

전광파이버형 광파이버 자이로

김인수* , 김요희
한국전기연구소 광기술연구사업팀

All-Fiber Optic Gyroscope

Insoo S. Kim* , Yohee Kim
Optical Technology Research Group, KERI

Abstract - Gyroscope is a very important core sensor, as a rotation sensor in inertial space, in inertial guidance and navigation system on aeronautics, plane, vessel and so on for civilian and military applications. Mechanical gyroscopes, adopting a principle of spinning a top, have been used in many application system. These mechanical gyroscopes need high power consumption, long warming time and complicated peripheral devices. But fiber-optic gyroscopes, based on the Sagnac effect, have novel advantages as small volume, simple scheme, low power consumption and high reliability.

So we have developed a Intermediate grade All-fiber Optic Gyroscope, which has open-loop and minimum reciprocal configuration scheme.

We have designed feedback circuits for stability of amplitude and phase using four lock-in amplifier(LIA) circuits and also used for noise limitation.

This paper describes the scheme of optical part and electronic part and also test results of this all-fiber optic gyroscope.

The performance have been achieved as long-term bias drift of 9.54 °/h, random walk of 0.0317 °/√h and dynamic range of ±150 deg/s.

Keywords: Fiber Optic Gyroscope, Gyro, IFOG, Open-loop, Fiber-optic sensor

1. 서 론

관성공간에서의 회전감지계로 사용하는 자이로 시스템은 기계식이 많이 사용되어 왔다. 그러나 광학적으로 구성하면 더욱 작고, 수명이 반영구적이며, 고신뢰성을 유지할 수 있으므로 현재 이에 대한 연구를 활발히 해오고 있다. 광파이버 자이로스코프는 비행기나 선박에 탑재되어 관성항법장치의 주요한 센서로 사용되며, 최근에는 자동차의 자동주행장치의 핵심센서로 이용되는 등 그 응용범위가 매우 넓다. 그 기술적 흐름을 살펴보면, 먼저 1913년에 G. Sagnac은 가동부가 없는 광학적 시스템으로 관성공간에 대해서 회전을 감지하는 것이 가능하다는 것을 증명하였으며,^(1,2) 1976년에 Vali와 Shorthill

에 의해 실험적으로 실현된 이후⁽³⁾, 이 간섭계를 이용한 회전센서를 구성하려는 연구가 세계적으로 활발하게 진행되어 왔다.

본 연구에서는 광학적으로는 간섭형 광파이버 자이로로 전광파이버형(All-fiber)의 광학적 구조이며, 구성은 개방회로 방식의 최소구성으로 제작하고 실험한 것을 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 FOG의 원리 및 구성

광파이버 자이로의 동작원리는 Sagnac 효과^(1,2)라고 불리는 원리를 이용하고 있다. 그림1에 Sagnac 효과를 설명하기 위해 Sagnac 효과 원리도를 나타내었다. 그림과 같이 광원에서 출사된 빛을 원형의 광로에 분광기(Beam Splitter)를 이용하여 시계방향(CW:lockwise)과 반시계방향(CCW:Counter clockwise)으로 나누어져서 폐루프 모양의 광로인 감지계코일로 입사된다. 이때 감지계코일이 정지되어 있는 경우에는 두 방향의 광이 같은 길이의 광로를 따라 서로 반대 방향으로 이동하여 다시 분광기로 돌아올 때의 위상차는 0이다. 그러나 감지계 코일이 관성 공간에 대해서 회전각속도(Ω)로 회전하면, 시계방향의 광과 반시계방향의 광사이에는 광로차(Δl)가 발생된다. 이것을 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$\Delta l = \frac{4A}{C} \Omega \tag{1}$$

여기서 A는 광로에 의해 둘러싸여지는 면적, C는 진공에서의 빛의 속도이다. 이것에 의한 위상차($\Delta \phi_r$)는 식(2)로 표시되며 또한 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta \phi_r = 2\pi \frac{LD}{\lambda C} \Omega \tag{2}$$

$$\Delta \phi_r = \frac{8\pi A}{\lambda C} \Omega \tag{3}$$

여기서, L은 감지계코일의 길이, D (= 2R)는 감지계코일의 지름, C는 광속도, λ 는 광원의 파장이다.

