

특집 : 정밀 디스플레이의 광원 응용기술

## 투사형 디스플레이와 광원

김순형 · 이한배 <책임연구원, LG전자 디지털 디스플레이 연구소>

### 1. 개 요

영상 디스플레이는 영사기에 의해 대화면의 동영상 구현한 이래, 브라운관의 흑백 TV를 거쳐 Color TV가 일반화되었고, 시청자는 고품질 및 대화면의 욕구를 가속화하고 있어 이제 디스플레이 업계에서는 앞을 다투어 고해상도, 대화면 TV를 개발, 출시하고 있다. 이러한 대화면 디스플레이를 구현하는데 선도적 역할을 수행하였고, 현재에도 주류를 이루고 있는 것은 소형의 디스플레이 소자의 영상을 광학적 투사 수단에 의하여 스크린에 확대 투사하는 투사형 디스플레이라고 할 수 있다. 역사적으로 필름, 유막방식 소자(GE사), CRT를 거쳐 LCLV(Liquid Crystal Light Valve, 휴즈사), LCD 및 DMD(Digital Micro-mirror Device, TI사)를 사용하는 투사형 디스플레이가 상용화되었고, 현재 TMA(대우전자), LCOS(Liquid Crystal on Silicon)형 GLV(SLM사)등의 디스플레이 소자가 개발되고 있는 상황이다[1]. 현재 투사형 디스플레이는 평판형 디스플레이 소자를 사용하는 전면 투사형 프로젝터를 중심으로 시장이 급속히 성장하고 있는 추세로 CRT형 배면 투사형 프로젝션 TV를 포함하여 년 200만대를 넘고 있으며, 향후 5년 내 1000만대 규모에 육박할 것으로

전망하고 있다.

투사형 디스플레이는 소형의 영상 화면이 스크린에 확대되어 투사되는 특징에 의하여 디스플레이 소자에서 발광 또는 투과되는 빛이 투사된 대화면에서도 충분한 밝기를 제공할 수 있도록 고휘도가 되어야 하는데, 소형의 자발광 소자로서 고휘도를 구현하는 소자가 현재는 CRT를 제외하고는 없기 때문에 별도의 광원을 사용하여 Light Valve로서 동작하는 수광형이 대부분이라 할 수 있다. 따라서 현재 Lamp는 영상 디스플레이 분야에서도 중요한 부품의 하나로 사용되고 있다고 할 수 있다. 실제로 투사형 디스플레이의 화질(color, contrast) 및 밝기, 광 효율을 결정짓는 요인의 많은 부분이 광원에 달려 있다. 투사형 디스플레이에서 광원으로서 요구되고 있는 주요 특성은 Lamp 효율, 점 광원성(발광 Volume), 연색성, 수명 등이라 할 수 있다. 이러한 특성의 광원으로써 제반 조건을 만족하는 램프는 없으나 할로겐 램프, 제논 램프, 메탈할라이드 램프, 초고압 수은 램프 등이 사용될 수 있고, 최근에는 점 광원에 가까운 초고압 수은 램프를 사용하는 경향이 주류를 이루고 있다.

여기서 소형의 수광형 디스플레이 소자를 사용하는 투사형 광학계에 대한 간단한 소개와 이것에 사

용되는 광원의 종류와 기술 동향에 대하여 설명하고자 한다.

## 2. 투사형 디스플레이

현재 투사형 디스플레이의 주류는 투과형 액정 프로젝터, DLP 프로젝터라 할 수 있고, 최근 반사형 액정 디스플레이 소자(LCoS)를 사용하는 프로젝터가 상용화에 박차를 가하고 있는 상황이다. 전면 투사형 프로젝터는 주변 빛이 영상 화면의 빛과 중첩되어 스크린에서 반사되기 때문에 영상 화면의 선명성이 떨어뜨리는 현상이 발생되는데, 주변의 빛이 있는 환경에서도 선명한 영상을 보려면 밝은 영상을 제공할 필요가 있게 된다. 디스플레이 소자의 광 투과율(또는 반사율)의 향상과 Lamp의 효율 향상 및 점광원화 등의 기술 개발에 힘입어 프로젝터의 밝기가 급격히 향상됨으로써 저전력 Lamp로도 프레젠테이션 용도로서 사용하는데 불편이 없는 단계에 와 있으며, 이에 따른 급속한 보급이 이루어지고 있다. 여기서 디스플레이용 광원의 이해를 돕고자 주요 프로젝터를 중심으로 광학계의 구성, 동작 원리 및 개발 동향을 간략히 소개하고자 한다.

### 2.1 광학계의 성능

스크린 영상 성능 중 광학과 관련된 것으로는 밝기, 해상도, 선명도(Contrast), 색 구현 범위, 색온도, 밝기 균질성 및 색 균질성 등이 있다고 할 수 있다.

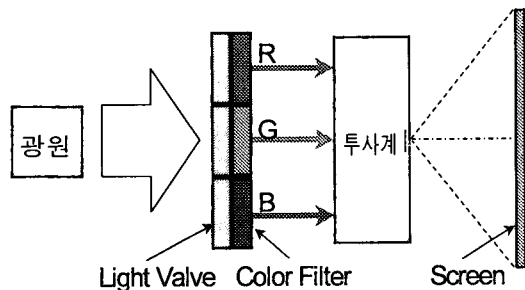


그림 1. 1매형 투사 광학계의 구성

밝기는 큰 전력의 Lamp를 사용하여 높일 수 있으나 소비전력이 커지고, 냉각시키는데 어려움이 증대되기 때문에 가능하다면 광 이용 효율을 향상하는 것이 좋은 방법이다. Contrast 및 색 균질성은 광 부품에 입사되는 빛의 각도 특성 및 광원의 발광 부위별 분광분포 등에 영향을 받는다. 밝기 균질성은 기본적으로는 광원과 조명계에 의해서 결정되며, 투사렌즈의 주변 광량비도 영향을 주게 된다. 색에 관련해서는 밝기와 Trade-off 관계를 갖으며, 광원의 분광 분포가 Red, Green, Blue의 색 대역을 원하는 색상과 채도를 갖도록 분리하였을 때 손실되는 양이 적고, 이때 R,G,B가 합해진 White의 색온도가 원하는 값을 갖는 때 빛 손실이 최소가 된다.

