

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 42(1), 82-89(2014)

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.1.82>

관성항법장치의 동적오차 개선을 위한 링레이저 각진동 신호의 이중 복조방법

심규민*

Double Demodulation of a Ring Laser Dither Signal for Reducing the Dynamic Error of an Inertial Navigation System

Kyu-Min Shim*

Agency for Defense Development

ABSTRACT

This paper discusses the methods for reducing the sampling time quantization errors of the body dither type ring laser gyroscope.

A ring laser gyroscope has the angle quantization error which is generated by the frequency counting method of the laser beat signal and sampling time quantization error which is generated by the demodulation method for eliminating the body dithering in which the sampling periods are fitted to the dither periods. Generally, because the dither periods are longer than the calculation periods of the inertial navigation system, vehicle navigation errors are produced by long time attitude update missing during the vehicle move with a high dynamical motion.

In this paper, the double demodulation method is proposed for reducing the sampling time quantization error and its effects under the dynamic situation are confirmed by simulation.

초 록

본 논문에서는 공진기 각진동에 의한 출력을 제거하기 위하여 복조방법을 사용하는 링레이저 자이로의 시간 양자화 오차를 감소시키기 위한 방법을 논의하였다.

링레이저 자이로에는 맥놀이 주파수를 검출하는 과정에서 발생하는 각도 양자화오차와 lock-in 현상을 해결하기 위하여 변조한 각진동을 출력으로부터 복조하는 과정에서 발생하는 시간 양자화오차가 있다. 시간 양자화 오차는 링레이저 자이로의 샘플링 주기가 자이로 각진동 주기에 동기된 복조방법을 사용하기 때문에 발생한다. 일반적으로 자이로 각진동 주기는 항법계산 주기에 비하여 길기 때문에, 탑재체의 자세를 빠른 속도로 업데이트해야만 하는 고기동 환경에서는 시간양자화 오차에 의한 항법오차가 발생된다.

본 논문에서는 이러한 샘플링 시간 양자화오차를 줄이기 위하여 이중 복조방법을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 동적환경에서의 오차 감소현상을 확인하였다.

Key Words : Ring Laser Gyroscope(링레이저 자이로), Dither Modulation/Demodulation(각진동 변조/복조), Quantization Error(양자화 오차)

† Received: September 7, 2012 Accepted: December 27, 2013 <http://journal.ksas.or.kr/>

* Corresponding author, E-mail : kmskim@add.re.kr

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

1. 서 론

링레이저 자이로는 레이저 공진기를 서로 반대방향으로 진행하는 빛의 주파수가 회전에 의하여 서로 다른 값을 갖는 현상을 이용하여 회전을 측정하는 회전검출 센서이다[1][2]. 링레이저 자이로 오차는 바이어스 불안정성, 랜덤워킹 등 다양한 종류가 있으나 자이로 동작 초기의 짧은 시간 동안이나 외부에서 진동 등이 입력되는 동안에는 양자화 오차가 비교적 큰 오차로 작용한다. 샘플링 양자화 오차는 각도 양자화 오차와 시간 양자화 오차로 구분되는데 각도 양자화 오차는 링레이저 자이로 출력이 맥놀이 주파수를 계수하는 방법이기 때문에 발생하고, 시간 양자화오차는 공진기 각진동 신호를 복조하는 주기에 의해서 발생한다.

링레이저 자이로는 회전을 산출하기 위하여 고리형 공진기 내부를 서로 반대방향으로 발진하는 두 빛을 비교하여 주파수 차이에 의한 맥놀이 신호를 발생시킨다. 이 맥놀이 신호를 광검출 다이오드로 검출하여 비교기를 통과시키면 맥놀이 반주기마다 up-down이 반복되는 구형파 신호가 발생하는데 그 수를 계수하여 회전각도로 환산한다[3][4]. 그런데 링레이저 공진기의 회전은 연속적인데 반하여 맥놀이파의 사이클 수는 불연속적인 값을 가지므로 각도양자화 오차가 유발된다. 그러므로 이러한 오차를 줄이기 위하여 2개의 광검출 다이오드를 사용하여 맥놀이 신호를 검출함으로써 기존의 방법보다 분해능을 2배 향상시킨 x4펄스모드, 그리고 x4펄스모드에 고속의 AD변환기를 추가로 적용하여 펄스의 잔여 위상까지 검출하여 보상하는 방법 등이 개발되고 있다[5][6].

링레이저 공진기를 서로 반대방향으로 진행하는 빛의 주파수 차이는 회전 각속도에 비례하나 특정한 크기 이하의 입력각속도에서는 비례관계가 성립하지 않는다. 그러므로 이러한 현상을 극복하기 위하여 여러 가지 방법이 고안되어 왔으나 가장 일반적으로는 레이저 공진기를 각진동기(dither)라고 하는 비틀림 스프링을 이용하여 케이스에 고정하고 정현파 진동을 인가하는 기계적인 변조 방법을 적용한다[7]. 이 방법을 적용하면 링레이저 출력에는 항상 큰 정현파 각진동 운동이 포함되어 나타나기 때문에 외부에 인가된 입력 각속도를 정확히 알기 위해서는 각진동에 의한 출력을 제거하기 위한 신호처리 과정이 필요하다. 이 신호처리 방법으로는 각진동 제거(striping)방법과 각진동 복조(demodulation)방

법 등이 있다.

