

반사형 DISPLAY DEVICE를 이용한 PROJECTION TV 광학계 개발

글 : 최순철 선임연구원/삼성전자 기술총괄 MM연구소

한국광학기기협회가 후원하고 한국광학회 광기술분과가 주최한 제8회 광기술워크샵이 지난 3월 13일부터 양일간 대전광역시 유성에서 광디스플레이기술을 특집으로 개최되었다.

한국 광기술의 현황과 전망을 주제로 열린 이번 워크샵의 발표논문중에서 '반사형 DISPLAY DEVICE를 이용한 PROJECTION TV 광학계 개발'의 논문전체를 게재하니 관심있는 독자들의 많은 참고바란다.

-편집자 주-

반사형 DISPLAY DEVICE를 이용한 PROJECTION SYSTEM은 투과형 DISPLAY DEVICE를 이용한 것과 다르다. 투과형의 광학계는 광원, 조명계, DISPLAY DEVICE, 투사렌즈를 차례로 배열하면 가능하다. 그러나 반사형은 조명광과 투사광이 중복되므로 이것들을 분리할 수 있는 수단이 필요하다. 본 논문에서는 조명광과 투사광의 분리 수단으로 전반사 PRISM과 OFF-AXIS 투사렌즈를 채용하여 개발한 광학계의 설계내용 및 성능 분석에 대해 기술하였다.

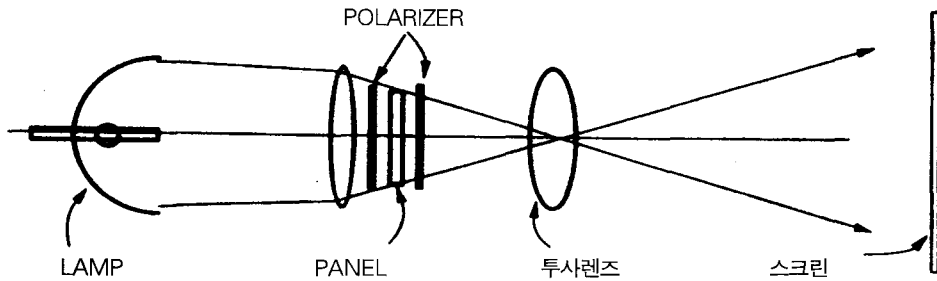
I. 서론

1980년대 부터 대화면 DISPLAY에 대한 NEEDS가 늘어나면서 비교적 쉽게 대화면을 구현할 수 있는 PROJECTION SYSTEM의 개발이 활발해졌다. 초기에는 주로 소형 CRT를 이용하였으나 SEIKO-EPSON사, SHARP사 등에서 LCD(LIQUID CRYSTAL DISPLAY)를 이용한 PROJECTION SYSTEM을 출시하면서 CRT 대체 DEVICE로 소형 DISPLAY DEVICE를 이용한 PROJECTION SYSTEM의 개발이 활발해졌으며 최근에는 시장을 양분하는 양상이다. 소형 DISPLAY DEVICE는 90년대 초에 LCD가 대부분이었으나

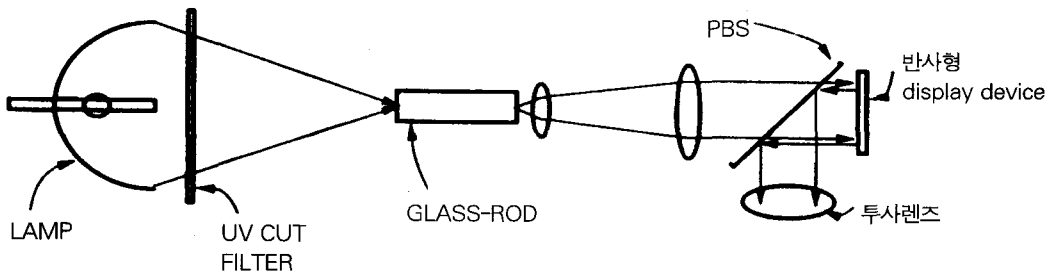
90년대 중반에 DMD(DIGITAL MICRO-MIRROR SEVICE)가 출시되었고⁽²⁾ 최근에는 반사형 LCD^(3, 4)가 출시되고 있다. DMD와 반사형 DISPLAY DEVICE는 SILICON-BASE로 DISPLAY의 DIGITAL화와 고해상도화에 맞추어 크게 각광받고 있다. 본 논문에서는 당사에서 개발한 반사형 DISPLAY DEVICE를 이용한 PROJECTION TV의 광학계 설계와 성능 분석에 대해 기술하였다.

