

광섬유자이로스코프를 이용한 선박용 광자이로컴파스의 제작

이석정 · 배정철 · 홍창희

Fabricaton On Optical Gyrocompass For Ships Using Fiber Optic Gyroscope

Seok-Jeong Lee, Jeong-Chul Bae, Tchang-Hee Hong

1. 서 론

현재까지 사용되어오고 있는 기계식 자이로는 다음과 같은 단점이 있다. 가격이 고가이고, 부피가 크고 무게가 무거우며, 시동시간이 많이 걸릴 뿐만아니라 전력소모가 많고 잦은 유지보수를 해야 하며 중력의 영향을 받는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고 대량생산과 저가격화에 적합한 자이로스코프가 바로 광섬유 자이로스코프이며 이를 이용하여 선박용 자이로컴파스를 구성할 수가 있다. 아직은 선박용 광자이로컴파스가 상품화된 예는 없다.

2. 광자이로컴파스의 원리

Sagnac효과를 이용한 광섬유 자이로는 광학회전센서의 일종이다. 재래식 자이로스코프에 대한 이들 장점은 동작원리로서 광간섭성을 이용하므로써 가능하다. 일반적으로, 광섬유 자이로는 회전과 상대각도를 검출할 수 있으나 방위각은 알 수 없다. 따라서 만일 광섬유 자이로가 자이로컴파스에 사용된다면, 지구자전축의 방향을 식별할 수 있어야 한다. 이 목적을 위하여 광섬유 자이로는 고감도와 저 zero drift특성을 가져야 한다.

그림 1과 같이 광섬유 자이로의 센싱루프면을 동서방향으로 평행하게 정렬하고 지구의 자전속도 $15.041^{\circ}/hr$ 를 측정한다. 남북방향으로 자이로의 센싱루프면을 평행하게 정렬하면 센싱코일에 회전각속도가 전혀 감지가 되지않으므로 자이로로부터 출력되는 신호가 없다. 이 원리를 이용하면 광섬유자이로의 출력신호로부터 방위를 찾을 수 있다. 이 때 광섬유자이로를 연속적으로 회전을 시켜서 출력되는 신호로부터 진북을 찾는 방법을 동적방식이라고 하고 정지상태에서 세 개 이상의 임의 방향을 선택하여 얻은 자이로 출력신호로부터 진북을 찾는 방법을 정적방식이라고 한다.

본연구는 중기거점 선박용 항해·통신장비개발과제의 일환으로 통상산업부의 지원에 의하여 수행되었습니다.

