

LCD 시인성 향상 기술 개발 동향

송 장 근 (성균관대학교 전자전기공학과)

I. 서 론

초기 액정표시장치(LCD)는 얇고 가벼운 장점으로 인해 다양한 포터블 응용제품에 적용되었으나, 화질 면에서는 다른 디스플레이 장치에 비해 열세인 특성을 보였다. 하지만 LCD 기술의 비약적인 발전의 결과로 현재의 LCD 제품들은 그 화질 면에서도 어떤 상용의 디스플레이 기술과 비교하여도 뒤지지 않는 우수한 화질 특성을 보이고 있다.^[1~2] LCD 화질을 크게 세 가지 측면으로 분류할 수 있는데, 각각의 항목별로 화질 개선 기술이 발전되어 왔다. 첫째, 정면 정지 영상 화질, 둘째, 동영상 화질, 그리고 셋째, 측면 정지 영상 화질이 그것이다.

정면 정지 영상 화질 관점에서 LCD는 매우 우수한 장점들을 가지고 있다. 정지 영상의 화질은 해상도, 흑백 대비비, 색재현성 및 휘도 등 다양한 특성들의 영향을 받는다. LCD는 안정되고 수준 높은 고해상도 제조 기술이 확보되어 있고, phosphor를 사용하지 않는 LCD는 액정 모드에 따라 차이는 있지만 일상의 밝은 환경에서 매우 높은 흑백 대비비 특성을 보인다. 자발광이 아닌 LCD의 색 특성은 백라이트(BLU: back-light unit)에서 나오는 빛의 분광특성과 color filter 층의 흡수 분광특성에 의해 결정되므로 요구되는 제품의 특성에 맞게 BLU에 사용되는 광원과 color filter를 조절하여 색재현능력을 상당히 자유롭게 조절할 수 있다. 특히 color LED BLU와 조합된 LCD는 현 디스플레이 기술 중 최고 색 표현 능력인 NTSC기준 150% 이상의 색재현성을 나타낸다. LED 광

원의 광효율의 급속한 향상과 더불어 휘도 면에서도 상당한 자유도를 가진다.^[1~2] 두 번째 화질 특성인 동영상 화질 특성 관련하여서는 ‘impulsive 구동 방식’과 ‘240Hz 고속 frame 구동 방식’ 적용으로 CRT보다 우수한 동영상 화질 특성을 이미 확보하였다. 세 번째 화질 특성인 측면 영상 화질 특성 면에서도 지난 10년간 비약적 발전을 하여 왔으나, LCD가 가지는 근본적인 한계로 액정 모드에 따라 여전히 약점으로 작용하고 있다. 특히 VA 액정 모드를 적용하는 제품들은 측면 화질 문제가 중요한 기술적 과제로 남아 여전히 집중적인 연구가 진행 되고 있다.^[1~4]

액정층의 광학적 이방성을 이용하는 LCD는 그 원리상 정면과 측면에서 화질의 차이를 유발할 수밖에 없는 특성을 가진다. 측면의 시야각 화질 특성 측정과 정량화를 위하여 초기에는 흑백 대비비 10 기준 각도를 측정하는 ‘시야각’ 측정 방법과, 계조에 따른 휘도 반전이 발생하는 각도를 측정하는 ‘계조반전’ 측정방법으로 정량화하였으나, 광시야각 액정 모드의 개발로 기존의 측정법은 그 한계를 보이게 되었다. IPS 모드와 PVA(MVA) 모드로 대변되는 광시야각 모드 제품들은 ‘시야각’과 ‘계조반전’ 특성이 완벽함에도 불구하고 측면 화질 저하 문제가 여전히 남아 있다. 특히 VA 계열 액정 모드의 측면 화질 저하 문제는 고객들과 디바이스 개발자들에 의해 ‘color wash-out’, ‘grayish’, ‘시인성 저하’ 등으로 지칭되며 왔으며, 기술적 용어라고 할 수는 없지만 소위 ‘시인성 저하’ 문제로 통칭되어 불리게 되었다.^[3~6]

측면 시인성 저하는 계조곡선 왜곡에 의한 화질저하

현상(image quality degradation by tone rendering curve distortion)을 지칭하는 것으로 기존의 ‘시야각’ 특성과 ‘계조반전’ 특성을 포함하는 포괄적인 측면 화질 평가 기준이라고 할 수 있다. 기존의 ‘시야각’ 특성이 black과 white의 두 가지 계조의 데이터만을 다루고, ‘계조반전’ 특성이 반전되는 계조만을 다루는 반면, 측면 시인성 특성은 계조곡선이 정상적인 곡선에서 벗어난 모든 왜곡 현상을 다룬다는 측면에서 가장 포괄적인 시야각 특성을 다루는 개념이라고 할 수 있다.^[3,7]

최근 OLED 디스플레이 기술의 발전으로 모바일 제품 뿐만 아니라 대형 TV 제품에서도 OLED가 새로운 고급 디스플레이 기술로 부상할 것으로 예측되고 있다. 이와 더불어 앞에서 언급한 세 가지 화질 요소 이외에 OLED 기술이 매우 우수한 특성을 보이는 것으로 알려진 ‘3차원 영상 화질’이 또 다른 주요 화질 항목으로 대두되고 있다. 따라서 LCD는 과거보다 더 엄격하고 혹독한 화질 경쟁을 맞이하게 될 가능성이 높다고 할 수 있다.

