

안광학기기에 사용되는 바이프리즘원리와 슈미트 프리즘을 이용한 군사 거리측정기용 스코프 개발

차정원¹, 이동희^{2,*}

¹신한대학교 뷰티헬스사이언스학부 안경광학전공, 의정부 480-701

²극동대학교 안경광학과, 음성 369-700

투고일(2015년 5월 13일), 수정일(2015년 5월 26일), 게재확정일(2015년 6월 2일)

목적: 병사들이 간편하게 휴대할 수 있는 거리측정기 개발을 위하여 바이프리즘의 원리를 이용한 신개념 거리측정기를 도입하고, 그 기술을 구체적으로 실현하기 위하여 바이프리즘이 이동할 수 있는 공간을 충분히 확보할 수 있는 광학설계를 수행하여 군사 거리측정기용 스코프를 개발하고자 한다. **방법:** 바이프리즘이 이동할 수 있는 충분한 공간 확보와, 2가지 바이프리즘을 서로 쉽게 교환할 수 있도록 한다는 2가지 목표를 실현할 수 있는 다양한 초기조건을 설정한 후, 광학계의 유한광선수차들을 최소화 할 수 있도록 CodeV 광학설계 프로그램을 이용하여 최적화하였다. **결과:** 2가지의 바이프리즘을 교환할 수 있도록 하는 바이프리즘 하우징을 설계하였다. 바이프리즘이 움직이기 위한 공간을 확보할 수 있도록 하는 정립프리즘으로는 슈미트 프리즘이 적당한 것으로 나타났다. 슈미트 프리즘의 면길이(face length)는 16.5 mm가 적당하였다. 슈미트 프리즘과 바이프리즘을 포함한 광학계를 설계하여 유한광선수차를 최소화 시켰다. **결론:** 면길이(face length) 16.5 mm를 가지는 슈미트 프리즘과 바이프리즘을 사용하여 약 +5X의 스코프를 광학적 거리 측정기용으로 개발하였다. 이 스코프는 유효 시야 각 $\pm 3.6^\circ$ 를 가지는 광학계가 되었으며, 유한광선 수차는 $\pm 8.95'$ 이내로 잘 제어되어져 있다.

주제어: 바이프리즘, 슈미트프리즘, +5 배, 거리측정기용 스코프, 군사용

서 론

일반 소총의 유효사거리는 600 m 이내이며, 저격용 소총의 유효사거리는 700~1000 m 이고, 총알의 중량이 무거운 소위 대물저격소총이라 불리는 소총의 유효사거리는 1000~2300 m 정도이다.^[1,2] 대부분 소총의 최대 사거리는 유효사거리의 몇 배에 달한다. 사격할 때 총알의 궤적이 중력으로 인하여 포물선을 그리며 날아가게 되므로 정확한 사격을 위해서는 사격대상물까지의 거리를 잘 측정하는 것이 꼭 필요하다.^[3] 그러나 경제적인 문제로 일반 보병에게는 거리측정기가 지급되지 않으므로 눈으로 거리를 어렵짐작하여 사격할 수밖에 없다.

군인의 사격용 거리측정기는 크게 두 가지 종류가 있다. 첫 번째는 레이저를 이용한 거리측정방식이며, 두 번째는 망원경 내부의 레티클에 눈금을 새긴 방식으로 거리를 측정하는 방식이다.^[3-7]

첫 번째인 레이저 거리측정기를 살펴보면 충분한 거리를 측정할 수 있는 레이저 거리측정기를 병사개인용 장비

로 모두에게 보급하기에는 경제적으로 어려움이 있을 수 있다. 또한 레이저 거리측정기로 300 m 이상의 먼 거리를 측정하면 손떨림으로 인하여 목표물을 정확히 겨냥하기 어려워 잘못된 거리를 측정하는 경우도 많이 발생한다. 병사개인용으로 사용하기 위한 레이저 거리 측정기의 단점은 레이저빔을 정확히 목표물에 겨냥하여 발사한 후 반사되어 돌아오는 빔을 측정하여야 하는데 측정거리가 멀어지면 손 떨림으로 인해 정확한 위치로 빔을 발사하기 어려워져 잘못된 목표물에 반사된 빔으로 거리를 읽는 오류가 발생하기 쉬워 거리측정에 실수할 가능성이 높다. 이에 더하여 지형지물이 복잡한 전장에서는 앞 쪽에 있는 나무나 수풀 등의 잘못된 곳으로부터 반사된 광선을 측정할 가능성이 더욱 커지므로 어려운 점이 있으며, 또한 대상물이 항상 정지해 있지 않고 이동하는 경우가 많아 더욱 측정에 어려움이 있다고 할 수 있다.

이 두가지중 망원경 내부의 레티클에 눈금을 새기는 방식은 망원경이 달린 저격용 소총에 많이 도입된 방식이다. 망원경 내부의 작은 레티클에 눈금을 새겨 넣어 눈금의

*Corresponding author: Dong-Hee Lee, TEL: +82-43-880-3808, E-mail: dhlee99@hanafos.com

크기와 대상물인 적군의 키 크기를 비교하는 방식을 사용하며, 레티클에 100 m 또는 200 m의 간격으로 눈금이 새겨져 있어 거리측정 오차가 너무 크게 발생하고 최대측정 가능거리 또한 600 m를 넘지 않는 것이 보통이어서 측정할 수 있는 거리가 부족한 실정이다. 이러한 단점에도 불구하고 현재 레티클에 눈금을 새기는 방식이 많이 사용되고 있는 실정이며, 그 이 기술은 현재의 상태에서 진전되지 못하고 기술이 답보상태에 있다. 이 형태의 거리측정기를 작은 크기의 개인휴대용으로 만들 경우 레티클의 크기가 더욱더 작아서 레티클에 거리눈금을 자세히 새겨 넣기 더욱 어려우며, 손으로 들고 볼 때 손의 미세한 떨림에도 레티클이 심하게 흔들려 보이므로 거리측정이 매우 어려워지며 대상물이 움직이고 있으면 거리측정이 더욱더 어려워진다. 그러므로 이 방법 또한 병사개인용 거리측정기로 적합하지 않다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 앞서 최근에 제안되었던 “케라토미터의 바이프리즘 원리를 이용한 골프거리측정기에 관한 연구”에서 소개된 신개념 거리측정기를 군사용 거리 측정기에 응용하고자 한다.^[8,9] 앞서 제안된 연구에서는 개략적인 실험을 이용한 테스트가 진행되었을 뿐 구체적인 광학설계가 도출되지 않았으며 정립프리즘의 문제를 어떻게 해결할 것인지가 제안되지 않았다. 여기서 한 가지 특징적인 문제점은 거의 대부분의 쌍안경에서 사용되고 있는 정립프리즘의 형태인 포로프리즘이나 지붕형 폐호찬프리즘(슈미트-폐호찬프리즘)을 사용하게 되면 경통내부의 공간을 많이 차지하게 되어 바이프리즘이 충분히 왕복할 수 있는 공간이 확보되지 않는다는 문제점이 있다.^[7,10]

