

技術論文

DOI:10.5139/JKSAS.2011.39.8.788

중급성능의 관성항법을 위한 소형 링레이저 자이로 설계 규격 연구

김천중*, 심규민**, 박홍원**, 유준***

A Study on the Design Requirement of a Small Ring Laser Gyroscope for Medium-Grade Inertial Navigation

Cheon-Joong Kim*, Kyu-Min Shim**, Heung-Won Park** and Joon Lyou***

ABSTRACT

In this paper, we present the requirements specification to develop the small ring laser gyroscope(RLG) which is applicable to the medium-grade inertial navigation system(INS) widely used as a main navigation system. To this end, first we analyse the performance specifications of RLG which is needed to configure the medium-grade INS and then we present the design results of RLG to meet the performance specifications, based on the overseas technology survey and the theoretical analysis. It is also shown in this paper what technology is required to develop a small RLG.

초 록

본 논문에서는 각종 탑재체에 가장 광범위하게 사용되는 중급성능의 레이저 관성항법 장치에 적용 가능한 소형 링레이저 자이로를 설계하기 위한 요구규격을 제시한다. 이를 위하여 우선 중급성능 관성항법장치 구성을 위하여 요구되는 링레이저 자이로의 요구 성능규격을 분석하였다. 그리고 이를 만족시키기 위하여 해외기술 조사 및 이론적으로 분석을 통하여 링레이저 자이로 시스템을 설계한 결과를 제시하였으며 요구 기술을 정리하였다.

Key Words : RLG(링레이저 자이로), Path Length(광경로), INS(관성항법장치)

1. 서 론

현재 가장 일반적으로 쓰이는 관성항법장치 형태는 링레이저 자이로를 적용하는 레이저 관성항법장치로서 단시간, 단거리 유도탄으로부터 장시간, 장거리 항해를 수행하는 잠수함이나 장거리 유도무기까지 다양한 용도로 사용된다[1,2,3,4].

탑재체의 수송능력을 높이고 임무를 효율적으

로 수행하기 위해서는 탑재장비의 부피 및 무게를 최소한으로 줄이는 것이 유리하다. 그러므로 주요 탑재장비인 레이저 관성항법장치의 크기를 가능한 줄여야 한다. 이를 위해서는 레이저 관성항법장치를 구성하는 부품 중에서 가장 큰 부피와 무게를 차지하는 링레이저 자이로의 크기를 줄이는 노력이 필요하다. 그러나 일반적으로 레이저 관성항법장치 및 링레이저 자이로의 크기는 각각의 성능에 비례하므로 관성항법장치의 크기를 무조건 작게 할 수 없다. 그러므로 레이저 관성항법장치나 링레이저 자이로는 탑재체의 임무나 목적을 고려하여 정해진 관성항법장치의 요구성능을 만족시킬 수 있는 적절한 크기로 설계되어야 한다.

본 논문에서는 각종 탑재체에 가장 광범위하게 사용되는 중급성능의 레이저 관성항법장치에

† 2011년 1월 7일 접수 ~ 2011년 7월 26일 심사완료

* 정희원, 국방과학연구소 3기술 4부

교신저자, E-mail : kcj3651@add.re.kr

대전광역시 유성구 조치원길 462

** 정희원, 국방과학연구소

*** 정희원, 충남대학교 전자공학과

적합한 링레이저 자이로를 설계하기 위한 요구규격을 제시한다. 이를 위하여 중급성능 관성항법장치 구성을 위하여 요구되는 링레이저 자이로 성능 규격을 분석하였다. 그리고 이를 만족시키기 위한 링레이저 자이로 최소 크기를 결정하기 위하여 해외기술 조사 및 이론적으로 분석한 결과를 제시하고 소형 링레이저 자이로 설계를 위하여 요구되는 기술을 정리하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 링레이저 자이로의 원리 및 구조를 기술하고 3장에서 중급성능 관성항법장치 성능을 만족하는 링레이저 자이로 요구성능을 분석하였다. 그리고 4장에서 3장에서 요구된 링레이저 자이로 성능을 만족하기 위한 링레이저 자이로 설계결과를 제시하였으며 5장에서 본 논문의 결론을 맺도록 한다.

II. 링레이저 자이로 원리 및 구조

2.1 링레이저 자이로 원리

링레이저 자이로는 광학간섭계의 일종으로써 다음과 같은 Sagnac 효과를 기본원리로 동작하는 회전 측정센서이다.

링레이저 자이로의 기본원리인 Sagnac 효과는 그림 1과 같이 설명할 수 있다. 폐광로를 이루는 링레이저 공진기가 각속도 Ω 로 회전하는 경우에 공진기 내부에서 서로 반대방향으로 속도 c 를 가지고 진행하는 빛이 공진기를 일주하고 처음 출발한 지점으로 되돌아오기까지 걸리는 시간 t_1 , t_2 에는 다음과 같은 차이 Δt 가 발생한다[3,4].

