아베-코닉 프리즘을 이용한 스코프 개발

이동희¹, 박승환^{2,*}

¹극동대학교 안경광학과, 음성 369-700

²을지대학교 의료공학과, 성남 461-831

투고일(2013년 11월 7일), 수정일(2013년 12월 2일), 게재확정일(2013년 12월 14일)

목적: 아베-코닉(Abbe-König) 프리즘을 이용한 2.6X 광학식 스코프를 개발하고자 하였다. **방법:** 먼저 대물렌즈의 초점거리와 유효구경의 크기를 고려하여 아베-코닉 프리즘을 설계하였다. 이렇게 설계되어진 아베-코닉 프리즘의 광학적, 기하학적 거리를 계산하였다. 이 계산 결과를 이용하여 전체 시스템의 광학적 유효거리 및 배율을 만족하도록 접안렌즈와 대물렌즈의 초점거리를 배분한 후 시스템을 최적화함으로써 전체 시스템을 완성하였다. **결과:** Face length 11.5 mm를 가지는 아베-코닉 프리즘과 4배로 이루어진 초점거리 24.3 mm의 접안렌즈와 2배로 이루어진 초점거리 63.13 mm의 대물렌즈를 설계하여 약 2.6배율을 광학식 스코프를 완성할 수 있었다. **결론:** 아베-코닉 프리즘을 채택한 2.6배율을 가지는 광학식 스코프를 설계 제작하였는데, 6.42° 이내의 반 시야각에서 50% MTF 기준치로 200 cycles/rad의 분해능과 103 mm 유효 광학적 경통길이와 12.0 mm의 유효구경과 31 mm의 경통구경을 갖는 컴팩트한 광학계가 되었다.

주제어: 아베-코닉 프리즘, 스코프, 정립프리즘, MTF

서 론

개인용 총기류의 조준수단은 목표물을 정확하게 조준할 수 있도록 총기의 상단부에 대부분 부착되어 있다. 그런데, 일반적인 총기류의 경우 가늠자, 가늠쇠, 목표물의 조준선 정렬에 의한 조준이 이뤄지게 되는데, 조준이 얼마나 신속하게 이뤄져 조준사격을 할 수 있는지를 나타내는 신속성과, 조준사격이 정확하게 표적을 향하는지를 나타내는 정확성이 매우 중요하다. 이러한 조준에 있어서 목표 포착 및 확인, 조준선 정렬, 조준 등의 복잡한 과정과 시간이 요구되며, 일반적으로 가늠쇠와 가늠자 자체가 매우 작아서 이를 정확하게 정렬함에 있어 작은 떨림에도 민감하게 반응할 뿐만 아니라 지나치게 조준선 정렬에 신경을 쓰다 보면 표적이나 전방 상황보다는 가늠쇠와 가늠자 자체에 시선이 집중되어 시야가 좁아지게 된다.

이와 같은 조준선 정렬의 번거로움을 해결하면서 좀 더 정확성을 높이기 위해 도트사이트(dot sight)^[1] 및 광학식 스코프(scope)가 제안되고 있다.^[2,3] 박 등^[2]이 연구한 스코프는 전장 약 105 mm 유효구경 13 mm, 경통구경 18 mm를 갖는 릴레이 렌즈 방식의 광학계로 개인 휴대용 소총

등에는 적용이 용이하나 반시야각(half field angle)이 0.75로 작은 관계로 목표물에 대한 시야가 좁아지는 단점이 있다. 이러한 단점은 대물렌즈의 초점위치를 릴레이 시키는 방식으로 경통을 구성하기 때문에 나타나는 필연적인 결과이다.^[4]

상을 정립시키는 수단을 릴레이 렌즈가 아니라 Fig. 1과 같이 정립프리즘을 이용하면 경통길이를 상대적으로 짧게 할 수 있게 되는데, 이러한 프리즘의 종류에는 아베-코닉(Abbe-König)프리즘 또는 지붕형 폐찬(roofed Pechan) 프리즘 등이 있다.^[3,4] 지붕형 폐찬프리즘은 face length를 여러 가지로 해서 상용 제품이 나와 있지만, 아베-코닉 프리즘은 그러하지 못하기 때문에, 필요한 프리즘을 필요한 scope의 대물렌즈에 맞게 설계 제작하여야 한다. 본 논문에서는 상용 제품을 구할 수 없는 아베-코닉 프리즘과 이를 적용한 광학식 스코프의 설계과정을 기술해 보고자

Fig. 1. Structure of an erecting prism type scope.

