

# CCTV 카메라용 광학계 설계

이수천

극동정보대학 안경광학과  
(2007년 11월 23일 받음, 2008년 1월 6일 수정본 받음)

**목적:** 본 논문은 CCTV 카메라용 렌즈 설계를 triplet형으로 광학 설계를 하였다. **방법:** 초점거리를 56 mm, 유효경을 20 mm 그리고 화각을 5°로 한 망원 렌즈 형태이고, 설계하고자 하는 카메라의 CCD array detector의 크기를 2/3인치로 하였다. **결과:** 광학계의 성능은 ray-fan과 spot diagram 그리고 회절 광학적인 MTF를 계산하여 평가하였고, 파장은 Fraunhofer C, d 및 F-line에 대해 achromat 되었으며 MTF 값도 tangential과 sagittal MTF 모두 50 line pairs/mm의 공간 주파수에 70% 정도가 나왔다. **결론:** triplet형으로 비교적 저가 보급형 감시용 목적 CCTV 카메라를 설계하였고 충분히 실용적이라 생각된다.

**주제어:** CCTV 카메라, CCD소자, ray-fan, spot diagram, MTF

## 서 론

일상생활에서 흔히 볼 수 있는 CCTV 카메라는 카메라를 어떤 용도로 사용하는가에 따라 그 명칭이 몰래카메라, 감시카메라 등 여러 가지 명칭으로 사용된다. 또한 그 종류도 형태에 따라 다양하다. 그리고 CCD 검출기 소자의 특성에 따라 어느정도의 조광만 필요로 하는 어두운 곳에서 사용할 수 있는 저조도 카메라와 IR을 이용한 카메라 그리고 일반 카메라 등으로 분류 된다.

CCTV를 유효하게 활용하기 위해서는 카메라의 전자적 기술도 중요하지만 카메라의 이미지 센서에 상을 모으고 또 센서에 도달하는 빛의 양을 조절하는 역할을 하는 렌즈는 TV영상의 화질을 결정하는 중요한 요소 중 하나이다. 이러한 렌즈의 성능 및 CCTV 카메라 영상의 화질에 관여하는 요소들을 보면 각종 수차, detector의 면적, 주변 광량 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 비교적 저렴한 가격으로 이러한 목적에 적합한 CCTV 카메라 광학계를 설계하여 보았다. 화각을 5°로 넓은 지역을 대상으로 하는 광각 렌즈가 아닌 보다 상세하게 물체를 보기 위한 망원렌즈 형태로 설계를 하였다.

## CCTV 카메라

CCTV 카메라용 렌즈에는 카메라와 렌즈의 결합 방식에

따른 플렌지 백 거리에 따른 C마운트와, CS마운트로 구분되며 지금까지는 C마운트가 많이 사용되고 있으나 CS마운트 사용이 증가하는 추세이며 근래에는 대부분 카메라 제품들이 이들 마운트를 모두 사용할 수 있게 제작되어 있다. 감시용 카메라의 경우 CCD array detector의 크기도 1인치에서 1/4인치로 점차 소형화 되고 있다. 표 1에 detector의 크기를 나타내었다<sup>1</sup>.

CCTV 카메라 렌즈에서 초점 거리는 화각과 밀접한 관계가 있는데 초점거리가 작을수록 화각은 넓어지며, 초점거리가 커질수록 화각은 좁아진다. 일반적으로 초점거리로 나타냈을 때 12~16 mm의 초점 거리를 나타내는 렌즈를 표준렌즈라 한다. 또한 사람의 눈과 비슷한 시야각 46°을 보이는 렌즈도 이에 해당된다. 사람의 눈으로 보이는 시야각 보다 좁으면 망원렌즈에 해당되고, 표준렌즈보다 초점 거리가 짧고, 또 화각이 크면 광각 렌즈로 분류한다. 광각렌즈는 화각이 60° 이상되는 렌즈로 표준 렌즈보다 초점거리가 짧고 상은 작지만 넓은 지역을 볼 수 있다. 반면 망원렌즈는 표준렌즈보다 초점 거리가 길고 좁은 범위로만 볼 수 있으며, 멀리 있는 물체를 보다 상세하게 가까이서 감시할 때 사용한다<sup>2</sup>.

