

# 소형무장헬기 회전형 포탑시스템의 안정화추적 성능 시험기법

남병욱<sup>\*,1)</sup> · 이호정<sup>1)</sup> · 조시훈<sup>1)</sup> · 조성훈<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제5기술연구본부

## Stabilization Performance Test Technique for LAH Turret Driving System

Byounguk Nam<sup>\*,1)</sup> · Hojung Lee<sup>1)</sup> · Sihun Jo<sup>1)</sup> · Sunghun Cho<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> The 5th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 16 March 2014 / Revised 18 September 2014 / Accepted 17 October 2014)

### ABSTRACT

In this paper, we propose a novel method which can be applied to test and verify the stabilization-tracking performance of Gun/Turret Driving System(GTDS) for Light Armed Helicopter(LAH). In real system, GTDS is connected to TADS/SMC and driven to aim at the target with 20mm gun. But each equipment is separately developed during exploratory development stage, so GTDS cannot be tested under real system state. We suggest new configuration of test system for evaluating the stabilization-tacking performance, in which TADS and SMC are replaced by vision acquisition unit and processing unit, respectively.

Key Words : LAH(소형무장헬기), Turret Driving System(포탑구동시스템), Stabilization-Tracking Performance Test(안정화 추적 성능시험)

### 1. 서론

소형무장헬기는 현재 군이 운용중인 노후화된 헬기를 대체할 후속기종을 개발하는 사업으로서 소요권 작전운용성능을 바탕으로 우수한 안정성, 생존성 및 높은 가용성, 신뢰성, 정비성을 발휘할 수 있는 임무탑재장비 통합설계가 필수적이며, 임무시연, 통신, 항법, 생존, 표적획득, 무장 및 사통 등의 여러 임무장비가

유기적으로 연동되도록 설계된다. 소형무장헬기에서 20mm 자동포 무장운용을 위해 설계되는 주요한 개념은 표적획득지시장비(TADS : Target Acquisition and Designation System) 및 헬멧시현조준시스템(HMDS : Helmet Mounted Display System)이 사격통제체계를 통하여 20mm 자동포의 위치를 결정하는 회전형 포탑시스템과 연동된다는 것이다. 표적획득지시장비는 표적정보를 획득 및 지시하는 기능을 제공하는 장치로 조종사 및 부 조종사에게 표적 탐지/인지/식별을 위하여 획득한 영상을 시현하는 기능을 제공한다. 또한 헬멧시현조준시스템은 비행과 관련된 각종 정보를 시현하

\* Corresponding author, E-mail: nbu@add.re.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

고 조종사의 헬멧의 위치를 감지하는 기능을 제공한다. 이와 같이 소형무장헬기의 임무장비는 무장관리컴퓨터를 중심으로 표적획득지시장비, 헬멧시현조준시스템 그리고 회전형 포탑시스템이 유기적으로 연동되어 동작 및 임무를 수행하게 된다. 하지만 소형무장헬기 탐색개발은 이러한 각 구성품들이 개별적으로 개발되는 단계로, 회전형 포탑시스템 시험에 필요한 임무장비들을 통합하여 시험할 수 있는 환경구현이 불가능하다. 따라서 회전형 포탑시스템을 개발함에 있어, 최대한 체계환경을 모사함으로써 회전형 포탑시스템의 운용모드 구현, 구동 알고리즘/제어기 설계 및 시험평가 결과가 실 체계 장착 시 해당구성품의 특성과 성능을 대표성 있게 예측하여 제시할 필요성이 있다. 이에 회전형 포탑시스템 탐색개발 시 별도 영상획득 및 처리장치 적용을 통하여 무장관리컴퓨터와 표적획득지시장비의 기능을 대체하였으며, 최종 안정화 추적 성능에 대한 시험평가를 수행하였다. 본 논문은 소형무장헬기 회전형포탑시스템의 탐색개발 수행과 관련하여 개발 개요를 비롯하여 영상획득 및 처리장치의 구현개념과 이를 이용한 안정화 추적시험 결과를 요약하여 기술하도록 한다.

## 2. 회전형 포탑시스템 개요

### 2.1 회전형 포탑시스템의 운용개념

일반적으로 표적획득지시장비는 Fig. 1과 같이 임무그룹에 의해 제어되며 헬멧시현조준시스템과 연동되어 조종사의 시선과 표적획득지시장비의 지향방향이 일치되도록 운용 될 수도 있다. 이후 무장관리컴퓨터와 연동되는 회전형 포탑시스템은 표적획득지시장비의 지향방향과 자동포 포구 지향방향이 일치하도록 고각 및 방위각에 대한 2축 구동/제어를 수행하게 되는데, 이때 사격통제 체계의 사격탄도 해석 결과가 반영되어 자동포의 최종 위치가 결정되게 된다.

