

## 적외선 감지 자동격발장치의 설계

홍성한\*(고려대 대학원 기계공학과), 김권혁(고려대 기계공학과)

### Design of an Automatic Target Sensing and Triggering System

S. H. Hong (Mech. Eng. Dept., Korea Univ.), K. H. Kim (Mech. Eng. Dept., Korea Univ.)

#### ABSTRACT

An automatic target sensing and triggering system for small fire arms is proposed. The system consists of an optical collector, an infrared ray sensor responsive to human body temperature, an electric actuator and a trigger mechanism. TRIZ methodologies are used to develop solutions to several contradictory problems. Experimental results on the system performance is compared with predictions.

**Key Words** : automatic trigger mechanism (자동격발장치), fire control (사격통제), fire arm (화기), Infrared ray (적외선), TRIZ (트리즈)

#### 1. 서론

개인이 휴대하는 직사화기로 목표물을 명중시키기 위해서는 조준선 정렬을 격발 순간까지 유지해야 한다. 개인화기는 사람의 몸에 지지되어 사용되어, 신체의 떨림, 훈련미숙, 심리상태, 주변여건 등으로 조준선 정렬을 유지하지 못해 목표물을 맞지 못하는 경우가 많다. 전장과 같은 급박한 상황에서는 조준선 정렬을 시도조차 하지 못한 채 탄환을 낭비하는 경우도 많이 있다.

각종 광학식 스코프나 레이저 포인터 조준기 등 각종 조준 보조구들이 개발되어있지만 조준선 정렬 유지는 결국 사용자의 능력이나 주변상황 등으로 결정된다. 이러한 문제점 때문에 현대의 소총은 돌격 소총<sup>(1)</sup>이란 개념으로 설계·제작되는데 이것은 탄환을 연속으로 대량 발사하여 목표물에 탄환이 맞을 확률을 높게 한 것으로 정밀한 조준선정렬 유지를 요구하지는 않지만 탄환의 낭비를 초래한다.

전차나 군함 등에 장착된 대형 직사 화포<sup>(2)-(6)</sup>는 레이저나 레이더 등을 이용해 목표물과의 조준선정렬이 완료되면 이동 등으로 화포 자체에 진동이 발생하더라도 자이로 센서 등으로 자동으로 포신의 조준선 정렬을 유지시켜주어 진동 중에도 사격이 가능

한 사격통제시스템이 개발되어 실용화 되어있다. 또한 최근, 이라크에 파견된 한국군은 이지스<sup>(7)</sup>라는 일정범위 안에서 목표물이 감지되면 소총 사격이 가능한 경계용 로봇을 사용하고 있다.

그러나 이러한 사격통제시스템은 대형 및 고가의 장비에만 장착되어 있으며, 대량으로 보유해야 하는 개인화기를 위한 사격통제장치에 대한 연구 및 개발은 거의 없는 실정이다. 따라서 이러한 사격통제장치를 소형·단순화 하여 개인화기의 명중률을 높일 수 있는 자동격발장치의 설계를 제안한다.

#### 2. TRIZ<sup>(8)</sup>를 이용한 1차 개념설계

##### 2.1 기술적 모순

서론에서 언급한 문제점을 기술적 모순 문제로 정의하여 해결책을 유도 하였다.

목표물을 명중시키지 못하는 이유는 조준선 정렬 불량이다. 앞에서 언급한 이유로 충분한 조준시간을 갖지 못하기 때문이다. 안정성 또는 정확성과 시간의 기술적 모순관계로 정의하고 모순 매트릭스를 이용해 다음과 같이 표로 정리 하였다.

Table 1 Technical contradiction of shooting period

개선되는 변수	악화되는 변수	40가지 발명원리
28. 측정의 정확성	25. 시간의 손실	34,24,28,32
28. 측정의 정확성	9. 속도	28,13,32,24
13. 구성의 안정성	9. 속도	33,15,28,18
13. 구성의 안정성	25. 시간의 손실	35,27
27. 신뢰성	9. 속도	21,35,11,28
27. 신뢰성	25. 시간의 손실	10,30,4
27. 신뢰성	30. 외부로부터 객체에 작용하는 유해한 요인	27,35,2,4
28. 측정의 정확성	30. 외부로부터 객체에 작용하는 유해한 요인	28,24,22,26
13. 구성의 안정성	30. 외부로부터 객체에 작용하는 유해한 요인	35,24,30,18

