# 6X Scope Design for a Complex Optical Sighting Device

Bo-Sun Jeung<sup>1,a</sup> and Soo-Cheon Lee<sup>2,b,\*</sup>

<sup>1</sup>Research Center of DongIn Optical Co. Ltd., Senior Researcher, Bucheon 14450, Korea <sup>2</sup>Dept. of Visual Optics, GangDong University, Professor, EumSeong 27600, Korea (Received May 17, 2021: Revised May 30, 2021: Accepted June 6, 2021)

.....

**Purpose**: This study aimed to design a 6X scope for a composite optical aiming device that would allow imaging of the thermal optical system and the objective lens of the scope to be seen using an eyepiece lens. **Methods**: By using the existing commercial thermal optical system and combining it with a 6X scope composed of an eyepiece lens, the optical pass length (OPL) folding section, imaging surface rotator, and objective lens, we were able to develop a new type of the composite optical aiming device. **Results**: The newly designed 6X scope for composite optical aiming devices consisted of an eyepiece lens with a 24.57 mm focal length, a light path folding section with two reflective surfaces, and an objective lens with a 147.43 mm focal length. Additionally, it was confirmed that this 6X scope had a maximum viewing angle of  $3.75^{\circ}$ , and it was an optical system with finite ray aberrations of less than  $\pm 4$  minutes. **Conclusions**: By designing a 6X scope with an OPL folding section and an imaging surface rotator that can be combined with existing commercial thermal optics, we have developed a composite optical aiming device that uses a single eyepiece.

Key words: Thermal optical system, Eyepiece, Folding section of OPL, 6X scope, Imaging surface rotator

# 서 론

총기류의 조준에 있어서, 조준장치는 외부 표적물을 정 확하게 조준할 수 있도록 총기류의 윗 부분에 장착된다. 일반적으로, 총기류 중 개인소지용 총기류(소총)의 경우는 아직까지 일반적으로 가늠쇠, 가늠자, 타게트의 1열 조준 선 정렬에 의한 조준이 이뤄지게 되는데, 조준이 얼마나 신속하게 이뤄져 조준사격을 할 수 있는지를 나타내는 신 속성과, 조준사격이 정확하게 표적물을 향하는지를 나타 내는 정확성이 매우 중요하다. 따라서 최근까지 이러한 신 속성과 정확성을 배가할 수 있는 조준경으로는 광학식 스 코프(scope)<sup>[1-3]</sup> 및 도트사이트(dot sight)<sup>[47]</sup>가 주로 사용되 어 오고 있다. 이 중에서 광학식 스코프는 확대된 목표물 의 상을 보여줄 수 있기 때문에 정밀 조준용으로 많이 사 용되고 있다.

또한 요즈음 열상광학계가 개발되어 야간에 외부목표물 을 정확하게 조준할 수 있도록 사용되고 있는데, 여기에는 적외선 결상광학계, 열상용 광학 엔진 등을 분리 또는 결 합하여 플리어사, 오피어사 등에서 상용화되어 판매되고 있는 실정이다.<sup>[8-11]</sup>

이에 본 논문에서는 상기 상용 열상광학계에 결합하여

복합 광학 조준장치로 사용할 수 있도록 하는 고배율(6X) 스코프 광학계 설계를 다루어 보고자 한다.

## 대상 및 방법

#### 1. 사용자의 요구조건 검토

개발의뢰자가 요구하는 설계 조건은 Table 1과 같다. 즉 복합 광학 조준장치에 사용되는 스코프는 배율은 6X이어

Table 1. User design specifications of the composite optical aiming device with the 6X optical scope and the 1X thermal imaging system

OLED size (Dia) for eyepiece	0.38" (Dia 9.652 mm)
Magnification of optical scope	6X (±5%)
Field of view	> 3.5
Eyerelief	30±5 mm
Effective diameter of objective lens	21.0 mm
Magnification of thermal imaging	1X (±5%)
Pixel size of thermal imaging engine	17 µm (VGA)
Finite ray aberration of optical scope (@ full field)	<±5'
Focal length of thermal imaging optics	≈35 mm (±10%)

