

## 기술 특 집

# 광시야각 표준화를 선도하는 Advanced FFS 기술

이경하\*, 임영진((주)비오이하이디스테크놀로지 개발본부 \*khalee@boehydis.com)

## 요 약

최근 비오이 하이디스에서는 무제한의 광시야각과 시야각에 따른 색변화가 최소화된 선명한 색 특성을 갖는 Advanced FFS(Fringe Field Switching) 기술을 개발하였다. 이 기술은 resin 기술적용(평탄화에 의한 고개구율) 없이 종래의 FFS 기술에서 액정의 전기 광특성을 최적화하는 새로운 디자인 룰을 찾아내어 실현하였다. 진보된 화소 개념은 전극의 모서리 구조, 전극 간격/폭, 칼라 필터의 블랙 매트릭스(BM)와 전극 간격등의 key parameters들의 최적화에 의해 달성되었고 액정 셀 내의 모서리와 전기장등이 액정을 미세하게 조정할 수 있도록 있게 된 것이다. 이러한 진보된 설계 개념은 모든 FFS 제품에 반영되어 개발되었다. 뿐만 아니라 12.1" XGA 제품에서 투과율이 22% 증가하고 흑백 대비비(Contrast Ratio)는 33% 증가한 600:1의 세계 최고 사양을 갖는 제품을 개발하게 되었다. 특히 태블릿과 노트북용 TFT-LCD 모듈에서 단일 도메인(Single Domain) 모드로도 White 상태에서 시야각에 따른 색변화가 0.02 이하의 특성을 갖고 180도/180도의 무제한 시야각을 갖고 있다. Advanced FFS 기술의 브랜드 이름과 슬로건으로 'Viewiz'와 'Vision Magic'을 정하여 마케팅 중이며 세계적인 Top Tier 고객에 제품을 판매 중이고, 2004년 3분기에는 태블릿 시장에서 점유율 70%로 1위를 차지하였다.

## I. 서 론

액정 디스플레이(LCD)는 액정의 느린 응답속도, 광 이방성에 기인한 좁은 시야각과 시야각 색변화 등의 기본적인 문제점을 가지고 있다.

첫 번째로 색변화와 시야각 문제는 시야각에 따라 액정의 굴절을 및 광 이방성에 기인한 문제로 액정의 장축 방향으로 파란색 쪽으로 천이되고 단축방향으로 노란색으로 변화된다. 이러한 색 변화를 최소화 하기 위하여 상호 보상해

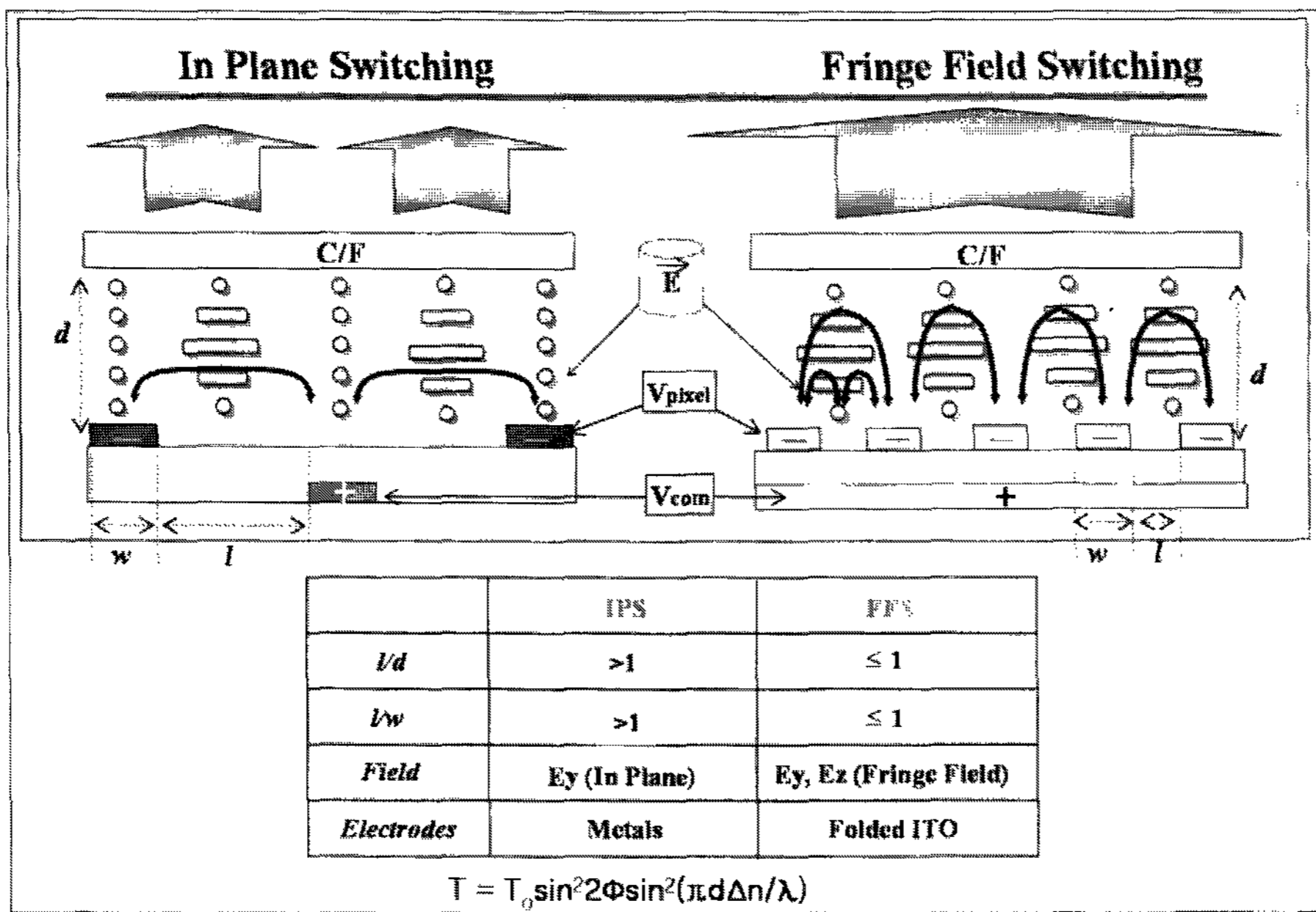
는 개념으로 이중 또는 다중 도메인, In Plane Switching, Vertical Align, Fringe Field Switching 등의 광시야각 기술들이 제안되고 적용되고 있다<sup>[1-3]</sup>. 그러나 이러한 기술들은 시야각을 넓혀주지만 색변화를 최소화 하기 위해 투과율 저하 및 다중 도메인 또는 보상 필름의 선택 등이 필요하다.

