

LCD Simulation용 Program 개발

저 자 : 이 병 훈, 이 한 용
소속기관 : 삼성전관 종합연구소

On Development of LCD Simulation Program

Author : Byeonghoon Lee, Hanyong Lee
Company : Samsung Display Devices

ABSTRACT : The development of LCD Simulation program has been targeted to the design and estimation of LCD in an efficient, reasonable and proper method. In developing this program, we have got the theoretical construction for analysis of LCD. Moreover, we've applied CAE to the field of LCD, and thus we could help finding the optimal condition of LCD design or new type of LCD. This software can be applied for the modes such as TN, mono-STN, B/W STN (DSTN, FSTN), color STN, TFT, reflective modes and the program can be developed for other modes.

[초록] 본 논문에서는 LCD의 설계, 해석, 평가를 위한 시뮬레이션용 프로그램을 개발 하였다. 본 프로그램은 액정 배향, 광투과율, 휘도, CONTRAST, 응답시간, 색좌표, 시야 각 특성등을 계산한다. 경사 입사광에 관한 해석은 확장된 2X2 행렬법으로 자체 개발하여 계산한다. 또한, 이 프로그램은 LCD 구조물의 최적 신지조건을 계산하는 기능도 갖는다. 이에 의하여 예정 표준화 작업관련 데이터 비교, B/W STN, TFT 등의 측정결과와 시뮬레이션 결과의 비교를 하였다.

I. 서론

LCD 설계, 개발 기술의 체계화를 기하고, 필요 데이터의 효율적 처리 및 LCD 해석과 설계의 검증을 위하여 LCD simulator 용 프로그램의 개선과 현업 에의 적용을 목표로하였다. 본 프로그램 개발로 인하여 LCD 해석의 이차적 체계화를 하게되었고, LCD 분야 에의 CAE 기술을 적용함으로써 기존 제품의 최적조건 설정과 신제품 개발 지원등을 할 수가 있게 되었다.

적용 모드는 TN, MONO-STN, B/W STN (DSTN, FSTN), Color STN 의 투과형과 반사형 모두 가능하고 TFT LCD 및 다른 모드로의 확장도 고려할 수 있다.

II. 본론

1. LCD 설계와 해석의 개념

LCD 설계와 해석의 프로세스는 그림1과 같이 데이터베이스화된 LC 물질과 구동전압의 조건을 받아서 액정의 초기조건과 함께

분자배열을 계산하고 LCD의 직층구조 데이터를 받아서 광학적 특성을 계산한다. LCD simulator 의 특성평가 항목으로 크게 광투과율, contrast, 색좌표, 시야각, 응답속도등이 있다. 향후 추가기구물로서 편광판, 위상차판, 색필터 등의 광특성과 입사광의 광스펙트럼, 액정의 전압 및 주파수 의존성, Blending시의 물성치 처리부분이 개선될 예정이다.

2. LCD 설계변수

A. 액정 물성치 데이터

Nematic 액정재료의 주요 물성치로서는

- 1) 굴절율 이방성: $n_e, n_o, \Delta n = n_e - n_o$
- 2) 유전율 이방성:

$$\epsilon_{11}, \epsilon_{\perp}, \Delta \epsilon = \epsilon_{11} - \epsilon_{\perp}, \Delta \epsilon / \epsilon_{\perp}$$

- 3) 반성 계수:

$$K_{11}, K_{22}, K_{33}, K_{33} / K_{11}, K_{33} / K_{22}$$

- 4) 회전점성계수: γ

등이 있다.

위의 물성치중 1)은 광학적 계산에, 2), 3)은 전압인가시의 정렬학적 배향계산, 4)를 포함하여 동역학적 배향계산에 필요한 변수들이다.

또한, 2)는 액정층의 정전용량에 관계되며, 3)은 응답 속도, 임계전압 등에 관계된다. 추가되어야할 데이터는 굴절율의 파장의존성과 2),

3), 4)의 온도 및 주파수 의존성이 고려되어야 한다. 서로 다른 둘 또는 네가지 액정의 blending시의 물성치 결정방법도 추가 되어야 할 문제이다.

