

빔분리프리즘 도트사이트 장치의 개발

이동희¹, 정보선², 박승환^{3,*}

¹극동대학교 안경광학과, 음성 369-700

²극동대학교 대학원 에너지반도체학과, 음성 369-700

³울지대학교 의료공학과, 성남 461-831

투고일(2013년 11월 11일), 수정일(2013년 11월 25일), 게재확정일(2013년 12월 14일)

목적: 본 연구는 빔분리프리즘을 가져서 길이가 축소된 도트사이트 장치의 개발에 관한 것이다. **방법:** 빔분리프리즘을 사용하기 위해 doublet 반사경을 재설계하였으며, 시차 발생을 감소시키기 위하여 반사경의 광축 기울임을 없애도록 하여 길이가 축소된 새로운 도트사이트 장치를 개발하였다. **결과:** 도트시표발생부와 빔분리프리즘과 doublet 반사경과 관찰자 눈의 광축이 T자 형태를 갖는 새로운 형태의 빔분리프리즘을 가지는 도트사이트 장치를 개발할 수 있었다. **결론:** 본 연구에서 우리는 기존의 도트사이트 보다 사격의 정확도를 더욱 높일 수 있으며 광학적 전장길이를 축소시킬 수 있는 새로운 형태의 빔분리프리즘을 채택한 도트사이트를 설계 개발하였다. 설계되어진 도트사이트는 기존의 도트사이트 보다 수평방향의 사격의 정확도를 3배 이상 높일 수 있었으며 광학적 전장길이를 2.2배 축소시킬 수 있게 되었다.

주제어: 빔분리프리즘, 도트사이트, 시차, Doublet 반사경

서 론

총기류의 특성은 신속하게 조준 사격을 할 수 있는지와 정확하게 표적을 조준할 수 있는지에 의해 좌우된다. 일반적으로 총기류의 조준은 가늠자와 가늠쇠의 정렬 선을 사격 목표점에 일치시킴으로서 이루어진다. 총기 몸체 상부에 위치하는 가늠자와 총열의 끝단에 위치하는 가늠쇠와 사격 목표점의 고정식 3점 조준선에 의한 조준은, 그 총기를 사용하는 사용자의 숙련도에 따라서 정확한 사격을 가능하게 한다. 그러나 상기 고정식 3점 조준선에 의한 조준은 작은 진동이나 떨림에도 조준선 정렬이 어려워지고, 근거리 사격이나 급박한 상황에서 신속하게 조준하기에도 어려움이 따른다. 즉, 이러한 고정식 3점 조준선에 의한 조준에서는, 목표 포착 및 확인, 조준선 정렬, 조준 등의 복잡한 과정과 시간이 요구되며, 가늠쇠와 가늠자 자체가 매우 작아서 이를 정확하게 목표점에 일치하도록 정렬함에 있어서 작은 떨림에도 민감하게 반응할 뿐만 아니라, 지나치게 가늠자와 가늠쇠와 사격 목표점의 정렬에 신경을 쓰다 보면, 표적이나 전방 상황보다는 가늠쇠와 가늠자 자체에 시선이 집중되어 사격 또는 긴급 상황 대처에 필요한 시야가 좁아지는 문제가 있다.^[1]

위와 같은 문제점을 해결하기 위해, 정렬에 어려움이 있

는 고정식 3점 조준선을 없애면서 간단하게 조준점(도트)과 목표점의 비고정식 2점 정렬을 이용하는 광학식 도트사이트 장치가 제안되었다.^[1-4] 이러한 도트사이트는 조준점이 사이트의 유효 윈도우 내에 어디에 있더라도 조준점(비고정 조준점)과 목표점을 일치시키는 비고정식 2점 조준선을 가지기 때문에 기존의 고정식 3점 조준선 정렬 방식보다는 사격에 대한 시야를 넓게 할 수 있을 뿐만 아니라 사격에 걸리는 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 즉 종래의 고정식 3점 조준선 정렬 방식보다 조준선 정렬에 소요되는 시간을 줄일 수 있고, 조준 자체도 도트(dot)시표의 허상을 표적에 위치시키는 것만으로 충분하므로 시야를 확보할 여유를 가질 수 있게 되어 결국 신속하고 정확하게 조준할 수 있으며, 정황 판단에 필요한 주변 시야도 확보할 수 있게 되는 것이다.

