
함정용 2축 안정화 장치의 다물체 동역학 및 위치 제어 해석

윤찬식* · 구기영** · 김상익* · 전희호* · 이승준* · 변기식****+

Multi-body Dynamics and Position Control Simulation for 2-Axes Gimbals in Naval Shipboard

Yun Chan-Shik*, Ku Ki-Young*, Kim Sang-Ik*, Jeon Hee-Ho* , Lee Seung-Joon*, Byun Gi-Sig****+

요 약

함정은 해상 운용 시 파도 및 바람의 영향으로 인하여 Pitch, Roll 방향으로 운동이 불가피하다. 따라서 함정은 전후·좌우로 연속적으로 회전 운동을 한다. 그리고 함정은 내부 장비들의 가진에 의한 다양한 주파수의 진동과 강한 파도, 폭발에 의한 충격 등의 외란 신호에 항상 노출되어 있다. 본 논문에서는 실제 시스템과 유사한 전산해석 모델을 작성한 후 외란 신호를 포함한 함정의 연속적인 거동에 대하여 2축 안정화 장치의 동적 거동 및 위치 제어 전산 해석을 수행한다.

ABSTRACT

A naval shipboard inevitably moves in a pitch and roll direction under the influence of wave and wind in the sea. As a result, the shipboard gets in a continuous turning motion back/front and right/left. And the shipboard is also constantly exposed to many different kinds of disturbance signals including the vibrations of various frequencies from the internal equipments and their vibrations, strong waves, and impact from explosion. This paper formulates multi-body dynamic models similar to an actual system and simulates the pitch/roll positions of a 2-axes gimbals with PI controller for consecutive behavior of a naval shipboard including disturbance.

키워드

Gimbals, Pitch, Roll, Multi-body Dynamics, Disturbance Signal, Co-simulation, RecurDyn, MATLAB/Simulink

I. 서 론

함정에 탑재되는 장비는 함정 외부의 환경적인 요인과 함정 내부 장비들의 불균형한 회전 요소들로 인하여 진동에 노출되게 된다. 또한 함정은 운용 특성에 따라 강한 파도 및 폭발에 의한 충격 등에 노출된다. 함정에 탑

재되는 장비는 진동 및 충격 등의 외란 신호에 영향을 받지 않고 시스템이 요구하는 성능 범위 내에서 정상적으로 동작하여야 한다.

Jamming 송신장치는 함정을 미사일로부터 방어하는 전자전 장비로 고출력의 RF부품과 안테나 등으로 구성된다. 함정의 해상 운용 시 운동 특성을 예측한 결

* LIG넥스원

** 국방기술품질원

*** 부경대학교 +교신저자

과 함정은 롤(Roll) ± 0.35 Radian, 피치(Pitch) ± 0.0875 Radian의 범위에서 회전 운동을 한다. 따라서 함정의 롤, 피치 방향의 움직임에 대해 안테나 송신 빔 방향을 일정하게 유지할 수 있도록 송신안테나에 안정화 장치가 적용되어 있다. 함정의 운동을 실시간으로 보상하여 안테나의 위치를 피치 및 롤 방향으로 Zero Position에 위치시켜 항상 수평을 유지하는 것이 안정화 장치의 기능이다[1,2].

본 논문에서는 함정의 연속적인 운동에 대하여 보상 운동을 하며 외란 신호 입력이 가능한 안정화 장치 전산 해석 모델을 구하고, 안정화 장치의 시스템 제어 루프 모델을 MATLAB/Simulink로 작성한다. 이를 위해서 다물체 동역학(Multi-body Dynamics)모델은 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn으로 작성하여 시스템 제어 루프 모델의 플랜트로 구성하여 연동 해석(Co-simulation)을 수행하였다. 실제 제품에서 획득한 시험 결과와 해석 결과를 비교 분석하여 전산 해석 모델의 타당성을 검증하고, 진동 및 충격 등의 외란 신호에 대해서도 안정화 장치가 요구되는 성능 내에서 정상적으로 동작하는지 예측한다.

II. 안정화 장치

2.1 시스템 구성

송신 안테나용 안정화 장치의 시스템 구성은 통신 제어관(Com&Con)에서 IFXL(Interface Translator)과 안정화 장치내의 싱크로 신호를 읽어 오차 값을 계산하고, 여기에 제어 알고리즘을 적용하여 제어입력을 생성하고, D/A 변환기에서 전압값을 생성한다. 이 전압값은 모터 드라이버를 구동하고 전동기는 전동실린더의 추력을 발생하여 오차값을 보상한다. 보상된 오차값은 다시 싱크로를 통해 감지하여 되먹임제어를 하게 된다.

그림 1은 안정화 장치의 간략화한 시스템 계통도를 나타낸다[1]. 외란 신호는 함정의 몸체로부터 안정화 장치로 별도의 장치를 통하지 않고 직접 입력된다.

