

몸체진동형 링레이저 자이로의 환산계수 오차 및 불규칙잡음 특성

Scale Factor Error and Random Walk Characteristics of a Body Dither Type Ring Laser Gyro

심 규 민 · 정 태 호 · 이 호 연
 군사과학대학원

요 약

본 논문에서는 몸체진동에 의하여 Lock-in을 보상해주는 링레이저 자이로의 환산계수 오차와 불규칙 잡음 특성을 시뮬레이션에 의해서 예측하였다. 그리고 그 결과를 약 0.5deg/sec의 static Lock-in을 갖는 28cm인 4각형 링레이저 자이로에 대한 정적시험 결과와 비교하였다.

진폭이 일정한 정현파 몸체진동을 인가하는 경우에 자이로의 출력 펄스가 몸체진동 진동수의 정수배가 되는 지점에서 주기적으로 dynamic Lock-in이 발생한다. Dynamic Lock-in의 폭은 몸체진동의 진폭에 따라서 변화하는데, 입력가속도가 몸체진동 진동수의 짝수배 지점과 홀수배 지점에서 나타나는 dynamic Lock-in의 폭은 180도 위상차이를 가짐을 알 수 있었다. 그리고 dynamic Lock-in을 보상해 주기 위하여 불규칙진동을 추가로 인가하는데 이 불규칙성이 작으면 dynamic Lock-in에 의한 환산계수 오차가 제거되지 않으며, 불규칙성이 커지면 환산계수 오차는 줄어들지만 불규칙 잡음이 상대적으로 커짐을 알 수 있었다. 그리고 불규칙 잡음은 몸체진동의 진폭이 클수록 작아짐을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we estimate the scale factor error and random walk characteristics of the ring laser gyro which has the body dither for Lock-in compensation. And then, we compared those results with the static test results for 28cm square ring laser gyro which has about 0.5 deg/sec static Lock-in.

In the case of sinusoidal body dither, dynamic Lock-in occurs periodically at the points where the gyro output pulse becomes the integer multiples of body dither frequency. The width of dynamic Lock-in is changed by variation of dither amplitude, and, between the width of dynamic Lock-in which occurs at the even multiple points of body dither frequency and that at the odd multiple points of body dither frequency, it has 180o phase difference. Generally random body dither is adopted to compensate for dynamic Lock-in. Then if the irregularity is not large enough, the scale factor error by dynamic Lock-in is not vanished. And if the irregularity is large enough, the scale factor error decreases, but random walk becomes larger relatively. And we confirmed that the larger body dither amplitude, the smaller random walk.

1. 서론

링레이저 자이로는 Sagnac 간섭계의 원리^{[1][2]}를 이용하여 관성좌표계에 대한 비행체의 회전을 검출하기 위한 센서로서 1962년 미국에서 실험이 시작되었고 1980년대 후반기에는 일부 실용화되어 민간항공기, 각종 유도무기 및 우주탐사선 항법장치의 핵심부로서 기존의 기계식 자이로를 대체하여 사용되고 있다. 링레이저 자이로가 관성센서로서 사용될 수 있게 되기 까지는 링레이저 자이로가 가지고 있는 가장 큰 단점인 Lock-in^[3] 현상을 극복하기 위한 다양한 방법이 연구되어야 했다. Lock-in이란 링레이저를 이루는 반사경의 산란에 의한 것으로서 외부에서 자이로에 가해지는 각속도가 어느 한정된 값 이하일 때 자이로의 출력이 나타나지 않는 환산계수의 비선형적인 현상이다. 이 Lock-in 현상을 보상해주기 위하여 자기광학 바이어스를 인가하는 방법^[3], 반사경을 진동시키는 방법^[4] 그리고 링레이저 몸체를 진동시키는 방법^{[5][6]} 등이 연구되고 있다.

본 논문에서는 링레이저의 몸체를 진동시키는 방식을 사용하는 링레이저 자이로에서 몸체진동에 의하여 발생하는 환산계수의 비선형성과 불규칙 잡음의 특성을 분석하기 위한 시뮬레이션을 하고 그 결과중의 일부를 실험을 통하여 검증하고자 한다. Lock-in을 보상하기 위해서 정현파 몸체진동을 사용하는 경우에는 dynamic Lock-in에 의한 환산계수의 비선형 오차가 발생하는데 이 dynamic Lock-in이 어떤 특성을 가지고 있는지 확인하고 불규칙 몸체진동을 인가하는 경우에는 불규칙 진동의 분포에 따라서 dynamic Lock-in과 불규칙 잡음이 어떤 특성을 가지는지 파악하고자 한다.

시뮬레이션은 Runge Kutta 방식과 Monte Carlo 방법을 사용하였고, static Lock-in이 약 0.5deg/sec이고 공진기 길이가 28cm인 4각형 링레이저 자이로에 대한 정

적시험(static test) 결과와 비교하였다.

2. 이론적 배경

(1) 몸체진동형 링레이저 자이로의 출력방정식

일반적으로 링레이저 자이로는 여러 가지 오차요인들에 의하여 null shift, scale factor variation, Lock-in 등 자이로의 성능을 저하시키는 현상이 나타나며, 그 중에서 자이로의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 Lock-in 현상이다.^[3]

링레이저 자이로의 입력이 임계점보다 작으면 서로 반대 방향으로 진행되는 두 빛이 산란에 의하여 coupling 되는 현상이 발생하여, 링레이저 자이로의 출력이 나타나지 않는 Lock-in이 발생하게 된다. 이 현상은 자유진동수로 진동하고 있는 진동체에 외부에서 이 진동수와 유사한 주파수의 진동이 인가되면 섭동 현상이 발생하는 것과 같다. 이 현상은 두 주파수간의 차이가 작으면 작을수록 또는 산란에 의하여 발생하는 빛의 진폭이 크면 클수록 큰 Lock-in 임계값 Ω_L 을 가지며, 레이저 파장 λ , 링레이저의 면적 A, 빔의 직경 d, 그리고 산란계수 r_s^2 에 대하여 다음과 같은 관계식을 갖는다.^{[3][9]}

$$\Omega_L = \frac{c\lambda^2 r_s}{32\pi Ad} \dots\dots\dots (2.1.1)$$

위 식에서 알 수 있듯이 Lock-in 임계값은 반사경 또는 공진기 내에서의 산란계수를 줄이거나 레이저 빔의 경로가 이루는 면적을 크게 하여 어느 정도 작게 할 수 있으나 완전히 제거시킬 수 있는 문제는 아니다.

