

기술 특 집

Super-PVA LCD Technology for Wide Viewing Angle Performance

김상수, 박진혁, 김태성(삼성전자 LCD 총괄 개발실)

요 약

평판 디스플레이 장치가 LCD-TV에 사용되는 경우 시야각 특성과 동화상 성능은 보다 중요한 성능이 된다. 전반적인 LCD의 화질 특성은 시야각 특성과 동화상 응답 속도를 제외한 모든 부문에서 경쟁 기술보다 우세하다. 이러한 디스플레이의 시야각 특성을 개선하기 위해 LCD업계에서는 IPS, MVA, PVA 등 시야각 특성이 개선된 광시야각 액정 Mode를 개발하여 사용하고 있지만 여전히 LCD는 자발광 디스플레이에 비하여 측면 시인성 측면에서 열세에 있었다. 최근에는 LCD의 측면 시인성을 획기적으로 개선 할 수 있는 기술이 개발되어 더 이상 LCD-TV 응용에서 문제가 되지 않을 수준이 되고 있다. 본 논문에서는 여러가지 광시야각 액정모드 LCD의 측면 시인성 향상 기술에 대한 개략적인 사항을 알아보고, 그 중 Super PVA 액정 기술의 기본 원리와 동작 방법에 대하여 상세히 기술하기로 한다.

I. 서 론

디지털 TV 시장의 급격한 확대와 더불어 대면적 FPD-TV에 대한 수요가 증가하고 있다. 다른 종류의 FPD-TV에 비해 TFT-LCD는 고해상도, 초경량, 슬림 디자인, 저전력 소모 등의 많은 장점들을 가지고 있다. 하지만 시장에서의 요구에 충분히 부응하기 위해서는 우수한 블랙 특성이 수반되는 고 명암비, 전 계조 영역에서의 균일한 색상, 전 시야각 영역에서의 균일한 색깔과 밝기, 충실한 동영상 구현 등의 화질 측면에서 LCD-TV가 해결해야 할 선결 과제들도 여전히 많이 남아 있다. 2004년도 SID에서 월등한 화질을 제공하기 위한 일련의 기술의 결정체로서 S-PVA 기술이 처음 발표된 바 있는데^[1,2], 최근에는 보다 진보한 S-PVA 기술이 발표되었으며^[3], 이러한 새로운 기술들은 삼성전자의 LCD-TV 제품군인 23", 26", 32", 40", 그리고 46" 등의 HD 해상도(1366×768) 제품들과 32", 40", 46", 그리고 57" 등의 FHD(1920×1080) 해상도 제품들에 적용



(a) 정면 화질

(b) 측면 화질

[그림 1] 측면에서의 화질 왜곡

되고 있다. 이 모든 제품들은 현재 양산 가동 중인 탕정의 7세대 라인에 최적화 되도록 설계 되어 최대의 생산효율로 양산되고 있다. 또한, 최근에 발표된 세계 최대 크기인 82" TFT-LCD에도 이러한 S-PVA 기술이 사용되었다^[4].

LCD가 타 경쟁 기술에 비하여 여러 측면에서 많은 장점들을 가지고 있다는 것은 주지의 사실이지만 이에 못지 않게 단점도 상당수 존재한다. 그 중 대표적인 것이 CRT나 PDP와 같은 자발광 기술에 비하여 상대적으로 측면 시인성이 열세라는 것인데, 여기서 측면 열세라 함은 [그림 1]에서 보는 바와 같이 화면을 보는 방향 또는 각도에 따라서 화상이 달리 보인다는 것이다. 모니터나 노트북 등의 개인용 디스플레이 제품과는 달리 TV는 그 특성상 여러 명이 동시에 시청을 하거나 시청하는 각도가 일정하지 않기 때문에 측면에서 보았을 때도 정면에서와 동일한 화질이 구현되어야 한다. 따라서, LCD의 원조격이라 할 수 있는 TN mode의 경우 시야각이 충분치 못하여 TV로 사용하기에는 적합하지 않으며, 따라서 PVA나 IPS 등 새로운 광 시야각 액정 mode들이 개발되어 발전함으로써 시야각 그 자체는 상당한 개선이 이루어 졌으나 아직도 완벽히 해결되지 않은 미흡함이 여전히 존재하고 있다.

측면에서의 시인성이 향상되기 위해서는 보는 각도에 따라 black level이 변하지 않아야 하고, 또한 색상의 변화가 최소화 되어야 한다. 하지만 보통은 LCD의 구조적인 광학

특성 때문에 시야각이 증가할수록 black level이 상승하게 되며, 색 또한 동일하게 유지되지 않고 변화하게 된다. 물론 광 시야각 기술이 적용된 LCD에서는 TN mode에 비해 이러한 광학 특성의 변화가 최소화 되어 있지만 그래도 완벽하지는 않기 때문에 그 보조 수단으로서 여러 가지 광학 필름을 사용하여 저 계조 특성이나 색 변화를 보상하게 된다. 우리는 이러한 시야각 특성을 객관적인 관점에서 시야각에 따른 인지 밝기의 변화를 수치화하여 정량적으로 나타내기 위해서 다음과 같은 정의를 세우고 사용하고 있다^[1,2].

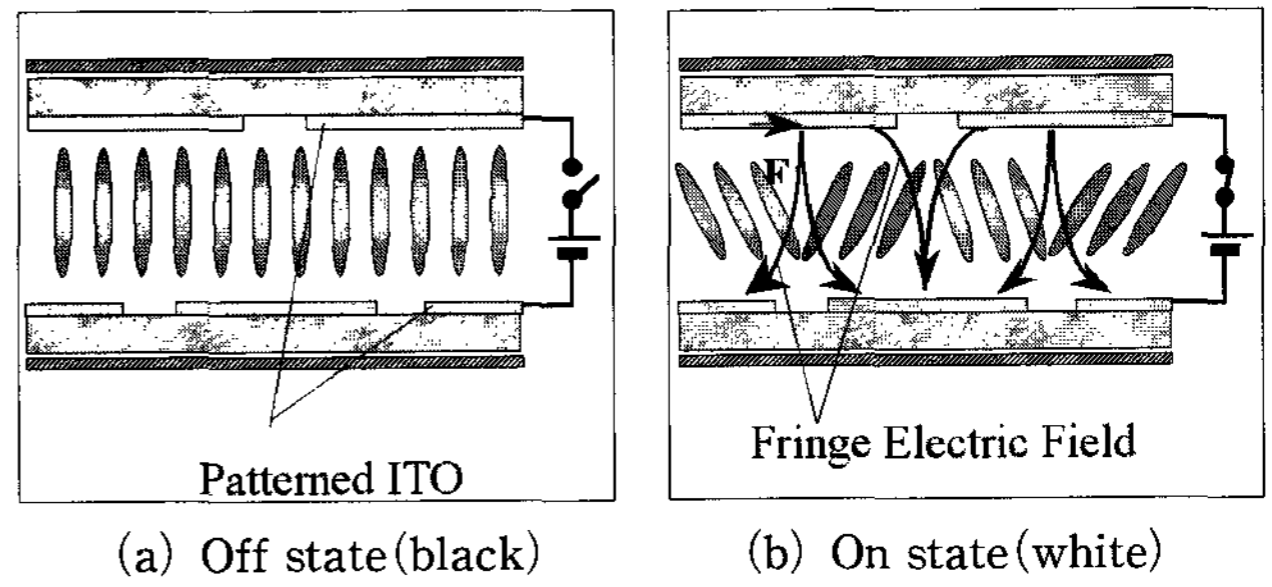
이 경우 화질 왜곡 지수, $D(\theta, \varphi)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$D(\theta, \varphi) = \left\langle \frac{|\Delta B_{i,j(on-axis)} - \Delta B_{i,j(off-axis,\theta,\varphi)}|}{\Delta B_{i,j(on-axis)}} \right\rangle_{i,j=0 \sim 255} \quad \text{식 (1)}$$

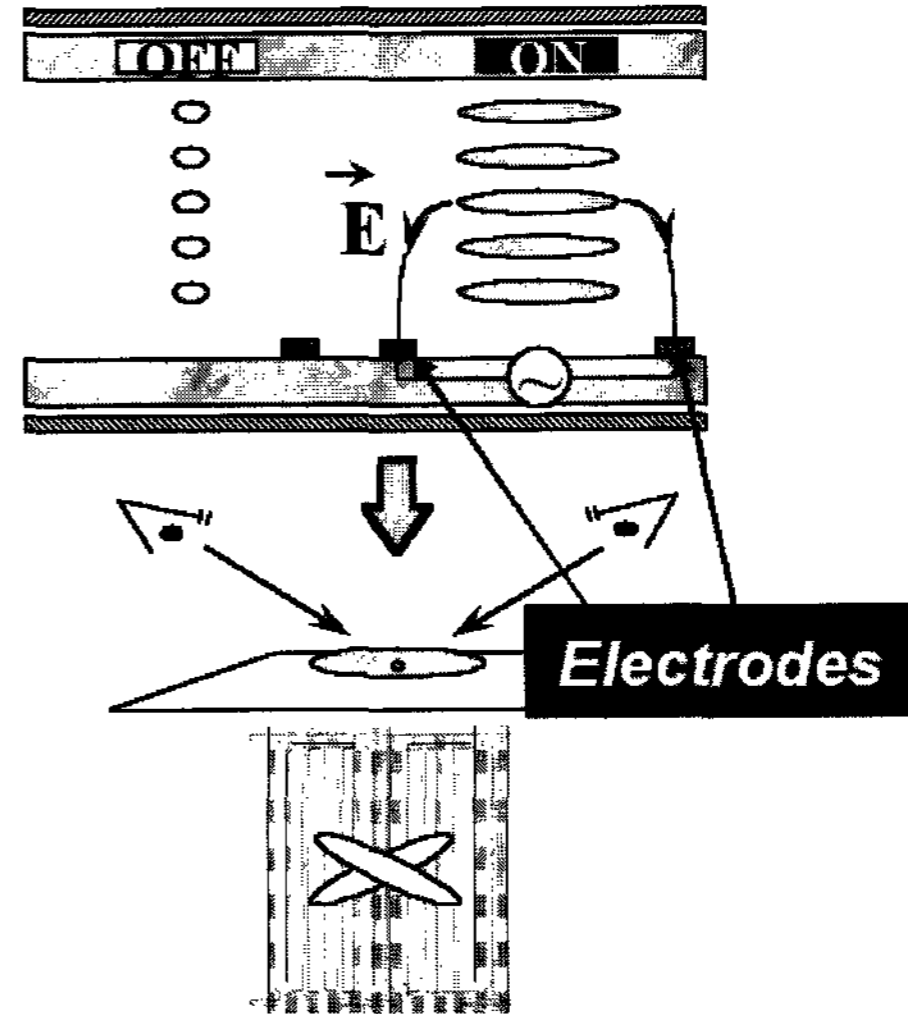
여기서 $\Delta B_{i,j}$ 는 gray i와 j 사이의 밝기 차이를 나타내고, $\langle \rangle$ 는 모든 임의의 계조 변화에서의 평균을 의미한다. $D(\theta, \varphi)$ 는 0과 1 사이의 값을 가지며 값이 작을수록 화면 왜곡이 작다는 것을 의미한다.

이제부터 광 시야각 LCD 기술의 양대 산맥이라 할 수 있는 PVA와 IPS mode에 대해 시야각 측면에서 상세히 알아보도록 하자.

VA는 Vertical Alignment의 약자로서 전압이 걸리지 않았을 때 액정 분자들을 수직으로 배열시키는 액정 mode를 말한다. 따라서, 액정 분자의 배열 상태는 외부에서 인가한 전압에 따라 변화하게 되는데 그 결과 액정층을 통과하는 빛의 복굴절 특성이 변화하게 된다. 편광판이 서로 수직하게 배치되어 있기 때문에 전압이 인가되지 않은 경우 액정을 통과하는 빛은 모두 차단되어 black을 표시하게 된다. VA mode에서 일정 값(threshold voltage) 이상의 전압이 인가되면 액정 분자가 기울어진 상태가 되어 복굴절 효과가 생기며 이로 인해 입사한 빛의 편광 방향이 회전하여 빛이 통과할 수 있는 상태가 된다. VA mode에서는 시야각 특성을 향상시키기 위하여 기본적으로 4-domain 액정 Cell 구조를 사용한다. 이러한 Multi-Domain을 형성하기 위해서는 수직 배향된 액정 분자를 4개의 서로 다른 방향으로 비스듬히 세워둘 필요가 있다. 따라서 유리기판의 수직 방향에서 약간 기울어진 방향으로 배향된 액정 분자에 전계를 인가하여 Multi-Domain 액정 Cell 구조가 동작될 수 있다. 이와 같이 돌기를 형성하여 Multi-Domain 효과를 유도하는 방식을 통상적으로 MVA(Multi-Domain VA) 액정 모드라고 칭한다. VA Mode에서 Multi-Domain 효과를 유도하는 방법으로 돌기 형성 방법을 사용하지 않고 상하판의 화소전극인 ITO를 사용하여 일정한 Pattern을 형성하여 ITO Pattern 가장자리에서 전계 방향이 유리기판에 대하여 수직방향에서 비스듬히 휘도록 유도하는 Fringe 전계효과를 이용하는 기술을 PVA(Patterned-ITO VA) Mode 라고 한다. [그림 2]에서 보는 바와 같이 상하판에 ITO를 이용하여 pattern을 형성하고 이를 서로 엇갈리게 배치함으로써 전압이 가해졌을 때 fringe field가 형성되도록 하여 Multi-



[그림 2] PVA mode cell의 동작 원리



[그림 3] IPS mode의 동작 원리

Domain을 유도하는 PVA 방식은 통상적인 MVA 방식에 비하여 많은 장점을 가진다. PVA는 MVA와 마찬가지로 4개의 domain이 형성되기 때문에 Multi-Domain Compensation 효과에 의해 시야각이 확장된다. 또한, PVA는 수직 배향을 사용하기 때문에 유리기판에 대하여 일정한 방향으로 액정을 배열 시켜야 하는 IPS와 달리 배향 공정이 필요없어 유리하며 IPS 대비 상대적으로 우수한 black 특성을 보이게 된다.

