

M&S기법을 활용한 함정용 페데스탈 지향오차 분석

Analysis of Pedestal Pointing Errors for Naval Ships by Using M&S Methodologies

이성균^{*.1)} . 고진용¹⁾ . 김현승¹⁾ . 현 철¹⁾

Sungkyun Lee¹⁾ . Jinyong Go¹⁾ . Hyunseung Kim¹⁾ . Chul Hyun¹⁾

[초 록]

현대 해군 함정에는 다양한 임무장비가 탑재되며, 이들 장비의 성능은 목표물을 얼마나 정확히 지향할 수 있는가에 크게 의존한다. 따라서 함정 운동과 페데스탈의 운동 보상 과정에서 발생하는 다양한 오차의 식별과 정량적인 분석이 중요해지고 있다. 본 논문에서는 M&S (Modeling & Simulation) 기법을 활용하여 함정용 페데스탈에 장착된 임무장비의 지향오차를 분석하였다. 임무상황에서 발생하는 파랑 중 함정의 운동응답을 추정하고, 이로 인한 페데스탈의 병진운동과 회전운동을 정량적으로 추정하였다. 기존 연구들이 주로 페데스탈의 구동오차에만 집중했던 것과 달리, 페데스탈 지향오차의 전체 요인을 체계적으로 식별하고 각 요인별 오차 크기를 추정하여, 실질적인 페데스탈의 성능 평가를 가능하게 하였다.

[ABSTRACT]

The performance of mission equipment onboard naval vessels critically depends on its pointing accuracy. Therefore, errors induced by ship motions and pedestal compensation processes need to be systematically identified and quantitatively assessed. This paper investigates the pointing errors of mission equipment mounted on a shipboard pedestal through Modeling and Simulation (M&S) techniques. Ship motion responses under operational conditions are estimated, and the resulting translational and rotational motions of the pedestal are evaluated. Unlike previous studies, which primarily focused on drive errors of pedestal, this paper identifies all major sources of pedestal pointing errors and quantifies their magnitudes. This paper provides a more comprehensive basis for practical performance evaluation of shipboard pedestals.

Key Words : Pedestal(페데스탈), Ship motion(함정 운동), Pointing error(지향오차), Compensation(보상), Modeling and Simulation(M&S)

1. 서 론

현대 해군 함정에는 다양한 전자·광학·레이다 기반의 임무장비가 탑재되어 있으며, 이들 장비의 성능은 목표물을 얼마나 정확히 지향할 수 있는가에 크게 좌우된다. 그러나 파랑 중에 놓인 함정은 지속적인 운동을 겪게 되고, 이로 인해 함정에 설치된 임무장비는 병진운동과 회전운동을 수반하게 된다. 따라서 함정의 운동을 효과적으로 보상하지 못하면 장비의 지향 성능이 저하되고 결과적으로 함정의 임무 수행 능력이 제한될 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 페데스탈(pedestal)을 활용하게 되며, 페데스탈은 함정의 운동을 보상하여 임무장비의 지향 안정성을 유지하는 기능을 수행한다[1,2]. 그러나 보상 과정에서 다양한 오차가 발생하며, 이는 장비의 실제 지향각과 명령 지향각 간의 차이를 유발한다. 페데스탈의 지향오차는 장비 성능을 평가하기 위해 고려해야 하는 중요한 요소이다.

기존의 연구들은 주로 페데스탈 구동계의 성능, 즉 명령값을 추종하지 못하여 발생하는 구동오차에 집중해왔다[3]. 그러나 실제 운용 환경에서는 페데스탈의 자세각 측정 센서의 오차에 기인한 명령오차, 함정 운동으로 인한 페데스탈의 병진운동 등 구동오차 외의 여러 오차 요인이 복합적으로 발생한다.

따라서 페데스탈의 성능을 실질적으로 평가하기 위해서는 지향오차를 유발하는 전체 요인을 체계적으로 식별하고, 각 요인별 기여도를 정량적으로 추정하는 접근이 필요하다. 이는 함정에 탑재되는 다양한 임무장비의 성능 향상과 향후 페데스탈 설계 개선에도 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다.