\*Corresponding author: Soo-Cheon Lee, TEL: +82-43-879-3388, E-mail: sclee1010@gangdong.ac.kr Authors ORCID: <sup>a</sup>https://orcid.org/0000-0002-7612-9922, <sup>b</sup>https://orcid.org/0000-0003-0837-7040



Fig. 1. Sectional dimensions and 3D configuration of the Ophir 680262 model (SuplR 35 mm f/1.5).[9]

야 하고, 관측 가능한 외부 화각은 3.5°이상을 요구하고 있 다. 또한 열상광학계의 배율은 1X를 요구하고 있으며, 열상 용 광학 엔진의 픽셀 크기는 17 μm이면서 VGA(640X480) 수준의 화소수를 원하고 있다. 그리고 열상광학계의 영상 을 디스플레이하는 영상소자는 0.38" OLED를 요구한다.

#### 2. 복합 광학 조준장치용 상용 열상광학계의 선택

상용 적외선 결상 광학계는 현재 플리어(FLIR)사<sup>[8]</sup> 및 오피어(ophir)사<sup>[9]</sup>에서 개발하여 대부분의 시장에 공급하 고 있다. 본 논문에서는 사용자의 요구조건에 맞는 적외선 결상 광학계로 오피어(ophir)사의 SuplR 35 mm f/1.5 code 680262 모델<sup>[9]</sup>을 사용하기로 하였다. 이 모델의 기구적 단 면 치수도와 3D 외관 모습은 Fig. 1에 나타나 있다. Table 2은 이 모델의 광학적 기구적 특성을 보여주고 있다.

열상용 광학 엔진은 SCD(Semi Conductor Devices)사의 BIRD 640-17 µm, Ceramic이 장착된 VOx-imager<sup>[10]</sup>를 사 용하기로 하였다. 이 상용 열상용 광학 엔진의 외관모습과 광학적 기구적 특성<sup>[11]</sup>은 Fig. 2와 Table 3에 나타나 있다. 렌즈의 초자는 Ge, ZnSe 등<sup>[12]</sup>으로 구성되어 있을 것으로 추정되고 있다.

Table 2. Optical and mechanical properties of the Ophir 680262 model (SupIR 35 mm f/1.5)

Optical & Mechanical Property	Value
Focal Length	35 mm
F/#	1.5
Average Transmission (8-12 µm)	92% (HD)
HFOV	18.5 deg
Back Focal Length	16.6 mm in air
Focus Mechanism	Fixed
Depth of Field	5 m to infinity
Focus Range	0.6 m to infinity
Weight	20 gr
Max. Dimensions	Ø26.9 mm × 23.14 mm



Fig. 2. 3D configuration of the SCD VOx-imager.<sup>[10]</sup>

Table 3. Optical and mechanical specifications of the SCD VOx Imager<sup>[10]</sup>

Parameter	Value	
System	Uncooled LWIR Thermal Imager	
Detector format	VGA, 640 × 480 pixelcount	
Detector pitch	17 µm	
Detector material	VOx Microbolometer	
Detector package	Ceramic	
Spectral range	8-14 μm	
Size	$31 \times 31 \times 29.7 \text{ mm}^3$	
Weight	43 g	



Fig. 3. Cross-sectional view showing the combined state of the thermal imaging engine and optical system.

이상의 열상용 광학 엔진과 적외선 결상 광학계를 결합 한 모습은 Fig. 3에서 확인할 수 있다. Table 1에서 보면 열상용 광학 엔진의 결상소자는 픽셀 사이즈가 17 µm이고 화소수가 640 × 480개로 구성되어 있기 때문에 결상소자 의 대각 길이는 0.53" (13.44 mm)임을 알 수 있고 초점거 리 35 mm의 결상렌즈로 확보할 수 있는 화각은 약 21.7° (0.38 rad)임을 알 수 있다.

