

대형 구동시스템의 안정화장치 설계에 관한 연구
(Analysis for the Stabilizer Design of the Large Driving System)

◦ 김 광 태, 이 양 원, 이 봉 기, 김 경 기
(K. T. Kim, Y. W. Lee, B. K. Lee, K. K. Kim)

진 해 기 계 창 (Chinhae Machine Depot)

Generally, stabilization system is surely needed for the compensation of the ship motion. In this paper, the study investigated stabilizer design for the large driving system.
We make a performance analysis for the stabilization scheme through the computer simulation.

1. 서 론

함상에서 사람이 제어하는 구동시스템은 일종의 외란으로 볼 수 있는 함운동 때문에 구동시 많은 어려움이 따르게 된다.

따라서 이러한 함운동을 측정하여 보상할 수 있는 장치로서 자이로를 이용한 함운동 안정화 장치가 필요하다.

본 논문에서는 대형 구동 시스템을 플랜트로 하여 비례 자이로를 이용한 안정화 장치를 설계하고 그 성능을 분석하여 보았다.

2. 모델링

시뮬레이션을 통한 안정화 성능분석을 위해서 플랜트와 함운동 및 비례 자이로에 대한 모델링이 이루어져야 한다.

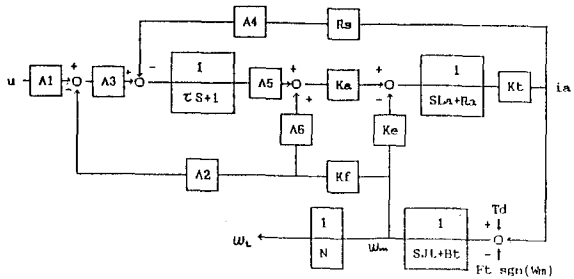


그림 1. 플랜트 모델링

(3) 비례 자이로 모델링

본 논문에서 사용된 비례 자이로는 DTG (Dynamically Tuned Gyro) 로써 다음과 같은 일반적인 2차 시스템으로 모델링 하였다. [1], [2]

$$G(s) = \frac{W^2 K}{s^2 + 2\zeta WS + W^2} \quad (2)$$

K: Scale Factor
W: Natural Frequency
 ζ : Damping Coefficient

(1) 플랜트 모델링

본 논문에 주어진 플랜트는 PI 직류모터와 전류제어 루프 및 속도제어 루프 등으로 구성된 구동장치로서 그림 1과 같이 모델링 하였다.

(2) 함운동 모델링

6자유도를 갖는 함운동 성분중 비례 자이로가 감지할 수 있는 피치(Pitch), 롤(Roll), 요(Yaw) 각 속도 성분을 간단히 모델링 하기 위해 각각의 각 속도를 일정한 주기를 갖는 정현파로 고려하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\ddot{X} + W_n^2 X = 0 \quad (1)$$

3. 좌표계 설정

비례 자이로를 이용하여 함상의 구동장치를 안정화시킬 때 사용되는 좌표계로 함정 좌표계와 구동장치에 대한 좌표계가 사용된다.

먼저 함정좌표계의 낫치, 롤, 요축의 단위 벡터를 각각 $\vec{w}_1, \vec{w}_2, \vec{w}_3$ 구동장치 좌표계의 단위 벡터를 $\vec{e}, \vec{LOS}, \vec{T}$ 로 정의한다.

이렇게 설정된 좌표계에서 구동장치 선회가 $\dot{\phi}$, 고저각이 $\dot{\theta}$ 의 각속도로 회전 했을 때 함정좌표계에 대한 구동장치 좌표계는 그림 2. 와 같고 각축이 받는 각속도는 (3) 식과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{\vec{e}} &= \dot{\vec{e}}_G = \cos\phi W_1 + \sin\phi W_2 \\ \dot{\vec{\lambda}}_G &= -\sin\phi \cos\theta W_1 + \cos\phi \cos\theta W_2 + \sin\theta W_3 \\ \dot{\vec{\phi}}_T &= \sin\phi \sin\theta W_1 - \cos\phi \sin\theta W_2 + \cos\theta W_3 \end{aligned} \quad (3)$$

