

쌍안정 TN LCD에서 액정 파라미터들이 광스위칭 특성에 미치는 영향

박구현 · 김병석 · 이기동 · 윤태훈 · 김재창
부산대학교 전자공학과

(1998년 8월 27일 받음, 1998년 10월 8일 수정본 받음)

Berremann에 의해 제시된 액정 유체 방정식을 이용하여 쌍안정 TN 액정 셀의 여러 가지 파라미터가 광 스위칭특성에 미치는 효과를 시뮬레이션을 통하여 연구하였다. 이로부터 쌍안정 TN LCD의 rising time과 delay time을 줄이는 액정 물질 및 셀 제작조건을 제시하였다. 고속응답을 위한 탄성계수는 K_{11} 은 크고 K_{22} , K_{33} 는 작은 것이 유리하고, 유전을 이방성, 회전 점성계수, 두께, 프리틸트 각, d/p 등은 모두 작은 것이 유리하다. 특히 d/p 는 고속응답 뿐만 아니라 0° 스위칭에 필요한 selection 펄스의 폭에 가장 많은 영향을 주는 중요한 파라미터이다.

I. 서 론

최근 LCD업체들이 판매에 주력하고 있는 데스크톱 PC용 액정모니터의 출하가 늘면서 LCD시장은 새로운 국면에 접어들고 있다. 이러한 대부분의 액정 디스플레이는 TFT(Thin Film Transistor) LCD와 STN(Super Twisted Nematic) LCD의 두 종류이다. 그러나 FLC(Ferroelectric Liquid Crystal Display), Inverse TN, HAN(Hybrid Aligned Nematic), 쌍안정 TN(Bistable Twisted Nematic) 등 여러 가지 방식의 LCD가 국내·외 연구소에서 활발히 연구되고 있다. 이 중 쌍안정 TN LCD는 콘트라스트 비가 높고, 스위칭 속도가 빠르며, 시야각이 넓은 장점을 가진 액정 디스플레이 소자이다[1-2]. 특히 수동 매트릭스 구동 방식의 LCD로서 동영상 구현이 가능하므로 앞으로 유망한 디스플레이 방식이라 하겠다. 이러한 수동 매트릭스 방식의 쌍안정 TN LCD를 구동하기 위해서는 고속응답 및 그레이 레벨을 표시할 수 있는 빠른 응답속도를 가진 액정의 개발이 필수적이다. 본 논문에서는 쌍안정 TN 액정 셀의 동특성을 해석하여 쌍안정 TN 액정 셀의 여러 가지 파라미터가 광 투과특성에 미치는 영향을 연구하여 빠른 응답을 위한 액정 물질 및 셀 제작의 최적 조건을 찾고자 한다.

II. 쌍안정 TN LCD의 동특성 해석

액정의 동특성을 해석하기 위해 네마틱 액정의 탄성 특성은 Oseen-Frank의 탄성계수와 natural twist 향으로 표시되고, 동일한 층의 액정 디렉터들은 같은 배향 상태를 가진다고 가정한다. 즉, 유리기판에 평행한 방향으로의 경사각과 꼬임각의 변화는 없다. 또, anchoring force는 무한히 크다고 가정하여 표면에서 액정분자는 움직이지 않는다. 이러한 가정으로부터 쌍안정 TN 액정을 해석하기 위하여 Berremann에 의해 제시된 Erickson-Leslie 액정 유체 방정식을 이용하였다[3-5]. 이 유체 방정식은 액정 셀에 작용하는 shear force와 전계토크, 탄성토크, 점성토크의 평형관계를 기술한 것으로 위의 가

정에 의해 유체 방정식을 풀면 다음과 같다.

