

방진성능에 따른 시선 안정화 장치의 안정화오차 영향성 검토

A Study on the Effect of a Stabilization Error of the Line-Of-Sight Stabilization System according to the Isolation Properties

박재훈† · 박종철*

Park Jae-hoon, Park, Jong-chul

Key Words : Isolator(방진구), Stabilization Error(안정화 오차), EOTS(전자광학 추적장비)

ABSTRACT

The Line-Of-Sight stabilization system is designed to minimize the error of Line-Of-Sight under the disturbing circumstances. In order to control this system more accurately and reduce the level of the disturbance, adding an isolator is mostly considered. However, it is difficult to predict the exact the behavior of the isolator and the effect of a stabilization Error. Therefore, the simulation model of the control system using co-simulation with Adams and matlab simulink is presented and the effects of the isolation properties are reviewed.

1. 서 론

시선 안정화 장치(line-of-sight stabilization system)는 내부의 탑재된 CCD카메라, 또는 열상 카메라와 같은 광학장비의 시선이 목표물을 지향할 수 있도록 유지시켜 주며, 플랫폼에 인가되는 외란에 대해서도 시선을 안정화시키거나 추적 기능 등의 정밀 제어 기능을 수행하는 시스템이다⁽¹⁾.

이러한 안정화 시스템은 다양한 외란 환경 조건에서도 정밀한 안정화 성능을 만족하기 위해 방진구를 적용하기도 한다. 특히, 수십 마이크로 라디안의 안정화 요구 성능을 만족하기 위해서는 방진구를 사용하여 적정 수준의 고주파를 차단시켜야 한다. 하지만, 방진구의 사용으로 전반적인 외란 수준은 감소되지만, 방진구 자체의 진동 특성 때문에 특정 주파수 영역에서는 오히려 안정화 오차를 증폭시키는

경향을 보이기도 한다⁽²⁾.

본 논문에서는 자체 개발된 시선 안정화 장치인 SEOTS(Small Electro-Optical Tracking System)에 적용할 방진구를 선정하기 위해 방진구의 성능을 검토하였다. 이를 위해, EOTS의 안정화 성능을 예측하기 위하여 Matlab Simulink를 이용하여 제어기를 모사하였으며, 플랜트 모델은 MSC.ADAMS를 이용하여 시스템을 모델링하여, Co-Simulation을 수행하였다.

더불어, 실제 제품의 안정화 성능 시험 결과를 바탕으로 해석 모델을 검증 및 보정하였다. 이러한 일련의 해석, 실험과정을 바탕으로 방진구를 장착한 새로운 동역학 모델을 생성하였으며, 생성된 방진구의 특성에 따라 안정화 성능의 영향성을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 소형영상감지기의 동역학 모델링

(1) 시스템 구성

† 교신저자; 삼성탈레스

E-mail : jh331.park@samsung.com

Tel : 054-460-8745, Fax :054-460-8519

* 삼성탈레스

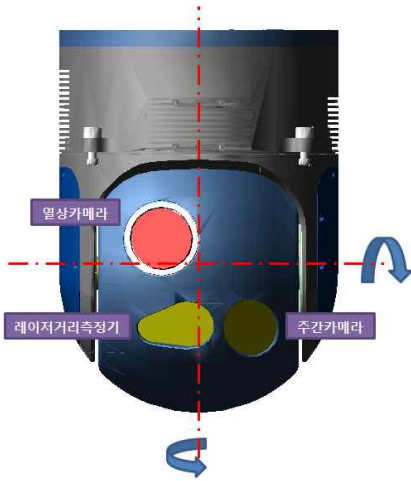


Figure 1 SEOTS 시스템 구성

SEOTS는 내부에 열상카메라, 주간카메라, 레이저 거리측정기를 탑재하여 고저각(Pitching)과 방위각(Yawing)으로 구동하며, 시선 안정화 기능을 하는 2축 안정화 김벌시스템이다.

MSC.ADAMS에서 동역학 모델링을 구성하기 위해 실제 설계된 CAD 데이터를 활용하였으며, 각각의 컴포넌트에는 실제 제품과 동일한 관성과 무게 정보를 입력하였다.

