ISSN(print) 1226-5012
J Korean Ophthalmic Opt Soc. 25(1):83-88, March 2020
http://dx.doi.org/10.14479/jkoos.2020.25.1.83

Development of a Dot-Sight with Wedge-shaped Lenses

Dong-Hee Lee*

Dept. of Visual Optics, Far East University, Professor, Eumseong 27601, Korea
(Received March 4, 2020: Revised March 13, 2020: Accepted March 13, 2020)

Purpose: The purpose of this study was to develop a dot-sight with a doublet reflector in which the two bonded lenses are wedge-shaped types. **Methods:** Two curvature radii of the 1st and 2nd surfaces of the doublet reflector and two angles produced by the optical axes of the 1st and 2nd planes of the doublet reflector and the optical axis of the light incident from the dot reticle were used as the parallax optimization parameters of the doublet reflector design. **Results:** The characteristics of the doublet reflector with minimized parallax are that the 1st and 2nd lenses constituting the doublet reflector are wedge-shaped types and constitute the reflecting mirror for the dot-sight by balsm-bonding that the lens bases are opposite to each other. It is confirmed that a doublet reflector with wedge-shaped lenses is 10 times more effective in the shooting accuracy than a conventional doublet reflector, when optimized with two identical constraints: FFL of 47.5 ± 0.2 mm and effective diameter of 18.0 mm. **Conclusions:** By changing the 1st and 2nd lenses of a conventional doublet reflector for dot-sight into wedge-shaped lenses and developing a dot-sight reflector in which the base directions of the 1st and 2nd lenses are oppositely bonded to each other, a new dot-sight with a shooting accuracy of 10 times or more than that of a conventional dot-sight can be developed.

Key words: Dot-sight, Doublet reflector, Parallax, Wedge-shaped lens

서 론

요즈음 군용 또는 서바이벌용 총기류의 조준경으로 많이 사용되고 있는 도트사이트(dot-sight)라는 조준경은 기존 조준 방식에 비해서 목표물에 대한 사격의 정확도를 향상시킬 수 있고, 목표물에 대한 조준시간의 단축을 가져올 수 있는 안광학 관련 장비의 일종이다. 이는 총기류의 조준 방식으로 사용되어 온 가늠자와 가늠쇠를 대신하여 광원을 가지는 레티클(reticle)과 여기에서 나오는 레티클의 발산광을, 사격자의 눈앞 무한대 위치에 허상(virtual image)의 레티클로 보이도록 하기 위해, 사격자의 눈 방향으로 반사시키는 반사경을 가진 광학계로 구성된 Fig. 1과 같은 광학식 조준경이다. 실제 총열의 끝에 위치하는 가늠쇠와 총열 몸체 상단에 위치하는 가늠자의 정렬에 의존하는 고전적인 조준은 목표물 포착, 가늠쇠와 가늠자 그리고 목표물을 직선으로 연결하는 조준선 정렬(3점 고정식 조준선 정렬),[1,2] 사격 등의 과정에 시간이 요구되며, 가늠쇠와 가늠자가 매우 작아서 이를 정확하게 정렬하여 조준함에 있어 작은 흔들림에도 조준선 정렬이 어려운 것으로 알려져 있었다. 즉 지나치게 3점 고정식 조준선 정렬에 신경을 쓰다보면 표적이나 전방 상황보다는 가늠쇠와 가늠자 자체에 시선이 집중되어 시야가 좁아지고 조준에 시간이 걸리는 단점이 있었다.

