

콜레스테릭 액정 세미나

목차

Introduction

1. 콜레스테릭 액정의 광학 특성

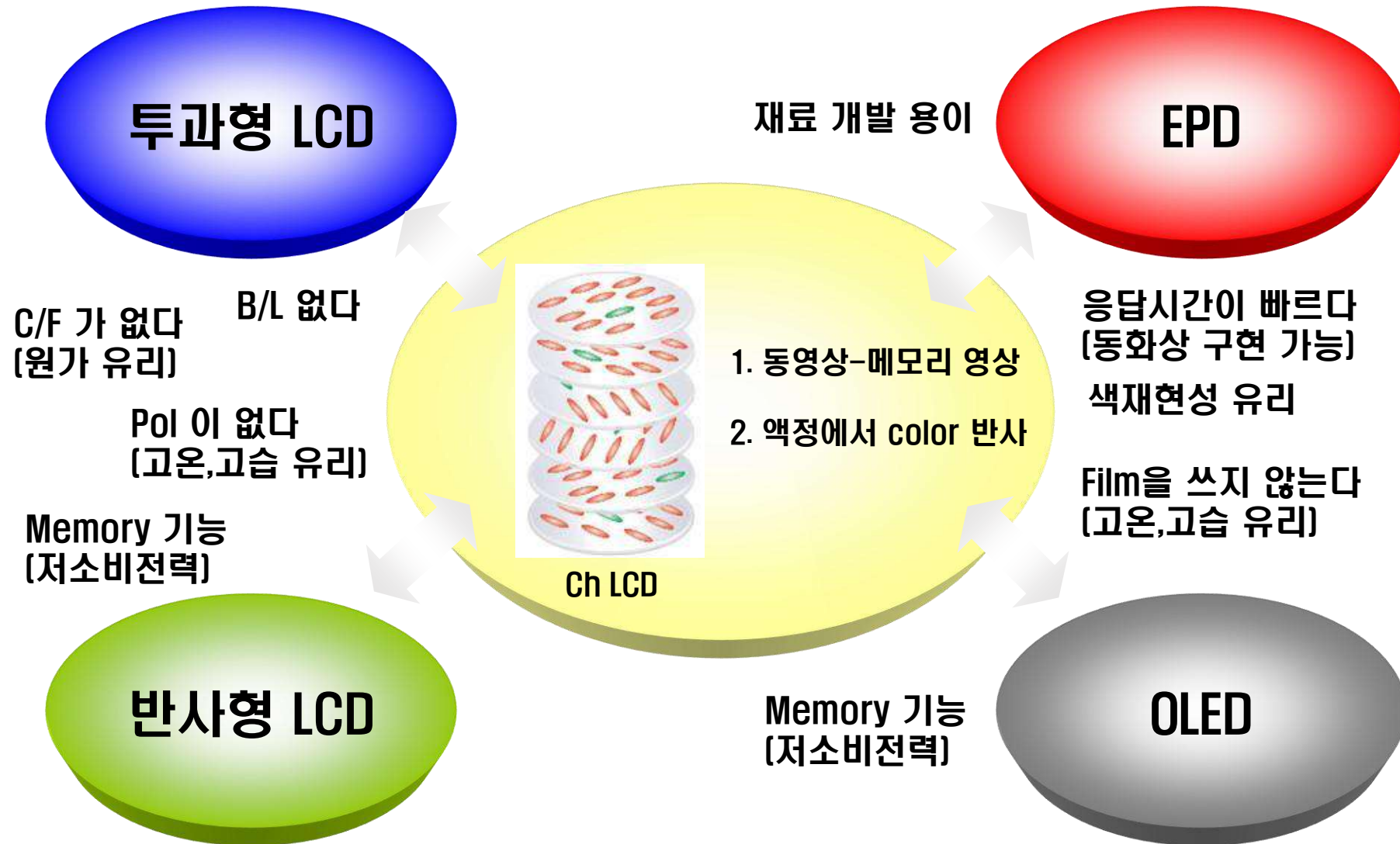
2. 콜레스테릭 액정의 전기적 특성

3. 반사형 DISPLAY 측정 방법

4. 경쟁사 동향

5. 개발 내용

왜 콜레스테릭 액정 모드인가?



어디에 응용할 수 있을까?

전자 책



전자가격표

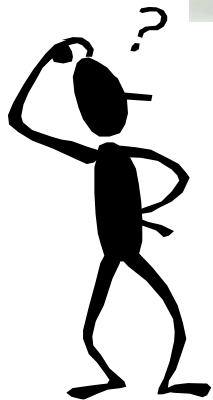


DID
(Digital Information Display)



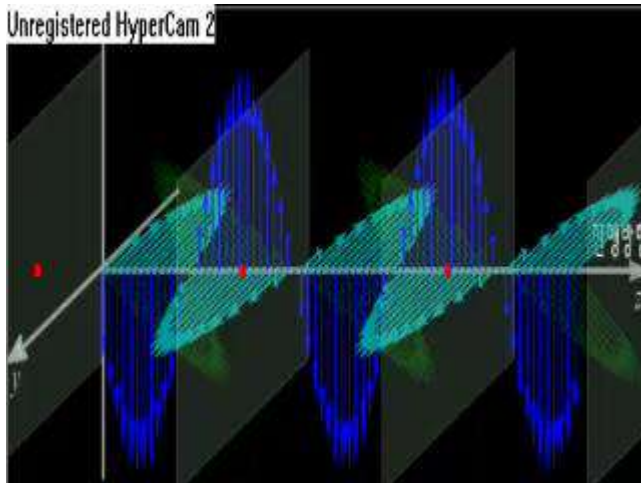
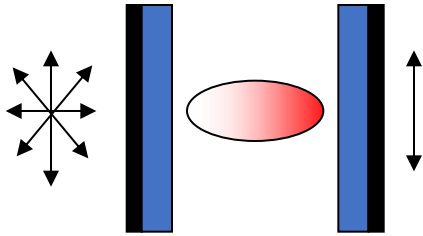
대형화

DID, 투명 display , 반사형 3D 패널, Flexible

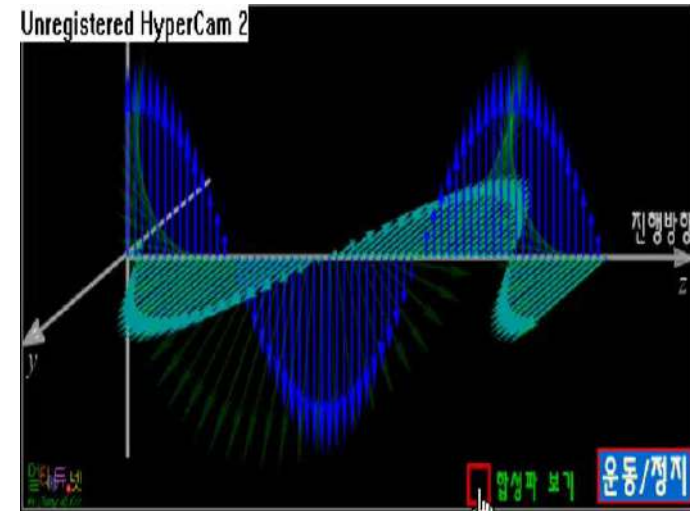
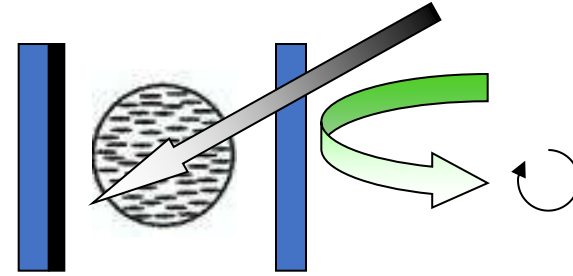


빛의 편광(직선 편광 / 원편광)

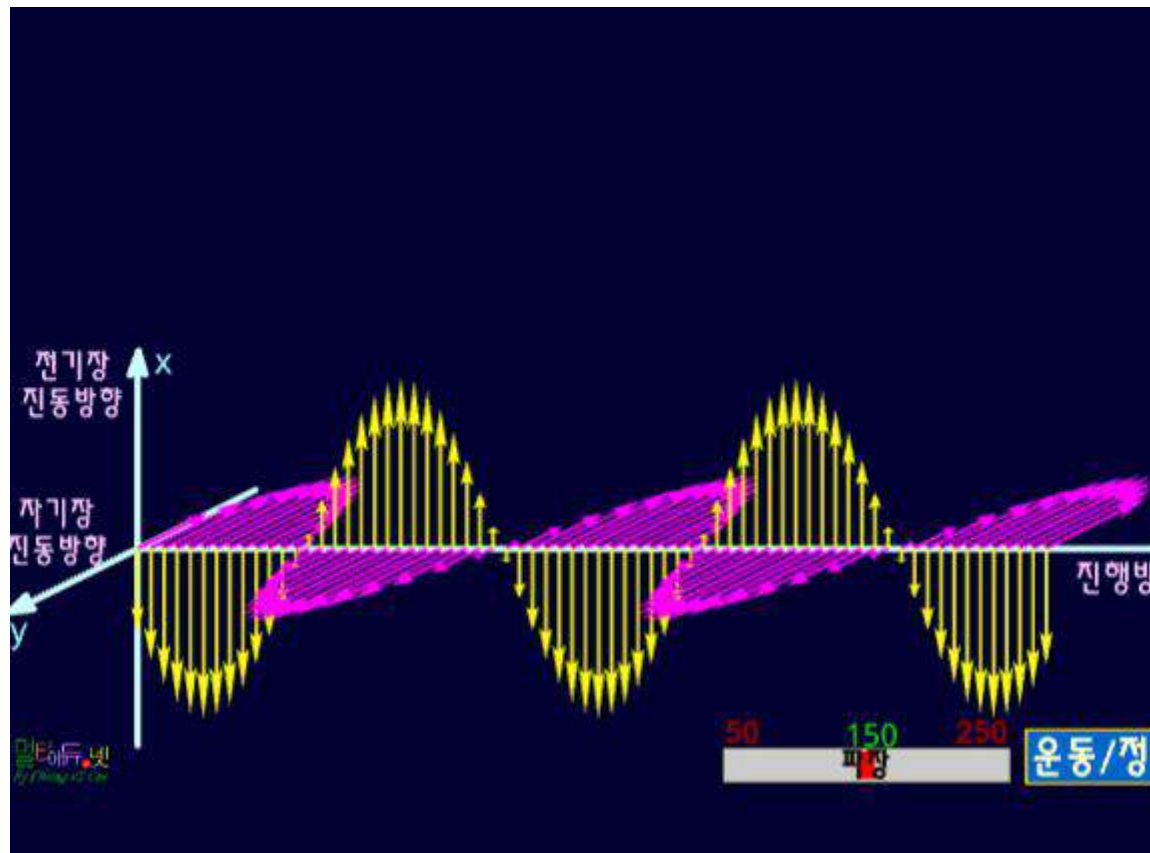
1) 빛의 편광



직선 편광 (위상차 = 0)

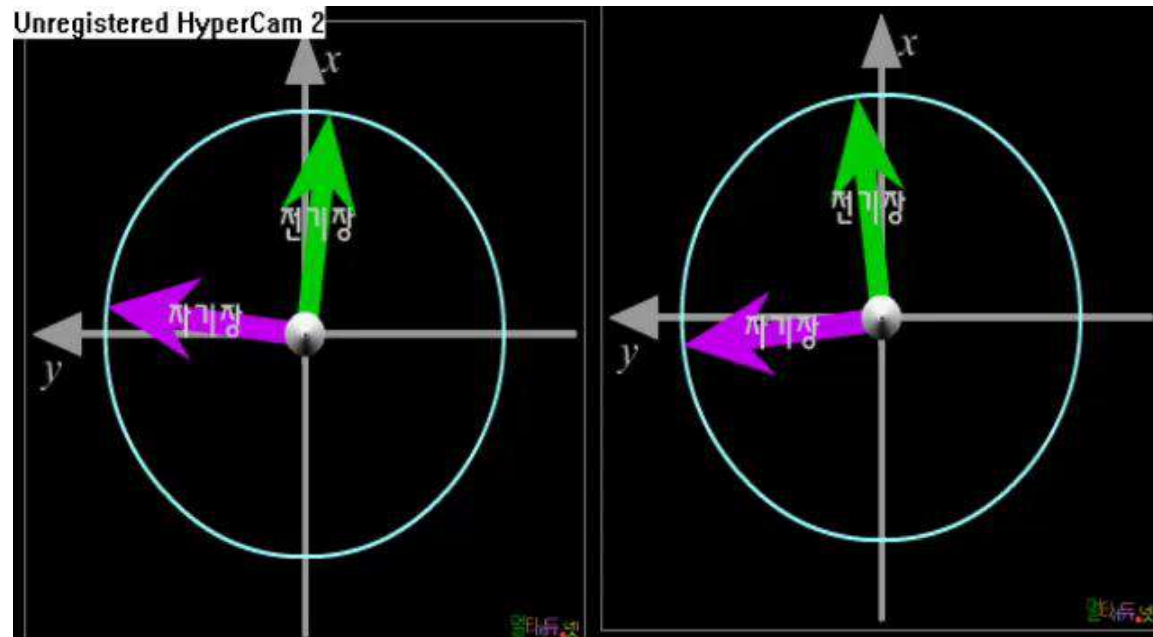
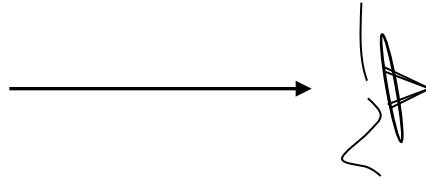


원 편광 (위상차 = ± 90)



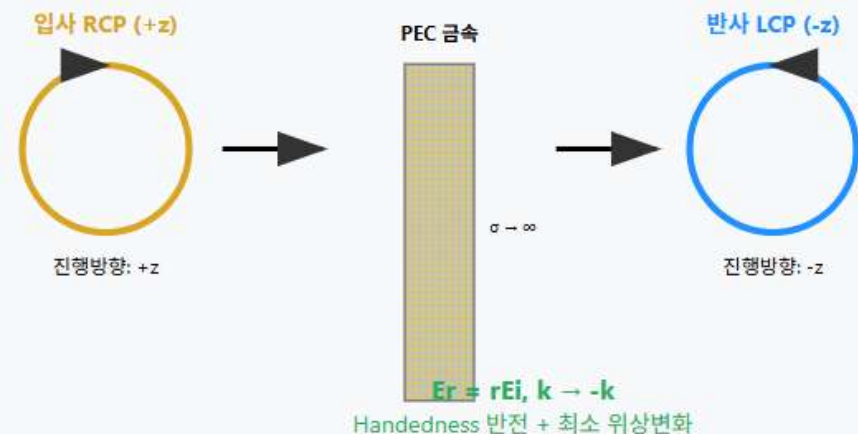
위 그림처럼 z 방향으로 진행하는 전자기파의 전기장은 위 그림과 같이 x 축으로 진동할 수 있겠지만 마찬가지로 y 으로 진동할 수도 있다. 가장 일반적으로는 x 방향 및 y 방향으로의 진동이 적절하게 합성되어 있을 수 있다. 어느 경우든지 이와 동반되어 있는 자기장은 같은 $x - y$ 평면에 놓고 있지만 언제나 전기장과 수직으로 형성되어야 한다. 전기장의 진동 방향, 즉 편광방향이 어느 쪽으로 놓여 있는가는 이 전자기파가 어떻게 발생되었느냐에 달려있다.