II. 본론

(1) 반사형 PROJECTION TV 광학계 <그림 1>은 투과형 DISPLAY DEVICE(PANEL)를



〈그림 1〉 투과형 PROJECTION 광학계



〈그림 2〉 PBS를 이용한 반사형 광학계

이용한 PROJECTION SYSTEM의 일반적인 구조이다.

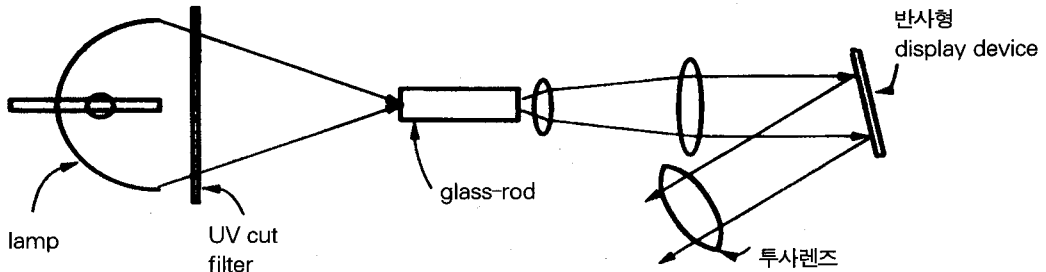
PANEL를 중심으로 좌측의 조명계는 조명효율을 높이기 위해 FLYEYE LENS ARRAY 또는 GLASS ROD 등을 사용하고 있다. 광효율과 해상도를 높이기 위해 3매의 PANEL을 사용한 구조는 DICHROIC MIRROR들을 사용하여 색분리를 한다. PANEL 우측의 투사계는 SYSTEM의 SPEC. 맞게 DISPLAY화상을 스크린에 확대 투사시킨다. 3 PANEL의 경우는 색 합성을 위해 다시 DICHROIC MIRROR들을 사용한다. 투과형의 경우 광경

로가 광원, PANEL, 투사렌즈 순으로 진행하므로 비교적 쉽게 구성할 수 있다. 반사형 DISPLAY DEVICE의 경우는 조명계와 투사계가 중복되므로 분리하는 수단이 필요하다. 흔히 많이 알려진 PBS (POLARIZING BEAM SPLITTER)를 이용하는 방식으로 〈그림 2〉와 같다.

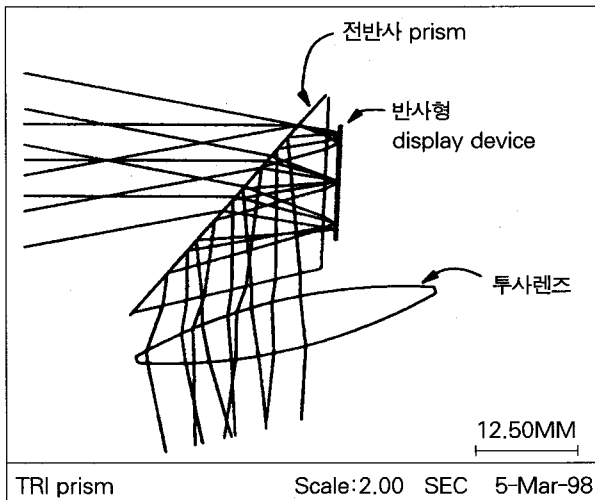
이 구조는 반사형 DISPLAY DEVICE가 구동시에 편광방향을 90° 변환시켜 WHITE를 표시하는 구동법을 사용해야 한다. PBS는 전가시 영역에 대해 p-porization과 S-porization을 분리할 수 있어야 하고 입사 허용각이 커야