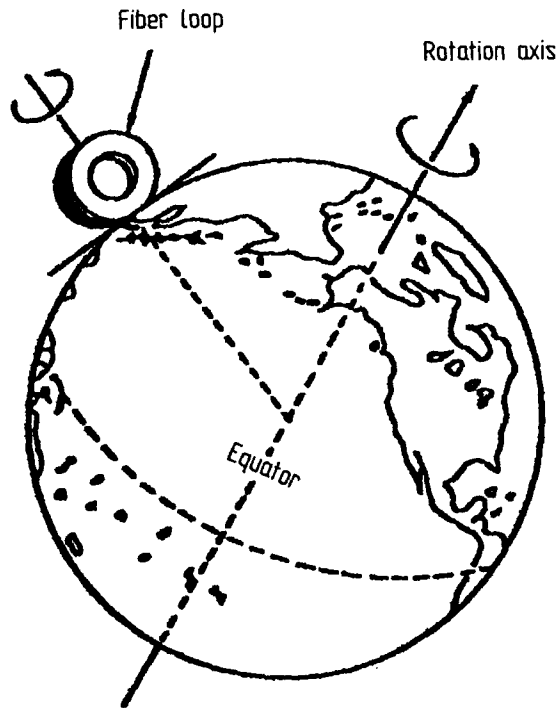


그림 1. 광자이로컴파스의 원리

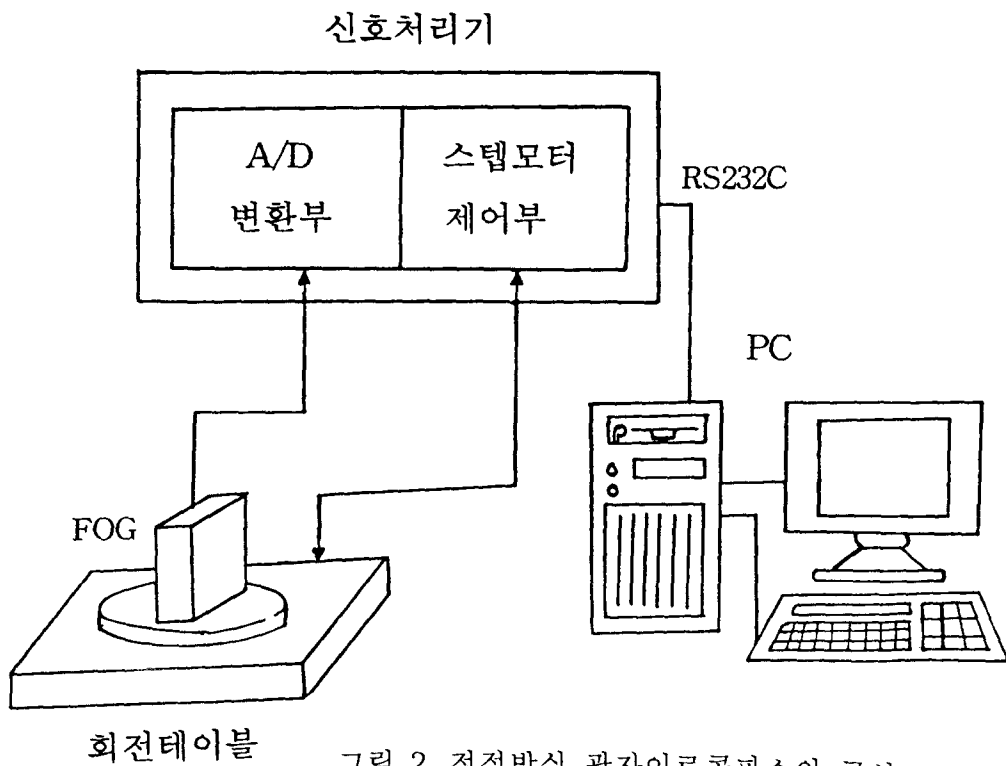


그림 2. 정적방식 광자이로컴파스의 구성도

3. 정적방식

임의의 한 방향을 제1방향으로 선택하고, 제1방향에 대해 각각 $\pi/2$ 와 $-\pi/2$ 인 방향을 제2와 제3방향으로하여 정지상태에서 각각 세방향에서의 자이로출력값을 측정하면 진폭을 찾을 수가 있다.

제1방향에서의 자이로스코프의 출력 S1은

$$S1 = a \cos \alpha + k \quad (1)$$

여기서 a는 신호의 진폭, α 는 제1방향과 진폭사이의 각을 나타낸다.

제2방향에서의 자이로스코프의 출력 S2는

$$S2 = a \cos(\alpha + \pi/2) + k \quad (2)$$

제3방향에서의 자이로스코프의 출력 S3는

$$S3 = a \cos(\alpha - \pi/2) + k \quad (3)$$

여기서 a는 자이로스코프의 신호진폭, α 는 진폭에 대한 임의의 각도, k는 zero bias

식 (1), (2), (3)을 이용하여 k를 소거하면

$$S1-S2 = a[\cos \alpha - \cos(\alpha + \pi/2)]$$

$$S1-S3 = a[\cos \alpha - \cos(\alpha - \pi/2)]$$

따라서

$$(i) \quad |P| < 1$$

$$P = \frac{S1-S2}{S1-S3} = \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + \frac{\pi}{2})}{\cos \alpha - \cos(\alpha - \frac{\pi}{2})} = \tan(\alpha + \frac{\pi}{4})$$

