

## AFLC의 배열특성에 관한 연구

강진우<sup>†</sup> · 박원상 · 최덕운 · 구경상 · 황용석 · 이서현 · 이기동 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

☎ 609-735 부산시 금정구 장전동 산30번지

(2001년 1월 29일 받음, 2001년 9월 4일 수정본 받음)

AFLC의 경우 rubbing 방향과 액정의 광축 방향이 다르다는 것을 실험적으로 보였고, 이를 설명하기 위해 ‘Torsional Rigid Body Model’이라는 이론을 도입하였다. 실제 액정의 1 pitch에 대한 회전력은 azimuthal anchoring strength 보다 작아서 rubbing 방향과 액정의 광축 방향이 일치하지만, pitch가 작아져서 회전력이 액정을 rubbing 방향으로 배열시키려는 azimuthal anchoring strength 보다 커지게 되면 rubbing 방향과 액정의 광축 방향이 달라짐을 보였다.

분류코드 : DT.010.

### I. 서 론

LCD는 소자가 얇고, 가벼우며 소비전력이 작아서 휴대성 및 이동성이 높아 소비량이 급속도로 증가하고 있다. 또한 90년 도 이후 LCD에 대한 연구 개발이 집중되고 제조기술이 향상 됨에 따라 시제품의 가격이 떨어져서 LCD의 효용가치는 더 욱 높아지고 있다. 하지만 현재 주로 사용되고 있는 Nematic 액정의 경우에 동화상 구현을 원활히 할 수 있을 정도의 Response Time이 뒷받쳐 주지 못하고 있는 것이 사실이다. 응답속도를 개선시키기 위해 TFT LCD가 개발 되었지만 대 화면의 경우 복잡한 반도체 제작공정으로 인해 생산수율이 낮 고, 광투과율이 낮아 큰 소비 전력을 필요로 하였다. 이러한 단점을 극복할 수 있는 방법으로 AFLC에<sup>[1,2]</sup> 대한 연구가 활 발히 이루어지고 있다.<sup>[3]</sup> 하지만 AFLC의 경우 chevron 구조 에서 zigzag defect등의 배향관계 문제가 산재 되어 있다. 또 한 우리가 실험한 결과 Rubbing 방향과 액정의 배열 방향이 일치하지 않는다는 것을 알게 되었다.

본 논문에서는 AFLC에서 Rubbing 방향과 액정 배열 방향 이 얼마나 틀어져 있는지, 그리고 왜 이러한 틀림이 생기게 되었는지에 대해서 알아보도록 하겠다. 그리고 이러한 배열상 태가 광투과 특성에 끼치는 영향에 대해서도 살펴보겠다.

### II. 이 론

Nematic 액정의 경우 Rubbing 방향과 액정 배열 방향에 관 한 연구에서는 Anchoring Force가 약할 때 액정이 가지는 카 이탈리티에 의해 Twist 되려는 각도가 양쪽 기관의 Rubbing 각도 보다 아주 크거나 작을 때 액정의 배열 방향이 Rubbing 방향과 달라 질 수 있다는 것이었다. Smectic 액정의 배열상 태 또한 rubbing 방향과 액정의 전체 광축이 일치하지 않을 수도 있다는 것을 본 논문의 실험을 보면 알 수 있는데, 이러

한 현상을 설명하기 위해 ‘Torsional Rigid Body Model’ 이 라는 이론을 도입하였다. 이것은 Nematic 액정과 는 다르게 Smectic 액정의 경우 Spontaneous Polarization을 가지고 있어 서, 이러한 현상이 액정의 배열 상태에 끼치게 되는 영향에 대한 이론이다.<sup>[4,5]</sup> 그림 1에서 보듯이 어떤 면 위에 있는 물체가 꼬이려는 힘을 가지고 있다면 그 면의 원래 위치에서 꼬 이려는 방향에 맞추어 어떤 각도로 돌게 될 것이다. 또한 꼬 이려는 힘이 강할수록 돌게 되는 각도 커지게 된다. 그림 1 에서 회전각( $\theta$ )을 정의 하면,

$$l = aR, \theta = \frac{l}{L} = \frac{R}{L}a$$

(단 표면과 물체 사이의 미끄럼이 없다고 가정)