본 논문에서는 이러한 광학식 도트사이트 보다 전장을 획기적으로 줄인 새로운 형태의 도트사이트 장치에 대해 전개하고자 한다.

기존 도트사이트의 문제점 및 새로운 제안

기존의 도트사이트 조준 장치의 경우, Fig. 1(a)와 (b)에 나타난 것과 같이 도트시표 발생부(dot reticle generator)를

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

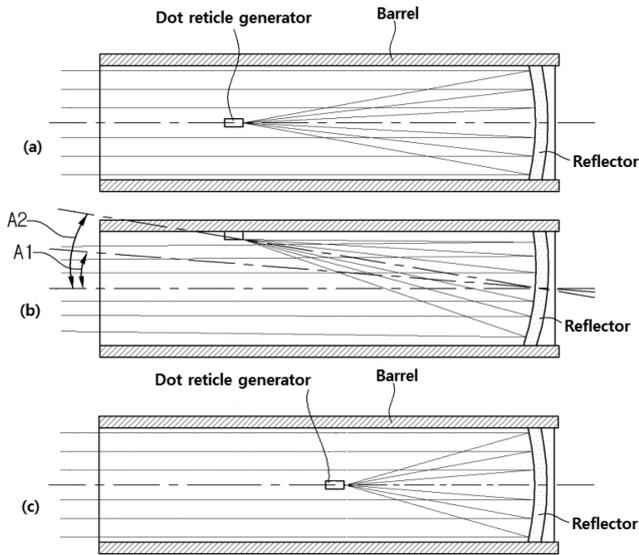


Fig. 1. Three kinds of structure on the traditional type dot sight with the non-fixed 2-point line-of-sight. ((a) shows the central blocking-view caused by the dot reticle generator disposed on the optical axis, (b) shows the dot reticle generator relocated to barrel border in order to eliminate the central blocking-view, (c) shows that the (a) structure can be shorter in length of the barrel than the (b) structure, if they have the same amount of parallax).

반사경에서 반사되는 대부분의 광선들의 진행을 방해하지 않는 곳에 위치시키기 위해 반사경의 광축이 도트(도트시표의 반사경에 의한 허상)를 형성하는 반사경의 반사 광선들의 대표광선인 주광선(principal ray: 일반적으로 상기 반사광선들의 중앙에 있는 광선이며 이는 도트사이트 광축과 일치한다)에 대해 일정한 각도(Fig. 1(b)의 A1; 각 A1은 일반적으로 도트시표 발생부에서 방출된 주광선이 반사경에 반사되어 도트사이트 광축으로 진행되는 경로가 이루는 각 A2의 1/2의 각도이다.)로 기울어져 배치되어야 한다. 이렇게 되면, 도트사이트 광축에 대해 기울어진 반사경의 배치(Fig. 1(b))로 인해 도트사이트 광축에 대해 기울어지지 않은 반사경의 배치(Fig. 1(a))보다 큰 유한광선 수차(finite ray aberration)가 발생하여 관측자가 관측해야 할 도트의 시차(parallax)에 영향을 주게 된다. 도트시표 발생부와 반사경 사이의 거리를 짧게 할수록 시차가 증가함에 비추어 볼 때, Fig. 1의 (a)가 (b)보다 시차 발생량이 훨씬 적기 때문에, Fig. 1의 (a)가 (b)와 비슷한 수준의 시차 발생량을 유지하는 범위 내에서는 도트시표 발생부와 반사경 사이의 거리를 Fig. 1의 (a)가 (c)와 같이 더 짧게 될 수 있으며, 이로 인해 도트사이트 장치의 소형화가 가능하게 된다. 즉 반사경의 유효구경이 같을 때는 동일한 정도의 시차를 유지하기 위해서는 기울어지지 않은 반사경의 배치(Fig. 1(c)와 같은)는 기울어진 반사경의 배치(Fig. 1(b)와 같은) 보다 경통길이를 더 짧게 할 수 있게 되는

것이다. 그러나 경통의 중심에 도트 시표 발생부가 있음으로써 관찰자의 전방 시야를 방해하고 있는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 수단으로 우리는 빔분리프리즘(prism beam splitter)^[5]을 제안하고자 한다.

