LCD 백라이트의 기술 동향
- LED 백라이트 기술을 중심으로 -

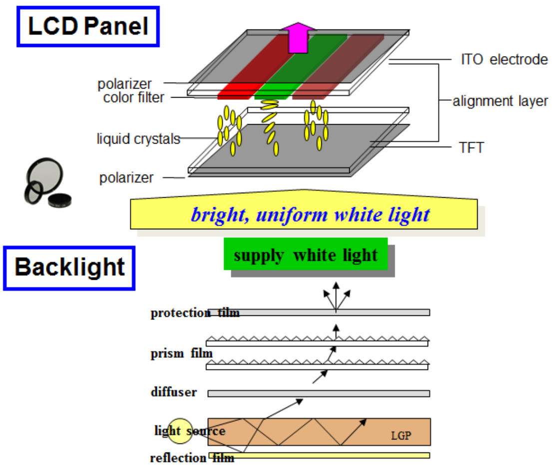
고 재 현 (한림대학교 전자물리학과)

I. 서 론

오늘날 평판 디스플레이(Flat Panel Display, FPD) 시장에서 액정표시장치(Liquid Crystal Display, LCD)는 예전의 CRT(Cathode Ray Tube) 기술에 기반한 디스플레이가 가졌던 독보적인 위치를 차지하고 있다. LCD는 오늘날 수 인치 크기의 휴대폰에서부터 60인치급 이상의 대형 TV, 100인치에 달하는 야외용 정보디스플레이 소자에 이르기까지 다양한 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 잘 알려진 것처럼 LCD는 비자발광 디스플레이에 해당된다. 비자발광 디스플레이는 스스로 빛을 만들어내지 못하기 때문에 외부로부터 공급받은 가시광선을 조절해서 영상 정보를 구현한다. LCD에서 가시광선을 공급하는 조광장치가 바로 백라이트유닛(Backlight Unit)이다. LCD는 백라이트로부터 공급받은 가시광선을 화소 단위로 투과도와 색상을 조절해서 총천연색 영상을 구현한다. [그림 1]은 중소형 크기의 LCD에 주로 사용되어 온 엣지형(edge-lit) 백라이트의 개략도이다. 측면에 놓여 있는 광원에서 발생하는 빛은 도광판(Light Guide Plate, LGP)을 통해 2차원적으로 퍼지게 되고 그 위에 놓여 있는 확산쉬트, 프리즘쉬트 등을 거치면서 정면으로 집광된 균일한 면광원으로 변환된다. 따라서 백라이트의 기술적 진화는 가시광선을 형성하는 광원 부품 및 이 점광원이나 선광원에서 만들어진 빛을 2차원의 균일한 면발광 상태로 바꾸어주는 광학부품으로 나누어 정리해 볼 수 있다.[1,2]

백라이트는 원래 LCD에 빛을 공급해주는 수동적인 조명장치로 기능하였으나 최근에는 LCD 패널에 공급되는 화상신호와 연동되어 LCD의 화질특성을 개선하는데 활용되는 등 보다 능동적인 소자로 진화하고 있다. 이러한 변화는 주로 빠른 반응시간으로 백라이트의 동적 구동을 가능케 한 고체발광다이오드(Light Emitting Diode, LED)의 보편화에 기인한 바 크다. LED 백라이트의 등장은 LCD의 박형화, 경량화, 저소비전력화를 이끌면서 기술적 흐름을 주도하고 있다. 이러한 움직임은 특히 대형 LCD TV용 LED 백라이트를 중심으로 이루어져 왔는데, 2009년 초 도광판 기술에 기반한 엣지형 백라이트가 중소형 LCD 뿐 아니라 대형 LCD TV에도 적용되기 시작하면서 소위 LED TV의 대중화 시대가 도래하였다.

LCD가 유기발광다이오드(Organic Light Emitting Diode,



[그림 1] 엣지형 LCD 백라이트의 개략도

OLED) 디스플레이나 플라즈마 디스플레이 패널(Plasma Display Panel, PDP)과 같은 경쟁 기술들을 제치고 오늘날의 주력 디스플레이로 자리 매김을 할 수 있었던 주된 이유는 LCD 역사의 초기부터 LCD 패널의 투과율, 화질 향상, 대면적화 기술의 개발과 백라이트 기술을 연동해서 여타 디스플레이와의 차별화기술로서 개발해 왔기 때문이다. 이러한 노력에 따라 백라이트의 각 부품인 광원, 광학 부품, 구동 부품, 기구 부품 등의 저가격화 및 차별화 기술이 LCD의 가격 경쟁력 향상과 제품 차별화로 이어질 수 있게 되었고 이로 인해 오늘날의 거대한 LCD 산업이 성립되게 된 것이다.

최근 세계적인 경기 침체에 따라 선진국에서 평판 TV로의 전환 속도가 저하되고 있고 아울러 AMOLED(Active Matrix OLED) 등에 기반한 각종 스마트 IT(Information Technology) 기기의 영역 확장에 따라 관련된 LCD 제품군의 수요가 감소하면서 LCD 시장은 어려운 상황을 맞이하고 있다. 게다가 신흥시장(Emerging Market)에서 저가 제품의 시장 성장에 따른 수익율 감소, 정부 지원에 힘입은 중국 LCD 산업의 확대에 따른 공급과다 등으로 LCD 산업은 여느 때보다 더 혹독한 겨울을 맞고 있다. 이러한 객관적 상황은 LCD로써는 위기이자 또 다른 도약을 위한 기회가 될 수도 있다. 그리고 이러한 새로운 도약의 한 걸음은 백라이트기술의 진보와 맞물려 이루어질지도 모른다. 본 기고에서는 최근 LCD가 부딪힌 상황과 관련해서 백라이트기술 분야에서 제기되고 연구되고 있는 기술적 이슈들을 정리한 후에 이러한 기술적 이슈를 해결하기 위한 세부 기술요소별 동향에 대해 서술하고자 하였다. 본 글은 이번 호에 실린 광원 관련 특집기사들 중 총괄글에 해당하고, 함께 게재되는 광원, 광학필름, 백라이트 표준화, TV용 LED 백라이트 등 세부 주제별 기술 동향 원고를 이해하는데 도움이 되도록 서술하고자 하였다.