한다. 특히 SILICON-BASE의 반사형 DISPLAY DEVICE는 아주 작은 크기이므로 조명광을 PANEL에 집속해야 하는데 이경우 입사각의 분포는 매우 크다. 본 논문에서는 각도 분포가 $\pm 11^\circ$ 이다. 이런 조건을 만족하는 PBS는 현재까지 출시되고 있지 않으며 유전체 COATING으로는 불가능하다고 판단된다. 다른 구조로는 〈그림 3〉과 같이 방법이 있다.

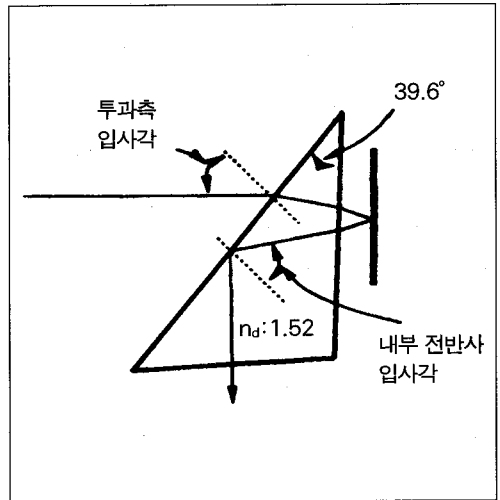
이 방식은 PANEL을 기울이고 투사렌즈의 BFL을 충분히 길게 하여 조명계와 투사계를 분리한 것이다. 이 경우 투사광이 확산되므로 투사렌즈



〈그림 3〉 PANEL을 TILT한 반사형 광학계



〈그림 4〉 전반사 PRISM을 이용한 조명광과 투사광의 분리



〈그림 5〉 전반사 PRISM

구경이 커지게 되며 조명축과 투사렌즈광축이 다른 OFF-AXIS가 된다.

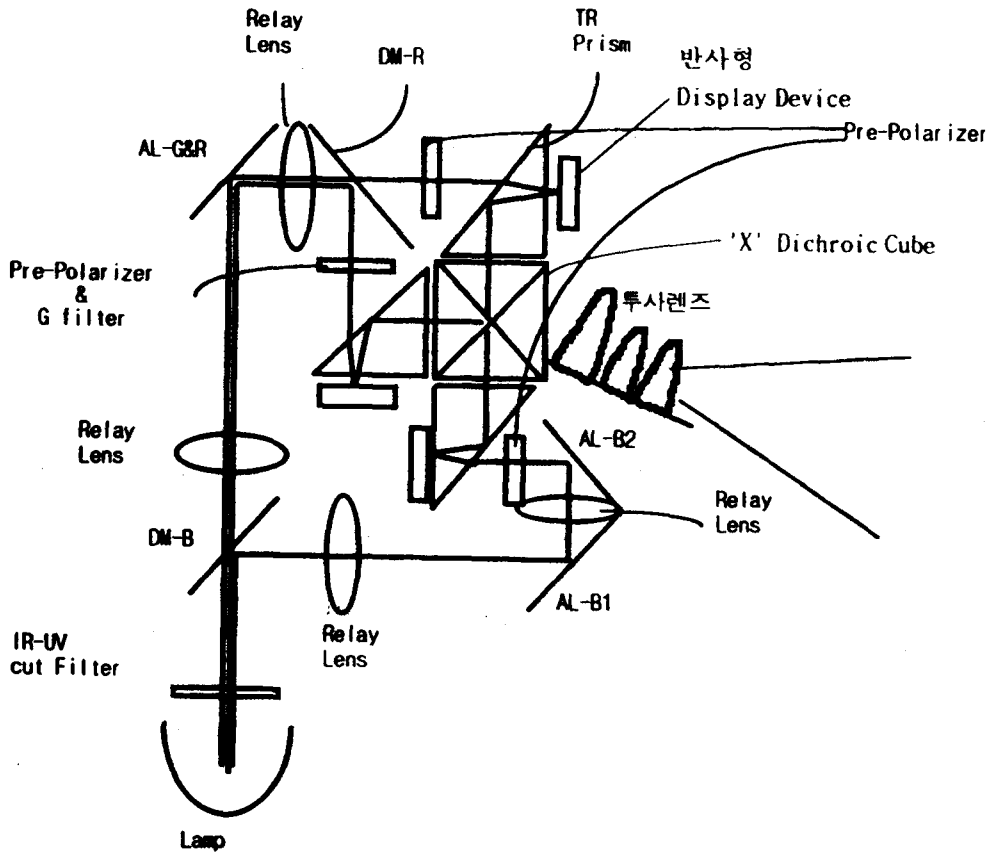
본 논문에서는 〈그림 4〉와 같이 전반사 PRISM을 설치하여 COMPACT하고 BFL이 짧은 광학계를 구현하였다.