각진동 제거방법은 항법시스템에서 원하는 시각에 동기된 자이로 출력을 제공할 수 있다는 장점이 있으며, 주로 공진기 각진동 검출센서를 이용하여 변조된 신호를 제거하는 방법이 연구되었다[8][9][10]. 공진기 각진동 검출센서를 이용하는 방법은 링레이저 공진기와 케이스의 상대운동을 검출하는 센서를 부착하고 그 출력을 A/D 또는 V/F 변환하여 링레이저 출력에서 공진기 운동에 의한 신호를 제거하는 방법이다. 이 방법은 링레이저 출력에 비하여 상대적으로 안정도가 낮은 각진동 검출센서를 사용함으로써 링레이저 출력과의 위상 및 크기가 항상 일정하게 유지되지 않으므로 오차가 유발되며, 이 오차를 최소화하기 위해서는 구조가 복잡한 알고리즘이 요구된다. 이밖에도 링레이저 출력으로부터 공진기 각진동 주파수 대역의 신호를 여과(filter)하는 방법 등이 있는데, 각진동 검출센서를 사용하지 않는 장점이 있으나 공진기 각진동 한 주기 이상의 시간 지연이 불가피하게 발생되므로 동적인 운동이 적은 환경에서 사용된다[11][12].

각진동 복조방법은 공진기 각진동 주기에 맞추어 링레이저 출력을 적분하여 자이로 출력을 발생시키는 방법이다[13][14]. 이 방법에 의하면 각진동 주기 내에 발생하는 각진동 운동을 거의 완전히 제거할 수 있을 뿐만 아니라 각진동 검출센서의 불완전성에 의해서 발생하는 오차가 거의 없다는 장점이 있다. 그러나 공진기 각진동 주기가 완료되지 않은 상태에서 자이로 출력을 발생시킬 수 없으므로 시간 양자화오차가 발생한다. 또한 관성센서 조립체를 구성하는 3축의 자이로 공진주파수가 서로 다르므로 항법시스템에서는 3축 자이로 출력을 서로 비 동기된 상태로 전달받게 된다. 이와 달리 가속도계는 실시간 출력을 제공하지만, 자이로의 샘플링 시간 양자화 오차에 의하여 항법장치를 탑재한 항체가 고속회전 또는 진동운동을 하거나 관성센서 조립체가 세차운동을 하는 동적인 환경에서 항법오차가 발생할 수 있다.

샘플링 시간을 줄이기 위하여 공진기 각진동 주파수를 높이는 방법을 고려할 수 있으나, 공진기 블록의 무게와 각진동 스프링의 구조 및 강성에 의하여 적절한 공진주파수 범위가 정해지므로 그 방법에는 한계가 있다.

본 논문에서는 각진동 복조방법을 적용하는 자이로에서 시간 양자화 오차에 의한 항법장치의 동적오차를 감소시키기 위하여 이중 복조방법을 고안하고, 시뮬레이션을 통하여 진동환경에서의

각도 양자화 오차와 시간 양자화에 의하여 발생하는 항법오차를 비교함으로써 이 방법의 효과를 검증하고자 한다.

II. 링레이저 자이로의 양자화오차

2.1 각도 양자화오차

링레이저 자이로는 삼각형 또는 사각형의 폐광로 내에서 서로 반대방향으로 레이저를 발진시키고 두 주파수 차이를 측정하여 외부에서 입력되는 회전으로 환산함으로써 회전량을 측정하는 각도센서이다. Fig. 1은 링레이저 자이로의 동작 개념도를 나타낸 것으로서 공진기 블록과 반사경에 의하여 구성된 링레이저 공진기 내부에는 서로 반대방향으로 발진하는 레이저 빛이 폐경로를 이루고 있다. 서로 반대방향으로 진행되는 빛의 일부를 반사경을 통하여 투과시키고 프리즘을 이용하여 모아서 간섭시키면 두 빛의 주파수 차이에 해당하는 맥놀이 간섭무늬가 발생하며, 이 간섭무늬를 광검출 다이오드로 검출하면 공진기의 회전에 비례하는 속도로 명암을 반복하는 정현파 형태의 신호가 된다. 일반적으로 회전 방향까지 알 수 있도록 하기 위하여 공간적으로 1/4파장 분리된 두 개의 광검출 다이오드를 이용하여 맥놀이에 의한 명암을 검출하는데 그러면 90도 위상 차이를 갖는 두 개의 신호(sin 신호와 cos 신호)를 얻을 수 있다.