Ⅱ. LCD 백라이트 분야의 기술 이슈 및 현황

올해 들어 대형 LCD의 성장률이 한 자릿수로 줄어드는 등 최근 LCD의 시장상황이 다소 침체되면서 백라이트 기술 역시 다양한 요구에 직면해 있다. 최근 백라이트 분야의 연구에 있어서 이슈가 되고 있는 내용들을 정리해 보면 저소비전력화, 저가격화, 디자인 차별화, 신광원 개발, LCD의 특성 개선 등으로 요약해 볼 수 있는데 각 이슈와 관련된 최근 동향을 간략히 정리하면 다음과 같다.

첫째, 세계적인 에너지 소비 규제 움직임 및 환경친화성 제품에 대한 강조와 더불어서 저소비 전력형 백라이트에 대한 개발 움직임이 활발히 진행되어 왔다. 게다가 최근 모바일 IT 기기의 광범위한 확대에 따라서 휴대용 배터리의 용량과 기기 사용 시간에 직결이 되는 저소비전력 기술이 더욱 강조되고 있는 추세이다. 미국, 중국 등 시장 규모가 큰 나라들을 중심으로 TV의 전기종에 대해 소비전력을 규제하는 정책들이 잇달아 시행되면서 이를 반드시 만족해야 하는 LCD TV의 소비전력을 낮추기 위한 기술적 노력이 요구되고 있고 이는 LCD의 총 소비전력에서 가장 큰 비중을 차지하는 백라이트의 소비전력 저하 노력으로 이어져 왔다. 이러한 노력에는 LED 수의 저감, 광학시트의 개선, 국소 디밍(local dimming)과 같은 동적 구동의 적용 등이 포함되어 있다. 그렇지만, 소비전력 저감기술은 재료비와 트레이드 오프(trade off) 관계를 형성하는 것이 일반적이어서, 시장 및 고객사에서 요청하는 사항을 뛰어넘는 보다 파격적인 소비전력 감소 기술의 개발과 채택은 다소 제한적으로 진행될 것으로 예상된다.

둘째, LCD의 지속적인 가격 인하와 맞물려 백라이트의 저가격화 관련 기술도 지속적으로 개발되고 있다. 백라이트 내 부품 삭제를 통한 저가격화 기술의 개발과 적용은 LCD 산업의 수익률 확보를 위해 무엇보다 중요한 기술이다. 최근 TV, 노트북, 모니터, 태블릿 등 LCD 관련 모든 제품에서 엣지형 LED 백라이트가 채택되면서 백라이트 가격 구성 중 광원의 차지하는 비중이 상당히 높아졌다. 이에 따라 LCD 패널의 투과율을 개선하고 LED의 광량 증가를 통해 LED 백라이트에 포함되는 LED의 숫자를 낮추려는 노력이 이루어지고 있다. 이 때 LED 주변이 국소적으로 매우 밝아지는 핫스팟(hot spot) 혹은 휘점 형성의 문제를 해결하기 위해 광원의 배치 방식을 다양하게 변화시켜 왔다. 이에 더해서 광학 시트의 개수와 종류, 조합을 최적화해서 제품에 요구되는 휘도 사양을 만족하

면서 동시에 재료비를 낮출 수 있도록 개발이 진행되고 있다. 이뿐 아니라 복합시트의 개발을 통해 광학시트의 숫자를 줄이거나 도광판에 광학시트의 기능을 집적시키는 복합도광판 기술이 지속적으로 개발되어 왔고, 도광판 자체를 제거한 신기술의 개발도 일부 회사에 의해 추진되고 있다.

셋째, 2009년 초 초박형 LED TV가 등장한 이래 LCD의 디자인 차별화와 관련된 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 디자인 차별화 기술은 박형(slim)과 좁은 베젤(narrow bezel) 및 경량화의 기술로 대표될 수 있으며, 이것은 LCD 모듈 뿐 아니라 최종 제품에 직접적으로 반영이 되어 소비자의 제품 선택에 큰 영향을 미치는 중요한 요소이다. 책상에서 큰 부피를 차지하던 CRT 모니터를 대체해 온 LCD 모니터 제품에서는 디자인 차별화가 아주 심각한 기술요소로 부각되지는 않지만, 거실에서 장식용 가구와 비슷한 역할을 하는 TV나 휴대용 IT 기기인 휴대폰, 노트북, 태블릿 등에서는 LCD의 디자인이 매우 중요한 요소로 부각되어 왔다. 대형 LCD의 경우에는 베젤의 폭을 줄이기 위한 패널 및 백라이트가 꾸준히 개발되어 왔다. 특히 다수의 패널을 결합해서 대면적의 DID(Digital Information Display) 혹은 퍼블릭 디스플레이를 구현하기 위해서는 베젤의 폭을 줄여 패널 사이 비발광 영역을 줄이는 것이 매우 중요한 기술적 과제이다. 소형 LCD, 특히 휴대성이 강조되는 모바일 IT 기기의 경우에는 베젤의 폭을 줄이려는 노력 뿐 아니라 LCD 모듈의 두께를 줄여 초슬림 제품을 구현하려는 연구가 활발하다.

넷째, 백라이트용 신광원에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 아직까지는 냉음극형광램프(Cold cathode fluorescent lamp)를 광원으로 채택한 백라이트의 시장 비중이 가장 크지만 과거에 잠재적인 광원으로 여겨졌던 백색 LED가 이제는 백라이트용 광원의 주류로 자리 잡아가고 있는 중이다. 아울러 청색 LED와 형광체를 분리한 구조에 기반해서 형광체의 효율을 높이고자 한 백라이트 연구도 진행되고 있다. 평판형 형광램프처럼 한 때 새로운 광원으로 각광받았으나 시장 진입에 성공하지 못한 광원기술이 있었던 반면, 전계방출(field emission) 평면광원을 이용한 백라이트나 양자점(quantum dot)을 광원으로 활용한 백라이트 기술들은 아직도 일부 회사에 의해 개발이 진행되고 있다.