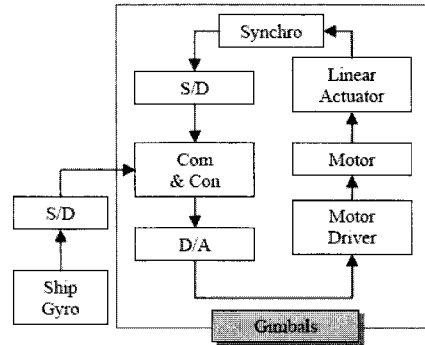


그림 1. 안정화 장치의 블럭선도
Fig. 1 System Block Diagram of Gimbals

2.2 2축 안정화 장치의 운동방정식

2축 안정화 장치는 그림 2에 도시된 바와 같이 외부는 Jamming 송신장치의 RF부품에서 발생하는 열을 방열해 주기 위한 냉각판과 분극기 및 안테나 등으로 구성되어 있다. 이들은 함정 운동에 보상하여 해수면과 수평유지가 요구된다. 수평 유지를 위한 2축 회전 운동을 가능하게 해주고 피치와 롤 운동의 디커플링을 위해 안정화 장치 내부에는 베어링을 통해 요크조립체가 적용되어 있다. 함정의 회전각 Ψ 를 무시하고, Θ 가 크지 않다고 가정하면 회전운동의 운동방정식은

$$J_L \ddot{\theta}(t) = F \cdot d \tag{1}$$

이다. 여기서 J_L 은 냉각판 조립체의 관성 모멘트 이고, F 는 전동 실린더의 추력이다. 또한 함정의 회전각 Ψ 를 함께 고려하여 회전중심 "O"에서 절대각 검출기인 싱크로의 측정치 $\Theta_o = \Theta + \Psi$ 가 된다[3]. 함정의 피치 및 롤 운동에 의한 함정의 회전각 Ψ 에 대하여 보상되어야 할 안정화 장치의 변위는 $\Theta = -\Psi$ 이다.

Θ_p = Pitch Angle of Gimbals

Θ_r = Roll Angle of Gimbals

Ψ_p = Pitch Angle of Naval Shipboard

Ψ_r = Roll Angle of Naval Shipboard

d_p, d_r = Distance between Rotation Axis of gimbals and Forced Point

F_p, F_r = Thrust Force of Linear Actuator

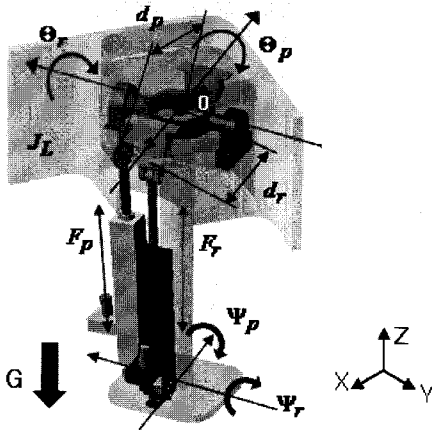


그림 2. 2축 안정화 장치의 체계도
Fig. 2 Schematic diagram of 2-axes Gimbals

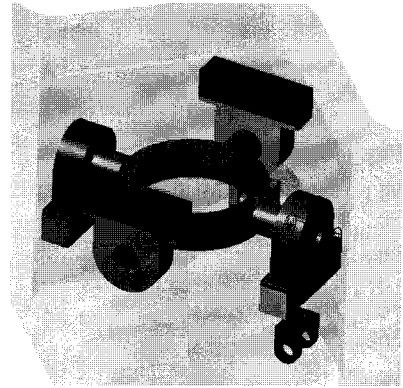


그림 3. 요크 조립체 모델
Fig. 3 Yoke Assembly Model

III. 전산해석 모델

3.1 다물체 동역학 해석 모델

안정화 장치의 동역학 모델은 I-DEAS에서 작성된 3D CAD 모델을 변환하여 RecurDyn에서 다물체 동역학 해석 모델을 이용하여 구한다.

시스템은 기계적인 요소와 전기적인 요소가 복합적으로 되어있으며 이들 요소들은 2차 미분 방정식으로 표현된다. 기계적인 요소에 대한 미분방정식을 표현하기 위하여 필요한 질량관성 모멘트는 RecurDyn에서 BODY의 속성 내에 물성치를 입력하여 정의 할 수 있고, 점성 마찰계수는 Rotational Spring의 속성을 입력하여 정의 할 수 있다. 모델에 입력되는 파라미터는 측정된 혹은 카탈로그 및 규격서 등에서 제공되는 데이터를 사용한다.

3.1.1 요크 조립체 모델

요크 조립체는 안정화 장치의 피치 및 롤 운동의 회전 중심을 제공한다. 요크 조립체는 안테나와 지지대 사이에 요크와 베어링 링크로 및 한지 블럭 등으로 구성되어 있다. 동역학 해석 모델은 그림 3과 같이 RecurDyn의 Body와 Revolute joint로 표현된다. 안정화 장치의 절대 각도 검출을 위한 링크로는 Maker로 획득한다.

3.1.2 전동기 모델

전동기는 BLDC 모터[4]를 사용하며 안정화 장치의 피치 및 롤 운동에 동력을 제공한다. 전동기는 그림 4의 전달함수 블록선도로 표현된다[5]. 이 블록선도로부터 전동기 전달함수는 식 (2)와 같이 표현이 된다.

$$\frac{T_m(s)}{V(s)} = \frac{(J_m s + b) K_m}{(L_a s + R_a)(J_m s + b) + K_b K_m} \quad (2)$$

