

기술 특 집

고속응답 TFT-LCD 기술 개발 동향

허일국, 유숙경, 이현경, 김용배 (건국대학교 액정연구센터)

앞으로의 새로운 LCD(liquid crystal display)는 책상용 모니터, 큰 사이즈의 평면 TV와 workstation 등에 광범위하게 적용 될 것이다^{1,2)}. LCD의 응답 시간은 사람이 영상을 인식하는데 영향을 미친다. 탁상용 컴퓨터에서 구현되는 영상에서 나타나는 일반적인 장애는 대부분 정보의 느린 속도가 원인이다. 탁상용 컴퓨터의 경우 종종 정지된 상이 나타나고, 새로운 정보의 갱신 속도가 느린 것은 응답 속도와 관계되는 것이다. 그러나 TFT-LCD TV의 등장은 움직이는 영상을 빠르게 개선 할 수 있었다. 만약 액정 switching의 속도가 너무 느리다면 영상은 흐려질 것이다. 따라서 Switching시간의 개선은 TFT LCD TV의 특징적인 기술의 핵심이 된다. 액정 장치가 온도와 상관없이 16.7ms로 작동 된다면 이는 상용되는 비디오 구현 속도로 상당히 바람직하다.

최근 OCB, PDLC, AFLC mode는 이를 목적으로 사용되고 있다. 그러나 이들이 응답시간에서 특징적인 요소를 갖는 것은 사실이나 여전히 개선점이 남아있다. 느메틱 액정들은 디스플레이 적용을 위한 analog gray scales, 낮은 구동 전압, 간단한 분자 배열, 물질선택의 자유로움, cell gap 오차 허용범위가 넓다는 점등 여러 가지 장점들을 갖고 있다. TFT-LCDs에서 계속적으로 향상시켜야 하는 두 가지 주된 문제점은 switching시간과 시야각이다. 물질의 영향(점도, 탄성 상수, 복굴절률), 분자 배열, 온도, 전압과 cell gap은 액정 응답시간을 결정하는 중요한 역할을 한다. 유전율과 탄성상수는 함께 구동 전압을 결정하는 반면, 회전 점도와 탄성 상수는 switching시간을 결정한다. 분자 구조 관점에서 볼 때 상전이, 복굴절률, 유전 상수와 점도의 거시적인 특성은 상호 관계를 갖는다. 따라서 하나의 요소만을 최대한으로 활용한다는 것은 아주 어려운 일은 아닐 것이나, 모든 요소들을 동시에 최대한으로 활용한다는 것은 거의 불가능하다.

최근에는 LCDs의 응답시간 개선을 위하여 낮은 회전 점도와 높은 복굴절률을 갖는 액정 혼합물이 요구되고 있다. LCD TV의 panel의 밝기를 향상시키기 위해 강한 backlight가 사용되는데, backlight는 panel 작동 온도를 높여 대부분의 display를 구성하는 재료는 50°C 이상의 열을 받

게 되는 경우가 있다. 그러므로 LC 혼합물의 개발은 90°C의 높은 clearing 온도에 초점을 두고 있다. 응답 속도와 직결되는 점도 값의 손해 없이 액정 혼합물의 clearing point를 높이려는 노력은 중요하다. 따라서, 많은 연구자들은 TFT-LCD의 모니터와 TV에 사용하기 위한 높은 복굴절률과 낮은 점도와 높은 clearing 온도를 갖는 액정 물질을 연구하고 있다³⁾.

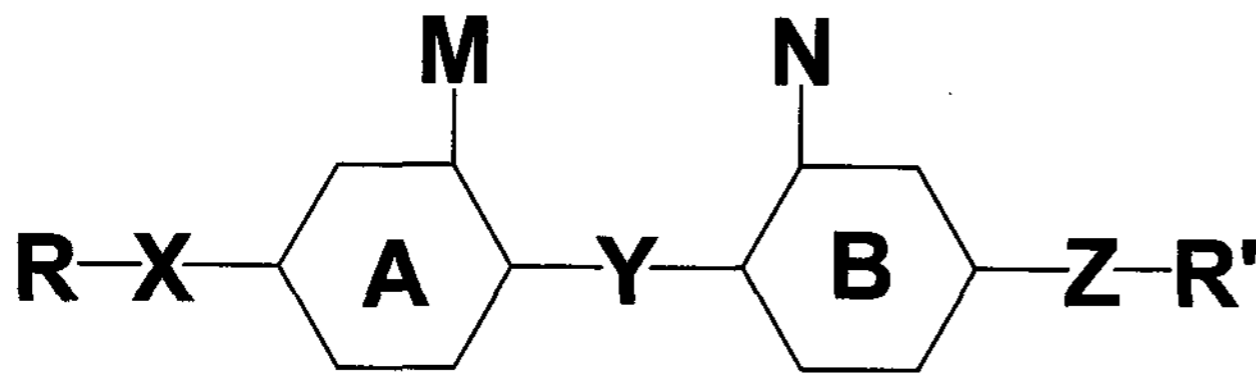
LCD의 응답속도를 개선시키기 위해서는 액정물질의 개선과 driving method의 개선이 요구된다. 액정 물질의 개선을 위해서는 액정의 구조에 따른 각 특성을 알고, 이 특성이 각각의 물성 인자들에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보아야 한다.

