

Doublet 반사경을 이용한 도트 사이트 장치의 개발

이동희

을지대학교 보건과학대학 안경광학과
(2008년 1월 16일 받음, 2008년 2월 15일 수정본 받음)

목적: Doublet 반사경을 이용한 조준사격용 도트 사이트 장치의 개발. **방법:** Sigma 2000 광학 설계 프로그램으로 Singlet 반사경과 Doublet 반사경을 설계하여 비교 검토하였다. **결과:** 유한광선수차 분석에서 기존 Singlet 반사경을 사용한 도트 사이트 장치에 비해 시차(parallax)가 제거된 유효 시야가 3.3배 확대되는 성능을 보인다. Doublet 반사경을 사용하는 경우 광학계의 중심 두께가 기존 Singlet 반사경을 사용한 경우보다 2배 이상 두꺼워지기 때문에 목표점이 관측자의 망막에 결상할 때 Singlet 반사경의 경우와 같이 제1면과 제3면의 곡률반경을 동일하게 할 경우에는 배율 변화가 나타난다. 이를 극복하기 위해 Doublet 반사경인 경우에는 어포칼 조건을 만족하는 것이 필요하다. **결론:** 기존의 Singlet 반사경의 방식보다 시차(parallax)가 제거된 유효 시야가 3.3배 확대되는 성능을 가지는 Doublet 반사경을 이용한 조준사격용 도트 사이트 장치를 개발하였다.

주제어: 도트 사이트, Doublet 반사경, Singlet 반사경, 어포칼 시스템

서 론

소총의 특성은 신속하게 조준사격을 할 수 있는지(신속성)와 그 조준사격이 정확하게 표적을 향하는지(정확성)에 의해서 좌우되며, 이는 소총의 조준과 직접 관련된다. 일반적으로 소총의 조준은 가늠자와 가늠쇠의 조준선 정렬에 의해 이루어진다. 총열의 끝단에 위치하는 가늠쇠와 총기 주 몸체 상부에 위치하는 가늠자의 조준선 정렬에 의한 조준은 목표 포착 및 확인, 조준선 정렬, 조준 등의 복잡한 과정과 시간이 요구되며, 가늠쇠와 가늠자 자체가 매우 작아서 이를 정확하게 정렬함에 있어 작은 떨림에도 민감하게 반응할 뿐만 아니라, 지나치게 조준선 정렬에 신경을 쓰다보면 표적이나 전방 상황보다는 가늠쇠와 가늠자 자체에 시선이 집중되어 시야가 좁아지는 것이다.

조준선 정렬의 번거로움을 해결하면서 좀더 정확성이 높이기 위해 광학식 조준기가 제안되었다. 그러나 광학식 조준기의 경우 망원렌즈를 사용하기 때문에 배율이 올라가면 마찬가지로 작은 떨림에도 민감하게 반응하기 때문에 신속한 조준이 불가능하다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해, 광학식 조준기에서 무배율을 채택하고, 복잡한 조준선을 없애면서 간단하게 조준점만 이용하는 광학식 도트 사이트 장치가 제안되었다¹⁻³.

기존 광학식 도트 사이트의 특징 및 문제점¹⁻³

광학식 도트 사이트 조준기는 간단하고 빠른 조준이 가능하다는 데 특징이 있으며, 신속한 대응이 필요한 급박한 상황이나 근거리에서 매우 유용한 장점이 있다. 즉, 조준선 정렬의 시간이 거의 요구되지 않는데다 조준 자체도 광점(dot)을 표적으로 신속하게 이동시키면 되고, 시야 확보도 매우 효과적으로 이루어지기 때문에 조준에 걸리는 시간뿐만 아니라 조준으로 인해 주변 시야 및 상황확인 방해되는 것을 최소한으로 줄일 수 있는 장점이 있다.

이러한 광학식 도트 사이트는 그림 1에서와 같이 그 원통형 구조를 이루는 조준기 하우징 전단부에 보호용 윈도우, 하우징 내부 상단 소정 위치에는 광원을 만드는 발광소자 LED 및 특정 곡률 반경을 가지며 하우징 내부의 상기 보호용 윈도우 뒤에 위치하는 반사경을 포함하여 이루어진다.