또한,

- 1) 나선 피치 길이: P
- 2) 나선 형성력: HTP
- 3) 카이랄 밴드 침가량: C

등이 요구되며, 동작온도 범위내에서

$$1/P \cdot HTP \times C$$

의 관계가 있다.

B. 직층구조 데이터

LCD의 구조에 따라 액정 cell조건, 편광판, 위상 차판, 칼라 필터 등이 필요하며 액정 cell의 조건으로는 twist각, rotation각, pretilt각 등이 있고, 편광판의 분광특성, 굴절율, 위상차 판의 두께, 굴절율, 칼라필터의 분광특성, 광원과 도광판의 분광특성

등이 요구되며, 각 요소의 설치 방향각 등의 물리적인 데이터가 필요하다.

C. 구동조건 데이터

LCD의 인가전압은 단순 matrix방식의 시분할 구동이며 시뮬레이션에서는 실효치 전압으로 다음과 같이 환산한다.

$$V_{on} = \sqrt{(a^2 + 2a + N) / N} \cdot V_{col}$$

$$V_{off} = \sqrt{(a^2 - 2a + N) / N} \cdot V_{col}$$

여기서

- V_{col} : 주사전극의 인가전압
- V_{row} : 신호전극의 인가전압 (= $a V_{col}$)
- N : 주사전극 수

Contrast가 최적이기 위한 조건은 $a = \sqrt{N}$ 이며, 이것이 최적 bias법이다. 본 프로그램에서는 V_{row} , N , a 등을 입력받아 나머지 전압 조건을 표시하게 되어있다.

3. 액정 동특성을 위한 이론적 고찰

A. 액정배향의 이론적 모델링

액정 배향계산은 Oseen-Frank 탄성 에너지 관계식 $E_{elastic}$ 액정 분자운동에 의한 소산 에너지 E_{diss} , 인가 전압에 의한 전기적 에너지 $E_{dielect}$ 간의 Euler-Lagrange 에너지 관계식을 구성하고 이의 Z-방향 성분만을 고려하여 변분원리를 적용하면 다음의 관계식을 얻는다.

$$-\gamma\alpha = -\alpha_z(K_{11}\cos^2\alpha + K_{33}\sin^2\alpha) - \frac{1}{2}\alpha_z^2(K_{33} - K_{11})\sin 2\alpha$$

$$-\frac{1}{2}\beta_z^2[K_{22} - (K_{33} - K_{22})\cos 2\alpha]\sin 2\alpha + \beta_z\beta_0 K_{22}\sin 2\alpha$$

$$+ \frac{1}{2} \frac{D_z^2(-\epsilon_{11} + \epsilon_1)\sin 2\alpha}{(\epsilon_{11}\sin^2\alpha + \epsilon_1\cos^2\alpha)^2}$$

$$-\gamma\beta\cos^2\alpha = -\beta_z\cos^2\alpha(K_{22}\cos^2\alpha + K_{33}\sin^2\alpha)$$

$$-\alpha_z\beta_z[-K_{22} + (K_{33} - K_{22})\cos 2\alpha]$$

$$-\alpha_z\beta_0 K_{22}\sin 2\alpha$$

이를 4차의 Runge-Kutta방법에 의하여 해를 구한다. 액정 배향에 적용된 경계조건으로 는 hard anchoring,

$$\left. \frac{\partial\alpha}{\partial z} \right|_{z=d/2} = 0$$

$$\alpha(0) = \alpha(d) = \text{pretilt_angle}$$

$$\beta(0) = 0$$

$$\beta(d) = \text{twist_angle}$$

으로 두었으며, 액정 내부의 조건으로

$$\alpha(d) = \alpha(d-z)$$

$$\beta(d) = \beta(d-z) - (\text{twist_angle})/2$$

이다. 여기서 α, β 는 각각 Tilt 각, Twist 각이고 d는 액정의 두께이며 $0 \leq z \leq d$ 이다.