I. 액정분자 구조와 특성

느메틱 LCD에서 gray levels간의 switching시간은 응답시간을 결정한다. 액정 display의 Switching on time(τ_{on})과 switching off time(τ_{off})은 cell gap(d), 회전 점도(γ_1) 탄성 상수(K), 문턱 전압(V_{th}), bias 전압(V_b)와 가해주는 전압에 따른다. 이러한 매개 변수들은 액정 구조 결합에 사용되는 단위(unit)와 액정 화합물간의 상호작용에 의해 나타나는 물성에 의존한다. 따라서 액정 분자를 어떻게 설계하는가는 액정의 물성을 결정짓고, 이는 고속 응답 액정의 개발에 중요한 요소라 할 수 있다.

액정 상과 같은 비등방성 분자 구조를 이루는 데는 rigidity가 필요하다. 이런 구조의 중심(core)은 보통 직선형의 연결 고리계에 의해 이루어 진다. 대부분이 aromatic이지만 alicyclic도 가능하며, 이 고리들은 직접 연결될 수도 있다. 그러나 단단한 중심만으로는 액정상을 나타내는데 충분하지 않다.

탄력성(flexibility)은 낮은 녹는점을 갖게 하고 중간상 구조 내에 분자 배향을 안정하게 하는데 필요하며, 보통 직선성의 alkyl 또는 alkoxy chain 같은 말단 치환기 R과 R'에 의해 나타내는데 말단기에는 종종 크기가 작은 극성 치



A, B — core structure, R, R' — Terminal moieties,
X, Z, Y — linking groups, M, N — lateral substituents

[그림 1] 액정분자의 일반적인 구조

환기 분자가 온다.

고속 액정 분자를 설계하기 위해서는 이러한 분자 구조와 구조 결합에 사용되는 단위에 의해 결정되는 물성을 이해하고 유전율이 크고, 회전 점도가 작으며, 굴절률 이방성이 크고, 탄성 상수가 큰 물질을 합성해야 한다.

1. core structures

core structures는 가장 필수적인 액정 물질의 구조적인 형태이며, 직선형으로 연결된 고리로 이루어진 단단한 구조이다. 낮은 전압에서 빠른 switching을 하기 위해서 가장 중요한 것은 액정 물질의 점도를 최소화하는 것이다. 분자의 크기가 증가하거나 또는 편극성이 증가하면 일반적으로 점도는 증가한다. 특히 naphthalene 화합물의 경우 분자의 질서도는 유지하면서 길이에 대한 폭의 비율을 높이는 화합물로서 이 경우 넓은 T_M 범위를 갖지만, 상당히 높은 점도를 갖는다. 그러나 core의 phenyl, trans-cyclohexane으로의 치환은 다소 점도를 낮추는 경향이 있다.

유전율 이방성($\Delta\epsilon$)도 액정의 고속 switching을 위한 기본적인 중요 인자이다. Twisted된 네메틱 display에서 높은 $\Delta\epsilon$ 은 낮은 전압에서도 빠르게 switching하는 요인으로 작용한다. 높은 $\Delta\epsilon$ 은 core group의 변형으로 얻을 수 있다. Phenyl ring, phenylcyclohexane, heterocyclic nitrogen의 치환을 통해 높은 유전율 이방성을 얻을 수 있다.

Electrically controlled birefringent(ECB) display라 불리는 장치에서 분자의 switching을 위해서는 음의 $\Delta\epsilon$ 이 필요하다. ; 왜냐하면 이에 알맞은 네메틱 물질은 강한 측면 dipole을 갖으면서 낮은 점도를 필요로 하기 때문이다.

물질의 광학적 비등방성(Δn)은 실제적인 device에서 중요하다. Δn 은 분자의 분극률과 네메틱 상의 order parameter에 의존한다. 높은 order parameter를 갖기 위해서 분자는 선형적이며 길고 좁은 rigid한 core를 가져야 한다. 그러므로 core 부분에 aromatic ring, tolane (acetylene) 같은 분극률이 높은 분자로 연결된 group과 말단에 높은 Δn 을 갖는 CN과 같은 functional group으로 구성된다.

네메틱 혼합물의 탄성 상수는 switching 과정에서 특히 중요하다. k_{33}/k_{11} 비율은 sharp한 switching 문턱전압을 갖기 위해 최소화 되어야 하며 aromatic ring, heterocyclic cores를 갖는 물질들에서 나타난다.

2. Terminal moieties

보통 말단기는 낮은 극성과 길고 일렬로 늘어선 hydro carbon이 사용된다. 긴 말단기(alkyl/alkoxy)는 core group에 유연성을 가해 녹는점의 감소를 가져온다. 극성 group(cyano group)은 분자간 인력을 증대 시켜 분자 방향을 안정화 시킨다. 긴 alkyl chain은 분자의 인력을 증가시키지만(vander waals) 반면 이것이 갖는 유연성은 분자간의 쌓임을 방해해 녹는점을 낮춘다. 따라서 낮은 녹는점을 갖기 위해서는 적절한 말단기의 선택이 중요하다.

