

## 기술 특 집

# 반사형 LCD의 기술 동향

김재창, 윤태훈, 한관영, 박원상 (부산대학교 전자전기정보통신공학부)

## I. 서 론

이동통신용 단말기에 사용될 통신 시스템이 IMT 2000으로 확정되면서 음성통신 중심의 단말기 시장이 많은 콘텐츠를 표시할 수 있는 디스플레이 중심의 시장으로 급속하게 전환되고 있다. 이러한 많은 콘텐츠 중에서 특히 full color 동화상의 구현은 그 실용성의 유무를 떠나 이동통신용 단말기 성능의 가장 중요한 평가 기준이 되어 있다. 현재 이동통신기기에서 동화상의 구현이 가능한 디스플레이 장치는 LCD와 유기 ELD의 기술로 압축되고 있다. 이 두 가지 모두 아직까지는 full color 동화상의 구현이 완전하지는 않지만 조만간 그 기술적인 문제는 해결될 것으로 예상된다. 하지만, 이동통신기기의 특성상 동화상구현이라는 상징적인 평가기준보다는 저소비전력이라는 현실적인 평가기준이 무엇보다도 중요하며, 결국 이동통신 단말기 시장에서 채택될 수 있는 디스플레이 기술은 저 소비전력과 동화상 구현을 동시에 확보해야만 시장에서 살아 남을 수 있을 것이다.

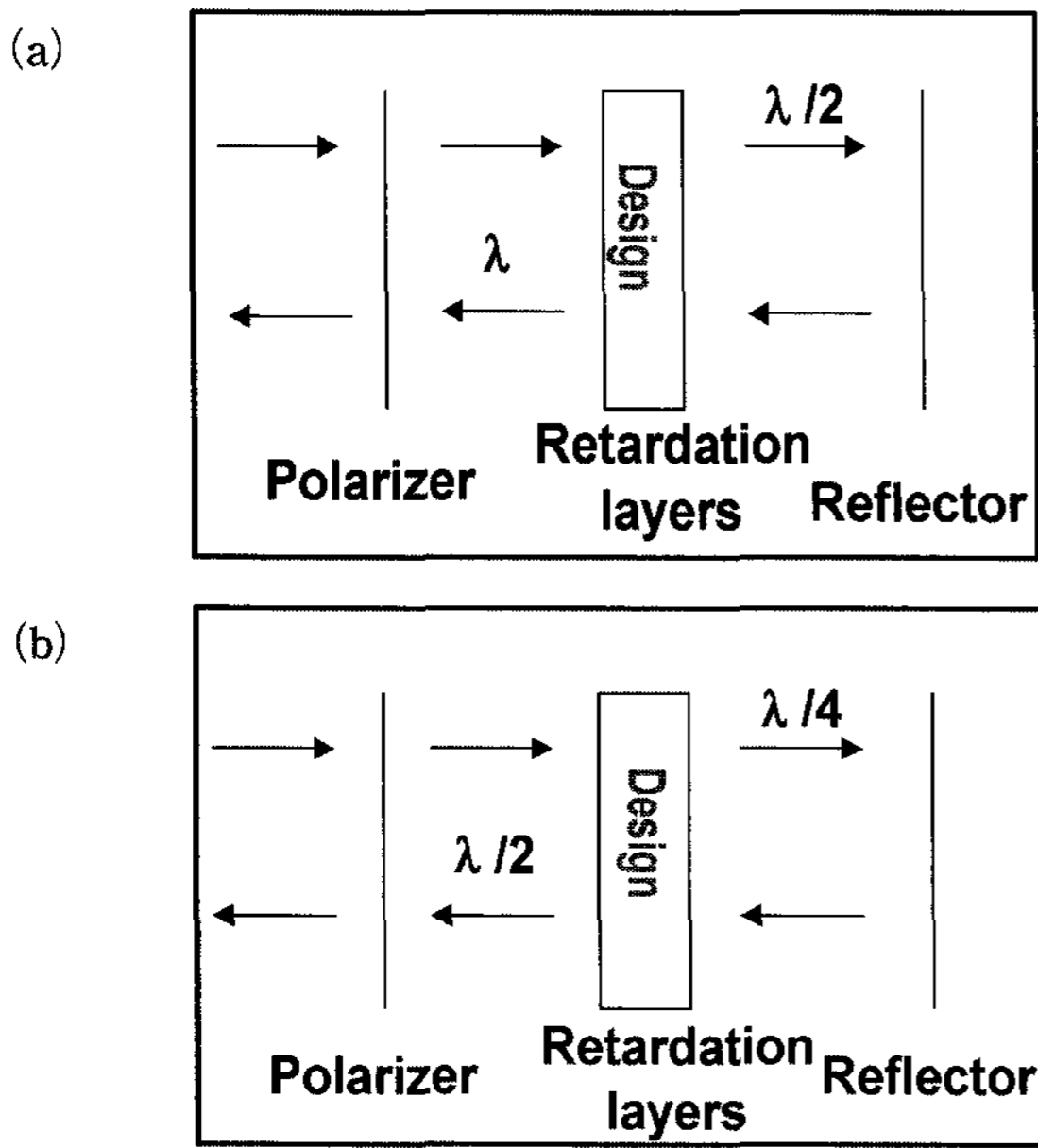
현재 단말기 업체에서 제시하고 있는 4인치급 디스플레이 부의 소비전력은 35mW 이하이나, 동화상 구현이 가능한 이동통신기기용 LCD와 유기 ELD의 소비전력은 각각 200mW와 500mW급이기 때문에 실제 그 격차는 상당하다. 유기 ELD의 경우 소비전력을 줄이기 위해서는 재료의 개발 구동방법의 개선 등 많은 난제를 해결해야만 가능하기 때문에 IMT 2000 서비스가 본격적으로 시행되는 시점까지 이러한 문제를 해결하고 시장에 진입한다는 것이 거의 불가능한 것으로 판단된다. 반면, LCD의 경우에는 주변광원을 이용하는 반사형 LCD를 채택하면 소비전력의 약 70%를 차지하는 배면광원의 사용을 제한할 수 있기 때문에 현격한 소비전력의 절감을 당장 기대할 수 있다. 이러한 이유 때문에 반사형 칼라 LCD는 차세대 휴대용 디스플레이 소자로서 가장 주목받고 있으며, 이에 대한 연구가 시급하고 반사형 부품 최적화, 표시모드의 최적화기술 등의 기초기술연구에 대한 투자가 요구되고 있다.

## II. 본 론

기존의 반사형 LCD는 채용 단말기의 요구사항이 문자표시방식이었기 때문에 기술적으로 그다지 어려운 것은 아니었다. 투과형 LCD의 기술을 그대로 도입하는 2매 편광판모드 반사형을 사용할 수 있었기 때문이다. 하지만, 현재의 단말기는 QVGA급 이상의 그래픽표시방식과 4,096 칼라 이상의 색상표시를 요구하므로 2매 편광판모드 반사형 LCD의 낮은 반사휘도로는 이러한 요구사항을 실현한다는 것이 거의 불가능하게 되었다. 따라서, 1매 편광판모드 혹은 편광판을 사용하지 않는 모드가 반사형 LCD의 일반적인 기술로 채택되고 있다.

### 1. 1매 편광판모드 반사형 LCD

1매 편광판모드 반사형 LCD는 구동방식에 따라 적용하고 있는 액정모드가 상이하다. Active Matrix(AM) 구동 방식에서는 MTN(Mixed Twisted Nematic) 모드<sup>[1-3]</sup>와 RTN(Reflective Twisted Nematic) 모드<sup>[4-5]</sup>가 주로 적용되고 있으며, Passive Matrix(PM) 구동 방식에서는 R-STN(Reflective Super-Twisted Nematic) 모드<sup>[6-7]</sup>가 주로 적용되고 있다. 그 외 반사형 액정모드로서는 R-OCB(Reflective Optically Compensated Bend) 모드<sup>[8-9]</sup>, Reflective (A)FLC(Antiferroelectric liquid crystal) 모드<sup>[10-11]</sup>, Reflective ECB(Electrically Controlled Birefringent) 모드<sup>[12-13]</sup>, Reflective VAN(Vertically Aligned Nematic) 모드<sup>[14]</sup> 등이 시야각 혹은 고속응답의 특수한 목적으로 많은 연구가 진행중이다. 이러한 각 모드들은 서로 상이한 장단점을 갖고 있지만 1매 편광판모드 반사형 LCD는 모두 [그림 1]과 같은 원리를 갖고 있다. 즉, 디스플레이의 Dark상태는 편광판을 통과한 광이 다시 제자리로 돌아올 때까지  $\lambda/2$ 의 위상차를 느끼도록, Bright 상태는  $\lambda$ 의 위상차를 느끼도록 위상지연층을 설계하는 것이다. 이때,



