

## 고화질 프로젝션 TV용 렌즈 설계 및 제작

박 성 찬

(주) 금성사 영상미디어연구소

(1993년 5월 21일 받음)

고화질 프로젝션 TV에서 광학부품들이 가격 및 성능면에서 경쟁력을 갖춘 최적의 시스템을 설정하고, 그로부터 현재 방송규격인 NTSC 및 향후에 시행될 HDTV에 공용적용할 투사렌즈를 설계 개발하였다. 3차 수차가 모두 보정된 초기설계치, 플라스틱 렌즈의 비구면화, 공차 및 제작성을 고려한 최적화 설계, 그리고 온도보상등의 과정을 통해 설계 제작된 렌즈의 구현가능한 화면크기는 40~55인치, 해상도는 1000 TV-line 이상이다.

### I. 서 론

VTR, 비디오 디스크 등 다양한 영상 source와 더불어 TV화면의 대형화와 고화질화가 급속도로 진전되고 있다. 이런 경향을 더욱 가속화 시키는 것은 대형 직시관의 양산화, 투사형 TV(projection TV)의 고화질, 저가격화의 효과가 크다. 특히 투사형 TV는 수년간에 걸쳐 투사렌즈, 스크린, 투사관(CRT) 등 기본 핵심부품의 성능이 대폭 개선되어, 직시형 TV에 필적되는 화질이 실현되었다. 이미 알려진 바와같이 TV용 display 장치로서 여러가지 종류가 있지만, 현재 및 미래의 투사형 장치로서 가장 각광 받을 만한 것은 CRT 및 LCD를 이용한 투사방식이 될 것이라는 예측이 매우 강하다.<sup>[1,2]</sup>

본 연구는 투사형 TV 중에서도 CRT를 이용한 배면 투사(rear projection) 용 투사렌즈의 자체 개발 및 기타 광학 부품과 최적 시스템 구현을 위한 해석 및 방법론을 설정하여 시장에서 요구되는 경쟁력이 있는 projection TV용 광학계를 갖추는 것이 그 목적이다. 제 2 장에서는 CRT 배면 투사 방식의 total 광학계에 대해 중요하고도 기본이 되는 원리 및 spec. 설정에 관해 논하겠으며, 제 3 장에서는 투사렌즈의 설계 및 개발 process에 대해, 제 4 장에서는 렌즈의 제작 및 평가, 그리고 제 5 장에서는 결론과 향후 개발 동향에 대해 서술하겠다.

### II. 프로젝션 TV의 광학 부품

광학계는 투사렌즈, 스크린, mirror, CRT, CRT와

렌즈를 결합하는 coupler 등으로 구성되어 있다. 그림 1은 배면 투사형 TV 구성도이다. 그림 2는 투사광학계의 (일본, Hitachi, Neovision 42) 영상 결합 및 red, green, blue CRT의 배치도 이고 R. G. B CRT의 중심파장은 각각 612 nm, 544 nm, 448 nm이다. 그림에서 알 수 있듯이, TV set의 콤팩트화에는 렌즈의 투사거리 (Total Conjugate Length, TCL), CRT의 수장 등이 큰 영향을 주기 때문에 이들을 짧게 하는 것이 필요하다. 한편, 단순히 이것들의 치수만을 줄이는 것은 화질의 저하에 이어진다. 다시 말해서, 투사거리를 단축한다면, R. G. B. CRT-Lens ass'y의 광축간의 집중각(convergence angle)이 커지게 되어, 1) raster 왜곡의 증가, 2) 색 얼룩 증가, 3) 렌즈 화각의 증가에 의한 포커스 특성 저하 및 스크린 color shift 발생 등의 문제가 생긴다.<sup>[3,5]</sup> 콤팩트화 및 고

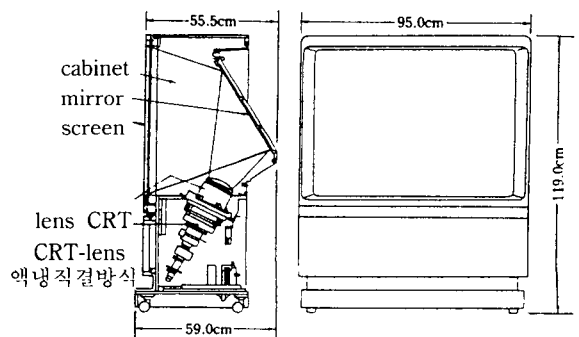


그림 1. Rear projection TV의 구성도.

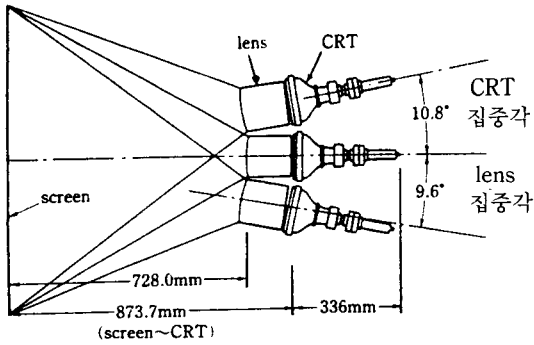


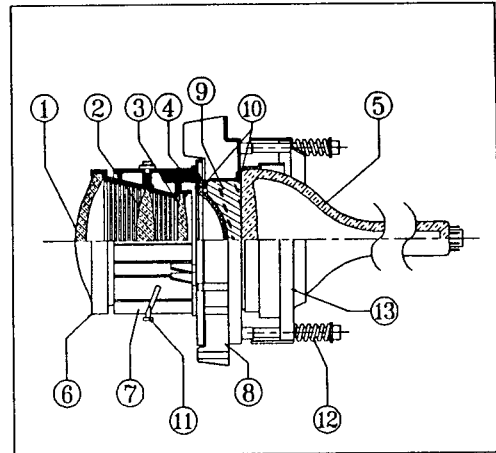
그림 2. CRT 및 광학계의 배열.

화질화 라는 서로 상반되는 문제를 해결하기 위해서는 많은 기술개발이 필요하다.

### 1. CRT-Lens Ass'y

그림 1에서 CRT에 맺힌 영상을 투영렌즈를 통해 확대시켜 스크린에 결상시키는 것이 CRT-Lens ass'y이다. 투사관(CRT)은 투사렌즈와 마찬가지로 화면의 포커스(focus)와 밝기를 결정하는 중요한 부품이다. CRT는 전자빔의 집속방식에 따라 분류할 수 있다. 정전(靜電)렌즈에 의한 靜電集束 방식과 電磁렌즈를 사용한 電磁集束 방식이 있으며, 최근에는 고화질을 얻기 위하여 靜電렌즈와 電磁렌즈를 조합한 집속방식도 사용 되기 시작했다. 그 예로서 Hitachi의 Neo-vision TV set에 적용된 7"형, 180 CGB22를 들 수 있다. 일반적으로 靜電集束 방식은 취급이 용이하고 컴팩트한 set가 가능하며 가격 또한 싸다. 본 연구에서는 이러한 TV set의 컴팩트화를 위해서 靜電集束 방식을 채택한 7"형 Hitachi 180 CSB22<sup>®</sup>라는 CRT를 사용하여 set를 구현했다.