네메틱 물질의 물성은 말단기의 선택에 따라 크게 영향을 받게 된다. Cyano group 같은 극성 물질이 오게 되면 양의 유전율 이방성($\Delta\epsilon$)을 갖게 된다. 반면에 비극성의 alkyl chain이 오게 되면 극성을 갖지 않게 되고, 다른 특징적인 구조는 $\Delta\epsilon$ 의 값과 부호를 결정하게 된다. 말단기의 입체와 극성은 물질의 점도에 영향을 끼친다. 긴 말단기 chain의 사용과 특히 치환기가 있는 말단 chain은 점도를 증가시키는 원인이 되는데, 이는 말단 chains이 서로 입체적으로 상호 작용을 하기 때문이다. Alkoxy chains 내에 특히 carbonyl group 내에 극성의 oxygen을 갖는 경우 이는 훨씬 더 점도를 증가시킨다. 점도를 높이는 물질은 display device 적용에 있어 가장 피해야 할 요소이다. 굴절률 같은 물성은 core에 가장 크게 의존하지만 긴 말단 chains의 사용에 의해 'diluted'되는 경향이 있다. 따라서 높은 복굴절률이 요구되는 반면, alkyl chain 길이는 최소로 되어야 한다. 특히 aromatic core의 conjugation 내의 극성 말단 group은 높은 복굴절을 갖는다. 예를 들어 cyano group은 alkyl chain보다 높은 복굴절을 제공한다. 말단에 isothiocyanate group이 올 경우 높은 복굴절을 갖는 것과 높은 복굴절을 갖는 aromatic core와 conjugation된 말단 chain의 극성 작용기와의 결합이 연구되어 오고 있다. 더 긴 말단 chain은 고속 응답 조건에 맞게 낮은 k_{33}/k_{11} 비율을 갖는 경향이 있다. 따라서, 말단 분자, 특히 core에 연결되는 말단 분자는 mesomorphic 특성과 display device에 적용하기 위해서 주의 깊게 선택해야 한다.

3. linking groups

연결부(linking groups)은 주로 core group을 서로 연결시킬 때 사용한다. 따라서 연결부와 core group의 선형성의 유지가 중요하면서, 연결부를 활용함으로써 분자의 길이를 늘리고 분극률의 이방성을 늘리는 역할을 한다.

Azo($-N=N-$), imine($-CH=N-$) group은 conjugation이 일어나 극성 이방성을 향상시키며, ester group의 경우는 상대적으로 안정하고 합성이 용이하기 때문에 널리 사용되고 있다. 그러나 연결부의 효과가 display에 장점만을 주는 것은 아니다. 말단에 cyano group을 갖는 ester 연결부는 유전율 이방성을 높이는 하나, 다른 말단기 group에서는 음의 유전율 이방성을 보이기도 한다. Ester 연결부가 결합되어 있는 대부분의 경우 점도가 증가하므로 결과적

으로 장, 단점이 상쇄됐다고 할 수 있다. 또한 연결부는 장축의 편향성을 증가시키고 결과적으로 이는 복굴절률을 향상시키는 역할을 한다.

4. lateral substituents

측면 치환(lateral substitution)은 분자의 직선적인 축에서 떨어져 붙으며, 보통 aromatic core의 옆에 붙는다. 측면 치환기는 구조적으로 분자의 적층(packing)을 방해하거나 물성의 조정이나 응용을 위해 매우 유용하게 쓰인다. 일반적으로 T_M 는 측면 치환기에 비해 분자의 크기에 더 큰 영향을 받지만, 적층의 경우 측면 치환기의 크기 증가에 따라 방해 받기도 하고, 극성 값이 커짐에 따라 향상되기도 한다. 예를 들어 Fluoro는 크기가 작고 극성이 커서 널리 사용되고 있고, chloro는 큰 dipole을 형성하나 액정의 안정성을 낮추고 점도를 높이는 단점이 있다^[4].

II. 액정분자 parameter와 특성이 응답속도에 미치는 영향

현재 채용되고 있거나, 개발되고 있는 여러 가지 LCD-mode의 응답시간, 문턱전압(threshold voltage: V_{th}), 임계전압(critical voltage: E_c)과 effective elastic constant(K_{eff})들은 다음과 같다.

$$\tau_{on} = \left[\frac{d}{\pi} \right]^2 \frac{\gamma_1}{K_{eff}} \left[\frac{1}{(V/V_{th})^2 - 1} \right] = \frac{\gamma_1}{\epsilon_0 \Delta \epsilon} \left[\frac{1}{E^2 - E_c^2} \right] \quad (1)$$

$$\tau_{off} = \left[\frac{d}{\pi} \right]^2 \frac{\gamma_1}{K_{eff}} = \gamma_1 \cdot d^2 \frac{1}{\epsilon_0 \Delta \epsilon E_c^2} \quad (2)$$

$$V_{th} = \pi \sqrt{\frac{K_{eff}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} \quad (\text{TN, VA, OCB-mode}) \quad (3)$$

$$V_{th} = \left[\frac{\pi \cdot l}{d} \right] \sqrt{\frac{K_{eff}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} \quad (\text{IPS-mode}) \quad (4)$$

여기서 effective elastic constant는 $K_{eff} = (K_{11} + (K_{33} - 2k_{22})/4)$ (TN-mode), $K_{eff} = K_{22}$ (IPS-mode) 및 $K_{eff} = K_{33}$ (VA와 OCB-mode)이다.

그리고, ϵ_0 는 진공상태에서의 유전 상수이고 γ_1 는 회전점도, d 는 cell gap, V 와 E 는 작동시 전압, V_{th} 는 문턱 전압, $\Delta \epsilon = \epsilon_{||} - \epsilon_{\perp}$ 는 유전율이방성, K_{11} , K_{22} , K_{33} 는 spray, twist, bend의 탄성 정수, l 은 IPS-mode의 전극간 거리이다^[7-8]. Rising time, τ_{on} 과 decay time, τ_{off} 는 투과도가 10%에서 90% 사이일 때의 응답시간을 말한다. $\tau_{on} + \tau_{off}$ 는 전체 응답시간은 이다.

