

# Fiber-Optic Gyroscope의 技術現況

金 恩 洙  
(光云大學 助教授)

■ 차 례 ■

- |                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1. 개 요                         | 6. Open loop와 closed loop시스템 |
| 2. Optical gyroscope           | 7. Fiber-Optic gyroscope기술   |
| 3. Fiber-optic gyroscope의 측정   | 8. 전 망                       |
| 4. 바이어스-위상 변조방식                | 9. 맺는말                       |
| 5. Fiber-optic gyroscope의 측정한계 | 참고문헌                         |

## 1 개 요

관성회전 (inertial rotation) 의 정확한 측정의 필요성은 현재 여러분야에서 크게 대두 되고 있다. 특히, 항공기, 우주선, 미사일등의 관성항법 및 관성유도 장치에는 그 기능이 관성회전 측정센서에 절대적으로 의존하게 되어 보다 정밀한 관성회전 측정센서의 개발이 절실히 요구되어 왔다.

지난 수십년동안 관성회전 측정센서로서 기계적인 방식인 SMG (spinning mass gyroscope)와 광학적인 방식인 RLG (ring laser gyroscope), RRG (ring resonator gyroscope), 및 FOG (fiber optic gyroscope) 등이 개발되었다.<sup>1)</sup>

SMG의 경우는 spinning wheel 이나 ball 에 의해 발생된 각운동량에 의해 회전량을 측정한다. 그러나 이시스템은 moving part 가 있고, warm-up 시간이 필요하며, 측정 범위가 좁고 g-sensitivity 를 갖는등의 단점을 가지고 있어 빛을 이용해서 새로운 방식이 연구되었다.<sup>2)</sup>

빛에 의한 최초의 회전을 측정은 1913년 Sagnac 에 의해 시도되었다. 그는 그림 1 과 같은 회전하는 간섭계에서 CW파 (clockwise) 와 CCW파 (counter clockwise) 사이에서 회전속도에 비례한 위상차를 얻었으나 그 효과가 매우 작기 때문에 비교적 작은 회전량의 측정을 위해서는 실질적인 간섭계의

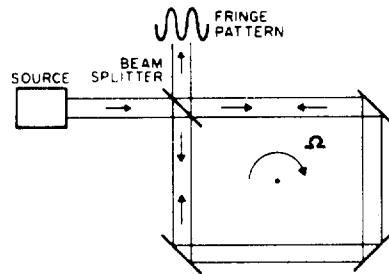


그림 1. Sagnac 간섭계

구성이 필요하였다.<sup>3)</sup> 그후 1960년 레이저 개발에 의해 Sagnac 간섭계의 문제를 해결한 실질적인 관성회전 측정센서인 RLG 가 개발되었다. RLG 에서는 간섭계 루프를 작게 사용하는 것이 가능하고 내부적으로 회전에 의한 위상차가 주파수차로 변환되어, 주파수차를 정확히 측정하므로써 시스템 감도에 있어서 놀랄만한 진전을 가져왔다. 1963년 Macek 과 Davis 에<sup>4)</sup> 의해 RLG 가 처음 시도된 이후 현재에는 대부분의 관성항법 및 관성유도 장치에 실질적인 응용이 되는 시점까지 발전되었다.

그러나 RLG는 작은 회전량에서 frequency locking 을 피하기 위해서 gyroscope 의 축을 기계적으로 회전시키거나 nonreciprocal phase shifter 에 의한 위상변조를 필요로 하여 null hysteresis 및 bias effect 등의 문제점을 피할 수 없다.<sup>5)</sup> 최근에는 이를 해결하기 위해 passive approach 로서 광섬유를 이용한 FOG의 개발이 시도되고 있다. 이는 Sa-

gnac 간섭계에서 광경로를 광섬유로 대체한 것으로 1976년 Vali와 Shortbill 등에<sup>9)</sup> 의해 처음으로 회전율의 fringe 이동측정에 성공한 이후 많은 연구가 이루어져 현재에는 지구의 자전속도의  $10^{-3}$ 의 회전율을 검출할 수 있을 만큼 발전되어 왔다.<sup>2),7)</sup> 지금까지의 연구결과에 의하면 FOG는 rotation 감도가 광섬유 turn 수에 비례하여 증가될 수 있으며 측정범위가 크고, 진동, 가속도등 외부 환경 변화에 영향을 받지 않으며, 특히 시스템의 직접화에 의한 소형화 및 안정화가 기대되고 저렴한 가격에 대량생산이 가능하여, 앞으로 기존의 관성유도 시스템을 대체할 것으로 전망되고 있다. 따라서 본 논문에서는 fiber optic gyroscope의 원리 및 관련 기술에 대해 논하고자 한다.