$$\alpha = \tan^{-1} P - \frac{\pi}{4}$$

$$(ii) \quad |P| > 1$$

$$P = \frac{S1-S3}{S1-S2} = \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha - \frac{\pi}{2})}{\cos \alpha - \cos(\alpha + \frac{\pi}{2})} = \cot(\alpha + \frac{\pi}{4})$$

$$\alpha = \cot^{-1} P - \frac{\pi}{4}$$

따라서 각각 세방향에서의 자이로출력값을 측정하면 진폭과 제1방향의 사이각을 구할 수 있다.

그림 2는 정적방식 광자이로콤파스의 구성을 나타내며, 그림 3은 흐름도를 나타낸다. 그림 4는 구성된 정적방식 광자이로콤파스의 사진을 보여주며 그림 5는 측정그래프를 나타낸다.

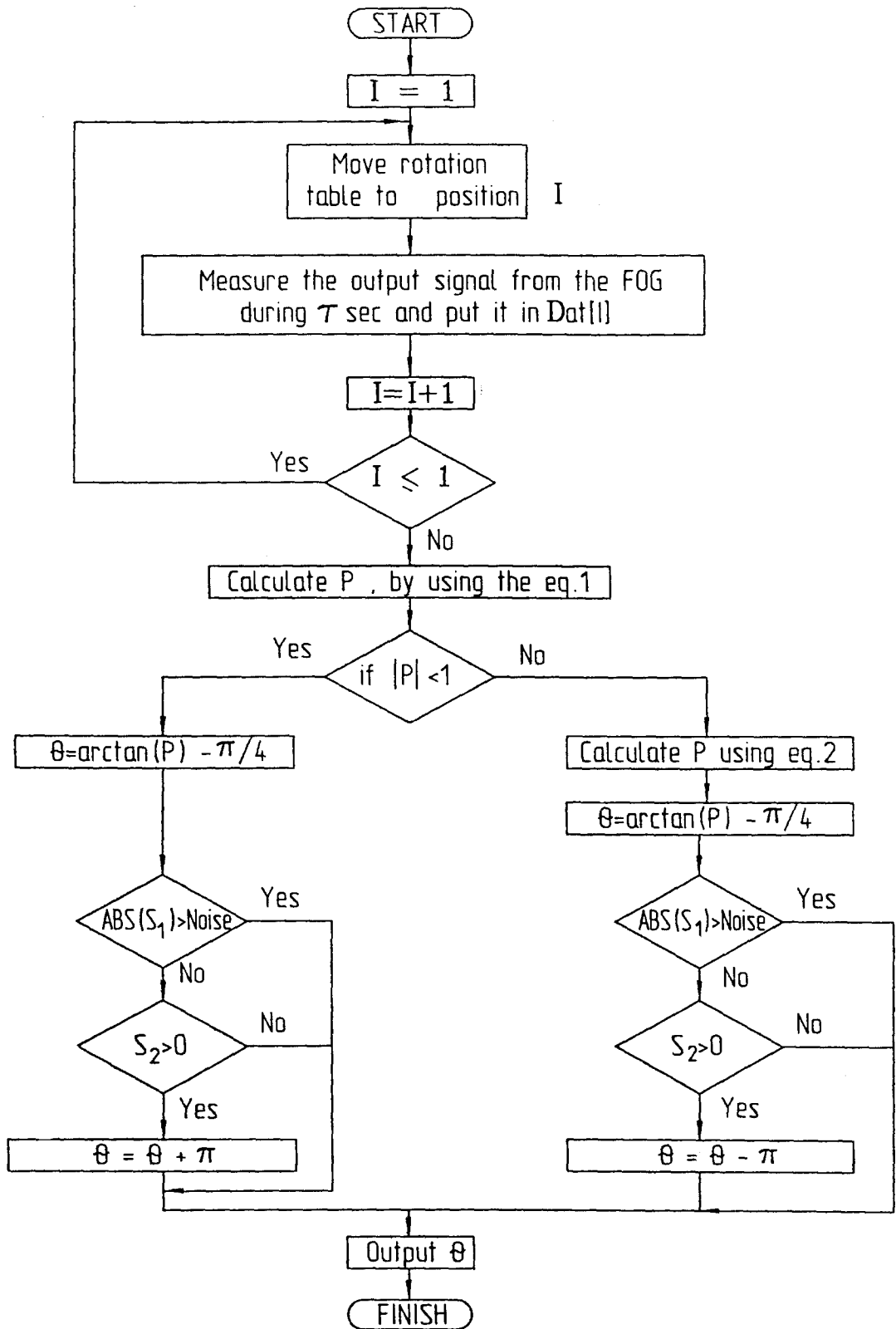


그림 3. 정적방식 광자이로컴파스의 흐름도

4. 동적방식

그림 1과 같이 동적방식 광자이로콤파스를 구성하였을 때 광섬유자이로의 출력신호는 사인파로 나타나며 이것의 위상은 진북에 대한 방향을 나타내고 진폭은 위도와 광섬유자이로의 감도에 의해서 결정된다. 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

광섬유자이로의 출력신호 U_e 는

$$U_e = K_e \sin(\omega t + \varphi_e)$$

여기서

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega = 2\pi f \\ \rightarrow f = \text{회전주파수} \\ \varphi_e = \text{진북에 대한 임의의 방향의 위상차} \\ K_e = k \cos \theta \\ \rightarrow k = \text{FOG의 Scale factor} \\ \rightarrow \theta = \text{위도} \end{array} \right.$$

