

# 액정의 전기광학효과와 디스플레이에의 응용

李 信 斗

西江大學校 物理學科

## I. 서 론

우리는 많은 물질들이 조건이 변함에 따라 여러 가지 상태로 존재할 수 있다는 사실을 알고 있다. 대표적인 한가지 예가 바로 물이며,  $0^{\circ}\text{C}$  이하에서는 고체,  $0^{\circ}\text{C}$ 와  $100^{\circ}\text{C}$  사이에서는 액체, 그리고  $100^{\circ}\text{C}$  이상에서는 기체상태이다. 고체, 액체, 기체는 가장 일반적인 상들이라고 알고 있지만 반드시 그러한 상들만이 자연에 존재하는 것은 아니다. 그 세 가지 물질상들은 그 구성단위(원자 혹은 분자)들이 각 상에서 다른 정도의 질서를 갖기 때문에 구별된다. 소위 말하는 고체결정상은 기본 구성단위가 3차원에서 주기적인 배열을 하고 있어 “위치(position)” 뿐만 아니라 “방향(orientation)”에 대한 장거리 질서(long-range order)를 보유하고 있다. 그러나 액체와 기체상태에서는 장거리 질서가 존재하지 않으며 고체에 비해 상대적으로 쉽게 변형될 수 있으며 또한 흐를 수 있는 성질을 갖고 있다. 특히 기체는 액체에 비해 그 구성단위의 질량중심이 액체에서 보다 더욱 임의로 분포하게 되어 평균거리가 상대적으로 멀기 때문에 상호작용이 작아 더욱 쉽게 변형된다.

한편 액정상은 말 그대로 액체와 고체결정상이 보이는 일부 성질들을 모두 보유하고 있으며, 그 구성단위는 기하학적으로 비 등방인 막대모양이나 원판모양의 분자이다. 이러한 액정상들은 과학적인 측면에서 보면 여러가지 유형의 신비한 구조적 상전이 현상(structural phase transition phenomena)를 보일 뿐 아니라 산업적으로는 평판 디스플레이(flat panel display)에의 응용때문에 첨단 정보산업에서 각광을 받고 있다. 액정 디스플레이(liquid crystal display : LCD)는 가볍고 얇을 뿐만 아니라 전력소모가 작아 향후 발전가능성은 예측하기가 어려울 정도이다. 근본적으로는 액정이 갖는 고체와 액체의 이중적인 성질과 전기장이나 표면력과 같은 외부의 힘들에 의해 쉽게 변형되는 성질로 인해 새로운 물리현상을 발견되고 아울러 산업적 응용이 가능해졌다.

본 글에서는 지난 20여년간 폭발적인 성장을 거

깊해 온 액정에 대한 연구에서 얻어진 기초적인 물리화학적 성질과 다양한 전기광학 효과들을 소개하고, 이들을 이용한 LCD에의 응용원리를 기술하고자 한다. 다음 장에서 먼저 액정의 질서도와 이에 따른 물리화학적 비등방성과 주요 전기광학 효과를 논의하고 LCD 구동에 관한 기본원리를 언급할 것이다. 그 이후 종합적인 고찰과 아울러 LCD 개발에 요구되는 단위 공정별 기반기술과 향후 전망을 제시한 후 결론을 맺고자 한다.

## II. 액정의 질서도와 물리화학적 비등방성

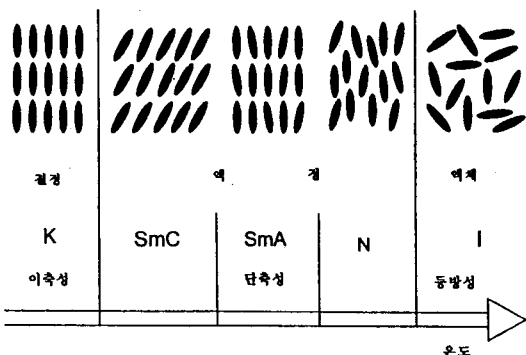
### 1. 액정의 질서도

액정은 주어진 온도 범위내에서 액체가 지닌 유동성과 결정이 지닌 위치 질서의 일부를 함께 가지고 있는 중간상(mesophase)라고 할 수 있다. 그 대표적인 액정상들이 그림 1에 나타나 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이 액정상에서는 “방향 질서(orientational order)” 뿐만 아니라 1차원 혹은 2차원 “위치 질서(positional order)”가 존재한다.<sup>[1]</sup> 그 중 가장 간단한 구조가 네마틱(nematic : N) 상이라고 불리며, 이 상에서는 구성분자의 축들이 평균적으로 어느 한 방향으로 배열되어 방향 질서만을 갖게 되고 위치 질서는 없는 경우이다. 만약 카이랄(chiral) 분자들로 이루어져 있으면 콜레스

테릭(cholesteric) 상이라고 부르며 때로는 카이랄 네마틱(N\*) 상이라고도 한다. 이러한 네마틱 상의 온도를 낮추게 되면 방향 질서와 더불어 1차원 위치 질서가 존재하는 스멕틱(smectic) 상으로 상전이를 하게 된다. 스멕틱 상 중에서 분자축의 방향과 분자층이 수직인 경우가 스멕틱 A(Sm A) 상이며, 더욱 온도를 내리면 대개의 경우 기울어진 스멕틱 A 상, 즉 스멕틱 C(Sm C) 상으로 변하게 된다. 특히 흥미있는 것은 카이랄 분자들로 구성된 스멕틱 C(스멕틱 C\* : Sm C\*) 상에서는 거울대칭이 깨지게 되어 강유전성을 가지게 된다.<sup>[2,3]</sup> 그외에 2차원 위치 질서를 가지는 주상(columnar) 액정도 형성될 수가 있으며 2차원 “결합 방향 질서(bond-orientational order)”를 가지는 헥사틱(hexatic) 상도 존재한다.