이 외에, 전통적으로 연구되어 온 백라이트의 동적 구동을 통한 동화상 화질의 개선 뿐 아니라 LCD의 시야각 화질의 개선을 위한 직진성 백라이트, 3D LCD용 백라이트 등 백라이트를 활용해 LCD의 화질 특성을 개선하기 위한 다양한 측면의 연구가 진행되고 있다. 이러한 사례들은 서론에서 강조한 것처럼 오늘날 백라이트가 단순한 조광 기능을 넘어서 LCD의 화상신호와 연동되어 화질 성능을 개선하는 능동적 부품으로 진화하고 있음을 보여주는 것이다.

Ⅲ. LCD 백라이트 기술요소별 동향 분석

1. 저소비전력 기술

LCD 소비전력의 대부분을 차지하는 것은 패널 보다는 백라이트 소비전력이며, 이 비중은 TV 제품과 같은 대면적으로 갈수록 더욱 커지기 때문에 LCD의 저소비전력화를 위해서는 백라이트 기술 개발이 매우 중요하다. 에너지 위기의 시대에 TV 가전제품의 소비전력이 점차 중요한 이슈로 부각이 되면서 저소비전력 제품이 또 다른 차별화 기술로 부각되고 있다. 또한 각국의 에너지 소비 및 CO_2 배출 저감에 대한 강제적 혹은 자발적 규제(미국 Energy Star 프로그램, 일본 省에너지 라벨 제도 등) 조처의 시행으로 가전제품의 소비전력에 대한 규제가 강화가 되고 있다. 이는 이머징(Emerging) 국가의 전력 공급 불안정이나 일본의 원전 사고 등의 국제적 환경 변화로 인해 TV 제품에 대한 친환경적인 측면(Green Product 기술, Eco-Friendly 기술)이 더 강조가 되고 있는 추세와 맞물려 있다. 이로 인해 LED TV로의 전환이 지속적으로 확대되면서 소비전력 규제가 앞으로도 강화될 것으로 예상되며, 이에 대응하기 위한 저소비전력 기술의 지속적인 검토 및 개발이 필요하다.

(1) LCD 패널의 광효율의 개선

저소비전력의 이슈는 LCD 패널과 결합된 백라이트의

단순한 광량 증가의 문제로 보기보다는 "투입된 전력 대비 LCD 패널 상의 최종 휘도를 어떻게 개선할 것인가?"의 관점에서 바라봐야만 하는 중요한 문제이다. LCD 패널 투과율의 지속적인 개선은 액정을 이용하는 LCD 구조에 대한 근본적인 개선이라는 점에서 매우 중요한 연구 주제임과 동시에 백라이트가 발휘해야 하는 성능 및 이를 위한 부품조합, 광학구조에도 심대한 영향을 미치는 요소라고 할 수 있다. 특히 칼라필터를 제거한 Field Sequential LCD와 같은 혁신적인 기술의 적용을 위해서는 빠른 응답시간을 가지는 액정 모드의 개발 뿐 아니라 삼원색을 순차적으로 구동할 수 있는 백라이트의 개발이 필수적이다.

(2) 광학시트의 광효율 개선

백라이트 내에는 DBEF(dual brightness enhancement film)으로 대표되는 반사형 편광판, 대표적 집광 시트인 프리즘시트, 확산시트, 반사시트 등 다양한 광학시트가 포함되어 있고, 이 시트들은 광효율이 높아질수록 비용이 올라가는 경향성을 갖기 때문에 가격과 성능이 트레이드 오프인 관계를 형성한다.

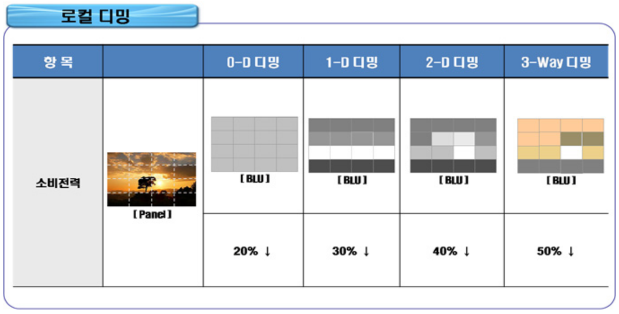
대표적인 반사형 편광판인 DBEF는 LCD 의 흡수형 편광판에 의해 손실되는 편광성분을 편광재생(polarization recycling)이라는 과정을 통해 살려내는 시트로써 LCD의 광효율 개선에 매우 효과적이며 다른 특성의 저하 없이 적용 가능한 중요 부품이다.[3] 그렇지만 가격적인 측면의 부담으로 인해 DBEF를 제거한 광학시트의 조합을 채택하거나 콜레스테릭 액정이나 wire grid 편광판 혹은 복굴절 광섬유 등을 활용한 새로운 반사형 편광판에 대한 연구도 진행되고 있다.[4]

프리즘 시트와 확산시트는 기판 위의 프리즘 패턴 혹은 확산시트 상면의 패턴 형성에 쓰이는 수지의 굴절율 상승, 표면 패턴 특성의 변경 등을 통해 매년 3~5% 정도씩 광효율이 개선되고 있다. 또한 광원 및 광원 배치의 변화에 맞추어 시트 조합을 최적화함으로써 백라이트의 효율을 개선하고 있다. 그런데, 집광시트들을 통해 백라이트의 효율을 개선하는 방법은 모든 시야각 방향에 대해 광효율을 올리는 것이 아니라 고시야각의 측면광을 정면 방향으로 보내어 수직 방향의 휘도를 향상하는 것이 일반적이다. 따라서 고집광 구조를 가지는 백라이트를 채택한 LCD는 최종 패널 상에서 측면이 어두워지는 시야각 특성을 가질 가능성이 높으므로 이러한 특성 저하를 개선할 수 있는 최적 설계가 함께 이루어 져야 한다.

