

수동표적추적장치의 휴먼운용자 모델링 및 입력명령형성기 설계

Human Operator Modeling and Input Command Shaping Design
for Manual Target Tracking System

이 석 재* 유 준**
Lee, Seok-Jae Lyou, Joon

ABSTRACT

A practical method to design the input shaping which generates control command is proposed in this paper. We suggest an experimental technique considering human operator's target tracking error to improve aiming accuracy which significantly affects hit probability. It is known that stabilization performance is one of the most important factors for ground combat vehicle system. In particular, stabilization error of the manual target tracking system mounted on moving vehicle directly affects hit probability. To reduce this error, we applied input command shaping method using preprocessing filtering and functional curve fitting. First of all, we construct the human operator model to consider effects of human operator on our system. Input shaping curve is divided into several regions to get rid of the above problems and to improve the system performance. At example design part, we chose three steps of functional command curve and determine the parameters of the function by the proposed design method. In order to verify the proposed design method, we carried out the experiments with real plant of a fighting vehicle.

주요기술용어(주제어) : Human Modeling(휴먼 모델링), Input Shaping(입력형성), Target Tracking(표적추적), Curve Fitting(곡선적합), Manual Control(수동제어)

1. 머리말

표적을 탐지하고 추적하는 포구동 시스템의 추적정

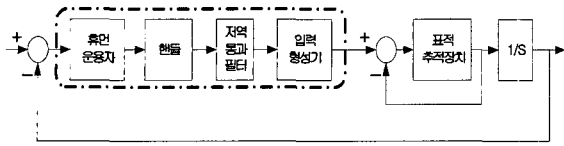
확도를 높이기 위해서는 실패적과 포지향간의 위치오차를 최소화되도록 제어명령을 생성하여야 한다. 이러한 추적장치의 입력명령을 생성하는 방법은 추적장치의 구성에 따라 두가지로 구분할 수 있다. 먼저 대공표적과 같이 표적의 속도가 빠른 경우 자동추적장치를 탐제하여 자동추적장치로부터 구동명령이 생성되는 경우이다. 이 경우 시스템 운용자에게 표적을 탐지 및 식별의 임무가 주어지며 표적의 명중률에 직

† 2006년 11월 20일 접수~2007년 3월 5일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

** 충남대학교(Choongnam National University)

주저자 이메일 : lsj@add.re.kr



[그림 1] 수동 표적추적장치의 입력명령형성기 기능도

접적인 영향을 미치는 추적 및 조준명령은 자동추적 장치에서 생성한다. 다른 한가지 방법은 지상표적과 같이 표적의 속도가 느리고 시스템을 저가로 구성시 사용하는 방법으로 표적의 획득시부터 사격시까지 표적의 추적과 구동명령이 운용자의 수동운용으로 이루어지는 경우이다. 대부분의 지상전투차량은 지상표적을 목표로 설계되며 후자의 경우와 같이 운용자의 표적추적 명령에 의존하여 시스템의 성능이 결정되어진다. 즉, 그림 1과 같은 수동표적추적장치는 휴먼 운용자가 제어기에 포함되는 형태이므로 제어기 설계시 운용자의 실 환경의 영향으로 시스템의 성능저하와 불안정을 유발할 수 있다. 따라서, 제어시스템이 운용자 제어오차에 강인하고, 운용자 동특성을 제어루프에 포함시켜 그 영향을 고려한 제어를 설계하여야 한다^[1]. 실제 많은 수동제어시스템에서 운용자의 추적 오차와 차량의 외란에 의한 구동명령의 영향을 개선 시킴으로써 명중률과 운용성을 높이려는 노력을 하고 있다^[2].

휴먼 운용자 또는 명령자에 의한 표적추적시스템의 입력명령은 항상 휴먼오차와 함께 운용잡음을 내포하고 있으며, 이동표적을 수동으로 추적할 때는 추적오차까지 더해져서 사격명중률로 표현되는 시스템 성능에 더욱 큰 악영향을 주고 있다. 따라서, 표적추적을 위한 구동시스템은 차량이 기동간에도 포와 포탑의 안정화를 요구하고 있다^[3]. 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 생성하게 된다^[4].