두 번째로 동영상 화면의 테일링(tailing)과 블러링(blurring) 등의 문제점이 있는데, 테일링은 고분자로 구성된 액정의 높은 점도 때문에 발생하는 느린 응답속도에 기인하고 블러링은 액정 디스플레이가 광 홀딩 형태이기 때문에 인간의 망막에 잔상이 남기 때문에 발생한다. 이중 테일링은 고속 구동 및 액정 기술들로 극복할 수 있지만 광 홀딩에 의한 블러링은 임펄스형의 구동이나 백라이트 블링킹(Blinking) 기술등에 의한 개선등이 연구 개발되고 있다<sup>[4-5]</sup>.

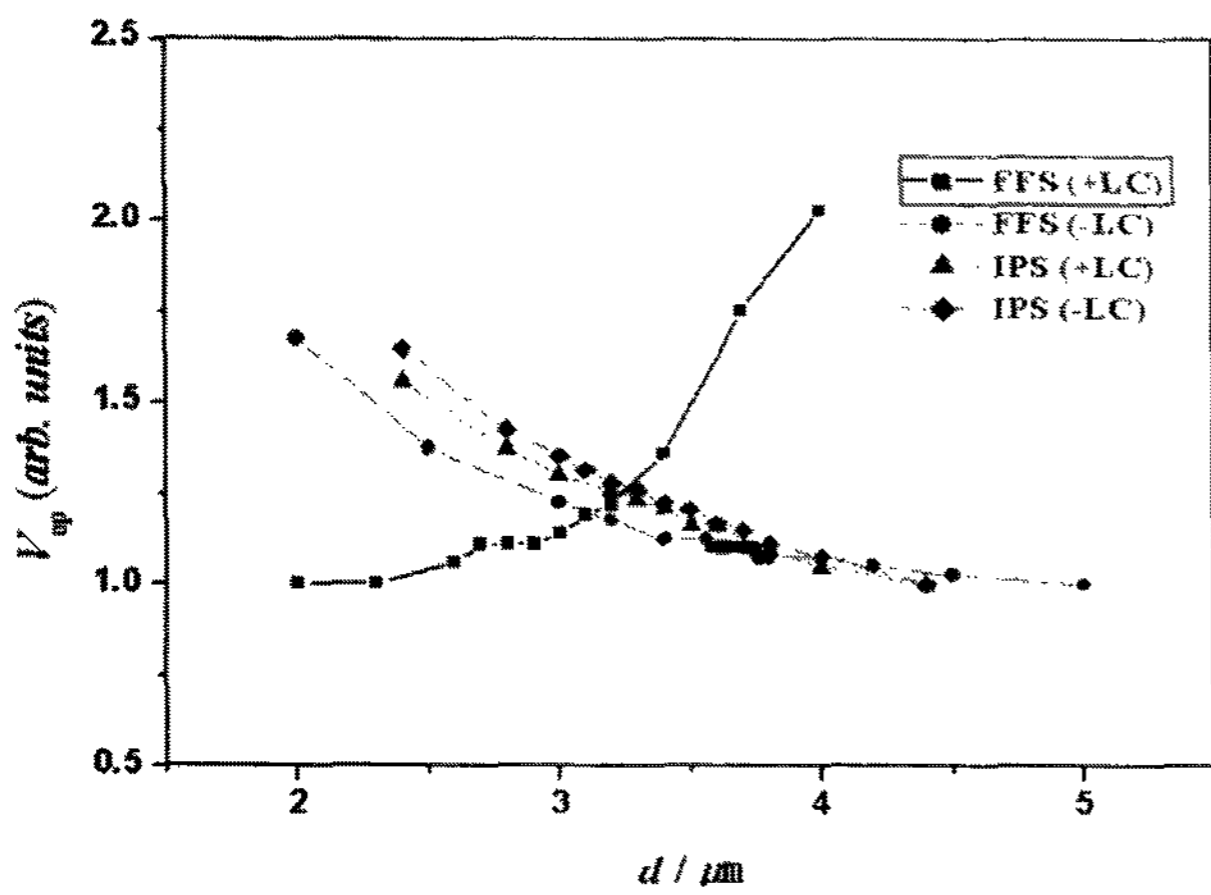
여러 가지 광시야각 기술들 중에서 FFS와 IPS 기술은 보상 필름을 채택하는 기술들과는 달리 순수 액정에 의한 기술로 규정할 수 있다<sup>[6-8]</sup>. 특히 비오이 하이디스의 FFS 소자에서는 촘촘한 프린지 전계에 의해 전체 전극 영역위에 정렬된 모든 액정들이 동등하게 회전을 할 수 있고, [그림 1]에서 처럼 불투명 전극을 사용하는 IPS 기술과는 달리 투명 전극(ITO)에 의해 고투과를 달성할 수 있다. 이때, 투과율은  $T = T_0 \sin^2 \phi \sin^2(\pi d \Delta n / \lambda)$  식에 따르고, 여기서  $\lambda$ 는 파장,  $d$ 는 액정 셀 갭이다.

[그림 2]에서 처럼 액정 구동전압이 '1/d'에 비례하는 IPS와는 달리 양의 액정을 적용하는 FFS는 'd'에 의존함을 알 수 있고 이것은 본질적으로 두 모드의 차이점을 설명해 준다. [그림 1]에서 처럼 IPS 소자의 경우 전극 폭( $w$ )과 셀 갭( $d$ )은 항상 전극 사이 간격( $l$ )에 비해 작게 설계되고 투과는 전극 사이의  $l$ 영역에서 발생된다. 그러나 FFS 소자의 경우 전극 간격( $l$ )은  $w$ 와  $d$  대비 같거나 작게 설계되며 전극의 전영역에서 투과되고 2차 투명 전극 전체가 보조용량이 된다.