CRT 형광체는 단위 면적당 직시관의 100배 정도의 에너지가 여기되며, CRT 표면 온도는 100℃ 이상까지 상승되기 때문에 유리 bulb가 터질 우려가 있다. 따라서 강력한 냉각이 필요하고, 과거에는 팬에 의한 강제 공냉이 채용된 air coupling 방식이었다. 그러나 소음, 이물질의 부착 이외에도 CRT의 face plate와 렌즈간의 입사면에서 광의 반사에 의한 contrast 저하가 문제가 되었다. 현재는 이런 문제를 해결하기 위해 액냉직결 방식을 이용하고 있다.<sup>[6]</sup> 액냉직결방식에 널리 사용되는 냉매는 에틸렌글리콜, 글리세린 및 1.3 부틸렌글리콜 등을 적절히 혼합하여 사용하며, 20℃, 1기압에서 굴절률은 대략 1.44 정도이다. 이값은 CRT 유리 bulb의 굴절률



CRT-LENS ASS'Y in the Projection TV

NO.	N A M E	N O T E
①	1st Lens	① ③ ④ ; Plastic Lens
②	2nd Lens	
③	3rd Lens	
④	C-Lens	
⑤	C R T	Hitachi 180CSB22 <sup>®</sup>
⑥	Inner Barrel	—
⑦	Outer Barrel	—
⑧	Coupler	350 ± 20 ml
⑨	Coolant	Ethylene Glycol + Glycerin
⑩	Packing	Silicon Rubber
⑪	Variator	7.0 X ~ 9.0 X
⑫	Spring	—
⑬	Back Cover	Holding CRT

그림 3. CRT-Lens ass'y 의 구성도.

1.55, plastic 렌즈의 굴절률 1.49와 비슷한 굴절률을 갖으므로 반사광 손실을 종전 4%에서 1% 이내로 줄이는 것이 가능하다.

투사 렌즈계는 굴절계를 사용하는 방식과 반사경, Schmit 또는 Meniscus 보정판을 사용하는 반사식의 2가지가 있다. 현재에는 비구면 등을 포함한 렌즈 기술의 진전에 따라 보다 밝고 선명한 화질을 비교적 쉽게 구현할 수 있기 때문에 그림 3과 같은 굴절방식이 주류를 이루고 있다. 최근에는 plastic 렌즈 성형기술이 발달됨에 따라 glass 및 plastic 렌즈를 조합한 hybrid 렌즈 구성이 널리 사용되고 있다.<sup>[7-10]</sup> Plastic 렌즈의 장점은 비구면

같은 복잡한 형상을 용이하게 실현 가능하고, 제조가격이 싸다는 것이다. 단점으로는 환경(온도, 습도)에 대한 성능의 변화 폭이 매우 크다는 것이다. 설계 기술의 진보와 glass 렌즈와의 조합에 의한 최적 설계로 이런 문제를 해결해 나가고 있다.

투사 렌즈의 구성은 모두 glass 렌즈를 사용했을 경우 6~7매, hybride 형태인 경우는 4~6매 정도가 가능하다. 렌즈의 F/수는 1.0 정도가 일반적으로 쓰이고 있다. 적은 렌즈 매수와 고해상도, 투사거리 단축 등의 모순되는 기술과제를 동시에 해결하기 위해서 투사관의 형광면(phosphor)을 구면 또는 비구면화하는 기술로 새로운 투사관의 개발이 실용화 되고 있다. 형광면 및 렌즈면을 비구면화하는 것으로 투사거리를 단축시킬 때 발생하는 고차 수차를 줄일 수 있다. 또한 형광면에 커다란 곡률을 주는 것으로 상면만곡 수차의 보정과 더불어 주변 광량을 렌즈 중심에 모으는 것이 가능하므로 주변광량비를 약 30% 이상 높일 수 있는 장점을 갖고 있다.<sup>[4,11]</sup>

투사렌즈에서 요구되는 해상력과 MTF는 CRT상의 유효 주사선수에 의해 결정된다. NTSC 방식은 약 485 TV-lines이고, PAL 및 SECAM 방식은 575 TV-lines 정도이다.<sup>[4,13]</sup> 예로서 CRT의 대각 raster size를 5.3"로 사용하는 경우 요구되는 렌즈의 해상력은 표 1과 같다. 해상력과 MTF의 관계에 대해서는 CRT 형광면상에서 최대 주사선의 解像本數(lp/mm)에 대해 설계된 렌즈의 MTF가 0.7 field 이내에서 30% 이상이면 적절하다. 그리고 향후에 시행될 HDTV에서 필요한 렌즈의 해상력은 표 1에서 주어진 값의 약 2배가 된다. 설계 단계에서 결상 성능 평가에는 수차도에 의한 수차 특성의 평가, MTF는 물론 spot diagram, 투영해상력 등의 평가 항목에 의해서 다각적으로 검토해야 한다.

2. 스크린

프로젝션 TV의 화질을 결정하는 요인 중의 하나로 스크린을 들 수 있다. 스크린은 투사광을 반사시켜 사용하는 front 스크린과 투사광을 이용하는 rear 스크린이 있다.<sup>[11,12]</sup> 그림 4는 rear 스크린의 구조이다. 프로젝션 TV의 화질은 현재 많은 부분에서 개선되고 있지만, 직시형 CRT TV를 초월하는 화질을 얻기 위해서는 최종

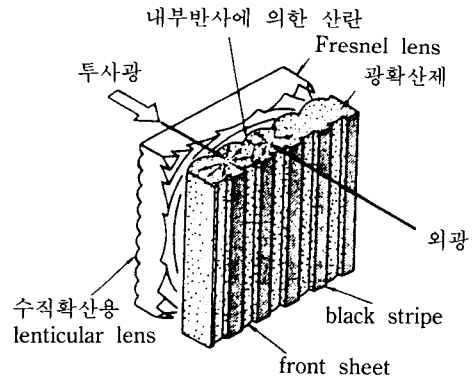


그림 4. Rear projection 스크린의 구조.

화질을 좌우하는 스크린의 개선이 과제로 남아 있다.

스크린에 투사된 투사광은 R. G. B. CRT에서 나온 색분해된 상이다. 스크린에서는 이광들을 합성시켜 영상을 재생하고, CRT에서 나온 광속을 특정한 부분에 고르게 분포시켜 유효한 화상휘도를 얻기 위해 일정한 광특성 기능이 필요하다. 현재 사용되고 있는 rear 스크린에는  $\alpha$ 값을 기준으로 하여 수평 시야각  $\pm 35\sim 45^\circ$ , 수직 시야각  $\pm 5.5\sim 12.5^\circ$ 이고, gain은 4~6 정도이다.<sup>[11]</sup>

Rear 스크린의 재질은 대부분 PMMA이며, Fresnel 렌즈와 lenticular 렌즈로 구성되어 있다. 여기서 Fresnel 렌즈는 투사광을 관찰자측에 집광시켜 적절한 시야 범위를 조절한다. 위치는 투사렌즈 방향이다. 그리고 lenticular 렌즈는 스크린의 gain을 높게 유지하면서, 수평방향의 시야각은 크고, 수직방향의 시야각은 작게 하여, 시청자가 항상 밝은 화상을 볼 수 있게 해 주는 역할을 한다.

구성매수에 있어서 1매식과 2매식, 그리고 3매식이 있지만, 1매의 Fresnel 렌즈와 양면 또는 단면에 lenticular 렌즈를 갖는 lenticular lens sheet를 조합하여 구성된 2매 구성의 스크린이 가장 널리 사용되고 있으며, 최근 (일)Pioneer의 제품, SD-40 AV1 에서는 초단축점 렌즈에서 발생하는 큰 color shift를 제거하기 위해 3매식 스크린을 사용하고 있다. 또한 최근에는 상의 contrast를 향상시키기 위해 즉 lenticular 렌즈에 black stripe를 처리함으로써 외부에서 입사되는 불필요한 광을 제거시키는 기술도 적용되고 있다.

3. 프로젝션 시스템

프로젝션 시스템 설계에서 가장 중요하며, 절실하게 요구받는 것은 바로 TV set의 크기다. 고화질을 유지하면서 총투사거리를 짧게 해서 set의 두께를 slim화 해야

표 1. CRT Raster size와 투사렌즈의 요구 해상력.

대각 raster size (inch)	주사선 해상력(lp/mm)	
	NTSC	Pal, Secom
5.3	3.0	3.56

제품으로서의 품위 및 경쟁력을 갖출 수 있기 때문이다. TCL은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$TCL = \frac{(1+m)^2}{m} f + N. S. \quad (1)$$

단,  $m = \frac{h_{SCREEN}}{h_{PHOSPHER}}$ ; 배율,  $f$ ; 초점거리.

