

고속유탄기관총용 조준경의 시차 개선을 통한 조준경 품질 향상에 관한 연구

김지훈^{1*}, 정보선²

¹국방기술품질원, ²주식회사 동인광학

A Study on the Quality Improvement of Red Dot Sight for Grenade Launcher by Parallax Reduction

Ji-Hoon Kim^{1*}, Bo-Sun Jeung²

¹Defense Agency for Technology and Quality

²Dong In Optical

요약 본 논문은 구경 40 mm 고속유탄기관총에 장착되는 조준경의 시차 개선을 통한 조준경 품질 향상에 관한 연구 논문이다. 본 논문에서 언급하는 고속유탄기관총용 조준경은 현재 양산 중에 있으며, 군에서 전력화하여 사용하고 있는 전력지원체계이다. 조준경의 시차가 요구사항은 만족하지만, 조준경의 반사렌즈 유효면적 밖에서의 시차가 다른 조준경들과 비교하였을 때 다소 발생함이 확인되었다. 시차는 눈의 위치에 따라 상(표적)의 위치가 다르게 보이는 현상으로 시차가 클수록 표적을 조준점이 제대로 조준하지 못할 수 있다. 이에 품질 개선을 위하여 반사렌즈의 유효면적 밖에서의 시차 발생에 대한 원인 분석을 수행하고 개선 방안을 연구하였다. 그 결과 조준경의 광학계를 다른 방법으로 접근하여 새롭게 설계하였고, 반사렌즈조립체의 제조 방식을 변경하여 두께 및 조립두께를 증가시키고, 반사렌즈와 관련된 부품들의 형상변경을 통해 시차 개선이 가능함을 알 수 있었다. 변경된 부품들에 대한 영향성 확인을 위하여 시뮬레이션 프로그램으로 시차를 계산하였다. 이번 개선을 통하여 단순히 요구사항을 만족하는 제품을 제공하는 것으로 끝나지 않고, 사용자가 더욱 만족할 수 있는 제품을 군에 납품하여, 장비에 대한 만족도 향상과 군의 효과적인 작전 수행이 가능할 것으로 기대된다.

Abstract This study performed the quality improvement of a red dot sight for a 40 mm grenade launcher through parallax reduction. The red dot sight cited in this study is currently in mass production for military use as a non-weapon system. While the red dot sight's parallax currently meets requirements, slightly greater error was observed on the outside of effective optical area of the reflection lens compared to other sights. Parallax is easily affected by eye movement, which can result in aiming error. To improve the red dot sight's quality, this study analyzed why parallax is observed in the effective optical area of the reflection lens and how to reduce it. As a result, the red dot sight demonstrated lower parallax error using the new optical system design with an increased reflection lens thickness and modified components configuration related to the reflection lens assembly. Parallax was calculated and simulated by using a particular program to verify that it decreased. This improvement for the 40 mm. grenade launcher red dot sight more than satisfies requirements, offers advanced capabilities for users, and as a result, successful operation carryout.

Keywords : Red Dot Sight, Reflection Lens, Parallax Error, Effective Optical Area, Quality Improvement

*Corresponding Author : Ji-Hoon Kim(Defense Agency for Technology and Quality)
email: nobless@dtqa.re.kr

Received August 28, 2019

Accepted November 1, 2019

Revised September 23, 2019

Published November 30, 2019

1. 서론

40 미리 고속유탄기관총용 조준경(이하 조준경)은 40 미리 구경의 유탄을 고속으로 발사할 수 있는 고속유탄 기관총의 양안용 조준경으로 전력지원체계 장비이다.

본 논문에서 설명할 조준경의 구성은 Fig. 1과 같이 크게 상단의 조준경 조립체와 하단의 장착대 조립체, 두 부분으로 이루어져 있다. 그 중 조준경 조립체는 조준점을 생성하고, 사수에 따라 조준점의 위치 조절이 가능하도록 하는 상하 및 좌우 영점조절기가 있다. 장착대 조립체는 사거리에 따른 탄도 보정이 가능하도록 탄도 보정기가 구성되어 있다. 따라서 사수는 표적과의 거리를 탄도 보정기로 설정하고, 표적에 조준점을 일치시켜 사격할 수 있다.