본 논문에서 조명광의 각도 분포는 수평 $\pm 7^\circ$, 수직 $\pm 11^\circ$ 이다. 전반사 PRISM에서 내부 전반사되기 위해서는 다음 식⁽¹⁾을 만족해야 한다.

$$\text{입사각} > \sin^{-1}(1/n)$$

PRISM 형태에는 제한이 없지만 본 논문에서는 〈그림 5〉와 같이 구성하였다. 투과측 입사각 40.23° , d line(587.6 nm)일때 내부 전반사 입사각은 52.9° 가 되며 최악의 조건으로 최대 투과측 입사각 47.23° , c line(656.3nm)일때 내부 전반사 입사각은 50.54° 가 되어 ENERGY 손실이 없이 전반사 된다⁽¹⁾. 1 PANEL로 COLOR DISPLAY를 구현하기 위해

COLOR WHITE을 사용하여 TIME SEQUENTIAL 구동하는 방법이 있다. 이 경우는 TIME SEQUENTIAL 구동이 가능한 충분히 빠른 구동속도가 요구되며, 밝기 1/3 저하를 감수해야 한다. 본 논문에서는 저 소비전력으로 밝은 화면을 DISPLAY하기 위해 3 PANEL을 사용하였다. COLOR 분리용으로 2매의 DICHROIC MIRROR, COLOR 합성용으로 'X' 형



〈그림 6〉 반사형 광학계

DICHROIC CUBE를 사용하여 〈그림 6〉와 같이 광학계를 구성하였다.

(2) 투사렌즈

전반사 PRISM을 채용하여 투사렌즈의 BFL은 줄였으나 OFF-AXIS(조명광축과 투사렌즈 광축의 어긋남)는 피할 수 없다. 여러 가지 방법을 시도하였으나 최종적으로는 F number를 줄여 ON-AXIS로 설계를 한 후 STOP을 DECENT시켜 VIGNETTING하는

방법으로 설계를 하였다. 조명광의 각도 분포(수평 $\pm 7^\circ$, 수직 $\pm 11^\circ$)만 고려하면 F number는 F/2.5이다. 여기에 투사광축과 조명광축의 수평으로 어긋난 각도(19°)를 포함하면 F/1.03의 렌즈가 된다. 본 논문에서의 렌즈는 SYSTEM을 COMPACT하게 구성하기 위해 렌즈에서 광로를 60° 꺾어야 한다. 〈표 1〉은 요구되는 투사렌즈의 SPEC. 이다.

우선 기구적인 공간을 고려

한 후에 요구되는 성능을 최대한 확보하는 설계를 하였다. 설계시, 1번과 2번 비구면 렌즈에서 광이 지나가는 영역만 성능이 개선되는 것을 피하기 위해 광이 충분히 OVERLAP 되도록 10개의 FIELD에 대해 OPTIMIZE를 하였다.

