

기술 특 집

소형 반사형 액정 디스플레이 시스템의 동향

이병호, 최경식 (국가지정 홀로그래피 기술연구실, 서울대학교 전기공학부)

요 약

본 소고에서는 개인용 휴대 전화나 PDA, 캠코더, 디지털 카메라, 소형 PC나 휴대용 PC 등에 적용할 수 있는 소형 반사형 액정 디스플레이 시스템과 전면 광원 장치에 관한 기술들을 논의하였다. 반사형 액정 디스플레이 시스템은 가볍고 얇으며, 저 비용으로 낮은 전력소모를 얻을 수 있다는 장점을 가지고, 고휘도화와 높은 콘트라스트, 넓은 시야각 등을 목표로 많은 연구들이 진행되고 있다. 이러한 반사형 액정 디스플레이 시스템의 문제점들과 이를 해결하기 위해 제안된 주요 방법들을 소개하였고, 국내외 관련 연구 동향에 대해 기술하였다. 또한 전면 광원 장치용 도광판을 설계하기 위한 기법과 설계 결과를 제시하였다.

I. 서 론

평판 디스플레이(flat panel displays, FPD) 산업은 정보화 및 디지털화의 시대적 요구에 따라 급성장을 하게 되었고, PC용 모니터, 노트북, LC(liquid crystal) TV, PDA(personal digital assistant), 휴대전화, 의료, 가전, 오락, 영상매체 등 산업 전반에 걸친 응용 분야를 가지고 있다. 특히 박막 트랜지스터 액정 디스플레이(thin film transistor liquid crystal display, TFT-LCD)는 반도체 공정 및 회로, 광학 기술들의 발전에 힘입어 낮은 전력 소모와 높은 해상도, 우수한 칼라표시와 화질, 얇고 가볍다는 특징을 제공할 수 있다는 장점으로 FPD 산업의 중심 축을 형성하게 되었다.^{[1]-[4]}

TFT-LCD 시스템은 고체물리, 유기화학, 회로공학, 광학, 인간공학 등의 복합적인 지식을 요구하고, 이미 상용화되었지만 아직도 많은 연구를 필요로 한다. 즉, 이는 광원의 이용 효율 증대를 위한 광범위한 광학계 연구, TFT 공정의 단순화, 저전력 소모와 빠른 응답시간을 위한 구동 회로의 개선, 더욱 경박화되고 조립이 간단한 실장 기술의 개선, 액

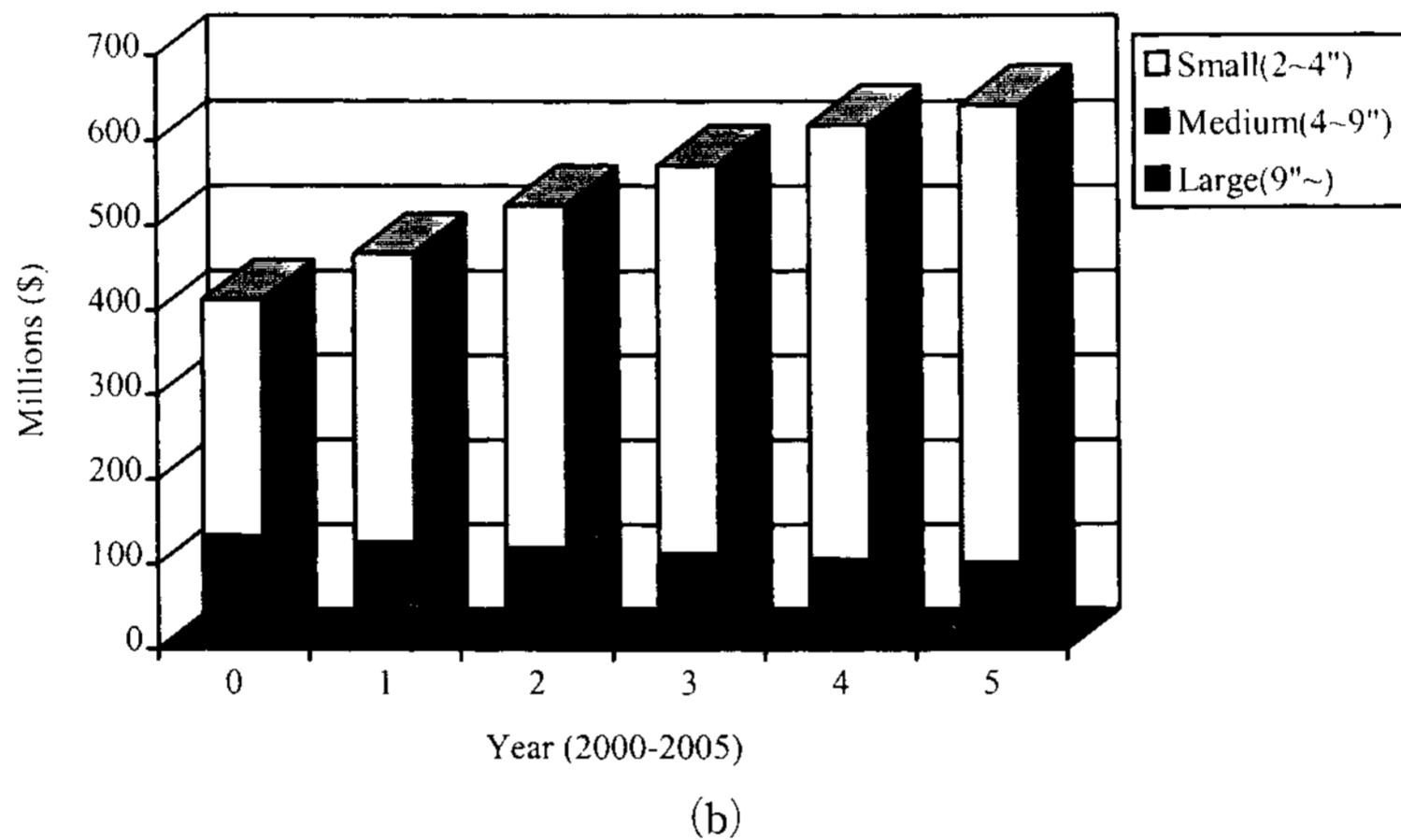
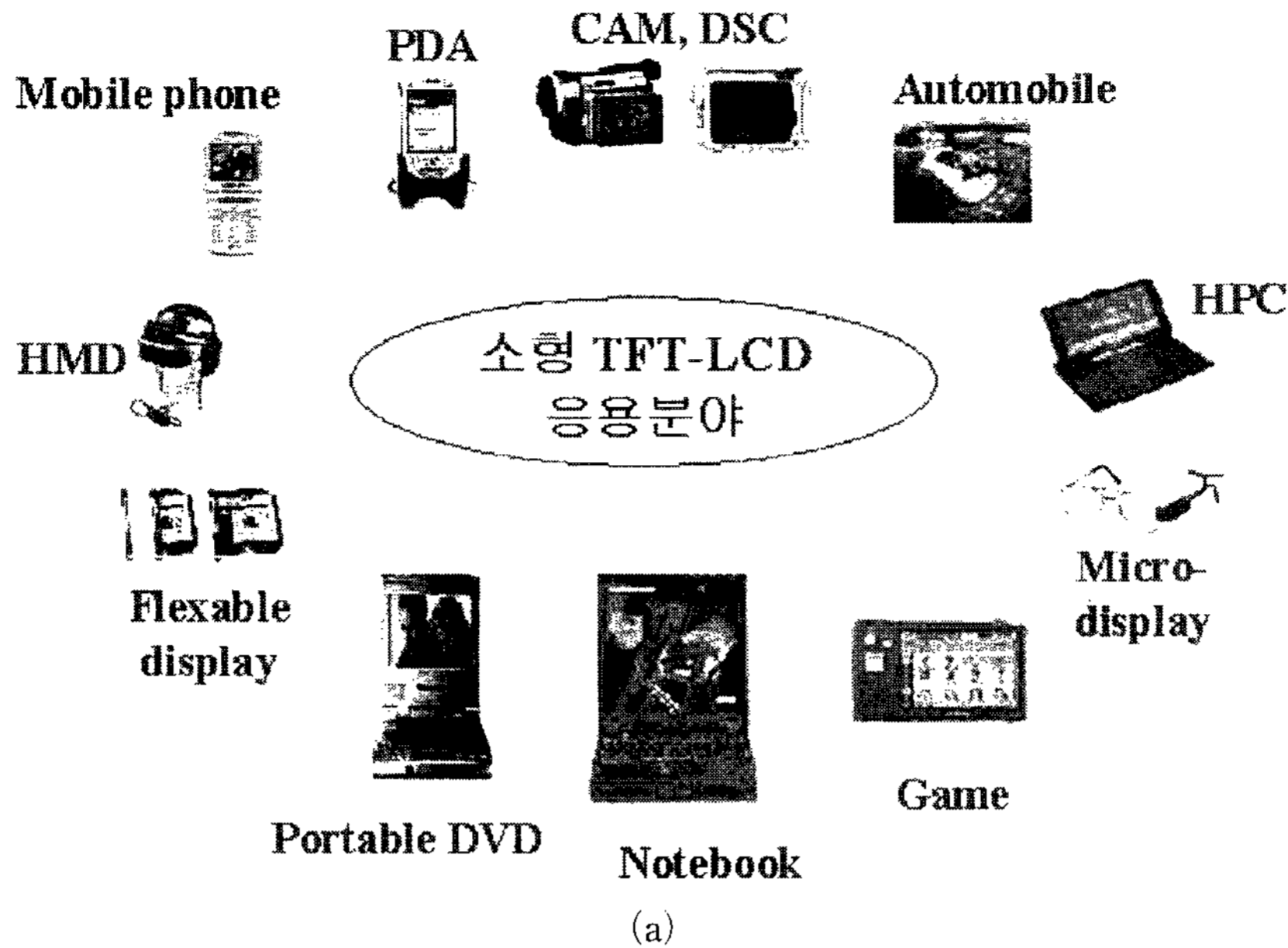
정 모드 연구 등이 지속적으로 이루어져야 하는 복합적인 기술이다.^[5]

최근 PDA나 휴대전화, 자동차 항법장치, 디지털 카메라, 캠코더, 마이크로 디스플레이 등 소형 디스플레이 시스템에서 가장 중요시 되는 저소비전력화를 위해 full-color 반사형 TFT-LCD 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 소고에서는 이러한 소형 반사형 디스플레이 시스템에 대한 기술 동향과 문제점들에 대해서 논의하고, 전면 광원 장치(front light unit, FLU)를 갖는 반사형 시스템의 동향과 구조 및 특성을 설명한다. 마지막으로 FLU용 도광판(light guide plate, LGP)을 설계하기 위해 몬테카를로 시뮬레이션과 광선 추적기법을 이용하는 방법을 설명한다.

II. 반사형 LCD 시스템의 기술 동향

일반적인 TFT-LCD는 자체 발광이 불가능한 수동 소자로서 외부광원을 이용하기 때문에 전체 전력 소모의 2/3 이상을 광원에서 소비하고 있다. 최근 휴대전화나 PDA, 휴대용 PC와 같은 소형 디스플레이 시장이 활성화 됨에 따라, 광원의 전력 소모를 최소화 하기 위해 외부광원을 이용할 수 있는 반사형 LCD 시스템이 각광을 받고 있고, 상용화되고 있다. 현재 반사형 디스플레이로서는 STN-LCD가 주로 상용화 되어 있는 실정이며, [그림 1]은 이러한 소형 TFT-LCD의 실제 응용분야와 STN-LCD 시장의 규모를 나타낸 것이다.

반사형 TFT-LCD 시스템의 동향은 크게 액정 기술과 광학부품 기술로 분류할 수 있고, 아직도 높고 균일한 밝기 분포와 우수한 콘트라스트, 광 시야각, 높은 해상도의 칼라 영상을 얻기 위해 많은 문제점들이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방법으로서 한 매의 편광판과 보상 필름, 산란 반사판을 이용한 STN-LCD^[6]와 편광판과 칼라 필터를 제거한 홀로그래픽 폴리머 분산 액정(holographic polymer dispersed liquid crystal, H-PDLC)^{[7]-[9]}, 콜레스테릭 칼라 필터(cholesteric color filter, CCF) 액정^[10] 등 액정



[그림 1] 반사형 LCD 응용 분야 및 STN-LCD 시장동향
 (a) 소형 TFT-LCD 응용분야 (b) STN-LCD 시장동향 (Source : Stanford Resources Inc.)