식 (3)과 (4)에서 볼 수 있듯이 V_{th} 는 $\Delta \epsilon$ 과 K_{11} , K_{22} , K_{33} 값에 의존하며, $\Delta \epsilon$ 을 크게 하고, 탄성 상수 값을 작게 하면 V_{th} 는 작아진다.

모든 LCD-mode의 응답속도는 점탄성비(viscoelastic ratio: γ_1/K_{off})와 점도(γ_1)가 작거나 유전율이방성($\Delta \epsilon$)과 유효탄성상수(K_{eff})가 커질수록 짧아진다. 그러므로, γ_1 이 작거나, $\Delta \epsilon$ 이 큰 액정을 이용하거나, 또는 γ_1 이 작고, K_{eff}

가 큰 액정재료를 이용하면 LCD에서 고속응답을 얻을 수 있다^[7-10]. γ_1 은 응답시간에 일차로 비례하고 d 는 제곱으로 비례하기 때문에 cell gap을 작게 하는 것이 회전 점도 γ_1 을 낮추는 것보다 훨씬 더 효과적인 것을 알 수 있다. 그러나 cell gap이 너무 얇아지면 LCD의 생산성이 감소하므로 무한정 줄일 수 없으며, 현재까지는 $3.75 \mu\text{m}$ 정도가 한계이다.

LCD의 응답속도를 짧게 하기 위하여 LCD cell의 gap d 를 얇게 하는 경우에는, 투과율을 최대를 하기 위해 Gooch-Tarry의 첫번째 최소 조건을 만족해야 하므로, retardation($d \cdot \Delta n$) 값에 따라서 Δn 값이 큰 액정을 사용해야 한다^[11]. 액정화합물 Δn 값은 액정 분자의 π -conjugation 길이를 증가시키면 커지고, polarizability 이방성($\Delta \alpha$)과 질서도(S)에도 영향을 받으므로, 액정 분자의 Δn 은 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다^[6].

$$\Delta n = (2\pi/2n)(n^2 + 2) N_A (\Delta \alpha / M) \rho S \quad (5)$$

$$\Delta n = n_e - n_o = n_{||} - n_{\perp} \quad (6)$$

$$n^2 \chi = \epsilon \chi \quad (7)$$

$$n_{||}^2 - n_{\perp}^2 = \Delta \epsilon \propto \Delta \chi \cdot S \quad (8)$$

여기서, M 은 느메틱 액정 화합물의 분자 질량, ρ 는 밀도, $\Delta \alpha$ 는 분자의 polarizability 이방성, n 은 물질의 평균 굴절률이다.

위 식들은 굴절율 이방성이 분자의 유전율이방성과 네마틱상의 배향 질서에 크게 의존하는 것을 나타내고 있다. 따라서 액정 분자에 치환된 극성기, 공액 2중 결합의 분자 장축 방향에 대한 분극율이방성의 기여율이 Δn 을 결정한다고 할 수 있다.

유전율이방성($\Delta \epsilon$)은 Onsager model에 바탕을 둔 Maier-Meier이론^[5]에 설명되어 있으며, 유전율 이방성은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta \epsilon = \frac{N_A F h}{\epsilon_0} [\Delta \alpha + (\mu^2 / 2kT)(3 \cos^2 \beta - 1)] \cdot S \quad (9)$$

$$\Delta \epsilon \propto \left\{ \Delta \chi - C \frac{\mu^2}{2k_B T} (1 - 3 \cos^2 \beta) \right\} \cdot S \quad (10)$$

여기서 ϵ_0 는 진공 상태 유전율이며, N 은 밀도, F 는 reaction field인자, h 는 cavity인자, $\Delta \alpha$ 는 분자의 polarizability 이방성, k_B 는 Boltzman 상수, S 는 질서도(order parameter)와 μ 는 쌍극자 모멘트, β 는 액정분자의 주된 관성축(major inertial axis)과 이루는 각도이다. 식 (9)와 (10)에 의하면 $\Delta \epsilon$ 을 크게 하려면 μ 를 크게 하고 쌍극자모멘트의 방향을 분자의 주된 관성축(분자장축)에 대하여 평행($\beta = 0$)하게 하는 것이다. 식 (9)과 (10)에 나타난 것과 같이 $\Delta \epsilon$ 에 μ 와 β 가 관여하는 것이 확실하다.

III. 향후 고속응답속도를 얻기 위한 액정재료의 개발동향

응답속도를 짧게(약 10 ms 이하) 하기 위해서는 다음과

같은 연구개발이 수행되어야 한다.

- 1) 액정재료의 점도(γ_1)을 작게 한다.
- 2) 액정재료의 유전율이방성($\Delta\epsilon$)을 크게 한다.
- 3) 액정재료의 유효탄성계수(K_{eff})을 크게한다.
- 4) LCD cell gap을 알게하기 위하여 액정재료의 복굴절율(Δn)을 크게 한다.

