J. Korean Oph. Opt. Soc.
Vol. 16, No. 4, pp. 409-415, December 2011

초점거리 비가 3:1인 아나모픽 렌즈 열상 광학계 설계

김세진 · 고정휘* · 임현선**
백석대학교 보건학부 안경광학과
*삼성전자 디지털이미징사업부
**강동대학교 안경광학과
투고일(2011년 11월 18일), 수정일(2011년 12월 15일), 게재확정일(2011년 12월 17일)

목적: 초점거리의 비가 3:1인 아나모픽 렌즈를 적용하여 탐지거리를 증대시키는 열상 광학계를 설계하였다. **방법**: 화각이 50°~60°, 초점거리는 수평방향 36 mm, 수직방향 12 mm로 구속조건을 정하였다. 구속조건으로 f-number는 4, 화소 크기는 15 μm × 15 μm, 한계 분해능은 33l p/mm에서 25% 이상으로 제한하였다. 재질은 Si, ZnS, ZnSe를 사용하였으며 파장영역은 4.8 μm, 4.2 μm, 3.7 μm로 설정하였다. 설계한 열상 카메라의 광학적 성능 및 탐지거리와 나르시서스, 비열화를 분석하였다. **결과**: 열상 광학계의 초점거리는 Y축 방향이 12 mm, X축 방향이 36 mm를 만족하였으며 f-number는 4를 만족하였다. 전장의 길이는 76 mm로 시스템의 전반적인 부피를 감소시켰다. 구면수차와 비점수차는 ±0.10내로 2 pixel 크기보다 작게 나타났다. 왜곡수차는 10%이내로써 열상 카메라로 사용하는데 문제가 없음을 확인하였다. 광학계 MTF 성능은 33l p/mm에서 full field 까지 25%이상으로 구속조건을 만족하였다. 설계된 열상 광학계는 2.9 km까지 탐지할 수 있으며 4면을 제외한 나머지 면들의 나르시서스 값을 줄여 상 번짐이 감소하였다. 민감도 분석을 통해 5번째 렌즈를 보상자로 선택하여 온도 변화에 따른 MTF 해상력을 높였다. **결론**: 아나모픽 렌즈를 적용해서 설계한 열상 광학계의 광학적 성능은 구속조건을 만족하였으며 더 긴 탐지거리와 나르시서스의 감소, 온도에 따른 해상력이 증가됨을 확인하였다.

주제어: Anamorphic lens, 열상 광학계, 초점거리, 탐지거리, 나르시서스, 비열화

서 론

감시카메라로 불리는 CCTV(closed circuit television)은 비디오카메라를 이용하여 특정 영역의 영상을 모니터 및 저장장치로 신호를 전송한다[1]. 일반적인 CCTV는 CCD(charged coupled device) 또는 CMOS(complementary metal-oxide-semiconductor)의 촬상 소자를 사용하는데, 780 nm 이상의 적외선 영역에서도 반응하지만 색 번짐 현상을 방지하기 위해 적외선 차단 필터를 사용한다. 근래에는 근적외선 LED를 이용하여 주, 야간 겸용으로 사용 가능한 적외선 카메라를 많이 이용하고 있으나, 적외선 카메라를 야간에 사용할 때 LED 광원 세기의 한계로 실내 감시의 제한적인 용도로만 사용되며 원거리 감시에는 어려움이 있다.

빛이 전혀 없는 무월광에서도 관측이 가능한 열상 시스템(thermal imaging system)은 색대조비로 위장된 관측물도 관측 가능하며 대기 상태가 열악한 상황에서도 탐지거리가 일반 카메라 보다 긴 장점이 있어서 CCTV 카메라에 적용되어 사용되고 있다[2].

아나모픽 시스템은 수평과 수직의 초점거리 및 화각이 다른 것을 말하며, 시스템을 구성하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 프리즘과 원주렌즈, 아나모픽 렌즈로 대부분 구성되고 있다. 이러한 특성을 CCTV에 적용하면 불필요한 시계를 줄이고 탐지거리를 늘려 넓은 영역의 시계 확보 효과를 동시에 얻을 수 있다[3].