기술과 반사 방지막^[11], 확산 반사판^[12], 확산용 마이크로 경사 반사판(diffusive micro slant reflector, DMSR)^[13], 홀로그래픽 칼라 필터^[14], 다방향 비대칭 마이크로 렌즈 어레이 필름^{[15][16]}, 편광판을 대체하기 위한 파장 이하(sub-wavelength)의 회절 광학 소자^[17] 등 광학 부품 기술 부분에서도 많은 연구가 진행되고 있다.

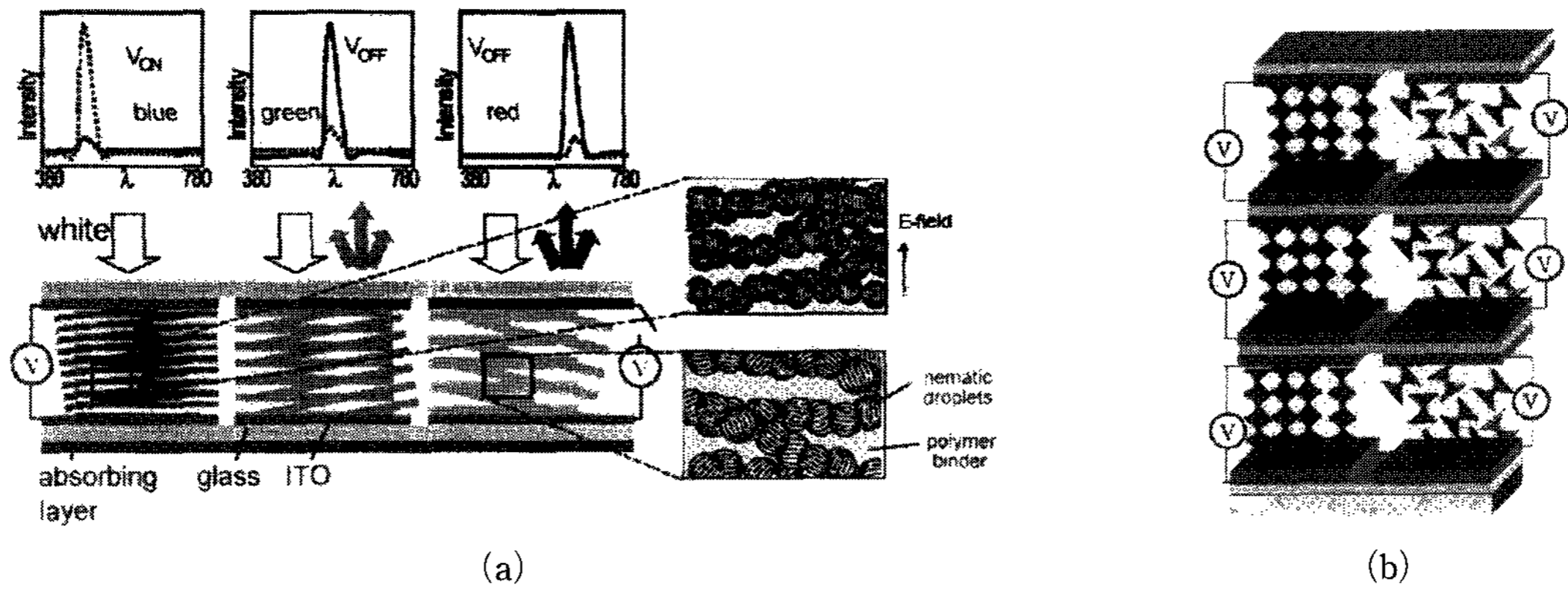
1. 액정 기술

반사형 TFT-LCD에 사용되는 액정의 종류에 따라 TN (twisted nematic), STN, ECB(electrical controlled birefringence)와 같은 투과형 모드와 GH(guest host), PCGH(phase change GH)와 같은 흡수형 모드, PSCT (polymer stabilized cholesteric texture), CH-LCD (cholesteric LCD), PDLC(polymer dispersed liquid crystal)와 같은 선택 반사, 산란형 모드 등으로 분류된다.

반사형 STN(R-STN)은 하나의 편광판과 보상판을 사

용하고, 복굴절 현상을 이용하여 넓은 시야각을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 전압을 인가하여 액정의 굴절률과 두께를 조절할 수 있는 ECB 모드 반사형 디스플레이는 TN, STN과 비교했을 때 칼라 필터 없이 하나의 편광판만을 이용하여 더 나은 휘도를 제공하지만, 아직 5~10 정도의 낮은 콘트라스트를 가지며 표현 가능한 칼라 수에 제한을 받는다. 또한 하나의 편광판을 빛이 두 번 투과하므로 낮은 투과율을 갖는 단점을 가지고 있다. 편광판이 없는 GH-LC, H-PDLC, CH-LC와 같은 차세대 반사형 LCD들은 높은 휘도를 얻기 위해 연구 중에 있다.

GH-LCD는 액정 층에 염료(dye)나 안료(pigment)를 포함하여, 인가된 전압에 따라 액정의 방향성 변화로 빛의 편광을 변화시키고, 염료에 의해 빛이 흡수되어 디스플레이 되는 색이 변화한다. 흡수형 모드인 PCGH는 편광판이 필요없이 높은 휘도를 얻을 수 있으나, 계조(gray-scale)나 칼라를 구현할 수 없는 단점이 있다. 선택 반사형 PSCT는 편광판이 요구되지 않아 높은 휘도와 RGB 다층화를 통해 칼라를 구현할 수 있으나, 높은 구동 전압과 동영상 구현이



[그림 2] 반사형 H-PDLC와 CH-LC의 구조 (a) H-PDLC^[9] (b) CH-LC^[8]

[표 1] 반사형 디스플레이를 위한 액정 기술 비교

(Source : KENT display, <http://www.lci.kent.edu>)

	TN	STN	GH	PE	PDLC	H-PDLC	CH
Contrast	5 : 1~10 : 1	5 : 1~10 : 1	5 : 1	5 : 1~10 : 1	10 : 1~15 : 1	~20 : 1	~30 : 1
% Reflectance	<10 %	<10 %	35 %	<10 %	12~15 %	15~30 %	40 %
Driving Voltage	Low (<5 V)	Medium (<10 V)	Medium (~10 V)	Medium (~10 V)	Medium (<10 V)	High (>50 V)	Medium (~35 V)
Speed	Fast	Slow	Slow	Very fast	Fast	Very fast	Slow
Bi-stable	No	No	No	Yes	No	No	Yes
High Resolution	With AM	Limited PM	With AM	Yes PM	With AM	With AM	Yes PM
Viewing Angle	Poor	Poor	Ok	Good	Excellent	Good, Color shift	Good, Color shift
Stability	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good

어렵다는 단점을 가지고 있다.

CH-LCD는 폴리머를 이용하지 않고, 양안정(bi-stable) 특성을 가지며, 광 시야각과 제한없는 다중화를 제공한다. 편광판 없이 좋은 휘도를 제공하고, RGB를 적층하여 4~8 가지의 색을 구현한다. PDLC와 H-PDLC는 액정의 유동성과 고분자 물질의 구조 및 복굴절성 등을 활용하는 것으로, 편광판을 사용하지 않지만 아직 높은 휘도와 낮은 구동 전압을 구현하는데 어려움이 많다.

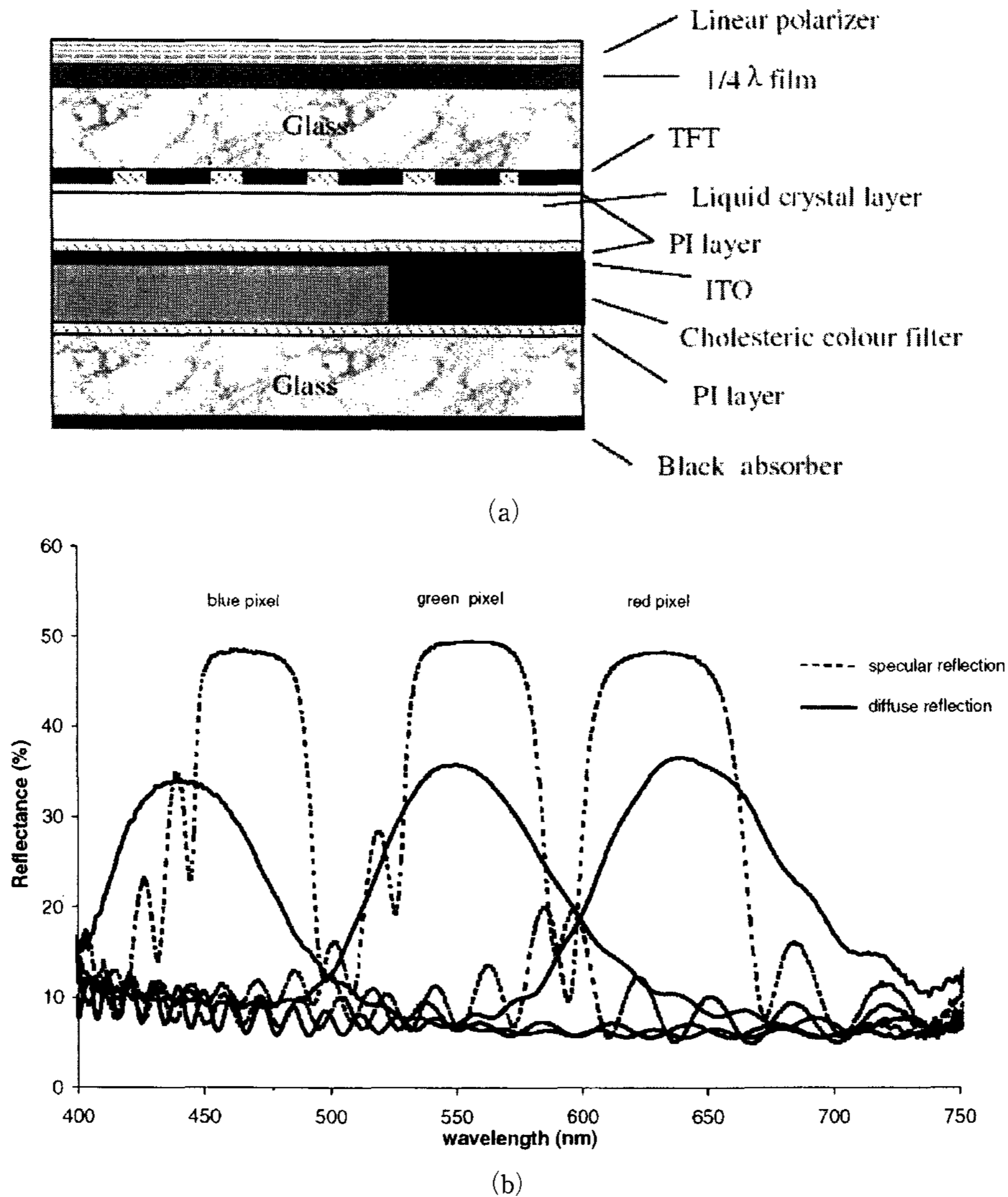
[그림 2]는 full-color를 구현하기 위해 제안된 H-PDLC와 CH-LC의 구조를 나타낸 것이다. H-PDLC는 하나의 픽셀을 공간적으로 3개의 영역으로 나누고, 각각의 영역에 대해 홀로그램을 만들어 full-color와 광 시야각을 구현하는 것이고, CH-LC는 3개의 층을 구성하고, 각각에 대해 전압을 다르게 인가하여, full-color를 구현하는 것이다. 아직 효율이 낮은 단점과 높은 전압을 인가해야 하는 단점이 있다. [표 1]은 위에서 제시한 반사형 디스플레이를 위한 액정 기술들을 비교한 것이다.