방위각 검출정도 $\Delta\theta$ 는

$$\Delta\theta = \frac{180\Delta\Omega}{\pi\Omega_m \cos\theta} \quad (\text{deg.})$$

여기서 $\Delta\Omega$ 는 FOG의 분해능, Ω_m 은 측정된 회전율의 최대값을 나타낸다.

그림 6은 동적방식 광자이로콤파스의 전체구성도를 나타내며, 그림 7은 블록도를 보여준다. 그림 8은 외형사진을 보여주며, 그림 9는 측정그래프를 나타낸다.

5. 결론

정적방식은 기계적 구조가 간단한 반면에 drift의 영향을 받으므로 저 drift의 고성능 자이로스코프를 사용하여야 하며 시간평균을 길게 할수록 drift에 의한 에러 때문에 정도가 나빠진다. 동적방식은 기계적 구조가 복잡한 반면에 drift의 영향을 받지 않으므로 시간평균을 길게 할수록 정도가 좋아진다.

러시아 Fizoptika사 제품인 간섭계형 위상변조방식 광섬유자이로스코프를 센서로 사용하였고 제작은 러시아 세인트 피터스버그 통신주립대학에서 하였으며 기술이전을 받았다.

scale factor 210mV/deg/hr, 잡음 0.4 deg/hr, long term bias stability 0.5 deg/hr인 저 drift 광섬유 자이로스코프를 사용하여 0.5°의 정도를 얻었으며, scale factor 100mV/deg/hr, 잡음 1.5 deg/hr, long term bias stability 15 deg/hr인 광섬유 자이로스코프를 사용하여 약 1°의 정도를 얻었다. 본연구에서는 정적방식은 선박용으로는 부적합하며 동적방식이 더 적합함을 알 수 있었다.