제시된 발명원리들의 빈도수를 보면

Table 2 Frequency of 40 principles

빈도	40가지 발명원리
5회	28. 기계시스템의 대체
4회	24. 중간매개물
2회	35. 특성변형
	32. 색깔변화
	27. 일회용품
	30. 유연한 막이나 필름
	18. 진동

제시된 발명원리 중 5회 언급된 28번, 4회 언급된 24번, 2회 언급된 35번, 32번에서 문제해결의 힌트를 얻었다.

28. 기계시스템의 대체

c. 장을 다음과 같이 대체한다.

③ 불규칙한 장을 체계적인 장으로

35. 특성변형

a. 시스템의 물리적 상태를 변화 시킨다

⇒ 인체 의존도가 높아 불안정한 조준선정렬 - 격발의 과정을 기계화를 통해 안정화 한다.

24. 중간매개물

a. 작용을 수행하거나 전달하기 위해 중간 매개체를 사용한다.

32. 색깔변화

c. 관찰하기 어려운 객체나 프로세스를 관찰

하기 위해 유색 첨가물을 사용 한다

d. 만약 그런 첨가물이 이미 사용되고 있다면 발광추적이나 추적원자를 이용한다.

⇒ 가시광선 - 육안의 관계를 다른 기계적으로 전환 가능한 감지장치로 대체한다.

2.2 물질 - 장 해석

기술적 모순을 이용한 해결책은 구체적인 대안을 생각하기에는 포괄적이기 때문에 보다 구체적인 대안을 찾기 위해 사격시스템에 대하여 물질 - 장 해석을 하였다.

2.2.1 일반적인 사격시스템

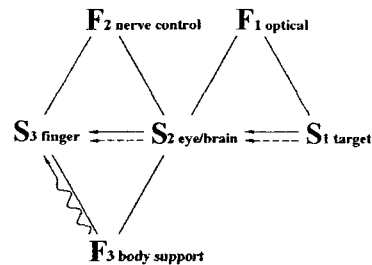


Fig. 1 Substance-field analysis of gunfire

가시광선 장(F<sub>1</sub>)에서 목표물(S<sub>1</sub>)을 육안(S<sub>2</sub>)으로 확인하게 되면 두뇌(F<sub>2</sub>) 및 신체(F<sub>3</sub>)장에서 조준선 정렬을 한 후 손가락(S<sub>3</sub>)을 움직여 방아쇠를 당기게 된다. 이때 목표물을 육안으로 확인할 때 목표물까지의 거리, 주변의 밝기, 은폐물 유무 등의 영향을 받아서 조준선 정렬의 영향을 준다. 또한, 총은 신체에 지지 되는데 신체에서 떨림이 발생하여 조준선 정렬이 흐트러지면 방아쇠를 격발시키는 시간이 지체되거나 격발하더라도 명중되지 못할 확률이 높아진다.

2.2.2 조준보조기를 장착한 사격 시스템

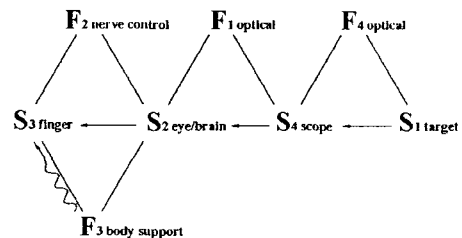


Fig. 2 Substance-field analysis of gunfire with a scope

S<sub>4</sub> 조준보조기는 조준선 정렬 시간 단축에만 도움을 주고 F<sub>3</sub>의 유해작용, 즉 신체의 떨림에는 아무

런 도움이 되지 못한다. 이때 따라서, 앞에서 먼저 행한 모순해석의 해결책을 참고로 다음과 같은 대안을 도출 할 수 있었다.

