

## 수직배향 네마틱 액정셀에서의 주입속도에 미치는 전기장 효과

### Effect of Electric Field on an Injection Velocity in a Vertically Aligned Nematic Liquid Crystal

전연문<sup>1</sup>, 김상균<sup>1</sup>, 김연식<sup>1</sup>, 안명환<sup>2</sup>, 이승희<sup>1,a</sup>

(Yeon Mun Jeon<sup>1</sup>, Sang Gyun Kim<sup>1</sup>, Youn Sik Kim<sup>1</sup>, Myeong Hwan An<sup>2</sup>, and Seung Hee Lee<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

Injection time of liquid crystal (LC) by capillary action in a vertically aligned (VA) nematic LC cell takes longer than that in a homogeneously aligned (HA) LC cell because Miesowicz viscosity in the former is bigger than that in the latter. To reduce liquid crystal injection time in the VA cell, we applied vertical electric field while injecting so that the orientation of LC molecules is changed from vertical alignment to homogeneous alignment. Consequently, the injection speed is improved by 25 % when compared with the cell without an applied field.

**Key Words** : Vertical alignment, Injection time, Miesowicz viscosity

#### 1. 서론

최근 액정 디스플레이 시장의 크기가 확대됨에 따라 디스플레이의 화질을 높이고, 동영상을 완벽하게 표현할 수 있는 액정 모드의 개발이 더욱 중요시 되고 있다[1]. 현재까지 제안된 액정 모드들은 크게 수평배향 모드 (Homogeneous Alignment: HA)와 수직배향 (Vertical Alignment: VA)모드로 나뉘어 있다. 수평 배향 모드에는 In-Plane Switching (IPS)[2]와 Fringe-Field Switching (FFS)[3,4] 이 있고, 수직배향 모드로는 Multi-domain Vertical Alignment (MVA)[5]나 Patterned Vertical Alignment (PVA)[6]가 있다. 이 중에서 MVA와 PVA 모드는 높은 대비비, 광 시야각, 빠른 응답시간, 러빙이 필요 없다는 장점이 있어 상용화 되고 있다. 그러나 수직 배향 모드는 액정주입시간이 너무 오래 걸린다는 단점이 있다. 수직배

향 모드의 경우 수  $\mu\text{m}$ 의 작은 셀 갭으로 막대 모양의 nematic 액정이 주입되면서 기관에 수직으로 배열하게 하게 되어 기관에 수평배열인 상태의 주입시 보다 액정 유체의 흐름에 대한 저항이 더 크기 때문이다. 최근 ODF(One Drop Fill)[7] 방식이 개발되었지만, 아직도 종래의 4세대 라인까지는 기존의 모세관 현상을 이용한 진공주입방식을 사용하기 때문에 생산성이 저하되는 문제를 갖고 있다.

액정주입공정은 모세관 현상과 셀 내부와 외부의 압력차를 이용하는 방법이다. 따라서 액정주입 시간은 기관의 표면 조건, 셀 갭, 패널크기, 액정의 점도 등에 의존한다. 본 연구에서는 수직 배향 셀에 액정을 주입할 때, 전압을 인가하여 주입속도의 향상여부를 조사하였다.

#### 2. 이론적 배경

액정은 막대와 같은 모양으로 유전율, 굴절율, 점도 등 여러 가지 물성 값이 방향에 따라 다른 이방성을 갖는다. 그림 1은 액정분자의 배열에 따른 Miesowicz 점도[8,9]를 나타낸다.

1. 전북대학교 고분자 BIN 융합연구 사업팀  
(전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14)  
2. 전남대학교 정보소재공학과  
a. Corresponding Author : lsh1@chonbuk.ac.kr  
접수일자 : 2006. 5. 24  
심사완료 : 2006. 6. 7

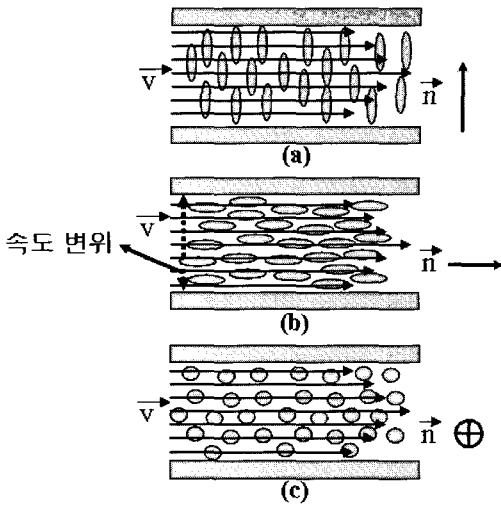


그림 1. 액정 분자의 배향 상태에 따른 Miesowicz 점도 : (a)  $\eta_1$ , (b)  $\eta_2$ , (c)  $\eta_3$ .  
 Fig. 1. The Miesowicz viscosities depending on orientation of liquid crystal and flow pattern: (a)  $\eta_1$ , (b)  $\eta_2$ , (c)  $\eta_3$ .