*Corresponding author: Seung-Hwan Park, TEL: +82-31-740-7216, E-mail: pasuhwa@eulji.ac.kr

Table 1. Design specifications demanded by user

Optical length from 1st lens to last lens	< 111 mm
Outer Barrel diameter	≤ 31.0 mm
Effective Minimum Barrel diameter	≥ 12.0 mm
Magnification	+2.6($\pm 5\%$)
Resolution (at 30% MTF)	≥ 200 cycles/rad
Eye relief	About 30 mm
Exit pupil diameter	≥ 4.5 mm
Vignetting 0% half-field	< 4.4°

한다.

사용자의 설계 요구조건

사용자의 설계 요구조건을 Table 1에 나타냈다. 광학계 전장길이가 111 mm 이하인데 여기에는 스코프를 외부 극한 상황에서 보호하기 위한 두께 4 mm의 BK7 재질의 보호 윈도우(protecting window)를 대물렌즈 앞 4 mm 전방에 부착할 수 있는 조건이 포함되어 있기 때문에 실제 유효 광학적 길이는 103 mm 이하라고 할 수 있다.

또한 배율이 $+2.6 \times$ 이고, 외경이 31 mm이하로 아주 콤팩트하면서 광학계 구경정도의 안점거리(eye relief)를 요구하고 있는 것을 특징으로 하고 있다. 그런데 Outer Barrel diameter가 31 mm 이하라는 조건과 vignetting 0%의 half-field 각이 4.4°라는 조건을 폐찬 프리즘을 포함한 광학계에서는 동시에 성립시킬 수가 없다. 이는 일반적으로 vignetting 0%를 이루는 같은 half-field 각과 같은 face length가 주어질 때 폐찬 프리즘의 경통 폭이 아베-코닉 프리즘의 경통 폭보다 크지게 되는 현상에 기인한다. 따라서 사용자의 요구 조건을 성립시키는 광학계 설계에 상용 폐찬 프리즘은 적용할 수 없기 때문에 이러한 특수 구조에 맞게 프리즘을 새롭게 설계 적용하여야 한다. 일반적으로 정립광학계로서 폐찬 프리즘이 아베-코닉 프리즘보다 제작 공차가 까다롭고, 제작비가 비싸기 때문에 사용자 입장에서는 아베-코닉 프리즘을 적용한 스코프의 개발이 가격 경쟁력을 가질 것으로 판단된다.

광학계 설계는 Sigma2000과 LightTools 광학 설계 프로그램을 사용하였다.^[5,6]

