 속도를 나타내는 그래프이다. 온도가 상승하면 인가된 직류 전압이 7V와 10V 경우 둘 다 입자의 속도가 약간 증가하는 것을 보여준다. 입자의 이동에서 입자가 이동 할 수 있는 충분한 전압이 인가 될 경우 액정의 점도는 입자의 이동에 크게 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 그림 5는 액정의 상이 nematic과 isotropic일 때 입자의 속도를 보여준다. 이때 인가된 직류 전압은

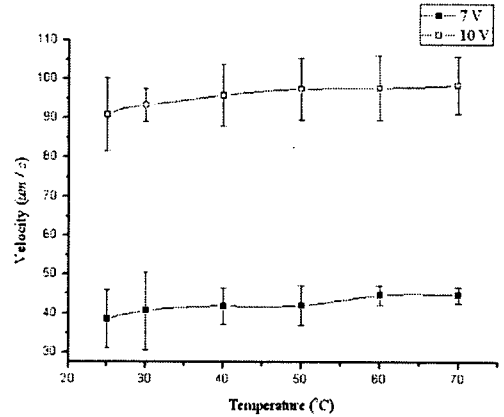


그림 4. 전압을 7V와 10V로 인가했을 때 온도별 입자의 이동 속도.

Fig 4. The moving velocity of particle with a temperature when applied voltage is 7V and 10V, respectively.

10V 이고 액정이 nematic 상 일 때의 온도는 25°C 이고 isotropic 일 때의 온도는 80°C로 액정이 충분히 isotropic 상태에 도달했을 때 입자의 이동 속도를 측정 하였다. 입자의 속도는 액정의 상에 의존해 같은 전압이라 할지라도 큰 차이가 있는 것이 확인된다.

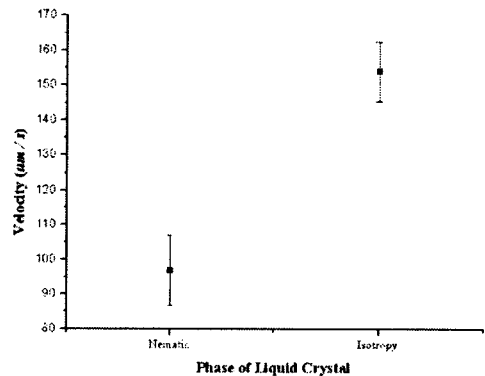


그림 5. 액정이 nematic과 isotropic 상일 때 10V를 인가했을 때 입자의 속도.

Fig 5. The velocity of particle with differnt phase of liquid crystal when applied voltage is 10V.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 액정 안에 분산된 대전된 입자들이 수평 전기장에 의해 이동할 경우 입자의 속도에 영향을 주는 요인들에 대해 알아보았다. 대전된 입자들은 인가되는 전압의 세기에 비례해 이동 속도가 빨라졌고 러빙 방향과 온도에는 크게 의존하지 않았지만 액정의 상에는 크게 의존해 nematic 상일 때 보다 isotropic 상일 경우에 매우 빨라졌음을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] T. Pham, N. Sheridan, and R. sprague, "Electro-optical characteristics of the gyricon display", SID 02 Digest, p. 119, 2002.
- [2] B. Comiskey, J. D. Albert, H. Yoshizawa, and J. Jacobson, "An electrophoretic ink for all-printed reflective electronic display", Nature, Vol. 394, p. 253, 1998.
- [3] R. C. Liang, J. Hou, J. Chung, X. Wang, C. Pereira, and Y. Chen, "Microcup active and passive matrix electrophoretic displays by roll-to-roll manufacturing processes", SID 03 digest, p. 838, 2003.
- [4] M. Ogawa, T. Takahashi, S. Saito, Y. Toko, Y. Iwakura, K. Kobayashi, and T. Akahane, "Behavior of fine particles in mobile fine particle display(MFPD) cells", SID 03 Digest, p. 584, 2003.
- [5] R. A. Hayes, and B. J. Feenstra, "Video-speed electronic paper based on electrowetting", Nature, Vol. 425, p. 383, 2003.