이러한 단점을 해결하면서 조준을 위한 시야를 넓힐 수 있도록 함과 동시에 조준시간을 단축할 수 있도록 한 것이 광학식 조준경인 도트사이트인 것이다. 이러한 도트사이트는 조준선 정렬이 도트사이트 유효구경 내에서 광원을 가지는 레티클의 반사경에 의한 허상인 광점(dot)과 목표물을 일치시키기만 하면 되는 비고정식 2점 조준선 정

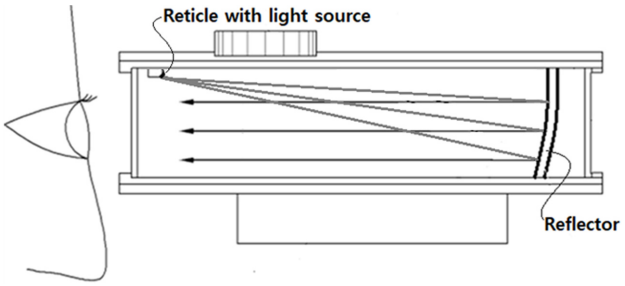

Fig. 1. Structure of a general optical dot-sight device. This figure was revised and cited from reference.[1,2]

*Corresponding author: Dong-Hee Lee, TEL: +82-043-880-3808, E-mail: dhlee99@hanafos.com
Authors ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7655-0058

렬[2] 방식을 채택하고 있다. 이러한 방식을 채택하는 도트사이트는 조준 자체도 광원을 가지는 레티클의 반사경에 의한 허상인 광점(dot)을 목표물에 일치시키도록 도트사이트 유효구경 이내에서 목표물에 신속하게 이동시키면 되기 때문에 시야 확보가 매우 효과적으로 이루어질 수 있고, 조준에 걸리는 시간을 단축할 수 있는 장점이 있는 것이다.

본 논문에서는 지금까지의 도트사이트의 반사경에 새로운 형태의 반사경을 적용함으로써 기존 도트사이트 반사경의 주변부에서 시차(parallax)를 더욱 개선한 새로운 형태의 도트사이드를 제안하고자 한다. 설계는 상용프로그램인 Code V[3]를 사용하였다.

대상 및 방법

1. 광학식 도트 사이트 구성 및 시차(parallax)

기존의 광학식 도트 사이트는 일반적으로 광원을 가지는 레티클에서 나오는 광선들을 반사시키기 위해 더블렛의 접합면을 사용하고 있다.[1,2,4] 싱글렛보다 더블렛이 유효구경 이내에서 시차(parallax) 개선 효과가 훨씬 유리하다는 것은 이미 기존 자료들[1,5]을 통해서 잘 알려진 바가 있다.

이러한 광학식 도트 사이트는 Fig. 1에서와 같이 그 원통형 구조를 이루어지는 조준기 하우징 전단부에 보호용 윈도우, 하우징 내부 상단 소정 위치에는 광원을 가지는 레티클, 특정 곡률 반경을 가지며 하우징 내부의 상기 보호용 윈도우 뒤에 위치하는 더블렛 구성인 반사경을 포함하여 이루어진다.[6,7] 일반적으로 광학식 도트 사이트의 평가는 유효구경 이내의 시차(parallax)의 발생량으로 이루어지는데, 설계되어진 반사경이 가지는 최대 시차량은 목표물에 대한 사격 정확도와 밀접한 관계가 있다.

Table 1. Design specifications of the dot-sight device demanded by the user

Optical length from dot-reticle to reflector	= 47.5 ± 0.2 mm
Effective barrel diameter (max)	= 18.0 mm
Magnification	≈1 × (±5%)
wavelength of light source LED	650 nm

이러한 시차량 발생은 도트 사이트 반사경의 유효 구경이 커질수록, 광원이 반사면과 가까울수록 크게 발생한다. 실제 우리는 Table 1과 같은 사용자의 요구에 따른 설계의 실시예로서 반사경을 더블렛으로 채택한 기존의 경우와 새롭게 시도한 쐐기형 더블렛 렌즈를 채택한 경우의 시차를 비교 논의해보고자 한다.