초기 설계의 조건 설정

정립프리즘의 설계에 앞서 대물렌즈의 초점거리와 구경을 확정하여야 하는데 이는 설계하고자 하는 광학계의 전

장길이와 관계된다. 이론적인 계산에 의하면 에어잡이 없는 아베-코닉 프리즘의 기하학적 광경로 축소 효과^[4]는 약 71.43%이므로 이를 고려한 대물렌즈의 초점거리가 사용자 요구에 맞도록 설계되어야 한다. 먼저 사용자의 출사동의 크기가 4.5 mm 이상이기 때문에 배율을 곱하면 11.7 mm가 대물렌즈의 유효구경이 된다. 그러나 사용자 요구에서 유효 최소 경통 사이즈가 12.0 mm이기 때문에 조립 spacer직경 $0.7 \times 2 = 1.40$ mm를 합한 13.4 mm를 렌즈 제작 구경으로 하고, 여기에서 코팅지그 공간을 확보하기 위해 1.0 mm를 줄인 12.4 mm(이를 clear aperture라 함)를 설계 유효구경으로 한다. 실제 유효 광학적 길이는 103 mm 정도로 주어지기 때문에 배율 2.6배를 구성하기 위한 대물렌즈와 접안렌즈의 초점거리는 접안렌즈의 초점거리를 1로 했을 때 대물렌즈의 초점거리를 2.6, 접안렌즈의 물측 주요면에서 접안렌즈의 마지막 렌즈면까지의 거리를 0.5 비율로 하여 전체 합 4.1로 103 mm를 분배하여 각각의 초기 초점거리 등으로 할당해야 한다. 즉 대물렌즈의 초점거리는 65.3 mm, 접안렌즈의 초점거리는 25.1 mm, 접안렌즈의 제1렌즈 제1면에서 상측 주요면까지의 거리는 12.6 mm로 할당하여 초기 설계를 진행한다. 아베-코닉 프리즘의 기하학적 입출력 윈도우의 크기는 대물렌즈 설계 과정에서 광경로를 분석하여 비네팅 0% 조건이 4.4° 이하에서 이루어지도록 설정하여야 한다.

아베-코닉 프리즘의 설계^[4]

아베-코닉 프리즘의 입력 윈도우의 크기(정사각형으로 한 변의 길이를 face length 라고 함)를 Fig. 2와 같은 광선 추적에 의한 기하학적 광경로 결정하여야 한다. 즉 유효구경 12.4 mm의 대물렌즈에서의 거리가 18 mm 위치에 프리즘을 배치하고자 했을 때 4.4°로 입사하는 광선의 비네팅이 일어나지 않고 전부 프리즘을 통과하기 위해서는 face length가 11.50 mm이어야 함을 Fig. 2의 기하학에서 확인할 수 있었다. 실제 광경로는 Fig. 4와 같이 folding된 광경로를 따르나 기하학적 광경로의 조사를 위해서는 folding 광경로를 Fig. 2와 같이 펼쳐서 계산하기도 한다.

Fig. 2. Ray tracing drawing used in determining the face length of Abbe-König prism.

Fig. 3. 2D configuration of Abbe-König prism.

Fig. 4. 3D configuration of Abbe-König prism.

기하학적 광경로 축소 효과는 약 72%(아베-코닉 프리즘의 두 부품 사이에 에어갭 유지를 위한 0.2 mm spacer를 사용할 경우 $\frac{33.20+0.20 \times 2}{46.48+0.20} = 0.72$) 이고, BK7 재질에 의한 광학적 광경로 확대 효과는 프리즘 초사 BK7의 굴절률 (1.5168 @d-line)을 고려하면 $46.48 \times \frac{n-1}{n} = 15.84$ mm 이므로, 실제적으로 프리즘에 의한 경통 길이는 15.84-(46.68-33.60) = 2.76 mm 정도의 확대 효과가 있게 된다. 그러나 이 정도의 확대로 상의 정립을 이룰 수 있다는 것은 무엇보다 큰 광학적 효과라 할 수 있다.

Fig. 3, 4의 좌측에서 광축 방향으로 진행하여 제1프리즘의 입사면을 지나는 광선은 제1프리즘의 빔면을 만나 전반사(전반사A)하게 되고 계속하여 제1프리즘의 윗부분으로 진행한다. 이렇게 진행한 광선은 지붕형 전반사면으로 구성된 제1프리즘의 윗부분을 지나게 되면서 상의 좌우반전이 일어나게 된다. 상의 좌우반전이 일어난 광선이 계속 진행하여 제2프리즘을 통과하여 제2프리즘의 아래쪽 빔면을 만나 전반사(전반사B)하게 되고, 계속하여 광축 방향으로 진행하여 제2프리즘을 통과하게 되어 최종 레티클 면으로 입사하게 된다. 이 때 아베-코닉 프리즘을 입사한 광선은 제1프리즘에서의(전반사A)와 제2프리즘에서의(전반사B)에 의해 두 번 반사됨으로서 상의 상하 반전이 이루어진다. 이상과 같이 아베-코닉 프리즘을 입사하는 광선은 상의 상하 반전과 좌우 반전을 격기 때문에 상의 정립을 이룰 수 있게 되는 것이다.