Fig. 1. Red dot sight configuration

고속유탄기관총은 가늌자로 사 거리에 따라 표적을 조준한 뒤 사격하였다. 하지만 조준경의 개발로 사수는 식별된 표적에 대해 사거리를 설정하고 조준점과 표적을 일치시켜 사격하면 된다. 기존 방식의 사격은 사수의 경험에 따라 명중률이 좌우되었지만, 조준경을 사용하면 사수의 경험적인 부분이 많이 줄어들게 된다. 따라서 누가 사격을 하더라도 조준경을 이용하면 신속하고 정확한 사격이 가능하게 되었다. 실제 사격을 통해 확인한 결과 훈련된 사수가 가늌자로 조준하여 사격 할 때 보다 조준경으로 조준하여 사격하였을 때, 12.5 % 정도 명중률이 향상됨을 확인하였다.

본 논문에서 소개할 품질개선 품목은 조준경의 구성요소 중 Fig. 1의 조준경 조립체 상단부에 보이는 반사렌즈 조립체이다. 표적을 조준점으로 조준할 때, 어떠한 조건에서도 조준점이 표적을 정확하게 조준하면 이상적이겠지만, 실제로는 사수의 눈 위치에 따라 조준점이 조금씩 움직이는 시차가 발생한다. 조준경 조립체의 반사렌즈조

립체 유효광학면적 안에서는 시차가 크게 발생하지 않으나, 유효광학면적 밖에서 800 m의 표적을 조준하였을 때, 시차에 의해 표적 대비 조준점이 움직이는 각도가 9.51 분으로 ± 2.21 m의 조준 오차가 발생하였다. 비록 40 미리 유탄기관총용 조준경의 시차는 유효광학면적 밖에서도 그 값이 규격을 만족하지만, 다른 조준경들과 비교하였을 때, 시차가 다소 큰 값을 나타내어 사용자가 더욱 만족할 수 있는 제품을 공급하고자 품질 개선을 위한 연구를 진행하게 되었다.

본 논문에서는 조준경 반사렌즈의 유효광학면적 밖에서 시차가 비교적 크게 발생한 원인분석을 수행하였다. 그 결과 두 장의 반사렌즈를 하나의 원판에 제조하고 주변 관련 부품들의 형상을 변경하여 시차를 기존대비 평균 60 % 감소시킬 수 있는 방안을 제안하게 되었다. 형상 변경 후 실제 얼마만큼의 시차 개선이 이루어질 수 있는지 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 결과적으로 이번 연구를 통한 개선을 진행하였을 시, 사수가 긴급한 상황에서 조준경의 어느 부분을 통해 표적을 조준하여 사격하더라도 조준 오차가 줄어들도록 개선할 수 있을 것이다. 따라서 단순히 요구사항을 만족하는 제품을 사용자에게 제공하는 것으로 끝나지 않고, 사용자가 더욱 만족할 수 있는 제품을 납품하여, 장비에 대한 만족도 향상과 군의 효과적인 작전 수행이 가능할 것으로 기대된다.

2. 원인분석

유효광학면적 밖에서 시차가 많이 발생하는 원인분석을 위해서는 조준경이 어떤 원리에 의해 표적을 조준하는지에 대한 이해가 필요하다. 품질개선 대상인 조준경은 배율이 없는(1 배율) 광학장비이며, 조준점이 생성되는 반사렌즈조립체의 직경은 약 70 mm이다.