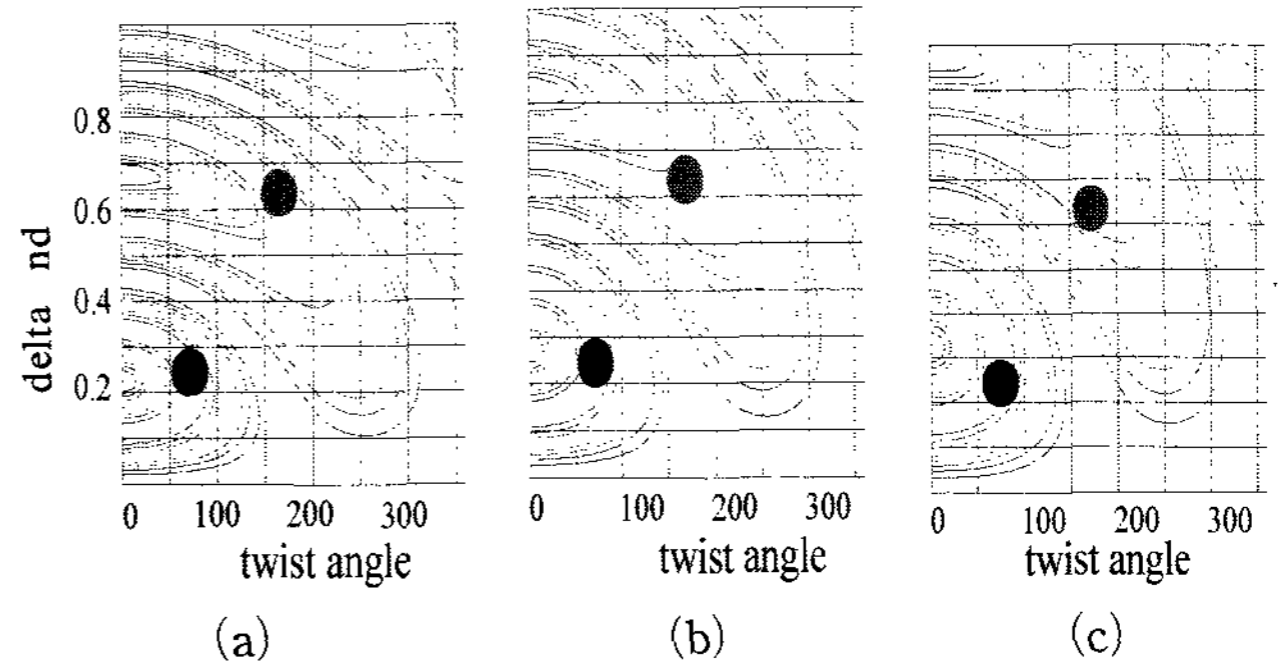
[그림 1] 반사형 LCD의 설계 원리  
(a) Bright 상태 (b) Dark 상태

위상지연층은 액정모드와 보상판들로 구성될 수 있다. 이러한 액정모드나 보상판을 어떻게 사용하는가에 따라서 앞서 언급했던 여러 가지 반사형 액정모드로 구분되게 되는 것이다.

1) MTN과 RTN 모드

TN 혹은 STN 액정 모드의 광학특성은 Berremann의  $4 \times 4$  matrix<sup>[15]</sup>나 Extended Jones Matrix<sup>[16]</sup> 등을 이용하여 해석하고, 이때 x축은 트위스트각을 y축은 위상차( $\Delta nd$ )로 설정한 후 투과율 혹은 반사율을 등고선으로 나타낸 도표를 Parameter Space Diagram(PSD)이라고 한다. MTN 모드와 RTN 모드는 PSD 상에서 반사율을 등고선으로 나타내었을 때 찾아낼 수 있는 여러 가지 조건들 중의 하나인 것이다. MTN과 RTN은 이러한 점에서 동일한 원리로 설계된 모드이지만, 특별히 MTN과 RTN으로 구분하는 이유는 MTN은 TN액정셀과 보상필름( $\lambda/4$  위상지연 필름)을 한 장 사용했을 때의 조건이고, RTN은 TN액정셀만을 사용했을 때의 조건이기 때문이다. 현재 MTN은  $90^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $63.6^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $30^\circ$  MTN 등이 보고되어 있고, RTN은  $45^\circ$ 와  $53^\circ$  RTN이 보고되어 있다. 여기서 각도는 TN셀의 트위스트각을 의미한다.

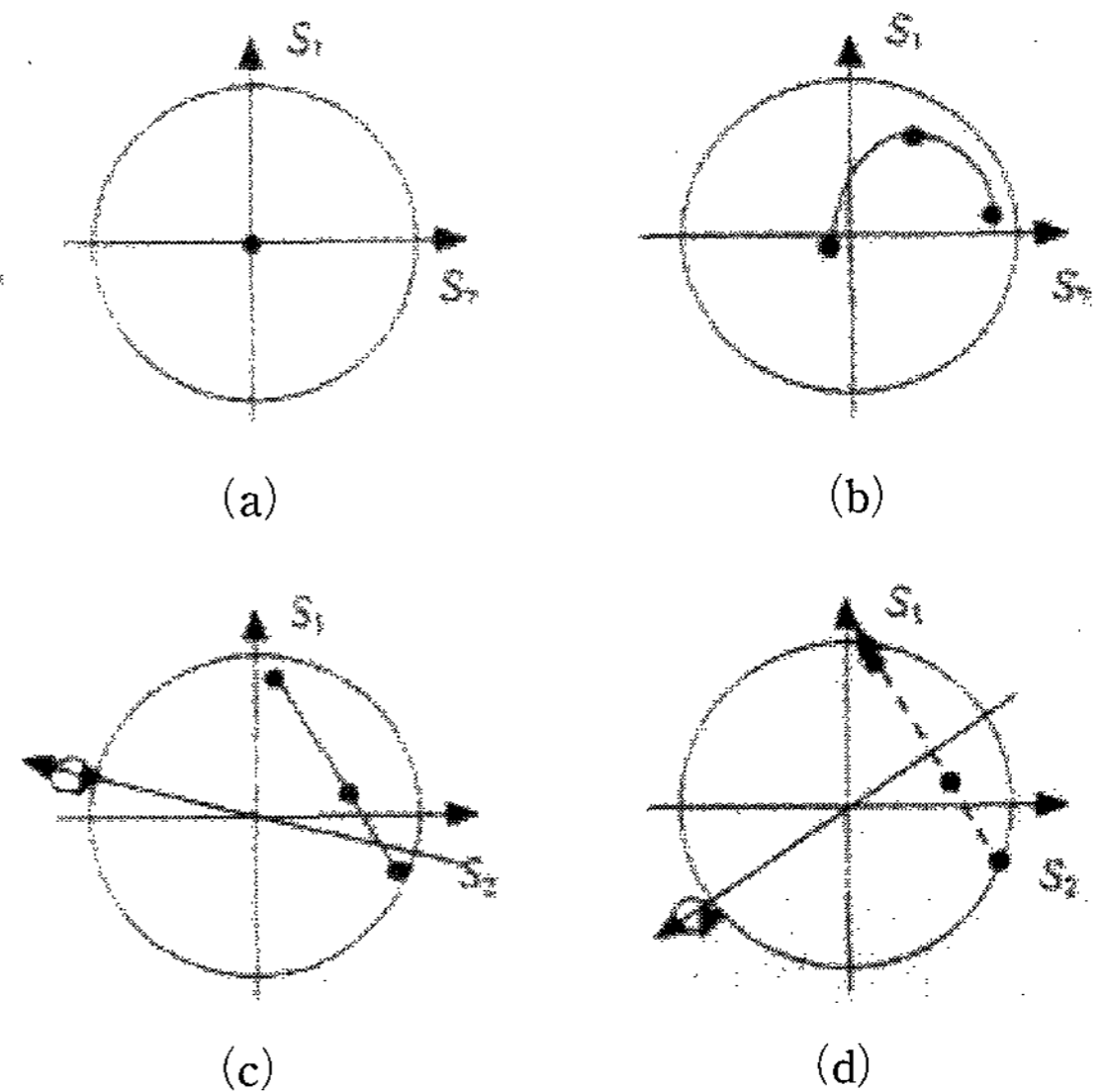
[그림 2]는 PSD를 이용한 MTN 설계의 한 예를 보여준다. RGB 각각의 중심파장에 대해서 PSD를 따로 그린 후 세 파장에서의 반사율이 모두 우수한 트위스트각과  $\Delta nd$ 를 찾으면 MTN설계가 되는 것이다. 현재까지 알려진 설계는 앞에서 언급한 특정 조건에서만 이루어진 것이기 때문에 보상필름의 종류를 바꾸거나, 한 장 더 사용하면 알려지지 않은 더 많은 설계가 가능하다. MTN 모드와 RTN 모드는 주로 AM 구동방식에서 적용되고 있는데, PM 구동방식에서는 100라인 이상의 해상도 구현이 불가능하기 때문이다.



[그림 2] RGB 대표 파장에서의 PSD를 이용한 MTN 설계의 한 예, 설계조건 (트위스트각  $68^\circ$ ,  $\Delta nd=0.24$ )  
(a) 450 nm (b) 550 nm (c) 650 nm

2) R-STN 모드

PM구동에서 100라인 이상의 해상도를 가진 반사형을 적용하기 위해서는 R-STN 모드를 적용해야 한다. R-STN 역시 PSD를 이용하여 설계가 가능하다. [그림 2]의 또 다른 한 설계조건(트위스트각  $175^\circ$ ,  $\Delta nd=0.63$ )이 그 한 예이다. 하지만, 보상필름을 한 장 사용한 설계는 액정모드에서 발생하는 분산을 완전하게 보상해 줄 수 없다. 그렇기 때문에, R-STN은 보상필름을 두 장을 사용하여 설계한다. 보상필름을 두 장 사용하면 액정모드에서 어떠한 분산이 발생하더라도 거의 다 보상이 가능하기 때문에 액정모드는 양산이 가능한 투과형 STN 모드를 그대로 적용할 수 있다는 장점이 있다. STN 액정을 정한 후에는 두 장의 보상 필름만을 설계하면 되는데, 일반적으로 뽕양까레 구면을 이용하여 설계한다.<sup>[17-18]</sup> [그림 3]은 뽕양까레 구면을 이용하여 설계하는 방법의 한 예를 보여 준다. 여기서 나타내는 분산 특성은 뽕양까레 구면위의 정보를 S1, S2 평면위로 정사영시킨 결과이다. 먼저, 반사형 설계의 원리상 반사판에서의