대표적인 액정 기술로서 현재 휴대 전화나 PDA용으로 상용화되어 있는 것은 삼성 SDI와 Sharp사 등의 STN-

LCD가 있다. 이들은 한 개의 편광판과 보상판, 칼라 필터, 액정층, 마이크로 반사판을 사용하여 저소비전력, 저비용화를 꾀하고 있다. 하지만, 이들은 빛이 편광판과 칼라 필터를 통과함으로써 낮은 반사율과 콘트라스트를 나타내고, 높은 분해능을 얻을 수 없는 단점이 있다. 이를 개선하기 위한 최근 동향으로는 IBM^[18]사에서 제시한 칼라 필터나 편광판이 없는 이중 GH 반사형 디스플레이가 반사율 50%, 콘트라스트 15 : 1을 나타내었다. NEC^[8]사에서는 반사율 95%, 콘트라스트 53 : 1을 갖는 RGB stacked H-PDLC 디스플레이 시스템을 개발하였다. 또한 Kent^[19] 디스플레이에서는 뛰어난 콘트라스트와 광 시야각을 갖는 콜레스테릭 액정의 반사율을 최고 75%까지 향상시켰다.

2. 광학부품 기술

반사형 액정 기술과 더불어, 다양한 광학 소자들의 성능개선이 이루어지고 있고, 새로운 광학 소자들이 현재 많은 개발 중에 있다. Philips^[10]사의 반사형 LCD를 위한 콜레스테릭 칼라 필터는 기존의 칼라 필터 뿐만이 아니라, 반사판, 한



[그림 3] CCF를 갖는 반사형 LCD^[10]
(a) 구조 (b) 칼라 반사 특성

매의 편광판을 줄이고, 35 : 1의 높은 콘트라스트를 나타낸다고 보고 되었다. [그림 3]은 콜레스테릭 칼라 필터를 갖는 반사형 LCD의 구조와 칼라 반사 특성을 나타낸 것이다.

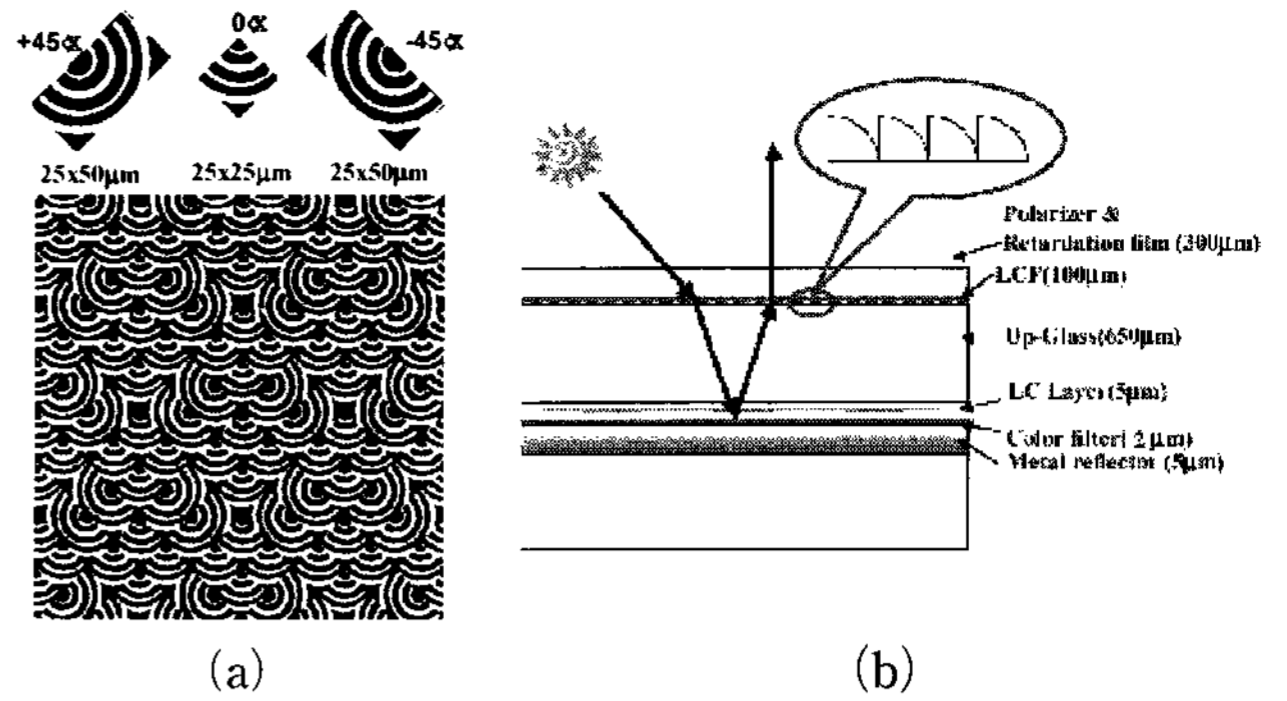
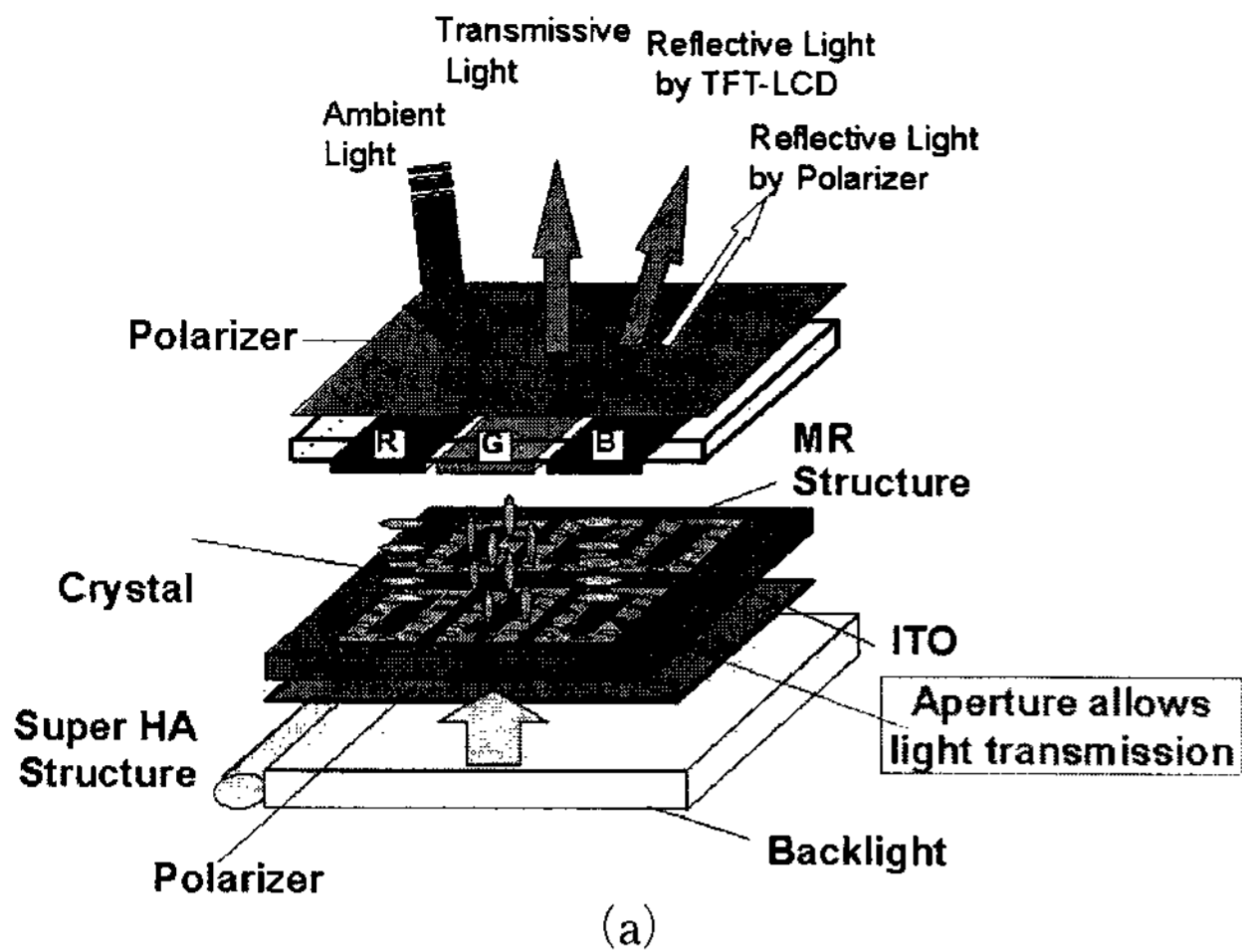
콜레스테릭 칼라 필터(CCF)는 일반적인 칼라 필터보다 가격경쟁력이 우수하고 공정이 간단하다는 장점이 있으나, 기존 칼라 필터의 반치폭(full width at half maximum, FWHM)이 120 nm인 반면, 70 nm로 색 순도가 낮은 특성을 갖는다. 일반적인 확산 반사판 또는 확산 전극을 이용하는 Sharp^[20]사의 2인치 Advanced TFT-LCD는 15 : 1의 콘트라스트와 22%의 반사율, 260,000 칼라를 갖는 투과/반사형 디스플레이를 구현하였다. [그림 4(a)]는 Sharp사에서 제시한 Advanced TFT-LCD 구조를 나타낸 것이고, [그림 4(b)]는 투과형 모드인 경우와 반사형 모드인 경우에 발생하는 칼라 재생 차이를 감소시키기 위해 제안된 칼라 필터의 구조를 나타내고 있다.

대만의 ITRI에서는 확산형 마이크로 경사 반사판(diffusive micro slant reflector, DMSR)^[13]을 갖는 6.4인치 VGA full-color용 반사형 TFT-LCD를 제작하였고, 42%

의 반사율과 20 : 1의 콘트라스트를 얻었다. [그림 5]는 DMSR의 구조와 형상 프로파일을 나타낸 것이다.

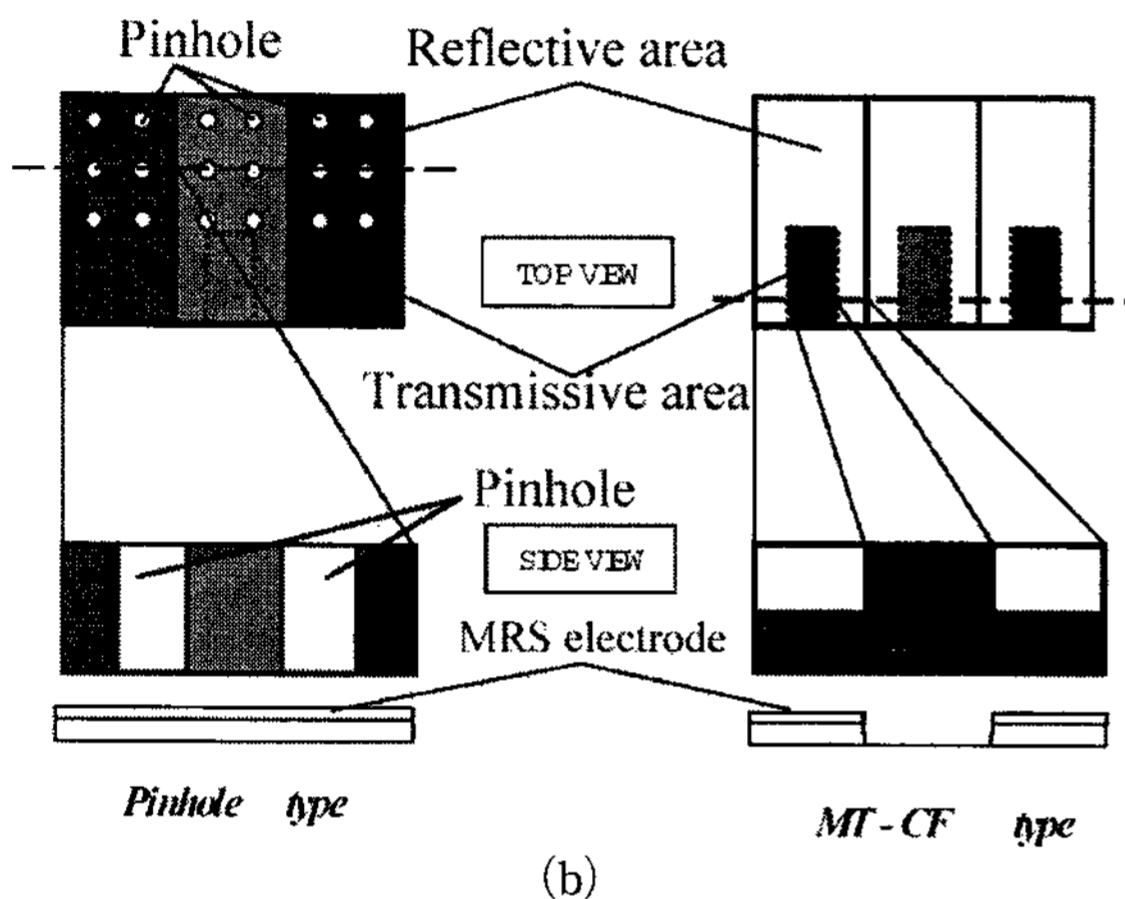
DuPont^[14]사에서는 포토폴리머와 홀로그래픽을 이용해 단색과 백색 홀로그래픽 LCD 반사판 뿐 아니라, 전면 확산판, 보상 필름, 홀로그래픽 칼라 필터등 다양한 응용분야를 제시하였고, 이러한 홀로그래픽 제품들을 상용화하고 있다. [그림 6]은 JVC 프로젝션 TV 시스템에서 사용되는 홀로그래픽 칼라 필터와 반사광원의 눈부심을 방지하기 위한 홀로그래픽 전면 확산판을 나타내고 있다.

