

링레이저 자이로의 플렉서 각도측정과 플렉서 오차개선 연구

조민식[†] · 김광진

국방과학연구소 기술연구본부

Ⓣ 305-600 대전광역시 유성우체국 사서함 35-5호

김정주

고등기술연구원 포토닉스 및 RF/Microwave 센터

Ⓣ 449-800 경기도 용인우체국 사서함 25호

(2003년 6월 12일 받음, 2003년 8월 25일 수정본 받음)

간섭계를 이용한 링레이저 자이로의 플렉서 각도 측정기법이 연구되었다. Dummy mass를 추가하여 중력가속도 이상의 고 가속도 환경을 구현하였으며, 이에 따른 피에조 간섭무늬의 변화로부터 자이로 입력축의 단위 중력가속도에 대한 플렉서 각도 변화를 조사하였다. 링레이저 자이로가 가지는 플렉서 각도 변화계수는 2.37 arcsec/g로, 플렉서 측정 반복도 오차는 0.07 arcsec/g 정도로 측정되었다. 플렉서 각도를 감소시켰을 때, 링레이저 자이로 관성항법장치의 플렉서 오차가 뚜렷이 개선됨을 확인하였다.

주제어 : flexure angle, interferometer, ring laser gyro, flexure drift.

I. 서 론

II. 본 론

링레이저 자이로는 가속도계와 함께 레이저 관성항법장치에 사용되는 관성센서의 일종이다. 링레이저 자이로가 x, y, z방향 3축의 구조로 레이저 관성항법장치를 구성하게 될 때, z축의 링레이저 자이로가 지구중력 가속도 방향으로 정렬된다면, x축과 y축 자이로의 회전 입력축은 지구중력 가속도와 수직방향으로 위치하여 지구중력 방향으로의 플렉서가 발생하게 된다. 자이로 플렉서 오차는 x축과 y축 자이로의 입력축이 상호 3축간에 정확한 수직관계를 유지하지 못할 수 있으며, 자이로 입력축이 지구중력의 영향으로 정확한 x축이나 y축으로부터 왜곡된 방향을 가리킬 수 있음을 의미한다. 이 결과, 자이로의 환산계수 오차가 증가되고, 보상이 불가능한 자이로 플렉서 드리프트 오차가 유발된다.^[1] 따라서 정밀한 레이저 관성항법장치 성능을 얻기 위해서는 가능한 한 적은 자이로 플렉서가 요구된다. 이러한 취지에서 링레이저 자이로의 플렉서 설계개선 방안 연구는 자이로의 플렉서에 대한 정확한 측정이 선행되어야 한다. 즉, 레이저 관성항법장치의 성능을 향상시키기 위하여 플렉서 오차개선을 추진할 때, 해결해야 할 과제는 링레이저 자이로의 플렉서 각도를 정확히 측정하고, 평가하는 일이다. 본 논문에서는 링레이저 자이로의 플렉서 각도와 레이저 관성항법장치 성능관계를 간단히 알아보고, 간섭계를 이용한 링레이저 자이로의 플렉서 측정 및 실험결과, 그리고 플렉서 각도감소에 따른 항법장치 성능개선 결과를 소개하고자 한다.

2.1. 링레이저 자이로의 플렉서 오차와 자이로 성능관계

링레이저 자이로의 플렉서는 자이로 입력축이 지구 중력이나 외부에서 인가되는 가속도에 의해 기울어지는 현상을 나타낸다. 플렉서 각도가 클수록 관성항법장치의 성능에 악영향을 주며, 자이로가 고가속도의 환경에 놓여진 경우, 그 영향이 매우 커진다. 기본적인 정적상태(static state)에서도 레이저 관성항법장치의 z축 자이로의 회전 입력축이 중력 가속도와 같은 방향을 향하고 있다면, 측면에 장착되는 x축과 y축 자이로는 지구 중력가속도에 수직한 방향으로 토크(torque)를 받게 된다. 이는 x, y축 자이로의 입력축이 지구 중력 가속도에 의한 플렉서 발생 환경을 피할 수 없음을 나타낸다. 링레이저 자이로의 플렉서 각도에 의한 자이로 drift 성능관계를 간략히 요약하면 아래와 같이 정리할 수 있다.^[1]

링레이저 자이로에 일차 sine 파형의 가속도 γ 가 인가될 때, 자이로의 몸체 유리블록은 그림 1에서와 같이 휨이 일어나고 유리블록과 한 몸을 하고 있는 입력축 역시 휘게 된다.