본 논문에서는 감시용 카메라 목적으로 초점 거리가 56 mm인 망원렌즈로 설계하였으며 CCD소자의 크기는 2/3인치 크기를 사용하였다. 요즘에는 1/4인치 CCD 소자의 크기를 많이 사용하고 있는데 소자의 크기가 줄어드는 이유는 렌즈 크기를 줄이기 위해서다. 만약 크기에 큰 영

Table 1. The size of CCD array detector (unit: mm)

	CCD 대각	CCD 가로	CCD 세로
1 인치	16	12.8	9.6
2/3 인치	11	8.8	6.6
1/1.8 인치	8.932	7.176	5.319
1/2 인치	8	6.4	4.8
1/2.7 인치	6.592	5.27	3.96
1/3 인치	6	4.8	3.6
1/4 인치	4.5	3.6	2.7

향이 없다면 1/4인치 CCD 소자보다 2/3인치 CCD 소자가 더 저가이고 결상력에서도 광학계의 수차가 결상계상 분해능에 미치는 효과도 적다.

또한, 저가 보급에 광학소자보다 플라스틱 소자를 많이 이용하고 있는데 본 논문에서는 초기 투자비가 저렴하고, 만들기가 쉽고, 플라스틱 소자보다 성능이 좋고 그리고 소자의 종류가 10여종에 불과한 플라스틱 소자보다 소자의 종류가 다양한 광학 소자를 사용하여 설계를 하였다<sup>3</sup>. 그리고 적절한 가격으로 안정된 성능을 내구성 있게 유지하려면 플라스틱 보다는 광학유리로 사용하는 것이 좋다.

**초기설계**

일반적으로 사용되는 카메라 렌즈는 적어도 3매 이상의 렌즈를 사용하고 있다. 그 중에서도 triplet는 주어진 초점 거리와 광학적 불변량으로, 제 1차 수차(횡색수차와 Petzval curvature) 및 제 3차 수차(구면수차, 코마, 만곡수차, 비점수차, 왜곡수차) 등을 보정할 수가 있는 자유도를 가지는 기본적인 렌즈의 형태이다. 앞면의 입사고가  $y_1$ 이라 하고 면사이의 거리가  $t_1$ 이라 할 때 입사고  $y$ 는 식 (1)과 같다.

$$\text{전환 방정식 } y=y_1-\frac{t_1}{n_1}(n_1u_1) \tag{1}$$

그리고 굴절 전의 굴절률과 광축각이 각각  $n_1, u_1$ 이고, 굴절 후의 굴절률과 광축각이 각각  $n, u$ 이고 입사하는 광선이 굴절면과 만나는 입사고가  $y$ 라 할 때 굴절 방정식은 다음과 같다.

$$\text{굴절방정식 } nu=n_1u_1+yc(n_1-n) \tag{2}$$

여기에서,  $c$ 는 곡률이고,  $c(n_1-n)=k$ 이고 단일 구면의 굴절능이라 한다<sup>4</sup>.

표 2의 triplet 렌즈의 굴절능에 나타나 있는 굴절능, 간격, 입사고 그리고 굴절 광축각을 결정하기 위해 우선 렌

Table 2. Refraction power of triplet

	1	2	3
굴절능	0.0358	-0.067125	0.0398
간격	5.586592		5.586592
입사고	10.0	8.0	9.0
굴절광축각	0.0	0.358	-0.179

Table 3. Starting design (unit: mm)

면번호	곡률반경	굴절률	두께
1	19.916	1.713003	4.5
2	무한대		1.0
3	-18.960	1.636359	3.3
4	18.960		1.0
5	무한대	1.713003	4.8
6	-17.915		

Table 4. Final design (unit: mm)

면번호	곡률반경	굴절률	두께
1	39.069657	1.713003	4.5
2	3.8099e+03		1.0
3	-19.109648	1.636359	3.3
4	26.373656		1.0
5	46.133681	1.713003	4.8
6	-19.628862		