### 2.2 투사형 광학계의 기본 구성

투사형 광학계는 광원과 광원으로부터 방사되는 빛을 한 방향으로 보내주기 위한 반사경으로 구성되는 광원부, 광원부로부터 출력되는 빛을 디스플레이 소자에 집광시키는 조명부, 조사되는 빛을 2차원의 영상 정보를 갖도록 전기적 신호를 광학적 영상 정보로 변환하는 디스플레이 소자 (Light Valve)부, 광학적 영상 정보를 스크린에 확대 투사하고 결상시키는 투사렌즈부의 기본 구성을 갖는다. Color 영상을 구현하기 위해서는 디스플레이 소자의 동작 특성에 따라 다른 방법을 갖는데, 광학계 구성에 있어서 크게는 디스플레이 영상 소자 1매를 사용하는가 또는 2매 또는 3매를 사용하는가에 따라 다르게 된다. 대표적으로 1매형 LCD의 경우는 Red, Green, Blue의 염료 Filter가 화소 별로 순차적으로 부착되며, LCD는 각 Color에 대응되는 영상 정보를 출력함으로써 스크린에 투사된 영상을 사람의 눈이 마치 점묘법의 그림을 보듯이 색을 합성하여 보게 된다. 그림 1은 1매형 투사광학계의 구성도이다.

3매형의 경우는 3매의 디스플레이 소자는 각기 Red, Green, Blue의 영상정보를 입력받게 되고, 각 소자에는 광원의 백색광이 Dichroic Mirror라는 색

분리 광학 소자에 의해 각 Color의 조명광을 공간적으로 분리하여 조사함으로써 전기적 신호와 광학적 Color 빛이 대응되고, 각 Color의 영상은 다시 Dichroic Mirror 또는 Dichroic Prism의 광학 소자에 의하여 공간적으로 합성되어, 이 합성된 Color 영상이 하나의 투사렌즈를 통하여 스크린에 결상됨으로써 Color 영상을 구현할 수 있게 된다. 3매형의 경우는 일반 직시형 디스플레이에서는 볼 수 없는 투사형만의 독특한 Color 영상 구현 방법이라고 할 수 있으며, 고해상도 및 색 재현성이 우수하고 1매형의 경우에 비하여 Color 구현을 위한 빛 손실이 없기 때문에 광 효율이 3배 향상되는 장점이 있다. 그림 2는 3매형 투사광학계의 구성도를 보여준다.

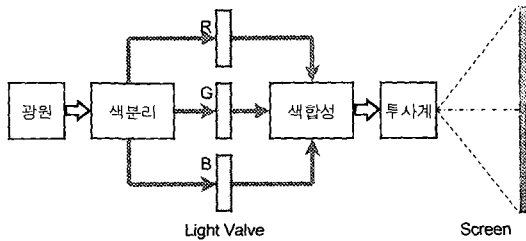


그림 2. 3매형 투사광학계의 구성

디스플레이 소자가 Light Valve로서 역할을 수행하는 원리는 액정을 사용하는 디스플레이 소자인 경우는 디스플레이 소자의 광 입출력부 각각에 선편광 소자가 있어 입력 선편광 소자에서 선편광 되어 입사된 빛이 액정을 거치면서 액정에 인가된 신호에 대응하여 편광이 회전되어 출력되고, 출사측 편광소자의 편광 방향에 대하여 회전된 편광 방향이 이루는 각도에 따라 투과 광량이 바뀌는 동작 원리를 갖는다.

### 2.2.1 LCD 프로젝터 광학계

밝기를 높이기 위해서 단순히 고전력의 램프를 사용하는 경우 냉각적 문제를 제외하고서도 램프의 수명이 단축되는 것은 물론 램프의 발광 크기가 커져 광학계 밝기가 전력 증가에 비례하지 못하는 문제가

있다. 이러한 문제를 개선하고자 LCD의 투과율을 향상시키는 기술 개발 및 광학계의 조명 효율을 향상시키는 광학계 구성, 광원의 발광 크기를 줄이려는 노력들이 수행되어 왔다. 또한 광원으로부터 방사되는 임의 편광을 갖는 빛을 LCD의 입사 편광판의 편광 방향과 같은 편광 빛이 되도록 편광 변환을 가능하게 하는 광학계 구성에 대한 아이디어 발굴도 수행되어 왔다. 이러한 기술 개발에 의해 현재 3매형 액정 프로젝터의 경우 100[W] 램프를 사용할 때 1,000 ANSI[lm]대의 스크린 밝기가 실현되었고, 이러한 밝기는 100인치 화면으로 투사할 때 사무실 밝기 환경하에서도 프레젠테이션용으로는 충분히 볼 수 있는 상태이다.

그림3은 최근의 3매형 액정 프로젝터의 광학계 구성 예이다. 광원은 초고압 수은 램프가, 반사경은 초점 6~9[mm]의 포물경이 사용되고, 램프의 발광 중심부가 포물 초점에 위치하도록 조립되어 평행광의 빛을 출력하도록 하는 것이 일반적이다. 조명 광학계에서 색다른 것은 2매의 FEL(Fly-eye Lens) 및 PBS(Polarizing Beam Splitter) Array 라 할 수 있는데, 이는 FEL에 의한 밝기 균질성 및 밝기 향상, FEL과 PBS에 의한 편광 변환에 따른 밝기 향상의 기능을 제공하게 된다[2]. 백색광을 Red, Green, Blue의 색으로 공간 분리하는 것은 2매의 Dichroic Mirror에 의해 수행되며, LCD로부터 출력되는 각 Color의 영상을 합성하는 것은 2개의 Dichroic Coating면이 교차된 Dichroic Prism에 의하여 수행된다. LCD는 투과율을 향상시키기 위하여 액정면에 대하여 빛이 입력되는 위치에 마이크로 렌즈 Array 판이 각각의 렌즈가 각 화소에 대응되도록 삽입되어 있다.