삼성전자의 Super PVA 기술에서는 통상적인 4-Domain 구조를 8-Domain 구조로 확장하여 액정 분자를 모두 8가지 방향으로 Control하여 시야각을 획기적으로 향상시켰다.

[그림 3]에 보는 바와 같이 IPS mode는 광 시야각을 구현하기 위해 액정 분자를 유리기판에 대하여 수평 방향으로 배치하고 횡 전계를 이용하여 액정의 광학 특성을 제어한다. 따라서, VA나 TN에서와 같이 전극이 상하 유리기판에 각각 배치되지 않고 TFT 기판상에 배치되어 제작되며, 이들 사이에 인가된 전압에 의해 형성된 전계의 방향으로 액정 분자들이 회전을 함으로써 투과되는 빛의 양을 조절한다. 그림에서 좌측과 같이 전계가 인가되지 않았을 때는 전극 방향에 대하여 비스듬하게 배열해 있던 액정 분자들이 전계가 가해지면서 우측과 같이 전극에 대하여 수직 방향으로 회전하여 액정층을 통과한 빛이 편광판을 통과하여 white를 표현하게 된다. IPS mode는 보상 film 없이 광시야각이 가능

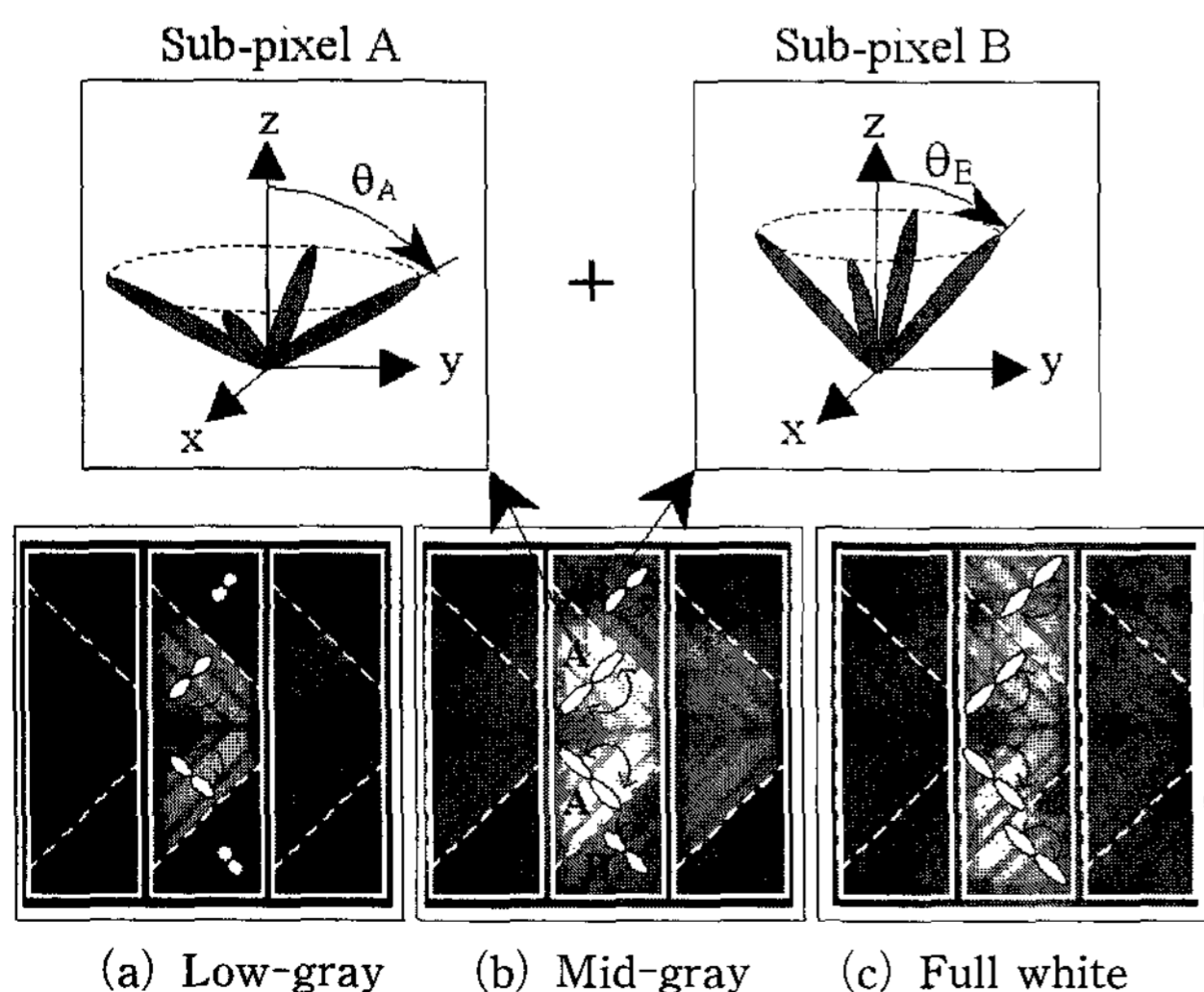
하고 계조간 균일한 응답 속도를 보인다는 장점이 있는 반면 개구율이 낮아 투과율이 낮고 배향 공정에 의한 문제점으로 잔상이나 얼룩, black 특성에서 취약점이 있다. 또한, 횡전계를 일으켜 액정을 제어해야 하기 때문에 매우 높은 전압을 필요로 해 전력 소모가 많다는 점도 해결해야 할 문제점 중의 하나이다.

II. S-PVA Technology

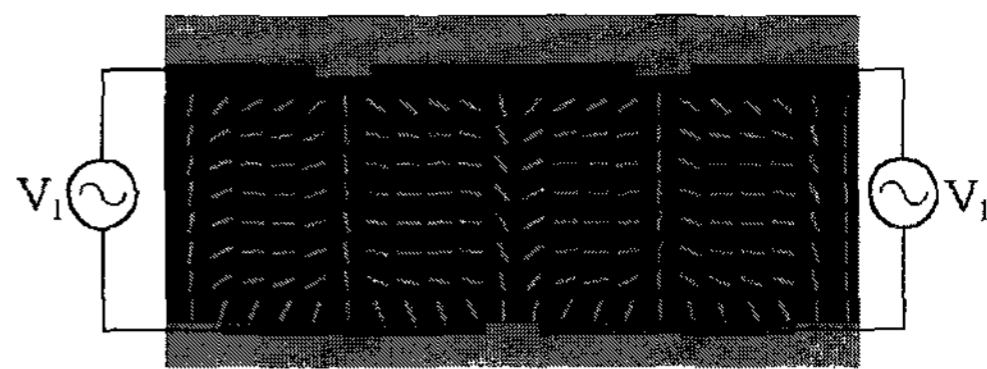
통상적으로 4-Domain을 사용하는 MVA와 PVA가 시야각 측면에서 많은 개선을 가져온 것은 사실이지만 여전히 시야각 문제가 완전히 해소되었다고 하기에는 약간의 무리가 있었다. 따라서, 이러한 문제점을 추가적으로 개선하기 위하여 개발된 구조가 Super PVA로서 기존의 PVA와 비교해 볼 때 화소를 2개의 부분으로 분할하여 다른 전압을 인가함으로써 기존 PVA보다 2배 많은 8-domain을 형성하도록 한 것이다. 하나의 화소는 A와 B로 표시되는 2개의 부화소로 구성되어 있으며, 부화소 A와 B에는 서로 상이한 전압이 인가되기 때문에 액정 분자들은 서로 다른 tilt angle을 갖는다. 이렇게 분리된 2개의 화소는 액정 분자를 모두 8개의 방향으로 제어함으로써 Multi-Domain 보상 효과를 극대화시켜 시야각에 따른 밝기의 변화를 서로 상쇄하고 측면에서의 gamma 왜곡을 최소화한다.

1. S-PVA Cell 구조

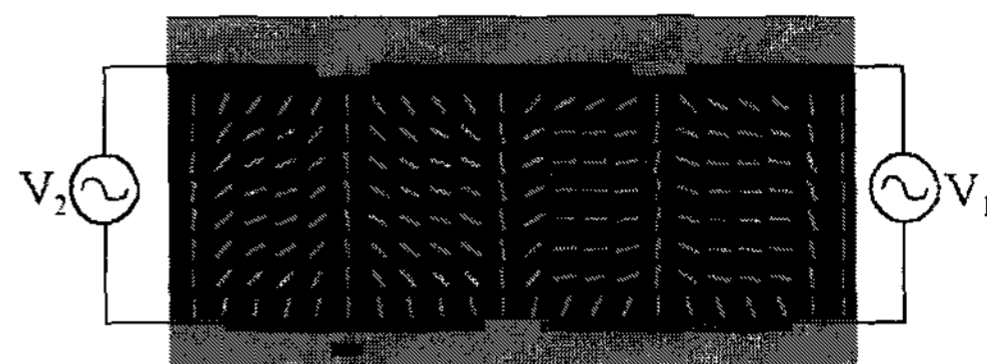
[그림 4]는 8개의 domain을 가진 S-PVA cell의 동작을 도식화 한 것이다. Sub-pixel A에는 높은 전압이 가해져서 상대적으로 밝은 계조를 표시하고 B에는 낮은 전압이 입력되어 상대적으로 어두운 계조를 표시한다. 어두운 영역에서는 B pixel은 거의 꺼져 있기 때문에 A-pixel이 밝기의 대부분을 담당하게 되며, 밝은 영역에서는 두 화소가 모



[그림 4] 8-domain S-PVA cell과 액정의 움직임



(a) 동일 전압 인가시



(b) 차등 전압 인가시

[그림 5] PVA cell에서 차등 전압 인가시의 액정의 분포

두 밝은 계조를 표시해 전체적인 최대 밝기를 유지시킨다. 중간 계조 영역에서는 그림에서 보는 바와 같이 A-pixel은 상대적으로 높은 전압이 인가되어 액정의 tilt angle이 크고, B-pixel은 낮은 전압이 가해져서 tilt angle이 작는데 이 2 종류의 tilt angle로 액정 분자가 분포하고 있는 상황에서 전체적인 밝기는 2 sub-pixel의 평균에 의해서 정해지며 서로 다른 각도의 액정 분자들이 시야각에 따라 상쇄 및 보강 작용을 하여 보다 더 넓은 범위에서 왜곡이 없는 화상을 볼 수 있다.

차등 전압을 인가하게 되면 [그림 5]에 나타낸 바와 같이 액정 분자들이 인가된 전압에 따라 2가지의 서로 다른 Tilt-Angle을 가지므로 보상효과에 의해 시야각 특성이 개선된다. 또한, 이렇게 2개의 cell에 서로 다른 전압을 인가하는 방법에는 2가지가 있다. 첫 번째는 capacitive coupling을 이용한 CC-type과 독립적인 addressing TFT를 가지고 별도로 감마 전압을 구동할 수 있도록 설계된 TT-type이 있다. 지금부터 각 방식의 구조 및 장단점에 대해 알아보도록 하자.