B. 이방성 물질에서의 광학적 고찰

(1) 수직 입사광

액정을 통과하는 광의 편광상태는 다음과 같은 Jones행렬법에 의하여 기술된다.

$$W_0 = e^{-i\phi} \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma/2} & 0 \\ 0 & e^{i\Gamma/2} \end{pmatrix}$$

$$\phi = \frac{1}{2}(n_e + n_o) \frac{\omega l}{c}$$

$$\phi = (n_e - n_o) \frac{\omega l}{c}$$

$$W_i = R(-\phi_i)W_0R(\phi_i)$$

($R(-\phi)$: ϕ -rotation_matrix)

위의 W_i 가 i번째 예징층의 광학적 특성을 결정 짓는 Jones 행렬이다.

N 개의 층으로 이루어진 예징 시스템의 Jones 행렬은

$$J = \prod_{i=1}^N R(-\phi_i)W_0R(\phi_i)$$

이다.

한편, 첫번째 편광판 수직 투과시 광의 편광 상태는

$$W_{p01} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} R(\Gamma_1)$$

두번째 편광판의 Jones행렬은

$$W_{p02} = R^{-1}(\Gamma_2) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} R(\Gamma_2)$$

결과적으로 예징 시스템을 투과한 광의 편광 상태는

$$\vec{E}_{out} = W_{p02} J W_{p01} \vec{E}_{in} \text{ 이며, 광투과율은}$$

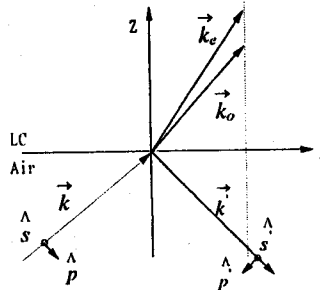
$$T = \left| \vec{E}_{out} \right|^2 / \left| \vec{E}_{in} \right|^2$$

로 결정한다.

(2) 경사입사광에 관한 확장된 2X2 행렬

확장된 2X2 행렬방식은 논문[4]를 참고하여 일반화된 행렬식을 유도하였다. 경사입사광이 예징 시스템을 통과하는 것을 다음의 세가지 경우로 나누어 해석하였다.

(경우1) Air-to-LC 모의 경사입사



맥스웰의 전자파 지배방정식으로 부터 입사파, 반사파, 투과파는 다음처럼 기술된다.

$$\vec{E}_i = (A_s \hat{s} + A_p \hat{p}) e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})}$$

$$\vec{E}_r = (B_s \hat{s} + B_p \hat{p}) e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})}$$

$$\vec{E}_t = (C_s \hat{o} e^{-i\vec{k}_s \cdot \vec{r}} + C_e \hat{e} e^{-i\vec{k}_e \cdot \vec{r}}) e^{i\omega t}$$

$$\vec{H}_i = \frac{1}{\omega\mu} \vec{k} \times (A_s \hat{s} + A_p \hat{p}) e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})}$$

$$\vec{H}_r = \frac{1}{\omega\mu} \vec{k} \times (B_s \hat{s} + B_p \hat{p}) e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})}$$

$$\vec{H}_t = \frac{1}{\omega\mu} (C_s \hat{k}_s \times \hat{o} e^{-i\vec{k}_s \cdot \vec{r}} + C_e \hat{k}_e \times \hat{e} e^{-i\vec{k}_e \cdot \vec{r}}) e^{i\omega t}$$

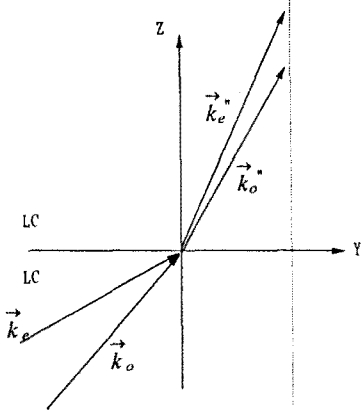
여기에 경계조건과 에너지 보존법칙에 의하여 정리하면 다음과 같은 최종적인 행렬 관계식

$$\begin{pmatrix} C_0 \\ C_e \end{pmatrix} = (C_2 - B_2 B_1^{-1} C_1)^{-1} (A_2 - B_2 B_1^{-1} A_1) \begin{pmatrix} A_s \\ A_p \end{pmatrix}$$

을 얻는다.

