

기술 특 집

액정표시장치를 위한 화질 향상 기술

이승우 (경희대학교 정보디스플레이학과)

I. 서 론

액정표시장치는 1990년대 이후 비약적인 발전을 거듭하고 있다. 1인치의 크기에서 108인치의 크기까지 응용 범위가 광범위하여 오늘날을 액정표시장치의 시대라고 해도 과언이 아닐 정도로 발전을 하게 되었다. 지금까지의 비약적인 발전은 과감한 투자와 더불어 지속적인 기술 개발이 없이는 불가능하였을 것이다. 액정표시장치가 등장했을 당시는 CRT가 노트북 컴퓨터 등의 휴대 기기 디스플레이를 제외하고 전분야에 걸쳐 사용되고 있었다. 액정표시장치는 CRT와 견주어서 가격도 비쌌으며 무엇보다도 성능의 열세를 극복할 수 없을 것처럼 보였다. 아직도 개선되어야 할 사항이 많이 있지만 현재의 액정표시장치의 성능은 눈부시게 발전하였다고 생각된다. 수 많은 기술이 개발되었지만, 본 고에서는 특히 액정표시장치의 화질을 개선하기 위한 노력이 어떻게 진행되어 왔는지 살펴 보고자 한다.

II. 본 론

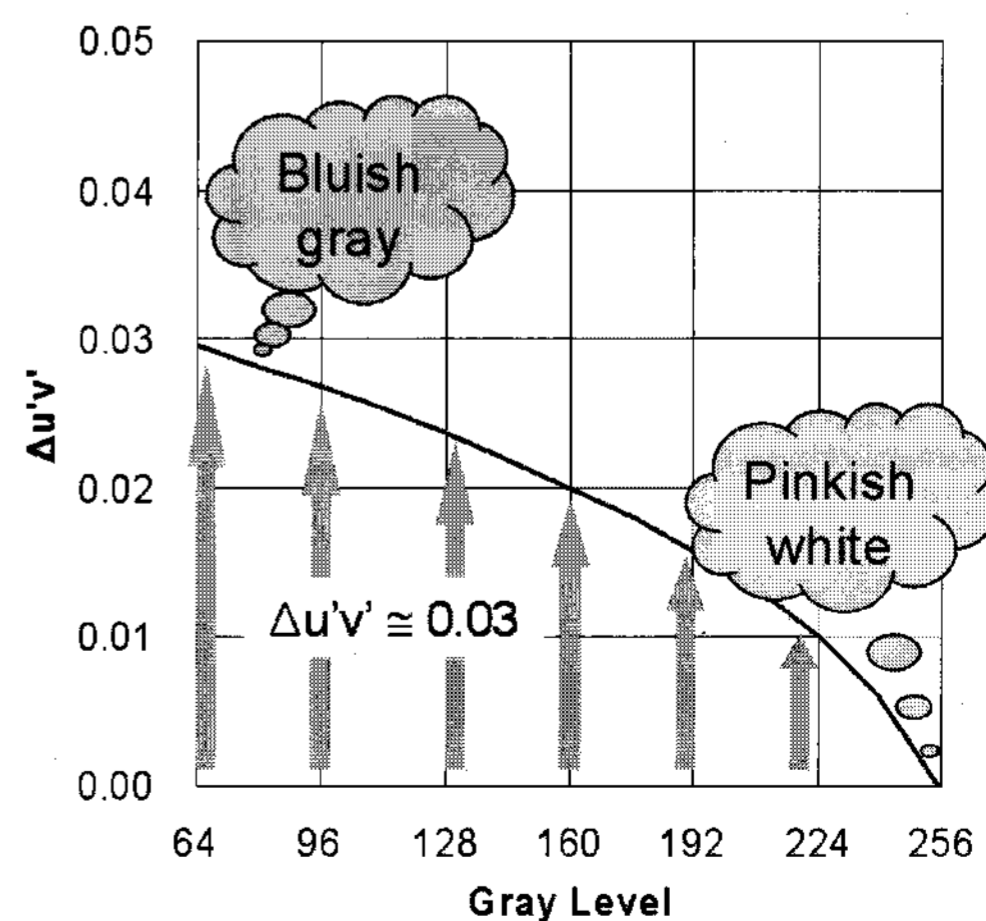
디스플레이의 화질을 논할 때, 화질이 좋은가는 객관적일 수 있거나 주관적일 수도 있다. 따라서, 본론에서는 객관적인 관점과 주관적인 관점에서의 화질 향상 기술로 나누어서 리뷰를 하고자 한다. 본 고에서의 관점은, 액정표시장치의 화질 향상을 위해 구동 기술이 어떻게 기여를 할 수 있는지에 초점을 두었다.

1. 객관적 화질 향상 기술

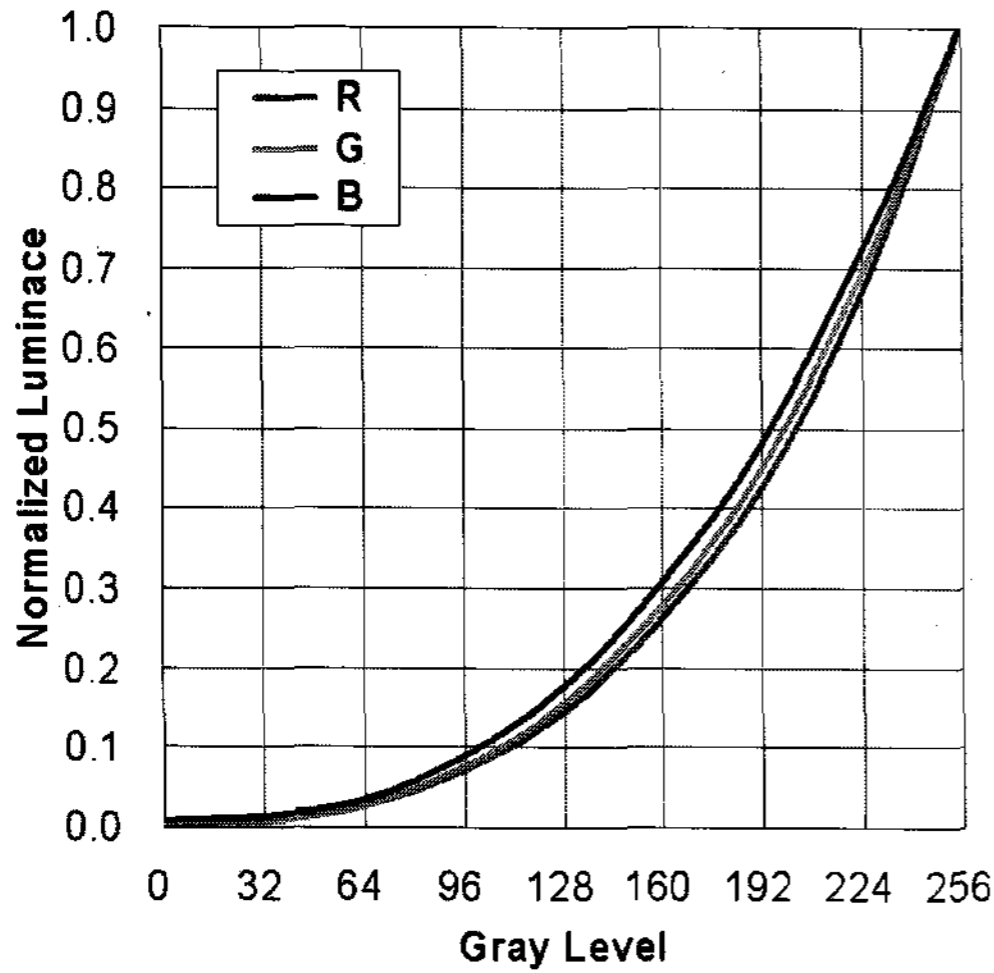
1) Color shift 개선 기술

시중에서 팔리는 대부분의 노트북용 액정표시장치와 15"에서 22" 와이드급 모니터용 액정표시장치는 TN(twisted nematic) 모드를 사용한다. 일반 사용자는 잘 모를 수 있지만, 블랙에서 화이트까지 무채색을 순차적으로 표시한 화면을 보면 중간 그레이에서 푸르스름하게 변화되는 것을 알