초기 설계의 조건에서 대물렌즈의 초점거리가 65.3 mm로 결정되었으나, 프리즘 효과로 2.76 mm 정도의 경통길이가 늘어나는 효과가 있기 때문에 사용자 유효 광학적

Fig. 5. Manufacturing drawing I of Abbe-König prism.

Fig. 6. Manufacturing drawing II of Abbe-König prism.

Fig. 7. Manufacturing drawing III of Abbe-König prism.

길이 103 mm를 유지할 수 없게 된다. 따라서 2.76 mm 늘어나는 길이를 초점길이 축소로 전체 유효 광학적 길이 103 mm를 유지할 수 있도록 할 필요가 있다. 즉 2.76 mm를 초점거리 비 2.6:1로 나누어 대물렌즈 초점거리는 63.3 mm, 접안렌즈의 초점거리는 24.3 mm으로 초기 설계의 초점거리를 변경할 필요가 있다.

상기 초기 설계의 초점거리 계산에 영향을 주는 face

Table 2. Design data and 1st optical characteristics of the optimized eyepiece lens

EFL = 24.310		WAVELENGTHS [nm]		587.60	656.30	486.10	
#SURF	RADIUS	THICK	INDEX1	V	CLR RAD	GLASS	
1 S	Plane	0.000	1.000000		2.300		
2 S	143.751	30.000	1.000000		11.437		
3 S	-33.322	4.400	1.620409	60.30	11.705	S-SK16	
4 S	33.107	0.856	1.000000		11.754		
5 S	-17.318	9.000	1.620409	60.30	11.403	S-SK16	
6 S	58.225	1.500	1.647686	33.83	10.604	S-SF2	
7 S	34.039	2.100	1.000000		10.398		
8 S	139.598	4.000	1.620409	60.30	9.941	S-SK16	
9 S	Plane	12.918	1.000000		7.064		
10 S	Plane	0.001	1.516798	64.14	7.064	S-BK7	
11 S	Plane	-0.000	1.000000		7.064		
Infinite Conjugates							
BFL	-0.00002	EFL	24.31035	FNO	5.28486	FFL	9.29292
At used Conjugates(Infinite Object Distance and Finite Focus)							
MAG	0.00000	OBJ NA	0.00000	IMAG NA	-0.09461	OBJ DIST	undefined
IMG DIST	-0.00002	TRACK	undefined	THKNESS	64.77550	IMG HT	7.29345
IMG ANG	-6.54233						
Entrance Pupil Diameter and Distance from First Surface							
DIA	4.60000	DIST	0.00000				
Exit Pupil Diameter and Distance from Last Surface							
DIA	12.03363	DIST	63.59603				

length 11.50 mm의 아베-코닉 프리즘의 설계도는 Fig. 5, 6, 7과 같다.

접안렌즈의 설계^[7,8]

초점거리 24.3 mm이 되도록 하는 초기 설계에 사용한 접안렌즈 초자는 (+)렌즈에는 SK16, (-)렌즈에는 SF2를 사용하여 사람 눈이 볼 수 있는 가시영역의 색수차가 잘 제어되도록 하였다. 접안렌즈(접안렌즈 설계 시 순서인 관찰자, 접안렌즈, 레티클로 했을 때의 배열에 있어서)의 상측 주요면에서 접안렌즈의 제1렌즈 제1면까지의 거리를 접안렌즈의 초점거리의 0.5 비율로 하였기 때문에 레티클 면에서 마지막 렌즈 제2면까지의 거리도 초점거리의 0.5 비율이 되게 초기조건으로 설계를 진행하였다. 즉 레티클 면에서 마지막 렌즈 제2면까지의 거리를 12.15 mm, 접안렌즈의 두께를 24.3 mm가 되게 4매의 렌즈를 SK16, SK16+SF2의 더블렛, SK16 배열로 power를 +, (+, -), + 분포를 가지도록 하여 초기설계를 진행하였다. 최

Fig. 8. Ray tracing drawing of the optimized eyepiece lens.