링레이저 자이로의 출력은 외부회전 각도에 의하여 발생하는 맥놀이 신호의 사이클 수를 측정 한 결과이다. 사이클 수를 계수하기 위하여 Fig. 2와 같이 맥놀이 신호의 rising edge와 falling edge에서 각각 펄스를 발생시키고 서로의 위상을 비교하여 회전방향을 알아낸다. 그리고 카운터에 저장하였다가 특정한 샘플링 시각에 맞추어 누적된 펄스 수를 각도로 환산한다. 한 개

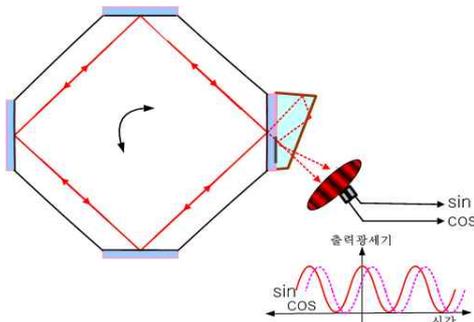


Fig. 1. Schematic diagram for beat signal detection of a ring laser gyroscope

의 광검출 다이오드 신호를 이용하여 맥놀이 한주기당 1개의 펄스를 발생시키는 경우에 맥놀이 한주기가 완전히 끝나지 않으면 자이로 출력이 없는 것으로 나타난다. 맥놀이 신호 한주기를 각도로 환산하면 항법장치용 링레이저 자이로에서 일반적으로 적용하는 광경로 길이를 고려하면 수 arcsec 이상이다. 이러한 현상을 각도 양자화 오차라고 하며 항법장치의 주요 오차 원인 중에 하나이다. 그러므로 가능한 한 이를 줄이기 위하여 sin 신호의 rising edge와 falling edge에서 펄스를 발생시켜서 계수하는 x2펄스모드와 sin 및 cos 신호 모두를 사용하는 x4펄스모드 등이 개발되었다. x4펄스모드의 경우는 x2펄스모드 보다 각도 양자화오차가 반으로 줄지만 카운터의 overflow가 발생하지 않도록 최대 입력 각속도와 샘플링 주기를 고려하여 카운터 용량을 설계해야 한다.

Figure 3은 동일한 조건의 링레이저 자이로에서 각 펄스모드별 자이로 출력에 대한 Allan variance[15] 특성을 나타내었다.

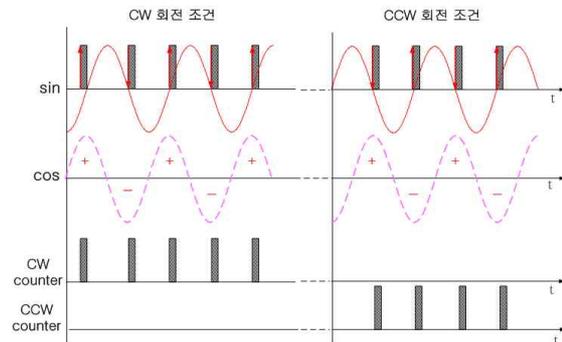


Fig. 2. Conceptual diagram of beat signal processing (x2pulse mode)

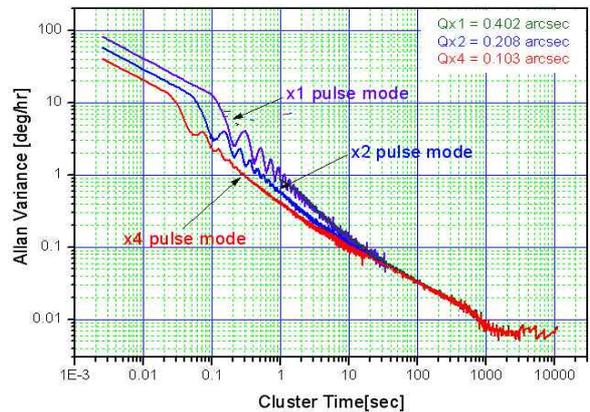


Fig. 3. Allan variance for each pulse mode of ring laser gyroscope outputs

그림에서 알 수 있는바와 같이 각 펄스모드별 Allan Variance는 Cluster Time이 짧을수록 그 차이가 크게 발생한다. 즉 각도분해능을 낮은 펄스모드는 높은 펄스모드에 비해서 짧은 시간운용 시간대에서 오차의 크기가 더욱 크게 나타난다. 특히 항법장치의 초기동작시간은 주로 탑재체가 항해를 시작하기 전에 항법장치 스스로의 자세와 방향을 찾아내는 정렬(Alignment) 시간으로서, 이 때 발생하는 오차는 전 항해시간동안 계속 누적된다. 그러므로 정렬시간을 줄이거나 정렬오차를 줄이기 위해서는 각도분해능을 높이는 것이 필수적이라는 것을 유추할 수 있다.