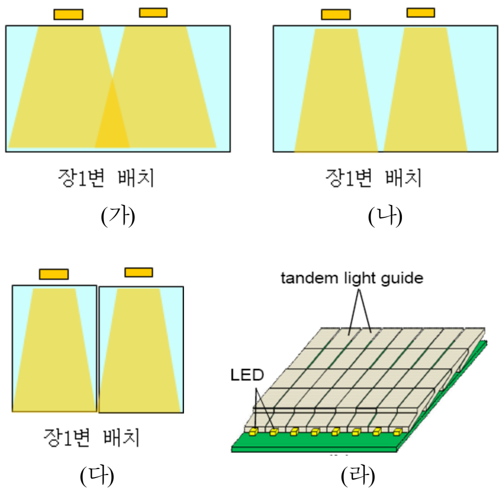
(3) 백라이트의 동적 구동

단순한 조광 기능만을 담당하는 백라이트는 항상 100% 점등된 상태를 유지한다. 백라이트의 동적 구동이란 LCD의 화상 신호에 연동되어 위치별로 백라이트를 분할 구동함으로써 영상신호와 상관없이 일정하게 백라이트를 켜주는 방식과 대비해서 30%~50% 까지 소비전력 절감이 가능한 기술을 의미한다. 국소 디밍 혹은 로컬디밍이라고도 불리는 이 방법은 패널의 하단에 다수의 광원을 위치별로 배치하여 영역별 구동이 가능한 직하형 백라이트 구조에서 많이 검토 되었다. 이러한 국소 디밍은 CCFL(cold cathode fluorescent lamp)와 같은 직관형 램프를 적용하는 경우에는 일차원 디밍기술을, LED 를 적용하는 경우는 이차원 디밍 기술을 적용할 수 있다. 만약 광원이 RGB LED처럼 삼원색으로 분리 구동할 수 있는 경우에는 화상신호의 RGB 영상신호 비율에 맞추어 백라이트를 구동하는 칼라 디밍(3차원 디밍, 혹은 3-Way 디밍)을 통해 추가적인 소비전력의 감소가 가능해진다.[5]

그렇지만 현재와 같이 주로 엣지형 LED 백라이트가 LCD에 적용되는 상황에서는 도광판의 측면에 광원이 배치되기 때문에 위치별 LED 광원의 제어가 힘들게 되어 2차원 디밍은 불가능하고 1차원 디밍만 가능하다. 1차원 디밍을 채택하는 경우에도 유도되는 빛에 일정한 방향성을 부여하는 패턴이 도광판의 표면에 형성된 기법을 적용해야만 패널 화질의 저하 없이 저소비전력 효과가 충분히 나타난다. [그림 3](가)와 같이 일반적인 도광판을 쓰는



[그림 2] 로컬디밍의 구분 및 소비전력 저감 예상치[5]



[그림 3] LED가 장1변으로 배치된 엣지형 백라이트에 대해 (가) 일반 도광판 (나) 표면에 패턴이 형성된 도광판 (다) 분할 도광판 내에서 LED의 빛이 유도되는 모습에 대한 개략도 (라) (주)샤프에서 제안한 타일형 도광판 적용 백라이트의 한 예로써 2차원 디밍이 가능[6]

경우에는 한블럭의 광원에서 나온 빛이 다른 블록에서 나온 빛과 일정 거리를 지나게 되면 중첩되는 영역이 발생하면서 국소 디밍의 효과가 감소하고 패널 구동 시 화질 저하가 수반된다.

이를 해결하기 위해서 도광판의 상면에 렌티큘라(Lenticular) 패턴, 프리즘 패턴, 혹은 변형된 일차원 패턴을 빛의 진행하는 방향과 평행하게 구현하거나([그림 3] (나) 참조) 도광판 자체를 분할하는 방법 등을 통해서([그림 3] (다) 참조) 영역별 빛의 중첩을 줄여서 국소 디밍의 효과를 증진시킬 수 있다. 게다가 작은 크기의 도광판을 모자이크 식으로 결합하여 2차원 디밍이 가능하도록 설계한 백라이트도 제안되고 있다.[6]

2. 저가격화 기술

(1) 광이용 효율의 증가

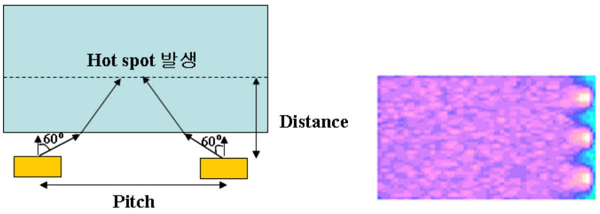
광효율의 개선은 백라이트의 부품 감소로 직결될 수 있기 때문에 저소비전력 기술과 저가격화 기술은 불가분의 관계에 있다고 볼 수 있다. 패널 기술의 진보와 더불어 투과율이 개선됨과 동시에 LED 광원의 효율이 지속적으로 증가하면서 이러한 개선이 LCD 백라이트의 재료비 감소로 이어 질 수 있다. 대략적으로 매년 패널 투과율이 10%~20%씩 증가하고 동시에 LED의 효율 개선이 10%~20% 정도씩 이루어지고 있기 때문에, 매년 평균적으로 30% 의 효율 상승을 재료비 절감으로 이용할 수 있다. 재료비의 감소를 위해서는 LED의 개수는 유지하면서 광학시트의 조합을 바꾸는 등 광원 이외의 부품에서 재료비를 낮추는 방법과 LED 개수 자체를 줄이고 백라이트의 구조를 이에 최적화시키는 방법으로 구분해 볼 수 있다.

