

LCD 대화면화에 따른 CCFL의 기술개발 방향

김중현 · 황인선(삼성전자(주), LCD 총괄 연구소)

1 머리말

현재 FDP(Flat Panel Display) TV 시장에는 PDP(Plasma Display Panel), DLP(Digital Lighting Processing), LCD(Liquid Crystal Display) 등 다양한 방식의 display들이 CRT를 대체하기 위해서 치열하게 경쟁하고 있다. 그 중에서 LCD는 고화질, 저소비전력 등의 장점으로 TV 시장을 주도할 것으로 보고 있으며, 사이즈도 주력 size가 30(inch)대에서 40(inch)대로 옮겨 가는 등 대형화로 빠르게 진행되고 있다. 그동안 LCD TV의 약점으로 지적되는 동영상 구현, 시야각에 따른 색상차이 등의 화질 특성은 최근 크게 개선이 되고 있으며, LCD mother glass 대형화 및 공정 최적화로 LCD panel의 가격 인하도 급격하게 이루어지고 있다. 반면 Backlight Unit(BLU)의 경우 대형화에 따른 새로운 기술 개발이 늦어져, 그림 1과 같이, 전체 module 가격에서 차지하는 가격 비중이 점점 더 높아지고 있으며, 이로 인해 BLU 기술 혁신이 LCD TV의 시장확대의 중요한 요소가 되고 있다. 또한 LCD가 TV 시장에 진입하면서 monitor나 notebook PC 등에서 요구되는 특성에 비해서 고효율, 고휘도, 고색재현성, 장수명 등의 측면에서 더욱 높은 특성이 요구되고 있지만, 더불어서 가격 인하의 요구도 높아서 새로운 기술 혁신이 더욱 필요하다. 그

래서 기존 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp) 광원 이외에, EEFL(External Electrode, FFL(Flat Fluorescent Lamp), LED, CNT Backlight 등 다양한 형태의 광원들이 각기 장단점을 가지고 BLU의 광원으로서 기술 개발 및 경쟁을 하고 있다. 이와 같은 경쟁 체제에서 기존 광원으로 이용되고 있던 CCFL도 기술 개발 속도가 더 빨라지고 있다.

본 논문은 최근 이와 같은 CCFL의 기술 개발 동향을 몇 가지 측면에서 소개하고자 한다.

