

영상 안정화 시스템 특정 주파수 회피 Avoidance the specified frequency of stabilization system with Gyro

이용덕* · 정현우** · 여보연** · 김만달** · 강호균**

Yong-Deog Lee, Hyun-Woo Jung, Bo-Yeoun Yeo, Man-Dal Kim, Ho-Kyun Kang

Key Words : Frequency(주파수), Gyrocope(자이로), IIR(적외선영상), Gimbals (짐벌), Silicon rubber(실리콘고무) Dynamic Characteristic(동특성), Stabilizing platform(안정화 플랫폼) .

ABSTRACT

Stabilizing systems with Gyroscope are extensively used in various tracking devices for attaining the system's objective. Because of putting performance first in importance of system and focusing on specification of parts, designers are sometimes passing over the dynamic characteristics of system in vibrating condition. In this paper, we were dealing with unstable stabilizing control due to coincidence of stabilization platform natural frequency and that of Gyroscope used for sensing rate. For solving this problem, statics and dynamic test of silicon rubber with 3 different hardness were performed and similar stabilizing system was adopted to prove reasonability of rubber choice and static pre-strain.

기호설명

결하기 위하여 진행한 결과를 소개한다.

2. 영상안정화 시스템 특성

1. 서론

적외선 영상을 얻어 이를 신호처리 하기 위해서는 영상을 획득하는 검출기를 사용하여야하며, 검출기는 2축 짐벌 구조의 안정화 플랫폼에 설치되어, 외부 외란으로부터 안정되게 표적을 지향하여야한다. 이를 위하여 2축 짐벌은 외란의 변위와 각속도를 검출하고 검출된 변위를 보상하여 주는 안정화 시스템이 필요하다. 안정화 시스템의 안정화 루프가 외란에 견딜 수 있도록 설계 되어야 하는데, 원하는 제어 정밀도를 맞추기 위하여서, 각 부품의 사양에 맞게 설계하나 전체 시스템 자체 고유진동수가 안정화 루프에 사용되는 부품의 고유진동수 영역에 존재하면 시스템 자체가 불안정 하게 되어진다.

본 논문에서는 적외선 영상 안정화 시스템에 사용되는 자이로(Rate Gyro) 고유진동수가 시스템의 고유진동수와 일치하여 발생하는 시스템 안정화 루프의 불안정을 해

2.1 구조

(1)안정화 플랫폼

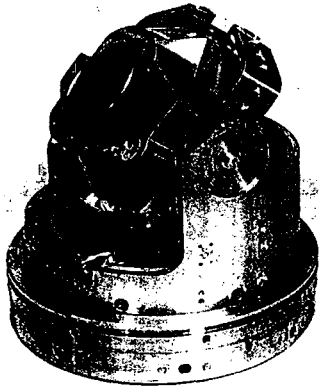
적외선 영상을 획득해서는 적외선을 수광하는 수광부, 적외선을 검출하는 검출기, 검출기 신호를 증폭하는 증폭기, 수광부와 검출기의 각속도를 검출하는 자이로, 자이로 신호를 받아서 각속도를 보상해주는 토크 모터등이 2축 짐벌 구조에 고정 되어 있다. 자이로는 Pitch, Yaw의 Rate 신호를 발생하며, 토크 모터와 위치를 검출하는 분압기는 Pitch 와 Yaw축에 각각 설치되어 있다.

(2)안정화 루프

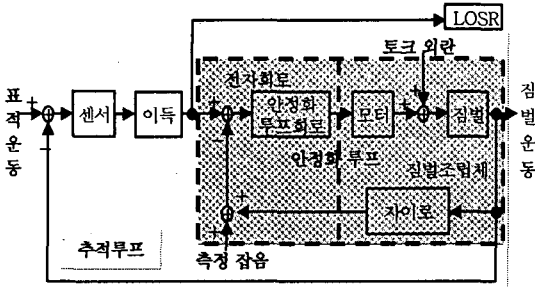
안정화 루프는 2축 짐벌의 내부 짐벌에 위치한 자이로의 속도신호를 입력받아, 제어알고리즘 따라 연산을 수행하고, 제어 신호 출력하여 구동 모터 제어하여 검출기가 안정한 신호를 획득하게 한다. 안정화 플랫폼 성능은 외란토크와 측정 잡음에 의하여 안정화 성능이 좌우된다. 외란토크는 부품 구조 물과 짐벌 조립 특성에 따른 관성모멘트, 저항, 탄성등으로 표현할 수 있다. 측정 잡음은 조립과 부품의 특성에 의하여 결정되지 않는 외부의 외란에 의하여 발생하는 것으로 외부환경에 의하여 발생하는 진동이다.