2. CC Type vs. TT Type

[그림 6]에는 capacitor coupling을 이용한 sub-pixel 구조와 독립적인 addressing transistor를 갖는 구조의 등가 회로를 표시하였다. 광시야각 효과를 내기 위해서는 2개의 sub-pixel에 다른 전압을 인가해야 하고, 또 이를 위한 화소의 layout 설계 측면도 고려를 해야 하기 때문에 각각의 장단점이 존재하게 된다. 우선 CC type(Capacitor Coupled)은 2개의 부화소가 있으며 이 둘 사이는 capacitor로 연결되고 addressing TFT가 직접 연결된 화소를 주화소, 그리고 주 화소와 capacitor로 연결된 화소를 부화소라 부르기로 한다. 그림에서 보는 것처럼 주화소는 TFT를 통해 직접 전압 충전이 가능하기 때문에 상관없으나 부화소는 capacitor를 통해 연결되므로 최종 데이터 전압은, 아래 식에서 알 수 있는 바와 같이, 주화소의 전압과 주변

capacitor들의 비율에 의해서 결정되며 외부에서 직접 전압을 제어할 수 있는 방법이 없다.

$$V_{p(B)} = V_{p(A)} \cdot \frac{C_{cc}}{C_{lc(B)} + C_{cc}} \quad \text{식 (2)}$$

where $V_{p(A)}/V_{p(B)}$: A/B pixel의 전압

또한 이론적으로 C_{cc} 가 무한대가 되지 않는 한 B화소의 전압이 A화소의 전압과 같아질 수 있는 방법이 없기 때문에 B화소에서 표현할 수 있는 계조 전압에는 한계가 있게 된다. 이러한 표현 가능한 계조에 있어서의 제한점은 곧바로 측면 시야각 특성의 확장에 있어서의 한계로 연결되며 측면 시야각 특성을 최적화 하기 위해서는 A/B 전압 모두가 독립적으로 제어 가능해야 한다. 하지만, coupling capacitor로 부화소를 구동하게 되면 capacitor 면적 외에 별다른 추가 영역이 필요치 않기 때문에 화소 설계의 개구율 측면에서는 이점이 있다.

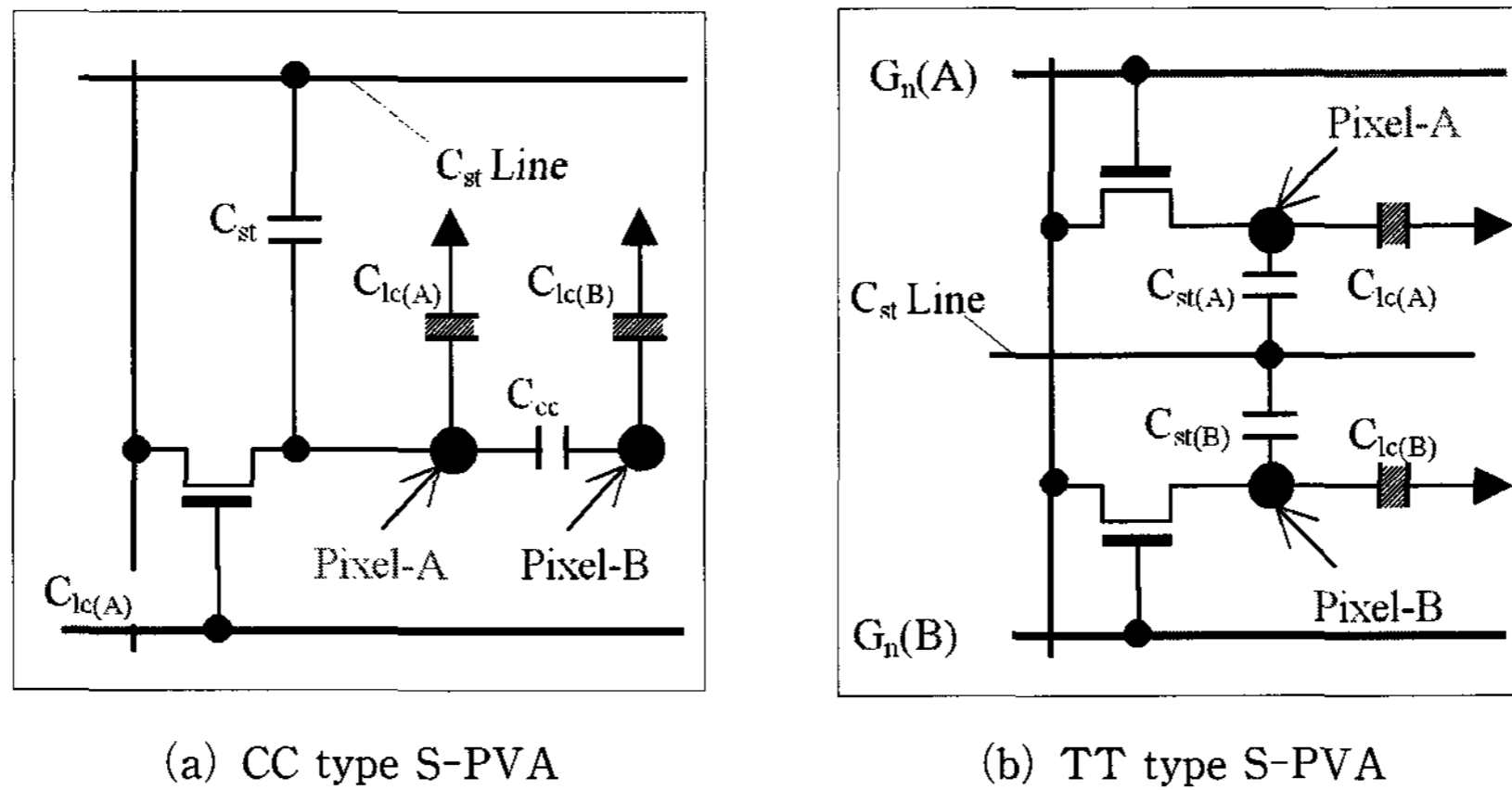
이러한 제약 조건을 없애고 2개의 sub-pixel을 완전히 독립적으로 제어하여 최적의 측면 시야각 특성을 얻고자 고안된 것이 2T 방식의 S-PVA 화소 구조이며 [그림 6] (b)에 표시하였다. Capacitor로 coupling을 하여 간접적으로 전압을 전달하는 대신 A와 B 화소에 모두 switching TFT를 두어 외부에서 독립적으로 전압을 인가할 수 있도록 한 구

조이다. B 화소에도 독립적인 감마 전압을 인가할 수 있기 때문에 시야각 확장에 있어서 매우 자유롭고 최적의 특성을 얻어내는 것이 가능하다.

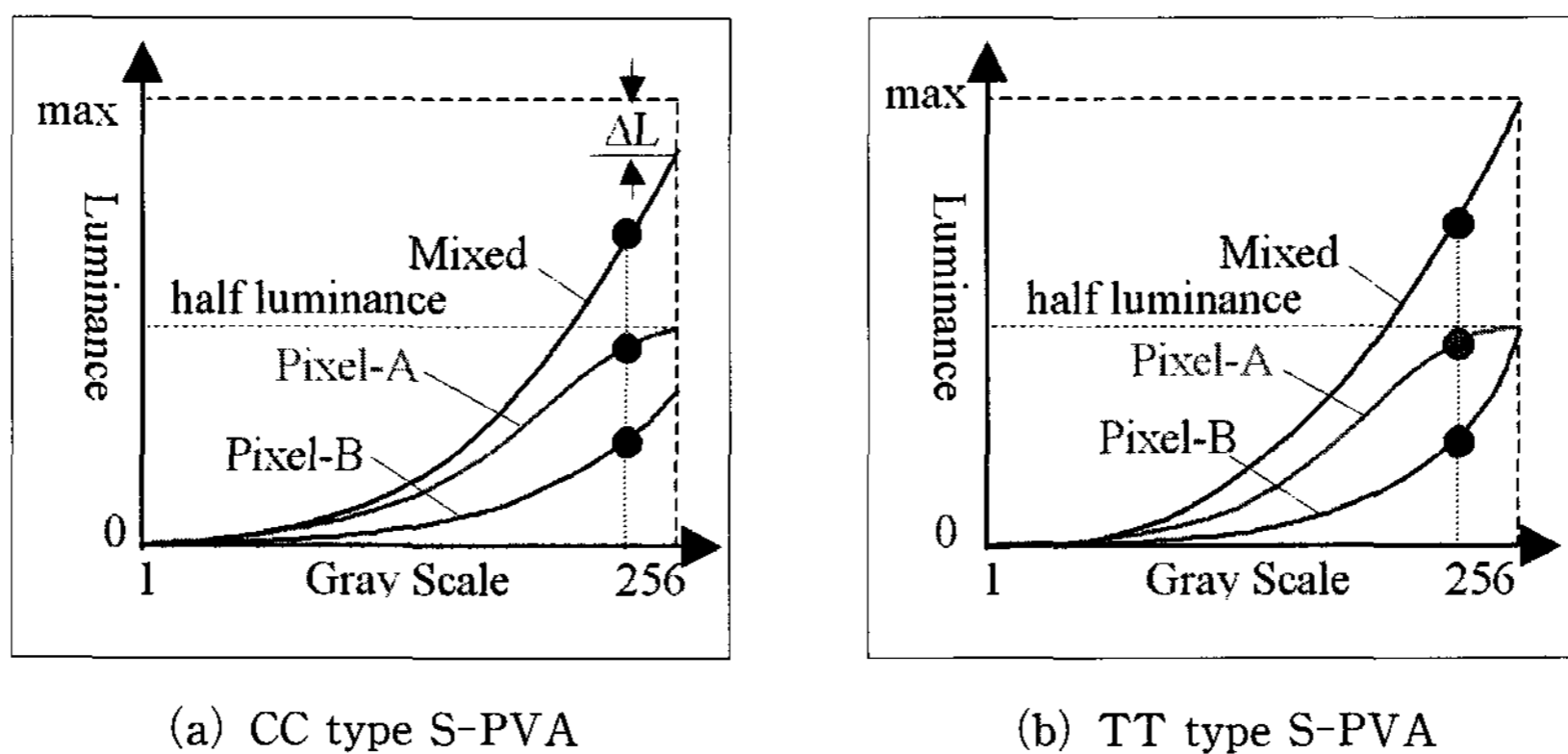
[그림 7]에는 2가지 경우에 대해 데이터와 luminance 와의 관계를 표시하였는데 (a)의 CC type을 보면 A가 full white에 도달하여도 B 화소는 A에 1보다 작은 수가 곱해진 만큼의 밝기만을 표시할 수가 있기 때문에 이 둘을 합친 전체 밝기는 최대에 도달하지 못하고 ΔL 만큼의 손실이 있게 된다. 하지만 이와 달리 TT 방식에서는 B 화소가 독립적으로 제어되기 때문에 full white를 표시하는 것이 가능해 전체 밝기는 각 부화소의 밝기의 2배까지도 될 수 있다. TT 방식의 장점을 크게 2가지로 요약해 보면 다음과 같다.

1. Full white에서 휘도가 떨어지지 않는다.
2. 원하는 gamma 곡선 모양을 A/B에 별도로 줄 수 있기 때문에 최적의 gamma 곡선을 만들어 내는 것이 가능하다.

물론 2개의 TFT를 화소에 집적하기 위해서는 CC 방식에 비해 많은 면적이 필요하기 때문에 개구율 측면에서는 불리한 점이 있고, 또 동일한 시간 동안에 2개의 화소를 충전해야 하기 때문에 충전 시간 측면에서도 어려운 점이 있