본 기고문을 통하여 3차원 영상 화질을 제외한 기존의 화질 요소 중 LCD 기술이 OLED 기술 대비 가장 경쟁 열세 항목이 될 수 있는 ‘측면 시인성 저하’에 대하여 정리하고 개선 방법에 대하여 알아보하고자 한다.

II. 시인성 저하 원인 및 분석

1. LCD에서 계조곡선 왜곡 원인

액정층의 광학적 이방성을 이용하는 LCD에서, 계조의 구분은 빛이 액정층을 지날 때 빛이 느끼는 광학적 이방성의 크기를 조절함으로써 얻어진다. 두 편광판 사이에 있는 액정층의 광학지연효과(optical retardation)의 크기를 유효 굴절을 이방성(Δn_{eff})과 경로의 길이(d)의 곱으로 표현할 수 있고, 투과되는 빛의 세기는 다음과 같은 간단한 수식으로 표시 할 수 있다.

$$I = I_0 \sin^2(2\psi) \sin^2\left(\frac{\pi \Delta n_{eff} d}{\lambda}\right) \quad (1)$$

이때, ψ 는 편광자의 축을 기준으로 액정층의 주축을 기관에 사영시킨 축의 방위각 각도이고, λ 는 빛의 파장을 나

타낸다. IPS 모드는 ψ 를 조절하여 계조를 표현하는 반면, VA 모드는 Δn_{eff} 를 조절하여 계조를 표현한다. 계조는 식(1)으로 표현되는 액정층의 변화에 따른 휘도 값에 의해 결정이 된다. IPS 모드는 인가전압에 따라 달라지는 ψ 의 크기에 의해 휘도가 조절된다. 이때, ψ 는 기관에 사영시킨 방위각이므로, 시야각에 따라 관찰되는 ψ 의 변화량은 거의 유사하고 따라서 전압에 따른 투과율을 나타내는 V-T곡선도 디스플레이의 정면과 측면에서 매우 유사한 모양을 나타낸다. 이 때문에 IPS 모드는 시야각에 따른 계조곡선의 변화가 매우 작다.

반면 VA 모드에서는 전압을 인가함에 따라 액정 director의 극각이 달라지면서 Δn_{eff} 이 조절된다. 이때, Δn_{eff} 는 액정층의 유효 굴절을 이방성으로 빛의 경로 혹은 액정을 바라보는 각도에 따라 크게 달라진다. 특히 액정 director의 극각이 변할 때 Δn_{eff} 의 변화량은 시야각 방향에 따라 크게 달라지는데, 액정 director 방향과 빛의 경로가 이루는 각도가 θ 일 때 유효 굴절을 이방성은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

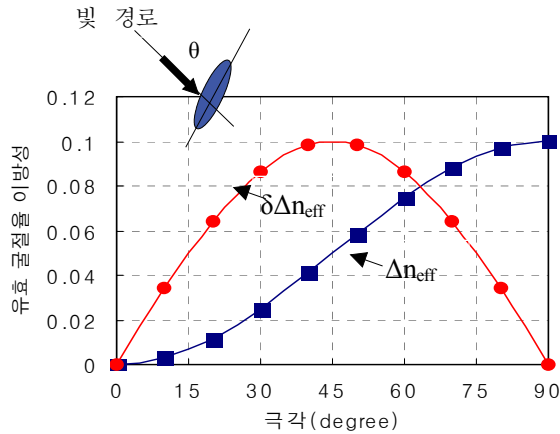
$$\Delta n_{eff} = 1 / \left[\left(\frac{\sin\theta}{n_e} \right)^2 + \left(\frac{\cos\theta}{n_o} \right)^2 \right]^{1/2} - n_o \quad (2)$$

$$\approx (n_e - n_o) \sin^2\theta = \Delta n \sin^2\theta$$

따라서 전압에 의해 액정 director의 극각이 바뀔 때 유효 굴절을 이방성의 크기의 변화량은 다음과 같이 표현된다.

$$\delta \Delta n_{eff} = 2 \Delta n \sin\theta \cos\theta \delta\theta \quad (3)$$

[그림 1]은 수식 (2)와 (3)을 그래프로 나타내었다. [그림 1]에 나타나는 바와 같이 액정의 director의 극각이 미소 각도만큼 변할 때 유효굴절을 이방성 크기의 변화는 관찰 각도, 즉 빛의 경로 각도에 따라 큰 차이를 보인다. 따라서 V-T곡선의 모양도 시야각에 따라 큰 차이를 보이게 된다. VA모드가 4분할구조를 도입하여 각 방향별 차이를 일부 개선하였지만 각도에 따른 유효 광학적 이방성 변화량 차이를 모두 보상하는 것은 불가능하다. 따라서 VA 계열 액정모드는 근본적으로 시야각에 따라 계조곡



