

# 탄소 나노 튜브가 분산된 액정을 이용한 TN 모드의 전기 광학 특성 연구

백인수, 전상연, 이승희  
전북대학교 신소재공학부

## Electro-optic Characteristic of Twisted Nematic Mode using a Liquid Crystal Dispersed Carbon Nanotubes

In-Su Baik, Sang Youn Jeon, Seung Hee Lee  
School of Advanced Materials Engineering, Chonbuk National University

### Abstract

We have fabricated twisted nematic (TN) cell doped by carbon nanotubes (CNTs). The CNTs with a minute amount of doping do not perturb the liquid crystal orientation in the off- and on-state. The hysteresis studies of voltage-dependent transmittance and capacitance under ac and dc electric field show that the amount of residual dc, which is related to image sticking problem in liquid crystal displays, is greatly reduced due to ion trapping by CNTs.

**Key Words** : twisted nematic, carbon nanotube, electro-optic characteristics, residual dc

### 1. 서 론

최근 액정에 분산된 탄소 나노 튜브(CNT)의 영향에 관한 연구가 다양한 방법으로 이루어지고 있다. CNT의 장축이 액정 방향자와 평행하게 배열하고 있다는 것이 연구되었고[1]. CNT가 분산된 액정이 수평 배향된 셀에 수직 전기장을 인가하였을 때 CNT는 액정 방향자를 따라 배열 하게 된다는 것이 증명되었다[2-4]. 또한 C<sub>60</sub> 또는 multiwalled CNT (MWNT)와 같은 carbon nanosolid가 소량 첨가된 액정을 이용하여 제작된 twisted nematic(TN) 액정 셀에 전압을 인가 할 경우 carbon nanosolid가 미치는 영향에 대해서도 연구 되었다[5]. 하지만 이 경우에 사용된 액정은 유전율 이방성( $\Delta\epsilon$ ) 값이 20 정도로  $\Delta\epsilon$  값이 큰 액정을 이용하였고, DC전압을 인가하였을 경우에 대한 연구가 이루어 졌다. nanosolid가 소량 첨가된 액정을 이용했을 경우와 그렇지 않은 경우 모두

DC 전압에 따른 투과율 곡선은 히스테리시스가 크게 나타났다. 이 연구에서는 카본 나노튜브가 히스테리시스를 줄인다고 언급하고 있지만 히스테리시스가 줄어드는 원인에 대해서는 언급하고 있지 않다.

Thin-film transistor(TFT) - liquid crystal displays(LCDs)에서 액정 셀은 AC 전압에 의해 구동되어진다. 만약 AC 전압으로 구동되지 않는다면 전하를 띄는 이온들이 액정과 배향막 사이의 계면에 달라붙게 되어 잔류 DC를 형성하게 된다. 이 잔류 DC에 의해 이미지를 표현하기 위해 인가되는 신호 전압이 방해를 받아 이미지 스티킹 문제를 일으키게 되고[6]. 이미지 플리커링 현상의 원인이 된다. TFT-LCDs에서 좋은 화질을 얻기 위해서는 적은 잔류 DC와 voltage holding ratio(VHR)는 매우 중요하다. 현재 사용되고 있는 super-fluorinated LC는  $10^{13} \Omega\text{cm}$  보다 더 높은 비저항 값을 가지고 있다[7]. 그럼에도 불구하고

실제 TFT-LCDs에서는 액정 셀의 재료와 셀 제작 공정 과정에서 발생하는 불순물 이온들이 액정 셀 안에 존재하고 있고 액정과 배향막 사이의 계면에서 이런 이온들의 흡착에 의해 발생하는 잔류 DC에 의해 이미지 스티킹 현상과 같은 문제점들이 나타나고 있다. 본 연구에서는 MWNT가 분산된 액정을 이용하여 TN 셀을 제작 하였고 AC 또는 DC 전압을 인가 할 경우 MWNT가 TN셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

