

기술 특 집

상용화된 TFT-LCD 광시야각 기술 소개 및 최근 액정 모드 개발 현황

이승희(전북대학교 신소재 공학부)

I. 개 요

TFT-LCD의 시장은 1990년대 초까지만 해도 주 시장은 개인용도인 노트북 컴퓨터용 디스플레이였다. 이러한 용도의 디스플레이서는 광시야각 보다는 정면에서의 적절한 시야각과 저소비 전력을 위한 광효율이 중요하고, 90도 꼬아진 TN(Twisted Nematic) 모드는 이러한 조건을 만족시킬 수 있어 현재까지도 이 분야의 시장 점유율이 거의 100%라고 볼 수 있다. 하지만 TFT-LCD의 크기가 모니터 및 TV 용도로 대화면적화 되고 따라서 이 분야의 최종 목표는 종래의 CRT 시장을 대체하는 것이여 시야각의 향상은 절대적으로 요구되었다. TN모드의 시야각을 개선시키기 위해 90년대 중반까지 무정형 TN 또는 이중 또는 4중 도메인 TN방식으로 TN 모드의 협소한 시야각을 개선시키려 했으나 상용화에는 실패하였다. 하지만 1995년도 말에 히타치에서 IPS(In-Plane Switching)모드를 발표하여 TFT-LCD의 화질이 크게 향상되었고^[1], 그 이후로 1997년도 경에 후지사에서 판상형 액정을 응용한 광학필름을 개발하여 TN모드의 화질이 크게 향상되었고 후지쓰에서는 MVA(Multi-domain Vertical Alignment) 모드라는 방식을 도입하여 디스플레이의 화질을 향상시켰고^[2,3], 이 두 가지 방식 모두 상용화 되었다. 하지만 IPS 및 MVA 방식은 투과율의 저하가 큰 문제였고 필름 보상형 TN모드는 상하 방향에서 빛의 투과율 변화가 심한 것이 큰 문제였다. 1998년에 이러한 문제를 동시에 해결하는 광시야각 FFS(Fringe-Field Switching) 모드가 현대에 의해 개발되었고 상용화 되었다. 이 이후에 TFT-LCD의 화질은 CRT수준으로 발전하였고 응답시간도 여러 가지 기술개발로 크게 발전되었다. 이러한 개발과 동시에 광시야각 액정 모드 개발의 특징 중의 하나는 VA 방식이 러빙공정이 필요 없고 고속응답을 준다는 것이며 이때문에 다양한 방식의 기술이 제안되었다. 그중 삼성에서 개발된 PVA(Patterned Vertical Alignment)^[6]와 샤프에서 개발된 ASV(Advanced Super Viewing)^[7]가 대표적이고 이미 상용화되고 있다. 현재 한 기술이 고성능과

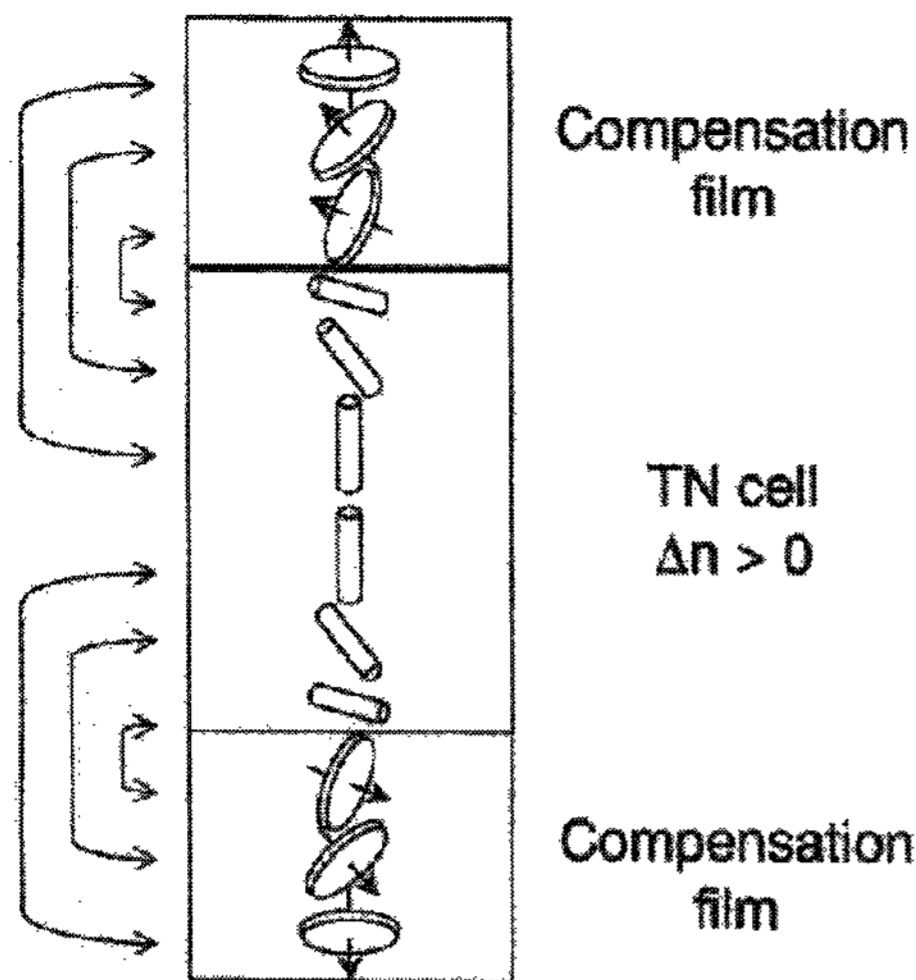
저비용 실현이라는 관점에서 모든 부분을 만족시키지 못하므로 각각의 액정모드들이 경쟁하고 있다. 또 하나의 재미있는 액정 모드는 네마틱 액정 사용 모드 중 원리적으로 가장 빠른 응답시간 특성을 보여주는 OCB(Optically Compensated Bend) 모드이다^[8]. 하지만 이 모드는 많은 연구진에 의해 다양한 논문 발표 및 연구가 진행되었음에도 불구하고 아직까지 상용화되지 못하고 있다. 최근에는 새로운 액정모드들이 연구되고 있는데, 크제는 하이브리드 배열된 액정을 프린트장에 의해 구동하는 HAN-FFS^[9], 수평배향된 셀을 수직으로 구동하는 OCP(Optically Compensated Parallel)^[10], 수직배향된 셀에 유전율 이방성이 양인 액정을 응용하는 VA모드^[11,12] 등이다.