전압이 인가될 때, 프린지 전계가 발생되고 액정은 전극 전영역에서 회전되고 고투과가 달성된다. 이러한 프린지 전계는 수직과 수평 방향으로 발생되어 복합평면(Ey & Ez, Co-plane) 전계라고 부르기도 하며 횡전계(Ey) 방향으로



[그림 1] IPS와 FFS 소자의 전극 구조 및 설계 비교(전극 폭( $w$ ), 간격( $l$ ), 셀갭( $d$ ))

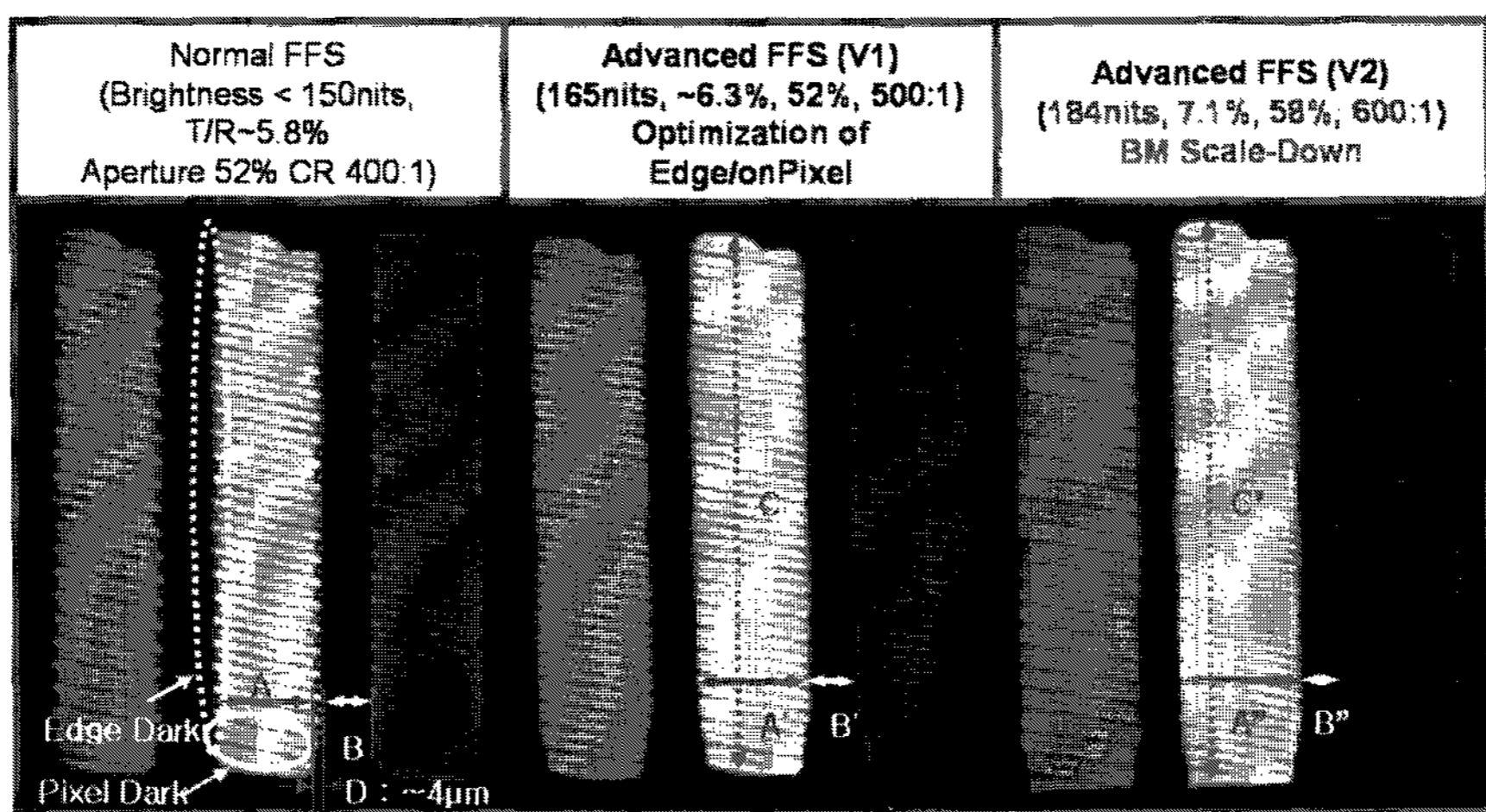


FFS (-LC) & IPS ( $\pm$ LC):  $V_{op} \propto 1/d$   
 FFS (+LC):  $V_{op} \propto d$