이러한 액정상들 이외에도 최근에 발견된 비틀린 스멕틱 A나 C의 결정 경계(twist grain boundary : TGBA나 TGBc) 상<sup>[4~6]</sup>은 제2종 초전도체와 아주 유사하며, 준강유전(ferrielectric) 및 반강유전(antiferroelectric : AF) 스멕틱 C\* 상<sup>[7~9]</sup>은 응용면에서도 유용할 것으로 기대되고 있다. TGB 상의 대표적인 구조적 특징들 중의 하나는 제2종 초전도체가 보이는 Abrikosov flux 격자 상과 대단히 흡사하며 여러가지 면에서 그 물리적 성질도 많은 공통점을 가질 것으로 예측하고 있다. 한편, 반강유전성 액정은 대개의 경우 강유전-준강유전-반강유전 상전이 순서를 거치게 되고 가장 최근에는 일본에서 AFLCD의 시제품까지 발표하여 세계적으로 이 상에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 반강유전 상은 세계의 안정한 상태를 갖고 전기광학 곡선에서 전기장의 임계값이 아주 명확하게 정의되어 한 상태에서 다른 상태로 전환할 때 응답특성의 균일도와 안정도가 큰 장점이 있다.

상술한 액정상들이 처음으로 과학세계에 알려진 시기는 1888년 오스트리아 생물학자인 F. Reinitzer가 독일의 물리학자인 O. Lehmann에게 보낸 편지의 내용에서 찾을 수 있다.<sup>[9,10]</sup> 그 당시 F. Reinitzer가 식물에서의 콜레스테롤(cholesterol)의 기능에 대해 연구하던 중 콜레스테롤 에스테르(ester)가 두 개의 용융점 사이에서 복굴절과 무지



(그림 1) 결정, 액정, 액체상태에서의 분자 질서

개 빛을 보인다는 사실을 알게 되었고, 이러한 성질을 보이는 물질상이 현재 콜레스테릭 상이라고 불리고 있다. 그 이후 1922년 G. Freidel이 다른 액정상들을 네마틱, 스멕틱, 콜레스테릭으로 체계적인 분류를 시도한 것이 액정연구의 절정이었다.<sup>[10]</sup> 그는 처음으로 분자 질서의 개념을 도입하여 스멕틱 액정은 층(layer) 구조를 가지고 있다고 추론하였으며,<sup>[11]</sup> 또한 외부의 전기장이나 자기장에 대해 비 등방성을 지닐 것으로 이해하였다.

그 이후 제2차 세계대전 무렵부터 1958년 미국 화학자인 G. Brown이 액정연구에 대한 재조명을 시도할 때까지는 액정에 대한 관심이 줄어들었으나, G. Brown의 연구가 시작되면서 다시 세계적으로 활발히 연구가 진행되었다. 특히 1968년 미국 RCA 연구소의 G. H. Heilmeier 등이 처음으로 LCD 개념을 소개하여 기초적인 과학의 발전과 아울러 새로운 응용 가능성을 제시하게 되어 수많은 과학자가 액정연구에 참여하게 되었다. 1980년대에는 세계적으로 거의 수 천명에 달했으며 정확하고 자세한 지식의 대부분이 이 시기에 축적되었다고 볼 수 있다.

## 2. 물리화학적 비등방성

액정의 구성분자들의 기하학적인 비등방성에 의한 미시적 성질은 기존의 등방상(isotropic) 액체에서는 존재하지 않는 거시적인 유전 이방성(dielectric anisotropy), 광학 이방성(optical anisotropy), 자화 이방성(magnetic anisotropy) 및 점도 이방성(viscous anisotropy)를 나타나게 한다. 특히, 유전 및 광학 이방성은 바로 LCD의 기초를 제공하는 중요한 성질이며, 액정분자에 외부의 전기장이 인가될 경우 유전 이방성  $\Delta\epsilon > 0$ 일 때는 분자들이 전기장과 평행하게 배열되고  $\Delta\epsilon < 0$ 일 때는 수직하게 배열된다. 한편, 액정의 광학 이방성에 의한 복굴절(birefringence)은 액정소자의 광학적 특성을 결정하게 되고, 유전 이방성과 마찬가지로 미시적으로는 단위분자의 화학적 구조에 크게 의존하며 거시적으로는 분자들의 집합적인 질서도에 달려 있다. 다시 말해 분자의 광학적 편광성은 주로 화학적 결합에 참여하지 않은 전자와  $\pi$