그러므로 본 연구에서는 군사의 휴대용 거리측정기개발을 위하여 각막곡률계, 세극등현미경 등에서 이용되는 바이프리즘의 원리를 이용한 신개념 거리측정기를 도입하고, 그 기술을 구체적으로 실현하기 위하여 바이프리즘이 이동할 수 있는 공간을 확보할 수 있는 정립프리즘을 도입하고 그에 맞는 광학설계를 수행하여 군사 거리측정기용 스크프를 개발하고자 한다.

대상 및 방법

앞선 연구에서 소개된 신개념 거리측정기^[8,9]를 군사용 거리 측정기에 응용하기 위하여 거리측정대상으로 삼을 수 있는 타겟의 종류는 탱크, 수송차량 등을 포함하는 차량과 사람 2종류로 생각할 수 있다. 일반적으로 망원경 내부의 작은 레티클에 눈금을 새겨 넣는 방식의 거리측정에서 사용되는 사람의 크기기준은 1.7 m이며 차량의 크기는 2.3 m이다. 소총과 저격용 소총의 유효사거리 내에서 병

사 개인용 거리측정기로 사용하기 위해서 필요한 거리측정 범위는 150~1,000 m 정도인데 편위각이 0.6 ctrad인 1가지의 바이프리즘을 사용하게 될 경우 사람을 기준으로 하면 150~450 m 이고, 탱크를 기준으로 하면 200~600 m 정도의 범위를 측정할 수 있으므로 거리측정 범위가 상당히 부족하게 된다.^[8,9] 이러한 문제점을 보완하기 위하여 2가지의 바이프리즘을 사용하여야 하는 것으로 제안된 바 있으므로,^[8] 경통 내부에서 2가지의 바이프리즘을 수시로 교환하면서 거리를 측정할 수 있는 바이프리즘 홀더를 고안하여 제시하고자 한다.

또한 망원경 대물렌즈의 초점거리가 길면 길수록 거리측정용 눈금의 간격이 커지므로 거리측정 오차가 줄어드는 반면 망원경의 경통길이가 너무 길어지게 되므로 휴대하기 불편해지며, 휴대의 편의성을 위하여 망원경 경통의 길이를 너무 짧게 하면 거리측정용 눈금의 간격이 짧아지므로 거리측정 오차가 커진다. 이러한 점을 고려하여 대물렌즈의 초점거리를 임의로 125 mm로 설정하였다. 망원경의 배율이 크면 멀리 있는 물체가 크게 보이므로 거리측정에 용이한 반면, 상의 선명도가 나빠지고 흔들림이 심하므로 사용자의 요구에 따라 5배로 설정하였다. 이러한 조건을 만족할 수 있는 대물렌즈 및 접안렌즈를 CodeV 광학설계 프로그램을 이용하여 설계 한다.^[11]

또한 망원경 내부에서 바이프리즘이 움직이는 위치들이 측정거리로 환산되므로 바이프리즘이 망원경 내부에서 최대한 긴 거리를 왕복할 수 있어야 거리측정범위가 넓어지므로 바이프리즘이 움직일 수 있는 공간의 확보를 위해서, Fig. 1에서와 같이 대물렌즈의 주점으로부터 최소한 10~92 mm 이상의 범위를 바이프리즘이 왕복하면서 움직일 수 있도록 조건을 설정하였다. 그러므로 이러한 조건을 만족하는 적절한 정립프리즘을 구상하여야 한다.^[10]

이상의 여러 가지 설계조건들을 표로 정리하면 Table 1과 같다.

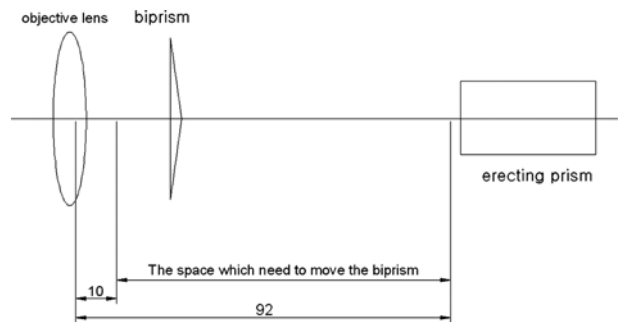


Fig. 1. Spatial layout of three components of the scope for calculating of moving space of the biprism. (The space which need to move the biprism is at least 10~92 mm from 2nd principal point of objective lens)

Table 1. Necessary conditions for design of scope for range finder using biprism

- Focal length of objective lens : 125 mm
- Focal length of eyepiece : 25 mm
- In order to make a space which need to move the biprism, erecting prism must set farther than 92 mm from 2nd principle point of objective lens.
- Thickness of biprism : 3 mm
- Effective objective lens diameter : 31mm
- To makes it possible to swap the two kinds of biprisms.
- Effective area of biprism : $14.4 \times 8 \text{ mm}^2$
- Inner diameter of telescope 31 mm
- Field angle of objective : about 3.6
- Magnification error of scope < 1.0%

결과 및 고찰

1. 바이프리즘 하우징 설계

거리측정 범위를 충분히 넓히기 위하여 2가지의 바이프리즘을 수시로 교환하면서 거리를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같은 장치를 고안 하였다. Fig. 2에서 원의 지름은 망원경 경통의 내경이며 그 내부에 3개의 직사각형 바이프리즘이 들어갈 수 있는 공간을 확보한 후 2가지의 바이프리즘을 Fig. 2의 빗금과 같이 a와 b영역에 배치 한 후 b영역의 바이프리즘만 이용하고 나머지 부분의 광로를 차단한다. 만약 a 영역에 있는 바이프리즘을 이용하기를 원

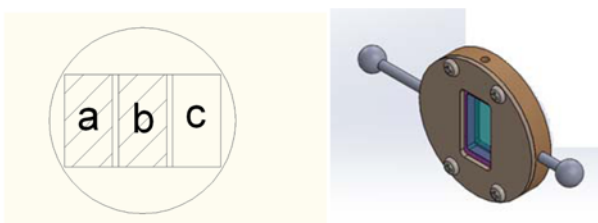


Fig. 2. Design drawing and 3D configuration of biprism housing to makes it possible to swap the two kinds of biprisms. The circle is inner space of scope, and biprism on b region only can be used to transmit light.