위의 광학계 구성에서 광 이용 효율 및 밝기 균질성을 향상하는 원리에 대하여 설명하고자 한다. 우선 포물경에서 반사되어 출력된 빛을 단순히 집광렌즈를 통하여 LCD면에 집광하였을 때 LCD면에서의 빛의 강도 및 분포는 그림 4에서 보듯이 중심 대비 주

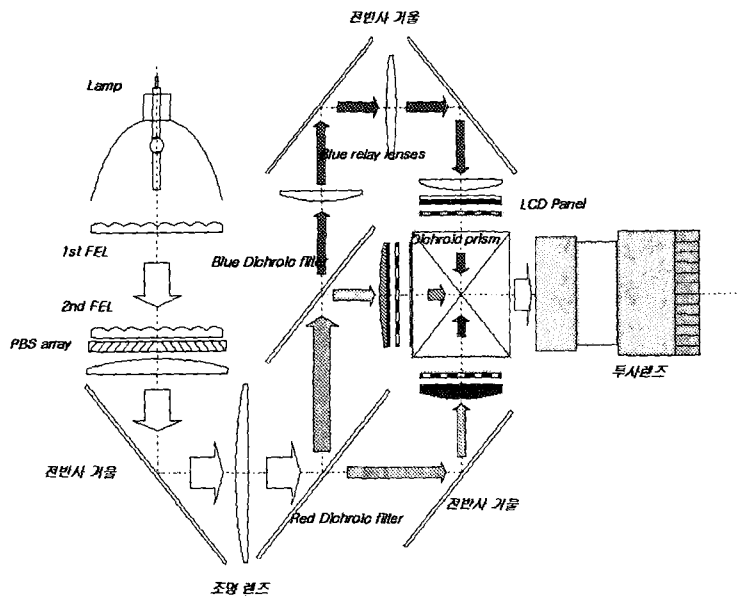


그림 3. 3판형 LCD Projector 광학계 구성

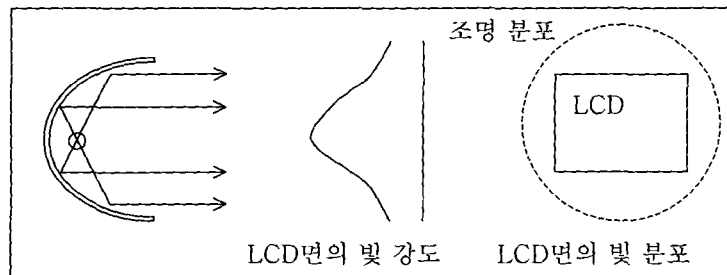


그림 4. 포물 반사경에 의한 조명 분포

변이 30% 이하의 강도를 갖으며 LCD 유효 면적 바깥으로 빠지는 빛이 많아 효율이 떨어짐을 알 수 있고, 균질성이 향상되도록 할 경우 LCD 유효 면적 밖으로 벗어나는 빛이 더욱 많아지는 Trade-off 관계를 갖는다.

FEL은 렌즈들을 LCD의 종횡비에 대응하는 직사각형 형태의 단 렌즈들을 2차원적으로 배열하여 놓은 것으로, 첫번째 FEL의 각 Cell에 입사되는 빛들이 2번째 FEL의 대응되는 Cell 렌즈 및 조명렌즈에 의하여 LCD면 전체로 조사되고, 결과적으로 각 Cell의 빛이 LCD면에서 중첩됨으로써 앞서 본 반사경 출력 위치에 따른 빛 강도 감소에 의한 밝기 균질성

저하 현상을 해결할 수 있고, 또한 LCD에서의 조명 분포가 LCD의 유효 면적의 형태로 형성됨으로 유효 면적 바깥으로 벗어나는 빛의 양이 줄게 되어 밝기가 향상된다.

LCD는 비편광된 빛이 입사되는 경우 입사측 편광판에서 60%의 빛이 흡수되어 광효율이 반 이하로 주는 단점을 갖는데, FEL과 PBS Array를 사용하여 빛의 폭을 늘리지 않고 하나의 선편광 빛으로 변환함으로써 효율을 향상시킬 수 있다. PBS Array는 FEL Cell의 하나에 대하여 수평 방향으로 2개의 PBS가 대응되며 수직 방향으로 Bar의 형태를 갖는다. 수평으로 하나는 FEL의 Cell 중심에 위치하여

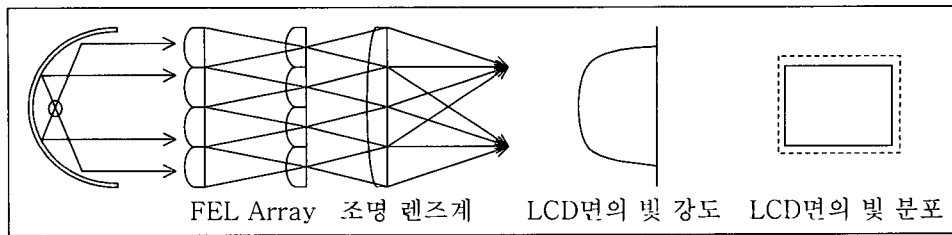


그림 5. FEL Array사용에 따른 조명 분포

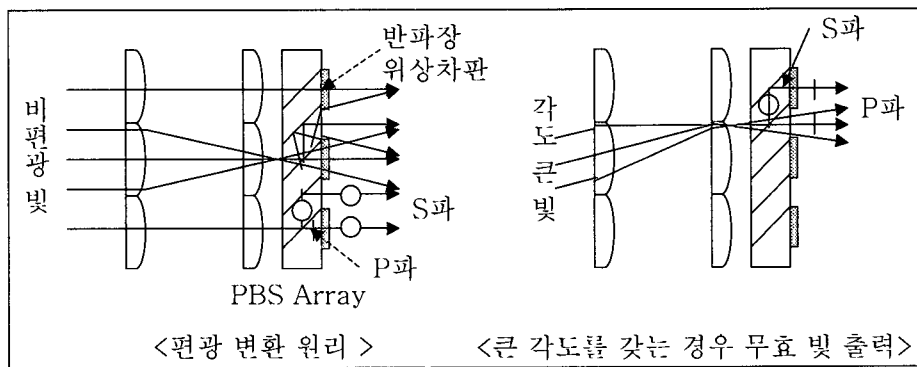


그림 6. FEL과 PBS Array에 의한 편광 변환과 효율

P파 빛은 투과하여 반파장 위상차판에 의하여 S파로 변환되고, S파는 반사되어 인접한 다른 PBS에서 다시 반사되어 출력되는 동작에 의하여 임의의 편광 빛을 하나의 선편광(S파)으로 변환하게 된다. 여기서 첫 번째 FEL에 입사되는 빛의 각도가 일정 이상 커지면 FEL Cell의 중심에 위치한 PBS면에 입사되지 않고 인접한 PBS면으로 입사되기 때문에 편광 변환이 원하는 선편광(그림에서 S파)이 되지 않고 90도 바뀐 편광(P파)으로 출력되어 LCD 입사 편광판에 의하여 100% 흡수되는 결과가 된다. 한편 포물 반사경으로부터 출력되는 빛의 각도는 광원의 발광 크기와 관련되며, 따라서 빛의 각도를 줄여 PBS Array에서 편광 변환 효율을 높이기 위해서는 광원이 점광원에 가까워야 한다.