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{4\pi R^2 \Omega}{c^2} \quad (1)$$

그러므로 서로 반대방향으로 진행하는 빛 간

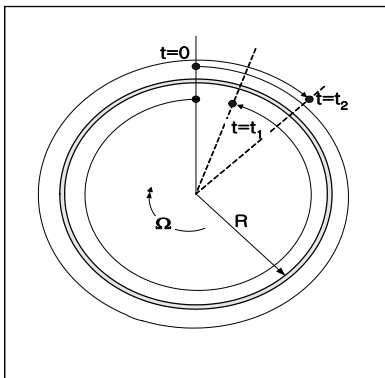


그림 1. 링레이저 자이로 원리

에는 상대적인 경로차이가 발생하게 되는데, 폐광로에 He-Ne과 같은 이득매질을 넣어서 레이저 발진을 일으키면 서로 반대방향으로 발진되는 빛 간에는 발진주파수 차이가 발생한다. 이때 서로 반대방향으로 발진하는 빛의 공진주파수 차이를 $\Delta\nu$ 라고 하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[3,4].

$$\Delta\nu = \frac{4A}{\lambda L} \Omega \quad (2)$$

여기서 L 은 공진기 길이, A 는 공진기의 면적, 그리고 λ 는 레이저의 파장이다.

링레이저에 주로 사용되는 He-Ne 레이저의 공진주파수는 $\nu \sim 10^{15} Hz$ 이므로 두 빛의 주파수 차이를 검출하기 위해서는 두 빛을 간섭시켜서 맥놀이 주파수를 측정해야 한다.

실제 링레이저 자이로에서는 반사경을 포함한 공진기를 구성하고 있는 광학부품들의 산란에 의하여 임계 각속도 이하의 입력에 대해서는 자이로에 출력이 나타나지 않는 현상이 발생하며 이를 lock-in이라고 한다.

일반적으로 정밀 관성항법장치에 적용 가능한 자이로의 lock-in은 약 0.1deg/sec 이하로서 이 크기는 지구 자전 각속도보다 매우 큰 값이므로 이 lock-in 현상을 제거하지 않으면 항법장치에 적용이 불가능 하다. Lock-in 현상을 제거하기 위해 가장 많이 쓰이는 방법은 공진기 각진동으로써 lock-in 임계값 보다 약 1000배 정도의 최대 진폭을 갖는 정현파 진동을 링레이저 공진기에 인가하고 출력신호처리를 통하여 이를 제거하는 방법이다[3,4,5,6,7,8].

2.2 링레이저 자이로 구조

링레이저 자이로는 광학부, 기구부, 그리고 전자부로 크게 나눌 수 있다.

광학부는 레이저 공진기 블록, 반사경, 프리즘, 멤브레인 조립체 그리고 전극 등으로 구성되어 있다. 레이저 공진기 블록은 삼각형 또는 사각형의 구조로 되어 있으며 온도변화에 의한 수축팽창을 작게하기 위한 재질로 되어있다. 반사경은 초연마된 수정 등의 기판에 SiO_2 와 Ta_2O_5 등을 반복적으로 코팅하여 산란과 흡수 등의 손실을 최소화 한다.

기구부는 입력가속도가 작은 영역에서 발생하는 lock-in 현상을 제거하기 위하여 레이저 공진기를 진동시키기 위한 각진동기와 각진동 운동을 검출하기 위한 각진동 검출센서, 그리고 내부에서 발생하는 각진동 운동을 견디고 외부와의 차

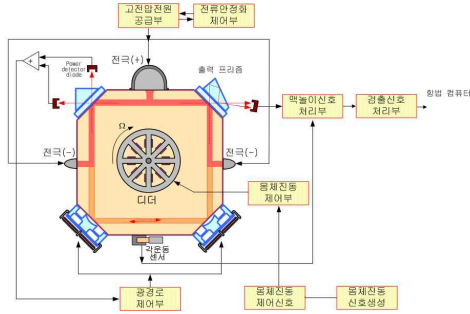


그림 2. 링레이저 자이로 구성

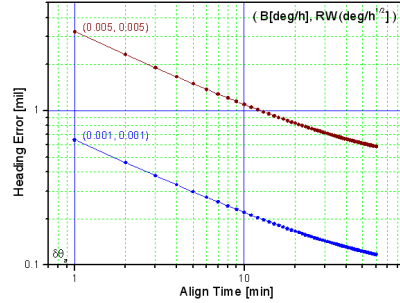


그림 3. 시간에 따른 정렬오차

단 기능을 하는 케이스 등으로 구성된다.

