

위치자세제어장치의 핀틀 위치정확도 점검 방안 연구

탁준모^{1,†}

¹국방과학연구소 제1기술연구본부

A Study on Inspecting Position Accuracy of DACS Pintle

Jun Mo Tak^{1,†}

¹The 1st Research and Development Institute, Agency for Defense Development(ADD)

Abstract

In the study, to minimize the error on guided control of the KV (Kill Vehicle) and to secure the hit-to-kill performance, a position accuracy inspection for the DACS (Divert and Attitude Control System) actuation system was proposed. The accuracy performance of the DACS actuation system is one of the most important factors in the interception of ballistic missiles. In order to validate actuation control accuracy of DACS system, an inspection item was set for position accuracy, and the inspection system was designed for DACS pintle. To measure the absolute position value of the DACS pintle, an external measurement system was developed using laser displacement sensors. The inspection system was designed so that it can be compared with the actuation command in real time. The proposed position accuracy inspection system can be inspected not only in a DACS system but also in missile system level. The position accuracy inspection was performed using the designed inspection system, and analysis of the inspection result.

초 록

본 연구에서는 KV의 유도조종오차를 최소화하여 직격요격 성능을 확보하고자 DACS 구동장치에 대한 위치정확도 점검방안을 제안하였다. DACS 구동장치의 정확도 성능은 탄도미사일 요격에 중요한 성능 중 하나이다. DACS 구동장치의 정확도 성능을 검증하기 위해 위치정확도란 점검 항목을 도출하였고, 이에 대한 점검시스템 설계 및 점검절차를 기술하였다. 핀틀 위치정확도 점검시스템은 레이저 변위 센서를 이용하여 핀틀의 구동변위를 외부 계측할 수 있도록 구성하였고, 외부 계측한 데이터는 실시간으로 구동명령 및 피드백 데이터와 비교분석할 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서 제안하는 위치정확도 점검시스템은 DACS 조립체 뿐만 아니라 유도탄 조립체 단위에서도 점검이 가능하도록 설계하였다. 설계된 점검시스템을 이용하여 핀틀의 위치정확도 점검을 수행하였고, 점검 결과를 분석하였다.

Key Words : DACS(Divert and Attitude Control System; 위치자세제어장치), Kill Vehicle(직격요격체), Pintle(핀틀), Precision Guided Weapon(정밀유도무기), Anti-Ballistic Missile(대탄도탄용 미사일)

1. 서 론

1980년대 중반부터 탄도탄 표적을 요격하는 개념이 대두됨에 따라, 대탄도탄용 미사일(Anti-Ballistic Missile)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [1-3]. 근래에는 탄도탄 표적을 요격하기 위해 별도의

탄두를 탑재하지 않고 요격체가 갖는 운동에너지만을 이용하여 표적에 직접 타격하여 표적을 완전히 파괴시키는 직격요격 방식(Hit-to-Kill)의 유도탄으로 개발되어왔다. 직격요격체(Kill Vehicle)를 탄도탄 요격용 탄두로 활용한 대표적인 요격미사일은 GBI, THAAD, SM-3 유도탄 등이 있다[4-6].

직격요격체를 이용한 요격미사일의 기본 운용개념은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 먼저, 레이더를 통해 적 탄도탄을 탐지하면 발사대로부터 요격미사일이 발사된다. 목표고도까지 상승이 완료된 요격미사일은 기

Received: Feb. 08, 2021 Revised: Apr. 07, 2021 Accepted: Apr. 12, 2021

† Corresponding Author

Tel: +82-042-821-3208, E-mail: junmo_tak@add.re.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

동성을 높이기 위해 연소가 끝난 추진기관을 분리시키고, 직격요격체 상태로 분리된다. 직격요격체는 요격체 내 탑재된 별도의 추진시스템인 위치자세제어장치(Divert and Attitude Control System; 이하 DACS)에 의해 요격체의 위치와 자세를 제어하며, 유도조종 알고리즘에 의해 직격요격체는 적 탄도탄을 향해 비행하여 직격요격하게 된다. 탄도탄 요격에 핵심은 종말 단계에서의 직격요격체의 기동성능이라 할 수 있으며, 이는 DACS의 구동성능과 관계되어 있다.