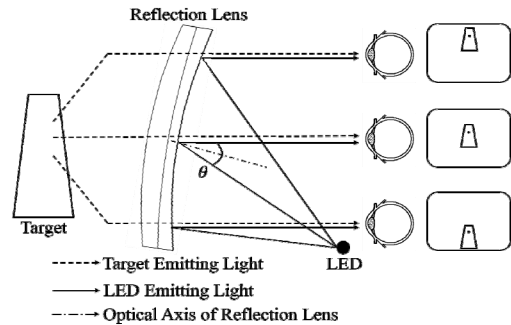


Fig. 2. Principle of Red dot sight

LED 광원에 의해 생성된 조준점은 반사렌즈에 반사되면 Fig. 2와 같이 모두 수평으로 반사된다. 표적에서 반사된 빛(표적발산광선)은 반사렌즈를 투과하여 반사렌즈의 중심축을 통과하는 광선을 제외하고 모두 특정한 각도를 가지게 된다. 이 때, 표적 발산 광선이 반사렌즈에 투과되는 각은 반사렌즈의 반경을 표적까지의 거리로 나눈 값이다. 반사렌즈의 반경은 약 70 mm이고, 표적까지의 거리를 최소 사거리인 200 m라고 하였을 때, 반사각은 거의 0°가 된다. 따라서 표적발산광선은 모두 거의 수평 상태로 반사렌즈를 투과하는 것과 같다. 따라서 LED 조준점이 반사렌즈에 모두 수평으로 반사되고, 표적으로부터 반사되는 빛이 반사렌즈에 모두 수평으로 투과하기 때문에, 사수가 조준경을 통해 표적을 보았을 때는 사수의 눈 위치에 관계없이 표적과 조준점이 겹쳐져 Fig. 2와 같이 항상 표적의 일정한 위치에 존재하게 된다[1].

이러한 성능을 구현하기 위하여 조준경은 LED의 주광선과 조준경 대안부의 중앙에 위치한 사수 눈의 주광선이 반사렌즈의 광축과 반사렌즈에서 만나도록 하고, 이들 사이의 각도(Fig. 2의 θ)를 고려하여 반사렌즈의 광축(Optical Axis) 기울임 각을 절반으로 하여 시차를 최소화하는 방법을 사용하였다[2].

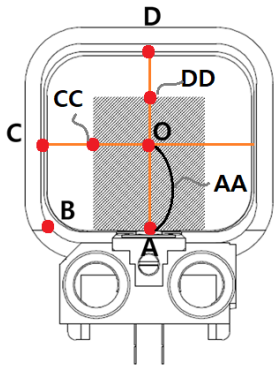


Fig. 3. Front Side of Red Dot Sight

Fig. 3과 같이 사수가 사격 시 주로 바라보는 조준경의 유효광학면을 상하좌우 24 mm의 범위로 설정하였을 때, CC 부분과 DD 부분에서는 5 분 정도의 시차를 가지게 되며, 중심에서 하단부까지의 영역AA에서는 최대 -1.4 분의 시차를 가지는 것으로 Fig. 4와 같이 확인할 수 있다.

시차란 고정된 먼 배경이 존재하는 상황에서 한 물체를 서로 다른 위치의 두 관측자가 관찰했을 때 발생하는 겹보기 위치의 차이 또는 변위이다[3]. 시차를 이해하는

간단한 방법 중의 하나는 하나의 물체를 보고 양 눈을 번갈아가며 떴다 감는 방법이 있다. 물체가 가만히 있음에도 불구하고 물체는 Fig. 5와 같이 마치 좌우로 움직이는 것처럼 보인다. 이는 양 눈이 물체를 다른 각도로 바라보기 때문에 발생하는 현상이다.

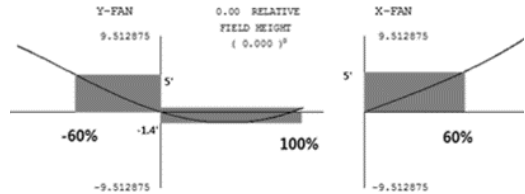


Fig. 4. Parallax Graph of Red Dot Sight

배율이 없는 조준경은 이론적으로 시차가 존재하지 않는다. 하지만 이 경우의 가정은 표적이 조준경으로부터 무한대의 거리에 있다는 것이다. 실제 표적은 조준경과 무한대의 거리에 있지 않으며, 표적발산광선의 반사각이 0°로 근사한다고는 하나, 엄밀히 말하면 반사렌즈의 중심축을 통과하는 광선을 제외한 나머지 광선들은 모두 임의의 각도를 가지고 반사렌즈에 투과된다.