좁은 시야로 인해 시력장애를 갖는 저시력자에게 아나모픽 렌즈의 특성을 적용한 안경렌즈를 처방하면 더 넓은 시야를 확보하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

방 법

아나모픽 시스템은 수평, 수직의 초점거리가 다른 시스템을 말하며, 초점거리 비를 anamorphic ratio로 정의할 수 있다[4].

교신저자 연락처: 임현선, **369-703** 경기도 이천시 장호원읍 사서함 1호 강동대학교 안경광학과
TEL: 043-879-3387, **FAX:** 043-879-3386, **E-mail:** limhyeonseon@gangdong.ac.kr

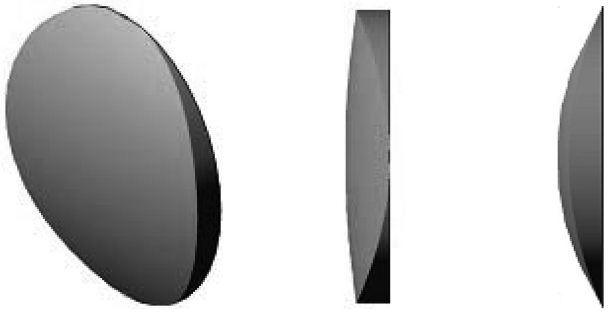

Fig. 1. Anamorphic lens

$$\text{Anamorphic Ratio} = \frac{f_H}{f_V} \quad (1)$$

f_H : 수평 방향의 초점거리
f_V : 수직 방향의 초점거리

아나모픽 면은 비구면의 한 종류로써 좌우, 상하는 대칭이지만 X축, Y축 방향은 회전 대칭이 아니며 그 형태를 Fig. 1에 나타내었다.

아나모픽 면은 회전 비대칭 비구면으로써 일반 비구면과는 다르게 X축, Y축의 서로 다른 곡률과 비구면 계수를 가지며 그 식은 다음과 같다[5,6].

$$z = \frac{c_x h_x^2 + c_y h_y^2}{1 + \sqrt{1 - c_x^2(1+k_x)h_x^2 - c_y^2(1+k_y)h_y^2}} + z_a \quad (2)$$

$$z_a = A_r((1-A_p)h_x^2 + (1+A_p)h_y^2)^2 + B_r((1-B_p)h_x^2 + (1+B_p)h_y^2)^2 + C_r((1-C_p)(h_x^2+1+C_p)h_y^2)^4 + D_r((1-D_P)h_x^2 + (1+D_P)h_y^2)^5 \quad (3)$$

여기서, c_x과 c_y는 x축과 y축 방향의 곡률이며, h_x는 x축 방향으로 입사되는 높이, h_y는 y축 방향으로 입사되는 높이이다. k_x 와 k_y는 conic 상수, A_r B_r C_r D_r 는 회전 대칭 비구면 계수를 나타내며 A_p B_p C_p D_p는 회전 비대칭 비구면 계수이다.

열상 광학계의 설계 조건을 Table 1에 제시하였다. 냉각형 열상 광학계는 일반 가시영역 광학계와는 달리 검출기의 탐지도가 떨어지는 단점 있기 때문에 초자 투과율을 높이기 위해 Si, ZnS, ZnSe를 사용하였다. 탐지도가 높은 냉각형 검출기를 사용해야 하므로 대물렌즈의 f-number를 4로 제한하였다[7].

Table 1. Specification of anamorphic system

Spec.	CCTV Camera (BW58J-1000)	Anamorphic system
EFL	6mm	12 mm(Y), 36 mm(X)
Lens construction	4G	5G
Fno	1.8	4
Sensor size	1/3"(640 × 480)	1/1.5"(640 × 480)
Pixel size	7.5 μm	15 μm
Wave length	0.40 μm, 0.54 μm, 0.66 μm	4.8 μm, 4.2 μm, 3.7 μm
Overall length	15.3 mm	Under 100 mm
MTF	Over 25% (at 66 lp/mm)	Over 25% (at 33 lp/mm)

일반 CCTV 사용자들이 선호하는 화각은 50°~60°이며 그에 따른 초점거리는 6 mm가 된다. 줌 렌즈 또는 다초점 렌즈는 가격이 비싸므로 단초점 렌즈를 선호하는 점을 고려하여 현재 시판되고 있는 B사의 BW58J-1000 제품을 비교대상 CCTV로 설정하였다. 초점거리는 선호도가 높은 화각 50~60°에 맞추어 초점거리를 6 mm로 설정하였으며, 열상광학계는 검출기 사이즈가 2배가 되기 때문에 12 mm로 하였다.