$$\sigma_x = T_{11}V_x' + T_{12}V_y' + T_{13}\theta + T_{14}\phi \quad (1)$$

$$\sigma_y = T_{21}V_x' + T_{22}V_y' + T_{23}\theta + T_{24}\phi \quad (2)$$

$$\lambda_1 = T_{31}V_x' + T_{32}V_y' + \gamma_1\theta \quad (3)$$

$$\lambda_2 = T_{41}V_x' + T_{42}V_y' + \gamma_1\phi \quad (4)$$

여기서 σ_x , σ_y 는 액정 셀에 작용하는 shear force, V_x' , V_y' 는 각각 액정의 유체 속도의 x , y 방향의 변화율, θ 는 경사각, ϕ 는 꼬임각, λ_1 , λ_2 는 라그랑제 승수이다. 식 (1), (2)를 이용하여 유체속도의 변화율 V_x' , V_y' 에 관한 식을 구하고, 이 식에 경계조건을 적용하여 적분하면 σ_x , σ_y 에 관한 식을 구할 수 있다. 액정 셀 내의 액정 분자의 초기분포를 가정하고 위에서 구한 식들을 이용하여 V_x' , V_y' , σ_x , σ_y 를 알 수 있고, 식 (3), (4)부터 구한 식

$$\theta = \frac{1}{\gamma_1}(\lambda_1 - T_{31}V_x' - T_{32}V_y') \quad (5)$$

$$\phi = \frac{1}{\gamma_1}(\lambda_2 - T_{41}V_x' - T_{42}V_y') \quad (6)$$

에 대입하여 액정분자의 경사각과 꼬임각의 시간에 대한 변화율을 구하고, 이를 4차의 Runge-Kutta 방법을 이용하여 시간에 대한 액정의 분포를 얻을 수 있다.

III. 쌍안정 TN 액정의 광스위칭 특성

180° 쌍안정 TN 액정 셀은 네마틱 액정에 카이랄 물질을 첨가한 셀로 그림 1과 같이 reset 펄스를 인가한 후 selection 펄스를 인가하여 두 가지의 준 안정상태를 선택한다. 인가 전압에 따른 쌍안정 TN LCD의 동작원리를 그림 2에 나타내었다. 30 V의 reset 전압을 인가한 후 제거하면 액정 내 유체의 흐름이 발생하게 되는 backflow 효과가 발생하는데 이 기간동안 시간지연을 두고 V_{sar} 이상의 selection 전압을 인가하면 0°의

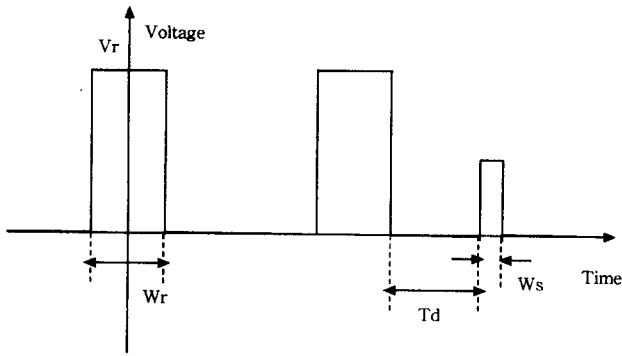


그림 1. 쌍안정 TN 셀의 동작원리.

준 안정상태가 선택되고 V_{th} 이하의 selection 전압을 인가하면 360° 의 준 안정상태가 선택된다. 실험에서는 $V_{th} < V_s < V_{sat}$ 인 selection 전압인 경우는 두 가지 준 안정상태가 공존하는 영역이 존재하지만 시뮬레이션에서는 동일한 층의 액정 분자는 같은 배향을 가진다고 가정하므로 $V_{sat} = V_{th}$ 이며, V_{th} 에서 스위칭 ON, OFF가 결정된다. 동특성 해석에 사용한 액정은 E. Merck사의 ZLI-1557이며 그 파라미터를 표 1에 나타내었다. 그림 3은 쌍안정 TN 액정의 광 투과특성을 나타낸 것이다. 위에서 구한 시간에 따른 액정 디렉터의 분포에 Extended Jones Matrix 방법을 사용하여 광 투과량을 계산한 것이고 selection 펄스의 크기는 5V, 폭은 1 ms로 하여 실험과 시뮬레이션을 비교한 것으로 turn-on time이 각각 4 ms, 5.5 ms이다. 실험 결과와 시뮬레이션 결과 사이의 불일치한 결과는 시뮬레이션에서 액정의 점성계수($\alpha_1 \sim \alpha_6$)를 추정하여 사용하면서 발생한 것이다. 따라서 이러한 오차를 줄이고 빠른 응답을