빔분리프리즘 도트사이트의 광학적 설계

우리는 상기와 같은 문제점 해결을 위해 도트시표 발생부와 반사경의 사이에 빔 스플리터 역할을 하는 빔분리프리즘을 배치하고, 반사경의 광축을 빔분리프리즘의 반사 또는 투과하는 광축과 일치시켜 시차를 최소화함으로써 도트사이트 장치의 전장을 줄여든 새로운 형태의 도트사이트를 설계할 수 있었다. 즉 경통의 내측 전방에 배치되는 반사경과 광선을 반사 또는 투과하는 경사면이 형성되어 경통의 내부에서 상기 반사경의 후방에 배치되는 빔분리프리즘과 경통의 내주면 일측에 배치되어 상기 빔분리프리즘의 경사면을 향해 도트시표 광선을 제공하는 도트시표 발생부로부터 제공되는 도트시표 광선을 반사경을 향해 반사시키고 반사경으로부터 빔분리프리즘을 향해 되반사되는 도트시표 광선을 관찰자를 향해 투과시키는 것과 동시에, 반사경을 투과한 외부 목표물과 그 주변으로부터의 광선을 관찰자를 향해 투과시킬 수 있도록 하는 다층 박막 코팅으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 빔분리프리즘을 갖는 도트사이트 장치를 구성할 수 있었다.

광학계 설계는 Sigma2000, CodeV 광학 설계 프로그램을 사용하였다.^[6,7]

Fig. 2는 한 변의 길이가 30 mm인 정육면체 형태의 빔분리프리즘 전방에 doublet 형태의 반사경이 있는 도트사이트 광학계의 3D 광선 추적을 보여주고 있고, Fig. 3은 2D 광선 추적을 보여주고 있다. 도트시표 발생부에서 나오는 635 nm파장의 LED광원으로 만들어진 원형 형태의

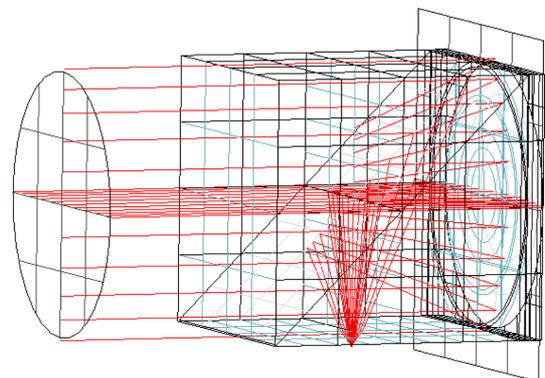


Fig. 2. 3D ray tracing on new dot sight with prism beam splitter.

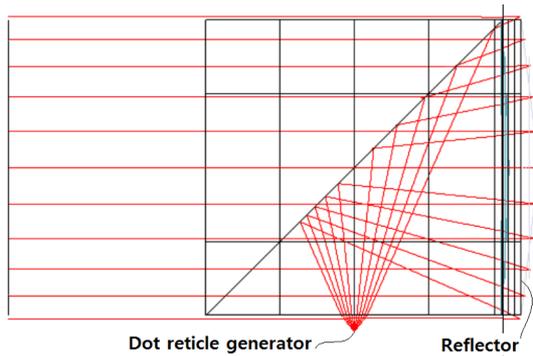


Fig. 3. 2D ray tracing on new dot sight with prism beam splitter.

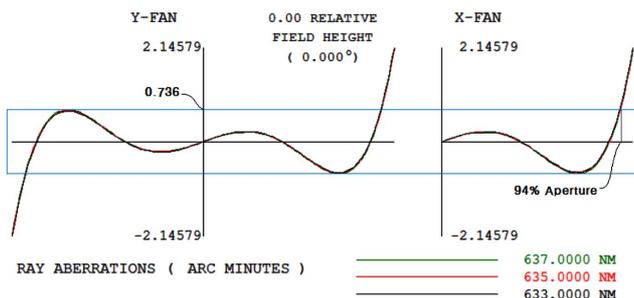


Fig. 4. Diagram of finite ray aberration of new dot sight with prism beam splitter.