상기 반사경은 관측자(사용자)의 시선은 도트 사이트 장치 선단으로 투시하되, 대략 650 nm 가량의 광선을 갖는 LED의 광점을 후단으로 반사하여 준다. 관측자(사용자)는 LED의 광점과 목표물이 일치할 때 사격함으로써 조준을 용이하게 할 수 있다. 그림 2는 이러한 광학식 도트 사이트가 장착된 상태를 보여 준다.

이를 좀 더 자세히 살펴보면, 광학식 도트 사이트 장치

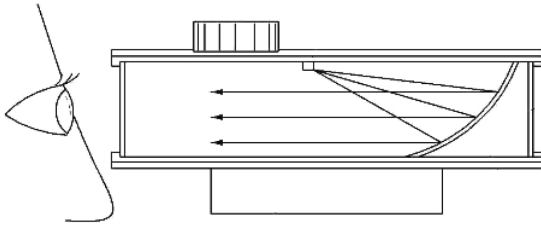


Fig. 1. Structure of an optical dot sight device.

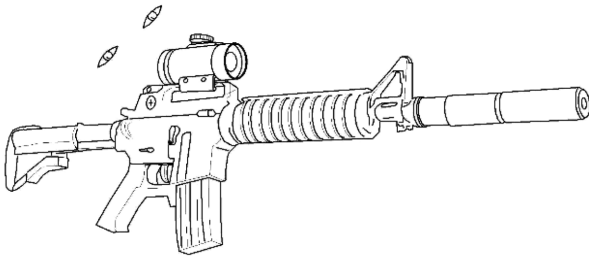


Fig. 2. Figure which affixes an dot sight system.

의 내부에 위치한 LED로부터 만들어지는 점광원이 반사경에 의해 반사되어 관측자의 눈에 평행하게 입사되도록 의도되고, 이 평행도는 총열의 탄환 발사축과 일치되도록 의도된다. 그러나 도트 사이트 장치의 평행도와 총열의 탄환 발사축과 일치하지 않으면 관측자가 비록 LED 빔의 도트를 사격 목표점에 일치시키더라도 명중하지 않기 때문에 도트 사이트 장치의 평행도와 총열의 탄환 발사축과 일치시키도록 하기 위해 수직과 수평기능을 갖는 내부 경통 정렬용 단자를 구비하여 내부 경통의 광축을 총열의 탄환 발사축과 일치하도록 하고 있다.

그러나 일반적으로 반사경의 전면(하우징 내부 방향)에는 LED 광점을 반사하도록 코팅되어 있고, 그 전후면 곡률반경은 구면으로 같은 곡률을 가지고 있기 때문에, 반사경의 유효 구경을 크게 할 경우 LED에서 방출된 광선이 반사경에 반사되어 정확하게 총열과 나란하게 반사되지 않는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 ‘시차(parallax)가 발생된다’라고 표현한다^{1,2,4}. 이 시차의 발생은 목표점에 대한 명중도를 떨어뜨린다. 이러한 시차 발생은 반사경의 유효 구경이 커질수록, LED의 광점이 반사면과 가까울수록 크게 발생한다. 따라서 이러한 현상을 극복하고자 본 논문에서는 Doublet 반사경을 이용한 도트 사이트 조준경의 설계를 제시하고자 한다.

도트 사이트 광학계 설계

일반적으로 Doublet이 사용되는 광학계는 색수차를 제거하기 위해 Singlet 대신 사용하는 것이 원칙이다⁵. 우리는 이러한 Doublet이 색수차 외에 시차를 유발하는 구면수차, 코마수차, 비점수차의 제거에 얼마나 유효한지를 도

Table 1. Optical design data of a singlet reflector

EFL = -74.697					
WAVELENGTHS [nm] 650.00 653.00 647.00					
#SURF	RAD	THICK	INDEX1	CLR RAD	
1 DAM	-150.00	0.000	1.000000	13.205	
2 DS	Plane	-73.499	1.000000	13.000	
3 DS	Plane	0.000	1.000000	12.000	
4 DS	Plane	0.295	1.000000	15.343	
DECENTERED SURFACES					
No	Dx	Dy	Alpha	Beta	Gamma
1	0.0000	0.0000	-5.1560	0.0000	0.0000
2	0.0000	13.3729			
3	0.0000	12.0000			
4	0.0000	13.3192			

트 사이트 조준경의 설계에 적용하여 확인하고자 한다. 모든 설계는 Kidger Optics 사의 Sigma2000 광학 설계 프로그램을 사용하였다⁶.

먼저 일반적인 도트 사이트에 적용된 Spec을 제시해 본다.