여기서 C_0, C_e 는 각각 상광선과 이상광선의 진폭이고, A_i, B_i, C_i ($i = 1, 2$) 는 맥스웰 관계식에서 얻어지는 행렬들이다.

(경우2) LC-to-LC (경계면 반사 무시)

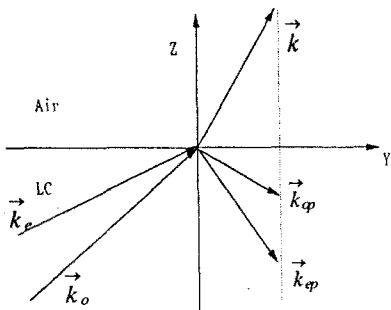


액정층간의 경계면 반사를 무시하면 다음의 관계식을 얻는다.

$$\begin{pmatrix} C_0 \\ C_e \end{pmatrix} = B^{-1} A E \begin{pmatrix} A_o \\ A_e \end{pmatrix}$$

여기서 B, A, E 는 맥스웰 관계식에서 얻어지는 행렬들이다.

(경우3) LC-to-Air



이 경우는 액정과 Air의 경계면에서의 반사를 고려하여 투과파와 반사파를 함께 고려한다.

$$\begin{pmatrix} C_s \\ C_p \end{pmatrix} = (C_2 - B_2 B_1^{-1} C_1) (A_2 - B_2 B_1^{-1} A_1) E \begin{pmatrix} A_o \\ A_e \end{pmatrix}$$

의 관계식에서 광학적 결과를 얻는다.

4. 기타

A. CIE색차표 (1931)

삼자극치 X, Y, Z 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = K \int_{380nm}^{780nm} P(\lambda) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} T(\lambda) d\lambda$$

$$K = 100 / \int_{380nm}^{780nm} P(\lambda) y(\lambda) d\lambda$$

$P(\lambda)$: 광원의 분광분포

x, y, z : color matching 함수

$T(\lambda)$: 광파장에 대한 액정 시스템의 투과율

이를 이용하여 다음의 색도좌표를 좌표평면 상에 표시한다.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

B. 휘도

$$Y = \frac{100 \int_{380nm}^{780nm} P(\lambda) y(\lambda) T(\lambda) d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} P(\lambda) y(\lambda) d\lambda}$$

C. Contrast

$$CR = \frac{Y_{on}}{Y_{off}} \quad \text{또는} \quad CR = \frac{Y_{off}}{Y_{dn}}$$

4. LCD Simulator 초기화면

그림2는 LCD Simulation Program의 초기 화면을 나타낸 것으로

각 영역을 그림과 같이 A-F 로 나누면

A : 각 액정의 물성치 데이터

B : LCD의 적층구조 데이터

C : 구동조건 데이터

D : 물성치와 적층구조에 의하여 LCD 설계, 평가시 유용한

변수들을 보여주는 부분.

E : LCD Simulation용 명령 Button들로 특정 평가 항목들을

보여준다.

F : LCD Simulation 결과를 그림 또는 그래프 로 보여주는 영역

III. 결과

1. Simulation의 결과 분석

그림 (2)의 초기 화면에서의 데이터 구조를 이용한 Simulation결과 그림 (3)은 LC의 방향 상태를 나타내고 그림 (7)은 Off-On-Off 전압을 인가했을 때의 시간에 따른 광투과율 변화로부터 응답시간을 알 수 있다. 그림 (6)은 Twist 각을 $200^\circ, 220^\circ, 240^\circ$ 로 하여 각각의 광투과율과 배향 상태를 나타내는 것으로 240° 에서 가장 좋은 결과를 보여준다. 그림 (5)는 Cell Gap을 $6.0\mu m, 6.3\mu m, 6.6\mu m$ 로 하여 Simulation한 결과로 Cell Gap이 $6.0\mu m, 6.3\mu m$ 일 경우 좋은 결과를 보여준다. 이 결과는 액정 표준화 작업과 관련하여 현업에서 최적으로 설정하는 조건과 일치한다. 그림 (17)의 그래프는 ZLI-4540에 대하여 duty와 응답속도가 최소가 되는 operating 전압의 상관 관계를 보여주는 실험적 측정치와 Simulation 결과의 비교이다. 그래프에서 보이는 바와 같이 매우 비슷한 거동이 보인다. 그림 (18)은 응답시간의 duty대 시간 그래프의 실험 결과와 Simulation 결과의 비교를 하였다.