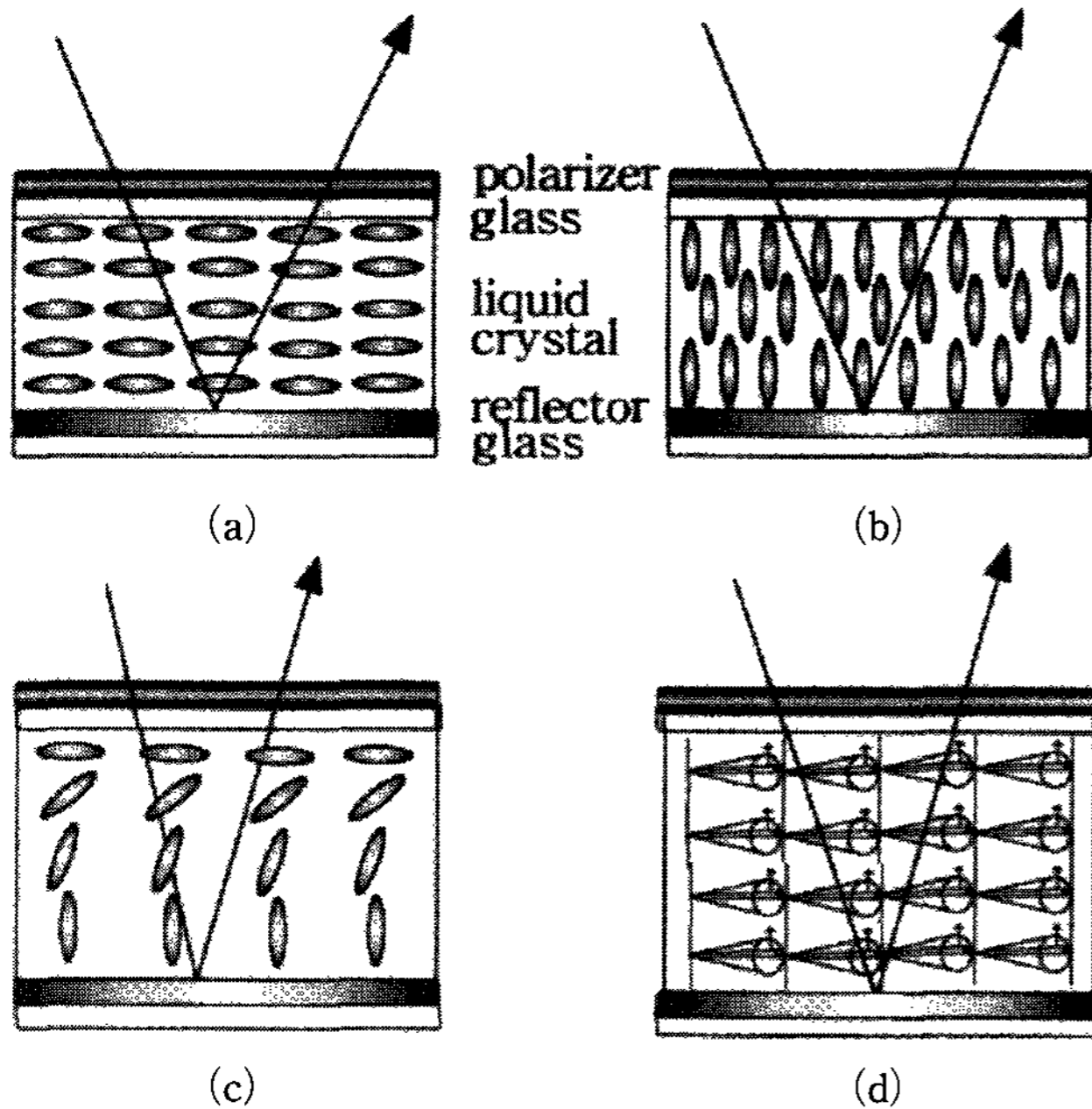
[그림 3] 반사형 STN-LCD의 설계 원리  
(a) 반사 후 (b) LC 통과 후  
(c) 보상필름 1 통과 후 (d) 보상필름 2 통과 후

빛은 원편광 상태이므로 [그림 3(a)]와 같이 위치하게 되고, STN 액정셀을 통과했을 때의 분산특성은 [그림 3(b)]와 같이 된다. 보상필름 1의 설계는 [그림 3(c)]와 같이 S1, S2 평면상에서 일직선으로 나타나게되는 조건을 찾는 작업이고, 보상필름 2의 설계는 [그림 3(d)]와 같이 선편광을 나타내는 원주상의 한점으로 모이도록 조건을 찾는 것이다.

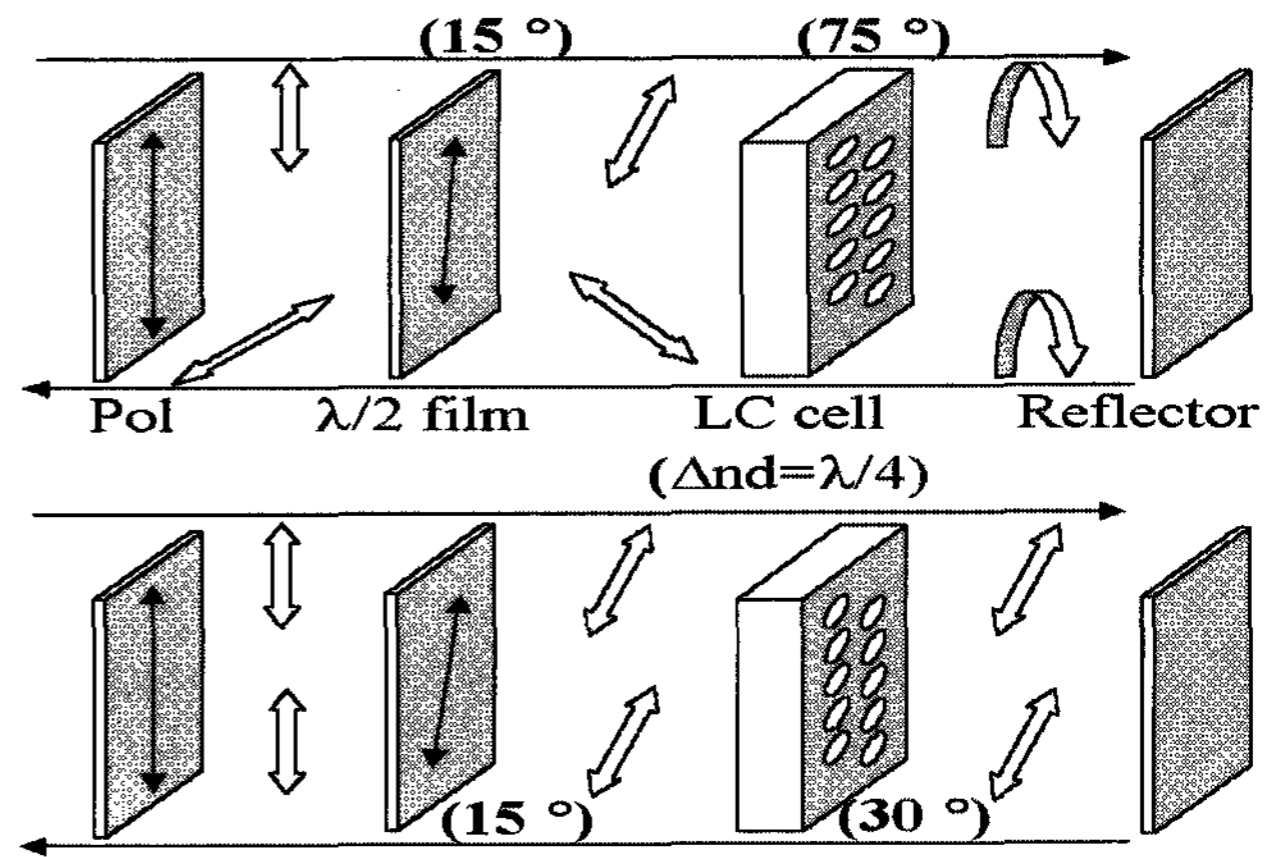
최근에는 R-STN의 보상필름을 한 장만 사용할 수 있는 방법이 개발되었는데, twisted discotic 필름이 개발되었기 때문이다. 액정의 큰 트위스트에서 발생한 분산특성을 다시 트위스트의 분산특성을 가진 보상필름으로 보상하기 때문에 설계가 쉬울 뿐만 아니라, 광시야각도 확보할 수 있다는 장점때문에 twisted discotic 필름을 사용한 이 설계 방법은 R-STN 모드의 주류가 될 것으로 예상된다.

3) Nontwist 반사형 액정 모드

Nontwist 반사형 액정 모드<sup>[19-21]</sup>는 [그림 4]와 같이 AM 구동용으로 R-ECB 모드, R-OCB 모드, R-VAN 모드, R-TLAF(Thresholdless Antiferro electric) LC 모드 등이 있고, PM 구동용으로는 R-AFLC 모드 등이 연구되고 있다. 이들 모드는 모두 동화상 구현을 목적으로 하고 있으며, 설계가 용이할 뿐만 아니라 [그림 5]와 같이 wide band의 원리를 적용한 반사형 설계가 가능하기때문에 분산 특성도 아주 우수하다. 하지만, 셀갭이 아주 작아야 하고, 온도의존성이 크며, 마진도 작기 때문에 아주 우수한 공정이 개발되기 전까지는 아직 양산에 적용하기는 어려운 상태이다.