(2) 동역학 모델링 구성

ADAMS에서 구성된 모델은 고각, 방위각으로 구동하기 위해, 베어링, 모터, 마찰 등을 각각 표현해 주어야 한다.

베어링은 Bushing Connector를 사용하여 표현하였으며, 베어링의 강성은 계산식에 의해 산출된 축 방향 강성, 반경방향 강성, 그리고 모멘트 강성 값을 입력하였다.

고저각, 방위각 구동 모터는 Torque Vector를 사용하여 표현하였으며, 제어를 통해 신호가 입력될 수 있도록 시스템 변수로 설정하였다.



Figure 2 Component 연결 구성도

(3) 마찰 모델링

정밀한 서보 메카니즘의 제어를 위해서는 마찰이 중요한 인자로 작용을 하며 제어기의 Gain을 결정하고, 해석적으로 시스템을 예측하고, 시스템의 안정성을 분석하기 위해서는 마찰의 정확한 모델링이 필요하다⁽³⁾.

기존의 마찰 모델은 속도와 마찰력간의 관계를 정적 영역에서 묘사하였으며, 주로 쿨롱마찰, 점성마찰 그리고 Stribeck Effect의 조합으로 표현하였다⁽⁴⁾.

그러나, 기존의 모델은 마찰의 동적 특성을 표현하기에는 한계가 있기 때문에 본 연구에서는 Canudas의 Dynamic Friction Model을 적용하였으며 아래 수식을 ADAMS의 Torque Vector로 설정하였다⁽³⁾.

$$T_{rot.fric} = C_1z + C_2 \frac{dz}{dt} + C_3w \quad \text{①}$$

$$\frac{dz}{dt} = v - \frac{|v|}{g(v)}z = w - w \frac{z}{z_0}$$

C1 :Coulomb Friction Coefficient

C2 : Damping Coefficient

C3 : Viscous Friction Coefficient

g(v) : Stribeck velocity

$$z_0 = g(v)sgn(v)$$

수식 ①의 Canudas 모델은 각각 Coulomb Friction, Stribeck Friction, Viscous Friction의 향으로 구성되며 각각의 계수항은 다음의 계산식에 의해 정의하였다.

$$C_1 = \frac{T_c}{z_0} = \frac{T_c}{0.3} \quad \text{②}$$

$$C_2 = J \times 2\xi w$$

$$C_3 = 0.01 \times J$$

마찰은 고저각, 방위각의 회전부에 표현하였으며, 회전관성모멘트와 쿨롱 마찰의 계산 값을 이용하여 수식 ②의 C1, C2, C3를 각각 산출하였다.

(4) 안정화 오차 측정시험 외란 입력

안정화 오차 측정시험의 외란은 아래의 랜덤 가진 함수의 형태로 표현된다⁽⁵⁾.

$$PSD(\omega_b) = \frac{31.2 \times 10^3 f}{(1 + 4f^2)^{3/2}} \cdot \frac{(mil/sec)^2}{Hz}$$

$$0.25 \leq f \leq 50 \text{ Hz}, \quad 1mil \approx 0.0573$$

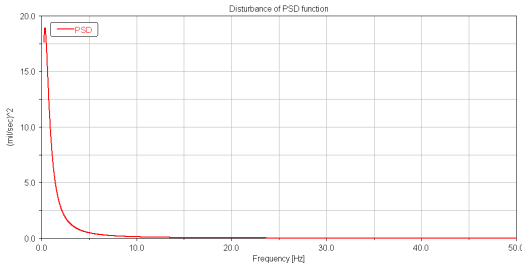


Figure 3 외란 입력 PSD 함수

주파수영역의 PSD 함수를 그래프로 표현하면 Figure 3과 같으며 이를 ADAMS의 Spline을 이용해 데이터를 생성하였다. 입력된 Spline데이터는 시간영역으로 변환하여 SEOTS의 실제 장착면을 기준으로 각속도 외란이 발생될 수 있도록 하였다.

22 제어기 모델링

(1) Matlab Simulink를 이용한 제어기 모델링

SEOTS는 외란에 의해 발생한 시선의 오차는 자이로에서 고저각, 방위각의 오차 신호로 측정되고 제어기는 이러한 오차를 입력받아 PI 제어를 수행하게 된다. 모터 구동부에서는 제어기의 출력 신호에 따라 고저각, 방위각 모터를 각각 구동하고, 구동 결과에 따른 시스템의 오차를 다시 자이로로 측정하여 피드백루프를 구성하게 된다.