### 3. 6X 스코프 광학계와 1X 열영상 광학계에 적합한 접 안렌즈의 설계

개발의뢰자가 요구한 설계의 초기 조건을 만족하기 위 해 상용 열상광학계의 영상이 디스플레이되는 OLED의 크기와 6X 스코프의 대물렌즈와 접안렌즈의 초점거리 및 화각 크기의 상관관계를 파악할 필요가 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 상용 열상광학계는 결상되는 화각이 약 21.7°(0.38 rad)이므로 디스플레이 되는 OLED 의 영상도 화각 21.7°에 해당하는 영상일 것이다. OLED 의 대각 사이즈가 9.652 mm이므로 이를 접안렌즈가 봤을 때 1X의 영상이어야 하고, 광학식 스코프의 대물렌즈와

	Table 4.	Design data	of the	optimized	eyepiece	lens	(units:	mm
--	----------	-------------	--------	-----------	----------	------	---------	----

Surface #	Y Radius	Thickness	Glass	Y Semi-Apert
Object	Infinity	Infinity		
Stop	Infinity	30.000		1.850
2	-50.1900	3.500	NLAK9	7.627
3	-26.8080	0.300		8.131
4	91.0125	3.500	NLAK10	8.297
5	-47.2853	0.300		8.323
6	27.2568	5.500	NSK16	8.071
7	-23.8925	1.500	NSF4	7.499
8	42.8423	1.916		7.027
9	Infinity	16.000		6.859
10	Infinity	0.000		4.841
Image	Infinity	0.000		4.841

접안렌즈로 외부 물체를 봤을 때는 6X의 영상이어야 한다. 일반적으로 광학식 스코프의 배율은 대물렌즈의 초점거리 를 f'o, 접안렌즈의 초점거리를 f'e, 주광선의 입사각을 γo, 출사각을 γe라면



Fig. 4. Ray tracing drawing of the optimized eyepiece lens with a 30 mm eye relief.



Fig. 5. Finite ray aberrations (a) and distortions (b) of the optimized eyepiece lens.

$$m_{\gamma} = -\frac{f_{0}}{f_{e}} = \frac{\gamma_{e}}{\gamma_{o}}$$
(1)

로 나타난다.

화각 21.7°인 영상을 접안렌즈가 1X로 보려면 출사각도 21.7°로 출사되게 해야 한다. 광학식 스코프는 6X의 영상 을 만들어야하기 때문에 접안렌즈의 출사각을 21.7°로 설 정한다면 식 (1)에 의해 대물렌즈의 입사각 yo=3.62°가 되 어야 한다. 그리고 대물렌즈의 입사각 水=3.62°일 때 대물 렌즈에 의해 결상되는 상의 크기를 OLED의 대각 사이즈 9.652 mm에 맞춤으로서 비로소 열영상을 접안렌즈가 봤을 때 1X의 영상이 되고, 광학식 스코프의 대물렌즈와 접안 렌즈로 외부 물체를 봤을 때는 6X의 확대된 상을 볼 수 있게 되는 것이다.

위에 제시된 논의를 바탕으로 먼저 접안렌즈를 설계하였 다. 접안렌즈는 eyerelief 30 mm, 주광선의 반입사각  $\frac{21.7^{\circ}}{2} \approx 11.0^{\circ}$ , 반출사각  $\frac{3.62^{\circ}}{2} \approx 1.8^{\circ}$ , 결상면 상의 높이  $\frac{9.652}{2} \approx 4.8$  mm 를 초기 구속조건으로 설계를 진행하였다. 설계는 일반적 인 접안렌즈의 구성인 4매의 렌즈의 곡률반경, 굴절률, 두 께 등을 변수로 사용하여 CodeV<sup>[13]</sup> 프로그램을 사용하여 최적화를 진행하였다. 최적화 최종단계에서는 상기 구속 조건에 5%정도의 자유도를 주고 최종 최적화를 진행하였 다. 최적화 설계 결과 설계된 접안렌즈의 형상은 Fig. 4에 광선추적도와 같이 볼 수 있고, 초점거리가 24.57 mm인 광학계가 되었다.