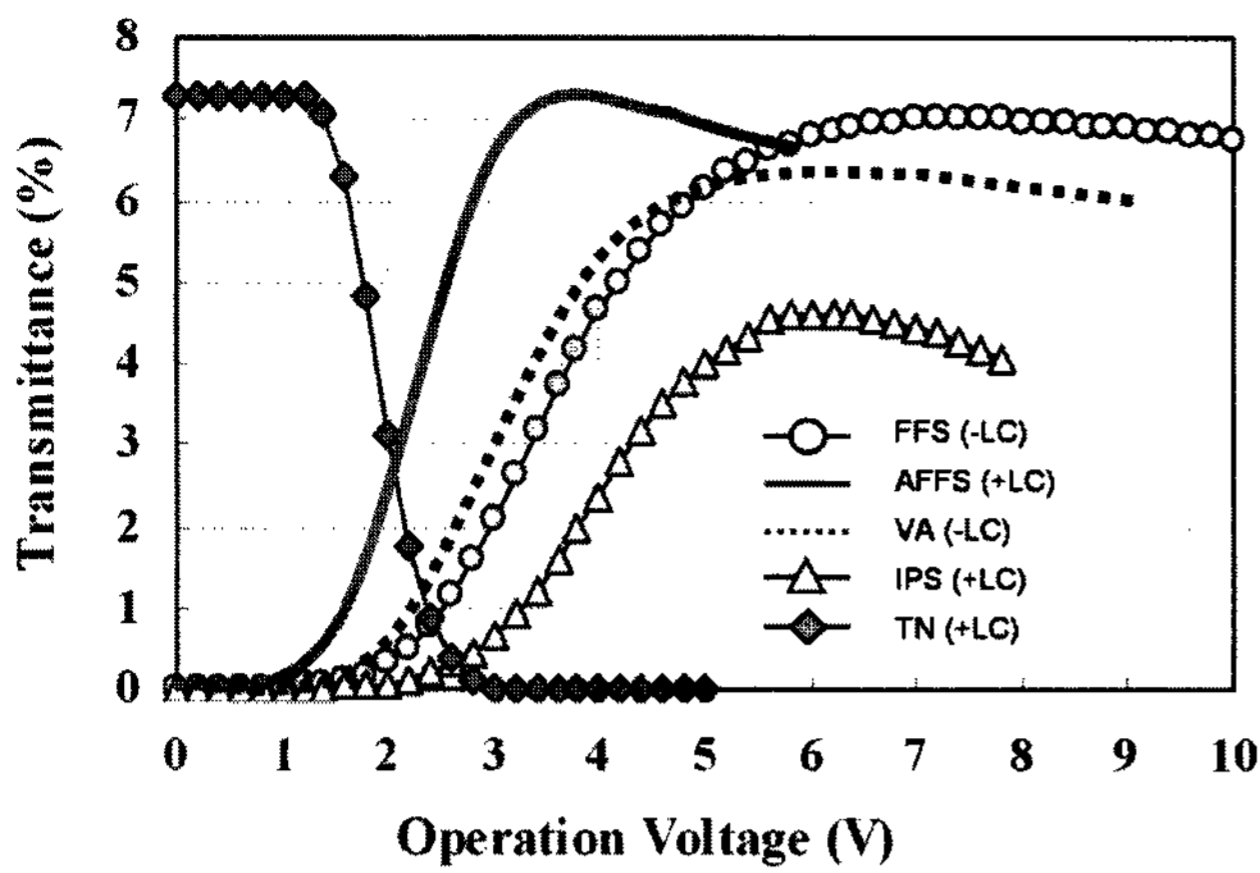
[그림 2] FFS와 IPS에서의 구동 전압과 셀갭의 관계

오직 회전이 지배적인 IPS 기술과는 달리 회전하면서 수직으로도 배열되는 특성을 가지고 있다. 고품위 태블릿 PC 제품을 실현하기 위해 낮은 색 변화와 높은 콘트라스트비, 그리고 고휘도와 저전력 등은 매우 중요하다. 그러나 이러한 모든 특성을 동시에 달성하기 매우 어렵다는 것이 현재까지 기술의 한계였고 이러한 한계를 극복하기 위해 집중 연구를 하였다.

과거의 FFS 기술에서는 화소 모서리 부분의 전계 왜곡에 의한 음영 영역으로 투과율이 TN 기술 대비 85% 이하였었다. 그러나 [그림 3]에서 처럼 진보된 화소에서는 이러한 음영 영역이 설계 최적화를 통하여 제거되었고 추가적으로 BM 폭 축소 등으로 TN 대비 95% 정도의 광특성을 갖도록 설계하였다. [그림 4]에서는 이전 음과 양의 액정을 사용했던 FFS 기술과 현재 개발된 AFFS 기술, 그리고 TN, IPS 및 VA 기술들의 구동전압과 투과율 곡선을 보여준다. AFFS 기술은 구동 전압 감소(<TN) 및 투과율 개선



[그림 3] 화소 개념의 최적화에 의한 Advanced FFS의 White 이미지



[그림 4] TN, 광시야각 기술 및 AFFS의 구동전압과 투과율 특성 곡선 비교

(~95% of TN) 등을 통하여 태블릿이나 노트북 제품이 필요로 하는 고투과 및 저소비 전력을 실현할 수 있었다. 결과적으로 세계에서 최초로 고개구율 resin 기술 적용 없이 진보된 화소 개념으로 정밀한 액정 제어를 통하여 초고투과율 >7.1%, 콘트라스트 600:1, 시야각에 따른 색변화 <0.02 및 시야각 180도/180도 등의 특성을 갖는 진보된 화소 개념을 개발하여 발표하였다<sup>[9, 10]</sup>.

이러한 진보된 FFS의 개념을 12.1" Tablet PC에 적용하여 Super IPS와 견줄만한 색특성과 TN 수준의 투과율을 갖는 제품을 개발하였다. 본 논문에서는 이러한 진보된 FFS의 설계 개념들을 설명하고 향후 광시야각 표준화를 선도하는 액정 기술로서 제시하고자 한다.