본 논문에서는 휴먼 운용자에 의해 제어되는 수동 표적추적시스템이 외란으로부터 강인하고 안정된 추적성을 가지면서 운용편의성을 향상시키는 입력명령

형성기 설계기법을 제안하고자 한다. 먼저, 휴먼 운용자 오차모델을 실험적으로 구성하여 운용자에 의한 시간지연과 같은 오차요소를 입력형성기 설계에 반영하였다. 다음으로, 입력형성기를 함수적 곡선으로 설정하여 시스템의 특성과 요구조건에 따라 파라미터를 해석적으로 설계하도록 하였다. 끝으로, 수동 표적추적시스템의 사례로 전투차량의 포구동 표적추적장치에 제한한 입력형성기를 적용하여 운용편의성과 시스템 성능향상을 전투차량의 포 구동 모델에서 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

2. 휴먼 운용자 모델링

가. 휴먼모델

휴먼 운용자를 포함하는 수동제어시스템에서 순수 운용자를 모델링하는 데는 많은 어려움이 있다. 왜냐하면, 인간의 감각과 운동특성은 운용환경과 운용자에 따라 많은 차이를 가지고 있고, 실제 외란으로 간주되어야 할 요소들이 비선형성을 가지고 있기 때문이다.

1960년대 McRuer에 의해 제안된 Crossover 모델은 전통적인 주파수 해석에 의한 제어기법을 적용한 것으로 구조가 간단하기 때문에 지금까지 널리 이용되고 있다^[5]. 또한, 현대제어이론의 발달로 LQG제어 이론이 적용된 최적제어모델도 제안되었다^[6]. 그러나, 많은 모델링 파라미터를 결정해야 하는 어려움 때문에 S. Lee and H. S. Lee등에 의해 구조적 모델이 소개되었다^[7]. 이 방법은 시각과 되먹임 힘에 의한 추적루프와 인간의 팔에 대한 모델을 분리하여 모델링 하였으며, 시각에 의한 추적과 되먹임 힘이 존재하는 경우로 구분할 수 있고, 신경근육의 동특성도 간략화될수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 제안된 구조적인 모델링 방법 중 순수 시각에 의한 위치 오차의 추적에 대해 모델링을 수행하고, 그 결과를 기존의 crossover 모델과 비교하였다^[8].

1) Crossover 모델^[5]

Crossover 모델은 운용자의 반응특성을 주파수영역에서 간단한 입출력의 관계로 모델링한 것으로 다

음 식 (2.1)과 같이 표현된다.

$$H_c(s) = \frac{K e^{-Ds}}{Ts+1} \quad (2.1)$$

여기서,

K : 입력주파수의 변화로 운용자의 bandwidth 결정

D : 시간영역에서 입력과 출력의 총 시간지연

T : 신경계의 시상수

2) 구조적 모델⁽⁷⁾

구조적 모델은 운용자가 입력에 의한 인위적인 힘을 발생시키는 내부구조와 힘에 비례하여 반응하는 신경근육 및 팔의 동특성 구조로 나누어 모델링되며, 그림 2와 같은 구조를 가진다.

α 를 귀환되는 시각과 힘에 대한 입력조건을 결정하는 가중치로 두면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$f_h = \alpha f_{hv} + (1 - \alpha) f_{hf} \quad (2.2)$$

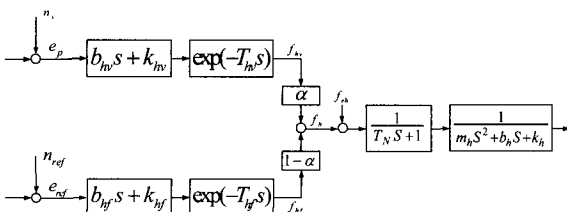
여기서 b_h ·를 댐핑계수, k_h ·를 강성계수라고 하면 시각에 의한 반응 f_{hv} 와 귀환힘에 대한 출력 f_{hf} 는 각각 다음 식 (2.3)과 (2.4)로 표현된다.

$$f_{hv} = b_{hv} \dot{e}_p + k_{hv} e_p \quad (2.3)$$

$$f_{hf} = b_{hf} \dot{e}_{ref} + k_{hf} e_{ref} \quad (2.4)$$

이제 휴먼 감각계의 출력 f_h 에 대한 인간의 팔근육 모델은 다음과 같이 둘 수 있다^[7].

$$f_h + f_{eh} = (T_n s + 1)(m_h s^2 + b_h s + k_h)x \quad (2.5)$$



[그림 2] 구조적 휴먼모델

여기서 f_{eh} 는 팔에 가해지는 외란, x 는 팔 근육에 의한 출력이며 m_h , b_h , k_h 는 각각 질량, 댐핑, 스프링 상수를 의미한다. 또한 신경계의 시간지연 T_n 을 무시할 경우 팔반응 x 는 입력 f_h 에 대하여 2차로 근사화 될 수 있다.

$$x = \frac{1}{(m_h s^2 + b_h s + k_h)} f \quad (2.6)$$

여기서 f 는 근육계에 입력되는 모든 신호의 합이다.