따라서 광파이버 자이로는 이 Sagnac 효과에 의해 발생하는 Sagnac 위상차를 간섭광 출력률을 이용하여 측정하고, 회전각속도를 검출하는 일종의 센서이다. 검출감도는 감지계코일에 의해 둘러싸인 면적에 비례하여 증가하며, 또한 사용하는 광원의 파장에 반비례한다는 것

을 식(1)에 의해 알 수 있다.

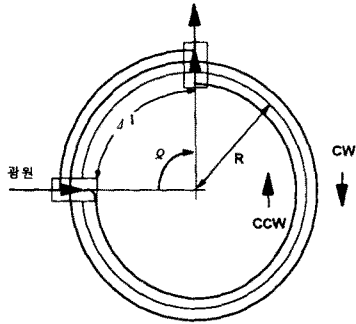


그림 1 Sagnac 효과의 원리

광파이버 자이로의 광학계 구성은 그림 2와 같은 가역적 구조의 최소구성 방식으로 설계 하였다.

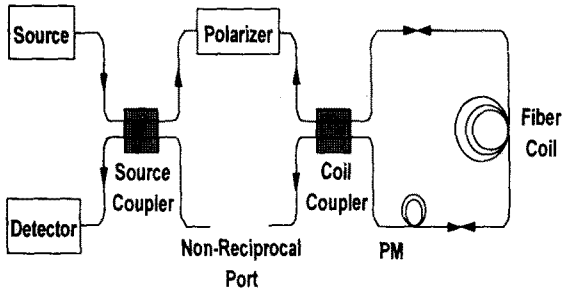


그림 2 전광파이버로 구성된 자이로의 광학계

2.2 FOG의 설계 및 제작

전광파이버 자이로(All-fiber gyroscope)의 광학계는 그림 2와 같은 구조로 제작하였으며, 센싱코일용 편광유지 광파이버를 감기위한 알루미늄제의 spool은 원통형으로 지름이 70mm, 높이 23mm의 크기로 제작하였으며 여기에 200m의 PMF를 대칭구조 감기방식중 quadrupolar형태로 spool에 감았다. 광원은 위상오차의 크기와 scale factor의 안정성에 영향을 준다. 본 연구에서는 스펙트럼의 선평이 넓고, 출력이 비교적 높은 SLD를 사용하였다. 광검출기로는 pin-PD를 사용하였으며 이들의 파장대는 $0.85\mu\text{m}$ 이다. 또 0이 아닌 응답 기울기를 가지는 동작점에서 바이어스 시키기 위해 압전 소자 원통형 위상변조기(PZT)를 사용하였으며, 커플러는 fused-tapered형 커플러를 제작하여 사용하였다. 또한 편광기는 소광률이 50dB정도 되는 laminated polarizer방식의 편광기를 사용하여 개방회로 방식의 최소구성 구조로 FOG의 광학계를 구성하였고, 신호처리계의 구성도는 그림 3과 같이, 4개의 lock-in amp(LIA)를 사용하였고 이들 중 LIA3과 LIA4는 진폭과 위상의 안정을 위해 설계하였고, LIA1과 LIA2는 출력 신호의 신호대 잡음비를 높이기 위해 사용하였다. 이 출

력신호는 작은 회전에 대해서도 회전률에 비례하며 이 출력신호가 우리가 알고자하는 회전 감지계에서 발생된 신호이다. 또한 가변이득 증폭기(VGA: Variable Gain Amp.)는 광검출기에 의해 수신된 간섭 신호를 증폭하기 위해서 사용하였으며, 이 증폭기의 이득은 DC 신호 레벨에 반비례하도록 하여 광원인 SLD의 광세기 변동이나 광손실 변화에 의해 영향을 받지 않도록 설계하였다. 이 신호는 DC신호와 변조주파수 및 고조파 성분 신호와 잡음으로 이루어져 있는데, 정지 상태에서는 변조주파수 성분이 없으며, 우수 고조파 성분만 존재한다. 그러나 회전감지계가 회전하면 변조주파수(제1고조파)가 나타나며, 진폭은 일정 범위의 회전에서 회전률에 비례한다.