렌즈의 수는 아나모픽 렌즈를 감안하여 5매로 하였으며 광학계 크기를 줄이기 위해 렌즈의 첫 번째 면에서 상면까지의 거리를 100 mm로 제한하였다. 검출기는 Scorpio사의 MWK508을 사용했으며 화소 수는 640 × 480, 화소 크기는 15 μm × 15 μm 이다. 한계 분해능은 331 p/mm로 제한하였다. 파장영역은 4.8 μm, 4.2 μm, 3.7 μm을 사용하였다.

열상 광학계는 그 사용 목적에 따른 탐지거리와 나르시서스, 비열화의 성능 분석이 필요하다. 탐지거리는 표적의 상태, 대기조건, 카메라 자체 성능, 관측자의 관측정도를 통합적으로 분석하여 결정한다. 이 요소들은 탐지거리 산출에 직접 영향을 주는 변수로서 각 구성 요소의 정확한 특성 분석은 산출 결과의 정확도와 밀접한 관계가 있다.

열상 광학계의 특성중, 나르시서스는 저온의 검출기에서 방출된 적외선 에너지가 렌즈 면에서 반사되어 만들어진 상에서 발생하는 것으로서 가시광선을 사용하는 광학계에서 발생하는 Veiling Glare 현상처럼 여길 수 있다[8,9]. 이러한 나르시서스 효과를 완전히 제거하기 는 어렵지만 두 가지 방법을 적용하여 최소화 시킬 수 있다. 첫 번째로 열상 광학계 모든 렌즈 면이나 나르시서스 효과에 크게 영향을 주는 렌즈 면에, 평균반사율이 0.2~0.3%가 되도록 비반사 코팅을 하는 방법이며, 두 번째로는 광학계를 구성하는 렌즈들의 형상과 배치를 조정하여 반사된 검출기의 상이 최소가 되게 하는 방법이 있다[10,11]. 본 연구에서는 후자의 방법을 이용하여 나르시서스를 줄였다.

열상 광학계의 성능 분석시 비열화도 고려하여야 한다. 비열화란 온도 변화에 따른 광학계의 성능 변화를 최소로 만들어 저온과 고온에서의 광학계 성능이 상온과 유사하게 만드는 것을 말한다. 렌즈 소재들의 온도에 따른 굴절률 변화율이 광학계 성능 변화의 주된 원인이 될 수 있다. 열상 광학계에 사용되는 렌즈 초자의 굴절률은 크기 때문에 온도에 따른 굴절률 변화율도 커질 수 밖에 없으므로 가시광선 광학계보다 비열화가 중요하다[7,12].

본 논문에서는 비열화를 구현하기 위해 각 렌즈의 배율

을 이용하여 민감도를 계산하여, 민감도가 높은 렌즈를 선택하여 이동시켰다. 각 렌즈의 배율을 이용하여 5매의 렌즈의 민감도를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\text{G1 민감도} = (1-m_1^2)\times(m_2^2)\times(m_3^2)\times(m_4^2)\times(m_5^2) \quad (4)$$

$$\text{G2 민감도} = (1-m_2^2)\times(m_3^2)\times(m_4^2)\times(m_5^2) \quad (5)$$

$$\text{G3 민감도} = (1-m_3^2)\times(m_4^2)\times(m_5^2) \quad (6)$$

$$\text{G4 민감도} = (1-m_4^2)\times(m_5^2) \quad (7)$$

$$\text{G5 민감도} = (1-m_5^2) \quad (8)$$

열상 카메라의 탐지거리 분석은 전용 소프트웨어인 NVTherm을 이용하였고, CCTV의 탐지거리 분석은 전용 소프트웨어인 SSCAM을 이용하였다. 광학계는 Code-V를 이용하여 설계 및 분석 작업을 수행하였다.

결 과 및 고 찰

1. 수차 성능

수평:수직 초점거리의 비가 3:1이 되도록 한 매의 아나모픽 렌즈를 적용하여 5매의 렌즈로 구성된 열상 광학계의 그림을 Fig. 2에 나타내었다.

