

고출력 LED를 이용한 DLP 프로젝터용 광학계의 설계

Optical System Design for DLP Projector Using High-power LED

강신규, 박성찬*

단국대학교 물리학과

scpark@dankook.ac.kr

프로젝션 광학계는 영상장치의 한 종류로 특정한 정보를 스크린 확대 투영하여 전달하는 광학장치이다. 초기의 CRT형 프로젝션 광학계는 선명한 화질로 각광을 받았지만 대화면 구현이 어렵고 밝기가 제한적이라는 단점이 있어 현재는 부피와 무게를 크게 줄이면서 고화질과 대화면 구현이 가능한 LCD(Liquid Crystal Display), DLP(Digital Lighting Processing), LCOS(Liquid Crystal on Silicon) 등의 마이크로 디스플레이를 사용하는 방식이 대부분이다. 이 중 DLP방식은 반사형 디스플레이의 한 종류로 수백만의 미세거울이 집적된 DMD(Digital Micro-mirror Device)칩에 디지털 신호를 입력하는 방식으로 빛의 편광을 이용하는 LCD와 LCOS에 비해 효율이 좋고 1-판식으로도 고화질을 구현할 수 있는 장점이 있다. 특히 on/off 구동이 자유로운 LED를 광원으로 사용하게 되면 컬러휠(color wheel)이 필요하지 않아 다른 마이크로 디스플레이에 비해 1-판식 DLP형 프로젝션 광학계가 광원으로 LED를 사용함으로써 얻는 장점이 크다고 할 수 있다.

본 연구에서는 고출력 RGB LED를 광원으로 사용하는 전면 투사 방식인 1-판식 DLP 프로젝터용 광학계를 설계하였다. 먼저 DLP형 프로젝션 광학계가 갖는 기하학적인 광학특성이 고려된 목표사양은

표 1. DLP 프로젝터의 사양

| NO | 항 목 | 사 양 | 비고 |
|----|-----------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | MD Type | Panel Size | 0.8 inch DMD (Tilt angle : ±12°) |
| | | Pixel Pitch | D : 20.09 H : 17.51 V:9.85 |
| | | Panel Efficiency | 13.68 |
| | | | 68 |
| 2 | Resolution | WXGA (1280 × 720) | |
| 3 | Light Source | Red LED × 2 Green LED × 4 Blue LED × 2 | 1~2.5W |
| 4 | ANSI Brightness | 30 이상 | ANSI lumen |
| 4 | ANSI Uniformity | 20 이하 | % |
| 5 | Scenen Size (Projection Distance) | 20~100 inch (0.57~2.86m) | |

표 1에 열거하였다. 사용된 LED는 고출력이 가능한 top LED로 평행광 혹은 약간 수렴하는 광으로 만들어 주기 위하여 collimator를 삽입하였다. 그림 1은 설계된 콜리메이터의 렌즈의 layout으로 제 1면, 제 2면의 곡률반경과 제 3면의 원추계수, 곡률반경에 의해 평행광으로 유도된다. 그림 2는 collimator에 의해 배광특성의 변화를 보여주고 있다. 집합된 4개의 collimator의 최종 출사면의 크기는 곧 최초 조명영역이 되므로 Köhler illumination system에 의해 설계될 fly-eye Lens와 relay lens의 1차량을

결정할 수 있다.^(1,2) 전체 조명광학계는 dichroic mirror, fly-eye lens, relay lens, fold mirror, TIR prism 으로 구성하였으며 최적화된 조명광학계는 균일한 광도분포를 가지면서 손실광을 최소화하고 조명효율을 최

적화하였다. 패널의 상을 스크린에 확대하는 투사광학계는 20~100 인치의 넓은 영역을 투사할 수 있는 연속 초점조절렌즈를 가지고 있으며 F/2.4, 시야각(FOV) 60 degrees, 왜곡수차 1% 미만의 광학적 특징을 가지고 있다. 또한, 모든 투사 영역에서 MTF는 공간주파수 36 lp/mm에서 30 %이상의 성능을 갖고 있다. 그림 3은 최적 설계된 프로젝터의 layout으로 40인치의 스크린에서 평가된 ANSI Lumen과 ANSI uniformity는 각각 36.8 ANSI lumen, 19.6 %이다.