즈의 유효경을 고려하여 렌즈 1에 입사하는 입사고를 10으로 하였다. 렌즈 2와 렌즈 3의 입사고는  $y_2=0.8y_1, y_3=0.9y_1$  식에 의해 표 2에서 보는 것처럼 입사고를 결정하였고, 렌즈 1과 렌즈 2 사이의 간격  $t_1$ 과 렌즈 2와 렌즈 3 사이의 간격  $t_2$ 를 식 (1)의 전환방정식에 의해 표 2에서처럼 간격을 결정할 수 있었다. 또한 식 (2)의 굴절 방정식을 사용해서 표 2에 나타난 굴절광축각을 결정하였다. 그리고 렌즈 1, 렌즈 2와 렌즈 3의 굴절능은 윗식에 있는

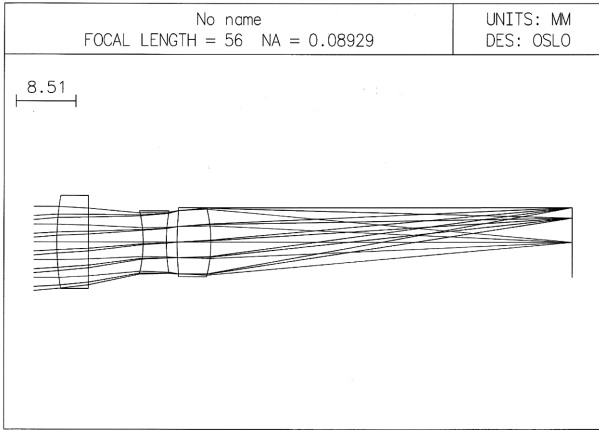


Fig. 1. Image formation of triplet.

단일 구면의 굴절능을 이용하여 결정하여 표 2를 완성하였다. 이렇게 완성된 표 2를 사용하여 설계에 사용될 렌즈 소자의 아베상수와 굴절률을 결정하였다<sup>3-5</sup>.

triplet 렌즈로 왼쪽으로부터 렌즈 1, 2, 및 3으로 배열하였다. 여기서 렌즈 1과 렌즈 3은 동일한 광학 유리로 하였고 크라운계 유리 중에서 굴절률이 높고 아베 상수도 큰 것으로 고려하여 LAK8을 선정하였다. LAK8의 d-line에서의 굴절률은  $n_d=1.713003$ 이고, 아베상수는  $V=53.83$ 이다. 렌즈 2의 광학 소자는 몰색화 조건을 고려하여 프린트계 유리 중에서 F6을 선택하였다. F6의 광학 유리의 d-line에서의 굴절률 및 아베 상수는 다음과 같다.  $n_d=1.636359$ 이고,  $V=35.34$ 이다, 두께를 고려하여 초기 설계를 다음 표 3과 같이 세웠다.

**최적화 및 성능평가**

초기 설계치를 갖고 유한 광선 추적하여 Fraunhofer C, d 및 F line에 대한 색수차 보정과 광선수차를 이용하여 최적화 기법으로 수정한 결과 표 4와 같이 되었고 그 개략도는 그림 1과 같다. 시야를 0°, 3.5° 그리고 5°로 고려하여 광선수차를 나타내는 ray-fan을 그림 2에 나타내었다. 가로축은 동의 상대적 좌표이고, 세로축은 광선수차이며 단위는 mm이다. 0.7 field와 full-field에서 이들 광선수차의 크기는 0.01 mm 이내에 있는 것을 알 수 있고 제로 field에서는 0.005 mm 이내에 있는 것을 알 수 있다. 또한 sagittal ray fan도 0.005 mm 이하이다. 전체 광학계의 종구면수차는 0.025 mm 정도이고 그림 3에 볼 수 있듯이 3개의 파장 d-line과 F-line에 대해서 보다 c-line에 대한 중색수차 보정이 잘 되어있지 않음을 알 수 있는데 그 값의 차이는 0.06 mm이다. 또한 그림 3에서 achromat되었음을 알 수 있다. 비점수차는 근축상면 앞에 tangential ray와 sagittal ray의 초점이 이루어지는 것을 볼 수 있고, 비점수