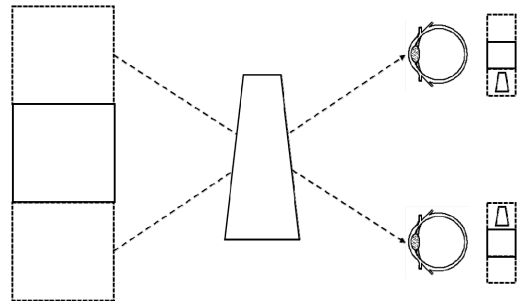


Fig. 5. Example of Parallax

이와 더불어 조준점과 반사렌즈를 투과한 표적의 상(象)이 동일한 평면에 놓이지 않는다는 문제도 있다. 표적의 상이 조준점과 동일한 평면 위에 있지 않으면, 조준점은 허공에 떠있는 것처럼 보이고, 실제 사수의 눈의 움직임에 의해 조준점이 표적에 고정되지 않고 움직이는 것처럼 보이게 된다[4]. 시차로 인해 조준 오류가 발생하기 때문에, 이 시차를 줄이는 기술이 조준경 제조에 필요한 핵심 기술 중 하나이다.

보통 Parallax free로 표기하는 제품들은 시차가 0이 되는 지점을 명시한다[5]. 예를 들어, Parallax free distance를 100 m로 명시하였다면, 100 m 거리에 있

는 표적을 조준경으로 조준하였을 때, 시차가 발생하지 않는다는 의미이다. 조준경의 시차를 계산하기 위해 시물 레이션 프로그램을 활용해야 하나, 다음의 식을 통해 근사적으로 조준경의 시차를 계산할 수 있다.

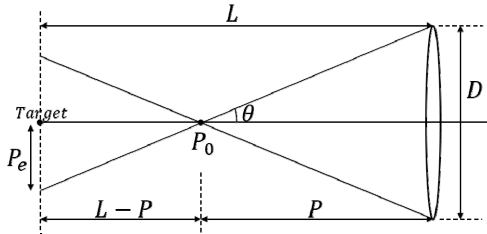


Fig. 6. Picture for Parallax Equation

반사렌즈의 직경을 D 라 하고, 사수로부터 표적까지의 거리를 L , Parallax free 지점을 P_0 , Parallax free distance를 P , 시차를 P_e 라고 하면, 시차 P_e 는 다음 식에 의해 계산할 수 있다. 수식에 대한 이해를 돕기 위해 Fig. 6을 참고하면 된다.

$$P_e(mm) = (L - P) \times \tan \theta$$

$$= (L - P) \times 0.5 \times D \times P \quad (1)$$

이 때, 시차 P_e 의 단위는 mm이며, 조준경에서 일반적으로 사용하는 단위인 MOA (Minutes Of Angle)로[6] 다음 식에 의해 변환할 수 있다.

$$P_e(MOA) = \frac{P_e(mm)}{L} \times \frac{180 \times 60}{\pi} \quad (2)$$

조준경의 반사렌즈조립체는 LED 광원에 의해 형성된 조준점이 수평으로 반사되어 사수에게 보일 수 있도록 렌즈 면이 평면이 아닌 곡면이다. 따라서 조준경의 시차는 반사렌즈조립체의 어느 부분을 통해 표적을 조준하는가에 따라 시차의 정도가 다르게 나타난다.

3. 개선방안

조준경의 설계에 의해 사수가 반사렌즈조립체의 어느 부분을 통해 표적을 조준하느냐에 따라 시차가 발생하는 값이 정해지므로, 반사렌즈조립체의 유효광학면적 밖에서 관찰되는 시차를 줄이기 위해서는 조준경의 기존 광

학계 설계 방법이 아닌, 다른 새로운 광학계의 설계 방법이 필요하다고 판단하였다.