다음은 LCD의 투과율을 향상시키는 기술에 대하여 설명한다. LCD의 기술 향상은 투사형의 경우 비정질 Si (a-Si)을 고온 공정에 의하여 다결정화(p-Si)하여 고정세, 고개구율화를 실현하였고, 광학적

으로는 LCD 내부에 마이크로렌즈를 각 화소에 대응하여 배열시켜 화소의 Black Mask에 의해 차단되는 빛을 화소 개구부 내로 집중함으로써 투과율을 향상시킨다. 앞서 PBS Array와 마찬가지로 일정 각도 이상의 빛은 오히려 투과율이 저하되는 경우가 발생함으로 조명 광학계 설계 시 각도 관리를 필요로 한다. 이는 LCD 크기, 반사경 크기 및 광원으로부터 LCD에 이르는 광학적 길이와 관련된다.

종래 색 균질성을 저하하는 하나의 원인으로써 광원의 발광 분포가 Metal-halide Lamp의 경우 발광 위치에 따라 Color의 층이 다른 것이었으나, 이러한 문제는 초고압 수은 Lamp의 사용과 FEL 광학계에 의하여 해결되었고, 현재는 색 분리 Mirror의 좌우 입사 각차 또는 LCD의 균질성에 의한 원인으로 색 균질성이 저하되는 현상이 있으나 최근에는 회로적으로 보정하는 시도에 의하여 해결 방향을 모색하고 있다.

색 재현 범위에 관련하여서는 형광체나 색 Filter를 사용하는 타 디스플레이와 달리 광학 소자에 의

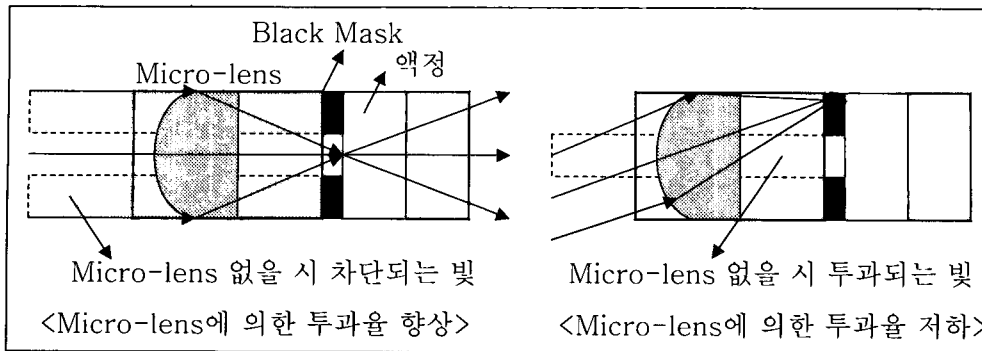


그림 7. LCD의 Micro-lens에 의한 투과율 향상

하여 색 분리를 구현하기 때문에 원리적으로는 임의의 R, G, B의 색도를 제공할 수 있으며, 밝기와 Trade-off가 최소화되는 발광 스펙트럼을 제공해 줄 수 있는 광원을 개발하는 것이 중요 과제라고 할 수 있다.

#### 2.2.2 LCoS형 프로젝터 광학계

최근 고해상도(고밀도), 저가격화를 목적으로 실리콘 웨이퍼에 액정을 올리는 반사형 액정 디스플레이 소자의 개발이 JVC사를 기점으로 여러 회사 및 연구소에서 다양한 액정 Type 및 구조로 상용화를 추진하고 있고, 광학계도 다양하게 개발되고 있는 상황이다. 이에 대한 내용은 참고 자료를 참조하기 바람, [3] 여기서는 간단히 공통된 광학적 설명만을 하고자 한다.

반사형 LCD는 앞서 설명한 투과형 LCD와 마찬가지로 빛의 편광 현상을 이용하는 공통점을 갖으나, 빛의 입, 출력 경로의 문제로 대부분이 PBS라는 편광 분리 소자를 사용하여야 하는 차이점이 있다. 디스플레이의 중요한 화질 요소의 하나인 Contrast를 구현하는데 있어, 투과형의 경우는 LCD의 입, 출력부에 고 편광도를 제공할 수 있는 폴리머형 편광판을 직접 사용함으로써 빛의 각도 특성이나 중간 광학 소자에 의한 편광 깨짐 현상이 최소화 될 수 있는 반면 반사형 LCD의 경우는 PBS에 의해 Polarizing 및 Analyzing의 역할도 수행하기 때문에

광학 소자에 의한 편광 깨짐 현상이나 빛의 입사 각도에 따라 민감한 특성을 갖는다. 따라서 기본적으로 LCoS의 경우 LCD에 입사되는 빛의 각도를 최소화할 필요가 있고, 이것은 주로 반사경의 크기와 관련되며 램프와 관련하여서는 발광관의 크기를 줄여 반사경의 초점을 줄일 수 있도록 함으로써 광원으로부터 방사되는 유효 입체각은 유지하되 반사경의 직경을 줄일 수 있는 기술 개발이 필요할 것으로 생각된다. 광학계 구성 중 조명계는 투과형 LCD의 경우와 기본적으로는 유사하며 색 분리나 합성부는 Philips 프리즘, ColorQuad™[4], ColorSelect™ 및 PBS, Dichroic Prism등의 여러 형태가 있다.

### 3. 투사형 디스플레이의 광원(5)

앞서 언급하였듯이 투사형 디스플레이에서 광원은 화질 및 밝기, 광 효율을 결정짓는 중요한 역할을 담당하고 있으며, 최근 투사형 디스플레이의 시장 확대에 따라 이러한 용도로서의 광원 기술 개발이 가속화되고 있다고 생각된다.