본 논문에서는 새로운 액정모드들의 동작원리, 전기광학 특성 및 어떻게 각각의 기술들이 발전되어 왔는가가 논의될 것이지만 각 모드들에 대한 설명이 발표된 논문에 근거하기 때문에 설명에 있어 틀린 부분이 있더라도 양해의 말씀을 구한다.

II. 상용화된 액정 모드에 대한 논의

1. 필름 보상형 TN

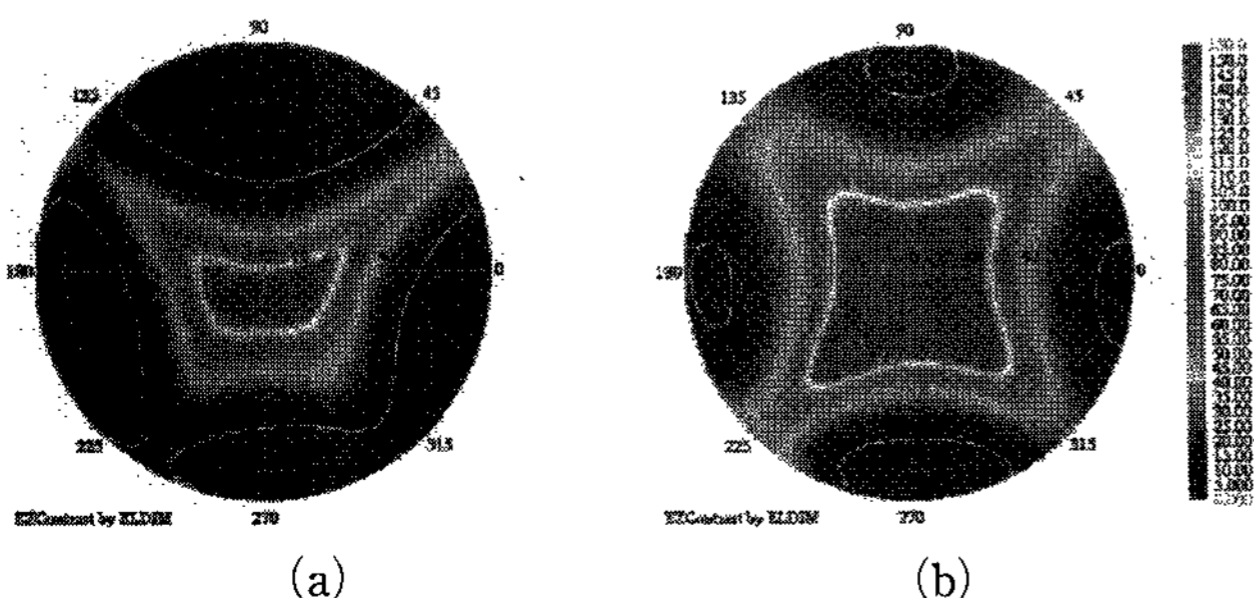
TN 모드에서는 교차된 편광판내에 액정 분자들이 상하 판에 90도로 꼬아져 있고 수직 전기장이 사용된다. 전압 인가전에는 TN 액정이 광 회전기 역할을 하여 빛을 통과시키므로 투과율의 파장 의존성이 적어 광효율이 좋다. TN 모드는 1970년대에 발견되어 설계 개념뿐만 아니라 양산 개념도 잘 성립되어 있어 현재 양산라인에 적용되는 주 액정 모드이고 수율이 우수하다. 하지만 TN 모드는 정면이 아닌 다른 경사각에서 어두운 상태의 빛샘이 강하고 또한 수평배열된 액정 분자가 한쪽방향으로 서기 때문에 시야각이 협소하다. 모든 디스플레이가 고명암대비율 및 고화질을 보여줄려면 완벽한 흑 상태를 보여주어야 한다. 따라서 TN모드에서의 빛샘을 제어하기 위해 후지사는 WV필름이라고 불리는 광학 필름을 개발하고 [그림 1]과 같이 적용하였다.



[그림 1] 판상형 광보상필름(WV)의 구조 및 흑 상태에서의 액정 분자 배열

상하판에 각각 존재하는 2장의 필름은 TN 액정이 서 있을 때 발생하는 위상차를 필름이 보상하는 방식으로, 궁극적으로는 두장의 교차된 편광판 사이에 잔존하는 복굴절 이방성을 제거하여 좀더 완벽한 흑상태를 만들기 위한 것이다. 이러한 방법으로 정면에서 뿐만 아니라 다른 시야각 방향에서도 좀더 어두운 상태를 얻을 수 있어 전체적으로 디스플레이의 명암 대비율이 향상된다. 하지만 액정 디렉터가 전압 인가시 한쪽 방향에 일어나기 때문에 제조에서 상하 방향에 존재하는 투과율의 불균일은 여전히 존재하다. 최근에는 필름내에 존재하는 판상형 액정 두께를 증가하여 흑 상태의 광 누설을 좀 더 제어하여 시야각을 향상 시켰다. [그림 2]는 기존 WV 필름과 새로운 WV 필름 적용시 시야각에 따른 명암대비율을 보여준다. 새로운 필름 적용시 명암대비율 100 이상인 영역이 증가했음을 보여준다.

한 가지 분명한 것은 광학 보상 필름으로는 어두운 상태 또는 중간 상태 또는 밝은 상태 한 계조를 보상할 수 있으나 전 계조를 보상할 수는 없다. 따라서 이 방법은 절대적으로 IPS, FFS, MVA모드 보다 좋은 화질을 낼 수 없으나 광효율이 좋고 종래 TN 생산 라인에 쉽게 적용할 수 있다는 장점 때문에 현재 15"에서 주로 적용되고 최근에는 17"시장까지 주 적용모드로 확대되고 있다.