원편광의 표현 (빛을 바라보는 입장에서)



좌원편광

우원편광



Maxwell 방정식 (금속 경계면에서):

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \partial \mathbf{D} / \partial t \quad (\sigma: \text{전도도})$$

$$\text{PEC 경계조건: } E_{\text{tangential}} = 0$$

PEC 경계면에서의 반사 계수

완전 전기 도체(PEC)에서 접선 성분 전기장이 0이 되어야 하는 조건:

$$E_{\text{incident}} + E_{\text{reflected}} = 0 \quad (\text{at } z = 0)$$

$$\therefore E_{\text{reflected}} = -E_{\text{incident}}$$

반사계수: $r = -1$ (수직입사 시)

금속에서 빛이 반사되는 원리: 맥스웰 방정식을 통한 증명

금속에서 빛이 반사되는 현상은 맥스웰 방정식과 매질의 경계 조건으로부터 유도될 수 있습니다. 특히, 이상적인 도체인 **완전 도체(Perfect Electrical Conductor, PEC)**를 가정하면 금속 표면에서 빛이 어떻게 반사되고 위상 변화가 일어나는지를 명확히 설명할 수 있습니다.

1. 맥스웰 방정식과 완전 도체(PEC)의 경계 조건

금속 내부에는 자유 전자가 풍부하여 외부 전기장에 민감하게 반응합니다. 이러한 특성을 맥스웰 방정식으로 표현하면 다음과 같습니다.

일반적인 맥스웰 방정식:

- $\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0$
- $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
- $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$
- $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial t$

금속과 같은 전도성 물질에서는 전도 전류 밀도 $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$ 가 중요한 역할을 합니다. 여기서 σ 는 전기 전도도입니다. 금속의 경우 σ 가 매우 크기 때문에, 이상적인 경우 $\sigma \rightarrow \infty$ 로 가정하여 **완전 도체(PEC)**로 근사할 수 있습니다.

완전 도체(PEC)의 특성:

- 완전 도체 내부에는 자유 전자가 무한히 존재하여 어떤 전기장도 즉시 상쇄합니다. 따라서 도체 내부에서는 $\mathbf{E} = 0, \mathbf{B} = 0$ 입니다.
- 도체의 표면에서는 전하 밀도가 무한히 커질 수 없으므로, 전기장의 접선 성분($\mathbf{E}_{\text{tangential}}$)은 0이 되어야 합니다.

바로 이 $\mathbf{E}_{\text{tangential}} = 0$ 이라는 경계 조건이 금속 표면에서 빛이 반사되는 현상을 설명하는 핵심입니다.

2. 수직 입사하는 빛의 반사

빛이 공기 중에서 완전 도체(PEC) 표면에 수직으로 입사하는 경우를 가정해봅시다.

- 입사파($\mathbf{E}_{\text{incident}}$): 금속 표면에 도달하는 빛의 전기장입니다.
- 반사파($\mathbf{E}_{\text{reflected}}$): 금속 표면에서 반사되어 되돌아가는 빛의 전기장입니다.

두 파동 모두 금속 표면($z = 0$)에서 동시에 존재하며, 이 지점에서 맥스웰 방정식의 경계 조건($\mathbf{E}_{\text{tangential}} = 0$)을 만족해야 합니다.

빛이 수직으로 입사할 때 전기장의 방향은 표면에 항상 접선 방향입니다. 따라서, 금속 표면($z = 0$)에서 입사파와 반사파의 전기장 벡터의 합은 0이 되어야 합니다.

- $\mathbf{E}_{\text{incident}} + \mathbf{E}_{\text{reflected}} = 0 \text{ (at } z = 0 \text{)}$

이 식을 만족하기 위해서는 반사파의 전기장이 입사파의 전기장과 크기는 같고 방향은 정확히 반대여야 합니다.

- $\mathbf{E}_{\text{reflected}} = -\mathbf{E}_{\text{incident}}$

이는 반사 계수(r)가 -1임을 의미합니다.

$$r = \frac{E_{\text{reflected}}}{E_{\text{incident}}} = -1$$

3. 우원편광(RCP) 빛의 반사

첨부된 이미지에서 우원편광(RCP, Right-handed Circular Polarization) 빛이 금속 표면에 입사하는 상황을 볼 수 있습니다.

- **입사 RCP:** 전기장 벡터가 시계 방향으로 회전하며 진행 방향(+z)으로 나아갑니다.
- **반사파:** PEC 표면에서 전기장의 접선 성분이 0이 되어야 하므로, 반사된 빛의 전기장은 입사 빛에 비해 180° 위상 변화를 겪습니다. 이 위상 변화는 진행 방향(-z)으로 되돌아가는 빛에 대해 ****좌원편광(LCP, Left-handed Circular Polarization)****으로 보이게 만듭니다.

이것은 단순히 위상만 바뀌는 것이 아니라, 진행 방향이 반대가 되면서 전기장 회전 방향도 관찰자에게는 반대로 보이게 되는 효과입니다.

- **입사파(\mathbf{E}_{inc}):** $\mathbf{E}_0 e^{i(kz - \omega t)} (\hat{x} + i\hat{y})$ (오른손 좌표계 기준)
- **반사파(\mathbf{E}_{ref}):** $\mathbf{E}_0 e^{i(-kz - \omega t)} (-\hat{x} - i\hat{y})$

여기서 반사파의 전기장 벡터는 입사파에 비해 부호가 반전되었습니다. 이는 180° 위상 변화를 의미하며, 진행 방향이 $-z$ 로 바뀌었기 때문에 전체적인 회전 방향이 좌원편광으로 나타납니다.

결론

금속 표면에서 빛이 반사될 때 위상 변화가 발생하는 원리는 맥스웰 방정식으로부터 도출되는 경계 조건에 있습니다. 특히, 이상적인 완전 도체(PEC)의 경우, 표면에서 전기장의 접선 성분이 0이어야 한다는 조건 때문에 반사파의 전기장 벡터는 입사파의 전기장 벡터와 정확히 반대 부호를 갖게 됩니다. 이로 인해 빛은 π (180°)의 위상 변화를 겪게 됩니다.

이러한 위상 변화는 금속 표면이 단순히 빛의 방향을 바꾸는 거울 역할을 하는 것을 넘어, 빛의 편광 상태를 변화시키는 중요한 광학적 현상을 초래합니다.

4.2. CLC에서의 결합파 이론 (Coupled Wave Theory)

CLC의 주기적 유전율:


$$\varepsilon(z) = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 \cos(2\pi z/P) + \varepsilon_2 \sin(2\pi z/P)$$

결합파 방정식:

$$dE_+/dz = i\kappa E_- e^{(2i\delta z)}$$

$$dE_-/dz = -i\kappa^* E_+ e^{(-2i\delta z)}$$

여기서 $\kappa = \pi\varepsilon_1 / (2\varepsilon_0)$, $\delta = k - \pi/P$

 브래그 조건에서의 반사 계수

브래그 조건 ($\delta = 0$)에서:

$$r = -i\kappa L / \sinh(\kappa L) \approx -i \quad (\kappa L \ll 1 \text{ 일 때})$$

$|r|^2$ 이 최대가 되는 조건:

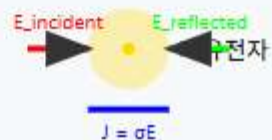
$$\lambda = n^* P \quad (1\text{차 브래그 조건})$$

위상: $\varphi = \arg(r) = -\pi/2 + n\pi \approx \pi$

4.3. 위상 변화의 미시적 기원

위상 변화의 물리적 기원 비교

금속 반사 메커니즘



즉각적 응답 → 위상 보존

CLC 브래그 반사



다중 간섭 → π 위상 변화

수학적 요약

금속 (PEC)

$$E_{\text{total}} = 0 \text{ at } z=0$$

$$r = -1$$

$$\varphi = 0^\circ \text{ (위상보존)}$$

CLC 브래그

$$\lambda = \bar{n}P$$

$$r = |r|e^{i\pi}$$

$$\varphi = \pi \text{ (180}^\circ \text{ 변화)}$$

3. 두 현상의 비교 및 대조

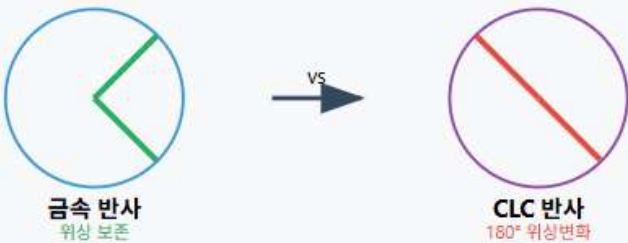
특성	금속 표면	클래스테릭 액정 (CLC)
반사 메커니즘	전자 들뜸-재방출	브래그 반사 (구조적 간섭)
위상 변화	위상 보존 (수직 입사)	180° 위상 변화
원인	집단 전자 응답	굴절률 변조와 구조적 간섭
편광 선택성	없음 (모든 편광 반사)	우원편광 선택적 반사
파장 의존성	약함 (금속 종류에 따라 다름)	강함 (피치에 의해 결정)

4. 정리 및 요약

🔑 핵심 포인트

1. 금속 반사: 전자 군집의 집단적 응답과 원편광의 대칭성으로 인한 위상 보존
2. CLC 브래그 반사: 1차원 광결정에서의 구조적 보강 간섭 조건으로 인한 180° 위상 변화
3. 근본적 차이: 전자적 과정 vs 구조적·간섭적 과정

두 현상의 위상 변화 비교



콜레스테릭 액정(CLC)에서 빛이 반사되는 원리: 브래그 반사를 통한 설명

콜레스테릭 액정(Cholesteric Liquid Crystal, CLC)에서 빛이 반사되는 원리는 금속과 근본적으로 다릅니다. 금속이 표면에서의 전자기장 경계 조건에 의해 반사되는 반면, CLC는 내부의 주기적인 나선형 구조에 의한 **브래그 반사(Bragg Reflection)** 원리로 특정 편광의 빛만을 선택적으로 반사합니다.

1. 콜레스테릭 액정(CLC)의 구조적 특성

CLC는 액정 분자들이 층을 이루며, 각 층의 분자 배향이 일정한 각도($\Delta\phi$)로 회전하는 **나선형 구조**를 가집니다. 이 나선이 360° 회전하는 데 걸리는 길이를 **피치(pitch, P)**라고 합니다. CLC의 광학적 특성은 이 주기적인 피치에 의해 결정됩니다.

- 나선 방향:** CLC는 나선이 오른쪽으로 회전하는 **우선성(right-handed)** 또는 왼쪽으로 회전하는 **좌선성(left-handed)**을 가질 수 있습니다.

이러한 주기적인 구조는 빛의 파동과 상호작용하여 특정 조건에서만 반사가 일어나게 합니다.

2. 브래그 반사(Bragg Reflection) 원리

브래그 반사는 결정 구조의 주기적인 층에서 빛이 반사되어 간섭을 일으키는 현상입니다. CLC의 나선형 구조는 굴절률이 주기적으로 변하는 광학적 격자(optical lattice)와 유사하게 작용합니다.

빛이 CLC에 입사할 때, 이 주기적인 굴절률 변화를 겪게 되는데, 이때 다음의 **브래그 조건(Bragg's Law)**을 만족하는 파장의 빛만 강하게 반사됩니다.

$$\lambda = n \cdot P \cdot \cos \theta$$

- λ : 반사되는 빛의 파장
- n : 액정의 평균 굴절률
- P : CLC 나선의 피치
- θ : 입사각

여기서 중요한 점은 CLC가 **원편광 선택성**을 가진다는 것입니다.

- 우선성(Right-handed) CLC:** 입사하는 **우원편광(RCP)** 빛은 반사하고, **좌원편광(LCP)** 빛은 투과시킵니다.
- 좌선성(Left-handed) CLC:** 입사하는 **좌원편광(LCP)** 빛은 반사하고, **우원편광(RCP)** 빛은 투과시킵니다.

이는 CLC의 나선 구조가 마치 손 나사처럼 특정한 방향으로 회전하는 빛만 선택적으로 '붙잡아' 반사하기 때문입니다.

3. CLC에서 빛의 위상 변화

금속에서의 위상 변화는 경계면에서의 전기장 반전(180° 위상 변화)으로 설명됩니다. 하지만 CLC에서의 반사는 표면 반사가 아닌 내부 구조에 의한 간섭 현상입니다.

- CLC의 위상 변화:** CLC는 브래그 반사 원리에 의해 빛이 반사되므로, **위상 변화가 거의 없거나 매우 작습니다.**
- 물리적 메커니즘:** 빛이 CLC 구조에 진입하면, 나선형의 굴절률 변화를 따라 진행하면서 점진적으로 반사가 일어납니다. 이 과정은 순간적인 표면 반사가 아니라, 여러 층에 걸쳐서 발생하는 복합적인 간섭 현상입니다. 이로 인해 반사된 빛의 위상은 크게 변하지 않습니다.

금속이 입사파와 반사파가 상쇄되어야 하는 **'경계 조건'** 때문에 위상 변화가 필수적인 반면, CLC는 자신의 주기적 구조와 일치하는 편광의 빛을 **'공명'**하여 반사시키기 때문에 위상 변화가 최소화됩니다.

결론

콜레스테릭 액정에서 빛이 반사되는 현상은 금속과는 완전히 다른 원리에 기반합니다.