N. S.; Nodal Separation.

식 (1)에서 볼 수 있듯이 주어진 배율에서 렌즈의 초점거리를 짧게 해야 투사거리(TCL)는 작게 되며, 초점거리가 일정할 때, 배율  $m$ 이 작아져야 set가 콤팩트해진다. 주어진 스크린 크기에서 배율을 작게 하기 위해서는 raster의 유효 면적을 크게 해야한다. 그러나 위 경우 모두 TCL이 짧아짐에 따라 화각( $\theta$ )이 커져 결국  $\cos^4\theta$ 에 의한 주변광량비 감소는 피할 수 없게 된다.

시스템의 contrast에 영향을 미치는 근본적인 요인으로서 veiling glare가 있다. 이것은 광학계에서 산란된 비결상 광원으로서 스크린에 균일하게 입사되는 광이다. veiling glare의 원인은 그림 5에 도식적으로 표현하고 있으며, optical material의 inhomogeneity, 경통에 의한 반사, 코팅의 불균일, 렌즈면의 굽힘 등에 의해서 주로 발생하므로 광학계 설계시부터 주의해야 한다.

CRT의 spot 크기 또는 방출규격에 따라 렌즈의 분해능이 결정되면, 스크린 크기에 따른 최적 시정거리를 다음과 같이 계산할 수 있다. 그림 6에서 보여진 것처럼 visual angle  $\theta_v$ 는 다음과 같다.

$$\theta_v = \tan^{-1}(h/d) \quad (2)$$

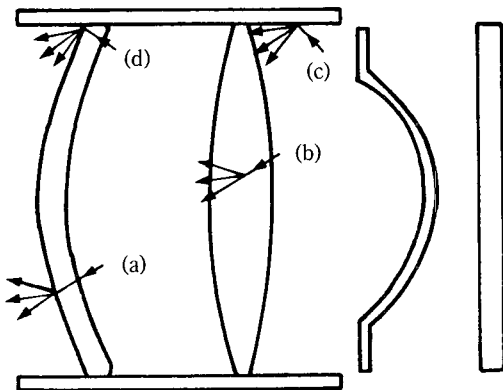


그림 5. Veiling glare의 원인 (a) Optical surfaces, (b) Materials, (c) Mounts, (d) Element edges.

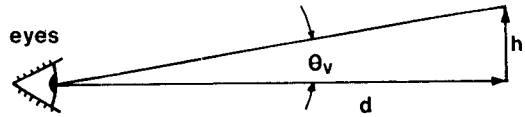


그림 6. Visual angle  $\theta_v$  of an object of  $h$  at a distance  $d$  from the eyes.

인간의 눈으로 분해할 수 있는 가장 작은 시야각을 visual acuity 라고 하는데,<sup>[4]</sup> 보통의 사람의 눈은  $\theta_v=1'$  (minute)이다. 따라서 최적 시정거리  $d_{opt}$ 는 다음과 같다.

$$d_{opt} = \frac{h_{SCREEN}}{\tan \theta_v} = \frac{h_{SCREEN}}{\tan(1')} = 3438 h_{SCREEN} \quad (3)$$

단,  $h_{SCREEN}$ 은 스크린상에서의 단위화소 크기임.

최적 시정거리  $d_{opt}$ 의 단위는 mm이고 의미는 다음과 같다.  $d_{opt}$ 보다 먼거리에서 TV를 보면, 스크린상에 나타나는 상세한 화상을 눈으로 볼 수 없으며, 이보다 가까우면 CRT의 최소 화소크기의 한계에 따른 분해능이 부족한 상태의 화면을 보게 된다. 따라서 식 (3)에서 스크린에서 단위화소크기  $h_{SCREEN}$ 가 작으면 작을수록 TV 화면이 크더라도 시정거리는 짧아지므로 TV에 가까워서 시정할 수 있다.

프로젝션 시스템을 설계, 개발함에 있어서 시스템 고유 특성과 요구되는 제반 조건들 사이의 충돌은 피할 수 없는 요인들이 많지만, 지난 수년간 많은 부분이 해결되었고, 또 앞으로 개선될 전망이다. 위에서 기술된 것 이외에도 시스템에 관련한 중요한 변수(parameter)인 F/수, 주변 광량비, air coupling vs. liquid coupling, contrast, 시야각 등에 관련한 내용은 참고문헌을 참고하기 바란다.<sup>[4,11]</sup>

### III. 프로젝션 렌즈계 설계

#### 1. 초기 설계

렌즈의 spec. 및 구성도가 정해지면 렌즈계의 1차적 성질과 3차 수차의 목표치를 설정하고, 각각의 수차를 제거함으로써 초기설계가 가능하다. 실제로 F/수가 작고 렌즈계의 분해능이 정밀하지 않을 경우 3차 수차의 보정이 광학계의 성능에 크게 영향을 미치지 않지만, 이러한 초기설계를 통해 타사 특허의 회피 및 고유모델을 개발하기 위해서는 필요한 작업임에 틀림이 없기 때문에 본 설계 과정에서는 초기설계를 시도하였다.

그림 7과 같이 4매 구성의 프로젝션 렌즈에서 1, 2,

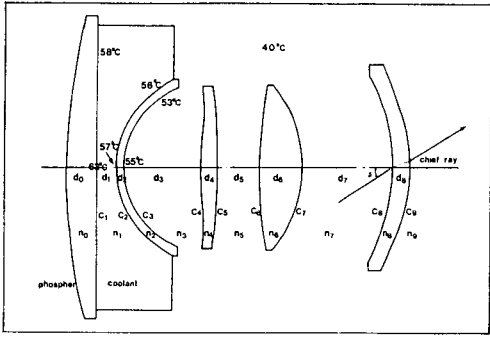


그림 7. 4매구성 투사렌즈의 layout 및 normal white 상태에서 2시간 경과 후 각 부분의 온도분포.

4번 렌즈는 plastic을, 3번렌즈는 glass를 채용하여 광학계를 구성하는 것이 수차특성및 온도변화에 의한 성능저하를 작게할 수 있다. 특히 glass 렌즈에 렌즈계의 전체 power를 부담시키므로써 온도변화에 대한 상면이동을 최소화 할 수 있다. 조리개(stop)는 제 8 면에, 주광선이 조리개중심에서 광축과 이루는 각을  $\beta$ 라 하면, 배율( $M=1/m$ ), 구면수차( $S_I$ ), 코마( $S_{II}$ ), 비점수차( $S_{III}$ ), Petzval sum ( $S_{IV}$ ) 및 왜곡수차( $S_V$ )의 계수를<sup>[13]</sup> Gaussian brackets를 이용하여 정리하면 다음과 같다.<sup>[14]</sup>

$$S_I = -n_0^4 u_0^4 \{X + a_9^2 g_{17} (-g_{17} k_9 + \alpha) - p_8 c_8^3 g_{15}^4 (n_8 - n_7)\} \quad (4)$$

$$S_{II} = -n_0^3 u_0^3 \beta \{Y + a_9 b_9 g_{17} (-g_{17} k_9 + \alpha)\} \quad (5)$$

$$S_{III} = -n_0^2 u_0^2 \beta^2 \{Z + b_9^2 g_{17} (-g_{17} k_9 + \alpha)\} \quad (6)$$

$$S_{IV} = H^2 \{W + k_9/n_8\} \quad (7)$$

$$S_V = n_0 u_0 \beta^3 \{T + b_9/a_9 \{g_{15}^2 k_9/n_8 - b_9^2 g_{17} (-g_{17} k_9 + \alpha)\}\} \quad (8)$$

$$M = 1/m = [d_0/n_0, -k_1, d_1/n_1, -k_2, d_2/n_2, -k_3, d_3/n_3, -k_4, d_4/n_4, -k_5, d_5/n_5, -k_6, d_6/n_6, -k_7, d_7/n_7, -k_8, d_8/n_8, -k_9] \quad (9)$$