2.2 시간 양자화오차

2.2.1 시간 양자화오차의 원인

링레이저 자이로는 레이저가 공진점에서 동작하도록 제어하기 위한 광경로 제어와 공진기 내부의 굴절을 변화를 최소화하기 위한 방전전류 대칭제어 등에 의하여 자이로 환산계수와 바이어스 오차에 영향을 미치는 레이저 mode fulling, mode pushing, 그리고 Langmuir flow을 최소화할 수 있도록 설계 되어 있다.

그리고 링레이저 자이로에는 입력되는 회전 각속도가 어느 임계값(약 0.1deg/sec) 이하에서는 회전 각속도를 측정할 수 없는 lock-in 현상이 발생하므로, 링레이저 자이로가 주로 lock-in 임계 각속도보다 큰 각속도에서 동작되도록 인위적으로 큰 각속도를 입력하고, 출력에서 인위적으로 인가한 각속도에 대응되는 값을 제거하는 방법으로 lock-in 임계값 이하의 각속도를 측정한다. 가장 널리 사용되고 있는 방법은 비틀림 스프링을 이용하여 레이저 공진기를 진폭이 약 100deg/sec, 주파수가 수백 Hz인 정현파 각진동을 인가시키는 공진기 각진동 방법이다. 이러한 링레이저부와 공진기 각진동부를 고려한 링레이저 자이로의 출력방정식은 다음과 같다.

$$\dot{\psi} = \frac{4A}{\lambda L} [\Omega + \Omega_d(\xi) - \Omega_L \sin(\psi + \beta)] \quad (1)$$

여기서 ψ 는 공진기 내부에서 서로 반대방향으로 진행되는 빛 간의 위상차이(맥놀이 위상)이고, A 는 폐광로가 이루는 면적, λ 는 레이저 파장, L 은 폐광로의 길이, Ω 는 입력 각속도, Ω_L 은 lock-in의 크기, β 는 두 빛 간의 위상차이가 검출되는 지점에서 offset 위상, 그리고 $\Omega_d(\xi)$ 는 시간 t 에 따라서 변동되는 공진기 각진동 진폭으로서 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\Omega_d = \Omega_{dm}(\xi) \sin \omega_d t \quad (2)$$

여기서 $\Omega_{dm}(\xi)$ 은 공진기 각진동 회귀점에서 발생하는 오차가 누적되어 바이어스 불안정성으로 나타나는 현상을 방지하기 위하여 불규칙적으로 변경시키는 공진기 각진동 최대진폭이고, ω_d 는 공진기 각진동 주파수이다. 이 각진동 운동은 비틀림 스프링과 공진기가 이루는 진동체의 Q-factor가 약 100이상으로 설계되어 있어서 각진동 운동은 일그러짐이 거의 없는 정현파 운동을 하게 된다.

그리고 자이로의 출력인 맥놀이 신호는 두개의 광검출 다이오드에 의하여 다음과 같이 \sin 신호 I_s 와 \cos 신호 I_c 로 검출된다.

$$\begin{aligned} I_s &\sim \sin \psi \\ I_c &\sim \cos \psi \end{aligned} \quad (3)$$

Figure 4는 인가된 공진기 각진동과 각진동에 의하여 발생된 맥놀이 신호로서 각진동의 각속도 변화에 따라 고주파와 저주파를 반복하는 모양을 나타낸다.

자이로 출력에 변조되어 있는 각진동 신호를 없애는 방법으로는 복조(demodulation) 방법과 각진동 제거(stripping) 방법이 있다.

각진동 복조방법은 링레이저 자이로에 인가된 dither 운동 주기에 맞추어 측정값을 적분하여 출력하는 방법이다. 그러므로 자이로가 측정된 회전각도는 dither 운동의 한 주기가 끝나는 시점에 출력이 가능하나 그 이외의 다른 시점에서

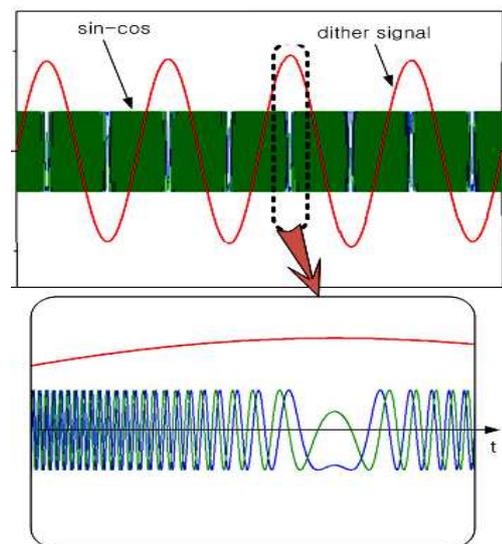


Fig. 4. Relation of dither amplitudes and beat signal frequencies

는 불가능 하다. 이러한 이유로 3개의 서로 다른 dither 운동 주파수를 가지는 링레이저 자이로로 구성된 관성항법장치에서 자이로의 측정치 획득 시점을 일치시킬 수 없다는 단점이 있다. 그러므로 자이로를 간과 자이로와 가속도계 간의 측정치 획득시점 불일치가 유발되어 항법계산에 오차가 발생할 수 있다. 특히 탑재체가 고기동 운동을 하는 경우에 오차가 크게 발생하며, 탑재체가 진동하는 경우에 발생하는 관성센서 조립체의 coning 및 sculling 운동을 정확히 추적할 수 없으므로 항법성능이 저하될 가능성이 존재한다.