전자에 의해 결정된다. 예를 들면, 사이클로hex산을 포함한 분자보다 벤젠고리를 가진 분자의 복굴절성이 큰 이유이다. 액정분자의 꼬리 부분을 형성하는 극성기들 또한 편향되는 전자의 수와 관계가 있기 때문에 fluoro 또는 alkyl기 보다는 cyano기를 가진 분자의 복굴절성이 더 크다.<sup>[12, 13]</sup>

위의 두 경우와 유사하게 점성의 경우에도 액정분자의 기하학적 비등방성에 의해 주변에 대한 유체적 운동은 방향자에 의존하여 비등방적 성질을 갖게 된다. 따라서, 네마틱 액정의 경우에는 주변의 흐름에 대한 방향자의 상대적인 방향에 의존하는 5개의 독립적인 점도계수가 존재한다. 그 중에서 방향자에 수직인 주변의 흐름에 대한 액정분자의 회전점도는 LCD의 응답속도에 직접적인 영향을 미친다. 외부의 전기장은 액정분자의 집합적인 회전을 유도하게 되고, 이러한 회전은 주변의 흐름을 만들기 때문에 회전점도가 커질수록 응답속도는 늦어진다. 지금까지 살펴본 액정의 비등방적 성질 이외에도 많은 비등방성이 존재하며, 이러한 비등방성은 외부의 환경과 상호작용하여 여러가지 새로운 물리현상을 보이게 되고 산업적인 응용 측면에서도 대단히 중요하다.

## III. 액정의 주요 전기광학 효과

이제 상술한 액정의 비등방적 성질과 관련하여 주요 전기광학 효과를 기술한 후 첨단 정보산업에 요구되는 다양한 LCD 구동구조와 그들의 동작원리를 설명하고자 한다. 액정이 보이는 전기광학적 성질은 크게 나누어 극성효과와 비극성 효과로 구분할 수 있고, 유전효과를 제외한 나머지는 외부에서 인가한 전기장의 극성에 의존하여 나타난다. 극성효과들 중에는 유도분극과 자발분극의 존재 유무로 구분된다.

### 1. 유전효과

네마틱 액정상에서의 대표적인 전기광학 효과는 유전적 비등방성에 기인하며<sup>[1]</sup> 이것은 외부의 전

기장과 결합하여 액정분자들의 집합적인 회전을 유도하게 된다. 이것은 분자의 장축방향과 단축방향으로 생기는 전기분극의 크기가 서로 다르기 때문이다. 상술한 바와 같이 유전적 비등방성  $\Delta\epsilon > 0$  경우는 분자들이 외부에서 인가한 전기장의 방향과 평행하게 배열되고  $\Delta\epsilon < 0$  일 때는 수직하게 배열된다. 이 때 액정층을 두 개의 편광자 사이에 두게 되면, 이것을 통과하는 빛의 세기는 전기장의 제곱의 함수로 변조되고 전기장의 극성에 무관하지만 변조 주파수에는 의존한다. 특히, 전도영역이라고 부르는 낮은 주파수 영역(보통 100Hz 이하)에서는 경우에 따라 공간전하들에 의한 유체역학적 불안정성이 나타나며, 어느 크기 이상의 주파수 영역에서는 점성때문에 분자들이 쉽게 회전할 수

가 없다. 일반적으로 LCD 구동은 유전영역이라 불리는 주파수 영역(대개 100Hz~수백kHz)에서 이루어지며 이 영역에서의 전형적인 응답속도는 수십~수백 msec이다. 따라서, 동적 산란(dynamic scattering : DS) 모드 이외에 유전적 비등방성을 이용한 LCD 모드는 전압 제어 복굴절(electrically controllable birefringence : ECB), 비틀린 네마틱(twist nematic : TN), 손-임자(guest-host : GH), 콜레스테릭-네마틱 유도 상전이 모드가 있다. 이들 중에서 DS와 ECB를 제외한 나머지 LCD 모드에서는 유전적 이방성이 양( $\Delta\epsilon > 0$ )인 네마틱 액정이 사용된다. 표 1에 유전효과를 이용한 LCD 모드를 종합하고, 각 경우에 대표적으로 사용된 액정물질을 언급하였다.

(표 1) 네마틱 액정의 유전효과를 이용한 구동구조

구동구조	이용현상	배향방법	편광자 수	유전상수	사용 액정
DS	유체역학 불안정성	수직 또는 수평	0	$\Delta\epsilon < 0$	p-Azoxyanisole
ECB	분자 재배치	수직	2	$\Delta\epsilon < 0$	MBBA
TN	"	수평	2	$\Delta\epsilon > 0$	MBBA + PEBAB
GH	"	수평	1	$\Delta\epsilon > 0$	MBBA + PEBAB
상전이	$N^* \leftrightarrow N$ 상전이	--	0	dye 첨가 $\Delta\epsilon > 0$ $N^*$ 첨가	+indophenol blue MBBA + PEBAB +cholesteryl oleyl carbonate