$a$ ; 물체 내부의 꼬임 각,  $q$ ; 물체 내부의 꼬임에 의해 그 물체가 회전하는 각,  $R$ ; 물체 단면의 반지름,  $L$ ; 물체의 길이,  $l$ ; 물체의 표면에서  $a$ 에 대한 꼬여진 길이

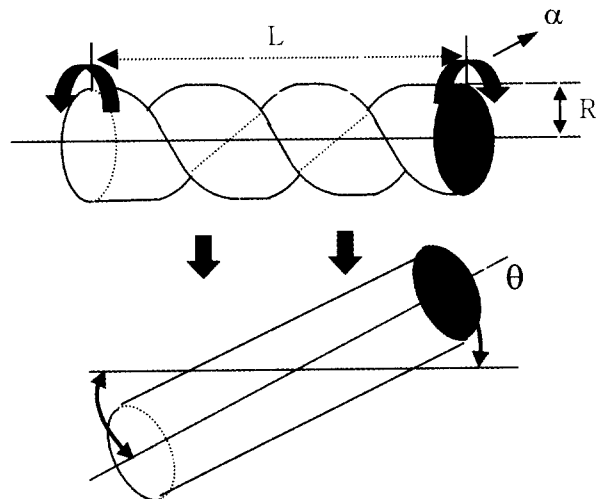


그림 1. ‘Torsional Rigid Body Model’.

<sup>†</sup>E-mail: jinwoo0916@hanmail.net

그리고 물체의 꼬임에 의한 힘은 다음과 같이 정의된다.

$$T = G \frac{\rho \cdot R^4}{32L} a, \quad (G; \text{전단 탄성 계수})$$

꼬임에 의한 힘이 모두 회전력으로 전달된다고 가정하면, 회전력은 다음과 같이 정의된다.

$$F = G \frac{\rho \cdot R^3}{32} q,$$

결국 표면과 접해있는 물체의 꼬임은 표면에서 회전의 형태로 나타나게 된다.

### III. 실험방법

Nematic 액정과 다르게 자발분극을 가지는 Smectic 액정의 경우 액정의 배열 상태가 어떠한지에 대해 실험한 결과 Nematic 액정과 다른 현상을 발견할 수 있었다. 실험 방법은 다음과 같다. 우선 투명전극이 코팅된 유리기판을 아세톤으로 세척을 하고, polyimide(PI)를 스펀코터를 이용하여 코팅한다. 스펀코터의 rpm은 2500으로 하여 30초 정도 코팅하게 되면 900 Å 정도의 두께로 균일하게 코팅할 수 있다. 배향제로는 Nissan Chem Co., RN-1175를 사용하였는데, 제조사의 Specification에 따르면 azimuthal anchoring strength는 35 (dyn/cm)이다. PI를 코팅한 다음 경화를 위해 오븐에 넣고 초기에 80°C에서 20분 정도 굽고 난 후 250°C의 온도에서 60분 정도 굽는다. 다음으로 유리기판에 rubbing을 하는데, rubbing 하는 로올러의 각속도는 20 mm/sec 회전 수는 300 rpm으로 하였다. 이런 방법으로 만들어진 유리기판에 spacer를 뿌리고 에폭시를 이용하여 두 유리기판을 접착시켰다. 그리고 난 후 액정을 주입하는데, 사용된 액정은 CS-4001 으로 1 pitch는 5 μm, Tilt 각은 24.9°이고, Smectic A상에서 등방성 상태로 바뀌는 온도는 88°이다. 본 실험에서는 100°에서 액정을 모세관 현상을 이용하여 주입한 후 서서히 냉각하여 액정이 Cell 내에서 잘 배열될 수 있도록 하였다.