[그림 1] 빛의 경로를 기준으로 액정 director 각도에 따른 유효 광학적 이방성 및 액정 director 미소 변화에 따른 광학적 이방성의 변화량

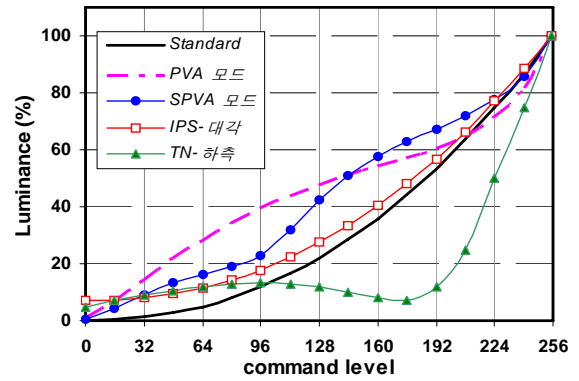
선이 달라지는 현상을 가지고 있다고 할 수 있다.

TN 모드에서는 액정 director의 꼬임 때문에 투과되는 빛의 휘도를 나타내는 수식은 수식(1)과는 다른 형태로 나타나지만, 전압에 따라 액정의 극각이 변하기 때문에 VA 모드와 유사한 시야각특성을 보인다. VA 모드가 다중 도메인을 형성하여 계조곡선 왜곡을 상당부분 보상한 반면 TN 모드는 원래의 계조 왜곡이 그대로 나타나기 때문에 상측과 하측의 시야각에서 큰 계조곡선 왜곡이 나타난다.

앞에서 살펴 본 바와 같이 IPS는 액정의 유효 광학적 이방성의 불균일한 변화에 의한 계조곡선 왜곡은 미미하다. 반면, 보상필름을 적용하지 않은 IPS 모드는 대각 시야각 방향으로 black 상태에서 빛샘이 발생하여 어두운 계조에서의 왜곡이 발생할 수 있다. 보상필름을 사용하는 IPS 모드는 측면 시인성 관점에서 가장 우수한 특성을 보이는 LCD 모드라고 할 수 있다.

2. 계조 왜곡에 의한 화질 저하

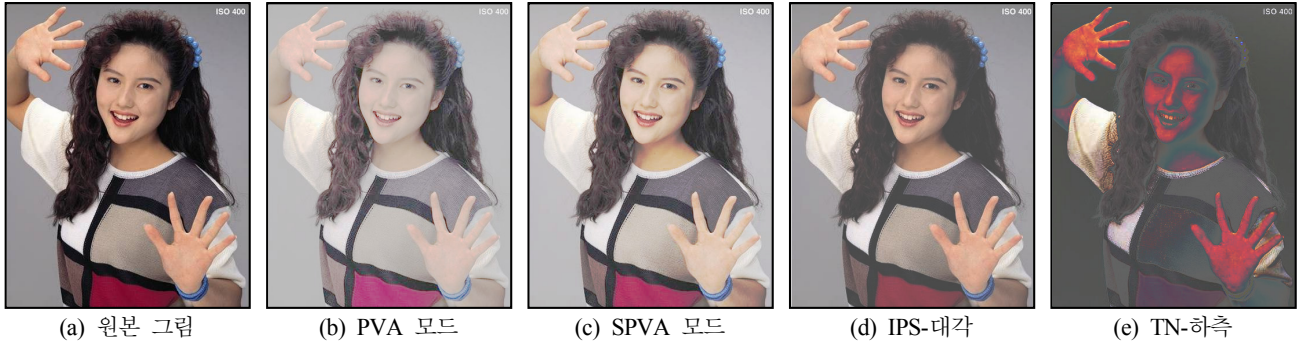
앞 절에서 설명한 계조왜곡에 의해 실제 화질에서의 저하는 어떻게 나타나는지 알아보자. [그림 2]는 각 액정 모드별로 일반적으로 나타날 수 있는 계조곡선의 형태를 보여주고 있다. 다만, 계조곡선에 영향을 주는 변수가 매우 다양하게 존재하기 때문에 제품별로 계조곡선의 왜곡



[그림 2] 액정 모드별 계조곡선 왜곡 형태(위 결과는 각각 다른 조건 다른 방법으로 얻어진 결과로, 예시를 위한 데이터이고 모드 간 성능비교를 위한 데이터로 활용될 수 없음.)

정도는 큰 차이가 나타날 수 있으므로, [그림 2]의 계조곡선이 각 모드를 대표하는 절대적 계조곡선이라고 할 수는 없다. PVA(MVA) 모드는 정면대비 좌우 측면의 계조곡선은 저~중계조에서 크게 왜곡되는 특성을 보인다. 반면 대각측 계조왜곡 모양은 이와는 다소 달리 전계조에 걸쳐 왜곡되는 형태로 나타난다. SPVA 모드에서는 중간계조에서 PVA 모드보다 왜곡된 양이 줄어들면서 그 곡선의 형태가 두 번 굴곡된 형태로 나타난다. IPS의 대각 측면에서는 저계조 빛샘에 의한 계조곡선 왜곡이 나타난다. TN 모드는 하측 시야각에서 계조곡선 반전이 나타난다.