## 2. 본 론

실험에 사용된 super-fluorinated LC(Merck, Japan)의 조건은 다음과 같다.  $\Delta\epsilon$ 은 7.4이고 복굴절( $\Delta n$ ) 값은 589 nm의 파장에서 0.088이다. 액정의 clearing temperature( $T_c$ )는 80°C이다. 사용된 배향막은 폴리이미드 타입으로 SE-5211(Nissan Chemicals, Japan)를 indium-tin-oxide (ITO)가 패터닝된 유리 기판위에 스펀 코팅하였다. 러빙 방향은 상판과 하판이 서로 90°로 교차되게 하였다. 10<sup>-3</sup>wt%의 MWNT를 액정에 분산 시켰고 상온에서 셀에 주입하였다. 셀갭은 순수한 액정을 사용한 셀의 경우 4.5  $\mu\text{m}$ 이고 MWNT가 분산된 액정을 사용한 셀은 4.6  $\mu\text{m}$ 이다. 그리고 전압을 인가하기 전

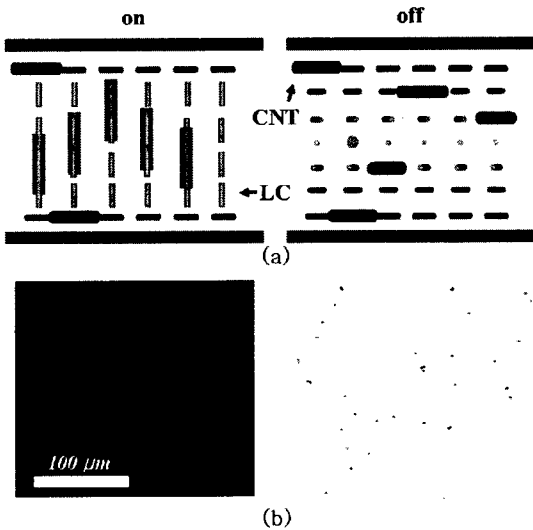


그림 1. MWNT가 분산된 TN 셀의 on/off 상태의 (a) 셀 구조와 (b) 편광 현미경 사진.

Fig 1. (a) Cell structure and (b) microscopic image of on/off state of MWNT-doped cell.

에 액정 셀이 white 상태가 되도록 normally white 모드로 편광판 부착하였다. 그림 1 (a)는 CNT가 분산된 TN셀의 off/on시의 액정 배열상태를 보여준다. 그림 1 (b)는 MWNT가 분산된 TN셀의 on/off상태의 편광 현미경 사진이다. 전압 인가전과 인가 후의 MWNT가 분산된 액정을 이용한 TN 셀의 액정의 거동은 순수한 액정을 사용한 TN 셀과 다르지 않았다. 이러한 현상으로 MWNT가 액정에 소량 분산될 경우 액정의 배열 상태를 깨지 않고 전압이 인가될 경우 액정의 배열 상태를 따라 MWNT들이 배열 한다는 것을 확인할 수 있었다.

그림 2 (a)는 전압에 따른 V-C 히스테리시스 곡선이다. DC 전압의 인가는 0.1V 단위로 0V에서 +10V로 인가한 후 +10V에서 -10V로 인가하고