2. 변전효과

네마틱 액정상에서는 위에서 언급한 유전효과 이외에도 전기장의 극성에 의존하는 전기광학적 효과가 존재한다. 이것은 어떤 유형의 고체결정이 외부의 압력에 의해 분극이 유도되는 압전효과(piezoelectric effect)와 유사하다. 마찬가지로 액정에 퍼짐(splay) 또는 휨(bend) 변형을 주게 되면 분극이 유도되며 이것을 변전효과(flexoelectric effect)라 한다.<sup>[14]</sup> 이때 유도된 분극은 전기장과 선형적으로 결합하여 전기장의 극성에 따라 분자의 회전방향이 결정된다. 이러한 효과는 콜레스테릭 상에서도 존재할 수 있으며,<sup>[15]</sup> 액정이 변형될 때 유도된 분극의 크기는 변형의 곡률에 비례하기 때문에 유전효과에서처럼 계조표시 기능이 구

현될 수 있다. 외부의 전기장에 대한 응답속도는 유전효과를 이용한 경우보다 수십배 이상 빠르다. 특히, 변전효과는 액정이 심하게 변형될 때 현저하게 나타나며, LCD의 화질에 미치는 영향은 구동 주파수에 의한 깜박임(flicker)를 일으키는 한 요인이라는 점이다.

3. 강유전 효과

상술한 변전효과로 인해 생기는 유도분극과는 달리, 카이랄 스멕틱(Sm C\*)상에서는 분자의 카이랄리티에 의해 거울대칭(mirror symmetry)가 깨지게 되어 자발분극이 존재한다.<sup>[2,3]</sup> 다시 말해서, Sm C\*상에서는 구성분자의 카이랄리티 때문에 방향자(director)가 한 스멕틱 층에서 다른 스

멕틱 층으로 가면서 나선운동을 하게 된다. 이러한 층 구조에서 분자에 수직인 영구 쌍극자는 거시적인 자발분극을 갖는다.

그러나, 엄밀히 말해 나선운동의 한 피치에 대한 자발분극의 평균값은 영이다. 따라서 강유전 효과를 활용하기 위해서는 스멕틱 층들의 균일한 배향이 요구되고 상대적으로 제조표시가 쉽지 않다. 변전효과와 유사하게, 강유전 효과에 의해 자발분극은 외부의 전기장과 선형적으로 결합하게 되지만 응답속도는 대개 1 usec 정도로 빠르다. 특이할 점은 강유전 효과의 경우 분자의 경사각(tilt angle)은 전기장의 세기에 무관하고 단지 온도에 의해 그 크기가 결정된다는 것이다. 이러한 강유전 액정상에는 두 개의 서로 독립적인 분자운동이 존재하며, 하나는 나선축에 대한 분자회전으로 골드스톤모드(Goldstone mode)라고 불리고 외부의 전기장에 의해 나선구조가 연속적으로 변형될 수 있다. 또한 연성모드(soft mode)라고 불리는 다른 하나는 분자 경사각(molecular tilt)와 연관되어 있으며 아래에서 살펴 볼 경전효과와 유사하다.

4. 경전효과

마지막으로 카이랄 스멕틱 A(Sm A)상에 외부의 전기장이 분자에 수직인 방향으로 인가되면 분자 방향자가 마치 Sm C상에서처럼 기울어 지면서 분자에 수직인 분극이 유도된다. 유도된 분극은 분자 경사각과 비례하고 따라서 두 변수들 사이에 직접적인 결합(coupling)이 있다고 볼 수 있으며 이것을 경전효과(electroclinic effect)라 한다.<sup>[16]</sup> 달리 말해, 외부의 전기장은 분자 경사각을 유도하게 되고 이에 따라 유도분극이 형성되어 서로 결합한다는 것이다. 이때 유도 경사각과 분극은 전기장의 세기에 선형적으로 비례하게 된다. 이러한 경우 제조표시가 용이하며 응답속도는 오히려 강유전 효과의 경우보다 빠르다. 그러나, 기존의 Sm A 액정물질은 분자 경사각의 크기가 작을 뿐만 아니라 Sm A 상의 온도범위가 좁고 온도의존성이 대단히 커서 새로운 물질의 합성이 요구되고 있다.

이상에서 살펴 본 전기광학 특성은 표 2에 요약

(표 2) 액정의 주요 전기광학효과

효 과	유 전	변 전	강유전	경 전
온도구간	큼	보통	꽤 큼	작음
온도의존성	작음	보통	큼	꽤 큼
분자회전	E <sup>2</sup>	E	일정각도	E
변조크기	V-V <sub>c</sub>	연속	VT	연속
회전점도	보통	보통	꽤 큼	꽤 큼
응답속도	10~100msec	0.1~1msec	1~100usec	0.1~10usec

(E=전기장, V=전압, V<sub>c</sub>=임계전압, T=펄스폭)

되어 있다. 온도의존성을 예로 들면, 경전효과가 가장 크고 강유전 효과, 변전효과와 순서이며, 유전효과가 가장 작다. 액정상이 존재하는 온도영역이 넓을수록 그만큼 더 응용의 범위도 넓어지게 된다. 중요한 점은 네마틱 상에서는 분자들이 유전 효과에 의해 전기장의 방향과 평행하거나 수직하게 회전하지만, 스멕틱 상에서는 강유전이나 경전 효과로 인해 분자들이 전기장에 수직하게 회전한다는 것이다. 다른 관점에서 보면 액정의 전기광학 특성들은 크게 나누어 두 가지 서로 다른 “대칭성의 깨짐(symmetry-breaking)”의 개념으로 기술할 수 있다. 하나는 내부적으로 액정의 구성분자들 그 자체에 의한 아래-위(up-down) 대칭성의 깨짐이며 다른 하나는 외부의 전기장이나 표면배향력의 비대칭성에 의한 경우이다.<sup>[17]</sup> 예를 들어 강유전 상은 액정분자들의 거울대칭(mirror symmetry)이 깨지기 때문에 존재하게 되고, 네마틱 상에서의 전기장의 극성에 의존하는 효과는 심한 변형이나 기관/액정의 경계면에서 비대칭인 배향력에 의해 생겨 난다.