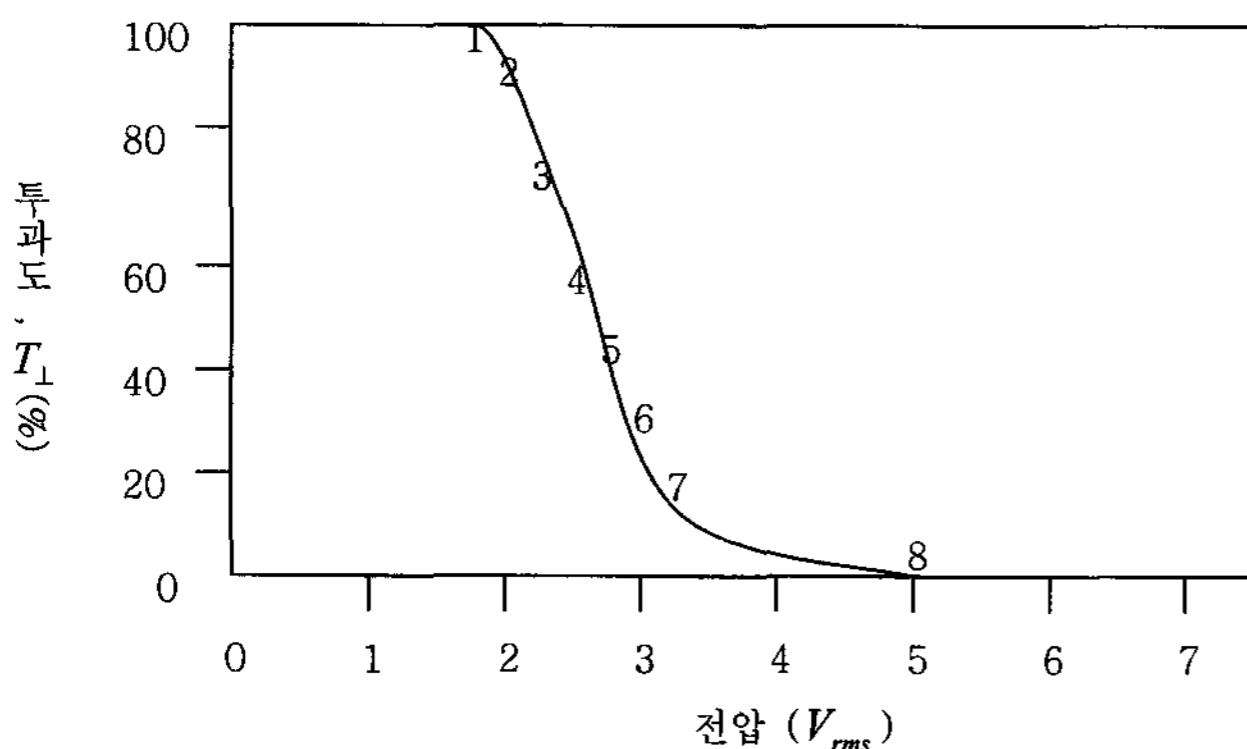
그러나, 일반적으로 $\Delta\epsilon$, Δn 및 K_{eff} 가 큰 액정재료의 점도가 높다. 그러므로, γ_1 이 약간 증가하더라도, $\Delta\epsilon$, Δn 및 K_{eff} 등이 현저하게 증가하는 액정화합물을 합성하거나, 액정혼합물을 선정하여, 이들을 적당하게 혼합하여 응답속도를 짧게 할 수 있다.

IV. Driving method의 변화에 따른 응답속도의 변화

최근에, TFT-LCD의 전체 응답시간이 25msec 이하로 떨어질 수 있게 되었지만, inter-gray 응답속도(full white와 full black 사이보다 다른 gray level 사이의 응답시간)는 아직까지도 동화상을 완벽하게 구현할 수 있을 정도로 빠르지 않다.

식 (1)과 식 (2)에서 보듯이 인가전압과 bias전압은 τ_{on} 과 τ_{off} 에 중요한 영향을 끼친다. LCD의 응답 시간을 개선하기 위한 방법으로, "bias 전압(V_b)효과"와 "transient nematic effect"로, 두 가지 방법이 제시되고 있다^[12]. $V_2 > V_{th}$ 의 전압이 가해질 경우 액정 분자는 bias전압에 의해 일정한 각도를 갖고 기울어진다. 따라서 액정은 가해지는 activation pulses에 따라 빠르게 반응한다. 결과적으로 τ_{on} 은 눈에 띄게 빨라진다. 더 높은 bias 전압을 인가하면 응답시간은 더욱 빨라진다. 반대로, bias 전압이 문턱전압에 가까워지면, $V_b \approx V_{th}$ (약간 더 크거나 거의 비슷할 경우) τ_{off} 는 아주 느려진다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 하나의 방법이 "transient nematic effect"를 이용하는 것이다^[13].

[그림 2]의 TN-LCD cell을 예로 들어 설명하면, V_1 과 V_2 사이의 스윕칭은 모든 gray scales에서 가장 느리게 나



[그림 2] 90° TN cell에서 전압과 투과도 곡선 ($d \Delta n = 480 \text{ nm}$, $\lambda = 550 \text{ nm}$, 1~8은 gray scales)