단,  $a_9 = [d_0/n_0, -k_1, d_1/n_1, -k_2, d_2/n_2, -k_3, d_3/n_3, -k_4, d_4/n_4, -k_5, d_5/n_5, -k_6, d_6/n_6, -k_7, d_7/n_7, -k_8, d_8/n_8, n_8 c_9]$

$$b_9 = [d_8, c_9]$$

$$g_{15} = [d_0/n_0, -k_1, d_1/n_1, -k_2, d_2/n_2, -k_3, d_3/n_3, -k_4, d_4/n_4, -k_5, d_5/n_5, -k_6, d_6/n_6, -k_7, d_7/n_7]$$

$$g_{17} = [d_0/n_0, -k_1, d_1/n_1, -k_2, d_2/n_2, -k_3, d_3/n_3, -k_4, d_4/n_4, -k_5, d_5/n_5, -k_6, d_6/n_6, -k_7, d_7/n_7, -k_8, d_8/n_8]$$

위 식에서  $c_i (i=1, 2, \dots, 9)$ 는 각면의 곡률,  $n_i (i=0, 1, \dots, 9)$ 은 굴절률,  $k_i (i=1, 2, \dots, 9)$ 는 각면의 굴절능으로서  $c_i (n_i - n_{i-1})$ 로 표현되고,  $d_i (i=0, 1, \dots, 9)$ 는 면들사이의 간격, 그리고  $p_8$ 은 제 8 면의 원추곡면(conic surface)계수를 나타낸다. 위 식에서 보듯이 조리개가 위치한 8면을 원추곡면화 하여도 구면수차만 변화될뿐 비축수차에는 영향을 주지 않는다.<sup>[13]</sup>  $u_i (i=0, 1, \dots, 9)$ 는 축상광선의 근축각이고,  $H$ 는 Lagrangian 불변량,  $[ ]$ 는 Gaussian bracket이다. 식 (4)~(9)에서  $X, Y, Z, W, T$  및  $\alpha$ 는  $d_8, c_9$ 를 포함하지 않고 각 렌즈의 재질이 결정되어졌을 경우 단지 변수  $d_0, k_1, d_1, k_2, d_2, k_3, d_3, k_4, d_4, k_5, d_5, k_6, d_6, k_7, d_7, k_8$  만의 함수임에 유의하자. 모든 Seidel 3차수차가 보정된 광학계를 얻기 위해서는 식 (4)~(8)로 주어지는 수차계수가 모두 0이 되어야 한다. 우선 식 (7)에서 Petzval sum이 0이 되기 위해서는 다음식이 만족 되어야 한다.

$$c_9 = \frac{n_8 n_9 W}{n_8 - n_9} \quad (10)$$

$$\text{단, } k_9 = c_9 (n_9 - n_8), n_9 = 1.0$$

식 (10)을 식 (9)에 대입하고  $d_8$ 에 대해 풀면

$$d_8 = \frac{n_8 (g_{16} - k_9 g_{15} - m)}{k_9 g_{16}} \quad (11)$$

를 얻는다. 여기서  $g_{16} = [d_0/n_0, -k_1, d_1/n_1, -k_2, d_2/n_2, -k_3, d_3/n_3, -k_4, d_4/n_4, -k_5, d_5/n_5, -k_6, d_6/n_6, -k_7, d_7/n_7, -k_8]$ 이고, 식 (10), (11)를 이용하여 식 (5), (6), (8)를 정리하면 다음과 같은 세계의 방정식을 얻는다.

$$c_8 = \frac{s_4 q_1^2 + q_3 (q_2 s_1 - s_2 q_1)}{q_1 (q_3 s_1 - s_3 q_1) - q_2 (q_2 s_1 - s_2 q_1)} \quad (12)$$

$$q_1 c_8^2 + q_2 c_8 + q_3 = 0 \quad (13)$$

$$v_1 c_8^3 + v_2 c_8^2 + v_3 c_8 + v_4 = 0 \quad (14)$$

식 (12), (13), (14)에서  $s_i, q_i, v_i$ 는 설계변수  $d_0, k_1, d_1, k_2, d_2, k_3, d_3, k_4, d_4, k_5, d_5, k_6, d_6, k_7, d_7$ , 만의 함수, 즉  $s_i = s_i(d_0, k_1, d_1, k_2, d_2, k_3, d_3, k_4, d_4, k_5, d_5, k_6, d_6, k_7, d_7)$ ,  $q_i = q_i(d_0, k_1, d_1, k_2, d_2, k_3, d_3, k_4, d_4, k_5, d_5, k_6, d_6, k_7, d_7)$ , 그리고  $v_i = v_i(d_0, k_1, d_1, k_2, d_2, k_3, d_3, k_4, d_4, k_5, d_5, k_6, d_6, k_7, d_7)$ 이다. 마지막으로 구면수차가 보정되기 위해서는 식 (4)로부터 다음의 식이 만족되어야 한다.

$$p_8 = \frac{X + g_{17} a_9^2 (-g_{17} k_9 + \alpha)}{c_8^3 g_{15}^4 (n_8 - n_7)} \quad (15)$$

따라서 축소배율  $M$ 을 갖고, 색수차를 제외한 모든 Seidel 3차 수차가 보정된 광학계는 식 (10), (11), (12), (13), (14), (15)를 동시에 만족시켜야 한다. 식 (10)에서  $c_9$ 는  $d_8$ 에 관계되지 않고, 식 (12)의 오른쪽항은  $c_8, d_8, c_9$ 를 포함하고 있지 않음에 유의하자. 본 광학계는 plastic 렌즈 재질로서 PMMA를 사용하고, CRT는 180CSB22 ⑥를 사용하므로, 이들에 대한 굴절률과 CRT의 spec.에 의해  $c_1=0, d_0=14.1$  mm로 고정되어 있으므로 설계시의 변수는  $d_1, k_2, d_2, k_3, d_3, k_4, d_4, k_5, d_5, k_6, d_6, k_7, d_7, k_8, d_8, k_9, n_6, p_8$ 로서 총 18개이다. 그러나 물리적으로 타당한 해를 얻기위해서 초기설계에서 제어해야 할 물리량은 다음과 같다.

- (1)  $1/80 \text{ mm} < c_2 < 1/30 \text{ mm}$
- (2)  $1/80 \text{ mm} < c_3 < 1/30 \text{ mm}$
- (3) 냉매의 광축상 두께( $d_1$ )  $\geq 9$  mm
- (4) 3 mm < 첫번째 렌즈의 두께( $d_2$ ) < 5 mm
- (5) 15 mm < glass 렌즈의 두께( $d_6$ ) < 25 mm
- (6)  $TCL < 1200$  mm

그리고 일정한 배율  $M$ 을 갖고 모든수차가 보정된 광학계를 얻기 위해서, 식 (10)~(15)로부터 설계변수  $k_7, d_7, k_8, d_8, k_9, p_8$ 가 결정되므로 위 조건들을 만족시키도록 변수  $d_1, k_2, d_2, k_3, d_3, k_4, d_4, k_5, d_5, k_6, d_6, n_6$  을 적절히 선정해 가면서 방정식을 풀면된다.<sup>[15]</sup> 다시 말하면 설계 변수  $c_1=0, d_0=14.1$  mm와 자유변수 ( $d_1, k_2, d_2, k_3, d_3, k_4, d_4, k_5, d_5, k_6, d_6, n_6$ )를 타당성이 있는 광학계가 되도록 적절한 값을 선택하면 식 (12), (13), (14)로부터  $c_7, d_7, c_8$ 이 결정되고 이를 식 (10), (11)에 대입하면  $c_8, d_8$ 이 정해지고, 마지막으로 식 (15)를 이용하여 원추계수  $p_8$ 을 얻을 수 있다. 이런 과정을 통해 얻은 해석적인 해는 무수히 많지만 주어진 spec.에 가장 충실한 초기설계 data가 표 2 이다. 표 2에서 광학계는 초기설계시 설정된 구성을 (그림 7) 반전시킨 것이다. 즉, CRT의 phosphor면이 광학계의 상면이 되고 스크린이 물체면에 해당된다. 그 이유는 CRT의 단위화소가 CRT spec.과 방 송규격에 의해 주어지므로 CRT 단위화소 크기에 대해 렌즈의 분해능을 설정하고, 평가 해야하기 때문이다. 표 3은 3차 수차 값이며, 그림 8과 9는 광선도 및 광선 수차도이다. 표 3에서 보듯이 모든 3차 수차값은 0에 가까우므로, 3차 수차는 보정되었다고 말할 수 있다. 그러나 본 렌즈가 적용될 수 있는 F/수는 2.5 정도로 매우 크고 TCL 또한 길다. 그리고 반화각은 12.15°로 작기 때문에 이 렌즈를 곧바로 프로젝션 TV에 적용할 수 없으므로 최적화 과정을 통해 원하는 spec. 및 성능을

표 2. Green CRT-lens ass'y에 대한 초기설계치.