반사형 LCD의 밝기와 콘트라스트를 향상시키기 위한 방법들로 앞에서 제시한 확산 반사판, 홀로그래픽 반사판, 전면 확산판의 방법들과 함께 대만의 Shieh 그룹에서 제시한 다방향 비대칭 마이크로 렌즈 어레이 필름(multidirectional asymmetrical microlens-array light control film, MAMA-LCF)^{[15][16]}이 있다. [그림 7]은 MAMA-LCF를 이용한 반사형 칼라 STN의 구조를 나타낸 것이다. 반도체 공정을 이용함으로써 경제적으로 대량 생산을 할 수 있고, STN, PDLC, CH-LCD 등에 다양하게 응용될 수 있다는

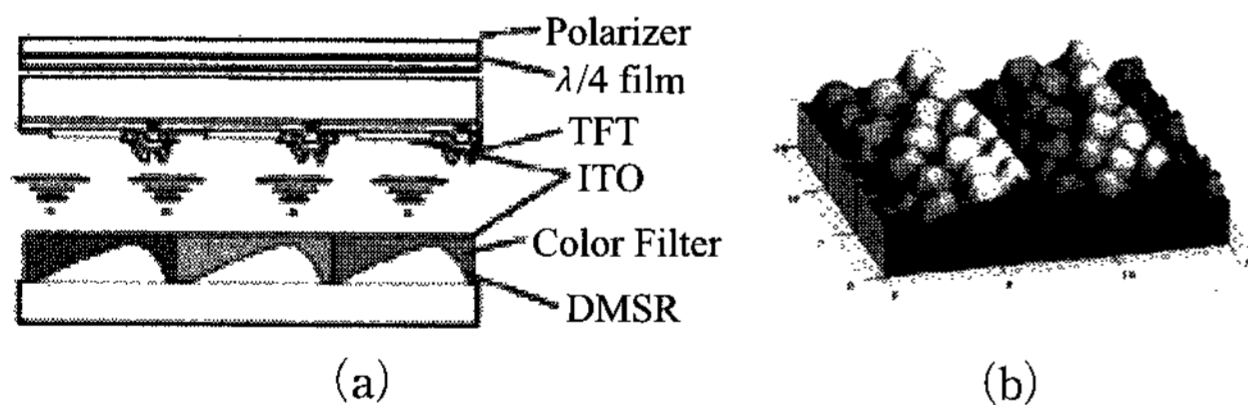


[그림 7] MAMA-LCF 반사형 칼라 STN-LCD^[15]

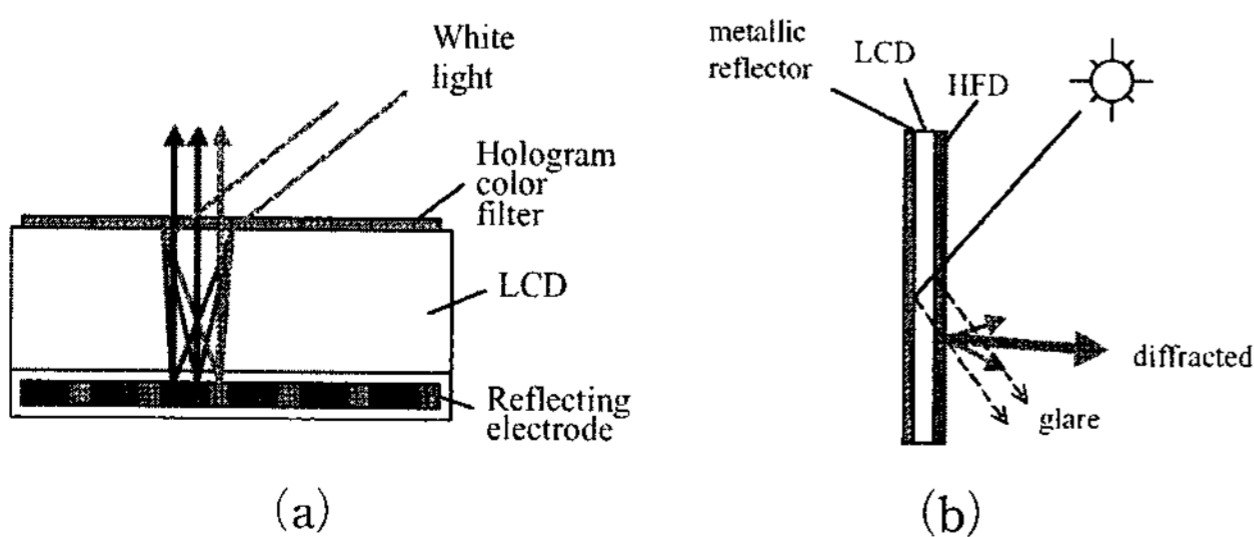
(a) MAMA-LCF 설계 패턴
(b) 칼라 STN-LCD 시스템 구조



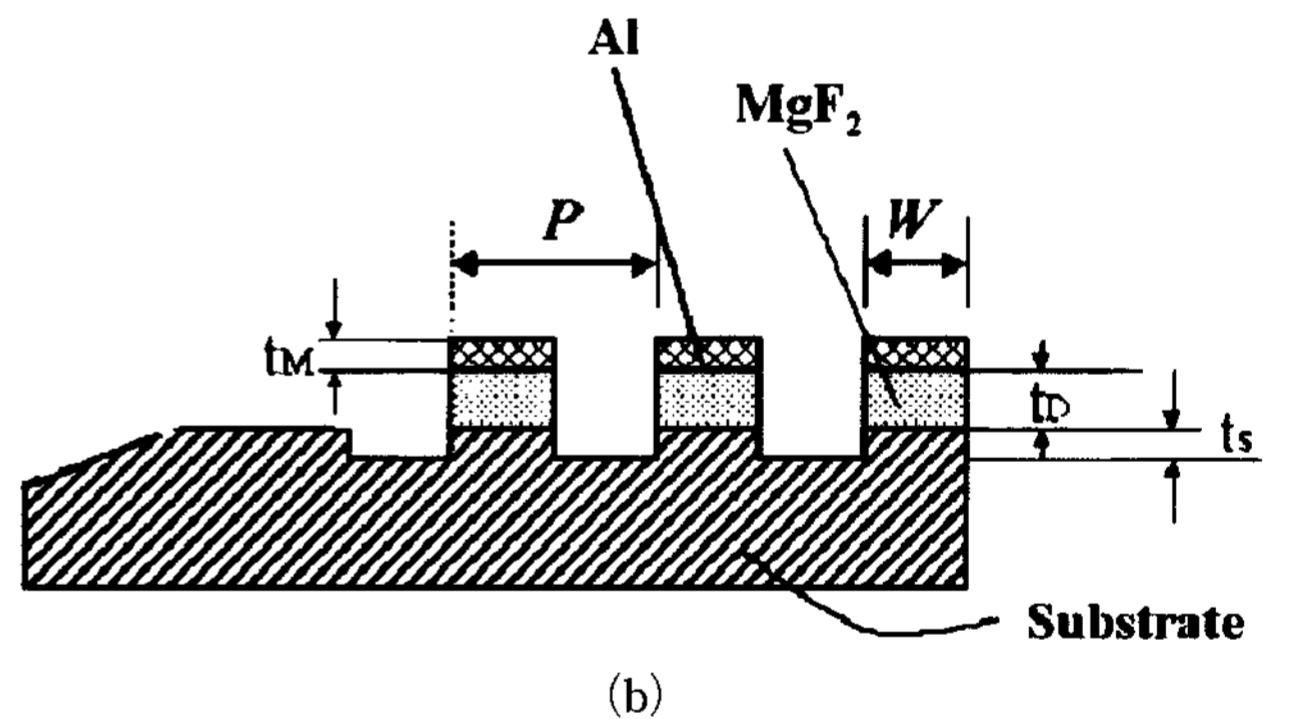
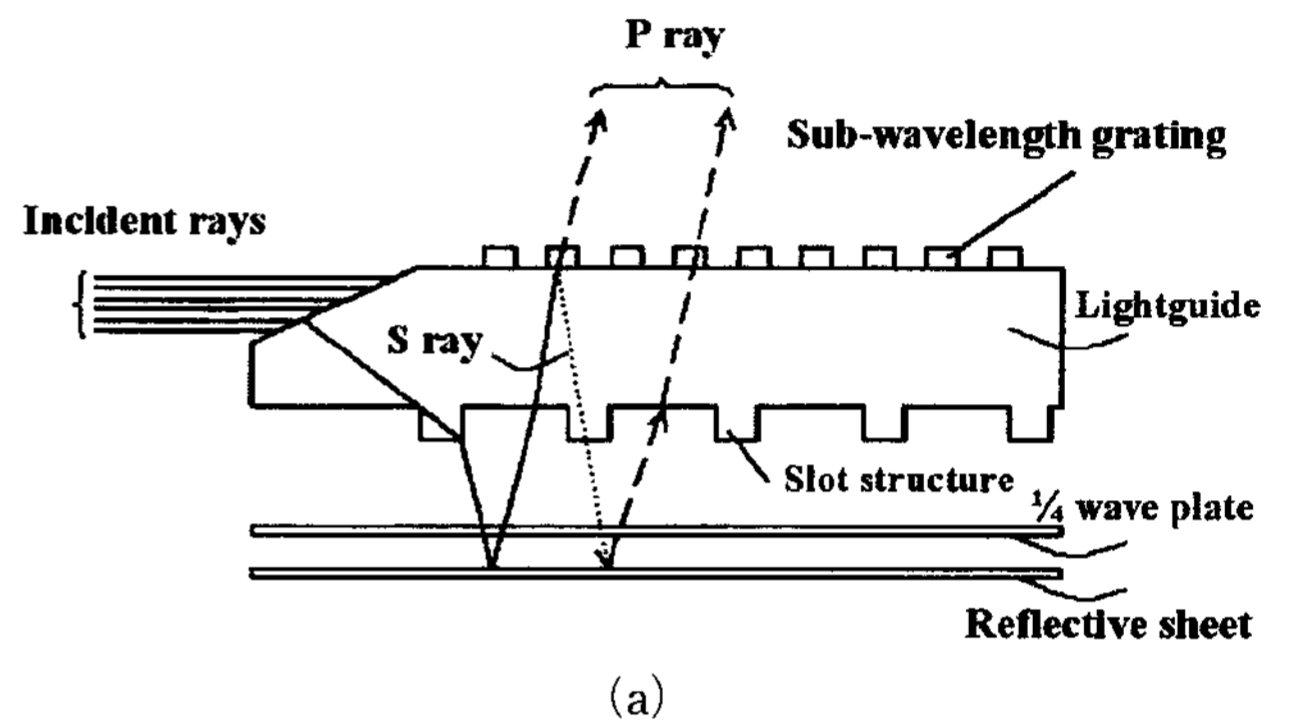
[그림 4] Sharp사의 Advanced TFT-LCD^[20]
(a) 구조 (b) 투과/반사형 칼라 필터



[그림 5] DMSR^[13] (a) 구조 (b) 형상 프로파일



[그림 6] DuPont사의 홀로그래픽 칼라 필터와 전면 확산판^[14]
(a) 홀로그래픽 칼라 필터
(b) 홀로그래픽 전면 확산판



[그림 8] 파장이하의 DOE를 이용한 도광판^[17]
(a) 집적된 도광판 (b) 파장이하의 격자

장점을 가지고 있다.