## 2 Optical gyroscope

### 2.1 Sagnac interferometer

모든 optical gyroscope의 동작원리는 회전율( $\Omega$ )에 비례한 광경로차( $\Delta L$ )를 만드는 Sagnac 효과에 기초한다. 그림 1과 같이 간섭계 축이  $\Omega$ 로 회전하는 간섭계에 시계방향과 시계반대방향으로 진행하는 두 빔은 상대성 이론에 의하면 회전하는 폐경로를 진행하는데 시간차가 나타난다.<sup>8)</sup>

$$\text{즉, } \Delta t = \frac{4A}{C^2} \Omega \quad (1)$$

로 주어진다. 뒷식에서 A는 광경로에 의해 만들어진 면적이고  $\Omega$ 는 A에 수직인 축에 대한 회전율이다. 따라서 이러한 시간차에 의해 두 파사이에 는 다음과 같은 광경로차가 생기게 된다.

$$\Delta L = C \cdot \Delta t = \frac{4A}{C} \Omega \quad (2)$$

즉, 이러한 광경로차는 간섭계에서 fringe의 이동으로 나타나게 되어 이를 측정함으로써 상대적인 회전율의 측정이 가능하다. 그러나 (2) 식으로부터 Sagnac 간섭계의 감도가 매우 작음을 알 수 있다. 예를들면  $A \cong 1 \text{ m}^2$ ,  $\Omega = 1 \text{ deg/h}$ , 인 경우  $\Delta L = 2 \times 10^{-11} \text{ m}$ 로서 간섭계로서는 측정하기에 너무 작은 값이다.

1925년 Michelson과 Gale은 지구의 자전 속도를 측정하기 위해서  $A \cong 2 \times 10^5 \text{ m}^2$  정도로 큰 광경로를 사용하였다.<sup>1)</sup> 따라서 이러한 폐경로는 실질적인 optical gyroscope의 구성을 어렵게 하여 이를 해결하기 위해 그림 2와 같이 세가지 방식이 제안되었다. 즉 active approach로서 ring laser gyrosc-

ope와 passive approach로서 ring resonator gyroscope 및 fiber-optic gyroscope 등이다.

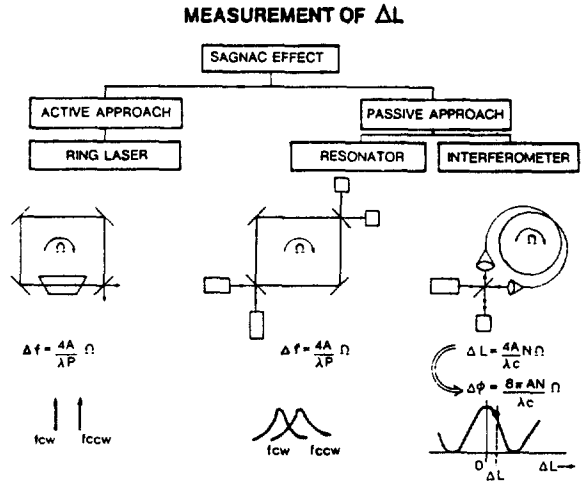


그림 2. Optical gyroscope의 방식

### 2.2 Ring resonator gyroscope<sup>9)</sup>

기본적인 간섭계는 그림 2와 같이 간섭계 밖에 있는 레이저에 의해 만들어진 CW파와 CCW파에 대해 ring 공진기가 되도록 구성된다. 이러한 RRG에서는 회전량에 의해 CW파와 CCW파의 공진주파수 변화가 나타나며 이는  $\Delta L$ 의 상대적인 변위와 같다.

$$\Delta L/p = \Delta f/f \quad (3)$$

(2) 식을 사용하면 다음과 같다.

$$\Delta f = \frac{4A}{\lambda p} \Omega \quad (4)$$

뒷식에서 P는 perimeter 이고  $f = C/\lambda$ 는 회전이 없을 때의 공진주파수이며  $A = 0.0169 \text{ m}^2$ ,  $\lambda = 0.633 \mu\text{m}$ ,  $\Omega = 1 \text{ deg/h}$ 인 경우  $\Delta f$ 는 1Hz에 해당한다.

초창기의 RRG는 cavity mirror의 정렬의 안전성 유지가 어렵고 매우 작은 linewidth ( $< 1 \text{ MHz}$ )를 갖는 광원등이 필요로 하였으나 최근에는<sup>5)</sup> cavity mirror를 광섬유로 대체함으로써 RLG의 문제해결이 가능하여 많은 연구가 되고 있다.

### 2.3 Ring laser gyroscope<sup>1)</sup>

RLG는 그림 2와 같이 RRG의 외부 레이저 대신 ring cavity 내에 active gain 매질을 사용한 gyroscope이다. 따라서 회전량에 의해 ring cavity 모드는 CW 및 CCW모드로 분리되어 회전량에 비례한 beat frequency가 나타나며 (4) 식과 같이

주어진다. 레이저 발진 주파수에 영향을 주는 모든 외부요인은 가역적이므로 같은 양 만큼 각 모드의 주파수를 변위시키므로  $\Delta f$  는 변하지 않고 그대로 유지된다. 이러한 결과로 RLG는 출력 안정성 유지가 보다 쉽다. 그리고 RLG의 장점으로는 디지털 출력을 갖는 integrated rate gyroscope 라는 것이다. 이것은 (4) 식에서  $\Delta f$  의 시간적분으로 알 수 있다.

$$N = K \cdot \theta, \quad K = 4 \cdot A / \lambda \cdot p \quad (5)$$

윗식에서  $N = \int_0^t \Delta f \, dt$  는 총 count 수이고  $\theta = \int_0^t \Omega \, dt$  는 rotation angle,  $K$  는 scale factor 이다. RLG의 높은 감도는  $K$  값이 크기 때문이다.