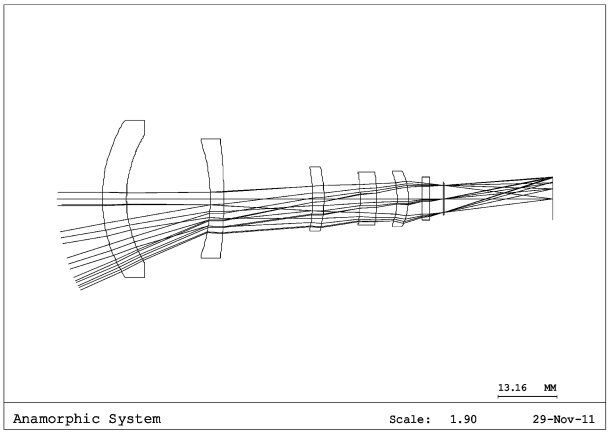

Fig. 2. Drawing of anamorphic system.

Table 2. The optical properties

EFL_Y	12.00 mm
EFL_X	36.00 mm
BFL	24.10 mm
FFL	33.60 mm
Fno	4.0
OAL	76 mm
HFOV_Y	24.10°
HFOV_X	5.62°
ENP DIA	8.84 mm
ENP THI	39.56 mm
EXP DIA	17.82 mm
EXP THI	−0.07 mm

Table 2에 제시한 설계한 열상 광학계의 성능을 살펴보면, 초점거리는 열상 광학계의 검출기 크기가 2배되는 점을 고려하여 일반 CCTV의 초점거리 6 mm에 대응되도록 Y축 방향이 12 mm, X축 방향이 36 mm으로 수평: 수직 초점거리의 비가 3:1을 만족하였다. 냉각형 검출기를 사용함에 따라 f-number는 4를 만족하였으며 광학계 전장은 76 mm로, 동일한 초점거리를 갖는 아나모픽 렌즈를 적용하지 않은 광학계보다 시스템 전반적인 부피가 감소하였다[13].

Fig. 3은 설계한 열상 광학계의 Field Curve이다. 구면수

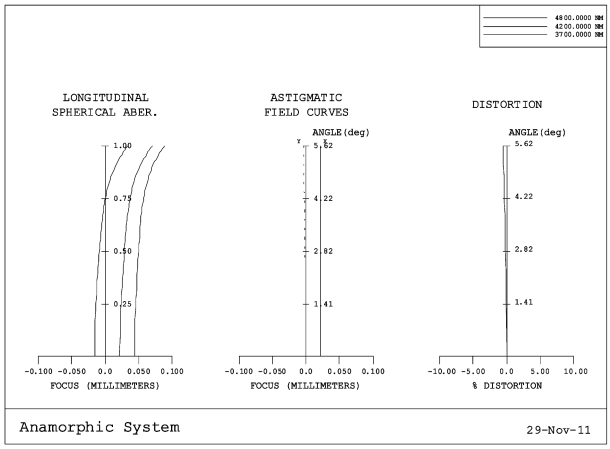

Fig. 3. Field curve of thermal optical system.