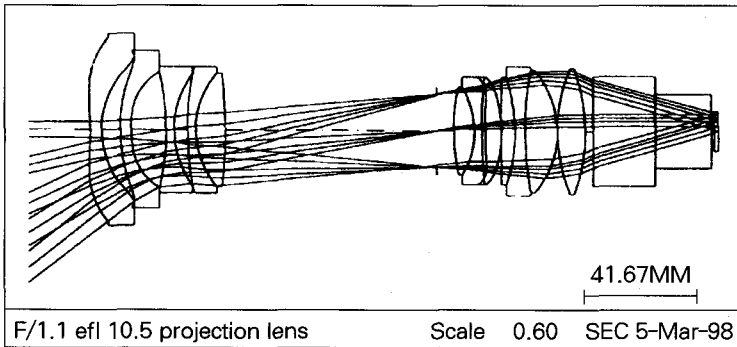
〈그림 7〉은 F/1.1로 설계된 렌즈의 LAYOUT이다.

설계된 렌즈는 렌즈 길이의 제한으로 고굴절을 재질과 렌즈 접합을 많이 사용하였고, 분

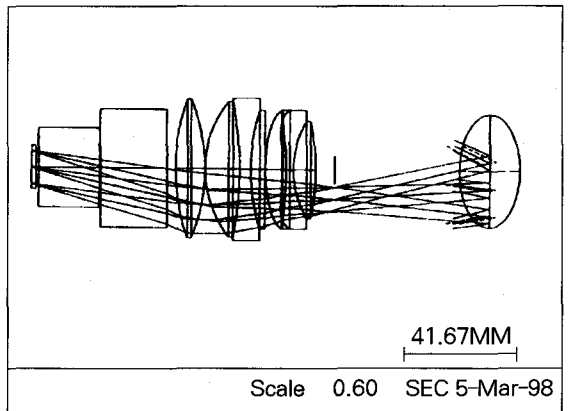
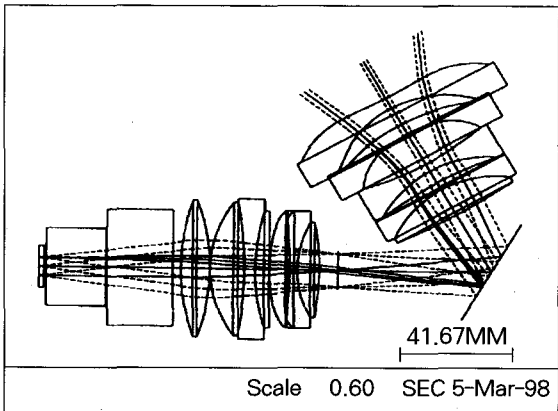
〈표 1〉 투사렌즈 초기 SPEC

광로변환각	60°	
렌즈 높이/렌즈 길이 제한(광축상 길이)	100mm이하/145mm	
F number/EFL	1.03/10.5	
OBJECT SIZE/IMAGE SIZE	40"/0.76"	
화각	82°	
투사거리/상거리(공기중)	533mm/48mm	
MTF	at 20 lp/mm(OF/0.7F/1F)	70%/50%/40%
	at 40 lp/mm(OF/0.7F/1F)	40%/30%/20%
절대 DISTORTION/상대DISTORTION	1% 이하/0.5% 이하	
주변광량비	60% 이상	
TELECENTRIC	주광선 각도 ±2° 이내	