각진동 제거방법은 dither 운동을 측정할 수 있는 센서를 추가적으로 링레이저 자이로에 부착하여 여기에서 측정된 데이터를 이용하여 dither 운동을 제거하는 방법이다. 그런데 추가적으로 부착하는 각진동 검출센서는 일반적으로 링레이저 출력에 비하여 오차가 크므로 이를 보상하기 위한 복잡한 알고리즘이 요구되는 단점이 있다.

2.2.2 시간 양자화오차 개선을 위한 이중 복조 방법 제안

기존의 복조방법은 각진동 검출신호를 비교기를 통과시켜서 zero-crossing 시점을 알아내고 한 주기가 완료되는 다음 zero-crossing 시점까지 맥놀이 펄스수를 누적하여 출력하였다. 그러므로 기존의 복조방법은 식(4)와 같이 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_i \dots$ 등과 같이 각진동 주기 τ 의 정수배 시각에서만 공진기 각진동 한주기동안의 회전각도 $\Delta\theta_i$ 를 알 수 있었다.

$$\Delta\theta_i = \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \psi dt \quad (4)$$

본 연구에서는 시간 양자화오차를 감소시키기 위하여 식(5)와 같이 각진동 반주기를 적분하여 출력하는 이중 복조방법을 고안하였다.

$$\Delta\theta_i = \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_{i-1}+\tau/2} \psi dt + \int_{\tau_{i-1}+\tau/2}^{\tau_i} \psi dt \quad (5)$$

이 방법은 아래 Fig. 5에서와 같이 각진동 반주기 마다 적분된 자이로 측정값을 출력하는 것으로써, 다음과 같은 두 가지 방법이 있다. 먼저 전주기의 각진동 주기를 기억하였다가 그의 반주기 $\tau/2$ 를 더한 시점에서 적분된 측정값을 출력하도록 하는 방법이다. 자이로의 공진기 각진동 운동은 Q-factor가 약 100이상인 공진운동이므로 짧은 시간동안의 각진동 주기 변동은 거의 무시할 수 있다. 그러므로 비교기 출력의 rising

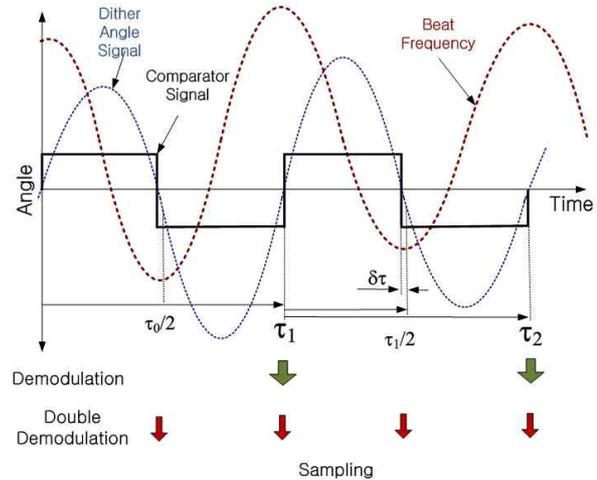


Fig. 5. Signal phases and sampling positions for demodulation and double demodulation

과 rising 또는 falling 과 falling 간에 걸리는 시간들 τ_i 를 측정하여 $\tau_i/2$ 시점을 산출하면 안정적인 자이로 출력을 얻을 것으로 예상된다.

두 번째 방법은 각진동 검출센서 신호를 비교기를 통과시켜서 rising과 falling 시점을 기준으로 자이로측정값을 출력하는 방법이다. 이 경우에는 각진동 검출 센서의 offset 등에 의하여 비교기 출력의 상하 duty가 서로 다를 수 있고 또한 온도에 따라서 변화될 수 있으므로 이에 의한 시각오차 $\delta\tau$ 에 의해서 양자화오차가 발생할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 첫 번째 방법에 대해 검토해보고자 한다.

링레이저 자이로의 각진동 주파수는 각진동기의 탄성계수가 일정할 때 링레이저 공진기가 클수록 감소하는데 항법장치에 적용되고 있는 링레이저 자이로의 각진동 주파수는 대략 300Hz에서 500Hz 정도이다. 그러므로 각진동 주파수가 500Hz인 경우에 새로운 방법에 의하면 1000Hz의 주파수로 자이로 출력을 샘플링 할 수 있게 된다.