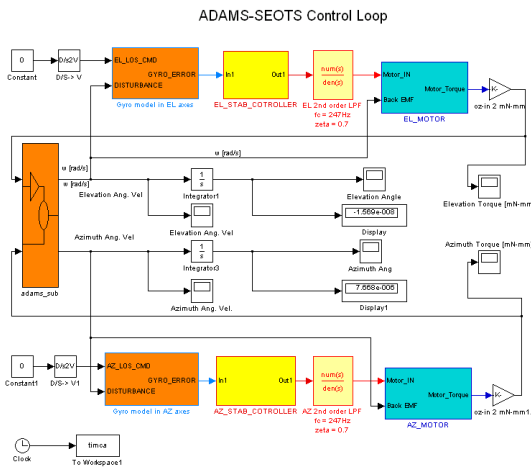


Figure 4 SEOTS 제어기 모델링

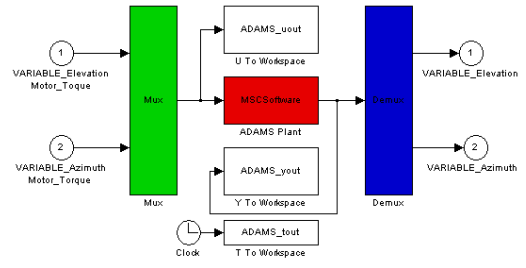


Figure 5 Co-simulation Interface

(2) ADAMS Control을 이용한 Co-simulation

ADAMS Control을 이용하여 생성된 ADAMS Sub Block으로 Matlab Simulink의 플랜트 모델을 대체하였다. ADAMS에서 발생한 외란에 의해 고저각, 방위각 LOS오차가 발생되고 오차 값은 Simulink로 입력되어 PI 제어를 수행한다. 제어기의 출력에 따라 모터 구동부에서 산출된 구동토크를 ADAMS 모델에서 입력받아 고저각, 방위각 방향으로 구동을 하면서 시선을 유지하는 안정화 피드백제어를 수행하게 된다.

23 안정화 오차 측정시험 및 결과 비교

(1) 안정화 오차 시험

해석 모델의 신뢰성 검증과 실제 시험 데이터의 안정화 오차를 획득하기 위해서 SEOTS의 안정화 오차 시험을 수행하였다. 안정화 오차 측정시험은 고저각, 방위각 축의 방향에 따라 각각 각속도 외란을 발생하고 이때 자이로의 오차를 측정하여 시선의 각도 오차를 주파수 영역에서 RMS로 산출하였다.

Table 1 안정화 오차 시험 결과

구분	외란 (mil/s)	안정화 오차 (μrad)
고저각	89.5	59
방위각	86	43

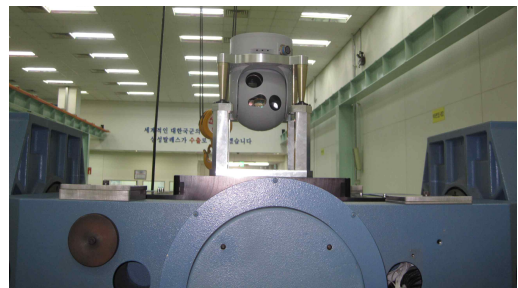


Figure 6 SEOTS 안정화 오차 측정시험

(2) 해석결과 비교 및 수정

Table 2 안정화 오차 시험/해석 결과 비교

구분	시험 오차 (μrad)	해석 오차 (μrad)
고저각	59	59
방위각	43	43

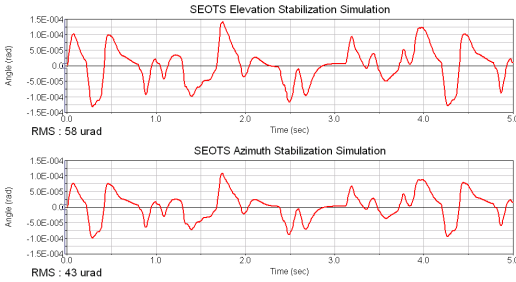


Figure 7 안정화 오차 해석 결과

해석을 통해 측정된 고저각, 방위각의 안정화 오차는 Figure 7과 같다. 시험 결과와 비교 및 보정하기 위해서 시간영역에서 시선의 각도 오차를 RMS로 산출하였으며, 시험 결과와 동일한 결과가 나오도록 해석 모델을 수정하였다.