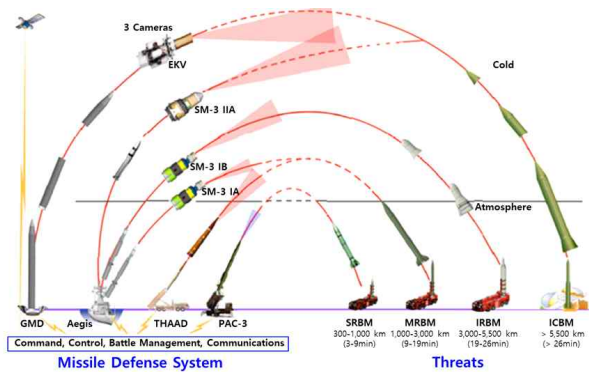


Fig. 1 Types of missile defense interceptor[1] (Adapted from Ref. 1 on the basis of open access)

일반적으로 구동장치의 구동성능을 확인하기 위해 구성품 단품레벨에서부터 유도탄 조립체 단위까지 매 조립/점검 단계시 마다 필요한 점검항목을 도출하고 이에 대한 점검을 수행한다. 그 중 구동장치의 정확도 성능은 무엇보다 중요하며, 이를 확인하기 위해 많은 노력이 있어왔다.

구동장치의 정확도 점검과 관하여 문헌으로 공개된 이전 사례를 살펴보면, Ryu et al.,과 Lee et al.,는 조종날개가 장착된 고기동 유도탄에 대해 유도탄의 유도 조종오차를 최소화하고자 조종날개 구동장치에 대한 위치정확도 점검방안을 제안하였다[7,8]. 날개의 회전 각도를 측정하기 위해 엔코더를 이용하여 외부계측 시스템을 구성하였으며, 조종날개 구동장치 점검시스템으론 자기식 엔코더로 구성된 점검시스템 보다 광학식 엔코더로 구성된 점검시스템이 더 적합함을 보였다. Tak et al.은 추력방향제어(Thrust Vector Control; 이하 TVC) 장치로 비행궤적을 수정하는 유도탄에 대해 유도조종오차를 최소화하고자 가동노즐(Movable

Nozzle)의 구동 정확도 점검 방안을 제안하였다[9]. 두 대의 카메라 장비로 외부계측 시스템을 구성하여, TVC 노즐의 회전각도 점검시스템을 구현하였다. TVC 노즐 표면을 측정하는 대신 평면형상치구의 모서리 형상정보를 검출하고, 이를 선형회귀 분석하여 기준좌표계로부터 회전된 각도를 산출함으로써, TVC 구동장치의 구동 정확도 점검을 수행하였다.

본 논문에서는 DACS가 탑재된 유도탄에 대하여, 직격요격체의 유도조종오차를 최소화하여 직격요격 성능을 확보하고자 DACS 구동장치에 대한 위치정확도 점검방안에 대해 제안한다. 제안하는 위치정확도 점검시스템은 유도탄 시스템의 높은 신뢰성을 확보할 수 있도록, 단일 구성품 단위뿐만 아니라 유도탄 조립체 단위에서도 점검이 가능하도록 설계하였다. 또한, 점검에 소요되는 시간을 줄이고자 10개의 노즐을 동시에 점검이 가능하도록 설계하였으며, 비접촉식 변위센서를 활용하여 점검시스템을 구현하였기 때문에 점검을 통해 발생할 수 있는 핀틀 구조물 손상 가능성을 최소화하도록 설계하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 점검대상인 DACS 시스템에 대한 이론적 분석을 수행하였으며, 3장에서는 제안하는 DACS의 핀틀 위치정확도 점검시스템 설계 및 점검 절차에 대해 기술하였다. 4장에서는 설계한 점검시스템을 활용하여 점검을 수행한 결과에 대해 분석하였고, 마지막 5장에서는 본 연구의 결과를 요약하였다.

2. 점검 대상 분석

DACS의 핀틀 위치정확도 점검시스템을 다루기에 앞서 점검 대상인 DACS에 대해 이론적인 분석을 수행하였다.