- $\eta_1$  : 액정 방향자가 흐르는 방향에 수직하고, 속도 변위에 평행하게 배열한 상태.
- $\eta_2$  : 액정 방향자가 흐르는 방향에 평행하고, 속도 변위에 수직으로 배열한 상태.
- $\eta_3$  : 액정 방향자가 흐르는 방향과 속도 변위에 수직으로 배열한 상태.

속도 변위는 유체 흐름 속도의 위치에 따른 차이로 본 실험의 경우는 상하 기판에 수직 방향이다. 네마틱 액정의 경우  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$ 의 관계가 다음과 같다[10].

$$\eta_1 > \eta_3 > \eta_2 \quad (1)$$

수평 배향 셀에 액정을 주입하면 액정분자들이 그림 2의 (a)와 같은 배열을 하게 되어 주입속도가  $\eta_2$ 에 비례하고, 수직 배향 셀에 액정을 주입하면 액정분자들이 그림 2의 (b)와 같은 배열을 하게 되어  $\eta_1$ 에 비례한다. 액정의 점도는  $\eta_2$  보다  $\eta_1$  이 크기 때문에 수직 배향 셀의 주입속도가 수평 배향 셀에 주입하는 것보다 느리다. 수직 배향셀의 액정 주입속도를 향상시키기 위하여 그림 3과 같이 단위 셀에 전압을 인가하여 액정의 주입 속도를 측정하였다. 이때 전기장은 기판에 수직 방향이

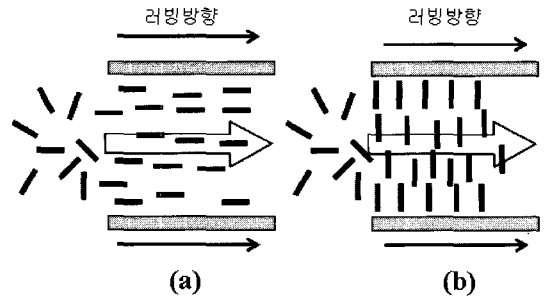


그림 2. 셀에 액정을 주입할 때, 액정의 배열 : (a) 수평 배향 셀, (b) 수직 배향 셀.  
 Fig. 2. The orientation of liquid crystal while injecting liquid crystal. (a) homogeneous aligned cell, (b) vertical aligned cell.

고, 액정은 음의 유전율 이방성이기 때문에 전압을 인가하면 전기장 방향에 수직으로 놓기 때문에 기판에 수평방향으로 배열하게 된다.

### 3. 실험

#### 3.1 수평 배향 셀

수평 배향 셀의 실험은 셀 갭이  $5.3 \mu\text{m}$ 이고, 투명전극인 ITO(indium-tin-oxide)가 코팅된 영역의 크기가  $1.8 \times 1.8 \text{ cm}$ 인 유리 기판을 사용하였다. 실험에 사용한 액정의 flow viscosity는  $22 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  ( $20^\circ\text{C}$ ), 유전율 이방성( $\Delta\epsilon$ )은  $-4$  ( $20^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ kHz}$ ), 굴

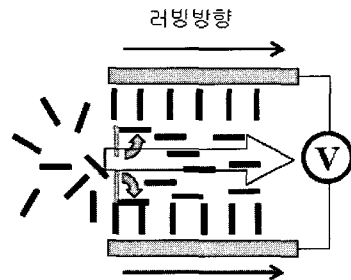


그림 3. 수직배향 셀에 전압을 인가하면서 액정을 주입할 때, 유전율 이방성이 음인 액정의 배열.  
 Fig. 3. The orientation of liquid crystal while injecting by applying electric field to the VA cell.

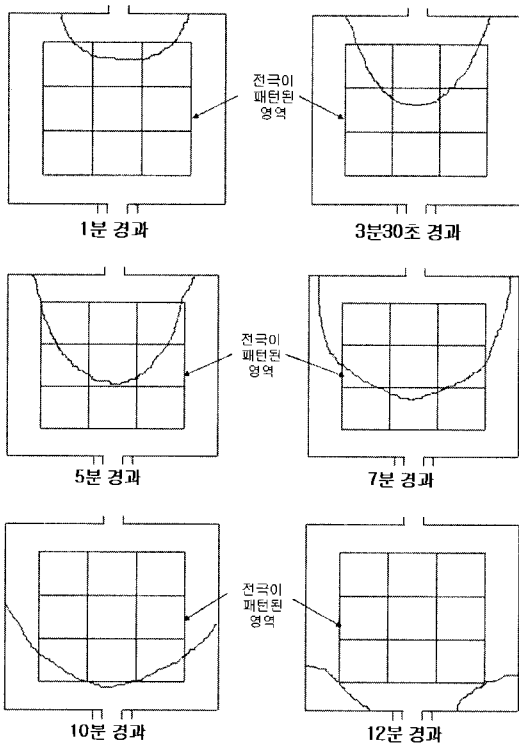


그림 4. 수평 배향 셀의 시간에 따른 액정이 주입된 영역.

