

# 휴먼 제어시스템의 입력형성기 설계

## Input Shaping Design for Human Control System

이석재\*, 유준\*\*  
(Seok-Jae Lee, Joon Lyou)

**Abstract** - To get the robust and reliable input command, we designed shaping function for target tracking system with commander's handle. Input signals of the commander's handle are generated by human operator. It is response of the human to reduce the error between target and gun. But, tracking error while operator aim a moving target manually gives poor system performance. Input noise, particularly, affects hit accuracy as the system performance. We proposed the design method of input command shaping to reduce the input noise and to improve the operation ability and convenience. We performed the experiments with combat vehicle, example of Target Tracking System, to show the proposed method is efficient and practical.

**Key Words** : Human modeling(휴먼 모델링), Input shaping(입력 형성), Target tracking(목표물 추적)

### 1. 서론

표적을 탐지하고 추적하는 시스템의 운용자는 탄의 명중률을 높이기 위해 구동장치가 표적을 정확히 추적하고 조준하도록 구동하여야 한다. 그림 1과 같은 표적추적용 구동시스템의 구동명령은 크게 두가지로 구분된다. 먼저 대공표적과 같이 표적의 속도가 빠른 경우 자동추적장치를 보유하여 자동추적장치로부터 구동명령이 생성되는 경우이다. 이 경우 시스템의 운용자는 표적을 탐지 및 식별의 임무가 주어지며 표적의 명중률에 직접적인 영향을 미치는 추적 및 조준명령은 자동추적장치에서 생성된다. 다른 한가지 방법은 지상표적과 같이 표적의 속도가 느리고 시스템을 저가로 구성시 사용하는 방법으로 표적의 획득부터 사격시까지 표적의 추적과 구동명령이 운용자의 수동운용으로 이루어지는 경우이다. 대부분의 지상전투차량은 지상표적을 목표로 설계되며 두 번째의 경우와 같이 운용자의 표적추적 명령에 의존하여 시스템의 성능이 결정되어진다. 따라서 수동운용시 운용자의 추적 오차와 차량의 외란에 의한 구동명령의 영향을 개선시킴으로써 명중률과 운용성을 높이고자 많은 노력을 하고있다.[1]

휴먼 운용자 또는 명령자에 의한 표적추적시스템의 입력명령은 항상 휴먼오차와 함께 운용잡음을 내포하고 있으며, 이동표적을 수동으로 추적할때는 추적오차까지 더해져서 사격명중률과 같은 시스템 성능에 더욱 큰 악영향을 주고있다. 따라서, 구동시스템은 차량이 기동간에도 포와 포탑의 안정화

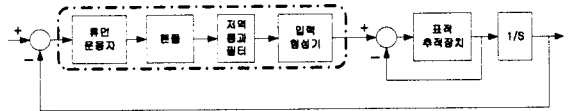


그림 1. 수동 표적추적장치의 입력형성기

를 수행하게된다.[2] 또한, 시간지연과 같은 휴먼 운용자 오차와 차량의 진동과 같은 운용잡음을 고려하여 입력명령을 생성하여야 한다. 표적추적시스템에서 명령자의 입력신호는 수동행들의 회전각도에 대한 추적을 위한 구동속도명령으로 형성된다. 즉, 입력신호를 생성하는 함수적 입력형성기가 수동행들의 기구적 위치값에 대한 속도명령을 만들게 된다.[3]

본 논문에서는 수동운용 표적추적시스템이 강인성과 운용편의성을 개선하여 표적추적과 사격명중률과 같은 시스템의 성능을 개선시키도록 하는 입력형성기 설계기법을 제안하고자 한다. 먼저, 휴먼 운용자 오차모델을 실험적으로 설정하여 운용자에 의한 시간지연과 같은 오차요소를 입력형성기 설계에 반영하였다. 다음으로, 입력형성기를 함수적 곡선으로 설정하여 시스템의 특성과 요구조건에 따라 파라미터를 해석적으로 설계하도록 하였다. 끝으로, 수동 표적추적시스템의 대표적인 예로 전투차량의 포구동 추적장치에 제안한 입력형성기를 적용하여 운용편의성의 증대와 시스템 성능향상을 실험적으로 입증하였다.