24 방진구 특성에 따른 안정화성능 예측

(1) 방진구 모델링 및 변수 설정

방진구의 특성에 따른 안정화 성능의 영향성을 검토하기 위해서 방진구의 고유진동수를 달리하여 15Hz, 30Hz, 45Hz의 고무 재질의 방진구를 선정하였다. 방진구는 Bushing Connector로 모델링하였으며, 방진구의 제공된 강성 값을 각각 입력하였다.

방진구에 의해 발생하는 시스템의 모드를 확인하기 위해 Linear Mode 해석을 수행하였으며 각각의 고유진동수 및 모드 형태를 확인하였다.

방진구의 고유진동수와 시스템의 고유진동수는 동일하지 않았으며, 시스템의 고유진동수는 방진구의 개수와 장착 방법의 기하학적인 형태에 따라 상이할 것으로 판단된다.

방진구로 인한 고유진동수는 1차에서 5차 모드로 나타났으며, 방진구의 주파수가 높을수록 시스템의 주파수도 높게 나타났다.

Table 3 방진구 주파수별 시스템 고유진동수 비교

구분	15Hz 방진구 [Hz]	30Hz 방진구 [Hz]	45Hz 방진구 [Hz]	Mode Shape
1st Mode	16.9	23.5	32.1	좌우 Sway
2nd Mode	17.2	24.0	33.1	전후 Sway
3rd Mode	17.7	25.1	35.3	상하 병진
4th Mode	21.8	30.6	42.5	Rolling
5th Mode	26.0	36.3	50.3	Pitching

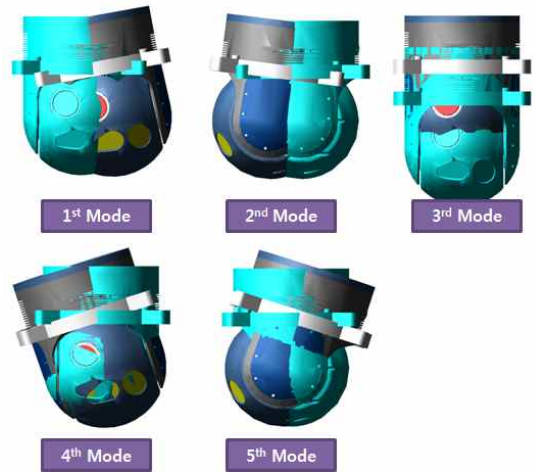


Figure 8 모드 형상

(2) 방진구 특성에 따른 안정화성능 예측

방진구가 장착된 모델의 안정화 성능 해석을 방진구의 고유진동수에 따라 각각 수행하였다. Table 4의 해석결과를 종합해 보면 방진구로 인한 안정화 성능은 방진구의 모드 형상과 주파수에 의해 영향을 받는다는 걸 알 수 있다.

방진구에 의해 유발되는 모드는 방위각 외란에 영향을 줄 모드 형상이 없기 때문에 방위각 오차는 방진구 주파수별 변화가 없었다. 반면에, 2nd Mode, 5th mode의 모드 형태는 고저각 외란에 영향을 줄 수 있고, 안정화 오차 시험 외란이 0.25 ~ 10Hz 구간의 저주파대역에서 입력 레벨이 크기 때문에 방진구의 주파수가 낮으면 입력 레벨의 외란이 증폭되어 안정화 오차가 증가한다는 것을 알 수 있었다.

Table 4 방진구 주파수별 안정화 성능 비교

구분	고저각 오차 (μrad)	방위각 오차 (μrad)	비고
방진구 없음	59	43	-
15Hz 방진구	63	43	고저각 4μrad 증가
30Hz 방진구	60	43	고저각 1μrad 증가
45Hz 방진구	59	43	-

3. 결 론

본 연구를 통해 안정화 성능의 예측 및 시스템 특성 분석을 위한 SEOTS의 동역학 모델을 구성하였으며, 실제 적용된 제어기도 모사하였다. 이렇게 구성된 모델은 방진구의 실제 적용에 앞서 해석을 통해 방진구의 특성에 따른 안정화 성능의 영향성을 평가할 수 있었다. Figure 3과 같이 주어진 외란 조건과 같은 환경에서는 방진구의 장착이 성능 면에서 오히려 불리할 수 있으며, 장착이 필요하다면 최소한 30Hz 이상의 고유진동수를 가지는 방진구의 적용이 고려되어야 한다는 결론을 내렸다.