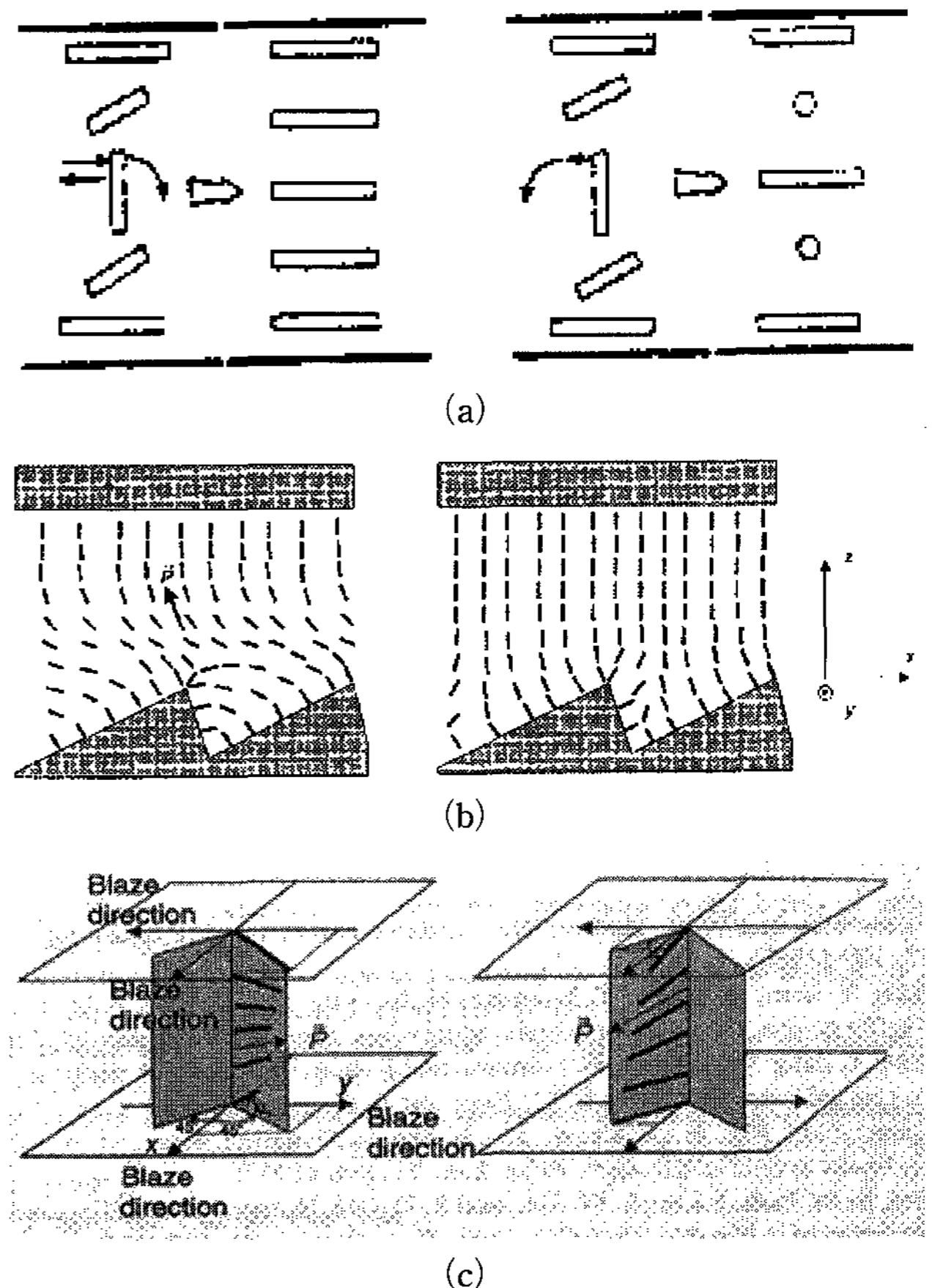
[그림 4] Nontwist 반사형 액정 모드들  
 (a) R-ECB 모드 (b) R-OCB 모드  
 (c) R-VAN 모드  
 (d) R-TLAF 및 R-AFLC 모드



[그림 5] wide band의 원리를 이용한 반사형 LCD의 설계  
 (a) Dark 상태 (b) Bright 상태

4) 쌍안정 반사형 액정 모드

쌍안정 반사형 액정모드는 R-BTN(Bistable Twisted Nematic) 모드와 R-F(Ferroelectric) LC 모드 등이 연구되고 있다. 이 모드들은 E-BOOK이나 디지털 페이퍼에 적용하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 소비전력과 반사율이 가장 중요한 평가기준이다. 이러한 모드들은 편광판을 사용하지 않는 모드에 비해 고해상도가 가능하다는 강점을 갖고 있지만, 편광판을 한 장 사용하기 때문에 반사율이 반



[그림 6] BTN 모드  
 (a) BTN 모드 (b) ZBN 모드 (c) ABN 모드

드시 50%가 희생된다는 단점을 갖고 있다. 반사율을 개선시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

R-FLC 모드<sup>[22]</sup>도 Nontwist 반사형 액정모드와 마찬가지로 wide band의 원리를 적용한 설계가 가능하지만, 셀갭이 미크론 단위이기 때문에 양산 적용에는 엄두를 내지 못하고 있는 실정이다. 최근에는 액정 프린팅기술이 보고되어 양산가능성이 어느 정도 기대되고 있다.

트위스트 네마틱 액정모드에서 쌍안정 상태를 가진다는 의미에서 BTN이라는 이름을 사용하고 있지만, 실제 BTN 모드는 3가지의 종류로 구분할 수 있다. 통상 BTN이라고 하면 [그림 6(a)]와 같이 0°와 360°의 두가지 트위스트각에서 안정된 상태를 갖는 모드를 지칭한다.<sup>[23-25]</sup> 이 모드는 반사형으로의 설계가 이미 보고되어 있다. 하지만, 이 모드는 PM 구동방식으로만 동작이 가능하고 PWM(Pulse Width Modulation)구동방식을 사용하지 않는 한 계조구현이 불가능하다. 나머지 두 가지의 BTN 모드는 [그림 6(b)]와 같은 ZBN(Zenithal Bistable Nematic) 모드<sup>[26]</sup>와 [그림 6(c)]와 같은 ABN(Azimuthal Bistable Nematic) 모드<sup>[27]</sup>가 있다. ZBN 모드는 AM 구동방식으로 동작이 가능하다는 장점이 있고, ABN 모드는 안정된 계조구현이 가능하다는 장점이 있기 때문에 E-BOOK용으로 새로운 접근이 기대되는 모드들이다. 이러한 모드들을 E-BOOK에 적용하기 위해서는 반드시 반사형으로 설계가 되어야 하는데, 반사형으

로 보고된 예는 아직 없다.

## 2. 무편광판모드 반사형 LCD

무편광판모드 반사형 LCD는 편광판을 사용하지 않기 때문에 반사율을 극대화시킬 수 있다는 장점이 있으며, 크게 Guest-Host 모드, PD(Polymer Dispersed) LC 모드, Ch(Cholesteric) LC 모드로 나눌 수 있다.

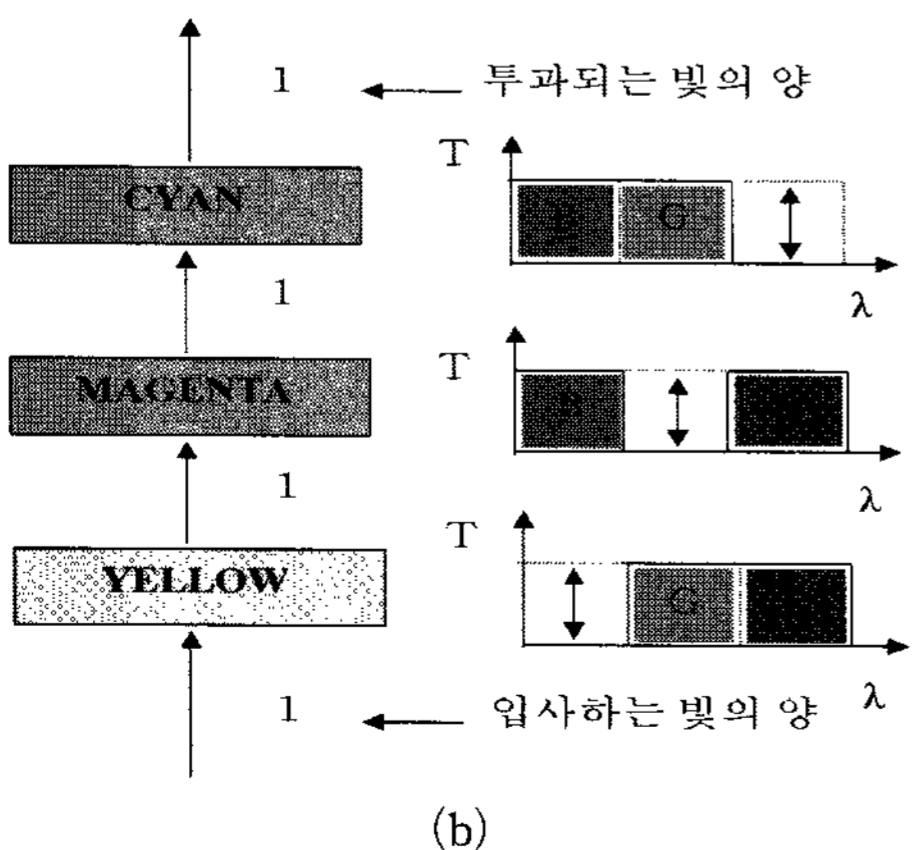
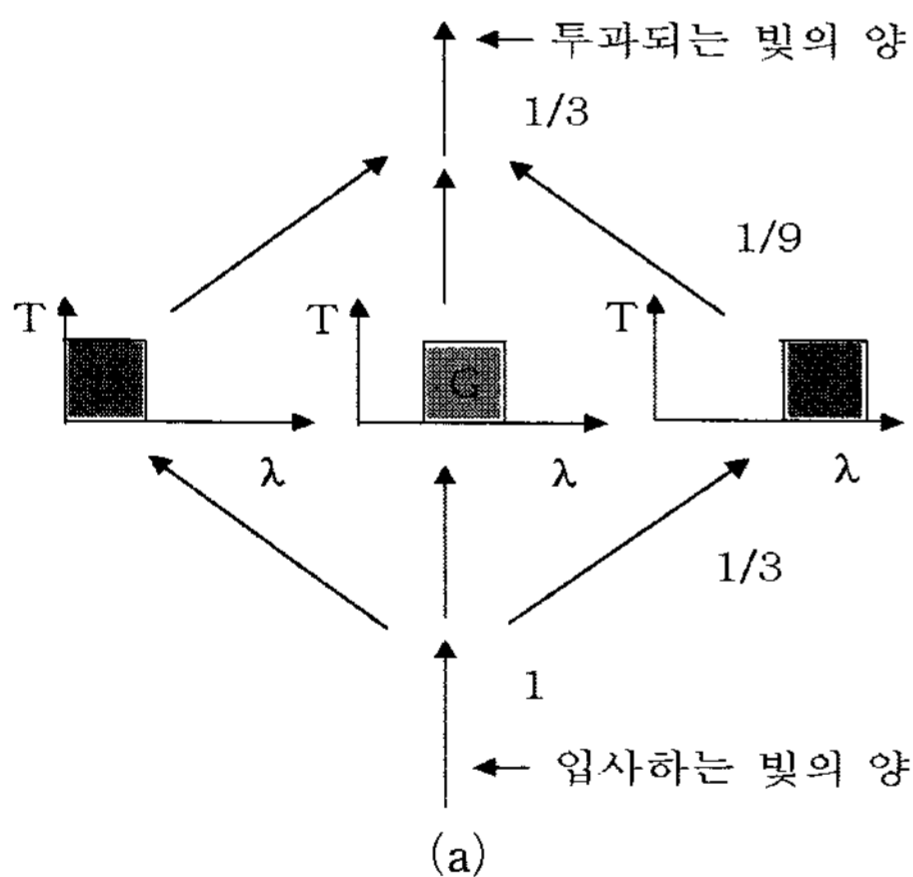
### 1) Guest-Host형 반사형 LCD