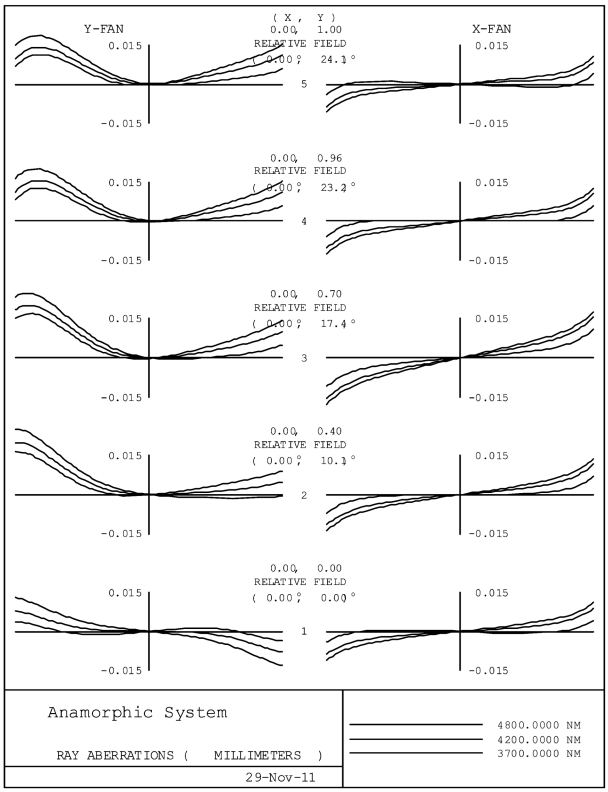

Fig. 4. Ray aberration of thermal optical system.

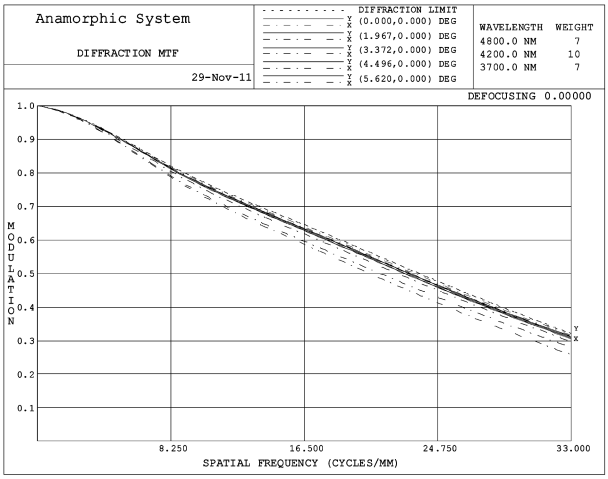

Fig. 5. MTF of thermal optical system.

차와 비점수차는 ±0.1 크기 이내로 설정하였을 때, 종구면 수차는 검출기에 입사하는 각도 7.17°을 고려하여 횡구면수차량으로 환산할 경우 0.019 mm가 된다. 이 양은 2 pixel 크기보다 작기 때문에 성능에 문제가 없으며 왜곡수차는 10% 이내로써 CCTV용으로 사용하는데 문제가 없음을 확인하였다.

Fig. 4에서처럼 광선수차는 ±0.015이내로 크기를 설정하였을 때 대부분의 광선이 2 pixel 안에 들어오므로 성능을 만족함을 확인하였다.

2. MTF 해상력 분석

Fig. 5에 광학계 성능을 나타내는 MTF(modulation transfer function) 결과를 나타내었다. 본 논문에서 설정한 SOFRADIR사의 SCORPIO MWK508 검출기의 전자 처리 부분의 화소수는 640 × 480이며 화소 크기는 15 μm × 15 μm 이므로 공간 주파수는 1/(2p)로 계산될 경우 331 p/mm가 한계 분해능이 된다. Fig. 5에서 보듯이 공간주파수 331 p/mm에서 full field까지 모든 field가 25% 이상으로 설계 구속 조건을 만족함을 확인하였다.

3. 열상 광학계 분석

탐지거리는 검출기의 성능과 광학계 성능에 관련되며 동일한 검출기일 경우, MTF 해상력, 초점거리, f-number에 의해 결정되는데, 광학계의 사양이 동일할 경우에는 초점거리가 클수록 즉, 화각이 작을수록 탐지거리는 증가한다.

Table 3에 아나모픽 렌즈가 없는 광학계[13]와 아나모픽 렌즈를 적용한 최종 설계된 광학계의 탐지거리를 비교 분석하였다. A가 아나모픽 렌즈를 적용해서 설계한 열상 광학계, B는 동일한 구속조건으로 설계한 열상 광학계로, 아나모픽 렌즈가 적용되지 않은 광학계이다. 탐지거리는 관측자의 인식정도를 탐지(detection), 인지(recognition), 식별(identification)으로 나눠서 비교하였다.