[그림 6] S-PVA 등가 회로



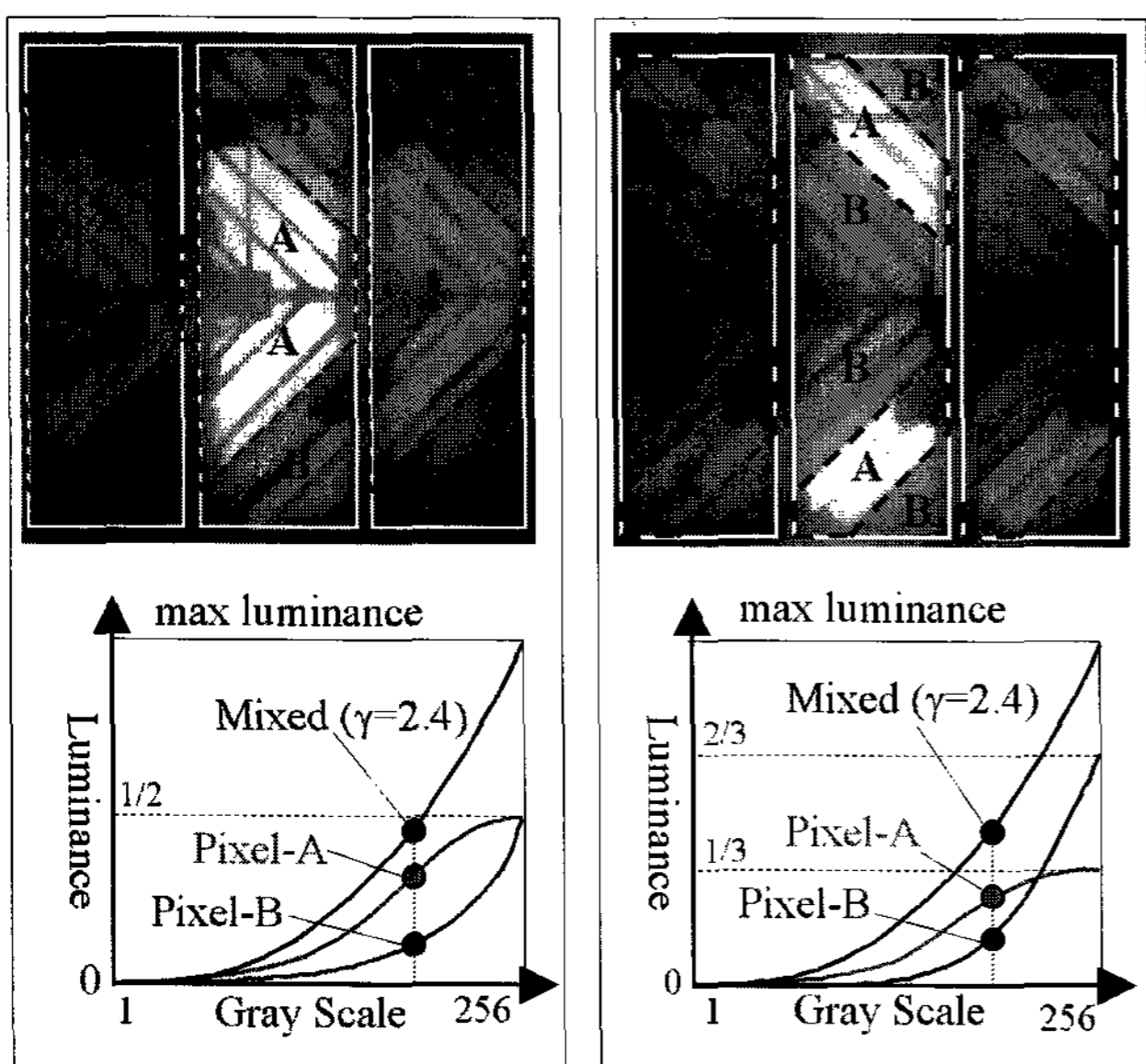
[그림 7] 휘도 특성 비교

지만 무엇보다도 시야각 성능을 최대로 끌어 올릴 수 있고, 또 full white 밝기에서 손실이 없기 때문에 S-PVA 방식이 좀 더 진보한 방법이라 할 수 있다.

3. Sub-pixel 면적비의 효과

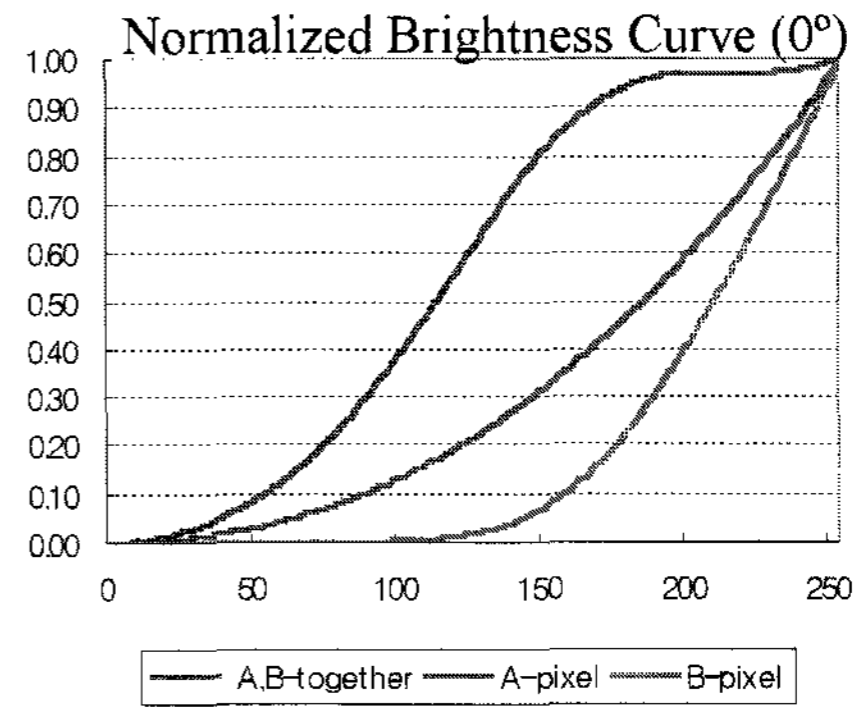
최적의 시야각 및 감마 왜곡 특성을 얻어내기 위한 과정에서 한가지 흥미로운 점은 A/B 화소의 면적을 달리 함에 따라 그 특성이 변한다는 것이다. 즉, 밝기가 어두운 B 화소의 면적을 A 화소보다 크게 했을 때 좋은 시야각 특성이 얻어진다는 사실이다. 따라서, [그림 8]에는 A와 B의 면적의 비를 1:1로 했을 때와 1:2로 했을 때의 특성을 비교하여 나타내었는데, 정면에서는 물론 2개의 sub-pixel이 각각 내는 밝기를 합한 밝기가 보여지겠지만 측면으로 갈수록 gamma 곡선이 상승하여 화소가 밝아 보이게 된다. 이 때는 A pixel은 이미 white로 saturation 되어 계조 구분 능력을 상실하기 때문에 더 이상의 역할을 못하고 B pixel에 의한 영향이 자연히 커지게 되므로 B pixel에 더 넓은 영역을 할애했을 때 더 큰 각도까지 정상적인 밝기를 볼 수 있게 된다. 실험 결과에 의하면 B의 면적을 A보다 약 2배 가량 크게 했을 때 최적의 특성이 얻어지는 것을 알 수 있다.

화소의 면적비를 1:2로 하게 되면 전체 luminance에 대한 각 sub-pixel의 기여도는 그 면적에 비례하기 때문에 전체 화소의 gamma 곡선은 B 화소에 더욱 가깝게 형성된다. 따라서, [그림 9]에서는 이러한 특성을 관찰하기 위해 3가지의 다른 각도에서 A/B 각각의 휘도 특성을 측정하여 전체 화소의 감마 특성과 함께 동시에 표시하였다. 모든 감마 곡선은 $\gamma=2.2$ 를 기준으로 측정되었으며 45도 근처까지는 곡선의 모양이 거의 변하지 않는 것을 알 수 있다. 60도 근처에 가면서 곡선의 모양이 왜곡되기 시작하지만 통

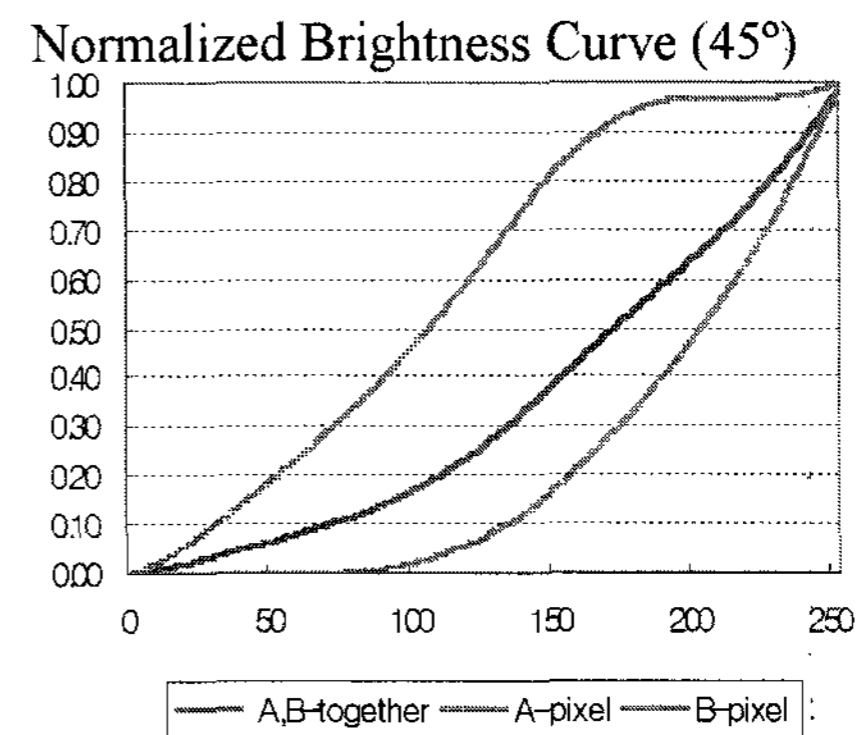


(a) Area ratio(A:B)=1:1 (b) Area ratio(A:B)=1:2

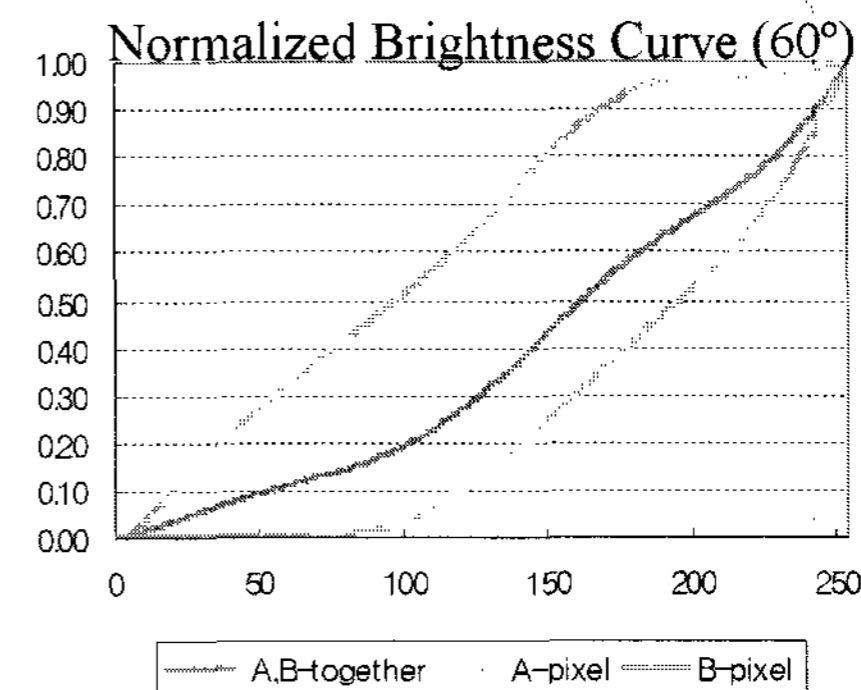
[그림 8] 최적 감마 조절을 위한 면적비 효과



(a) 정면에서의 gamma



(b) 45도에서의 gamma



(c) 60도에서의 gamma

[그림 9] 시야각에 따른 화소의 밝기 변화

합 곡선의 모양은 여전히 이상 곡선에 상당히 근접하여 60도에서도 gamma 특성의 왜곡은 무시할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 시야각에 따른 B 곡선의 변화를 보면 정면(0도)에서는 120-gray 근처에서 밝기가 상승하기 시작하는데 60도에서는 70-gray 근처에서 벌써 밝기가 상승하기 시작하는 것을 알 수 있다.

III. S-PVA 구동 방법

2개의 부화소로 나뉘어져 있는 S-PVA가 최적의 시야각 특성을 갖도록 하기 위해서는 각각의 화소에 우리가 원하는

데이터 전압을 충전할 수 있어야 한다. 4개의 domain을 가진 2개의 부화소로 8개의 서로 다른 domain을 만들기 위해서는 2개의 화소에 높은 감마와 낮은 감마를 별도로 입력해야 하며 화소의 구조에 따라 구동 방법이 전혀 달라지게 된다. 또한, TT 방식의 경우 동일한 line time 동안에 2개의 화소를 충전해야 하는 부담이 더해지게 되며 이를 위해 특별한 구동 방법들이 사용된다. 여기서는 이러한 구동 방법에는 어떤 것들이 있는지, 그리고 어떠한 장단점들이 있는지 알아보도록 하자.