이 모드는 흡수가 없는 LC host에 1-5%의 guest dichroic dye를 도핑하여 액정셀을 만드는 것이다. 참고로 full color를 구현하는 방법은 [그림 7]과 같이 RGB를 기초로 하는 가색혼합과 CMY를 기초로 하는 감색혼합이 있다. Guest-Host 모드는 반사율을 극대화하기 위해서 감색혼합을 주로 적용하기 때문에 대부분 적층형으로 설계한다.

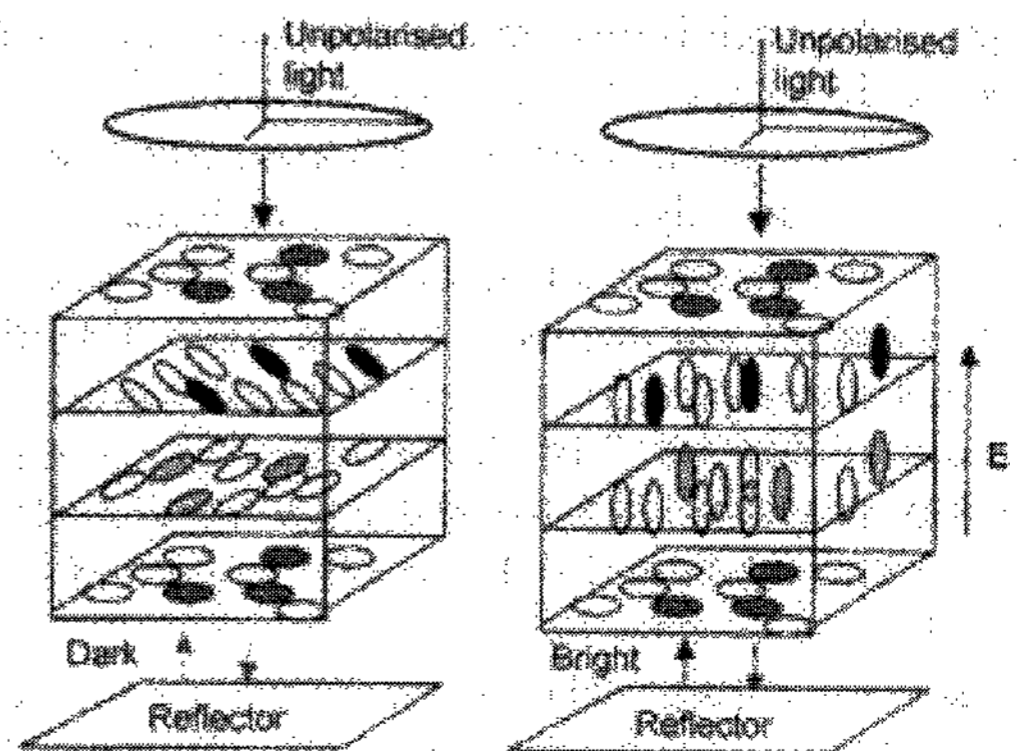
Guest-Host 모드는 기본적으로 두 가지의 모드가 있는데, 편광판을 한 장 사용하는 Heilmeyer-Zanoni 모드<sup>[28]</sup>와 편광판을 사용하지 않는 White-Taylor 모드<sup>[29]</sup>가 그것이다. 반사율을 극대화시키기 위해서는 White-Taylor 모드를 사용한 tri-stacked 반사형 LCD가 요구된다. 그 구조는 [그림 8]과 같다. 이 모드는 60% 정도의 반사율을 갖는다는 장점은 있으나, 명암대비가 낮다는 단점 때문에 아직은 간단한 오락기 등에만 적용되고 있는 실정이다.

### 2) PDLC 모드 반사형 LCD

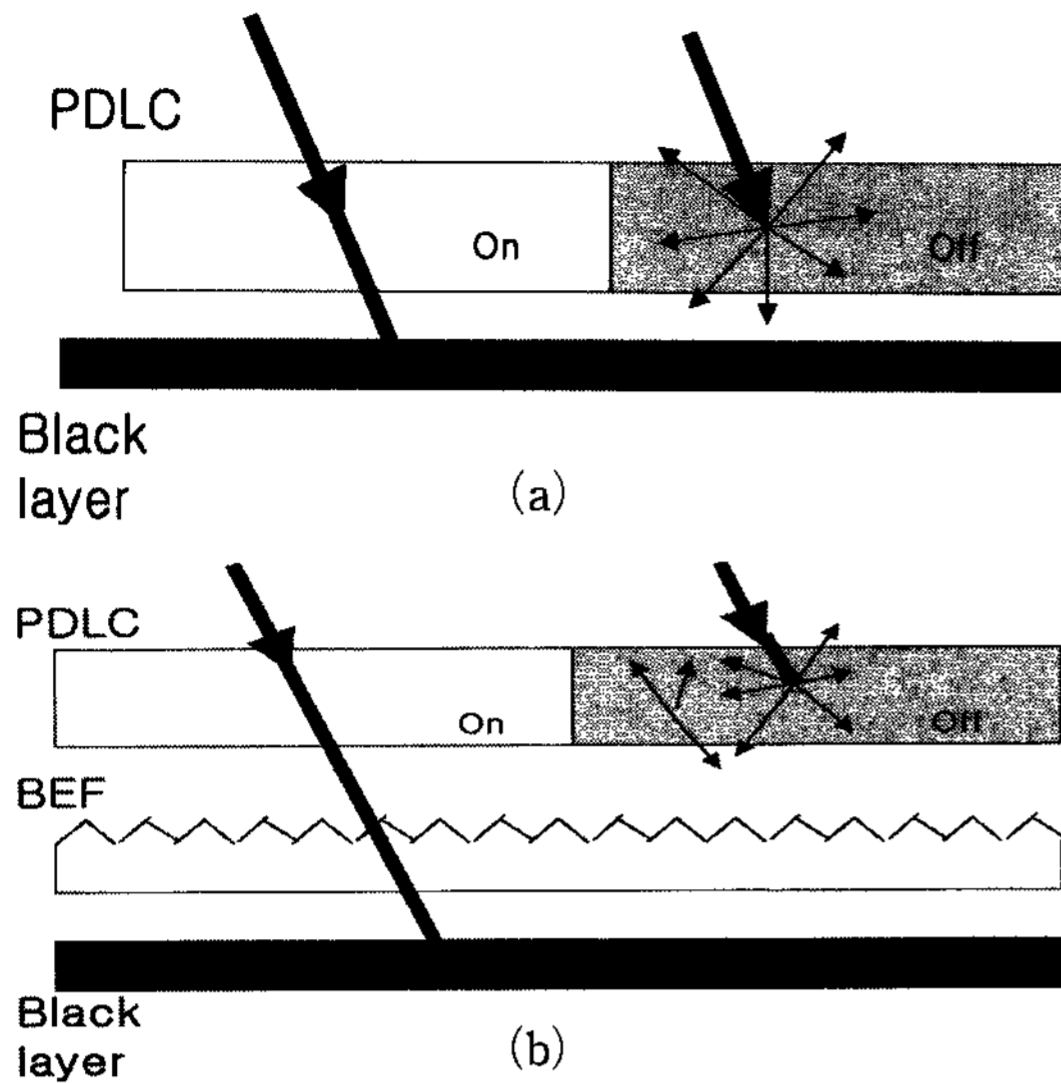
PDLC 모드 반사형 LCD<sup>[30]</sup>의 기본 동작원리는 [그림 9(a)]와 같다. [그림 9(a)]와 같이 field-on일 경우에는 빛이 산란없이 그냥 통과하므로 black layer의 흡수에 의해서 좋은 dark 상태를 나타내며, field-off인 경우에는 산란이 발생하여 black layer까지 빛이 당도하지 못하므로 bright 상태가 된다. 하지만, bright 상태의 반사휘도가 너무 낮기 때문에 BEFs(Brightness Enhancing Films)을 사용하여 휘도를 개선하는 방법<sup>[31]</sup>도 있다. 그 구조는 [그림 9(b)]에 나타내었다. 이 BEF를 사용하면 기존 PDLC 모드 반사형 LCD의 반사휘도를 10% 이상 개선시킬 수 있다. 이 모드는