### 2.4 Fiber-optic gyroscope<sup>10)</sup>

FOG는 그림 3 과 같이 Sagnac 간섭계에서 빛의 경로를 자유공간 대신 광섬유로 대체한 시스템이다.

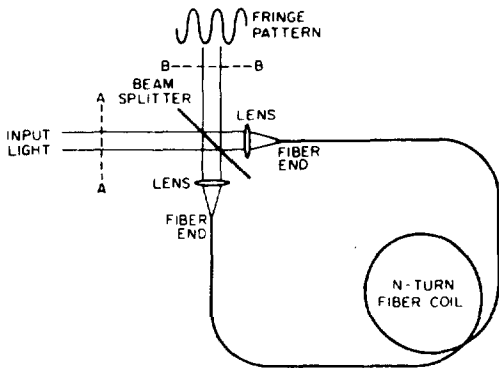


그림 3. Fiber - Optic gyroscope

즉, 레이저에서 나온 빔은 50 : 50 beam splitter에 의해 2개의 빔으로 분리된 후 N turn 한 단일 모드 광섬유의 양단에 입사된다. 광섬유를 전파한 CW파 및 CCW파는 beam splitter에 의해 합쳐져서 간섭무늬가 만들어지게 된다. 이때 FOG 시스템이  $\Omega$ 의 속도로 회전하게 되면 CW파와 CCW 파 사이에 다음과 같이 회전속도에 비례한 위상차가 발생하여 간섭무늬가 이동하게 된다.

$$\Delta \phi_s = \frac{8 \pi A N}{\lambda \cdot C} \Omega = \frac{2 \pi L D}{\lambda \cdot C} \Omega \quad (6)$$

윗식에서  $L = 2 \pi R N$ 으로 광섬유 길이이며  $D$ 는 광섬유 루프직경이고  $R$ 은 광섬유 루프반경 그리고  $A = \pi R^2$ 이다. 이러한 FOG의 장점은 (6) 식에서 보듯이 Sagnac 효과에 의한 위상차가 광섬유의 turn 수 혹은 광섬유 길이에 따라 증가될 수 있다는 것이

다. 일반적으로 관성 항법 시스템에서의 회전속도 감도는  $10^{-2} \text{ deg/h}$ 를 요구하므로  $\lambda = 1 \mu\text{m}$ ,  $L = 1\text{m}$ ,  $R = 5\text{cm}$  경우 대응되는 위상변화는  $10^{-7} \text{ rad}$ 이다. 따라서 이러한 값은 1Km의 광경로에서  $10^{-4} \text{ A}$ 의 광경로차에 해당하므로 매우 높은 측정정밀도를 요구함을 알 수 있다.

### ③ Fiber-optic gyroscope의 측정<sup>8)</sup>

그림 3의 간섭계로 부터 검출된 광전력  $P_d$ 를 간섭파의 전력  $P_1, P_2$ 로 표시하면

$$P_d = P_1 + P_2 + 2\sqrt{P_1 P_2} \cdot \cos(\phi_1 - \phi_2) \quad (7)$$

으로 주어지며 윗식에서  $\phi_1, \phi_2$ 는 간섭파의 위상이다. 가역 시스템에서는 각섭파의 위상과전력이 같으므로

$$P_1 = \frac{1}{4} P_0 + \frac{1}{2} \Delta P_{NR}, \quad \phi_1 = \phi_0 + \frac{1}{2} \Delta \phi_{NR}$$

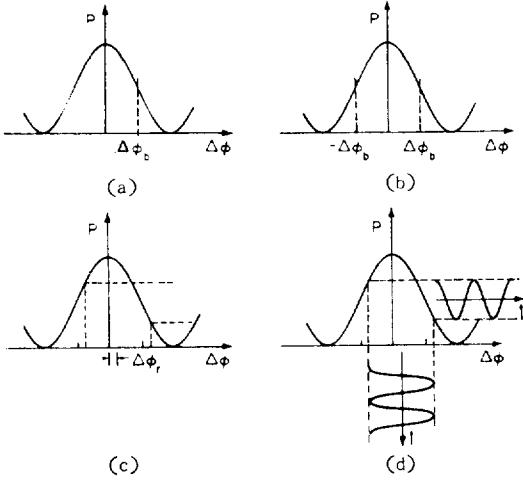
$$P_2 = \frac{1}{4} P_0 - \frac{1}{2} \Delta P_{NR}, \quad \phi_2 = \phi_0 - \frac{1}{2} \Delta \phi_{NR} \quad (8)$$