[그림 2]의 왜곡된 계조곡선에 의해 발생하는 화질의 저하를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 예측할 수 있다. 그 결과가 [그림 3]에 도식되어 있다. 각 왜곡된 계조곡선의 모양에 따라 화질이 저하되는 형태도 다르게 나타난다. [그림 3]-(b)와 (c)에 나타나는 바와 같이 PVA 및 SPVA 모드에서는 색의 채도가 옅어지고 명도가 밝아지는 형태의 화질 저하가 발생하고, IPS에서는 어두운 부분의 대비가 약해져서 머리카락의 구분이 불명확해 지고 전체적인 채도가 옅어진다. TN모드는 가장 심각한 화질 저하를 보여 주고 있으며 명도저하 및 색이동이 심각하게 나타난다. 이와 같이 계조곡선 왜곡에 의한 화질 저하 현상은 그 원리가 같다고 하더라도 결과적으로 나타나는 화질 왜곡 형태는 매우 다양하고 복잡하여 그것들의 정량화하는 것 또한 단순하지 않다.^[7]



[그림 3] [그림 2]의 왜곡된 계조곡선에 의해 발생하는 화질의 저하

3. 시인성 저하 측정 및 정량화 방법

계조곡선 왜곡에 의한 시인성 저하는 두 가지 접근 방법으로 평가 및 정량화 될 수 있다. 그 중 하나는 왜곡된 계조곡선에 의해 표시되는 화상의 질(質)을 직접 측정하는 방법이고, 다른 하나는 왜곡된 계조곡선을 표준 계조곡선과 비교하여 계조곡선의 왜곡된 양을 평가하는 방법이다.

화면의 질적 저하 자체를 직접 평가하는 방법은 비디오 신호 처리와 관련된 화질평가 방법과 유사하다고 할 수 있다. 따라서 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 방법을 이용하여 원본 이미지와 왜곡된 이미지의 화상 data 차이를 분석하거나, 혹은 두 이미지의 색차(color difference)를 계산하는 방법으로 측정이 될 수 있다.^[7-8] 이때 유의할 점은 평가 image의 선택이라고 할 수 있다. 8 bit image가 가질 수 있는 색의 수는 16만 가지 이상이라도 이 중에서 어떤 색이 포함된 image를 선택하여 평가를 해야 할지의 결정이 필요하다. [그림 3]에 나타나는 바와 같이 왜곡된 계조곡선의 모양에 따라 색변화가 주로 발생하는 색부위가 달라지므로 평가의 기준색이 달라지면 결과가 달라질 수 있으므로 주의가 필요하다. 또한 색차를 이용하여 화질평가를 수행할 때 주의가 필요한 점은 색차 계산의 기준이 되는 saturation 휘도의 결정이다. 색차는 CIE 1984 기준 색차 함수를 이용하여 계산을 하는 것이 일반적이데, saturation 휘도를 어떻게 잡느냐에 따라 그 결과는 달라질 수 있다. 특히, 정면과 측면의 white 휘도가 차이가 나므로 각각의 색차 계산에서 동일한 기준의 saturation 휘도를 기준으로 삼을지 각각의 white 휘도를 기준 휘도로 삼을지의 결정이 필요한데, 두 image를 동시

에 옆에 두고 비교하는 경우가 아니라면 각각의 white 휘도를 기준 휘도로 보는 것이 바람직하다.^[9]

또 다른 평가의 접근 방법은 계조곡선 자체의 왜곡된 정도를 평가하는 방법이다. 이 방법의 장점은 화질 저하의 원인인 계조곡선을 분석하기 때문에 디바이스 엔지니어가 화질개선의 과정에서 화질 저하의 원인을 파악하고 개선 기술의 개발 방향을 결정하는데 유용하게 사용할 수 있다. 또한, 평가 image 없이 측정된 계조곡선만을 가지고 판단을 할 수 있으므로 빠르고 쉽게 디스플레이의 특성을 평가할 수 있고, 평가 image의 잘못된 선택에서 올 수 있는 오류도 방지할 수 있다. 하지만 계조곡선의 왜곡된 모양과 화질의 직접적인 상관관계를 찾기 어렵고 아직 이론적으로 정립되지 못한 면이 있어 해석의 불명확함이 존재할 수 있다.^[7]

계조곡선 자체를 평가하는 방법으로 TRDI(tone rendering distortion index, 혹은 GDI(gamma curve distortion index)라고 불린다.)가 제안되었고 사용되고 있다. 그 방법은 계조간 명도(lightness)차이를 원본 계조곡선과 왜곡된 계조곡선사이에 비교함으로써 왜곡량을 정량화 하는 방법이다. TRDI는 다음과 같이 정의를 한다. 정면과 측면에서 i 와 j 계조 사이의 명도(lightness)차이를 각각