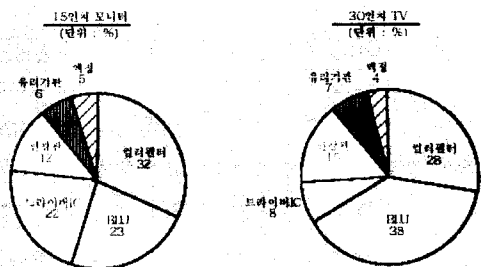


그림 1. LCD 모듈 재료비 내 부품 원가 비중

2. 본 문

2.1 Lamp의 장척화

LCD monitor나 Notebook PC 등에 주로 쓰이

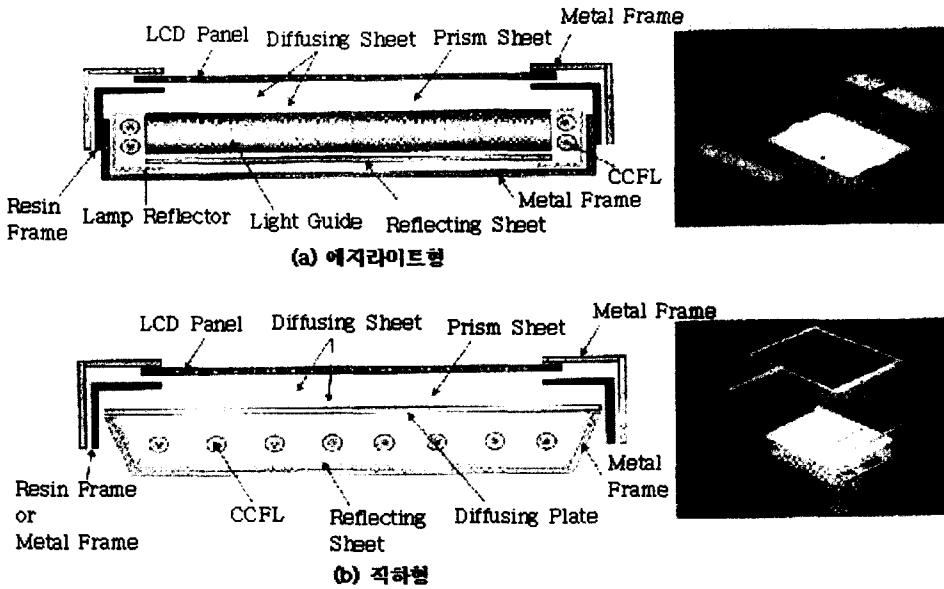


그림 2. 백라이트의 라이팅 방식

는 Edge light형 BLU와는 달리 TV와 같이 고휘도를 요구하는 제품에서는 직하형(direct type or multi tube type) 방식이 사용된다(그림 2). 직하형에서는 그림 2에서와 같이 lamp가 일정한 방향으로 배치가 되고 그 위에 확산판에 의해서 lamp의 배열에 따른 명암의 휘도 분포가 균일한 형태로 바뀌게 된다. lamp의 갯수는 확산판의 확산 정도, lamp와 확산판과의 거리(LCD 모듈의 두께), lamp와 lamp간 거리에 의해서 결정이 된다. 따라서 lamp를 1~4개 정도 쓰는 Edge light형에 비해서 lamp의 개수가 많은데, CCFL의 경우 병렬 구동이 어렵기 때문에 lamp의 숫자와 동일한 개수의 inverter가 필요하다. 대형 LCD TV의 경우 한 module에 40여 개의 CCFL 램프와 inverter unit을 사용하기도 한다.

저압 gas discharge 램프의 경우, lamp가 장형화가 되면 발광효율이 높은 양광주(positive column) 영역 증가로 광효율이 증가하며[1], lamp 개수 감소 및 inverter 감소 등의 원가 절감 효과를 얻을 수 있

다. 반면 lamp 내벽에 형광체를 coating하면서 불균일도가 증가하기 때문에 휘도 및 색좌표 균일도가 감소하고 방전 길이가 증가하면서 구동전압이 상승해서 램프와 주변 도체간의 상호작용(interaction)이 증가하고 inverter 효율이 감소하는 등의 어려움이 발생한다. 최근 lamp 제조 업체에서는 균일도가 확보된 CCFL이 1400(mm) 길이까지 제조가 가능하며, 긴 길이를 이용하여 램프 tube를 U자 형으로 함으로써 램프 및 인버터의 개수를 절반으로 줄일 수 있다. U자형 lamp를 이용한 BLU 구조는 그림 3과 같이 일자형 lamp를 가운데 구부려서 lamp 두 개의 길이를 하나의 lamp로 대체하는 구조이다. 따라서 U자형 lamp를 채용하면 lamp의 개수와 inverter 개수를 반으로 줄이는 것이 가능하다. 1400(mm) 정도의 일자형 lamp가 제조가 되는 경우 U자형은 32" size 까지 제작이 가능하기 때문에 20인치급부터 32인치급의 TV까지 적용 가능하다(그림 4).

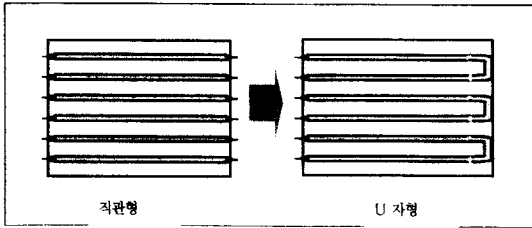


그림 3. CCFL lamp의 직관형과 U자형 비교

Panel Maker	Panel Size	15 inch	17 inch	19.1 inch	20.1 inch	21.1 inch	21.5 inch	21.5 inch	23.1 inch	25.1 inch
		4 or 6	10-12	12-14	14-16	20	22-25			
U자형			5-6	6-7	7-8					

그림 4. 각 인치 별 직관형 lamp의 개수와 대치 가능한 U자형 lamp의 개수

2.2 Lamp의 세경화

각각 CCFL maker는 다양한 application에 대응할 수 있도록 다양한 관 지름을 라인업($\phi 1.6 \sim 5$ (mm))했다. 이 중에서 대형 TV용으로는 광속량, 램프 전압, 수명, 기계적 강도 관점에서 외경 3(mm) 이상인 관 지름이 채용되는 것이 일반적이다.