Table 3. Analysis of detection range

Probability (%)	Range(km)					
	Detection		Recognition		Identification	
	A	B	A	B	A	B
0.1	–	2.97	1.73	1.02	1.18	0.71
0.2	4.03	2.43	1.41	0.84	0.96	0.57
0.3	3.56	2.13	1.23	0.73	0.84	0.51
0.4	3.20	1.91	1.11	0.65	0.75	0.45
0.5	2.90	1.73	0.99	0.58	0.68	0.39
0.6	2.62	1.56	0.89	0.52	0.60	0.34
0.7	2.35	1.40	0.80	0.46	0.53	0.30
0.8	2.06	1.22	0.69	0.40	0.46	0.26
0.9	1.68	0.99	0.55	0.29	0.36	0.21

Table 4. Analysis of narcissus

Reflecting surface	Narcissus intensity ratio
1	0.4782
2	0.4244
3	0.3892
4	1.0000
5	0.8395
6	0.3127
7	0.6434
8	0.6543
9	0.2920
10	0.0583
11	0.6075
12	0.6454

일반 CCTV의 탐지거리가 0.8 km인데 비해, 아나모픽 렌즈를 적용하지 않은 열상 광학계[13]의 탐지거리는 0.5%에서 1.73 km였다. 본 논문에서 제시한 아나모픽 렌즈를 적용해서 설계한 열상 광학계에서는 2.90 km로 더 원거리까지 감지할 수 있음을 확인하였다. 인지거리 및 식별 거리도 아나모픽 렌즈를 적용해서 설계한 열상 광학계가 더 원거리까지 인식할 수 있음을 알 수 있다.

Table 4에 근축광선 추적을 통해 렌즈 각 면의 나르시서스를 분석하여 나타내었다. 나르시서스 분석 기준은 파장 영역이 3700 nm~4800 nm 이고, detector의 온도는 −195.9 °C (77.3 K), 광학계를 구성할 수 있도록 기구물의 housing과 scene background 온도는 20 °C(293.2 K)로 하였으며 cold stop면은 상면 앞면인 15면이고, cold stop diameter는 4.8

Table 5. Analysis of magnification & sensitivity

Lens	Magnification	Sensitivity
G1	1.000(m_1)	1.000
G2	0.1236(m_2)	0.2364
G3	2.2930(m_3)	−0.1944
G4	1.0344(m_4)	−0.0030
G5	−0.2066(m_5)	0.9573

mm이며, scene full angular subtense는 0.25131 rad, 면당 반사율은 1% 기준으로 분석하였다. 아나모픽 렌즈를 사용하지 않는 광학계[13]의 나르시서스는 1, 2, 4, 5, 8면의 NIR(narcissus intensity ratio)값이 1이었으며, NITD (narcissus induced temperature difference)값은 1.945 ℃이었다. 각 면의 NIR 합한 값이 클수록 나르시서스가 많이 발생한다는 것을 의미한다. NITD값은 1.945로써, 이것은 배경과 물체의 온도차가 1.945 ℃ 이하이면 나르시서스에 의해 이미지를 구별할 수 없음을 의미한다. 따라서 NITD 값이 작을수록 좋고, 나르시서스에 의한 이미지 결함을 줄이기 위해서 아나모픽 렌즈를 적용하여 나르시서스의 양과 NITD값을 줄였다. 그 결과 아나모픽 렌즈를 적용한 광학계의 NITD는 감소하여 1.666 ℃였고, 4면을 제외한 나머지 면들의 NIR값이 감소하였다.

Military 규격(MIE-810E)에 따라 −32°C~55 ℃ 온도 변화 시 BFL(back focal length) 변화량을 분석하여 비열화를 확인하였다. 온도에 따른 BFL 변화량 보상 렌즈의 선택 기준은 5매의 렌즈 각각의 배율을 계산하여 배율이 높은 렌즈를 선택하였다. 각 렌즈의 배율과 민감도를 계산하여 Table 5에 제시하였다.

1번 렌즈의 배율이 가장 크지만 부피가 큰 대물렌즈로써 보상자에 부적합하였다. 2번 렌즈와 3번 렌즈는 Y축과 X축의 곡률이 서로 다르기 때문에 이동시 광축이 틀어져 해상력의 저하가 우려되므로 배제하였다. 4번 렌즈와 5번 렌즈 모두 적합하였으나 민감도가 클수록 BFL 변화에 따른 보상자의 이동량이 적어지므로 4번 렌즈와 5번 렌즈의 민감도를 분석하였다. 그 결과 5번 렌즈가 4번 렌즈보다 민감도가 높기 때문에 5번째 렌즈를 보상자로 선택하였다. Table 6에 온도에 따른 BFL 변화량 및 이동량을 계산하였다.