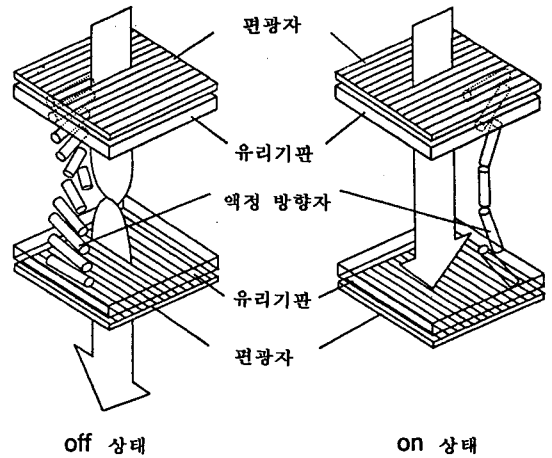
IV. 액정 디스플레이의 구동원리

액정의 산업적 응용분야로는 파장 선택 필터(tunable wavelength-selective filters)나 공간 광변조기(spatial light modulators)를 비롯한 광정보 처리용 소자들이 있지만,<sup>[18]</sup> 그 중에서 현재 치열한 국제 경쟁속에 개발되고 있는 평판 LCD를

소개하고 그 구동원리에 대해 기술하고자 한다. LCD는 크게 나누어 두 가지, 즉 수동구동(passive addressing)형과 능동구동(active addressing)형으로 구분되며 수동형은 액정 박막의 양편에 서로 교차하도록 위치한 수 많은 전극들이 화소를 구성하며 이 전극들에 전압신호를 되풀이하여 공급함으로써 정보를 처리한다. 수동형이 안고 있는 심각한 문제로는 응답속도에 의한 화면크기의 한계, 각 화소로의 정보전달의 복잡성, 양편에 있는 전극의 정확한 배열의 어려움, 정보용량의 한계 등을 들 수 있다. 이러한 수동형의 문제점들 때문에 현재는 수백만개의 능동형 박막 트랜지스터(thin film transistor : TFT)들을 유리기관 위에 제조하는 기술이 개발되어 국내외의 많은 산업체들이 TFT의 생산성 및 특성의 향상에 박차를 가하고 있다. 이와 병행하여 LCD 제조에 필수적으로 요구되는 배향물질과 소재의 개발과 아울러 기반 공정기술들을 개발하고 있다. 그러나 능동구동 체계가 안고 있는 가장 큰 문제점은 TFT의 제조 공정이 복잡하고 막대한 설비투자가 요구되어 필연적으로 가격이 비싸고, 또한 15인치 크기의 대형 화면용 TFT의 생산은 현재로서는 기술적으로 대단히 어려운 단계이다.

1. 비틀린 네마틱 액정 구조

우선 여러가지 대표적인 LCD의 구동원리를 설명하기 위해 그림 2에 보여 준 가장 간단한 비틀린 네마틱(twisted nematic : TN) 구조를 이용하자. LCD의 구성은 유리기관에 만들어 진 구동소자들, 즉 투명전극들 사이에 액정물질을 두어 화소를 구성하고 외부에 편광자들을 적절한 각도로 위치하게 한다. 그림 2의 TN 구조에서는 두 개의 기관들 사이에서 액정분자들이 한 기관에서 다른 기관으로 감에 따라 90°만큼 비틀려 있고 상하의 편광자들이 서로 직교하고 있다. 이때 외부에서 전기장이 인가되면 유전효과에 의해 ( $\Delta\epsilon > 0$ 인 경우) 액정분자들이 기관에 수직하게 전기장의 방향으로 배열하게 되어 첫번째 편광자를 통과한 빛의 편광이 액정분자들의 구조에 전혀 영향을 받지 않기 때문에 두번째 편광자에 의해 빛이 차단된다.