그리고 전자부는 레이저를 동작시키기 위한 고전압 전원공급부, 레이저 방전 전류를 제어하기 위한 전류안정화 제어부, 온도변화에 의하여 변화되는 레이저 공진기의 길이를 보상해주기 위한 광경로 제어부, 공진기 각진동 진폭을 제어하기 위한 몸체진동 제어부, 그리고 링레이저 출력인 맥놀이 신호를 검출하여 자이로 출력신호로 변환하기 위한 검출신호처리부 등으로 구성되어 있다. 그림 2는 링레이저 자이로의 구성을 그림으로 나타낸 것이다.

III. 링레이저 자이로 요구성능

3.1 링레이저 자이로 성능과 항법장치 오차 관계

관성항법장치를 이용하여 항법을 수행하기 위해서는 출발 전에 탑재체의 현재 위치와 자세를 알기 위한 정렬과정을 거쳐야 한다. 이 정렬 정밀도는 탑재체의 항법성능에 많은 영향을 미친다. 링레이저 자이로의 오차요소 중에 정렬 정밀도에 영향을 주는 중요한 요소는 바이어스 오차와 랜덤워크 오차이다.

일반적으로 관성항법장치 정렬 정밀도에 영향을 미치는 관성센서(자이로 및 가속도계) 오차로써, 수평축 자세오차는 수평축 가속도계 바이어스 오차가 주로 영향을 주고, 수직축 자세오차는 항법 좌표계상의 E(East) 축 자이로 바이어스 오차가 주로 영향을 준다. 본 논문의 관심은 링레이저 자이로이므로 본 논문에서는 E축 자이로에 의하여 발생하는 수직축 자세만을 다룬다.

광학식 자이로의 경우 바이어스 오차 외에 랜덤워크 오차가 자이로 성능을 나타내는 주요한 지표인자가 된다. 특히 랜덤워크 오차는 초기정렬에서 바이어스 오차로 변환하여 해석이 가능하

기 때문에 랜덤워크 오차에 의한 정렬정밀도 해석이 용이하다.

초기정렬에서 링레이저 자이로의 바이어스 오차에 의한 정렬오차는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 알 수 있는바와 같이 정렬시간과 무관하게 일정한 크기의 정렬오차를 유발한다. 그러나 랜덤워크 오차에 의한 정렬오차는 식 (4)에서 나타내는바와 같이 시간의 함수이며, 정렬시간이 짧을수록 증가한다. 바이어스 오차와 랜덤워크 오차에 의하여 발생된 수직축 자세 즉 Heading 오차는 식 (3), (4) 각각의 오차에 대한 RSS(Root Sum Square)를 구하여 식 (5)와 같이 최종 Heading 정렬 정밀도로 표현할 수 있다[1].

$$\delta\theta_{aB} = \frac{B}{\Omega_e \cos La} \tag{3}$$

$$\delta\theta_{aRW} = \frac{RW}{\sqrt{T} \Omega_e \cos La} \tag{4}$$

$$\delta\theta_a = \sqrt{\delta\theta_{aB}^2 + \delta\theta_{aRW}^2} \tag{5}$$

여기서 $\delta\theta_{aB}$ 는 자이로 바이어스 오차에 의한 정렬오차, $\delta\theta_{aRW}$ 은 랜덤워크 오차에 의하여 발생하는 정렬오차, B 는 자이로 바이어스 안정도 오차, RW 는 자이로 랜덤워크 오차, T 는 정렬시간, Ω_e 는 지구 자전각속도, 그리고 La 는 위도이다.

그림 3은 바이어스 오차와 랜덤워크 오차, 그리고 정렬시간에 의해 발생하는 Heading 오차를 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 시간동안 정렬을 수행하는 경우에 자이로 성능에 의하여 관성항법장치의 초기 정렬오차가 결정된다. 또한 동일한 성능의 자이로를 탑재한 관성항법장치의 정렬오차는 정렬시간이 길어질수록 작아짐을 알 수 있다.

이러한 정렬 오차는 관성항법장치의 주요 성능으로써 탑재체 임무의 동적 특성에 따라서 다르지만 1mil에 의해서 약 1NM/hr 급의 위치오차를 유발한다.

3.2 레이저 관성항법장치 성능분류

관성항법장치를 성능별로 분류하면 고급/중급/저급 등으로 구분할 수 있다. 이를 분류하는 기준은 1시간 동안 운용시 발생한 위치오차를 확률적으로 표현한 것으로 주로 CEP 기준으로 나눈다. 성능별로 분류된 관성항법장치는 다양한 항법성능을 요구하는 체계에 적용된다. 일반적으로 중급성능의 관성항법장치는 약 1NM/h 급으로써 대부분의 지상항법, 중거리 유도무기, 항공기 등에 활용되고 고급 관성항법장치는 약 1NM/h 급으로써 측지장비, 수상함/잠수함, 장거리 유도무기 등에 활용 된다. 또한 저급 관성항법장치는 단거리 유도무기, 유도폭탄 등과 같이 운용시간이 짧은 무기체계 등에 적용된다. 표 1은 관성항법장치 등급별 오차 수준과 자이로 요구성능 및 식 (3)을 이용하여 계산된 Heading 오차를 나타내었다[2].