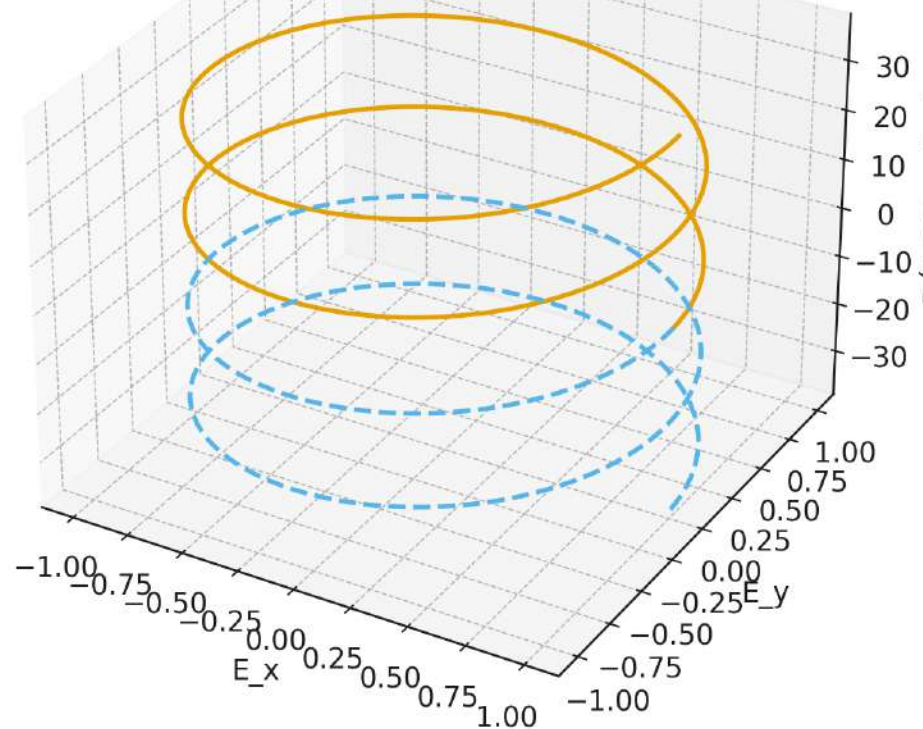
- 반사 원리:** 금속은 전자기장의 경계 조건에 의한 **표면 반사**인 반면, CLC는 내부의 주기적인 나선 구조에 의한 **브래그 반사**입니다.
- 편광 선택성:** 금속은 모든 편광을 반사하지만, CLC는 자신의 나선 방향에 일치하는 **특정 원편광**만을 선택적으로 반사합니다.
- 위상 변화:** 금속은 180° 의 위상 변화를 겪는 반면, CLC는 브래그 반사의 특성상 **위상 변화가 거의 없습니다.**

Metal (PEC-like) Reflection

- Incident RCP (+z)
- Reflected (lab LCP, -z)

$$\mathbf{E}_r = r\mathbf{E}_i, \quad k \rightarrow -k$$

=> lab-handedness flips



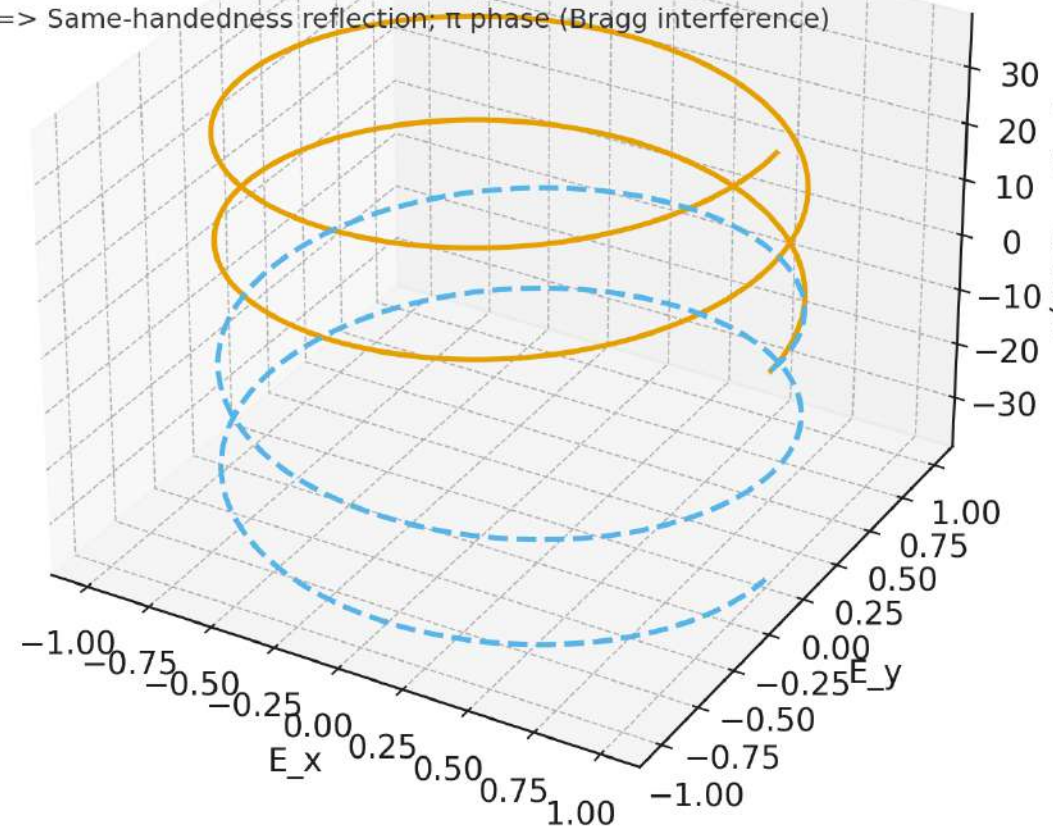
Cholesteric LC Bragg Reflection

- Incident RCP (+z)
- Reflected RCP (-z)

$$n(z) = n_0 + \Delta n \cos\left(\frac{2\pi}{p}z\right)$$

$$r(\omega) = |r|e^{i\phi}, \quad \phi \approx \pi$$

=> Same-handedness reflection; π phase (Bragg interference)



원편광의 반사: 금속 vs. 콜레스테릭 액정

편광 기초

금속 반사

액정 반사

수식 비교

핵심 비교

1. 빛의 편광이란?

원편광의 정의

빛이 진행하는 방향을 **마주보고 관찰할 때**, 전기장 벡터가 그리는 궤적에 따라 편광 상태가 정의됩니다.



좌원편광 (LCP): 시계 반대방향 회전



우원편광 (RCP): 시계방향 회전

수학적 표현

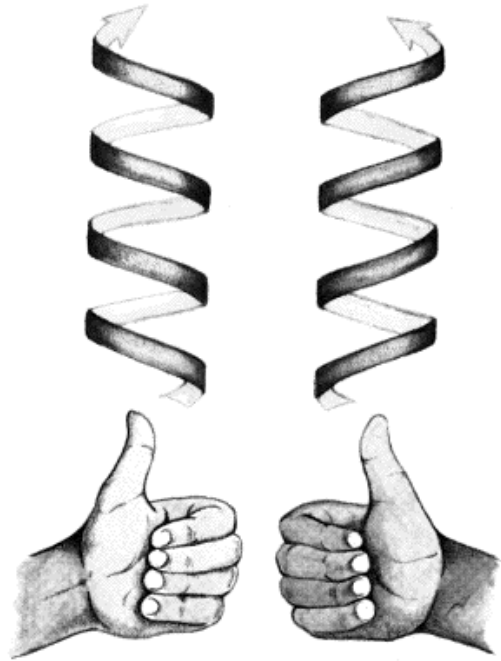
좌원편광 (LCP):

$$\begin{aligned}E_x &= E_0 \cos(kz - \omega t) \\E_y &= E_0 \sin(kz - \omega t)\end{aligned}$$

우원편광 (RCP):

$$\begin{aligned}E_x &= E_0 \cos(kz - \omega t) \\E_y &= -E_0 \sin(kz - \omega t)\end{aligned}$$

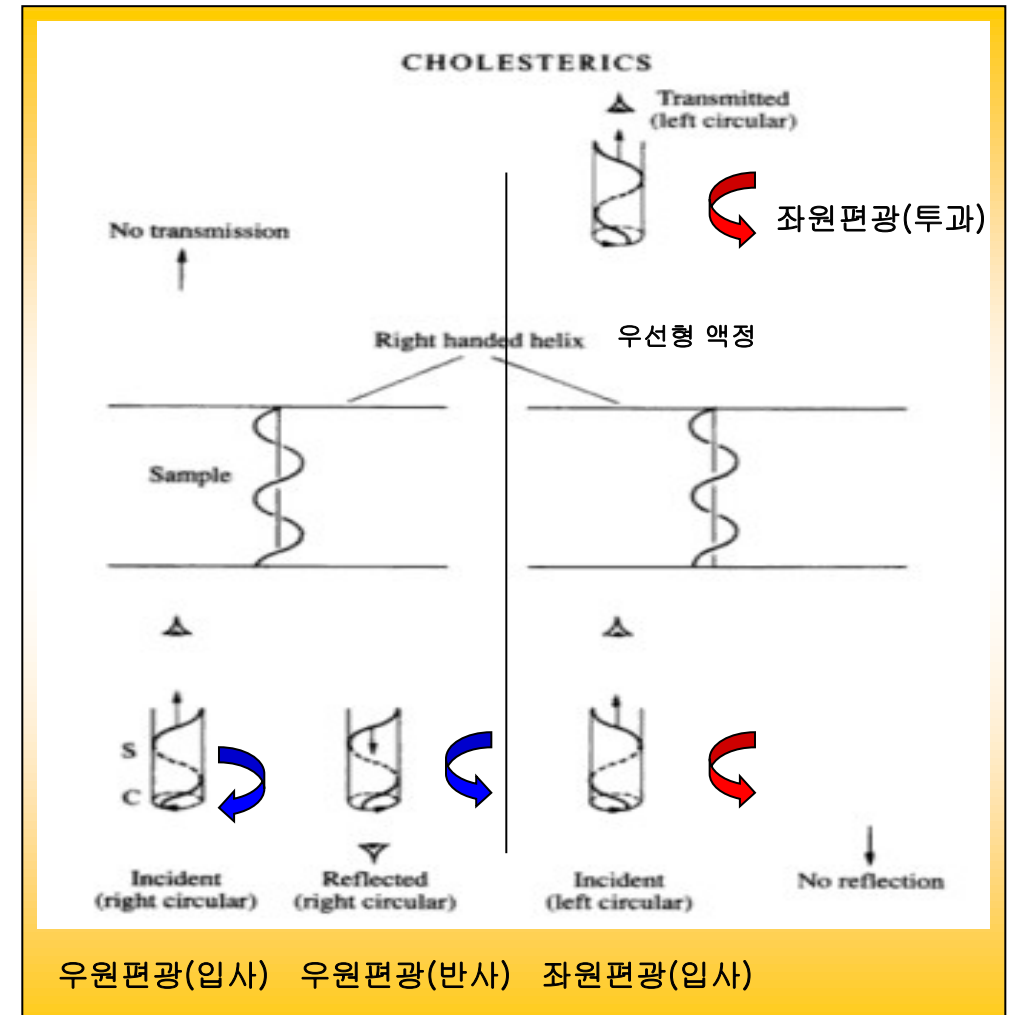
2-1) 콜레스테릭 액정 광학특성 1



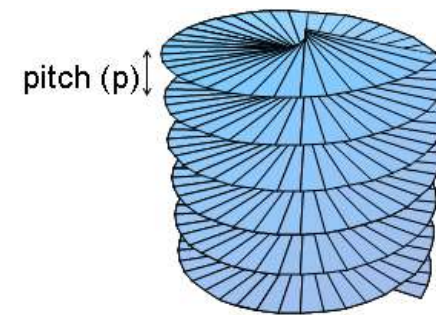
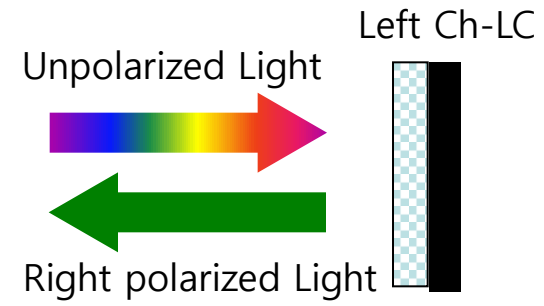
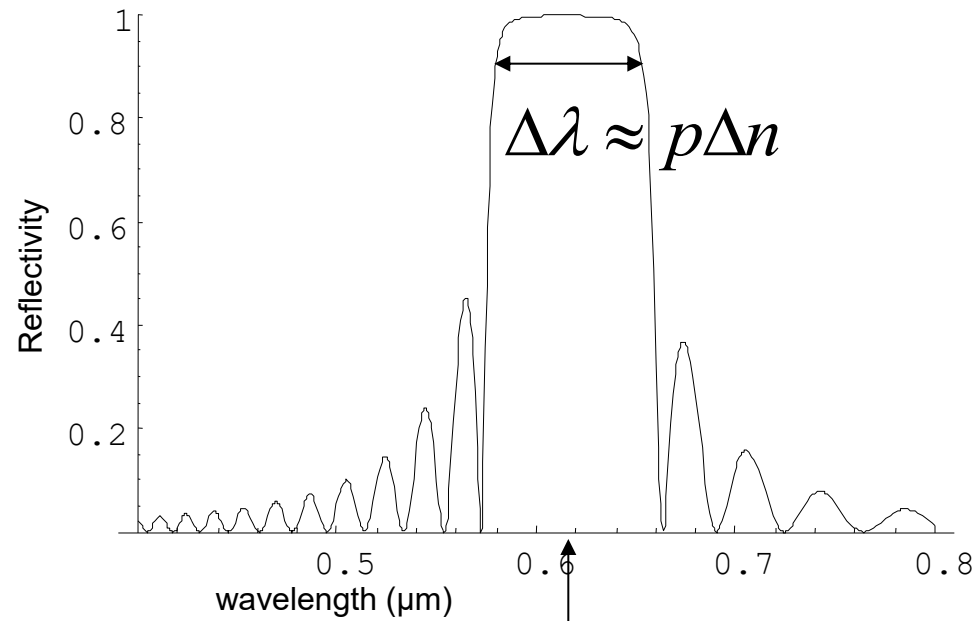
좌선행 액정

우선행 액정

- 우선행 액정 (Right-handed helix): 엄지손가락을 빛이 나아가는 방향으로 향하게 했을 때, 나머지 손가락이 감는 방향으로 나선이 회전하는 구조입니다. (오른손 법칙과 유사)
- 좌선행 액정 (Left-handed helix): 엄지손가락을 빛이 나아가는 방향으로 향하게 했을 때, 나머지 손가락이 감는 방향으로 나선이 회전하는 구조입니다. (왼손 법칙과 유사)