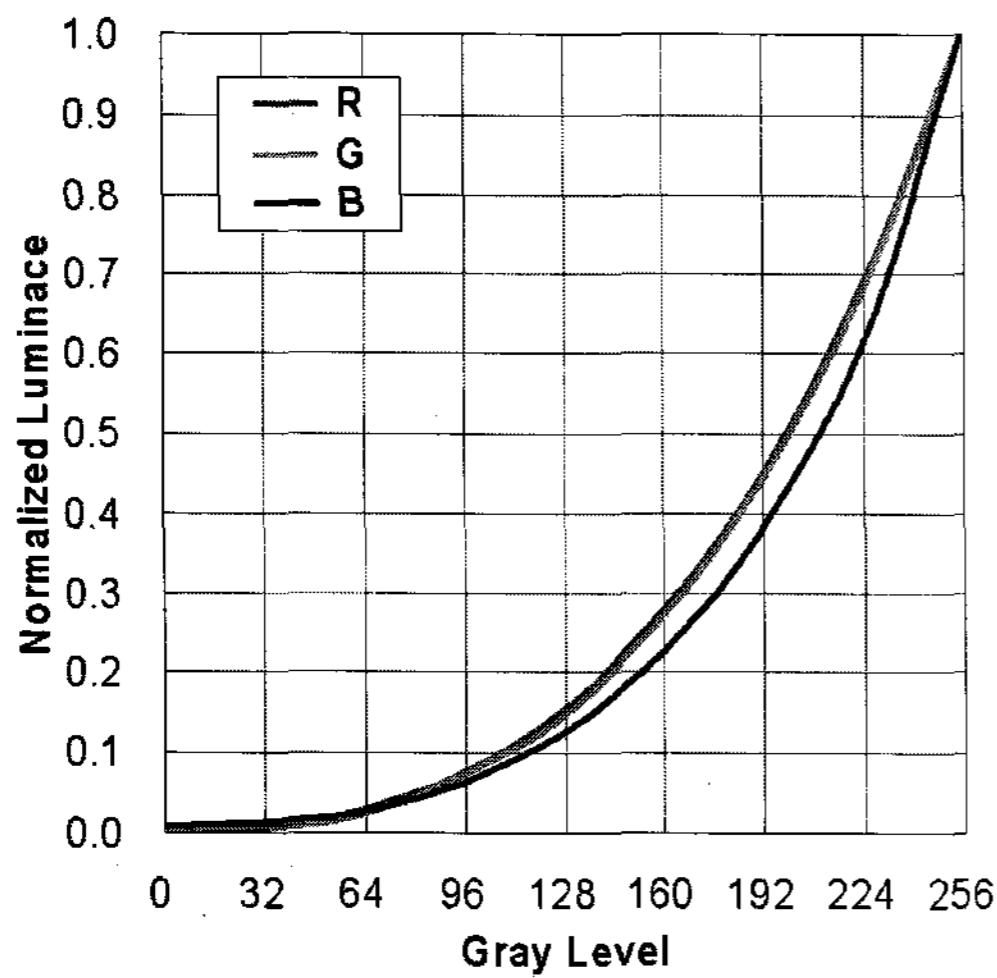
수 있다. 더 쉬운 방법은 CRT를 옆에 놓고 동일한 화면을 표시해서 비교해 보면 푸르스름하다는 것을 발견해낼 수 있다. 이러한 것을 color shift라고 부른다. 물론, 여기서는 정면에서 바라 보았을 때로 국한한다. 이상적인 디스플레이는 중간 그레이의 색깔이 화이트의 색깔을 그대로 유지하여야 한다. 최초로 이 부분에 대해 규정화 한 곳이 바로 TCO이다. TCO '03에서는 위와 같은 color shift의 문제를 규제하기 위해 color grayscale linearity라는 이름으로 제정하였다.^[1] 여기에 따르면 255, 225, 195, 165, 135, 105의 그레이에서 최대 색차를 $\Delta u'v'$ 로 계산하였을 때, 0.02를 넘을 수 없게 하였다. 하지만 [그림 1]에서 보인 것과 같이, 모든 TN과 VA(vertical alignment) 모드는 심각한 color shift를 가지고 있다. 보통 모니터는 6,500K의 화이트 색온도를 갖는데 이것은 핑크 빛이 돌고 중간 그레이에서 푸르스름한 색조가 강조 된다. 이것의 원인은 파장에 따른 분산의 차이로 인해 파장이 짧은 파랑의 투과도가 빨강과 초록에 비해 상대적으로 높기 때문이다. 따라서, RGB의 감마 곡선을 그려 보면, [그림 2]와 같이 파랑의 감마 곡선이 상대적으로 높은 투과도를 나타내는 것을 알 수 있다. 정면에서의 color shift를 해결하기 위해 ACC(accurate color



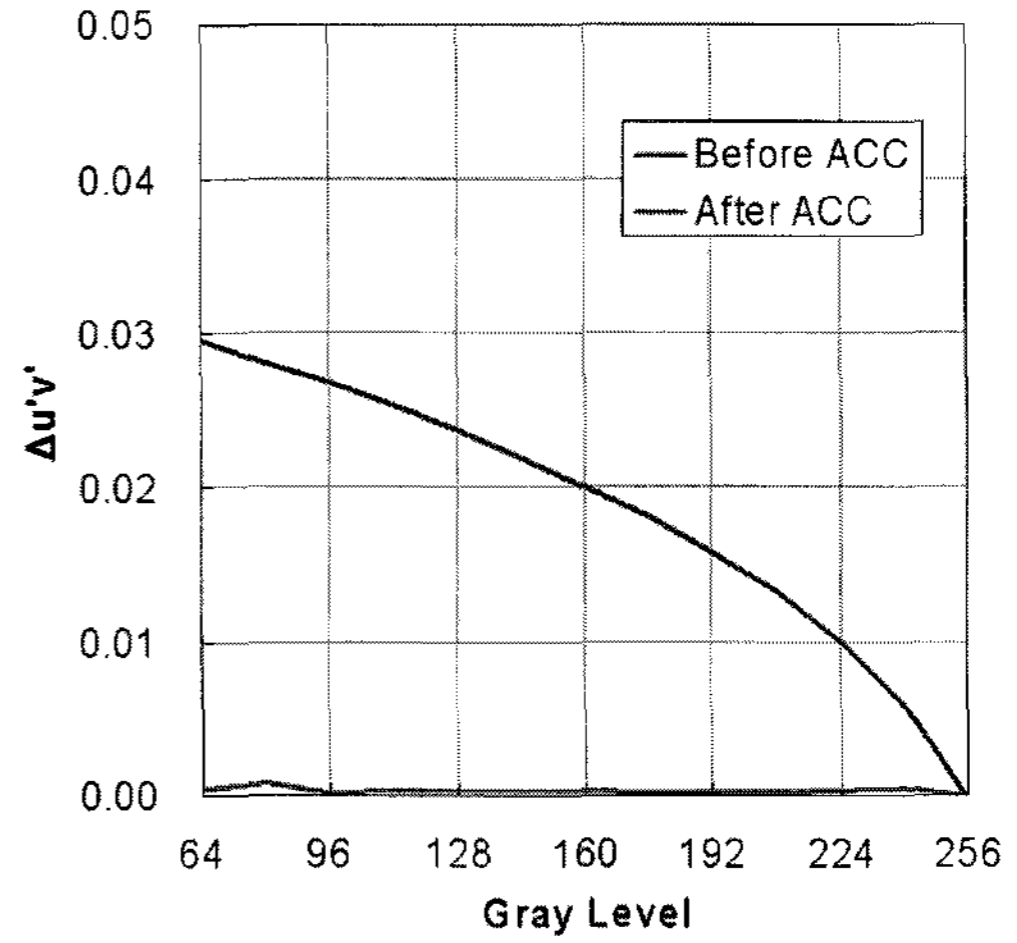
[그림 1] 그레이 레벨에 따른 color shift



[그림 2] RGB의 감마 곡선



[그림 3] ACC 적용 후의 RGB 감마 곡선



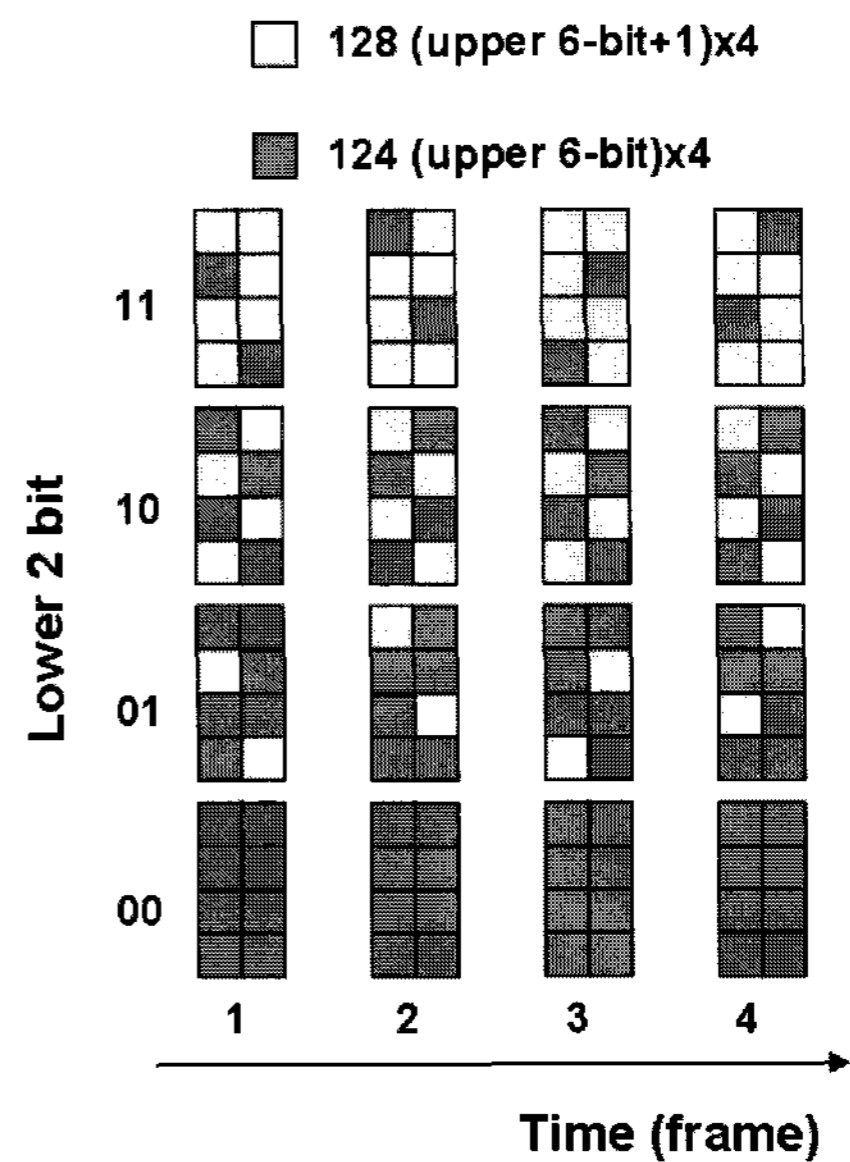
[그림 4] ACC 적용 후의 color shift 개선

ACC 기술이 삼성전자에서 발표된 이후, 비슷한 연구가 다른 곳에서도 발표되었다.^[3] 더 나아가 color management 기술까지 적용한 기술을 패널에 적용한 연구 결과도 있음을 알 수 있다.^[4] 최근에는 ACC의 LUT를 아주 정밀하게 자동으로 생성할 수 있는 연구 결과도 발표되었는데,^[5] 이것은 TCO '06에서 media display에 관해 TCO '03 보다 더 강화한 것에 능동적으로 대체할 수 있으리라 예상된다. TCO '06에서는 TCO '03에서 정의했던 6개의 계조에 75와 45 계조까지 포함되었으며 $\Delta u'v'$ 의 최대값을 0.01로 한정하였다.^[6]