관성항법장치의 성능은 관성항법장치를 구성하는 자이로 및 가속도계 성능에 의하여 결정되기 때문에 관성항법장치의 요구 위치오차가 결정되면 이를 기반으로 링레이저 자이로의 요구성능 예측이 가능하다. 그러나 많은 참고문헌에서 관성항법장치 성능에 따른 자이로 성능을 예측할 때 랜덤워크 오차를 고려하지 않고 표 1과 같이 자이로 바이어스 오차만을 기준으로 성능을 예측하기 때문에 링레이저 자이로 요구성능을 제시하기 위해서는 3.1절의 결과를 이용하여 랜덤워크 및 정렬시간에 의하여 발생하는 오차를 바이어스 오차로 환산하여 추가적으로 고려해야 한다.

중급성능의 관성항법장치에서 요구하는 링레이저 자이로의 성능을 예측하기 위한 기준으로 우선 정렬시간을 10분으로 정하고 위도를 36도, 요구 Heading 정밀도를 1mil로 설정하여 식 (3), (4), (5)를 이용하여 링레이저 자이로 성능 요구조건을 결정하여 정리하면 표 2와 같다.

표 2에 의하여 알 수 있는바와 같이 1NM/h 급의 중급성능 관성항법장치를 구성하기 위해서 링레이저 자이로의 바이어스 오차가 0.01deg/hr 인 경우를 가정하면 랜덤워크 오차는 0.003 deg/ \sqrt{hr} 이하가 되어야 한다. 그런데 바이어스 오차를 0.005deg/hr 이하로 줄일 수 있다면 랜덤워크 오차는 0.005deg/ \sqrt{hr} 로서 중급성능의 항법장치 요구를 만족시킬 수 있다.

표 1. 관성항법장치 등급별 자이로 요구성능

등급	관성항법장치 위치오차 (NM/hr, CEP)	Heading 오차 (mil)	자이로 성능
			바이어스 (deg/hr)
고급	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.001
중급	≈ 1	≈ 1	≈ 0.01
저급	≥ 10	≥ 10	≥ 0.1

표 2. 관성항법장치 등급별 RLG 요구성능

등급	관성항법장치 위치오차 (NM/hr, CEP)	링레이저 자이로 성능	
		바이어스 (deg/hr)	랜덤워크 (deg/ \sqrt{hr})
고급	≤ 0.1	≤ 0.001	≤ 0.001
중급	≈ 1	≈ 0.01	≈ 0.003
		≈ 0.005	≈ 0.005
저급	≥ 10	≥ 0.1	≥ 0.1

링레이저 자이로의 경우 다음 장에서 설명하겠지만 바이어스 및 랜덤워크 오차가 동일수준으로 나타나기 때문에 본 논문에서 제시한 중급성능의 관성항법장치 요구규격을 만족하는 소형 링레이저 자이로의 타당한 최소 요구성능은 바이어스 오차 0.005deg/hr, 랜덤워크 오차 0.005 deg/ \sqrt{hr} 임을 알 수 있다.

IV. 링레이저 자이로 설계

4.1 해외 기술분석

RLG는 1963년에 최초로 시험되었으나 1970년대 말부터 1980대에 이르러서야 본격적으로 스트랩다운 항법장치에 광범위하게 적용되었다. 매우 낮은 입력각속도에서 발생하는 "lock-in" 현상을 극복하기 위해서는 수백 Hz정도의 기계적인 각진동 바이어스를 인가시키는 디더링(dithering) 방식이 보편적으로 적용되고 있다. 한 예로 Honeywell의 GG1320 RLG가 적용된 관성항법장치는 1NM/hr 급의 성능을 보이며 50종류 이상의 체계에 적용되고 있다. 1990년대에는 Northrop Grumman이 링레이저 자이로 기술을 이용하여 함정용 관성항법장치 MK39를 개발하여 기존의 기계식 자이로를 사용하는 관성항법장치를 대체하였다. L3-Com은 고급 관성항법장치 적용을 위하여 0.0008deg/hr급의 링레이저 자이로인 광경로 34cm급의 RL-34를 개발하여 자동측지장비인 IPADS 등에 적용하고 있다 Litton사의 특허인 ZLG(Zero Lock Laser Gyro)는 광학적인 바이어

스를 인가함으로써 "lock-in" 현상을 제거시킨 것이다. RLG는 미국 내에서 생산과 품질관리에 필요한 인프라가 가장 잘 구축되어 있으며 다양한 제품과 넓은 성능범위를 가지기 때문에 현재 가장 많이 사용되는 자이로이다.