2.1 DACS 구성

DACS는 유도탄의 위치를 제어하는 4개의 위치제어용 추력기(DCS; Divert Control System)와 유도탄의 자세를 제어하는 6개의 자세제어용 추력기(ACS; Attitude Control System), 연소관, 제어기로 구성되어 있다. Fig. 2는 일반적인 DACS의 구조를 나타낸다.

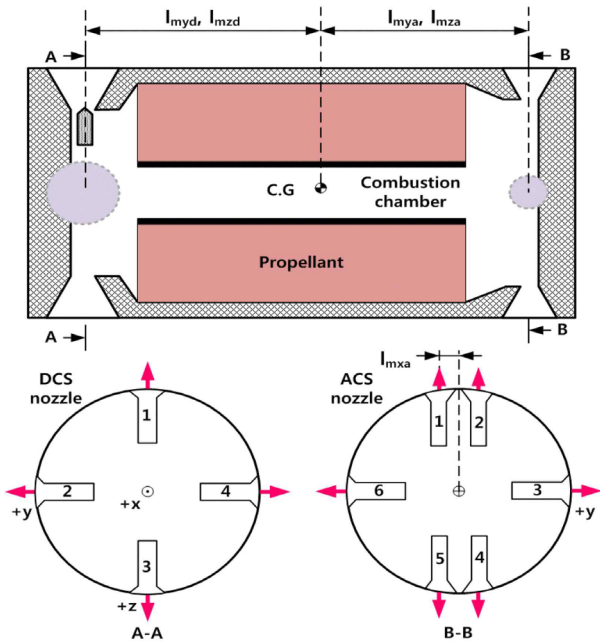


Fig. 2 Configuration of DACS system[10] (Adapted from Ref. 10 on the basis of open access)

위치제어용 추력기 4개는 십자(十)배열의 구조를 가지고 있으며, 유도탄 축방향에 수직인 방향으로 직격요격체의 무게중심 평면에 배치된다. 각 추력기에서 발생하는 추력에 의해 축방향 가속도가 발생되어, 직격요격체의 궤도수정 역할을 수행한다.

자세제어용 추력기 6개는 입자(卍)배열의 구조를 가지고 있으며, 유도탄 축방향에 수직인 방향으로 직격요격체의 최후방 평면에 배치된다. 각 축에서 발생하는 추력의 조합으로 모멘트를 발생시켜, 직격요격체의 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw)방향에 대한 자세제어 역할을 수행한다. 직격요격체의 무게중심 평면에서 자세제어용 추력기가 배치되어있는 평면까지의 거리가 모멘트 암(Moment Arm)이 되기 때문에 동일한 추력일 때 두 평면사이의 거리가 길수록 더 큰 모멘트를 얻을 수 있다.

2.2 이론적 배경

Fig. 3는 추력기 단면도를 나타낸다. DACS를 구성하는 각 추력기는 밸브조립체, 핀틀, 구동장치로 구성된다. 핀틀은 핀틀가이드에 의해 직선방향의 움직임으로만 제한되며, 구동장치는 핀틀 구조물과 연결되어, 선형운동을 발생시킨다. 핀틀의 머리부분은 가변구조

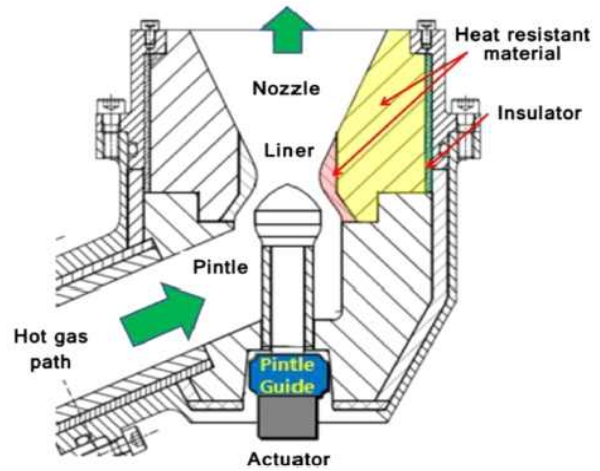


Fig. 3 Configuration of DACS valve[11] (Adapted from Ref. 11 on the basis of open access)

로 되어 있어, 핀틀의 직선방향 이동량에 따라 노즐목 면적을 변화시켜 추력기를 통해 분사되는 연소 가스의 질유량을 조절함으로써 추력을 제어한다.