IV. 결론

본 프로그램은 GUI를 사용하여 사용자의 편의성을 도모하였고,

액정의 물성치와 LCD 시스템의 설계 조건을 데이터베이스와 하여 사용할 수 있게 하였으며, 윈도우 상에서 해석적인 결과와 Simulation 결과를 볼 수 있어 LCD 초기 설계시 지침이 될 수 있게 하였다. LCD의 실험결과와 시뮬레이션 결과를 비교하는 일련의 과정을 통하여 LCD Simulator의 LCD에의 적용성이 입증되었다.

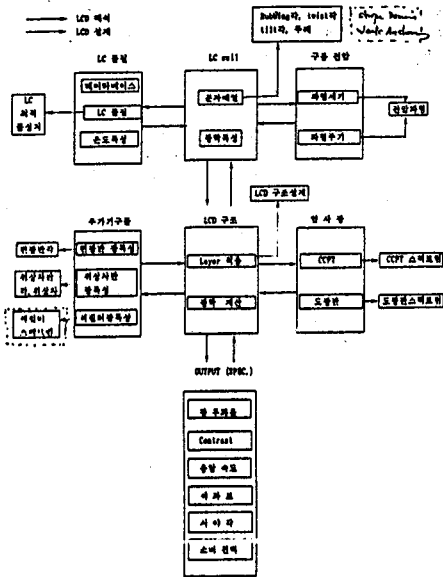


Fig. 1. LCD 설계와 배선의 개념도.

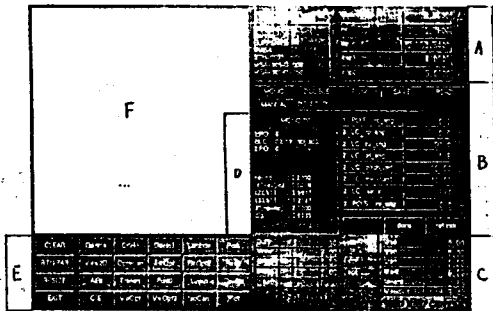


Fig. 2. LCD SIMULATOR 의 손거울면
(A: 불명시(未表示), B: 검은구멍(黑孔), C: 구멍조각(孔片)
D: 배선(配線)도면(配線圖), E: 구멍(孔)도면(孔圖), F: 구멍(孔)도면(孔圖)

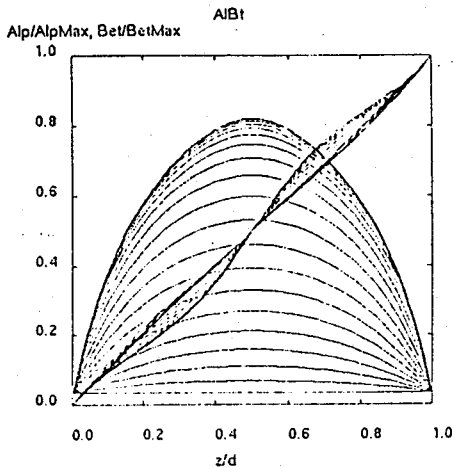


Fig. 3. TN CELL의 액정 배향 상태
(Tilt 각 α 와 방위각 β 의 두께방향에 대한 시간 의존성)