마지막으로, 편광을 변환하고 밝기 향상과 균일한 휘도 분포를 얻기 위한 파장이하(sub-wavelength)의 회절 광학소자(diffractive optical element, DOE)^[17]를 이용하여 편광을 변환하는 기술이 최근 소개되었고, [그림 8]은 설계된 패턴을 도광판에 집적한 구조와 파장 이하의 격자 구조를 나타낸다.

[그림 8(a)]의 슬롯 구조에서 주기 폭은 20 µm, 깊이는 16 µm, [그림 8(b)]에서 P는 0.2 µm인 경우에 광원의 이용효율을 18%에서 31%로, 광원의 균일도를 80% 이상 얻었다고 보고하였다.

위에서 소개한 바와 같이, 반사형 액정 디스플레이 시스템에서 보다 높은 콘트라스트와 광 시야각, 저소비전력을 얻기

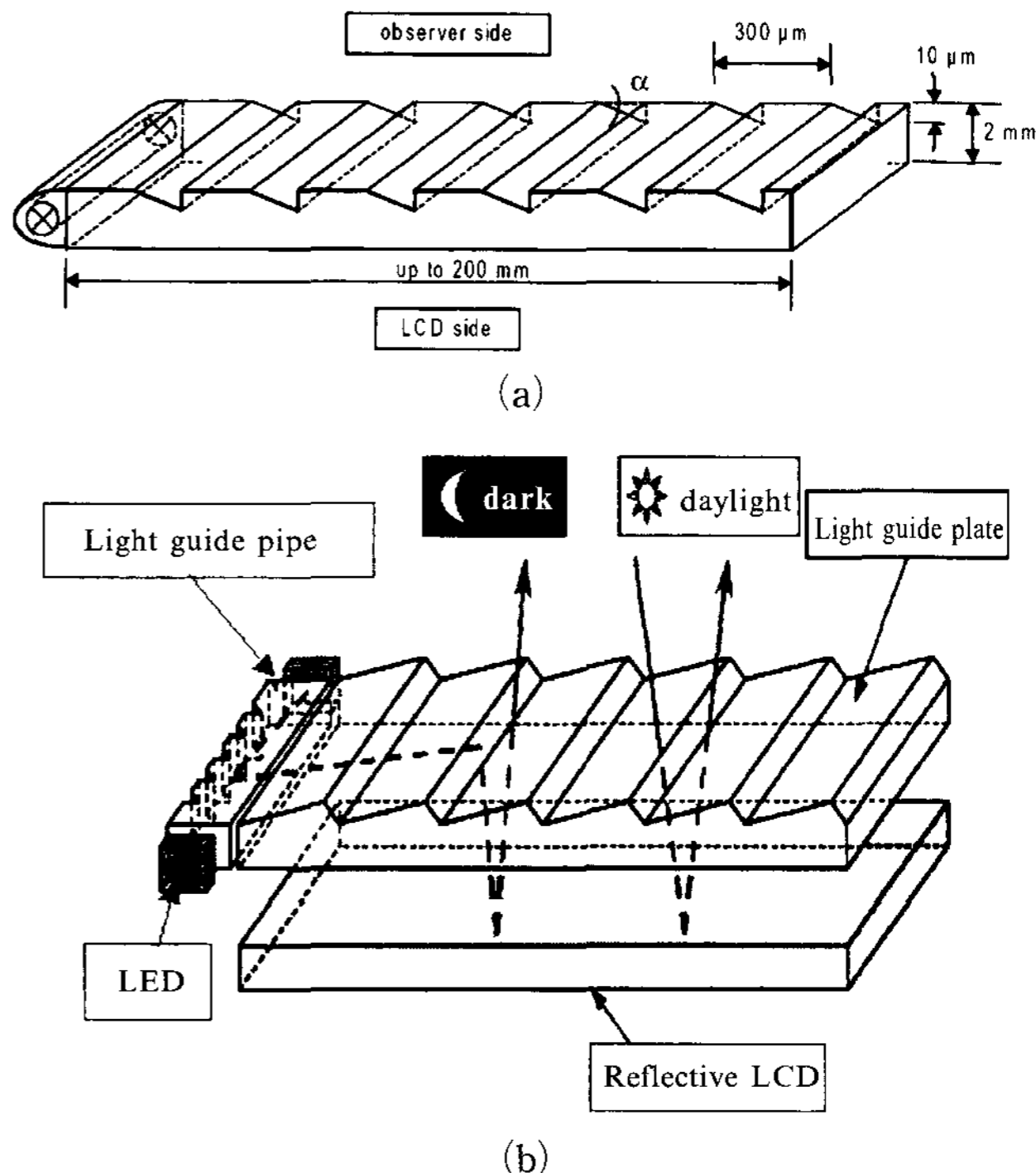
위한 액정 기술들과 더불어 광원의 이용 효율 극대화와 균 일한 광원 분포, 저비용화를 위한 광학 부품들의 집적화 및 새로운 기술들의 개발이 활발히 진행되고 있고, 앞으로도 많은 연구들이 수행되어야 한다.

III. FLU를 갖는 반사형 시스템의 구조 및 특성

반사형 시스템은 외부 광원 또는 자체 광원의 반사광을 이용하여 디스플레이 되는 화면을 보는 것인데, 어두운 곳에서도 볼 수 있도록 하기 위해서는 조명 장치(자체 광원)를 필요로 한다. 반사형 시스템은 기존의 배면 광원 장치(back light unit, BLU)와 반사판을 이용하는 투과형과 투과/반사형 구조, 광원을 액정 셀의 앞면에 배치하여 FLU를 이용하는 반사형으로 분류할 수 있고, 각각의 구조를 [그림 9]에 나타내었다.

측면으로부터 입사되는 광은 도광판(light guide plate, LGP)을 거쳐 상면 또는 하면 중 한쪽으로 광을 통과시키고, 사용자는 LGP와 반사형 LCD 시스템을 거쳐 디스플레이 되는 영상을 보게 된다. 하지만, 기존의 LGP를 이용한 배면 광원에서는 점등 시에 콘트라스트 부족이나, 비 점등시의 밝기 부족, 디스플레이의 흐려짐 등이 발생하여 실용화에 곤란한 문제점이 있었다. 추가로 확산 도트(diffusing dot)나 미세요철구조를 갖는 LGP를 이용하는 경우에도 콘트라스트 부족과 밝기 부족, 디스플레이 영상의 흐려짐 등의 문제가 발생한다. 이를 개선하기 위해 마이크로 프리즘 구조를 갖는 front light optical guide^[21]가 개발되었고, Seiko Epson^[22]사와 Philips^[23]사에서 CCFL을 이용한 구조와 Fujitsu^[24]사에서는 LED를 광원으로 이용해 높은 콘트라스트와 밝기를 향상하기 위한 LGP의 구조가 제안되었다. [그림 10]은 CCFL과 LED를 광원으로 이용한 마이크로 프리즘 구조의 FLU를 나타낸 것이다.

[그림 10(a)]에서 LGP의 재질은 PMMA이며 홈의 각도는 15°이다. [그림 10(b)]는 2개의 LED 광원과 그 빛을 LGP로 유도하기 위해 확산 바(light guide pipe)를 이용하

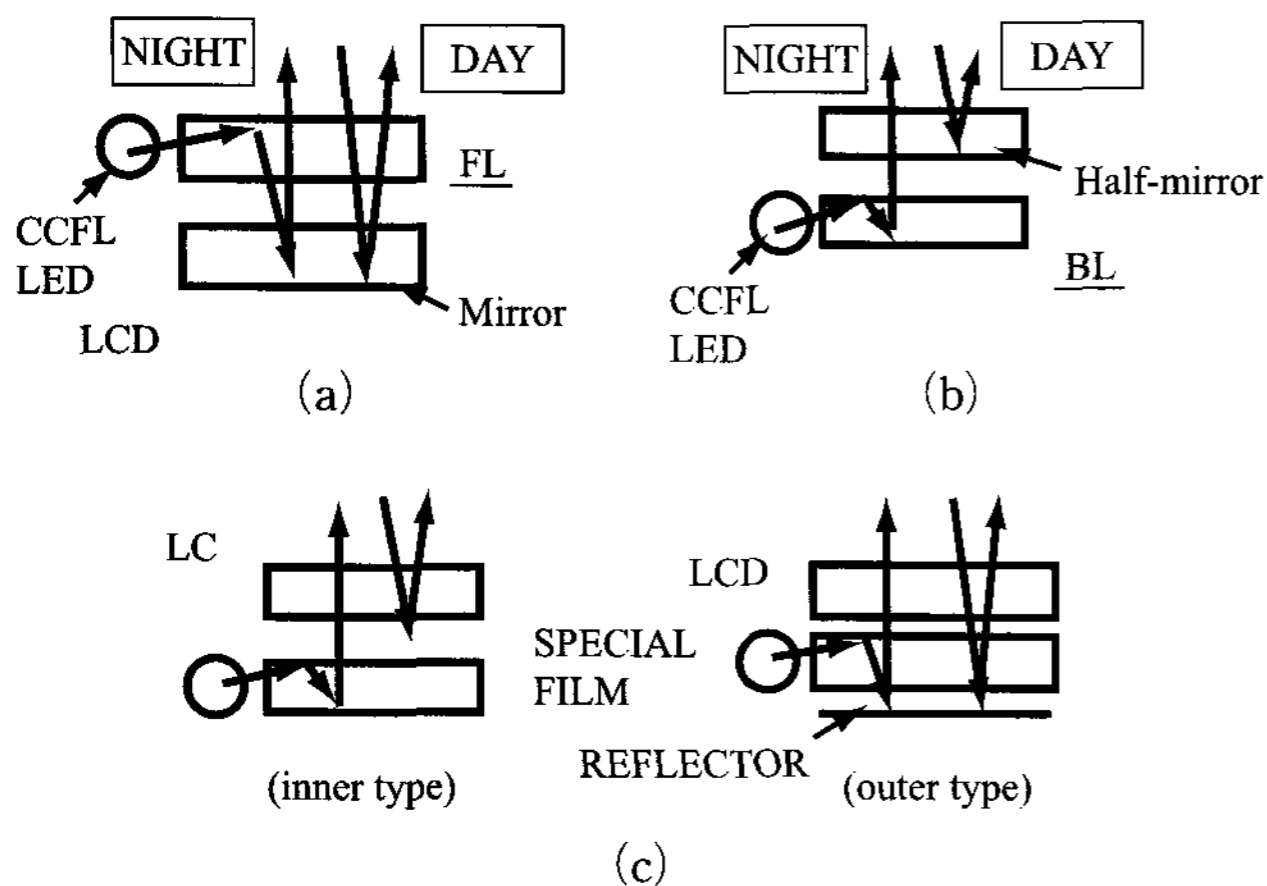


[그림 10] FLU의 구조 (a) CCFL용 LGP 구조^[23] (b) LED용 FLU^[24]

는 구조로서, 입사 광원을 LGP로 유도하기 위해 광이 전파되는 반대면에 거울 코팅과 35°의 경사 각도를 갖는다. LGP의 피치 주기는 약 200 μm이며, 작은 경사각도는 1.8°~3.5°, 큰 경사각도는 42.5°~43°, 큰 경사면의 폭은 10~16 μm이다.

현재 낮은 전력 소모를 위해서 NEC, PARASONIC, SONY사 등에서도 LED 광원을 갖는 FLU를 채용하여 PDA나 휴대 전화에 상용화하고 있다. [그림 11]과 [표 2]는 현재 상용화 되어있는 SONY사의 FLU를 갖는 반사형 LCD 시스템의 구조와 사양을 나타낸 것이다.