### IV. 실험결과

그림 2는 Cell Gap을 2.0 μm로 parallel rubbing과 90° rubbing을 한 Cell을 400배의 배율로 찍은 사진인데, Rubbing 방향과 액정의 전체 광축의 방향이 9°정도 틀려져 있음을 알 수 있다. 결국 그림 3(a)와 같이 전체 액정 배열 방향이 Rubbing 방향에 대해 틀려져 있다는 것임을 나타낸다. 또 한 가지 사실은 아래기판과 위기판에서의 광축이 틀려진 방향이 서로 다른 것인데, 이것은 그림 3(b)에서 보듯이 아래, 위 기판에서의 액정이 같은 방향으로 카이랄리티를 가지고 있으므로 rubbing 방향에 대해서 액정이 틀려지는 방향이 반대가 되게 되는 것이다. 이는 Nematic 액정에서는 볼 수 없는 현상으로서 전체 Polarization이 zero가 되게 배열되는, 다시 말하면 유리 기판에 평행한 방향으로도 꼬이려는 성질을 가지는 Smectic 액정에서 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

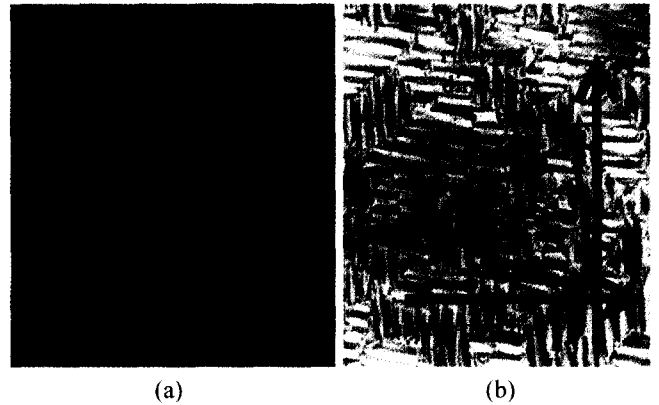


그림 2. (a) 셀 갭 2 μm, 0° 러빙. (b) 셀 갭 2 μm, 90° 러빙.

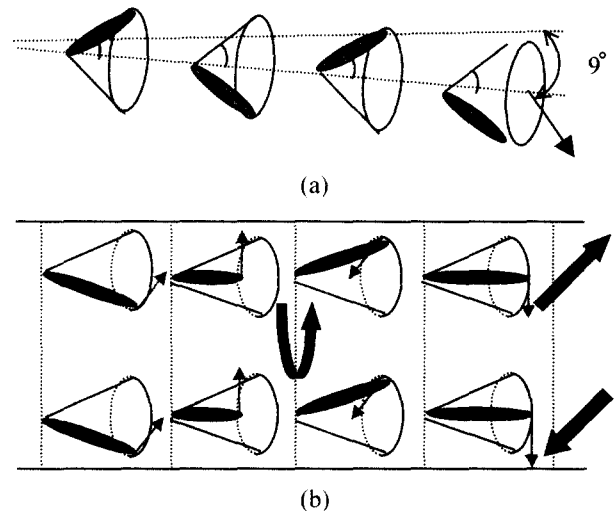


그림 3. (a) AFLC에서 러빙 방향에 대한 액정의 회전각 (b) AFLC에서 러빙 방향에 대한 액정의 회전방향.

이제, 앞에서 논의한 'Torsional Rigid Body Model'에 관한 수식을 Smectic 액정에 적용시켜 보겠다. 실험에 사용된 Smectic 액정 CS-4001의 1 pitch = 5 μm, 액정 분자 하나의 길이 = 20 Å, Tilt 각 = 24.9°이다.

1 pitch에 대해서 생각해보면 꼬임각(a)은 2p, 단면의 반지름(R)은 8.4 Å, 1 pitch(L)은 50000 Å, 꼬여진 길이(l)은 16.8π이다.