No.	Radius	Thickness	Glass( $n_c$ )
OBJ	INF	997.200	-
1	63.252	31.764	PMMA(1.4935)
stop	*60.497	43.480	
3	89.704	22.000	LaC9(1.691)
4	-160.000	25.000	
5	-34.000	8.000	PMMA(1.4935)
6	-180.000	30.000	
7	-40.000	5.000	PMMA(1.4935)
8	-50.000	11.000	Coolant(1.439)
9	INF	14.1	Phosphor(1.555)
IMG	-350.0	-	-

\* 원추계수  $P_2=1.637$ 인 비구면임.

표 3. 초기설계치에 대한 각면에서의 3차수차.

No.	구면수차	코 마	비점수차	Petzval S.	왜곡수차
1	-0.5353	-0.6151	-0.1571	-0.0052	-0.1446
2	0.2646	0.7170	0.4318	0.0055	0.4776
	0.9132	Aspherical surface contribution			
3	-0.0947	-0.5568	-0.7274	-0.0046	-1.2251
4	-0.6028	0.1775	-0.0116	-0.0026	0.0150
5	0.1887	-0.1613	0.0307	0.0010	-0.0202
6	-0.2465	-0.0128	-0.0001	-0.0018	-0.0018
7	0.1147	0.4728	0.4331	0.0083	0.9474
8	-0.0038	-0.0132	-0.0101	-0.0005	-0.0392
9	0.0015	-0.0084	0.0103	0.0000	-0.0094
Sum	-0.0006	-0.0003	-0.0004	0.0000	-0.0005

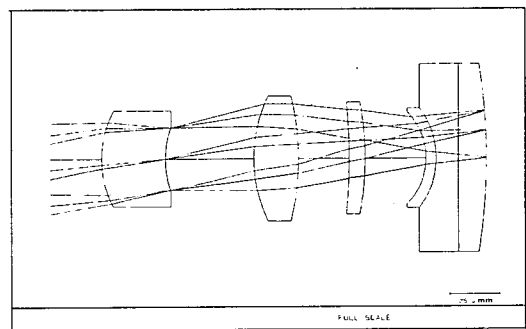


그림 8. 초기설계된 광학계의 광선도.

갖추도록 재설계가 필요하다.

## 2. Tolerance를 고려한 최적설계

렌즈설계 S/W CODE-V를 이용한 최적설계 과정에서 원하는 spec.을 만족시키기 위해서는 다음과 같은 제약

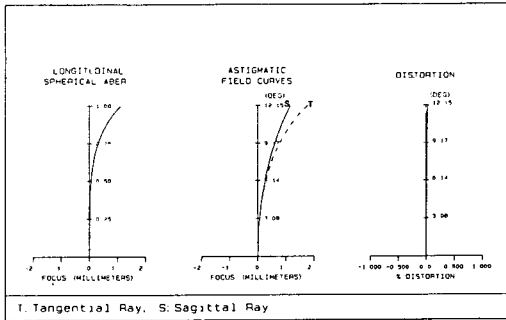


그림 9. 초기설계된 광학계의 수차도.

조건을 만족시켜야 한다.

- (1)  $F/\# = 1.0$
- (2)  $850\text{ mm} < \text{TCL} < 900\text{ mm}$  at  $45^\circ$  screen
- (3) 초점거리  $\leq 85\text{ mm}$
- (4) Plastic 렌즈의 중심과 가장자리 두께비  $\geq 1/2$
- (5) 주변광량비  $\geq 30\%$  at margin field
- (6) 왜곡 수차  $\leq 2\%$
- (7) Glass 렌즈 가장자리 두께: 2~3 mm
- (8) 렌즈전장  $\{OAL(S_1 \dots S_i)\} \leq 150\text{ mm}$
- (9) 저가격의 glass 렌즈 재질 선택 (BaCD5 HOYA, BK7, SK18. SCHOTT, 등)
- (10) 최대상고  $\approx 67 \sim 68\text{ mm}$

위와 같은 렌즈의 1차 성질을 만족시키는 범위에서 수차 보정을 해야한다. 수차보정 과정에서 고차수차보정은 비구면을 적용함으로써 실행되지만 중요한 것은 렌즈의 비구면 형상이 매끄러워 지도록 설계함과 더불어 허용 공차를 크게할 수 있도록 함으로써 제조오차에 대해 성능의 안정성을 확보해야 한다. 다시 말해서 주어진 설계값에 대해 어느 정도의 제조오차가 발생해도 렌즈의 성능을 일정한 수준 이상을 유지시키기 위해서는 각각의 면에서 발생하는 수차의 총합 및 수차 발생량을 최소화시키는 것이 필요하다.<sup>[16]</sup> 이러한 개념을 자동설계에 적용하기 위해서 Abbe 굴절량 A, B를 다음과 같이 정의하였다.<sup>[17]</sup>

$$\text{축상광선} : A = \sum (Q_i h_i)^2 \quad (16)$$

$$\text{주광선} : B = \sum (Q_{pi} h_{pi})^2 \quad (17)$$

위 식에서  $Q_i, Q_{pi}$ 는 근축광선 및 주광선의 Abbe invariants이고  $h_i, h_{pi}$ 는 각 광선의 입사고 이다. 최적화 설계 과정에서 이러한 Abbe 굴절량을 merit function에 추가

표 4. 각 렌즈계의 Abbe 굴절량.

모 델	A	B
GSPL (금성)	2.01	2.87
Lens I (ㄱ 사)	2.21	2.95
Lens II (ㄴ 사)	2.44	4.54

표 5. 광학유리 및 mounts 재질의 열특성.

Materials	EXP. Coeff. ( $\times 10^{-7} \text{ mm}/^\circ\text{C}$ )	dn/dT ( $\times 10^{-6} \text{ mm}/^\circ\text{C}$ )
BK7	71	1.7
BaCD5	54	2.4
Coolant	5000	-300
PMMA	630	-110
Al 7075	236	-
Al 6061	234	-

로 도입하여 설계된 렌즈의 A, B값 및 타사 렌즈의 값을 표 4에 나타내었다.<sup>[18]</sup> 표 4에서 볼 수 있듯이 본 과정에서 설계된 GSPL 렌즈는 타사렌즈에 비해 A 및 B값이 모두 작으므로 주어진 공차에 대해 성능저하가 작음을 간접적으로 알 수 있으며, 실제로 공차 분석 결과를 통해 이를 확인할 수 있었다.

### 3. 온도 보정의 필요성 및 방법

렌즈설계는 보통  $20^\circ\text{C}$ , 760 mHg에서 진행되지만 프로젝션 TV의 경우 power를 ON시킨 후 2시간 정도에 이르면 cabinet의 온도는 약  $40^\circ\text{C}$ , CRT 표면 및 냉매의 온도는  $60 \sim 70^\circ\text{C}$  까지 상승한다. 그림 7은 Hitachi 180 CSB22<sup>®</sup> CRT를 사용하는 TV set의 경우 렌즈, 경통 및 CRT의 각각의 부분에 대한 normal white 상태에서 2시간이 경과했을 때의 온도 분포이다.