본 연구에서 제안된 DLP 프로젝터용 광학계는 조명광학계 및 투사광학계의 효율, 균일도, MTF, 수차도등의 프로젝터용 광학계가 가져야하는 성능을 만족하였으며 결과적으로 HD급의 해상도를 갖는 모바일용 프로젝터의 설계방안을 제시하였다.

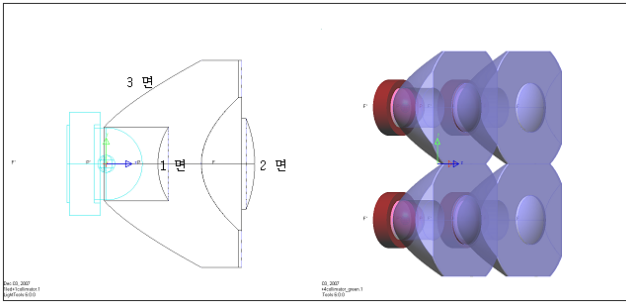


그림 2. Collimator의 layout

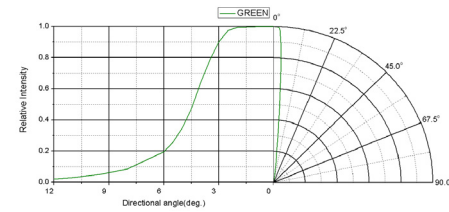
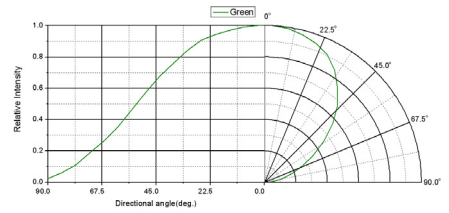


그림 3. Collimator에 의한 배광특성의 변화

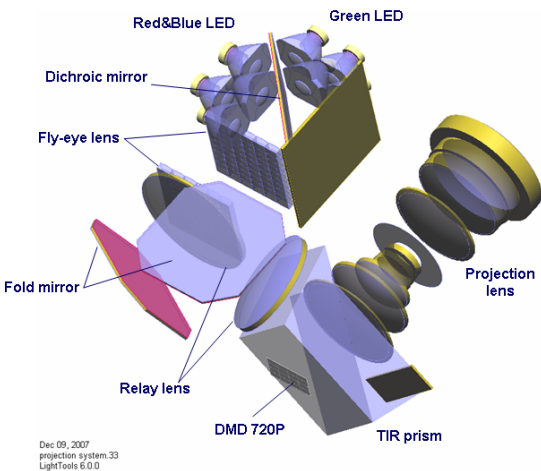


그림 4. 최적 설계된 프로젝터의 layout

표 2. 프로젝터의 각 부분별 효율

| NO | PARAMETER | 효율 | 비고 |
|----|-----------------------|-------|--|
| 1 | Collection efficiency | 41.5% | |
| 2 | Dichroic mirror | 97.3% | Dichroic Multi-layer |
| 4 | Fly-eye lens(2) | 88.9% | Multi-layer AR Clear aperture : 95% |
| 5 | relay lens(2) | 99.1% | Multi-layer AR |
| 7 | Fold mirror(2) | 96.3% | Ag(silver) |
| 9 | TIR prism | 89.1% | Multi-layer AR |
| 10 | DMD panel | 68% | |
| 11 | Projection lens | 93.7% | Multi-layer AR |
| 12 | Color separation | 33.3% | |
| 13 | Overall efficiency | 6.5% | |

- Edward H. Stupp and Matthew S. Brennesholtz, "Projection Displays", JOHN WILEY & SONS, (1998)
- 이정열, "마이크로 디스플레이를 이용한 프로젝션 TV용 광학계 설계", 단국대학교 석사학위 논문, (2005)