Lock-in을 보상하기 위하여 가장 널리 쓰이는 방법은 Lock-in 임계값 보다 큰 양과 음의 각속도를 번갈아 인가하는 몸체진동기법이다. 이 기법은 링레이저

자이로가 Lock-in되는 지역에서 소모되는 시간을 최소화하여 보상하는 방법으로서 링레이저가 구속된 각도 내에서 고 각속도로 진동하므로써 자이로의 drift가 없이 양의 방향과 음의 방향의 출력의 합이 오직 순수하게 자이로에 인가된 각속도만 나타나도록 하는 것이다.

이상적인 몸체진동의 형태로는 완전대칭 구형파(square wave)이다. 그러나 이러한 구형파를 구현하기는 기술적으로 매우 어려우므로 주로 $\Omega_d(t) \cos \omega_d t$ 의 정현파 진동을 인가한다.

후방산란에 의한 coupling을 고려한 경우의 몸체진동형 링레이저 자이로의 출력 방정식은 다음과 같이 Sagnac 위상 ψ 의 시간변화율로서 나타낼 수 있다.^{[3][5]}

$$\frac{\dot{\psi}}{2\pi} = Scf[\Omega_i - \Omega_L \sin(\psi + \beta) + \Omega_d \cos \omega_d t] \dots\dots\dots (2.1.2)$$

- Scf : 환산계수 [pulse/arcsec]
- β : 임의의 초기 위상각 [rad]
- Ω_i : 입력 각속도 [deg/sec]
- Ω_d : 몸체진동 최대 각속도 [deg/sec]
- Ω_L : Lock-in 임계값 [deg/sec]

링레이저 자이로는 링레이저 공진기, 양극, 음극, 광경로 조절기, 레이저 출력 검출 프리즘, 그리고 몸체진동 스프링 등으로 구성되어 있다.^[6] 몸체를 진동시키는 방식은 몸체를 스프링에 고정하고 이 스프링을 압전효과(Piezoelectric effect)를 이용하여 진동시킴으로서 자이로의 몸체가 회전진동을 하도록 구성한다. 스프링은 회전방향에 대해서는 유연한 탄성계수를 가지나 그 외의 방향으로는 거의 무한대의 탄성계수를 갖도록 해야 한다. 진동의 주파수는 스프링과 몸체의 공진 주파수와 같도록 하며 진폭은 RAVS(Relative Angular Velocity Sensor)로 검출하여 제어회로를 통하여 조절한다.

2. 몸체진동에 의한 불규칙 잡음

링레이저 자이로는 기계식 자이로에 비하여 불규칙 잡음(Random Walk)이 상대적으로 큰 값을 갖는데 이는 몸체진동이 가장 큰 원인이 되는 것으로 알려져 있다.^{[6][10]}

교변하는 몸체진동 바이어스에 의하여 발생하는 자이로의 불규칙잡음 오차는 인가하는 몸체진동 각속도가 Lock-in rate보다 매우 큰 경우 다음과 같이 계산될 수 있다.

몸체진동시 Lock-in에 의하여 발생하는 오차각은 임의의 초기 위상각 β 에 의해서 결정된다. 임의의 초기 위상각이 $\beta=2n\pi+\alpha$ 로 변화할 때 α 의 변화에 따른 오차각의 동향을 계산하면 오차각이 π 를 주기로 하는 함수가 된다.

일정한 진폭을 갖는 정현파 몸체진동의 경우에는 몸체진동방식에 의하여 가질 수 있는 초기 위상각은 거의 일정한 값을 갖는다. 그리고 이상적인 불규칙 몸체진동이 인가될 경우에는 초기 위상값의 확률은 0~ 2π 의 거의 모든 값에 같은 확률을 갖는다고 가정할 수 있다.

불규칙 오차각 ψ_{error} 은 각각의 오차각의 rms 값과 몸체진동의 회귀점수의 제곱근에 의하여 계산할 수 있다.

$$\psi_{error} = \Omega_L \sqrt{\frac{1}{2\pi Scf \Omega_d}} \sqrt{t} \dots\dots\dots (2.2.1)$$

몸체진동에 의한 랜덤각 오차의 누적은 시간의 제곱근에 비례하며, 그 계수는 불규칙 잡음 RW이다.^[7]

$$RW = \Omega_L \sqrt{\frac{1}{2\pi Scf \Omega_d}} [deg/h^{1/2}] \dots\dots (2.2.1)$$

위에서 알 수 있듯이 불규칙 잡음계수는 Lock-in 임

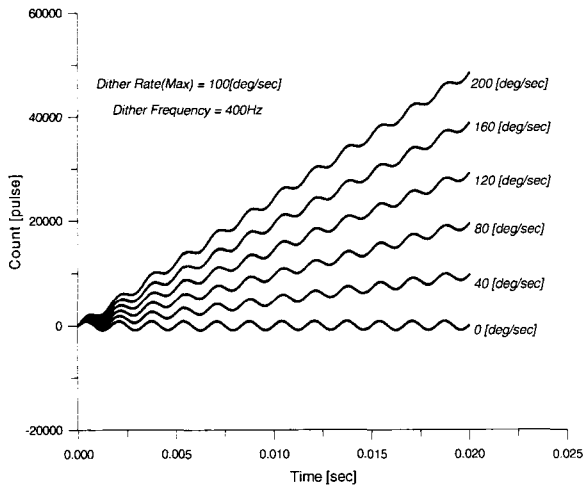
계값에 비례하고 환산계수에 반비례한다.