(2) 시트 조합 변경에 따른 저가격화 기술

LCD 제품에 적용되고 있는 광학시트의 가격 수준은 DBEF>프리즘시트>확산시트~반사시트의 순이며, 제품의 종류와 패널 투과율 등에 따라서 백라이트에 요구되는 휘도, 소비전력 및 시야각 특성이 달라지게 된다. 광효율이 증가할수록 가격이 낮은 시트 조합으로 변경하여 가격을 낮추려는 노력을 하게 되는데, 가령 반사형 편광판인 DBEF에 의한 효율 상승은 프리즘시트 대비 30% 정도이나, 독점적인 공급 구조로 인해 가격은 2배 이상 높기 때문에 DBEF 삭제 구조의 적용은 저가격화에 있어서 상대적으로 큰 의미가 있다고 볼 수 있다. LED TV 제품의 경우에는 2009년 초 도입된 이후 지속적으로 “DBEF+프리즘시트+확산시트” 구조를 적용하였으나, LCD 모듈 업체 및 세트 업체에서는 올해 초부터 “보호시트+프리즘시트+확산시트”를 기본구조로 적용하기 시작하였고 이 구조가 점차 확대되고 있는 추세이다. 패널 투과율이 상대적으로 높은 TN(twisted nematic) 모드가 적용된 LCD 패널이 채택되어 있는 모니터/노트북 제품에서는 DBEF 삭제 구조가 백라이트의 주력 구성이지만, 일부 저소비전력형의 고사양 모델에서는 DBEF가 아직 사용되고 있다. 또한 태블릿 제품의 경우에는 모바일 기기가 갖추어야만 하는 저소비전력 사양으로 인해서 DBEF 적용 구조가 보편적으로 쓰이고 있으나, Display 업계 내에서는 프리미엄 시장이던 태블릿 제품군의 저가 경쟁이 심해짐에 따라 이들에 대해서도 DBEF 삭제 노력을 지속적으로 하게 될 것으로 예상하고 있다.

(3) LED 개수 절감에 따른 저가격화

LED의 광효율이 상승함에 따라 이만큼 LED의 개수를

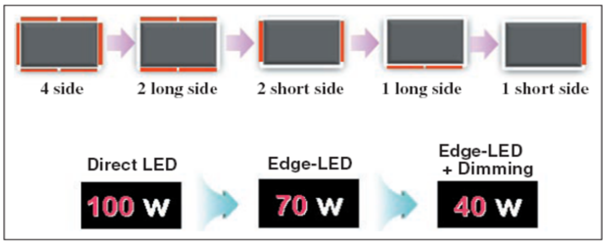


[그림 4] LED 엣지형 백라이트 내 휘점 발생 인자에 대한 개략도(왼쪽) 및 LED에 의해 발생하는 휘점 현상을 나타내는 광선 추적 시뮬레이션 결과[7]

줄임으로써 재료비 절감 효과를 기대할 수 있다. 다만 LED 개수가 줄어들게 되면 점광원이라는 LED의 특성으로 인해 도광판 상에 휘점(hot spot)이 형성하는 문제가 발생할 수 있다. 휘점은 [그림 4]와 같이 LED 간 피치가 길수록, LED와 디스플레이 표시 영역까지의 거리가 짧을수록 쉽게 발생하게 된다.

이와 같은 휘점 문제로 인해 도광판의 측면에 배치되는 LED 개수가 감소할수록 디스플레이의 단변 쪽으로 LED의 위치를 변경하면서 피치를 줄여 휘점 발생을 억제한다. LED TV 의 경우는 LED의 효율 향상에 따라 LED 의 배치가 초기의 4변 배치에서 장 2변 배치, 장 1변 배치, 단 2변 배치 등으로 변경되면서 LED 광량이 이차원적으로 고르게 분포될 수 있도록 진화해 왔다. 모니터, 노트북, 태블릿의 경우도 모두 엣지형 백라이트를 쓰는 이상 이와 같은 추세는 대동소이하다.

LED의 배치 변화를 고려해서 고출력 LED 패키지를 개발하는 기술 또한 백라이트에 있어서 매우 중요한 기술 개발의 요소가 된다. LED의 개당 광량을 올리기 위해서는 이전의 저출력 LED용 패키지에 적용되었던 구동 전류에 비해서 더 높은 구동 전류에서도 요구되는 수명을 보장할 수 있는 고광량 패키지가 개발되어야 한다. 이를 위해서는 고전류 밀도에 대해서도 안정적인 특성을 발휘하는 대면적 LED 칩을 적용하고 아울러 칩의 실장, 리드프레임(Lead frame) 구조 등이 방열의 측면에서 유리한 구조를 가지는 패키지가 설계되어야 하고 동시에 몰드 구조가 열적으로 안정적인 구조를 가질 수 있어야 한다.

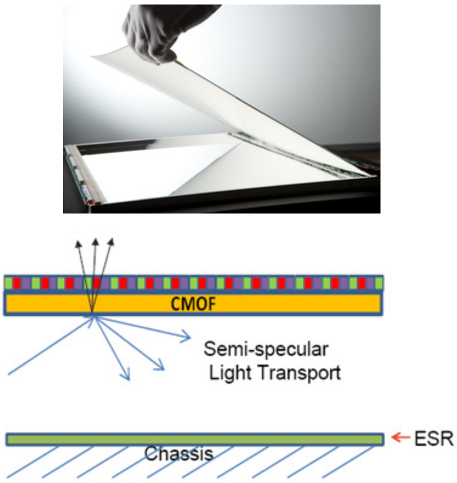


[그림 5] 엣지형 백라이트에서 LED의 배치 변화 트렌드 및 백라이트 구조와 구동방식에 따른 소비전력 감소 경향을 표현한 개략도[8]

(4) 무도광판 백라이트

도광판은 엣지형 백라이트에서 매우 높은 가격 비중을 차지하고 있고 아울러 무게 비중도 제일 높다. 대형 백라이트에서 도광판을 제거할 수 있다면 가격적인 측면 뿐 아니라 경량화의 면에서도 매우 혁명적인 기술 혁신이 될 것으로 예상된다. 최근 (주)엘지이노텍을 비롯한 일부 회사에서 무도광판 방식의 백라이트를 개발했다는 소식이 신문 지면을 장식한 것처럼 도광판이 제거된 백라이트 구조가 현실화할 가능성이 높아졌다.