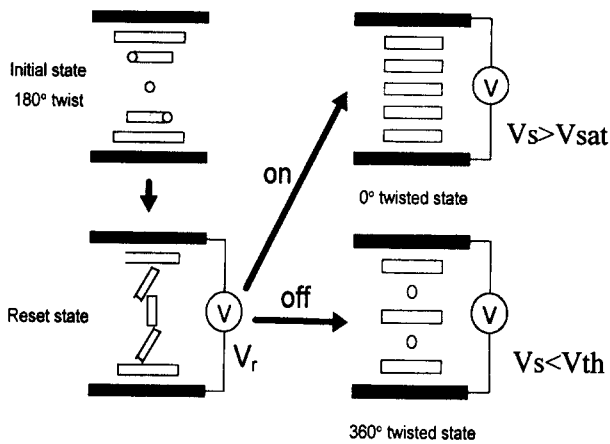


그림 2. 쌍안정 TN 셀의 광 투과특성.

표 1. ZL-1557의 액정 및 셀의 파라미터

cell gap	2 μm	K_{11} [10^{-7} dyne]	9.5	α_1	0.071
d/p	0.6	K_{22} [10^{-7} dyne]	5.1	α_2	-0.0121
pretilt angle	4°	K_{33} [10^{-7} dyne]	11.5	α_3	0.9152
ϵ_1	7.9	n_o	1.6140	α_4	0.6897
ϵ_2	3.7	n_e	1.4993	α_5	0.6897
		γ_1 [dyne s/m ²]	0.7156	α_6	-0.0259

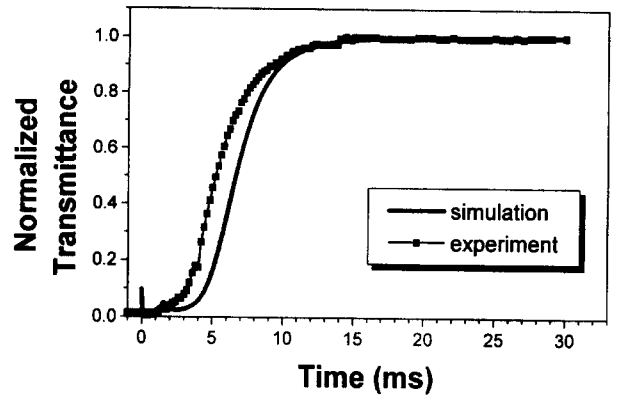


그림 3. 고속 응답을 위한 쌍안정 TN 셀의 구동 파형.

위한 액정 셀의 최적화된 파라미터를 찾는 것이 중요하다.

IV. 각 파라미터에 따른 스위칭 특성

쌍안정 TN LCD를 매트릭스 구동하는 경우 delay time과 rising time은 구동 라인 수의 제한하여 디스플레이 소자의 고품질, 대화면에 장애가 된다. 이러한 delay time과 rising time은 액정 분자가 전계에 평행하게 배열된 후 전계가 제거되었을 때 backflow가 발생하면서 액정 분자가 변형 상태에서 평행상태로 복원하는 과정에서 발생하는 것이다. 그러므로 액정 물질 및 셀의 여러 파라미터가 쌍안정 TN 액정의 광 스위칭 특성에 미치는 영향을 알아봄으로써 최적의 동작을 하는 쌍안정 TN LCD 조건을 찾을 수 있다. 액정은 ZLI-1557, 두께는 2 μm , $d/p = 0.6$ 인 셀을 기준으로 하여 다음의 여러 파라미터가 광 스위칭 특성에 미치는 영향을 알아보았다. 다음의 결과들은 파라미터에 따른 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성 변화의 경향성을 알아보는 시뮬레이션으로 30 V의 reset 전압을 2 ms 동안, 5 V의 selection 펄스를 1 ms 동안 인가하였다.