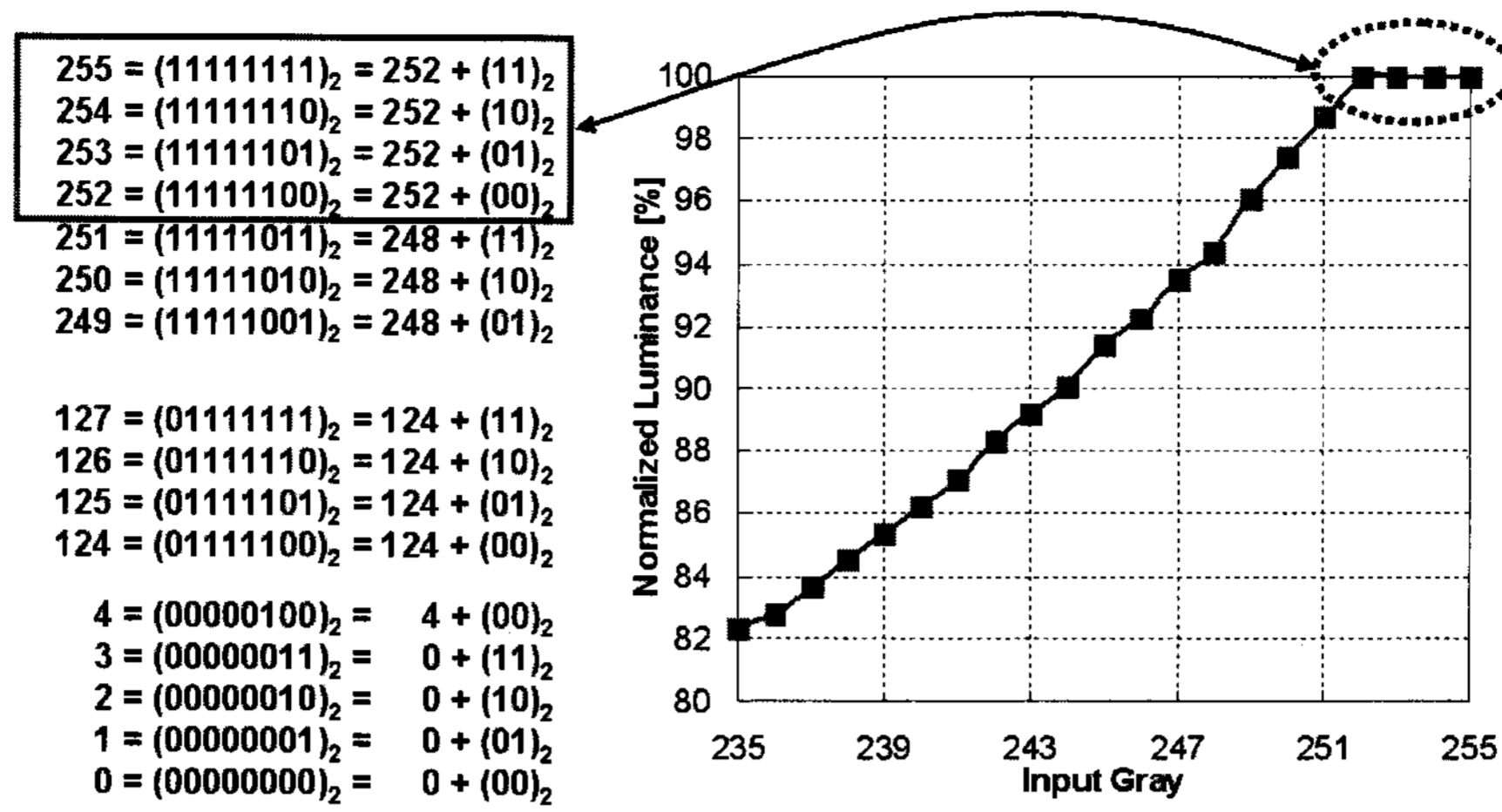
2) 더 많은 계조 표현, FRC 기술

액정표시장치에서 널리 사용하고 있는 기술 중 하나가 FRC(frame rate control)이다. 이것은 구동 IC의 비트 수가 6비트임에도 마치 8비트의 구동 IC를 사용하고 있는 것처럼 흉내를 내는 기술이다. [그림 5]는 기존의 FRC 기술

capture)라는 기술이 제안되었다.^[2] 이 기술은 BGR 순서로 되어 있는 감마 곡선을 RGB 순서가 되도록 하여 그레이 레벨의 컬러가 white와 동일하게 유지되도록 하는 기술이다. 기술의 구현 방법은 입력되는 영상 정보를 받아서 RGB 각각 독립적으로 새로운 데이터를 만들어 내는 것이다. 쉽게 접근할 수 있는 방법은 LUT(look-up table)을 사용하는 것으로 입력되는 영상 정보가 8비트일 경우 LUT 값은 입력 보다 비트 수가 많은 10비트를 사용하게 된다. 이렇게 늘어난 비트 정보는 LCD에서 사용하는 FRC (frame rate control) 방법을 사용하여 256개의 입력 레벨에 대해 각기 다른 휘도를 갖도록 유지할 수 있게 하였다. 기존의 LUT 방법을 사용하면, 8비트 입력에 8비트 출력이라 감마 곡선을 변경하기 위해서는 입력이 다른 디지털 값에 대해 동일한 휘도가 표시될 수 있는 문제를 해결한 것이다. 이렇게 하여 최적화된 감마 곡선이 [그림 3]과 같이 파랑의 감마 곡선이 빨강과 초록 곡선보다 아래로 많이 내려가 있음을 알 수 있다. 이렇게 변경된 감마 곡선은 [그림 4]와 같이 color shift가 거의 완벽하게 해결되고 있음을 알 수 있다. 2003년