[그림 11]은 3.78인치 QVGA급 PDA용으로 상용화되어 있는 제품으로 ECB모드의 액정과 확산 반사 전극, 보상판, FLU를 이용하여 34%의 높은 반사율과 19:1의 콘트라스트



[그림 9] 반사형 시스템 (a) Reflective LCD (b) Trans-flective LCD (c) Transparent LCD

[표 2] SONY사의 반사형 LCD 사양[Model: ACX702AKM]

Driving method	Built-in 3-bit D/A converter
Screen size	3.78 inch(QVGA, 512 colors)
Number of effective dots	240(H) × 320(V) × RGB(stripe)
Dot pitch(H × V)	80.0 × 240.0 μm
Panel dimensions(W × H × D)	57.6 × 76.8 × 2.2 mm
Aperture ratio	92 %
% Reflectance	34 %
Contrast	19 : 1
Power consumption	15 mW (F/L OFF), 515 mW (F/L ON)

트를 나타내고 있다. 또한 외부 광원을 이용하므로 15mW의 낮은 전력 소모율을 나타내고 있다. 최근에는 4인치 QVGA용으로 262,144 칼라를 구현하였다.

광원으로서 CCFL을 이용하는 것보다 [그림 10(b)]와 같이 두개의 LED를 이용하는 반사형 시스템에서 전력소모를 1/3가량 줄일 수 있고, CCFL에서 요구하는 인버터 회로를 줄임으로써, 보다 소형 경량화를 꾀할 수 있는 장점이 있다. [그림 12]는 Sharp사의 3.9인치 QVGA용 HR-TFT 반사형 시스템에서 저전력 소모를 위해 CCFL을 LED로 대체하기 위해 제시한 향후 지표이다.

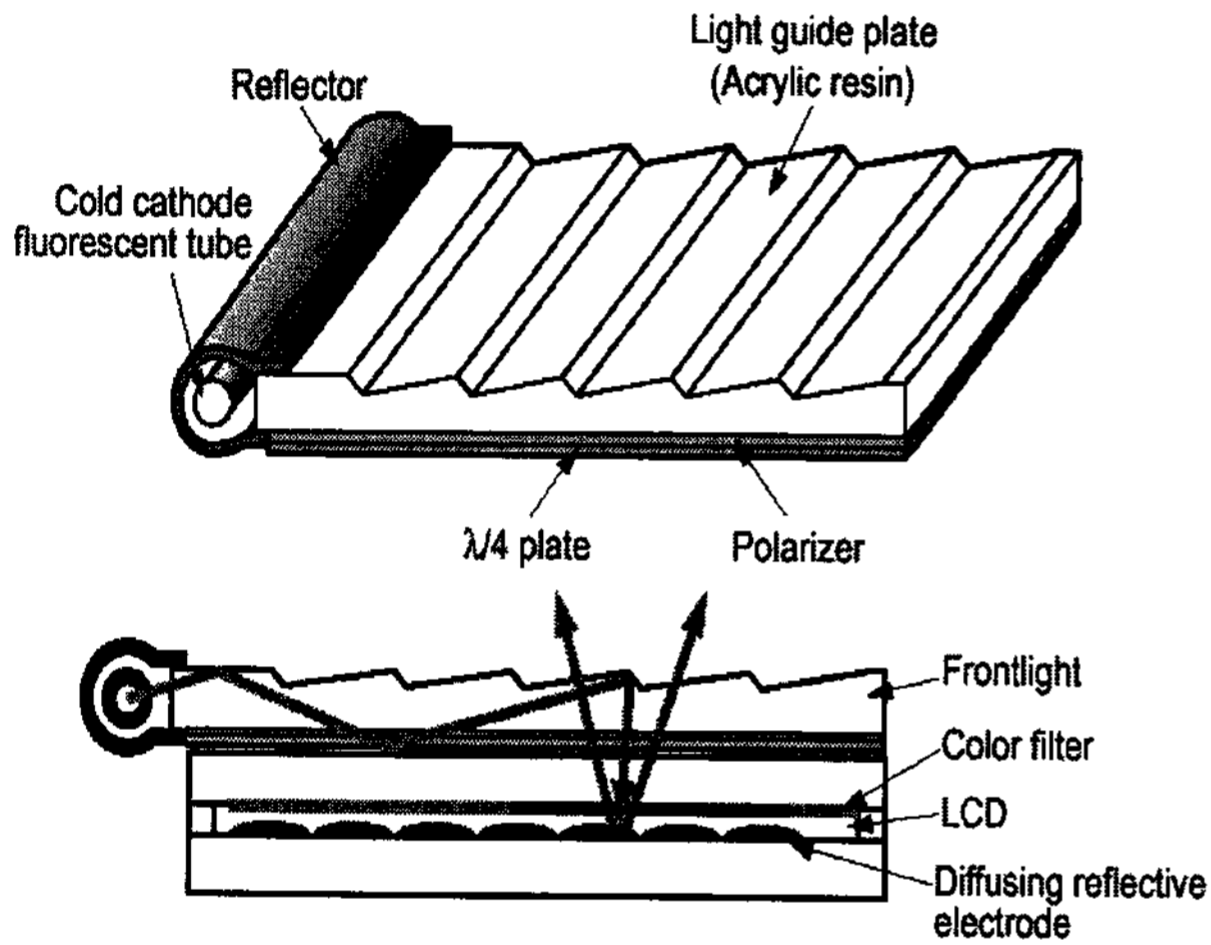
[표 3]은 LED 광원으로 FLU를 구성한 NEC사와 PARASONIC사에서 PDA용으로 상용화하고 있는 3.5인치 QVGA용 반사형 칼라 TFT-LCD 시스템의 사양과 광학적 성능을 서로 비교한 것이다.

[표 3]을 통해서 NEC사의 반사형 시스템이 PARA-

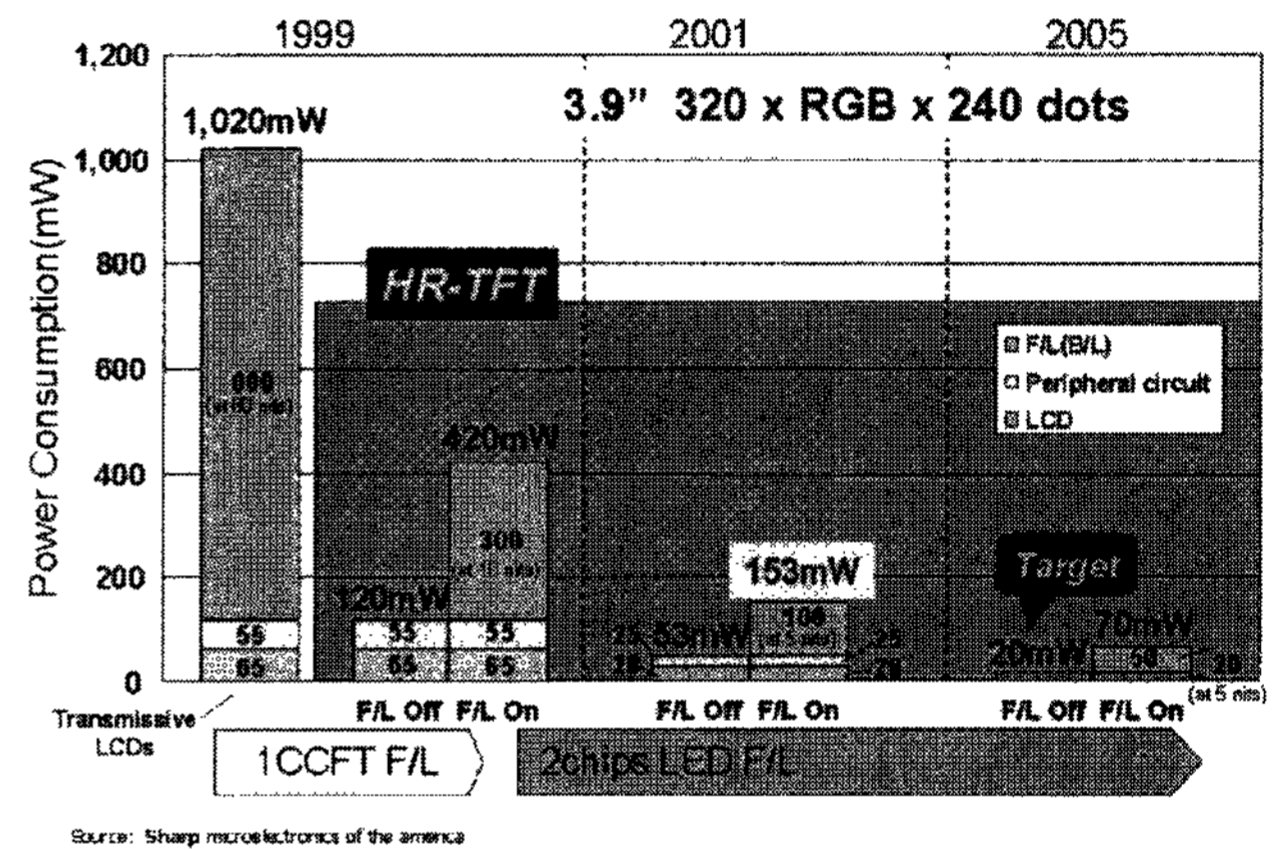
SONIC사의 시스템보다 광학적 성능면이나 전력 소모율, 무게, 색 순도 모두에서 우수함을 알 수 있다.

다음은 반사형 칼라 LCD를 구성하는 각 구성품의 기능 및 특성을 열거한 것이다.

- (1) CCFL (cold cathode fluorescent lamp) : 2.5~3 W 정도의 전력소모와 15,000 시간 정도의 수명을 갖고 있으며, 디스플레이의 수명을 결정하는 요인의 하나이다. 관벽휘도는 50,000 cd/m²으로 매우 밝은 편이며, Y, Ce, Tb 등 희토류의 발광체를 이용하여 6,900~8,000 K 정도의 색온도를 나타낸다.
- (2) LED (light emitting diode) : CCFL보다 밝기는 약 하지만, 소형이며 값싼 비용으로 50000 시간 이상의 수명으로 장시간 사용이 가능하다. 또한, DC 5 V 이하의 저전력 구동이 가능하며, 별도의 인버터가 필요하지 않으므로, 경량 박형화가 가능한 장점을 가지고



[그림 11] SONY사의 FLU를 갖는 반사형 LCD 시스템의 구조



[그림 12] Sharp사의 반사형 시스템 저전력 소모를 위한 지표 (Source : Sharp microelectronics of the America)

[표 3] LED 광원을 이용한 반사형 칼라 TFT-LCD 시스템의 비교

	NEC [Model : NL2432DR22]	PARASONIC [Model : EDV35ZZQA000]
Display technology	a-Si TFT AM with FLU & LED	
Display mode	Normally white mode reflective LCD	
Display size	3.5 inch QVGA (240 × 360 × RGB)	
Pixel pitch	0.22 × 0.22 mm	
Colors(CF)	262,144 colors (vertical stripe)	
Light source	Nichia white LED	
Weight	39.5 g	58 ± 5 g
Power consumption	21 mW (F/L OFF), 240 mW (F/L ON)	27 mW (F/L OFF), 288 mW (F/L ON)
Contrast	10 : 1	6 : 1
% Reflectance	40 %	22 %
Illuminance	35 cd/m ²	22 cd/m ²
Color chromaticity	(0.30, 0.31)	(0.32, 0.34)

있다. 최근 Nichia사에서는 황색 LED에 청색 염료를 첨가하여 백색 LED를 상용화하고 있다.