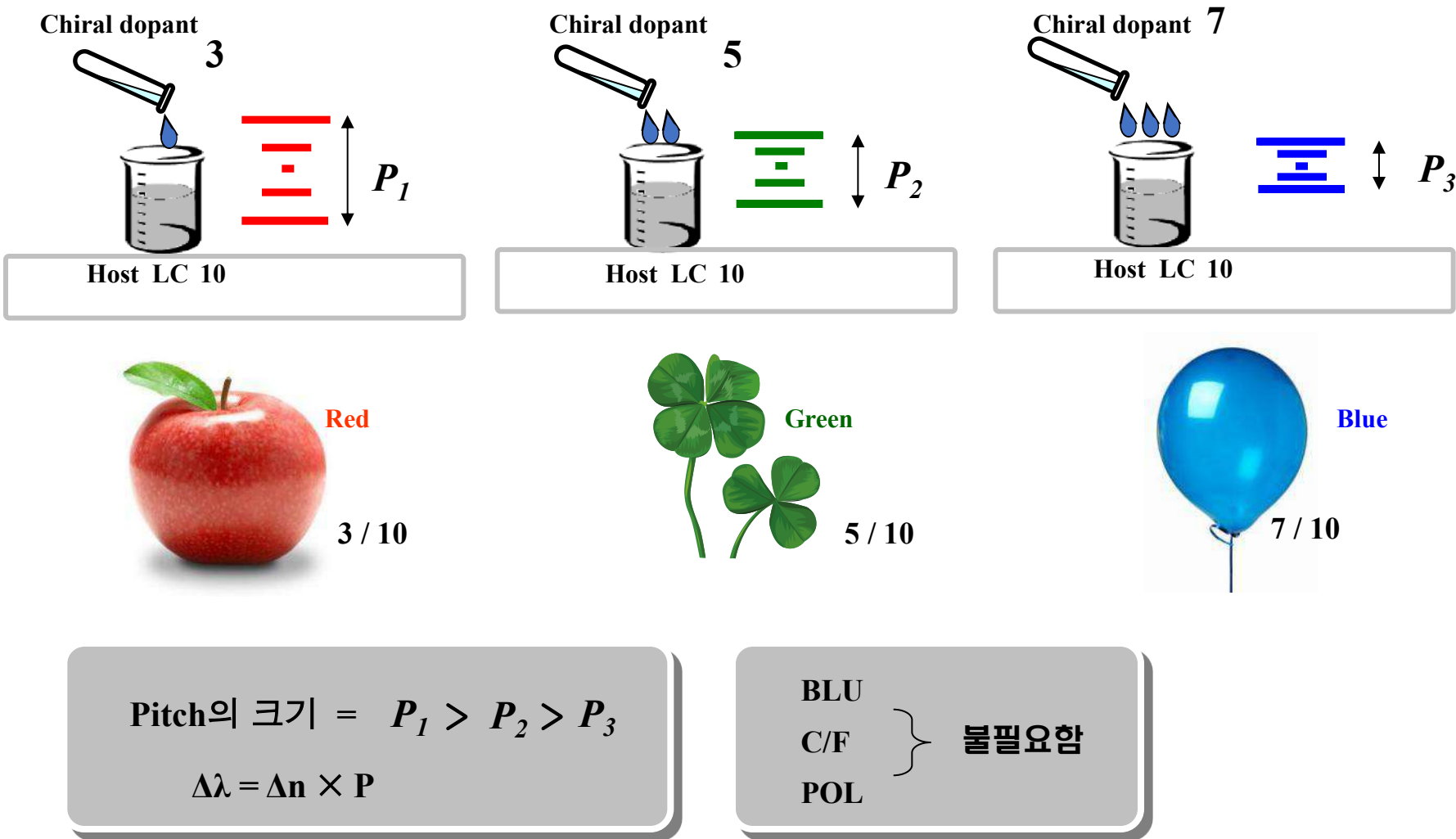


2-2) 콜레스테릭 액정 광학 특성 2

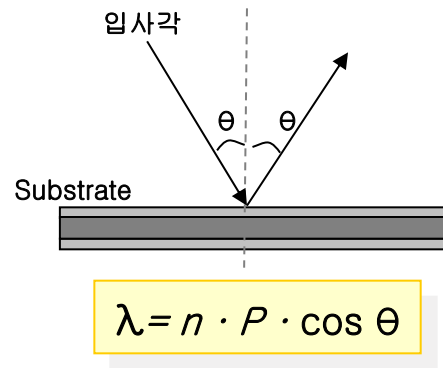


$$\lambda_0 = p \bar{n} = p \frac{1}{2} (n_{\parallel} + n_{\perp})$$

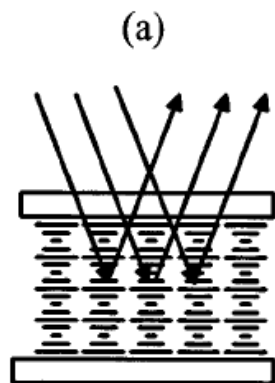
3) Chiral dopant 농도와 반사 색깔



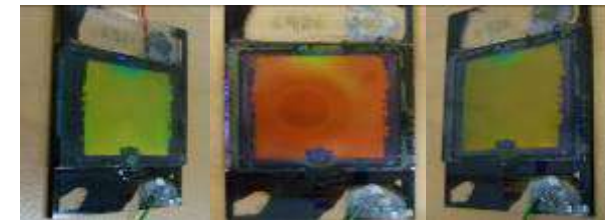
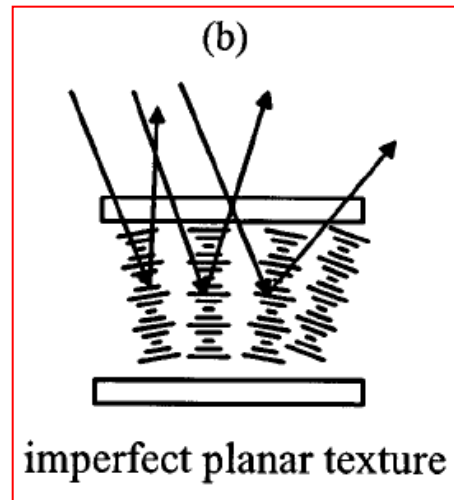
4) 시야각에 따른 Color Shift



θ 값 ↑수록(측면에서 보면) λ 값 ↓때문에 짧은 파장으로 shift



perfect planar state



좌측

정면

우측

Red



좌측

정면

우측

Green



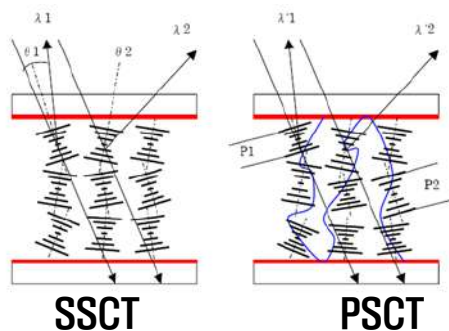
좌측

정면

우측

Blue

< 시야각에 따른 색변화 >



2. 시야각 의존성을 극복하기 위한 구조: SSCT와 PSCT

이러한 시야각 의존성을 줄여 넓은 시야각에서도 일정한 색상을 보여주기 위해 콜레스테릭 액정의 구조를 변형시키는 기술이 개발되었습니다.

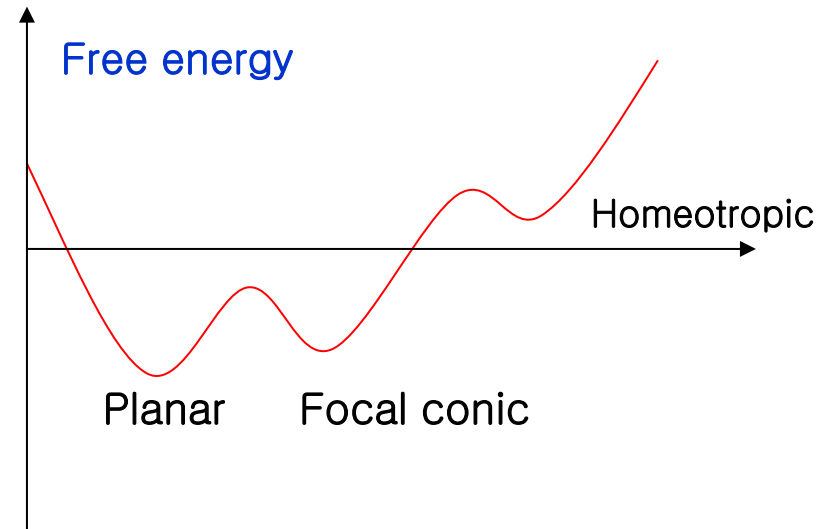
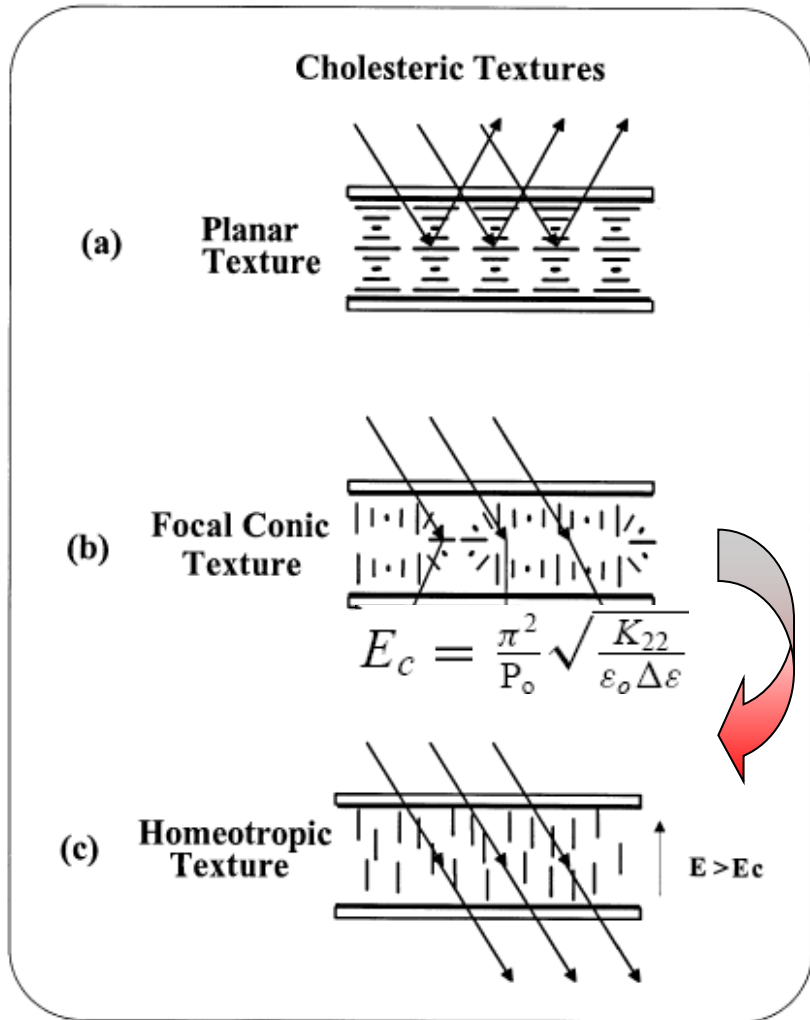
가. SSCT (Stabilized Single Component Texture)

- **원리:** SSCT는 콜레스테릭 액정 내부에 미세한 고분자 네트워크를 형성하여 액정의 나선 구조를 안정화시키는 기술입니다. 이 고분자 네트워크는 액정의 평면 배향(planar texture)을 유지하도록 돕습니다.
- **특징:**
 - 액정이 정돈된 평면 구조를 유지하면서도 입사각에 따른 색상 변화를 줄입니다.
 - 일반적인 액정 구조(perfect planar state)보다 시야각 의존성이 개선되지만, 근본적으로는 여전히 시야각 의존성을 가집니다.

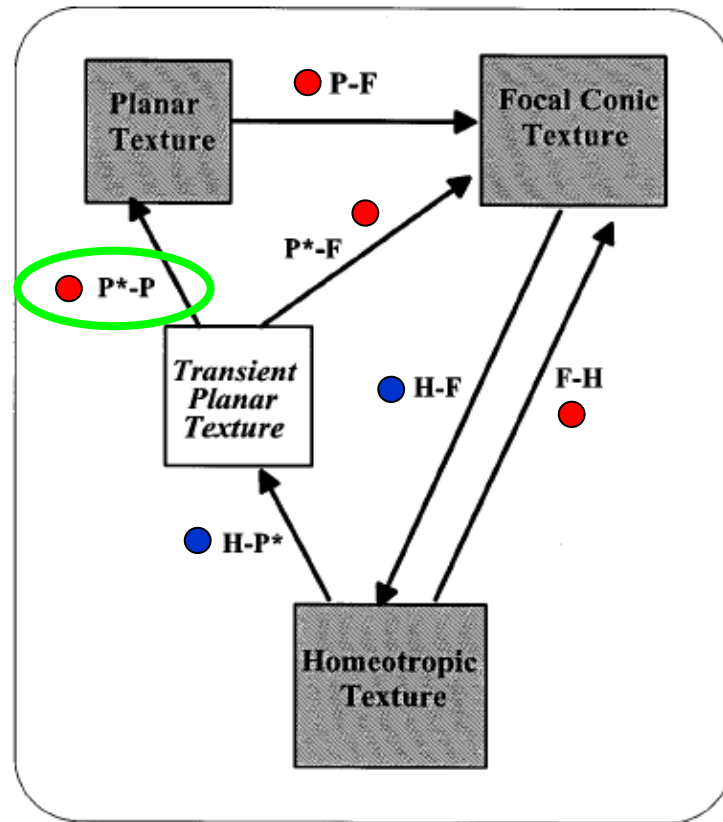
나. PSCT (Polymer Stabilized Cholesteric Texture)

- **원리:** PSCT는 SSCT보다 고분자 네트워크의 밀도를 더 높게 형성하여, 액정 분자들이 무작위적인 방향(imperfect planar texture)으로 배열되게 합니다. 즉, 하나의 샘플 내에 여러 방향으로 정렬된 액정 영역들이 공존하게 만듭니다.
- **색상 변화 극복:**
 - 특정 각도에서 빛이 입사할 때, 어떤 영역에서는 빛이 정면으로 입사하는 것과 같은 효과를 냅니다.
 - 다른 영역에서는 측면으로 입사하는 것과 같은 효과를 냅니다.
 - 이러한 무작위적인 배향 덕분에 모든 방향의 입사각에 대한 반사 파장이 평균화되어 시야각에 따른 색상 변화가 크게 줄어듭니다.
- **그림 (a)와 (b)에 대한 설명:**
 - **(a) Perfect planar state:** 액정 분자들이 완벽하게 정렬된 평면 구조를 이룹니다. 이 경우, 모든 빛이 동일한 입사각(θ)을 가지므로, 보는 각도에 따라 반사 파장이 크게 변합니다.
 - **(b) Imperfect planar texture (PSCT):** 액정 분자들이 무작위적으로 배열되어 있습니다. 이 경우, 한 방향에서 빛을 보더라도 빛은 다양한 미세 구조를 만나게 되어, 반사 파장이 평균화되고 시야각 의존성이 줄어듭니다.