$\Delta L_{on}^*(i,j)$ 와 $\Delta L_{off}^*(i,j)$ 라고 할 때,

$\Delta L_{on}^*(i,j) \geq \Delta L_{off}^*(i,j)$ 일 때,

$$d^-(i,j) = \frac{\Delta L_{on}^*(i,j) - \Delta L_{off}^*(i,j)}{\Delta L_{on}^*(i,j)}, \quad (4)$$

$\Delta L_{on(i,j)}^* < \Delta L_{off(i,j)}^*$ 일 때,

$$d^+(i,j) = \frac{\Delta L_{off(i,j)}^* - \Delta L_{on(i,j)}^*}{\Delta L_{off(i,j)}^*}, \quad (5)$$

와 같이 정의하고, TRDI는 다음과 같이 계산된다.

$$D = D^- + D^+ \\ = \langle d^- \rangle_{i,j} + \langle d^+ \rangle_{i,j} \quad (6)$$

이때, D^- 는 계조간 lightness 차이가 감소하는 화질 저하이고 D^+ 는 증가하는 화질 저하를 의미한다. 다시 말해서 화질의 채도가 감소하거나 대비비 및 선명도가 감소하는 화질 저하는 D^- 로 계산되고, 채도나 대비비가 과장되게 왜곡되는 화질 저하는 D^+ 로 계산이 된다. 두 화질 왜곡의 합을 TRDI로 나타낸다. TRDI와 색차 모두 화질의 왜곡된 양을 나타내므로 작은 수치가 좋은 화질을 의미한다. 색차와 TRDI로 평가한 예시가 [표 1]에 나타나 있다.^[7] 일반적으로 두 방법에 의한 평가 결과가 대부분 일치하지만, 왜곡 형태가 매우 다르거나 왜곡 정도가 비슷한 경우 서로 상이한 결과가 나오기도 한다. 두 방법이 다루는 화질 저하의 개념이 조금씩 다르기 때문이다.

[표 1] [그림 3]의 그림들의 화질 평가

(아래 결과는 평가 예시를 위한 데이터 이고, 모드 간 성능 비교를 위한 평가 결과가 아님.)

	색차	TRDI		
		D^-	D^+	D
(a) PVA모드	21.82	0.39	0.05	0.44
(b) SPVA모드	14.80	0.25	0.04	0.29
(c) IPS-대각	10.97	0.27	0	0.27
(d) TN-하측	45.51	0.51	0.09	0.61

Ⅲ. 시인성 개선 기술

시인성 특성은 기존의 시야각특성과 계조반전 특성을 포함하고 있으므로, 기존의 시야각 향상을 위해 개발되었

던 기술들이 시인성을 향상시키는데 유효하게 작용할 수 있다. III장에서는 시인성 개선을 위해 사용되는 기술들을 정리한다.

1. 보상필름

일반적으로 보상필름은 모든 시야각 방향에서 균일한 black 특성을 얻기 위해 사용된다. 따라서 보상필름의 적용은 주로 저계조 영역의 계조곡선 왜곡을 개선하는데 유용하게 사용된다. 대표적인 예로 IPS 모드에서 시야각 개선용 보상필름을 사용하면 대각 방향을 포함하여 전방향 매우 우수한 시인성 특성을 얻을 수 있다.^[1-2]

TN에 사용되는 WV film 과 VA 모드에 사용되는 biaxial 보상필름도 각 모드의 저계조 계조곡선 왜곡을 감소시키는데 기여를 하고 있다.^[10]

2. 액정 배열 방향 분할에 의한 다중 도메인 구조

VA 모드에 적용되는 4 분할 도메인 구조는 액정이 높은 방향에 따라 현저히 다른 경향을 가지는 계조곡선 왜곡을 서로 평균화시킴으로써 계조곡선 왜곡을 최소화시키는 역할을 한다. VA 모드에 4 분할 구조를 적용하지 않을 경우에는 TN모드의 하측과 상측에서와 같이 심각한 수준의 계조곡선 왜곡이 발생하지만 4 분할 구조를 적용함으로써 계조곡선 왜곡의 수준이 상당히 감소된다. VA 모드는 ITO 슬릿이나 돌기 혹은 광반응성 메조젠 (Reactive Mesogen)을 이용한 선경사각 형성 등의 다양한 방법으로 다중도메인을 형성시킬 수 있다. 이는 초기 배향상태가 기판에 완전 수직인 VA 모드의 특징 때문에 작은 이방성효과를 부여하는 것만으로도 쉽게 액정 director 방향을 조절할 수 있기 때문이다.^[3-5,11]

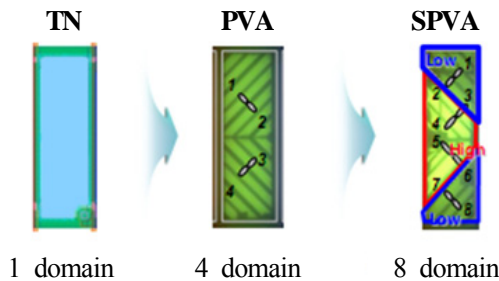
다중 도메인 구조는 TN모드에서도 시도되기도 했다. VA 모드와 달리 러빙 방법으로 액정 배열 방향이 배향막에 의한 강한 방위각 방향 anchoring 힘에 잡힌 구조를 가지는 TN 모드는 상대적으로 다중 도메인 형성이 힘들다. 복수의 러빙 방법이나 광배향 방법을 이용한 다중도메인 TN 방법이 시도되기도 했다. 하지만 그 공정한 어려움으로 제품에 적용되지는 못했다.