V = Input Voltage

T_m = Motor Torque

Θ_m = Angle of Rotor

L_a = Inductance of Armature Winding

R_a = Resistance of Armature Winding

J_m = Rotor Mass Moment of Inertia

b = Viscous Friction coefficient

K_b = Back EMF Constant

K_m = Torque Constant

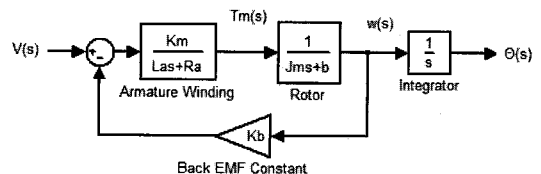


그림 4 모터의 블록선도
Fig. 4 Block Diagram of Motor

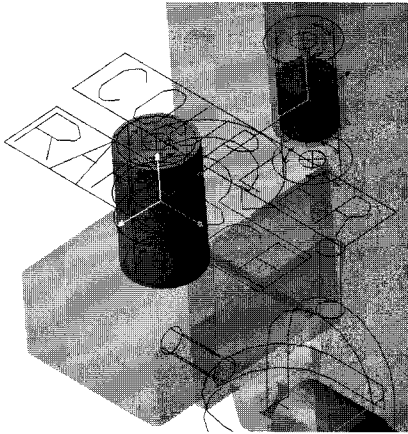


그림 5 전동기 모델
Fig. 5 Motor Model

전동기 회전자의 질량 관성 모멘트 J_m 과 점성마찰 계수 b 는 그림 5와 같이 RecurDyn의 Body와 Revolute Joint 그리고 Rotational Spring으로 표현되며, 전동기의 회전속도 값은 Maker를 이용하여 획득한다. 획득된 회전속도 $w(s)$ 는 그림 4에서 보는 바와 같이 안정화 장치 시스템 제어 루프 모델에서 역기전력 상수(k_b)와 곱해져 피드백 된다.

3.1.3 전동실린더 모델

전동기에서 발생한 회전력은 타이밍 벨트를 통해 볼스크류로 전달되고, 볼스크류의 회전력이 실린더 로드에서 추력으로 변환된다[6]. 변환된 추력은 안정화 장치의 피치와 롤 방향으로 구동시킨다. 이에 대한 변환식은 (3)과 같다.

$$F = \frac{T_m \cdot 2\pi \cdot N \cdot \eta}{L} \quad (3)$$

F = Thrust Force of Linear Actuator

T_m = Motor Torque

N = Drive Ratio

L = Ball Screw Lead

η = Efficiency

전동실린더의 해석모델을 위해서 그림 6과 같이 타이밍 벨트는 RecurDyn의 Coupler Joint로 볼스크류와 실린

더 로드는 Body와 Screw Joint로 표현하였다. 냉각판과 지지대의 조립부는 2개의 회전 자유도를 제공하는 Universal Joint를 사용하여 표현하였다.

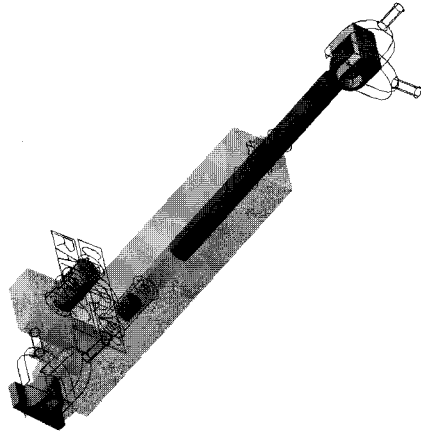


그림 6 전동실린더 모델
Fig. 6 Linear Actuator Model

3.1.4 외란 입력 모델

안정화 장치는 함정 내부 장비들의 가진에 의한 다양한 주파수의 진동과 강한 파도, 폭발 및 피탄 충격 등의 외란 신호에 항상 노출되어 있다. 다물체 동역학 해석모델에서는 그림 7과 같이 Translational Joint를 사용하여 외란의 입력을 표현하였으며, 외란에 의한 Motion을 Plant Input으로 설정하여 다양한 주파수의 진동 및 충격 조건을 구현하였다. 그리고 중력의 효과도 외란입력으로 한다.

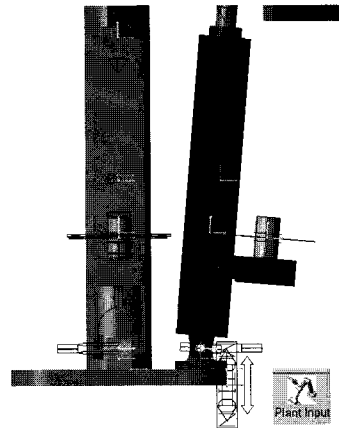


그림 7. 외란입력 모델
Fig. 7 Disturbance Input Model

3.1.5 안정화 장치 질량관성 모멘트

안정화 장치의 피치 및 롤 축에 대한 질량관성 모멘트는 단일 축에 대해서는 크기가 일정한 값이 나와 선형 특성을 가지게 되지만, 롤(피치)축의 회전 변위가 발생하게 되면 회전축에 대하여 안정화 장치의 질량 분포가 달라지므로 피치(롤)축의 질량관성모멘트의 값은 비선형 특성을 가지게 된다. 다물체 동역학 해석툴 RecurDyn을 이용하여 질량관성 모멘트를 구한다. 안정화 장치의 회전축에 외력으로 상수의 T_E (토크)를 가하면 아래 식(4)과 같이 안정화 장치는 해석 결과에 따라 α 의 회전각가속도로 회전 운동을 한다. 입력된 토크를 회전각가속도로 나누어 안정화 장치의 질량관성 모멘트를 계산한다.

$$T_E = J_L \cdot \alpha \tag{4}$$

피치 및 롤 축의 단일 축에 대한 질량관성 모멘트의 해석 결과는 아래 표1과 같으며, 롤(피치)축을 일정한 속도로 회전시키며 피치(롤)축의 질량관성 모멘트 크기를 해석한 결과는 그림 8과 같다.