하면 a, b영역에 있는 바이프리즘을 우측으로 밀어서 b, c 영역으로 밀어서 움직이게 되면 a 영역에 있는 바이프리즘이 b 영역으로 움직이게 되어 a 영역에 있던 바이프리즘을 사용할 수 있게 구상하고 3D로 바이프리즘 하우징을 설계하였다.

여기서 거리측정기의 경통은 휴대하기 간편하게 너무 커지지 않아야 하며, 망원경으로 측정대상 관찰 시 너무 어둡지 않을 정도의 바이프리즘 면적을 확보하기 위하여 바이프리즘 1개의 면적을 $15.4 \times 8 \text{ mm}^2$ 로 정하였고 이 면적 3개를 Fig. 2와 같이 넣게 되면 망원경 경통 내경 31 mm에 거의 가득 찰 수 있도록 설정하였다. 바이프리즘 면적의 수직방향 길이인 15.4 mm중 1 mm는 바이프리즘 홀더에 부착하기 위하여 남겨두어야 하므로 실제 사용하는 바이프리즘의 유효면적은 $14.4 \times 8 \text{ mm}^2$ 이다.

2. 정립프리즘의 구상

바이프리즘을 이용하게 되면 Fig. 3과 같이 상이 아래위 2개로 분리 되므로 대물렌즈를 지난 광선이 바이프리즘을 통과하게 되면 대물렌즈에 의한 상의 위치에서는 광선속의 단면이 상하로 거의 2배로 길어지게 된다.

그러므로 정립프리즘에 입사하거나 정립프리즘을 지나서 출사하는 광선속의 단면 또한 상하로 상당히 길어지게 된다. 그러므로 정립프리즘의 면길이(face length)가 일반적인 망원경에서 보다 훨씬 길어져야 광선속이 소실되지 않고 정립프리즘을 무사히 통과해 나아갈 수 있다. 일반적으로 소형 망원경의 정립프리즘으로는 포로프리즘과 지붕형 폐호찬 프리즘을 많이 사용하게 되는데 이들 프리즘을 사용하게 되면 길어진 면길이에 의하여 정립프리즘 내부에서 광로가 매우 길어지게 되고 정립프리즘의 크기가 상하좌우로 커지게 된다.^[7,10] 이는 Fig. 3에서와 같이 바이프리즘이 좌우로 움직일 수 있는 공간의 범위를 축소시켜 거리측정범위를 좁게 만드는 효과가 발생한다. 그러므로 이러한 문제점을 개선하기 위하여 정립프리즘 내부에서

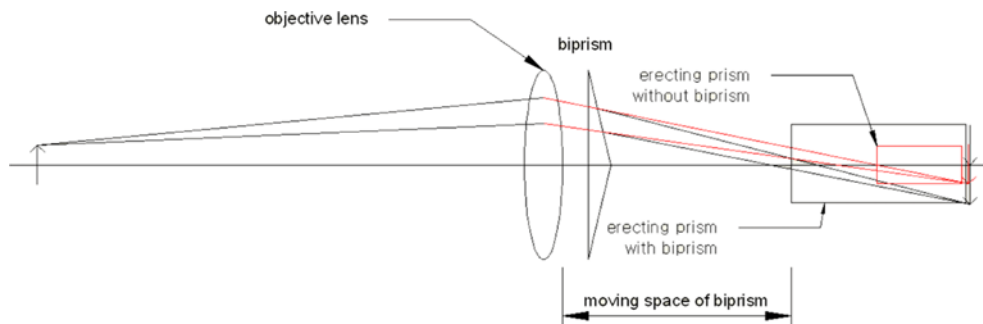


Fig. 3. Drawing of showing the vertical elongating effect of erecting prism by the biprism. (The biprism makes the image plane vertically elongate. Because of this, the face length of the erecting prism should be longer than the general erecting prisms which do not have biprism)

광로를 가장 짧게 할 수 있는 슈미트 프리즘을 도입하여 망원경을 설계하고자 한다.^[10] 슈미트 프리즘은 다른 정립 프리즘에 비하여 광로를 적게 차지하므로 면길이가 길어 지더라도 광로가 길어지는 효과가 어느 정도 상쇄되어 바이프리즘이 왕복할 수 있는 공간을 확보하기 용이하다.

3. 슈미트 프리즘의 설계

바이프리즘이 움직일 수 있는 공간의 확보를 위해서, 대물렌즈의 상측주점으로부터 10~92 mm(상측정점기준으로는 약 5~87 mm) 이상의 범위를 바이프리즘이 왕복하면서 움직일 수 있도록 하면서 최대한 슈미트 프리즘의 면길이를 크게 만들 수 있도록 하여야 한다. 대물렌즈의 상측 초점거리가 125 mm이고 바이프리즘이 92 mm 까지 움직일 수 있어야 하며 바이프리즘 홀더의 두께 약 2 mm 정도를 감안하면 정립프리즘이 들어갈 수 있는 공간은 94 mm-125 mm 범위인 약 31 mm 정도의 공간을 차지할 수 있다. 이 공간을 공기대신 BK7으로 채우게 될 경우 광로를 광선추적을 통하여 확인해 보면 47.19 mm 임을 알 수 있다. 면길이가 16.5 mm인 슈미트 프리즘의 광로를 계산해 보면 46.89 mm로 47.19 mm에 매우 근접한 값을 가짐을 확인할 수 있으므로 슈미트 프리즘의 면길이를 16.5 mm로 설정하였다. 이는 보통 상용 소형 망원경의 정립프리즘 면길이가 11 mm 내외인 점을 감안하면 상당히 면길이를 늘리는 효과를 주었다. 면길이 16.5 mm의 슈미트 프리즘이 적절한 크기인지를 확인하기 위하여 바이프리즘의 유효면적인 14.4×8 mm²의 대각선 길이인 16.473 mm의 직경을 가지는 대물렌즈에 시야각 3.6°로 입사하는 광선속의 유효직경을 확인해 본 결과 Fig. 4에서와 같이 정립프리즘의 전후면에서 각각 15.873 mm과 15.636 mm 정도의 직경이 되어 대부분의 광선속이 정립프리즘으로 입사할 수 있으므로 면길이 16.5 mm의 슈미트 프리즘을 정립프리즘으로 사용하는 것이 적절하다는 것을 알 수 있다.