3. 환산계수 오차 및 불규칙잡음 특성 시뮬레이션 및 실험

(1) 수치 해석적인 분석 방법

이 몸체진동의 효과를 수치 해석적으로 분석하기 위하여 식(2.1.2)를 Runge-Kutta 방법을 이용하여 시간 Δt 의 변화에 대한 Sagnac 위상 ψ 의 변화를 계산한다.

그림 3.1.1은 몸체진동의 최대진폭이 100deg/sec인 경우에 자이로에 입력되는 각속도를 0에서 200deg/sec 까지 증가시켜 가면서 Sagnac 위상 ψ 의 동향을 나타낸 그래프이다. 여기서 알 수 있듯이 자이로의 출력에 몸체진동에 의한 펄스가 실려나옴을 알 수 있다. 이 Sagnac 위상 ψ 를 몸체진동의 한 주기 동안의 평균 출력을 계산하여 몸체진동에 의한 출력을 제거시키면 외부입력에 대한 링레이저 자이로의 출력이 된다.



(그림 3.1.1) 정현파 몸체진동을 인가한 경우의 $\psi(t)$ 함수 특성

그러므로 몸체진동의 주기 T시간 동안의 pulse 수

N을 평균하면 시간당의 출력펄스 수를 계산할 수 있다.

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\psi_T - \psi_0}{2\pi T} \text{ [pulse/sec]} \dots\dots (3.1.1)$$

정현파 몸체진동을 인가하는 경우는 몸체진동이 Lock-in을 통과할 때마다 초기 위상각 β 의 크기가 항상 일정한 값을 갖도록 한다. 불규칙 진동을 인가하는 경우는 몸체진동에 의한 각속도가 Lock-in 임계값을 통과할 때마다 β 의 크기가 $0 \sim 2\pi$ 사이의 표준편차 σ 인 가우스 분포 $f(\beta)$ 를 나타내는 불규칙적인 값을 갖도록 하였다.

$$f(\beta) = Ce^{-\left(\beta^2 / 2\sigma^2\right)} \dots\dots\dots (3.1.2)$$

시뮬레이션에 의한 링레이저 자이로의 불규칙 잡음 오차는 랜덤한 초기 위상각 β 에 대하여 몸체진동의 주기 T 동안의 $\psi(T)$ 를 여러번 계산하여 다음과 같이 통계적으로 산출하였다.

$$RW = \text{Standard Dev. of } \psi(T) / \sqrt{T} \dots\dots\dots (3.1.3)$$

이때 초기 위상각 β 의 분포특성 $f(\beta)$ 에 따라서 불규칙 잡음이 어떤 결과로 나타내는지 확인할 수 있다.

2. 환산계수 오차 및 불규칙 잡음 실험

실험을 위하여 28cm 4각형 링레이저를 이용하여 그림3.2.1과 같은 실험용 전자모듈을 제작하여 부착함으로써 설계변수의 변화에 따른 자이로의 특성이 이론과 일치하는지 검증하였다. 실험을 할 수 있도록 전자모듈을 설계 제작하였으며, 각 모듈은 다음과 같은 기능을 갖는다.

(1) Path Length Control(광경로 조절부)

서로 반대방향으로 진행되는 빔의 세기를 측정하여 온도변화에 의하여 공진기 길이가 변화하더라도 반사경의 위치를 조절하여 링레이저가 항상 공진점에서 동작하도록 제어한다.

(2) Dither(몸체진동 제어부)

몸체진동 제어부는 링레이저에 약 400Hz의 각진동을 인가하기 위한 모듈이며, 정현파 진동과 불규칙 진동(Random Rate) 발생시키고, 몸체진동의 진폭을 검출하고 제어하도록 하였다.

(3) Beat signal processing(검출신호 처리부)

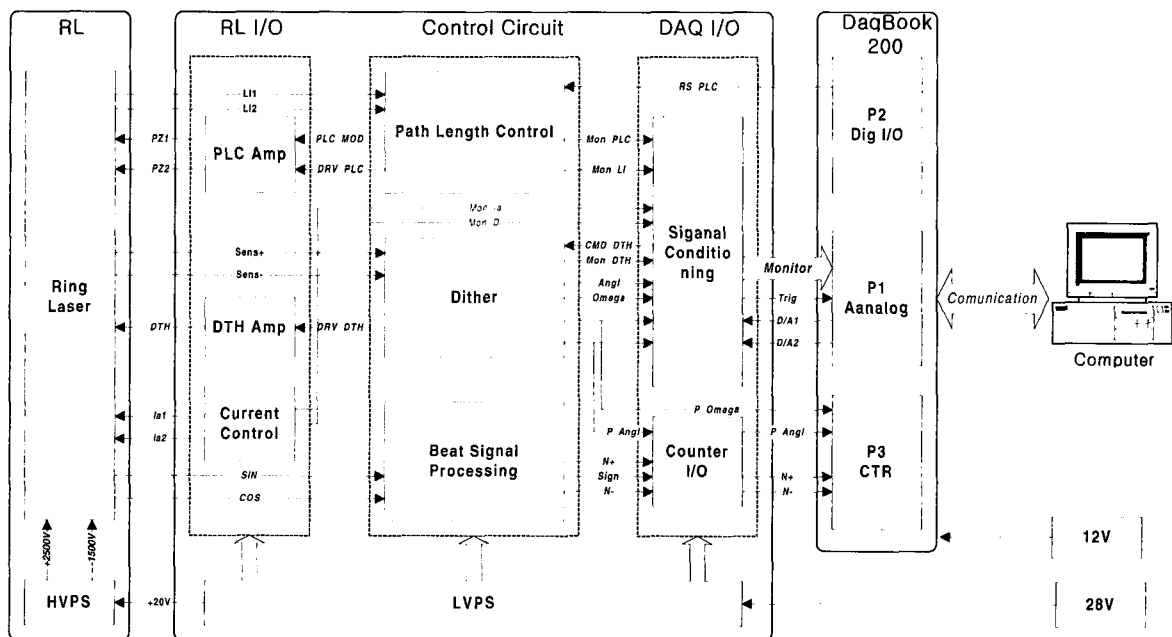
자이로의 입력에 대한 출력은 서로 반대방향으로 진행되는 빔을 간섭시켜서 발생하는 맥놀이 주파수를