그림 5와 그림 6은 CCFL 16개 사용한 30인치 백라이트에서 휘도와 광효율의 관 지름에 대한 의존성을 보여 준다. CCFL 샘플은 현재 메이커가 표준품으로 취급하고 있는 3종류(① 외경 $\phi 3.0$ (mm), 내경 $\phi 2.0$ (mm), ② 외경 $\phi 3.0$ (mm), 내경 $\phi 2.4$ (mm), ③ 외경 $\phi 4.0$ (mm), 내경 $\phi 3.0$ (mm))로 했다. 휘도의 소비전력에 대한 경향을 보았을 때 내경이 작을수록 휘도가 높고 그 차이가 소비전력이 높을수록 줄어드는 경향을 보이며 120(W) 근처에서 유사해진다. 광효율 또한 내경이 작을수록 크고, 소비전력이 높은 영역에

서 효율 감소가 급격함을 할 수 있다. 이는 관경이 클수록 내부 plasma 중 여기된 수소에서 발생하는 UV가 전류밀도나 온도에 대해서 포화를 이루는 점이 커지기 때문이다.

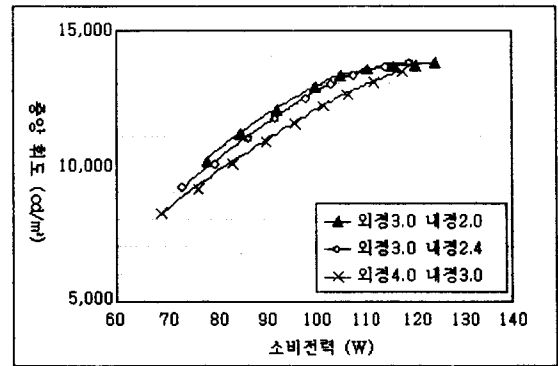


그림 5. 각 관경의 경우에 소비전력 변화에 따른 휘도

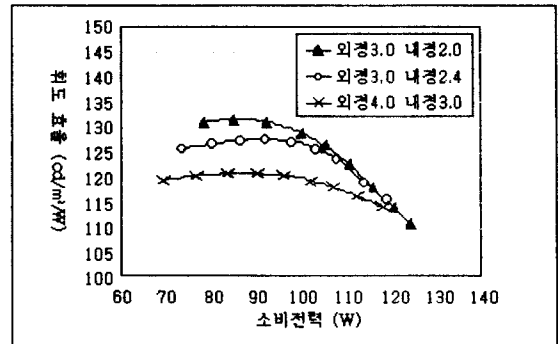


그림 6. 각 관경의 경우에 소비전력 변화에 따른 휘도 효율

실제 사용 조건에서의 소비전력은 약 90(W) 부근 영역이므로 외경 $\phi 3.0$ (mm), 내경 $\phi 2.0$ (mm)인 경우에 휘도와 광효율에 장점을 가진다. 하지만 램프 전압 상승으로 인한 인버터에 대한 부담 증가, 전극 크기 소형화 및 형광체 열화로 인한 수명 저하, 조립 핸들링성 악화가 불리한 요소로 최적의 선택이라고는 단언할 수 없다. 한편 외경 $\phi 4.0$ (mm), 내경 $\phi 3.0$ (mm)

인 CCFL은 반대 특성에 비중이 놓여 있어 CCFL 제조비용 면에서 조금 불리해지는 경향이 있다. 이전에는 외경 ϕ 4(mm)(내경 ϕ 3(mm))가 주류였지만, 최근의 경향으로는 광효율에 초점이 맞추어져서 외경 ϕ 3(mm) 쪽으로 세경화로 가고 있으며, 일부에서는 외경 ϕ 3.0(mm)와 ϕ 4.0(mm) 사이에 위치한 새로운 관 지름의 제품화도 검토되고 있다.