* 넥스원퓨처(주)
E-mail : ydlee@nex1.co.kr
Tel : (054) 409-8991 Fax : (054) 409-8993

** 넥스원퓨처(주)



(그림1. 유사 안정화 플랫폼 구조)



(그림2. 안정화 루프 Block-Diagram)

(3) LOSR

LOSR(Line Of Sight Rate)는 안정화루프의 성능과 추적루프 성능을 총체적으로 확인할 수 있는 신호로써, 표적과 안정화 시스템의 정렬 특성을 확인할 수 있는 신호이다. 이 신호를 비교 분석하여 사용 환경에서 발생하는 외란에 의한 안정화 시스템의 정밀성을 검증할 수 있다.

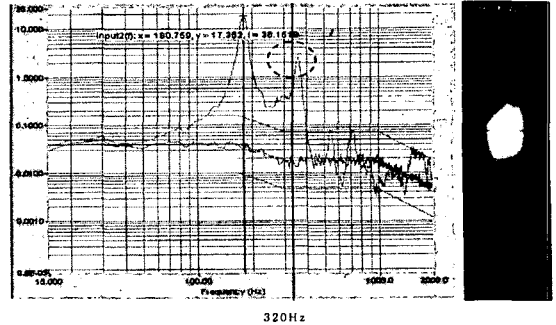
2.2 진동 특성

(1)진동시험

표적 Source를 안정화플랫폼에 인가하고, MiL-STD-810E 진동시험규격의 Random 가진하였다. 출력 가속도계 위치는 자이로가 장착된 내부 짐벌에 고정하여 안정화플랫폼의 외란에 대한 응답을 측정하였다. 또한 안정화플랫폼 성능을 총체적으로 측정할 수 있는 LOSR 신호는 시스템종합 측정 장비에서 영상신호를 변환하여 안정화플랫폼의 성능을 확인하였다.

(2)시험결과

표적 Source 에 대한 LOSR 표적 신호는 평균을 기준으로 많이 흔들렸고, 표적 Source는 Source의 중심값을 기준으로 검출기의 2.5 Pixel을 움직였다. 가진 결과, 안정화 시스템은 180Hz와 325Hz 대역에서 고유진동수를 가지고 있는 것으로 확인이 되었다.



(그림3. 안정화플랫폼고유 진동수) (그림4. 표적영상)

3. 영상안정화 시스템 보완

3.1 시험결과 분석

(1)LOSR 신호

LOSR 신호 흔들림은 안정화루프 성능을 확인할 수 있는 핵심요소인데, 신호 분석결과 신호의 흔들림이 2.5 Pixel이 나 되었고, 영상은 진동에 의하여 왜곡이 생겼다. 안정화 루프는 짐벌 각속도를 자이로로 측정하고 안정화루프전자회로(제어기)에서 각속도를 보상하여, 모터를 구동시켜서 안정화 시스템을 구현한다. 짐벌을 강제로 가정한 경우, 짐벌의 각속도는 정확히 측정되나, 외부 진동에 의하여 자이로 자체의 계측 오류가 발생하면, 제어기의 출력이 실제 제어 값보다 항상 큰 오차를 갖고 제어를 하게 된다. 안정화 시스템에 적용된 자이로는 960Hz의 Spin 주파수를 갖고 있어, 안정화 시스템의 2차고유진동수(325Hz)와 자이로 Spin 주파수의 배수 성분이 존재하여 측정 잡음이 발생하였다.