분석함으로써 알 수 있다. 검출신호 처리부는 광 다이오드의 출력신호를 펄스형태로 변환하고 몸체진동 검출기에서 나온 신호와 비교하여 회전방향을 알 수 있도록 하였다. 본 실험 모듈은 자이로 출력의 분해능을 높이기 위하여 pulse former를 통과하는 과정에서 맥놀이 주파수를 2배로 증가시켜서 측정하였다.

(4) Current control(방전전류 제어부)

방전전류 제어부는 공진기 내에서의 가스 흐름에 의해서 발생하는 자이로 출력의 drift(Langmuir flow 효과)를 최소화하기 위하여 공진기 내에서 서로 반대 방향으로 흐르는 전류량을 같도록 유지시켜주기 위한 제어모듈로서 공진기에 흐르는 전류를 측정하여 고전압공급회로의 두 양극에 걸리는 전압의 균형을 맞추도록 제어한다.

이 밖에도 링레이저에 입력되는 전원을 공급하는



(그림 3.2.1) 링레이저 자이로 실험용 전자모듈 구성도

HVPS모듈, 전자모듈에 전원을 공급하기 위한 LVPS 모듈, 그리고 컴퓨터에서 자이로 출력펄스를 계수하고 자이로와 인터페이스하기 위한 DaqBook 모듈 등으로 구성되어 있다.

실험에 적용한 링레이저는 static Lock-in이 약 0.5deg/sec이고, 공진기 길이가 28cm인 4각형의 He-Ne 링레이저로서 몸체진동의 공진 주파수는 384Hz이다.

실험에 의하여 계측되는 양은 자이로 출력, 몸체진동 진폭, 주기, 그리고 레이저 세기로서 1초에 1회씩 검출하여 컴퓨터에 저장하도록 하였다. 자이로의 출력은 몸체진동이 한주기 완료될 때마다 발생하는 펄스를 1초 동안 누적하여 저장하였으며, 단축 레이저 자이로를 위한 IEEE 표준규격양식 및 시험 절차[8]에 의하여 불규칙 잡음을 계산하였다.

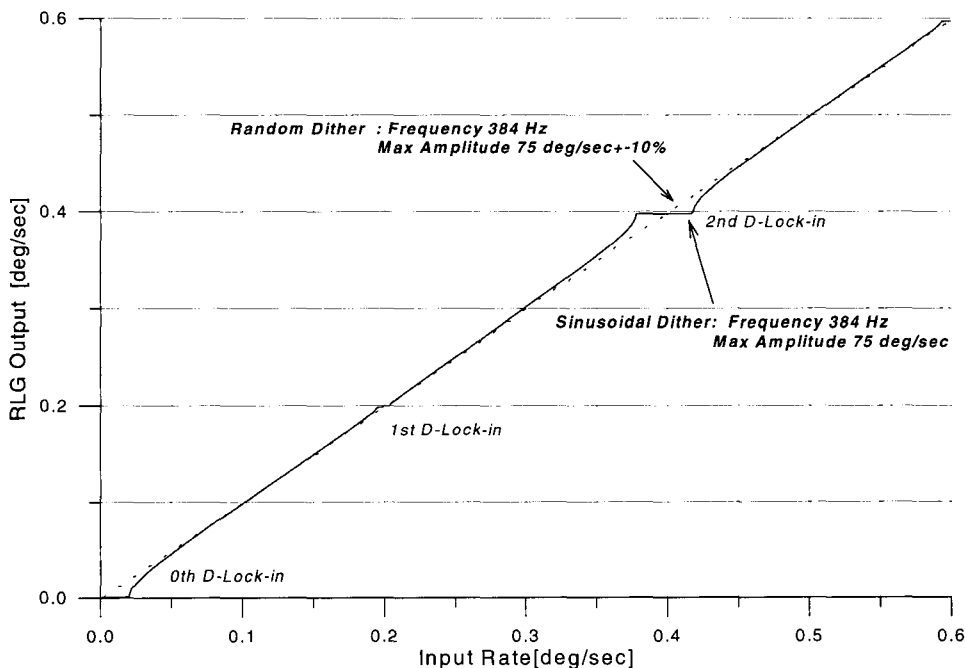
4. 시뮬레이션 및 실험 결과 분석

(1) 정현파 몸체진동에 의한 링레이저 자이로의 dynamic Lock-in 특성

정현파 몸체진동을 인가하는 경우는 식(2.1.2)에서 $\beta = \text{constant}$ 일 경우를 의미한다. 그림4.1.1은 정현파 몸체진동을 인가하는 경우 입력 각속도에 따른 자이로의 출력특성을 시뮬레이션에 의하여 나타낸 그래프이다. 그림에서 보는바와 같이 입력이 약 0.2deg/sec의 입력 각속도 변화 구간 마다 작은 Lock-in이 반복적으로 발생함을 알 수 있다.