온도 상승에 의한 광학계의 설계 변수 변화는 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째로는 렌즈 재질의 굴절률 변화이며, 둘째로는 선폭창계수에 의한 곡률, 두께 및 비구면 계수의 변화가 발생한다.<sup>[19]</sup> 또한 coupler 내부의 압력이 증가하여 결국 이러한 요인들은 렌즈의 성능을 저하시키는 결과를 초래한다.

표 5는 프로젝션 렌즈계에서 사용되는 재질 및 mount의 굴절률 및 선폭창계수에 관한 값이며, 위의 요인들 중에서도 성능저하에 가장 큰 영향을 미치는 것은 냉매의 굴절률 변화이다. 이런 난제를 해결하기 위한 설계개념은 네번째 렌즈와 냉매 사이의 접촉면에서 Abbe 굴절량( $A_9, B_9$ )을 최소화 시키는 것이 매우 효과적이다.

본 설계에서는 굴절률  $A_0=0.16$ ,  $B_0=0.33$ 으로 매우 작아서 온도에 안정된 광학계를 얻을 수 있었다.

4. 설계된 R. G. B. Lens Ass'y의 성능분석

초기설계 및 최적화 설계과정에서 파장은 green CRT의 중심파장(544 nm)을 기준으로 설계하고, 일단 색수차를 완전하게 보정하지는 않는다. 왜냐하면 red, green, blue의 각 CRT마다 다른 렌즈계가 부착되므로

즉, 독립적으로 결상을 이루는 형태이므로 정확하게 achromatized 렌즈계를 얻을 필요가 없기 때문이다.<sup>[11]</sup> 따라서 렌즈 설계시 적절한 양의 색수차를 허용해 가면서 설계하는 것이 다른 광학특성을 향상시킬 수 있는 잇점이 있다. 또한 횡색수차는 전자회로적으로 보상 가능하다.

위의 과정 1에서 얻어진 초기설계값을 기준 설계치로 잡고 2, 3 과정으로 이어지는 설계 개념을 적극 도입하여, 설계된 렌즈가 표 6-(a)이다. Plastic 재료로는 PMMA,

표 6. 최적설계된 렌즈의 공차분석.

(a) Centered tolerances

No.	Radius	Fringes Pow/Irr	Thickness	Thickness Tolerance	Glass	Index Tolerance
OBJ	INF	-	722.36	-	-	-
1	* 84.902	12/5	8.00	0.05	PMMA	0.001
2	* 111.087	12/5	40.98	0.05	-	-
stop	INF	-	0.00	0.05	-	-
4	71.795	12/5	19.61	0.05	BaCD5	0.0005
5	-285.468	12/5	18.99	0.05	-	-
6	* 500.000	12/5	8.00	0.05	PMMA	0.001
7	* -174.586	12/5	35.28	0.05	-	-
8	* -50.000	12/5	3.50	0.05	PMMA	0.001
9	-52.000	12/5	9.00	0.05	Coolant	0.002
10	INF	12/5	14.10	-	Phc spher	0.001
IMG	-350.0	-	-	-	-	-

\*는 비구면임.

(b) Decentered tolerances

Element No.	Front Radius	Back Radius	Element Wedge (분)	Element Tilt (분)	Element Decenter (mm)
1	84.902	111.087	1.8	3.4	0.025
2	71.795	-285.468	1.7	1.0	0.025
3	500.000	-174.586	1.7	1.7	0.225
4	-50.000	-52.000	1.7	-	0.06
4-5	-50.000	INF	-	-	0.02
5	-52.000	INF	2.0	-	-

(c) Performances summary

Field	Freq. lp/mm	Azim. Deg.	Design (MTF)	Design+Tol*	Compensator Range (+/-)	
					DLT S <sub>0</sub>	DLT S <sub>7</sub>
0.0	6	TAN	0.48	0.38	2.29 mm	0.12 mm
0.7	6	TAN	0.33	0.23	2.29	0.12
0.9	6	TAN	0.48	0.18	2.29	0.12
1.0	6	TAN	0.36	0.28	2.29	0.12



glass는 싸고 구하기 쉬운 (일) HOYA사의 BaCD5를 이용하였으며, 비구면은 plastic 렌즈에만 채용했다. 네 번째 렌즈와 냉매가 맞닿는 면은 구면처리를 하였으며 이웃한 매질의 굴절률이 비슷하므로 AR 코팅을 하지 않았다. 그림 10은 설계된 투사렌즈의 광선도, 그림 11은 광선 수차도, 그림 12은 렌즈의 MTF 특성, 그리고 그림

13는 phosphor 상에서 像의 왜곡도를 표시하고 있다. 렌즈형상 및 수차특성은 기본요구 spec.을 충분히 만족시키고 있으며, 공간주파수 3 lp/mm에서 MTF특성은 전영역에서 40% 이상을 확보하고 있으며, 특히 0.9 field 이내에서는 50%를 갖고 있다. 또한 6 lp/mm에서는 0.7 field 이내에서 모두 30% 이상을 확보하고 있으므로 차

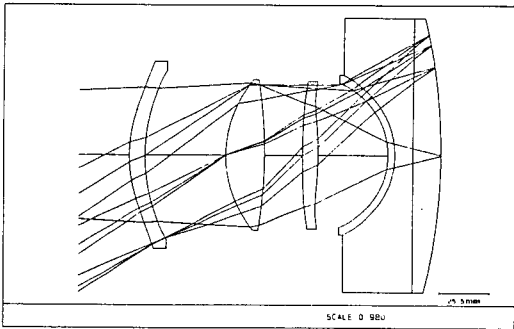


그림 10. 최적설계된 green CRT-lens ass'y의 광선도.

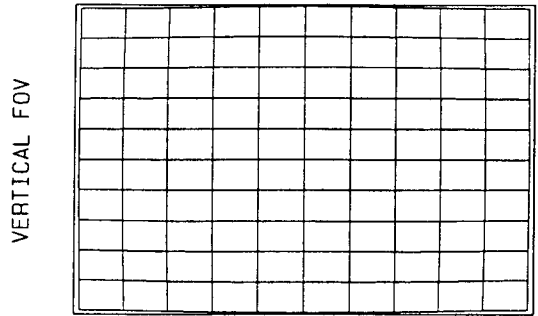


그림 13. 최적설계된 green CRT-lens ass'y의 왜곡도.

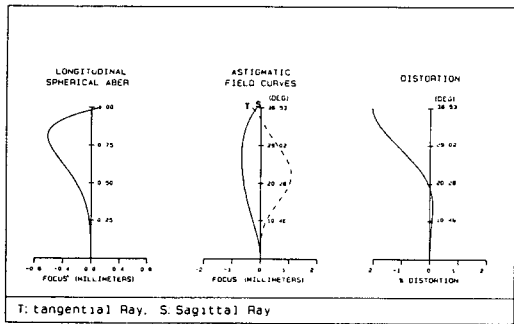


그림 11. 최적설계된 green CRT-lens ass'y의 수차도.

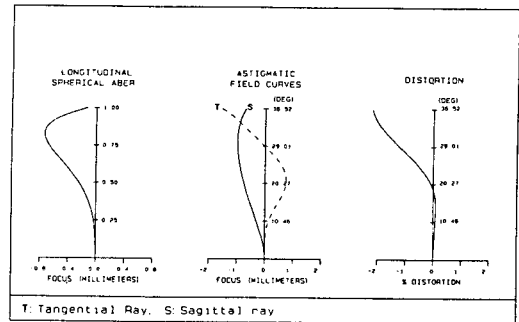


그림 14. Normal white 상태에서 2시간 경과 후 green CRT-lens ass'y의 수차도.