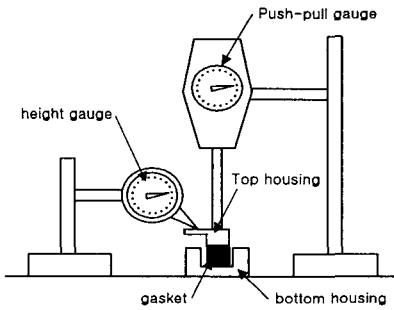
(2)고유 진동수

시스템의 2차 고유진동수가 자이로의 Spin 주파수와 일치한다. 안정화플랫폼이 정밀하게 제어되기 위해서는 시스템의 고유진동수를 자이로 Spin 주파수로부터 멀리 이동시켜서 320Hz 대역을 회피하여야 한다.

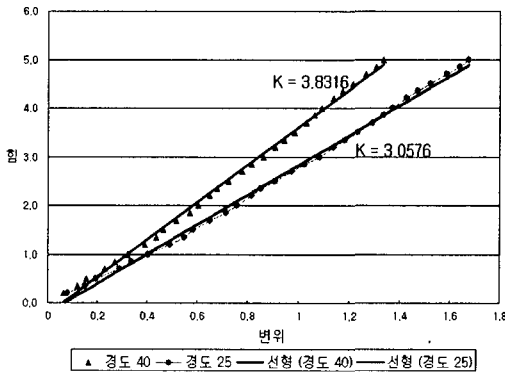
3.2 방진구조 시험

(1)방진고무선택

안정화플랫폼의 강성을 낮추어서, 시스템의 2차 고유진동수를 저주파대역으로 이동시키기 위하여 방진고무를 선정하였다. 방진고무의 K를 선정하여 주파수 대역을 100Hz 만큼 저주파 대역으로 옮겨서, 안정화 시스템의 2차 주파수가 220Hz 대역에 존재하게하고, 320Hz 대역의 가속도 전달율을 최소화하여 자이로의 측정 노이즈를 최소화하여야한다. 다양한 방진고무가 있지만 내열성이 중요시 되고, 점탄성재료의 동일 주파수에 대한 진동 전달율이 낮고, 경도 조절이 용이한 Silicon 고무를 선정하였다. 방진고무의 K 값을 구하기 위하여, 시편(4.5(W) x 25.6(H) x 4.4(L))을 만들어 힘과 변위 시험을 하였다. 그리고 경도에 따른 강성을 확인하기 위하여 경도는 25와 40 짜리를 사용하여 시험을 진행하였다.



(그림5. 방진고무 시험장치)
방진고무의 힘과 변위 선도



(그림6. 방진고무 압축특성)

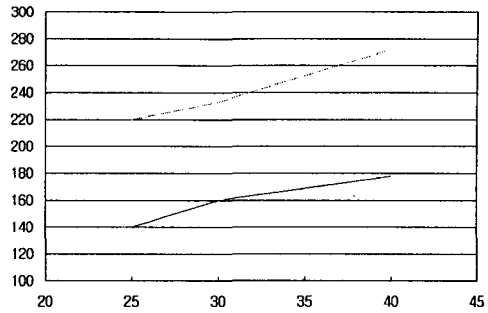
안정화 시스템의 무게는 3.163Kg이고, 안정화 시스템의 2차 고유진동수를 320Hz에서 220Hz로 낮추기 위해 강성을 7,130,40로 낮추어야 한다. 이를 위하여 단순계산식을 이용하면, 강성이 3.8인 방진 고무 2개를 직렬로 배치해야 한다. 적절한 강성을 가진 방진고무를 선정하기 위하여 힘과 변위선도를 실험에 의하여 그림6과 같이 얻었다. 힘과 변위선도를 얻기 위하여 사용한 시험장치는 그림5와 같다.

(2) 경도별 방진고무 시험

방진고무의 눌림량과 경도에 따른 고유진동수 변화를 확인하기 위하여, 경도가 25,30과 40인 방진고무를 눌림량이 0.2mm, 0.5mm 되도록하여 시험을 하였다. 사용한 유사형상 안정화 플랫폼에 Random 가진을 하여 진동시험을 진행하였다. 유사형상 안정화 플랫폼은 짐벌 구조와 조립방법이 동일하고 내부 짐벌에 들어가는 구성품은 Dummy 질량으로 바꾸고, 가속도 센서는 내부 짐벌에 고정하여 시험을 진행하였다. 경도별 눌림량 별 고유진동수는 아래 표와 같다.