와 같이 쓸 수 있다.  $P_0$ 는 입력 광전력이고  $\Delta P_{NR}$ 과  $\Delta \phi_{NR}$ 은 비가역적인 전력 및 위상차이다. (7), (8) 식에서 검출전력은 근사적으로

$$P_d = \frac{1}{2} P_0 [1 + \cos(\Delta \phi_{NR})] \quad (9)$$

로 주어진다. (9) 식에서 만일 비가역적 위상차가 1rad 보다 작다면 cosine 값은 거의 최대값 근처에 있게 되어 검출된 전력은 회전에 의한 위상차에 민감하지 않게 되므로 위상변위 감도를 크게 하기 위하여 cosine의 최대, 최소점을 피하기 위한 위상바이어스가 필요하다. 따라서 회전에 의한 위상차  $\Delta \phi$ 를 측정하는 간단한 방법은 그림 4 (a)와 같이  $\frac{\pi}{2}$ 의 위상 바이어스를 인가해 줌으로서 최대 기울기 점에서 동작하게 하는 것이다.

그러나 이 경우 바이어스의 안정도 및 레이저 출력 변화등의 보상문제가 있어 그림 4 (b)와 같이  $\pm \frac{\pi}{2}$  rad의 바이어스를 걸어줌으로서 레이저 출력 변화에 따른 잡음 제거가 가능하여 감도가 증진될 수 있다. 그러나 이 경우도 동작점의 불안정과 common mode rejection이 크게 요구되어 그림 4 (d)와 같이 교류위상변조 장치를 사용한다. 위상



(a) 위상바이어스 ( $\Delta\phi_b$ )  
 (b) 위상바이어스 ( $\pm\Delta\phi_b$ )  
 (c) 위상바이어스와 회전에 의한 위상변위 ( $\pm\Delta\phi_b + \Delta\phi_r$ )  
 (d) dynamic 위상바이어스

그림 4. 위상차와 광전력관계도

변조의 크기는  $\pm\frac{\pi}{2}$  가 되어야하며 변조율은 충분히 커서 검출기 잡음이 양자잡음에 의해 결정된다. 이러한 시스템에서는 광검출기 출력이 lockin amp. 와 같은 위상감지 장치에 의해 복조된다. 교류위상변조 방식의 주된 장점은 간섭패턴의 최대점이 기준점으로 사용되고 null 점이 레이저 출력변화에 무관하다는 것이다.

4 바이어스-위상변조 방식

길이 L 이고 굴절율이 n 인 단일모드 광섬유에서 도파되는 빛의 위상변위  $\phi$  는

$$\phi = \frac{2\pi f n L}{C} \tag{10}$$

이고  $\phi$  는 전자 방향에 무관하므로 ( $\phi_{cw} = \phi_{ccw} = \phi$ ), L, n, 혹은 f 를 변화시켜도 비가역적 위상변위를 만들 수 없다. 따라서 비가역적 위상변위를 만들기 위해서는  $L_{cw} \neq L_{ccw}$  혹은  $n_{cw} \neq n_{ccw}$  혹은  $f_{cw} \neq f_{ccw}$  로 만들어야 한다. 여기서는  $n_{cw} \neq n_{ccw}$  에 대한 것만 설명하기로 하자.  $n_{cw} \neq n_{ccw}$  에 의한 위상바이어스는 여러가지 방법이 있다. 즉 CW빔과 CCW빔의 편광을 서로 수직으로 하여 전기-광 위상변조기를 사용하여 편광에 의존한 굴절

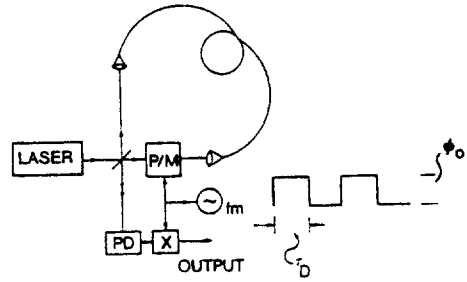


그림 5. Time delay 변조방식

율을 만드는 방식이 있으며 또다른 방식으로 Faraday 효과를 이용하는 것이 있다.

광섬유에 자계를 인가하므로써 right 와 left 로 원편광된 빔의 굴절율을 다르게 할 수 있다. 광섬유의 verdet 상수는 작지만 광섬유 길이를 길게 하므로써 크게 할 수 있다. 이러한 장치는 최근에 시도되고 있으나 현재 많이 사용되는 방식은 그림 5와 같은 time delay modulation 방식이다. 즉, beam splitter 가까이에서 위상변조기 (E/O crystal, PZT) 를 달아서 위상변조기를 fm 주파수에서 구동하면 다음과 같은 비가역적 위상변위가 나타난다.

$$\phi_{cw} - \phi_{ccw} \cong 2\phi_0 \sin\left(2\pi f m \frac{\tau_0}{2}\right) \tag{11}$$

윗식에서  $\phi_0$  는 위상변조기에 의해 발생된 위상변위이고  $\tau_p$  는 광섬유에서 빔의 시간지연 ( $nL/c$ ) 이다. (11) 식에서 위상변위를 크게 하기 위해서  $f m \cong \frac{1}{2\tau_p}$  이 되도록 한다. 즉 1Km의 광섬유의 경우 최적의 fm은 100KHz 이다.