이렇게 하여 설계한 슈미트 정립프리즘은 Fig. 5와 같다.

면길이가 16.5 mm일 때 슈미트 프리즘 과 지붕형 폐호찬프리즘 내에서의 광로길이를 계산하여 비교해 보면, 슈미트 프리즘 내에서의 광로는 46.89 mm 인데 반하여 지붕형 폐호찬 프리즘 내에서의 광로는 70.85 mm^[12]로 실

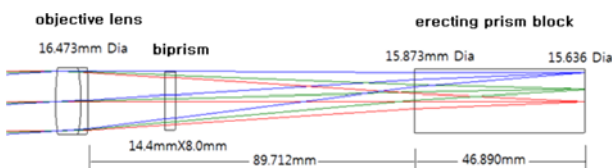


Fig. 4. Ray tracing drawing for calculating of the proper face length of the Schmidt prism.

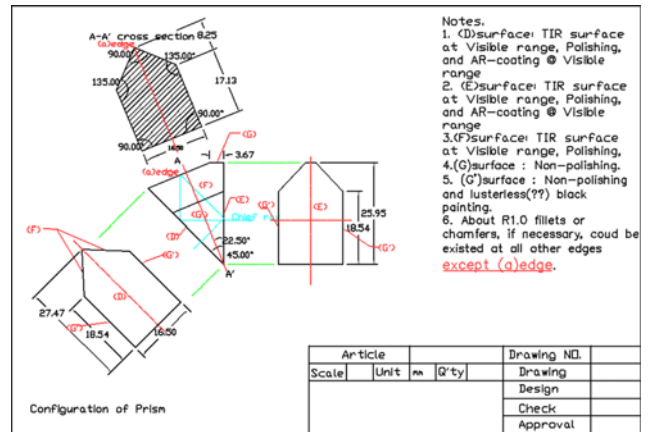


Fig. 5. Design drawing of the Schmidt prism.

제로 슈미트 프리즘을 사용하면 광로가 매우 짧아져서 바이프리즘이 움직일 수 있는 공간을 많이 늘일 수 있다는 것을 알 수 있다.

4. 대물렌즈계의 설계

상기 슈미트 프리즘을 고려한 대물렌즈를 설계하여야 하기 때문에 실제 설계에서는 슈미트 프리즘의 기하학적 길이의, 전 후면의 곡률반경이 무한대인, 초자블락을 사용하여 설계를 하여야 한다. 슈미트 프리즘 블락은 양산시 대중적으로 보급이 가능한 BK7로 하였으며, 기하학적으로 계산된 광로는 46.8 mm로 계산되기 때문에 블락의 두께를 46.8 mm로 하여 설계를 진행하였다. 대물렌즈는 크라운 계열의 BK7, 플린트 계열의 SF2를 사용하여 색수차 보정에 많이 사용되는 조합으로 하여 양산가격을 고려하여 제품출시 시 가격경쟁력이 있도록 하였다. Table 1에서의 초기 설계조건인 유효초점거리 125 mm가 되게 하였으며, 슈미트 프리즘의 후면에 에칭해서 새겨 넣을 레티클 면이 오도록 하여 설계하였다.

이렇게 설계 되어진 대물렌즈계의 설계 데이터는 Table 2에 나타냈으며 광선 추적도는 Fig. 6에 나타냈다. 최적화 되어진 대물렌즈는 유효구경 31.0 mm, 전장 145.6 mm로 파악된다. Table 2에서 대물렌즈의 상측정점에서 정립프리즘의 전면까지 거리는 89.71 mm로 나타나므로 바이프리즘이 이동하기위한 공간인 상측주점으로부터 10~92 mm(상측정점기준으로는 약 5~87 mm)이 잘 확보되었다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 대물렌즈계의 비점수차와 왜곡수차를 나타내고 있으며 3.6° 시야각에서 0.05% 이내의 양으로 왜곡수차가 잘 제어되어 있음을 보여주고 있다.^[7,13]

Fig. 8은 최적화 설계되어진 대물렌즈계의 유한광선 수차도를 나타내고 있는데 시야각 3.6° 이내에서 0.2 mm 이내로 잘 제어되어 있음을 알 수 있다.^[7,13]

Table 2. Design data of the optimized objective system with a Schmidt prism block

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Glass	Semi-Ape (mm)
1 S	74.9793	7.00	BK7	15.5000
2 S	-55.0074	2.00	SF2	15.5054
3 S	-182.773	21.00		15.4864
4 S	infinite	3.00	PMMA	14.0973
5 S	infinite	65.71		13.9684
6 S	infinite	46.89	BK7	9.75363
7 S	infinite	0		7.81816
INFINITE CONJUGATES				
EFL 125.000		BFL 0.691		
FFL -123.785		FNO 4.032		
IMG DIS 0.000		OAL 145.602		
PARAXIAL IMAGE				
HT 7.864		ANG 3.600		

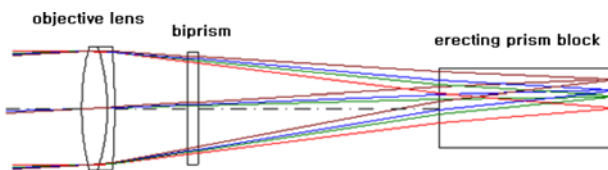


Fig. 6. Ray tracing for the optimized objective system with a Schmidt prism block and a biprism plate.