저급 관성항법장치 적용 전술급 자이로는 현재 Honeywell의 1~10deg/hr급은 광경로 2inch(약 5cm)급의 GG1308이 주류를 이루고 있다. 이 자이로는 약 4600개/월 이상 생산되며, 이를 적용한 HG1700은 1200대/월 이상 생산되어 약 30개 이상의 체계에 적용되고 있다.

중급성능 관성항법장치 적용 자이로는 현재 Honeywell의 0.003deg/hr급 광경로 6inch(15cm)급의 GG1320이 주류를 이루고 있으며, 이를 적용한 항법장치는 TALIN을 비롯하여 매우 다양하다[12,13]. 이 자이로는 공진기 진동형 자이로로써 이 자이로를 적용한 IMU나 항법장치는 진동과 소음을 발생시키는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고 성능과 신뢰성, 그리고 가격 등에서 매우 뛰어나므로, 소음과 진동에 대한 제약이 적은 체계에는 대부분 이 자이로를 적용하고 있다고 볼 수 있다. Northrop Grumman은 Honeywell사의 공진기 진동형 링레이저 자이로의 단점을 보완한 0.003deg/hr급 링레이저 자이로인 ZLG를 개발하였다. 이를 적용한 관성항법장치 LN-120G는 UAV(Unmanned Aerial Vehicle), AWACS(Airborne Warning and Control System) 등 20여개 무기체계에 적용되고 있다.

유럽연합(EU)에서 가장 앞선 RLG는 프랑스 SAGEM사의 광경로 16cm급의 GLS-16(바이어스 안정도 오차 0.01deg/hr급)과 광경로 32cm급의 GLS-32(0.001 deg/hr급)이다. GLS-16은 주로 중급성능 관성항법장치에 적용할 목적으로 개발하였으며 주로 항공기용 항법장치에 사용된다. GLS-32는 고급 관성항법장치에 적용되기 때문에 주로 장시간의 정밀도를 요구하는 측지장비, 지상항법장치, 수상함/잠수함용 항법장치에 광범위하게 적용되고 있다. 영국의 Ferranti사도 광경로 24cm, 바이어스 안정도 오차 0.01 deg/hr급의 RLG를 개발하여 자사의 FIN3110 항법장치에 적용하였다. 독일 LITEF사도 RLG 기반 항법장치를 보유하고 있으나 자이로는 미국의 Honeywell에서 개발한 GG1320을 사용하고 있다.

위에서 언급한 바와 같이 미국의 경우 중급성능 관성항법장치에 적용하기 위하여 광경로 15cm 급, 바이어스 오차 0.003deg/hr 급의 링레이저 자이로를 개발하여 적용하였으며 이는 정렬 시간 4분 기준으로 1NM/hr의 항법성능을 가지

도록 자이로를 개발하였기 때문이다. 고급 관성항법장치 적용 링레이저 자이로의 경우 대체적으로 30cm 이상의 광경로를 가지는 것으로 나타났다. 또 다른 링레이저 자이로 분야의 선진국인 유럽연합의 경우 중급성능 관성항법장치 적용을 위하여 광경로 16~24cm 급을 개발하여 사용하였다. 고급 관성항법장치 분야는 미국과 유사하게 광경로가 큰 링레이저 자이로를 개발하여 적용하였다. 이와 같이 링레이저 자이로 분야의 해외 선진국 기술조사를 통하여 광경로에 따라 링레이저 자이로의 성능에 많은 차이가 있음을 확인하였으며 대부분의 나라가 중급성능의 관성항법장치에는 광경로 15~24cm의 링레이저 자이로를 개발하여 적용함을 확인하였다. 이러한 결과는 중급성능 관성항법장치 적용 소형 링레이저 자이로 개발을 위한 광경로 결정에 중요한 참고자료가 된다.

4.2 링레이저 자이로 성능/크기 관계

링레이저 자이로의 오차는 양자화(Quantization) 오차, 환산계수 비선형성, 바이어스 안정도 오차, 그리고 랜덤워크 오차 등이 있다. 양자화 오차 Q 는 링레이저 공진기 내부를 서로 반대방향으로 진행하는 빛의 주파수와 광경로의 길이에 의하여 결정되는 분해능에 의한 것으로써 식(2)에 의하여 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$Q = \frac{\lambda L}{4A} \sim \frac{1}{L} \quad (6)$$

양자화 오차는 수 arcse 이하로써 정렬시간이 길어짐에 따라서 이 오차가 정렬정밀도에 미치는 영향이 0으로 수렴하게 된다.