연소관내 고온고압의 연소가스가 노즐을 통하여 방출될 때 추력기에서 발생하는 추력 T 는 식(1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$T = C_f P_c A_t \quad (1)$$

여기서, C_f 는 추력계수, P_c 는 연소실 압력, A_t 는 노즐목 단면적이다. 여기서 다시, 연소실 내 압력은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_c = \left[\frac{A_b a \rho C^*}{A_t g} \right]^{\frac{1}{1-n}} \quad (2)$$

여기서, A_b 는 연소면적, a 는 연소율 상수, n 은 연소율 지수, ρ 는 추진제 밀도, C^* 는 배기특성밀도, g 는 중력가속도이다. 위 식에서 알 수 있듯이, 핀틀의 움직임에 따라, 연소관내 압력과 추력기에서 발생하는 추력을 조절 할 수 있다. 탄도탄 표적을 직격요격하기 위해서는 DACS의 구동성능 중 정확도에 대한 성능이 요구된다. 따라서, 구동장치의 정확도에 대한 성능을 확인하기 위해 적절한 점검항목을 도출하고, 이에 대한 관리가 필요하다.

3. 핀틀 위치정확도 점검 시스템

구동장치의 구동성능 중 정확도를 나타내는 성능항목을 점검하기 위해 위치정확도란 점검항목을 도출하였으며, 이에 대한 점검시스템 설계 및 점검절차를 기술하였다.

3.1 위치 정확도 정의

일반적으로 구동장치는 구동장치내 탑재되어 있는 위치센서를 통해 핀틀의 위치값을 피드백 받고 이를 구동제어에 활용한다. 구동명령에 따른 구동응답이 적절한 값을 보이는지 구동정확도를 확인하기 위해 정적정확도란 항목을 식별하여, 이에 대한 점검을 수행한다. 정적정확도는 구동명령 값 대비 구동장치 내 탑재되어 있는 위치센서로 계측된 위치값의 차이로 정의된다.

구동장치 내 탑재되어 있는 센서들은 기본적으로 센서 캘리브레이션(Calibration)이 되어있기 때문에, 계측된 핀틀의 구동변위는 실제 물리적으로 움직인 거리와 허용오차 내에 있다. 하지만, 작업자의 실수 혹은 기타 환경적인 요인 등에 의해 기조정된 센서의 캘리브레이션이 틀어질 경우, 핀틀의 절대 위치값은 위치센서로 계측되는 값은 허용오차 범위에서 벗어날 수 있다. 이는 위치자세제어장치의 압력 및 추력제어에 오차를 발생시키는 요인이 되며, 최종적으로 비행제어 성능을 저하시키는 원인이 된다. 고정밀성, 고신뢰성이 요구되는 유도무기체계에서는 위치센서로 계측된 핀틀의 구동변위가 실제 물리적으로 움직인 거리가 허용범위 내에 들어오는 지에 대한 추가적인 확인과정이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 외부계측을 통해 핀틀의 실제 구동변위를 확인할 수 있는 점검항목인 위치정확도란 항목을 도출하였고, 구동명령 값 대비 절대 위치값의 차이로 정의하였다.

3.2 위치정확도 점검용 센서 선정

핀틀의 절대 위치값을 측정하기 위해 외부계측용 변위센서로 레이저 변위센서를 활용하였다. 레이저 변위센서는 변위센서 중 선형오차가 매우 작다는 특징이 있다. 또한, 비접촉식이기 때문에 외부계측을 통한 핀

틀의 손상 가능성을 최소화할 수 있다. 사용한 레이저 변위센서는 KEYENCE 社의 LK-H150 모델이며, 상세제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of laser sensor (LK-H150)

Specification	Data
Measurement	$\pm 40mm$
Linearity	$\pm 40\%$ of F.S* (F.S. = $80mm$).
Sampling rate	Max. $392 kHz$
Repeatability	$0.25 \mu m$
Reference Distance	$150 mm$

*Full Scale

3.3 점검시스템 설계

핀틀 위치정확도 점검시스템은 점검용 치구, 외부계측 시스템, 점검프로그램으로 구성된다.