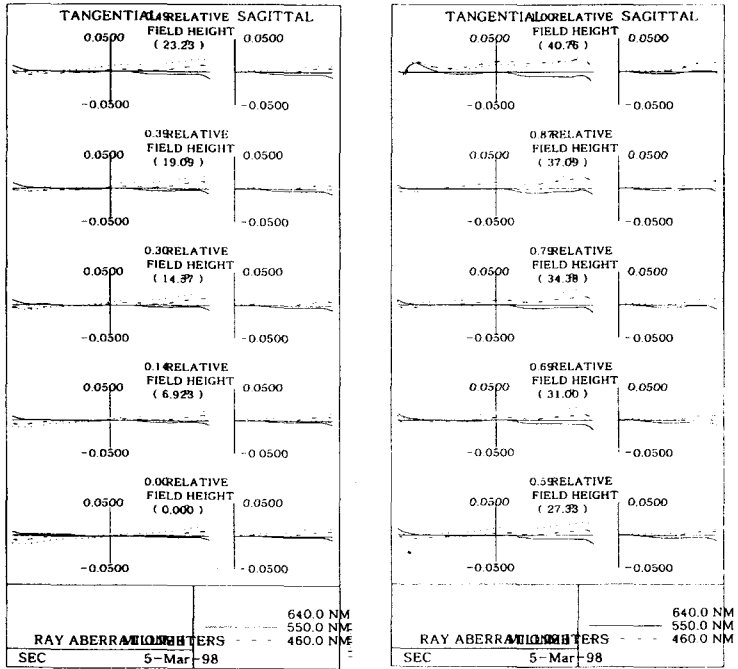
해능 확보와 DISTORTION 보정을 위해 3매의 비구면렌즈를 사용하였다. 광로 60° 변환을 위해 두개의 그룹으로 나누고 두 그룹사이에 충분한 공간을 확보하였다. 1 그룹은 강한 (-)POWER를 가지며, 2 그룹은 (+)POWER를 가지게 하여 RETRO FOCUS와 TELECENTRIC로 설계하였다. F/1.1렌즈를 실제 발산광에 맞추기 위해 STOP의 모양을 장축 8.5mm, 단축 6mm의 타원으로 만들고 위치를 -14.5mm DECENT하여 VIGNETTING을 하였다. 〈그림 8〉은 VIGNETTING과 광로 전환을 시킨 실제 LENS의 수직방향과 수평방향의 LAYOUT이다. 투사광은 2 그룹의 1/2영역만 통과하므로 광이 통과하지 않은 1/2영역을 제거하여 투사렌즈 공간을 확보하였다. 실제 렌즈는 회전대칭이 아니고 상하 대칭이므로