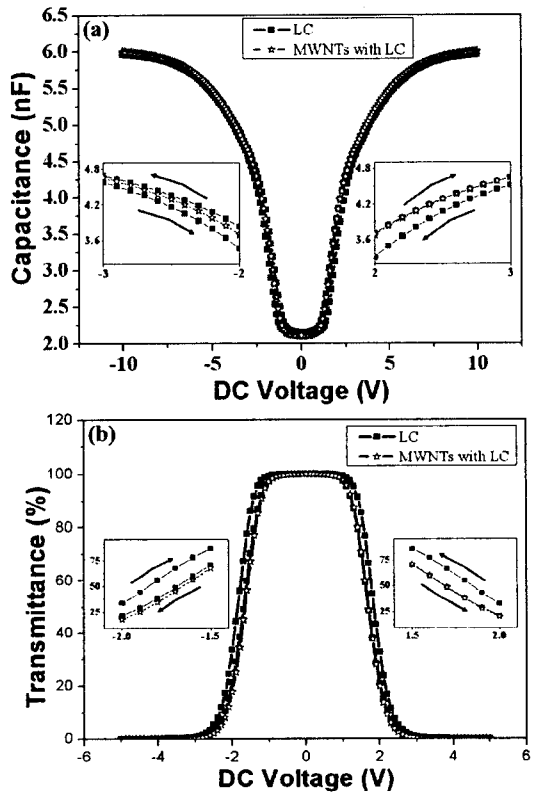


그림 2. 순수한 액정과 MWNT가 분산된 셀의 전압에 따른 (a) 전기용량과 (b) 투과율 히스테리시스 곡선.

Fig 2. Measured voltage-dependent (a) capacitance and (b) transmittance hysteresis curves for pure LC and MWNT-doped cells.

다시 -10V에서 0V로 인가하여 히스테리시스 곡선을 얻었다. 순수 액정을 사용한 TN 셀의 잔류 DC의 크기는 +DC 전압을 인가하였을 경우 0.248V이고 -DC 전압을 인가하였을 경우 0.252V로 나타났고 MWNT가 분산된 액정을 사용한 TN셀의 잔류 DC의 크기는 +, -DC전압에서 각각 0.005V와 0.004V를 나타냈다. MWNT가 분산된 액정을 이용한 TN셀의 잔류 DC는 순수한 액정을 사용한 TN셀의 잔류 DC 보다 매우 적게 나타났다. 그림 2 (b)는 V-T 히스테리시스 곡선을 보여준다. 순수 액정을 사용한 TN 셀에서  $V_{10}$ ,  $V_{50}$ ,  $V_{90}$ 에서의 잔류 DC는 +, -DC 전압 영역에서 0.13, 0.16, and 0.19 V를 나타내었고 MWNT가 분산된 액정을 이용한 TN 셀에서는  $V_{10}$ ,  $V_{50}$ ,  $V_{90}$ 에서 모두 약 0.003 V정도를 나타낸다.

이전의 연구에서 우리는 일정한 진동수를 갖는 AC 전압을 인가할 경우 특정 전압 이상에서 CNT는 진동을 하게 되고 이러한 현상에 통해 CNT가 영구 쌍극자를 갖는다고 보고하였다[3,4]. 실험에 사용된 MWNT의 평균 길이는 0.25  $\mu\text{m}$ 이고 직경은 3-5 nm로 MWNT의 질량과 크기는 액정 분자보다 매우 크다. 따라서 원자 크기의 불순물 이온들이 순수 액정을 사용한 TN 셀에서는 DC 전압을 인가 할 경우 액정과 배향막 사이의 계면에 흡착 되어 잔류 DC를 유발 하지만 MWNT가 분산된 TN셀의 경우에는 불순물 이온들이 MWNT의 쌍극자에 붙게 되고 그 결과로 배향막 표면에 흡착되는 불순물 이온의 양이 적어져 잔류 DC를 줄이게 된다고 추정 할 수 있다.

그림 3은 순수한 액정을 사용한 TN셀과 MWNT가 분산된 액정을 사용한 TN셀의 AC전압에 따른 투과율 곡선이다. AC 전압을 인가할 경우 순수한 액정을 사용한 셀의 문턱전압( $V_{th}$ )이 MWNT가 분산된 액정을 사용한 셀보다 약간 더 낮게 나타나지만 구동 전압( $V_{op}$ )은 MWNT가 분산된 액정을 사용한 셀이 약간 더 낮게 나타났다. 이러한 원인은 소량의 MWNT의 첨가에 의해 액정의 질량과 탄성상수가 약간 증가하게 되어  $V_{th}$ 가 증가하게 되고 영구 쌍극자를 가지고 있는 MWNT가 전기장의 방향으로 배열하기 때문에  $V_{op}$ 가 약간 감소는 것이라 사료된다. 다시 말해, MWNT는 액정보다 무거운 질량에 의해 낮은 전압에서는 액정의 배열을 좀 더 어렵게 하지만 높