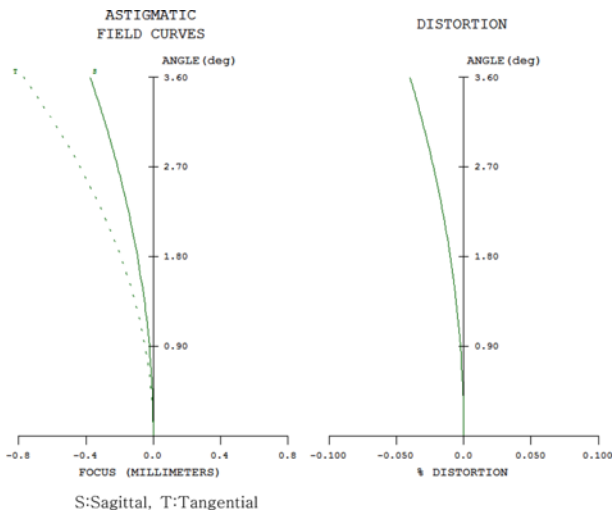


Fig. 7. Astigmatism and distortion for the the optimized objective system.

5. 접안렌즈의 설계

접안렌즈는 양산했을 때 대중적으로 보급이 가능하도록 하기 위하여 쌍둥이 더블렛이 대칭으로 배치¹⁴⁾되도록 하였으며 Table 1에서 주어진 조건을 만족하도록 초점거리

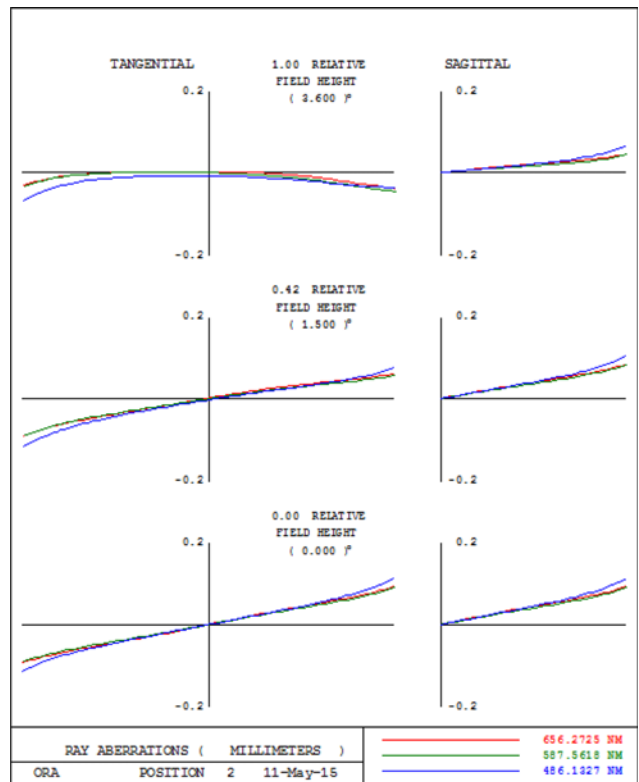


Fig. 8. Finite ray aberrations for the objective system.

Table 3. Design data of the optimized eyepiece lens consisting of the symmetrical twin doublets

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Glass	Semi-Ape (mm)
1 S	infinite	20.55		2.0000
2 S	55.4630	2.00	SF2	8.9114
3 S	22.9793	9.00	BK7	9.3035
4 S	-32.485	0.50		10.2397
5 S	32.4846	9.00	BK7	10.6136
6 S	-22.979	2.00	SF2	10.3472
7 S	-55.4630	17.15		10.3096
8 S	infinite	0		7.7077
INFINITE CONJUGATES				
EFL 25.000		BFL 0.000		
FFL 3.397		FNO 6.250		
IMG DIS 0.000		OAL 60.204		
PARAXIAL IMAGE				
HT 8.123		ANG 18.000		

25 mm가 되도록 하였다. 5배의 배율을 만족하는 스코프가 되도록 하기 위해 주광선의 최대 시야각(field angle)을 $3.6^\circ \times 5 = 18^\circ$ 가 되도록 하였고, 출사측 시야각은 -3.6° 가 되

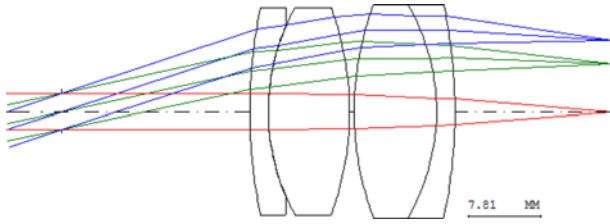


Fig. 9. Ray tracing drawing of the optimized eyepiece lens.

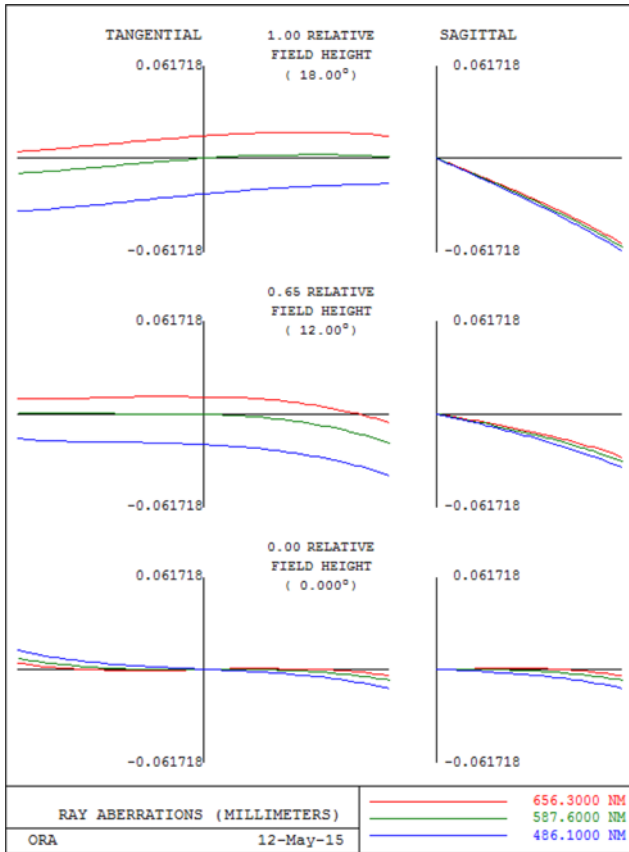


Fig. 10. Diagram of finite ray aberrations of the optimized eyepiece lens.