1) 콜레스테릭 액정상의 3가지 상태



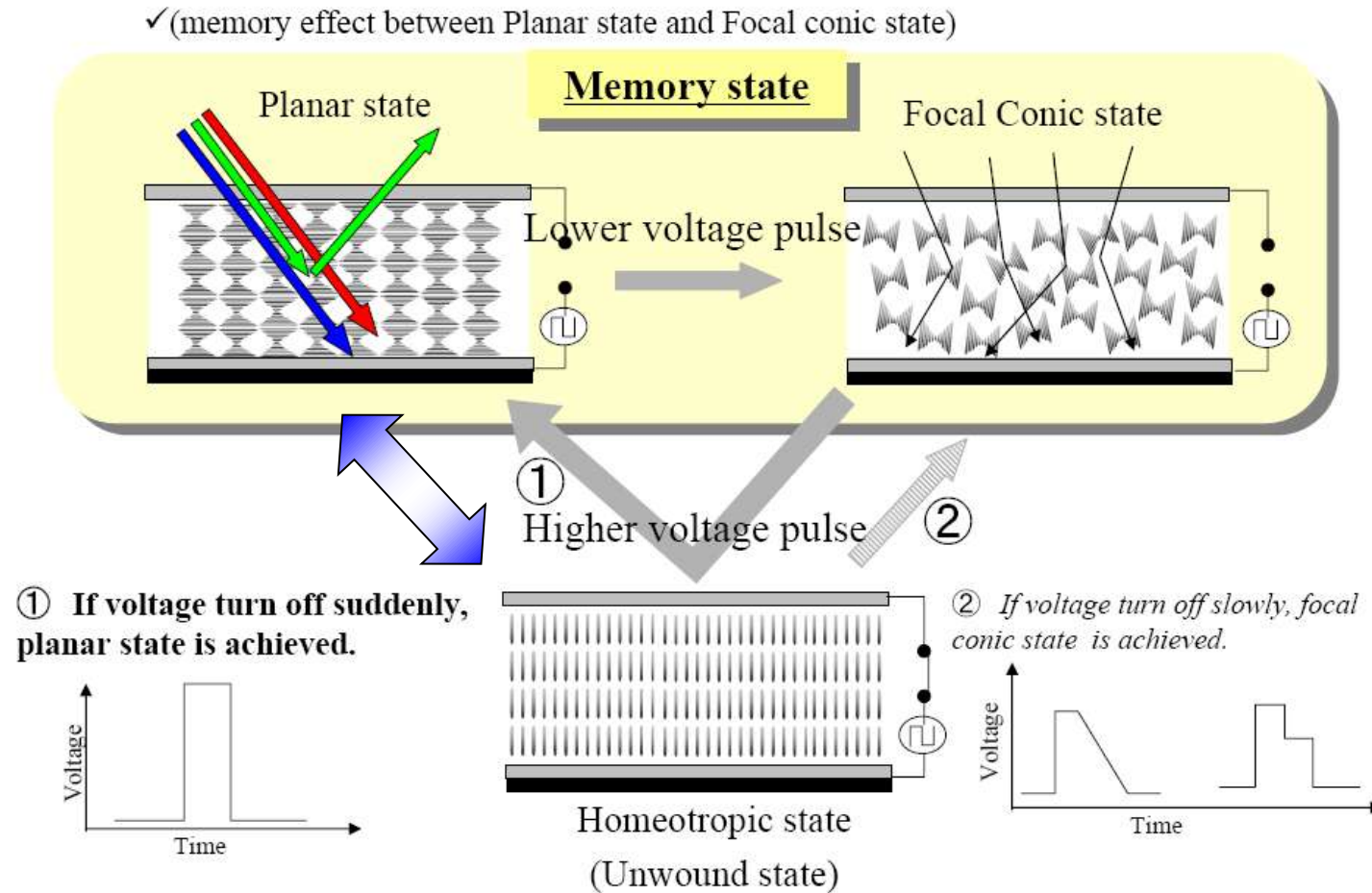
2) Hysteresis

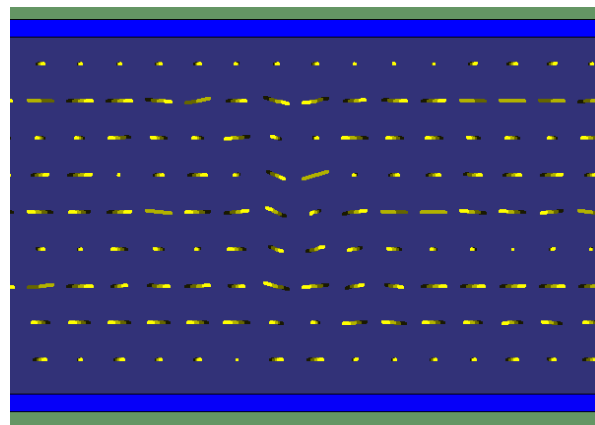


- nucleation process : slow process
- fast process

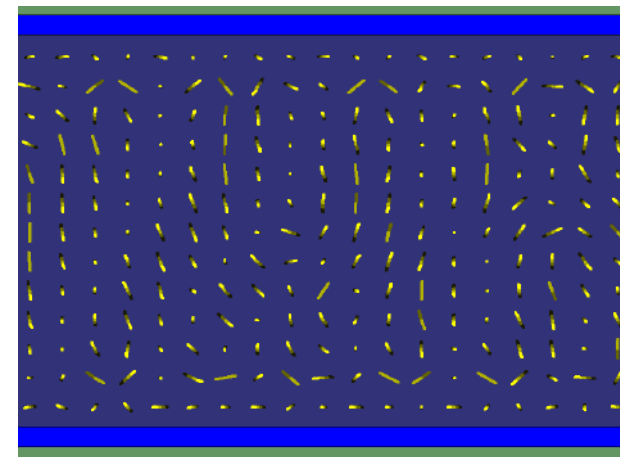
Figure 12 Schematic diagram of the transitions among cholesteric textures.

3) 전압에 따른 상전이와 광학 특성

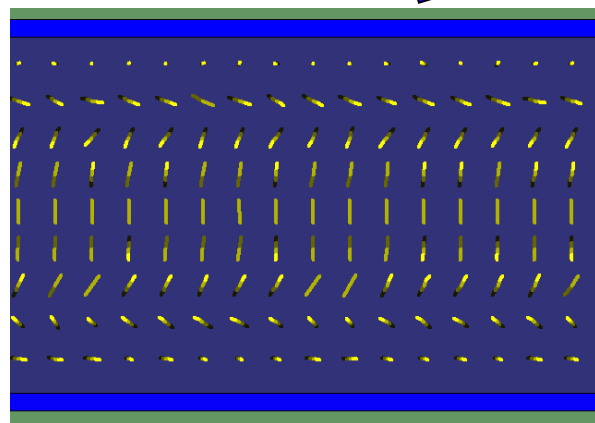




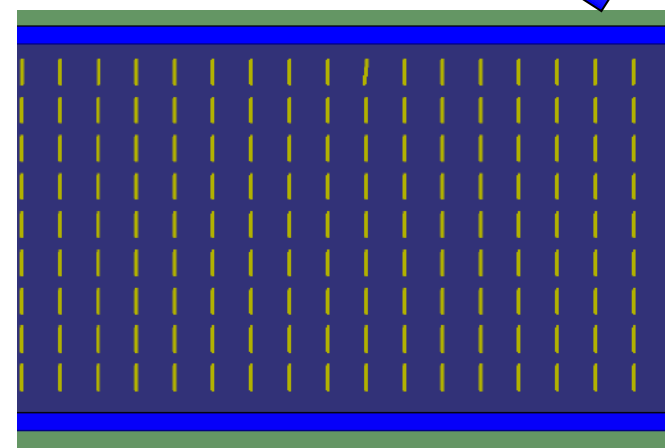
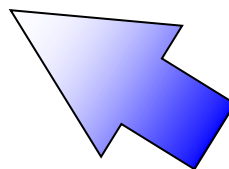
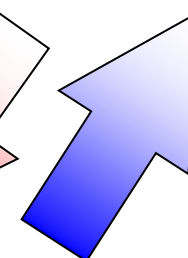
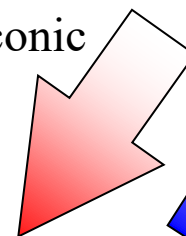
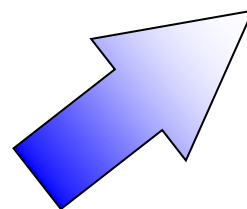
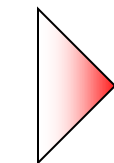
Planar



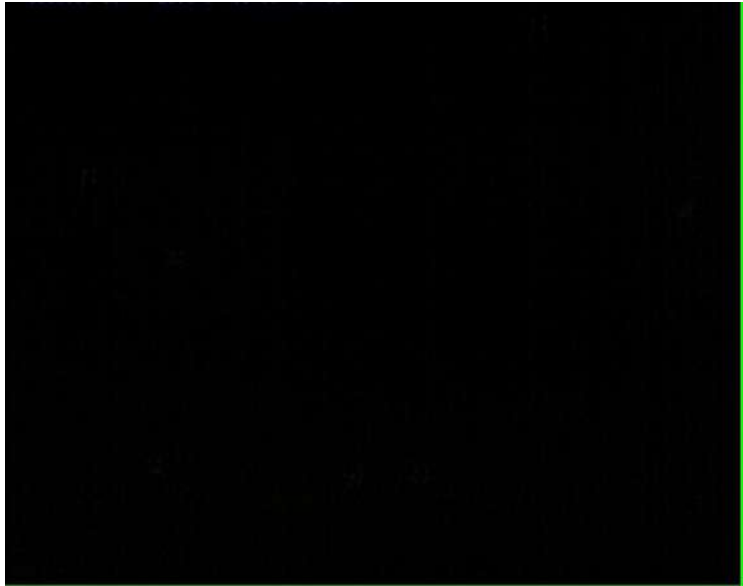
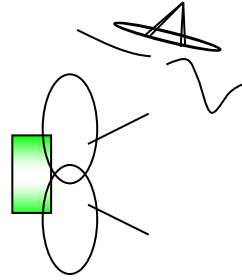
Focal conic



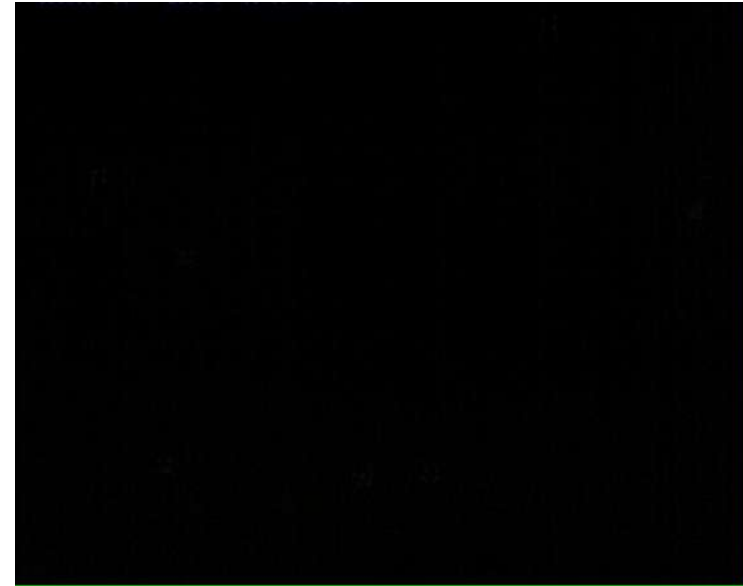
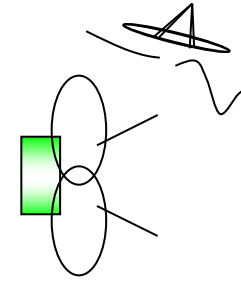
Transient Planar



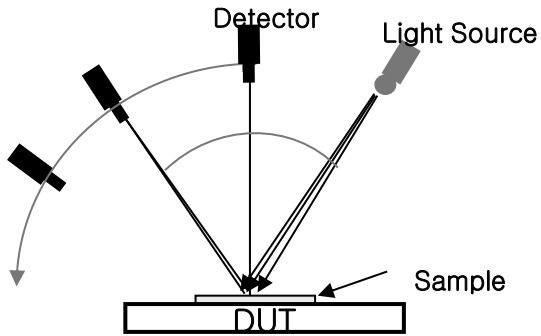
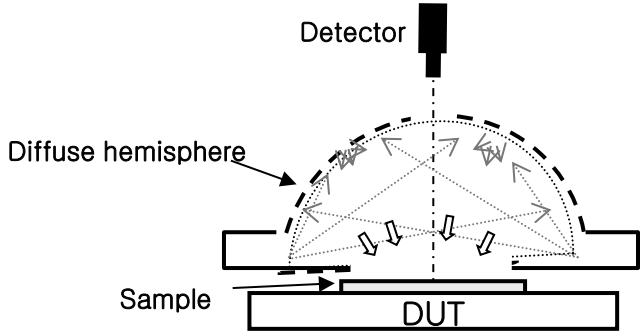
Homeotropic



Homeotropic \rightarrow Focal conic



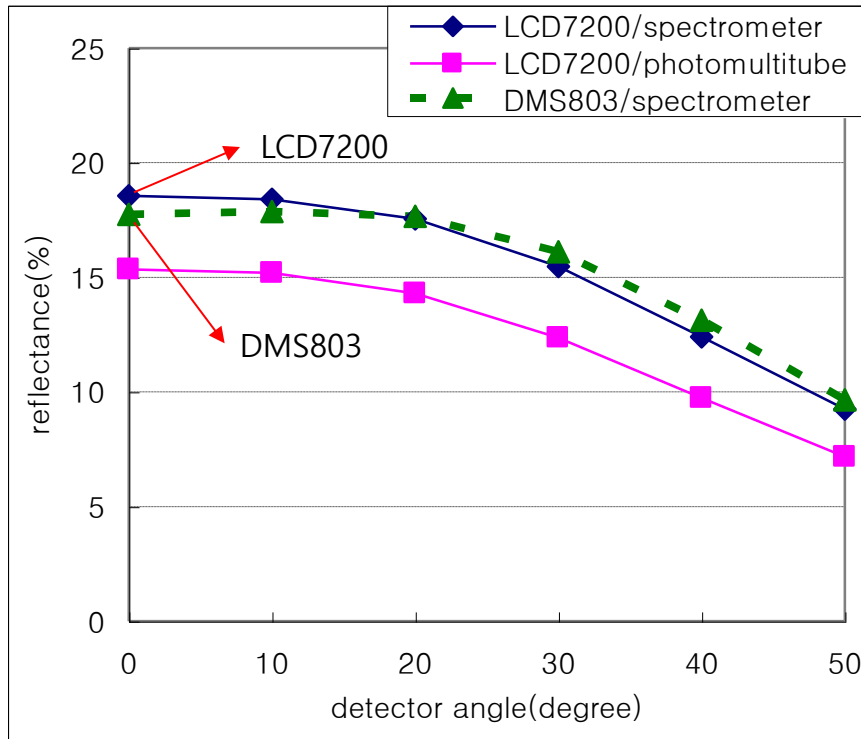
Homeotropic \rightarrow Planar

	DI Method (Directional Illumination)	DHS Method (Diffusing Hemisphere)
당사 용어	Specula 반사율 측정법	Diffuse 광원에 의한 반사율
측정 방법	<ul style="list-style-type: none"> 광원을 특정 각도에서 조사하고, 특정 각도에서 반사율 측정 통상적으로 입사 각도 (30°), Detector 각도 (0 ~ 90° scan 측정) 	<ul style="list-style-type: none"> 광원을 적분구내에 입사 시킨 후 난반사된 빛을 측정 통상적으로 Detector 각도에 대한 영향 小
개략도		 <p>8도 측정</p>

❶ 반사율 측정법

. 문제점: 반사형 LCD mode에 대한 표준화된 측정 SOP 부재

❶ 반사율 & 색 좌표 측정 SOP 설정



설비	angle	0	10	20	30	40	50
LCD7200	Y	18.55	18.41	17.54	15.49	12.42	9.28
	x	0.35	0.34	0.31	0.27	0.22	0.19
	y	0.52	0.52	0.53	0.51	0.44	0.35
DMS803	Y	17.74	17.87	17.66	16.11	13.13	9.65
	x	0.35	0.34	0.30	0.25	0.21	0.17
	y	0.55	0.55	0.56	0.54	0.46	0.35