즉 링레이저 자이로의 출력이 몸체진동의 주파수와 같은 384[pulse/sec]인 곳에서 주기적으로 Lock-in이 발생한다.

이 dynamic Lock-in의 크기는 입력이 0deg/sec인 위치와 0.4deg/sec인 위치가 거의 비슷하고 0.2deg/sec인 위치와 0.6deg/sec인 위치가 거의 비슷하다. 즉 even

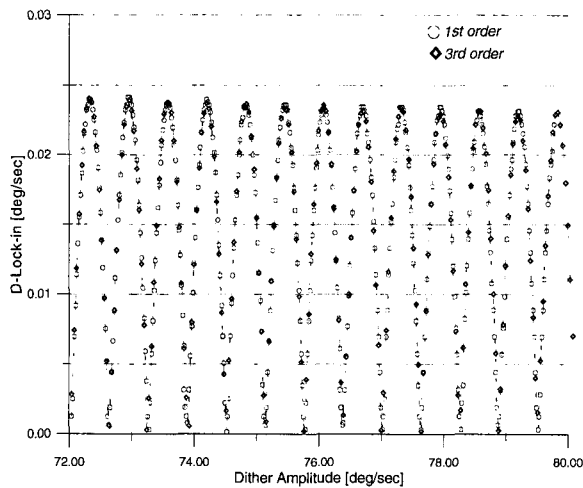


(그림 4.12) Odd Order의 dynamic Lock-in간의 특성 비교($\Omega_L = 0.5 \text{deg/sec}$)

order와 odd order가 반복적으로 발생한다.

그림 4.1.2는 몸체진동의 진폭을 변화시키면서 odd order의 dynamic Lock-in 폭을 시뮬레이션에 의하여 계산한 값으로서 몸체진동의 진폭에 의하여 Lock-in이 변화되는 위상이 일치함을 알 수 있다. 그리고 even order(0th)와 odd order(1st)의 dynamic Lock-in의 위상을 비교해본 결과 그림4.1.3과 같이 서로 위상이 반대임을 알 수 있다.

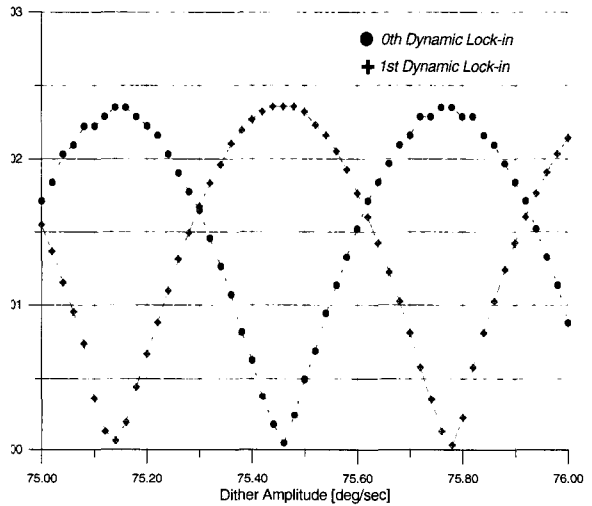
그러므로 0deg/sec 부근에서 나타나는 dynamic Lock-in을 제거하기 위하여 몸체진동의 진폭을 조절하면 1st dynamic Lock-in이 최대값이 된다. 만일 각속도의 입력 범위가 1st dynamic Lock-in이 발생하지 않는 범위라면 몸체진동의 진폭을 조절하여 선형적인 자이로 출력을 얻을 수 있음을 알 수 있다.



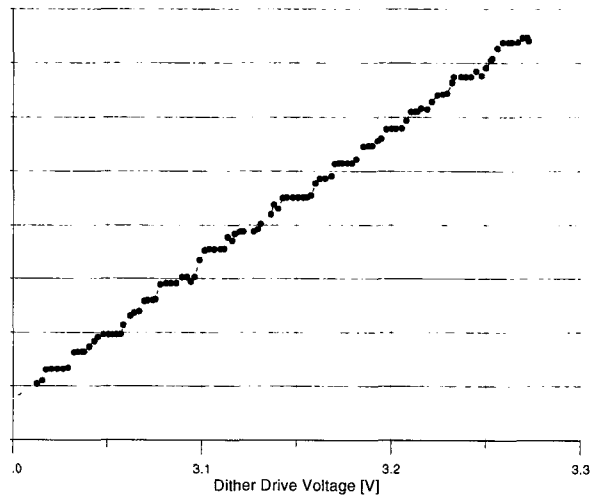
(그림 4.1.2) Odd Order의 dynamic Lock-in간의 특성 비교($\Omega_L=0.5\text{deg/sec}$)

실험에 의한 dynamic Lock-in의 관측을 위하여 자이로가 지구의 회전각속도(약 0.0025deg/sec)를 받고 있는 상태에서 몸체진동의 진폭을 서서히 증가시키며 자이로 출력을 측정하였다. 그림4.1.4는 몸체진동장치