양자화 오차를 제외한 대부분의 오차는 반사경 등의 후방산란에 의한 lock-in의 영향을 받는다. lock-in의 크기는 주로 반사경의 후방산란에 의해 발생하며 다음과 같은 크기를 갖는다[9].

$$\Omega_L = \frac{c\lambda^2 r_s}{32\sqrt{2}\pi^2 dA} \sim \frac{1}{L^2} \quad (7)$$

여기서 c 는 광속, r_s 는 반사경의 산란계수, d 는 레이저 빔의 반경이다. 반사경의 산란은 반사경 기관의 연마 및 반사경 코팅 기술의 발전에 따라서 작아져 왔다. 반사경 기관 연마기술의 개발이 미흡하고 e-beam evaporation 코팅기술에 의하여 반사경을 제작하던 시기에는 반사경의 산란이 약 100ppm 수준이었지만, 반사경 기관의 초연마(super-polishing) 기술과 ion beam sputtering 코팅기술이 개발된 1990년대 이후에는 약

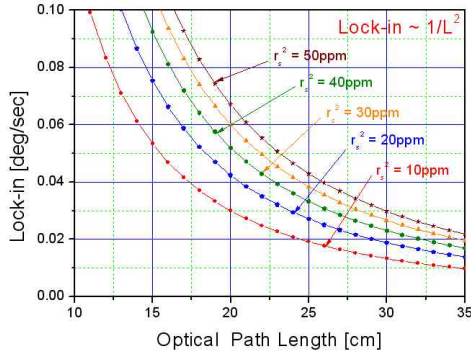


그림 4. 광경로에 따른 Lock-in 분석

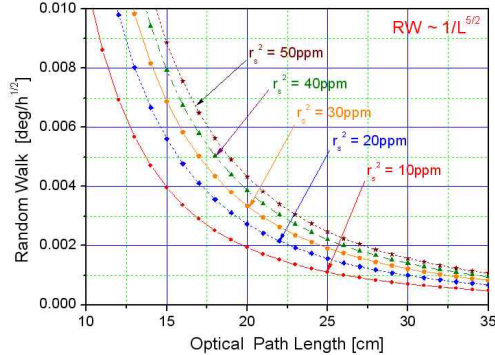


그림 5. 광경로에 따른 랜덤워크 성능분석

10ppm 이하의 반사경 제작이 가능하게 되었다. 이러한 반사경 3개를 사용하는 삼각형 자이로는 약 30ppm 정도의 총산란 값을 갖으며, 한 개의 반사경을 더 사용하는 사각형 자이로의 경우에도 반사경으로 입사되는 빔의 각도가 커서 삼각형에 비하여 산란 측면에서 유리하므로 삼각형에서와 유사한 총 산란값을 나타낸다. 그림 4는 반사경의 총 산란값과 공진기의 길이에 의하여 발생하는 lock-in 예측값을 그래프로 나타낸 것이다.

랜덤워크는 양자잡음에 의한 랜덤워크와 lock-in과 공진기 각진동의 결합에 의해서 나타나는 각진동에 의한 랜덤워크로 구분할 수 있다. 양자잡음에 의한 랜덤워크는 레이저 이득매질의 에너지 준위간에 불규칙적으로 발생하는 자발방출(spontaneous emission)에 의한 것으로서 반사경의 손실(산란+흡수), 투과, 레이저 출력 등의 함수이다[10]. 일반적으로 링레이저 자이로에 적용되는 반사경은 손실이 약 50ppm 수준이고 투과는 약 150ppm, 그리고 출력은 약 1μW로써 이에 따라서 발생하는 랜덤워크는 약 0.0005 deg/√hr 수준이다. 그러므로 중급성능의 링레이저 자이로에 있어서 양자잡음에 의한 랜덤워크는 무시할 수 있으며, 고급성능의 링레이저 자이로일 경우에도 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예측된다. 그리고 공진기 각진동에 의한 랜덤워크 RW_d는 식 (8)과 같이 lock-in과 직접적인 비례관계를 가진다[11]. 식 (8)에 대하여 광경로와 lock-in에 대한 랜덤워크 오차를 그림으로 나타내면 그림 5와 같다.

$$RW_d = \Omega_L \sqrt{\frac{1}{2\pi SF\Omega_d}} \sim \frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{L}{A}} \sim \frac{1}{L^{5/2}} \quad (8)$$

그림 5에 의하면 고급 관성항법장치에 적용하기 위한 자이로 성능(0.001deg/√hr 성능)을 만

족시키기 위해서는 약 30ppm의 산란을 가지는 반사경으로 약 34cm 이상의 광경로를 가져야 가능함을 알 수 있다. 그리고 중급성능 관성항법장치 성능(0.005deg/√hr 성능)을 만족시키기 위해서는 약 30ppm의 반사경으로 약 16cm 이상의 광경로를 가져야 함을 알 수 있다.

바이어스 안정도 오차는 방전전류 비대칭, 반사경의 각도변화, 반사경의 산란 등 예측하기 어려운 변수에 의해서 변화될 수 있으나 반사경의 산란에 기인된 양은 랜덤워크 오차와 유사한 크기를 갖는다.