### 2.2 회전형 포탑시스템의 주요 성능요소

회전형 포탑시스템 개발 시 20mm 자동포에 대한 준작전수행 개념을 반영한 운용모드, 헬기의 진동 및 운용온도조건 등 회전형 포탑시스템의 성능이 보장되어야 하는 운용환경 등을 고려하여 개발 요구도가 도출된다. 우선 근거리 표적에 대하여 지향사격이 가능하기 위하여 사수 또는 조종사의 헬멧시현조준장치 가

시각도 및 헬기동체 하부와의 간섭등을 고려하여 고저/방위각 구동범위각이 결정된다. 또한 헬기의 고속기동 중 최초 식별된 표적을 향하여 신속하게 구동/지향 할 수 있는 능력인 최대 구동 속도/가속도가 결정된다. 또한 초탄 사격 시 명중률 향상을 위해 필수적인 안정화 추적 성능은 조종사의 헬멧시현조준장치 또는 이와 연동되는 표적획득지시장비의 지향방향과 자동포의 지향방향과의 이격된 각도로 정의된다. 정지 및 기동비행 간 지상표적 지향 시 급작기동 등의 헬기 기동에 따른 외란인가 환경 하에서도 안정적인 안정화추적 성능 확보를 위하여 구동안정화(Stabilization) 기능이 적용되었으며, 이는 헬기 동체에 장착되어 관성좌표계 기준 헬기의 자세를 측정하는 관성항법장비(INS : Inertial Navigation System) 또는 최종 부하단인 자동포에 장착되어 관성좌표계 기준 자동포의 각속도를 측정하는 자이로(Gyro) 센서의 출력신호를 구동안정화 알고리즘에서 활용함으로써 구현이 가능하다.

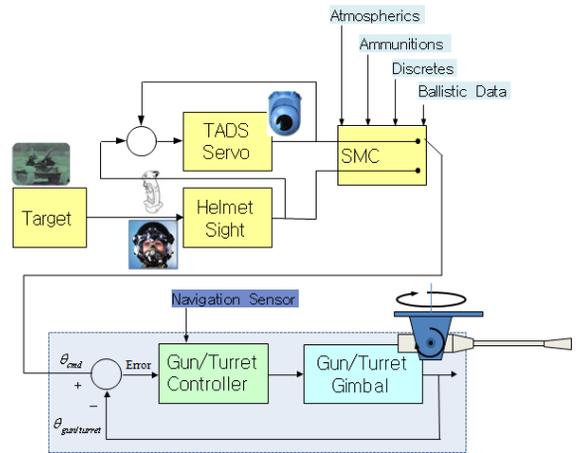


Fig. 1. Configuration of mission equipment

## 3. 영상획득 및 처리장치를 이용한 안정화 추적 성능 시험기법

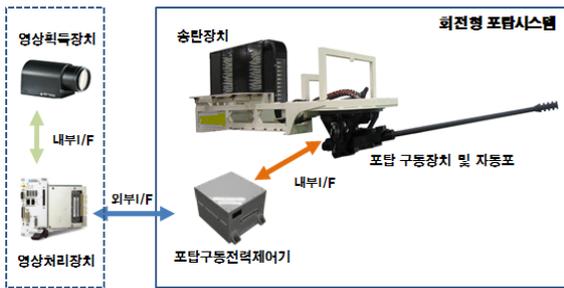
### 3.1 영상획득 및 처리장치 구현개념

소형무장헬기의 탐색개발 범위 내에서는 각 임무장비가 개별적으로 개발되는 상황을 고려하여 회전형 포탑시스템의 성능시험 및 시험평가를 수행하기 위하여 Fig. 2와 같이 영상획득 및 처리장치를 별도로 장착하여 운용하였다. Fig. 2(a)는 실 체계에 적용되는 임무장

비의 구성도이고, Fig. 2(b)는 표적획득지시장비 및 무장관리컴퓨터가 영상획득 및 처리장치로 대체된 회전형 포탑시스템의 장비 구성도이다. Fig. 2에서와 같이 외부 임무장비를 제외한 무장관리컴퓨터와의 외부 인터페이스 및 회전형 포탑시스템 내부 인터페이스와 구조는 실 체계 적용 시와 동일하게 구현된다.