적화는 필드 시야의 선명도를 개선하기 위해 상면만곡 제거를 우선으로 유한광선 수차를 최소화하는 방향으로 진행하였다. 이렇게 하여 최적화 되어진 4매 구성의 접안렌즈의 설계 데이터와 1차광학량을 Table 2, 광선추적도를 Fig. 8에 나타냈다. 여기서 보면 최종 최적화 단계에서 광학계의 마지막 렌즈 제2면에서 레티클까지의 거리가 12.92 mm, 접안렌즈의 두께가 21.86 mm로 최적화 초기 설정된 각각의 두께 12.15 mm, 24.3 mm에서 각각 +0.77 mm, -2.44 mm의 변화를 보이고 있는 것을 확인할 수 있다. 전체적으로 보면 초기조건에서 접안렌즈 광학계의

Fig. 9. Diagram of finite ray aberrations of the optimized eyepiece lens.

Fig. 10. Aberration diagrams of astigmatism and distortion of the optimized eyepiece lens.

길이가 약 1.67 mm 감소한 것으로 보인다. 이는 대물렌즈 광학계의 길이 연장을 의미하기 때문에 수차를 최소화하는데 유용하게 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 16.7° 필드 시야 주광선의 레티클 상면에서 결상하는 높이가 7.29 mm이고 입사각이 -6.54°가 됨을 알 수가 있다.

Fig. 9은 접안렌즈의 유한광선 수차도이며 16.7° 필드에서 ± 0.05 mm 이내로 잘 제어되어져 있음을 보여주고 있다. Fig. 10은 비점수차와 왜곡수차를 보여주고 있으며 비점수차는 최적상면이 수직으로 존재하도록 잘 제어되어져 있고, 왜곡수차 또한 3.7% 이내로 잘 제어되어져 있음을 보여 준다.

대물렌즈의 설계^[7,8]

현재 설계되어진 아베-코닉 프리즘을 펼쳤을 때의 기하학적 길이는 46.48 mm(BK7 초자)+0.2 mm(air gap) 이고, 펼치지 않을 때의 기하학적 거리는 33.20 mm (BK7 초자) +0.4 mm(air gap)로 계산되나, 실제 설계에

Fig. 11. Ray tracing drawing of the optimized objective optical system.

서는 펼쳐서 진행하기 때문에 대물렌즈의 두께 BK7+SF2(3.3 mm), 대물렌즈 마지막면에서 프리즘까지의 고정거리 18.0 mm, 아베-코닉 프리즘의 설계 두께 46.48 mm(BK7 초자)+0.2 mm(air gap), 레티클 두께 2.0 mm를 포함하여 대물렌즈 광학계의 길이가 81.30 mm (68.22 mm+13.08 mm)로 설계되어 저야 사용자의 요구 조건인 광학적 거리 111 mm(유효 광학적 거리 103 mm)를 만족하게 된다. 즉 두께 2 mm의 레티클 평면렌즈를 대물렌즈와 접안렌즈 사이에 두고 대물렌즈의 유효구경을 12.4 mm로 하여 대물렌즈의 초점거리가 63.3 mm가 되면서 초점의 위치가 레티클의 후면에 위치하며 대물렌즈 제1면에서 레티클까지의 거리가 81.30 mm로 되도록 설계되어져야한다.