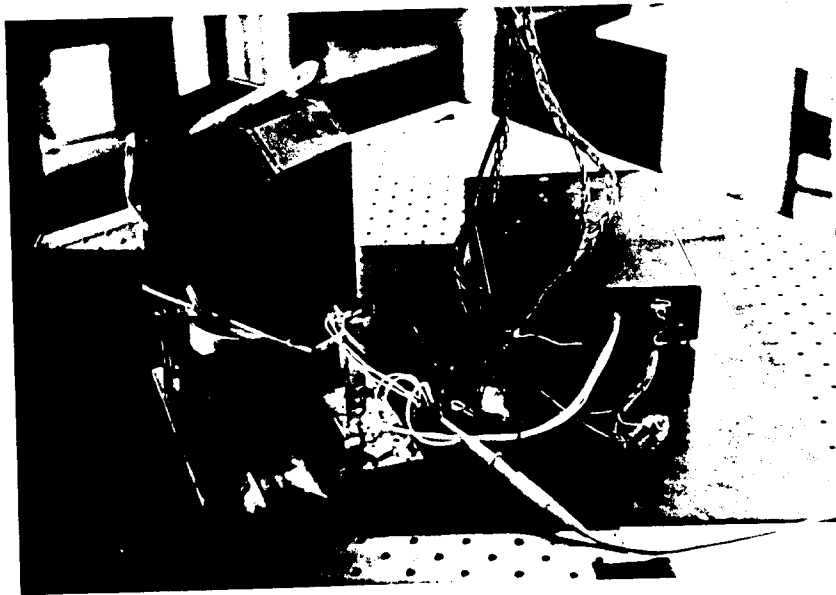


그림 4. 정적방식 광자이로콤파스의 외형

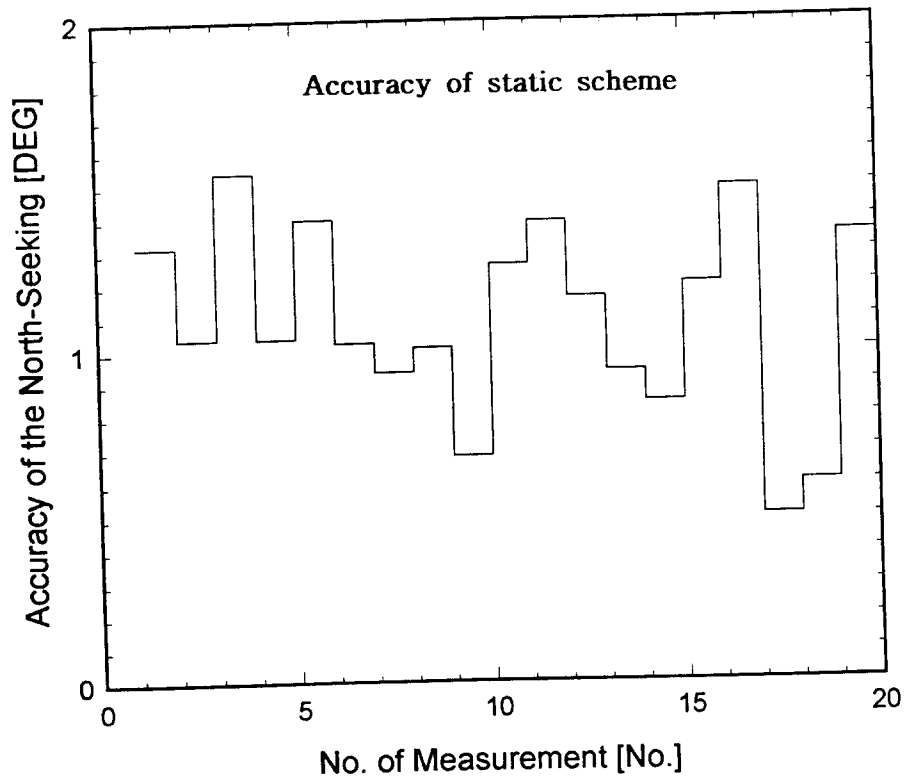