표 1. 안정화 장치 단일 축 질량관성 모멘트
Table. 1 Mass moment of Inertia for the gimbals

Axis	Mass Moment of Inertia [Kg-m ²]
Pitch	9.97
Roll	6.86

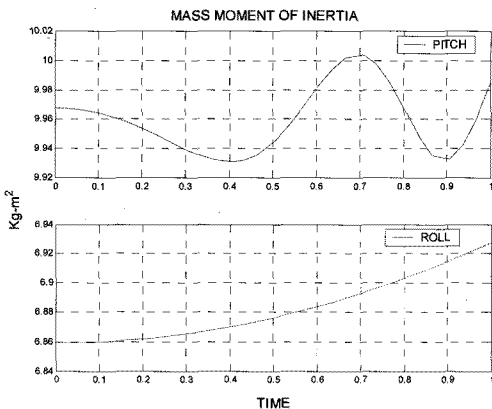


그림 8 안정화 장치 질량관성모멘트 비선형성
Fig. 8 Non-linearity of Mass Moment of Inertia of Gimbals

3.1.5 안정화 장치에 대한 플랜트 모델

안정화 장치의 초기 위치 및 초기 속도를 "0" 이라고 가정하여 식 (1), (3)의 라플라스 변환식과 식 (2)를 이용하여 안정화 장치의 Plant의 전달함수를 계산해내면 안정화 장치의 피치 및 롤 단일 축에 대한 전달 함수는 식 (5), (6) 으로 표현할 수 있다. Plant 전달함수의 입력은 전동기의 입력 전압이며 출력은 안정화 장치의 동작 각도이다.

$$G_p(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} \tag{5}$$

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{(J_m s + b) \cdot K_m \cdot d \cdot \alpha}{J_L s^2 [(R_a + L_a s)(J_m s + b) + K_b K_m]} \tag{6}$$

여기서, $\alpha = \frac{2\pi \cdot N \cdot \eta}{L}$

이 식에서 기계적 요소를 RecurDyn으로 작성한 안정화 장치의 플랜트 모델은 그림 9와 같으며, 사용된 요소는 표 2와 같다.

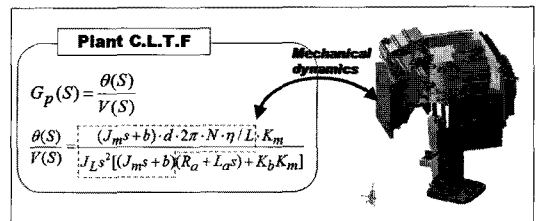


그림 9. 안정화 장치의 다물체 동역학 모델
Fig. 9 Multi-body dynamics Model of gimbals

표 2 안정화 장치 플랜트 모델요소
Table. 2 Model components of the gimbals

MBD Model Components	EA
Body	39
Revolute Joint	6
Screw Joint	2
Translational Joint	1
Universal Joint	4
Fixed Joint	28
Rotational Axial Force	2
Rotational Spring Force	2
Coupler	2
Plant Input	3
Plant Output	4

3.2 연동해석 모델

3.2.1 PI 제어기

비례 제어는 오차제어동작신호 $e(t)$ 에 비례이득 (K_p)를 곱하여 제어기의 출력 신호를 생성하는 제어 로써 본질적으로 이득의 조정이 가능한 증폭기라고 할 수 있다. 적분 제어는 오차제어동작신호 $e(t)$ 의 시간에 대한 적분값에 이득 (K_i)를 곱하여 제어기의 출력 신호 생성하는 제어로써 적분된 신호에 따라 반응을 하므로 Noise에 강하고 정상상태 오차를 0으로 한다 [3]. 비례 적분 제어는 현재 오차에 대하여 비례이득을 곱하고, 누적 오차에 대해 적분이득을 곱한 조합으로써 시스템의 응답 특성을 향상시키고 신뢰성을 향상시킨다[3].

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt \quad (7)$$

3.2.2 시스템 제어 루프 모델

비례 적분 제어기가 적용된 안정화 장치의 피치 및 롤 축의 단일 축에 대한 Single Input Single Output 시스템 제어 루프 구조는 그림 10과 같으며, 입력($\theta_d(s)$)은 함정의 절대각(Ψ)을 보상해 주기 위하여 안정화 장치가 동작해야 할 각도이며, 출력($\theta(s)$)은 안정화 장치가 동작되는 각도이다. SDC(Synchro to Digital Converter)는 싱크로에서 나오는 아날로그 값들을 디지털 수치로 변환해 주는 역할을 한다[7].