수동 표적추적시스템에서 그림 2의 구조적 모델을 이용하면 휴먼 운용자는 그림 3과 같이 제어기의 일부로 시각 추적과 팔 동특성으로 구분하여 모델링할 수 있다. 즉, 운용자 모델은 식 (2.7)과 식 (2.8)과 같다.

$$\frac{V(s)}{E(s)} = b_v s + k_v \quad (2.7)$$

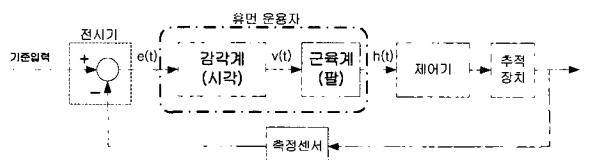
$$\frac{H(s)}{V(s)} = \frac{1}{a_m s^2 + b_m s + k_m} \quad (2.8)$$

여기서, $v(t)$ 는 오차 $e(t)$ 에 대한 시각각계의 출력, $h(t)$ 는 팔 근육의 반응에 의한 출력이며, 시각각에 의한 2차 동특성으로 표현됨을 알 수 있다.

식 (2.7)과 (2.8)로부터 휴먼 운용자의 구조적 모델은 다음과 같이 구해진다.

$$G(s) = \frac{H(s)}{E(s)} = \frac{b_v s + k_v}{a_m s^2 + b_m s + k_m} \quad (2.9)$$

여기서, 입력은 표적의 추적오차에 대한 영상정보이며 출력은 팔 근육에 의한 표적추적명령장치의 출력이다.



[그림 3] 휴먼 운용자 모델

나. 파라미터 식별

식 (2.9)의 파라미터는 해석적인 식별이 어렵기 때문에 주어진 시스템의 환경에서 많은 반복실험을 통하여 주파수 응답특성방법, 시간영역의 LQG 최적화 기법, 그리고 강인성을 고려한 감도함수형성기법등이 있다. 그러나, 수동표적추적시스템의 경우 표적정보나 탄도계산의 오차요소와 차량의 기동외란도 고려해야 하므로, 적응성과 운용성을 동시에 고려하고 실험적 데이터에 상응하도록 운용자 모델링 오차를 최소화 시키는 주파수 응답법을 적용한다. 즉, 휴먼 운용자 특성을 구조적으로 결정하고 실험데이터에 충실한 모델을 완성하는 것이다.

식 (2.9)의 운용자 모델을 일반화된 전달함수 식 (2.10)과 같이 두고, 식 (2.11)의 오차가 최소화되도록 파라미터를 구하면 식 (2.14)의 결과를 도출할 수 있다.

$$H(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (2.10)$$

where, $n \geq m$ and $a_n = 1$

$$\min \|e\| = \min \left\| \frac{G_d(jw)}{G_a(jw)} - \frac{B(jw)}{A(jw)} \right\|^2 \quad (2.11)$$

여기서 $G(jw)$ 는 식 (2.9)로부터 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} G(jw) &= \frac{G_d(jw)}{G_a(jw)} \\ &= \frac{j b_v w + k_v}{-a_m w^2 + j b_m w + k_m} \quad (2.12) \\ &\cong \frac{j b_v w + k_v}{-a_m w^2} \\ &= X \cdot C \end{aligned}$$

$$H(jw) = \frac{B(jw)}{A(jw)} = |H(jw)| \angle H(jw) = H_R + jH_I \quad (2.13)$$

여기서

$$X = \begin{bmatrix} \frac{1}{w^2} & -j \frac{1}{w} \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} -k_v \\ a_m \\ b_v \\ a_m \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$C = \begin{bmatrix} (G_R^T G_R)^{-1} (G_R^T H_R H_R^T G_R) \\ (G_I^T G_I)^{-1} (G_I^T H_I H_I^T G_I) \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

3. 입력명령 형성기 설계

가. 전처리필터의 필요성

운용자는 시각적으로 추적대상의 표적을 인지한 후 수동 핸들의 조작을 통하여 표적추적장치에 구동명령을 생성하도록 한다. 핸들의 기구적인 조향에 의해 발생하는 각도변화 신호는 적당한 입력형성기를 통하여 구동장치에 전달되어야 한다. 그것은 차량의 진동과 같은 외란의 영향이 시스템의 운용모드에 따라 운용자가 최적의 성능과 안정성을 발휘하도록 추적구동명령을 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 수동 추적시스템에 주는 명령의 특성이 달라야 한다. 즉, 핸들을 통한 수동표적추적장치의 입력형성기는 운용 단계별로 다음과 같은 함수적 설계가 가능하다.