(그림 2) 비틀린 네마틱(TN) LCD의 구동원리

만약 전기장이 없는 경우 첫번째 편광자를 통과한 빛의 편광이 비틀린 액정분자들의 구조를 따라 회전하게 되어 두번째 편광자를 통과하게 된다. 다시 말해 인가된 전기장의 크기에 따라 투과되는 빛의 양이 조절되고 각 화소에 원하는 만큼의 빛을 선택적으로 투과시켜 화상을 형성하게 된다. 초 비틀린 네마틱(super-twisted nematic : STN)은 90°의 비틀림 대신에 액정의 방향자가 그 이상인 220°나 270°로 비틀려 있는 구조로 기본적인 동작원리는 TN의 경우와 거의 동일하다. 이러한 STN의 장점은 더욱 가파른 전기광학 특성을 가지며 시야각 또한 커진다는 것이다. 단점으로는 비틀림의 커짐으로 인해 LCD가 광원의 파장에 영향을 받는다는 사실이다. 이러한 현상으로 꺼진 상태가 완벽하게 어둡게 나타나도록 하는 것이 상당히 어려워지게 되어 개선책으로는 보상판(compensator)이나 다른 하나 혹은 그 이상의 시편을 STN 위에 결합한 구조 등이 있다. 이러한 TN이나 STN 구조는 모두 네마틱 액정의 유전효과를 이용하기 때문에 속도가 느려 대화면에는 필수적으로 능동구동방식이 요구된다. 반면에 강유전성 액정을 이용하는 경우 분자들의 응답속도가 대단히 빨라 수동구동이 가능하다는 장점이 있다. 이를 이용한 구동구조에는 아래에서 설명할 표면 안정화 강유전성 액정 구조 및 비틀린 강유전성 액정 구조 등이 있다.

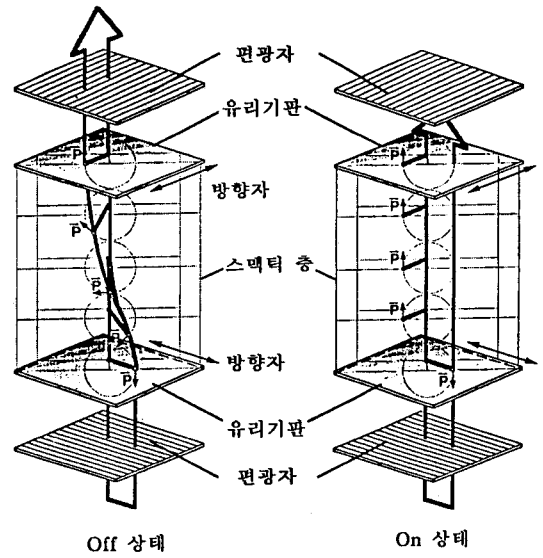
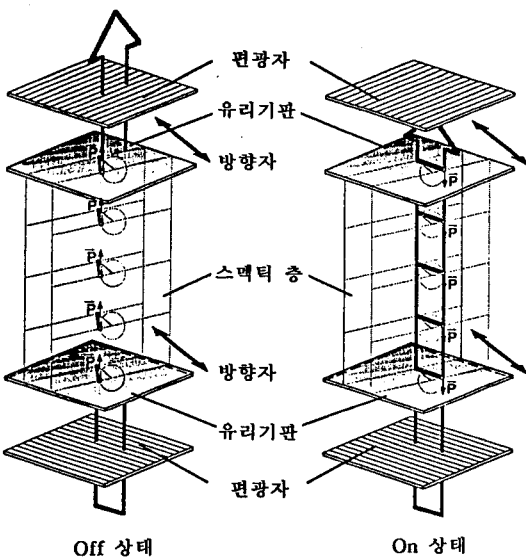
2. 표면안정화 강유전성 액정 구조

이미 지난 장에서 기술하였듯이 강유전 스멕틱 C\* 상에서는 구성분자들이 스멕틱 층을 따라가면서 나선운동을 하게 되어 거시적인 자발분극은 나선의 한 피치에 대해 평균하면 영이 된다. 따라서 LCD에 이용하기 위해서는 시편의 두께를 나선피치보다 작게 하여 '켜짐'과 '꺼짐'의 두 상태만을 갖는 쌍안정화 구조를 형성하여야만 한다. 이것을 표면안정화 강유전성 액정(surface stabilized FLC : SSFLC) 구조라고 부르며,<sup>[19]</sup> 표면배향을 적절히 조절하여 구현할 수 있다. 그림 3에 나타난 SSFLC 구조는 TN이나 STN 구조에 비해 응답속도가 월등히 빠르고 기억상태가 존재하기 때문에 전력소비가 적다는 장점이 있다. 그러나, 본래의 쌍안정성때문에 제조표시 기능이 전혀 없어 시구동이나 분할구동으로 구현해야만 한다. 더구나 자발분극과 배향막과의 강한 상호작용때문에 균일한 배향을 얻기가 극히 어렵고 네마틱 상과는 달리 층상구조를 형성하는 스멕틱 상의 액정을 이용하기 때문에 외부의 충격에 대해서도 배향이 쉽게 깨지는 문제점이 있다. 이러한 단점이 있음에도 불구하고 빠른 응답속도로 인해 FLC는 수동구동하에

서도 대면적화가 상대적으로 용이하고 소비전력이 작다는 장점이 있다.

3. 비틀린 강유전 액정 구조

앞서 살펴본 SSFLC 구조의 단점중 하나였던 제조표시 기능을 구현하기 위한 노력의 일환으로 최근에 TN의 연속적인 제조표시 기능과 FLC의 빠른 응답속도를 결합한 비틀린 강유전성 액정(twisted FLC : TFLC) 구조가 제안되었다.<sup>[20]</sup> 그림 4에 나타난 TFLC 구조는 기존의 쌍안정성 SSFLC와는 달리 상하 두 기관에서의 배향방향을 서로 달리하여 비틀린 스멕틱 층 구조를 형성하여 외부의 전기장에 의해 이 비틀린 구조가 풀리는 현상을 이용한 것이다. TFLC와 TN 구조와의 차이점은 자발분극의 존재와 비틀린 층 구조의 형성 유무이다. 두 구조사이의 공통점은 비틀린 구조를 이용하기 때문에 전기장의 세기에 따른 제조표시가 가능하다는 것이다. TFLC 구조는 SSFLC 구조와는 달리 나선구조의 연속적인 변형으로 인해 근본적인 제조표시 기능이 있다. 실제 제조상의 어려움은 강유전성 액정을 이용되기 때문에 여전히 대면적의 균일한 배향이다.