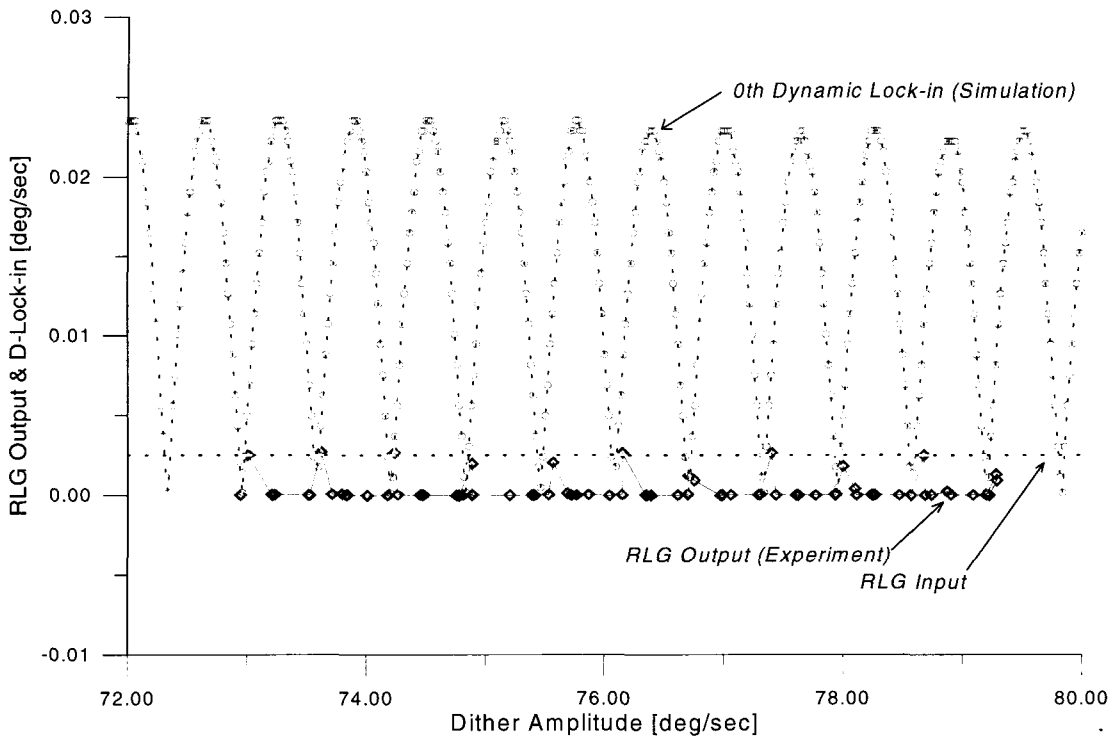
에 입력되는 전압과 몸체진동에 의하여 발생하는 출력펄스(몸체진동의 진폭)를 나타내고 있으며, 그림 4.1.5는 자이로가 지구자전 각속도를 받고있는 상태에서 몸체진동의 진폭을 변화시키면서 자이로의 출력을 검출한 그래프이다.



(그림 4.1.3) 0th Order와 1st Order의 dynamic Lock-in 위상 비교 ($\Omega_L=0.5\text{deg/sec}$)



(그림 4.1.4) 몸체진동 인가전압에 대한 몸체진동 진폭



(그림 4.1.5) 몸체진동의 진폭에 따른 0th dynamic Lock-in과 자이로의 출력

그림 4.1.5에 의하면 몸체진동이 약 72~80deg/sec로 변화되는 사이에서 시뮬레이션에 의하여 계산된 자이로의 0th dynamic Lock-in은 지구 자전 각속도 보다 작은 영역이 주기적으로 나타난다. 이 영역에서는 자이로가 지구 자전 각속도를 검출할 수 있으며, 그 밖의 영역에서는 자이로의 출력이 나타나지 않음을 알 수 있다.

(2) 정현파와 불규칙 몸체진동에 의한 링레이저 자이로 오차특성

1) 환산계수 오차

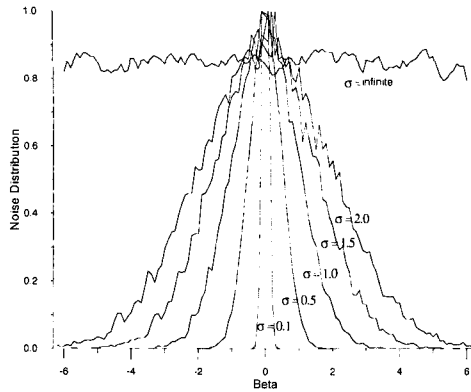
정현파 몸체진동에 의한 자이로의 출력은 주기적인 dynamic Lock-in현상이 발생하여 부분적으로 출력의 오차가 매우 큰 지점이 발생한다. 이를 보상해주기

위해서는 몸체진동의 진폭을 불규칙하게 변화시켜주는 불규칙 진동을 첨가한다.

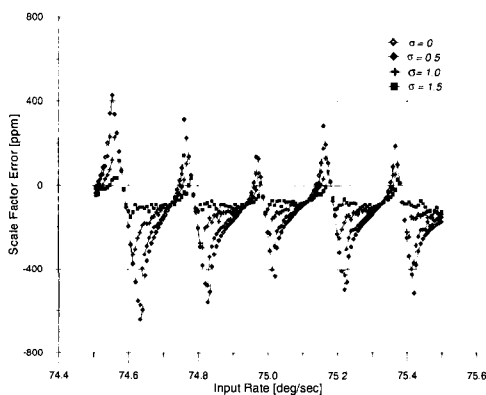
정현파 진동에 의하여 일정한 값을 유지하던 β 는 불규칙 진동이 인가되면 몸체진동의 회귀점(Lock-in 발생지점)에서 불규칙한 초기값을 갖게 된다.

그림 4.2.1은 시뮬레이션에 적용하기 위하여 식 (3.1.2)에 의하여 발생시킨 β 의 분포를 나타낸 그래프이다.