θ : 고저각, ϕ : 방위각

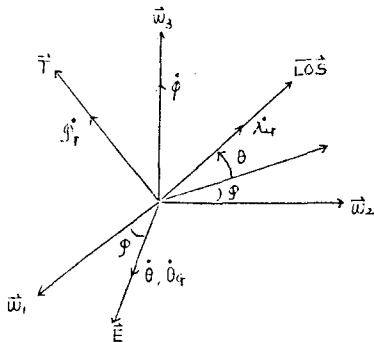


그림 2. 함정좌표계에 대한 구동장치 좌표계

(3) 식을 Matrix 형태로 고쳐쓰면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\vec{e}} \\ \dot{\vec{\lambda}}_G \\ \dot{\vec{\phi}}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ -\sin\phi \cos\theta & \cos\phi \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\phi \sin\theta & -\cos\phi \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

서어보 출력을 더하면 (5) 식과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\vec{e}}_r \\ \dot{\vec{\lambda}}_G \\ \dot{\vec{\phi}}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ -\sin\phi \cos\theta & \cos\phi \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\phi \sin\theta & -\cos\phi \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \sin\theta \\ 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (5)$$

각축에 설치되는 비례 자이로가 감지하는 각속도 성분은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_E &= \cos\phi W_1 + \sin\phi W_2 + \dot{\theta}_G \\ V_P &= \cos\phi W_1 + \sin\phi W_2 \\ V_T &= \sin\phi \sin\theta W_1 - \cos\phi \sin\theta W_2 \\ &\quad + \cos\theta W_3 + \cos\theta \dot{\phi} \\ V_R &= -\sin\phi W_1 + \cos\phi W_2 \end{aligned} \quad (6)$$

V_E : Elevation 자이로 출력
 V_P : Turret Pitch 자이로 출력
 V_T : Traverse 자이로 출력
 V_R : Turret Roll 자이로 출력

4. 비례 자이로를 이용한 안정화장치의 설계

통상적으로 비례 자이로를 이용한 안정화장치를 구동장치에 적용할 때 최대 5축까지의 비례 자이로를 이용하여 Pointing 오차를 줄이는데 본 논문에서는 2축 구동장치의 고저축에 2축, 선회축에 2축 비례 자이로를 설치한 Scheme 을 적용하여 안정화 성능을 평가하였다.

먼저 앞에서 얻은 각축의 비례 자이로가 감지하는 각속도 성분을 고려하여 구동장치에 적용된 안정화 Scheme 은 아래 그림과 같다. [3]

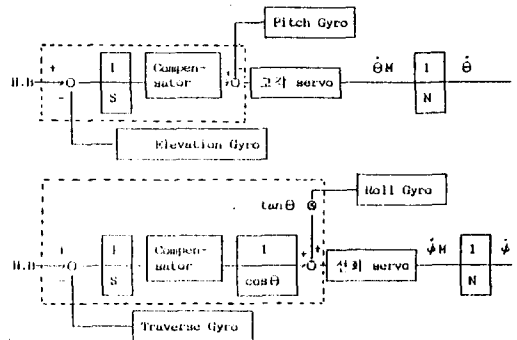


그림 3. 4축 비례 자이로를 이용한 안정화 Scheme

그림 3. 에서 점선안의 부분은 실질적으로 μ -Processor 를 이용하여 처리하기 때문에 본 논문에서는 이를 이산시간 영역으로 변환하였고, 보상기 (Compensator)는 간단한 PD 제어기로 설계하여 시뮬레이션 하여 보았다.