### 저자 소개

- \* 이석재 : 國防科學研究所 先任研究員
- \*\* 유준 : 忠南大學敎 電子工學科 敎授 · 工博

### 2. 입력명령 형성기 설계

#### 2.1 운용자 모델[4, 5]

수동 표적추적시스템에서 휴먼 운용자는 그림 2와 같이 세 어기의 일부로 시각 추적과 팔 동특성으로 구분하여 모델링

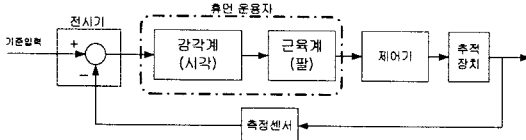


그림 2. 휴먼 운용자 모델

할 수 있다.[4] 수동표적추적장치에서 휴먼 운용자 모델의 감각계는 시각추적요소, 근육계는 2차의 팔 근육모델로 각각 식(2.1)과 식(2.2)로 모델링된다.

$$\frac{b_{hv}s + k_{hv}}{1} \quad (2.1)$$

$$\frac{1}{m_h s^2 + b_h s + k_h} \quad (2.2)$$

여기서

$b_{hv}, k_{hv}$  : 시각추적의 댐핑과 강도

$m_h, b_h, k_h$  : 질량, 댐핑, 스프링 계수

## 2.2 핸들 입력형성기

운용자는 시각적으로 추적대상의 표적을 인식한후 수동 핸들의 조작을 통하여 표적추적장치에 구동명령을 생성한다. 핸들의 기구적인 조항에 의해 발생하는 각도변화 신호는 적당한 입력형성기를 통하여 구동장치에 전달되어야 한다. 그것은 차량의 진동과 같은 외란의 영향이 시스템의 운용모드에 따라 운용자가 최적의 성능과 안정성을 발휘하도록 추적 구동명령을 생성하기 위함이다. 시스템의 운용모드는 지상 전투차량의 경우 표적을 탐지한 후 표적의 이동에 따라 추적하고 최종적으로 조준사격을 통하여 탄이 표적에 명중하는 일련의 운용 시퀀스를 가진다. 이때 운용자는 각 단계별로 표적의 이동특성에 따라 수동추적시스템에 주는 명령의 특성이 달라야 한다. 즉, 핸들을 통한 수동표적추적장치의 입력형성기는 운용단계별로 다음과 같은 함수적 설계가 가능하다.

### 1) 운용단계 결정

수동 표적추적장치의 휴먼 운용자가 수행하는 임무단계를 그림3과 같이 두고 입력형성기 함수곡선의 구간(zone)을 결정한다.

### 2) 입력형성기 함수곡선의 변수정의

N : 운용모드 또는 운용단계의 수

A : 수동핸들의 최대 조작가능 각도

B : 표적추적장치에서 최대 구동속도

$a_n$  : n번째점에서 A에 대한 핸들조작 각도의 백분율

여기서  $n = 0, 1, 2, \dots, N$

$b_n$  : n번째점에서 B에 대한 표적추적명령의 백분율

여기서  $n = 0, 1, 2, \dots, N$

x : 핸들의 각도,  $0 \leq x \leq A$

y : 표적추적 속도명령,  $0 \leq y \leq B$

n번째 운용점  $(x, y) = (X_n, Y_n)$

여기서  $n = 0, 1, 2, \dots, N$

0번째 운용점  $(x, y) = (0, 0)$

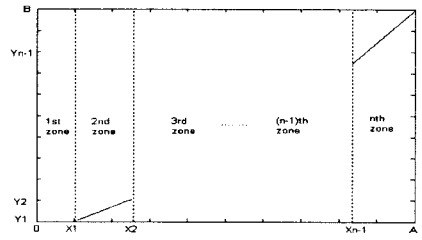


그림 3. 입력형성기의 함수 구간

### 3) 입력형성기 함수

n-1 단계(운용점 n-1에서 운용점 n까지 구간)에서 핸들의 조작각도(x)에 대한 추적속도명령(y)는 다음과 같다.