[그림 7] Full color 구현 방법  
(a) 가색혼합 (b) 감색혼합



[그림 8] White-Taylor 모드를 사용한 tri-stacked 반사형 LCD의 동작원리

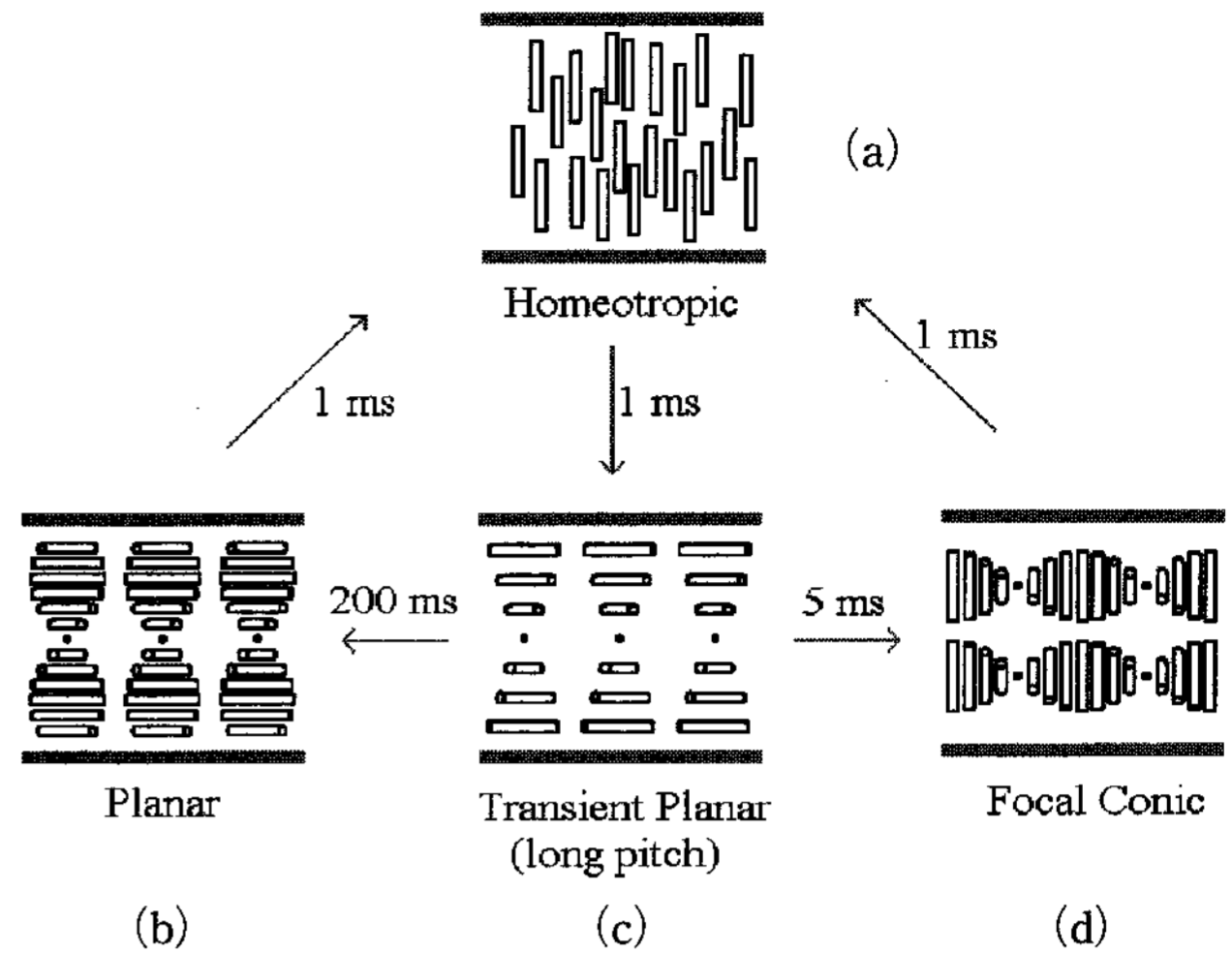


[그림 9] PDLC 모드 반사형 LCD의 구조  
(a) 기존 모드 (b) BEF를 사용한 모드

구동전압이 높고, 응답속도도 느려서 휴대용 장치에는 적합하지 않은 것으로 알려져 있다. 하지만 최근에 연구되고 있는 HPDLC(Holographic PDLC)<sup>[32]</sup>는 AM구동이 가능하며, 고대비, 고응답특성, 고전압유지율 등의 디스플레이로서의 요구조건을 만족시킬 수 있는 mode로 인식되고 있다. 특히 반사형 HPDLC는 칼라필터가 필요없어 기존의 LCD보다 2배 이상의 광효율을 나타낸다. 하지만 비가역적 제작과정과 낮은 반사효율, 높은 구동전압, 수지화과정에서의 부피수축, 좁은 광시야각 등이 문제점으로 남아 있다. 따라서 최근 이러한 문제점들을 개선하기 위해 새로운 HPDLC 물질 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 가시적인 성과들도 보고되고 있다.

### 3) ChLC 모드 반사형 LCD

ChLC 모드 반사형 LCD<sup>[33,34]</sup>의 기본 동작원리는 [그림 10]에 나타난 바와 같으며, [그림 10(b)]와 같이 planar texture에서의 Bragg 반사를 bright 상태로, [그림 10(d)]와 같이 focal conic texture의 산란을 Dark 상태로 사용하는 것이다. ChLC 모드 반사형 LCD는 흔히 PSCT(Polymer Stabilized Cholesteric Texture) 모드라고도 불리우는데 그 광학특성은 물론 양산성도 우수하여 E-BOOK용에 가장 유망한 mode로 알려져 있다. 아직까지는 고해상도의 실현이 불가능하고 full-color의 구현이 힘들 뿐만 아니라 구동전압이 높아서 인버터를 부착한 간단한 디스플레이에만 적용되고 있지만 조만간 이러한 문제는 해결이 될 것으로 보인다. full color를 구현할 수 있는 E-BOOK용 디스플레이를 개발하기 위한 노력의 일환으로 일부 산업체에서는 SSCT(Surface Stabilized Cholesteric Texture) mode를 연구하고 있다. 동작원리는 PSCT mode와 동일하지만, 구동전압을 낮출 수 있고 고해상도가 가능하기 때문에 주목받고 있는 mode이다. full color를 구현하기 위해서는 tri-stacked LCD를 개발하거나, 가시광선영역을 모두



[그림 10] ChLC 모드 반사형 LCD의 동작원리  
(a) homeotropic (b) Planar  
(c) transient planar  
(d) focal conic texture

반사시킬 수 있을 정도로 큰  $\Delta n$ 을 가진 액정을 개발하는 두 가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 우선적인 적용은 쉽지만, parallax, pixel align, 비용 등 양산까지는 쉽지 않은 문제들이 산재되어 있다. 반면, 두 번째 방법은 액정의 개발은 어렵지만, 일단 액정개발이 완료되면 비교적 쉽게 양산까지 적용이 가능할 것으로 보인다. 구동방법에 있어서도 [그림 10(a)]와 같이 homeotropic 상태로 reset pulse를 반드시 인가해야만 planar texture와 focal conic texture로 전이가 가능하기 때문에 복잡한 구동과형이 요구된다. PM구동 방법으로는 [그림 10(c)]와 같이 transient planar texture를 활용하는 dynamic 구동방법이 개발된 후 ChLC 모드 반사형 LCD에서 동화상의 구현을 위한 다양한 접근이 시도되고 있다. 하지만, 복잡한 동작원리 때문에 AM 구동용으로는 아직 구동방법이 개발되어 있지 않다.

### 3. 반사형 LCD의 암수행 방법

반사형 LCD의 경우에는 주변광원이 거의 없는 밤이나 실내에서는 아무리 반사형 설계가 잘 되었다고 하더라도 화상 표시에 의한 정보전달이 불충분할 것이다. 때문에 반사형 LCD의 암수행 기술의 확보는 액정mode의 설계보다도 더 중요한 이슈가 되어 있다. 반사형 LCD의 장점을 유지하면서도 밤이나 어두운 곳에서도 고화질의 광학 특성을 갖도록 하는 방법은 front light 시스템을 이용하는 전반사형 LCD<sup>[35,36]</sup>와 반사mode와 투과mode를 동시에 사용하는 반투과형 LCD<sup>[37,38]</sup>로 크게 나눌 수 있다. 현재 산업계에서는 앞서 언급했던 반사형 mode에 대한 관심보다는 반사형 LCD의 암수행방법을 놓고 심도 깊은 연구가 계속되고 있다. 실제 암수행 방법에 따라서 액정mode의 설계방법이나 광학적 요구사항이 완전히 달라지게 되므로 어떤 방법을 택할 것인가를 신중하게 고려해야 한다.