1) LIG넥스원 해양연구소

(Maritime R&D Center, LIG Nex1, Korea)

* Corresponding author, E-mail: sungkyun.lee2@lignex1.com

Copyright © The Korean Institute of Defense Technology

Received : October 31, 2025 Revised : December 30, 2025

Accepted : December 30, 2025

본 논문에서는 M&S(Modeling and Simulation) 기법을 활용하여 함정용 페데스탈의 지향오차를 다각도로 분석하였다. 분석 과정에서 함정 운동으로부터 기인하는 페데스탈의 병진 운동 및 회전운동을 추정하고 이로 인한 페데스탈의 지향오차를 분석하였다. 또한 페데스탈의 구동오차와 명령오차를 포함한 전체적인 지향오차를 산출하였다.

본 논문에서 도출된 지향오차 분석 결과와 성능 평가 기준은 함정 운동 및 외란 조건에 따른 페데스탈 오차 특성을 정량적으로 제시함으로써, 안정화 알고리즘 설계 및 성능 검증을 위한 핵심 지표로 활용될 수 있다. 또한 알고리즘 및 하드웨어 변경 전·후의 성능 비교와 주요 오차 요인 식별을 가능하게 하여, 향후 페데스탈 안정화 알고리즘 고도화와 장비 신뢰성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 표적 지향 오차 요소

함정용 페데스탈에 장착된 임무장비의 성능을 정량적으로 평가하기 위해서는 지향오차의 발생 요인을 명확히 정의하고 분류하는 과정이 필요하다. 지향오차는 본질적으로 해상상태에 놓인 함정의 운동에 기인하며, 이로 인해 발생하는 페데스탈의 운동을 페데스탈이 온전히 보상하지 못해 발생하게 된다. 표적 지향 오차의 평가를 위해 각각의 오차 요소를 세분화하여 정의하고, 발생 원리와 특성을 정리하였다.

2.1 함정 운동

함정은 파랑 중에서 전후(Surge), 좌우(Sway), 상하(Heave)의 병진운동과 횡동요(Roll), 종동요(Pitch), 함수동요(Yaw)의 회전운동인 6자유도 운동을 하게 된다. 이러한 운동은 함상에 놓인 임무장비의 위치를 표적 기준으로 계속 변화시키게 된다. 함의 병진운동은 페데스탈의 병진운동을 발생시키는 반면, 함의 회전운동은 페데스탈의 병진운동과 회전운동을 복합적으로 야기시킨다. 함의 회전운동에 따른 임무장비의 위치 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 페데스탈은 병진운동이 아닌 회전운동의 보상을 목표로 하는 장비로 함정의 병진운동은 직접적으로 보상할 수 없다.

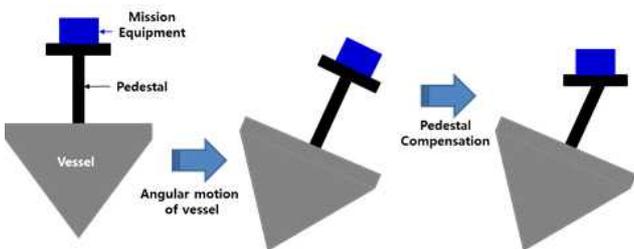


그림 1. 함정 운동에 의한 임무장비 위치 변화

Fig. 1. Change in equipment position due to vessel motion

2.2 페데스탈 병진운동

페데스탈의 병진운동은 함정의 병진운동 뿐만 아니라 회전운동에 의해서도 발생된다. 페데스탈의 임무장비는 함정의 회전중심과 다른 위치에 설치되며, 이는 함정이 회전운동을 할 때 필연적으로 병진운동을 동반하게 된다. 이는 함정의 회전중

심과 페데스탈의 임무장비 장착 위치에 크게 좌우되며, 회전운동의 크기에 비례하여 선형적으로 확대된다. 이러한 페데스탈의 병진운동은 보상할 수 없는 지향 오차의 원인이며, 최종 지향 정확도 분석에 반드시 포함되어야 한다.