5 Fiber-optic gyroscope의 측정한계

그림 6은 FOR의 비가역적 위상변위  $\Delta\phi$ 에 대한 출력 광세기 I (검출기 출력전류  $i_D$ ) 에 대한 그림이다. 이 경우 constructive 간섭에 의한 최대 광세기는 회전이 없을 때  $\Delta\phi = 0$ 에서 중심이 위치하게 됨을 알 수 있다. 회전이 있는 경우  $\Delta\phi$ 는 0에서

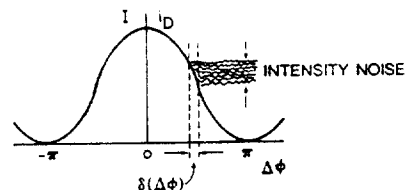


그림 6. 위상변위  $\Delta\phi$ 에 대한 검출기 출력

이동하게 되므로 검출기 전류  $i_D$  의 변화가 나타난다.  $\Delta\phi$  변화에 대한  $i_D$  의 최대 변화는 최대 기울기를 갖는 점 즉  $\Delta\phi = \pm \frac{\pi}{2}$  에서 나타난다. 그러므로 일정한 비가역적 바이어스 위상인  $\frac{\pi}{2}$  을 인가함으로써 회전감도가 최대가 되는 동작점을 유지할 수 있다. 이 경우 일정한 바이어스 위상에서 회전에 비례한 검출기 광세기가 변하게 된다. 이때 레이저 광원의 출력세기가 변하게 되면 이것은 회전에 의한 광세기 변화와 구별할 수 없는 문제가 발생하게 된다. 그러므로 주어진 회전율 ( $\Delta\phi$ ) 측정의 불확실성은 레이저 광원 출력 잡음에 의해 영향을 받게 된다. 광원의 출력세기 변동을 보상하는 방법은 많으나 양자잡음 (photon shot noise) 효과를 감소시키는 것은 불가능하다. 따라서 이상적인 동작상태에서  $\Delta\phi$  의 측정 오차는 단지 양잡음에 의해 제한되게 된다. 이러한  $\Delta\phi$  의 측정오차  $\delta(\Delta\phi)$  는<sup>11)</sup>

$$\delta(\Delta\phi) = \frac{\text{양자잡음}}{\text{fringe 기울기}} \quad (12)$$

로 주어지며 이 값은 fringe 기울기가 최대일 때 최대로 나타난다. 다시말하면 다음과 같다.

$$\delta(\Delta\phi) \cong \frac{(2e i_0 B)^{1/2}}{(i_D / \pi)} = \frac{(n_{ph} n_o \tau)^{1/2}}{n_{ph} n_o \tau / \pi} \quad (13)$$

윗식에서  $e$  는 전하량,  $B$  는 검출기의 대역폭,  $n_{ph}$  는 검출기에 입사되는 초당 광자 갯수,  $n_p$  는 검출기의 양자효율 그리고  $\tau$  ( $= \frac{1}{2B}$ ) 는 평균시간이다. 그리고

$$\Delta\phi = \frac{2\pi LD}{\lambda C} \cdot \Omega \quad (14)$$

이므로 회전량  $\Omega$  의 측정에서 측정오차  $\delta\Omega$  는

$$\begin{aligned} \delta\Omega &= \frac{\lambda C}{2\pi LD} \delta(\Delta\phi) = \frac{C}{LD} \cdot \frac{\lambda/2}{(n_{ph} \cdot n_D \cdot \tau)^{1/2}} \\ &= \frac{C}{LD} \cdot \frac{\lambda/2}{(i_D / 2eB)^{1/2}} \quad (15) \end{aligned}$$

로 주어진다. 예를들면,  $\lambda = 6 \times 10^{-5} \text{cm}$ ,  $n_{ph} = 3 \times 10^{15} \text{ photon/sec}$  ( $= 1 \text{mW}$ ),  $L = 400 \text{m}$ , ( $N = L / \pi \cdot D = 1000$ ),  $n_p = 0.3$ ,  $\tau = 1 \text{sec}$  인 경우  $\delta\Omega = 0.008^\circ / \text{hour}$  에 해당된다.

## ⑥ Open loop와 closed loop 시스템

### 6.1 Open loop 시스템

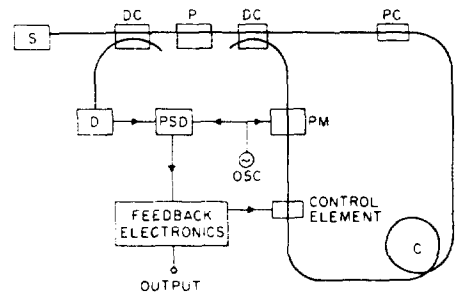
Fiber-optic gyroscope 의 출력신호는 5절에서와 같이 두개의 간섭파 결과로 나타나며 적절한 위상바이어스가 주어지면 다음과 같다.