Fig. 4. Mapping of a LC injected region as a function of time in a cell with homogeneously aligned surface treatment.

절굴 이방성( $\Delta n$ )은 0.077 (20 °C, 589.3 nm) 이다.

그림 4는 시간에 따라서 수평 배향 셀에 액정이 주입된 영역을 나타내는 것으로 액정을 주입하기 시작하지 12분 만에 전극이 패턴된 전 영역에 액정이 주입되었다.

### 3.2 수직 배향 셀

수직 배향 셀의 실험도 셀 갭이 5.3  $\mu\text{m}$ 이고, ITO가 코팅된 영역의 크기가 1.8×1.8 cm인 유리 기판을 사용하였고, 액정은 다른 물성 값의 영향 없이 수평 배향 셀과 비교하기 위해 수평 배향 셀과 같은 액정을 사용하였다.

그림 5는 수직 배향 셀의 일반적인 방법과 전압을 인가하면서 액정을 주입했을 때 시간에 따라 주입된 영역을 나타낸다. 전압을 인가하지 않고 일반적인 방법으로 액정을 주입하면, 전극이 패턴된

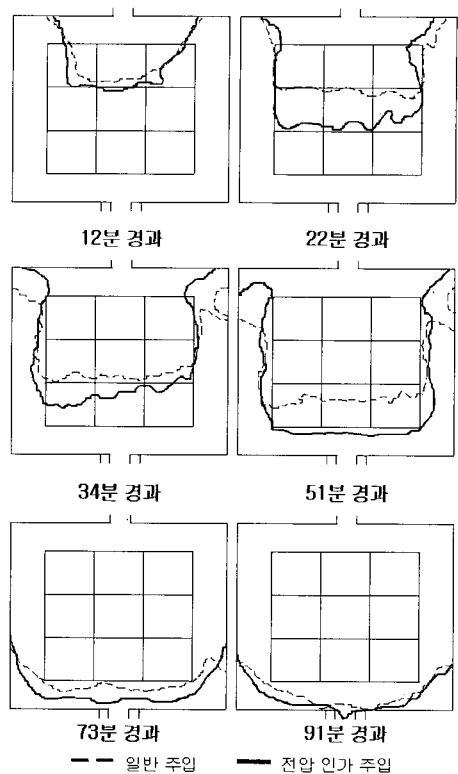


그림 5. 수직 배향 셀의 시간에 따른 액정이 주입된 영역.

Fig. 5. Mapping of a LC injected region as a function of time in a cell with vertically aligned surface treatment when the bias is applied or not.

전 영역에 액정이 주입되는데 걸리는 시간은 73분이고, 전압(7 V, 1 kHz)을 인가한 상태에서는 51분 만에 전극이 패턴된 전 영역에 액정이 주입되었다.

## 4. 결과 및 고찰

본 논문에서는 수직 배향 셀에서의 액정 주입 시간을 감소시키기 위해 단위 셀에 전압을 인가한 상태에서 액정을 주입하는 방법을 제안하였다.

수평 배향 셀에 액정을 주입했을 때 12분 만에 전극이 패턴된 전 영역에 액정주입이 완료된다. 이에 반해 수직 배향 셀에 액정을 주입하면 73분 뒤에 전극이 패턴된 전 영역에 액정이 주입된다. 이 원인은 액정 방향자들의 배열 상태에 따라 점도가 다르기 때문이다. 즉 액정 방향자가 수평 배열

표 1. 수평 배향 셀과 수직 배향 셀의 액정 주입 속도 비교.

Table 1. Comparison of the LC filling velocity in the HA and VA cells.

| 주입방법       | 수평배향셀              | 수직배향셀              |                    |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|            |                    | 일반주입               | 전압인가 주입            |
| 속도 (m/sec) | $4 \times 10^{-5}$ | $4 \times 10^{-6}$ | $5 \times 10^{-6}$ |

상태로 단위 셀에 주입되면 Miesowicz 점도가 작아 액정 주입속도가 빠르고, 액정 방향자가 수직 배열 상태로 주입되면 Miesowicz 점도가 커 액정 주입속도가 수평 배향 셀의 경우보다 느리다.