2.3 전극부 개선

광원의 고효율화에는 Mo, Nb 등 일의 함수가 낮은 전극 재료로 변경하고 전극, 도입선 및 리드선의 크기를 늘려 발열량 감소와 관 전압 저하로 효율 개선을 도모하고 있다. 전극의 금속재료는 일함수가 낮을수록 전자방출이 쉽고 그에 따라서 구동 전압이 낮아져서 lamp의 소비 전력이 낮아진다.

또한 기존의 전극 도입선은 bead glass와 열팽창 계수를 맞추기 위해서 합금 재료인 Kovar(열전도도 0.04[Cal/cm²])를 이용하고 그 두께는 0.4(mm)로 채택하는 경우가 대부분이었다. 하지만 최근에는 0.6~0.8(mm)로 전극 도입선의 두께를 늘리거나 열전도도가 더 우수한 텅스텐(0.38[Cal/cm²])으로 바꾸어서 전극부에서 방열이 좀 더 용이하도록 개선하였다. 그 결과 소비전력이 높아서 온도가 많이 올라가는 경우에는 효율이 최대가 되는 온도영역으로 낮추어 주는 효과로 광효율 개선이 된다.

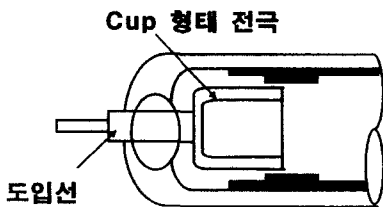


그림 7. CCFL의 전극 형태

금속전극은 내부 plasma의 ion들에 의해서

sputtering이 발생하게 되는데, 그에 따라서 전극이 소모하게 되거나, 혹은 sputtering된 금속 재질이 수은과 결합하여 amalgam을 형성하여 수은이 소모된다. 이것을 방지하기 위해서 실린더 형태의 전극에서 hollow 형상의 Cup 전극이 바뀌면서 전극내의 sputter율을 낮아져서 전극 소모 및 수은 소모를 줄일 수 있다.

2.4 형광체 장수명화

광원의 장수명화에는 자외선 보호막을 통해 형광체와 유리 밸브를 보호하여 휘도 열화와 색도 이동 개선을 도모하고 있다. 광원의 수명에 영향을 주는 것은 첫째로 형광체의 수은과 결합 및 UV에 의한 열화로 자외선에서 가시광으로의 양자효율이 떨어지면서 발생하고, 두 번째로 glass 내벽에 수은이 UV 에너지를 받아서 흡착되는 darkening이 발생하여 가시광 투과율이 떨어지면서 휘도 저하가 발생한다. 세 번째로는 sputtering에 의한 전극 소모와 sputtering된 금속과 수은의 amalgam 형성으로 인한 수명저하가 있다. 첫 번째와 두 번째의 경우는 UV 보호막을 사용함으로써 장수명화를 가능하다. 그림 8과 9는 형광체의 표면이나 유리 밸브 내면에 자외선 보호막이 coating된 형상과, coating된 lamp의 경우 시간에 따른 휘도 변화와 색좌표 변화를 보여주고 있다. Coating 막은 Nano meter size의 Y₂O₃와 같은 산화물 계열 powder 이루어져 있다. Y₂O₂ powder는 다른 Al₂O₃나 TiO₂ 등의 물질에 비해 수은 침투도가 제일 낮은 것으로 알려져 있다. 형광체에 coating을 할 경우는 형광체에 특별한 처리를 해서 표면에 형광체에 약한 결합한 형태가 된다. 반면 유리 내벽에 coating하는 경우에는 좀 더 쉬운데, 형광체 coating 전에 Y₂O₃ slurry를 coating 해주면 된다. 자외선 보호를 하지 않는 일반 샘플에 비해 25,000시간 지날 때 휘도가 10(%) 정도 더 높게 유지가 되고, 색좌표 x, y

의 변화가 각각 0.007와 0.015 더 줄어들었다. 또 이러한 자외선 보호막 부기는 동시에 CCFL에서 외부로 방사하는 자외선 양도 줄일 수 있어 결과적으로 백라이트 BLU 부품의 자외선 열화 경감에도 효과가 인정되었다.