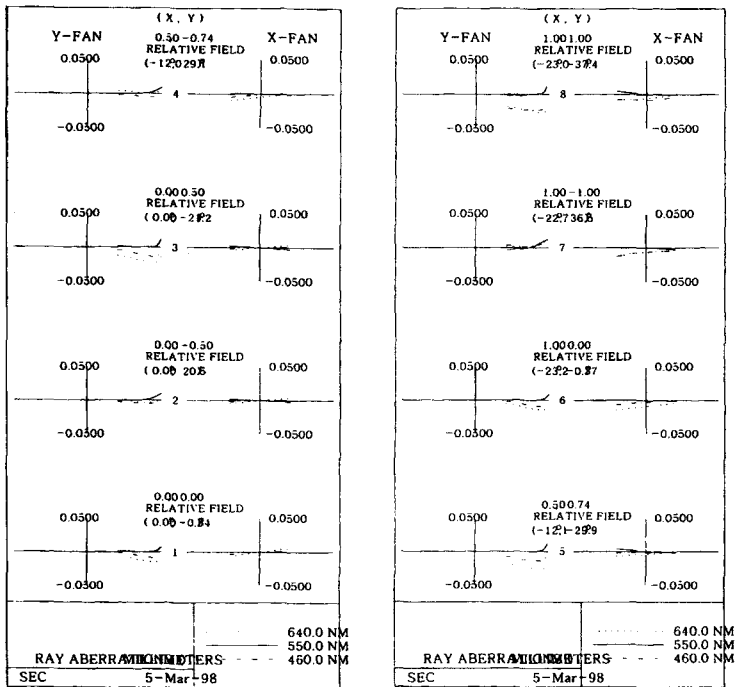
〈그림 7〉 F/1.1 렌즈 LAYOUT



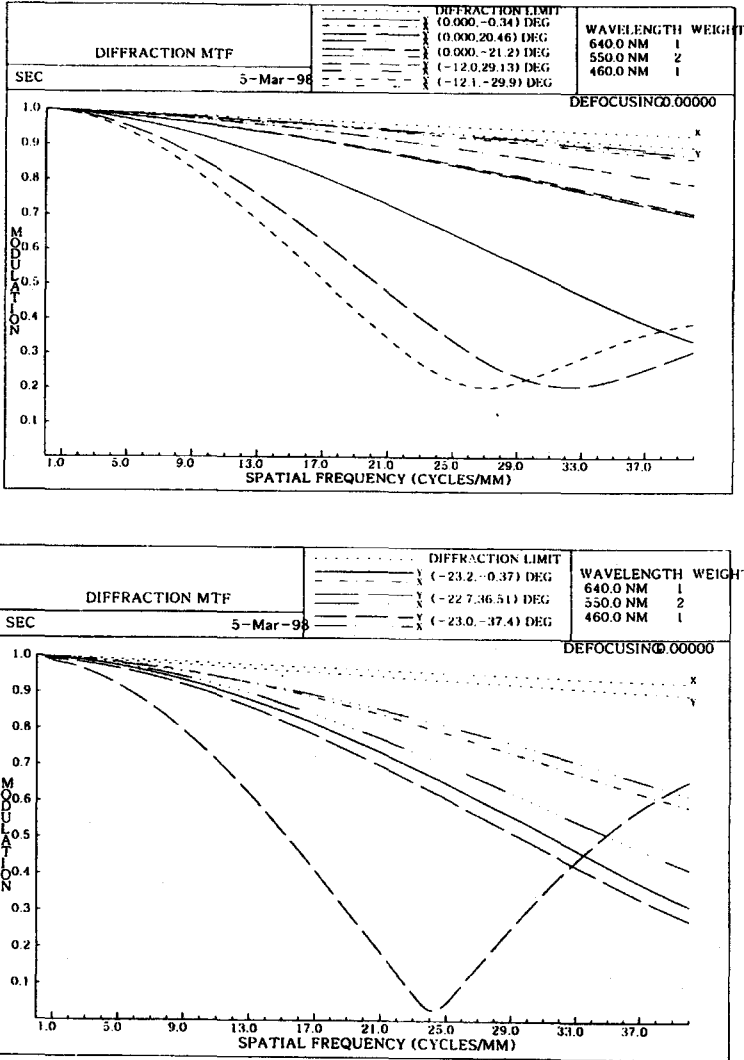
〈그림 8〉 실제 LENS의 LAYOUT



〈그림 9〉 F/1.1 LENS 수차도



〈그림 10〉 실제 LENS 수차도



〈그림 11〉 실제 LENS의 MTF

성능분석시 15개의 FIELD를 사용하였다. 본 논문에서는 복잡함을 피하기 위해 중심과 주변을 비롯하여 8개의 FIELD에 대해서만 표시하였다.

〈그림 9〉는 F/1.1렌즈의 수차도이다.

〈그림 10〉은 실제 렌즈의 수

차도이다.

〈그림 11〉은 실제 lens의 MTF data이다.

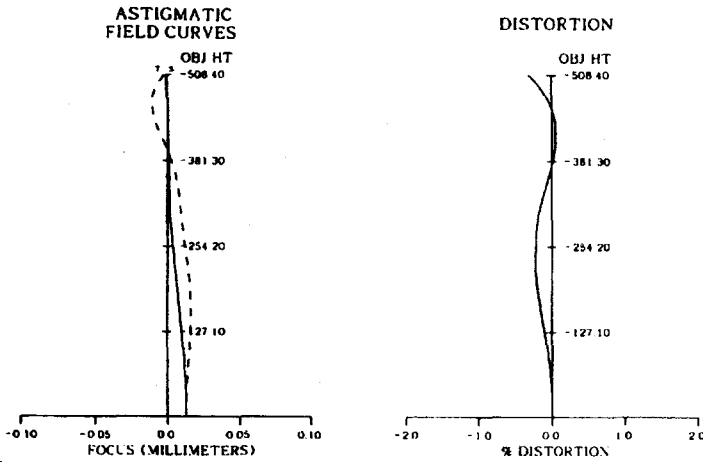
〈그림 12〉는 F/1.1 LENS의 ASTIGMATISM과 DISTORTION PLOT이다.