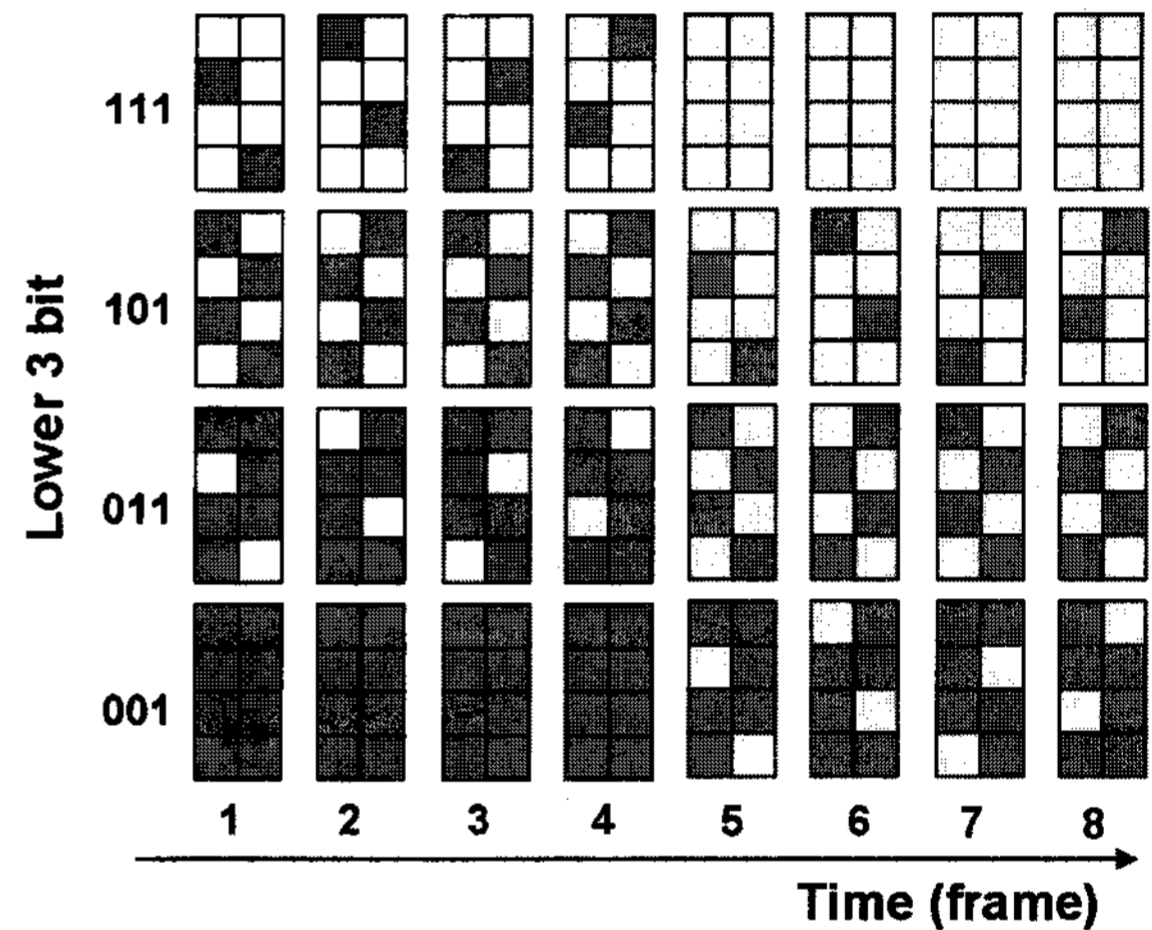


[그림 5] 기존 FRC의 방법

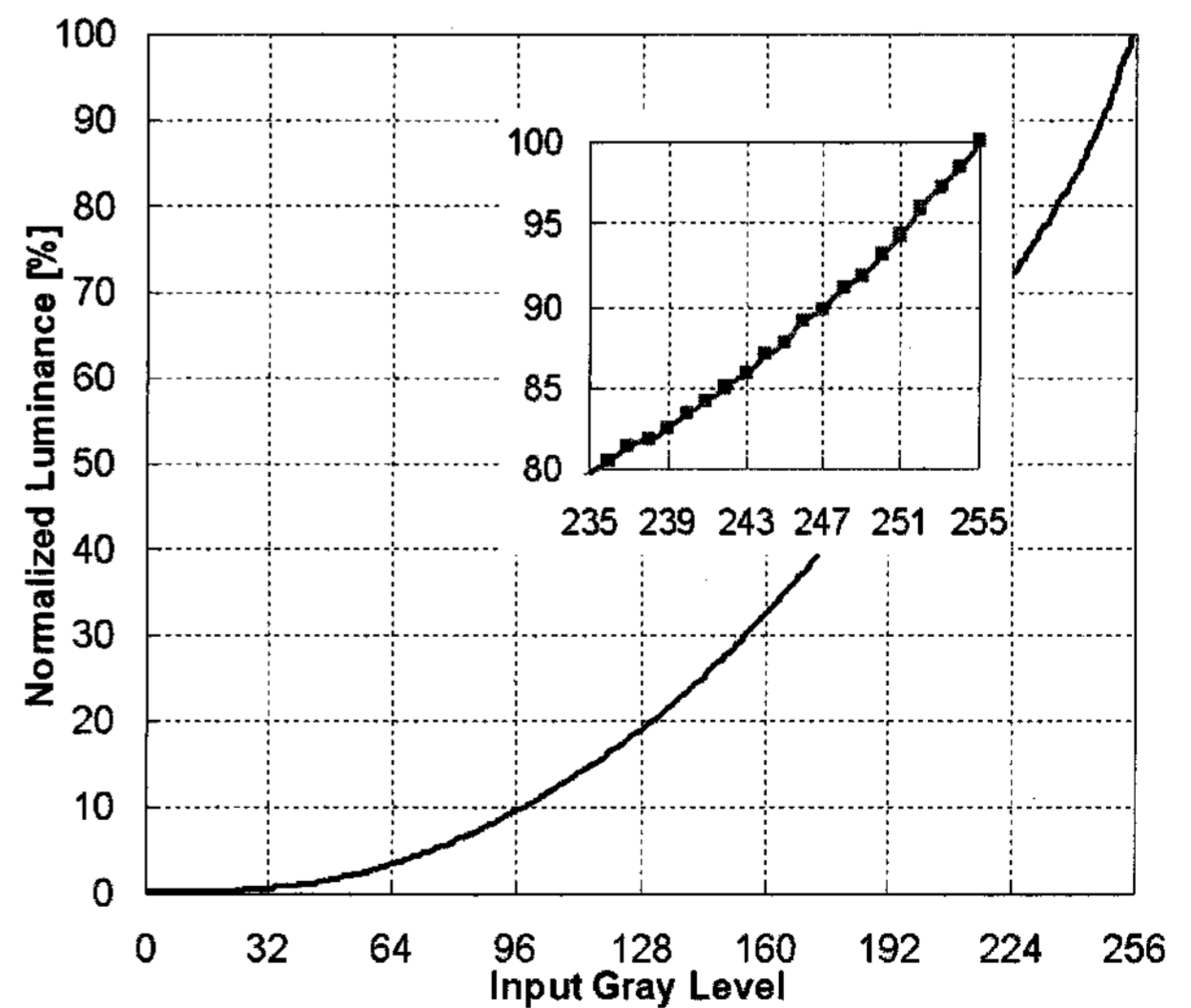


[그림 6] 기존 FRC의 휘도 포화 문제

을 나타내고 있다. 입력되는 8비트의 데이터 중 하위 2비트 정보에 따라 상위 6비트에 1을 더해서 구동 IC로 전송하는 지 아니면 상위 6비트 데이터 그대로 전송하는지를 [그림 5]와 같이 결정해 주는 것이 FRC의 기본 개념이다. 시간과 공간에 따라 배분하여 평균적으로 두 개의 인접한 6비트 데이터 사이에 3개의 데이터를 더 만드는 효과를 얻을 수 있다. 그런데 이 방법은 최상위 계조 4개에서는 한계를 나타낸다. 즉, 252-255의 데이터는 상위 6비트 데이터가 63(이진수로 111111)이다. 즉, 하위 2비트 정보에 따라서 상위 6비트에 1을 더하면 64가 되는데 이것은 6비트가 아닌 7비트가 된다. 표현할 수 없는 수이기에 실제로는 1을 더해야 하는 경우에도 더하지 않고 구동 IC에 전송하기에 최상위 4개의 영상 정보는 입력 데이터가 분명 다름에도 불구하고 [그림 6]과 같이 동일한 휘도를 나타내는 단점이 있다. 즉, RGB는 각각 256개의 다른 휘도를 낼 수 없고, 253개의 다른 휘도를 낼 수 있기 때문에 총 표현 색 수는 $253 \times 253 \times 253 = 16,194,277$ 가 된다. 모니터 스펙에서 16.2M라는 말이 나온 이유는 바로 여기에 있는 것이다. 이러한 한계를 극복한 기술이 Hi-FRC이다.^[7] 앞에서 언급한 ACC는 8비트 입력이 들어오면 10비트 데이터의 LUT 값이 나오는 것을 알 수 있다. Hi-FRC도 이와 마찬가지로 8비트 입력에 대해 9비트 데이터를 만들어 500여 개의 데이터 중에 서로 다른 256개의 9비트 데이터를 취해서 3비트를 줄이는 방법을 찾는다면 잃어버린 최상위 4계조에 대해서도 서로 다른 휘도를 얻을 수 있다는 개념에서 출발하고 있다. 문제는 9비트에서 어떻게 하면 3비트를 줄일 수 있는가 이다. [그림 7]은 Hi-FRC의 3비트 축소 방법을 보여 주고 있다. 기존의 FRC 방법을 이용하되 시간적으로 평균하는 시간을 4 프레임에서 8 프레임으로 늘리는 것이다. 예를 들어 9비트 데이터 중 하위 3비트 데이터가 "101"이 들어오면, 기존의 FRC에서 사용하는 "10"에 대한 패턴을 4 프레임 사용하고 "11"에 대한 패턴을 4 프레임 사용하면 얻을 수 있게 되는 것이다. 기존의 FRC가 공간적으로 2×4 의 8 픽셀을 사용하는데 반해, Hi-FRC는 8×8 이라는 공간적인 단위를 사용하는 것도 다른 점이다. 이렇게 하면 [그림 8]과 같이 최상위 4 계



[그림 7] Hi-FRC의 시간적 평균화 개념도



[그림 8] Hi-FRC 방법에 의해 개선된 감마 특성

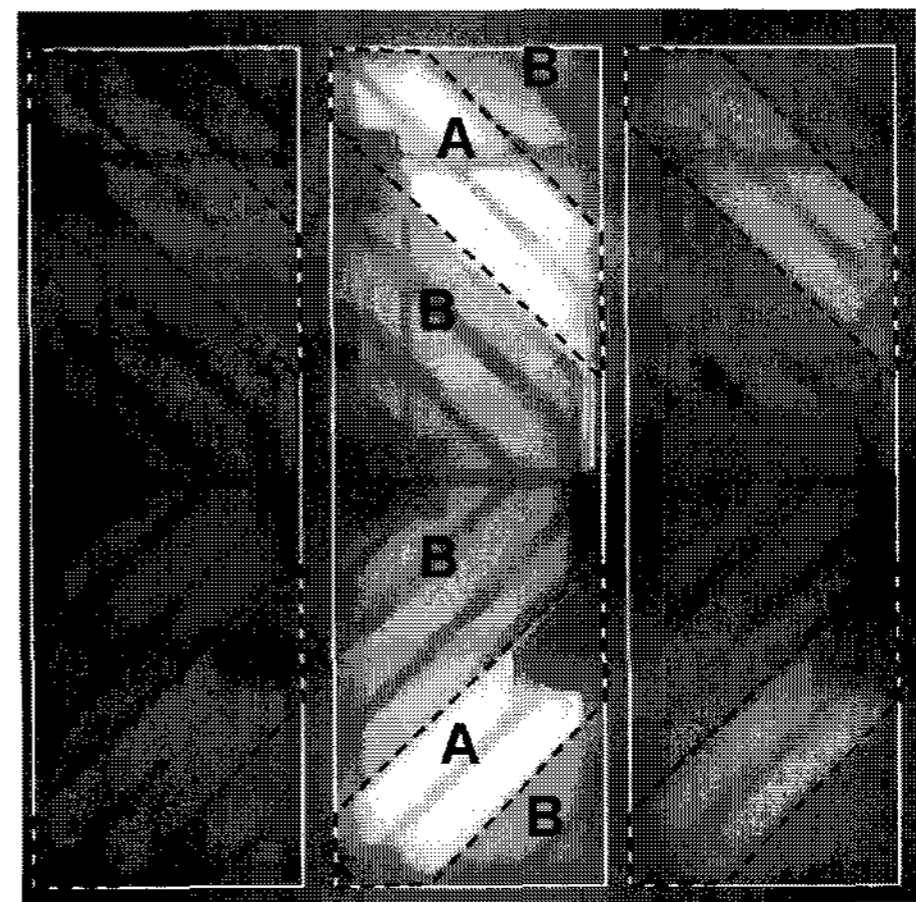
조의 데이터가 서로 다른 휘도를 낼 수 있게 되어 6비트 구동 IC를 사용함에도 불구하고 $256 \times 256 \times 256 = 16,777,216$

의 full color를 표시하는 액정표시장치를 구현할 수 있게 된다.