4.1. 탄성계수(K_{11} , K_{22} , K_{33})

① 스플레이 탄성계수

스플레이 탄성계수가 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성에 미치는 영향을 그림 4에 나타내었다. 스플레이 탄성계수의 변

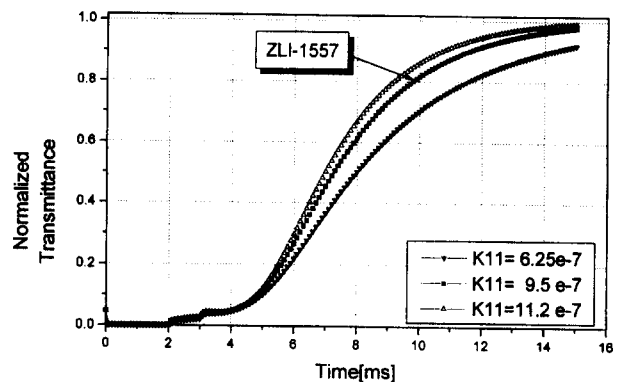


그림 4. 스플레이 탄성계수의 변화에 따른 광 스위칭 특성.

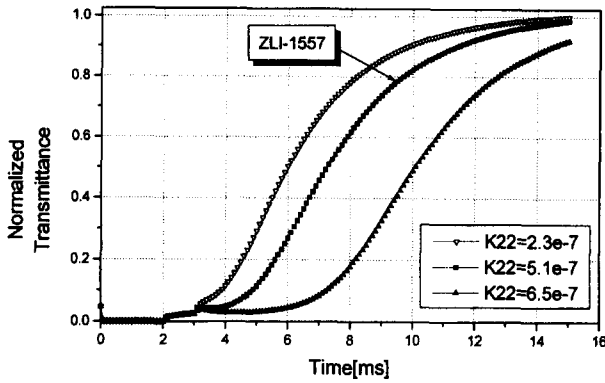


그림 5. 트위스트 탄성계수의 변화에 따른 광 스위칭 특성.

화는 쌍안정 TN 액정 셀의 rising time에는 영향을 주지만 delay time에는 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 액정의 스플레이 탄성계수가 클수록 쌍안정 TN 액정 셀의 rising time이 줄어든다.

② 트위스트 탄성계수

트위스트 탄성계수가 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성에 미치는 영향을 그림 5에 나타내었다. 스플레이 탄성계수의 변화는 쌍안정 TN 액정 셀의 delay time에는 영향을 주지만 rising time에는 영향을 주지 않는다. 액정의 트위스트 탄성계수가 작을수록 쌍안정 TN 액정 셀의 delay time이 줄어든다.

③ 밴드 탄성계수

밴드 탄성계수가 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성에 미치는 영향을 그림 6에 나타내었다. 밴드 탄성계수의 변화는 쌍안정 TN 액정 셀의 delay time과 rising time 모두 많은 영향을 주어 쌍안정 TN 액정 셀의 응답시간에 많은 영향을 줄 수 있다. 액정의 밴드 탄성계수가 클수록 쌍안정 TN 액정 셀의 응답시간이 줄어든다.

4.2. 유전율 이방성 ($\Delta\epsilon$)

유전율 이방성이 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성에 미치는 영향을 그림 7에 나타내었다. 유전율 이방성의 변화는 쌍안정 TN 액정 셀의 delay time에는 영향을 주지만 rising time에는 영향을 주지 않는다. 액정의 유전율 이방성이 작을수록 쌍안정 TN 액정 셀의 delay time이 줄어든다.