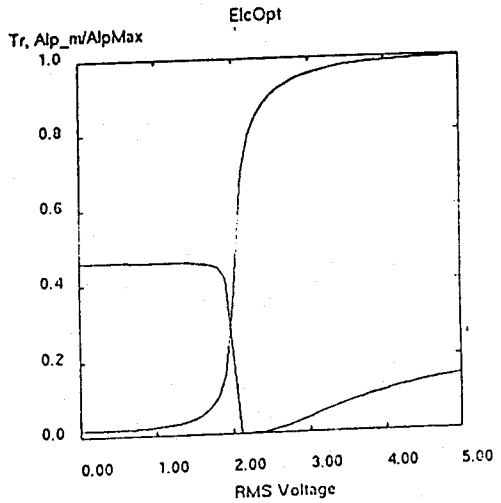


Fig. 4. STN Cell의 광투과율과 전압차이값과의 관계
한 S 시 곡선은 Cell공차(公差)의 1/2와 α 의 변의
(ZLI-2293, Twist Angle = 240°)

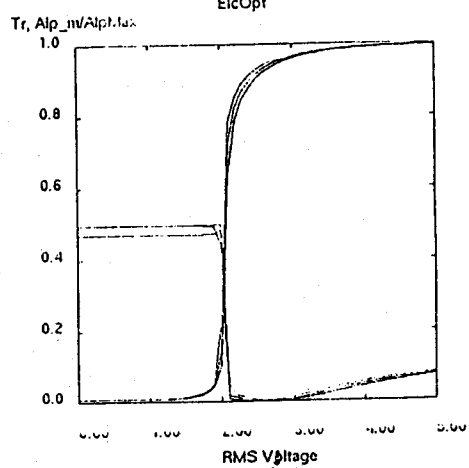


Fig. 5. cell gap을 6.0μm, 6.3μm, 6.6μm로 하여
simulation 한 결과.

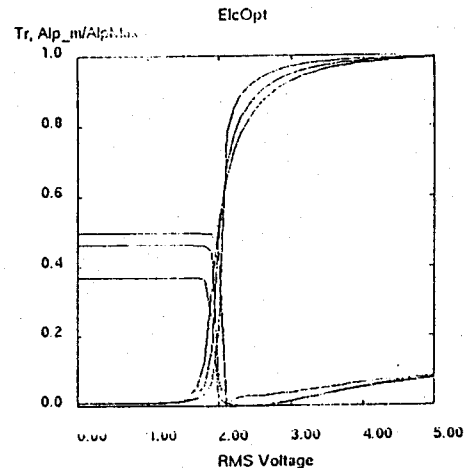


Fig. 6. twist angle 200°, 220°, 240°에서의 광투과율과
배향상태를 나타내는 것

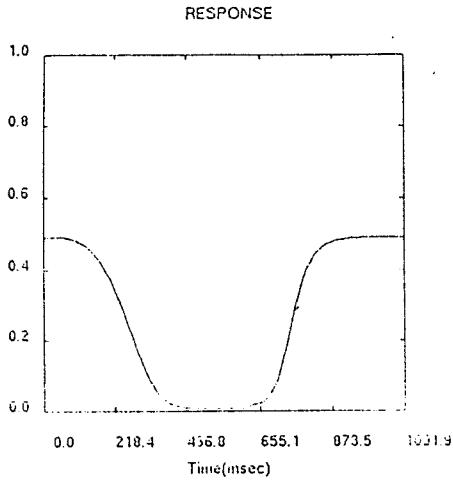


Fig 7. $V_{off} - V_{on} - V_{off}$ 의 인가전압 변화에 대한 STN Cell의 응답특성 (ZLI-4540, 1:6:1 Duty, 1:9 Bias)