5번째 렌즈를 온도에 따른 BFL 변화량을 계산하여 이동한 후 MTF 해상력을 확인하였다. Table 7에서 보는 것처럼 최저 −32 ℃에서 보상전 MTF 해상력은 33l p/mm에서 X방향은 10% 미만 이였으며, Y방향도 20% 미만의 낮은 해상력을 보였다. 5번째 렌즈로 보상한 후 MTF는 33l p/mm에서 X방향과 Y방향 모두 구속조건이 25%이상의 MTF를 갖는 것을 확인하였다.

Table 6. Change of BFL for temperature variation

Temperature	BFL Variation	G5 Lens distance change
−32°C	0.1663	0.1737
−30°C	0.1599	0.1670
−25°C	0.1438	0.1502
−20°C	0.1277	0.1334
−15°C	0.1117	0.1166
−10°C	0.0957	0.0999
−5°C	0.0797	0.0832
0°C	0.0637	0.0665
5°C	0.0477	0.0499
10°C	0.0318	0.0332
15°C	0.0159	0.0166
20°C	0	0
25°C	−0.0159	−0.0166
30°C	−0.0317	−0.0331
35°C	−0.0476	−0.0497
40°C	−0.0634	−0.0662
45°C	−0.0792	−0.0827
50°C	−0.0949	−0.0992
55°C	−0.1107	−0.1157

Table 7. Comparison of MTF for temperature variation

Temperature	Before		After	
	X	Y	X	Y
−32°C	Under 10%	Under 20%	Over 25%	Over 30%
55°C	Under 10%	Under 20%	Over 25%	Over 30%

결 론

동일한 초점거리의 CCTV와 광학적 성능이 같도록 열상초자와 아나모픽 렌즈를 적용한 열상 광학계를 설계하였다. 설계한 아나모픽 열상 광학계의 전장은 76 mm로, 동일한 조건으로 설계한 아나모픽 렌즈를 적용하지 않는 열상광학계의 전장이 90 mm인 것과 비교했을 때 시스템 전반적인 부피가 감소함을 확인하였다. 종구면 수차는 2 pixel 크기보다 작게 나타났으며 왜곡수차는 10% 이내로 CCTV용으로 사용하는데 적합한 성능을 보였다. 광선수차 역시 대부분의 광선의 2 pixel 크기 안에 들어옴을 확인하였다. MTF 분석 결과, 공간주파수 33l p/mm에서 full field까지 25% 이상을 보여 구속 조건을 만족하였다.

수평: 수직 초점거리의 비가 3:1인 아나모픽 렌즈를 적용해서 설계한 열상광학계는 일반 CCTV와 아나모픽 렌즈가 없는 열상 광학계보다 더 긴 탐지거리를 볼 수 있음을 확인하였다. 열상광학계에서 자주 나타나는 상의 번짐 현상인 나르시서스를 분석한 결과, 아나모픽 렌즈를 적용하여 설계한 열상 광학계의 4면을 제외한 나머지 면들의 나르시서스가 감소하였다. 배경과 물체의 온도 차를 줄여 검출이 용이하게 하도록 NITD값도 1.666ºC로 감소시켰다.

Military 규격에 따라 −32ºC~55ºC의 온도 변화에 따른 BFL 변화량을 각 렌즈의 배율을 이용하여 분석하였다. 민감도 클수록 BFL 변화에 따른 보상자의 이동량이 적어지므로 민감도가 큰 5번 렌즈를 선택하여 MTF 해상력을 분석하였다. 최저 −32ºC와 최고 55ºC에서는 보상 후 X, Y 방향 모두 구속조건 25%이상의 해상력을 얻음을 확인하였다.

일반 CCTV보다 열상 광학계를 사용하면 대기 상태가 열악한 상황이나 색대조비로 위장된 관측물의 관측이 용이하며 탐지 거리가 긴 장점이 있다. 수평: 수직 초점거리의 비가 3:1인 아나모픽 렌즈를 적용하여 설계한 열상광학계는 광학적 성능뿐만 아니라 더 긴 탐지거리와 나르시서스의 감소, 온도에 따른 해상력의 증가를 얻을 수 있다.