도록 최적화를 진행하였다. 접안렌즈 초사는 양산했을 때 대중적으로 보급이 가능하도록 하기 위하여 가시광선 영역에서 색수차가 잘 제거되고, 초사를 쉽게 구할 수 있는 BK7, SF2로 구성되도록 하였다.^[15,16] 렌즈의 두께는 최적화에 민감하지 않기 때문에 제작 가능성을 고려하여 고정값으로 하여 최적화 하였다. 이렇게 최적화 설계 되어진 접안렌즈의 설계 데이터 및 1차 광학량을 Table 3에 나타냈으며 광선 추적도는 Fig. 9에 나타냈다. 최적화되어진 접안렌즈는 유효구경 21.23 mm, 전장 22.50 mm로 파악된다.

Fig. 10은 접안렌즈의 유한광선 수차도이며 18.0° 시야각에서 약 0.06 mm 이내로 잘 제어되어져 있음을 보여주고 있다. Fig. 11은 비점수차와 왜곡수차를 보여주고 있는

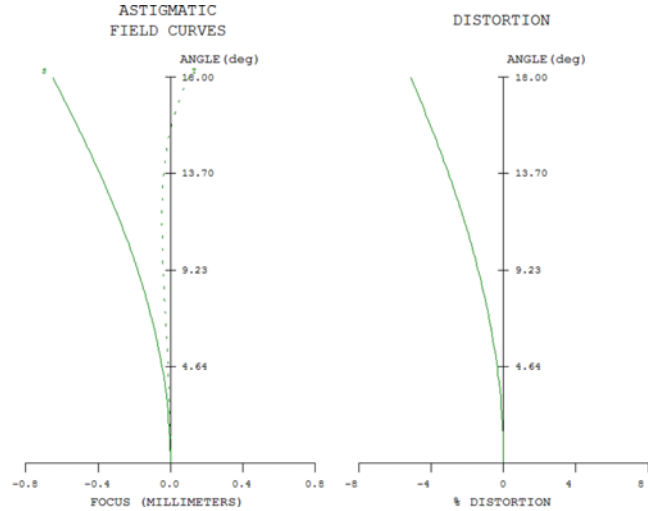


Fig. 11. Aberration diagrams of astigmatism and distortion of the optimized eyepiece lens.

며 비점수차는 최적상면이 0.4 mm 이내로 잘 제어되어져 있고, 왜곡수차 또한 5.5% 이내로 잘 제어되어져 있음을 보여 준다. 이 왜곡수차가 크게 나타나는 것은 대칭형 접안렌즈 광학계의 일반적인 특징으로 알려져 있는데, 비용 절감의 부작용으로 나타나는 현상으로 볼 수 있으며 5.5% 정도의 왜곡은 18.0° 시야각에서는 허용되는 양으로 판단된다.^[14]

6. 대물렌즈 광학계와 접안렌즈의 결합과 성능분석

앞에서 설계된 대물렌즈 광학계와 접안렌즈를 통합하여 전체 광학계를 구성하였다. 접안렌즈는 설계 시 레티클 위치가 오른쪽에 있도록 설계되었기 때문에 대물렌즈 광학계와 통합할 때 접안렌즈의 렌즈 데이터를 역으로 하여 통합하여야 한다.^[15-17] Table 4는 이렇게 통합되어진 통합 광학계의 설계 데이터를 보여 준다.

그 결과 통합 광학계의 광선 추적도인 Fig. 12, 13을 참고하면 추적 광선이 안점거리(eye relief) 끝단에서 잘 집속되고 있음을 볼 수 있다. Fig. 14는 통합광학계의 유한광선 수차도를 보여주는데 8.95° 정도로 잘 제어되어져 있음을 보여준다. 유한광선 수차는 대물렌즈 직경 31 mm를 기준으로 구한 것이며 바이프리즘의 면적 14.4×8 mm²을 고려하면 유한광선수차의 크기는 훨씬 더 작은 약 4의 값을 가지는 것으로 계산되어졌다. Fig. 15에는 설계되어진 광학계의 비점수차와 왜곡수차를 보여주고 있는데 비점수차는 최대시야각(full-field)에서 평균 약 1.3 디오퍼터 이내로 제한되어져 있으며, 왜곡수차는 5.5% 이내로 잘 제어되어 있음을 확인할 수 있다. 이는 쌍둥이 대칭형 접안렌즈를 사용한 스코프에서 얻을 수 있는 성능으로서는 비교적 좋은 결과를 얻은 것으로 판단된다.^[7,13-14] Table 4에서 대

Table 4. Design data and of the integrated system

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Glass	Semi-Ape (mm)
1 S	74.9793	7.00	BK7	15.5000
2 S	-55.0074	2.00	SF2	15.5054
3 S	-182.7730	21.00		15.4864
4 S	infinite	3.00	PMMA	14.0973
5 S	infinite	65.71		13.9684
6 S	infinite	0		9.7536
7 S	infinite	46.89	BK7	9.7536
8 S	infinite	0		7.8182
9 S	infinite	0		7.8182
10 S	infinite	0		7.8182
11 S	infinite	0	BK7	7.8182
12 S	infinite	17.15		7.8182
13 S	55.4630	2.00	SF2	11.2231
14 S	22.9793	9.00	BK7	11.3338
15 S	-32.4846	0.50		11.6499
16 S	32.4847	9.00	BK7	11.3042
17 S	-22.9793	2.00	SF2	10.5430
18 S	-55.4630	20.55		10.1343
19 S	infinite	0		3.2598
20 S	infinite	1.58		3.2598
21 S	infinite	0		3.6873

INFINITE CONJUGATES	
ENTR PUPIL DIA 31.00	EXIT PUPIL DIA 6.23

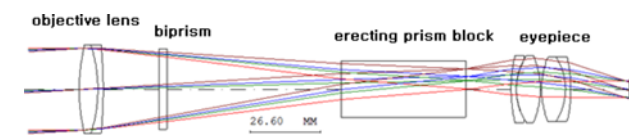


Fig. 12. Ray tracing drawing of the integrated system.

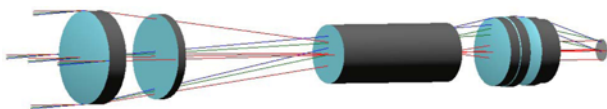


Fig. 13. 3D ray tracing drawing of the integrated system.