가령 3M사가 최근 보고한 무도광판 백라이트의 구조를 보게 되면([그림 6] 참조) 도광판의 자리를 공기층이 차지하고 있고 아랫면에는 반사판이, 윗면에는 확산, 집광, 편광재생의 기능을 모두 담당하는 소위 CMOF(Collimating Multilayer Optical Film)이 LCD 패널의 후면에 부착되어 자리 잡는다.[9] 아랫면의 반사판은 매우 높은 반사율을 가지도록 설계되어 있고 CMOF는 빛의 확산, 집광, 편광재생 등 기존의 광학필름이 수행하던 기능들을 모두 통합



[그림 6] 3M사의 Air-Guide 백라이트의 구조[9]

해서 담당하도록 디자인되었다고 한다. 이러한 구조가 현실화된다면 LCD의 경량화, 저가격화 및 저소비전력화에 있어서 매우 혁신적인 도약이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

3. 디자인 차별화 기술

박형화 기술은 모바일 기기, 노트북, 모니터, TV 등 디스플레이 전반에 걸쳐서 나타나고 있는 기술적 트렌드이며, 특히 TV 제품에 있어서는 벽걸이 TV와 같이 가구 제품으로써의 특성이 강조되면서 지속적인 개선이 이루어지고 있다. 게다가 OLED의 대형화에 따른 디스플레이간 박형화 경쟁으로 인해 각 LCD TV 회사들은 박형화 제품을 경쟁적으로 출시하고 있다. 대형 LCD 모듈의 슬림화에 있어서 가장 극적인 전환점은 LCD TV에 대해 핑거 슬림(Finger slim)이라는 광고를 내세우며 출시된 LED TV로의 전환이었다. LCD TV용 백라이트가 직하형 CCFL 백라이트의 구조에서 엣지형 LED 백라이트로 전환되면서, TV 세트의 두께가 70mm~80mm(모듈 두께 약 40mm) 수준에서 30mm~40mm(모듈 두께 11mm) 로 대폭 감소하는 슬림화가 이루어졌다.

좁은 베젤을 구현하는 기술은 노트북이나 모바일 기기 등에 있어서 동일한 세트 크기에서도 더 넓은 디스플레이 창을 구현할 수 있다는 장점 때문에 매우 중요한 기술로 인식되어 왔으며, 최근에서는 스마트 TV 제품의 광고에서 보듯이 대형 TV 에서도 5mm 대의 베젤로 광고를 하는 등 LCD 전제품에 있어서 디자인 차별화의 중요한 요소로 부각되어 왔다. [그림 7]은 최근 개발되어 판매되고 있는 삼성과 엘지의 LCD TV 광고 사진들로써 박형과 좁은 베젤을 강조하고 있다.

[그림 7] 박형과 좁은 베젤을 강조하는 LG와 삼성의 LCD TV 광고 사진들

(1) 박형화 기술

엣지형 백라이트 기술이 적용되는 LED 백라이트 구조의 박형화를 위해서는 도광판 두께의 박형화 및 이에 따른 신규 LED 패키지의 개발이 요구된다. 전체 LCD 모듈 두께의 30~50% 를 차지하는 것이 도광판이며, 이는 단일 부품으로서 가장 많은 두께가 차지하고 있기 때문에 LCD 제품의 박형화를 위해서는 도광판 두께의 축소가 필수적이다. 노트북이나 모바일 제품의 경우에는 도광판의 두께를 기존의 1~2t 두께의 판형(plate type)으로부터 0.5~1.0t 두께의 필름에 가까운 구조로 변화시키기 위해 다양한 기술 개발이 진행이 되고 있다.

박형화 개발 시에는 불가피하게 광량의 감소나 모듈 신뢰성의 감소와 같은 문제점들이 수반되며, 이를 극복하는 것이 기술 개발의 포인트가 된다. LED 패키지의 두께가 감소하게 되면 신뢰성을 확보하기 위해서 구동 전류를 감소시킬 필요가 있기 때문에 광원 자체의 광량이 줄어들게 되고, 아울러 LED 패키지와 도광판을 정렬할 때에 발생하는 광량 손실이 박형화가 되면서 더 커지기 때문에 추가적인 광량 감소가 발생할 수 있다. 게다가, 박형 도광판에서는 기존의 도광판보다 더 미세한 패턴을 사용하게 되는데 이로 인해 광학적인 측면에서 도광 거리 대비 출광량이 감소하는 손실도 있다. 모듈 신뢰성 감소는 동일 면적에서 도광판의 박형화가 진행됨에 따른 열적, 기계적 안정성의 저하와 관련이 있다. 즉 도광판의 두께가 줄어듦에 따라 고온, 고온/고습에서의 변형이 더 심해지고, 백라이트를 외부에서 지지하는 기구 구조의 박형화도 동시에 이루어짐에 따라 진동/충격 등에 대한 기구 신뢰성이 저하하면서 백라이트 내에서 다양한 문제를 야기하게 된다. 이러한 모듈 신뢰성의 저하는 대형 LCD로 갈수록 더 심각해지기 때문에 대면적 LCD의 박형화를 위해서는 반드시 극복해야만 하는 기술 이슈로 부각되어 왔다.

(2) 베젤 폭의 감소

엣지형 백라이트 구조에서는 LED가 측면에 배치되기 때문에 베젤의 폭을 줄이게 되면 LED로부터 도광판에 입사되는 부위에서 다양한 광학적 문제가 발생하게 되고

그 외에 패널과 백라이트를 고정하는 구조가 취약해짐에 따른 문제점도 생기게 된다.