2. 도트 사이트 반사경이 더블렛인 경우의 설계 예

Table 1에서 보면 도트시표에서 반사경까지의 거리가 47.5 ± 0.2 mm로 제한되는데 이는 사용하고자하는 도트사이트의 길이와 관계된다. 즉 Fig. 1에서보면 도트 시표에서 반사경까지의 거리가 주어지면 도트시표 전방의 보호윈도우와 반사경 후방의 보호윈도우까지의 거리가 결정될 것이고 이는 구현하고자하는 도트사이트의 길이를 결정하게 된다. 또한 도트 시표에서 반사경까지의 거리는 반사경의 설계에 있어서 반사경의 전면초점거리(FFL:front focal length)에 해당한다. Table 1에서의 유효경통 직경(effective barrel diameter)은 사용자가 조준에 이용할 수 있는 도트시표를 볼 수 있는 관찰창의 최대 크기에 해당되기 때문에 설계할 반사경의 유효직경과 일치하게 된다.

이상을 종합하여 일반적인 도트사이트 더블렛 반사경의 설계는, FFL = 47.5 ± 0.2 mm, 유효규경 18.0 mm를 구속조건(constraints)[3]으로 하여 도트사이트 경통 내측의 도트시표에서 출발한 광선들이 반사경에 반사되어 도트사이트 경통 내부를 광축과 나란하게 진행하도록 하는 최적화를 진행함으로써, 완성된다. 여기서 시차를 최소화하는 변수로 사용된 것은 반사경 1면과 2면의 곡률반경이 사용되었다. 이 때 FFL = 47.5 ± 0.2 mm, 유효규경 18.0 mm인 구속조건(constraints)을 만족하면서 반사경의 반사광이 경통의 광축과 나란하게 출사되도록 하기 위해 반사경의 입사광축과 출사광축 사이의 각을 10°로 고정하였다. 이는 이번 설계에서 반사경의 입사광축에서 반사경의 기울임각을 5.0°로 고정하는 것과 같다.

이러한 방법으로 설계되어진 일반적인 도트사이트 더블렛 반사경의 설계 데이터 및 광선추적도는 Table 2 및 Fig. 2에서 확인할 수 있다. Fig. 3은 이렇게 설계되어진 반사

Table 2. Optimized design data of the conventional doublet reflector obtained from CodeV S/W (unit: mm)

Surface #	Surface Type	Y Radius	Thickness	Glass	Refract Mode	Y Semi-Apert
Object	Sphere	Infinity	47.6684		Refract	
Stop	Sphere	Infinity	0.0000		Refract	9.0000
2	Sphere	–37.3721	1.2000	BK7	Refract	8.8851
3	Sphere	–63.6599	–1.2000	BK7	Reflect	9.3113
4	Sphere	–37.3721	–47.0000		Refract	9.2588
Image	Sphere	Infinity	0.0000		Refract	

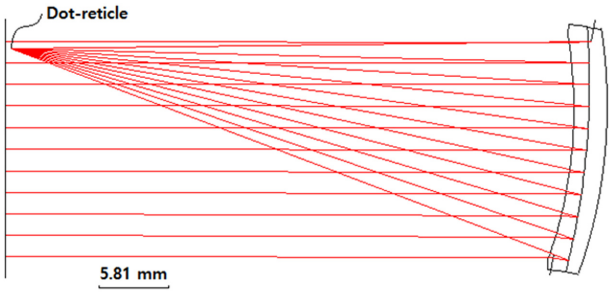

Fig. 2. Ray tracing on the conventional doublet reflector designed by the CodeV S/W.

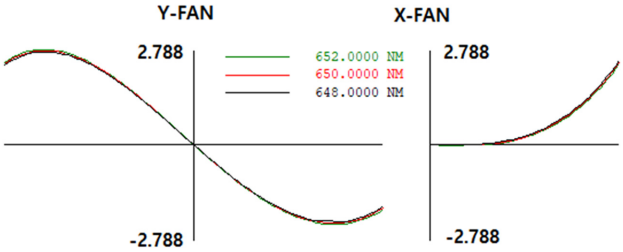

Fig. 3. Diagram of parallax aberrations of the designed conventional doublet reflector [Y-FAN: y-axis direction of aperture stop, X-FAN: x-axis direction of aperture stop, horizontal axis of graph: aperture size, vertical axis of graph: value of parallax aberration (unit: arc minutes)].