여기서 회전각 q = 0.05°이고, 회전력 F = 8.46 × 10<sup>-21</sup> G(dyn/cm)이다. 하지만 이것은 Cell Gap >> 1 pitch 일 때이다.

AFLC의 경우 그림 4와 같이 1 pitch는 약 60 Å이며, 이때는 회전각 q = 50°이고, 회전력 F = 8.46 × 10<sup>-18</sup> G(dyn/cm)이다. 그러나 앞에서 살펴 보았듯이 실제 AFLC의 경우 rubbing 방향과 액정의 광축사이에 9°정도 차이가 남을 알 수 있었다. 이는 실제로는 회전각 q = 9°이고, 실제로 가해지는 회전력 F = 1.52 × 10<sup>-18</sup> G(dyn/cm)라는 것이다. 결국 8.46 × 10<sup>-18</sup> G(dyn/cm)의 회전력이 가해졌지만 표면과 액정 사이의 Anchoring Force의 영향으로 F = 6.94 × 10<sup>-18</sup> G(dyn/cm) 만큼의 힘이 줄어든 것이다. 여기서 실험에 사용된 배향제 RN-1175의 Azimuthal

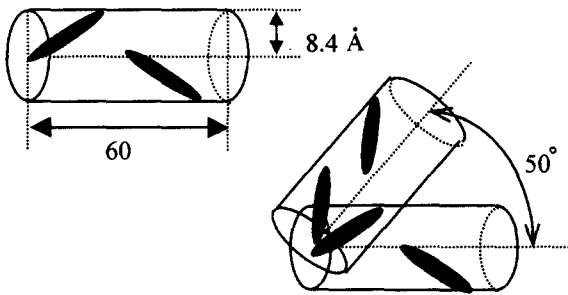


그림 4. Azimuthal anchoring strength가 없을 때의 회전각.

anchoring strength 는 35(dyn/cm)이라는 것으로부터  $G = 0.5 \times 10^{19}$ 임을 알 수 있다.

결국, 원래의 pitch를 가질 경우 회전력  $F = 4.26 \times 10^{-2}$ (dyn/cm)인데 반해 azimuthal anchoring strength가 35(dyn/cm)이므로 회전력보다 잡아주는 힘이 더 커서 액정의 배열 상태가 rubbing 방향과 일치하지만 pitch가 60 Å일때에는 회전력  $F = 42.6$ (dyn/cm)으로 anchoring strength 보다 크기 때문에 7.6(dyn/cm)만큼 회전할 수 있는 힘이 생기게 되고, 이로 인하여 9°만큼의 회전각이 발생하게 되는 것이다. 이러한 사실을 토대로 광투과 특성을 개선시키기 위해서 아래 위 기판 모두 -9°만큼 틀어서 rubbing을 하여 광투과 특성을 살펴보았다. 그림 2의 (a) 같이 Rubbing 방향을 일치시킨 경우에는 아래쪽 기판과 위쪽 기판에서의 액정의 배열 방향이 Rubbing 방향에 대해서 각각 9°씩 틀어져 있어서 결국 아래기판과 위기판 사이의 액정의 광축이 차이가 나게 된다. 그래서 아래 위기판에서 각각 9°씩 틀리는 것을 보상시켜 주기 위해서, Rubbing 방향을 액정이 틀리는 반대방향으로 18°가 되게 제작한 것이 그림 5에 나타나 있다. 이때에는 액정의 광축이 양쪽 기판의 Rubbing 방향의 중간 각으로 일치되므로써 전체적인 광축이 일치된 것을 알 수 있다. 그리고 이러한 배열 상태는 contrast ratio의 증가를 가져왔다.