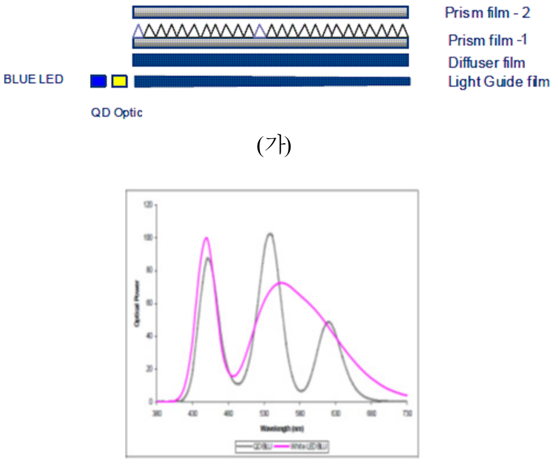
베젤의 폭을 줄이게 되면 LED와 디스플레이의 표시 영역 간 거리가 짧아지게 되면서, 휘점, 입광부의 빛샘 등 LCD 입광부의 표시 품질 문제가 커지게 되어 이에 대한 광학적, 기구적 대응책을 강구하여야 한다. 그 외에도 패널을 잡아주는 외부 샤시류 등의 두께도 함께 감소되기 때문에 패널이 빠지는 등의 문제가 발생할 가능성이 높아지게 되고, 이는 베젤폭을 줄이는 기술을 개발할 때에 항상 고려해야 하는 중요한 요소가 된다.

4. 신광원 기술

2000년대 중반에 접어들면서 LCD의 대형화가 본격적으로 이루어지기 시작함에 따라 LCD용 광원 역시 기존의 CCFL을 보다 효율이 좋고 장점을 가진 광원으로 대체하기 위한 연구 개발 노력이 이루어졌다. 평판형 형광램프, 무수은 램프, OLED형 램프 등 다양한 광원들이 개발되었으나 CCFL의 기술적 개선과 저가격화가 급속히 이루어짐에 따라 대부분 상용화의 문턱을 넘지 못하였고 반도체 광원인 LED만 본격적인 상용화의 길에 접어들었다. 위에 거론된 광원들 이외에 최근 개발되고 연구되고 있는 광원의 기술동향을 간략히 서술하고자 한다.

(1) 양자점 백라이트 기술

양자점(Quantum dot)은 보통 수nm의 직경을 가지는 반도체 나노 결정이 코어(core)를 구성하고 바깥에 안정성 및 디자인 자유도를 주기 위한 껍질(shell) 및 캡(cap)을 형성한 구조를 가지는데, 코어가 형성하는 양자우물의 크기에 의해 에너지 준위가 결정되기 때문에 이에 따라 발광색이 결정되고 좁은 발광 스펙트럼이 형성되므로 뛰어난 색 품질과 높은 전력 효율이 기대되는 차세대 소자이다. 양자점은 형광체의 발광스펙트럼에 비해 훨씬 폭이 좁은 스펙트럼을 방출하기 때문에 삼원색 빛의 색순도가 높아지고 이에 따라 넓은 색재현성을 구현하는 데 있어서 매우 유리한 백라이트 기술이라 할 수 있다. 양자점을 이용해 백색을 구현하는데 있어서 양자점에 대한 여기광은 백색LED와 동일하게 청색LED를 사용할 수 있다. 여기에 노랑색을 방출하는 양자점 혹은 녹색-적색을 방출하는 두



(가)

(나)

[그림 8] (가) QD Vision사에서 제시한 양자점을 활용한 엣지형 백라이트 구조의 단면도 (나) 적녹 양자점과 청색 LED가 결합된 백색 광원의 스펙트럼과 기존의 백색 LED 스펙트럼을 비교한 그래프[10]

종류의 양자점을 조합하게 되면 청색과 노랑 혹은 청색과 녹색-적색의 혼합색으로써 백색이 구현된다. [그림 8](가)는 QD Vision사에서 제시한 양자점을 활용한 엣지형 백라이트 구조의 단면도이다.[10] 도광판의 측면에 청색 LED를 배치하고 여기에서 방출되는 청색 광자들이 도광판에 입사되기 전에 노랑색 양자점을 거치도록 디자인되어 있다. 노랑색 양자점 대신 녹색-적색 양자점이 사용될 경우에는 [그림 8](나)처럼 비교적 날카로운 삼원색 피크로 이루어진 스펙트럼을 구혀할 수 있어 NTSC 대비 100%를 초과하는 높은 색재현성을 얻는 것이 가능해진다. 양자점 백라이트는 QD Vision 뿐 아니라 국내 일부 회사에서도 개발되고 있는 상황이지만, 상용화의 문턱을 넘기 위해서는 수명신뢰성의 확보, 효율의 추가 향상, 저가격화 등의 이슈를 해결해야만 한다고 판단된다.

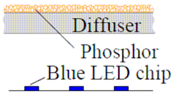
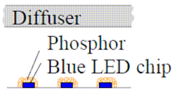
(2) 전계방출 평면광원

전계 방출 디스플레이(Field Emission Display, FED)가 디스플레이로서 시장 진입에 실패하면서 그에 대한 대안으로 LCD용 백라이트 및 x-ray 광원 기술로 응용하기 위한 연구가 진행되어 왔다. 삼성종기원과 삼성전자는 잘 분산된 CNT(Carbon NanoTube) 페이스트를 전자방출원으로 사용한 백라이트에 대해 연구를 해 왔는데, 연구의

한 축은 이 전자방출원의 제조공정을 더 효율적이고 값싸게 바꾸고 전자방출원의 신뢰성을 높이는 것과 관련되어 있었다.[11] 이 기술은 박형의 디자인과 2차원 디밍과 관련된 높은 자유도로 인해 상용화 여부에 대해 높은 주목을 받아 왔다. 그렇지만 최근 전계방출 백라이트의 구동에 필요한 높은 구동 전압(~ 15kV)과 기존 백라이트에 대비한 가격경쟁력의 저하로 인해 백라이트용 광원으로 개발하는 대신 콤팩트 x-ray 광원기술로 응용하기 위한 연구개발로 전환하려 한다는 얘기가 들린다.