반사조준경의 반사면의 중심에서 LED 광원까지의 거리를 75 mm로 하고 유효 직경 27 mm, LED 광원의 파장을 650 nm로 하였다.

현재 시중에 많이 보급된 도트 사이트 조준경은 Singlet 반사경으로 되어있기 때문에 상기 Spec에 맞게 반사경을 설계해 보면 설계 data는 표 1과 같고 유한 광선 수차도는 그림 3과 같다.

이 광학계는 비광축광학계이기 때문에 표 1에서와 같이 반사경의 Tilting 각을 -5.156로 하였다. 이 때 LED 광원의 이동량은 상 방향으로 13.3 mm임을 확인할 수 있었다.

반사면은 LED 광원 방향인 안쪽에 광원 LED 파장인 650 nm 파장을 반사할 수 있도록 코팅을 하였다.

표 2와 그림 4는 표 1의 Singlet 반사경과 동일한 외관 Spec를 가지도록 설계된 Doublet 반사경을 사용한 도트 사이트 장치의 설계 data와 유한광선 수차도이다. 광학계

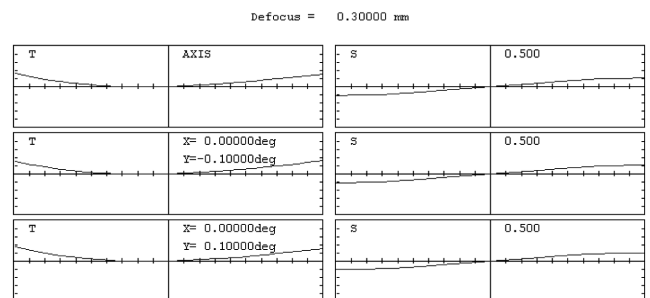


Fig. 3. Diagram of finite ray aberrations of the singlet reflector of Table 1.

Table 2. Optical design data of a doublet reflector

EFL = -75.001					
WAVELENGTHS [nm] 650.00 653.00 647.00					
#SURF	RAD	THICK	INDEX1	CLR RAD	
1 DS	-55.775	0.000	1.000000	13.109	
2 DAM	-96.953	2.000	1.514519	13.345	
3 DS	-55.775	-2.000	1.514519	13.045	
4 DS	Plane	-72.000	1.000000	1.133	
5 DS	Plane	-0.633	1.000000	0.128	
DECENTERED SURFACES					
No	Dx	Dy	Alpha	Beta	Gamma
1	0.0000	0.0000	-5.2868	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	-5.2868	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	-5.2868	0.0000	0.0000
4	0.0000	15.0000			
5	0.0000	14.1267			

가 비광축광학계이기 때문에 표 2에서와 같이 반사경의 Tilting 각을 -5.287로 하였다. 이 때 LED 광원의 이동량은 상 방향으로 14.127 mm 임을 확인할 수 있었다. 그림 5는 Sigma2000 프로그램에서 확인할 수 있는 Doublet 반사경의 광선 경로도를 보여주고 있다.

Singlet 반사경과 Doublet 반사경의 비교

Singlet 반사경과 Doublet 반사경의 수차와 성능을 비교해보기 위해 그림 3과 그림 4에서와 같은 유한광선 수차

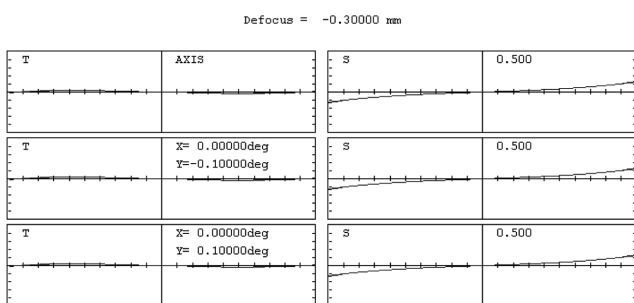


Fig. 4. Diagram of finite ray aberrations of the doublet reflector of Table 2.

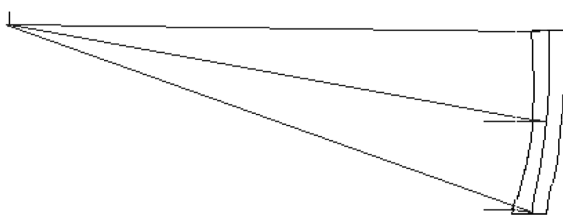


Fig. 5. Configuration of the doublet reflector of Table 2.