그림 8. 형광체 표면 coating 및 glass 내벽 coating

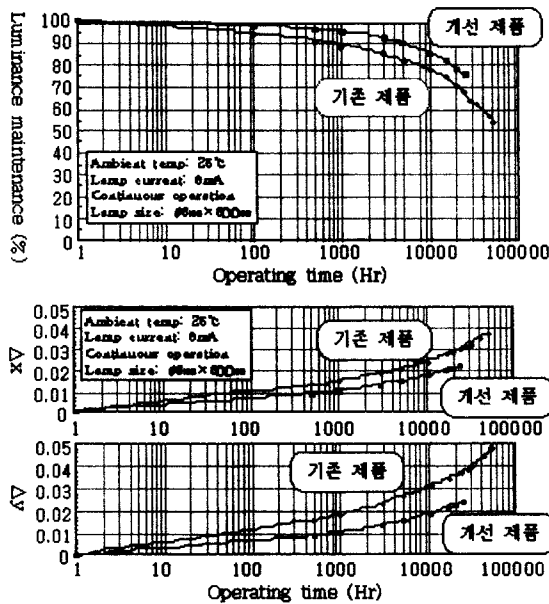


그림 9. 시간에 따른 lamp의 휘도와 색좌표 변화

2.5 고색재현성화

최근에는 고 색재현성 형광체의 채용 가능성이 높아지면서, 형광체 자외선 보호막 coating의 중요성이 더욱 커지고 있다. 왜냐하면 현재 급격히 부상하고 있는 LED B/L의 장점 중 하나인 고 색재현성을, 기존

CCFL 메이커들도 R, G, B 형광체의 종류를 바꾸어서, 실현할 수 있다는 것을 보여 주려고 노력하고 있기 때문이다. 그림 10은 고색재현성 형광체를 이용한 경우(new phosphor)와 기존 형광체(old phosphor)를 이용한 경우, 비교 emission spectrum을 보여 주고 있다. Blue 형광체는 동일하지만 Green과 Red 형광체의 peak이 없어지거나 shift하여서 색재현성이 높아진다. 고색재현성의 형광체는 표 1과 같다. 하지만 형광체의 종류를 바꾸었을 때 형광체의 수명이 현재 5~7만 시간에서 3만 시간 미만으로 떨어지는 문제가 있기 때문에 CCFL maker들은 UV coating 막 형성을 실제 제조 공정에 적용하기 위해서 기술 개발에 집중하고 있다.

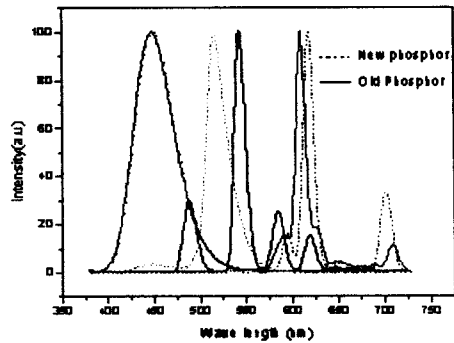


그림 10. 고 색재현성 형광체를 이용했을 때 lamp spectrum

표 1. 고 색재현성 형광체

	기존 형광체	New 형광체
Red	$Y_2O_3:Eu^{2+}$	$Y(P,V)O_4:Eu^{2+}$
Green	$LaPO_4:Ce,Tb$	$BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu, Mn$
Blue	$BaMg_2Al_{17}:Eu^{2+}$	$BaMg_2Al_{17}:Eu^{2+}$