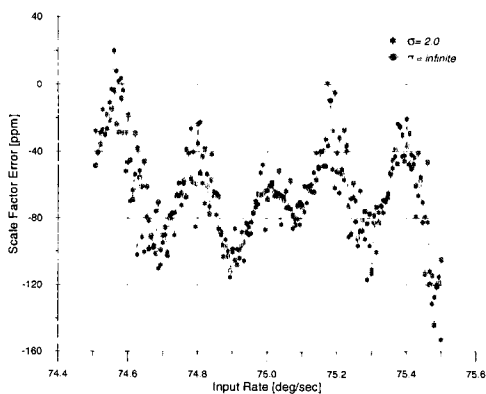
그림 4.2.2과 그림4.2.3은 β 의 분포에 따라 나타나는 자이로의 환산계수 오차를 나타낸 그래프로서 $\sigma = 0$ 이면 정현파 진동의 경우로서 dynamic Lock-in이 나타남을 알 수 있다. 그리고 σ 가 커질수록 환산계수 오차는 점점 작아져서 σ 가 약 2.0이 되면 환산계수 오차는 정현파 진동에서보다 약 1/4 이하로 감소함을 알 수 있다.



(그림 4.2.1) 초기 위상값 β 의 분포



(그림 4.2.2) 불규칙 진동에 의한 환산계수오차 특성 시뮬레이션
($\Omega_L=0.5\text{deg/sec}$, $\Omega_d=75.1\text{deg/sec}$)

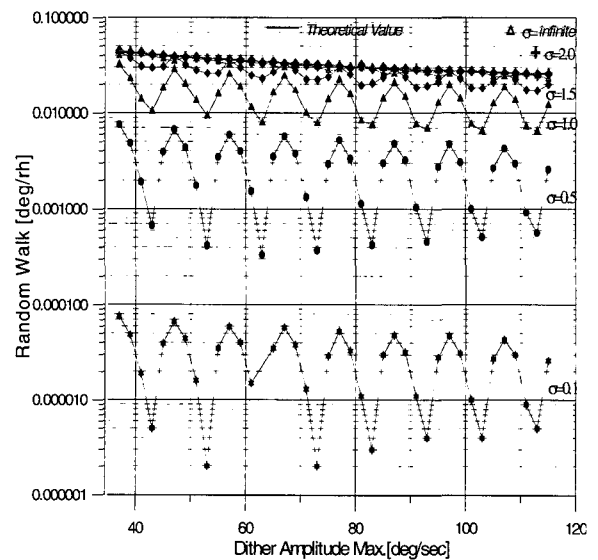


(그림4.2.3) 불규칙 진동에 의한 환산계수오차 특성 시뮬레이션
($\Omega_L=0.5\text{deg/sec}$, $\Omega_d=75.1\text{deg/sec}$)

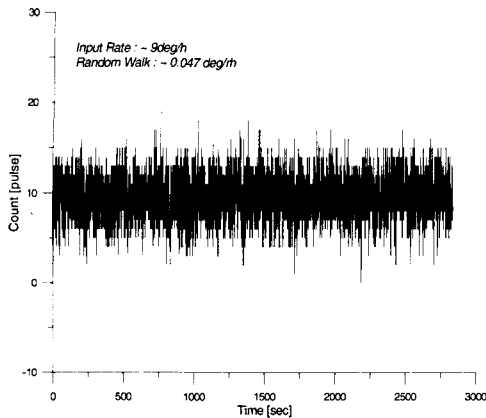
2) 불규칙 잡음오차

불규칙 잡음의 이론적인 값은 식(2.2.2)에서 알 수 있듯이 Lock-in, 몸체진동의 진폭, 환산계수의 크기에 관계한다. 그런데 그 결과는 초기 위상각 β 의 크기 분포가 무한대일 경우를 가정하여 계산한 것이며, β 의 크기 분포함수에 따라서 불규칙 잡음은 달라질 수 있다.

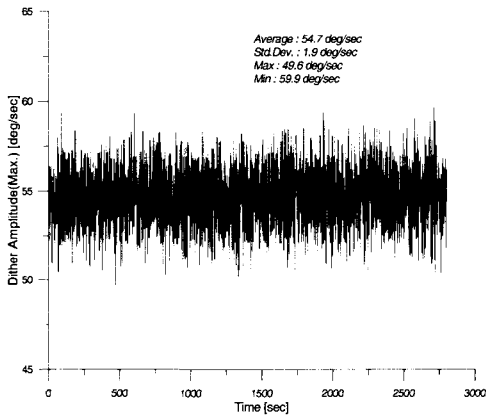
그림 4.2.4는 β 의 분포에 따라서 변화되는 불규칙 잡음의 크기를 시뮬레이션에 의하여 계산한 결과이다. 이 그래프에 의하면 $\sigma=0.1$ 인 경우는 불규칙잡음이 매우 적으나 그림4.2.2에서 언급한 환산계수오차에 있어서 dynamic Lock-in이 거의 그대로 남아 있다. 그리고 $\sigma=2.0$ 이상의 영역에서 비로소 이론적으로 예측된 불규칙 잡음이 나타남을 알 수 있다. 불규칙 잡음은 될 수 있으면 작아야 하지만 환산계수의 오차를 보상하기 위하여 불규칙 진동을 인가하는 한 나타날 수밖에 없는 오차임을 알 수 있다.