•측정 장비

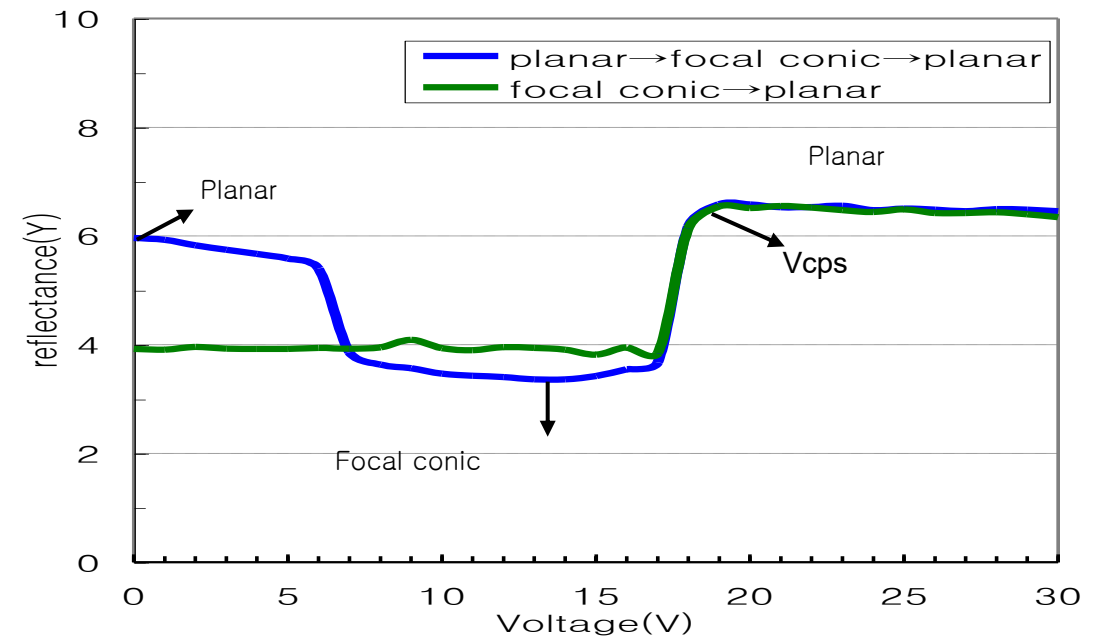
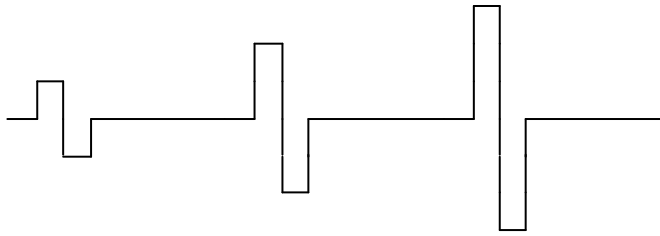
장비명	LCD7200	DMS803
장비업체	오츠카 사	Autronic 사
Aperture (detect.)	7 mm (2도)	3 mm
Detector 높이	20 cm	약 10 초 (확인요)
광원 모드	DHS (diffusing hemisphere)	
광원	Daylight 6500K	
측정 편차(반복성)	±0.04(0도에서)	확인 예정

Planar state의 반사율 (두 장비간 비교)

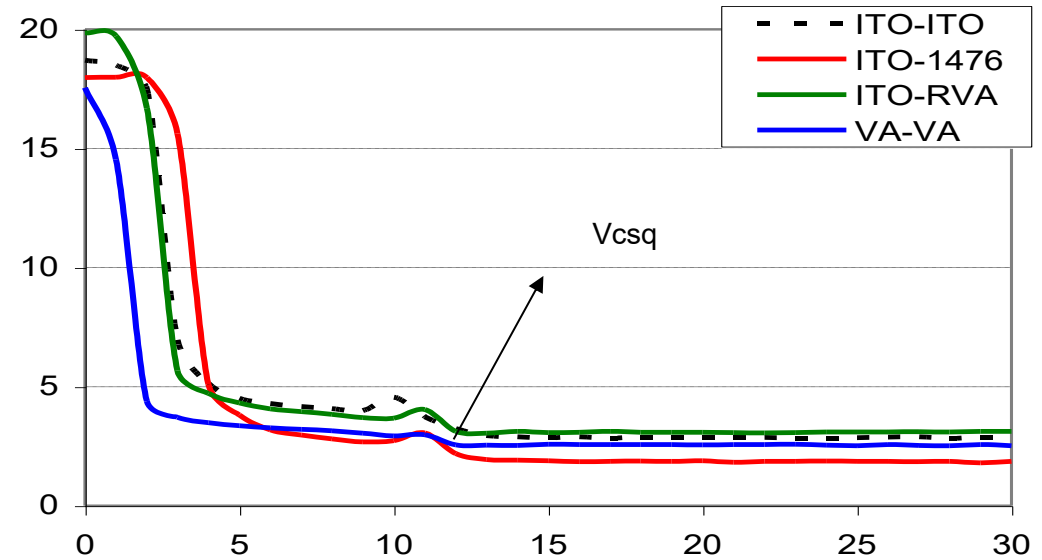
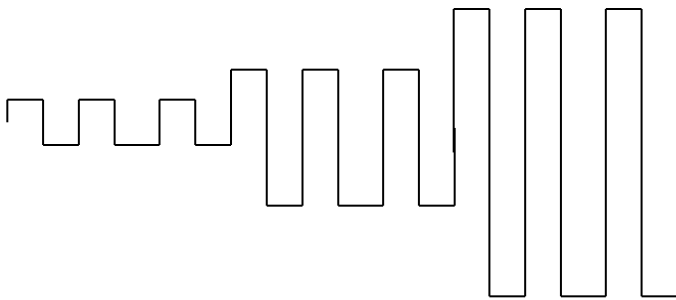
- Spectrometer (Y) 를 이용할 경우 5% 이내로 유사함
- Photomultitube 와 Spectrometer 간 data 상이
- ➔ 반투과에서 기본으로 하는 Spectrometer(Y)로 측정

● 전압에 따른 반사율 측정

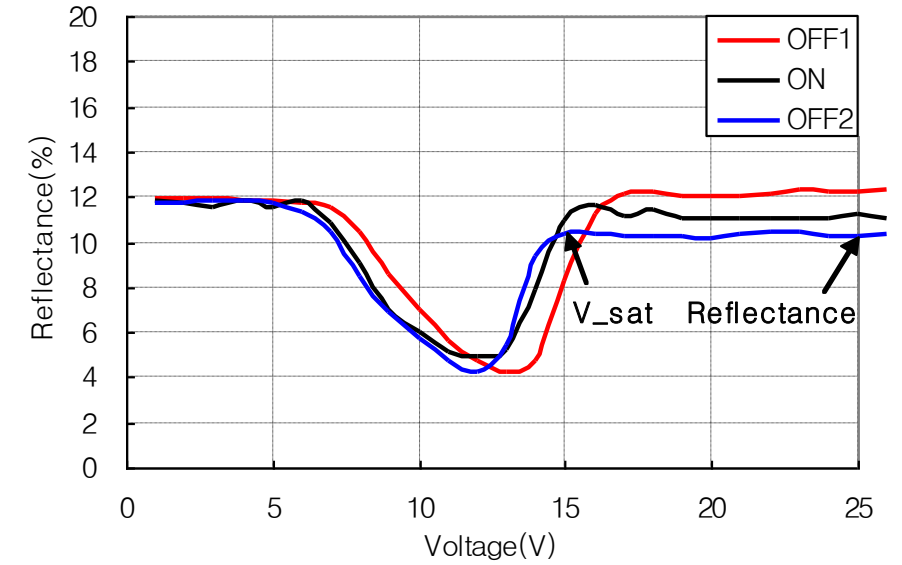
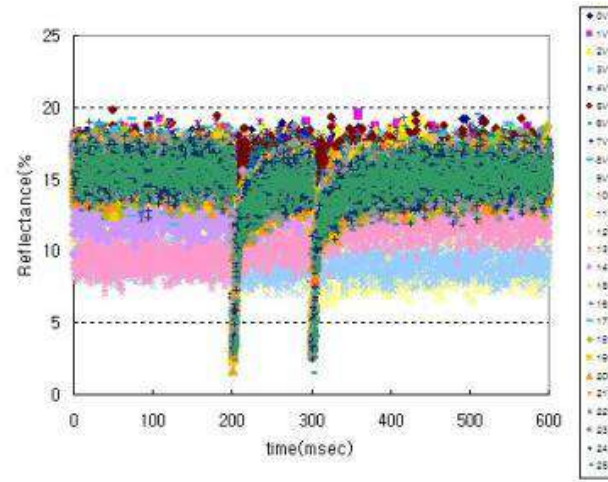
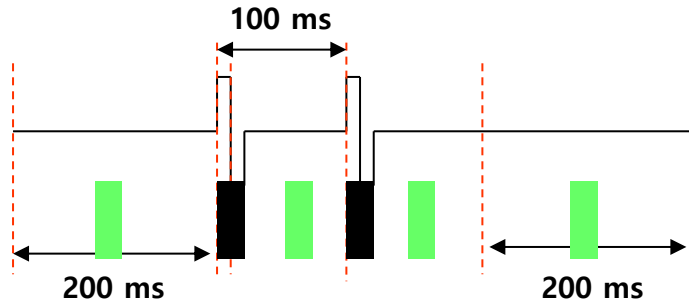
1. Pulse 구동 : 60Hz/ 1.8ms pulse (Vcps)



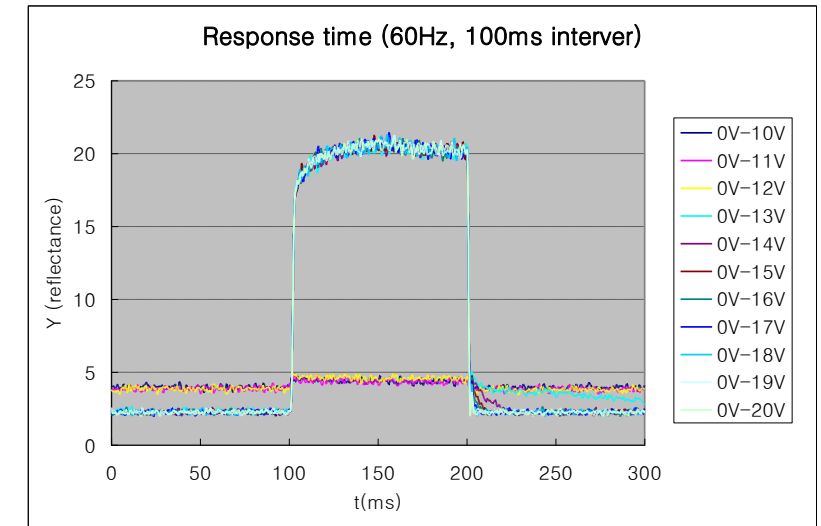
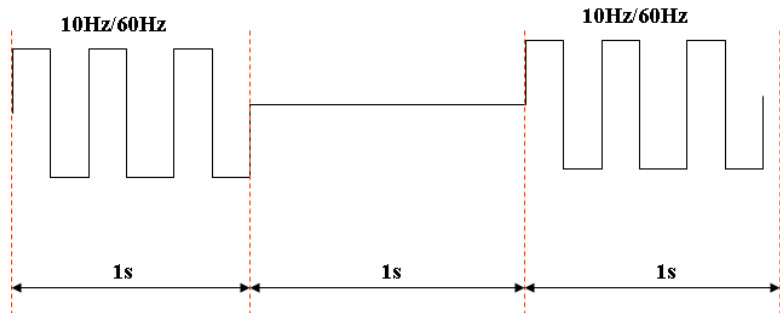
2. Square 파형 구동 : 60Hz (Vcsq)



3.2 Pulse 구동 (Vpu) ; pulse 폭은 2ms



4. 응답 파형 구동 (Vsqr)



➔ $V_{cps} \sim V_{pu} > V_{csq} \sim V_{sq}$, 2pulse 구동으로 V_{sat} 전압을 예측함 (real panel TFT 구동보다 severe 조건)

● 응답속도

• 측정: LCD7200(DHS, 0도, photometer, 상온)

• Square 1kHz 후 측정

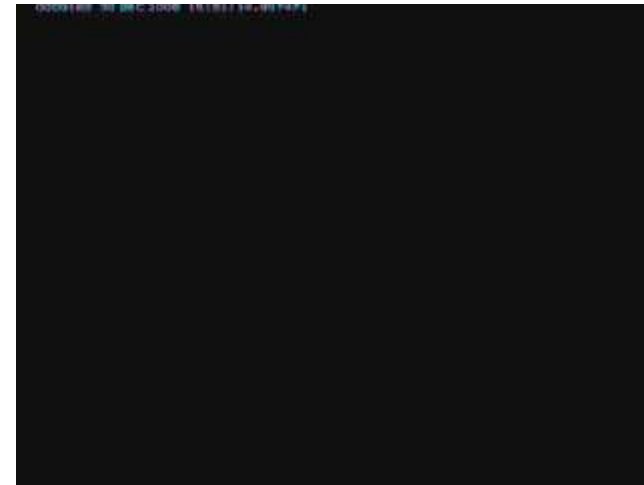
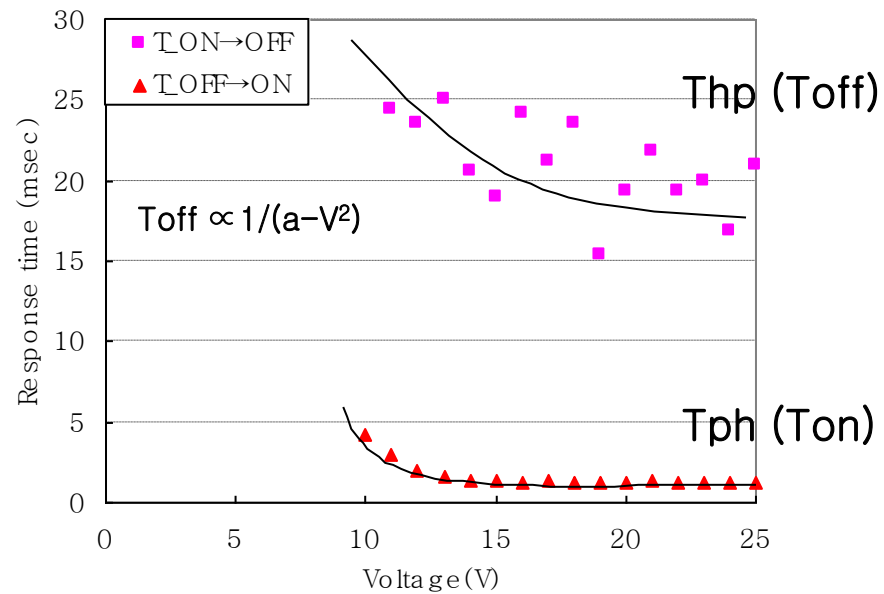
ON (0.2s, square 1kHz, 0-25V)

→OFF (0.5s, 0V)

→ON (0.2s, square 1kHz, 0-25V)

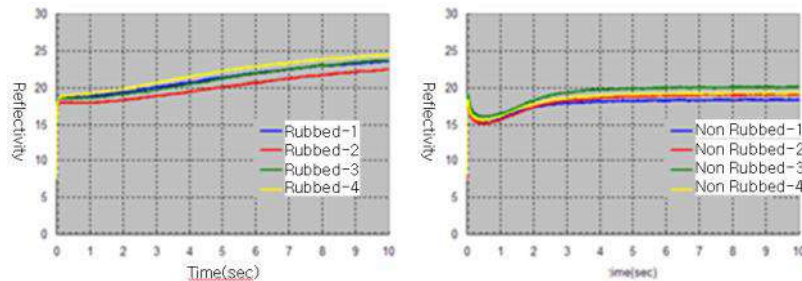
• H → P (Toff) : 응답속도: 15~30ms

• 전압 off 후 수초 후에도 상변화가 관찰되며,
반사율이 서서히 상승함 (90% → 100%)



Homeotropic→Planar (7sec, x50)

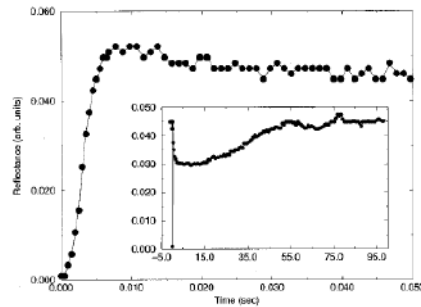
수직배향막에서 콜레스테릭 액정 분자 거동(2009 IDW 논문)



Rubbed cell

Non rubbed cell

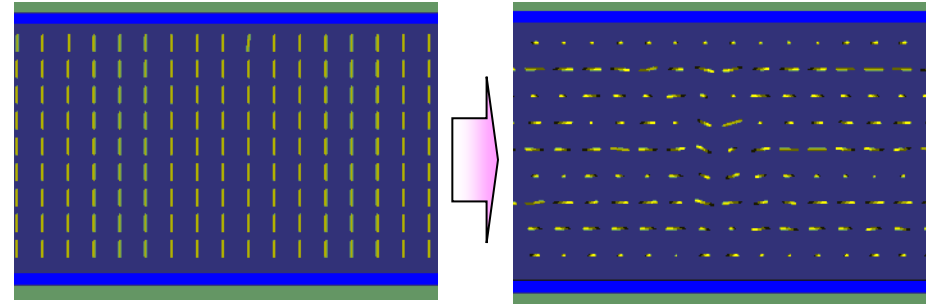
J. V. Gandhi, X.-D. Mi, and D.-K. Yang*,
Physical Review E. 57, p6761



수직배향막의 경우, H→P 전이시 Pitch 변화가
연속적인 액정분자들로 인하여 응답시간이
빠르다고 설명함.