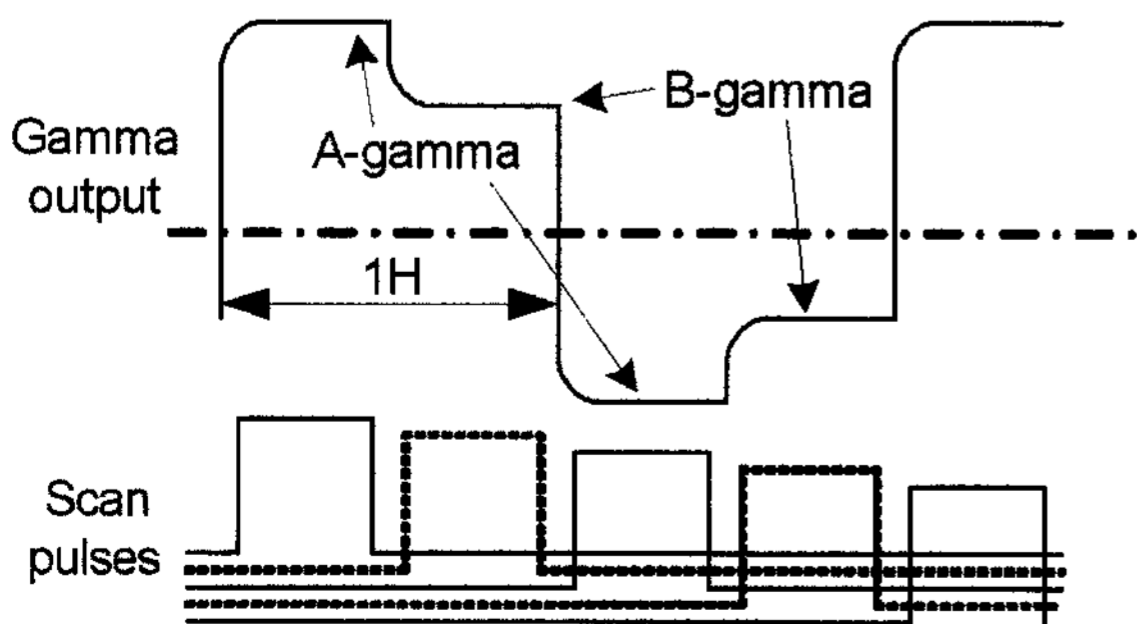
1. Capacitively coupled 화소 구동(CC type)

[그림 6] 및 식 (2)에서 알 수 있는 것처럼 coupling capacitor를 통해 2개의 화소가 연결되어 있는 경우에는 B 화소에는 별도로 전압을 인가할 수가 없기 때문에 A 화소에 인가된 전압을 통해서 간접적으로 전압 레벨이 결정되게 된다. 따라서, 외부의 구동 회로 측면에서는 기존의 PVA 화소를 구동할 때와 동일하게 구동하면 되고, 단지 B 화소의 전압이 full white까지 갈 수가 없기 때문에 luminance가 손실되는 것을 고려해 구동 전압을 높게 구동할 수는 있다. 하지만 기본적으로 CC type에서는 충전 시간 측면에서 기존 방법과 전혀 차이점이 없다는 것이 커다란 장점이 될 수 있다.

2. 독립 감마 구동(TT type)

두 개의 부화소에 완전히 독립적인 감마 전압을 인가하기 위해서는 각 화소에 switching TFT를 각각 설치하고 이를 통해 별도의 경로로 감마 전압을 인가해 주어야 한다. 일반적으로 한 개의 데이터 라인을 통해서 전압을 전달하기 때문에 1H(1 horizontal line time) 시간 동안에 2개의 독립적인 감마 전압을 화소에 전달해야 하므로 기존 PVA에 비해 주어진 시간이 절반에 불과하다. 따라서 짧은 시간 동안에 효율적으로 화소에 전압이 전달될 수 있도록 구동 IC의 전류 구동 능력이나 panel의 부하, switching TFT의 mobility 등 여러 가지 요소들이 최적으로 설계가 되어 짧은 시간 동안 전압 충전이 끝나야 한다.

2개의 부화소에 독립적인 감마 전압을 인가하기 위해서 [그림 10]에 나타난 것처럼 2개의 감마 전압 사이를

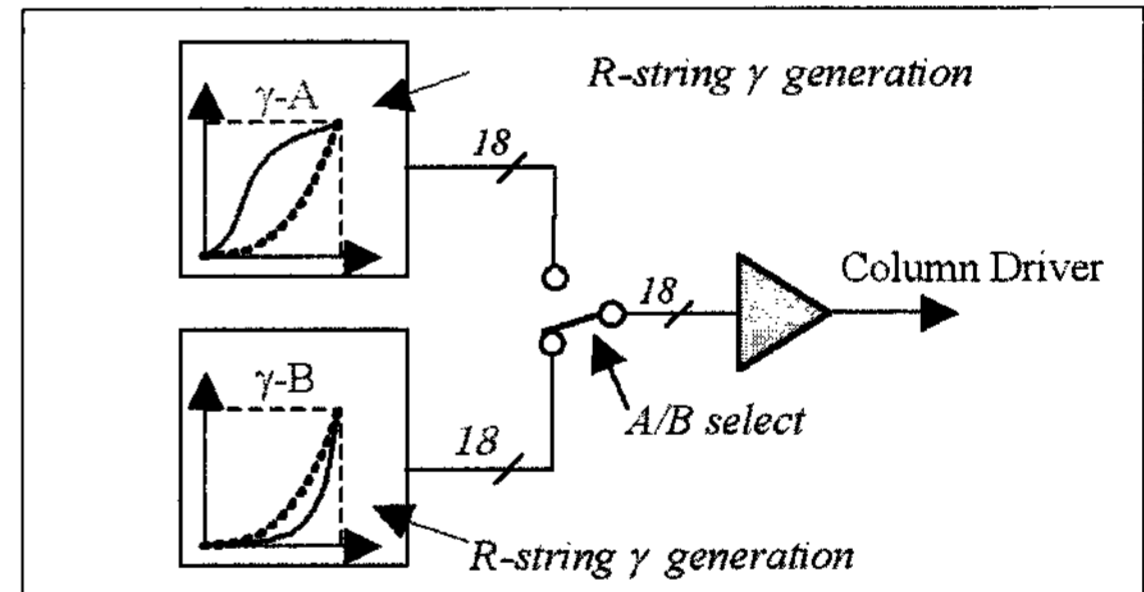


[그림 10] Gamma 출력과 scan pulse

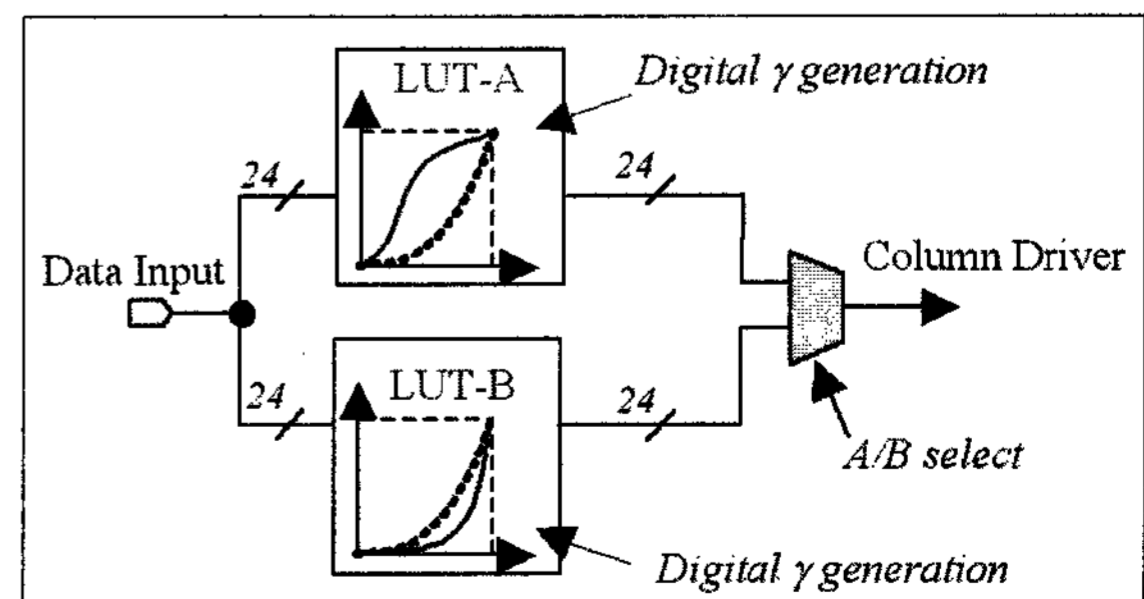
switching하는 출력이 필요하다. 게이트 scan pulse는 A/B 부화소 각각에 한 개씩 필요하므로 1H당 2개의 scan pulse를 발생시켜야 한다. 따라서 A용 scan pulse(실선)는 A gamma만을 화소에 전달하고 B용 scan pulse(점선)는 B 화소에 B gamma를 충전한다. A와 B 사이를 switching 하는 gamma 출력을 만드는 방법은 크게 2가지가 있다.

첫째는 아날로그 감마 switching 방법으로서 column driver에 입력되는 화상 데이터는 동일하게 입력하되 1H의 중간에 감마 전압을 외부에서 강제로 바꾸어 주는 방법이다. 자세한 방법이 [그림 11](a)에 나타나 있는데 A-gamma와 B-gamma를 생성하는 2개의 R-string을 준비하고 analog switch를 사용하여 두 감마 사이를 토글하는 방법이다. 이 때는 감마 전압 자체가 변하기 때문에 디지털 데이터는 기존과 동일하게 입력하면 되나, 각각의 감마 전압이 출력되는 시점에 맞추어서 gate 신호들을 잘 맞추어 주어야 하며, 또 2개의 감마가 switching하는 시간은 화소 충전에 기여하지 못하고 낭비되는 시간이므로 효율을 올리기 위해서 column driver의 switching 특성이 매우 빨라야 한다. 최종적으로 switching하는 18개의 gamma 기준 전압이 만들어져 column driver로 전송되게 된다.

두 번째 방법은 [그림 11](b)에 나와 있는 것처럼 디지털 영역에서 gamma switching을 해 주는 digital gamma-voltage switching 방법이다. 즉, 디지털 LUT(Look-Up Table)를 사용하여 데이터 도메인에서 입력 데이터를 A와 B의 감마에 맞게 변형을 시킨 후 디지털 MUX를 사용하여 적당한 시점에서 이 두 가지 데이터를 합쳐서 column driver로 입력시킨다. 앞에서 설명한 감마 switching과는



(a) Analog γ -voltage switching



(b) Digital γ -voltage switching

[그림 11] 감마 전압 switching의 두 가지 방법

달리 감마 기준 전압은 1개만 사용하고 대신 데이터를 변형시켜서 동일한 효과를 내는 것이다. 24bit의 변형된 화상 데이터가 column driver로 전송되어 최종적으로 A와 B gamma를 만들어 낸다. 그런데 여기서는 1H의 시간 동안에 A와 B로 변형된 데이터를 2번 보내야 하기 때문에 데이터의 전송 속도를 2배로 해서 보내야 하고 driver IC의 동작 역시 2배의 속도로 이루어져야 하는 단점이 있다. 하지만 디지털 LUT을 사용하여 감마 변환을 하므로 매우 쉽고 정확하게 원하는 모양의 감마 곡선을 만들 수 있는 장점이 있다.

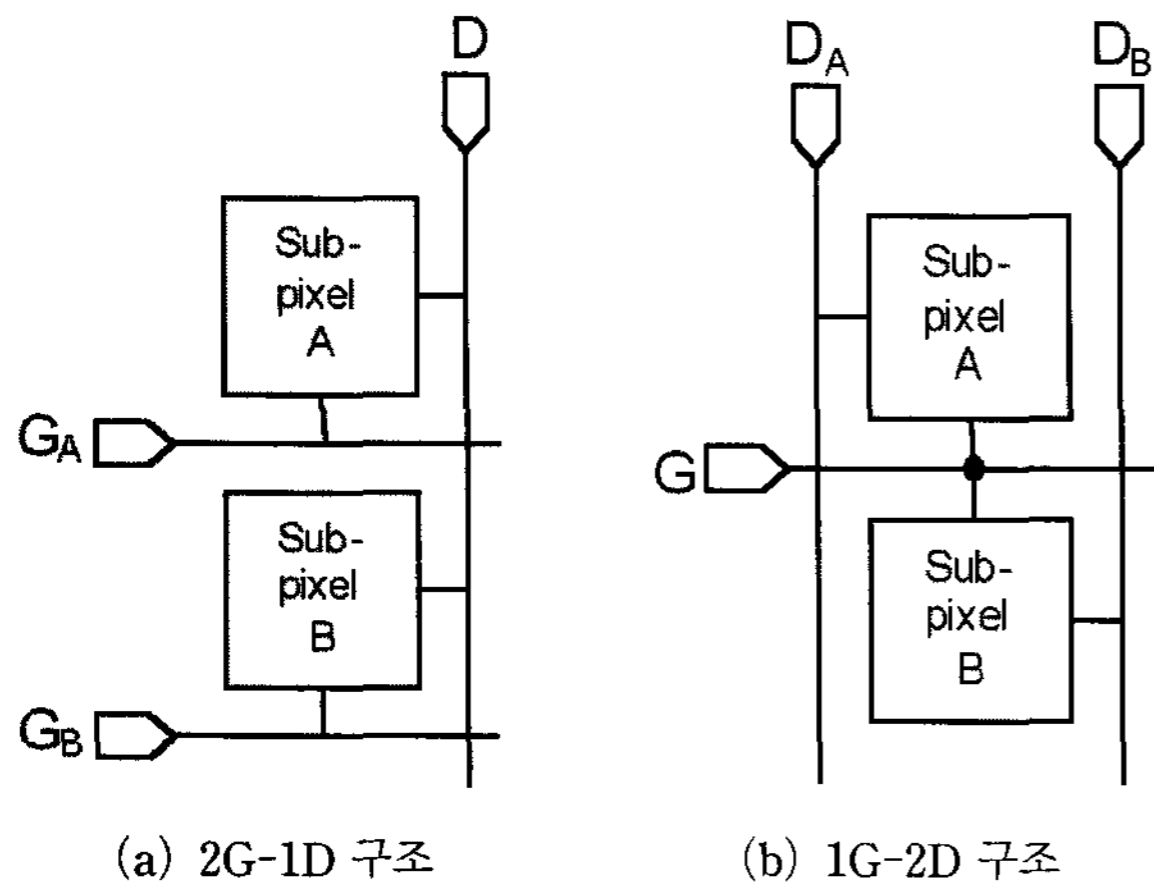
2가지 방법 모두 구현상의 장단점은 존재하지만 궁극적으로 panel로 출력되는 아날로그 출력의 모양은 [그림 10]과 같은 모양이 되며 최근에는 2가지의 장점만을 딴 hybrid형 구동 방법도 개발되어 훨씬 수월하게 S-PVA gamma 전압을 만들어 내고 있다.