유한광선 수차도와 왜곡수차는 Fig. 5에 나타나 있는데 반화각 약 11°정도에서 유한광선수차량은 ±0.045 mm 이 내로, 왜곡수차는 ±0.2% 이내로 잘 제어되어져 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 6X 스코프 광학계의 설계

위에서 접안렌즈의 초점거리가 24.57 mm이기 때문에 광학식 스코프가 배율 6X를 가지려면 대물렌즈의 초점거 리는 식(1)에 의해 24.57 mm × 6=147.42 mm이어야만 한



Fig. 6. Ray tracing drawing of the optimized 6X optical scope.

Table 5 Design data of the optimized 6X optical scope

e 5. Design data	of the optimized 6X op	otical scope			(units: mm, ra
Surface #	Y Radius	Thickness	Glass	Y Semi-Apert	U (CHIEF)
Object	Infinity	Infinity			
Stop	91.8109	5.500	BK7	10.500	0.032735
2	-62.7334	2.000	F2	10.448	
3	-218.4671	7.500		10.433	
4	Infinity	30.728	BK7	9.000	
5	Infinity	0.700		9.000	
6	Infinity	51.261	BK7	9.000	
7	Infinity	69.081		9.000	
8	Infinity	11.000		5.281	
9	Infinity	0.700		4.850	
10	Infinity	2.000	BK7	4.850	
11	Infinity	16.000		4.841	
12	Infinity	1.916		6.506	
13	-42.84232	1.500	NSF4	6.651	
14	23.892541	5.500	NSK16	7.042	
15	-27.2568	0.300		7.598	
16	47.2853	3.500	NLAK10	7.781	
17	-91.01251	0.300		7.736	
18	26.80803	3.500	NLAK9	7.575	
19	50.190025	30.000		7.069	
20	Infinity	-2.892		2.409	
Image	Infinity	0.000		1.844	-0.196365

다. 또한 대물렌즈와 접안렌즈가 (+)굴절력 렌즈이기 때문 에 정립프리즘<sup>[13]</sup>의 사용은 필수적이다. 본 광학계에서는 정립프리즘으로는 face-length가 18.0 mm인 슈미트-페찬프 리즘<sup>[14]</sup>을 사용하였다. 이미 접안렌즈가 설계되어져 있기 때문에 대물렌즈를 더블렛으로 하여 곡률반경, 두께와 굴 절률을 변수로 전체광학계의 광선수차량을 최소화하는 방 향으로 최적화를 진행하였다. 이 때 개발의뢰자가 요구한 렌즈의 유효직경 21 mm, 위에서 계산된 대물렌즈의 초점거 리 147.42 mm, 18 mm face-length를 가지는 페찬프리즘(블락 길이 30.7279 mm)과 슈미트프리즘(블락길이 51.2608 mm), 두 블락 사이의 갭 폭 0.7 mm를 고정 제한조건으로 하여, 기 설계된 접안렌즈에 연동하여 광학식 스코프가 배율 6X, 열영상 광학계의 배율이 1X가 되도록 최적화를 진행 하였다.

이렇게 하여 설계되어진 6X 스코프 광학계의 광선추적 도는 Fig. 6에 설계 데이터는 Table 5에 나타나 있다. 유한 광선 수차도와 왜곡수차도는 Fig. 7에 나타나 있는데 유한 광선 수차는 거의 ±4' 이내로, 왜곡수차는 0.25% 이내로 잘 제어되어 있음을 알 수 있다.