$$y = (45/A) * (b_n - b_{n-1}) * (x - A * a_{n-1} / 100) / (a_n - a_{n-1}) + 0.45 * b_{n-1}, \quad A * a_{n-1} / 100 \leq x \leq A * a_n / 100 \quad (2.3)$$

여기서,  $y = 0$  and  $0 \leq x \leq A * a_1 / 100$  at Step 1

### 4) 함수의 변수 결정

N : 수동 표적추적장치의 운용방법으로 결정

예) 표적탐지, 이동표적의 추적, 사격등의 운용단계

A : 수동핸들의 기계적 제한에 따라 결정

B : 표적추적장치에서 요구하는 최대 구동속도

$a_n$  : 운용자의 편의성을 고려한 핸들의 각도 구간설정

예) 차량진동, 손 떨림등의 외란 및 잡음특성

$b_n$  : 시스템의 요구성능에 따라 속도명령구간 설정

예) 표적의 최대이동속도(최대추적속도)등

## 3. 모의실험결과

앞장의 휴먼 운용자를 위한 입력 형성기 설계결과를 지상 전투차량에 적용하여 제안한 설계기법에 대한 효용성과 실 시스템에서 성능을 모의실험을 통하여 입증하였다.

### 3.1 시스템 구성

지상전투차량은 주로 지상표적을 탐지 및 추적하며, 수동 표적추적시스템은 그림4와 같이 구성된다. 운용자는 조준경으로부터 획득한 표적의 정보를 이용하여 핸들을 조작하고 입력형성기를 거쳐 포 구동장치는 표적을 추적한다.

### 3.2 운용자 모델[5]

휴먼 운용자에 대한 모델은 핸들의 기구적 특성과 운용자 시각 및 팔 근육에 대한 실험적 모델로 (3.1)식과 같이 구해진다.

$$\frac{b_{hv}s + k_{hv}}{m_h s^2 + b_h s + k_h} \cong \frac{0.072s + 0.15}{0.1s^2} \quad (3.1)$$

### 3.3 핸들 입력형성기

입력형성기의 함수적 표현을 (2.3)식과 같이 두었을 때 그림4의 수동 표적추적시스템은 표적탐지 및 추적의 단계(Tracking zone), 사격을 위한 미세구동 구간(Fire zone), 차량진동 및 운용자에 의한 잡음특성을 고려한 무반응구간(Dead zone)의 3가지 운용단계로 나누어진다.