5. 시뮬레이션

보상기로 사용된 PD 제어기는 시스템 안정성을 고려하여 다음과 같은 값을 사용하였다.

$$\begin{aligned} \text{선 회} : K_p &= 50.5 \quad K_d = 1.2 \\ \text{고 각} : K_p &= 43 \quad K_d = 1.0 \end{aligned}$$

그리고 적용된 함운동량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Pitch Rate} &= 22.6 \cos 2.5t \text{ (deg/sec)} \\ \text{Roll Rate} &= 15 \cos t \text{ (deg/sec)} \\ \text{Yaw Rate} &= 2.6 \cos 0.52t \text{ (deg/sec)} \end{aligned}$$

시뮬레이션은 각 방위각과 고각별로 수행해야 하지만 대표적인 몇가지 경우에 대해서만 하였다. [4]

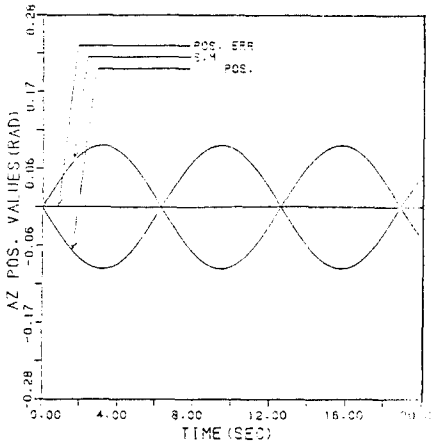


그림 4-a) $\theta=0^\circ, \phi=0^\circ$ (선회)

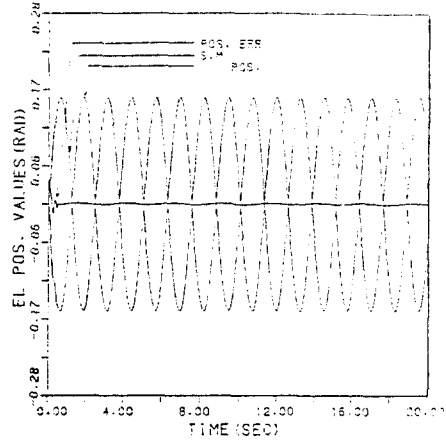


그림 4-b) $\theta=0^\circ, \phi=0^\circ$ (고각)

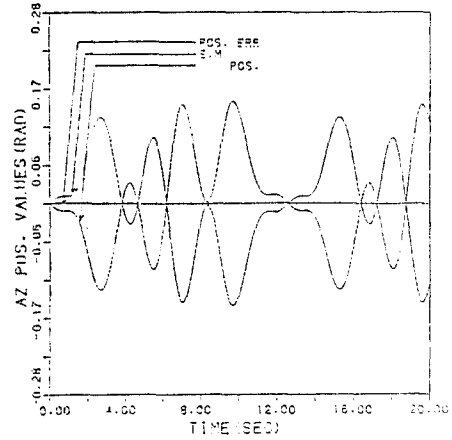


그림 5-a) $\theta=30^\circ, \phi=30^\circ$ (선회)

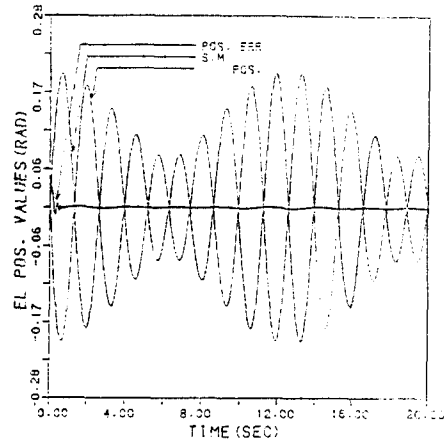


그림 5-b) $\theta=30^\circ, \phi=30^\circ$ (고각)

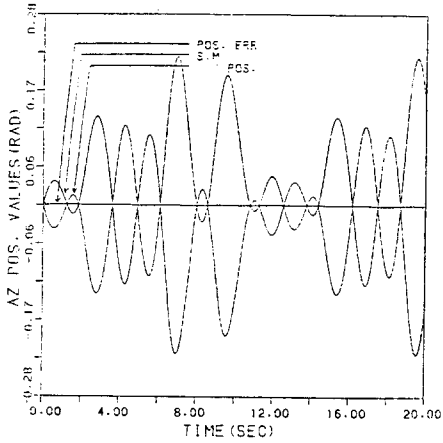


그림 6-a) $\phi=45^\circ, \theta=45^\circ$ (선회)