종전에는 광원(LED)의 주광선이 반사렌즈의 광축과 일정한 각도를 가지고 반사되었다면, 개선되는 조준경의 광학계는 광원을 반사렌즈의 광축과 나란하게 배치하도록 수정하였다. 또한 조준경 대안부 입의 위치에 있는 사수 눈의 주광선 방향과 반사렌즈의 광축이 평행하도록 제한조건을 두기 위해 Merit function을 활용하여 광학계 전체를 최적화 하였다. 이 때, 사용하고자 하는 반사렌즈의 영역은 광원과 반사렌즈 하우징의 배치에 따라 Fig. 7의 전체 반사렌즈 원판의 영역에서 적절한 부분을 취하여 사용하면 된다.

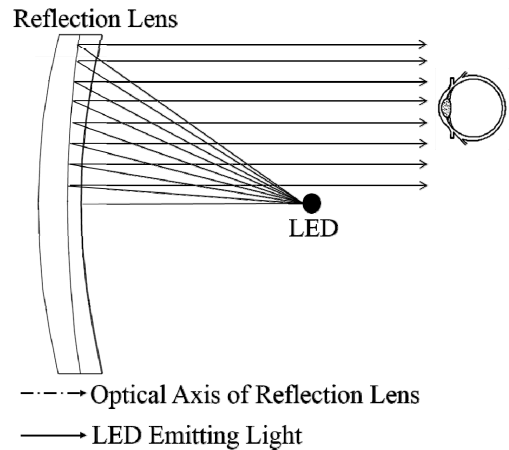


Fig. 7. New Design of Optical System

새 광학계를 적용한 조준경의 수평방향과 수직방향의 시차를 보여주는 유효광선 수차도를 Fig. 8에 나타내었다. 반사렌즈조립체의 유효광학면을 상하좌우 24 mm로 제한한 경우에 조준경의 시차가 5 분 이하이지만, 새로운 광학계에서는 반사렌즈조립체 전 영역에서 시차가 1.5 분 이하로 발생한다.

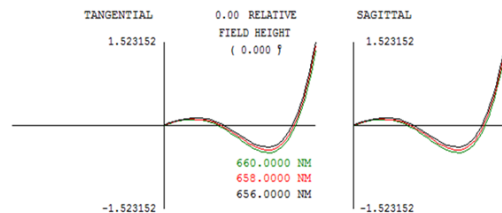


Fig. 8. Parallax Graph of New Design

개선방안을 조준경에 적용하기 위해 LED와 반사렌즈 조립체 하단부 사이의 거리가 약 4.3 mm가 필요하였다. 또한 반사렌즈조립체의 크기는 80 mm × 69.5 mm로 설계하였다.

반사렌즈조립체는 반사렌즈 1과 반사렌즈 2를 직경 91.0 mm의 원판 1 장에 렌즈를 1 장씩 가공하고 2개의 반사렌즈를 접합하여 제작하였으나, 양산 시 사용하는 원소재의 가공효용성을 고려하여 직경 168 mm의 원판에 반사렌즈 1과 반사렌즈 2를 한 번에 가공할 수 있도록 수정하였다.

시차가 개선된 정도를 Table 1에 간단히 정리하였다. Fig. 3의 A 부분은 0.5 분에서 0.1 분으로 시차가 감소하였으며, B 부분은 11 분에서 0.3 분으로, C 부분은 9.5 분에서 0.5 분으로, D 부분은 9 분에서 0.5 분으로 시차가 감소함을 확인할 수 있었다. 다만 정중앙 부분에서는 시차가 발생하지 않도록 설계되었지만, 개선되면서 0.3 분 이하의 시차가 발생하게 되었다.

Table 1. Parallax Improvement of Red Dot Sight

Region	From	To
A	0.5 MOA	0.1 MOA
B	11 MOA	0.3 MOA
C	9.5 MOA	0.5 MOA
D	9 MOA	0.5 MOA
O	0 MOA	0.3 MOA

조준경을 조립하며 발생하는 조립공차 및 기구공차를 포함하였을 때, 시차가 최대 1 분 정도가 추가되더라도 기존 조준경 광학계의 시차보다 훨씬 개선되었다고 할 수 있다.