도트사이트의 광선들은 빔분리프리즘의 경사면에 반사되어 Fig. 3의 오른쪽에 있는 doublet의 제1렌즈의 2면에 반사되어 다시 왼쪽으로 시차(parallax)가 최소화된 상태로 진행하여 관찰자의 눈에 이르게 되는 것이다. 이 때 관찰자는 목표물을 주시할 때 Fig. 1의 (a), (c)와 같은 시야를 가리는 문제점이 나타나지 않는다. 한편 경사면의 코팅을 635 nm 파장 대역의 빛이 70% 투과하고 30% 반사하는 코팅을 하였고, doublet 반사경의 1면과 3면은 가시영역에서 무반사 코팅을, 2면은 635 nm 파장 대역의 빛이 50% 반사하도록 하여 관찰자가 목표물을 향해 전방을 주시할 때 시야가 어두워지는 정도를 상당히 완화할 수 있었다. Fig. 4는 설계되어진 새로운 형태의 도트사이트 광학계의 유한광선 수차도를 보여주고 있다. 이 유한광선 수차는 안광학적으로 시차(parallax)에 해당되는데, 무한대 물점에서 눈으로 입사되는 광선들의 평행도의 오차를 표현한다. 현재 Fig. 4에서 보면 94% 구경으로 입사하는 광선들의 시차는 ± 0.74 분 정도를 보이고, 직경 30 mm 100% 구경에서는 약 ± 2.15 분 정도의 시차를 보여주고 있다. 따라서 목표물이 전방 300 m 있을 때 94% 구경으로 목표점을 관찰하면 $300 \times \tan\left(\frac{\pm 0.74}{60}\right) \approx \pm 0.065$ m로 계산되어 사격의 명중 정확도는 최대 반경 $0.65 + 0.015$ m 이내가 되고, 100% 구경으로 목표점을 관찰하면 $300 \times \tan\left(\frac{\pm 2.15}{60}\right) \approx \pm 0.188$ m

Table 1. Design data of new dot sight with prism beam splitter

EFL = -24.1554				
WAVELENGTHS [nm]		635.00	637.00	633.00
# SURF	RADIUS	SEPN	INDEX1	CLR RAD
1 DS	Plane	0.000	1.000000	15.000
2 DS	Plane	30.000	1.514519	14.963
3 DS	-157.320	0.670	1.000000	15.000
4 DMS	-63.962	3.000	1.514519	15.000
5 DS	-157.320	-3.000	1.514519	15.000
6 DS	Plane	-0.670	1.000000	15.000
7 DS	Plane	0.000	1.000000	15.000
8 DS	Plane	-30.000	1.514519	15.000
9 SD	Plane	-1.700	1.000000	47.861

로 계산되므로 사격의 명중 정확도는 최대 반경 약 $0.188 + 0.015$ m 이내가 됨을 보여 준다.

Table 1은 최적화 설계되어진 새로운 형태의 도트사이트 광학계의 설계 데이터를 보여 주고 있는데, 이 설계에서는 프리즘의 경사면 효과가 광선의 반사율과 투과율에만 관계하여 광선의 방향을 꺾는 역할을 할 뿐 수차와는 관계가 없기 때문에 프리즘을 한 변이 30 mm인 BK7의 초자로 구성된 정육면체 평면렌즈로 취급하여 설계하였다. 따라서 광로도 도트사이트 발생부에서의 광선이 오른쪽으로 진행하여 두께 30 mm인 평면렌즈를 통과한 후, double 반사경에 반사되어 왼쪽으로 진행하여 다시 평면렌즈를 지나 관찰자를 향해 가는 경로로 하여 설계하였다. Table 1의 9번 surface에서 프리즘과 1.7 mm 간격을 가지는 상면을 설정한 것은 도트사이트 발생부를 위치하기 위한 공간을 확보하기 위해서이다. Fig. 2와 3에서 보면 double 반사경의 3면이 도시 되지 않았는데 이는 목표물을 향하는 관찰자의 주시선에 대한 어포칼 시스템¹⁸⁾을 성립시키는 조건에 의해 double 반사경의 3면의 곡률반경과 2면과 3면사이의 두께가 결정되기 때문에 Fig. 2와 Fig. 3과 같은 설계에서는 결정될 수 없는 것이다. 어포칼 시스템을 성립시키는 조건을 사용하여 결정된 double 반사경의 설계 데이터는 Table 2에 나타나 있다.