대물렌즈는 색수차 제거를 위해 더블렛(doublet)^[10,11] 형태를 취하도록 하였고, 초자는 쉽게 구할 수 있는 BK7, SF2를 사용하였다. 렌즈의 두께는 최적화에 민감하지 않기 때문에 제작 가능성을 고려하여 고정 값으로 하여 최적화 하였다. 이렇게 설계 되어진 대물렌즈의 설계 데이터 및 1차 광학량을 Table 3에 나타냈으며 광선 추적도는 Fig. 11에 나타냈다. 최적화되어진 대물렌즈는 유효구경 12.4 mm, 전장 81.28 mm로 파악되는데, 이는 최적화 초기 81.30 mm를 거의 지키고 있다고 볼 수 있겠다. 다만 초점거리가 63.13 mm로 초기조건 63.3 mm보다 짧아져 있음을 확인할 수 있다. 이는 변수가 아닌 고정된 렌즈 두께 설정으로 인하여 나타난, 유한광선 수차의 최적화 과정에서 초점거리가 약간 짧아졌음을 나타낸다. Fig. 11에서는 프리즘이 펼쳐진 상태에서의 광선 추적도를 볼 수 있다.

최적화 결과는 초점거리는 63.13 mm로 되었으나 스코프의 시야각 6.42°에 해당하는 주광선의 대물부 최종 결상면에서 출사각이 6.37°, 상의 높이가 7.01 mm로 됨을 알 수가 있다.

Fig. 12은 최적화 설계되어진 대물렌즈 광학계 유한광선 수차도를 나타내고 있는데 스코프의 시야각 6.42°이내에서 ± 0.2 mm 이내로 잘 제어되어 있음을 알 수 있다. Fig. 13은 비점수차와 왜곡수차를 나타내고 있으며 6.42° 필드에서 0.2% 이내의 양으로 왜곡수차가 잘 제어되어 있음을 보여주고 있다.

Table 3. Design data and 1st optical characteristics of the optimized objective optical system with a erecting prism and a reticle plate

EFL = 63.131		WAVELENGTHS[nm]		587.60	656.30	486.10	
#SURF	RADIUS	THICK	INDEX1	V	CLR RAD	GLASS	
1 S	37.674	0.000	1.000000		6.200		
2 S	-30.656	2.300	1.516798	64.14	6.218	S-BK7	
3 S	-100.019	1.000	1.647686	33.83	6.266	S-SF2	
4 S	Plane	18.000	1.000000		6.522		
5 S	Plane	29.878	1.516798	64.14	6.799	S-BK7	
6 S	Plane	0.201	1.000000		6.802		
7 S	Plane	16.599	1.516798	64.14	6.956	S-BK7	
8 S	Plane	11.300	1.000000		7.139		
9 S	Plane	2.000	1.516798	64.14	7.384	S-BK7	
10 S	Plane	-0.009	1.000000		7.324		
Infinite Conjugates							
BFL	-0.00913	EFL	63.13058	FNO	5.09118	FFL	-62.66968
At used Conjugates (Infinite Object Distance and Finite Focus)							
MAG	0.00000	OBJ NA	0.00000	IMAG NA	-0.09821	OBJ DIST	undefined
IMG DIST	-0.00913	TRACK	undefined	THKNESS	81.27800	IMG HT	7.10354
IMG ANG	6.37352						
Entrance Pupil Diameter and Distance from First Surface							
DIA	12.4000	DIST	0.00000				
Exit Pupil Diameter and Distance from Last Surface							
DIA	12.49120	DIST	-63.59487

Fig. 12. Diagram of finite ray aberrations of the optimized objective optical system.

대물렌즈 광학계와 접안렌즈를 결합한 광학계 성능 분석^[9,10,11]

앞에서 설계된 대물렌즈 광학계와 접안렌즈를 통합하여 전체 광학계를 구성하였다. 접안렌즈는 설계시 레티클 위치가 오른쪽에 있도록 설계되었기 때문에 대물렌즈 광학계와 통합할 때 접안렌즈의 렌즈 데이터를 역으로 하여 통합하여야 한다. Table 4는 이렇게 통합되어진 통합 광학

Fig. 13. Aberration diagrams of astigmatism and distortion of the optimized objective optical system.