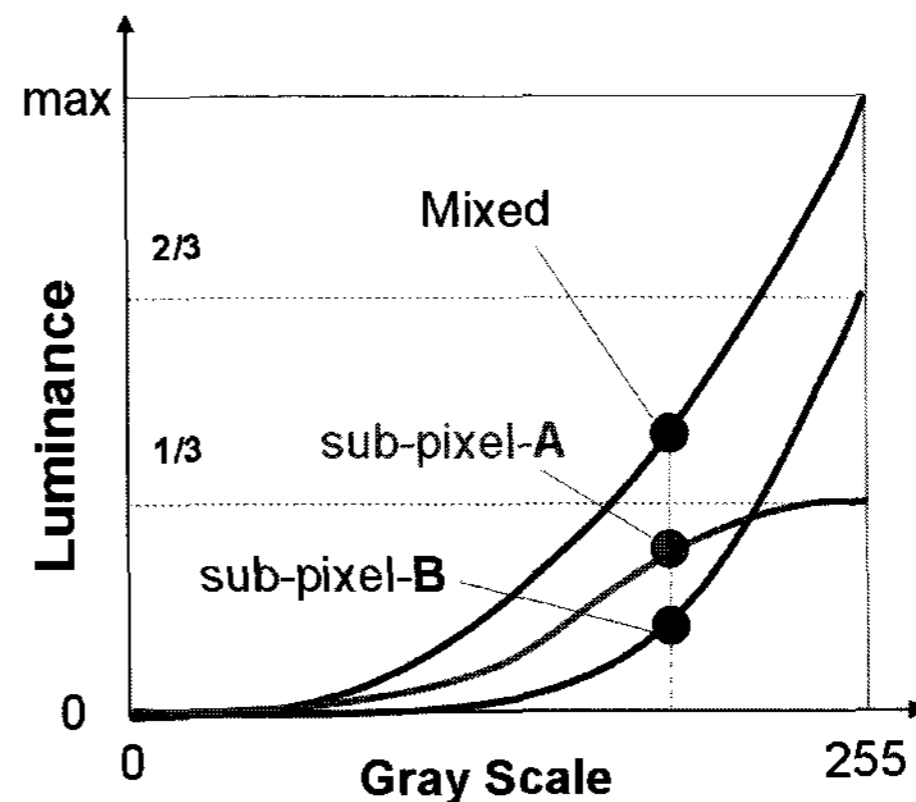
3) 측면 화질 향상 기술, S-PVA

액정표시장치의 가장 큰 약점은 바로 시야각에 따른 화질의 저하이다. TN은 시야각 범위가 좁고 특히 하측 시야각은 매우 떨어지는 특성을 나타낸다. 광시야각 모드로 알려진 VA는 TN보다는 매우 좋은 특성을 나타낸다. 하지만, 측면에서 관찰했을 때, 사람의 얼굴이 하얗게 뜨는 현상이 나타나서 시인성이 상대적으로 떨어진다는 지적을 받아 왔다. 이 문제를 해결하기 위해 제시된 방법이 S-PVA(super-PVA) 방법이다.^[8] 측면 시인성이 떨어지는 이유는 [그림 9] (b)과 같이 시야각에 따른 감마 곡선이 왜곡 현상을 보이기 때문이다. VA 모드는 광시야각 특성을 얻기 위해 4개의 영역으로 나뉘어 있는데, 측면 시인성 문제를 해결하기 위해 각 영역을 두 개로 더 나누어 총 8개 영역이 한 화소에 존재하도록 새롭게 화소 배치를 하였다([그림 10] (a)). 두 개로 나뉜 각 sub-pixel은 면적 비가 1:2로 되어 [그림 10] (b)와 같이 두 sub-pixel 휘도의 합으로 하나의 화소 휘도가 표시된다. 나뉘어진 두 개의 sub-pixel의 각기 다른 시야각 특

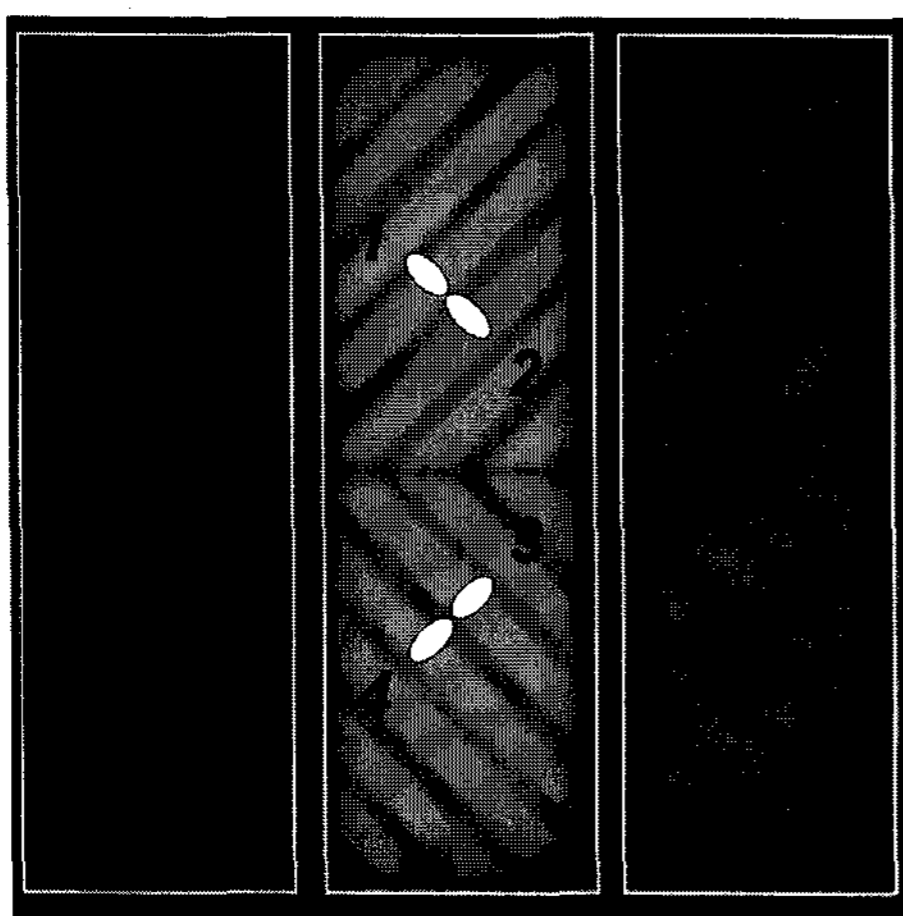
성이 조합되어 향상된 측면 시인성을 얻을 수 있게 되는 것이다. [그림 10] (c)는 S-PVA의 향상된 측면 감마 특성을 나타내고 있다. [그림 10]에서 볼 수 있듯이, S-PVA의 시야각에 따른 성능이 월등히 향상되었음을 알 수 있다.