#### 결과 및 고찰

Fig. 6와 Table 5에서 보면에서 보면 슈미트-페찬프리즘 과 대물렌즈의 레티클 렌즈 사이에 공간이 80.781 mm 존 재하는 것을 알 수 있다. 이 공간을 활용하여 2장의 반사 미러로 구성된 광로 폴딩부와 결상면 회동부를 Fig. 8의



Fig. 8. 3D configuration of the optimized 6X optical scope with an OPL folding section and an imaging surface rotator ((a) scope mode, (b) thermal image mode).

(a)와 같이 배치하였다. Fig. 8의 (b)는 결상면 회동부를 회 동시켜 열영상 광학 엔진의 영상을 OLED 영상소자에 디 스플레이하여 접안렌즈로 볼 수 있도록한 배치를 보여주 고 있다. Table 5에서 보면 스톱(대물렌즈의 1면)에서의 주광선의 입사각이 0.032735 rad(1.875°)이고 이미지 면에 서는 주광선의 출사각이 -0.196365 rad(11.251°)이므로 광 학식 스코프의 배율은 식 (1)에서 <u>-0.196365</u> = 5.999X 임 을 확인할 수 있다.

또한 본 설계에 사용된 상용 열상광학계의 결상 화각은 약 21.7°(0.38 rad)이고 OLED의 대각 사이즈의 반이 4.826 mm 이다. 그런데 Table 5에서 보면 2 mm 두께의 레티클 렌즈 의 2번째 면에서의 상의 높이가 4.841 mm임을 알 수 있 다. 이 높이의 상이 접안렌즈의 출사동에서는 출사각이 – 0.196365 rad(11.251°)로 출사함을 알 수 있기 때문에



Fig. 7. Finite ray aberrations (a) and distortions (b) of the optimized 6X optical scope.



Fig. 9. Layout plot of the thermal imaging optical system and the folded 6X optical scope for the composite optical aiming device.

4.826 mm의 OLED 상은 접안렌즈의 출사동에서 출사각 4.826 × 11.251 = 11.216°로 출사하게 될 것이다. 따라서 관 찰자의 눈으로 입사하는 결상 화각은 22.432°가 될 것이며 열영상 광학 엔진과 적외선 결상 광학계와 접안렌즈의 조 합으로 열영상은 22.432 21.7 ≈ 1.034X의 배율을 갖게 될 것이 다. 이는 개발의뢰자가 Table 1에 제시한 배율에 대한 설 계의 요구 조건을 모두 충족하고 있다는 것을 보여준다. 즉 본 논문에서 설계된 폴딩된 6X 스코프 광학계와 상용 열상용 광학 엔진 및 적외선 결상 광학계를 사용하여 복 합 광학 조준장치를 제작한다면 1X의 열상광학계와 6X 스코프 광학계를 선택적으로 사용할 수 있는 장치가 된다 는 것을 의미한다.

#### 결 론

본 연구에서는 상용 열상용 광학 엔진과 적외선 결상 광 학계를 결합하여 열상광학계를 구성하였으며, 6X 스코프 폴딩 광학계를 설계하여 접안렌즈를 상기 열상광학계와 같이 사용하게 함으로써 선택적으로 1X의 열상광학계와 6X 스코프 광학계를 사용할 수 있는 복합 광학 조준장치 를 개발하였다. Fig. 9에는 설계되어진 1X의 열상광학계 와 6X 스코프 광학계의 배치도가 나와 있다. 기존의 개별 사용으로 휴대하고 본관하기가 불편하였던 광학식 스코프 와 열상 광학계를 같이 사용할 수 있는 방법을 본 논문에 서 제시하고 있기 때문에 향후 큰 응용이 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 (주)동인광학 정인 사장님의 연구 지원 및 강 경우 팀장님의 도면 작업 도움에 의해 이루어질 수 있었 음을 밝혀둡니다.