4. 결론

고속유탄기관총용 조준경은 상황 발생 시 기존의 기성자로 표적을 조준하여 사격하는 것보다 훨씬 신속하면서도 정확한 사격을 통해 임무를 수행할 수 있도록 도움을 주기위해 개발된 전력지원체계이다. 실제 고속유탄기관총의 기존 사격 방식 대비 조준경을 사용했을 때 명중률이 21.4 % 상승하는 효과가 있음이 검증되었다.

다만, 조준경이 반사렌즈조립체의 유효광학면 밖에서

발생하는 시차가 요구조건을 만족하였으나, 다른 조준경들에 비해 발생하는 시차가 크다는 사용자의 의견이 있어, 본 논문에서 품질 개선을 위한 연구를 수행하였다. 조준경의 대당 가격은 약 460 만원으로 결코 적지 않은 금액이며, 군수품의 경우 한 번 구입하면 오랜 기간 사용하는 특성을 고려하여 품질 개선이 필요하다고 판단하였다.

제기된 문제점을 해결함과 동시에 품질을 개선하고자, 원인 분석을 통해 조준경의 기존 광학계 설계법으로는 시차를 개선하기 어려울 것으로 판단하여 광원의 주광선과 반사렌즈의 광축을 일치시키는 새로운 접근법을 적용하여 조준경의 광학계를 새로 설계하였다.

또한 양산성을 고려하여 반사렌즈조립체의 구성품인 반사렌즈 2 장을 하나의 원판에서 가공할 수 있도록 고려하여 품질 개선과 양산성이라는 두 마리 토끼를 동시에 잡을 수 있도록 하였다. 그 결과 반사렌즈조립체의 형상이 다소 수정되었지만, 시차는 기존보다 평균 60 % 줄어들어 유의미한 품질 개선이 가능함을 확인하였다.

품질이란 단순히 요구조건만 만족하면 완성되는 것이 아닌, 고객이 암묵적으로 당연시 여기는 요구조건을 포함하여 더 높은 품질을 가지기 위해 제안하는 부분까지 수용하여야 궁극적으로 고객이 만족하는 품질의 제품을 고객에게 제공할 수 있다. 이러한 목적을 위해 본 연구가 진행되었으며, 고객인 사용자의 의견을 충족시킬 수 있는 방안을 제시할 수 있게 되었다.

본 논문의 결과를 토대로 향후 다른 전력지원체계 또는 무기체계에서 유사한 개선 요구사항이 발생했을 때, 이번 품질 개선 활동의 결과를 참조한다면 훨씬 빠르고 쉬운 원인 분석 및 개선 방안을 수립하는데 도움이 될 것이라 생각한다.

References

- [1] In Jeung, "Dot Sight", Korean Intellectual Property Office 10-0667472, Jan. 2007.
- [2] DongHee Lee, SeungHwan Park, "Development of Dot Sight with 2x Magnification", Journal of Korean Ophthalmic Optics Society, Vol. 17(4), pp. 435-440, Dec. 2012.
- [3] Parallax(Oxford University Press), Available From: <https://www.lexico.com/en/difinition> (accessed June. 20, 2019)
- [4] John B. Butler, "The Reflector Sight", National Rifle Association of America, American Rifleman: Volum 93, pp. 31, 1945.

- [5] Aimpoint's parallax-free, double lens system... [internet], Available From: <https://www.youtube.com/watch?v=UIKH5GLpL5g> (accessed June. 23, 2019)
 - [6] How to use Milliradian-Adjustable Scopes [internet], Available From: <https://www.outdoorhub.com> (accessed June. 26, 2019)
-

김 지 훈(Ji-Hoon Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 전남대학교 전자공학과 (전자공학학사)
- 2015년 2월 : 광주과학기술원 정보통신과 (정보통신 석사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 정보통신, 광학

정 보 선(Bo-Sun Jeung)

[정회원]



- 2013년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
- 2015년 8월 : 극동대학교 에너지반도체공학전공 (공학석사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 주식회사 동인광학 기술연구소 선임연구원

<관심분야>

전자광학, 레이저