- (3) 확산 바(light guide pipe) : 소형 디스플레이 시스템에서 LED 광원으로부터의 빛이 균일한 휘도 분포를 갖도록 도광판으로 전파시키기 위한 장치로서 광원의 위치나 수에 따라 적절한 구조를 설계해야 한다. [그림 13]은 LED가 측면과 배면에 놓여진 경우 확산 바의 구조 예^[25]를 나타낸 것이다.
- (4) 도광판(light guide plate) : 가시광 영역에서 흡수성이 가장 작고, 투명한 고분자 물질로서 굴절률 1.49의 PMMA를 주로 사용한다. 90~95% 정도의 가시광 투과율과, 10% 이하의 헤이즈를 갖는 것을 이용한다.
- (5) 반사방지막(AR coating) : LCD를 구성하는 유리면의 표면에서 약 4.1~4.7%의 표면 반사가 발생하는 것을 억제하기 위해 사용한다. 가시광 전체 범위에서 표면 반사를 방지하기 위해 유전체나 불소-함유 중합체, 저밀도 물질 등으로 광학 다층 필름이나 굴절률 층을 형성한다. 일반적으로 550 nm의 중심 파장에 대해 1.0% 이하의 반사율을 갖도록 막을 형성한다.
- (6) 확산판(diffuser) : LCD로 입사, 또는 투과되는 광을 균일한 휘도 분포로 퍼트려주기 위해 90~130 μm 두께의 PC(폴리카보네이트 수지)나 PET(폴리에스테르) 필름을 주로 이용한다. 가시광선 투과율은 66~96%를 나타내고, 휘도 변화를 10% 이내로 억제하기 위한 균일한 세기분포와 인접 픽셀을 통과한 광선들의 혼합에 의한 간섭 현상을 감소시킨다.
- (7) 편광판(polarizer) : 입사 광원이 액정의 비등방성에 의해 스위칭될 때 액정의 방향과 같은 방향으로의 빛이 투과하므로 요오드, 염료의 흡수형 선형 편광자와 같은 고도의 선형편광판이 요구된다. 우수한 콘트라스트를 얻기 위해 회절 격자나 홀로그래픽 폴리머 등을 이용하는 방법도 있다.
- (8) 칼라 필터(color filter) : Full-color를 구현하기 위해 빛의 3원소인 빨강, 파랑, 녹색에 해당하는 안료(pigment)나 염료(dye) 등을 이용하여 제작한다. 일반적으로 빛이 칼라 필터를 투과할 때 광원의 효율이 1/3로 감소하므로 최근에는 광원의 이용 효율 극대화를 위해 CCF나 홀로그래픽 칼라 필터 등 새로운 방법들이 제시되었다.
- (9) 액정 층(liquid-crystal layer) : TN(twisted nematic),

STN(super twisted nematic), HAN(hybrid alignment), OCB(optical compensated birefringency), GH(guest-host), VA(vertical aligned), FE(ferro-electric) 액정 셀 등을 이용하여 빛을 투과 또는 반사시킨다.

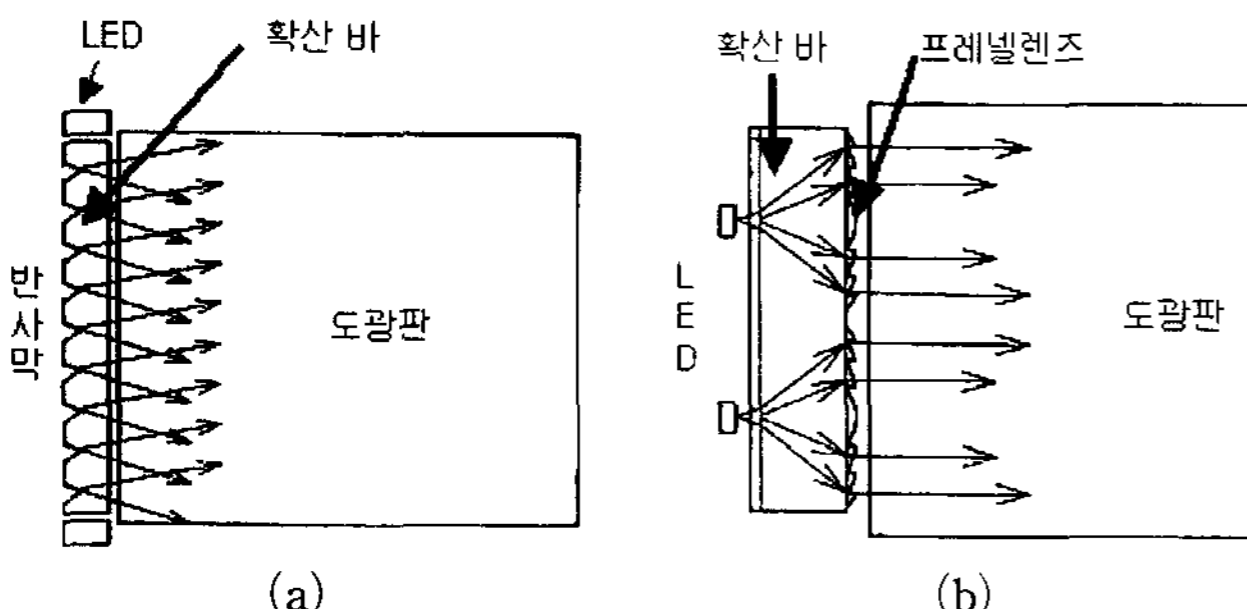
- (10) 반사판(reflector) : 광원의 이용 효율을 극대화하기 위해 두께 70~200 μm의 백색 PET(폴리에스테르) 필름이나 금속(Ag, Al, Au, Cu, Cr) 코팅 필름을 이용한다. 반사율은 90~97% 정도이다.
- (11) 보상판(compensatory plate, λ/4 plate) : 콘트라스트를 향상시키고, 빛이 액정 층을 통과할 때 생기는 복굴절의 파장 의존성 등을 보상하기 위해 사용한다.

일반적인 FLU의 구조에서는 도광판이 상측면 표면에 위치하게 되므로, 표면이 손상되는 경우 누수광이 발생하고, 디스플레이 영상을 어지럽히는 원인이 된다. 위에서 제시한 FLU 시스템은 외부 광원을 이용할 경우와 어두운 환경에서 CCFL 또는 LED 광원을 이용할 경우 모두 화면의 밝기가 우수하고, 자체의 표면 구조에 의해 LCD의 이미지를 크게 왜곡시키지 않으며, 화면 전체에 고르게 빛이 전달되도록 만들어져야 한다. 이러한 조건들을 만족하는 LGP의 구조를 설계하고, 제작하는 것이 필요하다.

IV. LGP 설계를 위한 몬테카를로 시뮬레이션과 광선 추적기법

FLU를 구성하는 LGP의 구조를 설계하기 위해서는 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo simulation, MCS) 방법과 광선 추적기법(ray tracing algorithm)을 이용한다.^{[26]-[29]} 아래는 LGP를 설계하기 위해 MCS와 광선 추적기법을 코딩하는 방법을 나타낸 것이다.

- (1) LGP에서 N개의 구성 면들을 정의하고, 이를 포함하는 N개의 무한 평면을 정의한다.
- (2) 광선을 시점과 방향 코사인으로 정의한다.
- (3) 광선과 만나는 평면을 찾기 위하여, 다음과 같은 반복 알고리즘을 수행한다.
 - 1) N개의 무한 평면과 광선을 포함하는 무한직선의 교점을 찾는다. 이때는 평면과 광선의 평행성이 검사되어야 한다. 광선과 평행한 평면을 제외한다. 교점이 LGP 구성면의 꼭지점 또는 모서리에 있는지를 조사한다. 이를 쉽게 하는 방법은 교점을 원점으로 평면을 x-y 평면 위에 있도록 하는 평행이동과 회전이동을 수행한 뒤 검사하는 것이다. 교점이 확산 바 구성면의 꼭지점이나 모서리 위에 놓여 있는 경우는 광선 추적의 불연속점(singularity)이다.
 - 2) 광선의 방향에 존재하는 평면만을 골라낸다. 이는 시점에서 교점으로의 벡터가 광선의 방향 코사인과 일치하는지 여부를 검사하면 된다.
 - 3) 다음으로 교점이 LGP의 구성면 내부에 있는지 여부를 검사하여 이러한 경우를 만족하는 평면만을 골라낸다. 교점을 원점으로 하고, 평면을 x-y



[그림 13] 확산 바의 구조 예^[25] (a) 측면 광원일 경우 (b) 배면 광원일 경우

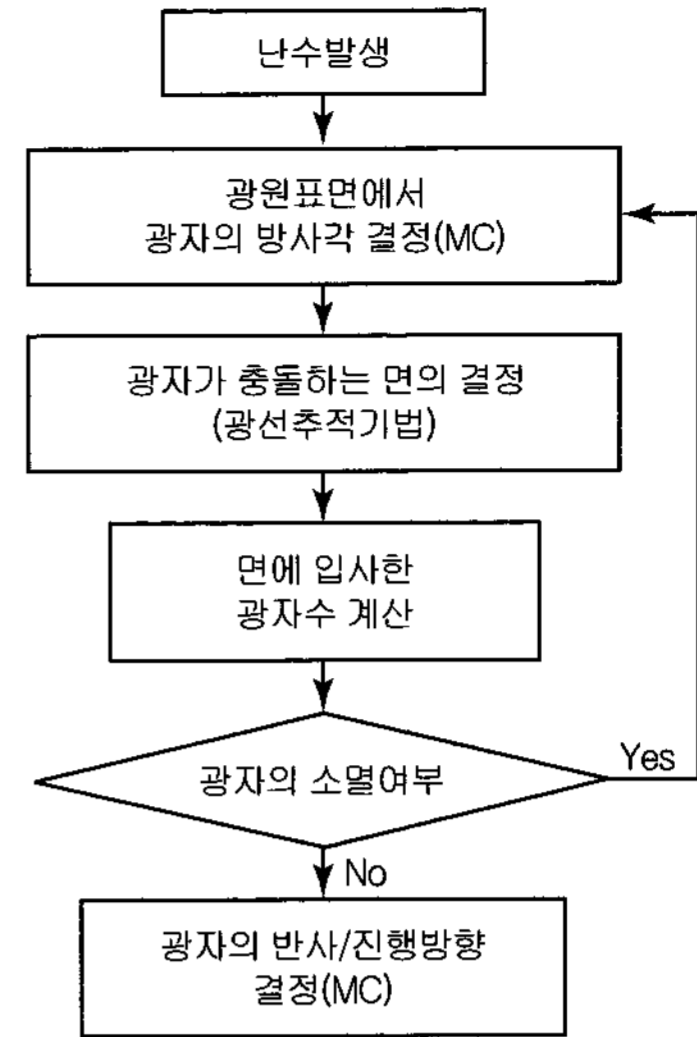
평면 위에 있게하는 변환을 수행한다. 원점으로부터 LGP 구성면의 벡터는 꼭지점을 이동하면서 각도 변환을 합한다. 원점이 구성면 내부에 있는 경우 벡터는 360도이고, 원점이 구성면 바깥에 있는 경우는 합한 각이 0도가 된다. 각도는 벡터의 내적을 통해, 방향은 벡터의 외적을 통해 구할 수 있다.

4) 위의 1), 2), 3)을 통해 걸러진 평면들 중에서 광선의 시점과 교점 간의 거리가 최소인 평면이 실제로 광선이 만나게 되는 평면인 것이다.