## II. 본 론(실험 결과 및 토의)

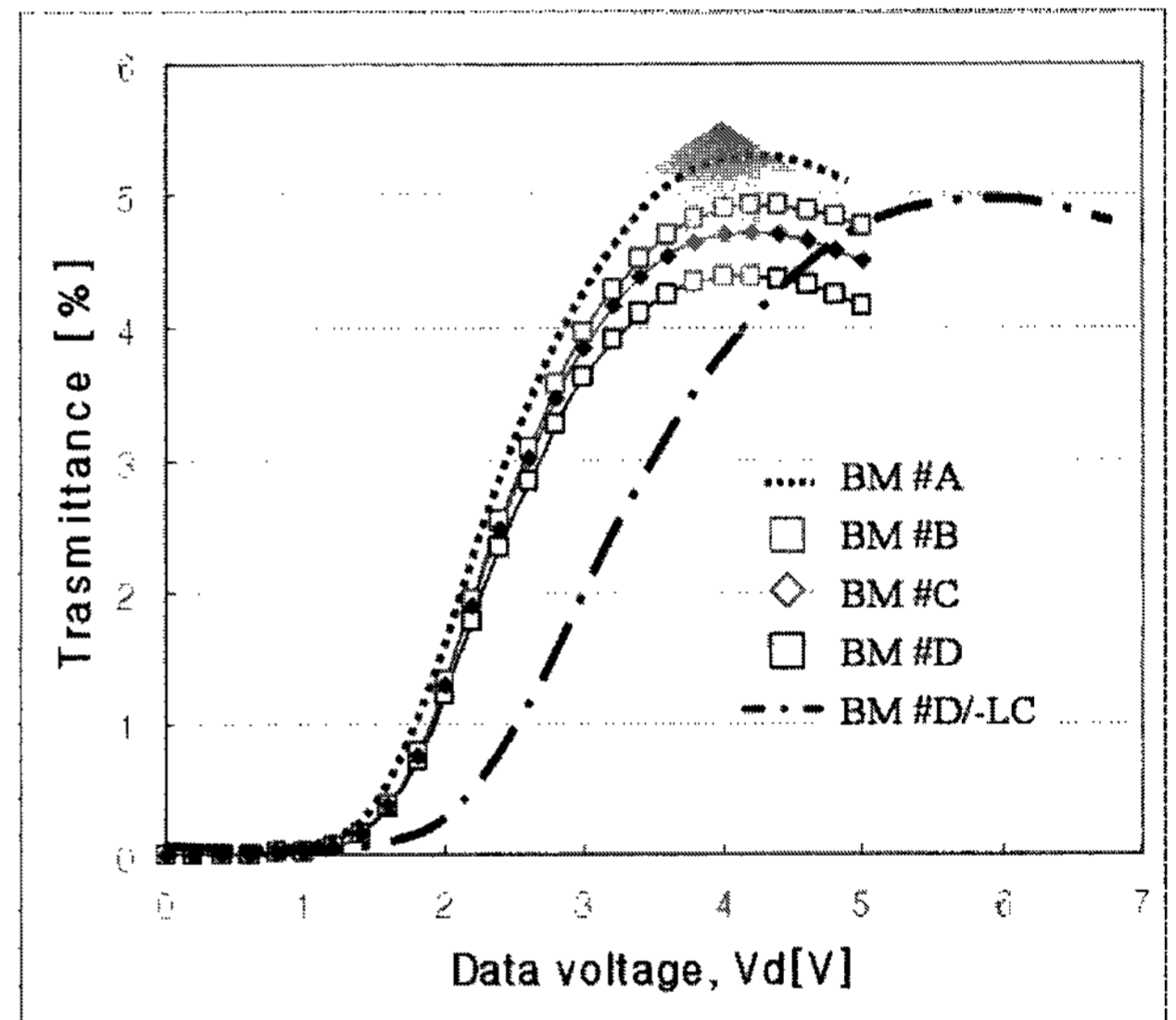
### 1. 프린지 전개 모드를 이용한 동역학적인 최적화 실험 결과

[그림 3]에서는 화소 모서리의 음영 영역 제거와 18 $\mu$ m

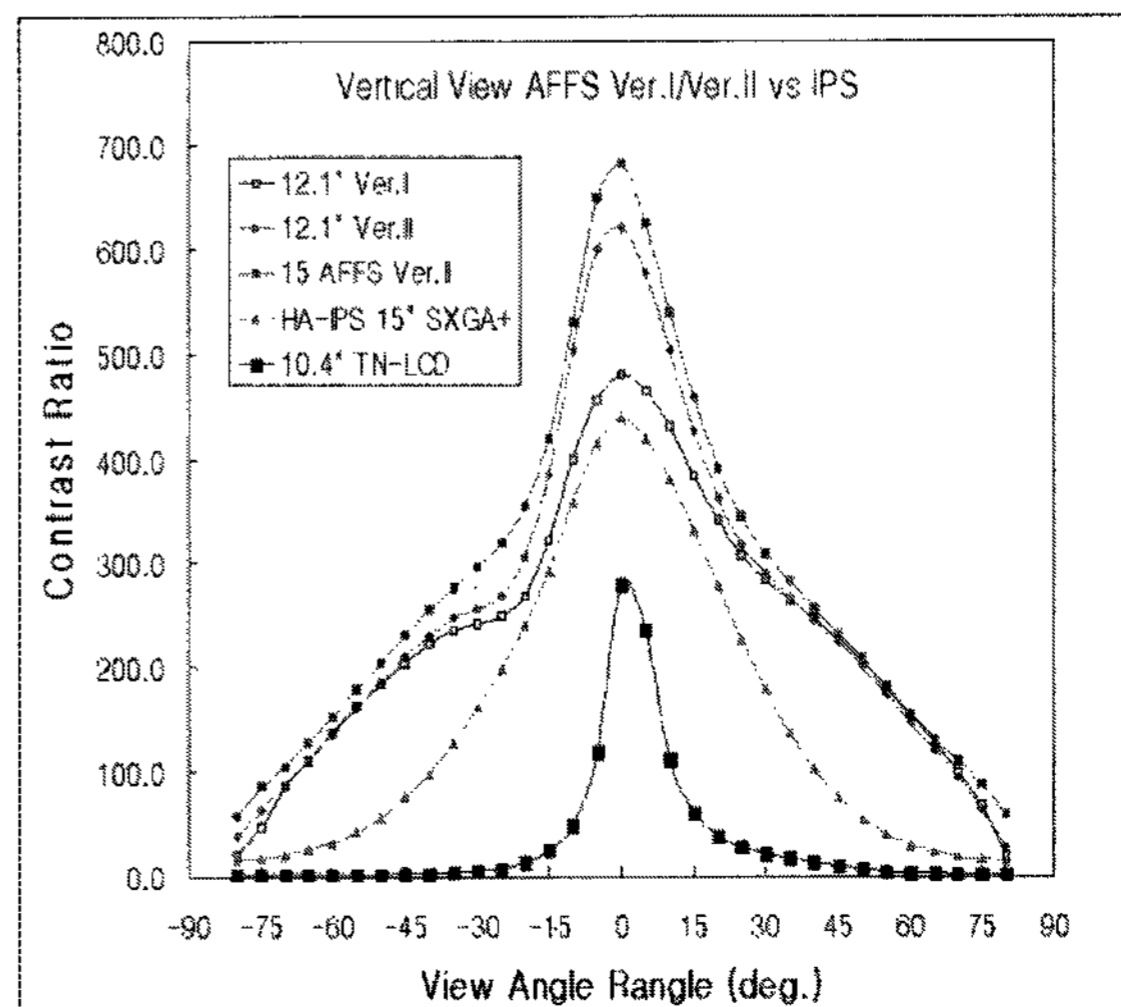
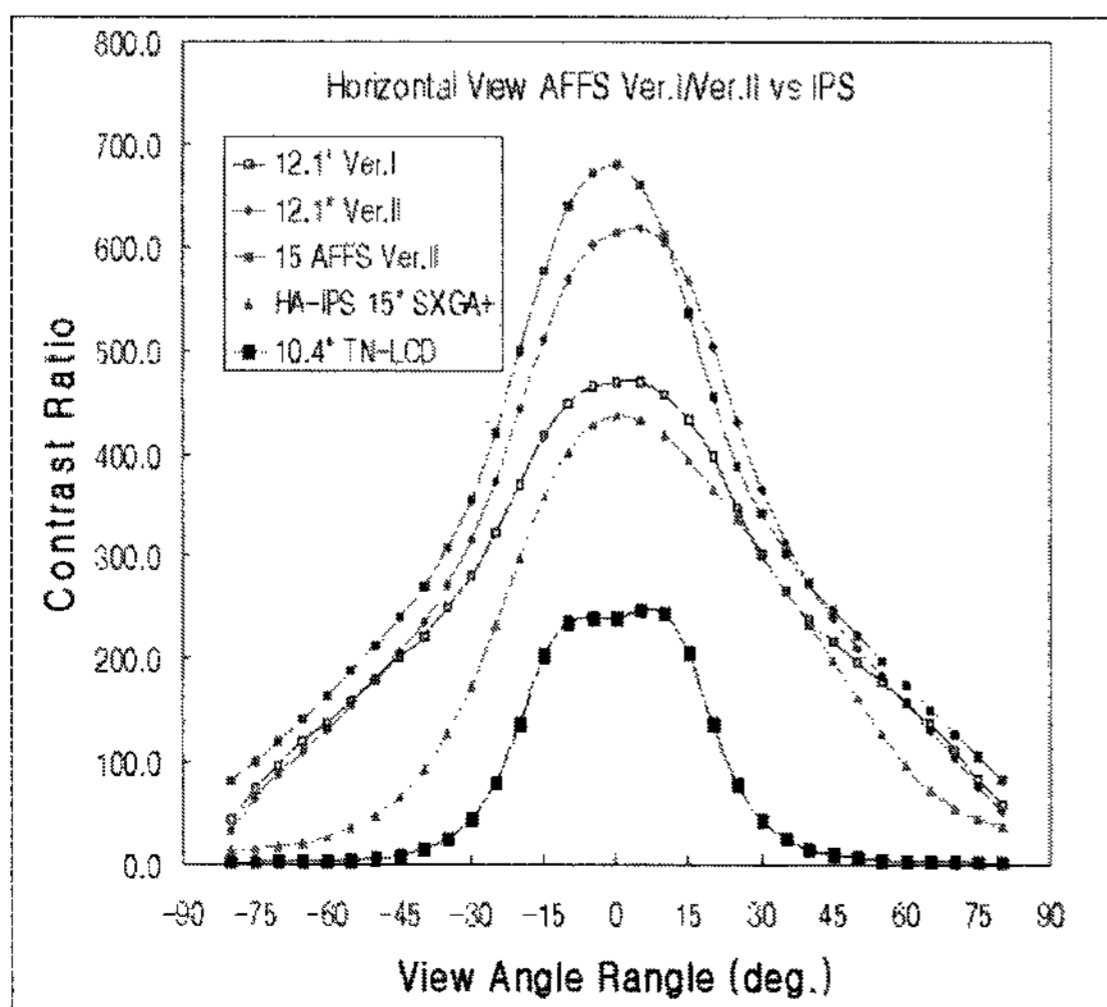
이하로 BM 사이즈 축소 등의 최적화에 의한 진보된 화소의 밝은 상태를 나타내는 그림이다. 이러한 특성 개선은 프린지 전극의 가상 실험과 각종 실험등을 통하여 ITO 전극의 모서리부의 형태와 간격 등에 따르는 액정의 정밀 조절을 통하여 획득되었다. 휘도 향상 polarizer(PCF, DBEF 등)를 사용하지 않은 12.1" XGA 제품의 경우, [그림 3]에서 처럼 old FFS에서 Version I과 Version II로 향상될 경우 투과율은 5.8%에서 6.3%와 7.1%로 총 22% 증가되고 개구율은 52%에서 52%와 58%로 11.5% 증가되고, 흑백 대비비는 450:1에서 500:1과 600:1 이상으로 33% 이상 증가된다. [그림 4]는 Version II와 각종 광시야각 기술들과의 투과곡선 비교 그래프이다.