Fig. 5에는 Table 1, 2의 데이터에 의해 만들어진 doublet

Table 2. Surface data of the doublet reflector of Fig. 2 and 3

# of surface	Radius of surface(mm)	Thickness(mm)
1	-157.320	3.00
2	-63.962	1.00
3	-158.678	

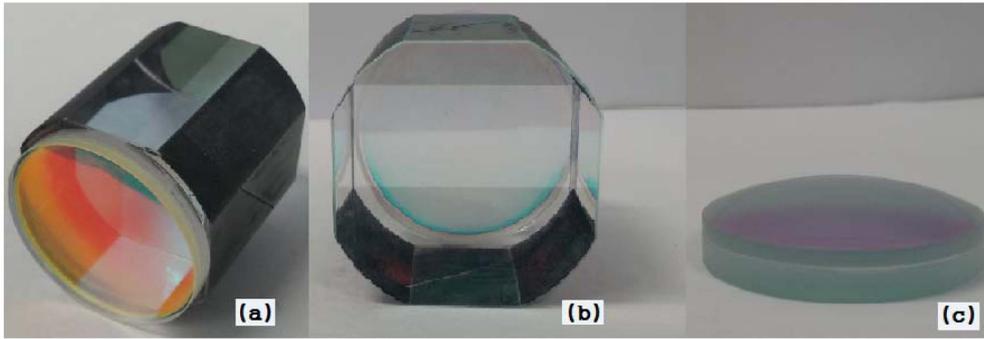


Fig. 5. Doublet reflector and prism beam splitter manufactured by data of Table 1 and 2. ((a) shows the perspective view of the combined optical system of the doublet reflector and the prism beam splitter, (b) shows the prism beam splitter of which edge surfaces are polished to plane, (c) shows the doublet reflector with the reflecting middle surface).

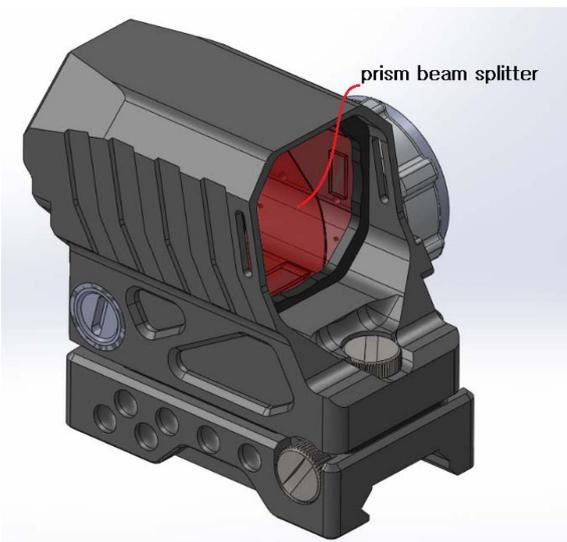


Fig. 6. 3D drawing of new dot sight with prism beam splitter.

반사경과 빔분리프리즘을 보여주고 있는데 (a)에는 도트 사이트 하우징에 넣기 위한 doublet 반사경과 빔분리프리즘이 발삼접합된 상태를 보여주고 있다. Fig. 5(b)에서는 정육면체의 빔분리프리즘을 다시 팔면기둥으로 재가공한 모습을 보여주고 있는데, 이는 doublet 반사경의 유효 구경 밖의 공간을 줄여서 전체 광학계의 부피를 최소화하기 위함이다. Fig. 5(c)는 발삼접합된 중간 면이 반사코팅 처리된 doublet 반사경 모습을 보여주고 있다. Fig. 6은 설계 제작되어진 빔분리프리즘을 채택하여 구성된 실제 가공할 도트사이트 장치에 대한 하우징의 3D 형상을 보여주고 있다.