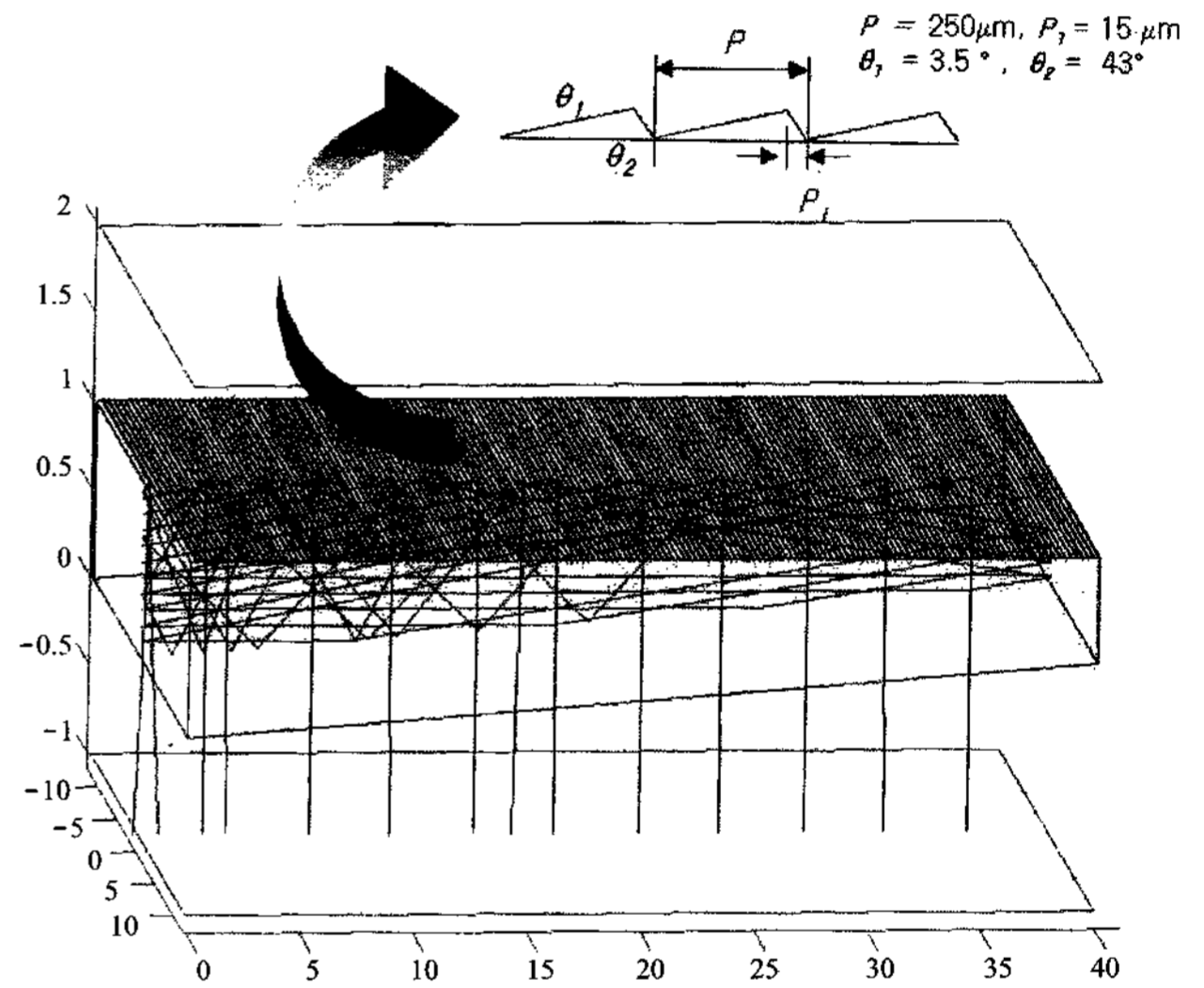
(4) 다음으로 입사면의 수직벡터와 광선의 방향 벡터에 의하여, 평면에 입사하는 광선의 반사광을 계산할 수 있다. 시점은 입사광선과 평면의 교점으로 하고, 그 교점을 시점으로 하여 다시 반사광의 방향 벡터를 구하여 반사광선을 계산할 수 있다. 이렇게 얻어진 반사광선에 대하여 앞의 과정을 반복한다. 주의할 것은 반사광의 시점이 놓여진 평면은 우선적으로 제외시킨다. 또한 평면의 반사율과 투과율에 따라, 투과되는 광은 무시하고, 남은 반사광에 대하여 진행하는 광선을 고려해야 물리적으로 의미가 있는 광선 추적 알고리즘을 확립할 수 있다. 한편, 투과 광선은 스넬의 법칙에 의하여 계산할 수 있다. 입사광선이 면에 입사하면 전 반사 조건에 의하여 다음 생성될 광선이 투과 광선인지 반사 광선인지를 검사하고, 전반사 각도에 들어오면 반사광선을 만들어 내고, 일부 투과/반사일 경우는 적정 값보다 클 경우에만 반사 광선을 만들어 위의 광선 추적 과정을 반복 수행한다. 전반사가 되지 않고 투과되는 경우는 투과 광선을 재생하고 광선 추적을 끝낸다.

(5) 몬테카를로 방법을 사용하여 백색광원을 모델링한다. 백색 광원은 가 간섭성 광원이 아니므로 모델링하기에 광선 추적기법이 적당하다. 3차원 광원 표면에서 광선이 방사한다고 가정하면, 광원 표면은 (x, y, z) 좌표로 정의되며, 광선의 방향은 3개의 방향 코사인에 의해 규정된다. 3개의 방향 코사인의 자유도는 2이므로, 백색 광원으로부터 방사되는 광선은 다섯 개의 자유도를 갖는 연속 확률변수로 규정된다. 즉 (x, y, z, Ψ, θ) 가 그것이다. 다섯 개의 변수를 일정 구간에서 N개의 샘플로 모델링하였을 경우, 모든 경우의 수에 대한 총 계산량은 N^5 이 되며, 각각의 경우에 대하여 광선 추적을 할 경우 막대한 계산 시간이 걸린다. 따라서 광선의 개수를 유한 개로 한정하고, 이 범위 안에서 고른 확률 분포에 따라 또는 정해진 확률 분포에 따라, 확률 변수 (x, y, z, Ψ, θ) 를 구하면 계산 시간을 줄일 수 있고, 통계적으로 의미 있는 결과를 얻을 수 있다.

최근 본 연구실에서는 반사형 LCD 디스플레이 시스템에서의 FLU용 LGP를 설계하기 위해 위에서 소개한 MCS 기법과 광선추적기법을 이용하였다. [그림 14]는 광선 추적을 위한 순서도와 이를 이용해 LGP를 설계한 결과를 나타낸 것이다.



(a)



(b)

[그림 14] LGP 설계 (a) 광선추적을 위한 순서도 (b) 시뮬레이션 결과

[그림 14(b)]의 LGP 구조는 가로길이 25 mm, 세로길이 40 mm, 광원의 전단부 두께 1 mm, 후단부 두께가 0.6 mm 이다. MCS 기법을 이용해 광선 추적을 위한 광선 수는 10 개, 방향 코사인 10개를 적용하여 LGP의 아래면으로 투과 되는 빛을 모델링한 예이다.

V. 결 론

본 소고에서는 최근 낮은 전력소모와 고휘도, 높은 콘트라스트를 얻기 위해 개인용 휴대 전화나 PDA, 휴대용 PC 등에서 적용되고 있는 소형 반사형 액정 디스플레이 시스템의 기술동향을 알아보았고, 이러한 반사형 액정 디스플레이를 위한 액정기술과 광학 부품 기술에 대한 최근 동향을 논하였다. 또한, 광원으로서 CCFL과 LED를 이용한 경우 FLU에 관한 기술들과 구조, 특성들에 대해서 설명하였다. 마지

막으로 FLU 구조에서 높은 광의 이용 효율을 얻기 위한 LGP 설계 방법으로서 몬테카를로 시뮬레이션과 광선 추적 기법을 소개하였다.

참 고 문 헌

- [1] 장진, “박막트랜지스터 액정디스플레이,” 전자공학회지, 제28권, 2호, pp.156-173, 1999.
- [2] 임성규, “평판 디스플레이 현황 및 발전전망,” 전자공학회지, 제28권, 4호, pp.20-23, 2001.
- [3] 김상수, 김홍균, “TFT-LCD 산업 현황 및 전망,” 전자공학회지 제28권, 4호, pp.24-30, 2001.
- [4] 이준신, “Display 기술 roadmap과 신기술 동향,” 한국 디스플레이 학회지, 제1권, 1호, pp.24-34, 2000.
- [5] 노봉규 외 17인, *LCD Engineering*, 성안당, 2000.
- [6] H. Yoshimi, S. Yano, and Y. Fujimuro, “Optical films for reflective LCDs to achieve high image quality,” SID’02 Digest, pp.862-865, 2002.
- [7] N. Sugiura, K. Tashiro, K. Ohmuro, and Y. Koike, “A novel vertically aligned reflective-color TFT-LCD with high contrast ratio,” SID’02 Digest, pp.1386-1389, 2002.
- [8] G. Saitoh, H. Murai, S. Uehara, T. Gotoh, K. Mimura, T. Nakata, K. Sumiyoshi, and H. Hayama, “RGB-stacked holographic polymer dispersed liquid crystal device for color reflective display,” SID’01 Digest, pp.344-347, 2001.
- [9] A. K. Fontecchio, J. Qi, M. J. Escuti, I. Amimori, and G. P. Crawford, “Diffuser renditions of spatially pixilated and temporally multiplexed H-PDLCs for full color reflective displays,” SID’01 Digest, pp.348-351, 2001.
- [10] C. Doornkamp, R. T. Wegh, and J. Lub, “New cholesteric colour filters for reflective LCDs,” SID’01 Digest, pp.456-459, 2001.
- [11] D. Yakovlev, V. Chigrinov, and H. S. Kwok, “Contrast and brightness enhancement of RTN-LCDs using antireflective layers,” SID’00 Digest, pp.755-757, 2000.
- [12] C. J. Wen, D. L. Ting, C. Y. Chen, L. S. Chuang, and C. C. Chang, “Optical properties of reflective LCD with diffusive micro slant reflectors (DMSR),” SID’00 Digest, pp.526-529, 2000.
- [13] E. Montbach and P. Bos, “Modeling method for a single polarizer reflective STN-LCDs containing either a mirror or holographic slanted reflector,” SID’02 Digest, pp.874-877, 2002.
- [14] T. J. Trout, W. J. Gambogi, K. W. Steijin, and S. R. Mackara, “Volume holographic components for display applications,” SID’00 Digest, pp.203-205, 2000.
- [15] Y. Huang, F. Ko, and H. D. Shieh, “Multidirectional asymmetrical microlens-array light control films for high performance reflective liquid crystal displays,” SID’02 Digest, pp.870-873, 2002.
- [16] Y. Huang, F. Ko, and H. D. Shieh, “High brightness reflective color STN-LCD using a multidirectional asymmetrical microlens-array light control film,” SID’01 Digest, pp.448-451, 2001.
- [17] K. W. Chien and H. D. Shieh, “An integrated light guide equipped with polarization conversion,” SID’02 Digest, pp.1229-1231, 2002.
- [18] F. Yamada, D. Nakano, Y. Taira, and C. Hellermark, “Thin retardation film for parallax free reflective guest-host liquid crystal display,” SID’01 Digest, pp.890-891, 2001.
- [19] A. Khan, X.Y. Huang, R. Armbruster, F. Nicholson, and N. Miller, “Super high brightness reflective cholesteric display,” SID’01 Digest, pp.460-463, 2001.
- [20] K. Fujimori, Y. Narutaki, Y. Itoh, N. Kimura, S. Mizushima, Y. Ishii, and M. Hijikigawa, “New color filter structures for transfective TFT-LCD,” SID’02 Digest, pp.1382-1395, 2002.
- [21] C. Y. Tai, H. Zou, and P. K. Tai, “A transparent frontlighting system for reflective-type displays,” SID’95 Digest, pp.375-378, 1995.
- [22] T. Funamoto, O. Yokoyama, S. Miyashita, and T. Shimoda, “A front-lighting system utilizing a thin light guide,” Asia Display ’98, pp.897-900, 1999.
- [23] H. J. Cornelissen, H. Greiner, and M. J. J. Dona, “Frontlights for reflective liquid crystal displays based on lightguides with micro-grooves,” SID’99 Digest, pp.912-915, 1999.
- [24] A. Tanaka, “Technical trends of front-lighting systems in reflective color LCD modules,” SID’02 Digest, pp.1240-1242, 2002.
- [25] 대한민국 특허 2001-0095035, “프론트 라이트 및 휴대 정보 단말.”
- [26] 송민호, Monte Carlo Simulation을 이용한 채광창을 가지는 실내면의 조도계산에 관한 연구, 서울대학교 공학석사 학위논문, 1992.
- [27] 김재삼, 몬테카를로 방법의 물리학적 응용, 민음사, 1997.
- [28] 이정호, 송규동, 유기형, “光線追跡技法의 適用을 위한 螢光燈의 幾何學的 型狀 및 光學的 舉動의 모델링 이론,” 대한건축학회학술발표논문집, 제19권, 2호, pp.817-822, 2000.
- [29] 小山義孝, “液晶ディスプレイ開發における光線追跡シミュレーション,” シャープ 技報, 第80號, pp.51-56, 2001.