나. 함수적 설계 방법

1) 운용단계 결정

수동 표적추적장치의 휴먼 운용자가 수행하는 임무 단계를 그림 4와 같이 두고 입력형성기 함수곡선의 구간(zone)을 결정한다.

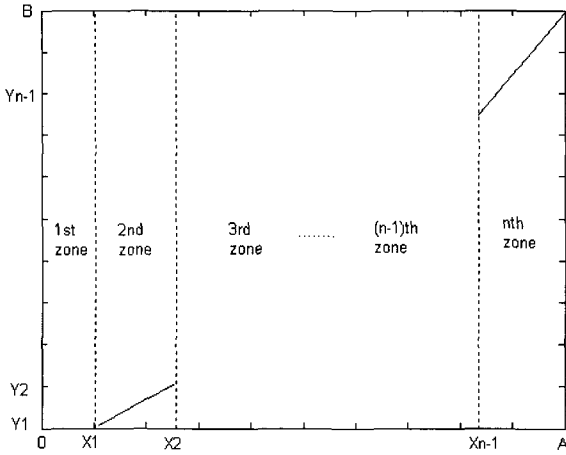
2) 입력형성기 함수곡선의 변수정의

N : 운용모드 또는 운용단계의 수

A : 수동핸들의 최대 조작가능 각도

B : 표적추적장치의 최대 구동속도

a_n : n번점에서 A에 대한 핸들조작 각도의 백분율



[그림 4] 입력형성기의 함수 구간

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 $(x, y) = (0, 0)$

3) 입력형성기 함수

정의된 변수값으로 입력명령을 그림 4와 같은 n-1 단계(운용점 n-1에서 운용점 n까지 구간)에서 핸들의 조작각도(x)에 대한 추적속도명령(y)로 표현하면 식 (3.1)과 식 (3.2)와 같다. 여기서, 함수는 구간별로 비연속성을 가지며 운용모드에 따라 나누어진 영역내에서 선형함수가 되는 것이다.

$$y = \frac{45}{A} * (b_n - b_{n-1}) * \frac{x - A * \frac{a_{n-1}}{100}}{(a_n - a_{n-1})} + 0.45 * b_{n-1} \quad (3.1)$$

$$A * \frac{a_{n-1}}{100} \leq x \leq A * \frac{a_n}{100} \quad (3.2)$$

단, 외란을 고려한 무입력 구간(Dead zone)을 고려 시 첫 번째 영역은 식 (3.3)과 같이 표현된다.

$$y = 0, \quad 0 \leq x \leq A * \frac{a_1}{100} \quad (3.3)$$

4) 함수의 변수 결정

N : 수동 표적추적장치의 운용방법으로 결정
예) 표적탐지, 이동표적의 추적, 사격등의 운용단계

A : 수동핸들의 기계적 제원에 따라 결정

B : 표적추적장치에서 요구하는 최대 구동속도

a_n : 운용자의 편의성을 고려한 핸들의 각도구간
예) 차량진동, 손 떨림등의 외란 및 잡음특성

b_n : 시스템의 요구성능에 따른 속도명령구간
예) 표적의 최대이동속도(최대추적속도)등

다. 곡선적합

입력형성기를 운용조건과 시스템 요구성능에 따라 함수적으로 설계한 결과 그림 4와 같이 n개의 운용구간으로 구분되며, 운용자가 각 구간의 경계영역에 있을 때 입력명령의 과도현상을 발생하게 된다. 따라서 표적추적중에 운용모드가 변경시 나타나는 입력명령의 과도특성을 제거하기위해 설계된 입력형성기에 합수적 곡선적합(curve fitting)을 적용한다.

곡선적합방법은 다음과 같이 입력형성기 함수와 오차 최소법을 이용한 파라미터 적합방법을 사용한다.

적합결과는 RMSE(Root Mean Square Error)의 값으로 판단하며, 설정된 값을 만족하도록 함수의 차수를 조절한다.

$$e_i = f_i - \hat{f}_i$$

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (f_i - \hat{f}_i)^2 : \text{sum of squares error} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial p_i} = 0$$

여기서 p_i 는 적합시키고자 하는 함수의 i번째 매개변수를 나타낸다.