광원의 발광 원리는 열 발광, 방전 발광, 고체 발광, 전자기파 발광 및 Laser등으로 나누어 볼 수 있는데, 열 발광형은 저 효율, 단수명의 단점으로, 고체 발광형은 저 출력의 단점으로 사용되지 않는 추세이고, 황화 램프를 대표로 하는 무전극 램프는 적용 가능성을 개발하고 있는 단계이며, Laser는 고출력으로

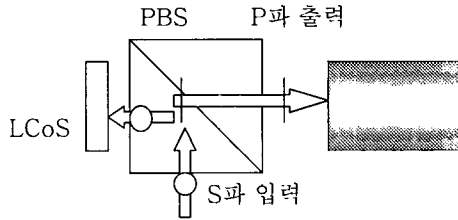


그림 8. LCoS의 광 입출력

소형화 및 저가격화의 해결 과제를 갖고 있어 현재까지는 주로 고압 방전 램프가 사용되고 있는 상황이다.

할로겐 램프는 종래의 OHP나 Slide Projector에 주로 사용되었고, 영사기에는 고전력의 Xenon Lamp가 사용되고 있으며, Flat Panel형 디스플레이 소자를 사용하는 투사형 디스플레이에서는 할로겐 램프, Xenon Lamp, Metal-halide Lamp를 거쳐 98년부터 초고압 수은 램프로 변화되는 추세이고, 고휘도 프로젝터의 경우는 고전력의 Metal-halide Lamp나 Xenon Lamp가 사용되고 있다. 여기서는 투사형 디스플레이용 관점에서 광원에 대하여 설명하고자 하며, 주로 방전 램프에 관하여 주요 특징을 중심으로 기술하고자 한다.

### 3.1 투사형 디스플레이용 광원의 요구 특성

우선 투사형 디스플레이에서 광원이 갖추어야 할 제반 특성에 대하여 요약하면 다음과 같다.

- 색재현성 : 자연색을 충분히 구현할 수 있고, 적, 녹, 청의 밝기 분포가 원하는 백색광에 대하여 적절히 분포되어 있을 것. (색온도 : 6000K 이상)
- Lamp 효율성 : 가시광선의 발광 효율이 클 것 (열 손실이 작을 것)
- 광효율성 : 고휘도의 점광원에 가까운 발광 분포를 가질 것. (광학계 효율 향상)
- 분광특성 : 420[nm] 이하의 자외선이 적고 (광부품 수명, 200[nm] 이하는 오존 발생), R, G, B 경계

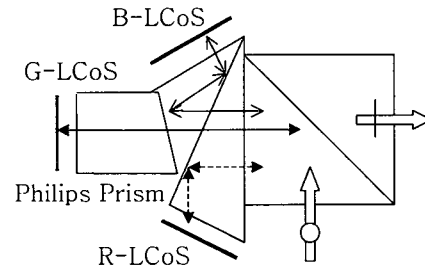


그림 9. 3매형 LCoS의 Philips Prism Type

대역(500nm~510nm, 580nm~590nm)의 출력이 작을 것.

- 축대칭성 : 발광 분포가 광축 대칭성이 있을 것 (광 효율, 조명 균질성)
- 점등성: 점등 및 재점등 시간이 짧을 것.
- 안정성 : 점등 중 안정 동작할 것 (일정한 출력 및 깜박거림이 없을 것)
- 장수명 : 밝기 저하 및 파손 (점등 불량) 시간이 길 것 (2만 시간 이상)
- 소형화 : 반사경과의 체결이 용이하고 단초점 반사경에 적용 가능할 것.
- 이 밖에 온도에 따른 발광 특성, 점등 자세, 안전성, 구동장치, 가격 등.

위 조건을 충분히 만족하는 램프는 현재 없으나 최근에는 광학계 효율을 높이기 위해서 점광원 특성이 특히 중요시되고 있고, 발광 효율, 색 재현성 및 수명 등이 주요 선택 인자로 고려되고 있다. 또한 현재 전면 투사형 디스플레이가 포터블의 소형 경량화 추세에 대응하여 반사경 및 점등 장치의 소형화가 요구되고 있으며, 향후 Digital Projection TV에서는 Red의 보강, 수명 및 가격 저하가 주 이슈화 될 것으로 생각된다.

### 3.2 Halogen Lamp

Halogen Lamp는 석영관 내에 텅스텐의 발광체가 전극에 연결되어 있고, 불활성 가스(Ar,Kr) 및 할로

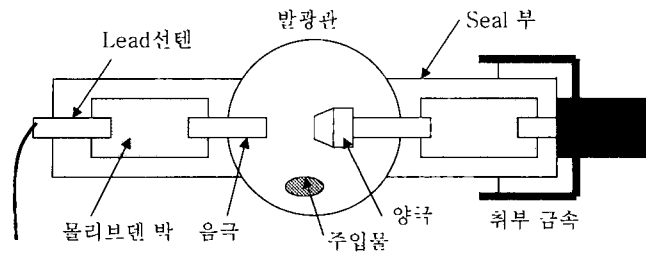


그림 10. Ribbon Seal 및 DC 구동형 방전 램프의 구조

젠화물( I+Br+Cl )이 주입되어 있으며, 석영관 벽에는 적외선 반사 Coating이 되어있는 구성을 갖는다.

텅스텐이 전원에 의하여 가열됨으로써 열과 빛을 발하게 되는 원리로 발광하게 되며, 불활성 가스는 텅스텐의 산화 방지용으로 사용된다. 백열 전구와 달리 할로젠화물에 의하여 고온에서 증발되는 텅스텐을 Halogen Cycle화시킴으로써 텅스텐 손실에 의한 수명 단축 및 석영관 흑화로 인한 밝기 감소를 방지하게 된다. Halogen Cycle은 증발된 텅스텐과 할로젠물이 화합물을 생성하고 이것이 텅스텐 필라멘트에서 열 분해되어 텅스텐을 필라멘트에 되돌려주는 Cycling 현상이다. 한편 석영관의 적외선 반사층은 필라멘트에서 방사된 열선(적외선)을 관내로 되돌려 줌으로써 보온에 의한 발광 효율 증대 효과를 제공한다.

할로겐 램프는 40[lm/W]이하의 Lamp 효율을 갖고, 색온도 3000K 정도의 연속 스펙트럼 특성을 가지며, 수명은 1000시간 이하로 점등 전압에 따른 밝기 및 색 분포가 달라지는 특징을 갖는다.