링레이저 자이로의 광학부 형상은 삼각/사각형상으로 주로 제작된다. 사각형상의 경우 삼각형상에 비하여 같은 광경로 길이를 가지는 경우 폐광경로가 이루는 면적이 약 1.3배 크기 때문에 식 (6)~(8)에 의하여 양자화 잡음 및 랜덤워크 오차가 상대적으로 작다는 장점을 가지고 있다. 그러나 삼각형상의 경우 사각형상에 비하여 요구되는 반사경의 개수가 적고, 반사경의 정렬이 용이하다는 측면에서 장점을 가지고 있다. 따라서 종합적으로 볼 때 레이저 광학부의 형상에 따른 개발난이도는 거의 무시할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 링레이저 자이로 개발 소요기술

소형 링레이저 자이로 설계를 위한 소요기술 분석을 위하여 표 3과 같이 링레이저 자이로 주요 구성품을 정리할 수 있다. 표 3에서 소형 링레이저 자이는 미국 Honeywell 사의 GG1320과 유사하게 링레이저 자이로 관련 구성품을 모두 한 공간에 배치하는 것이 운용측면에서 유리하다. 그러나 이와 같은 설계를 위해서는 전체적인 링레이저 자이로 구성품의 소형화가 필요하며 특히 고전압 전원장치를 좁은 공간에 내장하여야 하기 때문에 아크 방전을 방지하기 위한 전자부

표 3. 링레이저 자이로 구조분석

링레이저 자이로 구성품		
소형 RLG	광학부	레이저 공진기
		구면경 조립체
		평면경
		전극
		신호검출 프리즘
		게터(getter) 조립체
	전자부	고전압 전원부
		디더 제어부
		전류 제어부
		광경로 제어부
		맥놀이신호 처리부
	기구부	디더(dither)
디더검출센서		
하우징		

설계기술이 요구된다. 특히 전자부 발열에 의하여 광학부에 온도구배가 발생하는 경우 성능저하의 주요원인이 되므로 이에 대한 해석을 통한 전자부 방열/광학부 내열 설계가 요구된다. 특히 좁은 공간에 많은 구성품이 조립되기 때문에 외부 환경에 의하여 구성품간 간섭이 없도록 구성품의 최적 배치설계가 요구된다.

4.4 링레이저 자이로 크기

4.3절에서 기술한 링레이저 자이로 개발 소요 기술을 바탕으로 설계된 소형 링레이저 자이로의 크기는 광경로 16cm의 경우 공진기의 대각선 길이가 5.7cm의 길이를 가지며 관련 해외 기술조사 및 제작경험을 바탕으로 반사경 조립체의 길이를 약 2cm로 가정하면 약 9.7cm의 광학부 크기를 가질 것으로 예상되며 이에 하우징 크기를 더하면 사각형상 소형 링레이저 자이로의 최소 크기는 약 10.5~11cm의 크기를 가질 것으로 판단된다. 만약 이를 삼각 형상으로 설계할 경우 약 0.5cm 정도 크기가 축소될 것으로 판단된다. 이러한 개략적인 크기 설계 결과는 광경로가 결정되면 공진기 크기는 변하지 않기 때문에 반사경 조립체 형상에 따라 소형 링레이저 자이로 크기가 약 1~2cm 정도는 차이가 있을 것으로 판단된다.

소형 링레이저 자이로의 높이는 광학부 및 전자부/기구부가 차지하는 높이에 의하여 결정된다. 광학부 높이는 열에 의한 변형 및 외부에서 인가되는 운동, 디더링에 의한 변형이 없도록 해석을 통하여 결정되며 16cm 광경로를 가지는 경