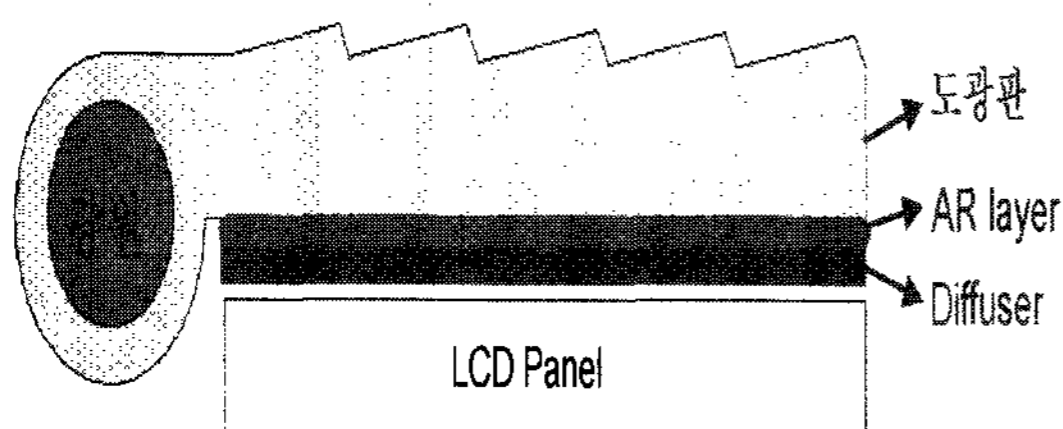
### 1) 전반사형 LCD

암수행을 위한 하나의 방법인 전반사형 LCD는 앞서 언급한 반사형 LCD 모드들을 그대로 적용할 수 있다는 점이 가장 큰 장점이다. 이러한 장점을 제대로 활용하기 위해서는 front light 시스템의 개발이 핵심기술이다. front light 시스템의 기본 구조는 [그림 11]과 같다. back light 시스템에서와는 달리 도광판이 LCD의 전면에 배치되어 광원이 도광판 측면에서 빛을 발산시킨다. 도광판은 보통 투명한 아크릴 수지로 되어있으며 측면을 통하여 빛이 입사된 후 도광판 윗면의 마이크로 글로브에 임계각 이상으로 부딪히면 전반사에 의해 아래의 편광판과 LC를 거쳐 반사판에 맞고 다시 위로 오기 때문에 일반 반사형 LCD의 광학적 경로가 같아 반사형 한 모드로 설계가 가능하다는 장점이 있다. 여기서 마이크로 글로브의 모양, 깊이, 폭 그리고 글로브의 주기는 빛의 균일성과 콘트라스트비를 결정하는 중요한 요소이다.

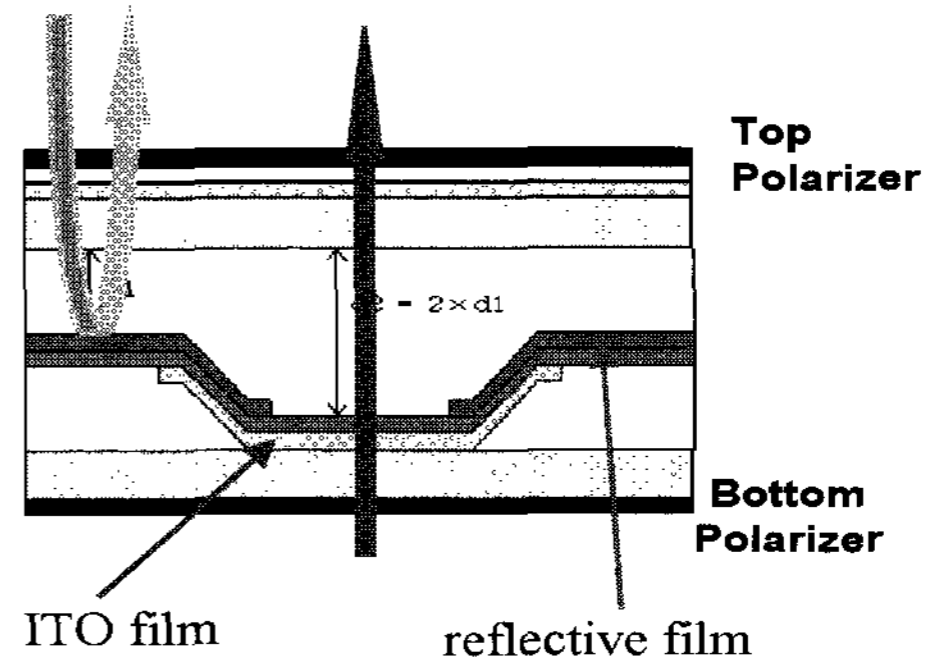
광원으로는 주로 CCFL(Cold Cathod Fluorescent Lamp)과 LED를 주로 사용한다. LED를 사용할 경우 도광판의 두께가 1mm까지 가능하며 동작 전압과 소비전력이 CCFL에 비해 낮고 주위의 충격에도 강한 장점이 있는 반면 점광원인 LED에서 나오는 빛을 도광판쪽으로 균일한 면광원으로 보내기 위해 LGB(Light Guide Bar)가 필요하다. 물론 CCFL에서도 관측자쪽으로 빠져나가는 빛을 방지하기 위해 collimating section이 요구되기도 한다. 도광판 아래면에서 반사되어 관측자 쪽으로 빛이 가게 되면 콘트라스트비가 감소하므로 도광판 아래면에 AR(Anti-Reflect) 코팅을 하여 관측자 쪽으로 빠져나가는 빛을 감소시킬 수도 있다. 이렇게 front light system이 개발되어져 왔고 이미 시제품도 출시되었으나 보완해야 할 점들이 많이 있다. LCD 패널 앞에 front light system을 설치하면 이미지가 찌그러져 시인성이 저하되고, 픽셀의 주기성과 마이크로 글로브의 주기성에 의해 무아레 무늬가 발생하며, front light의 누설광에 의한 콘트라스트 비가 저하되고, LCD 패널 면적이 커지면 성능이 급감한다는 점들은 시급하게 보완해야 한다.

### 2) 반투과형 LCD

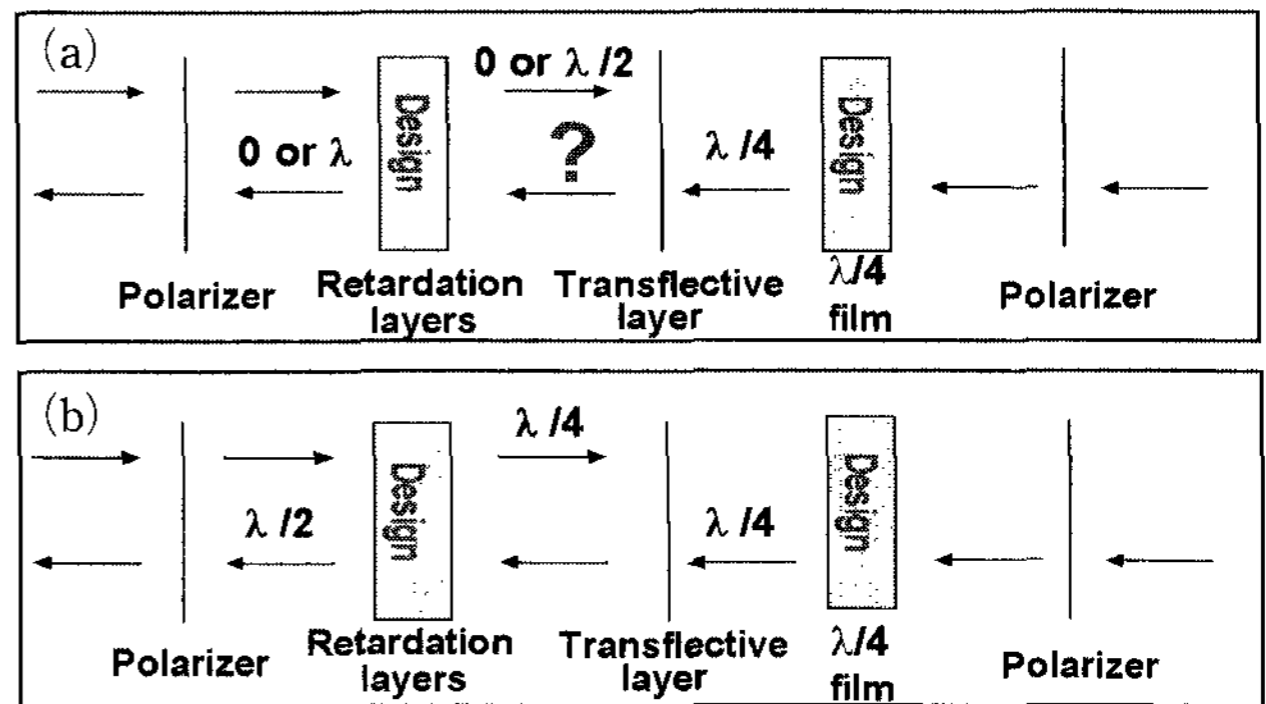
암수행을 위한 또 다른 하나의 방법인 반투과형 LCD는 가장 최근에 연구되고 있는 기술이며, [그림 12]와 같이 주위의 빛이 부족할 때는 디스플레이가 뒤의 back light를 사용해 투과형으로 작동하고 빛이 충분한 환경에서는 반사형으로 작동한다. 반투과형 LCD의 핵심기술은 반투과막 기술과 LCD 모드의 설계 기술이다.