이상 열거한 신광원 기술 이 외에도 색변환필름인 형광체 쉬트를 기반으로 한 LED 백라이트 기술과 관련된 연구도 소니를 비롯한 몇 회사를 중심으로 이루어지고 있다.[12] 형광체가 보이는 특성 중에는 온도가 상승하면 형광체의 효율이 떨어지는 “thermal quenching”과, 여기광의 밀도가 높아지면 효율이 감소하는 “luminance saturation”이 존재하는데, 소니는 이러한 특성이 가지는 부정적인 효과를 극복하기 위한 방안으로 청색 LED와 형광체 쉬트를 조합한 새로운 구조의 백라이트를 제안하였다. [그림 9]에 기존의 LED 직하형 백라이트와 소니가 제안한 백라이트의 구조 및 특성들이 정리되어 있다.

LED칩과 형광체가 결합되어 있는 기존 구조의 경우에는 칩의 온도가 올라가면 형광체의 온도도 동시에 상승할 뿐더러 칩에서 발생하는 여기광의 밀도가 높은 곳에 자리 잡고 있기 때문에 “thermal quenching”과 “luminance saturation” 효과가 심해져 효율이 떨어진다. 반면에 확산판 위에 형광체막을 형성하는 경우에는 온도 및 여기광 밀도에 의한 효과가 매우 크게 감소함으로써 형광체의 효율 감소를 막을 수 있다. 소니는 YAG($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$)형광체를 이용한 테스트 결과로부터 YAG 형광체의 효율은 20% 정도, 백라이트 상의 전체 효율은 10% 정도 상승하였다는 실험 결과를 제시하였다.[12] 그렇지만 형광체의 도포 면적 및 양이 증가함에 따른 비용 상승 및 시야각에 따른 색도 편차가 실질적인 상용화에 있어서 걸림돌이 될 가능성이 존재한다.

	BLU with a phosphor sheet and blue LEDs	BLU with conventional white LEDs
Structure		
Phosphors that can be used	Corrosive phosphors can be used	Use of corrosive phosphor is problematic
Efficiency	Low thermal quenching and low luminance saturation of phosphor	High thermal quenching and high luminance saturation of phosphor
Phosphor thickness uniformity	Uniform over sheet	Fluctuates between LEDs

[그림 9] 기존의 LED 직하형 백라이트(오른쪽)와 소니가 제안한 형광체-분리형 백라이트의 구조(왼쪽) 및 특성들[12]

Ⅳ. 결 론

본 기고에서는 LCD용 조명장치인 백라이트의 최신 기술동향에 대해 저소비전력, 저가격화, 디자인 차별화, 신광원 기술 등을 중심으로 개괄적으로 살펴보았다. 백라이트 기술은 채택되는 부품의 종류와 방식에 따라 매우 다양하게 변모하면서 LCD의 각종 기술 트렌드에 맞춰서 이들의 경쟁력을 높일 수 있는 방향으로 적용될 수 있고, 경우에 따라서는 LCD의 제품 특성을 완전히 바꾸어 놓을 수도 있다. 그 동안 광원 측면에서는 CCFL과 LED의 전환 과정에서, 광학필름의 측면에서는 고가의 광학필름의 삭제 및 복합필름의 적용 과정에서, 구조적인 측면에서는 직하형/엣지형 구조의 변화 과정에서 LCD는 매우 커다란 변모를 거쳐 왔다. 이러한 질적인 변화와 기술적 진화가 반영되면서 LED TV, 스마트폰, 태블릿 PC 등 새로운 제품군이 탄생하는 원동력이 형성될 수 있었던 것이다.

최근 LCD의 위기는 기술적 도약을 필요로 하는 또 다른 기회가 될 수도 있을 것이다. LCD 패널과 백라이트 분야에서 나타날 새로운 기술 혁신과 시너지는 이러한 LCD의 위기를 극복케 할 것이고, 가격과 성능의 측면에서 여타 디스플레이와의 격차를 유지하면서 최고의 평판 display로서의 위상을 당분간 계속 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] LCD Backlights, edited by S. Kobayashi et al. (John Wiley & Sons, Atrium, 2009).

[2] 권진혁, 'LCD Backlight Optics', KIDS Display School (2010).

[3] P. Watson and G. T. Boyd, Mobile Displays, edited by A. K. Bhowmik et al. (John Wiley & Sons, Atrium, 2008), Chap.7, p.211.

[4] J. R. Park, G. Ryu, J. Byun, H. Hwang, S. T. Kim, and J. Kim, *Opt. Rev.* 9, 207 (2002).

[5] 김형걸, 'LED BLU 기술 개발 현황', 차세대 디스플레이 워크샵 (2009).

[6] T. Matsuda et al., *IDW'09 Tech. Digest*, 1858 (2009).

[7] 이정호, 남기봉, 고재현, 김중현, *한국 광학회지* 21, 61 (2010).

[8] J. Souk and S. Whangbo, *Information Display*, 11&12, 4 (2010).

[9] J. Wheatley, *SID'11*, Presentation File (7.2).

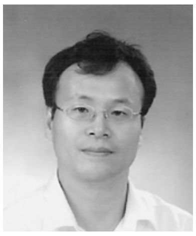
[10] S. Sadasivan et al., *IDW'10 Tech. Digest*, 1590 (2010).

[11] Y. C. Kim et al., *IDW'10 Tech. Digest*, FED 1-1 (2010).

[12] R. Kasegawa et al., *IDW'09 Tech. Digest*, 1001 (2009).

저 자 약 력

고 재 현



- 1992년 : 서울대학교 물리학과 학사
- 1996년 : 한국과학기술원 물리학과 이학 석사
- 2000년 : 한국과학기술원 물리학과 이학 박사
- 2000년~2003년 : University of Tsukuba, Institute of Materials Science, Research Associate
- 2003년~2004년 : (주)삼성코닝, 책임연구원
- 2004년~현재 : 한림대학교 전자물리학과 교수
- 2004년~2007년 : (주)삼성코닝, 기술고문
- 관심분야 : LCD backlight, Optical simulation, Inelastic (Raman/Brillouin) light scattering spectroscopy of condensed matters, Ferroelectrics and relaxors