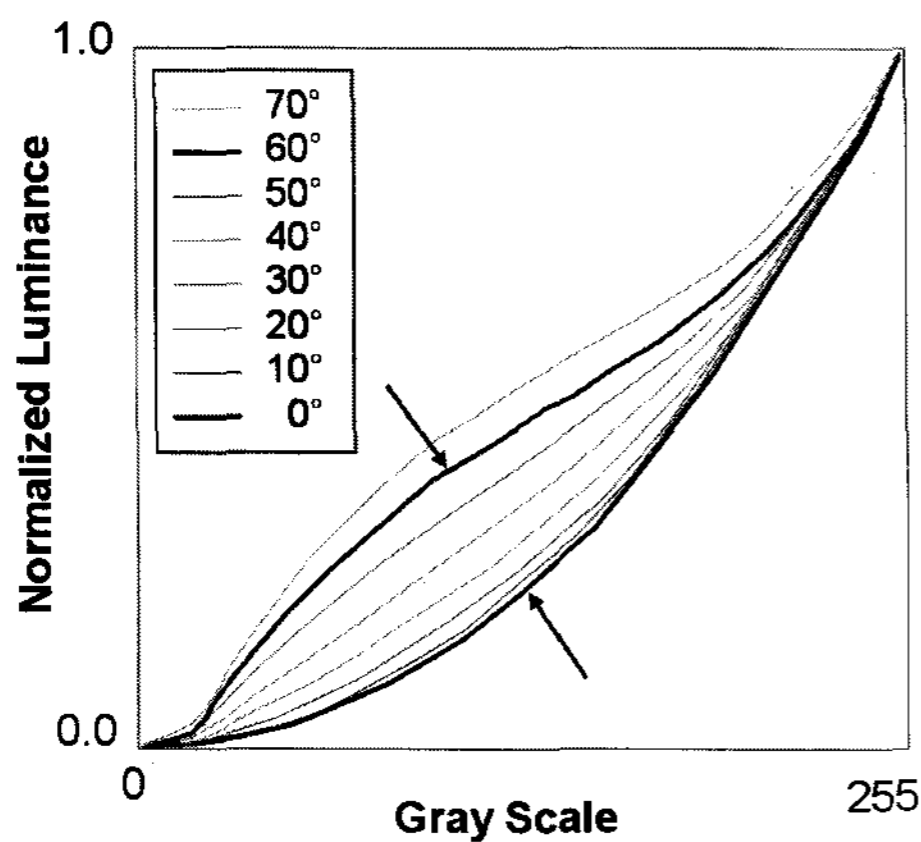
(a) S-PVA 화소 구조



(b) S-PVA 구동 방법



(a) 기존의 VA 화소 구조



(b) 시야각에 따른 측면 감마 곡선

[그림 9] 기존의 VA 특성

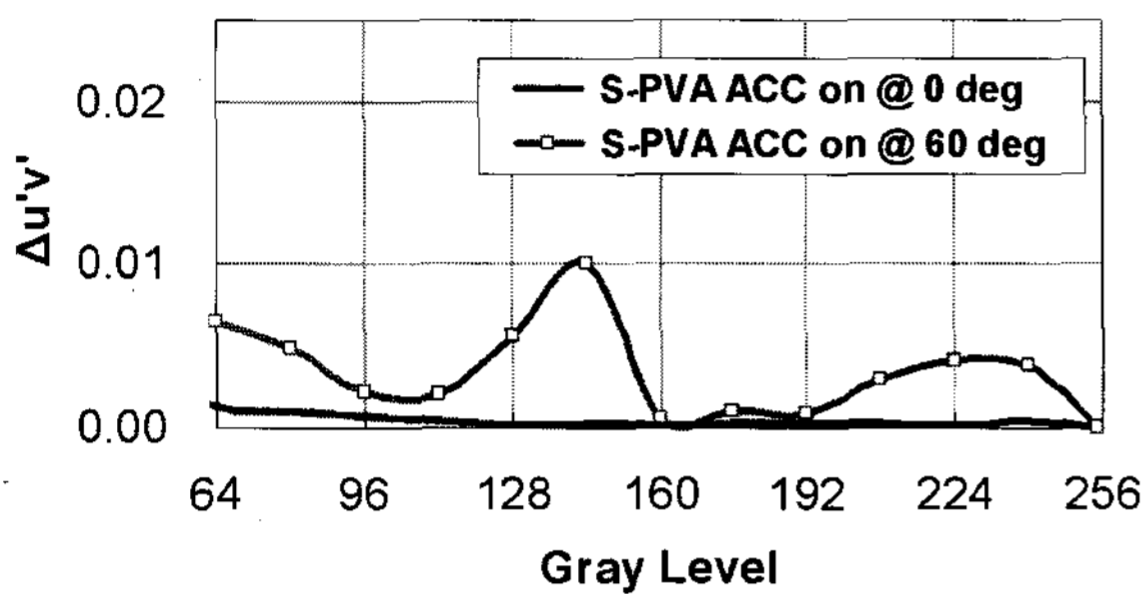


(c) PVA와 S-PVA 비교 사진

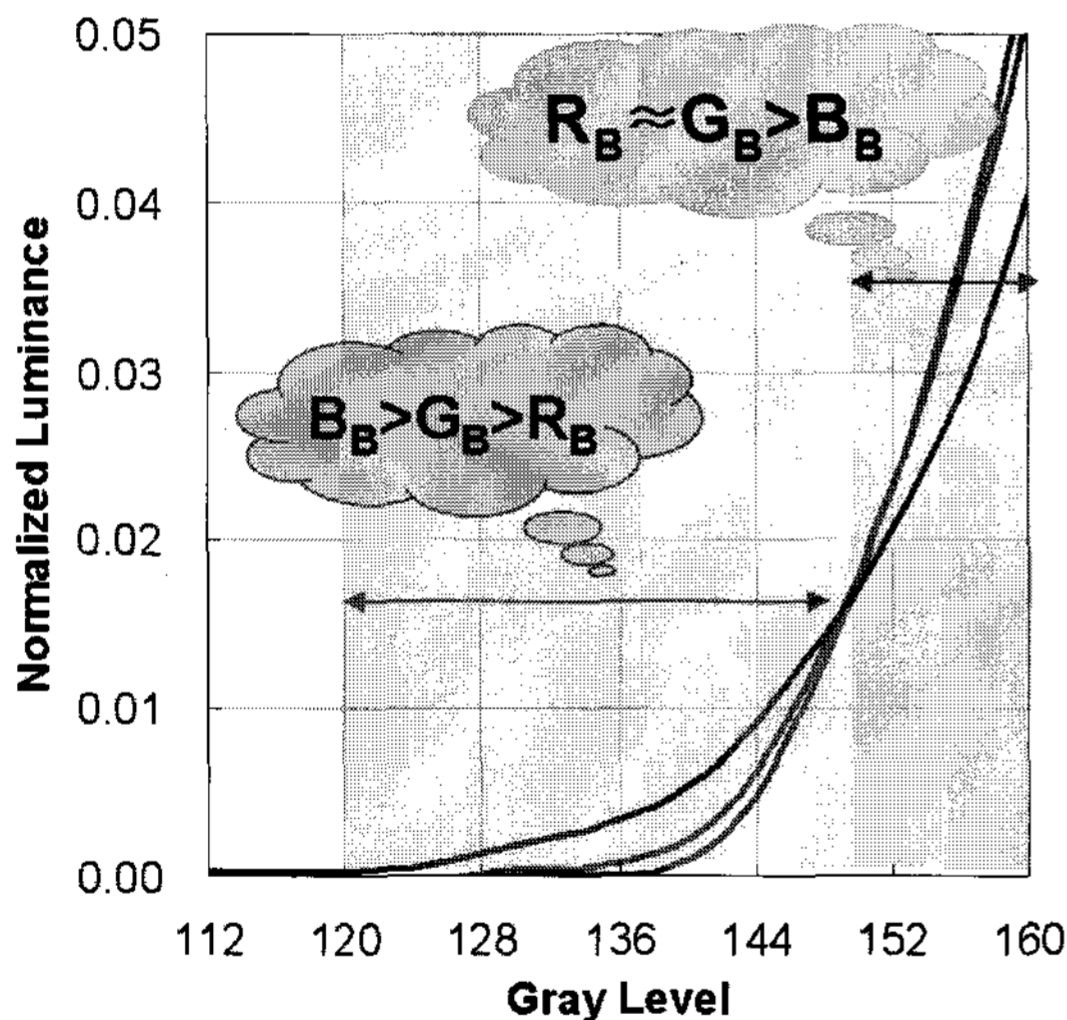
[그림 10] S-PVA 구조 및 성능

S-PVA 방법은 한 화소를 두 개의 sub-pixel로 나누고 있다. 하지만 VA와 동일하게 color shift 문제가 발생하기 때문에 ACC를 적용해야 한다. ACC가 정면에 적용되었을 때, [그림 11]에서처럼, 측면에서 역효과가 발생하지 않도록 RGB 감마 곡선 제어를 잘 해야 한다. 즉, [그림 12]와 같이 총 6개의 감마 곡선을 조정하여 정면뿐만 아니라 측면까지 조정하는 기술을 적용하여 측면에서의 역효과를 제거한 기술도 제시되었다.^[9]

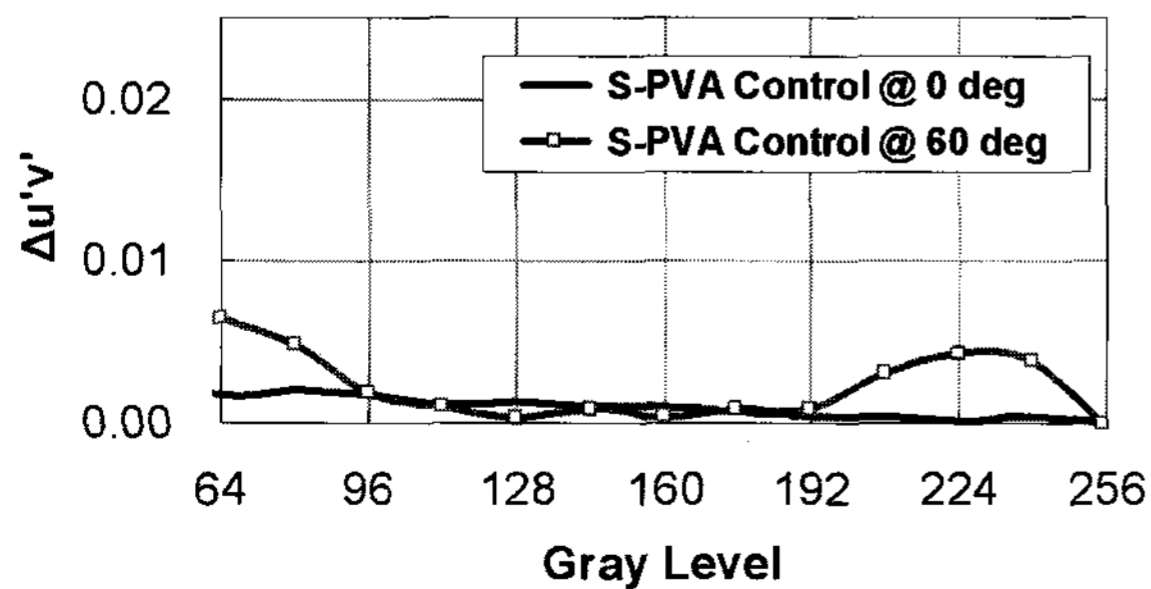
S-PVA 기술을 LCD-TV 기술로 확대하면서 120Hz에 적용할 수 있는 S-PVA 기술도 최근에 발표되고 있다.^[10, 11]



[그림 11] ACC 적용된 S-PVA의 중간 제조에서의 측면 색 이동



(a) B sub-pixel의 감마 제어



(b) 감마 제어 기술 적용 후 향상된 색 특성

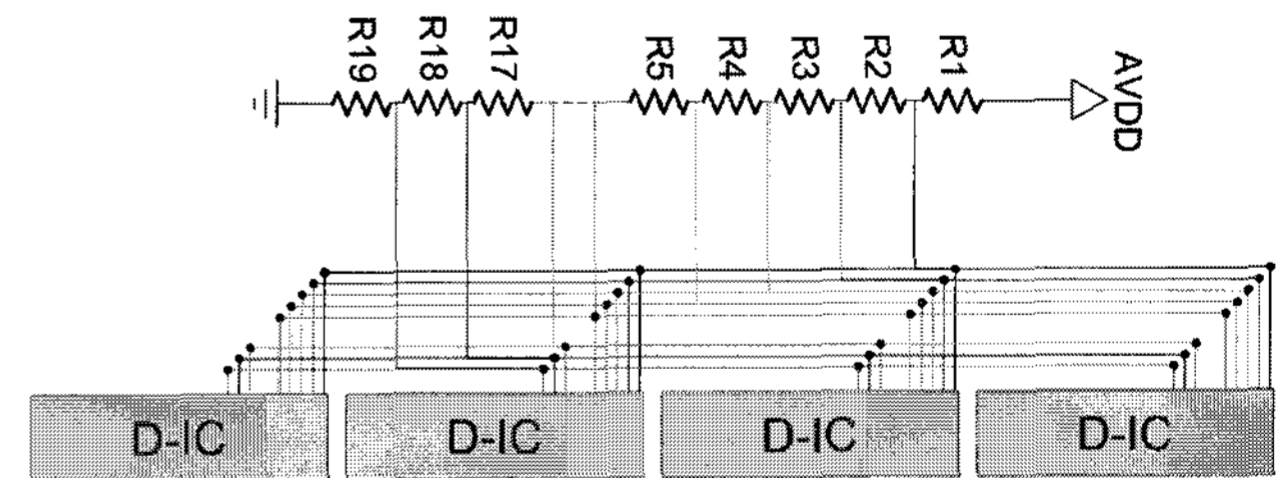
[그림 12] ACC 적용 문제를 해결하기 위한 감마 적용 기술

2. 주관적 화질 향상 기술

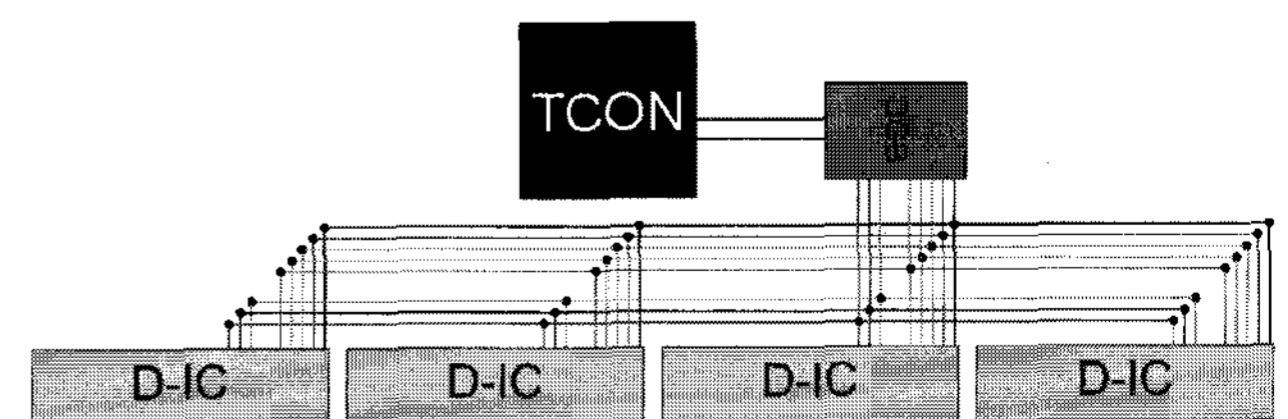
지금까지는 정확한 컬러 화질 구현을 위한 기술들에 대해 다루었다. 지금부터는 주관적인 화질 향상 기술에 대해 다루고자 한다. 액정표시장치는 PDP와 CRT 같은 발광 디스플레이와는 다르게 따로 광원이 존재하는 비발광 디스플레이이다. 이것이 디스플레이 자체만으로는 매우 비효율적인 것처럼 보일 수 있다. 하지만, 오히려 광원이 따로 존재함으로 인해 여러 가지 긍정적인 기술이 탄생하게 되었는데 그러한 기술들을 다루고자 한다. 주관적 화질 향상 기술이라 함은, 영상을 원래의 영상대로 디스플레이 해야 한다는 것에서 더 나아가 개인적으로 좋아 보이는 영상을 디스플레이 하는데 필요한 기술이라고 정의 내리고 싶다.