그러나,
Rising 파형의 notch shape을 설명하지 못함

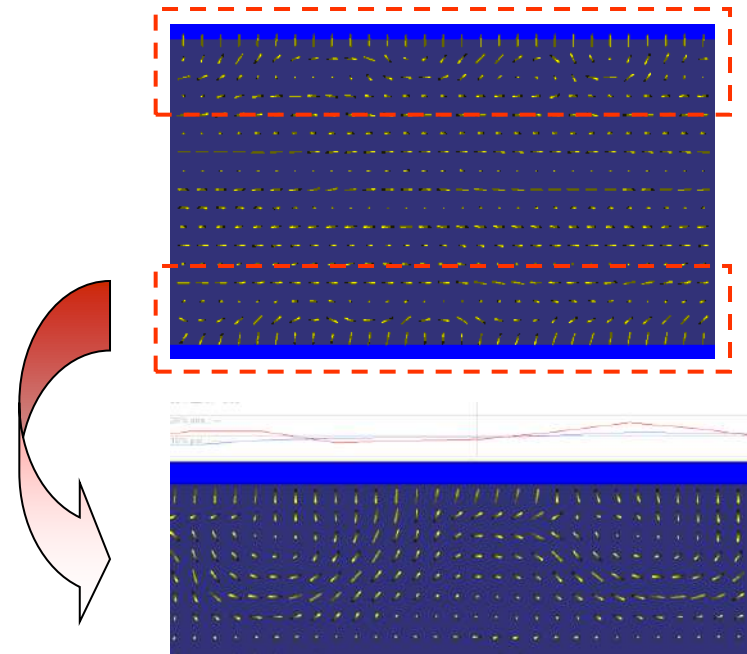
2Dimos simulation을 통한 액정 분자 거동 분석



Homeotropic state

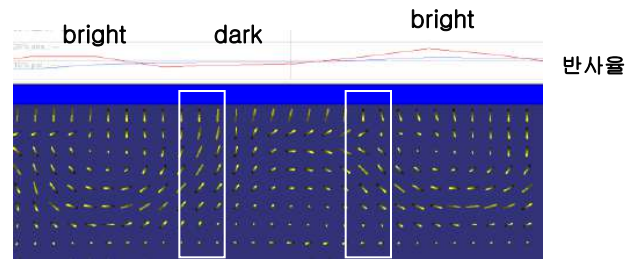
Planar state

시간간격을 작게 할 경우, 배향막 표면에서 분자 특이 거동 발견



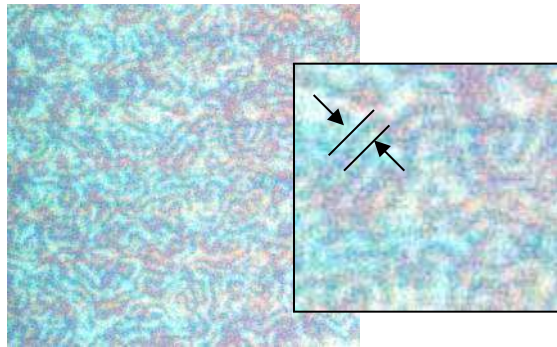
수직배향막 근처에서 반원 모양의 액정 분포가 발생

2Dimos simulation을 통한 액정 분자 거동 해석



반원 모양을 따라 반사율의 굴곡이 생김

수직배향막에서 콜레스테릭 액정의 Planar 상태 사진

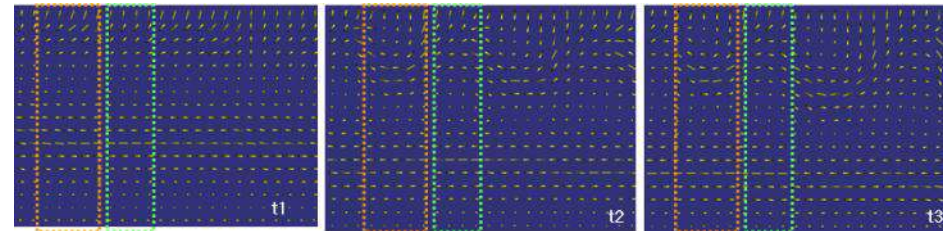
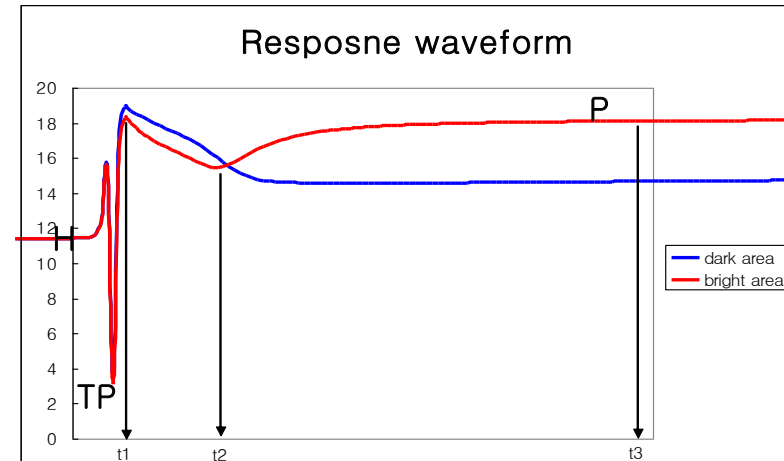


→ 배향막 근처에서 액정의 반원모양 분포에 따라 micro texture 가 생김



2009 IDW

Bright 영역과 Dark 영역의 응답파형 분석



Bright 영역의 반사율 변화 : $t_2 < t_1$, t_2

Dark 영역의 반사율 변화 : $t_2, t_3 < t_1$

Bright 영역의 응답파형이 test cell 실측치와 유사함

→ 수직 배향의 anchoring energy와 twist elastic energy가 경쟁하면서 생기는 것으로 판단됨.

Bright 영역이 dark 영역대비 넓게 분포하여 전체적인 응답파형에 더 크게 기여함

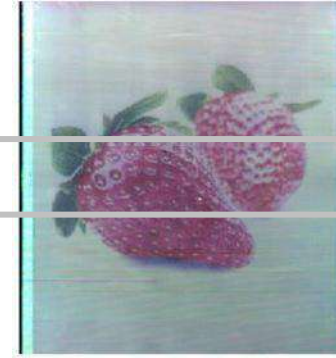
4. 경쟁사 동향 (Passive Matrix, Memory)

Kent Display 社



2009 SID

ITRI (대만)



2009 SID

Sharp 社



2008 FPD

Fujitsu Frontech



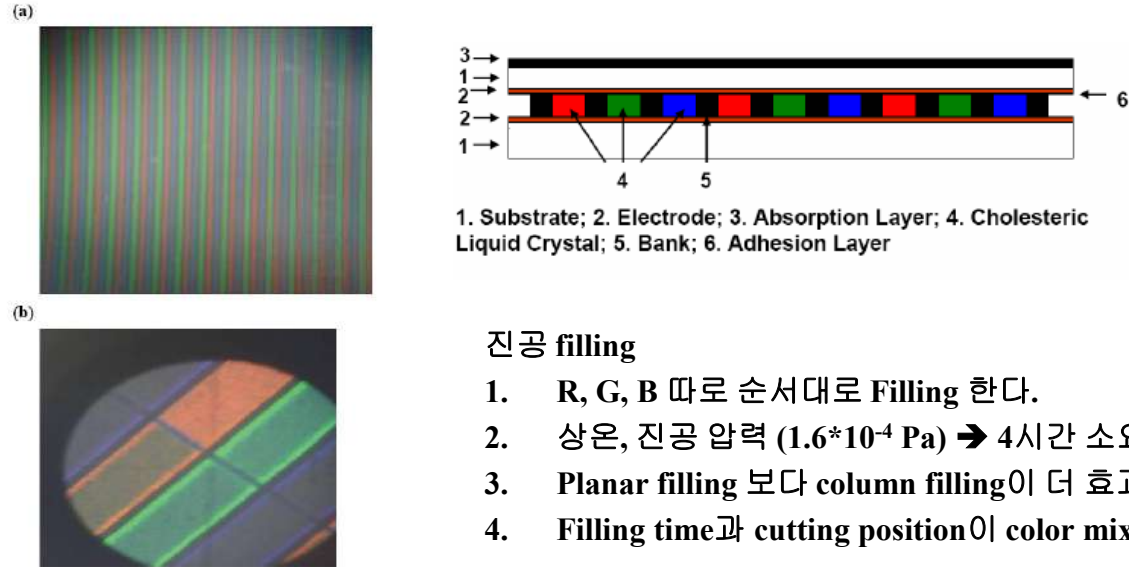
2009 SID



8" \$1000

2008, SID 논문 (대만, ITRI) – Pixelized Vacuum Filling (PVF)

53.3: Flexible Color Cholesteric LCD with Single-Layer Structure



진공 filling

1. R, G, B 따로 순서대로 Filling 한다.
2. 상온, 진공 압력 (1.6×10^{-4} Pa) \rightarrow 4시간 소요
3. Planar filling 보다 column filling이 더 효과적
4. Filling time과 cutting position이 color mixing 억제 key

Figure 5: The color single-layer ChLCD (a) pixelized vacuum filling and (b) pixel driving of the color ChLCD.

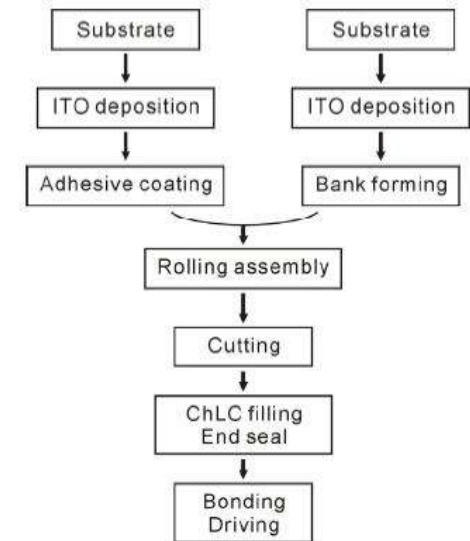


Figure 6: The prototype of 10.4 inch color ChLCD by using PVF technique.

Spec

- 10.4" color ChLCD
- C/R : 10:1
- 반사율 : 12%
- 제조 : 8계조

공정 순서



특이사항

- PI 공정 및 Rubbing 공정이 없다.
- Adhesive coating : uv curable polymer
- Bank : negative PR로 형성

개발 시작 (2008. 6. 1)

동화상 (Active Matrix)이 가능해야 한다

저전압 구동 (TFT用 Drive IC 사용)

Color 化



2008년 하반기



무전계 정지영상



동영상 구동

2009년 상/하반기



◆ 2009 SID 전시 (10.2" Color e-Paper)

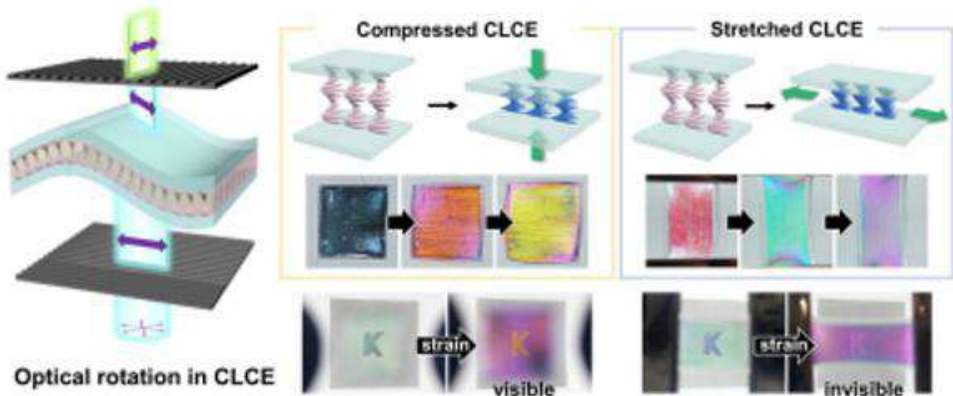


◆ 고해상도 10.7" FPD 전시

최근 연구 동향 (2024 I M I D)

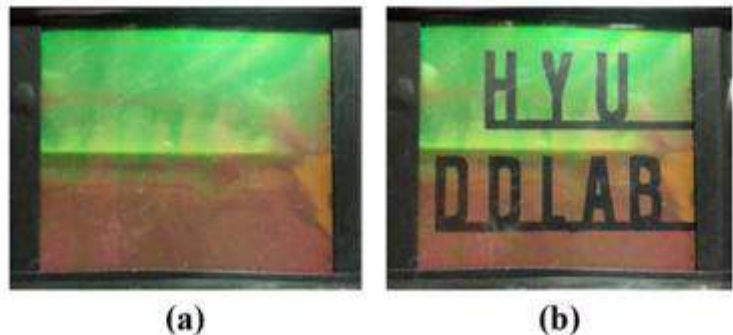
콜레스테릭 액정 엘리스토머 (CLCE) : 잡아당기면 색이 변함 / 직물 사용