경의 유효구경내의 x축 y축 방향의 시차 분포도를 보여주고 있다.[3,8-10]

3. 도트 사이트 반사경이 쐐기형 렌즈인 경우의 설계의 예

기존 방식대로 설계된 도트사이트 반사경의 시차를 최소화하는데 사용된 최적화 변수는 Fig. 2에서와 같이 렌즈의 초자를 Bk7으로 고정한다면 더블렛 반사경의 1면과 2면의 곡률반경 2개이다. 만약 여기에 최적화 변수를 더 추가할 수 있다면 최적화의 자유도가 증가하기 때문에 반사경의 시차를 더욱 최소화할 수 있는 해를 구할 수 있다는 것은 자명한 사실이다. 이에 본 논문에서는 추가적인 최적화 변수로 도트시표에서 더블렛 반사경으로 입사하는 광선들의 광축과 더블렛 반사경의 1면과 2면의 광축이 이루는 각 2개를 선택해보고자 한다. 더블렛 반사경의 1면과 2면의 광축과 도트시표에서 더블렛 반사경으로 입사하는 광선들의 광축의 기울기를 최적화 변수로 한다는 것은 더블렛 반사경의 반사면에 프리즘 효과를 유발하는 것이 된다. 이 프리즘 효과는 조준 목표물을 주시할 때 도트사이트를 통하지 않는 시야와 도트사이트를 통하여 주시하는 시야에 단차를 유발 한다. 따라서 더블렛 반사경의 제1렌즈와 제2렌즈를 각각 쐐기형 렌즈로 하여 서로의 기저방향을 반대 방향으로 해서 발삼접합이 되도록 하여 시야에서의 단차 발생을 억제하여야한다.

여기에서도 상기 일반적인 도트사이트 더블렛 반사경의 설계에서와 마찬가지로 FFL = 47.5 ± 0.2 mm, 유효규경 18.0 mm를 2가지 구속조건(constraints)으로 사용하였지만, 최적화 변수로는 더블렛 반사경의 1면과 2면의 곡률반경 2개에 더블렛 반사경의 1면과 2면의 광축과 도트시표에서 입사하는 광선들의 광축이 이루는 각 2개를 더 추가하여 사용하였다. 이 때에도 상기 두가지 구속조건(constraints)을 만족하면서 반사경의 반사광이 경통의 광축과 나란하도록 출사되게 하기 위해 반사경의 입사광축과 출사광축을 10°로 고정하였다.

이렇게 하여 설계되어진 쐐기형 렌즈를 가지는 도트사이트용 더블렛 반사경의 설계 데이터 및 광선추적도는 Table 3 및 Fig. 4에서 확인할 수 있다. Fig. 5는 설계되어진 반사경의 유효구경내의 x축 y축 방향의 시차 분포도를 보여주고 있다. Fig. 6은 설계되어진 반사경의 제작도를 보여주고 있는데 도트시표에서 입사하는 광선들의 광축과 더블렛 반사경의 1면과 2면의 광축과 이루는 각이 각각 0.409°, 3.125°로 최적화 되었다는 것을 보여준다.

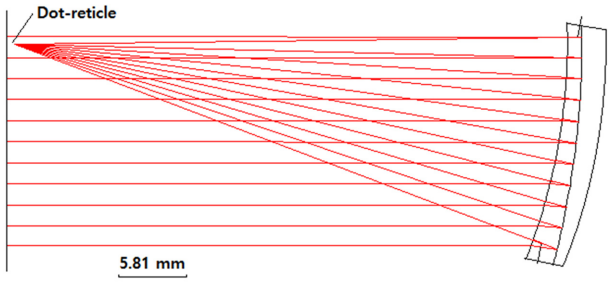

Fig. 4. Ray tracing on the new doublet reflector with wedge-shaped lenses designed by the CodeV S/W.