자이로 몸체의 플렉서 주파수가 damper나 자이로 몸체의 공진 주파수 보다 훨씬 큰 값을 갖는다면, 플렉서 각도 θ 는 관계식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\theta = b\gamma \quad (1)$$

여기서 b 는 플렉서 계수로서 단위 중력가속도 환경에서 자이로 몸체의 입력축이 기울어지는 각도를 나타낸다.

한편, 관성센서무늬의 자이로 특정 입력축이 cone을 그릴 때, 발생하는 회전의 특별한 결합이 만들어낸 현상을 coning이라 한다.^[1,2] 같은 주파수 f 를 가지고 x축과 y축 주변을 회전하는

[†]E-mail: minsjo@add.re.kr

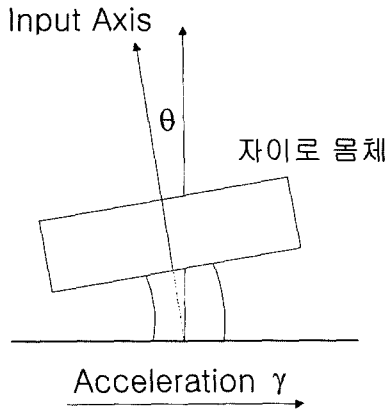


그림 1. 링레이저 자이로 입력축의 플렉서 효과 개념도.

두 개의 사인 파형 회전을 생각해 보자. ϕ 와 θ 는 회전운동의 진폭에 해당하고, α 는 x축과 y축 운동사이의 위상차이다. 이때 coning 운동에 의해 야기되는 drift rate d 는 다음과 같이 표현된다.

$$d = \pi f \theta \phi \sin \alpha \quad (2)$$

여기서 coning drift rate 오차 d 는 센서 내부성능과 비교하여 큰 값을 가질 수 있다. 관계식 (1)과 (2)를 결합하면, 외부로부터 가해진 가속도 γ 에 의해 발생한 플렉서 오차 θ 와 이로 인해 야기된 자이로의 coning drift rate d 사이에는 아래의 관계가 있다.

$$d = \pi f b \gamma \phi \sin \alpha \quad (3)$$

여기서 ϕ 는 회전 진폭이고, α 는 회전 운동과 가속도 사이의 위상차이다.

단축(1-axis) 자이로에 관한 한, 플렉서에 의한 drift rate는 보정이 거의 불가능한 것으로 알려져 있다. 비록, 과중한 컴퓨터 작업을 이용하여 플렉서 모델을 통한 drift rate의 보정이 가능할 수는 있지만, 원천적으로 플렉서 각도가 적은 링레이저 자이로 구조를 설계하는 일이 최선의 방안이다.

2.2. 링레이저 자이로의 플렉서 측정 및 결과분석

2.2.1. 간섭계를 이용한 링레이저 자이로의 플렉서 측정개념

링레이저 자이로의 플렉서 각도는 자이로 몸체에 가해지는 가속도를 변화시켜 가면서 측정하게 된다. 3축으로 구성된 링레이저 자이로 센서 조립체에서 x축이나 y축의 자이로 입력축은 정적 상태에서 중력가속도 1G를 받고 있다. 항법장치의 성능과 관계하는 플렉서 각도는 자이로 입력축에 인가되는 가속도에 따른 플렉서 각도의 변화 계수로 표현한다. 가속도 크기에 따른 플렉서 각도 변화계수는 자이로 입력축에 1G 이외에 순차적으로 2G, 3G, 또는 4G를 인가하여 발생하는 플렉서 각도의 변화를 측정하여 구할 수 있다. 이때, 자이로 입력축의 인가 가속도 크기에 따른 플렉서 변화는 선형적이어야 한다. 플렉서의 변화율이 선형적인 것으로 확인되었다면, 인가 가속도에 따른 플렉서 각도 변화계수는 쉽게 얻을 수 있다. 자이로 입력축에 적용되어야 할 가속도 인가방법은 간단하면서도