### 2. 이전과 진보된 화소 개념의 투과 특성 비교

[그림 5]는 BM 저항과 투과 특성과의 관계를 나타내는



[그림 5] 이전 FFS와 AFFS Ver.I, Ver.II에서 BM특성에 따르는 투과율 특성 곡선



[그림 6] AFFS, 고개구율 IPS, TN 기술이 적용된 태블릿과 노트북에서 시야각에 따른 CR 곡선

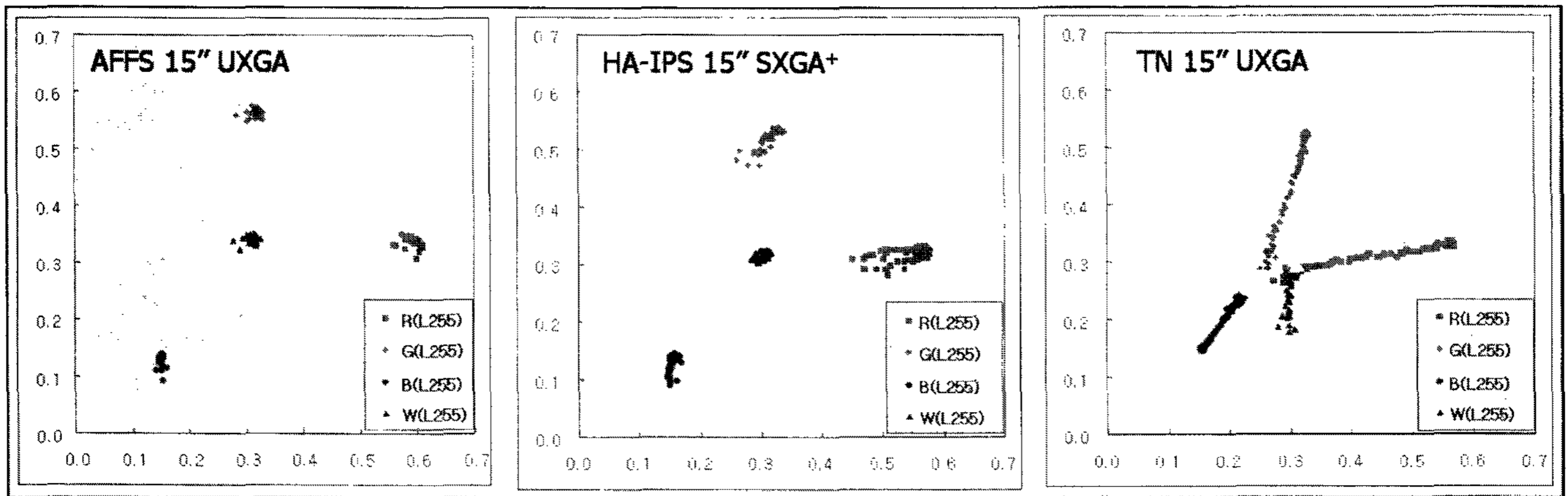
곡선이다. 음의 액정을 이용한 고저항 BM(#D/-LC)일 때와 양의 액정을 이용한 고저항 BM(#D,  $>10^{10} \Omega \text{cm}$ )일 경우 투과율과 구동 전압이 감소된다. 반면 저저항 BM(#C,  $<10^{10} \Omega \text{cm}$ )을 사용할 경우 고저항 대비 수 % 정도 투과율이 향상되고 BM과 화소의 설계 최적화를 통하여 BM(#B)의 Version I의 특성을 확보할 수 있다. 그리고 BM 폭의 축소( $22\mu\text{m} \rightarrow 18\mu\text{m}$ )로부터 Verion II의 특성(BM(#A) 곡선)을 가질 수 있다.