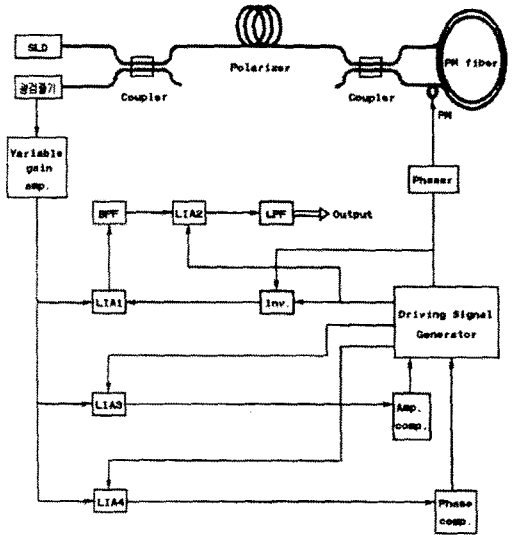


그림3. 전광파이버 자이로의 신호처리계 구성도

2.3 실험 및 측정 결과

그림 4는 전광파이버 자이로(All-fiber gyroscope)의 신호처리계를 제외한 광학계부분의 성능측정을 위한 측정시스템의 구성도이다. 또 그림 5는 Zero-bias drift를 측정하기 위하여 1초마다 측정하여 10초동안 측정된 결과를 1 sampling하여 2시간 동안 720개의 측정점을 나타내었다. 여기에서 1.1mV 는 1deg/h 의 scale지수를 갖는다. 2시간 동안 측정결과 Zero-bias drift는 0.12deg/h 로 그림 5에서 알 수 있다. 한편 Dynamic range를 알아보기 위하여 회전원판에 올려놓고 회전시키면서 얻은 결과를 그림 6에 나타내었으며, 각각의 회전속도에서 얻은 출력(y_i)들을 +점으로 각각 표시하였는데, 이 출력들이 $y=k \times x + x_0$ 직선에 거의 일치됨을 알 수 있으나, 더욱 정밀하게 관찰하기 위하여 y 직선과 각각의 측정 회전속도점에서 출력된 y_i 값과의 차이, 즉 오차($y - y_i$)점들이 $\pm 150\text{deg/s}$ 내에서는 어느 정도 만족한 결과 범위내에 들어 있으나, 이 범위를 벗어나면 오차가 점점 커짐을 알 수 있었다.