명쾌한 방법을 사용하였다. 링레이저 자이로 몸체의 질량을 측정하고, 이 무게가 자이로 입력축에 인가하는 가속도가 1G이므로, 자이로 몸체의 질량중심 부위에 dummy mass를 매달아서 가상의 2G 또는 3G의 상황을 구현하였다. 자이로 몸체의 질량이 1kg일 때, 0.5kg의 dummy mass를 링레이저 공진기 몸체의 질량중심에 매달게 되면 자이로 입력축은 1.5G의 가속도를 받게 된다. 즉, dummy mass의 질량을 여러 종류로 취하고 이때의 플렉서 각도를 측정하면 링레이저 자이로의 플렉서 변화를 확인할 수 있다. 플렉서 각도 측정방법에는 간섭계가 사용되었다. 가속도 인가 상태에서 간섭계의 기준면에 대한 자이로 몸체 시험면이 기울어질 때 발생하는 간섭무늬 개수의 변화를 관찰하여 플렉서 각도를 측정할 수 있다. 단, 간섭무늬 변화로부터 얻을 수 있는 플렉서 각도 정보의 분해능을 어느 정도까지 높일 수 있는가의 문제가 남아있다.

간섭계를 이용한 링레이저 자이로의 플렉서 측정에는 two-beam interferometer [model명: GPI XPHR, Zygo사, 미국]를 사용하였다. GPI XPHR은 일반적인 위상변화 간섭계(phase-shifting interferometer)에 정밀 위상변조 방식과 고속, 고분해능 CCD 카메라를 추가하고, 정밀하게 변조되는 간섭무늬 이미지를 분석하기 위하여 기능 강화된 데이터 분석 소프트웨어인 MetroPro를 사용하고 있다.^[3] 간섭계 GPI XPHR을 이용한 플렉서 측정장치의 개념도가 그림 2에 간단히 나타나 있다.

그림에서도 알 수 있듯이, 간섭계 광원에서 나온 레이저 광선은 광분할기를 지나면서 기준표면과 시험 표면으로 입사된다. 두 표면에서 반사된 두 빛은 다시 광 분할기로 되돌아가고 다음 경로로 스크린에 입사된다. 스크린에서 만난 두 광선은 간섭무늬를 만들게 되는 데, 여기서 만들어진 간섭무늬의 변화는 기준면에 대한 시험표면의 기울어진 경사각 정보를 알려준다. 간섭계 GPI XPHR를 사용할 경우, 간섭계의 기준면은 장비 내부에 장착되어 있으며 외부에 시험 표면에 해당하는 링레이저 자이로 공진기 몸체를 위치시켰다. 치구를 이용해서 자이로 센서 입력축이 지구 중력 가속도에 수직하도록 정렬해 놓고, 점차적으로 추가 하중을 인가하면 플렉서 각도발생에 의한 시험 표면의 휨이 일어나고, 그 결과 간섭무늬 개수의 변화가 관측된다. 인가 가속도에 따른 플렉서 변화계수를 구하

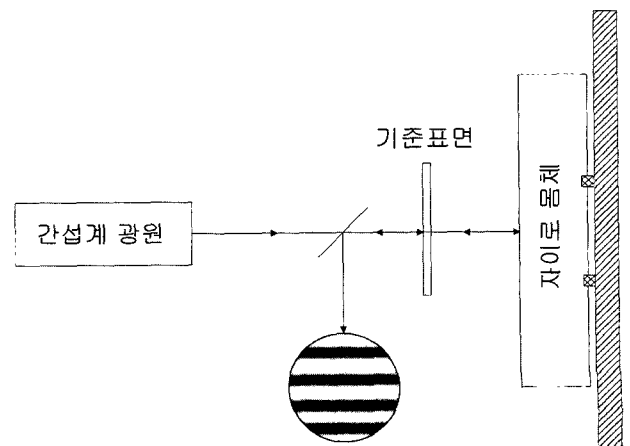


그림 2. 간섭계를 이용한 플렉서 측정 원리.