도를 비교해 보자. 일반적으로 도트 사이트는 수평방향 보다는 수직방향의 정밀도가 더 중요하다. 따라서 동일한 조건에서 비교하기 위해 Singlet 반사경은 0.3 mm Doublet 반사경은 -0.3 mm defocusing 시켜 구결광선 유한광선수차를 거의 같게 하도록 하여 자오광선 유한광선수차를 비교해 볼 수 있도록 하였다. 그림 3에서는 코마와 구면수차 성분이 최대 0.15 mm 정도 존재함을 확인할 수 있으나 그림 4에서는 이들 수차가 모두 제거되어 있음을 확인할 수 있다. 그림 3과 그림 4에서 자오광선과 구결광선의 광축 방향에서의 기울기 변화를 비교해 볼 때 Doublet 반사경의 변화량이 적기 때문에 Doublet 반사경에서의 비점수차량도 적음을 확인할 수 있다. 이러한 수차의 감소는 시차(parallax) 발생의 억제로 연결된다.

시차가 없다(parallax free)라고 판단하는 기준을 현재 주어진 설계 Spec에서 유한광선 수차량 0.02 mm로 잡으면 Single 반사경과 Doublet 반사경의 경우 시차가 없는 시야가 각각 0.3 full field, 1.0 full field로 나타난다. 이것으로부터 Doublet 반사경이 Single 반사경보다 약 3.3배 더 시차가 없는 효과적인 시야를 확보할 수 있다고 결론을 내릴 수 있겠다.

따라서 Doublet 반사경을 사용하여 유한광선 수차를 줄임으로서 Singlet 반사경의 사용에서 유효 직경을 크게 하는데 제한이 되었던 한 요소 제거할 수 있게 된 것이다. 이는 중기관총 등 양안을 사용하여 목표점을 타격해야 하는 대구경 도트사이트 개발에 중요한 실마리를 제공하는 것이 된다⁷.

이러한 광학식 도트 사이트는 650 nm 파장 부근의 반사광을 제외한 모든 파장에 대해선 반사경을 통과하여 타격하고자하는 목표점을 관측자의 망막에 1배의 배율로 결상시켜 보아야 하기 때문에 반사경을 통과하는 광선에 대한 배율 변화가 존재해서는 안 된다. Singlet 반사경은 두께가 얇기 때문에 1면의 반사면과 2면의 곡률반경을 같게 하여도 배율변화를 느낄 수 없을 정도이지만 Doublet 반사경은 두 렌즈의 두께의 합이 무시할 수 없을 정도가 된다. 따라서 Doublet 반사경의 설계에서는 제1렌즈의 1면과 제2렌즈의 2면의 곡률반경을 배율을 가질 수 없도록 어포칼(afocal) 시스템⁸으로 설계를 하여야 한다.

따라서 제1렌즈의 1면의 곡률반경을 r_1 , 제2렌즈의 2면의 곡률반경을 r_2 , Doublet 반사경의 중심두께를 d , 렌즈의 굴절률을 n 이라면,

$$D_1 + D_2 - \frac{d}{n} D_1 D_2 = 0$$

$$\text{(단, } D_1 = \frac{n-1}{r_1}, D_2 = \frac{1-n}{r_2} \text{)}$$

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

	radius of surface (mm)	thickness (mm)
1	-55.775	2.00
2	-96.953	2.50
3	-57.304	

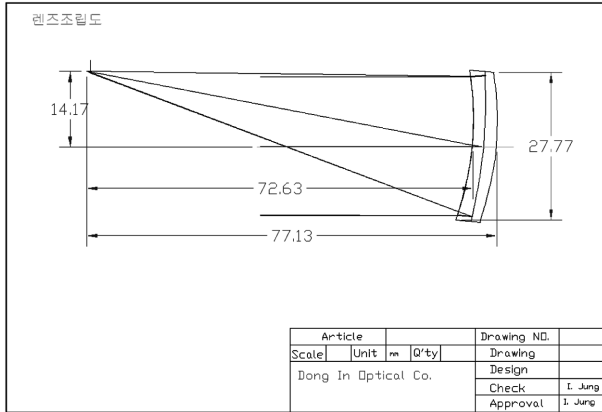


Fig. 6. Drawing of constructing structure of the doublet reflector of Table 2.