〈그림 3〉 표면안정화 강유전 액정(SSFLC) 구조

〈그림 4〉 비틀린 강유전 액정(TFLC) 구조

4. 고분자 분산 액정 구조

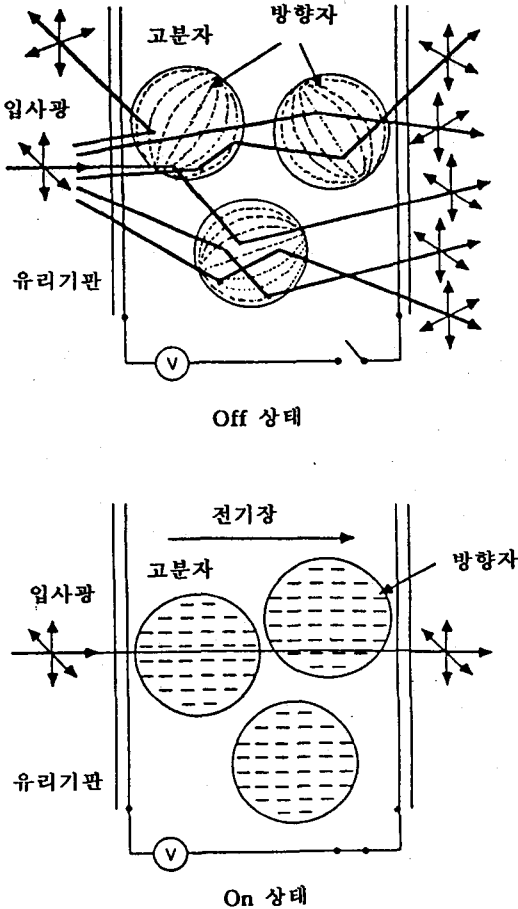
LCD 구동구조 중에 마지막 하나는 고분자 속에 액정분자를 분산시킨 고분자 분산 액정(polymer-dispersed LC) 구조이다. 그림 5에 나타낸 PDLC의 기본원리는 타 LCD구조와 마찬가지로 외부의 전기장을 이용하여 분자 방향자를 변형시켜 전기장의 크기에 따라 투과하는 빛의 양을 조절하는 것이다.<sup>[21,22]</sup> 현재까지 주로 네마틱 액정을 고분자에 분산시켜 PDLC를 제작하였으며 다른 LCD에 비해 다음 두 가지의 중요한 장점이 있다. 첫째로는 편광자가 필요없기 때문에 상대적으로 화면이 밝으며, 둘째로는 액층층의 두께가 그다지 중요하지 않다는 것이다. 실제 고려해야 할 사항은 액정과 고분자 물질과의 복굴절 차이와 화학반응의 유무,

분산된 미세 액정방울의 크기, 구동전압 등으로 볼 수 있다. PDLC 구조의 커다란 단점은 대비비가 떨어지고 응답속도가 늦다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 하나의 방안으로 최근에 제시된 것이 고분자 분산 강유전성 액정(PDFLC) 구조이다.<sup>[23,24]</sup> 이것은 SSFLC나 TFLC구조와 비교하여 시야각 특성과 계조표시 기능이 우수하고 배향이나 내구성면에서 유리하다.

이밖에도 짧은 피치의 FLC를 이용하여 나선구조의 변형을 유도하여 계조표시 기능을 구현하는 나선구조 변형 강유전성 액정(deformed helix FLC : DHF) 구조 등이 있다.<sup>[25]</sup>

V. 종합적 고찰과 결론

종합적으로 액정분야에서의 기초연구는 주로 그 구성분자간의 미세적인 화학적 상호작용이 어떻게 집합적이고 거시적인 물리현상에 영향을 미치는가에 대한 것이었다. 많은 화학자들이 새로운 액정 화합물을 합성하여 액정상에서 보이는 분자 개개의 화학적 성질을 구체적으로 이해하고자 하였으며, 물리학자들은 응집상태인 액정상에서 발견되는 새로운 물리현상을 규명하고 새로운 물질합성에 대한 과학적인 접근방법을 제시해 주었다. 이러한 학문적 기초 위에서 시계, 계산기, 전화기, 카메라, 사무용 기기, 개인용 컴퓨터, 소형 텔레비전, 자동차 계기판 등에 이용되고 있는 LCD의 개발이 가능하게 되었다. 현재 LCD 산업분야에서 국제적으로 지적 소유권에 대한 심각한 마찰을 빚고 있는 상황에서 우리나라에서는 장기적으로 산·학·연의 긴밀한 공동연구 개발체제를 정립하여 국제 경쟁력을 강화해 나가야 할 뿐만 아니라 세계시장의 확보에도 주력해야 할 것이다. 특히 액정물질 및 polyimides를 비롯한 배향재료, 편광판, 백라이트(backlight), 구동 IC와 컬러 필터 등의 부품들은 국내외에서 상당히 개발되어 있으나 실제 LCD의 양산에 필요한 고도의 배향기술, 고정밀 TFT 설계 및 제작기술, 고품질의 주변 소재 및 부품의 개