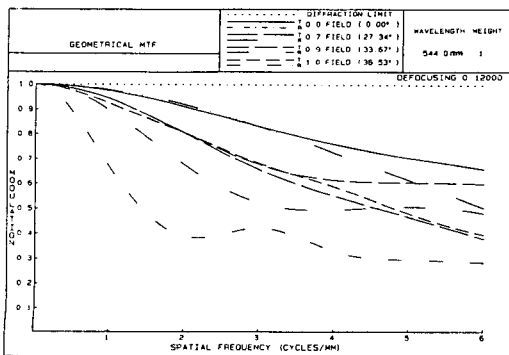


그림 12. 최적설계된 green CRT-lens ass'y의 MTF.

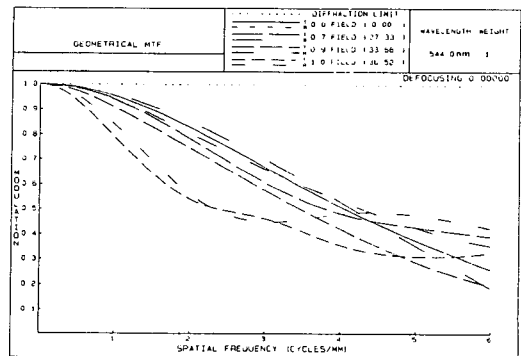


그림 15. Normal white 상태에서 2시간 경과 후 green CRT-lens ass'y의 MTF.

세대 TV인 HDTV에서도 곧바로 적용 가능함을 알 수 있다.<sup>[4]</sup> 표 5 및 그림 7에서 주어진 온도변화에 의한 설계 변수를 고려했을 경우 normal white 상태에서 렌즈의 수차특성 및 MTF 값이 그림 14, 15이다. 결국 본 렌즈는 온도 변화에 대해 안정된 성능을 갖고 있음을 확인할 수 있다.

표 6은 성능변화가 민감한 자오면상(tangential plane)에서 공차 분석한 결과이며, 표 6-(a)는 곡률, 두께, 굴절률에 대한 공차, 표 6-(b)는 단렌즈의 wedge 공차, 렌즈와 mount와의 결합시 발생하는 tilt 공차 및 decenter 공차이다.<sup>[20]</sup> 그리고 표 6-(c)는 위의 공차가 부여되었을 경우 MTF 특성 및 보상인자(compensator)의 양이다.<sup>[16]</sup> Compensator로서 경통상에 있는 캡에 의해 내경통 렌즈 ass'y의 이동이 가능하므로 세번째 렌즈와 C-Lens(네번째 렌즈) 사이의 거리  $d_7$ 과 screen-1st lens 거리  $d_0$ 를 측정했다. 이때 보상인자( $d_7$ )가 이동해야 할 양( $\Delta d_7$ )은 0.12 mm로서 매우 작고, 또한 MTF 변화도 작아서 공차설정 후의 MTF는 공간주파수 6 lp/mm의

모든 영역에서 20% 이상을 유지하므로 본 렌즈는 제조 오차에 대해 매우 안정적인 성능을 보유하고 있다. 실제로 표 6에서 주어진 공차는 매우 큰 값이며, 공차분석 과정은 유의 수준을 2.3% 이내로 잡고 실시했으므로 매우 타당성이 있는 data로 판단할 수 있다.<sup>[20]</sup>

Red, blue CRT-lens ass'y의 성능해석은 렌즈광축과 상면, 즉 스크린이 기울어져 있으므로 green lens ass'y와는 다르다. 우선 위의 과정에서 얻어진 설계값에서 convergence angle을<sup>[4,11]</sup> 적절히 선정하고, 각 CRT-Lens ass'y의 성능이 최대가 되도록 Scheimplug angle을<sup>[4,11]</sup> 설정한 후 렌즈성능을 평가한다. 설계된 렌즈의 convergence angle 및 Scheimplug angle은 각각 7.25° 및 -1.3°이며, 그림 16, 17은 blue ass'y, 그림 18, 19는 red ass'y의 광선도 및 MTF 특성이다. 그림 19에서 red ass'y의 MTF특성이 처지는 곳이 있지만 이는 실제로 스크린의 구석 ( $\pm 1.0$  field)에 해당되므로 화질에는 거의 영향이 없고, 0.8 Field 이내에서는 높은 MTF값을 유지하고 있으므로 렌즈계로서 충분한 성능을 갖춘 셈이다.

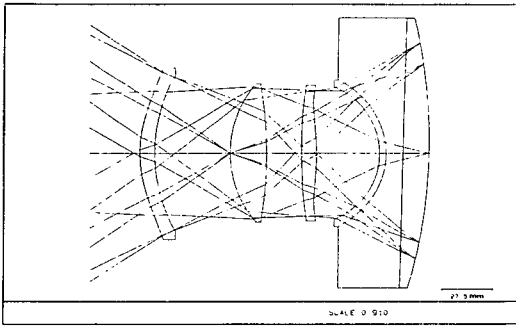


그림 16. Blue CRT-lens ass'y의 광선도.

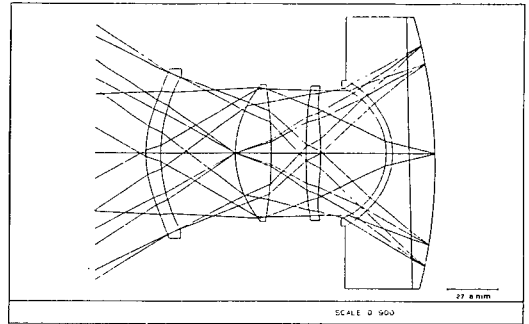


그림 18. Red CRT-lens ass'y의 광선도.

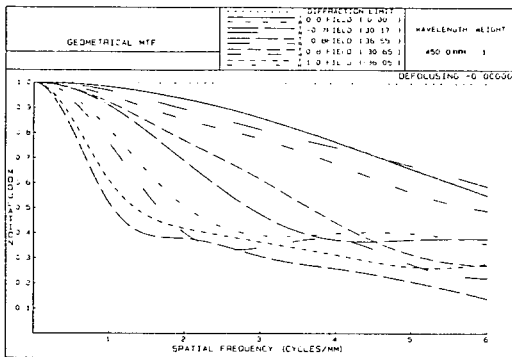


그림 17. Blue CRT-lens ass'y의 MTF.

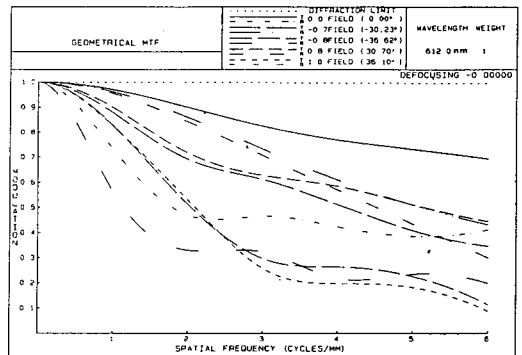


그림 19. Red CRT-lens ass'y의 MTF.

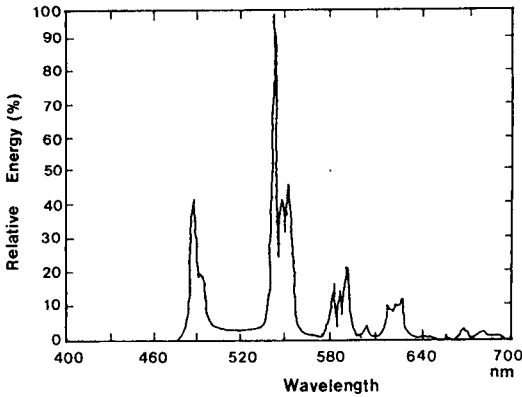


그림 20. Green CRT의 분광스펙트럼 (Hitachi 180CSB 22②).