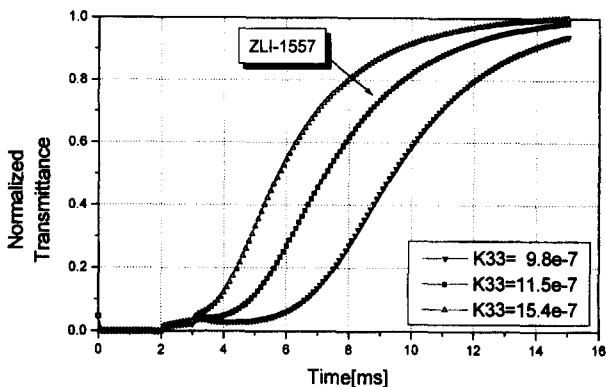


그림 6. 밴드 탄성계수의 변화에 따른 광 스위칭 특성.

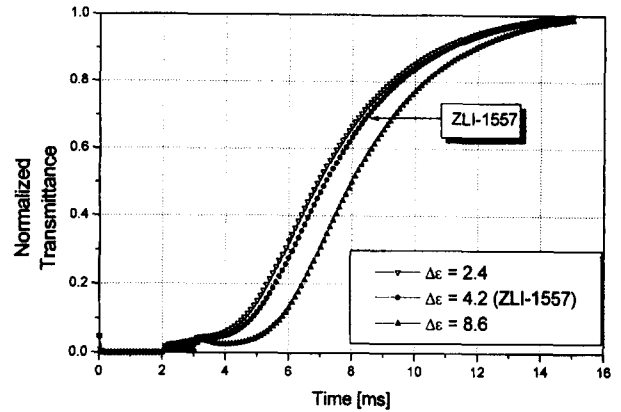


그림 7. 유전율 이방성의 변화에 따른 광 스위칭 특성.

4.3. 회전점성계수 (γ_1)

회전점성계수(γ_1)가 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성에 미치는 영향을 그림 8에 나타내었다. 회전점성계수의 변화는 쌍안정 TN 액정 셀의 delay time과 rising time 모두 많은 영향을 주어 쌍안정 TN 액정 셀의 응답시간에 많은 영향을 줄 수 있다. 액정의 회전점성계수가 작을수록 쌍안정 TN 액정 셀의 응답시간이 줄어든다.

4.4. 점성계수 (α_2)

액정의 유체 방정식을 기술하는데는 6개의 점성계수(α_1 ,

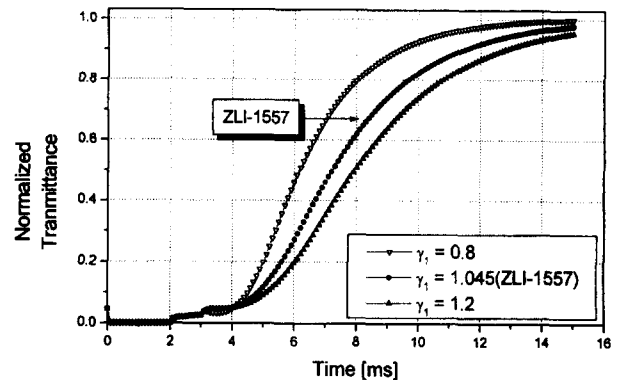


그림 8. 회전점성계수의 변화에 따른 광 스위칭 특성.

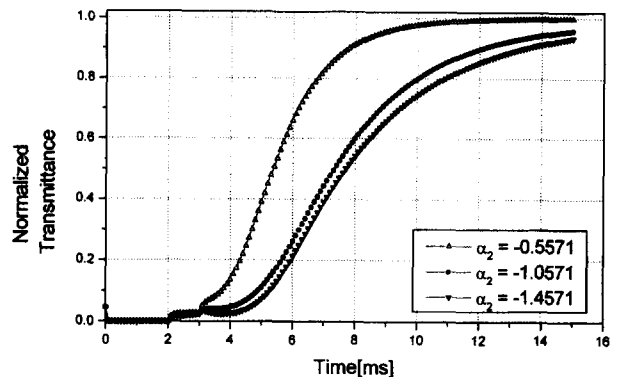


그림 9. 점성계수의 변화에 따른 광 스위칭 특성.