4. 사례연구

앞장의 휴먼 운용자를 위한 입력 형성기 설계결과

를 지상전투차량에 적용하여 제안한 설계기법의 타당성과 효용성과 실 시스템에서 입증하였다.

가. 시스템 구성

지상전투차량은 주로 지상표적을 탐지 및 추적하며, 수동표적추적시스템은 그림 5와 같이 구성된다. 운용자는 표적탐지장치로부터 획득한 표적의 정보를 이용하여 추적명령 입력장치를 통하여 입력명령을 생성한 후표적지향 포구동장치와 표적 탐지장치로 인가한다. 사격통제장치는 표적정보와 운용자 명령을 받고 탄도해를 계산하여 포 구동장치에 구동명령을 내리게 된다.

표적탐지장치는 광학장비로 운용자에게 표적의 위치정보를 주며, 차량의 주행 및 사격외란에 대한 안정화 기능과 열영상의 기능도 가진다.

표적지향 포 구동장치는 운용자의 추적명령과 사격통제장치에서 계산된 탄도해를 기준으로 항상 표적을 명중하도록 구동된다. 또한 자체적으로 차량의 외란에 대한 안정화 기능을 가지며, 방위각과 고각의 독립적인 제어기능을 수행한다.

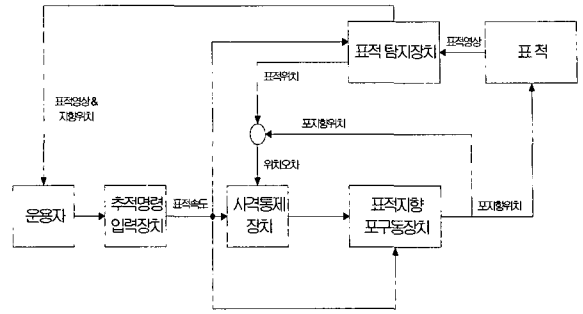
사격통제장치는 표적탐지장치에서 제공하는 표적정보(위치, 거리, 속도추정)로부터 탄도해(초고각, 선도각)를 구하고 표적위치와 포 구동장치의 위치 오차를 실시간으로 계산하여 포의 구동명령을 개선시켜준다. 추적명령 입력장치는 운용자의 시각에서 발생하는 추적오차로부터 근육계가 이 오차를 최소화하도록 추적명령을 발생시키는 장비로 주로 핸들이나 조종간의 형태가 이용된다

나. 운용자 모델링

그림 5의 수동표적추적장치의 입력형성기를 설계하기 위하여 먼저 휴먼 운용자를 모델링하기로 한다. 운용자 모델은 실 전투차량에서 운용자가 명령입력장치로 조종핸들을 가지고 실험 데이터를 측정후 2장에서 논의된 두가지 방법을 적용하여 모델링 파라미터를 각각 결정한다.

1) 실험환경

운용자 모델에 대한 파라미터 식별을 위한 시험은 전투차량을 그림 5와 같이 구성한 다음 운용자의 입



[그림 5] 수동 표적추적장치 구성

출력 데이터를 획득하였다.

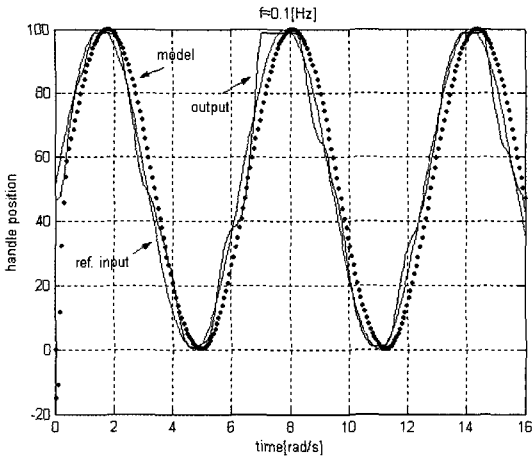
운용자는 표적탐지장치의 전시기에 전시되는 표적과 포지향각을 실시간으로 시각적으로 추적하면서 위치오차가 없도록 핸들을 조작하게 된다. 실험에 사용된 장비는 실 체계와 동일하며, 운용자가 차량에 탑승한 환경에서 추적시험을 하도록 하였다. 주파수역에서 휴먼 운용자의 특성을 모델링하기 위해 미리 주어진 기준입력신호의 크기와 주파수를 변화하면서 운용자의 반응에 의한 핸들의 출력신호를 측정하였다. 핸들의 출력 데이터는 A/D변환기를 이용하여 시험용 데이터 수집기에 측정하였으며, 실 시간으로 운용자 전시기 화면에 동시에 전시하도록 하였다. 2절에서 제시된 운용자 모델링을 위해 기준입력으로 정현파가 인가되었으며, 크기는 좌우 조향 핸들의 운용범위를 고려하여 선형화된 값으로 설정되었다. 시험에 사용된 주파수는 0.1Hz이며, 운용자의 숙련도나 개인특성에 의한 영향을 고려하고자 조종수를 바꾸어 반복 시험하였다.