2.3 페데스탈 회전운동

페데스탈의 회전운동이 발생하면, 페데스탈은 능동적으로 이를 보상한다. 그러나 보상 과정에서 오차가 발생하며, 이는 크게 페데스탈 구동오차와 명령오차로 구분된다.

페데스탈의 구동오차는 페데스탈에 부과된 명령각과 이를 추종하는 페데스탈 출력각의 차이를 의미하며, 이는 페데스탈 구동계의 기계적인 응답 지연 등의 한계로 발생된다.

페데스탈의 명령오차는 구동계에 입력되는 명령 자체가 오차를 가진 경우에 발생한다. 이는 페데스탈의 자세를 계측하는 센서의 계측 불확실성에 기인한다. 구동계가 아무리 정확히 명령을 추종하더라도 명령각 자체가 잘못되면 지향 오차는 보상할 수 없게 된다.

앞서 기술한 표적 지향 오차 요소를 도식화하여 정리하면 Fig. 2와 같다. 함정의 운동은 곧 페데스탈 운동의 원인이 되며, 페데스탈의 운동은 보상할 수 없는 병진운동과 보상 대상인 회전운동으로 구분된다. 페데스탈의 회전운동을 보상하는 과정에서 구동오차와 명령오차가 발생하며, 이러한 오차 요소들이 종합적으로 반영되어 최종적인 임무장비의 지향 오차가 발생한다.

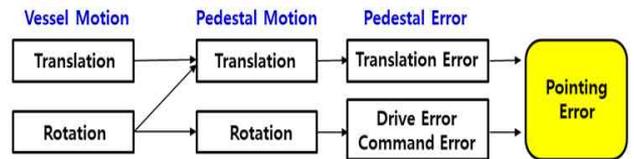


그림 2. 표적 지향 오차 흐름도

Fig. 2. Flow diagram of pointing error

3. 함정 운동 계산

파랑 중 함정 운동은 표적 지향 오차 계산의 핵심적인 초기 입력값이다. 해상상태에 따른 함정의 운동을 산출하기 위해 함정의 응답진폭 모델과 해상상태(Sea state) 모델, 그리고 함정 운동응답 모델을 적용하였다. 함정의 응답진폭 모델의 경우에는 수상함정 요동에 대한 연구논문의 해석 결과를 활용하였다 [3].

3.1 함정 응답진폭 모델

해상에서의 함정 운동을 모의하기 위해서는 우선 대상 함정의 진폭 응답 함수(RAO, Response Amplitude Operator)를 산출해야 한다. RAO는 함정의 운동 특성을 나타내는 일종의 전달함수로, 파 진폭(wave amplitude) 1m에 대한 함정 운동 진폭의 크기를 파 주파수에 따라 나타낸 것이다[4]. RAO는 파의 입사각에 따라 다르게 산출되며 본 논문에서는 파가 함의 측면으로 입사되는 횡파(beam sea)의 상황을 가정하였다. 파

입사각에 대한 정의는 Fig. 3에 나타내었다. 본 논문에서는 포텐셜 이론을 통한 수치해석을 통해 RAO를 산출한 참고논문의 결과를 인용하였으며, 대상 함정의 제원을 표 1에 정리하였다.

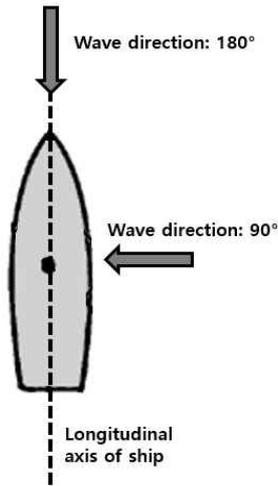


그림 3. 파 입사각 정의
Fig. 3. Definition of incident wave angle

표 1. 함정 제원

Table 1. Main particulars of vessel

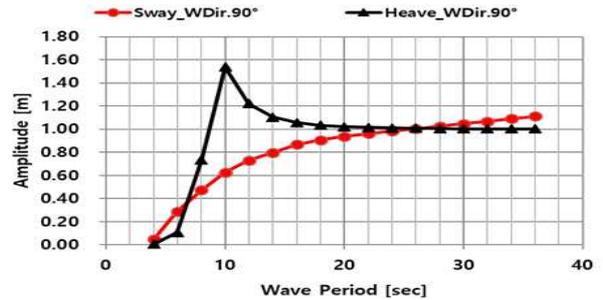
Parameters	Value
Length /Breadth [m]	278 / 16.1
Draft [m]	15.0
Displacement [ton]	96,267