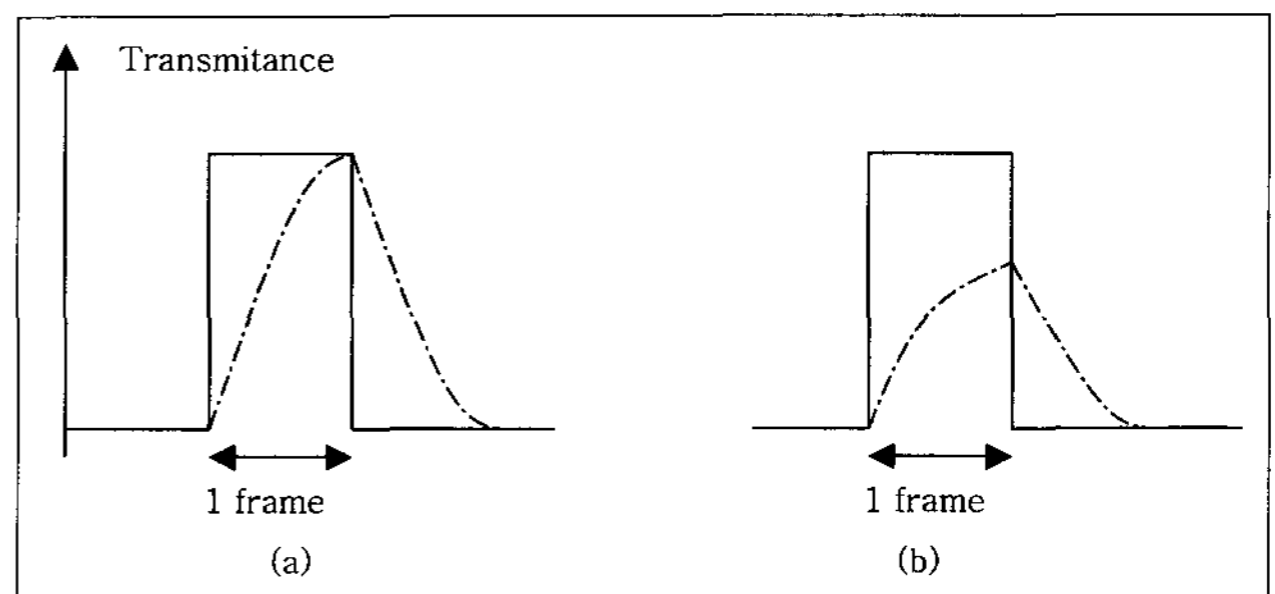
타난다. 첫번째 gray level에서 전압 V_1 은 V_{th} 보다 약간 낮은 전압이다. V_2/V_{th} 비율이 작기 때문에 느린 τ_{on} 이 나타나고, $V_b/V_{th} \approx 1$ 일 때 느린 τ_{off} 가 나타난다. τ_{on} 의 속도를 빠르게 하기 위해서는 pulse폭이 좁고, $V > V_2$ 인 overdrive 전압을 가해야 하고, 짧아진 τ_{on} 은 구동 pulse의 폭에 근접하게 된다. 액정분자가 처음 상태로 복귀하는 동안에는 bias 전압을 일시적으로 제거하였다가, 액정 분자가 V_1 의 상태로 안정화된 후 다시 holding 전압을 인가한다. 이러한 overdrive와 undershoot 구동 방식을 사용하면, 구동 전압의 부담감은 남아 있지만, 응답 시간은 3~5배 향상시킬수 있다.

Dynamic-capacitance-compensation(DCC) 방법으로 inter-gray 응답시간을 한 frame,(1/60 sec 동안)보다 더 짧게 "단축"시킬 수 있다는 보고도 있다.

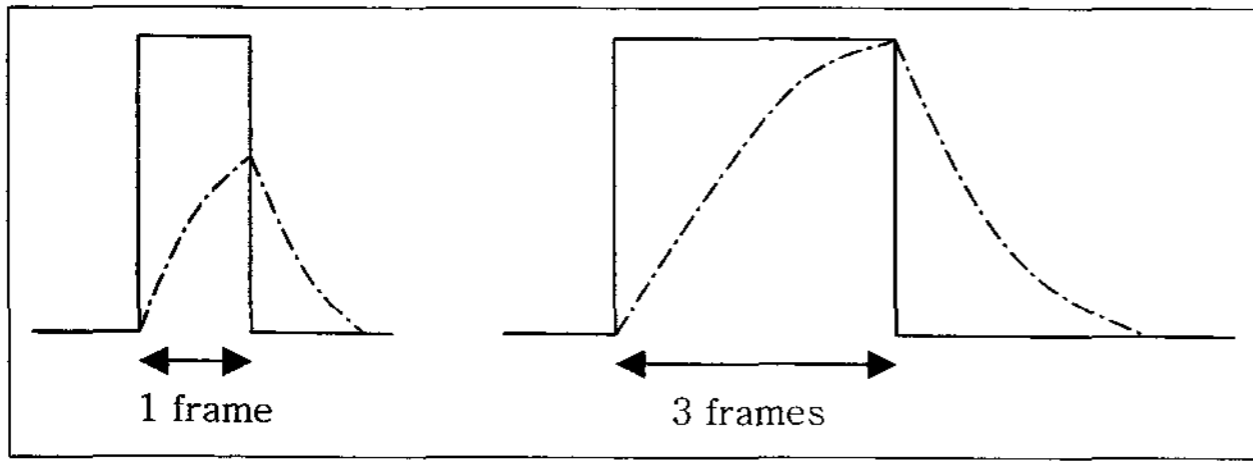
액정재료 물질의 응답속도가 개선되고, 여기에 혁신적인 구동 형태가 결합되면, 모든 inter-gray level을 포함한 TFT-LCD의 응답시간이 한 frame 보다 짧아질 수 있다. 그러나 CRT의 화질을 따라가기 위해서 얼마나 더 빨라져야 하는지에 대해서는 아직 명확한 해답을 찾지 못하고 있다.