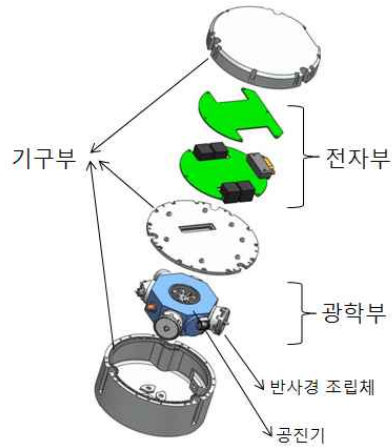


그림 6. 소형 링레이저 자이로 형상

우 약 2.5~3cm의 높이를 가질 것으로 예상된다. 기구부는 디더링에 의하여 외형의 변형이 없도록 충분한 강성을 가지도록 설계되어야 하며 광학부의 경우 전자부와 분리되어 밀봉되어야 하기 때문에 광학부/전자부를 분리하기 위한 구조체가 추가로 요구된다. 그리고 디더링에 의한 간섭을 피하기 위하여 하우징과 광학부간 충분한 여유공간을 가지도록 설계할 경우 약 1.5~2cm의 높이를 차지할 것으로 예상된다. 전자부의 경우 적용 부품의 선정에 의하여 소형화가 가장 손쉽게 이루어질 것으로 판단되나 국내 여건상 고전압 및 저전압 전원을 안정적으로 공급하는 소형 전원공급장치 개발이 어려워 이를 구매하여 적용할 경우 전자부의 높이가 약 1cm 정도 될 것으로 판단된다. 위의 결과를 모두 종합하면 소형 링레이저 자이로의 높이는 5~6cm에서 결정될 것으로 예상된다. 그러나 전원공급장치를 소형화 개발하고 광학부/전자부 분리를 위한 기구부를 제거하고 링레이저 전체를 밀봉하는 방법을 적용하면 높이를 약 0.5~1cm 추가 소형화 할 수 있을 것으로 예상된다. 위 결과를 종합하면 광경로 16cm의 소형 링레이저 자이로는 최종적으로 직경 10.5~11cm, 높이 5~6cm를 가지는 형상이 될 것으로 사료된다.

앞에서 설명한 소형 링레이저 자이로의 형상을 그림으로 나타내면 그림 6과 같다. 그림 6은 소형 링레이저 자이로가 전자부/기구부/광학부로 구성됨을 보여주고 있으며 앞에서 언급한 바와 같이 전자부의 전원공급장치가 매우 큰 공간을 차지하는 것을 확인할 수 있으며 광학부의 경우 반사경 조립체의 크기에 의해서 공진기의 높이가 결정되는 것을 확인할 수 있다. 또한 기구

부의 경우 하부/중간판/덱개의 3가지 구성품으로 이루어져있으며 하부 기구부는 공진기 가운데에 장착된 디더가 하부 기구부에 직접 장착되므로 디더링 및 외부 장착시 변형되지 않게 충분한 강성을 가지도록 설계되어야 함을 그림으로 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 각종 탑재체에 가장 광범위하게 사용되는 중급성능의 레이저 관성항법장치에 적용 가능한 소형 링레이저 자이로를 설계하기 위한 요구규격을 제시한다. 이를 위하여 우선 중급성능 관성항법장치 구성을 위하여 요구되는 링레이저 자이로 요구성능 규격을 분석하여 10분 정렬기준으로 바이어스 오차 0.005deg/hr , 랜덤 워크 오차 $0.005\text{deg}/\sqrt{hr}$ 를 만족하여야 함을 증명하였다. 그리고 이러한 성능규격을 만족시키기 위한 링레이저 자이로의 광경로가 16cm급이 되어야 함을 해외 기술조사 및 이론적인 분석을 통하여 제안하였으며 요구되는 기술을 정리하였다. 이러한 결과는 향후 중급성능 관성항법장치 설계에 적합한 소형 RLG 설계에 유용하게 사용가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1) M. M. Kuritsky and M. S. Goldstein, "Inertial Navigation", Proceedings of the IEEE, Vol. 71, No. 10, Oct. 1983.
 2) M. S. Grewal, L. R. Weill and A. P. Andrews, Global Positioning System, Inertial Navigation and Integration, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

3) D. H. Titterton and J. L. Weston, Strapdown Inertial Navigation Technology, IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series, 1977.
 4) G. M. Siouris, Aerospace Avionics Systems, Academic Press, Inc., 1993.
 5) 심규민 외, "관성항법장치 초기정렬 시간 단축을 위한 링레이저 자이로 lock-in 오차 보상 방법의 수치 해석적인 분석", 한국항공우주학회지, Vol. 37, No. 3, 2009.
 6) 김천중 외, "RLG Trapping 신호처리 기법의 성능개선에 관한 연구", 한국항공우주학회지, Vol. 36, No. 10, 2008.
 7) 심규민 외, "링레이저 자이로의 몸체진동 검출센서를 이용한 dither-stripping 연구", 한국항공우주학회지, Vol. 31, No. 5, 2003.
 8) 심규민 외, "몸체진동형 링레이저 자이로의 불규칙 잡음 최소화 기법 연구", 한국항공우주학회지, Vol. 29, No. 3, 2001.
 9) F. Aronowitz, The Laser Gyro, Laser Application Vol.1, Academic, New York, 1971, pp. 133
 10) J. H. Simpson, "A Fundamental Noise Limit to RLG Performance", IEEE, 1980, pp. 80
 11) J. E. Killpatrick, "Laser Gyro Dither Random Noise", SPIE Vol.487 Physics of Ring Laser Gyros, 1984, pp. 85.
 12) R. G. Majure, "Demonstration of a Ring Laser Gyro System for Pointing and Stabilization Applications", IEEE, 1990, pp. 219.
 13) D. R. Bostick and J. M. Miletich, "The Nav 100TM a New Paradigm in Small, High Accuracy, Inertial Navigation Systems", IEEE, 2004, pp. 214.