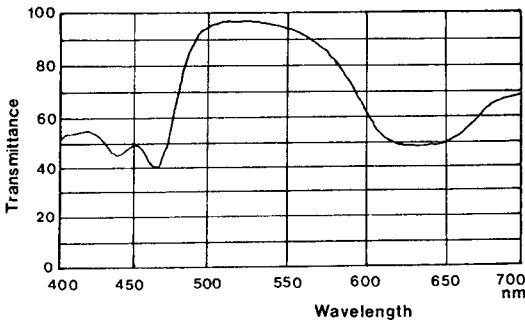


그림 21. Green-lens ass'y에 적용된 착색렌즈의 분광투과도.

5. 색순도 향상

그림 20은 본 연구에서 사용된 7" green CRT의 분광스펙트럼 특성이다. Green의 중심파장 544 nm 이외에도 red 및 blue 선에 해당되는 파장이 발광하고 있으므로, 렌즈의 결상능력 저하와 TV의 색순도가 나빠지므로 프로젝션 TV용 렌즈에서는 이 문제를 해결하기 위해 착색 렌즈를 green 및 red CRT-lens ass'y에 채용하는 것이 필요하다. 그림 21은 착색 렌즈만의 분광투과율 특성을 보이고 있는데, green 중심파장에서는 투과율이 높고, red, blue 파장대에서는 투과율이 낮기 때문에, 결국 red, blue 대역의 투과특성을 약화시키는 효과가 있어서 색순도를 높일 수 있지만, 착색에 의한 빛의 흡수 등으로 전체 시스템의 광투과율은 약 8% 정도 떨어진다.

Dichroic 코팅에 의한 색순도 향상도 가능하지만 20층 이상의 고난도 기술이 요구되기 때문에 불량이 발생할

가능성이 높고, 입사각도에 따른 투과 파장대의 shift로 인한 단점 때문에 요즘에는 LCD projector 에는 사용되지만, CRT용 투사 렌즈에서는 이용되지 않고 있다.

IV. 렌즈제작 및 평가

설계결과를 비교검토한 결과, 구성매수, 비구면의 형상, short TCL 및 공차에 대한 성능의 안정성등에서 설계된 렌즈(GSPL)가 강점을 갖고 있었으므로 본렌즈 설계를 바탕으로 제작된 CRT-lens ass'y가 그림 22이다. 본 렌즈의 가공과정에서 green-lens ass'y의 일부분 렌즈에 착색을 하여 색순도를 높였다. 제작된 렌즈의 성능을 평가한 결과, 전체적으로 분광투과율은 94%, 투영해상력은 중심부에서는 16 lp/mm, 0.7 field에서 10 lp/mm, 그리고 주변부에서 6.3 lp/mm 이상으로서 이것은 1000 TV-line 이상을 충분히 구현할 수 있기때문에, 향후 HDTV용 렌즈로서도 충분한 해상력을 보유하고 있다. 또한 주변광량비는 0.9 field에서 41% 이상이므로 충분한

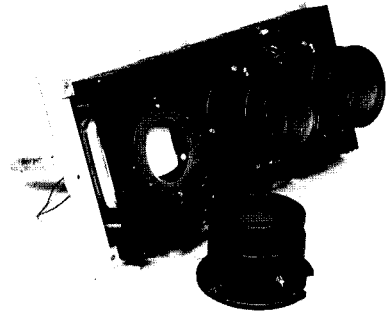


그림 22. 제작된 R. G. B CRT-lens ass'y의 사진.

밝기를 구현하고 있으며, 왜곡수차도 작다. 렌즈가공 결과는 No. 3의 세번째 렌즈의 비구면 형상중 peak to valley 값이 20 μm 정도로 크게 나타났을 뿐, 전체적으로 비구면의 형상공차 (± 10 μm) 이내로 제작 되었다.

V. 결 론

본 연구는 rear projection TV에서 자사 고유모델을 개발기 위한 기반기술로서, 고화질을 구현할 수 있는 렌즈를 설계 개발하는 것과 동시에 프로젝션 TV의 전체

재료비에서 절반 이상을 차지하는 광학부품을 개발하여 성능 및 가격경쟁력을 향상시키는 것이 주 목적이다. 개발된 렌즈의 spec. 및 성능은 이미 앞장에서 상세히 설명 했으므로, 여기서는 그 의미에 관해서만 논하겠다. 기존 업체들의 렌즈보다 구성, 성능 및 조립성 등에서 우수하고, 현재 국내 및 일본, 미주의 방송규격인 NTSC는 물론 향후 HDTV에 적용가능한 충분한 해상도와 성능을 갖추고 있다.

Aspect ratio 4 : 3 NTSC 및 16 : 9의 HDTV에 활용할 수 있는 rear projection 렌즈 개발에 관련된 일련의 개발과정을 통해 프로젝션 TV 시스템 및 광학계 설계, 코팅, 측정, 평가에 관련한 제반기술의 습득 및 체계를 잡았다. 무엇보다도 렌즈의 독자설계, 개발 그리고 제품화를 통해 향후 자사의 광학계 개발능력을 진일보 시켰음에 분명하다.

### 참 고 문 헌

- [1] 倉重光雄, "AV 光情報機器 總論", 光學, 19, 562 (1990).
- [2] 官崎榮一외 3명, "大畫面 DISPLAY", TELEVISION 學會誌, 45(2), 141-179 (1991).
- [3] PROJECTION TV の 設計, (トリケップ스 出版部, 東京, 1989) chap. 1.
- [4] Jacob Moskorichi, et.al., "CRT Projection Optics", (美) U.S. Precision Lens社 기술자료.
- [5] John A. Clarke, "Current Trends in Optics for Projection TV", Opt. Eng., 27, 16 (1988).
- [6] S. Hasegawa, "High Brightness Picture Technology in SD-P40 Projection TV", SPIE, 760, 38 (1987).
- [7] 小倉磐美, "先端光學機器 材料と最近の話題", 工業材料, 35(5), 2 (1991).
- [8] 松島正洋, "プラスチック レンズ用 PMMA 樹脂材料", 工業材料, 35(5), 36 (1991).
- [9] 姫野好章, "テレビ プロジェクション 用 렌즈", 工業材料, 35(5), 62 (1991).
- [10] John D. Rudolph, "Developments in Projection lenses for HDTV", (美) U.S. Precision Lens社 기술자료.
- [11] PROJECTION TV の 設計, (トリケップ스 出版部, 東京, 1989) chap. 2.
- [12] 種田梯一, "Rear Projection Screen", 光學, 19, 583 (1990).
- [13] W. T. Welford, *Aberrations of the Optical Systems*, (Adams Hilger Ltd., Bristol, 1986) pp. 130-152.
- [14] M. Herzberger, *Modern Geometrical Optics*, (Interscience, New York, 1958) pp. 457-462.
- [15] 박성찬, UV Submicron lithography를 위한 4반사 광학계의 설계 및 수차해석, 한국과학기술원 박사학위 청구논문 (1991).
- [16] 박성찬, 이상수, "허용공차를 고려한 렌즈설계", 응용물리, 6, 115 (1993).
- [17] 中川治平, "렌즈의 코스트 低減設計", 光技術 콘택트, 30, 135 (1992).
- [18] Koji Hirata, et. al., "Projection Lens System", U. S. Patent 4, 948, 237 (1990).
- [19] 박성찬, 문희중, 이만형, "체결구조에 의한 Athermalized Tessar형 렌즈설계", 한국광학회지 4(2), (1993). (투고중).
- [20] CODE-V Reference Manual, version 7.51, (Optical Research Associates, California, 1993) chap. 6.

## Design and Development of a Lens for High Definition Projection TV

Sung Chan Park

*Image & Media Laboratory, Gold Star, Seoul 137-140, Korea*

(Received: May 21, 1993)

From the optimal system specifications of optical parts in rear projection TV focused on competitive price and performances, we designed and developed projection lens which is able to be used on current broadcast standard NTSC and HDTV in common. Through the serial processes, which are initial design of all aberrations free, aspherization of the plastic lenses, optimization with tolerances and manufacturability, and athermalization, the lens was designed. The developed CRT-lens ass'y could display the 40~55 inches image and it's resolution is more than 1000 TV-lines.