(a) Real system



(b) Exploratory development stage

Fig. 2. Configuration of GTDS

Fig. 3은 영상정보를 이용한 안정화추적 시험개념도이다. 우선 모션시뮬레이터는 헬기의 기동 시 인가되는 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw)의 3축 각도외란 운동을 인가하고, 회전형 포탑시스템은 자동포의 포구가 표적지의 정중앙인 P1점을 지향하도록 구동안정화 및 추적제어를 수행한다. 이때 주무장의 하단에 포구와 동축으로 카메라를 장착하고 스크린상의 영상을 획득하게 되는데, 포구가 지향하고 있는 지향점은 획득된 영상의 중심부인 P2로 대체되어 정의된다. 이때 영상처리장치는 획득된 영상정보 중에 목표점(P1)의 특징점 확인을 통해 목표점을 식별하게 된다. 이후 카메라에서 획득되는 영상의 중심점(P2)와 식별되는 목표점(P1)사이의 가로 및 세로방향의 거리를 계산하고, 카메라와 스크린 사이의 거리(L) 정보를 활용하여 고각 및 방위각에 대한 구동안정화 오차 또는 안정화

추적성능을 계산한다. 상기와 같이 획득된 안정화 추적성능은 실 체계에서 표적조준시스템과 자동포의 지향각 오차를 의미하므로 회전형 포탑시스템의 성능평가 뿐 아니라 안정화 및 추적제어 시 피드백 값으로 활용된다.

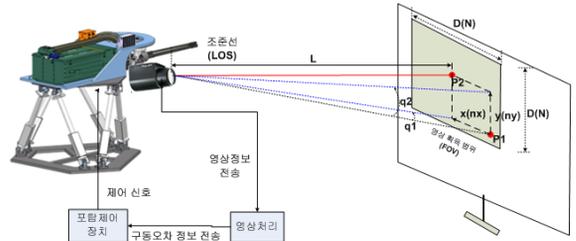


Fig. 3. Stabilization-tracking test schematic

### 3.2 영상획득 및 처리장치 하드웨어

영상획득을 위한 카메라의 최소 검출 각도는 카메라와 목표물과의 거리, 목표물의 크기 및 카메라의 픽셀 수에 의해 결정되는데, 본 시스템에서는 요구되는 구동정밀도를 고려하여 10~20μrad 수준의 최소 검출각도를 갖도록 선정되었으며, 영상획득장치와 영상처리장치의 세부 H/W 사양은 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1. Specification of acquisition unit

부품명	항목	사양	비고
카메라	제품명	avA100-120km (BASLER)	
	분해능	1024×1024(1M pixel)	
	전송률	128 Frame/s	
	무게	300g	
	크기	62×62×56.7mm	
렌즈	제품명	D32×15.6HR4D-YE1 (Fujinon)	
	시계	44°×33'(32배줌)	
	초점거리	15.6 ~ 500 mm	
	분해능	1.3M Pixel	
	무게	2,700g	
크기	224.8×134×114mm		

Table 2. Specification of processing unit

항목	사양	비고
제품명	1.73GHz Quad-Core Embedded Controller for PXI Express (NI)	
CPU	Intel Core i7-820QM	
L2 Cache	512 KB x2	
L3 Cache	8 MB shared Intel smart cache	
Bandwidth	Up to 8GB/s	

3.3 영상획득 및 처리장치 소프트웨어

영상처리장치에 탑재되는 소프트웨어는 자동포에 일체형으로 장착된 카메라 렌즈로부터 목표점까지의 거리를 계산하는 단계, 목표점 중앙에서 카메라 영상 중앙까지의 이격된 거리를 계산하는 단계, 그리고 상기 정보를 이용하여 목표점 대비 현재 자동포의 포구가 지향하고 있는 점과의 오차각을 생성하는 단계로 나누어진다. 단순하게 영상을 획득하여 인지하는 부분은 영상처리장치 자체적으로 제공하고 있는 기능을 활용하였다.

3.3.1 Step 1 : 시뮬레이터 자세에 따른 카메라와 목표점 거리(L) 계산

안정화추적은 포구가 목표점을 지향하기 위한 초기 벡터를 유지하는 방법과, 포구의 중단이 목표점을 지속적으로 지향하도록 하는 포인트 지향 방법으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 근거리에서 안정화추적 시험평가를 위해 포인트 지향 방식으로 구동안정화 알고리즘을 구성하였다.