LCD의 응답시간이 길면 발생하는 문제점들은 세 가지가 있는데, 첫째로 dynamic contrast ratio가 감소하는 것, 둘째로 stroboscopic motion 발생, 셋째 blurred moving edges(움직임 가장자리가 흔들리는 현상)이다. 첫번째와 두번째 현상은 응답시간이 한 frame보다 짧아지면 완전히 해결될 수 있는 문제이지만 세번째 현상은 해결되지 않는다. blurred moving edges 현상은 응답시간이 개선되면 나아지기는 하겠지만, hold-type display의 약점 때문에 나타나는 문제점이므로, CRT 수준까지 개선될 수 없다고 본다. 그러나 LCD의 응답시간이 1/2 frame보다 빨라진다면 간단한 수학적 모델을 사용하여 해결 할 수 있다. LCD panel의 응답 커브에서 rising과 falling이 거의 동일하다고 생각해보자. 만약 LCD의 주어진 signal이 한 frame안에 응답한다면 기대되는 빛의 투과도는 [그림 3(a)]와 같이 나타날 것이다. 그러나 만약 display의 응답시간이 한 frame보다 길어진다면 그 때 빛의 투과도는 [그림 3(b)]에 나타난 것과 같이 단지 약 60% 정도에 이를 것이다. 다시 말해서, 'dynamic' contrast ratio(DCR)가 감소하게 된다.

"stroboscopic motion"은 점프하는 것이나 파도가 치는 것과 같은 연속 동작을 마치 stroboscope로 보는 것과 같



[그림 3] DCR 현상이 나타날 때의 투과도 곡선



[그림 4] stroboscopic motion 현상이 나타날 때의 투과도 곡선

이 나타나는 현상이다. 이러한 현상은 응답시간이 감소하여 DCR 현상이 나타나는 것보다 우리 눈에 더욱더 민감하게 나타난다([그림 4]).

응답시간을 한 frame 이하로 낮추어 주는 데 사용되는 방법으로 CCD와 DCC 방법이 있다. Capacitively-coupled driving(CCD)는 DCR을 보상하기 위하여 pixel에 실제 걸리는 전압(V_p)을 원래 가해줄 전압(V_b) 보상에 필요한 전압(ΔV_p)을 더한 값으로 인가해 주는 방법이다^[14].

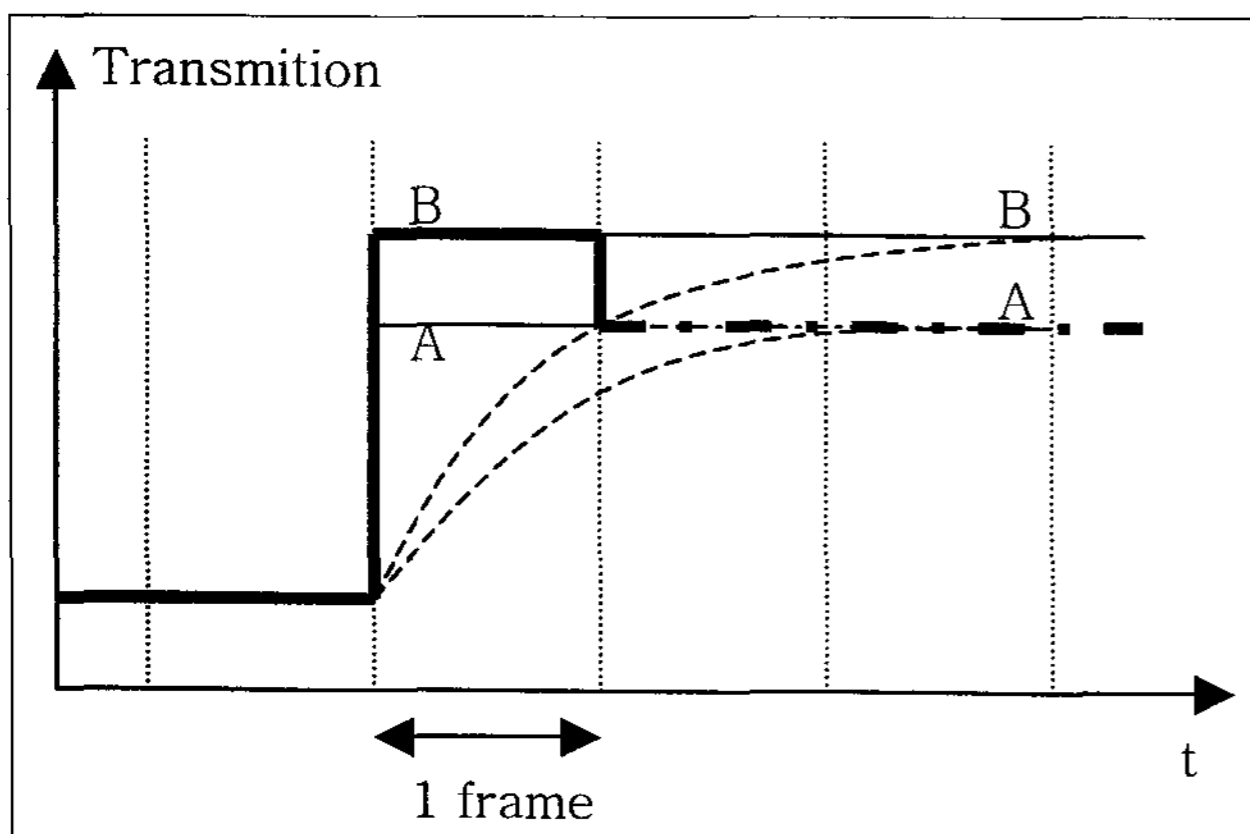
$$V_p = V_b + \Delta V_p \quad (11)$$

이와 비슷하게 DCC 방법은 [그림 5]에 나타낸 것과 같다^[15].