Table 3. Optimized design data of the new doublet reflector with wedge-shaped lenses obtained from CodeV S/W (unit: mm)

Surface #	Surface Type	Y Radius	Thickness	Glass	Refract Mode	Y Semi-Apert
Object	Sphere	Infinity	47.6684		Refract	
Stop	Sphere	Infinity	0.0000		Refract	9.0000
2	Sphere	−50.1529	1.5000	BK7	Refract	9.1798
3	Sphere	−74.4500	−1.5000	BK7	Reflect	9.4582
4	Sphere	−50.1529	−47.0000		Refract	9.1901
Image	Sphere	Infinity	0.0000		Refract	

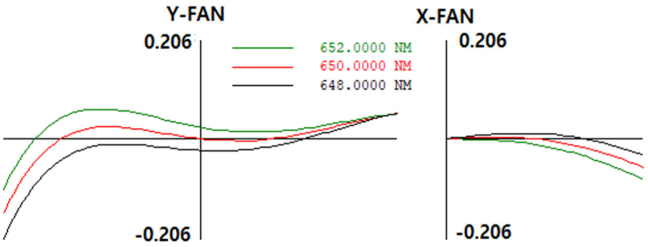

Fig. 5. Diagram of parallax aberrations of the new doublet reflector with wedge-shaped lenses [Y-FAN: y-axis direction of aperture stop, X-FAN: x-axis direction of aperture stop, horizontal axis of graph: aperture size, vertical axis of graph: value of parallax aberration (unit: arc minutes)].

4. 기존 더블렛 반사경과 쐐기형 렌즈 반사경의 최대 시차에 의한 사격 정확도 비교

동일한 FFL과 유효구경을 가진 기존 설계방식의 더블렛 반사경과 본 논문에서 논의된 쐐기형 렌즈를 가지는 더블렛 반사경을 채택한 도트사이트의 광학적인 성능은 Fig. 3과 Fig. 5의 비교에서 확인해 볼 수 있다. 도트사이트 유효구경 내에서의 최대 시차는 Fig. 3에서는 2.788', Fig. 5에서는 0.206'을 보여주고 있다.

도트사이트의 영점조정 및 탄도조정이 된 상태에서 사격거리를 z, 도트사이트 관찰창 유효구경 내에서의 최대 시차를 ϕ_m라 두면 사격 목표물을 중심으로 사격 후 탄착이 되는 반경(ρ)은

$$\rho = z \times \tan\left(\frac{\phi_m}{60}\right) \quad (1)$$

와 같은 공식[11]으로 계산할 수 있다.

사격거리 z = 500 m를 기준으로 기존 설계방식의 더블렛 반사경과 쐐기형 렌즈를 가지는 더블렛 반사경을 채택한 도트사이트가 나타내는 사격 목표물을 중심으로 사격 후 탄착이 되는 반경(ρ)을 위 식에 의해 계산해 보면 각각 40.5 cm, 3.0 cm이 됨을 알 수 있다. 이는 기존 설계방식의 더블렛 반사경에 비하여 쐐기형 렌즈를 가지는 더블렛 반사경이 사격 정확도에서 약 $\frac{40.5}{3.0} = 13.5$ 배 뛰어남을 확인할 수 있다.

결과 및 고찰

Fig. 6은 저자가 제시한 새로운 방식의 쐐기형 렌즈를 가지는 더블렛 반사경의 실제 제작도면을 보여주고 있다. 앞에서 살펴본 바와 같이 FFL = 47.5 ± 0.2 mm, 유효규경 18.0 mm를 2가지 구속조건(constraints) 하에서 기존의 도트사이트 반사경 설계 방식보다 쐐기형 렌즈를 가지는 더블렛 반사경 설계 방식이 사격 정확도에 있어서 10배 이상의 향상이 있음을 보여주고 있다. 그런데 Fig. 6에서 보면 렌즈의 가공 구경이 20 mm로 되어 있는데 이는 렌즈 경통에 더블렛 반사경이 약 10° 기울어져 부착되어도 시야 유효구경 18.0 mm를 확보할 수 있도록 하기 위함에서 비롯된 것이다.