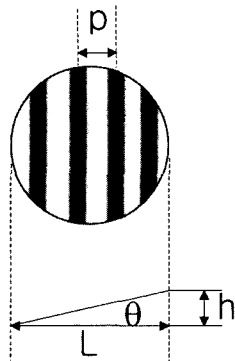


그림 3. 간섭무늬 개수와 플렉서 각도 관계.

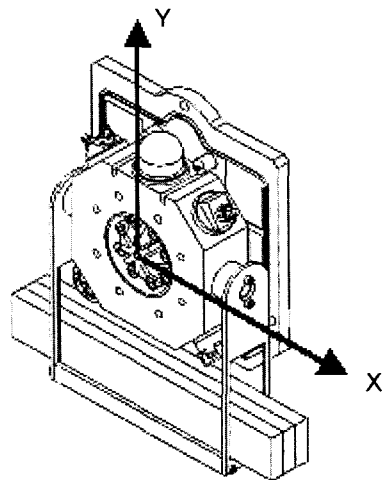


그림 4. 링레이저 자이로의 플렉서 측정을 위한 dummy mass 장착.

고자 하므로 자이로 입력축이 근사하게 중력가속도 방향에 수직정렬 되어도 측정에는 문제가 없다. 그림 3은 간섭무늬 개수와 플렉서 각도의 관계를 보여준다.

그림 3에서 전체 간섭무늬 패턴이 차지하는 실제거리를 L 이라고 하고, 인접한 두개 간섭무늬 사이의 간격을 p 라고 하면, 이때의 시험 표면 경사각 θ 와 경사 높이 h 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.^[4]

$$p \cdot \frac{\lambda}{2} = L \cdot h \text{ 이므로, } h = \frac{\lambda L}{2p} \text{ 이고} \quad (4)$$

$$\text{이때, } \theta = \frac{h}{L} = \frac{1 \cdot \lambda L}{L \cdot 2p} = \frac{\lambda}{2p}$$

한편, 간섭무늬 관측 영역 L 안에서 관측되는 간섭무늬 개수를 N 이라 하면,

$$N = \frac{L}{p} \text{ 이므로, } p = \frac{L}{N} \quad (5)$$

이 된다. 수식 (5)를 수식 (4)에 적용하면 플렉서 각도 θ 와 간섭무늬 개수 N 사이의 관계식을 얻을 수 있다.

$$\theta = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{1}{L/N} = \frac{\lambda}{2L} \cdot N \text{ (rad)} \quad (6)$$

따라서, 간섭무늬를 만드는 전체 영역 L 을 알고, 이때 만들어진 간섭무늬의 개수 N 을 알면, 플렉서에 의한 시험 표면의 경사 각도를 얻을 수 있다. 현재, 링레이저 자이로 공진기 몸체에 부착할 반사체로 직경 22 mm의 반사경 증착용 기판을 사용하면 간섭무늬 영역으로 ($L=22$ mm), 광선의 파장으로 He-Ne 레이저 632.8 nm ($\lambda=632.8$ nm)를 관계식 (6)에 대입하면, $\theta=2.57N(\text{arcsec/pulse})$ 이 된다. 즉, 간섭무늬의 개수가 1개 추가로 발생하면 약 2.57 arcsec의 플렉서 각도가 발생한 것이다. 실제로 육안으로 판별할 수 있는 간섭무늬의 변화는 대체로 1/4 pulse 정도이기 때문에, 판별 가능한 플렉서의 최소 오차각도는 0.64 arcsec 정도가 될 것이다. 하지만, 최근에 사용되는 간섭계 장비에는 간섭무늬 패턴을 간섭계 내부에 장착된 CCD 검출기가 인지하고 그 측정 데이터를 정교하게 처리하는 세련된 알고리즘이 개발되어 있어서 훨씬 정밀한 측정이 가능하다.

2.2.2. 링레이저 자이로의 플렉서 각도 측정 및 결과 분석

위에서 언급한 바와 같이 dummy mass를 순차적으로 매달아서 각 경우의 플렉서 각도변화를 측정하여 자이로 플렉서

변화계수를 도출해 내었다. 링레이저 자이로의 입력축 플렉서 각도 측정을 위한 dummy mass 장착 방법은 그림 4에서 보는 바와 같다.