3. 2G-1D vs. 1G-2D

2개의 부화소를 구성하는 방법은 gate line이나 data line 중 어느 쪽을 공유하느냐에 따라 [그림 12]에 나타낸 것처럼 2가지가 있다. 첫 번째 경우는 데이터 라인을 공유하는 구성으로서 그 대신 2개의 화소가 별도의 게이트 라인을 통해 구동이 되는 구조이다. 게이트 선이 2배가 되므로 필요한 게이트 구동 IC의 갯 수도 2배가 필요하며, 2개의 부화소가 1개의 데이터 선을 공유해야 하므로 각각의 화소는 절반의 시간 동안에 충전이 완료돼야 한다. 게이트 구동 IC의 가격이 상대적으로 source 구동 IC보다 저렴하므로 원가 측면에서는 유리한 점이 있지만 충전 시간이 모자라기 때문에 고 해상도에서 사용하기는 어렵다.

두 번째 경우는 소위 1G-2D라고 하는 구조로서 2개의 화소가 별도의 데이터 라인을 가지지만 게이트 라인은 공유하는 구성이다. A/B 화소에 전용 데이터 라인이 있으므로 동시에 충전을 할 수가 있어 충전 시간 측면에서 아주 유리한 구조이지만 1개의 화소에 2개의 데이터 라인을 설계해야 하기 때문에 개구율 측면에서는 불리한 구조이다.

따라서, 전체적으로 볼 때 해상도가 낮고 재료비가 높지



[그림 12] S-PVA의 화소 구조

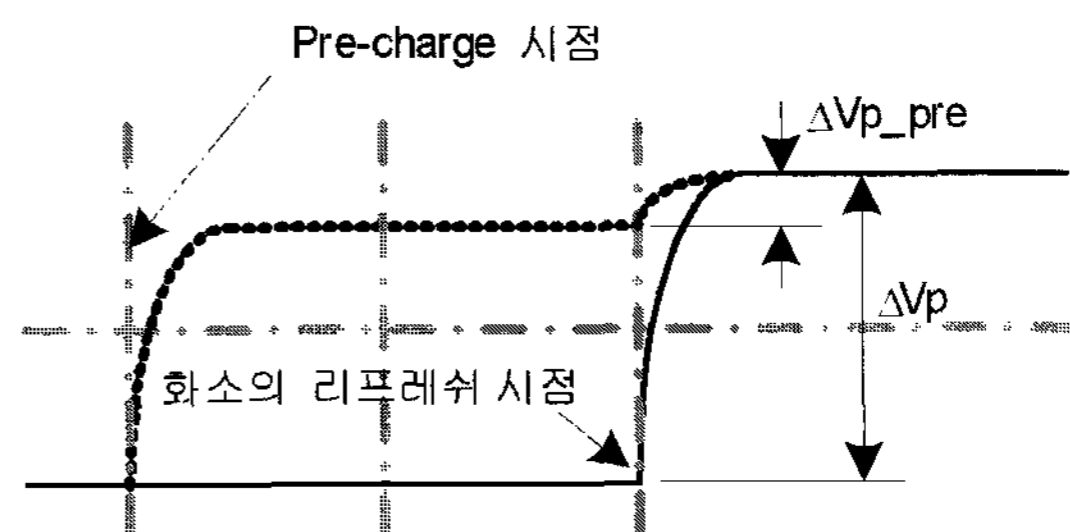
않은 low-end 제품에서는 2G-1D 구조가 적합하고, 해상도가 높고 panel 크기가 커서 충전 시간을 충분히 확보할 수 없는 경우에는 1G-2D 구조를 택하는 것이 훨씬 적합한 구성이라 할 수 있다.

4. Pre-Charge 구동

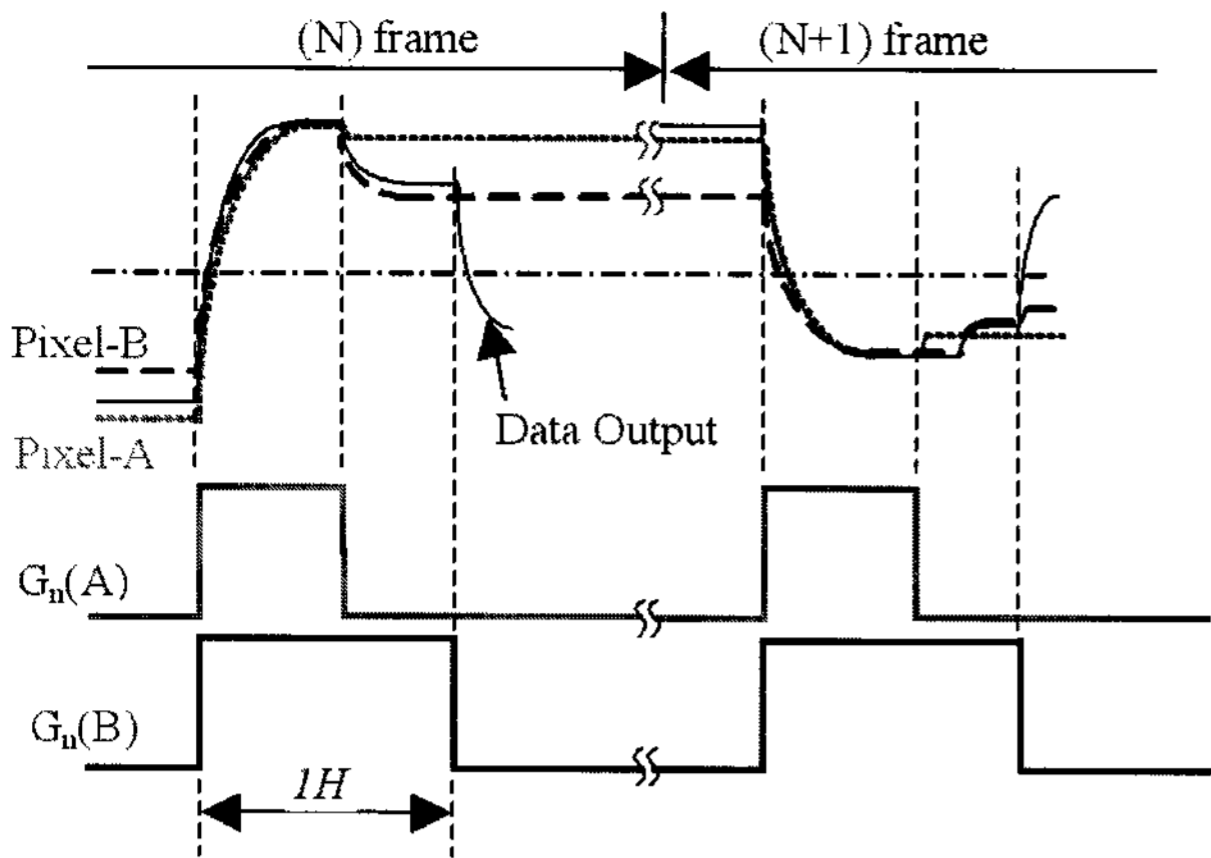
TT 방식의 S-PVA에서는 앞서 언급한 바와 같이 1H 시간 동안에 2개의 부화소를 충전해야 하기 때문에 충전 시간이 항상 모자라게 된다. 따라서, 충전을 용이하게 하기 위하여 pre-charge 구동을 하게 되는데 그 원리는 다음과 같다. 액정에서는 모든 화소들이 AC 구동, 즉 주기적으로 인가된 전압의 극성이 바뀌도록 전압이 인가돼야 하는데 그 주기는 보통 한 frame인 경우가 대부분이다. 즉, 한 프레임 동안 양의 극성을 가진 화소라면 다음 프레임에는 반드시 음의 극성을 가진 전압을 받게 된다는 말이다. 따라서 화소가 새로운 전압으로 바뀌기 위해서는 반대 극성의 전압에서 시작해야 하기 때문에 전압의 변화 폭이 크게 된다. Pre-charge 구동의 기본 개념은 화소를 충전하기 전에 주변의 다른 화소의 데이터를 이용하여 미리 현재 프레임에 해당하는 극성으로 변화시킨 후 자기 차례가 왔을 때 전압을 인가하게 되면 반대 극성으로부터 transition이 일어나는 것보다 훨씬 작은 전압 swing 만이 필요하기 때문에 훨씬 빨리 원하는 전압 레벨에 도달하게 된다. [그림 13]에 이 원리를 전압 파형의 변화로서 그려보았다. Pre-charge 없이 곧바로 이전 프레임의 전압에서 현재 프레임 전압으로 끌어 올리게 되면 ΔV_p 가 변해야 하지만, pre-charge를 하게 되면 그림에서 보는 바와 같이 사전에 동일 극성의 유사한 전압 레벨까지 도달해 있기 때문에 실제로 변하는 화소의 전압 폭(ΔV_{p-pre})은 아주 작으며 일반적으로 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$\Delta V_{p-pre} \ll \Delta V_p$$

이러한 pre-charge의 원리는 S-PVA 구동에서도 동일하게 적용이 가능한데 가장 일반적인 방법은 두 부화소간에 전압을 동일 극성으로 하고 이들 간에 pre-charge를 하는 방법이다. 즉, A/B 화소가 모두 동일 극성이므로 두 화소를 동시에 충전을 시작하거나 또는 첫 번째 화소의 충전이 끝나기 전에 2번째 화소의 scan pulse를 인가해 주어 조금 일찍 충전을 시작하는 것이다. 이렇게 되면 첫 번째 화소의 전



[그림 13] Pre-charge의 원리



[그림 14] Gate overlap 구동

압이 두 번째 화소의 pre-charge 역할을 하여 2번째 화소의 충전 시간을 훨씬 절약할 수가 있다. 물론 첫 번째 화소는 pre-charge의 도움을 받을 수 없지만 2번째 화소의 충전이 빠르게 되면 첫번째 화소의 충전 시간을 상대적으로 조금 더 길게 할 수 있으므로 전체적으로 충전율이 올라가며, 또한 통상적으로 gate pulse delay 때문에 scan pulse의 끝부분을 잘라내야 하는 상황이 발생하는데 이렇게 gate pulse를 겹쳐서 구동하게 되면 pulse를 잘라낼 필요가 없어지기 때문에 여기서 오는 충전 시간의 이점도 더해진다. [그림 14]에 구체적인 구동 pulse의 파형을 나타내었다. 이러한 방법을 gate overlap 구동이라고도 하는데 그 이유는 gate pulse들이 부화소 간에 서로 겹쳐서 구동되어 pre-charge 효과를 내고 있기 때문이다.