### V. 결 론

Smectic 액정의 경우 Nematic 액정과 달리 자발 분극을 가지고 있어서 전체 Polarization이 zero가 되는 방향으로 배열 되게 된다. 이러한 현상은 어떤 pitch를 가지며 꼬여있는 배열로서 나타나는데, 이때 pitch가 크다면 회전력이 anchoring force 보다 작아서 액정 배열 상태에 큰 영향을 주지 못하지

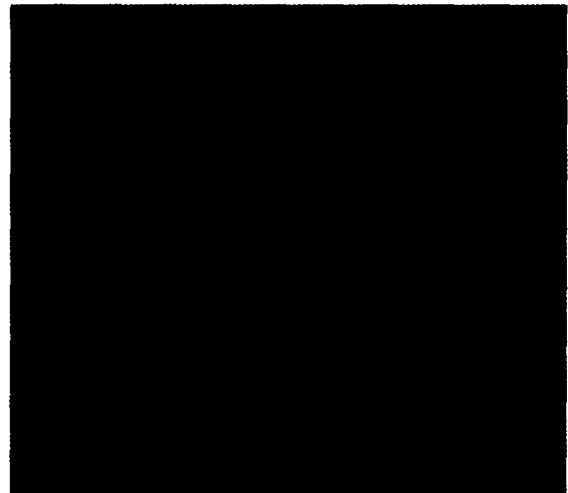


그림 5. 셀 갭 2 min, 18° 러빙.

만, pitch가 작아지면, 회전력이 anchoring force 보다 커지게 된다. 다시 말하면 표면과 액정 사이의 Anchoring Force가 액정의 회전력보다 강하다면 회전하지 않게 잡아 주지만, pitch가 작아지면 회전력이 anchoring force 보다 커져서 액정의 배열 상태는 Rubbing 방향과 달라지게 되었다. 결국, 원하는 배열 상태가 나타나지 못해서 contrast ratio가 떨어지게 되었다. 이러한 현상을 본 논문에서 'Torsional Rigid Body Model'을 제시하여 설명하였고 또한 이러한 현상을 미리 예측하고 틀려지는 각을 보상해서 Rubbing을 함으로써 원하는 배열 상태를 구현 할 수 있었고, contrast ratio도 높일 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] A. D. L. Chandani, Y. Ouchi, H. Takezoe, A. Hukuda, K. Terashima, K. Furukawa, and K. Kishi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 28, p. L1261, 1989.
- [2] T. Saishu, K. Takatoh, R. Lida, H. Nagata, and Y. Mori, *SID'96 Digest*, p. 703, 1996.
- [3] R. Beccherelli and S.J. Elston, *Displays*, vol. 20, pp. 185-190, 1999.
- [4] H. Yokoyama and H. A. van Sprang, *J. Appl. Phys.*, vol. 57, p. 4520, 1985.
- [5] S. Faetti and C. Lazzari, *J. Appl. Phys.*, vol. 71, p. 3204, 1992.

### **Aligning properties of antiferroelectric liquid crystals (AFLC)**

Jin-Woo Kang<sup>†</sup>, Won Sang Park, Duk Woon Choi, Kyung Sang Goo, Yong-Seok Hwang,  
Seo Heun Lee, Gi-Dong Lee, Tae-Hoon Yoon, and Jae Chang Kim

*Department of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA*

*<sup>†</sup>E-mail: jinwoo0916@hanmail.net*

(Received January 29, 2001 ; revised manuscript received September 4, 2001)

Experimentally, the aligned direction of AFLCs in electro-optic cells having both the substrates rubbed along the same direction is skewed by a few degrees from the rubbing direction. To explain why, we proposed 'Torsional Rigid Body Model' and interpreted their skewing angle as the action of short pitch with the large shear stress. That is, the azimuthal anchoring strength (about 35 dyn/cm) in the cell is much larger than the maximum shear stress (about  $10^{-6}$  dyn/cm) for the original pitch and so forbids the optic axis to skew. On the side hand, the strength is smaller than the maximum shear stress (about 42 dyn/cm) for short pitch and then allows the optic axis to skew.

*Classification code* : DT.010.