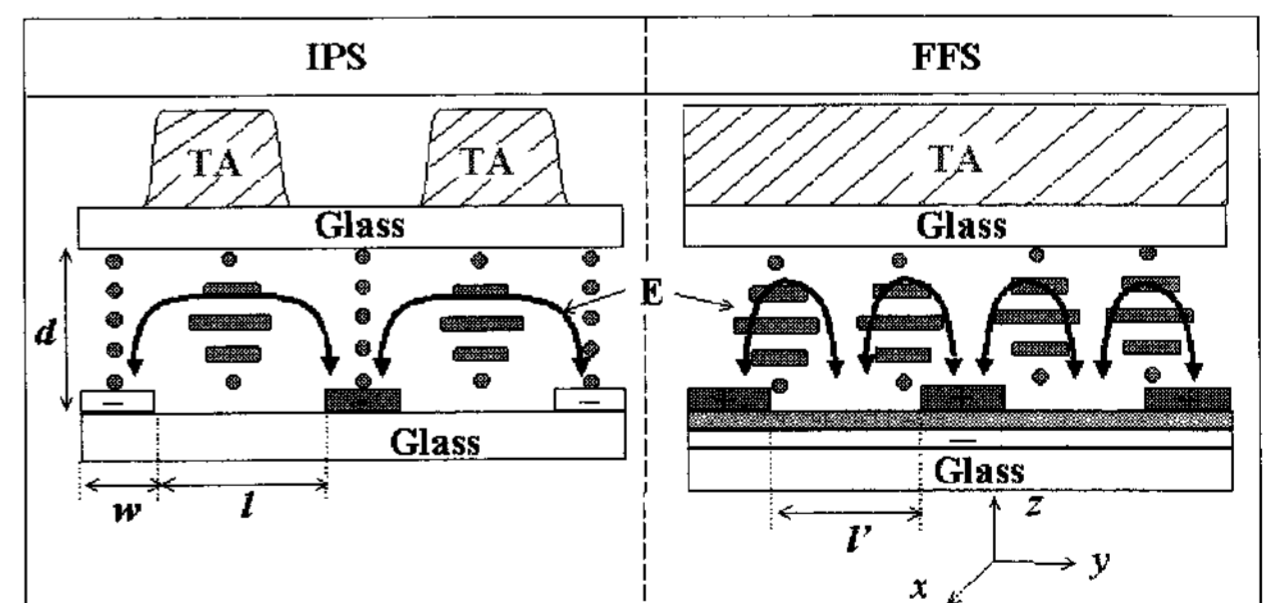


[그림 2] (a) 종래의 WV 필름 및 (b) 개선된 필름을 TN셀에 적용했을 때의 Iso-Contrast Curves

2. IPS 및 FFS

[그림 3]은 IPS 및 FFS 모드의 셀 구조 및 전압 인가했을 때 액정 분자 구조의 배열 및 투과율(TA) 상태를 보여준다. 두 모드 다 초기에는 액정분자들이 상하판에 꼬임없이 수평배열하고 있고, 액정분자의 광축이 교차된 편광판 투과축중의 하나와 일치되어 있다. 따라서 두 모드 다 초기에는 흑 상태를 보여준다. 초기에 액정 분자들이 누어 있기 때문에 정면이 아닌 경사각 방향에서도 빛샘이 적어 좋은 어둠 상태를 보여주어 별도의 광 보상 필름을 필요치 않는다. 전압을 인가하면 액정분자들이 편광판 광축과 어긋나면서 빛이 투과되기 시작하는데 IPS모드에서는 평행장, FFS모드에서는 프린즈장이 각각 사용된다. 이때 액정분자들이 기판에 평행하게 회전하므로 상대적으로 투과율 균일도가 우수하다. 즉 두 모드에서는 좋은 어둠상태와 균일한 밝기상태를 얻을 수 있어 광시야각이 얻어진다. IPS모드의 하부 기판 어레이 구조를 보면 상대전극과 화소전극이 각각 게이트 및 데이터 금속으로 이루어져 있고 (때로는 화소 전극이 투명전극인 ITO로 이루어져 있음), 슬릿형태로 하부기판에만 임의의 거리를(l) 가지고 존재한다. 이러한 경우 하부기판에 최소 1000 Å 이상의 단차가 생겨 균일한 액정배향을 하기 위해서는 하부 기판의 평탄화나 주의 깊은 리빙이 필요하다. IPS에 관한 연구는 히타치와 다른 연구가들에 의해 활발히 연구되어 현재 상용화 되어 있고 18"급 또는 그 이상에서 주를 이루고 있다. 최근에는 IPS모드에서 특정 시야각 방향에서 발생하는 색땀 문제를 해결하기 위해 썩기 형태의 전극구조가 개발되었고, 이 경우 한 화소안에 있는 액정 분자들이 시계 및 반시계 방향으로 서로 다르게 회전한다. 또한 응답시간도 재료의 개발로 16ms 까지는 달성을 하였다.

FFS모드에서는 IPS모드와는 달리 화소전극과 상대전극간의 수평간격은 존재하지 않고 화소전극간의 간격만(l) 존재한다. FFS 모드에서는 전극 전체 표면에서 액정분자들



	IPS	FFS
l/d	> 1	< 1 or 0
l/w	> 1	< 1 or 0
Field	E_y	E_y, E_z
Electrodes	Metals or ITO	ITO

[그림 3] IPS 및 FFS모드의 셀 구조 및 투과율(TA)

이 회전하면서 투과율을 발생시키므로 두 전극 모두 투명전극이어야 한다. 또한 FFS 모드에서는 전극의 두께가 약 400 Å로 균일한 액정 배향을 얻기 위해 평탄화가 필요치 않다. 전기광학 특성을 살펴보면, FFS모드의 광효율의 TN모드의 90% 이상으로 기존 IPS모드에서 존재하는 근본적인 문제를 해결하였다. 또한 IPS모드의 경우 전압인가에 따른 투과율(V-T) 곡선이 셀갭과 전극 사이의 간격에 크게 의존하고, 따라서 디스플레이의 선명도에 따라 즉 화소 크기가 달라짐에 따라 화소 설계를 다시해야 하지만 FFS모드의 경우 화소 전극의 수만 달리하면 된다. 따라서 FFS모드가 다양한 크기의 디스플레이를 제조하는데 설계적으로 용이한 측면이 존재한다. IPS모드에서 색뭉치를 제거하기 위해 2-도메인 IPS(Super-IPS)를 제작할 시 투과율이 감소되는 문제가 발생하나 FFS의 경우 2-도메인 FFS(Ultra-FFS)를 제작하여도 투과율이 거의 1-도메인의 것으로 유지되는 장점이 존재한다^[13]. FFS모드의 또 하나의 중요한 특징은 전기광학 특성이 유전율 이방성이 음인 액정과 양의 액정을 사용했을 때 다르다는 것이다. IPS모드의 경우 V-T곡선의 모양과 응답시간이 다른점을 제외하면 큰 차이가 없으나 FFS모드의 경우 프리즈 장을 사용하기 때문에 광효율 및 기타 특성도 달라진다. 현재 FFS모드의 경우 15.0"와 18.1"가 각각 pen-based tablet 및 모니터로 상용화되고 있다. FFS모드의 또 다른 큰 장점은 외부에서 디스플레이에 압력이 가해졌을 때 액정분자들이 강한 프리즈장에 의해 묶여 있어 분자의 배열 흐트러짐이 적고 동력학이 안정하다^[14]. 이러한 특징은 위치 및 압력 감지 디스플레이의 응용으로 적합하고 종래 보호막으로 사용되었던 두꺼운 유리층을 줄일 수 있어 종래 시스템보다 화질 및 가격 면에서 장점을 가지고 있다.