2) 시험결과

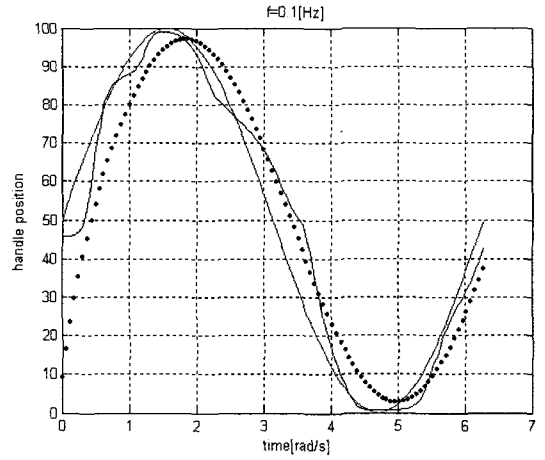
앞의 시험에서 획득된 입출력 데이터로부터 2장의 휴먼 운용자 모델구조에 대한 파라미터값을 식 (2.15)를 이용하여 식별한 결과 표 1과 같은 결과를 얻었다.

[표 1] 구조적 모델의 파라미터 식별결과

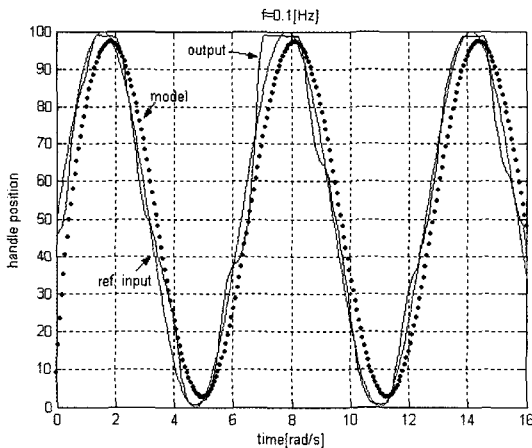
구분	m_n	b_{nv}	k_{nv}
운용자1	0.1	0.02	0.22
운용자2	0.1	0.07	0.15



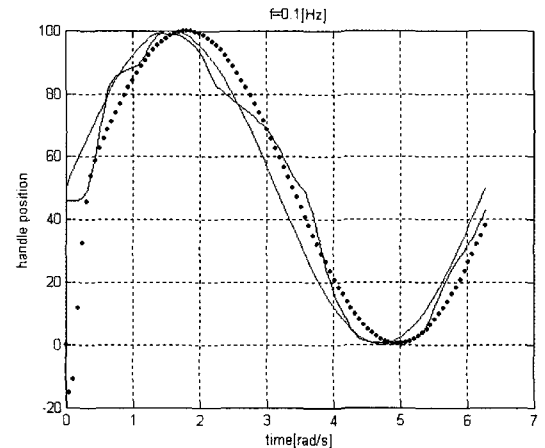
[그림 6] 시험결과1(Crossover 모델)



[그림 8] 시험결과2(Crossover 모델)



[그림 7] 시험결과1(구조적 모델)



[그림 9] 시험결과2(구조적 모델)

시험결과는 운용자에 따라 1, 2로 구분하였으며, 각각 Crossover 모델과 구조적 모델결과 그림 6~그림 9와 같다.