(그림 5) 고분자 분산 액정(PDLC) 구조



발, 새로운 구동방법의 개발 등이 절실히 요청되고 있다. LCD 제품의 성능향상 방안으로 대두되는 기술개발 과제들로는 저 소비전력화, 박형 및 경량화, 저 반사화, 광 시야각화, 고 응답속도화, 고 휘도화, 고 대비비화, 저 가격화일 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] P. G. de Gennes and J. Prost, "The Physics of Liquid Crystals"(Clarendon, Oxford, 1993).
- [2] R. B. Meyer, L. Liebert, L. Strzelecki, P. Keller, J. Phys. Lett.(Paris), 36, L69 (1975).
- [3] J. W. Goodby et al., "Ferroelectric Liquid Crystals"(Gordon & Breach, Philadelphia, 1991).
- [4] J. W. Goodby, M. A. Waugh, S. M. Stein, E. Chin, R. Pindak, and J. S. Patel, Nature, 337, 449(1989).
- [5] A. D. L. Chandani, Y. Ouchi, H. Takezoe, A. Fukuda, K. Terashima, and A. Kishi, Jpn. J. Appl. Phys. 28, L1261(1989).
- [6] K. Hiraoka, A. Taguchi, Y. Ouchi, H. Takezoe, and A. Fukuda, Jpn. J. Appl. Phys. 29, L103(1990).
- [7] G. Srajer, R. Pindak, M. A. Waugh, J. W. Goodby, and J. S. Patel, Phys. Rev. Lett. 64, 1545(1990).
- [8] H. T. Nguyen, A. Bouchta, L. Navailles, P. Barois, N. Isaert, R. J. Twieg, A. Maaroufi, and C. Destrade, J. Phys. II, 2, 1889(1992).
- [9] P. J. Collings, "Liquid Crystals"(Princeton University, Princeton, 1990); 이신두 역, "액정: 자연의 미묘한 제4의 상"(전파과학사, 서울, 1994).
- [10] S. Kobayashi, Ed., "The 100th Anniversary of Liquid Crystal Research"(Gordon & Breach, New York, 1988).
- [11] P. S. Pershan, "Structure of Liquid Crystal Phases"(World Scientific, Singapore, 1988).
- [12] B. Bahadur, ed., "Liquid Crystals : Applications and Uses", Vols. 1, 2, and 3(World Scientific, Singapore, 1990).
- [13] E. Kaneko, "Liquid Crystal TV Displays"(KTK Scientific, Tokyo, 1987).
- [14] R. B. Meyer, Phys. Rev. Lett. 22, 918 (1969).
- [15] S.-D. Lee and J. S. Patel, J. Appl. Phys. 66, 1879(1989).
- [16] S. Garoff and R. B. Meyer, Phys. Rev. Lett. 38, 848(1977).
- [17] S.-D. Lee and J. S. Patel, Phys. Rev. Lett. 65, 56(1990).
- [18] J. S. Patel, M. A. Saifi, D. W. Berreman, C. Lin, N. Andreadakis, and S.-D. Lee, Appl. Phys. Lett. 57, 1718(1990); J. S. Patel and S.-D. Lee, Appl. Phys. Lett. 58, 2491(1991).
- [19] N. A. Clark and S. T. Lagerwall, Appl. Phys. Lett. 36, 899(1980).
- [20] J. S. Patel, Appl. Phys. Lett. 60, 280 (1992); S.-D. Lee, S.-W. Suh, Y. J. Kim, S.-S. Park, and J. S. Patel, Mol. Cryst. Liq. Cryst., in press(1994).
- [21] J. L. Ferguson, SID 85 Digest 60(1985).
- [22] J. W. Doane, N. A. Vaz, B.-G. Wu, and S. Zumer, Appl. Phys. Lett. 48, 269(1986).
- [23] K. Lee, S.-W. Suh, and S.-D. Lee, Appl. Phys. Lett. 64, 7183(1994).
- [24] K. Lee, S.-W. Suh, S.-D. Lee, and C. Y. Kim, J. Kor. Phys. Soc. 27, 86(1994).
- [25] H.-S. Kitzerow, H. Molsen, and G. Heppke, Appl. Phys. Lett. 60, 3093(1992).

## 저자 소개



李 信 斗

1957年 2月 27日生

1980年 2月 서울대학교 물리학과 학사

1982年 2月 서울대학교 물리학과 석사

1988年 5月 미국 Brandeis Univ. 박사

1988年 6月~1990年 12月 Bellcore 연구원

1991年 1月~1992年 2月 Optron System, Inc 수석연구원

1992年 3月~현재 서강대학교 이과대학 물리학과 조교수

주관심 분야 : 액정, 광학성 고분자, Biochemical sensors, LCD, 광 통신 및 정보처리