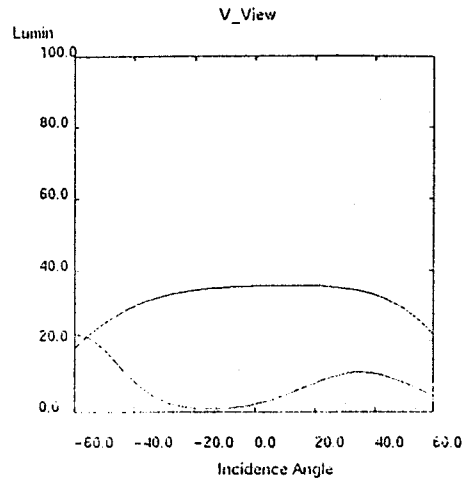


Fig 8. 수직 방향의 on 과 off 시의 경사입사광의 각도에 따른 투과 비율

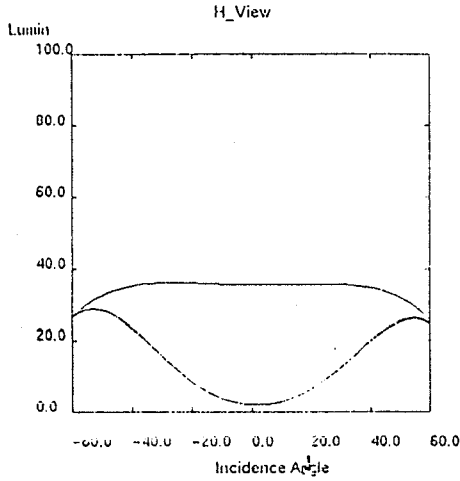


Fig 9. 수평 방향의 on 과 off 시의 경사입사광의 각도에 따른 투과 비율

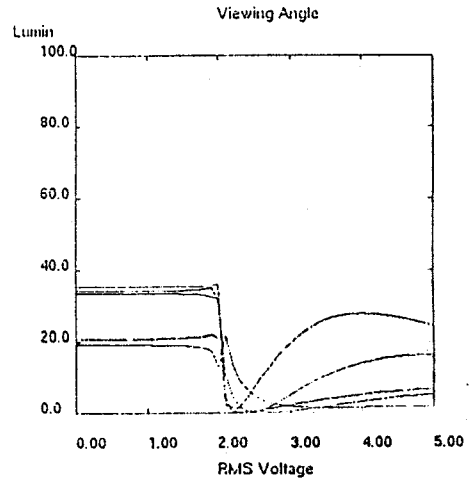


Fig 10. 입사각별 RMS 전압에 대한 Luminance

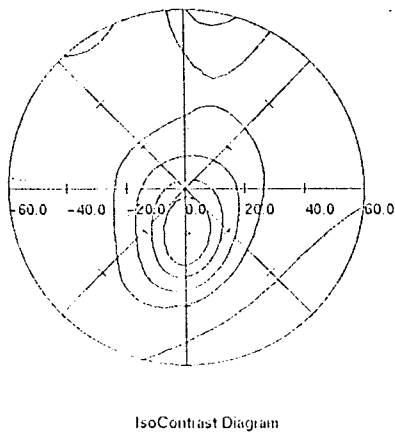


Fig 11. 상,하의 편광판의 각을 각각 (10°, 80°) 로 한 등 contrast line

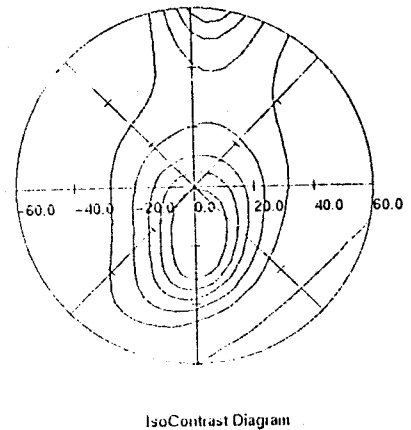


Fig 12. 상,하의 편광판의 각을 각각 (15°, 75°) 로 한 등 contrast line

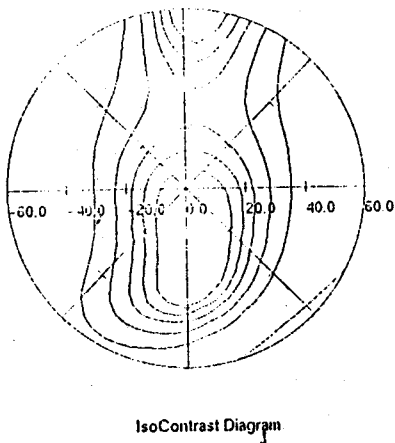


Fig 13. 상,하의 편광판의 각을 각각 (20°, 70°)로 한 동 contrast line

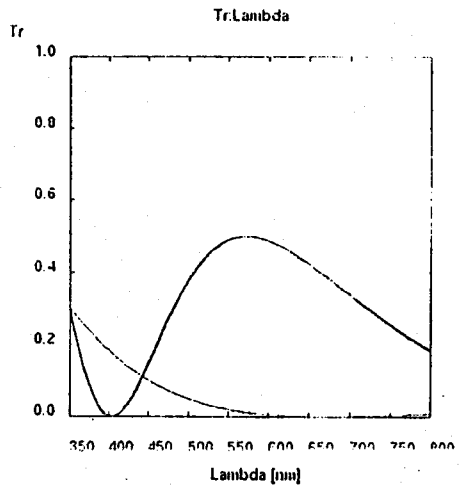


Fig 14. STN (C-1)의 인가전압에 대한 광부과율의 파장의존성 (MSA-90943, Twist Angle = 240°)

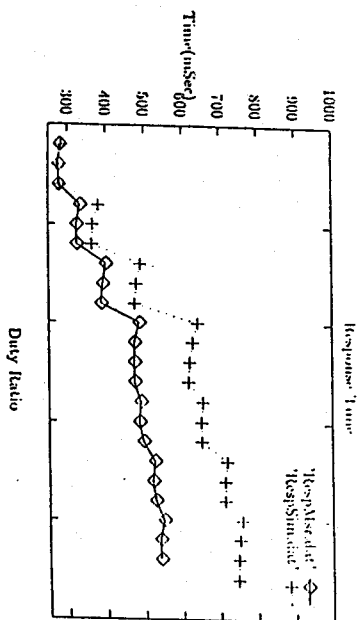


Fig 18. 액정 응답시간의 측정치와 simulation 결과 비교