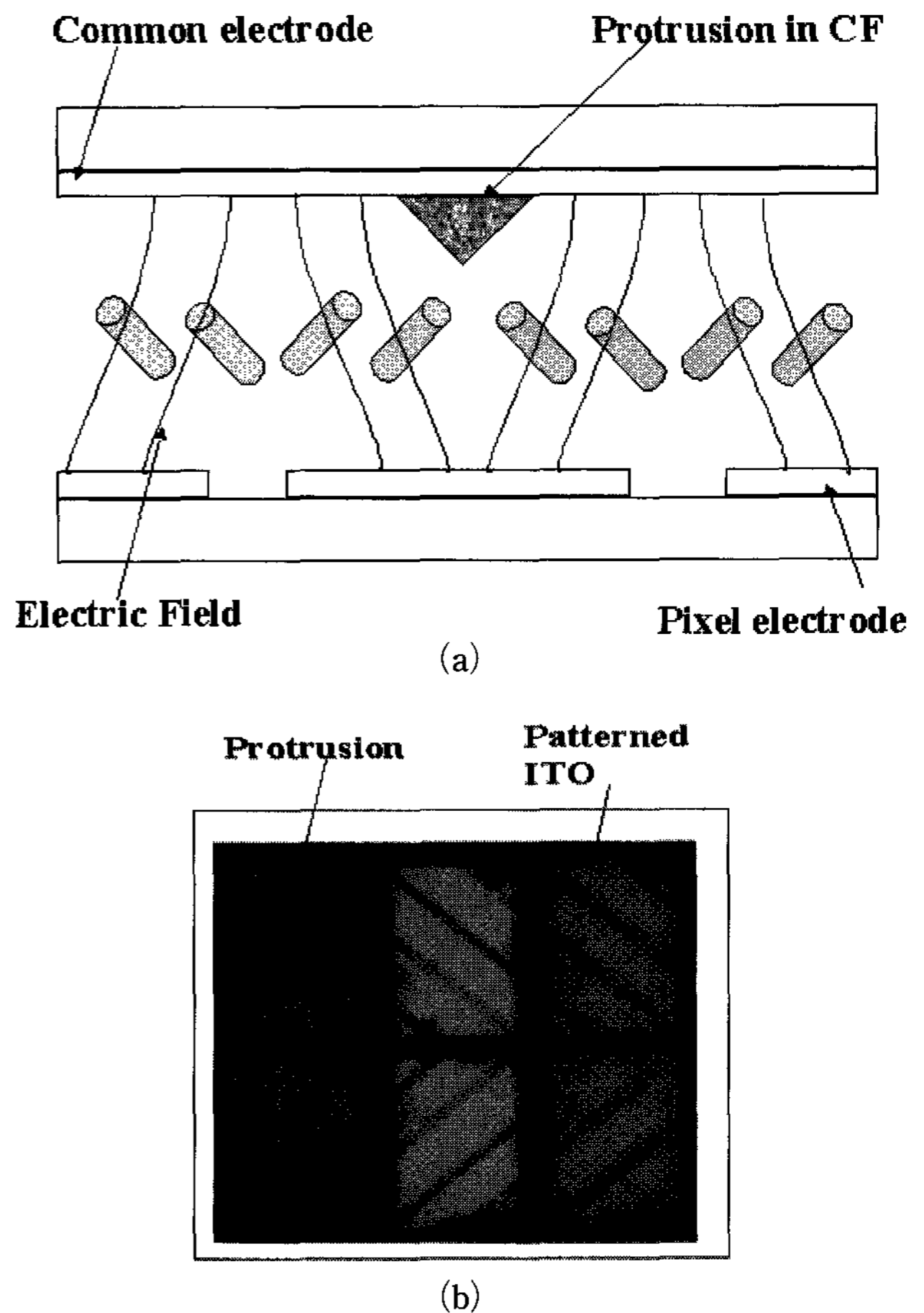
IPS나 FFS 모드 의 경우 근본적인 약점은 장시간 정지화상 고정시 잔상이 존재한다는 것이다. 이 분야에 많은 연구가 이루어지고 있어 개선되고 있는 중이다.

3. VA 모드

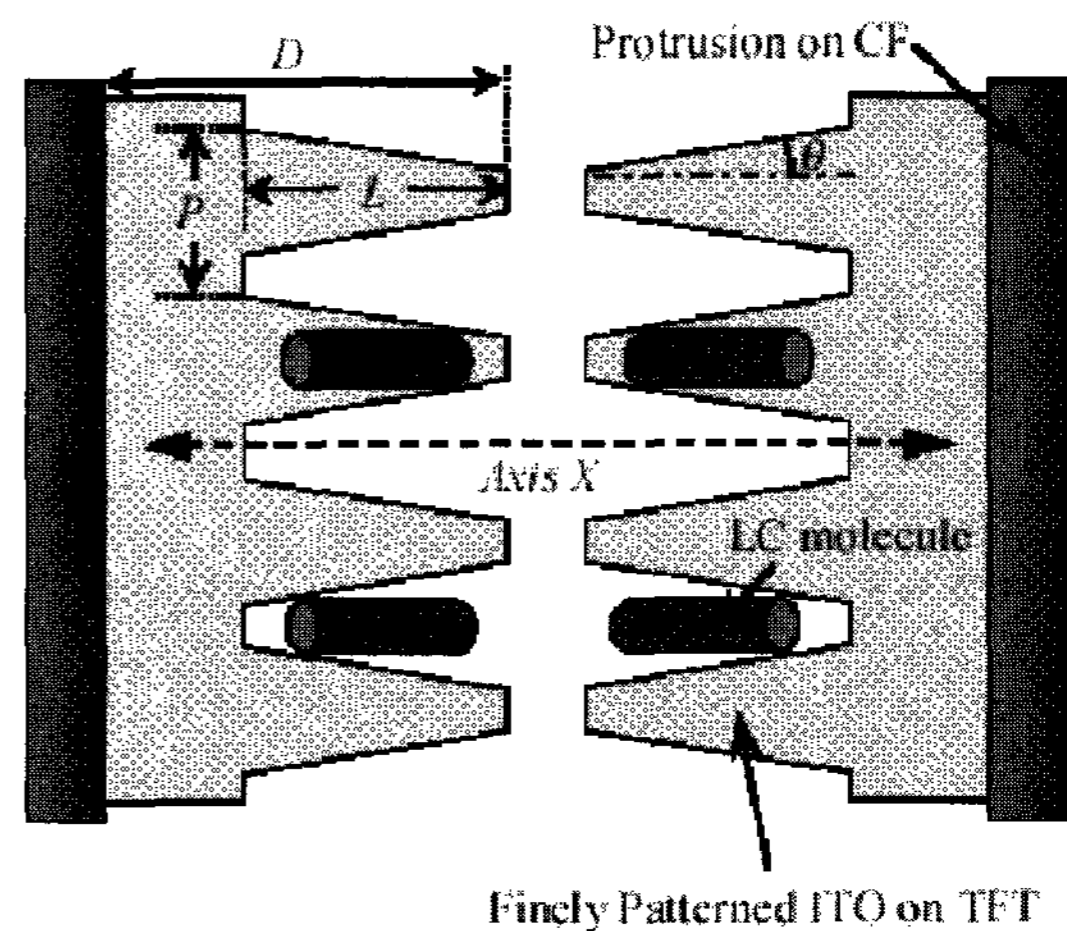
모든 VA 모드에서 두장의 교차된 편광판 내에 액정 분자들이 초기에 기판에 수직으로 배열되어 있다. 따라서 정면에서는 완벽한 흑상태를 보여주나 경사방향에서는 액정분자들이 서있는 이유 때문에 편광판을 통과한 입사된 빛의 위상차가 크게 발생하여 빛샘이 편광판 두장의 투과축과 일치하지 않은 부분에서는 빛샘이 크게 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 VA모드에서는 셀과 편광판 사이에 부의 위상차 필름이 존재한다. 전압이 인가하였을 때 액정분자들이 눕기 시작하는데 이때 시야각 의존성이 없는 균일한 휘도를 얻기 위해서는 액정분자들이 편광판 축과 45각을 이루면서 적어도 4방향으로 누어야만 한다. MVA, PVA 및 ASV 모두 전부 유전율이 이방성이 음인 액정을 사용해야만 한다.