2.6 inverter 개발

앞서 이야기한 대로 lamp의 장형화에 따라서 구동 전압의 상승은 불가피하다. 46인치 이상 size에서는

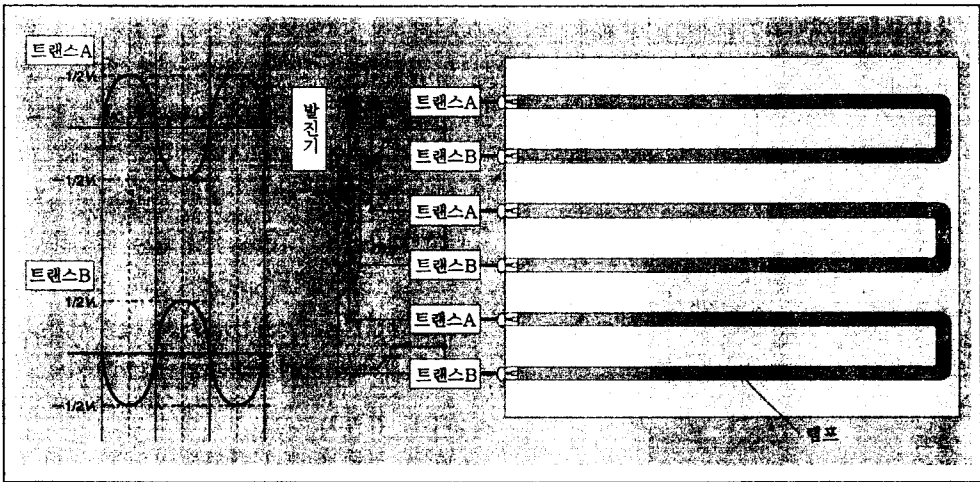


그림 11. Floating 구동 방식

CCFL 구동 전압이 1500[Vrms] 이상이 되고, 그에 따라서 코로나 방전, 오존 발생 등 안전성의 문제가 있다. 또한 고전압일수록 lamp 및 inverter 회로 주변부에 기생 저항 성분으로 흐르는 누설 전류가 커져서 inverter 효율이 떨어지기 때문에 구동전압을 낮추기 위해서 floating 구동 방식을 이용한다.

기존 CCFL에서 이용되고 있는 구동방식은 한쪽 단(HOT 단)의 전극에 플러스 마이너스 방향으로 전압을 인가하여 주고 다른 쪽 전극은 ground로 해 두는 형태의 구동방식을 택하였다. 반면 Floating 구동은 그림 10과 같이 transformer A와 transformer B에 각각 동기된 역위상 전압을 인가되어 실제 양단 간 전압은 한쪽 단에서 인가해주는 전압의 2배의 크기로 인가되지만, ground에 비해서는 전압은 기존의 절반이 되게 된다. 이 방식은 화면의 센터 라인에 대해 대칭적인 동작이 되므로 CCFL의 한쪽 전극에만 인버터를 접속한 경우에서 발생하는 같은 휘도 편중도 해소된다는 장점이 있다.

Floating 구동방식을 적용하면서 동시에 두 개의 직관형 lamp의 각 한쪽 전극을 도입선으로 연결한다. 연결된 쪽 전극은 lamp의 방전 공간 상의 가운데가 됨으로 floating 구동 방식에서 ground가 되어

서, 결과적으로 두 개의 lamp를 하나의 inverter로 구동할 수 있다. 이것은 U자 lamp를 채용하는 것과 동일한 효과를 내지만 Lamp의 사이즈에 구애 받지 않아서 장점을 가진다.

2.7 CCFL 병렬구동

CCFL의 병렬 구동 또한 inverter 의 개수를 줄이기 위한 방법 중 하나로 개발되고 있다. Lamp의 병렬 구동 기술은 lamp의 개수에 무관하게 inverter를 하나만 쓸 수가 있어서 lamp 개수가 많아지는 대형 size에서 더욱 필수적이다. CCFL의 병렬 구동은 부저항을 가지고 있는 lamp들 각각을 안정화 시켜서, lamp의 한쪽으로 전류가 쏠리는 것을 방지해야 한다. 병렬구동 방법으로는 높은 impedance 값을 갖는 ballast capacitor 또는 inductor를 이용하여 방전을 안정화 시킴으로써 lamp간 편차로부터 발생하는 전류 쏠림을 방지하는 방법과, transformer의 mutual inductance를 이용하여 램프 상호간에 전류를 균일하게 조절하여 병렬 구동하는 방법(그림 11) 이용하는 방법 등이 있다. 전자의 경우 capacitor나 inductor를 각각의 램프에 연결하여 전

체적으로 positive impedance를 갖게 하는 것으로, 이를 램프에 통합하여 구현한 방법이 EEFL (capacitor type)이다. 후자의 경우는 mutual inductor를 이용하여 램프 상호간의 전류를 조절하게 되므로, (램프 개수 1)개의 전류분류 유닛을 필요로 하며, 이를 실장하기 위한 PCB가 필요하다.