계의 설계 데이터와 1차광학량을 보여 준다.

Table 4에서 보면 Thickness가 146.052 mm로 되어 있는데 이는 안점거리 30 mm와 아베-코닉 프리즘을 펼쳤

Table 4. Design data and 1st optical characteristics of the integrated system

WAVELENGTHS [nm]				587.60	656.30	486.10	
#SURF	RADIUS	THICK	INDEX1	V	CLR RAD	GLASS	
1 S	37.674	0.000	1.000000		6.197		
2 S	-30.656	2.300	1.516798	64.14	6.134	S-BK7	
3 S	-100.019	1.000	1.647686	33.83	6.083	S-SF2	
4 S	Plane	18.000	1.000000		6.393		
5 S	Plane	46.478	1.516798	64.14	6.919	S-BK7	
6 S	Plane	11.500	1.000000		7.139		
7 S	Plane	2.000	1.516798	64.14	7.384	S-BK7	
8 S	-139.598	12.918	1.000000		12.000		
9 S	-34.039	4.000	1.620409	60.30	12.000	S-SK16	
10 S	-58.225	2.100	1.000000		12.000		
11 S	17.318	1.500	1.647686	33.83	12.000	S-SF2	
12 S	-33.107	9.000	1.620409	60.30	12.000	S-SK16	
13 S	33.322	0.856	1.000000		12.000		
14 S	-143.751	4.400	1.620409	60.30	12.000	S-SK16	
15 S	Plane	30.000	1.000000		12.000		
16 S	Plane	0.000	1.000000		12.000		
Infinite Conjugates							
BFL	77448.46	EFL	-201145.66	FNO	16229.35	FFL	-522406.49
At used Conjugates (Infinite Object Distance and Finite Focus)							
MAG	-2.59716	OBJ NA	0.00000	IMAG NA	0.00003	OBJ DIST	undefined
IMG DIST	77448.46	TRACK	undefined	TRACK	undefined	THKNESS	146.052
IMG HT	-22633.20	IMG ANG	-16.29024				
Entrance Pupil Diameter and Distance from First Surface							
DIA	12.39395	DIST	0.00000				
Exit Pupil Diameter and Distance from Last Surface							
DIA	4.77212	DIST	-0.00043

Fig. 14. Ray tracing drawing of the integrated system.

Fig. 15. Ray tracing drawing of the integrated system with the Abbe-König prism.

을 때의 Thickness의 기하학적 확대 효과 13.08 mm를 감하면 실제 유효 광학적 거리는 102.972 mm 가 된다. 이

Fig. 16. Diagram of finite ray aberrations of the integrated system.

값은 실제적인 광학적 유효 경통길이에 해당하는 것으로 사용자의 요구조건인 유효 광학적 거리 103 mm(광학적 거리 111 mm)이내를 충족한다고 볼 수 있다. 배율도

Fig. 17. Aberration diagrams of astigmatism and distortion of the integrated system.

Fig. 18. MTF curves of the integrated system.

Fig. 19. Spot diagrams of the integrated system.

-2.579배로서 사용자의 요구조건을 충족하고 있음을 확인할 수 있다. 그 결과 통합 광학계의 광선 추적도인 Fig. 14, 15를 참고하면 추적 광선이 안점거리 끝단에서 잘 집중되고 있음을 볼 수 있다. Fig. 16은 통합광학계의 유한 광선 수차도를 defocusing -1디옵터에서 보여주는데 0.005 rad 정도로 잘 제어되어져 있음을 보여준다. Fig. 17는 통합광학계의 비점수차와 왜곡수차를 보여주는데 평균 왜곡수차량은 약 1% 정도로 잘 제어되어져 있음을 보여준다.

Fig. 18는 defocusing -1디옵터에서 통합광학계의 MTF

Fig. 20. 2D configuration of the integrated system.

Fig. 21. 3D ray tracing configuration of the integrated system.

Fig. 22. Barrel drawing of the integrated system.