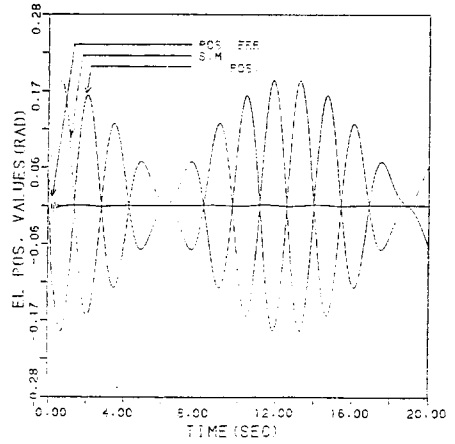


그림 7-b) $\phi=60^\circ, \theta=60^\circ$ (고각)

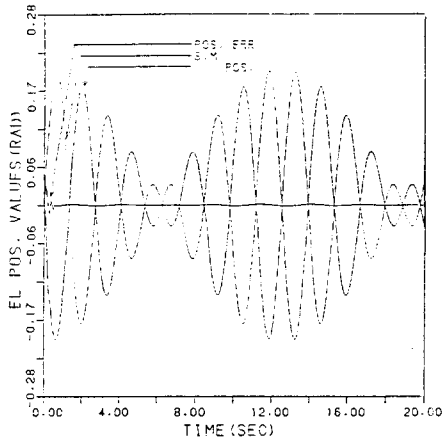


그림 6-b) $\phi=45^\circ, \theta=45^\circ$ (고각)

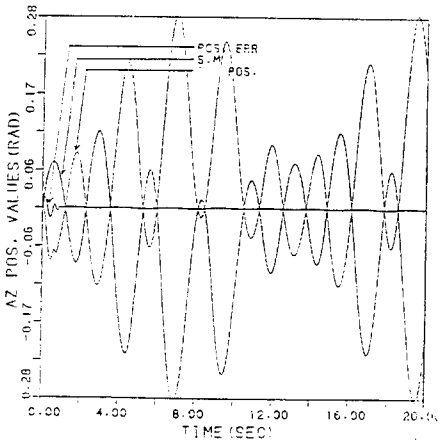


그림 7-a) $\phi=60^\circ, \theta=60^\circ$ (선회)

결과를 종합해 보면 표 1과 같다.

표 1. 각 방위각 및 고저각별 위치오차

ϕ, θ	선회 최대오차 (mrad)	고각 최대오차 (mrad)
$0^\circ, 0^\circ$	0.7765	1.2397
$30^\circ, 30^\circ$	0.9971	1.515
$45^\circ, 45^\circ$	1.053	1.4643
$60^\circ, 60^\circ$	1.149	1.286

6. 결 론

함상에서 운용하는 장비중 사람이 제어하는 구동장치에는 반드시 안정화 장치가 필요하게 되므로 본 논문에서는 이를 시뮬레이션을 통해 안정화 성능을 분석하여 보았고 실제 개발하여 현재 운용중이다. 안정화 성능평가를 위해서는 대형 구동장치를 적재할 수 있는 함운동 시뮬레이터가 필요하게 되는데 현재 보유하지 못한 관계로 실험결과는 얻지 못했다.

7. 참고문헌

- (1) P.Y.Willems "Gyro Dynamics", Springer-Verlag Berline Heidelberg New York, Sep. 1973
- (2) G.T.Schmidt "Strap-down Inertial Systems", AGARD, May 1978
- (3) R.L.Arkinson "Shipboard VADS Stabilization", K-11-74 Report, Feb. 1971

- (4) T.Harrison "Computer Simulation and Studies of the Behaviour of Stabilized Gun Systems Subject to Hull Disturbance ", Royal Millitary College of Science, Oct. 1979