본 논문에서는 함정이 횡파 중에 놓인 상황을 가정하였다. 횡파 상황에서는 함정의 진행 방향과 직각으로 파가 입사하므로, 함정의 좌우(Sway), 상하(Heave)의 병진운동과 횡동요(Roll)의 회전운동이 주요하게 나타나며 다른 운동 모드는 무시할만큼 작다[5]. 횡파 중에 놓인 대상 함정의 세 가지 운동 모드에 대한 RAO를 Fig. 4에 나타내었다.

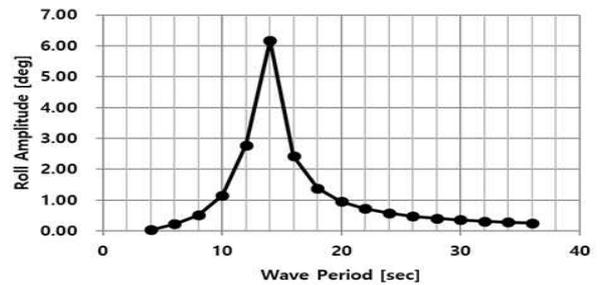
Fig. 4에서 확인 할 수 있듯이, 파 주기가 커질수록 함정의 상하운동 진폭은 1에 가까워지는 경향을 보이며, 횡동요는 0에 수렴하는 경향을 보인다. 파 주기가 커진다는 것은 파의 파장이 증가함을 의미하게 되며, 함정의 입장에서는 마치 해수면의 높이가 증가하는 것과 같은 운동을 보이게 된다. 따라서 상하운동은 파의 높이와 같은 비율인 1로 수렴하게 되고 횡동요는 변화하지 않는 0의 값으로 수렴하게 된다. 이를 통해 Fig. 4의 결과가 물리적으로 타당함을 확인할 수 있다. 특히 횡동요의 경우, 함정의 형상이 함폭 대비 길이가 긴 세장체이므로 운동이 크게 발생하고, 특히 공진주기에서 뚜렷하게 횡동요가 급격히 커지는 것을 확인할 수 있다.

3.2 해상상태 모델

파 진폭(wave amplitude) 1m에 대한 함정 운동진폭의 크기를 산출한 다음 단계는, 함정이 놓인 해상상태에서 어느 정도의 파 진폭이 발생하는지를 산출하는 것이다.



(a) Translational motion (Sway/Heave)



(b) Angular motion (Roll)

그림 4. 함정 운동 RAO

Fig. 4. Motion RAO of vessel

해상상태는 유의파고(H_s , Significant wave height)와 주기(T_p , peak period)로 표현되며, 본 논문에서는 ITTC(International Towing Tank Conference) 파 스펙트럼 [6]을 활용하여 해상상태 3에 대한 시계열 파고를 모의하였다. ITTC 파 스펙트럼(S_ζ)은 식 1과 같이 파 주파수(ω)와 유의파고(H_s), 그리고 파도 주기(T_p)를 통해 계산된다.

$$S_\zeta(\omega) = \frac{487.1 H_s^2}{T_p^4} \omega^{-5} \times \exp\left(\frac{-1948}{T_p^4} \omega^{-4}\right) \quad (1)$$

본 논문에서는 해상상태 3의 상황에 대한 분석을 수행하였으며, 해상상태 3에 해당되는 유의파고와 파도 주기는 각각 0.88m, 7.5초이다. Fig. 5는 식 1을 통해 산출된 해상상태 3의 파 스펙트럼이다. 이렇게 얻어진 파 스펙트럼은 운동 RAO와 함께 함정 운동응답 스펙트럼을 산출하는 데 활용된다.