를 보여주는데 6.42° 필드에서 50% MTF에 대해 200 cycles/rad 이상 되기 때문에 좋은 분해능을 보여주는 것으로 판단된다.^[5] Fig. 19는 defocusing -1디옵터에서의 스폿 다이어그램을 보여주고 있는데 초점심도 ± 0.3 Diopters 이내에서 0.005 rad 이내의 스폿을 보여주고 있으므로 판단해볼 때 잘 설계된 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서 우리는 face length 11.5 mm를 가지는 아베-코닉 정립프리즘을 사용한 +2.6×의 스코프를 설계 개발하였다. 새로 설계되어진 스코프는 유효 광학적 경통길이 약 103 mm 유효구경 12.0 mm, 경통구경 31 mm를 갖는 컴팩트한 광학계이며 6.42° 이내의 시야각에서 50% MTF 기준치로 200 cycles/rad의 분해능 성능을 보여준다. Fig. 20은 설계되어진 스코프의 구성 치수도를 보여주며, Fig. 21은 3차원적 광선 추적도, Fig. 22는 경통을 포함한 광학계 조립 구성도를 보여 주고 있다.

감사의 글

본 연구는 주식회사 한국전광의 연구비 지원으로 수행

되었음을 밝힙니다.

REFERENCES

- [1] Lee DH. Development of the dot sight device by using the doublet reflector. J Korean Oph Opt Soc. 2008;13(1):65-69.
- [2] Park SH, Lee DH. Development on a relay lens type scope with 70 mm eye relief. J Korean Oph Opt Soc. 2009;14(3):29-35.
- [3] Park SH, Lee DH. Development on a roofed pechan prism type scope with long eye relief. J Korean Oph Opt Soc. 2010;15(3):247-255.
- [4] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York: McGraw-Hill, 2008;136-154.
- [5] User Manual, SIGMA 2000, UK: Kidger Optics Ltd, 1995; Ch.5 and Ch.15.
- [6] User Manual, Light Tools Version 7.3. California: Optica; Research Associates, 2012.
- [7] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York: McGraw-Hill, 2008;287-303.
- [8] Milton L. Lens Design, 4th ed. New York: CRC Press, 2006;119-129.
- [9] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York: McGraw-Hill, 2008;339-364.
- [10] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York: McGraw-Hill, 2008;417-428.
- [11] Freeman MH, Hull CC, Charman WN. Optics, 7th Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003;194-210.

Development of Scope with Abbe-König Prism

Dong-Hee Lee¹ and Seung-Hwan Park^{2,*}

¹Dept. of Visual Optics, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

²Dept. of Biomedical Engineering, Eulji University, Seungnam 461-831, Korea

(Received November 7, 2013; Revised December 2, 2013; Accepted December 14, 2013)

Purpose: The purpose of this study is developing the $2.6\times$ optical scope with a Abbe-König prism. **Methods:** First, considering the size of the effective aperture and the focal length of the objective lens, we designed an Abbe-König prism. Next, we calculated the optical and geometric distances of Abbe-König prism designed in this way. After allocating the focal length of the objective lens and the eyepiece lens so as to satisfy the magnification and optical effective distance of the entire system by using this calculation result, we completed the entire system by optimizing this optical system. **Results:** We were able to complete the optical scope of about $2.6\times$ magnification by designing an objective lens with a focal length of 63.13 mm which was composed of two pieces, an eyepiece with a focal length of 24.3 mm which was composed of four pieces, and an Abbe-König prism with a face length 11.5 mm. **Conclusions:** We designed and fabricated an optical scope with $2.6\times$ magnification employing an Abbe-König prism. Then, this system became the compacted optical system with a barrel diameter of 31 mm, characterized by an effective aperture of 12.0 mm and an effective optical barrel length of 103 mm and a resolution of 200 cycles/rad at 50% MTF criterion within the half viewing field angle of 6.42° .

Key words: Abbe-König prism, Scope, Erecting prism, MTF