1) Dynamic Gamma Control

같은 디스플레이 패널이라 하더라도 영상의 감마가 달라지면 색상이 완전히 달라지게 된다. 액정표시장치에서 감마를 조정하는 방법은 구동 IC에 공급되는 아날로그 감마 기준 전압을 변경해 주면 어느 정도 자유롭게 변경할 수 있다. 다른 디스플레이에서는 디지털 영상 정보를 바꿔 줘야만 가능하지만 액정표시장치에서는 디지털 입력 데이터를 전혀 건드리지 않고 감마를 쉽게 변경할 수 있다는 장점이 있다. 그런데 액정표시장치에서 아날로그 감마 기준 전압을 생성하는 회로는 [그림 13]에서 보듯이, 저항 스트링으로 이루어진 전압 분배기가 그 역할을 맡고 있다. 매우 간단한 회로이지만 한 번 저항 스트링의 값들이 결정되면 전압 값들을 자유롭게 변경하기 힘들게 되어 있다. 또한, 단일 저항들의 값들은 연속적으로 존재하는 것이 아니라 불연속적으로 존재하기에 저항 스트링의 값을 세팅하는 데는 시간이 매우 많이 소모되는 일이 된다. 이러한 불편함을 해결하기 위해 digital gamma buffer (DGB)라는 것이 개발되었다. DGB는 디지털 인터페이스를 가지고 있으며 내부에 다채널 digi-



(a) 저항 스트링을 이용한 아날로그 감마 기준 전압 발생 회로



(b) DGB를 이용한 구동 회로의 개념도

[그림 13] 액정표시장치의 아날로그 감마 기준 전압 발생 회로



[그림 14] DGC 적용 전 (좌) 후 (우) 영상 비교

tal-to-analog converter (DAC)가 내장되어 있다. 즉, 디지털 통신을 통해서 아날로그 전압 값들을 쉽게 변경할 수 있다는 것이다. [그림 13](b)는 DGB를 이용한 액정표시장치의 구동 회로의 간략한 개념도를 볼 수 있다. Timing controller(T-CON)에서 디지털 통신을 통해 DGB에 값을 전달해 주면 DGB 내부의 DAC를 통해 새로운 아날로그 전압 값들이 발생하게 되는 것이다.

DGB를 이용하면 영상에 따라서 감마의 특성을 바꿀 수 있게 된다. 즉, T-CON은 입력되는 이미지 정보를 분석하여 어두운 영상이 들어오는 경우에는 어두운 쪽의 감마 전압의 차이를 키워서 어두운 영상의 분해능을 키울 수 있고 밝은 영상이 들어 올 경우는 밝은 쪽의 감마 전압의 차이를 키워서 휘도 차이를 벌려서 좀 더 선명한 영상을 얻을 수 있게 된다. 매 프레임 별로 입력되는 영상을 분석하여 그 영상에 맞는 감마를 표시해 주는 방법이 바로 dynamic gamma control(DGC)인 것이다.^[12] [그림 14]에는 DGC를 적용하지 않은 패널(좌측 패널)과 적용한 패널(우측 패널)의 영상 비교 사진을 보여 주고 있다. 그림에서 보듯이 적용 후의 영상이 훨씬 좋아 보인다. 실제 측정 결과에 의하면 이 영상의 contrast ratio(CR)가 3배 증가했다고 보고되었다.

2) 이미지 처리와 BLU 제어 기술

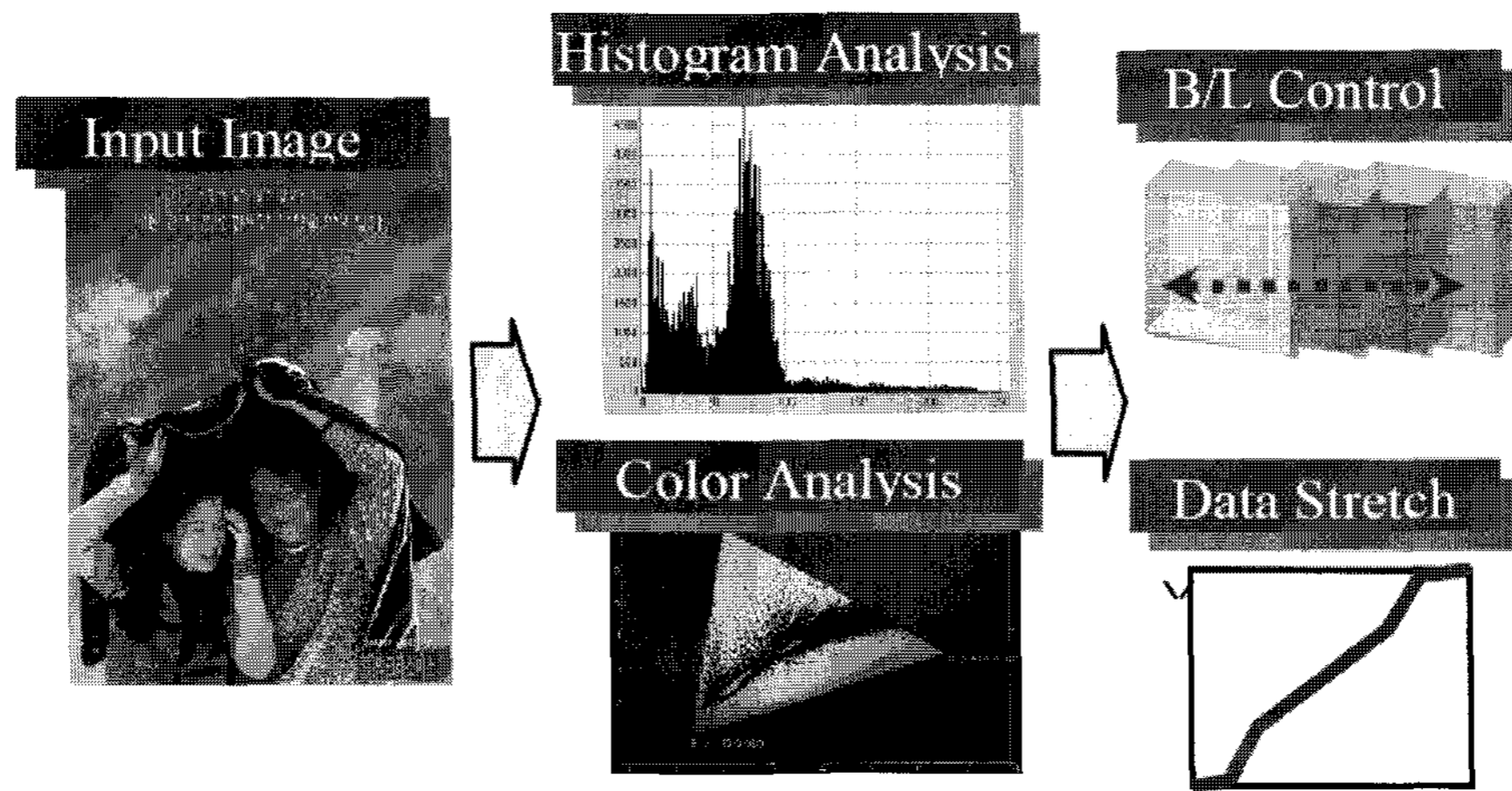
DGC는 액정표시기에서만 구현 가능한 기술이다. 디지털 데이터는 전혀 건드리지 않으면서 영상에 따라 감마를 변경하는 기술은 아날로그 전압으로 감마를 변경할 수 있는 액



[그림 15] DGC + BLU control 기술의 적용

정표시장치에서만 가능한 기술인 것이다. 여기에 back light unit(BLU)은 다른 디스플레이는 없고 액정표시장치만이 가지고 있는 유일한 부품이다. 액정표시장치의 전력 소모는 BLU에서 대부분 발생한다는 것을 알 것이다. 따라서 BLU에서 소모하는 전력을 줄이고 대신 DGC를 이용하여 영상의 감마를 바꾸어 어두워진 BLU임에도 불구하고 비슷한 영상을 얻게 하는 기술로 발전할 수 있다.^[13] [그림 15]는 DGC+BLU control 기술이 실제 패널에 적용되었을 때 원래의 이미지와 비교를 통해 충분히 적용될 수 있음을 증명하였다.

광시야각 모드 중의 하나인 IPS는 경쟁 상대인 VA 모드에 비해 CR이 떨어지는 단점이 있다. 이것을 해결하면서 동시에 화질을 개선하기 위한 연구가 2004년도에 발표되었다.^[14] Adaptive Dynamic Image Control(ADIC)라고 명명된 이 연구는 [그림 16]에서 보듯이, 이미지 분석과 색상의 분석



[그림 16] ADIC : Adaptive Dynamic Image Control

을 통해 이미지를 변형시키고 BLU를 조정하는 기술이다. 이러한 기술을 적용하여 600:1 이하의 CR을 갖는 IPS 모드를 1100:1로 향상시킬 수 있다고 발표했다.