IPS에서는 전극모양을 직선 형태에서 chevron 형태로 만들어 주는 것만으로도 두 개의 도메인 분할을 할 수 있

다. IPS에서는 다른 액정 모드 대비 측면의 계조곡선 왜곡 현상은 매우 적지만 방향에 따라 RGB 색 파장에 따른 계조곡선 왜곡이 다르게 나타나 측면에서 색상의 변화가 발생하게 된다. 즉 한쪽 측면에서는 붉은 색 쪽으로 색변이가 관찰되고 다른 시야각 측면에서는 파란 색 쪽으로 색변이가 관찰이 된다. 두 개의 도메인 분할을 적용한 SIPS 구조에서는 이러한 측면 색변이 현상이 나타나지 않거나 매우 약화된다.^[12]

3. 인가전압 분할에 의한 다중 도메인 구조

앞의 두 방법은 계조곡선 왜곡에 의한 화질 저하 문제가 이슈화되기 이전부터 LCD의 시야각 개선을 위해 개발되었던 기술들이었다. 반면에 인가전압 분할에 의한 다중 도메인 구조는 본격적으로 시인성 문제 자체를 개선하기 위해 개발된 기술이라고 할 수 있다. 이 기술이 최초로 적용된 액정모드는 SPVA 모드이다. SPVA 모드는 화소를 두 개의 소화소로 분할하고 각 소화소에 다른 전압을 인가함으로써 액정 director의 평균 극각이 각각 다르게 배열하도록 함으로써 앞 절에 설명한 배열에 의한 다중도메인 구조와 합쳐져서 8개의 다중 도메인이 형성되도록 만든 액정 모드이다. [그림 4]에 도식되어 있는 바와 같이 PVA기술에서는 각 화소가 액정의 배열방향이 다른 4 영역 분할 구조를 가진 한 개의 소화소로 이루어져 있는 반면, SPVA의 화소는 PVA기술이 적용된 작은 소화소 두 개로 이루어져 모두 8개의 영역 분할이 된 구조를 가진다. [표 1]에 나타난 바와 같이 SPVA는 PVA 모드와 비교했을 때 색차와 TRDI 모두에서 훨씬 양호한 시인성 특성을 보이고 있다.^[3-6]



[그림 4] PVA/SPVA의 도메인 분할

최근에는 화소를 3개의 소화소로 분할하여 시인성을 더욱 개선시킨 3분할 SPVA 구조가 제안되고 시도되고 있다. 3개의 소화소를 적용한 구조는 VA 모드로 달성할 수 있는 최고의 시인성인 TRDI기준 0.13까지 개선이 가능하다.^[13]

4. 시분할에 의한 시인성 개선 방법

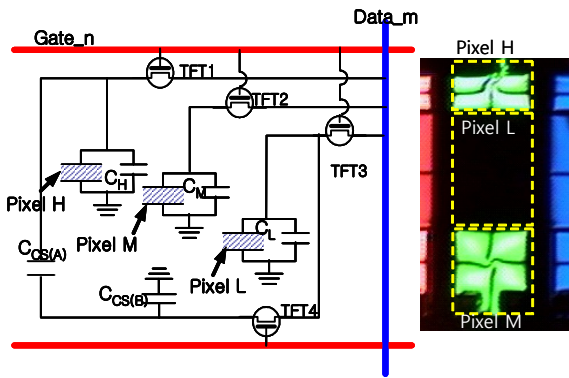
VA 모드의 측면 시인성 문제 개선을 위해 초창기부터 연구되었던 또 다른 방법은 시분할에 의한 시인성 개선 방법이다. 앞 절의 인가전압 분할에 의한 다중도메인 구조는 공간분할을 통하여 액정 director의 극각이 다른 두 도메인을 형성시켜준 구조인 반면, 이 절에서 설명하고자 하는 시분할 구조는 액정 director의 극각이 다른 두 영역을 시간적으로 배치함으로써 화소를 분할하지 않고도 시인성 개선 효과를 얻고자 시도되었던 기술이다.