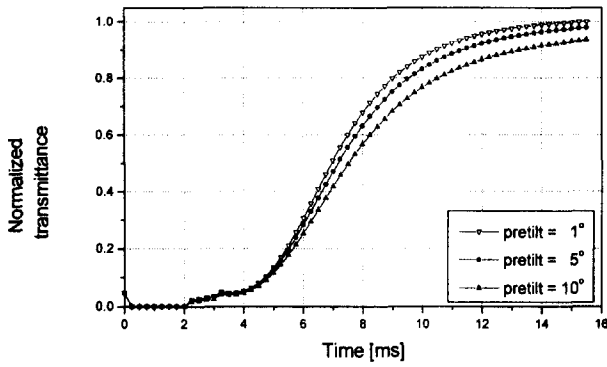


그림 10. 두께에 따른 rising time의 변화.

$\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ 가 필요한 데 이들을 결정하기는 쉽지는 않다. 그런데 쌍안정 TN 액정의 응답속도는 α_2 에 의하여 결정된다고 알려져 있다[6]. 그래서 점성계수(α_2)가 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성에 미치는 영향을 그림 9에 나타내었다. 점성계수의 변화는 쌍안정 TN 액정 셀의 delay time과 rising time 모두 많은 영향을 주어 쌍안정 TN 액정 셀의 응답시간에 많은 영향을 줄 수 있다. 액정의 점성계수의 절대값이 작을수록 쌍안정 TN 액정 셀의 delay time과 rising time이 줄어든다.

4.5. 프리틸트각

셀의 프리틸트각이 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성에 미치는 영향을 그림 10에 나타내었다. 프리틸트각의 변화는 쌍안정 TN 액정 셀의 rising time에는 영향을 주지만 delay time에는 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 액정의 프리틸트각이 작을수록 쌍안정 TN 액정 셀의 rising time이 줄어든다.

4.6. 두께와 피치의 비(d/p)

d/p가 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성에 미치는 영향을 그림 11에 나타내었다. d/p의 변화는 쌍안정 TN 액정 셀의 rising time에는 영향을 주지만 delay time에는 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 액정의 d/p가 작을수록 쌍안정 TN 액정 셀의 rising time이 줄어든다. 쌍안정 TN 액정 셀에서 d/p는 이러한 rising time에도 영향을 주지만 0°스위칭에 필요한

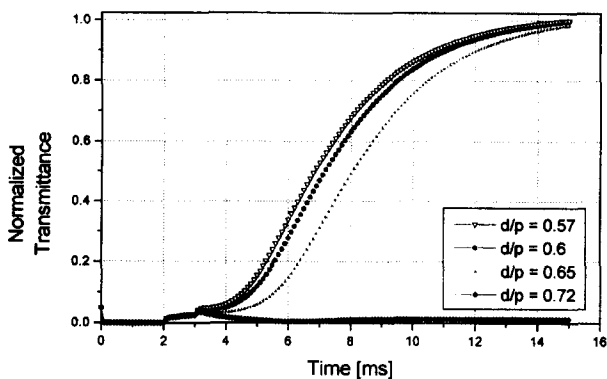


그림 11. 프리틸트각의 변화에 따른 광 스위칭 특성.

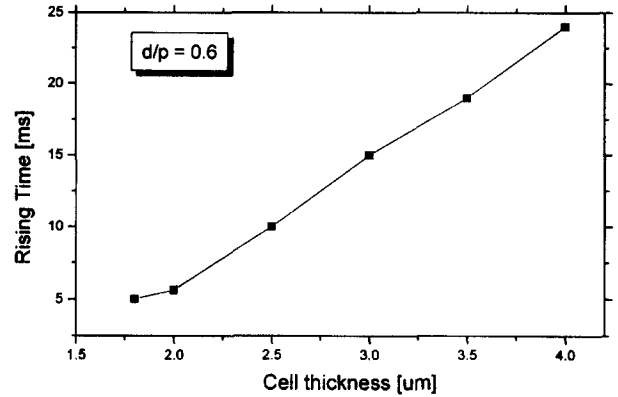


그림 12. d/p의 변화에 따른 광 스위칭 특성.