Lamp의 병렬 구동은 원가 절감 측면에서 유리하지만 한 lamp의 특성이 전체적인 점등 특성에 영향을 주게 됨으로 안정구동을 위한 구동 margin이 작아져, 저온 점등, Dimming 등의 신뢰성 부분에서 세심한 기술적 구현이 필요하다. 여러 병렬 구동 방법 중 램프 전류 분류 회로를 이용하는 방법은, 한쪽 전극에 토너먼트 트리형으로 결선 되어 있는 소형 분류 트랜스가 탑재된 램프 전류 분류 유닛을 접속해, 다른 병렬 구동방식에 비하여 안정구동을 위한 구동 margin은 넓으나, 다른 병렬구동방식 또는 EEFL 병렬 구동 등과 비교했을 때는 좀 더 복잡한 형태를 띠게 된다.

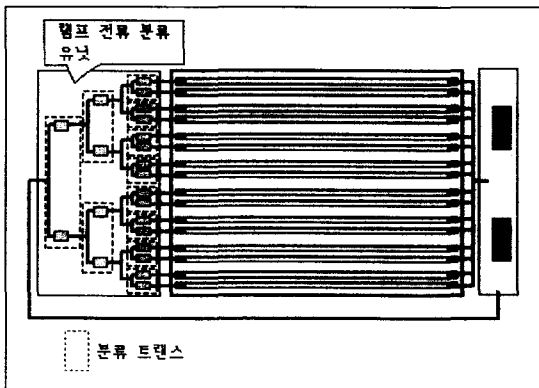


그림 12. 전류 분배기를 이용한 CCFL 병렬 구동 방식

3. 요약

이제 까지 주로 LCD가 대화면화가 진행될 때 CCFL의 기술 개발 동향을 살펴 보았다. CCFL

lamp는 LCD module의 BLU에서 광원으로 중요한 자리를 차지해 왔고, 원가 절감 및 성능향상이라는 목표로 지속적으로 기술 개발이 되어 왔다. 하지만 현재 LCD TV가 FPD 시장의 주도적인 역할을 하기 위해서 혁신적인 기술 개발이 요구되어서 EEFL, FFL, LED 광원, CNT 광원 등의 다양한 형태의 광원이 CCFL의 자리를 넘보고 있는 실정이다. 이에 CCFL 메이커들 또한 다른 광원들의 장점을 CCFL 내에서 구현하고, 자신만이 가지고 있는 기술로 주력광원으로서의 자리를 잃지 않기 위해 기술 개발이 더욱 빠르게 이루어져 가고 있다.

참 고 문 헌

- [1] M. Anandan, "LCD backlighting", Seminar Lecture Notes (Seminar F 2) of SID '01.

◇ 저 자 소 개 ◇



김중현(金重玄)

1973년 6월 13일생. 1995년 KAIST 물리학과 학사. 1997년 KAIST 물리학과 석사. 2003년 KAIST 물리학과 박사. 현 LCD 총괄 LCD 연구소 Display Solution Optical System group 재직.



황인선(黃仁瑄)

1994년 삼성전자 입사(선임연구원). 1997년 KAIST 물리학과 박사. 1998년 삼성전자 책임연구원. 2000년 삼성 반도체 공과대학 사내교수. 2001년 중국 연변과학기술대학 교수. 2003년 삼성전자 재입사(책임연구원). 2004년 삼성반도체 공과대학 사내교수. 현 삼성전자 LCD연구소 디스플레이 솔루션 광원시스템 그룹.

주요업무

- LCD 광특성 평가 및 디스플레이 색채기술
- LCD용 광원기술 및 BLU 광학설계기술