### 2.2.3 대안 사격 시스템

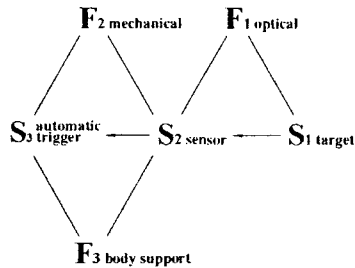


Fig. 3 Substance-field analysis of firecontrol system

$F_2$ 를 신경계장에서 기계장으로 전환하여  $S_2$ 를 기계장에서 사용할 수 있도록 전기에너지로 변환 가능한 센서로 대체하고  $S_3$ 를 기계로 대체하여  $F_3$ 의 유해 작용을 차단한다.

### 2.3 1차 개념설계안

절대온도 이상의 모든 물체는 각각 고유파장의 적외선을 방출한다. 따라서 사람이 방출하는 적외선을 감지하여 작동하는 시스템을 설계한다. 전체 시스템은 적외선 감지부와 자동 격발부로 크게 두 부분으로 나누었다. 적외선 감지부에서는 목표물에서 발산하는 적외선을 센서로 감지함과 동시에 조준선 정렬을 완료하고 자동격발부에서는 신체 떨림의 영향을 받기 전에 격발한다. 그러므로 전체 과정시간이 줄게 되어 처음 모순해석에서 언급한 기술적 모순관계인 안정성/정확성 - 시간의 모순 관계를 해소할 수 있다.

## 3. 2차 개념설계

### 3.1 적외선 감지부

#### 3.1.1 개요

별도의 냉각장치가 필요 없고 가격이 저렴한 열형 적외선 센서를 이용한 방법용 인체감지 장치를 사용하였다. 유효감지거리는 20m 이고 감지각은 수평방향 12.6°, 수직방향 8°이다. 조준용으로 사용하기에는 감지각이 크기 때문에 감지각을 줄여야 한다. 기존의 프레넬(fresnel) 렌즈 앞에 경통을 설치하는 방식을 택하였다.

#### 3.1.2 경통의 물리적 모순

경통은 센서로 방사되는 광선의 방향성을 조절하는 광학적 가이드이다. 길이에 비해 직경이 작아야

감지각을 줄일 수 있다. 그러나 경통을 설치하게 되면 광량이 줄어 감지 거리는 줄어들게 된다. 따라서 감지거리 감소를 최소화하기 위해서는 직경이 큰 경통을 사용해야 한다. 경통의 직경이 크면서 감지범위를 보장받기 위해서는 경통의 길이가 상당히 길어져야 한다. 그러나 경통의 길이는 현실적으로 제한을 받게 되므로 경통의 직경은 작으면서 동시에 커야 센서의 성능을 보장하는 물리적 모순관계가 발생한다. 따라서 이 모순관계의 해결방법으로 물리적모순의 4가지 해결방법 중 [부분과 전체의 분리]기법을 적용하였다. 즉 작은 직경의 경통을 다발로 묶어서 사용하는 것이다. 경통의 직경이 작으므로 감지정밀도를 높일 수 있으며 프레넬렌즈 면적에 수용 가능한 다발을 사용하므로 광량을 증가시켜 감지거리 또한 확보할 수 있다.

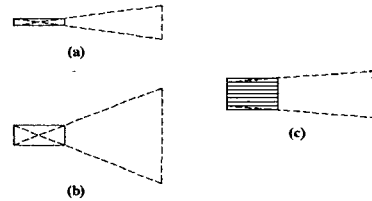


Fig. 4 Sensing angle and optical guide geometry

(a) Small angle with a slender guide

(b) Large angle with a stubby guide

(c) Small angle with combined slender guides

### 3.2 자동격발부

야전에서 휴대하기 간편한 소형 배터리를 센서와 액추에이터의 전원으로 사용하였으며 액추에이터로 응답 시간이 빠른 솔레노이드를 선정하였다. 그리고 수동으로 스프링을 압축해 에너지를 저장한 후 센서의 감지신호에 따라 솔레노이드를 작동시켜 스프링을 단계적으로 풀어서 에너지가 방출 될 때 마다 방아쇠를 격발하는 방식을 취해 배터리의 수명을 최대화 하였다.