중력 가속도 방향에 반하는 -Y축 방향으로 dummy mass를 달아서 자이로 입력축에 인가되는 가속도에 따라 변화하는 플렉서 각도를 측정하였다. 자이로 몸체의 무게와 추가된 dummy mass의 무게로부터 링레이저 자이로 입력축에 가해지는 가속도의 크기를 계산할 수 있다. 실험에 사용한 dummy mass는 bar 형상을 한 텅스텐 소재이다. 표 1은 플렉서 측정 실험에 사용된 dummy mass bar와 관련부품의 무게를 정리한 것이다. 실험 시에 dummy mass bar를 저울 형태의 받침대 위에 각각 1개, 2개, 4개, 6개를 올려가면서 플렉서 각도 변화를 측정하였다. 표 2는 링레이저 자이로 플렉서 측정 순서

표 1. 링레이저 자이로 플렉서 측정에 사용된 dummy mass 무게 정리

순번	부품명	무게
1	dummy bar 1	680 g
2	dummy bar 2	678 g
3	dummy bar 3	680 g
4	dummy bar 4	680 g
5	dummy bar 5	676 g
6	dummy bar 6	678 g
7	받침대	67 g
8	자이로몸체	703 g

표 2. 플렉서 측정순서 및 dummy mass 추가에 따른 인가 가속도 정리

측정 순서	하중추가 내용	무게	상대 무게비	인가 가속도 (G:중력가속도)
1	자이로 몸체	703 g	1	1 G
2	받침대 추가	770 g	1.095	1.095 G
3	dummy bar 1 추가	1450 g	2.06	2.06 G
4	dummy bar 2 추가	2128 g	3.027	3.027 G
5	dummy bar 3+4 추가	3488 g	4.962	4.962 G
6	dummy bar 5+6 추가	4842 g	6.887	6.887 G

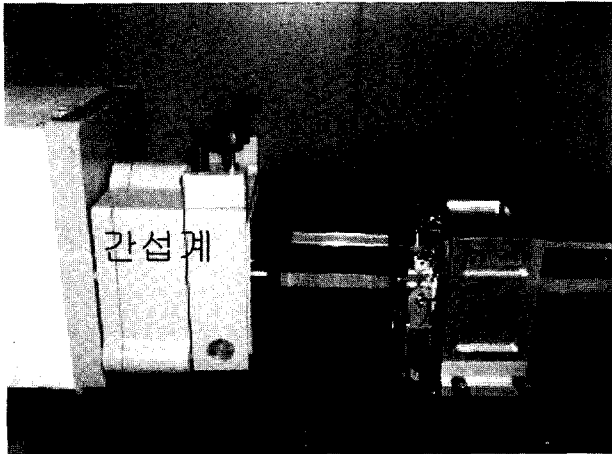


그림 5. 플렉서 측정에 사용된 간섭계와 링레이저 자이로 몸체 배치도.

와 각 경우의 자이로 입력축에 인가된 가속도를 나타내고 있다. 플렉서 측정에 사용된 dummy mass의 장착방법은 네 가지 경우이고, 자이로 몸체만의 경우와 여기에 dummy mass를 올려놓을 받침대를 장착한 경우를 포함하여, 플렉서 각도를 측정하기 위해 모두 여섯 경우에서 실험을 수행하였다. 인가된 가속도 가운데 중력가속도 1G의 기준이 되는 자이로 몸체의 무게 703 g에는 자이로 입력축 자체의 무게 일부도 포함되어 있어서, 입력축이 정확한 1G 환경을 받는 하중과는 약간의 차이가 있을 것으로 판단된다. 그러나, 최종적으로 본 연구에서 도출하고자 하는 물리량이 인가 가속도 변화에 따른 플렉서 각도의 변화량이므로, 자이로 몸체의 무게에서 입력축 자체의 무게를 정확히 분리해 내지 않아도 플렉서 변화계수 측정에는 영향을 미치지 않는다.