1) MVA

MVA모드에서는 액정분자들이 상판에 존재하는 돌기에



[그림 4] 돌기와 패턴된 전극을 가진 MVA 모드의 (a) 수직 단면도 및 (b) 평면도



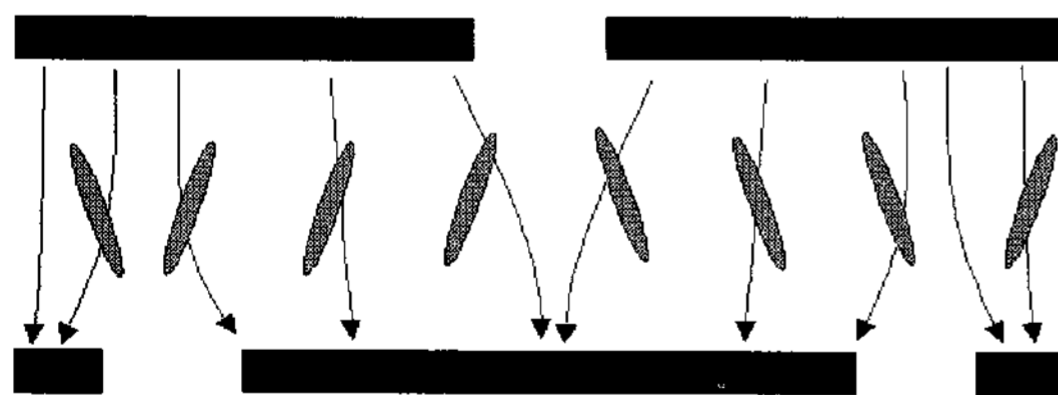
[그림 5] Jagged 형태를 가진 새로운 MVA모드의 화소 구조

의해 90도에서 약간 벗어나 있다. 하부 기판에는 화소 전극이 슬릿형태로 패턴되어 있어 전압 인가시 수직장이 아닌 수직방향으로부터 약간 벗어난 프리즈장이 인가되어 액정분자들이 지그재그형태로 되어 있는 구조에 의해 4 방향으로 눕게 된다. [그림 4]는 한 화소의 단면과 평면도를 보여준다. 나타난바와 같이 돌기와 패턴된 ITO전극이 지그재그형태로 놓여있다. MVA모드는 후지쯔사에 의해 많은 연구가

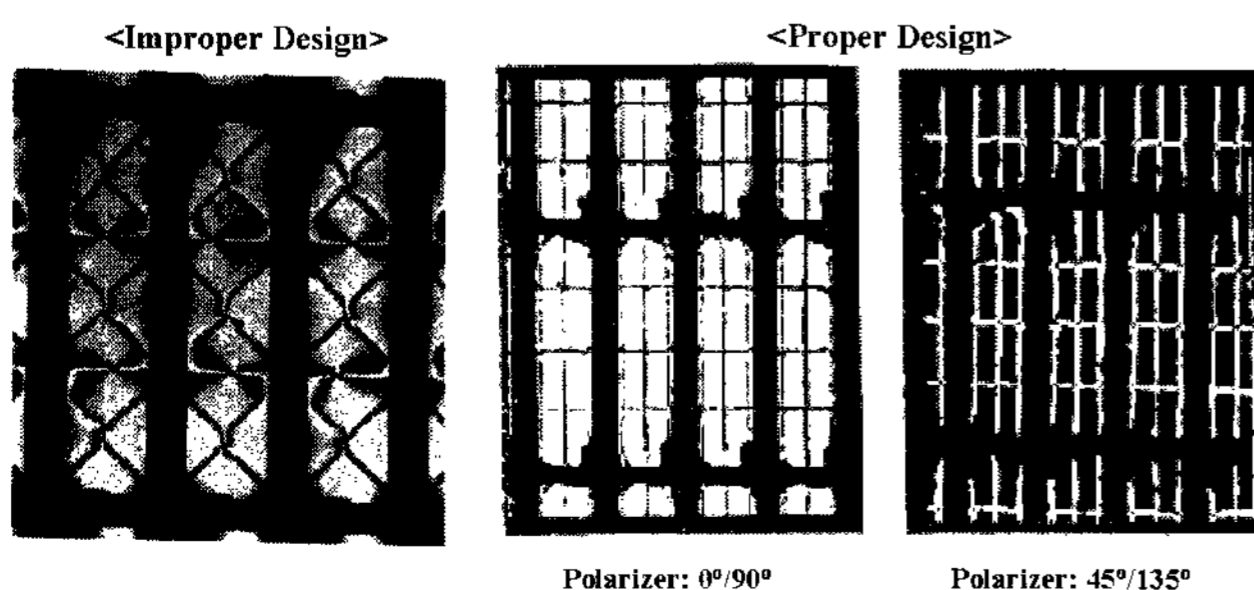
진행되었다. 초기에는 상하에 각각 돌기를 두어 종래보다 공정이 두 번이나 증가되었지만 후에는 하부기판의 돌기를 제거하였고 최근에는 계조간의 응답시간을 개선하기 위하여 [그림 5]에서 보는 것처럼 하부기판의 ITO전극을 들쭉날쭉한 형태로 패턴을 하여 액정 분자의 동력학을 좀더 완벽하게 제어하였고 계조간 응답시간도 30ms로 단축하였다^[15]. 이 모드의 주 단점은 칼라 필터, 배향제, 액정, 보상필름등의 제조 비용의 증가이므로 경쟁력을 갖추기 위해서는 고수율이 중요하다.