원리적으로는 화소분할에 의한 공간적인 방법과 동등한 수준의 시인성을 얻을 수 있을 것으로 예상되었지만 액정의 응답속도가 충분히 빠르지 않아 시분할 효과에 의한 시인성 개선 효과가 충분하지 않았던 점과 고속 구동을 위한 구동회로의 원가상승, 그리고 화면의 깜박거림으로 인한 화질상의 문제 등으로 인해 실제 제품에는 적용되지 못했던 기술이었다. 하지만, 최근 고속 응답특성을 보이는 액정재료 기술의 발달과 고속 프레임주파수 구동이 가능한 구동기술의 발달로 다시 개발이 시도되고 있는 기술이기도 하다.

5. 확산 필름과 직진성 백라이트(collimated BLU)

앞에서 시도되었던 공간분할 혹은 시분할에 의한 시인성개선 방법과 원리적으로 별개의 접근방법도 여러 차례 시도되었다. 그 대표적인 예로 직진성 백라이트(collimated BLU)와 디스플레이 표면에 부착된 확산필름 구조를 조합하여 우수한 측면 시인성을 나타내는 표면 확산형 기술이 시도 되었다.

측면의 화질 특성이 좋지 않은 LCD라고 하더라도 표면에 광산란 film을 부착하면 정면으로 나온 빛과 측면으로 나온 빛들이 산란을 하면서 정면 측면 모두 우수한 시인성을 가질 수 있다. 하지만 산란 film층과 액정층 사이



[그림 5] 3분할구조 및 현미경사진 [13]

에는 유리기관과 편광판이 있으므로 거리가 약 1 mm 정도 떨어져 있고 이 거리는 화소의 폭인 50 ~ 300 um 와 비교하면 매우 큰 거리라고 할 수 있다. 따라서 액정층을 통과한 빛이 표면산란층에 의해 산란이 되면서 문자나 그림이 흐려지는 현상이 나타날 수밖에 없다.

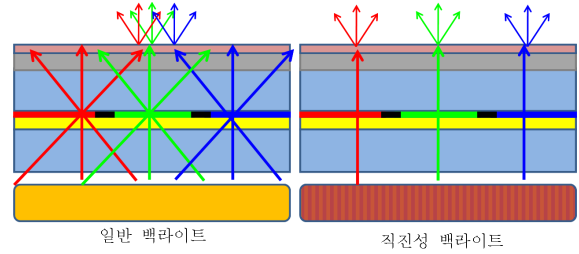
이러한 문자 흐려짐 현상을 해결하기 위하여 직진성 백라이트를 적용할 수 있다. [그림 5]에 도식된 단면도와 같이 일반 백라이트에서는 이웃 화소를 통과하여 측면으로 입사된 빛이 자기 화소를 통과한 빛과 산란층에서 같이 산란이 됨으로써 관찰자가 관찰할 때 같은 위치에 다른 화소의 정보가 섞여서 보임으로써 흐려지는 현상이 발현된다. 반면에 직진성 백라이트를 적용한 경우에는 측면으로 입사하는 광이 없기 때문에 이웃 화소의 정보가 섞이지 않는다. 따라서 이미지의 흐려짐 현상이 없이 측면 시인성을 거의 완벽하게 해결 할 수 있다.

이 방법이 우수한 시인성을 보장할 수 있지만, 두 가지 문제점을 가지고 있다. 직진성 백라이트의 제조가 난해하여 제조 가격이 매우 비싸고 백라이트의 효율이 낮고 산란층에서 소실되거나 측면으로 산란되는 빛 때문에 정면 휘도가 낮은 단점이 있다.

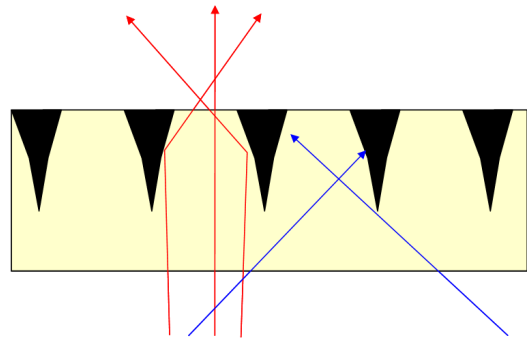
6. 고시인성용 기능성 필름

앞 절의 직진성 백라이트 기술의 어려움을 극복하고자 기존의 일반 백라이트를 사용하면서 기능성 표면 필름을 사용하여 측면 시인성을 개선하고자 하는 노력이 있었다. 그 구조는 간단히 다음과 같이 설명할 수 있다.

[그림 6]에 도식되어 있는 바와 같이 광투과성 필름의



[그림 6] 표면 산란 필름과 직진성 백라이트를 적용한 고시인성 구조



[그림 7] 고시인성용 기능성 필름 단면도. 파란색으로 표시된 빛은 흡수된다

표면에 일정 모양의 홈을 형성하고 그 홈에 필름보다 굴절율이 작고 광흡수성을 가진 물질을 채워서 단면구조가 [그림 6]과 같이 형성이 되도록 만든다. 이와 같은 구조의 필름을 디스플레이 표면에 부착시킬 경우에 패널을 투과한 빛이 정면에서 일정 각도안의 빛들을 바로 투과하거나 광흡수성 물질과의 경계에서 반사를 일으켜 측면으로 광경로가 바뀌어 나가게 된다. 따라서 패널을 정면부근으로 투과한 빛은 여러 각도로 반사되어 확산되어 모든 방향의 시인성을 개선시키는 반면 이웃 화소를 통과한 측면으로 나오는 빛은 광 흡수층에 흡수되어 소실되게 된다.