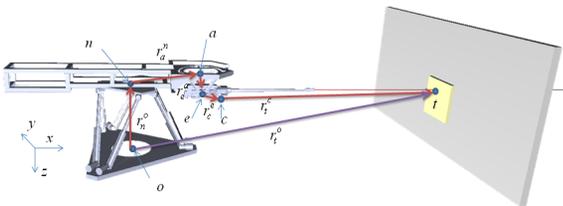


Fig. 4. Coordinate definition of turret system

위 Fig. 4에서 모션 시뮬레이터 바닥면 중심에서 상판 중심점까지의 벡터  $r_n^o$ , 모션 시뮬레이션 상판 중심

에서 포탑 방위각 회전축 중심점까지의 벡터  $r_a^n$ , 방위각 회전축에서 고각회전축 중심점까지의 벡터  $r_c^e$ , 고각회전축에서 영상카메라까지의 벡터  $r_i^e$ 는 다음과 같이 표기할 수 있으며, 이의 합은 모션 시뮬레이터 바닥면 중심에서 표적지까지의 벡터  $r_i^o$ 와 일치한다.

$$r_i^o = r_n^o + r_a^n + r_c^e + r_i^e \quad (1)$$

여기서 각 벡터는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} r_n^o &= [x_n^o \ y_n^o \ z_n^o \ 1]^T & r_a^n &= [x_a^n \ y_a^n \ z_a^n \ 1]^T \\ r_c^e &= [x_c^e \ y_c^e \ z_c^e \ 1]^T & r_i^e &= [x_i^e \ y_i^e \ z_i^e \ 1]^T \\ r_i^o &= [x_i^o \ 0 \ 0 \ 1]^T & r_i^o &= [x_i^o \ y_i^o \ z_i^o \ 1]^T \end{aligned} \quad (2)$$

이의 관계를 모션 시뮬레이터의 Roll/Pitch/Yaw 변환행렬[4×1]과 포탑시스템의 방위각/고각 변환행렬[4×1]을 이용하여 표기하면 다음과 같은 관계식이 성립한다. 여기서, 모션 시뮬레이터는 Yaw( $\psi$ )-Pitch( $\theta$ )-Roll( $\phi$ ) 순으로의 Euler 변환을 고려하였으며, 방위각-고각순으로의 변환을 고려하였다.

$$r_i^o = T_\psi^o T_\theta^\psi T_\phi^\theta T_{ao}^\phi T_a^{ao} T_c^a T_i^e r_i^e \quad (3)$$

식 (3)의  $T_\psi^o T_\theta^\psi T_\phi^\theta T_{ao}^\phi$ 는 다음과 같이 정의되며, 여기서 s와 c는 sin과 cos을 의미한다. 또한 ao는 고정된 포탑 방위각 회전축 중심을, 그리고 a는 포탑을 회전 후의 새로운 방위각 회전축 중심을 의미한다.

$$\begin{bmatrix} c\psi & -s\psi & 0 \\ s\psi & c\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\theta & 0 & s\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ s\theta & 0 & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\phi & -s\phi & 0 \\ 0 & s\phi & c\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} r_i^e \quad (4)$$

식 (3)은 다음과 같이 표현가능하다.

$$T_a^{ao} T_c^a T_i^e = \left( T_\psi^o T_\theta^\psi T_\phi^\theta T_{ao}^\phi \right)^{-1} r_i^o = [v_1 \ v_2 \ v_3 \ 1]^T \quad (5)$$

여기서  $T_a^{ao} T_c^a T_i^e$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{bmatrix} cq_{az} & -sq_{az} & 0 & 0 \\ sq_{az} & cq_{az} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} cq_{el} & 0 & sq_{el} & x_e^a \\ 0 & 1 & 0 & y_e^a \\ -sq_{el} & 0 & cq_{el} & z_e^a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c^e + x_l^e \\ y_c^e \\ z_c^e \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

위 식 (6)을 이용하여 표적 지향을 위한 방위각/고각 구동명령은 다음과 같은 식 (7) 및 식 (8)로 정리된다.

$$q_{az} = \sin^{-1} \left( \frac{-(y_c^e + y_l^a)}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}} \right) + \alpha, \text{ where } \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{v_2}{v_1} \right) \quad (7)$$

$$q_{el} = \sin^{-1} \left( \frac{z_c^e}{\sqrt{(v_1 \cdot cq_{az} + v_2 \cdot sq_{az} - x_e^a)^2 + (v_3 - z_e^a)^2}} \right) - \beta,$$

$$\text{where } \beta = \tan^{-1} \left( \frac{v_3 - z_e^a}{v_1 \cdot cq_{az} + v_2 \cdot sq_{az} - x_e^a} \right) \quad (8)$$