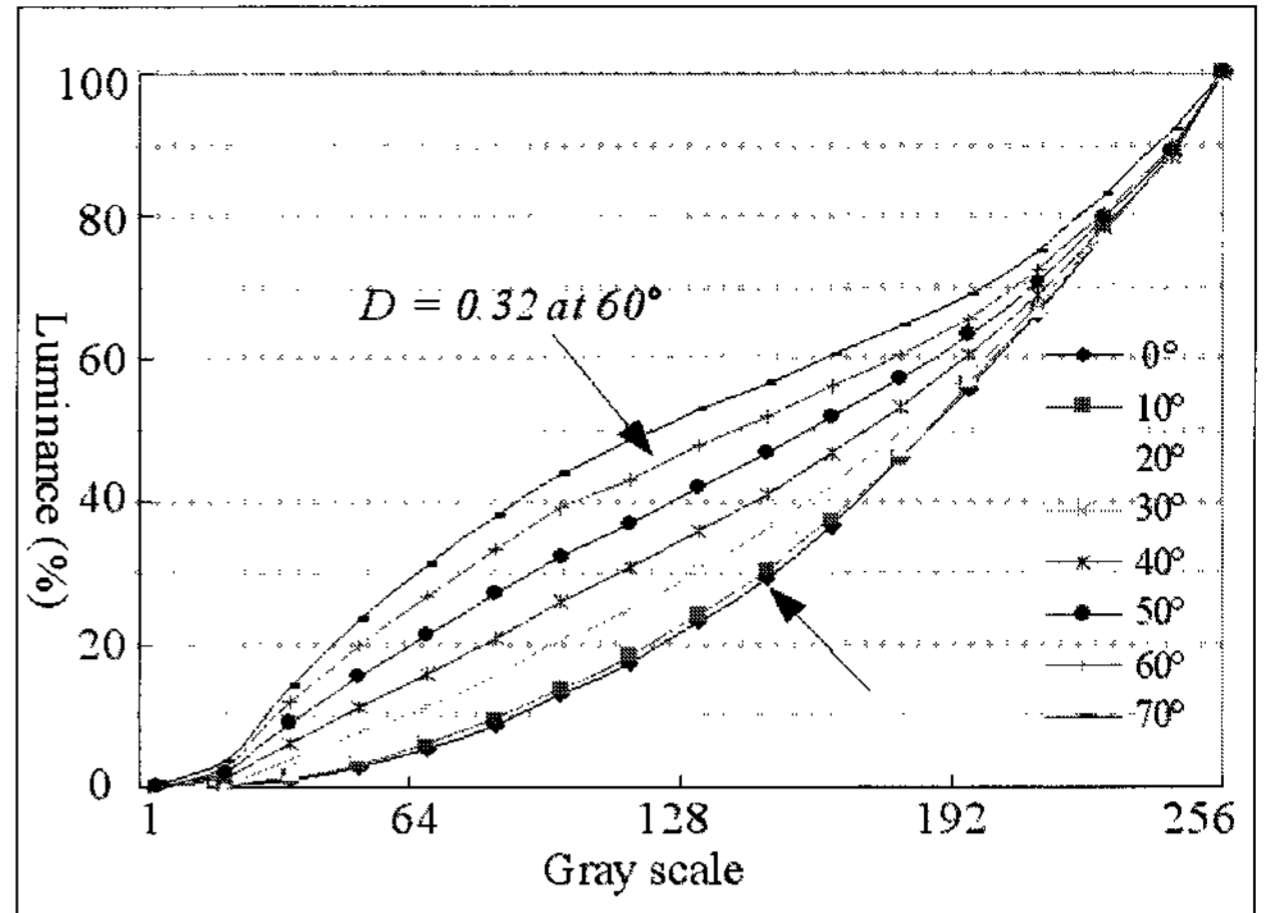
IV. S-PVA의 화질 특성

1. 시야각

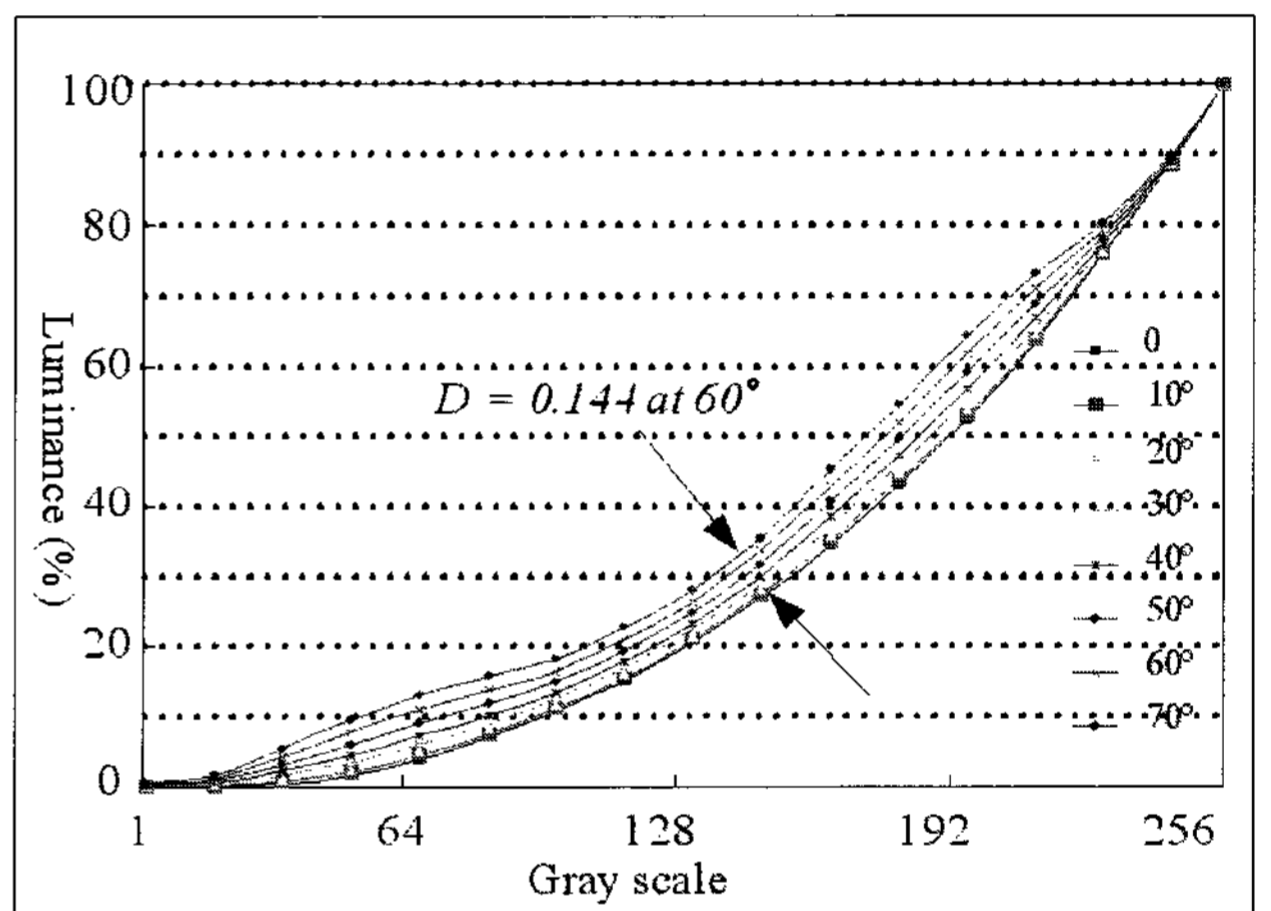
위에서 열거한 특징적인 화질 개선 구조나 구동 방법을 통해 S-PVA는 60도 각도에서 감마왜곡 지수 0.144의 아주 우수한 시야각 특성을 보이며 보는 각도에 따른 색 변화도 최소화되어 LCD 업계에서는 처음으로 180도의 시야각을 구현하여 명실공히 시야각 free LCD의 시대를 열었다. 아래와 같이 표현되는 감마 왜곡 지수를 기준으로 봤을 때 S-PVA는 0.144까지도 구현이 가능하다.

$$\text{감마 왜곡 지수 } D(\theta, \varphi) = \left\langle \frac{|\Delta B_{i,j(on-axis)} - \Delta B_{i,j(off-axis,\theta,\varphi)}|}{\Delta B_{i,j(on-axis)}} \right\rangle_{i,j=0 \sim 255}$$

내는 그래프이다. [그림 15]에서 보면 normal PVA는 시야각의 식에서 D는 0~1 사이의 값으로서 작을 수록 측면에서 화상의 왜곡이 적다는 뜻이다. [그림 15]에는 S-PVA panel의 측면 감마 왜곡 특성을 보여주는 데이터를 보였고, [그림 16]은 측면 시야각에서의 컬러 특성의 균일성을 나타

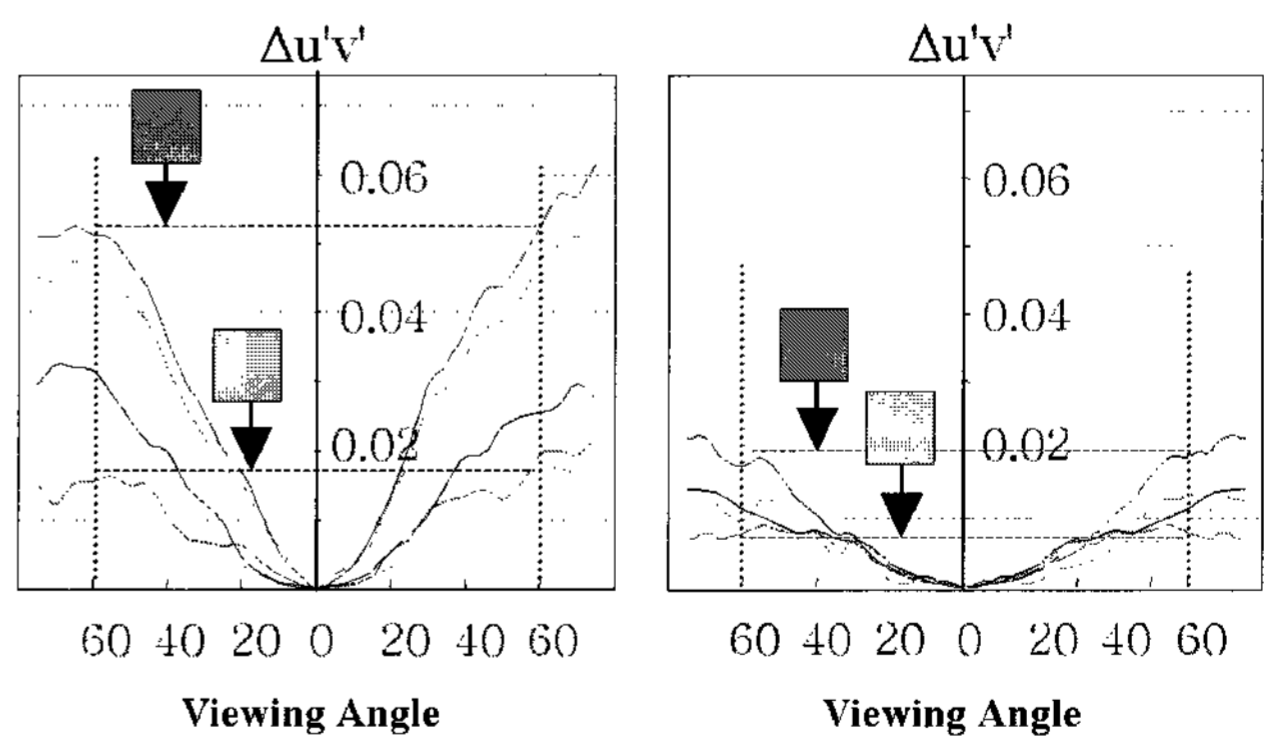


(a) Normal PVA



(b) S-PVA

[그림 15] S-PVA panel의 감마 왜곡 특성



(a) Conventional VA

(b) TT type S-PVA

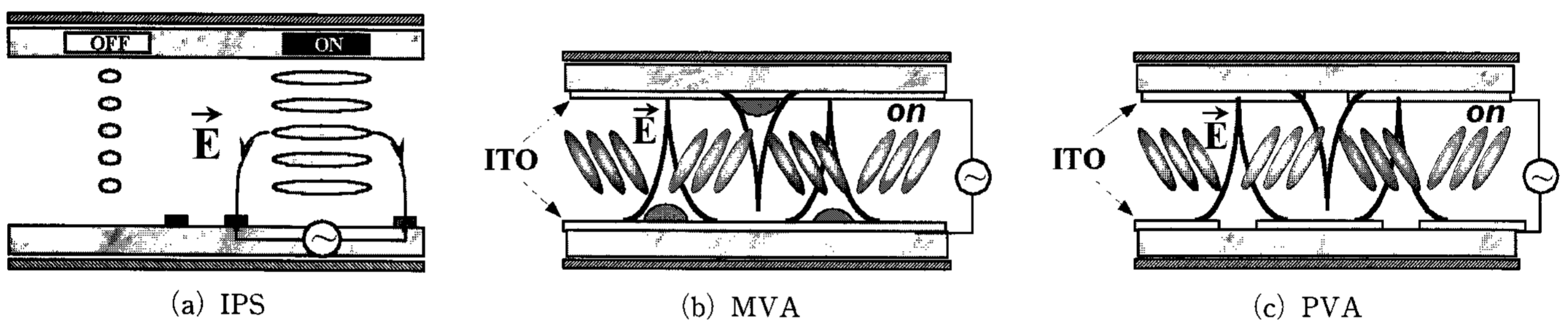
[그림 16] S-PVA panel의 색상 균일도 특성

야각이 커지면서 감마 곡선의 상승 현상이 매우 두드러지는데 비해 S-PVA에서는 70도에서도 감마 곡선의 모양이 0도와 별다른 차이가 없음을 알 수 있다. [그림 16]의 그래프는 각도에 따른 색상의 변화를 측정하여 표시한 것인데 시야각에 따른 색변화량이 현저하게 개선되었음을 알 수 있다.