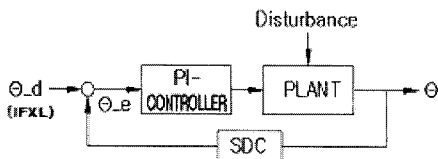


그림 10 안정화 장치에 대한 PI제어시스템
Fig. 10 System Control Loop of Gimbals

이러한 안정화 장치의 제어 루프에 대한 전달함수를 구하기 위해서 제어기의 전달함수를 $G_c(s)$, SDC의 전달함수를 $G_s(s)$, 안정화 플랜트를 $G_p(s)$ 라 할 때 외란이 없는 시스템 제어 루프 모델의 피치 및 롤 단일 축에 대한 Single Input Single Output 선형 전달함수는

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{\theta_d(s)} \quad (8)$$

$$\frac{\theta(s)}{\theta_d(s)} = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)G_s(s)} \quad (9)$$

이 된다[7]. MATLAB/Simulink를 이용 피치 및 롤 축에 대한 두 개의 단일 입출력의 제어 루프 모델을 비선형의 Multi Input Multi Output 시스템으로 표현을 하면 그림 11과 같다. 이 블록선도를 이용하여 안정화 장치의 피치와 롤 2축 해석이 동시에 수행될 수 있다. 여기서 RecurDyn에서 작성된 다물체 동역학 해석 모델이 Plant Block로 입력된다. 그림 12는 Plant Block의 입력과 출력에 대한 블록선도이며, 입력으로는 전동기의 회전력(Torque)과 외란, Plant의 출력으로는 안정화 장치의 동작 각도와 전동기의 회전속도가 된다.

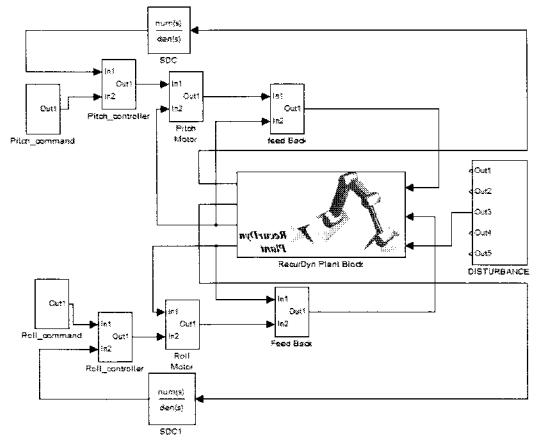


그림 11. 연동해석을 위한 모델
Fig. 11 Co-simulation Model

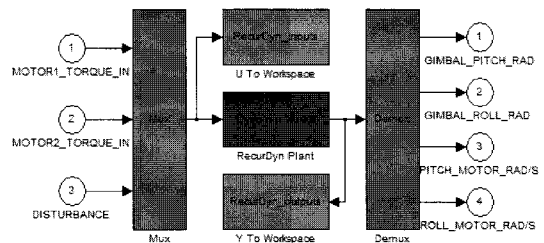


그림 12 플랜트 블록선도에 대한 입출력 사양
Fig. 12 Plant I/O

IV. 전산해석 수행

4.1 해석 모델 검증

전산 해석 모델의 검증을 위하여 실제 안정화 장치의 시험 데이터와 시스템 제어 루프 모델을 비교한다. 해석 모델의 입력 조건은 제작된 안정화 장치의 시험 조건과 동일하게 지정하여 피치 동작과 롤 동작에 대하여 정해진 계단입력 및 정현파 입력을 가하여 해석 모델과 실제모델의 실험결과를 비교하였다. 그림 13에서 나타난 바와 같이 응답시간이나 기울기의 유사성으로 보아 실제 안정화 장치 대신 시스템 제어루프를 적용하여 외란 해석이 가능함을 알 수 있다. 입력 신호는 표준 시험입력 신호인 계단파(Step) 입력신호 및 파도와 함정의 크기에서 예측이 되는 정현파(Sine) 입력을 사용한다.[2]

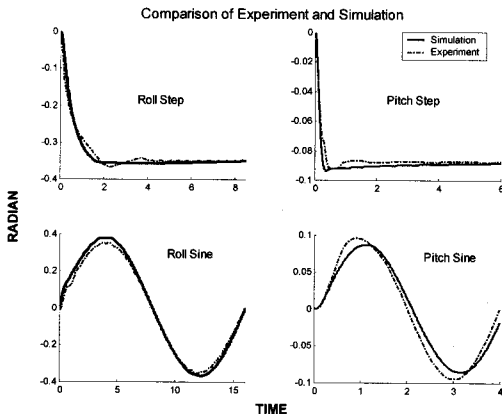


그림 13. 실제 시스템과 해석모델의 응답 비교
Fig. 13 Comparison of Response for a Gimbals Sand Simulation model

4.2 외란 신호에 대한 응답 해석

안정화 장치의 시스템 제어 루프 모델에 진동 및 충격 등의 외란 신호를 적용하여, 안정화 장치 시스템의 외란 신호에 대한 안정성을 예측해 본다.

4.2.1 진동 외란

안정화 장치 해석 모델에 입력되는 진동 조건은 MIL-STD-2036A의 5.1.2.19에 의한 MIL-STD-167 함정 장비 진동 시험 규격을 근거로 인가된다[8, 9]. 5개의 주파수

영역과 진폭은 표 3에 제시되어있다. 해석은 진동입력 방향 X, Y, Z의 3축에 대해서 따로 수행한다. 진동 입력 함수는 식(10)과 같이 $H(t)$ 를 시간에 따른 주파수의 증가 함수로 설정한다.

$$H(t) = A \cdot \sin \cdot (2\pi f(t) \cdot t) \tag{10}$$

A = Amplitude of Vibration

f = frequency of Vibration

표 3. 함정 장비 진동에 대한 주파수 및 진폭 규격
Table. 3 Amplitude and frequency specifications for naval shipboard vibration tests

Frequency Range (Hz)	Amplitude of Vibration (Inch)
4 to 15	0.030±0.006
16 to 25	0.020±0.004
26 to 33	0.010±0.002
34 to 40	0.005±0.001
41 to 50	0.003+0.000 -0.001