III. 동적 환경에서의 항법오차 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 방법

3.1.1 자이로 모델링

링레이저 자이로는 식(1)과 (2)를 이용하여 수치해석적으로 모델링하였고, 출력된 맥놀이를 식(3)에 의하여 자이로 출력으로 변환하여 계

수할 수 있도록 하였다. 그리고 식(4)와 같이 각진동 한주기마다 회전각을 출력하는 복조방법과 식(5)와 같이 각진동 반주기마다 회전각을 출력하는 이중복조방법을 적용하였다. 그리고 자이로의 측정값이 출력되는 순간 그 때의 가속도 값을 이용하여 방향과 속도를 계산하였다.

본 시뮬레이션을 위해서 길이는 16cm의 사각형 링레이저 자이로를 대상으로 하였고, 각진동 주파수는 500Hz, lock-in은 0.02deg/sec, 각진동의 평균진폭은 100deg/sec로 하였으며, 각진동 한주기마다 진폭을 불규칙하게 변화시켰다.

3.1.2 동적환경 모델링

동적환경에서 이중 복조방법의 적용효과를 알아보기 위해서 복조방법과 이중 복조방법이 항법오차에 미치는 영향을 상대적으로 비교하고자 한다. 이를 위하여 항법장치의 임의의 축 자이로에 Fig. 6에서 나타낸바와 같이 크기가 변화되는 각속도와 Fig. 7에서 나타낸바와 같이 진동수가 변화되는 각진동이 결합되어 입력되는 환경을 가정하였다. 그리고 동시에 Fig. 8에서 나타낸바와 같이 크기가 변화되는 선형가속도와 Fig. 9와 같이 진동수가 변화되는 선형진동이 결합되어 입력된다고 가정하였다.

$$\Omega = \Omega_{static} + \Omega_{vib} \tag{6}$$

$$Acc = Acc_{static} + Acc_{vib} \tag{7}$$

그리고 식 (6)~(7)를 이용하여 x1펄스모드, x2

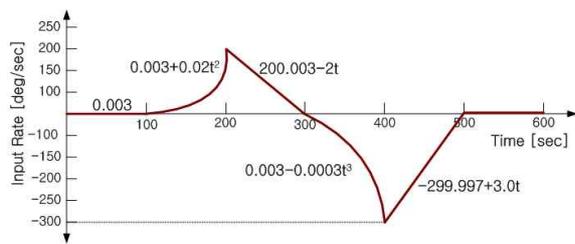


Fig. 6. Input rate Ω_{static} profile

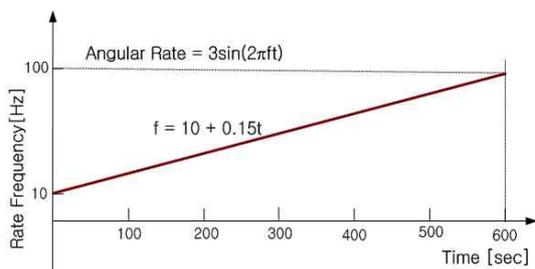


Fig. 7. Angular Vibration Ω_{vib} profile

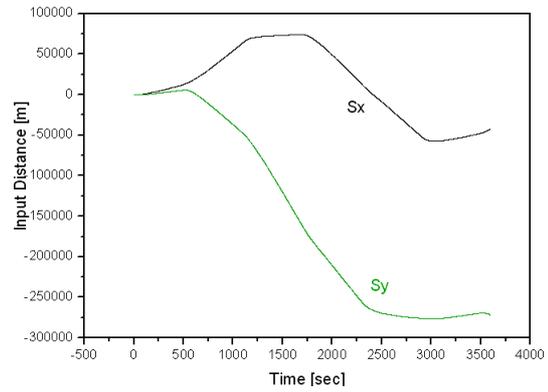


Fig. 8. Calculated vehicle position

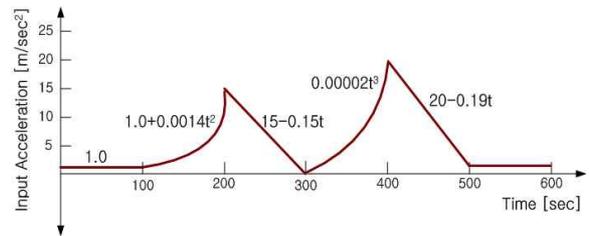


Fig. 9. Input acceleration Acc_{static} profile

펄스모드, 그리고 x4펄스모드로 자이로 출력을 산출하여 카운터에 누적시킬 수 있도록 하였고, 누적된 펄스를 각진동 한주기마다(복조방법) 또는 각진동 반주기마다(이중 복조방법) 출력할 수 있도록 하였다. 그리고 출력된 각각의 펄스를 각도로 환산하고 그 시점의 가속도 입력값을 이용하여 속도 및 이동거리를 계산할 수 있도록 하였다.