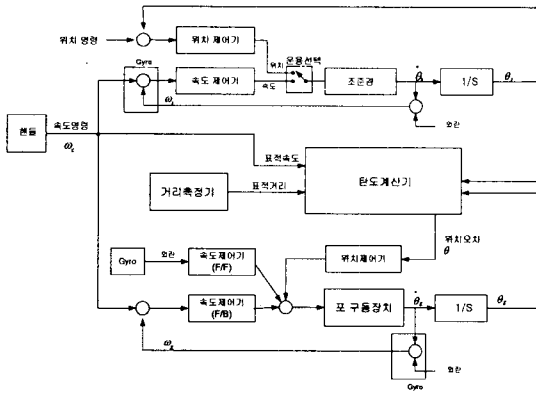


그림 4. 수동 표적추적장치의 구성도

첫 번째 무반응 구간(Dead zone)은 차량의 외란과 핸들의 떨림과 같은 잡음, 그리고 시스템의 최소 구동속도를 고려하여 핸들의 각도변화에도 구동명령이 출력되지 않는 구간이다. 이 구간이 적을 경우 운용자는 차량의 흔들림으로부터 안정화되는 범위가 민감하여 오명령을 발생시킬 수 있다. 그러나 무반응구간이 너무 크게 설정될 경우 시스템의 반응속도가 늦고 저주파대역의 구동성능이 저하될 수 있다. 두 번째의 사격구간(Fire zone)은 구동장치의 안정화 성능과 탄의 명중률을 고려하여 운용자가 목표점을 조준한 상태에서 사격이 행해지는 구간으로 이동표적의 경우 미세한 표적추적과 함께 수행된다. 마지막으로 표적의 타지 및 추적구간(Tracking zone)은 운용자의 시각획득범위(조준경 시계)와 표적추적장치의 최대구동속도(표적의 최대추적가능 속도)를 고려하여 결정한다.

모의실험에서는 수동 핸들의 기구적 특성과 <표1>과 같은 설계변수를 가지고 수동핸들의 입력형성기를 설계한 결과 <표2>와 같다.

### 3.4 모의시험 결과

<표1>의 실험환경과 <표2>의 설계결과를 이용하여 수동 표적추적시스템의 성능을 모의시험한 결과 <표3>과 같이 핸들 II의 경우 표적추적구간에서의 구동명령의 변화가 크기 때문에 추적오차가 핸들 I의 경우보다 5배정도 크게 나타났다. 즉 입력형성기의 영향이 운용자의 편의성뿐만 아니라 수동표적추적장치의 성능의 개선에 크게 기여함을 보여주고 있다.

## 4. 결 론

기동전투차량의 이동표적 추적성능은 외란과 잡음의 운용 환경에서 추적명령에 크게 좌우한다. 특히 휴먼 운용자에 의한 수동표적추적의 경우 표적을 탐지 및 추적, 최종 사격의 단계에 따라 입력명령의 형성은 더욱 중요하다.

본 논문에서는 수동표적추적장치에 대한 휴먼 운용자의 입력명령형성기를 설계하는 방안을 함수적 변수설정으로 제시하였다. 또한 지상전투차량의 실예를 통하여 3단계 운용모드별 입력형성기 구간을 설정하여, 각 구간별 변수를 설계하고 모의실험을 통하여 제한한 설계방법의 타당성을 보였다.

<표 1> 입력형성기 설계 파라미터(모의실험 예)

파라미터	조 건	값	Units
차량속도	RRC-9 코스 주행	16	Km/h
표적속도	차량전방 횡단	4.44	m/sec
사거리	사격시 표적거리	1200	meter
차량의란	핸들의 최대 외란크기	0.89	RMS

<표 2> 핸들 입력형성기 설계결과

변수	설계치		단위
	핸들 I	핸들 II	
N	3	3	
A	20	24	degree
B	45	45	deg/sec
a <sub>1</sub>	5	5	% degree
a <sub>2</sub>	67	67	% degree
a <sub>3</sub>	100	100	% degree
b <sub>1</sub>	0	0	% deg/sec
b <sub>2</sub>	3	7	% deg/sec
b <sub>3</sub>	100	100	% deg/sec

<표 3> 모의시험결과

구 분	추적오차	비 고
핸들 I	5 mil/sec	구동 안정화 포함
핸들 II	25 mil/sec	"

## 참 고 문 헌

- [1] Y. Bar-Shalom, K.C. Chang, "Tracking a maneuvering target using input estimation versus the interacting multiple model algorithm," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 25, No.2, March 1989.
- [2] Van de Vegte et al, "Teleoperator Control Models : Effects of Time Delay and Imperfect System Knowledge," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 20, No.6, December 1990.
- [3] Brett R. M and Ichiro Watanabe, "Digital Shaping Filters for Reducing Machine Vibration," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.8, No.2, April 1992
- [4] S. Lee & H. S. Lee, "Modeling, Design, and Evaluation of Advanced Teleoperator Control Systems with Short Time Delay," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 9, No.5, October 1993.
- [5] 이석재, 유 준, "운용자 모델링의 영향분석", 한국군사과학기술학회, 2005. 8.30