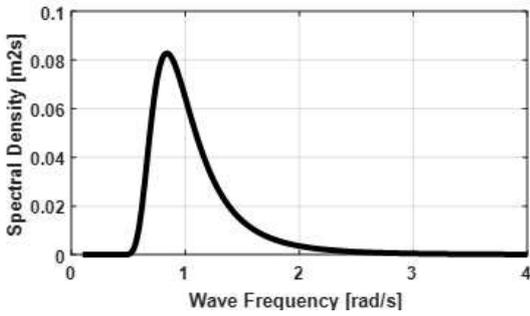


그림 5. ITTC 파 스펙트럼
Fig. 5. ITTC Wave Spectrum

3.3 함정 운동응답 모델

파 스펙트럼(S_ζ), 입사 파 진폭(ζ_a)과 그에 따른 운동 진폭(z_a)의 비를 나타내는 운동 RAO를 활용하면 함정 운동응답 스펙트럼(S_z)은 식 2와 같이 산출할 수 있다. 또한 얻어진 운동응답 스펙트럼을 통해 파 주파수 별 함정 운동진폭(z_a)을 식 3과 같이 산출할 수 있다[5].

$$S_z(\omega) = \left| \frac{z_a(\omega)}{\zeta_a} \right|^2 S_\zeta(\omega) \tag{2}$$

$$z_a(\omega) = \sqrt{2S_z(\omega)\Delta\omega} \tag{3}$$

각 주파수에 따라 얻어진 함정 운동진폭을 합성하여 시간에 따라 불규칙한 함정의 운동응답을 산출할 수 있으며, 이를 Fig. 6에 나타내었다. 각 운동 진폭의 최대값을 표 2에 정리하였다.

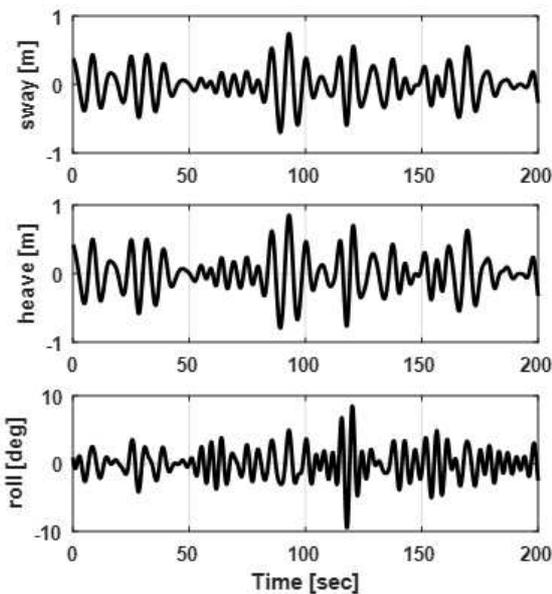


그림 6. 함정 시계열 운동응답

Fig. 6. Motion response of vessel

표 2. 함정 운동응답 최대값

Table 2. Maximum value of motion response

Mode	Value
Sway [m]	0.821
Heave [m]	0.932
Roll [deg]	9.891

4. 표적 지향 오차 산출

표적 지향 오차는 함정의 운동응답, 페데스탈의 병진 및 회전운동, 그리고 페데스탈의 구동오차 및 명령오차의 복합적 결과로 발생한다. 본 장에서는 임무 상황을 선정하고, 임무 상황에서의 각 요인 별 오차 요소를 정량적으로 평가하였다.

우선 임무 상황은 그림 7과 같이, 아함은 해상상태 3의 횡파 중에 놓여 있는 상황이며, 함수로부터 20km 방향에 위치한 표적을 지향하는 상황이다. 또한 아함과 적합한 정지 상태로 가정하였다.