점검용 치구는 레이저 변위센서 체결을 위한 센서 설치 블록, 레이저 변위센서가 핀틀을 조사하기 위해 적정거리를 유지해주는 센서지지대, 추력기 노즐부에 체결을 위한 노즐 브라켓으로 구성되며, 핀틀의 직선방향 구동변위를 측정하기 위해 레이저 변위센서가 핀틀의 끝단을 조사할 수 있도록 설계하였다. 점검의 편의성을 고려하여, 노즐 마개만을 분리하여 추력기 입구부에 점검용 치구를 적용할 수 있도록 설계하였다. 제안하는 점검시스템은 유도탄 시스템의 고신뢰성을 확보하고자 DACS시스템 단품 단위뿐만 아니라 유도탄 조립체 단위에서도 점검이 가능하도록 설계되었다. Fig. 4은 설계한 점검용 치구의 형상이며, Fig. 5은 점검용 치구를 실제 제작하여 유도탄 조립체 단위에 적용한 그림이다.

외부계측 시스템은 레이저 변위센서, 계측 데이터 획득을 위한 데이터 획득 장비, 데이터 분석 및 점검 결과 판정을 위한 점검장비로 구성된다. 총 10개의 레이저 변위센서를 이용하여 위치자세제어장치를 구성하는 10개의 추력기 입구부에 각각 적용하였다.

점검프로그램은 점검에 소요되는 시간을 줄이고자 10개의 노즐을 동시에 점검이 가능하도록 설계하였으며, 실시간으로 각 노즐에 대한 점검 결과를 모니터링이 가능하다.

이외에도 DACS를 지상에서 구동하기 위한 외부 동

력공급장치 또한 본 점검시스템에 포함된다. Fig. 6는 DACS의 핀틀 위치정확도 점검시스템에 대한 개념도를 보여준다.