2) PVA 및 ASV

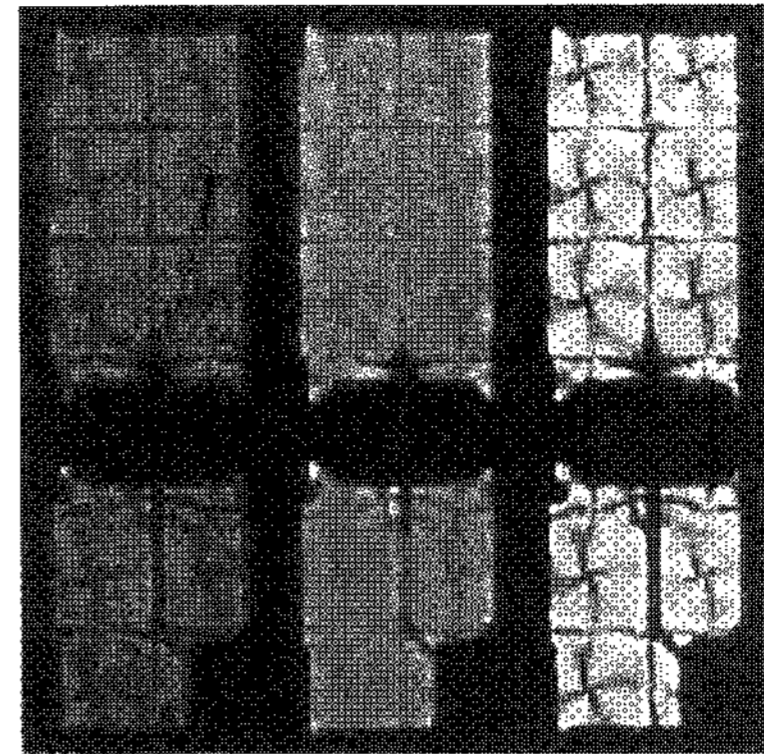
PVA모드에서는 액정분자들이 초기에 기판에 완벽하게 서있고 상하기판에 ITO전극이 슬릿형태로 [그림 6]에서 보는 것처럼 패턴되어 있어 전압 인가시 액정분자들이 서로 다른 방향으로 눕게 된다. 따라서 설계의 중요 요소는 액정을 안정하게 여러 방향으로 눕게 하는데 있다. 이러한 방법은 종래에 IBM과 산요사에 의해 시도되었고^[16,17], 산요사는 소형 TFT-LCD분야에서 이 모드를 적용하여 생산을 하였다. 하지만 삼성은 이러한 개념을 처음으로 대면적으로 응용하였다. [그림 7]은 편광판 투과축을 회전시키면서 밝은 상태의 투과율 정도를 보여주는 사진이다. 나타난 바와 같이 전극 구조가 상당히 복잡하고 화소설계가 잘못되었을 때 두꺼운 Disclination Line이 존재하는 것을 보여주고 있다. 상대적으로 화소 설계가 잘 되었을때는 액정 분자의 동력학이 안정되어 뚜렷한 Disclination Line을 보여준다. PVA모드의 제조상의 큰 문제는 칼라필터 위에서 ITO전극을 정교하게 대면적에서 패턴하기 어렵다는 것이다. 따라서 ITO 밑에 절연막을 두어 패턴의 정밀도를 향상시켰다. 또한 MVA모드와 마찬가지로 액정분자의 동력상태를 잘 제어하기 위해서는 상하판의 합착시 정교함이 요구된다. 이러한 문제는 대면적 제작시 Shot Mura나 위치별 투과율 불균일을 가져올



[그림 6] 상하기판에 패턴된 저극 구조를 가진 PVA모드의 수직 단면도



[그림 7] PVA모드에서 전극화소 구조에 따른 Disclination line을 보여주는 편광 현미경 사진



[그림 8] ASV모드의 한화소에서 투과율 정도를 보여주는 단면도

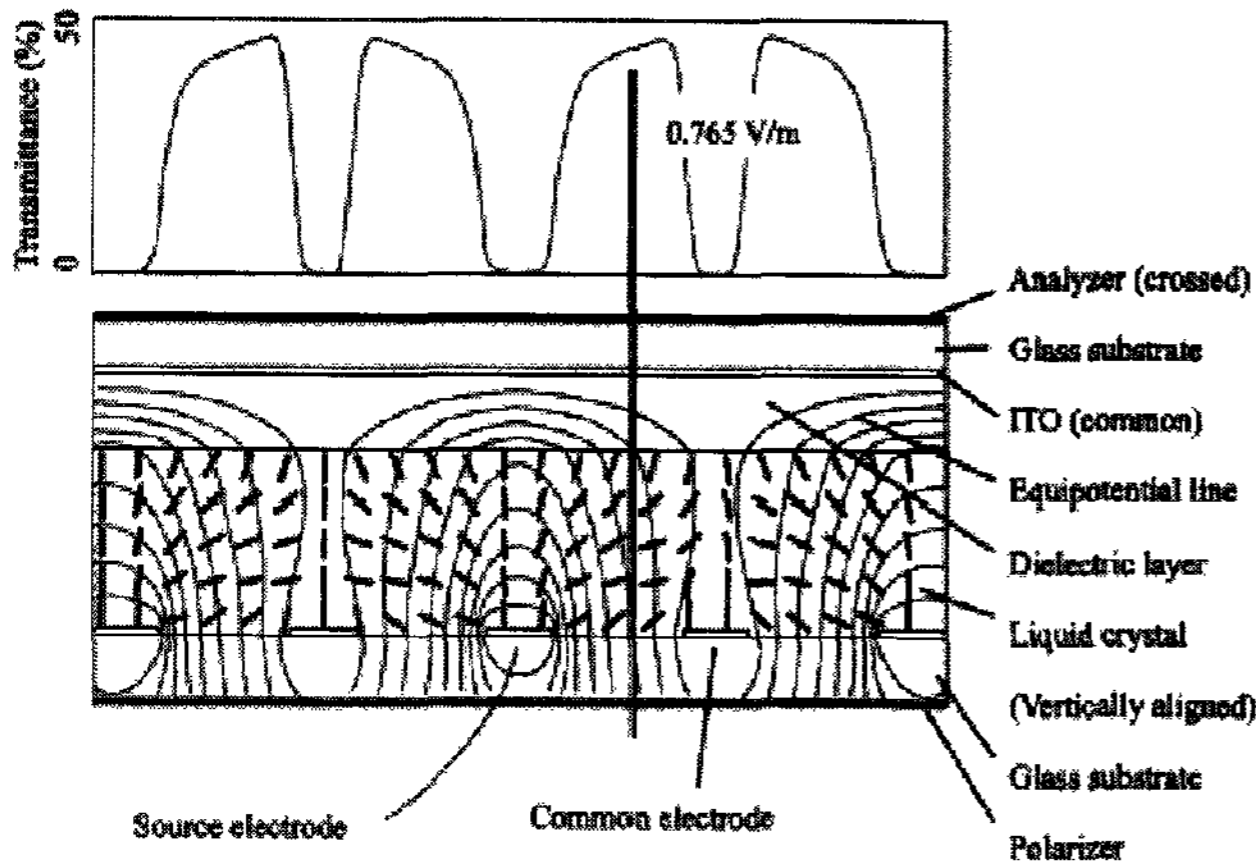
수 있어 이에 대한 보완 구조가 필요하다. 제조비용 관점은 MVA와 마찬가지로이다.