$$S = S_0 \sin(T_r \cdot \Omega) \quad (16)$$

윗식에서  $\Omega$  는 회전율이고  $S_0$  는 fringe 세기 그리고  $T_r = 2\pi LD / \lambda C$  인 상수로 단위는 시간이다. 이러한 형태의 출력신호는 응용에 따라 다음과 같은 결점을 갖게 된다. 즉 출력 신호가 삼각함수에 제한된 측정범위를 갖으며 회전율에 대해 비선형함수로 주어진다. 그리고 출력신호는 여러 신호처리를 거친 아날로그 전류로서 디지털 신호처리가 용이하지 않다. 그러므로 이러한 open loop 시스템은 3개의 gyroscope 및 3개의 가속도 측정시스템 신호가 동시에 분석되는 3차원 관성시스템에 사용하기가 어렵다. 또한  $S_0$  와  $T_r$  의 안정도의 문제가 있다. fringe 세기  $S_0$  는 광원전력 시스템의 광전력 손실, 간섭파의 평광상태, 검출장치등에 따라 변하게 되고 이러한 변화는 각각 독립적인 측정을 통해 신호로부터 제거될 수도 있지만  $T_r$  변화의 경우는 상당히 어렵다.

### 6.2 Closed loop 시스템<sup>12)</sup>

Open loop 시스템의 문제점을 해결하기 위해 closed loop 시스템이 연구되고 있다. closed loop 시스템에서는 그림 7과 같이 폐환시스템에 의해 open loop 신호를 영으로 유지한다. 따라서 이러한 추가적인 위상변위의 측정으로 회전율을 알 수 있다. 또한



DC (directional coupler), P (polarizer), PC (polarization controller), PM (phase modulator), PSD (phase sensitive detector), S (source), D (detector)

그림 7. Closed loop fiber-optic gyroscope

여러가지 제한 시스템이 가능하나 그중 하나는 광섬유 루프내에 frequency shifter 를 위치하는것이다. 즉 CW파와 CCW파 사이의 주파수차  $\Delta\nu$ 는 다음과 같은 위상차를 만든다.

$$\Delta\phi_{\Delta\nu} = 2\pi\Delta\nu \cdot \frac{n \cdot L}{C} \quad (17)$$

주파수차를 튜닝 함으로서 위상차는 Sagnac 위상차와 크기가 같고 부호가 반대로 조정된다. (6)식을 사용하면

$$\Delta\nu = \frac{D}{n\lambda} \cdot \Omega \quad (18)$$

로 주어진다. 이값은 RRG, RLG의 출력신호와같은 결과로서 closed loop 시스템의 신호는 주파수차의 선형대수로 주어지고 정확한 디지털 출력이 가능하여 잠정적으로 매우 큰 측정범위를 갖는다.

그러나 closed loop 시스템의 단점은 guide wave 형태의 frequency shifter가 필요하다는것이다. 현재는 Bragg cell과 같은 bulkoptic 소자를 사용함으로써 크기문제 안정도 정렬등의 문제점이 있다.

### 7 Fiber-optic gyroscope 기술

Beam splitter, polarizer, 위상변조기등은 fiber optic gyroscope 를 구성하는 주된 소자들로서 많은 기술적 관심이 되고 있으며, 현재 세가지 기술이 발전되고 있다. 즉 bulk-optics, all-fiber optics 및 integrated optics 기술등이 그것이다. 현재 각 기술은 각각의 장점을 가지고 있지만 FOG의 문제를 완전히 해결하지는 못하고 있다. 그림 8은 bulk optics 기술로서 FOG 소자가 bulk 형태의 작은 렌즈, mirror, splitter 등으로 구성된다.<sup>14)</sup>

Bulk optics 소자는 이미 산업체에서 수년전부터

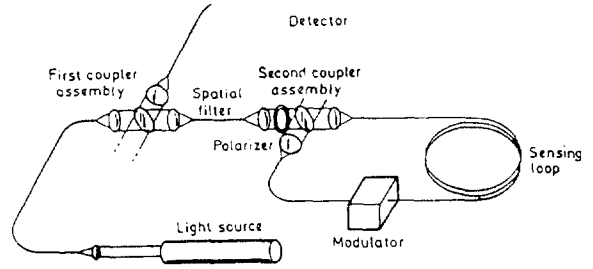


그림 8. Bulk optics 시스템

색산되어 싼 가격으로 공급되고있고 각 소자기능을 다양하게 사용할 수 있으나 이러한 기술은 FOG 시스템의 안정성 및 소자간의 엄격한 정렬등의 문제점을 가지고 있으며 궁극적으로 시스템의 소형화가 불가능하다. 그리고 bulk optics 에서는 레이저 광을 광섬유에 입사시킬때 광손실이 매우 크게 되므로 이를 해결하기 위해 광원으로부터 광검출기까지 모두 광섬유소자로서 빛을 유도하는 것이 all-fiber optics 기술이다. (그림 9)

이러한 기술에 의해 FOR 시스템의 안정성 유지 및 소형화가 가능하고 적은 삽입 손실로 검출기에 입사되는 광전력이 크기 때문에 측정감도가 개선될 수 있다.<sup>14)</sup> 그러나 광섬유소자 제작에 연관되는 복잡성과 정밀성등에 의해 소자값이 비싸고, 광섬유로 frequency shifter 제작이 불가능하여 closed loop 시스템 구성이 불가능하다. 따라서 이를 해결한 것이 integrated optics 기술로서 그림 10과 같이 단일모드 스트립도파관 형태로 모든 FOG 소자를 단일 평면소자로 제조하는 것이다.<sup>15)</sup> 이것은 bulk optics 에서 가능한 소자 기능의 다양성 및 all-fiber optics의 장점을 결합한 기술이다. 따라서 integrated optics 기술은 FOG시스템의 저렴한 가격에 대량생산이 가능하여 앞으로 기대되는 optics 기술이다.