3) LED local dimming 기술

액정표시장치의 화질 향상을 위하여 LED가 BLU로 사용되어 제품으로 출시되고 있다. LED가 CCFL 대비 우수한 것으로는 넓은 색 영역을 표시할 수 있다는 것과 국부적인 BLU 구현이 가능하다는 점이다. 액정표시장치를 고해상도의 디스플레이로 간주하고 ([그림 17](a)) array로 배열된 LED BLU는 저해상도의 디스플레이로 간주하여 ([그림

17](b)) 두 디스플레이의 영상의 결합으로 ([그림 17](c)) 높은 동적 영역의 (high dynamic range, HDR) 영상을 얻는 기술이 발표되었다.^[15] 이 기술은 블랙은 0.1cd/m^2 최고 휘도는 $10,000\text{cd/m}^2$ 가 되어 100,000:1의 매우 높은 CR을 갖는 영상을 얻을 수 있다고 발표되었다.^[15]

LED를 국부적으로 조절하는 것과 더불어 이미지 처리를 통해 더 향상된 기술을 발표하였다.^[16] 여기서 더 나아가 RGB LED를 독립적으로 local dimming을 하는 기술도 발표하였는데,^[17] 이것은 화질을 향상시킨다기 보다는 전력 소모를 줄이는데 초점을 맞추었다.

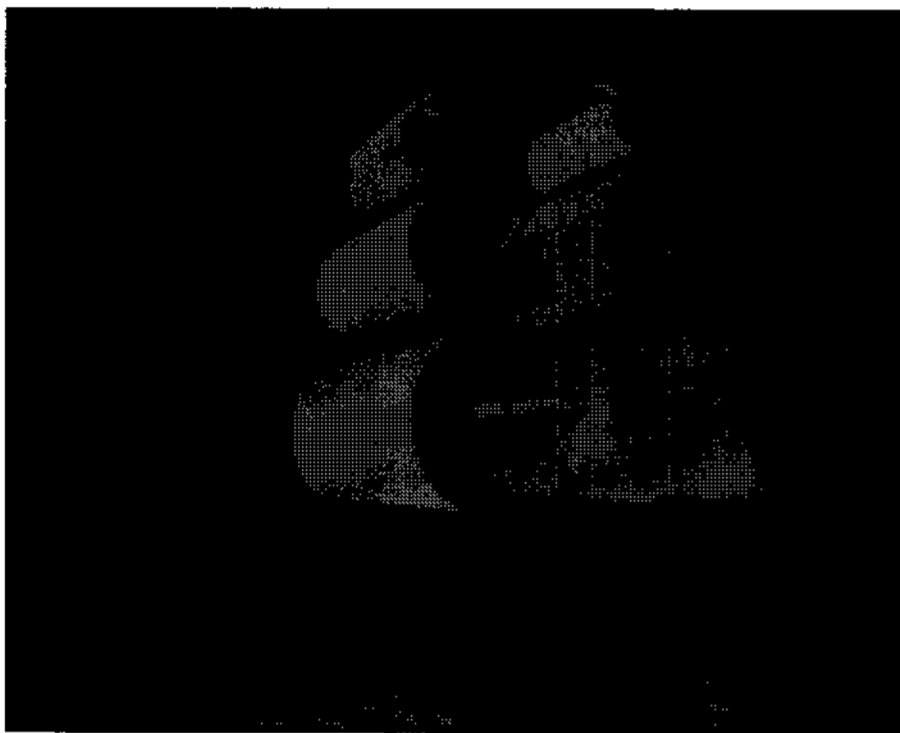
III. 맺 음 말

본 고에서는, 액정표시장치의 화질을 향상시키는 기술들에 대해 리뷰를 하여 보았다. 비록 액정표시장치의 역사가 길지는 않지만, 그 동안 많은 기술들이 개발되어 왔음을 알 수 있다. 대부분의 내용이 중대형 액정표시장치에 적용이 되는 기술들에 초점이 맞추어져 있지만 소형으로 확대하면 더 풍부한 기술들이 등장할 것으로 생각된다.

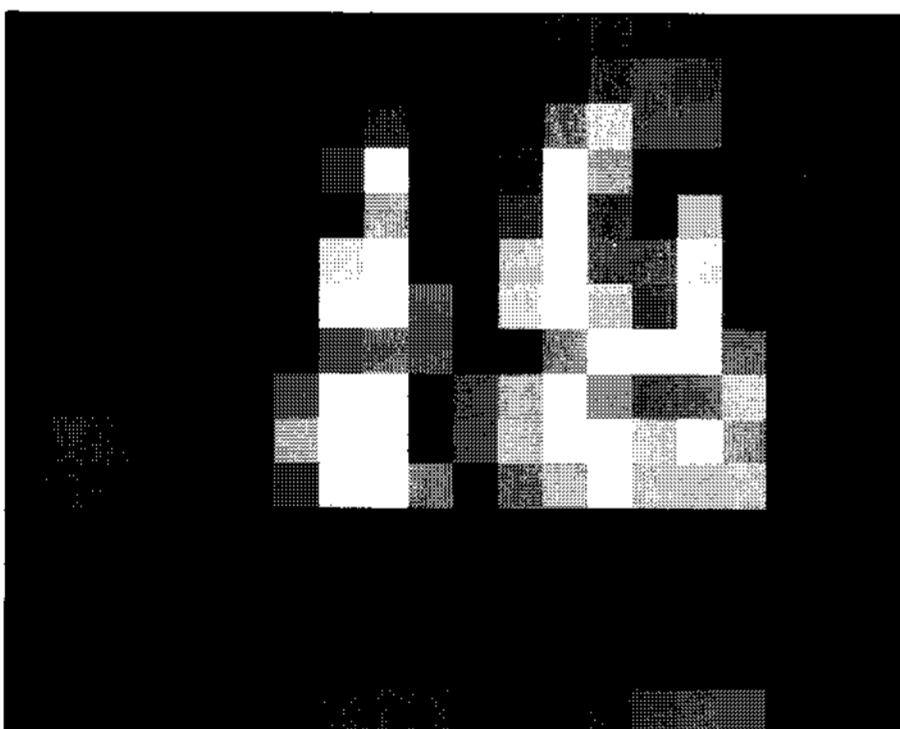
액정표시장치의 단점은 끊임 없는 소자, 공정, 재료 개발로 향상되어 왔다. 하지만 새로운 공정, 소자 및 재료 개발은 많은 시간과 돈이 들어가야 하지만, 지금까지 소개한 구동 기술 개발로 불가능한 것을 가능하게도 하였으며, 아주 적은 돈을 들여서 제품화에 성공하게 한 것도 있다. 앞으로도 새로운 구동 기술과 개념의 개발로 액정표시장치는 무한히 발전할 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] TCO '03 Displays, Flat Panel Displays Ver. 3.0.
- [2] Seung-Woo Lee, et al., "Driving Scheme for Improving Color Performance of LCD's: Accurate Color Capture", SID '03, pp.344-347.
- [3] C. H. Hsu, et al., "One Point Color Tracking Method for High Definition Flat Panel Display", SID '04, pp.392-295.
- [4] C. T. Liu, et al., "A 46-inch TFT-LCD HDTV Technology with Color Management and Image Quality Enhancement", SID '04, pp.750-753.
- [5] Jae Won Jeong, et al., "Optimization of LCD Color Performance Using a New ACC Technique", SID 07, pp.356-359.
- [6] TCO '06 Media Displays, Ver. 1.2.
- [7] Seung-Woo Lee, et al., "A Novel Dithering Algorithm for High Color Depth and High Color Performance: Hi-FRC", SID '04, pp.1482-1485.
- [8] Sang Soo Kim, et al., "New technologies for advanced LCD-TV performance", Journal of the



(a) High resolution color LCD



(b) Low resolution individually modulated LED array

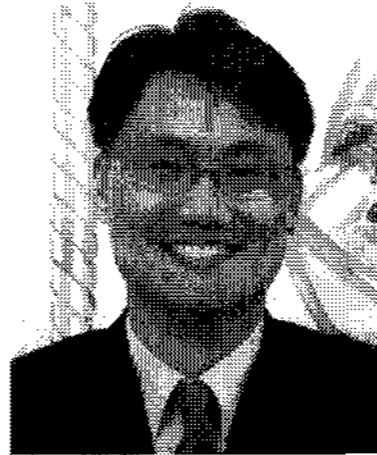


(c) High dynamic range display

[그림 17] High dynamic range display의 개념도

- SID, Vol.12, p.353 (2004).
- [9] Seung-Woo Lee, et al., "RGB Gamma Curve Control for Improved LCD Color Performance", SID '06, pp.1590-1593.
- [10] Sang Soo Kim, "The World Largest (82-in) TFT-LCD", SID '05, pp.1842-1845.
- [11] Bong Hyun Yoo, et al., "A Novel Driving Method Using 2-Dimension Spatial Averaging for High Speed Driving of AMLCD", SID '07, pp.1725-1728.
- [12] H. Park, Seung-Woo Lee, "A Novel Method for Image Contrast Enhancement in TFT-LCDs: Dynamic Gamma Control (DGC)", SID '03, pp.1343-1346.
- [13] R. Orlando, et al., "A Programmable Gamma Reference Buffer with Integrated Backlight Control", SID '06, pp.378-381.
- [14] Ki-Duk Kim, et al., "Adaptive Dynamic Image Control for IPS-Mode LCD TV", SID '04, pp.1548-1549.
- [15] Helge Seetzen, et al., "A High Dynamic Range Display Using Low and High Resolution Modulators", SID '03, pp.1450-1453.
- [16] Hanfeng Chen, et al., "Locally Pixel-Compensated Backlight Dimming for Improving Static Contrast on LED Backlit LCDs", SID '07, pp.1339-1342.
- [17] Sang Soo Kim, et al., "Novel TFT-LCD Technology for Motion Blur Reduction Using 120Hz Driving with McFi", SID '07, 1003-1006.

저자 소개



이승우

1993. 2. KAIST 전기및전자공학과 학사, 1995. 2. KAIST 전기및전자공학과 석사, 2000. 2. KAIST 전기및전자공학과 박사, 2000. 2.~2006. 6. : 삼성 전자 LCD 총괄 책임연구원, 2006. 3.~ 현재 : 경희대학교 정보디스플레이학과

조교수