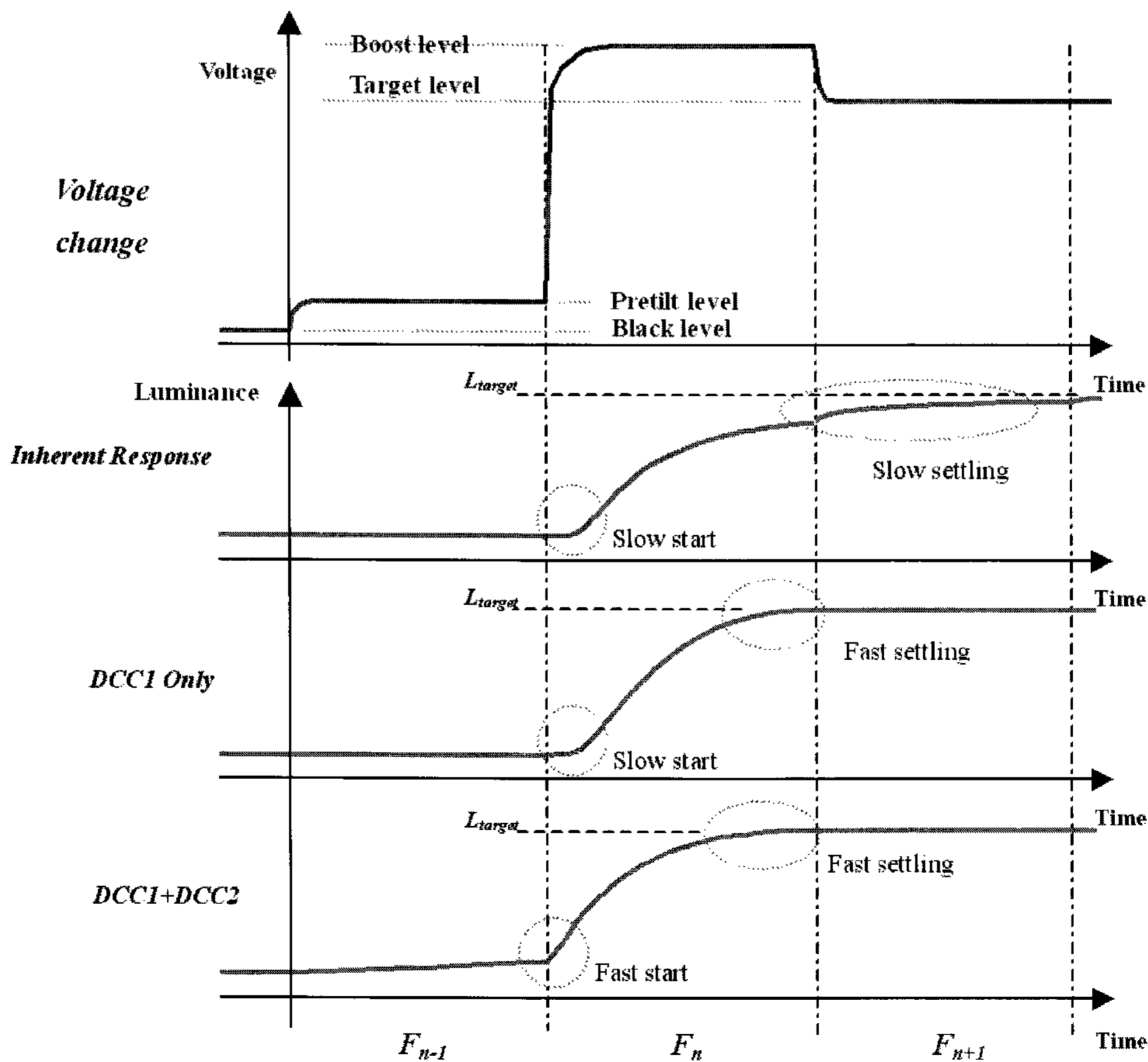
2. Black 휘도 특성

LCD의 black 특성은 TV 응용에서 화질의 선명도를 결정짓는 매우 중요한 요소로서 실제 TV 동작시에는 최대 밝기로 동작시키는 일이 거의 없다는 사실을 생각해 볼 때 동일한 C/R(Contrast Ratio)이라 할지라도 white 휘도를 올려서 얻는 것 보다는 black 휘도를 낮춰서 얻은 값이 더 의미가 있고 실제 화질에 미치는 영향이 크다. [그림 17]에서 보는 것 처럼 IPS의 경우는 수평 전계를 형성하기 위한 전극 주변에서 러빙 불량에 발생하고, MVA의 경우는 protrusion 주변에서 액정의 불균일 배열이 발생하므로 residual retardation에 의한 빛 유출이 있어 완전한 black 특성을 얻기가 매우 어렵다. 하지만 S-PVA의 경우는

protrusion을 사용하지 않고 러빙 공정도 없기 때문에 거의 완벽에 가까운 black 특성을 구현할 수 있어 특히 고선명, 고화질을 중요시하는 TV 제조 업체들이 선호하는 액정 모드이다. 이러한 우수한 black 특성은 그 자체로도 중요하지만 LCD의 중요 성능 지표 중의 하나인 contrast ratio에 지대한 영향을 미쳐 최근에 고 C/R을 구현하기 위해 (dynamic C/R) 많이 사용되고 있는 back light control 등의 보조 수단을 이용하지 않고서도 약 1,500 : 1 이상의 C/R(static contrast ratio)을 구현하는 것이 가능하다. 또한, 이러한 우수한 black 특성이 큰 시야각에서도 유지되기 때문에 측면에서 고화질을 유지하는데 매우 유리한 특성을 알 수 있다.



[그림 17] 각 mode의 cell 구조



[그림 18] DCC 구동 원리

3. 동영상 표시 특성

LCD의 표시 품질을 나타내는 척도로서 시야각과 쌍벽을 이루는 항목인 응답 속도에 있어서도 PVA는 우수한 특성을 보여준다. 또한, 2000년대 초부터 개발 및 적용되기 시작한 DCC(Dynamic Capacitance Compensation) 기술을 사용할 경우 모든 계조에서 1frame 내에 액정의 응답이 완료되어 플림이 거의 없는 동영상 화면을 가능하게 해 준다. 하지만 LCD의 단순 응답 속도만으로는 화면의 플림 현상을 모두 설명할 수 없고 hold type display 특성에 의한 눈의 잔상 현상(eye trace integration)까지 고려해야 한다는 사실이 밝혀지면서 이 모든것을 해결해 줄 수 있는 120 Hz 구동의 중요성이 부각되기 시작했고^[4], 120 Hz 속도로 화면을 표시하기 위해서는 액정이 8ms 내에 응답을 완료해야 한다는 새로운 요구 사항이 발생하였다. 따라서, DCC 만을 적용할 경우 대부분의 계조간 응답은 8ms 내에 이루어 지지만 낮은 계조에서 높은 계조로의 이동은 여전히 10ms 이상의 시간이 소요되는 것이 사실이다. 따라서, 이러한 경우를 포함한 모든 계조간의 이동에서 8ms 이하의 응답 속도를 구현하기 위해 DCC2가 개발되어 적용되고 있다^[5]. Black 상태에서 시작할 경우 PVA 액정의 움직임이 초기 지연이 크다는 사실에 착안하여 개발된 DCC2는 [그림 18]에서 나타난 바와 같이 초기에 적당한 전압을 인가하여 최초 방향각을 정해줄 경우 응답이 매우 빨라진다는 개념을 활용한 기술이다. 따라서, DCC2를 적용할 경우 전 계조에서의 응답 속도가 8ms 이하가 돼 동영상 화면에서의 플림 현상을 거의 대부분 제거할 수 있다.

VI. 결 론

대형 LCD TV에 대한 요구는 꾸준히 증가하여 최근에는 그동안 size에 있어서만은 타의 추종을 불허했던 PDP와 매우 근접한 수준까지 꾸준한 발전이 이루어져 2005년 초에는 삼성 전자에 의해 [그림 19]에 보는 바와 같이 82" LCD TV까지 발표되기에 이르렀다. 화면 크기가 커질 수록 시야각의 중요성이 커지는데 그 이유는 단일 사용자라 할지라도 화면이 클 경우 눈과 화면의 좌우측이 이루는 각도가 커지기 때문이다. 예를들어 82"의 경우 통상적인 TV 시청 거리인 3m에서 보면 대형 LCD의 좌우측 모서리를 바라보는 시야각 차이가 17°가 된다. 또한, 대형 화면에서 black을 표시할 경우 조금이라도 광 누설이 있게되면 전체적인 광량이 많기 때문에 눈에 인지되는 비율이 매우 높다. 따라서, S-PVA의 우수한 시야각 및 black 휘도 특성은 대형 TV에 적용됐을 때 더욱 그 효과가 크다. 82" LCD TV에도 최신의 S-PVA 기술이 적용돼 있다. 최근들어 초대형 LCD 제조 라인에 대한 대규모 투자가 이루어지고 있기 때문에 생산 원가가 많이 하락할 것으로 예상되기 때문에 TV 시장에서의 LCD의 잠재력은 매우 크다 하겠다. 따라서, 이제 남은 것은 여타 다른 종류의 display에 비해 화질 측면에서 LCD



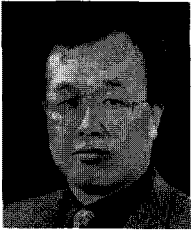
[그림 19] 세계 최대 82" LCD TV

가 가지는 약점들을 개선하고 원가 개선 노력을 꾸준히 해 나간다면 LCD TV의 시대가 오는 것은 그리 먼 얘기가 아니며, 그런 측면에서 생각해 볼 때 S-PVA와 같은 고급 기술들이 속속 개발되어 LCD TV 자체의 기술 경쟁력을 높여나간다는 사실은 매우 고무적인 일이 아닐 수 없다.

참 고 문 헌

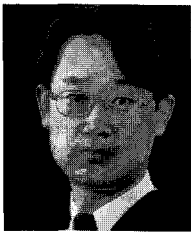
- [1] S. S. Kim, "Super-PVA Sets New State-of-the-Art for LCD-TV", SID Symposium Digest, Vol. 35. pp. 760-763, 2004.
- [2] S. S. Kim, B. Berkeley, K. H. Kim, J. K. Song., "New Technologies for Advanced LCD-TV Performance", Journal of the SID, Vol. 12, Number 4, 2004.
- [3] S. S. Kim, "Invited paper: The World's Largest (82-in.) TF-LCD", SID Symposium Digest, Vol. 37. pp. 1842-1847, 2005.
- [4] Y. Shimodaira, "Fundamental Phenomena Underlying Artifacts Induced by Image Motion and the Solutions for Decreasing the Artifacts on FPDs", SID Symposium Digest, Vol. 34. pp. 1034-1037, 2003.
- [5] J. K. Song, et al, "DCC-II: Novel Method for Fast Response Time in PVA Mode", SID Symposium Digest, Vol. 35. pp. 1344-1347, 2004.

저 자 소개



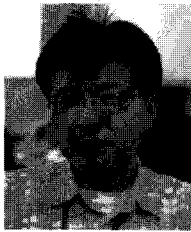
김 상 수

1983년 서울대학교 자연과학대 물리학과 학사, 1984년 삼성반도체통신(주) 연구원, 1990년 미국 North Carolina State University, PhD. In Physics, 1992년 삼성전자(주) 선임연구원, LCD 개발담당, 1995년 삼성전자(주) 수석연구원, LCD 개발팀장, 1999년 삼성전자(주) 연구임원(이사), LCD 개발팀장, 2002년 삼성전자(주) 연구임원(상무), LCD 개발팀장, 현재 삼성전자(주) 연구임원(전무), LCD 개발실장.



박 진 혁

1987년. 인하대 기계 공학과 학사, 1989년. 삼성 전자 입사 (LCD), 2003년. 세계 최대 57" TFT-LCD TV 개발, 2005년. 세계 최대 82" TFT-LCD TV 개발, 현재. LCD TV 개발 팀장.



김 태 성

1990년. 한양대 학사 졸업, 1992년. KAIST 전기과 석사 졸업 및 삼성 전자 입사, 1993년. 3.1" projection용 LCD 개발, 1994년. 14.2" VGA LCD panel 개발, 1995년. 17" SXGA monitor용 LCD 개발, 1996년. 세계 최대 22" VGA TFT-LCD 개발, 1997년. 세계 최대, 최고 해상도 30" UXGA TFT-LCD 개발 2003년. KAIST 전기과 박사 과정 졸업, 2003년~현재. LCD 구동 알고리즘 및 TCON 개발.