고각 회전축 중심점에서 표적까지의 거리 L은 아래 식 (9)로 표현된다.

$$x_l^e = L = \frac{v_1 \cdot cq_{az} + v_2 \cdot sq_{az} - x_e^a - sq_{el} \cdot z_e^e - x_c^e}{cq_{el}} \quad (9)$$

### 3.3.2 Step 2 : 목표점 중앙에서 카메라 영상 중앙까지의 거리(x,y) 계산

Fig. 5는 표적지 중앙에서 카메라 영상 중앙까지의 거리를 계산하는 개념도이다. 우선 획득된 표적 영상 분석을 통하여 영상중심에서 표적중심간 가로/세로 거리( $\alpha/\beta$ )에 해당하는 픽셀 수를 카운팅 한다. 동시에 목표점(흑색 원)의 가로/세로방향의 길이( $l_x, l_y$ )를 측정하고 영상 픽셀 수를 카운팅하여 표적길이 대비 영상 픽셀수의 비율을 계산한다. 상기의 정보를 활용하여 최종적으로 영상중심과 표적중심 간의 거리(x,y)를 계산하게 된다.

### 3.3.3 Step 3 : 안정화추적 성능 계산

Step 1에서 획득된 시뮬레이터 자세에 따른 카메라와 목표점 거리(L) 정보와 Step 2에서 획득된 표적지 중앙에서 카메라 영상 중앙까지의 거리(x,y) 정보를 이용하여 식 (10)과 같이 고각 및 방위각 방향의 안정화추적 성능을 계산할 수 있다.

$$\theta_{error}^{el} = atan \left( \frac{y}{L} \right), \theta_{error}^{az} = atan \left( \frac{x}{L} \right) \quad (10)$$

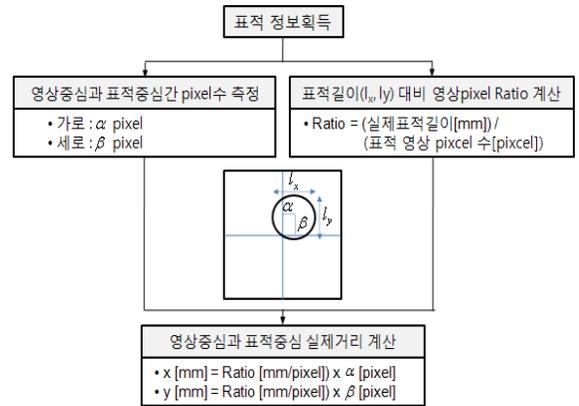


Fig. 5. Schematic of target distance calculation

## 4. 영상획득 및 처리장치를 이용한 안정화 추적 성능 시험결과

### 4.1 시험환경

외란 환경 하에서 고정 또는 이동중인 표적을 지향하는 안정화 추적성능은 Fig. 6과 같이 6축 모션시뮬레이터에 회전형 포탑시스템이 장착된 상태에서 수행되며, 표적지 및 목표점은 백색바탕의 대형모니터에 흑색 점으로 지정하였다. 이때, 시험을 위해 구현된 시뮬레이터 및 포탑시스템의 주요 형상정보는 Table 3과 같다.



Fig. 6. Stabilization-tracking test configuration

또한 자동포 몸체 하단에 영상획득장치가 장착되어 포구가 지향하는 지점의 영상정보를 획득하게 되며,

외부에 별도 구비된 영상처리장치를 통해 목표물과 자동포의 지향방향의 이격 각도에 대한 오차정보를 계산하게 된다.

Table 3. Kinematic parameter [mm]

$o$	$[0 \ 0 \ 0 \ 1]^T$	$r_a^n$	$[1075 \ 0 \ -291.3 \ 1]^T$
$r_t^o$	$[4970 \ 0 \ -1555 \ 1]^T$	$r_c^a$	$[0 \ 0 \ 291.3 \ 1]^T$
$r_n^o$	$[0 \ 0 \ -1544 \ 1]^T$	$r_c^e$	$[435 \ 0 \ 155 \ 1]^T$

안정화 추적성능시험은 목표물의 이동유무 및 6축 모션시뮬레이터를 이용한 비행기동 유무에 따라 여러 형태로 시험 및 평가가 진행되나, 본 논문에서는 Table 4와 같은 복합 비행기동 외란을 동시에 인가 시고정된 표적을 지향하는 안정화 추적성능에 대한 시험 결과를 포함하도록 한다.