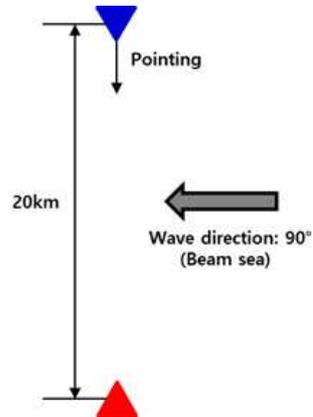


그림 7. 임무 시나리오
Fig. 7. Mission scenario

4.1 함 병진운동

아함의 병진운동 진폭을 A, 아함과 표적과의 거리를 D라고 했을 때, 병진운동 진폭 및 거리에 따른 표적 지향 오차(θ_{err})는 기하학적으로 아래의 식과 같다.

$$\theta_{err} = \tan^{-1}\left(\frac{A}{D}\right) \tag{4}$$

좌우동요와 상하동요를 고려하면 전체 병진운동의 최대값은 1.242m 이다. 따라서 표적 거리 20km 일 때, 함 병진운동으로 인한 표적 지향 오차는 최대 0.0036° 이다.

4.2 페데스탈 병진운동

본 절에서 정의하는 페데스탈 병진운동은 함정의 병진운동

이 아닌 함정 회전운동으로 발생하는 페데스탈 임무장비 위치에서의 병진운동을 의미한다. 이러한 병진운동은 함정의 회전 중심과 임무장비 장착 위치의 차이로 인해 그림 1과 같은 원리로 발생된다. 회전 중심과 장착 위치의 거리(DR), 함정 회전각(ϕ)과 장착 위치에서의 병진운동(TD)은 기하학적으로 아래의 식과 같은 관계를 갖는다.

$$TD = 2DR \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (5)$$

회전 중심과 장착 위치 간 거리를 10m로 가정하고, 횡동요 최대값인 9.891°를 활용하면, 페데스탈 병진운동은 최대 1.724m 발생한다. 4.1절에서와 같이 병진운동 최대값 1.724m와 표적 거리 20km를 활용하면 표적 지향 오차는 최대 0.0049°로 산출된다.

4.3 페데스탈 회전운동

페데스탈의 구동을 모의하기 위해 페데스탈 제어입력(U)과 페데스탈 출력인 구동각(Y)의 관계를 아래의 식과 같이 1차 시간지연 모델로 구성하였다. 여기서 K는 이득, T는 시정수, L는 시간지연을 의미한다. 관련 변수의 값을 표 3에 정리하였다.

$$Y(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{(1+Ts)} U(s) \quad (6)$$

표 3. 구동모델 변수
Table 3. Parameters for pedestal drive model

Parameters	Value
K (system gain)	0.941
L (time delay)	0.094
T (time constant)	0.642

페데스탈의 제어를 위해 LQR 제어 모델을 적용하였다. LQR 제어 기법은 선형최적제어 기법 중 하나로 목표값인 성능함수 지수를 최소화하는 제어입력을 찾는 방법이다[7]. 이를 위해 구동모델에 대한 상태방정식을 구성하였다. 여기서 x는 상태 벡터, y는 출력을 의미한다.

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases} \quad (7)$$

$$A_i = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_2 & -a_1 \end{pmatrix}, B_i = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 - a_1 b_1 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$C_i = (1 \quad 0)$$

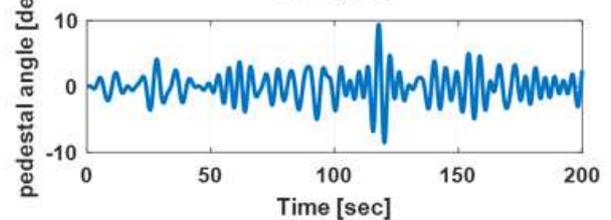
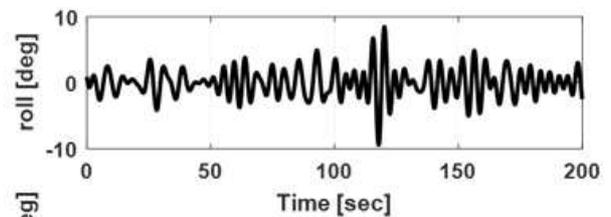
$$a_1 = \frac{2}{L} + \frac{1}{T}, a_2 = \frac{2}{TL}, \quad (9)$$