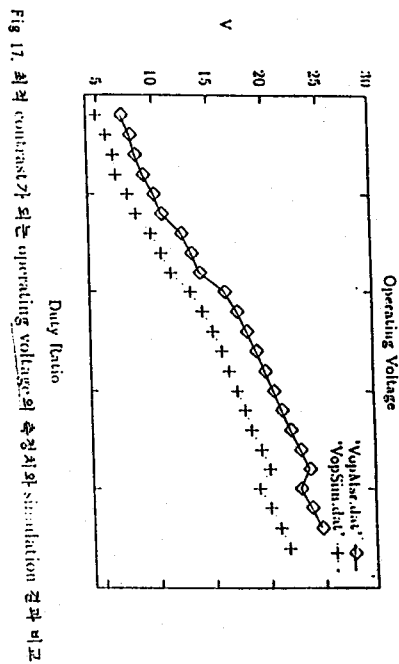


Fig 17. 최적 contrast가 되는 operating voltage의 측정치와 simulation 결과 비교

참 고 문 헌

- [1] Optical Waves in Crystals, A. Yariv, P. Yeh,
John Wiley and Sons (1984).
- [2] Foundation of Electromagnetic Theory, J. Reitz,
F. Milford, and R. Christy,
Addison-Wesley Publishing Co. (1979).
- [3] 액정 Twist Cell의 동특성과 광학적 특성에 관한
컴퓨터 Simulation에 관한 연구, 이 진철,
서울대학원 물리학과 석사학위 논문 (1991).
- [4] Extended Jones Matrix Method, P. Yeh,
Optical Soc. Am. (1982).
- [5] Dynamics of Liquid Crystal Twist Cells,
D. W. Berreman, Appl. Phys. Lett. 25. 12. (1974).
- [6] 액정 Device Handbook, 삼성전자 반도체연구소 (1991).
- [7] Super-Twist-Nematic (STN) LCDs, T. Sheffer,
J. Nehring, SID Seminar M-7 (1993).
- [8] Introduction to Modern Optics, Holt,
Reinhart and Winston (1968).