경도	눌림량	1차고유진동수
25	0.2 mm	140
	0.5 mm	220
30	0.2 mm	160
	0.5 mm	233
40	0.2 mm	178
	0.5 mm	272

(표1. 경도와 눌림량에 따른 고유진동수)



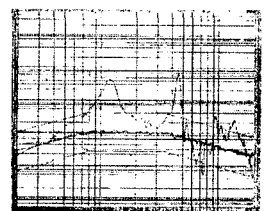
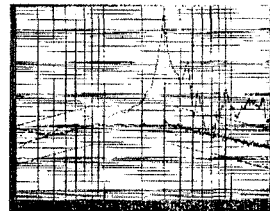
(그림7. 고유진동수 추이)

(3) 검증용 방진고무 설계

유사 안정화 안정화플랫폼에 적용하여 방진고무 사용 전후의 안정화플랫폼 고유진동수 변화를 확인하기 위하여 방진고무를 선정하였다. 경도 40짜리는 눌림량에 따른 고유진동수가 커지고, 강성이 커서, 조립 및 가공공차를 감안하면 주파수 시스템의 고유진동수와 근접하여 배제를 하였다. 방진고무는 320Hz 대역의 공진 주파수를 회피하고, 방진고무, 기계가공 공차, 조립공차 등을 감안하여, 경도 25이고 눌림량 0.2mm가 될 수 있도록 방진고무를 설계 하였다.

(4) 유사 안정화 시스템 시험

유사 안정화 시스템에 설계한 방진고무를 조립하여 주파수 이동 여부를 확인하였다. 내부 짐벌에 장착된 수광부 모듈은 실제 안정화플랫폼과는 상이하나, 이를 제외하고는 동일한 안정화 플랫폼구조를 갖는 시스템이다. 유사안정화시스템 시험의 주목적은 설계된 실리콘 방진고무 적용 시 고유진동수 이동효과를 확인하기 위해서였다. 가속도계 고정 위치는 최초에 시험한 개선하고자하는 안정화시스템과 동일하게 내부 짐벌로 하였고, 가진은 Random가진을 하였다. 실리콘 방진고무 적용 전, 후 주파수의 이동을 확인한 결과, 300 Hz 대역의 1차 고유진동수가 120 Hz 대역으로 이동 되었고 300Hz 대역의 전달율은 현격하게 줄어들었다.



(그림8. 비방진구조시 험결과)

(그림9. 방진구조 시험결과)

3.3 안전화 시스템 적용 검증

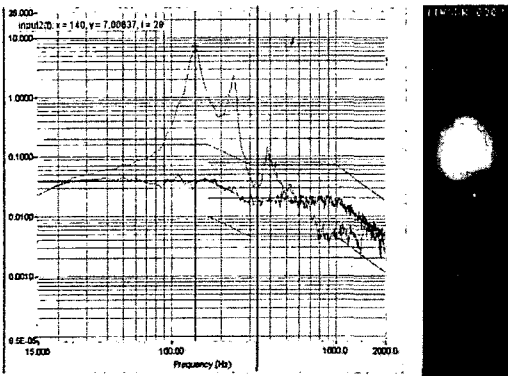
(1) 방진고무설계

실리콘 방진고무는 경도 25, 눌림량이 0.3mm가 되도록 설계하였다. 제작된 방진고무는 시편을 만들어 방진고무의 눌림량 시험장치를 활용하여 방진고무의 힘과 변위선도를 확인하

였다. 확인결과 강성에 차이가 없었다.