본 연구의 결과를 이용하여 좁은 시야로 인한 시력장애를 가진 저시력자에게 아나모픽 렌즈를 적용한 안경렌즈로 교정한다면 더 넓은 시야의 확보를 얻을 수 있으리라 예상된다.

참고문헌

[1] Scaglione B. J., “Digital Security Technology Simplified”, J. Healthc. Prot. Manage, 23(2)51-60(2007).

[2] Lloyd, J. M., “Thermal Imaging System”, Plenum Press, pp.275-281(1975).

[3] Yuan Sheng, and Sasian Jose, “Aberrations of anamorphic optical systems. I: the first-order foundation and method for deriving the anamorphic primary aberration coefficients”, Applied Optics, 48(13):2574-2584(2009).

[4] 김세진, 고정휘, 임현선, “난시교정용 Anamorphic Lens”, 2011 한국안광학회 하계학술대회 논문집, 38-39(2011).

[5] Powell Ian, “Variable Anamorphic Lens for a 35-mm SLR”, Applied Optics, 22(20):3249-3257(1983).

[6] Code V Reference Manual Vol. 2, Optical Research Associates.

[7] David L. Shumaker, James T. Wood, and Clinton R. Thacker, “FLIR Performance Handbook”, DCS Corp., Ch.6(1988).

[8] Howard J. W. and Abel I. R., “Narcissus: Reflections on Retroreflections in Thermal Imaging Systems”, Applied Optics, 21(18):3393-3397(1982).

[9] Freeman D. E. L., “Guidelines for Narcissus Reduction and Modeling”, Proc. SPIE, 892:27-37(1988).

[10] Dobson S. J., Cox A., and Lu K., “Calculation and optimization of Narcissus using paraxial ray tracing”, Applied Optics, 35(16):3059-3064(1996).

[11] Lu K. and Dobson S. J., “Accurate calculation of Narcissus signatures by using finite ray tracing”, Applied Optics, 36(25):6393-6398(1997).

[12] Arnold Daniels, “Field Guide to Infrared Systems”, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, pp.11(2010).

[13] 고정휘, “Anamorpic Lens를 적용한 열상 카메라 광학계 설계”, 국민대학교 이학박사학위논문, 65-72(2011).

Design Anamorphic Lens Thermal Optical System that Focal Length Ratio is 3:1

Se-Jin Kim, Jung-Hui Ko* and Hyeon-Seon Lim**

Department of Visual Optics, Baekseok University
*Samsung Electronics, Digital Imaging Division
**Department of Ophthalmic Optics, Gangdong University
(Received November 18, 2011: Revised December 15, 2011: Accepted December 17, 2011)

Purpose: To design applied anamorphic lens that focal length ratio is 3:1 optical system to improve detecting distance. **Methods**: We defined a boundary condition as 50°~60° for viewing angle, horizontal direction 36mm, vertical direction 12 mm for focal length, f-number 4, 15 μm × 15 μm for pixel size and limit resolution 25% in 33l p/mm. Si, ZnS and ZnSe as a materials were used and 4.8 μm, 4.2 μm, 3.7 μm as a wavelength were set. optical performance with detection distance, narcissus and athermalization in designed camera were analyzed. **Results**: F-number 4, y direction 12 mm and x direction 36 mm for focal length of the thermal optical system were satisfied. Total length of the system was 76 mm so that an overall volume of the system was reduced. Astigmatism and spherical aberration was within ±0.10 which was less than 2 pixel size. Distortion was within 10% so there was no matter to use as a thermal optical camera. MTF performance for the system was over 25% from 33l p/mm to full field so it was satisfied with the boundary condition. Designed optical system was able to detect up to 2.9 km and reduce a diffused image by decreasing a narcissus value from all surfaces except the 4th surface. From sensitivity analysis, MTF resolution was increased on changing temperature with the 5th lens which was assumed as compensation. **Conclusions**: Designed optical system which used anamorphic lens was satisfied with boundary condition. an increasing resolution with temperature, longer detecting distance and decreasing of narcissus were verified.

Key words: Anamorphic lens, Thermal optical system, Focal length, Detection range, Narcissus, Athermalization