3) 실험결과 분석

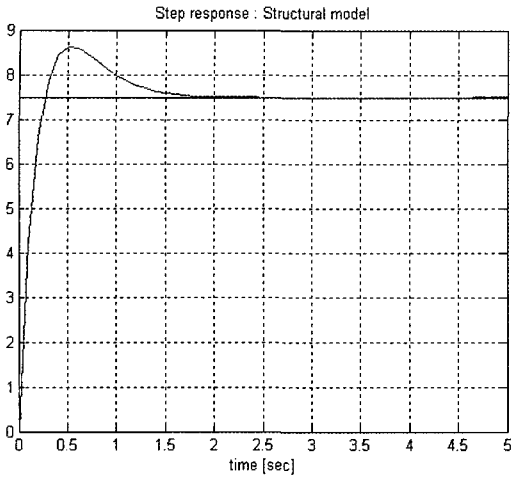
앞의 시험결과 운용자에 따라 구조적 모델의 파라미터는 큰 변화가 없었으나, 표 2와 같이 위치오차에 대한 평가에서 운용자1이 좀더 안정적인 숙련도를 보였다. Crossover모델의 경우 파라미터값은 약 0.3초의 시간지연을 가지고, 이득값은 1을 유지하였다. 즉, 구조적 모델이 모델링 오차가 상대적으로 적었으며,

[표 2] 시험결과 위치오차[RMS]

구 분	운용자1	운용자2	비 고
구조적 모델	2.5	3.6	그림 6, 8
Crossover모델	2.8	4.5	그림 7, 9

그림 7과 그림 9와 같이 좋은 추종특성을 보였다.

모델링오차는 주로 핸들의 방향이 전환되는 시점에서 발생되며, 특히 좌/우의 최대 방향 전환시 최대가 된다. 또한, 운용자의 반응시간을 고려하여 0.1Hz로



[그림 10] 구조적 모델의 계단응답특성

좌/우 방향전환하였으나, 실 전투차량의 경우에는 기동로의 특성 및 차량 운용상 더욱 낮은 주기로 방향 전환되는 점을 고려하면 위의 모델링 오차는 시스템 성능에 영향을 주지않는 운용범위로 판단된다. 휴먼 운용자 모델링 결과 그림 10과 같은 계단응답을 보이며, 구조적 모델의 경우 시험결과와 시뮬레이션이 유사한 특성을 보임을 알 수 있다.

다. 입력형성기 설계

입력형성기의 함수적 표현을 (3.1)식과 같이 두었을 때 그림 5의 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.

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 상

[표 3] 핸들 입력형성기 설계결과

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

[표 4] 입력형성기 설계 파라미터

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
차량외란	핸들의 최대 외란크기	0.89	RMS

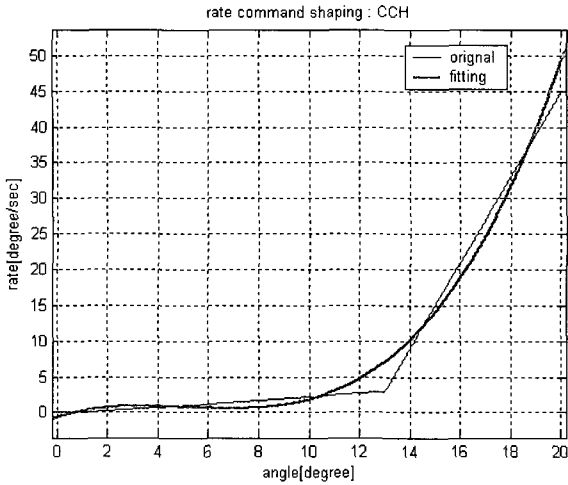
태에서 사격이 행해지는 구간으로 이동표적의 경우 미세한 표적추적과 함께 수행된다. 마지막으로 표적의 탐지 및 추적구간(Tracking zone)은 운용자의 시각 획득범위(조준경 시계)와 표적추적장치의 최대구동속도(표적의 최대추적가능 속도)를 고려하여 결정한다.

2가지 핸들의 경우에 대해 입력형성기를 설계한 결과 표 3과 같은 결과를 얻었다. 여기서, 설계에 사용된 운용환경과 표적조건은 표 4와 같다.

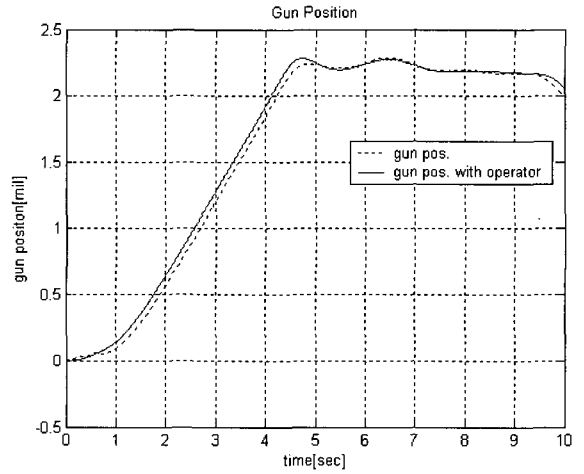
표 3의 결과를 앞장에서 논의한 바와 같이 운용편의성을 높이기 위하여 곡선적합을 적용하면 그림 11과 같은 결과를 얻을 수 있다.