물렌즈의 입사동과 접안렌즈의 출사동의 비를 구하면 개발된 스코프의 배율을 구할 수 있는데 이 배율은 약 4.98배로 계산된다.^[16-17] 이는 배율공차(magnification error) -0.4%를 가지는 것으로 파악되기 때문에 Table 1에서 주어지는 배율공차 범위 1.0%를 만족하는 광학계로 판단된다. 또한 Table 4에서 보면 안점거리는 22.13 mm로 계산되며 이는

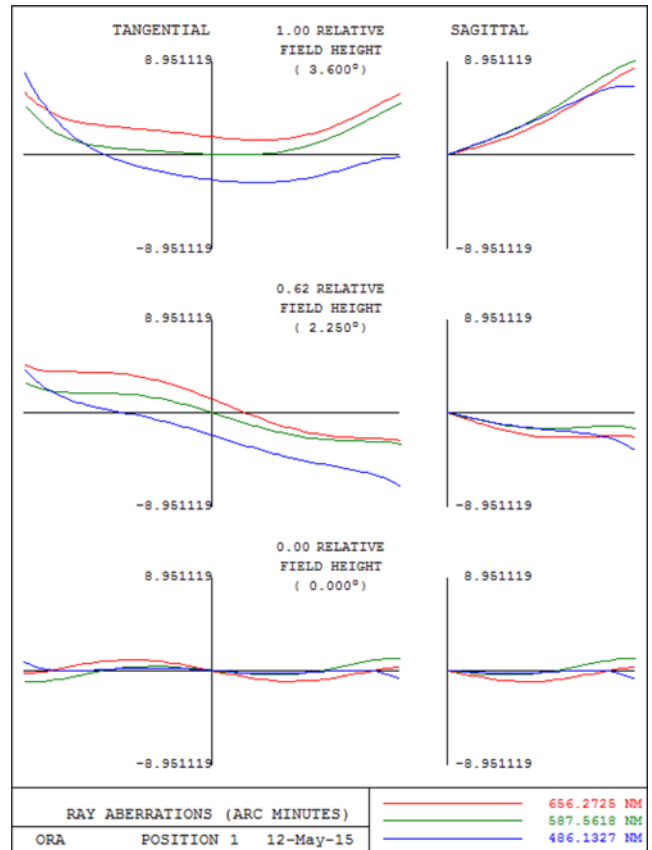


Fig. 14. Diagram of finite ray aberrations of the integrated system.

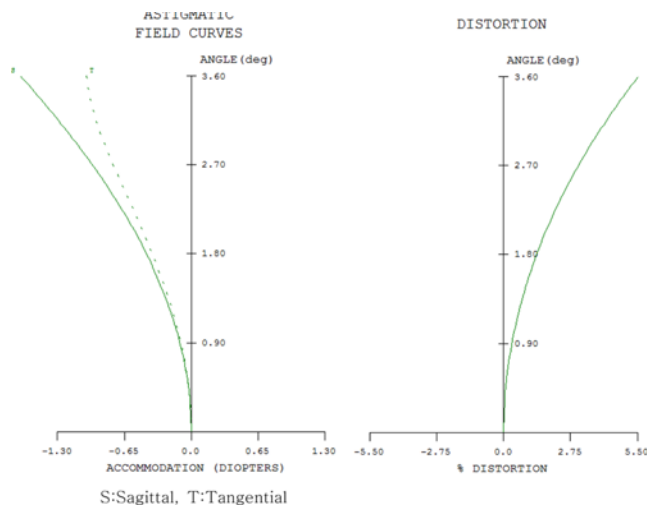


Fig. 15. Astigmatism and distortion of the integrated system.

본 광학계 사용자가 안경을 착용한 상태에서도 사용가능한 안점거리로 파악된다.

Fig. 16의 좌측은 이렇게 개발된 광학계가 경통에 조립된 구성도를 보여 주고 있으며 우측에는 대물렌즈(a), 바이프리즘 하우징(b), 슈미트 프리즘 하우징(c)의 조립 외관도를 보여주고 있다.

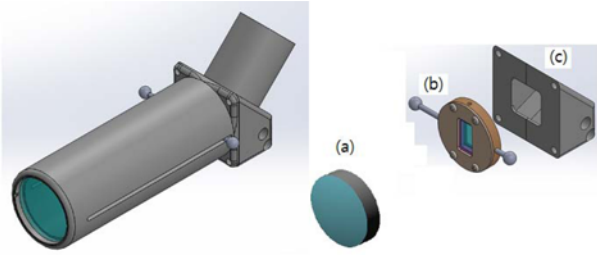


Fig. 16. Barrel drawing of the integrated system and arrangement of an objective(a), a biprism housing(b), and a schmidt prism housing(c).

7. 기존 스코프들과 본 연구의 바이프리즘 이동을 위한 공간 비교

이전연구에서 제안된 거리측정용 스코프에서는 적절한 정립프리즘을 도출하지 못하였기 때문에 정립프리즘을 도입하지 않고 실험의 결과를 도출 하였으나 본 연구는 적절한 정립프리즘인 슈미트 프리즘을 이용한 결과를 도출 하였다.^[8] 또한 기존의 다른 스코프에서는 상을 정립시키기 위하여 릴레이 렌즈를 사용하게 되는데 이는 바이프리즘이 이동할 수 있는 공간은 확보가 가능하지만 스코프의 전체 길이가 대물렌즈 초점거리의 약 2.5배에 달할 만큼 스코프가 길어지므로 그 긴 거리로 인하여 휴대하기에 너무 불편하므로 거리측정기에 응용하기 위해서는 다른 방식의 스코프가 필요하다.^[6] 정립프리즘 방식의 스코프로는 지붕형 폐찬방식을 들 수 있는데 박승환 등의 연구에 의하면 대물렌즈 초점거리가 108 mm 일 때 대물렌즈와 정립프리즘 사이의 공간이 31.8 mm 밖에 되지 않아 바이프리즘이 움직일 수 있는 공간이 너무 협소하다는 것을 알 수 있다.^[7] 지붕형 폐찬방식을 이용한 다른 스코프 연구에서는 대물부와 정립프리즘 사이 간격이 1 mm 밖에 없는 것 또한 존재한다.^[12] 또 다른 스코프의 형태로 아베-코닉 프리즘을 이용한 스코프는 대물렌즈의 초점거리가 63.3 mm 일 때 대물렌즈와 정립프리즘 사이의 공간이 18 mm밖에 없어 바이프리즘이 움직이기에 매우 좁다는 것을 알 수 있다.^[18] 이들 연구에 반하여 본 연구에서는 대물렌즈의 초점거리가 125 mm 일 때 바이프리즘이 이동할 수 있는 공간인 대물렌즈에서 정립프리즘 까지의 거리가 89.7 mm 로 타 연구에 비하여 매우 긴 바이프리즘 이동거리를 성공적으로 확보하였다.