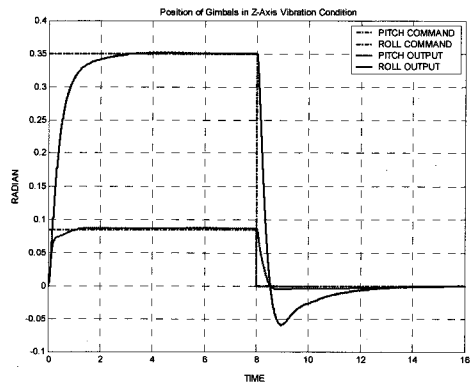


그림 14. Z축 진동외란에 대한 피치/롤 축의 응답
Fig. 14 Simulation Result in Z-Axis Vibration

그림 14는 안정화 장치가 수직으로 설치되는 Z축에 진동 외란이 4Hz부터 15Hz까지 선형적으로 주어진 상태에서, 0~8초 동안은 0도에서 피치 축5도, 롤 축 20도로 계단 입력(+)을 가하였고, 8~16초 동안에는 가한 계단 입력에 대한 정상상태 오차 값이 규격 이내로 안정화되었을 때 다시 0도로 계단 입력(-)을 가하였을 때의 해석 결과이다. 이 결과로 볼 때 롤 축의 경우 약 8초에서 6.98

x 10^{-4} radian의 진폭이, 16초에서 8.72×10^{-4} radian의 진폭이 발생한다. 한편 피치 축에 발생하는 진폭은 약 1.75×10^{-4} radian으로 롤 축에 비하여 진폭이 작다. 이는 롤 축에 비해 피치 축의 질량관성 모멘트가 크기 때문이다.

그림 15, 16은 X축 및 Y축 진동 외란이 가해졌을 때 안정화 장치의 응답특성 그래프이다. X축 진동외란의 방향은 함정의 진행방향과 수직 방향이며, 11초 이후 롤 축에서 약 1Hz의 오실레이터 현상이 발생하였다. 변위는 3.2×10^{-3} radian 이다.

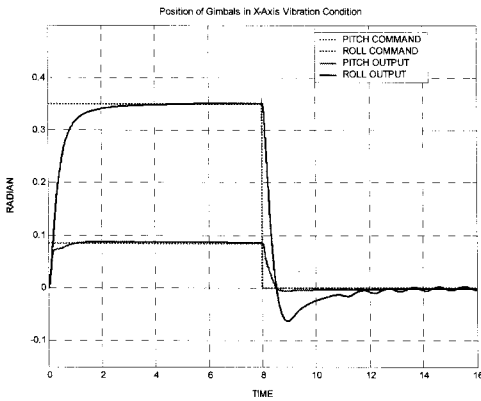


그림 15 X축 진동외란에 대한 피치/롤 축의 응답
Fig. 15 Simulation Result in X-Axis Vibration

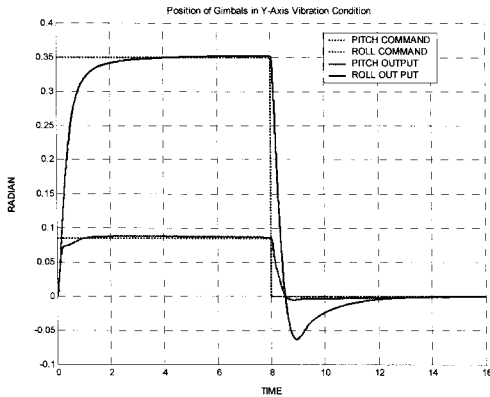


그림 16. Y축 진동외란에 대한 피치/롤 축의 응답
Fig. 16 Simulation Result in Y-Axis Vibration

Y축 진동 외란의 진폭 발생은 함정의 진행 방향이며, 롤 축의 경우 약 8초에서 5.0×10^{-4} radian의 진폭이, 16초에서 0 radian의 진폭이 발생한다. 피치 축의 경우

는 약 8초에서 3.0×10^{-4} radian의 진폭이, 16초에서도 3.0×10^{-4} radian의 진폭이 발생한다. 표 3에서 나타난 다양한 주파수 성분의 진동 외란에 대하여 해석한 결과, 4~15 Hz 진동 외란 입력 시 가장 큰 진폭의 노이즈가 나타났으며, 주파수가 커질수록 외란에 의한 노이즈 효과는 미미하게 나타남을 확인하였다. 안정화 장치에서 요구하는 성능오차 8.72×10^{-3} radian 이내임을 확인하였다.

그림 17은 X, Y, Z축의 응답 특성그래프를 확대한 것이다. 진동 외란 입력 방향에 따라서 피치 및 롤 축의 오차 크기가 다음을 확인할 수 있다. 이는 피치 및 롤 축의 질량관성 모멘트의 크기가 다르며, 각 축의 회전 중심부터 질량 중심까지의 거리가 다르기 때문이라고 판단된다. 여기서 (-) 방향으로 오버슈트가 나타나는 것은 중력에 의한 영향이며, 피치축의 오버슈트 보다 롤 축의 오버슈트가 큰 이유도 피치 및 롤 축의 질량관성 모멘트의 크기가 다르며, 각 축의 회전 중심부터 질량 중심까지의 거리가 다르기 때문이라고 판단된다.