Optical rotation in CLCE

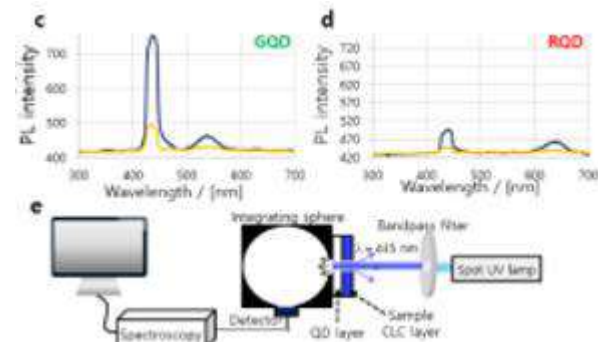


https://youtu.be/4U31vP_VOnc?si=AAxKjTOGDPip0i-A&t=48

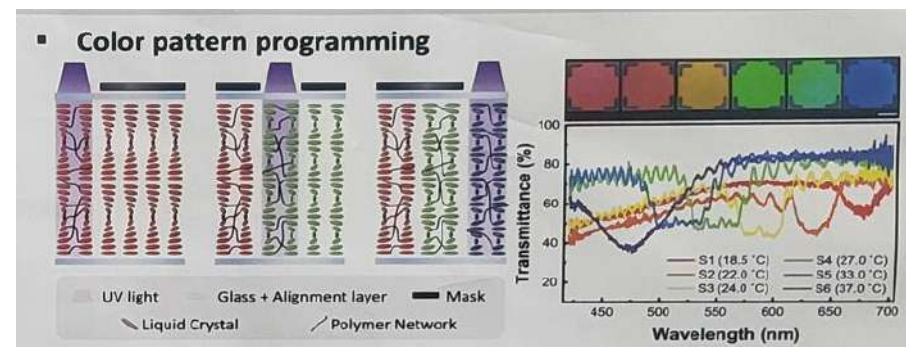
UV 조사하면 피치가 변함 - 색이 달라짐



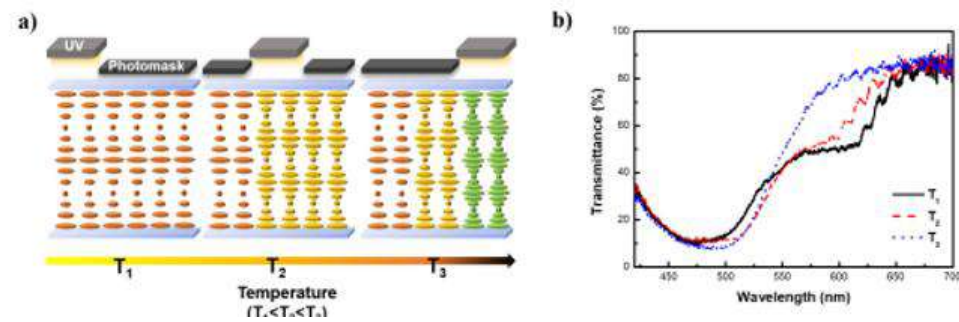
QD-OLED에서 청색광 누설 억제용 필터



온도에 따라 피치 변함 (색깔 달라짐)



온도 다르게 한 후 UV로 고정



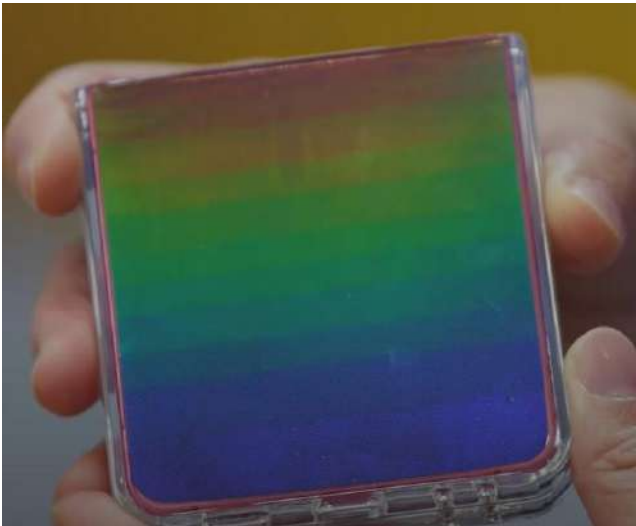
1. Merck의 콜레스테릭 액정(CLC) 연구 개요

Merck는 액정 소재 분야의 세계적 리더로서, 특히 콜레스테릭 액정(**Cholesteric Liquid Crystal, CLC**)을 이용한 광학 소재 개발에 주력하고 있습니다. 주요 연구 방향은 다음과 같습니다:

- 광대역 반사 **CLC** 소재 개발: 가시광 전 영역(450–750 nm)을 커버하는 CLC 필름 및 안료 개발.
- 폴리머 네트워크 고정 기술: 반응성 메소겐(Reactive Mesogen, RM)을 이용해 CLC의 나선 구조를 광경화로 고정하여 열/광 안정성 확보.
- 다양한 적용 분야 확대: 디스플레이, 보안 소재, 코스메틱, 의약품, 광학 필름 등으로의 응용.

4. Merck의 CLC 연구 방향 종합

연구 분야	주요 기술	적용 분야
광대역 CLC	피치 그라데이션, RM 중합	디스플레이, 보안 소재
다색 CLC	온도 제어 + 광중합	전자종이, Flexible Display
CLC 안료	분쇄 기술, binder 분산	인쇄잉크, 코스메틱, 도료
CLC 렌즈	Pancake 구조, 색수차 보정	VR/AR 광학 요소

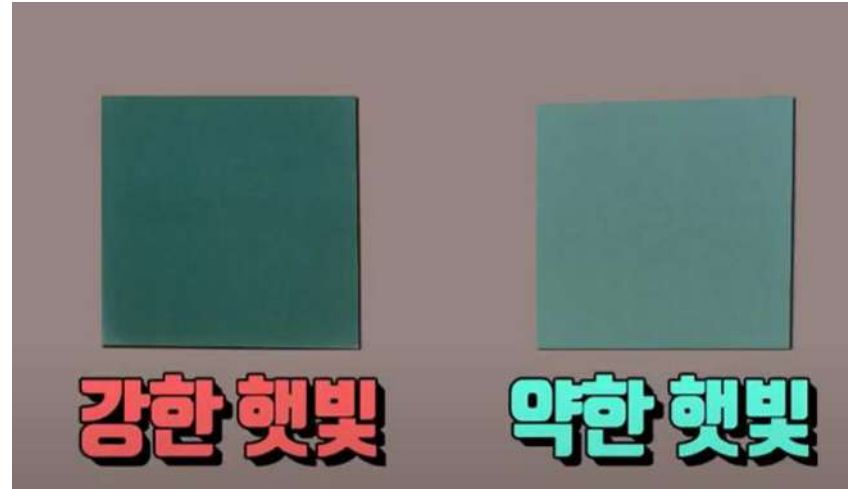


스마트 윈도우

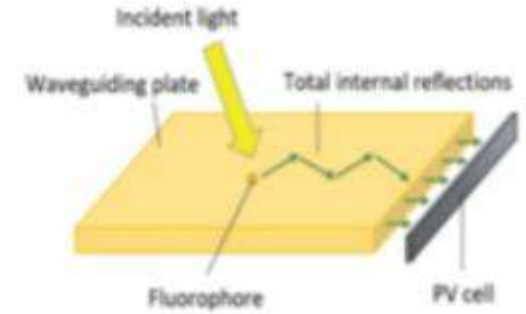
P D L C



전기 변색 (Electrochromic)



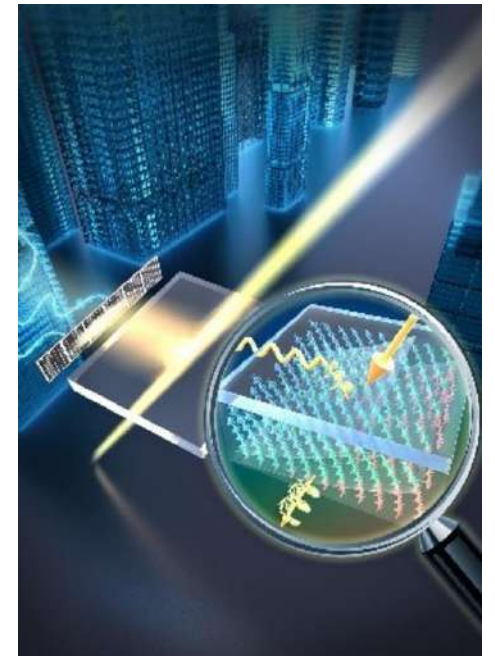
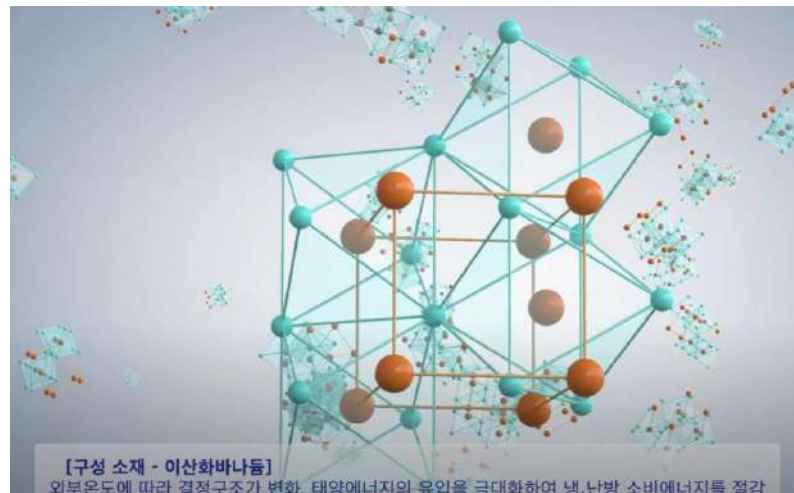
원도우 옆
태양광 발전

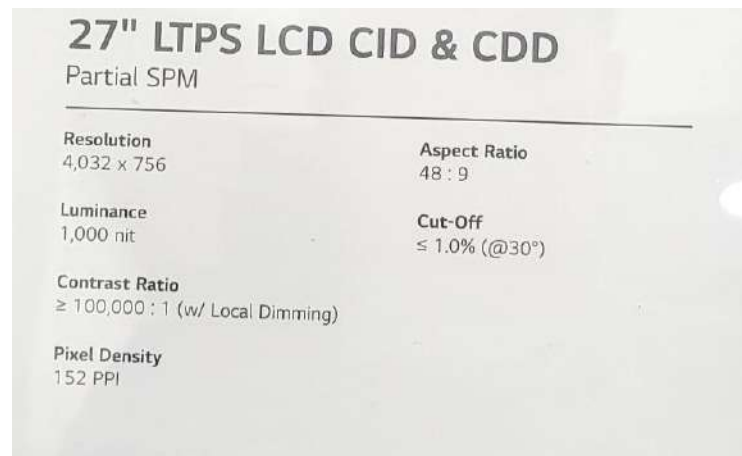
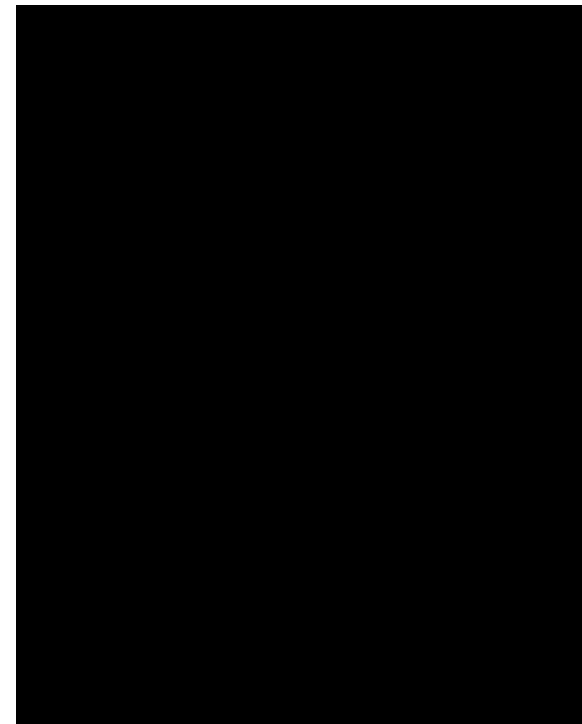
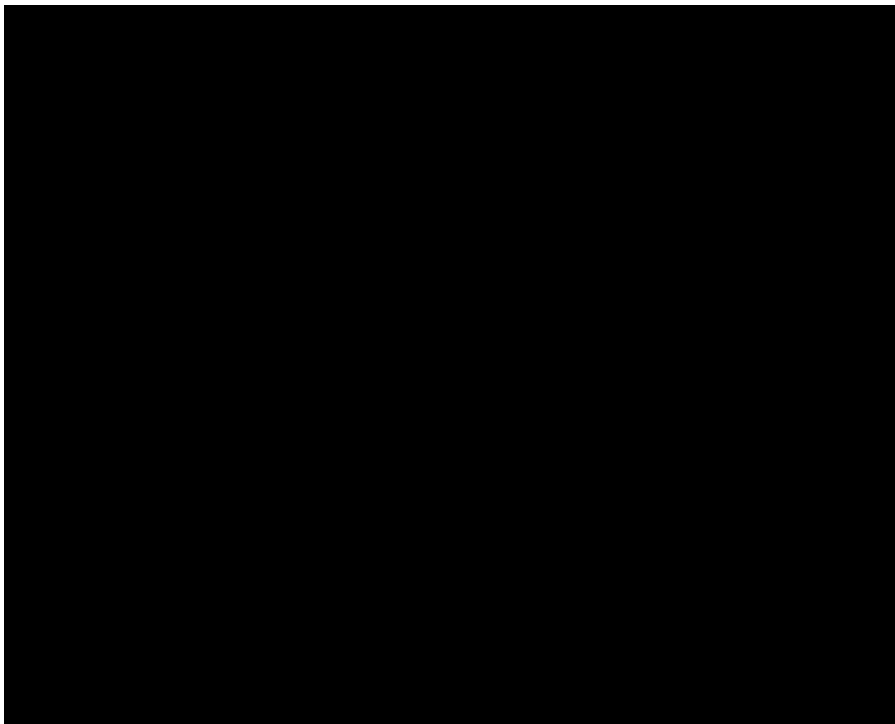
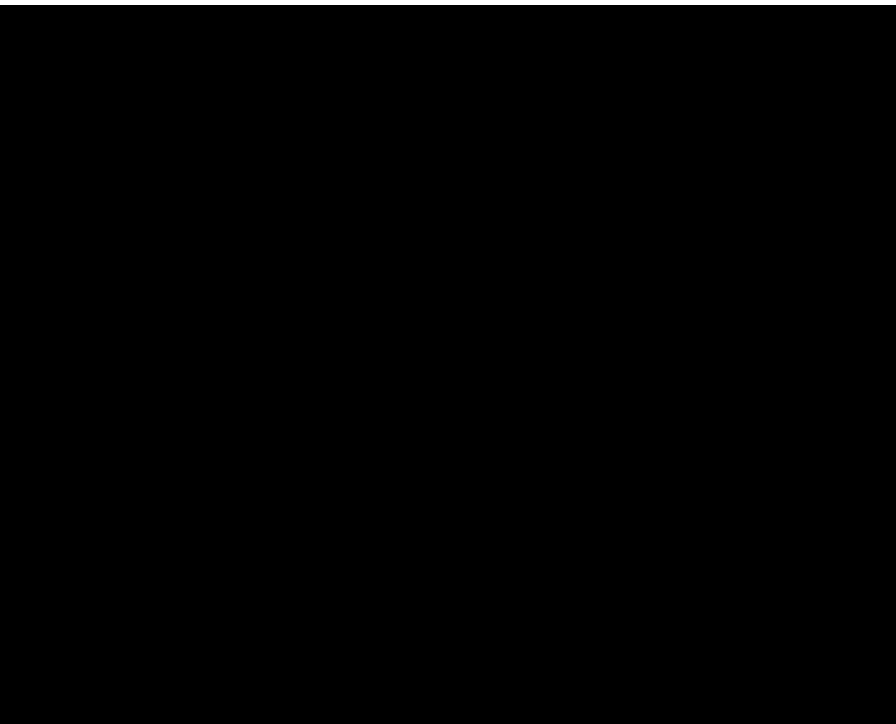


Solar concentrator



이산화바나듐





BLU 2종

정면 Public 휘도 < 정면 Private 휘도



3D Display with Lens