selection 펄스의 폭에 더욱 중요한 영향을 주는 파라미터이다. d/p=0.57 일 때, reset 펄스와 selection 펄스의 사이에 시간지연을 두고 selection 펄스를 인가하면[7], selection 펄스의 폭은 0.5 μ s까지 줄일 수 있다. 이로부터 매트릭스 구동에서 어드레싱 시간을 줄이고 multigrey를 가능하게 하여 동영상 구현을 하는데 있어서 d/p가 중요한 역할을 함을 알 수 있다. 시뮬레이션에서 쌍안정 특성을 나타내는 d/p 범위는 $0.56 \leq d/p \leq 0.66$ 이다.

4.7. 셀 갭(cell gap)

셀 갭이 쌍안정 TN 액정 셀의 광 투과특성에 미치는 영향을 그림 12에 나타내었다. 셀 갭의 변화는 쌍안정 TN 액정 셀의 delay time과 rising time 모두 많은 영향을 주어 쌍안정 TN 액정 셀의 응답시간에 많은 영향을 줄 수 있다. 액정의 셀 갭이 작을수록 쌍안정 TN 액정 셀의 응답시간이 줄어든다.

V. 결 론

본 논문에서는 Berreman에 의해 제시된 액정의 유체흐름을 고려한 모델을 적용하여 쌍안정 TN 액정 셀의 여러 가지 파라미터가 광스위칭 특성에 미치는 효과를 시뮬레이션을 통하여 연구하였다. 고속응답을 위한 탄성계수로는 K_{11} 은 크고 K_{22}, K_{33} 는 작은 것이 유리하고, 유전율 이방성, 회전점성계수, 두께, 프리틸트 각, d/p 등은 모두 작은 것이 유리하다. 특히 작은 d/p는 고속응답 뿐만 아니라 0°스위칭에 필요한 selection 펄스의 폭을 0.5 μ s까지 줄일 수 있다. 이와 같이 응답시간은 여러 가지 파라미터에 의해서 결정되므로 응답시간을 줄일 수 있는 최적의 파라미터를 찾고 이에 맞는 액정을 합성하고, 적절한 셀 제작 조건으로 제작한다면 패널 특성을 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] T. Tanaka, Y. Sato, A. Inoue, Y. Momose, H. Nomura, and S. Iino, Proc. Asia Display 95, 259 (1995).

- [2] 최길재, 김양수, 강기형, 정태혁, 윤태훈, 김재창, 남기곤, 이응상, 한국광학회지, **8**, 218 (1997).
[3] D. W. Berreman, *J. Appl. Phys.*, **46**, 3446 (1975).
[4] J. C. Kim, G. J. Choi, Y. S. Kim, K. H. Kang, T. H. Yoon, K. G. Nam, *SID 97 Digest*, 33 (1997).
[5] 김병석, 김양수, 윤태훈, 김재창, 한국광학회지 **9**, 117 (1998).
[6] Jack Kelly, "LCD Performance Modeling," *SID Application Seminars Note* (1997).
[7] G. D. Lee, H. S. Kim, T. H. Yoon, J. C. Kim and E. S. Lee, *SID 98 Digest*, 842 (1998).

Influence of LC Cell Parameters on the Optical Switching Characteristics of a Bistable TN LCD

Ku-Hyun Park, Byoung-Suk Kim, Gi-Dong Lee, Tae-Hoon Yoon and Jae Chang Kim
Department of Electronics Engineering, Pusan National University
Pusan, 609-735, Korea

(Received August 27, 1998, Revised manuscript received October 8, 1998)

By employing the Berreman's backflow model, we investigated the effect of liquid crystal parameters on the optical switching characteristics of a bistable twisted-nematic liquid crystal cell. We found that d/p is the most important parameter for high speed operation.