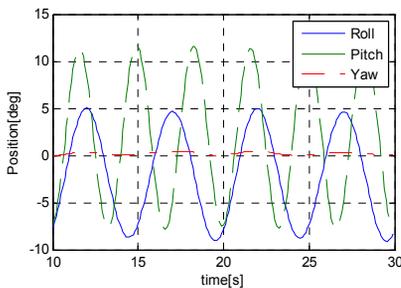
Table 4. Simulator Movement

구 분	외란형태
Roll	$10\sin(2\pi \cdot 0.3 \cdot t)$ [deg]
Pitch	$7\sin(2\pi \cdot 0.2 \cdot t)$ [deg]

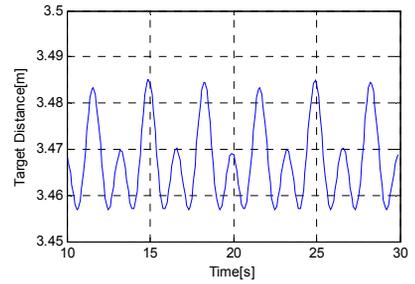
4.2 시험결과

Fig. 7의 시험결과에서 영상중심과 목표점 간의 거리와 안정화 추적오차는 최대치를 1로 normalization하여 도시하였다.

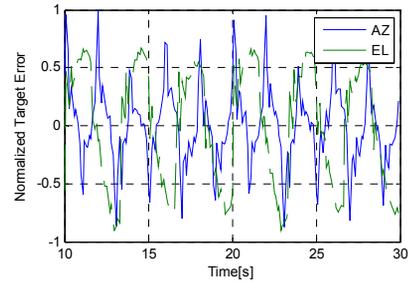
Fig. 8은 3차원 공간상에서 Table 4의 외란 인가 중 회전형 포탑의 안정화 추적구동을 통하여 목표점을 지속적으로 지향하고 있음을 도시적으로 보여주고 있으며, 이로부터 카메라로부터 목표점까지의 거리(L)를 추출하게 된다.



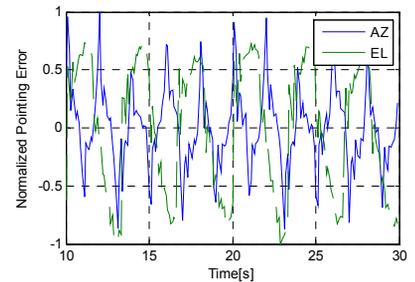
(a) Simulator motion



(b) Target distance variation(L)



(c) Normalized target error(x, y)



(d) Normalized stabilization-tracking error

Fig. 7. Test results

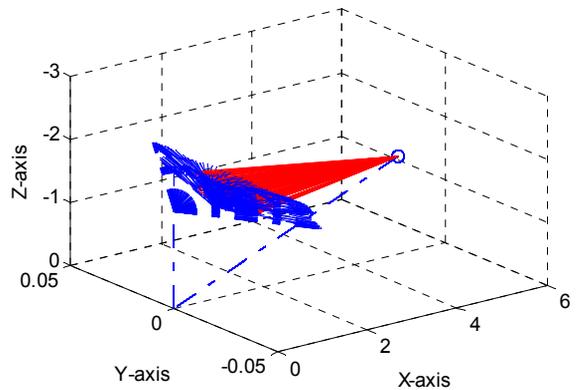


Fig. 8. Target Distance(L)

## 5. 결 론

소형무장헬기 포탑구동시스템의 탐색개발에 있어 영상처리 및 획득장치 적용을 통하여 표적획득지시장비 및 무장관리컴퓨터의 기능을 정상적인 범위 내에서 대체함으로써 체계 인터페이스 환경을 구현하였다. 이를 통하여 비행기동 간 외란환경 하에서 안정화 추적 성능을 시험평가하기 위한 기법이 개발되었으며, 동시에 회전형 포탑시스템의 구동알고리즘 및 제어기 설계에 성공적으로 활용되었다.

## References

- [1] Johnj. Craig, "Introduction to Robotics - Mechanics and Control," 2nd Edition, Addison Wesley, 1989.
- [2] Ferdinand P. Bear, E, Rusell Johnston Jr, "Vector Mechanics for Engineers," 2nd Edition, McGraw-Hill, 1990.