### 3.3 방전 램프의 종류, 구조 및 특성

방전 램프는 초기에 수십 킬로볼트의 시동 전압(Xe>Hg>Metal-halide)에 의하여 전극으로부터 전자가 방출되고, 방출 전자는 전기장에 의하여 가속되어 내부의 물질을 이온화하며, 이온화 된 전자가 다시 가속되어 물질을 이온화 시키는 과정으로 플라즈마 상태를 형성하게 되고, 이때 절연이 파괴되어 방전로가 형성되며, 여기에 전극으로부터 유입되는 전류의

하여 방전을 수행하게 되는데 안정기에 의하여 정전류가 유지되도록 제어하게 된다. 이러한 상태에서 가스 상태의 원자는 운동 전자로부터 에너지를 공급받아 높은 에너지 준위가 되었다가 낮은 에너지 준위로 떨어지며 이 에너지차에 해당되는 선스펙트럼의 빛을 방출하기도 하고, 자유 전자가 다른 운동에 에너지를 가지고 원자에 흡수 또는 가속됨으로써 연속 스펙트럼의 빛을 방출하기도 하는 발광 원리를 갖는다.

방전 램프는 크기는 주입 물질에 의하여 나누어 볼 수 있으며, 또 점등 중 가스 압력에 따라 저압(1기압 이하), 고압(수 기압) 및 초고압(수십 기압 이상)으로, 램프 구동 파형에 따라 AC, DC로, 세부적으로는 전극 간격 거리에 따라 Short Arc, Long Arc로 분류할 수 있다. 주 주입 물질로는 나트륨, Xe, Metal-halide 및 수은등이 있으며, 나트륨 램프는 나트륨이 석영관과 반응하는 문제를 광 투과성 알루미늄의 개발에 의하여 극복함으로써 조명 램프로 사용할 수 있게 되었고, 가시광 대역의 발광효율이 높은 장점을 갖고 있으나 알루미늄의 빛 확산성 때문에 투사형 디스플레이 광원으로는 적합하지 않다. AC, DC 구동의 주 이슈는 Short Arc화, 수명 향상 및 구동 장치의 소형화라 할 수 있고, DC 구동이 이러한 점에서 유리한 것으로 언급되고 있기는 하나 일반적으로 단정할 수 있는 단계는 아닌 것으로 생각된다. Xenon Lamp는 일반적으로 DC 구동이, Metal-halide Lamp 및 초고압 수은 램프는 두 경우 다 적용하고 있고, Metal-halide Lamp는 Short Arc의 경우 DC



구동형이 약 2~3배 수명이 향상되었다는 논문이 발표된 바 있다[6]. Arc 길이는 발광관의 직경에 대한 전극 간극의 크기에 의하여 구분되나, 투사형 디스플레이용에서는 이러한 구분이 의미가 없고, 광학계의 광효율 측면에서 1[mm] 이하가 이상적이라 할 수 있으나, 수명 및 발광 효율 등의 기술적 사항과 관련하여 100[W] 이상의 램프에 대해서는 아직 1[mm] 이하의 램프가 상품화되고 있지는 않다.

그림10은 디스플레이용 방전 램프의 대표적인 구조 중 하나이다. 발광관은 광 투과 특성, 압력에 대한 강도, 내열, 내부 주입 물질과의 반응 등을 고려하여야 하며, 주로 Clear fused Quartz (220 nm Cut-off, 연화점 1600도)가 사용되고 형상은 구형이다. 전극은 DC 구동 램프의 경우 그림과 같이 양극과 음극의 형상 및 재질이 다른데, 양극은 크기를 키워 전자 충돌에 의한 온도 상승을 줄이고 증발 온도가 높은 텅스텐(용융점 3683도)을 사용함으로써 전극 손실을 줄이도록 하고 있으며, 음극은 전자 방출이 용이하도록 토리에치드 텅스텐 (2%의 산화토리움 포함, 일함수 2.63eV, 증발 온도 2000~2400도)의 재질을 사용하고 바늘 침 형상으로 만든다. AC 구동 램프는 양, 음극이 교대로 수행되기 때문에 DC 구동 램프의 음극과 같은 재질과 형상을 갖는다. Seal부는 가스의 누설, 열 팽창에 의한 파손, 전극 접점의 산화 및 단락을 방지할 수 있고, 공급되는 전류를 대응하도록 고려되어야 한다. Ribbon Seal은 텅스텐 전극과 텅스텐 Lead선 사이에 박막(10~40[ $\mu$ m])의 몰리브덴 Ribbon(용융점 2890도, 팽창계수 57x10<sup>-7</sup>/도)으로 연결하고 주변을 Quartz로 밀봉한 것으로, 전류가 큰 램프는 다층의 Mo 박을 사용하며, 몰리브덴이 공기 중 산화가 220도에서 일어나기 때문에 입력 전극부의 온도 관리를 필요로 한다. 이 외에 Rod Seal 방식이 있는데 전극과 Lead선이 하나의 텅스텐 봉으로 되어 있고 Quartz와 봉 사이에 팽창율이 낮은 유리로 밀봉하는 구조를 갖는다. 주입 물질로는 시동 보조용의 가스(Ar, Kr), 주 발광 물질(Hg, Xe,

Metal-halide등) 및 연색성 강화용 물질 등이 있다. 주입 물질의 종류 및 양은 업체 별 Know-how로 관리되고 있는 것이 일반적이다.

투사형 디스플레이에서 방전 램프의 수명은 통상 2가지로 구분하여 정의되고 있는데, 하나는 램프 자체의 파손 또는 밝기 저하(초기 밝기의 70% 도달 시간)로, 또 다른 하나는 광학계의 스크린 밝기 저하(초기 밝기의 50%)로 표현되고, 세부적인 정의는 업체에 따라 다르다. 방전 램프의 밝기 저하 원인은 첫째로 전극 물질이 증발하여 관벽에 흡착(흑화 현상)되어 빛 투과율 저하 및 산란에 의하여 광학계 효율이 떨어지는 현상이고, 둘째로는 석영관이 고온 시 다결정화(흰색의 반투명체) 되는 현상에 의하여 발생되는 백탁 현상이며, 셋째로 주입 물질이 석영관 내로 침투 또는 화학 반응에 의해 발광 물질이 손실되는 현상이라고 할 수 있다. 수명은 주입 물질, 온도 뿐만 아니라 전극 간극, 효율, 전류/전압 인가 특성, 전력, 빈번한 시동등에 의해서도 영향을 받는다.