$$b_1 = -\frac{K}{T}, b_2 = \frac{2K}{TL}$$

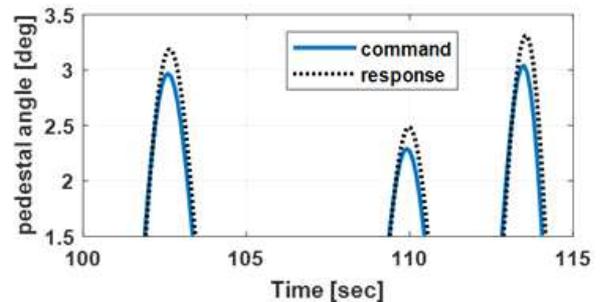
LQR 제어는 가중행렬 Q와 R을 이용해 제어입력 변수들의 가중치를 부여하게 되며, 최적의 제어이득 K는 성능함수 지수와 식 10으로 표현되는 ARE(Algebraic Riccati Equation)의 해를 구함으로써 계산할 수 있다[8].

$$\begin{aligned} PA + A^T P - PBR^{-1}R^T P + Q &= 0 \\ K &= R^{-1}B^T P \end{aligned} \quad (10)$$

그림 8(a)는 함정의 횡동요와 이를 보상하기 위한 페데스탈의 출력각을 나타내며, 그림 8(b)는 페데스탈 구동모델의 제어 명령값과 출력각의 차이인 구동오차를 보여준다. 시뮬레이션 구간에서의 구동오차 값 중 최대값을 표 4에 정리하였다.



(a) Roll and Pedestal response



(b) Drive error

그림 8. 페데스탈 운동응답 및 구동오차
Fig. 8. Pedestal response and drive error

표 4. 최대 구동오차

Table 4. Maximum value of drive error

Parameters	Value
Max. drive error [°]	0.9686

임무장비의 지향오차는 페데스탈의 구동오차 뿐만 아니라, 페데스탈의 명령오차에도 기인한다. 명령오차는 페데스탈의 자세를 계측하는 센서의 측정 오류로 인해 발생한다. 본 논문에서는 페데스탈 자세를 계측하는 가속도계의 사양을 분석하여 명령오차를 산출하였다. 우선, 가속도계를 통한 페데스탈 각도의 계측은 아래의 식과 같이 이루어진다. 그림 7의 임무 시나리오에서 a_y 는 함정 우현방향, a_z 는 함저방향의 가속도 성분을 의미한다.

$$PE = \tan^{-1}\left(-\frac{a_y}{a_z}\right) \quad (11)$$

본 논문에서 활용한 가속도계의 오차 성분들을 표 5에 정리하였다. 바이어스 오프셋은 정지 상태에서 가속도계에 출력되는 영점 오차이며, 노이즈는 센서 출력 신호에 포함된 무작위적인 변동 성분을 의미한다. 스케일 팩터는 센서 민감도에 대한 입출력 대비 오차를, 축 부정렬은 측정 축이 서로 완벽하게 직교하지 않아 발생하는 오차를 각각 의미한다.

표 5. 가속도계 사양

Table 5. Specification of accelerometer

Parameters	Value
Bias offset [mg]	5
Noise [mg]	0.3
Scale factor [ppm]	300
Misalignment [mrad]	1

그림 9는 함정의 실제 횡동요(True)와 가속도계를 통해 페데스탈에서 계측된 횡동요(Measured)의 차이를 보여준다. 페데스탈은 계측된 페데스탈의 자세에 기반하여 제어 명령을 생성하므로, 이러한 계측 오차는 제어 명령의 오차로 이어진다. 제어 명령 오차의 최대값은 표 6에 정리하였다.