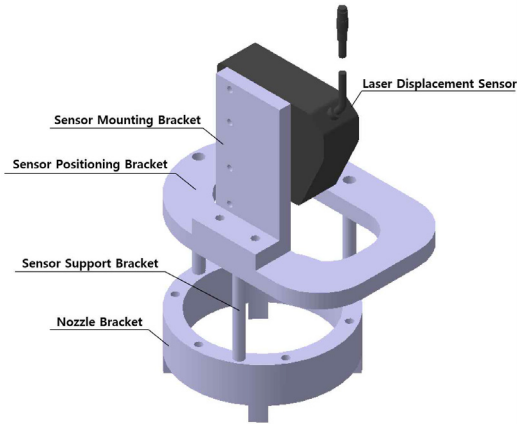


Fig. 4 Shape of the Sensor Bracket

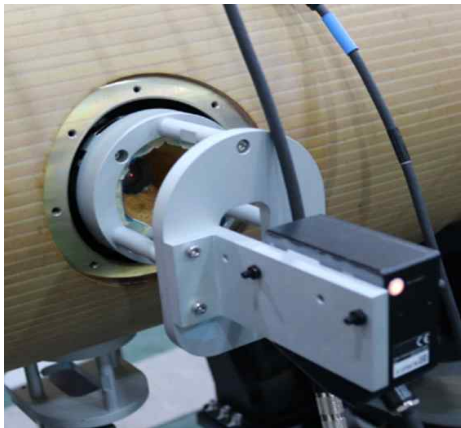


Fig. 5 DACS Pintle Position Accuracy Inspection System

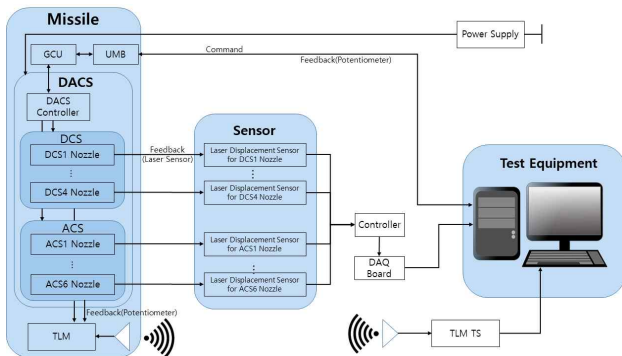


Fig. 6 Configuration of DACS Pintle Position Accuracy Inspection System

3.4 점검절차

외부 동력공급장치를 통해 위치자세제어장치 내 동력을 공급한다. 위치자세제어장치 내 동력이 충분히 공급이 되면 점검장비를 통해 점검프로그램에서 배꼽 케이블(UMB; Umbilical Cable)과 유도조종장치(GCU; Guidance Control Unit)를 거쳐 위치자세제어장치의 제어기로 핀틀의 구동명령 프로파일을 입력시킨다. 핀틀은 입력된 명령에 따라 위치자세제어장치의 구동장치에 의해 변위가 발생되며, 구동장치에 내장되어 있는 포텐서미터를 통해 정적정확도 점검에 필요한 위치값 데이터가 계측된다. 계측된 데이터는 유도탄 내 원격측정장치와 유도탄 외부에 위치한 TLM TS(Test set)과의 무선통신을 통해 점검장비에 로깅된다. 이와는 별개로 Fig. 5과 같이 설치한 외부 계측 장치인 레이저 변위센서를 통해 위치정확도 점검에 필요한 핀틀의 수직방향의 절대 위치값 데이터를 측정하며 DAQ보드를 거쳐 점검장비에 로깅된다. 실시간으로 점검장비에 로깅된 데이터를 활용하여, DACS의 핀틀 위치정확도 점검을 수행할 수 있다.

4. 핀틀 위치정확도 점검결과

4.1 A 시제 점검 결과

3장에서 설계된 점검시스템을 활용하여, A 시제에 대한 위치정확도 및 정적정확도 점검을 수행하였다. Fig. 7은 10개의 노즐 중 직격요격체 상부에 배치된 위치제어용 추력기 핀틀(DCS #1)에 대한 위치정확도 및 정적정확도 점검 결과를 나타낸다. Fig. 7에서 그래프의 검은색 실선은 구동명령(Command)에 해당한다. 빨간색 쇄선은 포텐서미터로 계측된 위치값이고, 파란색 파선은 외부계측 센서인 레이저 변위센서로 계측한 절대 위치값이다. 점검데이터는 자료의 보안상 임의의 상수로 무차원화하여 도시하였으며, 이에 따라 위치정확도와 정적정확도는 구동명령 대비 오차율로 나타내었다. 구동명령은 0에서 1로 커지는 계단입력을 주었으며, 입력에 따른 최대오차율은 다음과 같다. 정적정확도는 DCS의 경우 최대오차율 +0.7%로 허용오차범위인 $\pm 3\%$ 이내에 들어오는 것을 확인하였고, ACS의 경우 최대오차율 +1.5%로 허용오차범위인 $\pm 6\%$ 이내에 들어오는 것을 확인하였다. 그러나, 위치정확도는

DCS 최대오차율 +9.1%, ACS 최대오차율 8.6%로 허용오차범위를 벗어남을 확인할 수 있었다.

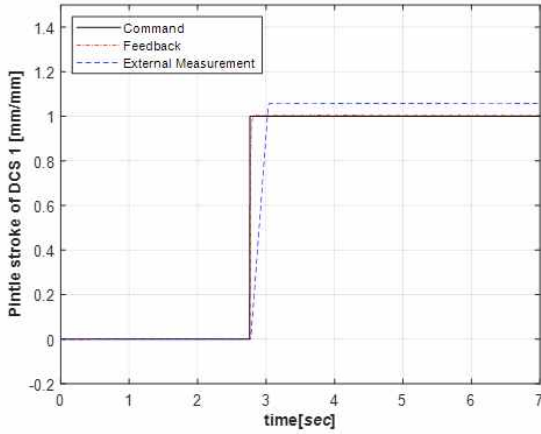


Fig. 7 Accuracy Inspection Result of DCS #1 Pintle for A missile

Table 2 Result of Pintle Accuracy for A Missile

Pintle		Static Accuracy [%]	Position Accuracy [%]
DCS	#1	0.7	5.9
	#2	0.2	9.1
	#3	0.4	7.9
	#4	0.3	7.1
ACS	#1	-0.2	7.1
	#2	1.0	8.1
	#3	0.2	4.9
	#4	-0.4	4.1
	#5	0.7	8.6
	#6	1.5	8.2