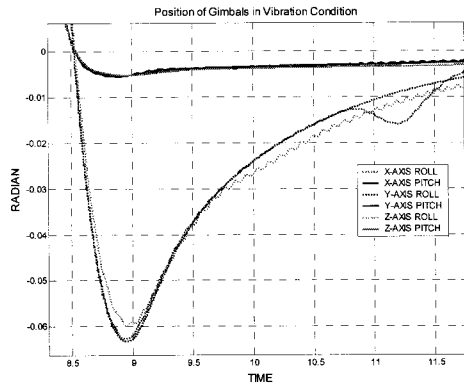


그림 17. 확대된 진동외란 응답 (8.5~11.5초 구간)
Fig. 17 Enlarged Simulation Result in Vibration for 8.5~11.5 [sec]

4.2.2 충격외란

안정화 장치는 파도 및 폭발에 의해 발생하는 충격에서도 정상 동작하여야 한다. 이는 고속 충격 모델로 정의 될 수 있다. 안정화 장치 해석 모델에 입력되는 고속 충격 조건은 MIL-STD-2036A의 5.1.2.14에 의한 MIL-STD- 810에서 제시된 Functional Shock이며, 충격 파형은 그림 15와 표 4과 같이 반 정현파(Half Sine)를 적용한다[8,10]. 충격 조건은 안정화 장치의 X, Y, Z축

에 적용한다.

표 4. 고속 충격조건
Table. 4 High speed shock condition

Shock	Half Sine
Pulse Amplitude	20G
Time Duration	11 ms
Forced Direction	Z, Y, Z Axis

그림 16, 17, 18은 안정화 장치 Z, X, Y 축에 대하여 충격 외란을 3, 6, 9, 12 초에 한 번씩 총 4차례 인가하면서, 피치와 롤 두 축에 대하여 계단입력을 가하였을 때 응답 결과이다.

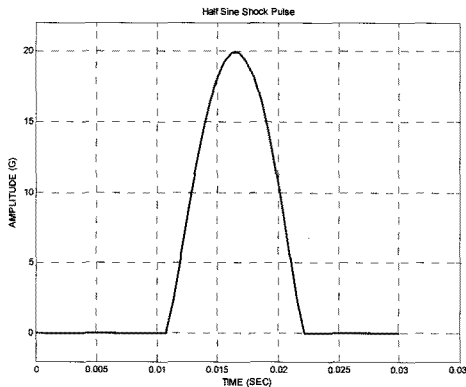


그림 15. 충격 파형
Fig. 15 Input Pulse

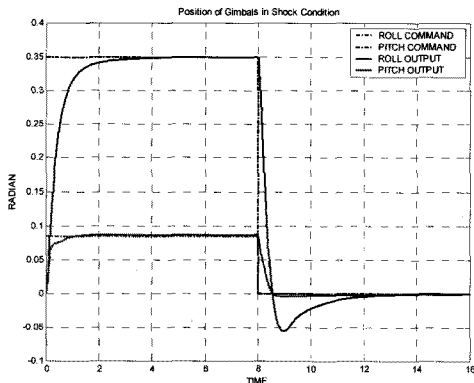


그림 16. Z축 충격외란에 대한 피치/롤 축의 응답
Fig. 16 Simulation Result in Z-Axis Shock Condition

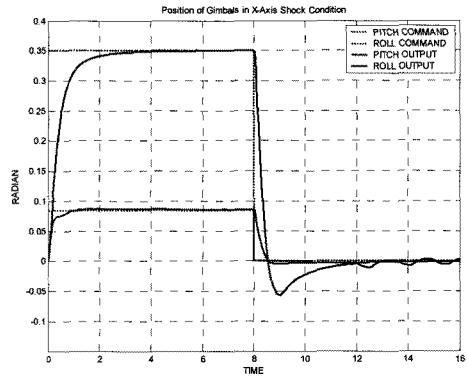


그림 17. X축 충격외란에 대한 피치/롤 축의 응답
Fig. 17 Simulation Result in X-Axis Shock Condition

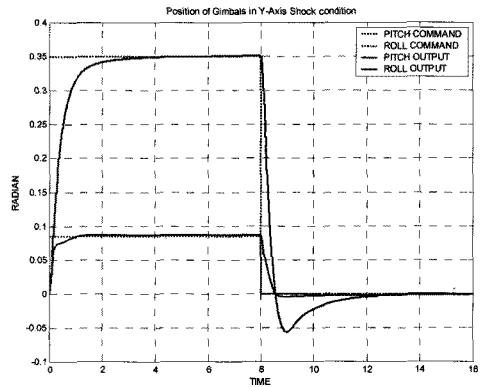


그림 18 Y축 충격외란에 대한 피치/롤 축의 응답
Fig. 18 Simulation Result in Y-Axis Shock Condition

그림 19와 그림 20은 3, 6, 9, 12 초에 가해진 충격외란에 대하여 안정화 장치 피치 및 롤 축의 응답특성 그래프를 확대한 것이다. 20G의 고속 충격에 노출되더라도 안정화 장치의 축이 흔들리는 변위는 매우 작으며, 흔들림 후에도 빠르게 안정화됨을 알 수 있다. 안정화 장치의 구조, 제어기 등은 20G의 충격에도 강건하게 설계되었으며, 파도 및 폭발에 의한 충격 등 외란에 노출된 상태에서도 임무수행에는 큰 영향을 끼치지 않음을 예측할 수 있다.