방전 램프는 점등 장치를 필요로 하는데, 방전 램프의 동작 특성상 절연 파괴 및 방전로 형성(수십 [kV]의 시동 전압 인가)의 단계, 방전 이행 단계(과도 전류 유입에 의한 방전 수행, 켈러 방전, Arc 방전) 및 방전 유지 단계(전류 공급의 안정적 공급에 의한 Arc 방전 유지)의 과정을 수행하도록 구성되어 있으며 안전성을 확보하기 위한 안전장치도 추가되어 있다. 점등 장치의 종류는 몇 가지 있으나 전류 제어 정도가 좋으며, 전력 변환 효율이 좋고 발열도 적으면서 절연 트랜스가 소형화 될 수 있어, 회로가 복잡하고 부품수가 많은 단점이 있음에도 주로 스위칭 방식이 사용되고 있다.

### 3.3.1 Xenon Lamp

Xenon Lamp는 대부분 DC 점등형으로 석영관에 양극과 음극이 수mm내의 간격으로 분리되어 있고, 주 발광 물질로 Xe가스가 수 기압 주입되어 있다. 시동 시 내부 압력이 높아 고전압(약 30[kV])의 시동

전압을 필요로 하며, 가스 상태이기 때문에 다른 방전 램프와 달리 점등 및 재점등 시간이 짧다. 동작시의 내부 압력은 수십 기압이며, 색온도 6000K의 연속 스펙트럼을 가져 자연광에 가장 가까운 발광 특성을 갖는다. 또한 전류 변동이나 수명 저하 시에도 색 변화가 적다. Short Arc에 따른 음극부에서 점광원 특성을 갖으나 대전류 구동(~20[V 전압]에 의해 점등 장치가 커지고 가격이 높은 단점을 갖는다. 가장 큰 특징은 수십 Watt로부터 수 [kW]의 전력 영역의 램프가 수[mm]의 Arc 간극으로 구성될 수 있다는 것이며, 반면 적외선이 가시 대역보다 큰 Power로 출력됨으로써 발광 효율이 낮아(25~35 [lm/W]), 단지 초 고휘도용 프로젝터에서 대전력 램프로 사용되는 추세에 있다. 수명은 종류에 따라 차이가 있으나 2000시간 이하이다.

### 3.3.2 Metal-halide Lamp

Metal-halide Lamp는 AC, DC 점등형 모두 사용되고 있으며, 고압 수은등에 금속할로겐화물을 첨가한 형식의 고압 방전등이라 할 수 있다. 수은등은 수은 압력에 따라 휘도 및 발광 스펙트럼이 다른데 저압 시 단파장(자외선) 및 선 스펙트럼의 경향을 갖고, 고압으로 될수록 장파장의 연속 스펙트럼 및 고휘도의 경향을 갖는다. 따라서 디스플레이용 광원으로 사용되려면 수백 기압의 증기압을 필요하게 되는데, 수십 기압의 증기압을 갖는 램프로 사용되기 위해서는 첨가 물질에 의하여 분광 스펙트럼 및 휘도를 향상시킬 필요가 있게 된다. 금속 물질이 이러한 역할을 할 수 있는데 금속 단체는 석영관과 반응을 일으키는 문제를 안고 있다. 금속할로겐화물을 사용하는 경우, 램프 점등 중 Arc 중심온도가 4000~6000도가 되어 금속할로겐화물은 분리되어 금속은 Arc 중심에서 금속의 스펙트럼을 방사하고, 관벽 주위는 900~1000도로 금속과 할로겐이 재결합함으로써 금속과 석영의 반응을 줄이는 동작에 의하여 이러한 문제를 개선할 수 있다. 한편 금속할로겐화물은 금속

원소보다 증기압을 높이는데 용이하고, 자체의 분자 스펙트럼도 방사하는 이점도 갖고 있어 금속 단체보다는 금속할로겐화물을 첨가 물질로 사용하게 된다. 강한 선 스펙트럼을 갖는 것으로는 Na(589nm), Li(670nm,611nm), Ti(535nm), In(451nm), Ga(451nm), K(766nm,770nm)등이 있고, 다수의 선 스펙트럼을 갖는 것은 Sc, Dy, Nd, Tm, Ho, Th, Fe등이 있으며, 분자 발광의 연속 스펙트럼을 갖는 것은 SnI<sub>2</sub>, SnBr<sub>2</sub>, InI, InBr등이 있고, 방전의 안정화 및 증기압 증가 물질로는 CsI, CsBr, AlI<sub>3</sub>, AlBr<sub>3</sub>등이 있다. 이러한 물질 중 보통 다수의 메탈할로겐화물을 사용하는데 디스플레이용으로는 DyI<sub>3</sub>+TmI<sub>3</sub>+HoI<sub>3</sub> 나 DyI<sub>3</sub>+NdI<sub>3</sub> 등이 사용되며, 발광 특성을 변화시키기 위해 특정 원소를 추가하기도 한다. 한편 희토류 금속은 석영관과 반응하여 백탁 현상을 발생시켜 램프의 수명을 단축시키는 작용을 하는데, Short Arc 램프의 경우 DC 구동형이 이러한 금속을 음극측에 집중시켜 석영관과의 접촉을 줄일 수 있어 수명이 2~3배 향상된다. 메탈할라이드 램프는 수은이 낮은 온도에서 높은 증기압을 갖기 때문에 시동 과정에서 수은이 발광의 주요 인자로 작용하다가 열적 평형 상태가 이루어지게 되면 여기준위가 수은 보다 낮은 메탈할로겐화물에 의한 발광이 주를 이루어 가시광선 대역의 방사 효율을 높여 주기 때문에 높은 램프 효율을 제공할 수 있다. 금속이 고온에서 증기압을 형성할 수 있기 때문에 저온부에 가스로 되지 않는 금속이 남아 있는 경우가 있고, 램프의 적절한 온도 관리가 필요하며 램프 특성에 따라 다르겠지만 관벽 온도를 920도 - 960도로 유지하는 것이 일반적이다. 메탈할라이드 램프의 또 다른 특성으로 물질에 따라 증기압 발생 온도가 다르고 발광 위치에 따른 온도차가 있기 때문에 방전 부위에 따라 색 층이 발생되어 화면의 색 얼룩 원인이 되나 최근의 광학계는 앞서 말한바 같이 Rod 렌즈나 FEL에 의해 해결하고 있다. 메탈할라이드 램프는 램프 효율은 높으나 녹색이 강하여 광학계 구성 시 Yellowish White를 갖는

단점이 있다.