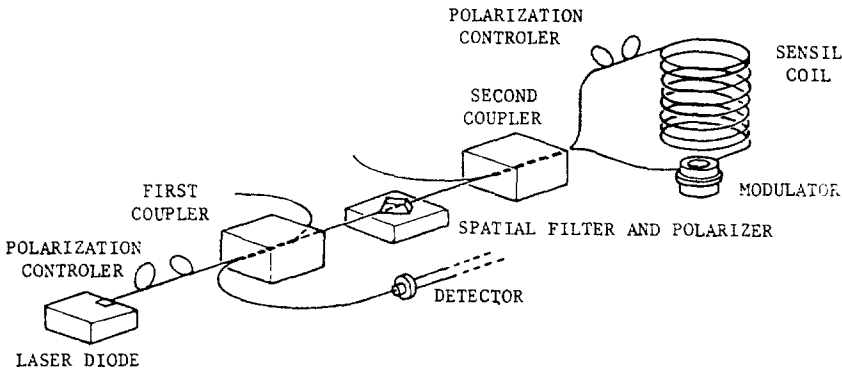


그림 9. All-fiber optics 시스템

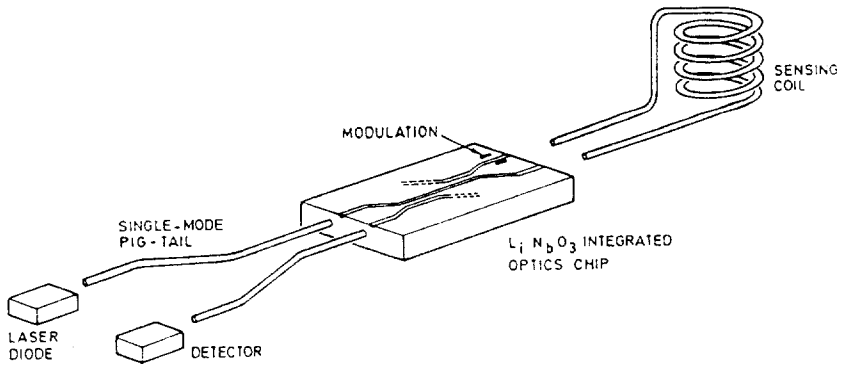


그림 10. Integrated optics 시스템

㉔ 전 망

FOG의 성능이 계속 향상됨에 따라 많은 시스템에도 응용이 되고있다. 일반적으로 응용분야에 따라 2가지 성능지수인 회전을 정밀도 (rotation rate accuracy)와 비례지수 안정성 (scale factor stability)를 고려하여야 한다.<sup>8)</sup> 즉, 저속의 회전을 정밀도에서는 비례지수변화 영향이 최소가 되어야 한다. 그림 11은 여러 응용에 대한 2가지 성능지수의 요구범위를 나타낸 것이며, 그림에 현재 FOG시스템의 성능지수 범위도 포함되어 있다. 궁극적인 FOG의 성능은 항공기 항법장치에의 응용에 있으므로  $\sim 10^8$ 의 측정범위에서 정확한 동작이 가능하여야 한다.

따라서 저속회전의 정밀도도 극히 높은 동시에 비례지수의 안정성도 높아야만 된다. 같은 이유에서 전술무기 항행도 안정된 비례지수를 요구한다. 이러한 scale factor 요구조건 뿐만 아니라 관성회전 센서는 커다란 가속 및 진동상태하에서도 안정된 동작이 가능하여야 한다. 현재 요구되는 각도의 정밀도는 0.001%~1%정도이다.

표 1은 미국의 Brown Associates, Inc.에서 조사한 세계의 관성회전 시스템 시장 예측을 나타낸 것이다.<sup>2)</sup> 표에 의하면 관성회전 시스템의 매년 매출이 6억 5천만 달러를 초과할 것으로 예상되며 특히 fiber - optic gyroscope의 경우 1987년부터 약 10억달러 이상의 시장이 될 것으로 전망되고 있다.