나머지 9개 노즐에 대한 점검결과는 Table2에 나타내었다. A 시체에 대한 핀틀 위치정확도 및 정적정확도 점검결과, 10개의 노즐 모두에 대해서 정적정확도는 기준범위 내에 들어왔으나, 위치정확도가 기준범위를 벗어남을 알 수 있었다. 이는 제어기의 명령추종(Command Following) 성능에는 문제는 없으나, 각 구동기 내 탑재된 포텐서미터의 민감도(Sensitivity) 게인(Gain)이 적정 값에서 벗어나 있음을 점검을 통해 확인할 수 있었다. 본 점검사례를 통해서 단품점검이 끝난 구동기라도 DACS 조립체 상태 혹은 유도탄 조립체 상태에서 정확도 성능을 크로스-체크(Cross-Check)할 수 있는 핀틀 위치정확도 점검의 필

요성을 확인 할 수 있다.

4.2 B 시제 점검결과

A 시제 이후부터 체계조립전 각 구동기 내 탑재된 포텐서미터의 민감도 게인을 각각 개별 보정하였다. 포텐서미터 민감도 게인 보정이 완료된 B 시체에 대해 위치정확도 및 정적정확도 점검을 수행하였다. Fig. 8은 포텐서미터의 게인 조정이 완료된 시제 중 직격요격체 상부에 배치된 위치제어용 추력기 핀틀(DCS #1)에 대한 위치정확도 및 정적정확도 점검에 대한 결과를 나타낸다.

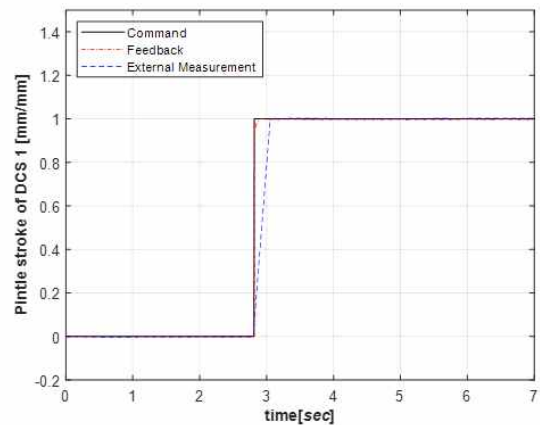


Fig. 8 Accuracy Inspection Result of DCS #1 Pintle for B missile

Table 3 Result of Pintle Accuracy for B Missile

Pintle		Static Accuracy [%]	Position Accuracy [%]
DCS	#1	-0.3	0.2
	#2	-0.3	1.0
	#3	0.8	0.6
	#4	-1.4	-0.7
ACS	#1	1.1	0.3
	#2	2.2	-0.5
	#3	0.3	-0.2
	#4	2.1	-2.0
	#5	1.1	1.9
	#6	0.7	2.1

정적정확도는 DCS 최대오차율 -1.4%, ACS 최대오차율 +2.2%로 각각의 허용오차범위인 ±3%, ±6% 이내에 들어오는 것을 확인하였다. 위치정확도 또한, DCS 최대오차율 +1.0%, ACS 최대오차율 +2.1%로

각각의 허용오차범위인 $\pm 3\%$, $\pm 6\%$ 이내에 들어오는 것을 확인할 수 있었다. Table 3은 나머지 9개 노즐에 대한 점검결과를 나타내었다.

본 점검을 통해 핀틀의 실제 구동변위가 구동명령에 따라 DCS의 경우 최대 +1.0%이내, ACS의 경우 최대 +2.1%이내의 오차율을 갖고 정밀하게 움직이는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 직격요격체의 유도조종오차를 최소화하여, 직격요격 성능을 확보하고자 DACS 구동장치에 대한 위치정확도 점검을 제안하였다.