(2)진동시험

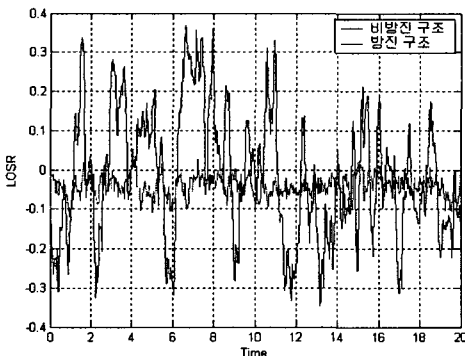
표적신호를 인가하고 MiL -STD-810E 진동시험 규격의 Random 가진을 하였다. 가속도 Output은 내부 집벌에서 출력 값을 계측하였다. 실제 안정화시스템은 유사안정화시스템과 전체적 진동특성은 상이 하였으나, 시험결과 회피하고자 하였던 안정화 시스템의 2차 고유진동수는 320Hz 근처에서 220 Hz 대역으로 이동을 하였다. 전달율도 입력 가진에 대하여 약 1 정도로 기존보다 현격하게 줄어 들었다. 안정화플랫폼 성능을 총체적으로 측정할 수 있는 LOSR 신호를 시스템종합 측정 장비에서 영상신호를 변환하여 확인한 결과 영상의 찌그러짐이 없었다. 영상이 퍼져 보이는 것은 동영상의 1개 Frame을 선택한 것이며 LOSR 신호는 따로 분석을 하였다.



(그림10. 개선후 안정화플랫폼진동시험) (그림11. 표적영상)

(3)LOSR 신호

안정화시스템이 안정화 루프의 안정화루프전자회로에 의하여 안정화플랫폼 안정화되었을 때, 외부의 외란에 의하여 인가된 Source에 대한 LOSR(Line Of Sight Rate) 신호 변동을 분석하였다. 확인한 결과 방진 전후의 흔들림 차이를 비교할 수 있었다. 아래 그림에서 신호의 변동이 큰 그래프는 비방진 구조 시 외란에 대한 검출기 출력신호를 나타내고, 신호 변동이 작은 그래프는 방진구조시 외란에 대한 검출기의 출력을 나타낸다.



(그림12. 방진고무 적용전후의 LOSR 신호)

비방진 구조에서는 LOSR 신호의 편차가 크며 검출기(센서)에서 2.5Pixel을 움직였고, 방진구조에서는 1Pixel 이내로 움직였다.

4. 결론

실리콘 고무와 같이 초탄성(Hyper elastic) 특성을 보이는 재료는 정적물성치와 동적물성치인 변형률에너지, 동적 물성치인 저탄성 계수, 손실 계수등을 고려하여야 하나, 안정화 시스템의 구조와 형상의 변경이 제한적 범위에서 가능하며, 단순화시켜 실험과 검증을 하였다. 경도와 초기 변형량에 따른 영향에 대해서는 가공 및 조립 공차 범위 내에서 영향을 검토하였다. 이론적 접근보다는 실험적 방법을 통하여 안정화플랫폼의 진동문제를 해결하였다.

본 논문에서는 2가지 경도의 실리콘 고무 실험을 통하여 힘과 변위 선도 작성하여 선형구간 강성을 구하였다. 또한 초기 변형량에 따른 안정화시스템상의 실리콘고무 동특성을 확인하기 위하여 3가지 경도고무를 2 가지 초기 변형량에 따른 실험을 진행하고, 유사시스템을 활용하여 검증후 설계에 적용을 하므로, 성공적으로 안정화 시스템을 개선을 하였다.

후 기

본 과제는 방산에 관련된 사항이므로, 내용 중에 기구적 구성도 및 사진을 정확히 표현을 못하였다. 추후 개발이 완료되어 운용을 하게 되면 정확한 형상으로 보완이 가능하리라 여겨짐.

참 고 문 헌

- (1) Brain J. Thompson, Infrared Technology Fundamentals, Second Edition Harcl Deker, Inc, New York.
- (2) Jean Motagu, Herman Deweerd, General Scanning Inc, Massachusetts.
- (3) Charles T. Davenport, Gyroscopes Theory and Design, The Praple Press Company, YORK, PA.
- (4) 김국원등. 1998, "압축하중을 받는 방진고무의 동특성 해석 및 실험", 한국소음진동공학회지 제 8권 5호
- (5)Lindley P. B. 1966, "Load-Compression Relationships of Rubber Units", Journal of Strain Analysis. Vol 1, No. 3. pp.190~195