#### REFERENCES

- Park SH, Lee DH. Development on a relay lens type scope with 70mm eye relief. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2009;14(3):29-35.
- [2] Park SH, Lee DH. Development on a roofed pechan prism type scope with long eye relief. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2010;15(3):247-255.
- [3] Lee DH, Park SH. Development of scope with Abbe-König prism. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2013;18(4):509-517. DOI: https://doi.org/10.14479/jkoos.2013.18.4.509
- [4] Lee DH. Development of the dot sight device by using the doublet reflector. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2008;13(1):65-69.
- [5] Lee DH, Park SH. Development of dot sight with 2X magnification. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2012;17(4):435-440.
- [6] Morris DD. Off axis optical sight system for a firearm. U.S. Patent 4346995, 1982.
- [7] Montelin P, Stenberg L. Optical element of a parallax free sight. U.S. Patent 5440387, 1995.
- [8] Teledyne FLIR LLC. Six Small Cameras for Mankind, 2021. https://www.flirkorea.com(14 April 2021).
- [9] Ophir Optronics Solutions LTD. SupIR 35mm f/1.5, 2020. https://www.ophiropt.com/infrared/lenses/supir-35mm-f-1-5/(1 May 2021).
- [10] SemiConductor Devices. VOX Imager, 2019. https:// www.scd.co.il/products/vox-imager(1 May 2021).
- SemiConductor Devices. VOX Imager BB(Broad Band), 2019. https://www.scd.co.il/wp-content/uploads/2019/07/ VOx\_Imager\_BB\_brochure\_v3.pdf(8 April 2021).
- [12] Smith WJ. Modern lens design, 2nd Ed. New York: McGRAW-HILL, 2004;393-410.
- [13] Synopsys. Code V Optical Design Software, 2019. https:// www.synopsys.com/optical-solutions/codev.html(7April 2021).
- [14] Lee DH, Park SH. Development of program used for calculation and estimation of roofed pechan prism. Journal of Korea Convergence Society. 2016;7(6):199-203. DOI: https://doi.org/10.15207/JKCS.2016.7.6.199

# 복합 광학 조준장치용 6X 스코프 설계

## 정보선<sup>1</sup>, 이수천<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>동인광학 기술연구소, 책임연구원, 부천 14450 <sup>2</sup>강동대학교 안경광학과, 교수, 음성 27600 투고일(2021년 5월 17일), 수정일(2021년 5월 30일), 게재확정일(2021년 6월 6일)

**목적:** 본 논문은 열상광학계의 상과 스코프의 대물렌즈의 상을 하나의 접안렌즈를 사용하여 볼 수 있도록 한 복합 광학 조준장치용 6X 스코프의 설계를 목적으로 한다. **방법:** 기존의 상용 열상광학계를 사용하고, 6X 스코프를 접안 렌즈, 광로 폴딩부, 결상면 회동부 및 대물렌즈로 구성되게 하여, 상기 상용 열상광학계와 조합되게 함으로써, 우리는 새로운 형태의 복합 광학 조준장치를 개발할 수 있었다. **결과:** 새롭게 설계된 복합 광학 조준장치용 6X 스코프는 초 점거리 24.57 mm인 접안렌즈, 2개의 반사면을 가지는 광 경로 폴딩부와 초점거리 147.43 mm인 대물렌즈로 구성할 수 있었다. 또한 이 6X 스코프는 최대 시야각을 3.75도로 가지며, ±4' 이내의 유한광선수차를 가지는 광학계임을 확 인할 수 있었다. **결론:** 기존 상용 열상광학계와 결합할 할 수 있는 광로 폴딩부와 결상면 회동부를 가지는 6X 스코 프를 설계함으로써 우리는 하나의 접안렌즈를 사용하는 복합 광학 조준장치를 개발하게 되었다.

주제어: 열상광학계, 접안렌즈, 광로 폴딩부, 6X 스코프, 결상면 회동부