램프 성능은 AC, DC 공히 6500~7500K의 색온도를 가지며, 램프 효율은 AC는 70~80[lm/W], DC는 ~65[lm/W] 이고, 100[W]~600[W] 전력용에 대해 AC는 1.5~5[mm], DC는 1.2~3[mm]의 Arc를 갖으며 수명은 AC의 경우 2000시간 이하, DC의 경우 3000시간 이하이다. 현재 주로 사용되는 것은 200[W]~600[W]의 중전력 램프이다.

### 3.3.3 초고압 수은 램프

초고압 수은 램프는 발광 물질로 수은이, 시동 보조 물질로 Ar 또는 Xe이 주입된 수은 램프의 일종으로, 앞서 말한 바와 같이 증기압에 따른 스펙트럼 및 휘도 특성이 틀린 것을 이용하여 100~200 기압대로 초고압화 함으로써 가시 대역의 발광 효율을 향상한 것이라 할 수 있다. 증기압이 커 고전압(60~100V)으로 구동되며, 상대적으로 저 전류이기 때문에 점등 장치를 소형화 할 수 있다. 현재 8500[K]의 높은 색온도를 제공하여 광학계에서 Blue 대역의 투과율이 떨어지는 단점을 극복할 수 있으나 적색이 상대적으로 낮아 AV의 영상 화면의 색 재현성을 구현하는데 부족한 감이 있다. 현재까지의 램프 중에서는 최단의 방전 크기(1.1~2mm)를 가지며, 램프 효율도 높아 60[lm/W]의 출력을 구현하고 있고 수명도 100[W]급에서는 10000시간에 육박하고 있는 것으로 알려지고 있다. 한편 초고압 수은 램프는 동작 중 수백기압의 내부 압력을 갖기 때문에 램프 폭발에 대한 안전 대책이 필요하다. AC형, DC형 공히 성능 차이가 크지 않고 고휘도의 발광 휘점이 AC의 경우 양전극에서, DC의 경우 음극에서 이루어지며, Short Arc의 문제점 중의 하나인 발광 위치 변화에 따른 Flicker 현상의 제어 및 안정기 가격 Down 측면에서 DC형이 유리한 것으로 알려지고 있지만, 현재 우월이 가려진 것은 아니다. 최근 투사형 디스플레이에 대부분이 초고압 수은 램프가 사용되고 있지만, 현재 200[W]이상의 전력을 갖는 램프가 없어 하나의 초고

압 수은 램프를 사용하여 3000 ANSI[lm] 이상의 밝기를 실현하기는 어려운 상황이다. 그러나 초고압 수은 램프를 중심으로 Short Arc화, 고전력화, Red강화 및 생산 Process개발에 의한 가격 Down의 기술 개발이 활발히 진행되고 있어 조만간 가시적 발전이 있을 것으로 기대되고 있다.

## 4. 투사형 디스플레이 및 램프 전망

투사형 디스플레이는 타 디스플레이와 달리 화면의 크기를 임의로 키울 수 있으며, 밝기도 램프의 선택에 의하여 증대시킬 수 있고, 해상도를 증가시키는데 있어 가격 증가가 크지 않을 뿐더러, 색재현 범위를 임의로 확대할 수 있기 때문에 디스플레이에서 무한한 잠재력을 갖고 있다고 생각된다. 현재 투사형 디스플레이는 노트북보다도 작고 가벼운 초소형, 경량화의 포터블 방향과 밝고, 선명한 영상을 제공하는 고휘도, 고화질 방향의 양대 방향이 동시에 추구되고 있다. 또한 박형, 경량의 대화면 프로젝션 디지털 TV로의 위치를 확보하고자 개발이 진행되고 있다. 이러한 추세에 있어 현재 기본적으로 요구되는 것은 Cost Down과 수명 향상이라고 할 수 있으며, 추가적으로는 광 효율 향상에 의한 밝기 증대 및 색 재현성 강화라 할 수 있다. 램프는 이러한 요구를 해결할 수 있는 중요한 Key를 갖고 있다고 생각된다.

이에 대하여 램프는 램프 효율 향상뿐만 아니라 1[mm]의 이하의 Short Arc화 및 장 수명화의 기술 향상이 필요할 것으로 생각되고, 다양한 성능의 투사형 디스플레이를 제공할 수 있도록 300~400[W]급까지의 고 전력화 및 Red Color를 강화할 필요도 있다고 생각된다. 당분간은 초고압 수은 램프가 이러한 역할을 수행할 것으로 생각되어지며, 장 수명, Low Cost의 무전극 램프나 색 순도 및 평행성이 탁월한 Laser 광원에도 기대가 된다.

## 참고 문헌

- [1] Larry J. Hornbeck, "From cathode rays to digital micromirror", Texas Instruments Technical Journal, Vol. 15, No. 3, pp.7-45, 1998.
- [2] Y. Itoh, et. al., "Ultra-High-Efficiency LC Projector Using a Polarized Light Illumination System", SID 97 Digest, pp. 993-996, 1997.
- [3] Chris Chinnock, "Microdisplay Overview", SID 2000 Seminar Lecture Notes, Vol. 1, pp. M-5/3-M-5/98, 2000.
- [4] Michael G. Robinson, et. al., "High Contrast Color Splitting Architecture Using Color Polarization Filters", SID 2000 Digest, Vol. 31, pp. 92-95, 2000.
- [5] 東忠利 외, Light EDCF No. 15, Ushio, 1998. ([www1.ushio.co.jp/tech/le/index.html](http://www1.ushio.co.jp/tech/le/index.html)).
- [6] T. Higashi, T. Arimoto, "Long Life DC Metal-halide Lamps for LCD Projector", SID 95 Digest, No 11.2., 1995.

## ◇ 著者紹介 ◇



권순형(權純炯)

1984년 연세대학교 이과대학 물리학과 졸업(학사), 1986년 연세대학원 물리학과 졸업(석사), 1989년~현재 LG전자 디지털 디스플레이 연구소 책임연구원, 주요연구분야 LCD Projector.



이한배(李漢培)

1984년 성균관대학교 기계공학과 졸업(학사) 1984년~1990년 고려씨스템산업 근무, 1990년~현재 LG전자 디지털 디스플레이 연구소 책임연구원, 주요연구분야 LCD Projector.