### 3.3 전체 개념도

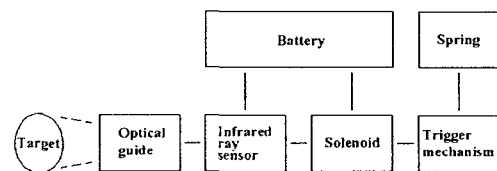


Fig. 5 Construction of the mechanism

## 4. 상세설계

경통을 통해 들어온 적외선을 센서가 감지하면 회로가 솔레노이드를 구동시켜 스프링 잠금장치가 해제된다. 압축된 스프링이 복원되는 힘으로 기어트레인을 포함하는 플라이휠이 가동되어 격발이 이루어진다.

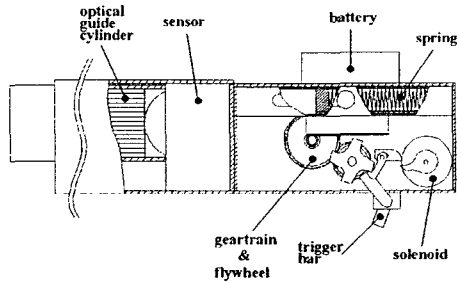


Fig. 6 Automatic target sensing and triggering mechanism

## 5. 실험

### 5.1 감지거리 측정

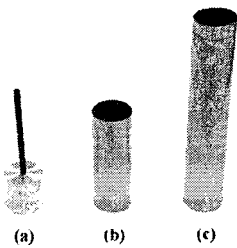


Fig. 7 Optical guide cylinders used for experiments

- (a) Single tube on an adapter
- (b) Tubes combined into a cylinder
- (c) Tubes combined into an extended cylinder

Fig. 6에 보인 3가지 경통으로 인간표적에 대한 감지거리를 측정하였다. 경통의 내부는 적외선의 반사광이 입사되는 것을 막기 위해 검은색으로 착색하였다. Table 3에 각 경통의 치수, 소재와 함께 감지거리를 정리하였다.

Table 3 Dimension, material and sensing distance of optical guide cylinder

	Tube dimension(mm)		Diameter / length ratio	Numbers of tube in cylinder	Material	Sensing distance (m)
	Diameter	length				
Cylinder (a)	4.2	182	0.023	1	Aluminum	8
Cylinder (b)	3	130	0.023	162	Poly-propylene	23.6
Cylinder (c)	2.7	250	0.011	231	Stainless steel	18

경통(a)와 경통(b)의 감지거리를 비교해 보면 같은 직경/길이 비를 가지나 경통(b)의 감지거리가 경통(a)보다 약 3배의 감지거리를 갖는다. 즉 단일경통보다 다발경통이 월등히 우수한 감지거리를 갖는다.

(b)와 (c)를 보면 같은 다발경통의 경우에도 길이/직경비가 작으면 감지거리도 작아지는 것을 알 수 있었다.

### 5.2 감지각 측정

센서는 고정된 상태에서, 8m떨어진 곳에서 길이 840mm, 내경 65mm, 외경 70mm인 아크릴 파이프에 35°C의 온수를 넣은 파이프를 수평, 수직, 45°, 135°로 놓고 종이위에서 움직여 Fig.6의 경통(b)와 (c)의 감지범위를 측정, 감지각을 계산하여 Table 4에 정리하였다.

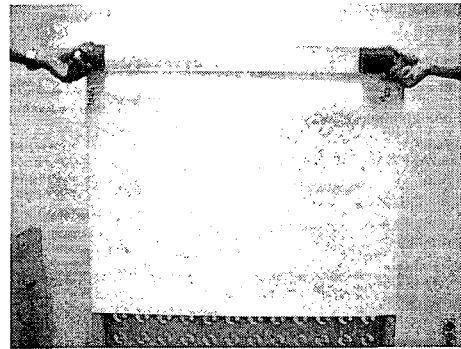


Fig. 8 Sensing angle measurement for the sensor

Table 4 Sensing angles

	sensing angle(deg.)	
	Estimated	Experimental
Cylinder (b)	2.64	2.05
Cylinder (c)	1.24	1.30

### 5.3 작동시간 측정

Table 5에서와 같이 세부부분으로 나누어 오실로스코프를 사용하여 작동시간을 측정하였다.