[그림 6]은 BM #A의 Version II를 적용한 12.1" XGA (no PCF polarizer)에서 시야각에 따른 흑백 대비비 특성을 나타낸다. 종래 대비 시야각 및 대비비가 개선된 600:1 이상의 특성을 가진다는 것을 알 수 있다. 이러한 BM과 화소 모서리의 특성은 화소에 인가된 전계에 의해 저저항 BM내부로 유도된 전하(전계)에 의해 화소 모서리 부분의 액정 배향이 미세하게 조정될 수 있기 때문이다. 그림에서 처럼 AFFS 기술을 적용할 경우 시야각은 max. -90도 ~ +90도의 특성을 가짐을 알 수 있다. 이것은 측정장비가

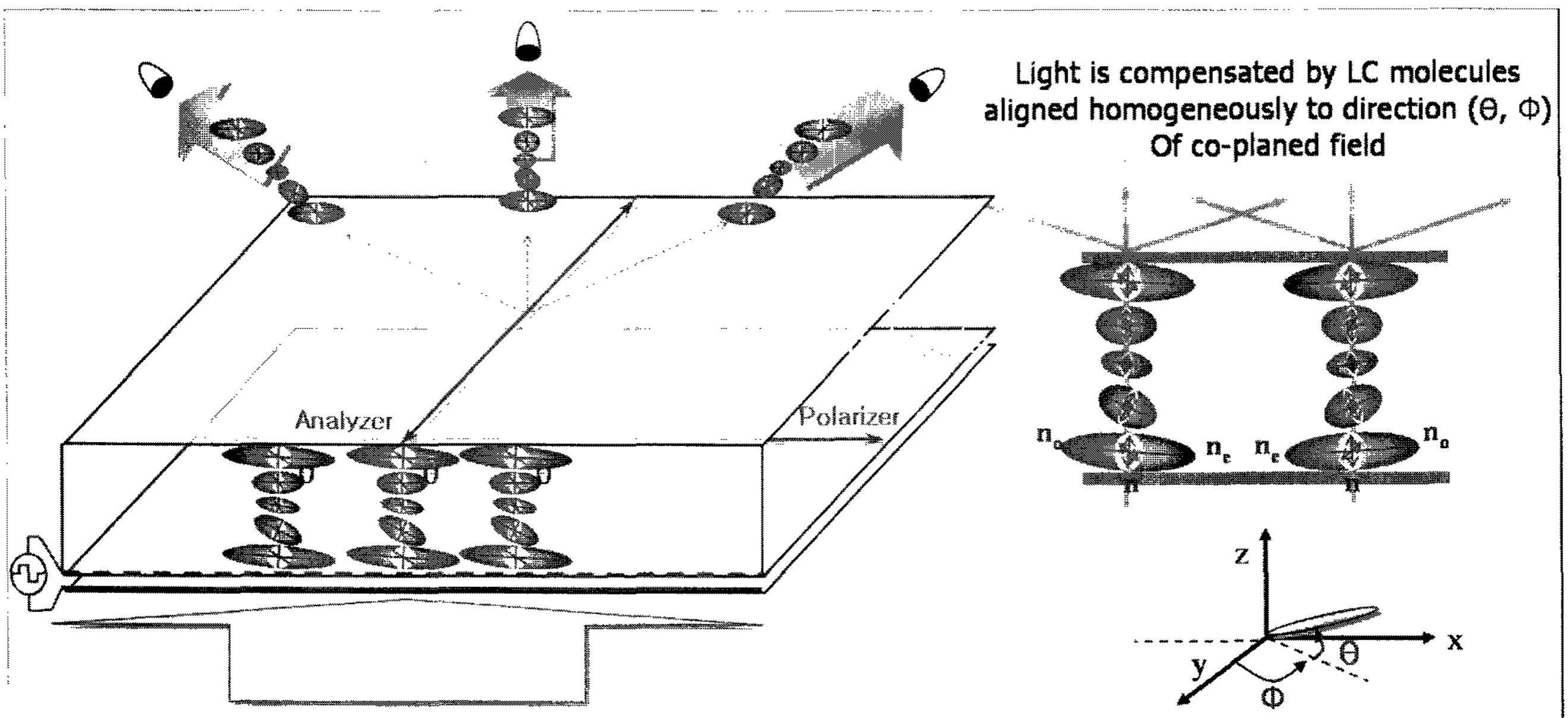
1개의 sensor를 가지고 있어 90도에 측정이 불가하지만 사람의 눈은 2개를 가지고 있어 90도에서도 디스플레이를 볼 수 있음을 의미한다.

### 3. White에서 시야각에 따른 색 특성 비교

[그림 7]은 AFFS 기술이 적용된 15" UXGA 제품과 TN, 고개구율-IP 기술품의 white(L255)에서 시야각에 따른 색변화 특성을 나타낸다. 시야각에 따른 색변화가 최소화 되는 것은 모든 전극 영역과 모서리 부분에서 액정을 매우 정밀하게 조정할 수 있고 FFS가 가지는 프린지 전계에 의해 셀내의 액정 배향의 복합( $E_y, E_z$ )으로 인하여 자동으로 보상되기 때문이다. 특히 본 연구에서는 단일 도메인으로 0.02 이하의 색변화 특성을 갖게하는 특성을 확보함으로써, 향후 고해상도 및 고휘도 제품에서 AFFS 기술이 광시야각 표준화되는 초석을 만들어 줄 것임을 확신한다. 뿐만 아니라 액정 디스플레이에서는 종래 단일 도메인으로 색변화 프리