그러나 렌즈 제작에 있어서 쐐기형 렌즈를 가지는 더블렛 반사경인 경우에는 기존에 없는 새로운 렌즈 제작 방식이 동원되어야 함을 알 수 있다. 즉 기존의 렌즈 제작 방식에서는 렌즈의 편심을 최소화하기 위해 노력하였다면

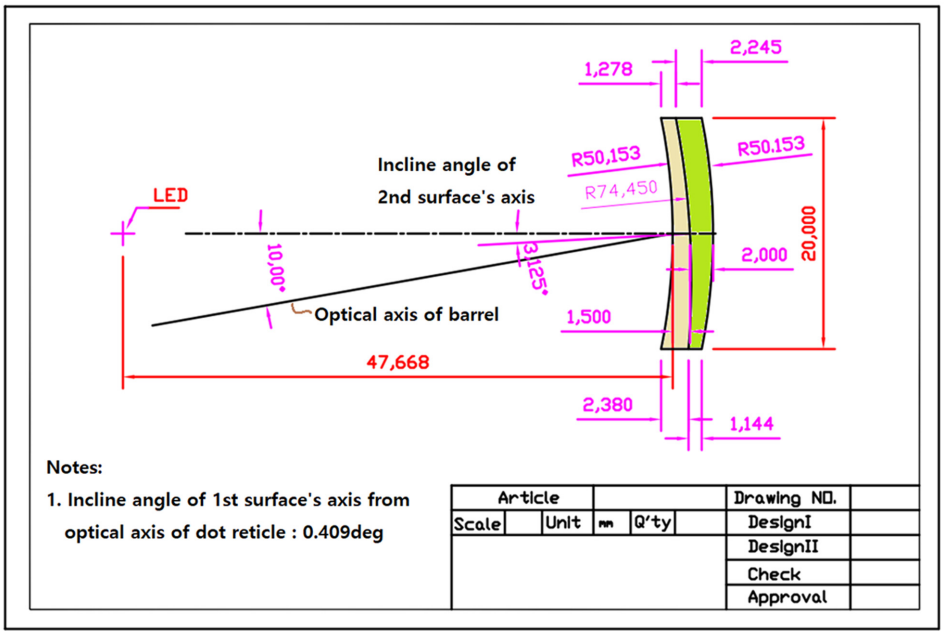

Fig. 6. Fabrication drawing of the new doublet reflector designed with wedge-shaped lenses.

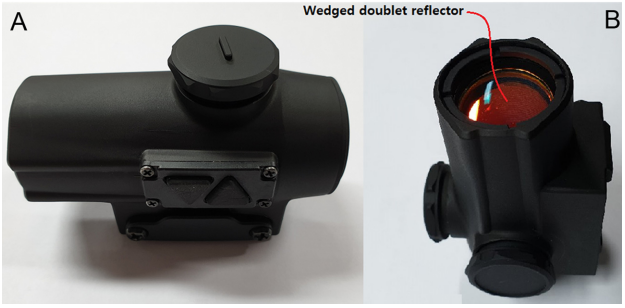

Fig. 7. Exterior view of the dot-sight made with the newly designed reflector. A. side view, B. perspective view for showing the mounted reflector

쐐기형 렌즈를 가지는 더블렛 반사경을 이루는 두 싱글렛은 오히려 일정한 편심 약 3°를 정확하게 가지고 가공되어야 한다는 점에서 기존의 렌즈 제작방식과 차이가 있는 것이다.

결 론

본 논문에서는 접합된 두 렌즈가 쐐기형 렌즈인 더블렛 반사경을 가지는 새로운 방식의 도트사이트를 개발하였다. 더블렛 반사경의 1면과 2면의 곡률반경 2개와 더블렛 반사경의 1면과 2면의 광축과 도트시표에서 입사하는 광선들의 광축이 이루는 각 2개를 더블렛 반사경 설계의 시차 최적화 변수로 사용하였다.