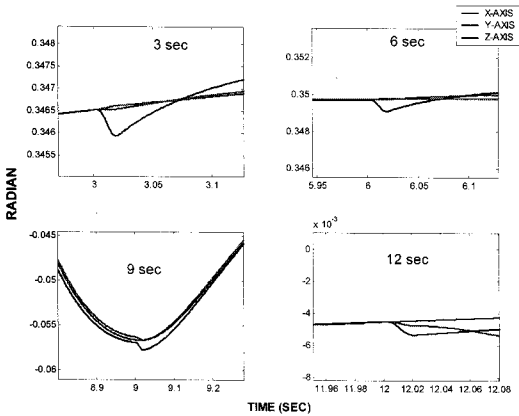


그림 19. 충격외란에 대한 시간대 별 안정화 장치 Roll 축의 응답특성
 Fig. 19 Enlarged Simulation Results in Times (3, 6, 9, 12[sec])

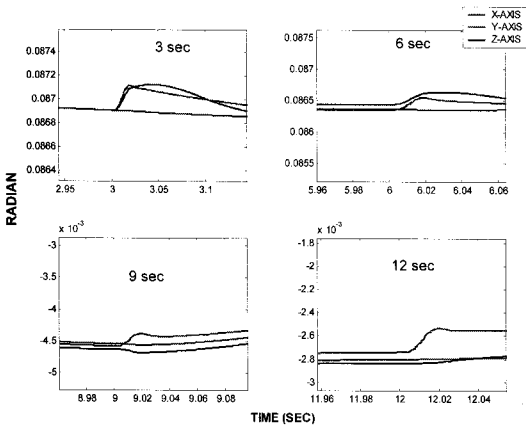


그림 20. 충격외란에 대한 시간대 별 안정화 장치 Pitch 축의 응답특성
 Fig. 20 Enlarged Simulation Results in Times (3, 6, 9, 12[sec])

V. 결론

본 논문에서는 외란 입력이 가능한 함정용 2축 안정화 장치 제어 루프 시스템의 전산해석 모델을 작성하였고, 해석을 수행하였다. 진동 및 충격 등의 외란 신호에 대해 안정화 장치의 응답 특성을 해석을 통해 예측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실제 제작된 장비에서 수행한 계단입력 및 정현파 입력 시험에 대한 결과 데이터를 획득하여, 해석 결과 데이터와 비교하여 실제장비와 전산 해석 모델의 유사성을 검증하였다.
- 2) 진동 및 충격에 의한 외란에 대하여 안정화 장치의 피치 및 롤 축의 출력은 입력 명령을 안정하게 추종하며, 피치 및 롤 축의 흔들림은 안정화 장치 시스템이 요구하는 성능 오차 범위 이내이다.

참고문헌

- [1] Cho, T. D., Seo, S. H. and Nam, K. J. "A Precision Position Control of Antenna Driving System in Naval System," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 18, No. 04, pp.1, 2001.
- [2] MIL-STD-1399-301A, "Ship Motion and Attitude," Department of Defense, USA, 1986.
- [3] Cho, T. D., Seo, S. H. and Yang, S. M. "A Study on the Robust Position Control of Single-rod Hydraulic System," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 03, pp.2, 1992.
- [4] Paker Hannifin Co, "Stepper and Servo Driven Linear Actuators," Catalog 8892/USA, 1998.
- [5] Richard C.Dorf, Robert H.Bishop "Modern Control System," Eight edition, Pearson Education Korea, pp.59-63, 1998.
- [6] Paker Hannifin Co, "Stepper and Servo Driven Liner Actuators," Catalog 8000 - 1/USA, 1998.
- [7] ILC Data Device Co, "Synchro Conversion," Catalog, second edition, USA, 1988.
- [8] MIL-STD-2036A, "General Requirements for Electronic Equipment specifications," Department of Defense, USA, 1993.
- [9] MIL-STD-167-1, "Mechanical Vibrations of Ship board Equipments," Department of Defense, USA, 1974.
- [10] MIL-STD-810E, "Environmental Test Methods and Engineering Guidelines," Department of Defense, USA, 1989.

저자소개



윤찬식(Chan-Shik Yun)

소속부서 : LIG넥스원
직위 : 주임연구원
2005년 충남대학교 메카트로닉스
공학과

2005년 ~현재 LIG넥스원(주)

※관심분야: 다물체 동역학, 구동 제어 시스템



구기영(Ki-Young Ku)

소속부서 : 국방기술품질원
직위 : 선임연구원
2004년 경북대학교 전자공학과
공학석사

1996년~현재 국방기술품질원

※관심분야: 전자전 장비 및 초고주파 부품특성 연구



김상익(Sang-Ik Kim)

소속부서 : LIG넥스원
직위 : 주임연구원
2002년 경북대학교 기계공학부
2002년~현재 LIG넥스원(주)

※관심분야: 디지털제어, 공간안정화, 진동해석



전희호(Hee-ho Jeon)

소속부서 : LIG넥스원
직위 : 선임연구원
1997년 아주대학교 기계공학과
공학석사

1997년~현재 LIG넥스원(주)

※관심분야: 구조, 진동 시스템 해석, 신호처리



이승준(Seung-Joon Lee)

소속부서 : LIG넥스원
직위 : 책임연구원
1990년 부산대학교 기계공학과
1992년~현재 LIG넥스원(주)

※관심분야: 해상이동통신, 레이더



변기식(Gi-Sig Byun)

1990년 Wichita State University

전기공학과 공학박사

1990년~현재 부경대학교

전기제어공학부 정교수

※관심분야: 디지털제어, 비선형제어, 신호처리, 전력
선통신, 전력선 진동해석