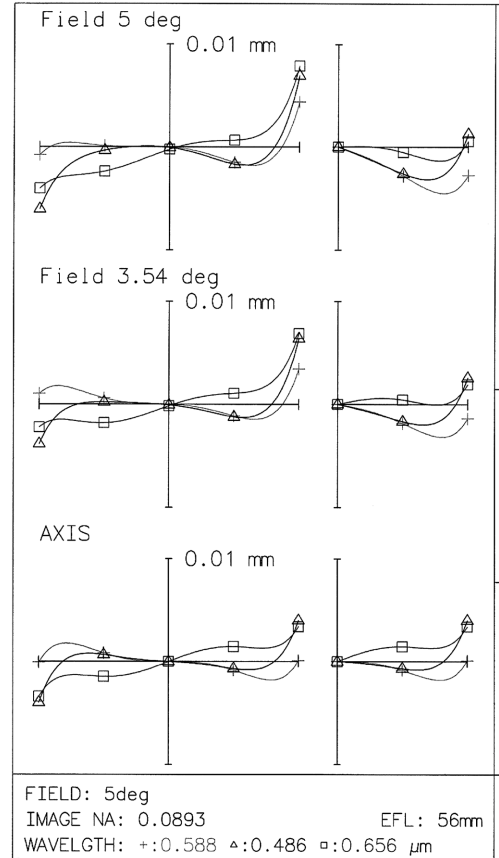


Fig. 2. Ray-fan of triplet.

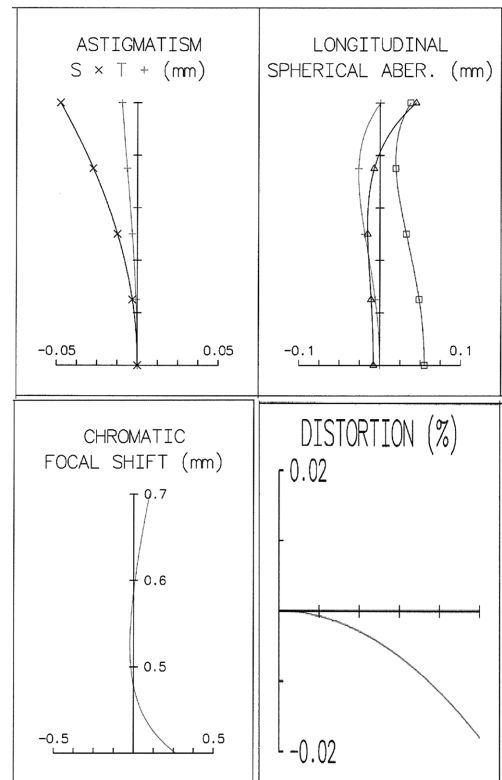


Fig. 3. Ray aberration of optical system for CCTV camera.

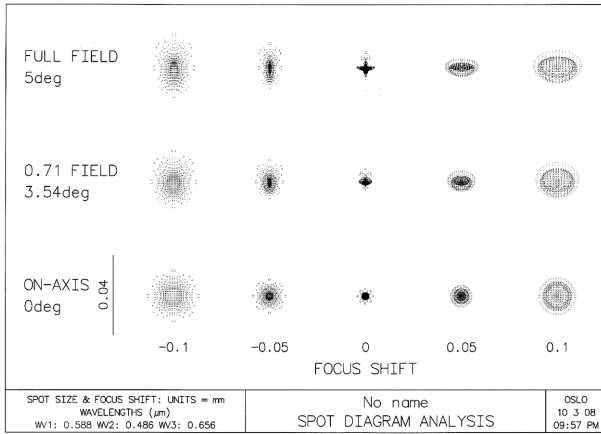


Fig. 4. Spot diagram of optical system for CCTV camera.

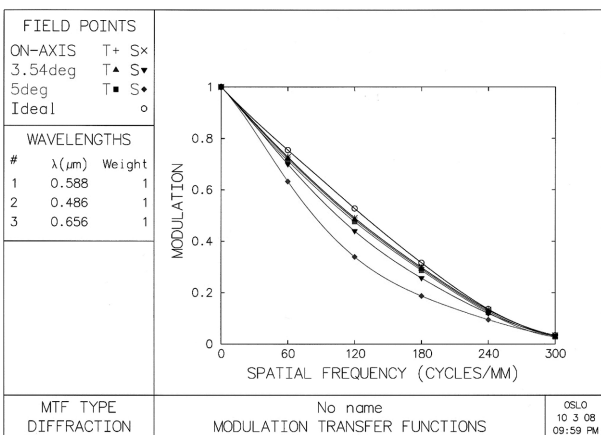


Fig. 5. MTF characteristic of optical system for CCTV camera.