그림 5는 링레이저 자이로 플렉서 측정을 위한 간섭계와 자이로 배치도를 보여준다. 플렉서를 측정할 때, 시험표면으로부터의 광선반사는, 링레이저 자이로 공진기 몸체 재질인 Zerodur의 표면가공 상태가 우수하여 자체표면 반사만으로도 충분한 이유로 별도의 반사경은 사용하지 않았다. 따라서 앞서 고려했던 직경 22 mm의 반사경 기관 대신에 약 4배 정도의 길이가 큰 자이로 몸체를 사용하므로, 위에서 얻은 관계식 $\theta = 2.57N(\text{arcsec/pulse})$ 의 결과보다 4배 향상된 분해능을 기대할 수 있다. 간섭무늬를 만드는데 기여한 자이로 공진기 몸체의 길이는 81 mm이다. 간섭계에 부착된 간섭무늬 분석전용 컴퓨터는 내장된 소프트웨어를 이용하여 측정된 간섭무늬에 대한 세부정보를 제공한다.

그림 6은 공진기 몸체의 피에조 간섭무늬 패턴을 보여 주는 것으로서, 수직으로 내려 그어진 선은 플렉서를 측정하기 위해 간섭무늬의 변화를 스캔한 영역을 나타낸다. 자이로 몸체의 중앙부분을 전후로 보이는 두 개의 불연속 지점은 간섭무늬를 스캔한 구간 중에 존재하는 자이로 몸체상의 구멍에 해당한다. 자이로 공진기 몸체상의 실제 스캔거리는 81 mm이다. 그림 7은 플렉서 측정에 직접 사용될 기준면과 시험면 사이의 기울기 정보를 가지고 있는 Surface/Wavefront profile이다. 가로축의 Distance (pix)는 간섭무늬를 검출하는 CCD camera의 pixel수와 관련된 거리로서, 모니터 상에 나타난 Distance

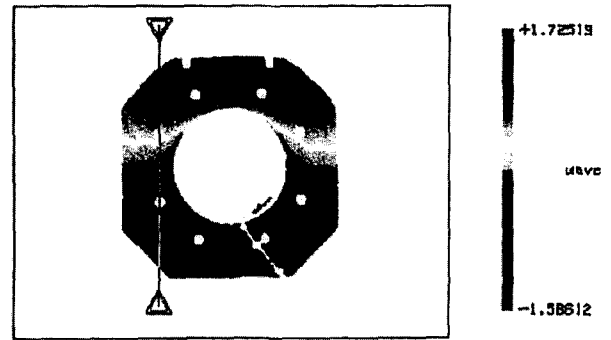


그림 6. 링레이저 자이로 공진기 몸체의 간섭무늬 패턴.

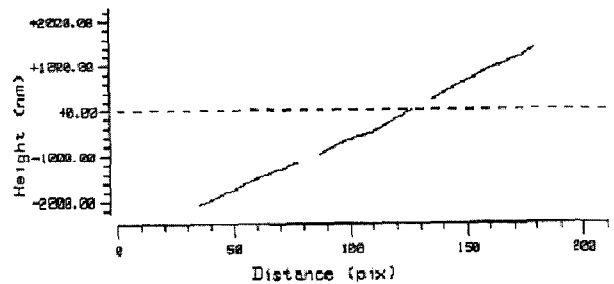


그림 7. 링레이저 자이로 몸체의 Surface/Wavefront profile.

(pix) 전체구간은 자이로 몸체의 간섭무늬 형성범위인 81 mm에 대응되는 거리이다. 세로축의 Height는 기준면에 대한 자이로 몸체 상단부와 하단부의 높이를 나타낸다. 따라서 자이로 몸체 스캔영역 안에서 일어난 상단부와 하단부 사이의 높이 차이를 알기 때문에 이때의 플렉서 경사각도 θ 를 아래의 관계식으로 부터 계산해 낼 수 있다.

$$\tan\theta = \frac{\text{(자이로 몸체의 상단과 하단사이 높이차)}}{\text{(스캐닝한 자이로 몸체 실제거리)}} \quad (7)$$