결 론

본 연구에서 우리는 먼길이 16.5 mm를 가지는 슈미트 프리즘을 사용하여 약 +5x의 스코프를 광학적 거리 측정 기용으로 설계 개발하였다. 새로 설계되어진 스코프는 유효 시야각 3.6°를 가지는 광학계가 되었으며, 바이프리즘

의 이동 범위를 최대 92 mm를 가질 수 있도록 설계되어져 있기 때문에 어떠한 다른 정립 프리즘을 사용한 광학계보다 광학적 거리측정기에 적합한 광학계로 판단된다. 약 +5X의 배율을 가지면서 유효광선 수차는 8.95' 이내로 잘 제어되어져 있음을 보여 주고 있다.

이 결과는 이전의 연구에 비하여 다음과 같은 점이 개선되었다

첫째, 이전연구에서 후속연구의 필요성으로 언급되었던 하나의 장비로 근거리 원거리 측정이 가능하도록 하는 것을 해결하였다.^[8] 이에 관한 해결방안으로 듀얼 바이프리즘 구동 장치를 새롭게 고안하여 설계 장착한 더 진보된 실용적인 거리측정기용 스코프를 개발 하였다.

둘째, 이전연구에서 후속연구의 필요성으로 언급되었던 광학설계가 필요 하다는 문제점을 해결하였다. 실제적인 광학계인 대물렌즈, 접안렌즈, 슈미트 프리즘의 설계 데이터 및 이들이 조합된 광학계의 설계 성능을 상세하게 기술하였다. 실제 응용 분야의 사용자의 요구를 반영하기 위하여 스코프의 배율을 5X로 하는 대물부 접안부 렌즈를 새롭게 설계하였다.

셋째, 바이프리즘이 이동할 수 있는 공간인 대물렌즈에서 정립프리즘 까지의 거리가 89.7 mm로 타 연구에 비하여 매우 긴 바이프리즘 이동거리를 성공적으로 확보하였다.

넷째, 이전연구에서 해결하지 못하였던 정립프리즘의 문제를 먼길이 16.5 mm인 슈미트 프리즘을 이용하여 해결하였다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학협력 기술개발사업(No. C0210238)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다. (참여기업: (주)동인광학)

REFERENCES

- [1] Nam DH. Gun, 1st Ed. Seoul: Planetmedia, 2014;82-183.
- [2] You YW, Kim BR, Yang U, Kim DY. Weapon Bible, 1st Ed. Seoul: Planetmedia, 2013;12-68.
- [3] Bumryul. For an example of the scope sighting method, 2011. <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=bumryul&logNo=100137606158>, (05 May 2015).
- [4] Kim HJ, Jun HG, Kim DH, Lee SH, Choi KS. A study on the development of a distance measuring instrument using laser. Proceedings of the Korea Institute of Signal Processing and Systems Conference(KISPS). 2001;2(1):85-88.
- [5] Yoo BH, Shin BS, Chang WS, Kim JG, Whang KH. Development of range finder using long wavelength laser. Report of

- International Joint Research Project(Project No.1350009303). Ministry of Science & Technology. 2004; August:11-23.
- [6] Park SH, Lee DH. Development on a Relay Lens Type Scope with 70 mm Eye Relief. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2009;14(3):29-35.
- [7] 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.
- [8] Cha JW. Study on golf range finder by using biprism theory of keratometer. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2013; 18(4):495-501.
- [9] Cha JW. Golf course hole distance measuring apparatus using image division prism. Korea. patent 1013979020000, 2014.
- [10] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York: McGraw-HILL, 2008;142-144.
- [11] Bruce RI, David H, Joseph K. CodeV User Manual, Version 10.4. California: Optical Research Associates, 2012;1-242.
- [12] Lee DH, Park SH. Development of 3X scope with objective configured with doublet+meniscus lens. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2014;19(4):487-492.
- [13] Warren JS. Modern Lens Design. New York: McGraw-HILL, 1992;63-71.
- [14] Warren JS. Modern Lens Design. New York: McGraw-HILL, 1992;87-101.
- [15] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York: McGraw-HILL, 2008;417-428.
- [16] Freeman MH, Hull CC. Optics, 7th Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2003;194-210.
- [17] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York: McGraw-HILL. 2008;339-364.
- [18] Lee DH, Park SH. Development of scope with Abbe-Knig prism. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2013;18(4):509-517.

Development of Scope for Military Rangefinder Using Schmidt Prism and Biprism Theory of Optometric Instrument

Jung-Won Cha¹ and Dong-Hee Lee^{2,*}

¹The Faculty of Beauty Health Sciences, Major in Ophthalmic Optics, Shinhan University, Uijeongbu 480-701, Korea

²Dept. of Visual Optics, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

(Received May 13, 2015; Revised May 26, 2015; Accepted June 2, 2015)

Purpose: The new-type rangefinder, which is using the biprism principle, is introduced to develop the range finder which can be easily carried by soldiers, and in order to realize those technologies specifically, we try to develop a scope for military rangefinder by doing optical design which can secure enough space to move the biprism. **Methods:** After setting up the various initial condition to realize two kinds of goals, that are the securement of enough space to move the biprism and the easy-exchangeability of two kinds of biphisms, and then the optical system was optimized by using optical design program CodeV in order to minimize the finite ray aberrations. **Results:** We designed the biprism housing to makes it possible to swap the two kinds of biphisms. It was appeared that the Schmidt prism is suitable as erecting prism which can make sure the space to move the biprism. 16.5 mm was good for the face length of Schmidt prism. The optical system with a Schmidt prism and a biprism was designed, and the finite ray aberrations was minimized. **Conclusions:** We developed a 5X scope for an optical rangefinder using a biprism and a Schmidt prism with 16.5 mm face length. This scope is valid for the optical system which has the effective field angle of $\pm 3.6^\circ$, and the finite ray aberrations are well controlled within the $\pm 8.95'$.

Key words: Biprism, Schmidt prism, +5X, Scope for rangefinder, For military