[그림 11] front light 시스템의 기본 구조



[그림 12] 반투과형 LCD의 동작원리



[그림 13] 반투과형 LCD의 설계 원리

(a) Bright 상태 (b) Dark 상태

반투과막 기술의 최초 제안은 금속반투막을 이용하는 것이었는데 광효율이 낮아서 실용화하지는 못했다. 이후 hole-type 반투과 기술이 도입되면서 이 기술은 반투과형 LCD의 표준이 되었다. 현재 대부분의 LCD 생산업체는 hole-type 반투과기술을 개선시킨 슬릿방식의 반투과기술을 채택하고 있다. 아직까지는 표준화되지 않았지만, 슬릿의 반사와 투과의 영역비는 70 : 30 혹은 80 : 20이 적당한 것으로 알려져 있다.

반투과형 LCD의 모드 설계기술은 한 픽셀에서 반사와 투과모드를 동시에 만족해야하기 때문에 일반 반사형 LCD에 비해 훨씬 복잡하다. [그림 13]은 일반적인 액정모드에서의 반투과형 LCD의 동작원리를 나타내는데, 그림에서 알 수 있듯이 반사모드에서는 위상지연층의 설계를 λ/4로, 투과모드에서는 λ/2로 해야 하기 때문에 반사와 투과를 동시에 만족시키는 설계가 기본적으로는 불가능하다. 이 문제를 해결하기 위해서 몇 가지 방법들이 제안되었는데, 반사부와 투과부의 셀갭을 달리하는 방법, 구동방법을 달리하는 방법, 투과부의 광효율을 희생하는 방법 등이 있다. 이러한 방법을 이용한 제품들이 이미 출시되었지만 아직까지는 제조단가가 비싸거나 광효율이 떨어지기 때문에 이를 개선하기 위한 노력이 더욱 필요하다.

## III. 결 론

국내의 LCD 생산규모는 이미 일본을 앞서 부동의 세계

1위를 점유하고 있으며, 그 기술 수준도 일본과의 격차를 상당히 좁혔다. 하지만, 국내의 LCD의 기술은 노트북이나 모니터용으로만 집중되어 왔기 때문에 대부분이 투과형 LCD의 연구에 기반을 두고 있다. IMT 2000 서비스가 본격화되면서 많은 콘텐츠가 요구되는 이동통신용 단말기 시장에서의 디스플레이는 그 특성상 저소비전력을 요구하고 있기 때문에 반사형 LCD 기술의 개발이 무엇보다도 중요하다. 하지만, 반사형 LCD는 아직 표준화조차 마련되어 있지 않을 정도로 국내외적으로 시행착오의 과정 중에 있다. 외형적으로는 이미 IMT 2000 서비스를 타겟으로 65000 color를 지원하는 PM구동방식의 반사형 LCD가 양산을 시작했고, 뒤를 이어 AM 구동방식의 반사형 LCD도 양산을 준비하고 있지만, 휘도가 낮고, 동화상을 구현하기에는 응답속도가 느리며, 소비전력도 만족할 만한 수준은 아니다. 국내의 LCD 산업이 계속해서 세계 1위의 자리를 고수하기 위해서는 반사형 LCD의 기술개발을 선점해야만 가능할 것으로 판단되기 때문에 이에 대한 연구가 시급하고 반사형 부품 최적화, 표시모드의 최적화기술 등의 기초기술연구에 대한 투자가 요구되고 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. Sonehara, "Photo-Addressed Liquid Crystal SLM with a Twisted Nematic ECB mode", *Jpn. I. Appl. Phys.*, 29, L1231 (1990)
- [2] K. H. Yang et al., "Nematic Liquid Crystal Modes for Si Wafer-Based Reflective Light Valves", *Euro Display'96*, 449 (1996)
- [3] C. L. Kuo et al., "A 10.4" Reflective MTN-Mode TFT-LCD with Video Rate and Full-Color Capabilities", *J. SID* 7, 109 (1998)
- [4] S. T. Tang et al., "Reflective Twisted Nematic Liquid Crystal Displays. I. Retardation Compensation", *J. Appl. Phys.* 81, 5924 (1997)
- [5] F. H. Yu et al., "Reflective Twisted Nematic Liquid Crystal Displays. II. Elimination of Retardation Film and Rear Polarizer", *J. Appl. Phys.* 82, 5287 (1997)
- [6] S. Fujita et al., "Reflective Color STN-LCD Technologies", *IDW'98*, 213 (1998)
- [7] T. Ogawa et al., "A Novel Bright Reflective Color STN-LCD with the ISR Structure", *IDMC'00*, 507 (2000)
- [8] T. Ishinabe et al., "Optical Design of R-OCB Mode Full-Color Reflective LCD with Wide Viewing Angle and High Contrast", *J. SID*, 6, 243 (1998)
- [9] M. Shibasaki et al., "Reflective LCD with High Brightness and Wide Viewing Angle by Using Optically Compensated Twist-LC Cell (OCT)", *SID'99*, 690 (1999)
- [10] W. S. Park et al., "A New Design of Optical Configuration of Transflective Liquid Crystal Displays using Antiferroelectric Liquid Crystals and Frustoelectric Ferroelectric Liquid Crystals" *Jpn. J. Appl. Phys.* 40, 6654 (2001)
- [11] W. S. Park et al., "A New Reflective Display Mode for Antiferroelectric Liquid Crystal", *JID*, 1, 48 (2000)
- [12] Gi-Dong Lee et al., "Reflective Liquid Crystal Display Using a Non-Twist Half-Wave Cell", *Jpn. J. Appl. Phys.* 39, L221 (2000)
- [13] H.-I. Baek et al., "New Design of Transflective LCD with Single Retardation Film", *IDW'00*, 41, (2000)
- [14] S. Suh et al., "Reflective Homeotropic Mode in a Twisted Nematic Liquid Crystal", *Appl. Phys. Lett.*, 73 (1998)
- [15] S. Stallinga, "Berreman 4x4 Matrix Method for Reflective Liquid Crystal Displays", *J. Appl. Phys.*, 85, 3023 (1999)
- [16] C. Gu et al., "Extended Jones Matrix Method and its Application in the Analysis of Compensators for Liquid Crystal displays", *Displays*, 20, 237 (1999)
- [17] E. Collett, "Polarized Light", Marcel Dekker, Inc. 219-253 (1992)
- [18] O. Itou et al. "Development of Reflective Color STN-LCD Using New Optimizing Method of Retarders and a Polarizer", *SID'98* (1998)
- [19] G.-D. Lee et al., "Optical Configurations of Non-Twisted Liquid Crystal Cells for Single-Polarizer Reflective Displays" *Displays*, 22, 19 (2001)
- [20] T.-H. Yoon et al., "Reflective Liquid Crystal Display Using a Non-Twist Quarter-Wave Cell", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 364, 479 (2001)
- [21] T.-H. Yoon et al., "Nontwist Quarter-Wave Liquid Crystal Cell for a High Contrast Reflective Display", *Opt. Lett.*, 25, 1547 (2000)
- [22] D. C. Ulrich et al., "A 400dpi Reflective Storage Ferroelectric LCD for Highly Readable Low Power Mobile Display Applications", *IDW'00* 1105 (2000)
- [23] G.-D. Lee et al., "Characterization of a Bistable TN-LCD for Matrix-Addressed Operation", *SID'99*, 863 (1999)
- [24] Z. L. Xie et al., "Optimization of Reflective Bistable Twisted Nematic Displays", *J. Appl. Phys.*, 86, 2373 (1999)

- [25] Z. L. Xie et al., "Optimization of Reflective Bistable Twisted Nematic Displays with Retardation Compensation", *J. Appl. Phys.*, 88, 1718 (2000)
- [26] G. P. Bryan-Brown et al., "Grating Aligned Bistable Nematic Device", *SID Intl. Symp. Digest Tech. Papers* 28, 37 (1997)
- [27] G. P. Bryan-Brown et al., "Bistable Nematic Alignment Using Bigratings", *Proc. Intl. Display Research Conf.*, 94, 209 (1994)
- [28] H. L. Ong, "Electro-Optical Properties of Guest-Host Nematic Liquid Crystal Display Device", *J. Appl. Phys.*, 63, 1247 (1988)
- [29] D. L. White et al., "New Absorptive Mode Reflective Liquid-Crystal Display Device", *Appl. Phys. Lett.*, 45, 4718 (1974)
- [30] P. Nolan et al., "Reflective Mode PDLC Displays-Paper White Display", *Proc. EuroDisplay'93*, 397 (1993)
- [31] A. Kanemoto et al., "Back Scattering Enhancement in Polymer Dispersed Liquid Crystal Display with Prism Array Sheet", *Proc. Intl. Display Research Conf.*, 183 (1994)
- [32] T. J. Bunning et al., "Switchable Reflective Displays Formed from Holographic Polymer-Dispersed Liquid Crystals(H-PDLCs)", *SID'00*, 121 (2000)
- [33] K. Hashimoto et al., "Reflective Color Display Using Cholesteric Liquid Crystals", *J. SID.*, 6, 239 (1998)
- [34] X. Mi et al., "Ionic Effects in Bistable Reflective Cholesteric Liquid Crystals", *SID'00*, 823 (2000)
- [35] A. Tanaka, "Technical Trends of Front-Lighting Systems Using Reflective Colored LCD", *Asia Display/IDW'01*, 533 (2001)
- [36] K. Kashima et al., "A New Cholesteric Structured Film Controlling Polarization and Transmittance", *Asia Display/IDW'01*, 585 (2001)
- [37] K. Kalantar et al., "Micro-Structured Light-Guide Plate for Efficient Backlighting Transflective LCDs Used in Mobile Phones and PDAs", *Asia Display/IDW'01*, 645 (2001)
- [38] M. Jisaki et al., "Development of Transflective LCD for High Contrast and Wide Viewing Angle by Using Homeotropic Alignment", *Asia Display/IDW'01*, 133 (2001)