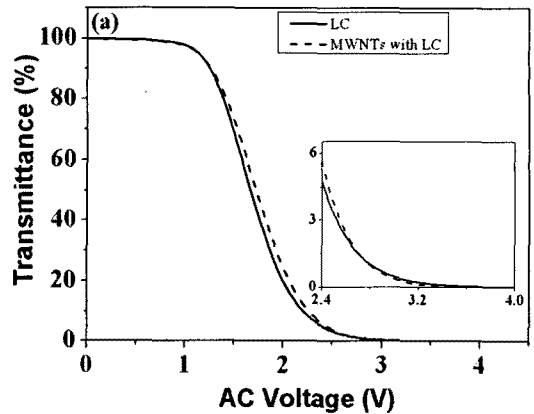


그림 3. 순수한 액정과 MWNT가 분산된 셀의 AC 전압 인가했을 경우의 전압에 따른 투과율 곡선.

Fig. 3. Measured voltage-dependent transmittance curves for pure LC and MWNT-doped cells when ac voltages are applied.

은 전압에서는 MWNT의 토크에 의해 액정의 배열을 좀 더 쉽게 하기 때문이다.

$T_{100}$ 에서  $T_0$ 까지의 응답시간은 순수한 액정을 사용한 셀의 경우 rise time과 decay time은 각각 3.8 ms, 14.9 ms였고 MWNT를 사용한 셀의 경우 4.0 ms 와 15.8 ms로 크게 다르지 않았다. 각 계조별 응답시간도 두 셀 모두 크게 다르게 나타나지 않았다.

### 3. 결론

본 연구에서는 MWNT가 분산된 액정을 이용하여 TN 셀을 제작 하였고 AC 또는 DC 전압을 인가 할 경우 MWNT가 TN셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향에 대해 연구하였다. V-C 히스테리시스 곡선으로 MWNT의 이온 흡착에 의해 잔류 DC는 매우 줄어드는 결과를 얻을 수 있었고 V-T 히스테리시스 곡선도 비슷한 결과를 보였다. 그리고 액정에 분산된 MWNT에 의해  $V_{th}$ 는 약간 증가하지만  $V_{op}$ 는 감소하는 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구를 통해 현재 TFT-LCDs의 큰 문제점 하나인 잔류 DC를 감소시킬 수 있는 방안을 제안한다.

### 감사의 글

본 연구는 한국 과학재단 목적기초연구 (R01-2004-000-1004-0) 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] M. D. Lynch and D. L. Patrick, "Organizing Carbon Nanotubes with Liquid Crystals", Nano Lett. Vol. 2, No. 11, p. 1197, 2002.
- [2] Dierking, G. Scalia and P. Morales, "Liquid crystal-carbon nanotube dispersions", J. Appl. Phys. Vol. 97, 044309, 2005.
- [3] S. Y. Jeon, I-S. Baik, J. Y. Lee, K. H. An, J. W. Choi, S. H. Lee and Y. H. Lee, "Control of Carbon Nanotube's Orientation in Nematic Liquid Crystals and its Effect on Electro-optic Characteristics of Liquid Crystal Cell", ECLC`05, p. 65, 2005
- [4] I-S. Baik, J. Y. Lee, S. Y. Jeon, K. H. An, J. W. Choi, S. H. Lee, and Y. H. Lee, "Distortion of liquid crystal orientation induced by carbon nanotubes under in-plane field", submitted to Appl. Phys. Lett. 2005.
- [5] W. Lee, C-Y. Wang and Y-C. Shih, "Effects of carbon nanosolids on the electro-optical properties of a twisted nematic liquid-crystal host", Appl. Phys. Lett. Vol. 85, p. 513, 2004.
- [6] M. Bremer, S. Naemura, and K. Tarumi, "Model of Ion Solvation in Liquid Crystal Cells ", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37, L88, 1998.
- [7] S. Naemura, " Liquid Crystal Materials and Technologies inside Modern Displays", IMID`03, p. 277, 2003.