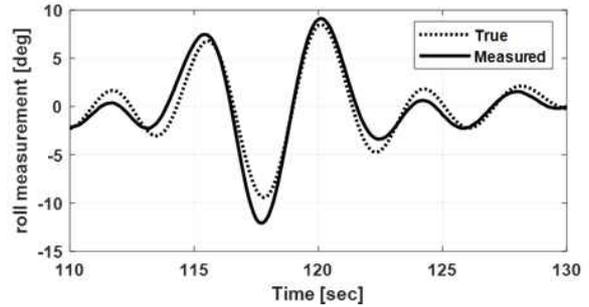


그림 9. 페데스탈 명령오차

Fig. 9. Pedestal command error

표 6. 최대 명령오차

Table 6. Maximum value of command error

Parameters	Value
Max. command error [°]	1.3389

4.4 표적 지향 오차

오차 요인인 함 병진운동, 페데스탈 병진운동, 페데스탈 회전운동에 따른 표적 지향 오차를 종합하면 표 7과 같다. 보수적인 접근을 위해 각 오차 요소의 최대값을 합산하여 종합적인 표적 지향 오차를 산출하였다.

표 7. 표적 지향 오차

Table 7. Target pointing error

Parameters		Value
Vessel translation [°]		0.0036
Pedestal translation [°]		0.0049
Pedestal rotation	Drive error [°]	0.9686
	Command error [°]	1.3389
Total pointing error. [°]		2.316

5. 결론

본 연구에서는 M&S 기법을 활용하여 해상상태 3의 횡파 환경에 놓인 함정용 페데스탈의 표적 지향 오차를 체계적으로 분석하였다.

기존 연구가 주로 페데스탈의 구동 오차에 집중했던 것과 달리, 본 연구에서는 지향 오차를 유발하는 전체 요인을 함정의 병진운동, 함정의 회전운동으로 인해 발생하는 페데스탈 병진운동, 그리고 페데스탈 회전운동을 보상하는 과정에서의 페데스탈 구동 오차와 명령 오차로 체계화하여 식별하였다.

해상상태 3의 횡파 조건과 20km 거리의 표적을 가정한 시뮬레이션을 통해, 각 오차 요인별 최대 오차 크기를 정량적으로

로 산출하였다. 분석 결과, 전통적으로 고려되던 구동 오차뿐만 아니라, 함정 및 페데스탈의 병진운동으로 인한 오차와 페데스탈의 자세를 계측하는 센서 오차에 기인한 명령 오차 역시 최종 지향 성능에 유의미한 영향을 미치는 것을 확인하였다.

본 논문에서 제시한 지향 오차의 체계적 분류 및 정량적 분석 방법론은 페데스탈의 실질적인 운용 성능을 보다 정확하게 평가하고 다양한 임무 상황에 대한 분석에 기여할 수 있다.

단, 향후 연구에서는 본 연구에서 식별한 요소 중 보상의 대상이 되는 페데스탈 구동 오차 및 명령 오차의 감소 방안에 대한 추가적인 고민이 필요하다.

References

- [1] W. Koh, "Design, Stabilization and Tracking Algorithms of Ship Board Satellite Antenna Systems," Ph. D. thesis, Department of Control and Instrumentation Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 2002.
- [2] J. Kim, "A Study on the Parameter Estimation of Stabilized Pedestals," MS. D. thesis, Department of Control and Instrumentation Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 2008.
- [3] S. Lee, J. Go, Y. Han and C. Kim, "Performance Estimation for Shipboard Directional Pedestal by Using M&S Methodologies," Journal of Institute of Embedded Engineering of Korea, vol. 13, no. 6, pp. 297-303, 2018. DOI: 10.14372/IEMEK.2018.13.6.297
- [4] J. N. Newman, Marine Hydrodynamics, The MIT Press, 1977.
- [5] O. M. Faltinsen, Sea Loads on Ships and Offshore Structures, Cambridge University Press, 1990.
- [6] ITTC, Seakeeping experiments, ITTC-recommended procedures and guidelines (7.05-02-07-02.1), ITTC(International Towing Tank Conference), 2014.
- [7] W. Koh, S. Hwang, Y. Ha, G. Jin, "Stabilization and Tracking Algorithms of a Shipboard Satellite Antenna System," Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol. 8, No. 1, pp.67-73, 2002. DOI: 10.5302/J.ICROS.2002.8.1.067
- [8] F. L. Lewis, Applied Optimal Control and Estimation, Prentice-Hall International Editions, 1992.