차 또한 0.04 mm임을 알 수 있다. 그림 3의 비점수차 그림에서 상면만곡이 있음을 알 수 있는데 그 크기는 0.025 mm이내에 있다. 그리고 왜곡수차는 0.02%를 넘지 않았다. 그림 4에 나타난 spot diagram에서도 광선수차에서 나타난 것처럼 제로 field, 0.7-field와 full-field에서 가우스 광학적인 초평면 상에서 0.005 mm 이내에 광선이 다 들어오는 것을 알 수 있다. 또한 초점을 앞, 뒤로 0.05 mm, 0.1 mm 이동함에 따라서는 0.04 mm 이내에 광선이 다 들어오음을 알 수 있다. 그림 5에서 제시한 전 파장에 대한

MTF 특성에서 보는 바와 같이 모든 field에 대한 MTF 값이 300 line pairs/mm에서 이상적인 분해능까지 나타났으며 80 line pairs/mm에서는 모든 field에 대해서 50% 정도가 나타났다. CCD 검출기에서 한 소자의 크기가 한번의 길이가 10 μm의 검출기 소자가 배열된다고 하면 이를 공간 주파수로 환산하면 50 line pairs/mm가 된다. 따라서 본 설계 결과는 모든 시야에 대해 50 line pairs/mm에서 70% 정도 나타나 CCTV 카메라용 광학계로 충분한 성능을 가지고 있다고 생각한다.

### 결론

CCTV 카메라용 광학계를 설계하였다. 비교적 저가 보급을 위한 카메라로 설계에서 기본이 되는 triplet 형으로 설계를 하였다. 그리고 성능을 평가하였다. 회절 광학적으로 성능을 평가한 결과 MTF 특성이 모든 시야에 대해 50 line pairs/mm에서 70% 정도를 얻었다. 또한 왜곡수차도 0.02% 이내로 CCTV 카메라로 사용할 수 있겠지만 첫 번째 렌즈 구경이 나머지 2개와 비교해 볼 때 조금 크게 설계되었는데 그 크기를 나머지 2개와 비슷하게 하기 위해서는 설계시 stop의 위치를 2번째 렌즈 앞에 놓고 설계를 하면 그 크기를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

### 참고문헌

1. 홍경희, “망막카메라용 광학계 설계”, 한국광학회지, 17(2):113-118(2006).
2. 한국광학기계협회, “국내 CCTV산업의 동향 및 전망”, 광학세계, 9월, pp. 14-24(2002).
3. 홍경희, “캠코더 렌즈 개발을 위한 광계통 설계 및 성능평가 기술개발(1차년도 중간보고서)”, 통상산업부, pp. 86-89 (1995).
4. Hopkins R. E., “Military Standardization hand Book-Optical Design MIL-HDBK-141”, chap. 6 (1962).
5. Rudolf Kingslake, “Lens Design Fundamentals”, Academic Press, pp. 286-295(1978).

## Optical System Design for CCTV Camera

Soo Cheon Lee

Department of Ophthalmic Optics, Keuk Dong College

(Received November 23, 2007; Revised manuscript received January 6, 2008)

**Purpose:** This study is to design a triplet optical system for CCTV camera lens. **Methods:** It was a telescopic lens with  $5^\circ$  field angle, 56 mm focal length, 20 mm diameter, and 2/3 inches sized CCD array detector. **Results:** The performance of the subject optical system was evaluated by applying ray fan, spot diagram, and diffraction optical MTF. The wavelength was achromatized at Fraunhofer C, d and F-line, and both MTF and tangential & sagittal MTF shows more than 70% at spatial frequency of 50 linepairs/mm. **Conclusions:** The marketable triplet optical system for CCTV camera was designed and its utility was considered.

**Key words:** CCTV Camera, CCD array detector, ray-fan, spot diagram, MTF