이러한 광기능성 필름은 직진성 백라이트를 사용하지 않고 측면 고시인성 특성을 확보할 수 있도록 해 주는 장점이 있지만, 광소실에 의한 휘도감소가 발생하고 문자흐려짐이 완벽하게 개선이 되지 않는 한계를 가지고 있다.

IV. 결 론

LCD의 고질적인 문제점 중의 하나인 시야각에 따른

계조곡선의 왜곡 문제는 매우 오래된 문제이지만 액정의 광학적 이방성을 이용하는 LCD의 본질상 액정모드에 따라 완벽히 해결하기 어려운 측면이 있다. 액정이 방위각 방향으로만 회전하는 IPS에서는 측면 시인성 문제가 상대적으로 크지 않은 반면, 액정이 극각 방향으로 회전하는 TN 모드와 VA 모드에서는 심각하게 문제가 되고 있다. 때문에 VA 모드 기술을 사용하는 LCD 제조사에서는 여러 시인성 개선 기술들을 연구하고 발전시켜 왔다. 그 대표적인 기술들은 다양한 공간분할, 시간분할을 이용한 보상 구조의 적용이고, 그리고 그 외에도 산란 필름이나 기능성 필름들을 이용하여 측면 시인성을 개선시켜 왔다.

현재 평판 TV 시장은 광시야각 LCD 기술인 VA 모드와 IPS 모드가 대부분의 시장을 차지하고 있다. 그 배경에는 이러한 여러 시인성 개선 기술들의 발전이 기여한 바가 크다고 할 수 있다. 현 LCD-TV의 측면 시인성 특성은 IPS 뿐만 아니라 VA 기술에서도 상당히 우수하여 문제가 되지 않는 수준이지만, 향후 측면 화질이 우수한 OLED 기술을 적용한 TV 제품이 상용화 된다면 LCD의 현 수준의 시인성 특성으로 부족할 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 따라서 측면 시인성 개선을 위한 기술개발은 지속적으로 이루어져야 한다. 또 다른 측면에서 보자면, 현재 VA 기술에 적용되고 있는 측면 시인성 개선 기술들은 복잡한 구동 회로, 어려운 제조 공정, 그리고 복잡한 패널 구조의 단점들을 감수하고 제품에 적용하고 있는 측면이 크다. 다시 말해서 도메인 분할을 하지 않는다면 투과율과 제조수율 관점에서 훨씬 유리하다. 따라서 현재 적용중인 시인성 개선 기술을 대체할 수 있는 더 나은 기술의 개발 또한 필요하다고 할 수 있다.

참고문헌

[1] K. H. Kim, and J. K. Song, NPG Asia materials, 1(1), 29, (2009).
 [2] C. T. Liu, Journal of display technology, 3 (4), 342 (2007).
 [3] S. S. Kim, B. H. Berkeley, K. H. Kim, and J. K. Song, J. Soc. Inf. Disp., 12(4), 353 (2004).
 [4] R. Lu, S.-T. Wu, and S. H. Lee, Appl. Phys. Lett., 92, 051114, (2008).

[5] J. Ma, Y. C. Yang, Z. Zheng, J. Shi, and W. Cao, Displays, 30, 185, (2009).
 [6] Y.-P. Huang, W.-K. Huang, C.-H. Tsao, J.-J. Su, H.-L. Hou, P.-C. Liao, C.-Y. Chiu, and C.-Y. Lee, IMID '07 Digest, pp.387, (2007).
 [7] J. K. Song, and S. B. Park, Journal of display technology, accepted.
 [8] A. M. Eskicioglu, and P. S. Fisher, IEEE Trans. Commun., 43(12), 2959 (1995).
 [9] W. G. K. Backhaus, R. Kliegl, and J. S. Werner, "Color Vision: perspectives from different disciplines", Walter de Gruyter & Co., Berlin, (1998).
 [10] H. Mori, Journal of display technology, 1(2), 179 (2009).
 [11] K. H. Kim, K. Lee, S. B. Park, J. K. Song, S. Kim, J. H. Souk, Proceedings of Asia Display 98, pp. 383 (1998).
 [12] H. Wakemoto et al., Soc. Inf. Display Int. Symposium Digest of Technical Papers 28, 929 (1997).
 [13] S. B. Park, J. K. Song, Y. Um, and K. H. Kim, IEEE Electron Device Letters, 31(9), 987, (2010).

저자약력

송장근



• 1996년~1998년: 삼성 SDI 기초연구소 연구원
 • 1998년~2010년: 삼성전자 개발실 수석연구원
 • 현재: 성균관대학교 정보통신공학부 조교수
 • 관심분야: 디스플레이 디바이스, 전자재료 등