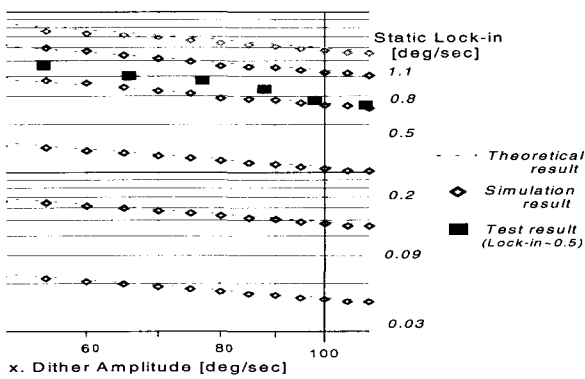
(그림 4.2.4) 불규칙 진동에 의한 불규칙잡음 특성 시뮬레이션
($\Omega_L=0.5\text{deg/sec}$, $\Omega_d=75.1\text{deg/sec}$)



(그림 4.2.5) 불규칙 몸체진동($\sigma=1.9\text{deg/sec}$)에 의한 자이로 출력



(그림 4.2.6) 불규칙 몸체진동($\sigma=1.9\text{deg/sec}$)에 의한 몸체진동의 진폭



(그림 4.2.7) 불규칙 몸체진동($\sigma=1.9\text{deg/sec}$)에 불규칙 잡음 특성

그림 4.2.5와 그림 4.2.6은 불규칙 몸체진동($\sigma=1.9\text{deg/sec}$) 인가시 자이로의 출력과 몸체진동 진폭을 기록한 그래프이다. 여기서 알 수 있듯이 불규칙 몸체진동이 인가됨으로서 dynamic Lock-in이 발생하지 않음을 알 수 있다.

그림 4.2.7에는 Lock-in의 크기와 몸체진동의 진폭에 따른 불규칙 잡음의 크기를 이론과 시뮬레이션에 의하여 계산한 결과와 약 0.5deg/sec 의 Lock-in을 가진 자이로에 대한 실험결과를 그래프로 나타내었다. 그림에서 Lock-in의 클수록, 그리고 몸체진동의 진폭이 작을수록 불규칙잡음 오차가 커짐을 알 수 있다. 이론 및 시뮬레이션 결과와 실험 결과가 정확히 일치하지 않는 이유는 측정 결과에 양자잡음이나 바이어스 오차 등이 일부 포함된 결과라고 보인다.

5. 결 론

본 논문에서는 링레이저 자이로에서 가장 큰 오차 요인이 되는 Lock-in을 보상해주기 위하여 정현파와 랜덤 몸체진동을 인가함으로써 발생하는 환산계수오차와 불규칙잡음 특성을 시뮬레이션에 의해서 예측하고, 약 0.5deg/sec 의 static Lock-in을 갖는 공진기 길이가 28cm인 4각형 링레이저 자이로에 대한 정적 시험을 수행하고 시뮬레이션에 의한 결과와 비교하였다.

결과에 의하면, 진폭이 일정한 정현파 몸체진동을 인가하는 경우에 자이로에 입력되는 각속도가 변화하면 자이로의 출력 펄스가 몸체진동 진동수의 정수배가 되는 부분에서 주기적으로 dynamic Lock-in이 발생한다. 이 dynamic Lock-in의 크기는 자이로에 입력되는 각속도가 일정한 상태에서 정현파 몸체진동의 진폭이 변화하면 몸체진동의 진동수의 짝수배가 되는 even order와 홀수배가 되는 odd order에서 각각 주기적으로 변화하며, 그 최대값은 static Lock-in의 약

4.8% 정도이고, 최소값은 거의 0이 된다. 그리고 even 과 odd order의 dynamic Lock-in의 크기는 180도 위상 차이를 나타낸다.

이러한 정현파 몸체진동에 의한 dynamic Lock-in을 보상해주기 위하여 몸체진동이 Lock-in영역을 통과하면서 갖는 초기 위상각이 불규칙적으로 변화 되도록 몸체진동의 진폭을 불규칙적으로 변화시킨다. 몸체진동의 불규칙성이 커지면 dynamic Lock-in에 의한 환산계수오차는 작아지며, 이와 반대로 불규칙 잡음은 커져서 몸체진동 불규칙성의 표준편차가 약 2deg/sec 이상이 되면 이론에 의하여 예측된 값에 접근하게 된다. 그리고 불규칙성이 일정한 경우에 불규칙 잡음의 크기는 몸체진동의 진폭이 클수록, Lock-in이 작을수록 작아진다.

참 고 문 헌

1. George M, Siouris, Aerospace Avionics Systems, Academic Press Inc, San Diego, 1993, pp.83-93
2. E.J. Post, "Sagnac Effect", Review of Modern Physics, vol.39, Number2, April 1967, pp.475-493
3. F. Aronowitz, "The Laser Gyro", Laser Application

- vol.1, Academic, New York, 1971, pp.133-200
4. R.A. Patterson, B. Ljung and D.A. Smith, "Reduction of Beam Coupling in a Ring Laser Gyro by Doppler Shifting of Scattered Light", SPIE vol.487 Physics of Ring Laser Gyros, 1984. pp.78-84
5. Thomas J. Hutchings, Daryl C. Stjern, "Scale Factor Nonlinearity of a Body Dither Laser Gyro", IEEE 1978. pp549-555
6. H.J. Buschelberger, E. Handrich, H. Malthan, G. Schmidt, "Laser Gyro in System Application with Rate-Bias Technique", Symposium Gyro Technology, 1987, pp7.0-7.28
7. Joseph E. Killpatrick, "Laser Gyro Dither Random Noise", SPIE vol.487 Physics of Ring Laser Gyros, 1984. pp85-92
8. IEEE Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Single-Axis Laser Gyros, IEEE, New York, 1981,
9. R.Rodloff, V.Wetzig, E.Lubeck, W.Burchardt, W.Jungbluth, "Lasergyro - the Next Generation", Symposium Gyro Technology, 1992. pp15.1-15.15
10. James H. Simpson, "A fundamental Noise Limit to RLG Performance", IEEE 1980. pp80-83