향 후 방진구가 실제 적용된 제품의 안정화 오차 시험을 수행할 것이며, 최종적으로 해석모델을 검증할 것이다. 그리고, 이렇게 구성된 모델을 이용하여 선형 진동, 충격 조건 등의 다양한 환경 조건에서의 방진 특성을 분석하고 주어진 환경 조건에 맞는 효율적인 방진구 선정에 활용하도록 하겠다.

참 고 문 헌

- (1) Kim, M. J., Shin, D. W., Kim, K. Y. and Kim, J. S., 2002, Designs of Line-of-Sight Stabilization Control Systems Using Disturbance Observer and Sliding Mode Observer, Proceedings of the KSME Annual Autumn Conference, pp.126
- (2) Han, J. K. 2003, A study on the dynamic properties of the isolating system for the stabilization simulation, Internal Corporate Paper, pp.1
- (3) C. Canudas de Wit, 1995, A New Model for Control of Systems With Friction, IEEE Transactions Automatic Control, Vol.40, No.3, pp.420~421
- (4) B. Armstrong-Hltouvry, 1991, Control of Machines with Friction. Boston, MA: Kluwer.
- (5) Kim, K. S. Ji, C. J., Yoon, Y. S., Kang, Y. S., Kwak, B. M., 2005, Dynamic Modeling and Stabilization Analysis of ICPS Using ADAMS, Internal Corporate Paper, pp.10

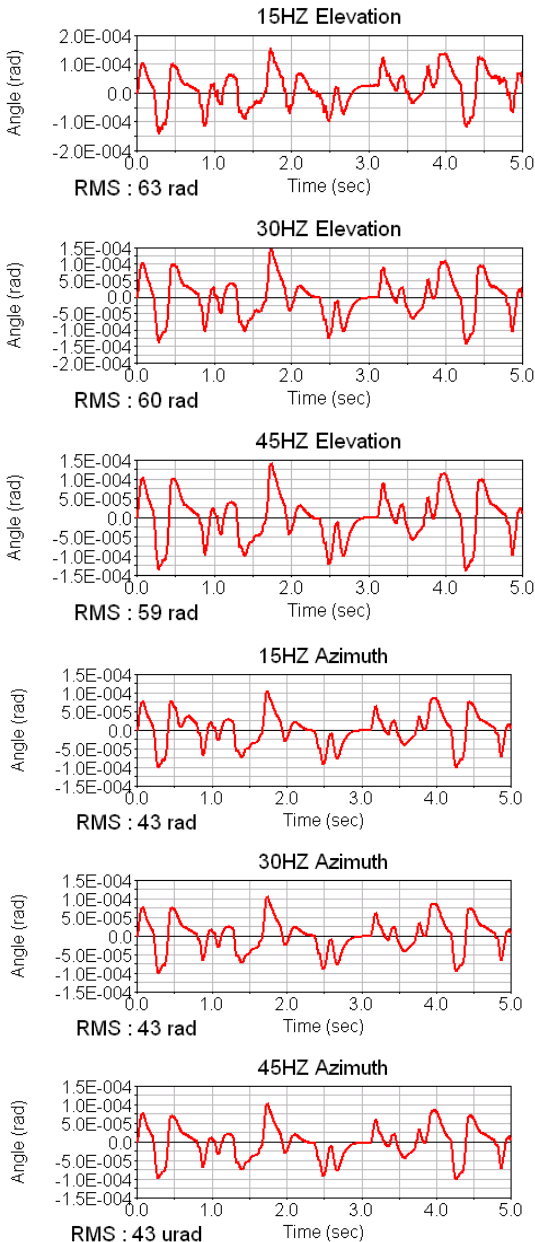


Figure 9 방진구 주파수별 안정화 오차 해석 결과