위의 그림 7에서 Distance에 따른 Height의 변화는 대체로 선형을 취하고 있음을 알 수 있다. 자이로 몸체 재질이 충분히 강하여 몸체 자체의 왜곡이 없음을 나타내는 결과이다. 자이로 몸체만의 무게를 기준으로 하여 추가적인 dummy mass가 인가되었을 때 측정된 플렉서 각도변화가 그림 8에 나타나 있다. 두꺼운 선으로 연결된 데이터가 측정값이며, 가는 선으로 연결된 것은 측정값에 대한 선형 맞춤(linear fitting)을 나타낸다. 그래프 상단의 수식은 선형맞춤 관계식이다. 선형맞춤 관계식의 기울기가 단위 중력 가속도에 대한 플렉서 각도의 변화계수를 나타내므로, 그림 8의 실험결과로부터 플렉서 각도의 변화계수는 2.38 arcsec/g임을 알 수 있다. 측정구간 가로축의 6개 인가가속도 영역에 걸친 플렉서 각도의 변화량이 충분히 선형을 유지하고 있기 때문에 선형 맞춤에 의해 구해진 플렉서 계수는 신뢰할 만 하다.

표 3은 플렉서 각도 측정값 및 측정 반복도 결과를 정리한 것이다. 모두 6회의 측정이 이루어 졌으며, 이에 대한 반복도 오차의 크기가 조사되었다. 표 3에서 알 수 있듯이, 플렉서 각도 변화계수 평균값은 2.37 arcsec/g로 측정되었다. 측정에 대한 반복도 오차는 0.066 arcsec/g로 충분히 적은 값을 가지고

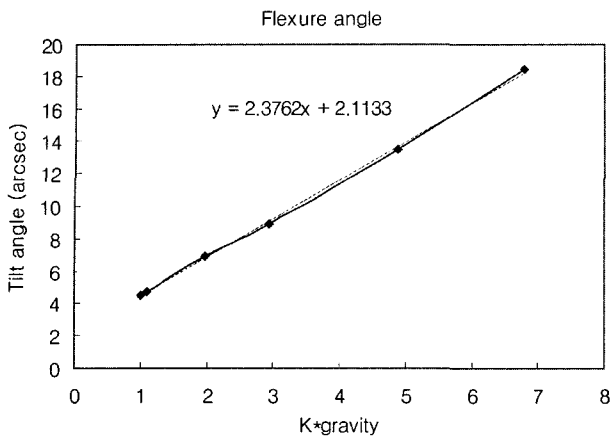


그림 8. 인가 가속도에 따른 자이로의 플렉서 각도 측정 그래프.

표 3. 링레이저 자이로의 플렉서 측정 실험결과

측정횟수	플렉서계수 측정값(arcsec/g)
1	2.33
2	2.27
3	2.38
4	2.44
5	2.38
6	2.44
평균	2.37
표준편차	0.066

있다.

다음으로, 플렉서 각도 측정시에 자이로 몸체를 중력가속도 방향에 수직하게 체결하고 있는 치구 자체의 플렉서 변화를 조사하였다. 자이로 몸체에 dummy mass를 추가할 때, 치구 자체가 부하의 증가로 인해 휨 현상이 일어나는지 알아보는 것이다. 이번 경우는 별도의 반사경을 자이로 몸체 지지용 치구 표면에 부착하여 반사경 표면에서 반사된 광선과 기준면에서 반사된 광선 사이의 간섭 무늬를 조사하였다. 앞에서와 마찬가지로, 여러 종류의 dummy mass를 추가하면서 플렉서 각도변화를 측정하였으며, 6회 반복측정시험을 수행하였다. 시험결과, 자이로 몸체 지지용 치구의 중력방향 하중에 의한 플렉서 각도 변화계수는 10^{-7} arcsec/g의 수준으로, 자이로 입력축의 플렉서 각도에 비해 매우 적어서 무시할 수 있음이 확인되었다.

2.3. 링레이저 자이로의 플렉서 각도감소와 항법장치의 플렉서 오차개선 결과분석

링레이저 자이로의 플렉서 각도와 레이저 관성항법장치의 성능관계를 조사하기 위하여, 몸체진동기 기구부분의 설계보강을 수행하여 플렉서 각도를 감소시킨 링레이저 자이로를 제작하였다. 설계보강된 링레이저 자이로의 플렉서 각도 변화계수는 0.71 arcsec/g로 측정되었다. 기존의 링레이저 자이로(플렉서 각도 변화 계수 2.37 arcsec/g)와 설계보강된 링레이저 자이로 3축으로 구성된 각각의 관성항법장치에 2G sin 30 Hz(G:

표 4. 링레이저 자이로의 플렉서 각도와 항법장치 자세오차 관계 실험결과

플렉서계수	자세오차 변화량	
	2.37 arcsec/g	0.71 arcsec/g
X축	0.48 deg/h	0.18 deg/h
Y축	0.53 deg/h	0.29 deg/h
Z축	0.26 deg/h	0.10 deg/h

중력가속도)의 정현파 진동을 인가하면서 자세오차를 조사하였다. 인가된 진동의 방향은 항법장치의 Z축이었다. 표 4는 기존의 플렉서 2.37 arcsec/g를 가지는 링레이저 자이로로 구성된 관성항법장치와 플렉서 0.71 arcsec/g를 가지는 링레이저 자이로로 구성된 항법장치의 자세오차를 관측한 것이다.

표 4에서 표현된 항법장치의 자세오차 변화량은 항법장치의 성능에서 보상이 불가능한 잔여오차성분을 나타낸 량으로서, white noise와 플렉서 오차의 합으로 간주할 수 있다. 플렉서 오차를 독립적으로 분리할 수 있는 방법은 없다. 링레이저 자이로의 기구부 설계보강을 수행할 때, white noise보다는 플렉서 부분의 개선여지가 클 것으로 예측된다. 따라서, 플렉서 오차개선 양을 정량적으로 표현할 수는 없으나, 두개 관성항법장치의 3축 모두에서 플렉서 설계보강된 항법장치의 자세오차가 공통적으로 감소하고 있는 점으로 보아, 표 4의 결과는 링레이저 자이로의 플렉서 각도가 감소함에 따라 항법장치의 플렉서 오차가 개선되었음을 확인시켜 주고 있다.

III. 결 론

링레이저 자이로의 플렉서 각도 측정기법에 관한 연구를 수행하였다. 간섭계를 이용하여 가속도 인가에 따른 자이로 입력축의 플렉서 각도 변화를 조사하였다. Dummy mass를 추가하여 중력가속도 이상의 고가속도 상황을 구현하였으며, 피에조 간섭무늬의 변화로부터 플렉서 각도 변화를 측정하였다. 간섭계 방법을 이용하여 정확한 미소 플렉서 각도측정이 가능하였다. 또한, 플렉서 각도를 감소시켰을 때, 항법장치의 플렉서 오차가 뚜렷이 개선되었음을 확인할 수 있었다. 향후 플렉서 각도를 감소시키기 위한 링레이저 자이로 기구부의 추가 설계 개선과 이에 따른 플렉서 재평가가 이루어 질 계획이다.

참고문헌

- [1] P. Gallon and H. Millet, "Three axis RLG inertial sensor assembly," Symposium Gyro Technology 1995, Stuttgart, Germany.
- [2] D. H. Titterton and J. L. Weston, *Strapdown inertial navigation technology* (Peter Peregrinus Ltd., London, 1997).
- [3] *GPI XPHR user's manual* (Zygo Co., USA., 1997).
- [4] F. A. Jenkins and H. E. White, *Fundamentals of Optics* (McGRAW-Hill Inc., New York, 1976).

Study on flexure angle measurement of ring laser gyro and the improvement of flexure error

Min-Sik Jo[†] and Kwang-Jin Kim

Technology Research Center, Agency for Defense Development, Yusong P.O. Box 35-5, Taejon 305-600, KOREA

[†]*E-mail: minsjo@add.re.kr*

Jeong-Ju Kim

Center for photonics & RF/Microwave, Institute for Advanced Engineering, Kyoungki-do 449-020, KOREA

(Received June 12, 2003, Revised manuscript August 25, 2003)

Flexure measurement of ring laser gyro was investigated by using an interferometer. A two-beam interferometer of Fizeo-fringe pattern obtained the flexure angle in 1-gravity acceleration and the higher acceleration environments. These environments were made with the addition of dummy mass to the ring laser gyro axis. The flexure angle change for 1-gravity acceleration change was measured as 2.37 arcsec/g with low repeatability error of 0.07 arcsec/g. The laser navigation system consisting of 3 flexure-reduced ring laser gyros showed the improvement of flexure error.

OCIS Codes : 120.4800, 120.3180.