탄도탄 표적을 직격요격하기 위해선 DACS의 구동정확도는 중요한 성능 중 하나이다. 구동장치의 정적정확도 점검의 경우 제어기의 명령추종 성능은 확인이 가능하나, 실제 출력값이 구동명령에 맞게 나왔는지는 확인이 불가능하다. 이를 확인하기 위해 위치정확도란 점검항목을 도출하였고, 이에 대한 점검방안을 제안하였다. 레이저 변위센서를 활용하여 외부계측 시스템을 구성하였고, 실시간으로 계측된 핀틀의 절대 위치값과 구동명령을 비교분석할 수 있는 위치정확도 점검시스템을 설계하였다. 설계한 점검시스템을 이용하여 A 시체에 대해 위치정확도 점검을 수행한 결과, 명령추종 성능엔 문제없으나 포텐서미터의 민감도 게인이 적정값에서 벗어나 실제 구동변위가 구동명령보다 DCS의 경우 최대 +9.1%, ACS의 경우 최대 +8.6% 차이나는 사례를 발견할 수 있었다. 해당 유도탄시체가 위치정확도 점검을 거치지 않고 비행시험에 투입되었을 경우, DACS의 압력 및 추력제어에 오차를 발생시키는 요인이 되고, 직격요격체의 비행제어 성능이 저하되어, 탄도탄 요격 실패를 초래할 수도 있다.

이후, B 시체부터 각 포텐서미터에 대해 개별 민감도 게인 보정을 수행하였고, 게인 보정이 보정이 완료된 B 유도탄 시체에 대해 핀틀 위치정확도 점검을 수행하였다. 위치정확도 점검 결과, DCS의 경우 최대오차율이 +1.0%이내, ACS의 경우 최대오차율이 +2.1%이내의 오차율을 갖고 정밀하게 움직이는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 DACS 핀틀 위치정확도 점검방

안이 향후 대탄도탄용 유도무기 개발과 양산과정에 적용된다면, 탄도탄 요격률 향상 및 유도무기 시스템 신뢰도 향상을 기대해볼 수 있다.

References

- [1] K. Elliot, "Ballistic Missile Defense Overview for the Women in Defense Workshop," MDA, 2009.
- [2] S. G. Park and K. H. Lee, "A Study on the Establishment of Capability-Based Multi-Layered Missile Defense System Considering MD in U.S.," *Journal of the KNST*, vol. 3, no. 1, pp. 46-55, 2020.
- [3] Y. C. Park and T. Y. Park, "U.S. Ballistic Missile Defense System and THAAD," *KIICE Fall Conference Proceedings*, pp. 455-457, 2015.
- [4] Missile Threat, <https://missilethreat.csis.org/defsyst/gbi/>.
- [5] H. Yingbo, and Q. Yong, "THAAD-Like High Altitude Theater Missile Defense : Strategic Defense Capability and Certain Countermeasures Analysis," *Science and Global Security*, Vol. 11, No.2-3, pp.151-202, 2003.
- [6] W. Prins, "SM-3 SDACS Flight Test Successes," *39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion conference and Exhibit*, 2003, AIAA 2003-4664.
- [7] M. Y. Ryu, D. J. Lee, K. W. Lee, and S. H. Choi, "A Study on Measuring Position Accuracy of Actuator in High Maneuver Missile," *KIMST Annual Conference Proceedings*, pp.787-788, 2018.
- [8] D. H. Lee, O. S. Lee, and M. Y. Ryu, "Performance Comparison of Missile Actuator Fin Test System Between Magnetic and Optical Encoder," *KIMST Annual Conference Proceedings*, pp.1981-1982, 2017.
- [9] J. M. Tak, H. J. Song, W. H. Jeong, and S. H. Choi, "System for Testing Actuation Performance of Thrust Vector Control Based on Image Information, Method Thereof, and Computer Readable Storage Having the Same," *Agency for Defense Development*, KR Patent, 10-2177960-0000, 2020.
- [10] I. S. Park, S. H. Hong, T. S. Ki, and J. W. Park, "Pressure Guidance and Thrust Allocation Law of Solid

DACS,” *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 19, No. 2, pp. 9-16, 2015.

- [11] J. B. Ko, Y. S. Park, S. S. Kim, S. D. Yi, K. B. Back, D. S. Ha, J. S. Kawk, and S. H. Suh, “A Study on the Weight Reduction Model of DACS System Valve with Pintle,” *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 36, No. 8, pp. 729-736, 2019.