기존 도트사이트 광학계와의 비교^[8,9]

Table 3에는 이의 선행연구에^[2] 언급된 기존 도트사이트의 설계 데이터가 제시되어 있고, Table 4에는 기존 도트사이트 doublet 반사경의 설계 데이터가 제시되어 있으며, Fig. 7에는 기존 도트사이트 광학계의 광선 추적도를

Table 3. Design data of optical reflector on traditional type dot sight of reference [2]

EFL = -75.001 tilting angle -5.2868				
WAVELENGTHS [nm]	635.00	637.00	633.00	
# SURF	RADIUS	SEPN	INDEX1	CLR RAD
1 DS	-55.774	0.000	1.000000	13.500
2 DAM	-96.952	2.000	1.514519	13.500
3 DS	-55.774	-2.000	1.514519	13.045
4 DS	Plane	-72.000	1.000000	1.133
5 DS	Plane	-0.633	1.000000	0.128

Table 4. Surface data of the doublet reflector of traditional type dot sight of reference [2]

# of surface	Radius of surface(mm)	Thickness(mm)
1	-55.775	2.00
2	-96.953	2.50
3	-57.304	

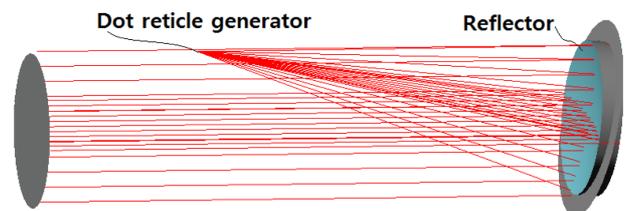


Fig. 7. Ray tracing configuration of reflector of Table 3.

보여주고 있다. 현재 광학적 유효구경과 유효거리는 각각 27.0 mm, 76.5 mm임을 Table 3과 4에서 계산할 수 있다. Fig. 8은 기존 도트사이트 광학계의 유한광선 수차를 보여주고 있는데, 수직 방향(Y-Fan)의 시차는 Fig. 4에 제시된 빔분리프리즘을 채택한 새로운 도트사이트 광학계의 시차량 2.14579분 정도를 가진다고 할 수 있으나, 수평 방향(X-Fan)의 시차는 새로운 도트사이트 광학계의 시차량의

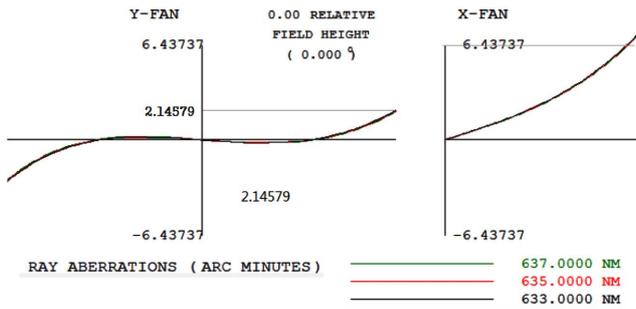


Fig. 8. Diagram of finite ray aberration of traditional type dot sight of reference [2].



Fig. 9. Comparison photos of the length of the traditional dot sight and the prism beam splitter dot sight.

3배 이상을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 새로운 도트사이트 광학계의 유효구경과 유효거리는 각각 30.0 mm, 34.67 mm임을 Table 1과 Table 2에서 알 수 있다. 이상을 종합해 볼 때 빔분리프리즘을 채택한 도트사이트는 같은 유효 구경을 채택한다면 수평 방향(X-Fan)의 시차량은 기존 도트사이트에 비해 3배 이상 작게 만들 수 있고, 광학적 유효 거리 또한 2.2배 이상 축소할 수 있다는 결론에 도달할 수 있게 된다. 일반적으로 사격에서는 수평방향의 시차가 중요한데, 빔분리프리즘을 채택한 도트사이트가 기존 도트사이트에 비해 수평시차가 3배 이상 작게 될 수 있다는 것은 수평방향의 사격의 정확도를 3배 이상 높일 수 있다는 것이 된다. 그리고 광학적 전장길이에 있어서 2.2배 이상 축소 할 수 있다는 것은 긴급한 상황에서 부피의 절감으로 인한 총기류의 운용에 있어서 신속성을 증가시킬 수 있음은 분명한 사실이다. 개발되어진 도트사이트