이렇게 하여 설계되어진 시차가 최소화된 더블렛 반사경은 제1렌즈와 제2렌즈가 쐐기형 렌즈 형상이 되었으며, 서로의 기저 방향을 반대로 하여 발삼 접합함으로서 도트사이트용 반사경을 구성하였다.

즉 기존의 도트사이트용 더블렛 반사경의 제1 렌즈와 제2렌즈를 쐐기형 렌즈로 하는 방식을 채택함으로서 사격 정확도를 10배 이상 향상시킬 수 있는 Fig. 7과 같은 새로운 더블렛 반사경을 채택한 도트사이트를 개발할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2019년도 극동대학교 교내연구비(과제번호 :FEU2019R19) 지원에 의해 수행되었습니다. 시작품 제작은 (주)동인광학에서 도와주셨습니다.

REFERENCES

[1] Lee DH. Development of the dot sight device by using the doublet reflector. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2008; 13(1):65-69.
[2] Lee DH, Park SH. Development of dot sight with 2× magnification. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2012;17(4): 435-440.
[3] Synopsys. Code V Optical Design Software, 2017. https://www.synopsys.com/optical-solutions/codev.html(27 May 2019).
[4] Kim JH, Jeung BS. A study on the quality improvement of red dot sight for grenade launcher by parallax reduction. J Korea Acad Industr Coop Soc. 2019;20(11):130-135. DOI: https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.11.130
[5] AFMO.com. Aimpoint's Parallax-free, Double Lens System, 2008. https://www.youtube.com/watch?v=UIKH5GLpL5g (30 January 2020).
[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] Smith WJ. Modern optical engineering: the design of optical systems, 4th Ed. New York: McGraw-Hill, 2008;290-308.
[9] Fischer RE, Tadic-Galeb B, Yoder PR. Optical system design, 2nd Ed. New York: McGraw-Hill, 2008;179-191.
[10] Jenkins FA, White HE. Fundamentals of optics, 4th Ed. New York: McGraw-Hill, 2001;153-161.
[11] Jung BS. Development of dot-sight system using BS prism. MS Thesis. Far East University, EumSeong. 2015; 19-21.

쐐기형 렌즈를 가지는 도트사이트 개발

이동희*

극동대학교 안경광학과, 교수, 음성 27601

투고일(2020년 3월 4일), 수정일(2020년 3월 13일), 게재확정일(2020년 3월 13일)

목적: 본 연구는 접합된 두 렌즈가 쐐기형인 더블렛 반사경을 가지는 도트사이트를 개발하고자 하였다. **방법:** 더블렛 반사경의 1면과 2면의 곡률반경 2개와 더블렛 반사경의 1면과 2면의 광축과 도트시표에서 입사하는 광선들의 광축이 이루는 각 2개를 더블렛 반사경 설계의 시차 최적화 변수로 사용하였다. **결과:** 시차가 최소화된 더블렛 반사경의 특징은 그것을 구성하는 제1렌즈와 제2렌즈가 쐐기형 형상을 가진다는 것이며, 기저 방향을 서로 반대로 하여 발삼 접합함으로서 도트사이트용 반사경을 구성한다는 것이다. 2가지 동일한 구속조건(constraints)인 FFL = 47.5 ± 0.2 mm, 유효규경 18.0 mm로 최적화 해볼 때, 기존 방식의 더블렛 반사경에 비해 쐐기형 렌즈를 가지는 더블렛 반사경이 사격 정확도에 있어서 10배 이상의 성능을 가짐을 확인하였다. **결론:** 기존의 도트사이트용 더블렛 반사경의 제1렌즈와 제2렌즈를 쐐기형 렌즈로 바꾸고 서로의 기저 방향을 반대로 하여 접합한 도트사이트 반사경을 개발함으로서 사격 정확도를 10배 이상 향상시킨 새로운 도트사이트를 개발할 수 있었다.

주제어: 도트사이트, 더블렛 반사경, 시차, 쐐기형 렌즈