3.2 시뮬레이션 결과

상기와 같은 형태의 동적인 각속도와 가속도가 인가되는 경우를 가정하여 항법장치를 탑재한 탑재체의 위치를 계산하면 2차원 상의 이동운동이 된다. 이러한 환경에서 약 한시간 운행하면 항법장치를 탑재한 탑재체의 위치는 Fig. 10과 같다. 여기서 Sx 와 Sy는 2차원상의 이동거리를 나타낸다.

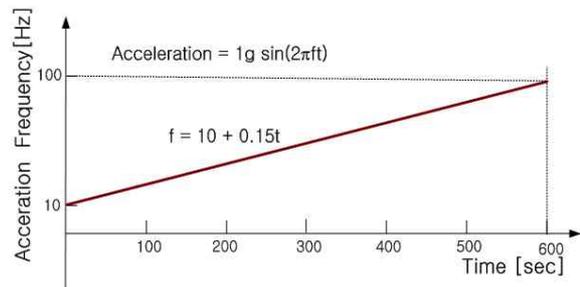


Fig. 10. Linear Vibration Acc_{vib} profile

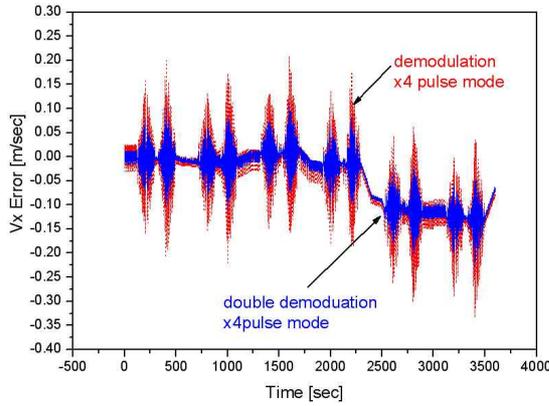


Fig. 11. Velocity Vx error comparison of double demodulation with demodulation under a vibration condition

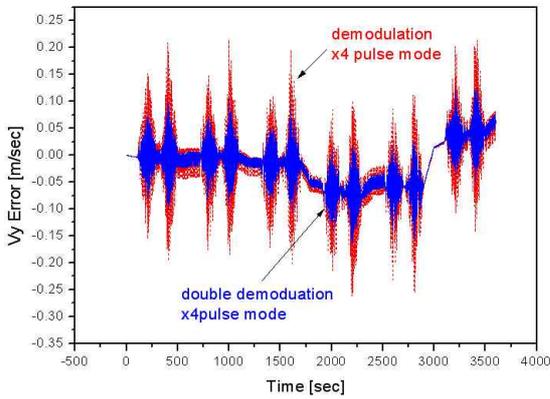


Fig. 12. Velocity Vy error comparison of double demodulation with demodulation under a vibration condition

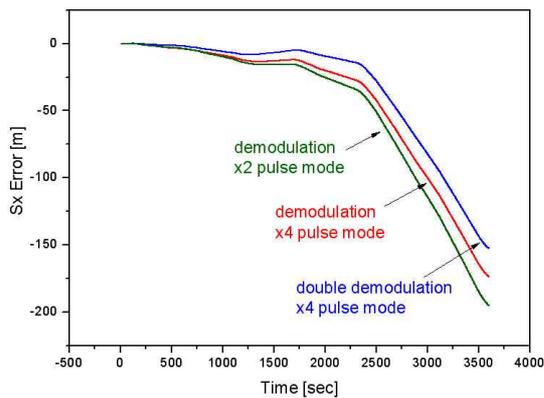


Fig. 13. Variations of position Sx errors by pulse modes and demodulation methods under a vibration condition

샘플링 주기마다 발생하는 속도오차를 계산한 결과는 Fig. 11~12에 나타냈으며, 그림에서 보는

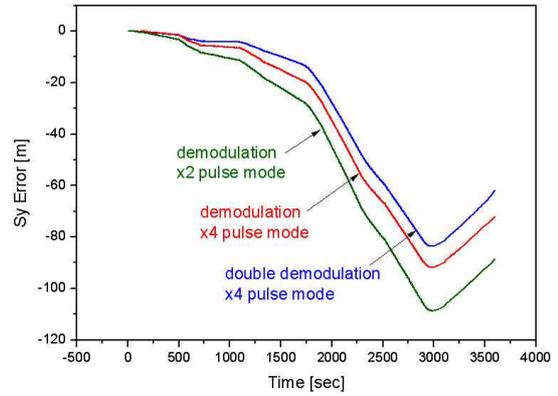


Fig. 14. Variations of position Sy errors by pulse modes and demodulation methods under a vibration condition