설계된 LENS의 성능을 정리하면 〈표 2〉와 같다.

설계 성능을 살펴보면 대체로 투사렌즈 광축으로부터 많이 벗어날수록 성능이 저하되는 것을 알 수 있다. 〈표 4〉에서 MTF는 성능이 최소인 DATA를 기술하였다. FULL FIELD 근처에서 각각의 COLOR에 대해서는 결상성능이 좋지만 색수차가 다소 심한 현상이 있다. 본 논문에서의 광학계는 3 PANEL 구조이므로 이것은 R, G, B 화상이 일치하지 않은 CONVERGENCE 불일치로 나타난다. 주변광의 결상성능과 색수차는 TRADE-OFF 관계이며 본 논문에서는 결상성능에 비중을 많이 두었다. 이상과 같이 설계된 광학계를 시제작하여 스크린에 투사하여 성능을 확인한 결과, 대체로 설계성능과 유사한 결과를 얻었으며 SYSTEM의 SPEC.을 만족할 수 있었다.

Ⅲ. 결론

PROJECTION SYSTEM은 DISPLAY DEVICE에 의해 좌우된다. DISPLAY DEVICE의 큰 흐름은 a-Si TFT LCD에서 집적도가 높은 p-Si TFT LCD로 옮겨졌고 이것은 x-Si 즉 VLSI위에 MICROMIRROR 혹은 LIQUID CRYSTAL을 배열하여 DIGITAL 구동시키는 형태로 바뀌고 있다. 즉 투과형에서



〈그림 12〉 F/1.1 LENS ASTIGMATISM과 DISTORTION

표 2 LENS 성능

F number/EFL	1.1/10.5mm	
화각	81.5°	
렌즈 매수	glass 9매, 비구면 plastic 3매	
투사거리/상거리(공기중)	534mm/46.5mm	
MTF	at 20 lp/mm(O.F/0.7F/1F)	75%/39%/25%
	at 40 lp/mm(O.F/0.7F/1F)	34%/39%/27%
절대 DISTORTION/상대DISTORTION	0.3%/0.4%	
주변광량비	63.4% 이상	
TELECENTRIC	주광선 각도 0.1° 이하	

반사형으로, ANALOG에서 DIGITAL로 전환되고 있다. 이것은 향후 고해상도 DIGITAL DISPLAY에 대응할 수 있는 소자의 필요에 부응하는 것으로 기술 개발이 가속화 될 것으로 예상된다.

본 논문에서는 고해상도 DIGITAL DISPLAY에 적합한 반사형 DISPLAY DEVICE를 이용한 PROJECTION SYSTEM의 광학

계 설계와 성능검토에 대해 기술하였다. 조명광과 투사광의 분리수단으로 전반사 PRISM을 채용하였고, OFF-AXIS 구조를 투사렌즈의 F number을 작게 하여 ON-AXIS로 설계후 실제 발산광에 맞게 VIGNETTING하는 방법으로 투사렌즈를 설계하였으며, 시제작하여 성능을 검토해본 결과 유사한 성능을 확인하였다. 본 논문에서 설계한 광학계가 최상의 설

계라고는 생각되지 않는다. 반사형 DISPLAY DEVICE를 이용한 광학계는 앞으로 많은 연구가 필요한 것으로 생각된다.

IV. 참고문헌

1. GRANT R. FOWLES. "INTRODUCTION TO MODERN OPTICS", HOLT, RINERHART AND WINSTON, INC. 1968. PP46-46.

2. J.B.SAMPELL. "AN OVERVIEW OF PERFORMANCE ENVELOPE OF DIGITAL-MICROMIRROR-BASED PROJECTION DISPLAY SYSTEMS", SID '94- DIGEST, PP 669-672.

3. M. A. HANSCHY ET AL, "MINIATURE FLC /CMOS COLOR SEQUENTIAL DISPLAY SYSTEM", SID '96 DIGEST.PP 327-332.

4. EDWARD H. STUPP. "PROJECTION DISPLAY", SID '96 SEMINAR LECTURE NOTES, F-3/35.