ASV모드에서는 한 개의 화소안에 여러개의 패턴된 작은 방들이 규칙적으로 배열되어 있다. PVA와 다른 점은 상판 ITO가 패턴되어 있지 않고 하부기판 전극의 정교한 패턴으로 전압인가시 액정분자들이 360도 방향으로 눕게 제어한다^[18]. 안정한 액정분자의 제어를 위해서는 상판에도 추가구조가 필요하리라 본다. [그림 8]은 두 장의 교차된 편광 현미경에서 액정들이 누어서 빛이 투과되는 정도를 보여주는 사진으로 작은 방안의 중심을 중심으로 액정분자들이 360도 방향으로 누어있는 것을 말해준다. Gate선이나 Data선으로부터 나오는 왜곡 전기장을 제어하는 것이 쉽지 않음에도 불구하고 샤프사는 고개구율 기술을 바탕으로 이를 실현하였다. 하지만 이 경우 투과율의 저하가 예상되고 특히 외부압력이 인가되었을 때 액정 동력학에 문제가 예상된다.

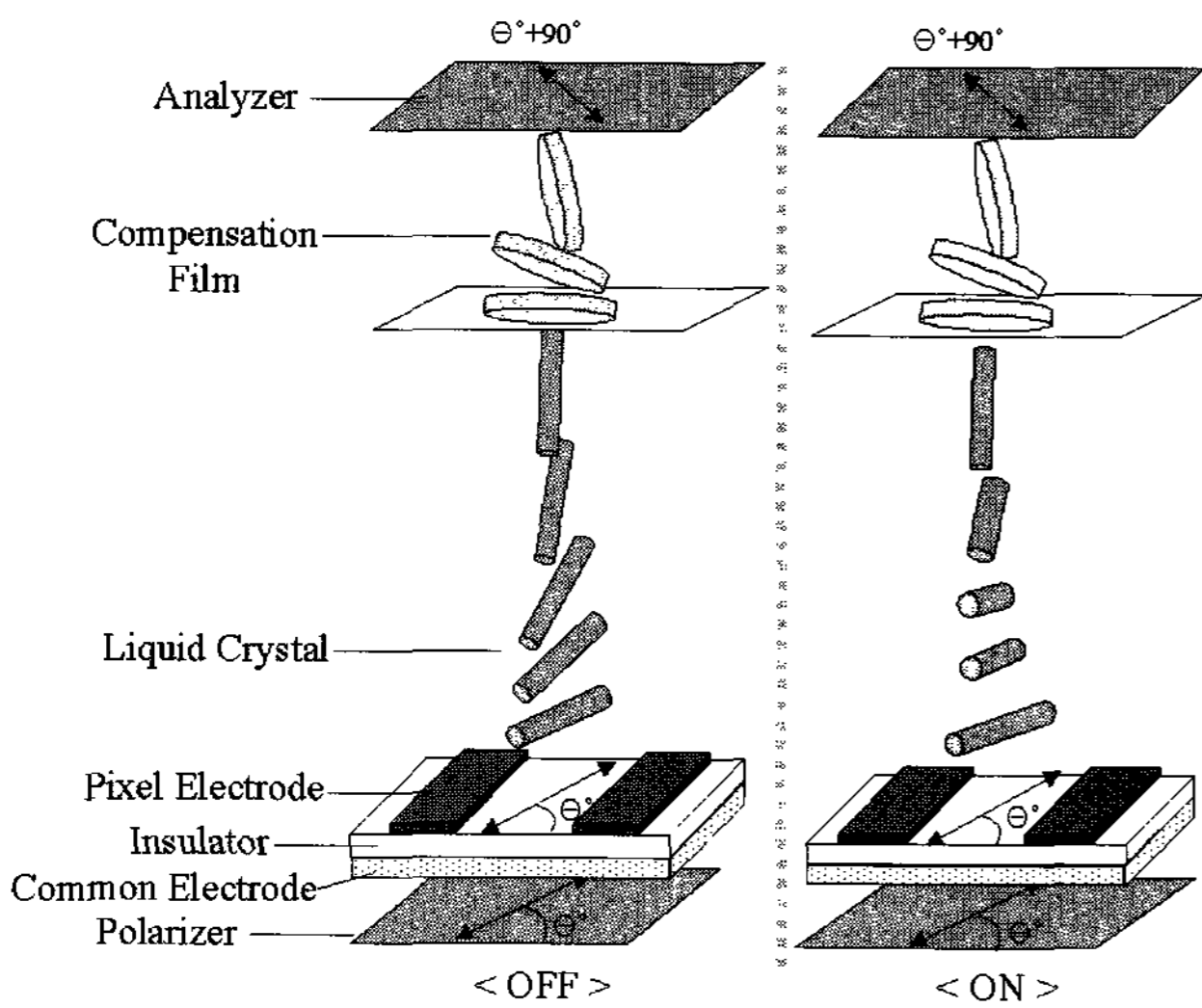
4. 새로운 기술들

VA 방식의 또 다른 접근방식은 유전율 이방성이 양인 액정을 이용하고 수평장을 이용하는 개념이다^[19]. 하지만 이 경우 투과율 저하나 구동전압 증가의 문제가 존재하나 최근에 이러한 문제를 [그림 9]에 나타난 바와 같이 상판에 또 하나의 유전체 층과 전극을 두어 해결하는 방식을 후지쯔사가 제안하였다^[20]. 이러한 방식으로 투과율이 향상되었고, 구동전압이 낮아졌고, 전계조 16ms 이하인 빠른 응답시간이 달성되었다. 하지만 역시 투과율이 낮은 것이 근본적인 문제로 지적된다.