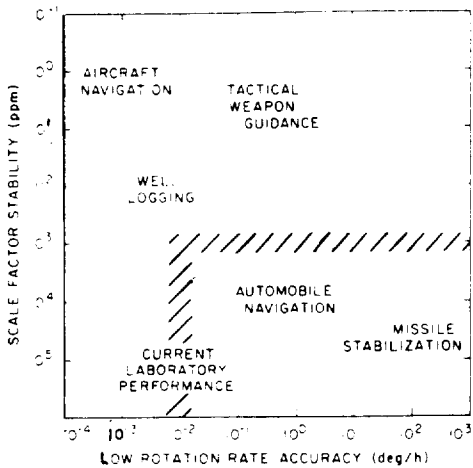
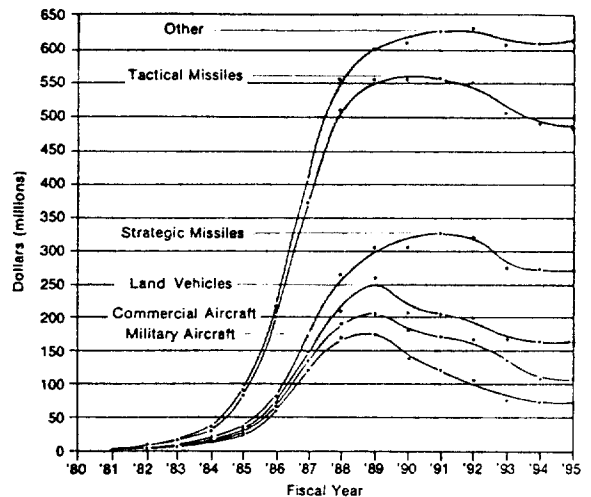


그림 11. 응용분야에 따른 회전을 정확도 및 비례지수 요구 범위

표 1. 관성시스템 시장예측



### ㉠ 맺는말

Fiber - optic gyroscope 는 시스템의 감도가 광섬유 turn 수에 비례하여 증가될 수 있으며 측정 범위가 넓고 ( ~ 10<sup>8</sup> ), low drift , 선형적응담등의 기술적 장점뿐만 아니라, 시스템의 직접화에 의한 소형화 및 안정화가 기대되어 저렴한 가격에 대량생산이 가능하여 앞으로 기존의 모든 inertial 시스템을 대체할 것으로 전망되어 이에 대한 연구개발이 주목되고 있다.

### 參考文獻

- 1) J.J.Roland and G.P.Agrawal , Optics and laser tech.,13, 239-244, 1981
- 2) S.E Zekiel and H.J.Arditty, " Fiber Optic Rotation Sensors ", Springer - Verlag, 1982.
- 3) P.Harihapan , Appl .Opt., 14, 2319- 2321, 1975
- 4) W . M . Macek and D.T.M.Davis .Appl .phys .Lett . 2, 67-68, 1963
- 5) D.M Shupe , Appl .Opt., 20, 286-289, 1981
- 6) V.Vali and R.W.Shorthill ,Appl .Opt. , 15, 1099 - 1100 (1976 )
- 7) W. C Goss ,R.Goldstein, M.D.Nelson, H.T. Fearnhaugh and O.G.Ramer, Appl . opt. , 19, 852 - 858, 1980
- 8) R.A.Bergh , H.C Lefevre and H.J. Shaw , J.of Lightwave Technology ,LT - 2, 2 , 91-107, 1984
- 9) S .Ezekiel and S.R.Balsamo ,Appl .phys. L-ett .,30, 478 - 480, 1977
- 10) H.J Arditty and H.C.Lefevre ,Opt .Lett ., 6 401-403, 1981
- 11) G.A Sanders , M.G.Prentiss ,and S.Ezekiel Opt .Lett . , 6, 569, 1981
- 12) J .L. Davis and S.Ezekiel , Opt .Lett . , 6, 505 - 507, 1981
- 13) R.F.Cahill and E.Udd ,Opt .Lett . , 4, 93, 1979
- 14) R . A Bergh ,H.C Lefevre and H.J .Shaw,Opt. Lett . , 6, 502 - 504 , 1981
- 15) M.Izutu , Y.Nakai , and T.Sueta ,Opt .Lett . 7, 136 - 138, 1982

### ◆ 꼬 마 상 식 ◆

### 特殊한 프로세서에 의한 局部回線の 接續處理

現在까지는 高速局部回線の 周邊에 分散되어있는 컴퓨터系를 統合하기 위하여는 關連된 個個의 會社로부터 回線制御部分과 인터페이스를 買収하거나 通信回線を 占有하고 있는 單一會社가 分散系全體를 買収하는 方法을 取하였으나 今番 局部回線の 通信業務를 取扱하는 OEM會社에서 새로운 front-end 프로세서를 開發하였다고 한다.

通信用 소프트웨어는 프로토콜이 標準화된 그대로 使用할 수 있으나 이 프로세서는 Zilog 社 技術者가 1年前에 設立한 Excelan 社의 開發에 의한 것으로서 Exos/101 이라고 하는 것인데 Xerox 社가 開發한 局部回線Ethernet 와 結合해서 使用된다고 한다.

한편Excelan 社의 D.Way 氏는 Ethernet 가 使用되는 것은 一時인 것으로서 앞으로Exos 의 機能을 擴張할 方針이라고 한다.

그런데 Exos/101은 한個의 PCB에 收容되어 있으며 外部로는 호스트컴퓨터와 Ethernet에 連結되어있다. 그리고 内部에는 호스트버스 인터페이스, i APx 88 마이크로프로세서, 64/128K 바이트RAM, 8 K 바이트ROM 및 回路制御로직으로 分割되어 있다고 한다.