장치는 도트시표발생부와 빔분리프리즘과 doublet 반사경과 관찰자 눈의 광축이 T자 형태를 갖는 새로운 형태의 도트사이트 장치로 이야기 할 수 있겠다.

결 론

본 연구에서는 무한대 물점에서 눈으로 입사되는 광선들의 평행도 오차의 안광학적인 표현인 시차(parallax)를 고려해 볼 때 기존의 도트사이트 보다 사격의 정확도를 더욱 높일 수 있으며, 광학적 전장길이를 축소시킬 수 있는 새로운 형태의 빔분리프리즘을 채택한 도트사이트를 설계 개발하였다. 설계되어진 도트사이트는 기존의 도트사이트 보다 수평방향의 사격의 정확도를 3배 이상 높일 수 있었으며 광학적 전장길이를 2.2배 축소시킬 수 있게 되었다. 본 연구를 적용한 결과 Fig. 9에 제시된 바와 같이 경통과 주변부를 포함한 실전용 도트사이트의 비교에서도 전장길이를 2배 이상 축소할 수 있는 도트사이트가 되었다.

감사의 글

본 연구는 주식회사 동인광학의 연구비 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

REFERENCES

- [1] Lee DH, Park SH. Development of dot sight with 2X magnification. J Korean Oph Opt Soc. 2012;17(4):435-440.
- [2] Lee DH. Development of the dot sight device by using the doublet reflector. J Korean Oph Opt Soc. 2008;13(1):65-69.
- [3] Donald D Morris. Off axis optical sight system for a firearm. U.S. Patent 4346995, 1982.
- [4] Per Montelin Lund. Optical element of a parallax free sight. U.S. Patent 5440387, 1995.
- [5] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York:McGraw-HILL, 2007 136-154.
- [6] User Manual, SIGMA 2000, UK: KIDGER OPTICS LTD, 1995; Ch.5 and Ch.15.
- [7] User Manual, CodeV Version 10.4. California: Optica; Research Associates, 2012.
- [8] Freeman MH, Hull CC. Optics, 7th Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003;197-199.
- [9] Herbert G. Handbook of Optical System, Vol. 1. NewYork: WILEY-VCH, 2005;44-53.

Development of Dot Sight with Prism Beam Splitter

Dong-Hee Lee¹, Bo-Seon Jung², and Seung-Hwan Park^{3,*}

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

²Dept. of Energy Semiconductor Engineering, Graduate School of Far East University, Eumseong 369-700, Korea

³Dept. of Biomedical Engineering, Eulji University, Seungnam 461-831, Korea

(Received November 11, 2013; Revised November 25, 2013; Accepted December 14, 2013)

Purpose: This study relates to the development of dot-sight device, whose length is reduced, with a prism beam splitter. **Methods:** We developed a new dot-sight device whose length was reduced by eliminating the optical axis tilt of the doublet reflector to reduce the occurrence of the parallax and by redesigning the doublet reflector to use a prism beam splitter. **Results:** We could develop the new type dot-sight device having a prism beam splitter and the dot reticle generator and the doublet reflector, of which optical axes showed a T-letter type with the optical axis of the observer's eye. **Conclusions:** In this study, we designed and developed a new type dot sight employing a prism beam splitter that could be able to further enhance the accuracy of the fire in comparison with the traditional dot sight, thereby reducing the overall optical length of system. The new designed dot sight was able to be reduced 2.2 times on the overall optical length, and could be improved more than three times on the accuracy of shooting in the horizontal direction, than the traditional dot sight.

Key words: Prism beam splitter, Dot sight, Parallax, Doublet reflector.