의 관계식을 성립하도록 r_1, r_2 가 결정되어야 한다. 여기서 D_1 은 제1렌즈의 1면 상측 굴절력, D_2 는 제2렌즈의 2면 상측 굴절력을 의미한다.

Doublet 반사경의 설계 및 제작

한 실시예로서 설계되어진 Doublet 반사경의 설계 data는 표 3과 같다. 여기서 제1렌즈의 2면과 제2렌즈의 1면의 곡률반경은 같은 값을 가지게 하여 발삼 접합을 하기 때문에 하나의 데이터로 제시하였다. 1면과 3면의 곡률반경이 다른 것은 어포칼 시스템을 구성하여 목표점으로 부터의 상이 망막에 결상할 때 배율변화를 가져오지 않도록



Fig. 7. Doublet reflector manufactured by the data of Table 2.



Fig. 8. Dot sight composed by the doublet reflector made from the data of Table 2.

하였기 때문이다. 그림 6은 이렇게 하여 제작되어진 Doublet 반사경의 조립 구성도를 보여주고 있다. 그림 7은 코팅 제작되어진 Doublet 반사경을 보여주고 있다. 그림 8은 그림 7의 반사경으로 구성된 도트 사이트를 보여주고 있다. 실제 필드 테스터에서 Singlet 반사경을 채택하였을 경우보다 목표점 명중률이 아주 우수하였다.

결론

Doublet 반사경을 이용한 조준사격용 도트 사이트 장치를 개발하였다. 유한광선수차 분석에서 기존 Singlet 반사경을 사용한 도트 사이트 장치에 비해 시차(parallax)가 제거된 유효 시야가 3.3배 확대되는 성능을 보임을 확인할 수 있었다. Doublet 반사경을 사용하는 경우 광학계의 중심 두께가 기존 Singlet 반사경을 사용한 경우보다 2배 이상 두꺼워지기 때문에 목표점이 관측자의 망막에 결상할 때 Singlet 반사경의 경우와 같이 제1면과 제3면의 곡률반경을 동일하게 할 경우에는 배율 변화가 나타난다. 이를 극복하기 위해 Doublet 반사경인 경우에는 어포칼 조건을 만족하도록 하여야 하였다.

감사의 글

본 연구는 동인광학(주)의 연구비 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참고문헌

1. Donald D. Morris, "OFF AXIS OPTICAL SIGHT SYSTEM FOR A FIREARM", U.S. Patent 4346995, 1982.
2. Per Montelin Lund, "OPTICAL ELEMENT OF A PARALLAX FREE SIGHT", U.S. Patent 5440387, 1995.

3. 권동주, “주야 겸용 조준경”, 한국특허 20-0398487, 2005.
4. Robert R. Shannon and James C. Wyant, “Applied Optics and Optical Engineering Vol IX”, ACADEMIC PRESS. INC, New York, pp. 234-243(1983).
5. Warren J. Smith, “Modern Lens Design”, McGraw-HILL, New York, pp. 63-71(1992).
6. User Manual, “SIGMA 2000”, KIDGER OPTICS LTD, UK, Ch. 3(1995).
7. 정인, 이동희, “대구경 도트 사이트 장치”, 한국특허 10-2007-0067861(출원중), 2007.
8. Freeman M. H. and Hull C. C., “Optics”, 7th Ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, pp. 197-199(2003).

Development of the Dot Sight Device by Using the Doublet Reflector

Dong-Hee Lee

Department of Optometry, College of Health Sciences, Eulji University
(Received January 16, 2008: Revised manuscript received February 15, 2008)

Purpose: To develop a dot sight device for a sighting shot using the doublet reflector. **Methods:** We designed the singlet reflector and the doublet reflector by Sigma 2000 program and compared the one to the other. **Results:** In analysis of finite ray aberration, we could confirm that it has the effective field of view with the free-parallax which is 3.3 times wider than the existing dot sight device using the singlet reflector. If you use the doublet reflector, the central thickness of optical system become more than two times bigger than the existing one. As a result, when the image of a target object is made on the observer's retina, if you make the first side's radius of curvature equal with the second one as the case of the singlet reflector, changes in magnification are appeared. To conquer this problem, we had to make be satisfied with the afocal condition in the case of doublet reflector. **Conclusions:** we could develop the dot sight device for a sighting shot using the doublet reflector which has the effective field of view with the free-parallax which is 3.3 times wider than the existing dot sight device using the singlet reflector.

Key words: dot sight, doublet reflector, singlet reflector, afocal system