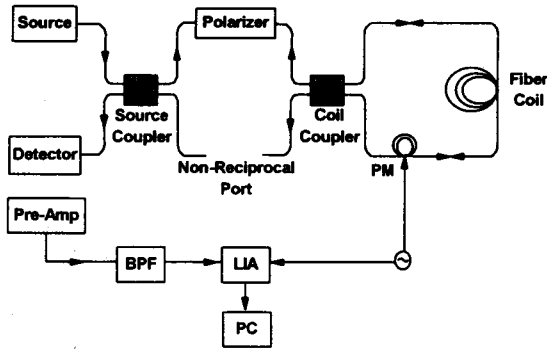


그림 4. FOG 광학계의 성능 측정시스템 구성도

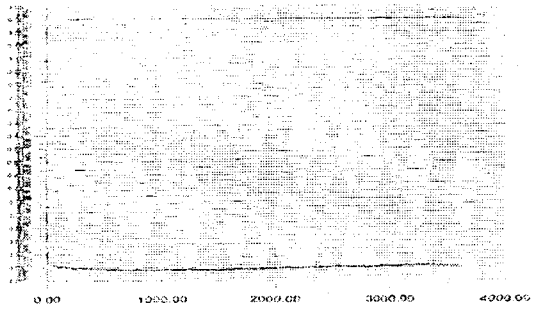


그림 7. 전광파이버 자이로의 Zero-bias drift 측정결과

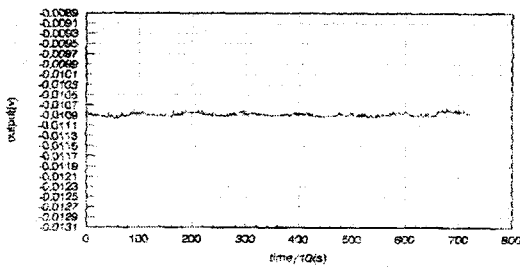


그림 5. 광학계의 Zero-bias drift 측정 결과

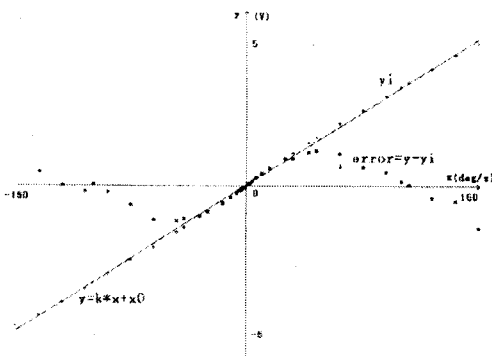


그림 6. 광학계의 Dynamic range 측정 결과

그림 7은 광학계와 신호처리계를 포함하는 광파이버 자이로의 Zero-bias drift 측정결과를 나타내었다. 그림 7의 상단부는 표준편차를 나타내었고, 하단부의 신호 파형이 1시간 동안 FOG의 Zero-bias drift를 측정하는 파형이다. 측정된 결과 출력신호의 scale 지수는 7.47mV/deg/s였으며, 표준편차에서 구한 noise(rms) 값은, 즉 Random walk는 $1.90 \text{ }^\circ/\text{h}/\sqrt{\text{Hz}}$ 즉 $0.0037 \text{ }^\circ/\sqrt{\text{h}}$ 였다. 그림 7에서 drift의 peak-to-peak값은 20mV로 Zero-bias drift는 $0.00265 \text{ }^\circ/\text{s}$, 즉, $9.54 \text{ }^\circ/\text{h}$ 로 나타났다.

3. 결 론

본 연구에서는 전광파이버 자이로(All-fiber gyro)를 광학계는 가역적 구조의 최소 구성형태로 설계하였고, 신호처리계는 개방회로(Open-loop)방식으로, 잡음의 최소화 와 시스템의 안정화를 위해 4개의 LIA(Lock-in Amp.)로 케환시켜 진폭과 위상의 안정도를 높이도록 신호처리를 하였다. 전광파이버 자이로의 광학계만을 계 측정비를 이용하여 성능측정을 한 결과 2시간동안의 Zero-bias drift는 0.12 deg/h 를 얻었으며, 다이내믹 범위는 $\pm 150 \text{ deg/s}$ 정도였다. 그리고 신호처리계를 포함한 설계, 제작한 전체 자이로의 Random walk는 $0.0317 \text{ }^\circ/\sqrt{\text{h}}$, Zero-bias drift는 9.54 deg/h 의 전 광파이버 자이로를 개발하였으며, 앞으로 신호처리계의 개선과 광학계의 보안을 거치면 더욱 성능이 향상된 안정된 시스템을 개발할 수 있을것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] G. Sagnac, "L'éther lumineux démontré par l'effet du vent relatif d'éther dans un interféromètre en rotation uniforme." Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Vol.95, 708-710, 1913.
- [2] G. Sagnac, "Sur la preuve de la réalité de l'éther lumineux par l'expérience de l'interferographe tournant." Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Vol.95, 1410-1413, 1913.
- [3] V. Vali and R.W. Shorthill, "Fiber Ring Interferometer." Applied Optics, Vol.15, 1099-1100, 1976.
- [4] H. Lefèvre, The Fiber-Optic Gyroscope, Artech House, 1993.
- [5] S. Ezekiel, E. Udd, Editors, Fiber Optic Gyros: 15th Anniversary Conference, Proc. SPIE Vol. 1585, SPIE, 1991.
- [6] E. Udd, H.C. Lefèvre, K. Hotate, Editors, Fiber Optic Gyros: 20th Anniversary Conference, Proc. SPIE Vol. 2837, SPIE, 1996.