또다른 액정 모드는 [그림 10]에 off 상태 및 on 상태가 나타난 것처럼 Hybrid 배열된 액정분자들이 프린즈 장에 의해 구동되는 HAN-FFS모드이다. 이 모드 경우 적당한 시야각과 저 구동전압, 고 광효율, 단 한번의 러빙등 장점이 있어 연구가 되고 있다. 우치다 교수에 의해 최근 발표된 액정 모드는 OCP로 수평배향된 액정이 초기 교차된 편광판과 45도 각을 이루고 있어 밝은 상태를 보여주고 전압 인가시 어두움 상태가 된다. 종래 이 경우 흑상태에서 광누설이 강하고 명암대비율을 내는 것이 불가능하였으나 새로운 광학 필름을 설계하여 흑상태를 완벽하게 제어한다. 이상적으로는 가능하지만 이 모드 경우 한쪽 방향에서 제조 상태의 투과



[그림 9] 유전율 이방성이 양인 액정을 사용한 새로운 VA모드의 구조



[그림 10] Off 및 On 상태를 보여주는 HAN-FFS모드의 셀 구조

을 불균일을 해결할 수 없다고 생각되나 적절한 시야각에 저비용을 추구한다는 관점에서 연구되었다고 본다.

III. 결 론

본 논문에서는 상용화된 액정모드들을 검토하였다. Super-IPS나 Ultra-FFS개념으로 CRT와 대등한 화질을 달성하였고 특히 두 모드의 경우 시야각이 넓은 영역에서도 고 명암대비율을 보여준다. MVA, PVA 및 ASV 모드들의 경우 정면에서 고 명암대비율을 보여주고 러빙공정을 필요치 않는다는 장점을 지니고 있다. 하지만 시야각에 따른 명암대비율은 각 모드가 어떻게 필름 보상을 잘 하는가에 달려있다. 현재 서로 다른 액정모드들은 개발된 각 회사에서 계속해서 개선중이고 선의의 경쟁을 하고 있다. 하지만 성능 측면은 각 모드의 근본 요소이어서 향후 수년 이후에 어떤 액정 모드가 고성능 및 저비용을 실현하면서 살아남을지 주목된다. 이외에도 액정모드는 디스플레이의 성능, 제조 공정, 제조

비용 등을 결정하는 핵심 기술이므로 계속해서 모드개발에 대한 도전이 지속된다.

참 고 문 헌

- [1] M Oh-e and K Kondo, Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode, Appl Phys. Lett., pp.3895-3897, 1995.
- [2] H Mori, Y Itoh, Y Nishiura, T Nakamura and Y Shinagawa, Performance of a Novel Optical Compensation Film Based on Negative Birefringence of Discotic Compound for Wide-Viewing-Angle Twisted-Nematic Liquid-Crystal Displays, Jap. J. Appl. Phys., vol. 36, no. 1A, pp.143-147, 1997.
- [3] Y Koike, Fujitsu Offers 140°-View, 25ms-response LCDs, Nikkei Electronics Asia, pp.75-78, March 1997.
- [4] S H Lee, S L Lee and H Y Kim, High-transmittance, wide-viewing-angle liquid crystal display controlled by fringe-field switching, Asia Display '98, pp.371-374, 1998.
- [5] S H Lee, S L Lee and H Y Kim, Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching, Appl. Phys. Lett., vol. 73(20), pp.2881-2883, 1998.
- [6] K H Kim, K H Lee, S B Park, J K Song, S N Kim and J H Souk, Domain Divided Vertical Alignment With Optimized Fringe Field Effect, Asia Display '98, pp.383-387, 1998.
- [7] Y Ishii, S Mizushima and M Hijikigawa, High Performance TFT-LCDs for AVC Applications, SID 01 Digest, pp.1090-1093, 2001.
- [8] K Kumagawa, Fast Response OCB Mode for LCD-TV, AM-LCD01, pp.63-66, 2001.
- [9] S H Hong, Y H Jeong, H Y Kim and S H Lee, Novel Nematic Liquid Crystal Device Associated with Hybrid Alignment Controlled by Fringe Field, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 40, Part 2, no. 3B, pp.L272-L274, 2001.
- [10] M Shibazaki, T Ishinabe, T Miyashita, T Uchida and T Sunata, New Concept of the Wide Viewing Angle Liquid Crystal Displays without Grayscale Inversion, Jpn. J. Appl. Phys. vol. 40, no. 12B L1373-L1376, 2001.
- [11] S H Lee, H Y Kim, I C Park, B G Rho, J S Park, H S Park and C H Lee, Rubbing-free, vertically aligned nematic liquid crystal display controlled by in-plane field, Appl. Phys. Lett., vol. 71(19),

- 2178-2180, 1997.
- [12] H Yoshida, Y Nakanishi, T Sasabayashi, Y Tasaka, K Okamoto, Y Inoue, H Sukenori, T Fujikawa, Fast-Switching LCD with Multi-Domain Vertical Alignment Driven by an Oblique Electric Field, SID 00 Digest, pp. 334-337, 2001.
- [13] S H Lee, S M Lee, H Y Kim, J M Kim, S H Hong, Y H Jeong, C H Park Y J Choi, J Y Lee, J W Koh and H S Park, 18.1" Ultra-FFS TFT-LCD with Super Image Quality and Fast Response Time, SID 01 Digest, pp. 484-487, 2001.
- [14] J D Noh, H Y Kim, J M Kim, J W Koh, H S Park and S H Lee, Pressure-Resistant Characteristics of the Fringe-Field Switching (FFS) TFT-LCD, Proc. of The 2nd International Display Manufacturing Conference, pp. 447-450, 2002.
- [15] S Kataoka, A Takeda, H Tsuda, Y Koike, H Inoue and T Fujikawa, A New MVA-LCD with Jagged Shaped Pixel Electrodes, SID 01 Digest, pp. 1066-1099, 2001.
- [16] A Lien and R A John, Simulation of Three-Dimensional Director Structures in Multi-Domain Homeotropic LCDs, SID 92 Dig., pp. 33-35, 1993.
- [17] N Koma, Y Baba and K Matsuoka, No-Rub Multi-Domain TFT-LCD Using Surrounding-Electrode Method, SID 95 Dig., pp. 869-872, 1995.
- [18] M Kubo, A Yamamoto, K Ogishima and T Ochi, Development of high performance ASV-LCDs using Continuous Pinwheel Alignment(CPA) mode, AM-LCD 01, pp. 101-102, 2001.