따라서 수직 배향 셀에 유전율 이방성이 음인 액정을 주입할 때의 주입시간을 줄이기 위해서 전압을 인가한 상태에서 액정을 주입하면 액정이 Miesowicz 점도가 작은 상태인 수평배열을 하게 되어 주입시간이 감소할 것으로 예상하였다. 실험 결과 51분 후에 전극이 패턴 된 전 영역에 액정이 주입되어 전압을 인가하지 않은 상태로 수직 배향 셀에 액정을 주입했을 때 보다 액정 주입 시간이 단축되는 것을 확인하였다.

액정이 주입된 영역과 시간으로 계산한 액정 주입속도는 표 1과 같다. 수평 배향 셀의 경우 액정 주입 속도가  $4 \times 10^{-5}$  m/sec으로 수직 배향 셀의  $4 \times 10^{-6}$  m/sec 보다 10배 정도 빠르다. 수직 배향 셀에 전압을 인가한 상태에서의 액정 주입 속도는  $5 \times 10^{-6}$  m/sec 으로 전압을 인가하지 않은 상태의 수직 배향 셀의 액정 주입 속도보다 약 25 %가 빨라졌지만 수평 배향 셀의 액정 주입 속도만큼 빨라지지 않았다. 그 이유는 수직 배향 셀에 전압을 인가하여도 기판 표면의 액정 분자들은 앵커링 에너지 때문에 전기장에 반응하지 않고 기판에 수직 배열한 상태를 유지하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 실험을 통해서 수평 배향 셀과 수직 배향 셀의 액정 주입 시간을 비교하고, 수직 배향 셀에 유전율 이방성이 음인 액정을 주입할 때 전압을 인가하여 액정 주입 시간의 감소 여부를 확인하였다. 그 결과 수직 배향 셀의 Miesowicz 점도가 수평

배향 셀보다 크기 때문에 수직 배향 셀의 액정 주입 시간이 더 길었다. 우리는 수직 배향 셀에 전압을 인가하여 전기장 효과로 Miesowicz 점도가 작은 수평으로 배열된 상태로 액정을 주입하여 액정 주입 속도를 25 % 증가시켰다.

### 감사의 글

본 연구는 교육인적자원부의 2단계 BK21 사업 연구결과로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] S. H. Lee, S. H. Hong, J. M. Kim, H. Y. Kim, and J. Y. Lee, "An overview of product issues in wide-viewing TFT-LCDs", Journal of the SID, Vol. 9, No. 3, p. 155, 2001.
- [2] M. Oh-e and K. Kondo, "Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode", Appl. Phys. Lett., Vol. 67, p. 3895, 1995.
- [3] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, "Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching", Appl. Phys. Lett., Vol. 73, p. 2881, 1998.
- [4] M. S. Kim, Y. H. Jung, H. Y. Kim, S. Y. Kim, and S. H. Lee, "Study on electro-optic characteristics and dynamic stability depending on the pretilt angle for the twisted nematic(TN) and fringe-field switching (FFS) mode", Journal of the KIEEME, Vol. 17, No. 11, p. 1234, 2004.
- [5] A. Takeda, S. Kataoka, T. Sasaki, H. Chida, H. Tsuda, K. Ohmuro, T. Sasabayashi, Y. Koike, and K. Okamoto, "A Super-high-image Quality Multi-domain Vertical Alignment LCD by New Rubbing-less Technology", SID 98 Digest, p. 1077, 1998.
- [6] K. H. Kim, K. Lee, S. B. Park, J. K. Song, S. Kim, and J. H. Souk, "Domain divided vertical alignment mode with optimized fringe field effect", Proceedings of Asia

- Display 98, p. 383, 1998.
- [7] H. Kamiya, K. Tajima, K. Toriumi, K. Terada, H. Inoue, T. Yokoue, N. Shimizu, T. Kobayashi, S. Odahara, G. Hougham, C. Cai, J. H. Glowina, R. J. von Gutfeld, R. John, and S-C. A. Lien, "Development of One Drop Fill Technology for AM-LCDs", SID 01 Digest, p. 1354, 2001.
- [8] M. Miesowicz, "Influence of a magnetic field on the viscosity of para-azoxyanisole", Nature, Vol. 136, p. 261, 1936.
- [9] M. Miesowicz, "The three coefficients of viscosity of anisotropic liquids", Nature, Vol. 158, p. 27, 1946.
- [10] H. Ehrentraut and S. Hess, "Viscosity coefficients of partially aligned nematic and nematic discotic liquid crystals", Phys. Rev. E, Vol. 51, No. 3, p. 2203, 1995.