[그림 7] AFFS, 고개구율 IPS, TN 기술이 적용된 노트북에서 시야각에 따른 색변화 곡선



[그림 8] AFFS에서 편광 광선의 자동 보상을 설명하는 모식도

[표 1] AFFS 기술을 적용한 태블릿, 고해상도 노트북, TV에서 전기광특성 요약

Parameter	HT12X21-100	HT12X21-200	HT15U21	HT20X21
Number of Pixel	1024 x 768(V)	1024 x 768	1600x1200	1024 x 768
Pixel pitch (mm)	0.240	0.240	0.1905	133 x 399
Mode	AFFS V.I	AFFS V.II	AFFS V.II	AFFS(2D)
Pixel Resolution (ppi)	106	106	133	63.7
Aperture Ratio	52%	58%	56%	69%
Brightness (nits)	150 typ.	200 typ.	200 typ.	450 typ.
Contrast Ratio	450 typ.	600 typ.	550 typ.	600 typ.
Viewing Angle(deg)	180/180	180/180	180/180	180/180
Response Time(ms)	35	35	30	16 (ODC)
Power Consumption	3.7W	3.7W	6.5W	35W
Weight (g)	290 typ.	290 typ.	600 typ.	3,200 typ.
Back-light	Bottom Edge 1-CCFL	<=	<=	Edge Light 6CCFL
State	MP	MP	Developed	Developed

및 광시야각을 확보할 수 없다는 기존의 사고를 극복하는 새로운 결과로써 CRT, PDP, OELD 등의 천연색상의 발광형 디스플레이와도 견줄 수 있는 액정 디스플레이를 제작할 수 있다는 근거를 제시한다고 믿는다.

[그림 8]에서는 AFFS 화소 개념이 편광 광선을 자동으로 보상하는 모식도를 나타내고 있다. 진보된 화소 개념은 높은 gamma correction을 가지는 Authentic Color 특성을 보여주고 아래의 여러 가지 설명으로 우수한 특성 실현의 이유를 설명할 수 있다.

첫째로, 각 셀의 화소 모서리와 중간 갭내의 액정들을 정밀하게 통제할 수 있고 둘째로, BM 사이즈 축소와 개구율 및 화소 전극의 증대로 인하여 투과 영역이 증대되었고 마지막으로,  $\theta$ 와  $\phi$ 방향으로 액정의 tilting과 twisting으로 인하여 보상 필름(polarizer)을 적용한 것과 같은 자동 보상 효과를 유도한다는 것으로 요약할 수 있다.

그림에서 보여주듯이 Advanced FFS는 화소 전 영역에서 동질적인 전극의 배열(투과 전극), 복합 평면 전계(Ey, Ez)에 의해서 액정을 통한 편광 광선이 자동으로 보상될 수 있는 기초를 제공함을 알 수 있다.

[표 1]은 AFFS 기술을 적용하여 개발된 태블릿, 노트북, 액정 TV의 특성을 요약한 것이다. 모든 제품에서 우수한 전기광특성과 저소비전력을 나타냄을 알 수 있다. 2중 도메인(AUFFS, Advanced Ultra FFS)을 채택하는 20.1" XGA급 TV에서는 35W의 전력으로 450nit 휘도, 시야각 색 변화가 0.015 이하, 600:1 이상의 흑백 대비비 등의 특성을 실현하므로써 CRT 유사 색 특성을 구현함을 알 수 있다.

A-UFFS 기술을 적용한 LCD-TV는 종래의 액정 TV가 실현할 수 없었던 초고투과 및 고선명성, 그리고 절대 dark

에 의한 고도의 흑백 대비비와 색변화 최소화(<0.015, CRT 수준임)와 무제한 시야각, 낮은 구동전압과 높은 투과율에 따른 BUL/Driver IC의 원가 절감 등의 장점으로 향후 TV 시장에서 주목 받는 기술이 될 수 있을 것으로 판단한다.

### III. 결 론

HDTV, 고해상도 휴대형 기기(노트북, 태블릿 등), 휴대형 디지털 멀티미디어, 동영상 휴대폰 등의 평판 디스플레이 시장의 급성장으로 액정 디스플레이 소자는 다양한 응용 제품에 탑재되는 시장 리더로 자리잡고 있다. 이러한 성장에도 액정의 광이방성 등에 기인한 시야각 및 색 특성의 저하로 저품위의 제품으로 인식되어 왔으나 최근 여러가지 기술 개발로 이러한 인식이 변화되고 있다.

본 연구에서 Advanced FFS 화소 개념은 이전 기술에서 액정 전기 동역학적인 최적화에 의해 이루어졌음을 논하였다. AFFS는 소형 mobile, 태블릿, 고해상도 노트북과 대형 고품위 LCD-TV에까지 적용될 수 있는 기술로 광시야각 기술을 선도할 수 있음을 확인하였다. 전 제품군에서 600:1 이상의 흑백 대비비 및 TN 수준의 투과율을 구현할 수 있고 TN대비 낮은 구동 전압으로 기술 우위 제품을 실현할 수 있다. 특히 종래 마의 벽이라 불리웠던 시야각에 따른 색 변화 특성을 보상 필름이나 다중 도메인을 이용하지 않고서도 0.02 이하의 특성을 실현할 수 있고 2중 도메인 채택시에는 450nits, 0.015 이하의 CRT 유사 또는 우수한 색특성을 가짐을 보여 주었다.

비오이 하이디스에서는 일반 광시야각 기술과 차별화되는

저 소비전력 및 고 투과율로 모든 응용 제품에서 표준화를 선도할 수 있을 것으로 믿고 있다. 뿐만 아니라 AFS 기술은 펜 또는 손가락 입력에 의한 Input Device(태블릿, 스마트, 유비쿼터스, 모바일용 디스플레이 등) pooling과 ripple free, TN대비 저소비전력(20%), 저반사율 등의 장점으로 현재 시장 점유율 1위를 선점하였고, 향후 'Viewiz'(의미, View Wizard)'의 이름으로 세계적인 Top Tier의 신제품 등에 탑재되어 LCD 광시야각 기술의 표준화와 세계 최고의 제품을 구현하는 핵심 기술로 전파되리라 기대한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. H. Lee et al., *Journal of the SID* 9/3, 155 (2001).
- [2] Y. Mishima et al., *SID Intl Symp Digest Tech Papers*, 260 (2000).
- [3] N. Konishi, *Flat-Panel Display 2000*, p.98.
- [4] K. Nakano et al., *IDW '00 Digest*, p.215 (2000).
- [5] K. Kawabe et al., *SID Int' Symp Digest Tech Papers*, p.998 (2001).
- [6] S. H. Lee et al., *Appl. Phys. Lett.* 73, 2881 (1998).
- [7] S. H. Hong et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* 39, L527 (2000).
- [8] S. H. Lee et al., *SID Intl Symp Digest Tech Papers*, 484 (2001).
- [9] K. H. Lee et al., *Technical Session of FPD Int'l 2003*.
- [10] K. H. Lee et al., *SID Intl Symp Digest Tech Papers*, p.1102 (2004).