라. 시뮬레이션 결과

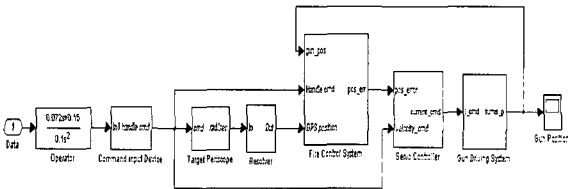
휴먼 운용자 모델링과 입력형성기 설계결과를 적용하여 실 장비에서 수동추적명령개선에 적합함을 입증



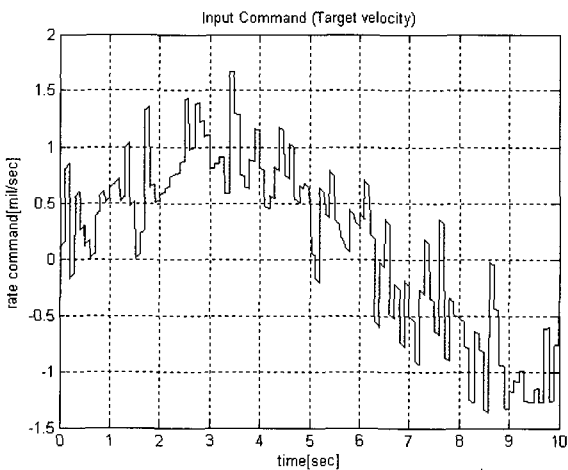
[그림 11] 입력형성기 설계결과



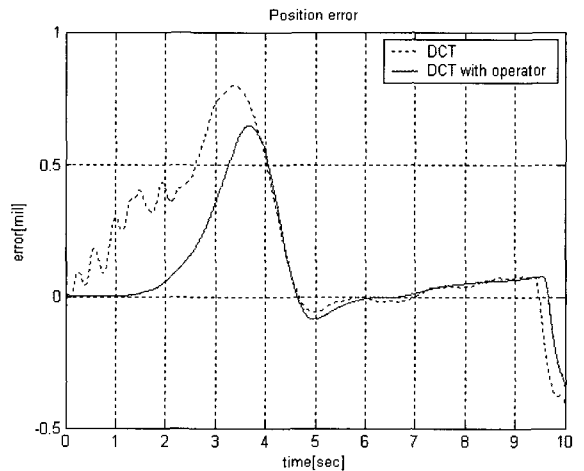
[그림 14] 표적지향 위치



[그림 12] 시뮬레이션 모델



[그림 13] 입력명령



[그림 15] 표적추적 위치오차

를 이용하였다.

이동 표적에 대한 포의 표적추적위치와 표적과의 위치오차는 각각 그림 14 및 그림 15와 같은 시뮬레이션 결과를 보였으며, 위치오차의 평균(RMS)은 운용자의 영향을 고려한 입력형성기를 적용시 0.067밀에서 0.032밀로 적어짐을 알 수 있다.

5. 맺음말

기동전투차량의 이동표적 추적성능은 외란과 잡음

하기 위하여 그림 12와 같이 시뮬레이션 모델을 구성한 후 운용자가 추적해야 하는 표적속도정보를 그림 13과 같이 실험 표적 추적시험으로부터 획득한 위치정보

의 운용환경에서 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 변수 설정으로 제시하였다. 또한 지상전투차량의 실예를 통하여 3단계 운용모드별 입력형성기 구간을 설정하여, 각 구간별 변수를 설계하고 모의실험을 통하여 제안한 설계방법의 타당성을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] D. T. McRuer, "Human Dynamics in Man-Machine Systems", Automatica, Vol. 16, 1980.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] D. L. Kleinman, S. Baron, and W. H. Levison, "An Optimal Control Model of Human Response, Part I : Theory and Validation", Automatica, Vol. 6, 1970.
- [6] M. R. Anderson, "A Model of the Human Operator Using Sensitivity Function Shaping", Proc. of the American Control Conference, June 1994.
- [7] 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.
- [8] 이석재, 유준, "운용자 모델링의 영향분석", 2006년 종합학술대회, 한국군사과학기술학회, 2005. 8. 30.
- [9] John Y. Hung, "Feedback Control with Posicast", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 1, February 2003.