Table 5 Time delay in target sensing and trigger operation sequence

Operation sequence	time delay (ms)
Sensor activation	131
Solenoid activation	4
Trigger mechanism activation	21
Total time delay	156

### 5.4 총열 흔들림각 측정

총열에 자이로 센서를 부착하여 서서좌 자세에서 총열의 진동 각속도를 측정하였다

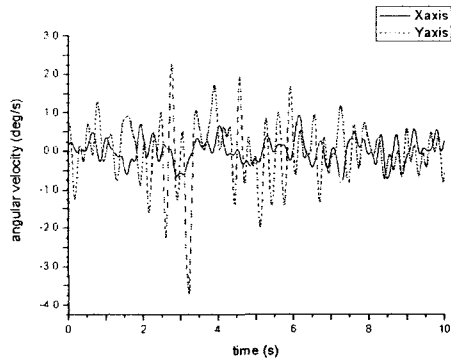


Fig. 9 Angular velocity of a gun barrel supported by a human body

X축의 최대 각속도는  $-1.0 \text{ deg/s}$ , Y축의 최대 각속도는  $-3.75 \text{ deg/s}$  로 측정 되었다. 이에 따른 보정치는 수평, 수직방향에 대하여 다음과 같이 구할 수 있으며 Table 6에 정리하였다.

$$\Delta\theta = w_{\max} \cdot \Delta t$$

where  $\Delta\theta$  - Sensing angle adjustment

$w_{\max}$  - Maximum angular velocity of gun barrel

$\Delta t$  - Operating time of the mechanism

Table 6 Sensing angle adjustment for gun barrel tremor

	Horizontal (deg)	Vertical (deg)
gun barrel tremulant angle	0.156	0.585

### 5.5 사격시 센서 감지각

5.2항의 Table 4의 실험치와 5.4항의 Table 6의 측정치를 더함으로 최종적으로 사격시 센서 감지각을 구할 수 있다.

Table 7 Sensing angle for gunfire

	Horizontal (deg)	Vertical (deg)
Cylinder (b)	2.05	2.64
Cylinder (c)	1.46	1.89

Table 7의 값은 사격시 센서에서 감지하는 감지각으로 이상적인 총의 경우는 탄착군이 이 범위 안에서 생성이 된다.

### 5.6 결과

센서 앞에 다발 경통을 설치함으로 감지거리의 감소를 최소화 하면서 감지범위를 효과적으로 줄일 수 있었다. 그리고 직경/길이의 비를 작게 함으로 더욱 감지 범위를 줄일 수 있었다.

### 6. 결론

TRIZ를 이용하여 개인화기에 장착 가능한 조준 및 격발의 자동화 메커니즘 개념설계를 할 수 있었다. 그리고 센서의 감지거리와 감지범위를 결정하는 경통 설계에 대한 현실적 해결책을 제시함으로 개념설계를 구체화 할 수 있었다.

개인화기에 자동조준 격발기를 장착함으로 명중률이 높아지고 탄환 휴대량이 상대적으로 늘어나는 효과가 있으므로 탄환절약 및 각 군인 개인의 전투력 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대 된다.

제안한 다발경통의 성능을 극대화하기 위해서는 경통의 내경을 극소화해야 하는데, 이는 경통의 수를 증가시켜 각 경통의 벽이 빛의 입사를 막게 되어 센서의 감도를 떨어트리게 된다. 감지각의 정밀화는 어느 정도 수준에 도달하게 되면 한계에 도달 하게 된다. 그러므로 차후에는 이 한계를 극복할 수 있는 연구가 필요하다.

### 참고문헌

1. <http://www.quarry.nildram.co.uk/Assault.htm>
2. Armstrong, "Workpiece Alignment System" U.S patent No. 457530, 1986
3. Greene, "Autonomous Weapon System" U.S Patent Application Publication No. US 2004 / 0050240 A1, 2004
4. Margalit, Kolton, "Fire Control Method and System" U.S Patent Application Publication No. US 2004 / 0065189 A1, 2004
5. Solomon, "System, Methods and Apparatus for Coordination of and Targeting for Mobile Robotic Vechiles" U.S. Patent Application Publication No. US 2004 / 0068415 A1 2004
6. Lin, McCall "Method and System for Pointing and Stabilizing a Device" U.S. Patent Application Publication No. US 2003 / 0105588 A1, 2003
7. <http://dodaam.com/product/c4i/aegis.html>
8. 김효준, 정진하, 권정희, "Theory of Inventive Problem Solving TRIZ 생각의 창의성", 도서출판 지혜, 2004