A의 전압을 인가해 주면 dynamic contrast ratio가 감소한 A의 곡선이 나타나게 되기 때문에 B정도의 조금 더 높은 전압을 인가하여 기울기 자체를 변화시켜 contrast ratio를 보상한다. 이것은 손실된 만큼에 대한 전압을 보상해 주는 것이 아니라 투과도 곡선의 기울기 자체를 변화시켜 손실된 contrast도 보상할 수 있을 뿐만 아니라 원래 전압 A를 가했을 때 나타나는 최고 투과도가 더 빨리 나타나 1 frame 안에 반응할 수 있도록 해준다.

오늘날 영상 부분의 발전으로 1/30초의 빠른 화면 변화가 요구된다. 따라서 LCD에서는 최소 1/60초의 응답속도를 요구한다. 느메틱 액정은 낮은 구동 전압, analog gray scales, 간단한 분자 배향, 물질 선택의 다양성, 넓은 cell gap 허용범위 등의 display의 실효에 알맞은 많은 이점을 갖고 있어 앞으로의 시장 전망이 기대된다.

그러나 향후 개선되어야 하는 2가지 주된 단점으로 응답 속도와 시야각이 남아 있다. 이 중 우리는 느메틱 액정 디스플레이의 응답 시간의 개선에 초점을 두고 위에서 논의하였다.



[그림 5] DCC 방법에서 전압 인가와 응답시간의

서로 다른 gray levels 간의 switching은 TFT-LCD의 실제 응답 속도를 결정한다. 응답 속도는 액정의 구조와 물성, 액정간의 상호 작용에 의한 회전 점도(γ_1), 탄성 상수(K), 문턱 전압(V_{th}), bias 전압(V_b), 공급 전압(V) 등의 영향을 받는다. 이러한 특성값들은 τ_{on} , τ_{off} 에 관련하여 서로 상관 관계를 갖기 때문에, 고속 응답 액정을 개발하기 위해 모든 요소들을 함께 개선 시키는 것은 불가능하므로 최적화 조건을 찾아내는 것이 무엇보다 중요하고 어려운 것이다. 예를 들면, 공급 전압이 높아지는 문제점을 감안하여 회전점도를 낮추거나 탄성 상수를 크게 하는 등의 방식으로 응답 속도를 개선할 수 있다.

DCR, stroboscope motion, 혼탁 현상들은 액정재료의 응답속도가 빠르지 않기 때문에 나타나는 결과이다. 이러한 현상들은 inter-gray 응답시간이 한 frame 이하로 떨어질 때 사라진다. 움직임의 가장자리가 흐려지는 것은 응답시간이 1/2 프레임으로 낮아지면 해결될 수 있다. 그러므로, 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 새로운 고속응답액정 재료와 구동 방식의 개발은 고속 응답 액정 display를 실현 시키는데 매우 중요한 문제이다.

참 고 문 헌

- [1] N. J. Mottram and S. J. Elston, "A bilayer model of the double hysteresis loop in antiferroelectric liquid crystals" *liquid crystal*, 26, No. 11, pp.1625-1636, 1999
- [2] T. Ishinabe, T. Uchida, M. Suzuki, and K. Saito, "A bright full color reflective LCD using optically compensated bend cell (R-OCB cell) with Fast Response" Euro Display '96, pp.119-122, Birmingham, 1996.
- [3] B. H. Kim and Y. B. Kim, "Synthesis and physical properties of fluoro-isothiocyanated liquid crystal compounds" *Commun. SID 00*, pp.12, 2000
- [4] Peter J. Collings and Michael Hird "Introduction to Liquid Crystals Chemistry and Physics" Taylor & Francis 1798, pp.46-77
- [5] W. Maier, and G. Z. Meier, "A simple theory of the dielectric characteristics of homogeneous oriented crystalline liquid crystal phases of the nematic type" *Z. Naturforsch*, 16a, pp.262, 1961
- [6] Shin-Tson Wu, Deng-Ke Yang, *Reflective liquid crystal displays*, pp.275, John Wiley & Sons Ltd, 2001
- [7] E. Jakeman and E. P. Raynes, "Electro-optic response time in liquid crystal", *Phys. Lett.*, A39, PP.65~75, 1972.
- [8] A. Raviol, W. Stille, G. Strobl, *J. Chem. Phys.*, 103, pp.3788-3794, 1995
- [9] K. Tarumi, M. Heckmeier, M. Klasen, "Advanced

- liquid crystal materials for TFT Monitor and TV application" SID 2001 Digest., pp.950-953, Sanjose, 2001
- [10] M. Schadt, R. Buhecker and K. Muller, "Material properties, structural relations with molecular ensembles and electro-optical performance of new bicyclohexane liquid crystal displays", *Liquid-Crystals*, 5, pp.293-299, 1989
- [11] C. H. Gooch and H. A. Tarry, "The Optical Properties of Twisted Nematic Liquid Crystal Structure with Twist Angles $\leq 90^\circ$ ", *J. Phys. D8*, pp.1575-1581, 1975
- [12] H. Takanashi, K. Takahashi, T. Isozaki, S. Kurogoshi, and S. Hashimoto, *SID Tech. Digest* 31, 992(2000)
- [13] S. T. Wu and C. S. Wu, High speed liquid crystal modulators using transient nematic effect, 699 (1997)
- [14] S. Nagata et al., *SID 89 Digest*, 242(1989).
- [15] B. W. Lee, C. Park, S. Kim, M. Jeon, J. Heo, D. Sagong, J. Kim, J. Souk, "Reducing Gray-Level Response to One Frame: Dynamic Capacitance Compensation" SID 2001 Digest., pp.1260-1263, Sanjose, 2001