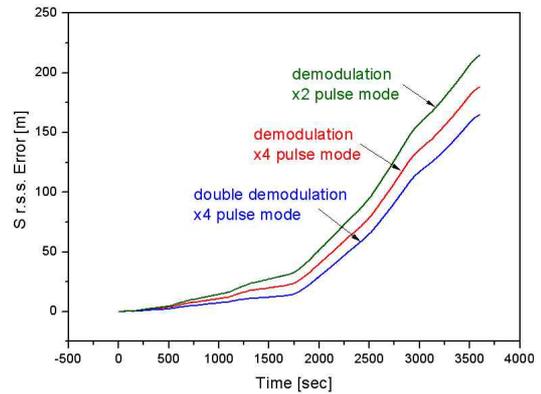


Fig. 15. Variations of position R.S.S. errors by pulse modes and demodulation methods under a vibration condition

바와 같이 이중 복조방법에 의한 속도오차의 크기가 복조방법에 의한 오차에 비하여 작아짐을 알 수 있다.

상기와 같은 순간마다 속도오차가 누적되어 나타나는 거리오차를 계산하면 Fig. 13~15에 나타내었으며, 여기서 알 수 있는바와 같이 x2펄스 모드와 복조방법을 적용한 경우보다 x4펄스 모드와 복조방법을 적용한 경우의 오차가 더 작아짐을 알 수 있고, x4펄스 모드와 이중 복조방법을 적용한 경우에는 오차의 크기가 더욱더 감소하였음을 알 수 있다.

IV 결 론

링레이저 자이로를 적용하는 항법장치에는 링레이저 자이로의 출력 특성인 샘플링 각도 양자화와 샘플링 시간 양자화에 의하여 초기정렬시간이나 동적환경에서 오차가 발생한다.

본 연구에서는 이 중에서의 샘플링 시간 양자화 오차를 감소시키기 위하여 이중 복조방법을 제안하고, 간단한 시뮬레이션을 통하여 이 방법에 의한 동적환경에서의 오차 감소현상을 확인하였다.

일반적으로 항법장치에 적용되는 링레이저 자이로의 복조방법에 의한 샘플링 주파수가 약 500Hz 이하이므로 동적환경에서 발생하는 오차를 보상하기 위해서는 복잡한 stripping 방법이나 filtering 방법 등을 사용할 수밖에 없었으나 본 연구에서 제안한 간단한 방법으로 샘플링 주파수가 1kHz에 가까운 출력을 얻을 수 있게 됨으로써 보다 효율적으로 항법장치의 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

References

- 1) J. E. Killpatrick, "The Laser Gyro", *IEEE Spectrum*, Vol. 4 1967, pp. 44-55.
- 2) K. Bohm, R. Rudoloff, "Optical Rotation Sensor", *Sensor, Optical Sensor*, vol6. Dec. 1992, pp. 422-464
- 3) T.J. Podgorski, "Control Apparatus", US Patent No.3390606, July 1968.
- 4) F. Aronowitz, "The Laser Gyro", Academic Press Inc., New York, 1971, pp. 134-200.
- 5) W.C. Sewell, "High Resolution Ring Laser Gyroscope Readout", US Patent No.5493396, Feb. 1996.
- 6) Z. Fan, H. Luo, S. Hu, "Instantaneous phase method for readout signal processing of body dithered ring laser gyro", *Applied Optics*, Vol. 50, No. 20, July. 2011, pp. 3455-3460
- 7) Killpatrick J. E., "Laser Gyro Dither Random Noise", *SPIE* vol.487 Physics of Ring Laser Gyros, 1984, pp. 85-93.
- 8) B. G. Ljung, G. F. Schroeder, "Ring Laser Gyro Dither Pulse Eliminator", US Patent, No. 4433706, Aug. 17. 1982.
- 9) K. R. Fritze, J. E. Killpatrick, D. F. Berndt, "Ring Laser Gyro Dither Stripper", US Patent, No. 5249031, Sep. 28. 1993.
- 10) K.M. Shim, T.H. Ching, H.J. Lim, "Dither-stripping with the differential of dither rate signal for a ring laser gyroscope", *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 33 No. 8, 2005. pp. 65-74
- 11) L.W. Richardson, "Ring Laser Gyro application for High Accuracy Pointing and Tracking in Space", *Symposium Gyro Technology* 1993. pp. 7.0-7.14
- 12) D.A. Doheny, "Adaptive filter for correlated noise reduction in ring laser gyro inertial system", M.S. thesis, University of South Florida, 2004
- 13) S. Ferriss, N. J. Park, "Electronic Dither Compensator for a Ring Laser Gyro", US Patent, No. 4610543, Sep. 9. 1986.
- 14) K.J. Yu, C.J. Kim, K.M. Shim, "A Study on the Performance Improvement in Trapping Signal Processing Method of RLG", *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 36 No. 10, 2008. pp. 1003-1010
- 15) Lawrence C Ng, Darryll J Pines, "Characterization of ring laser gyro performance using the Allan variance method", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* Vol. 20 No. 1, 1997, pp. 211-214