그림 5. 정적방식 광자이로콤파스의 측정그래프

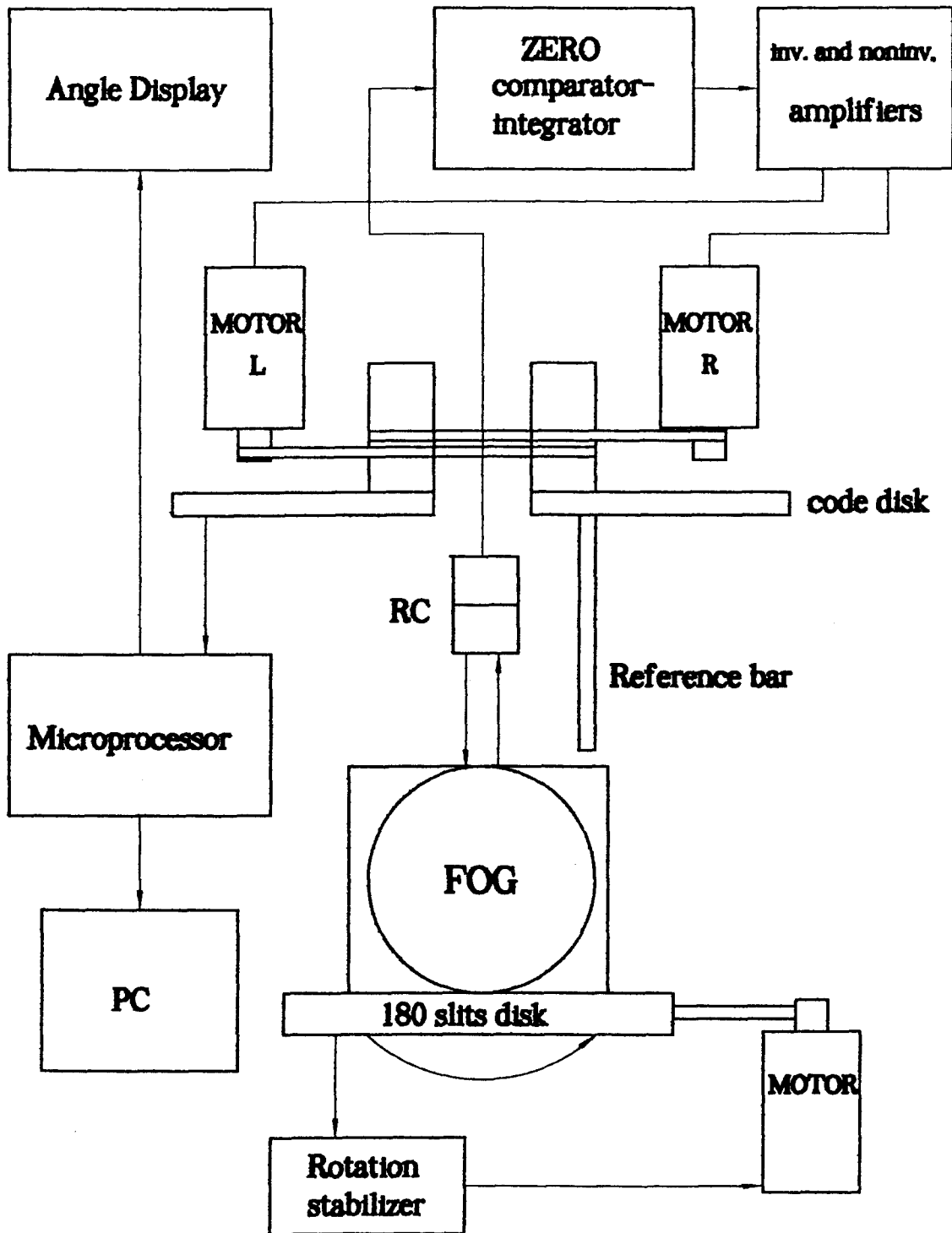


그림 6. 동적방식 광자이로콤파스의 구성도

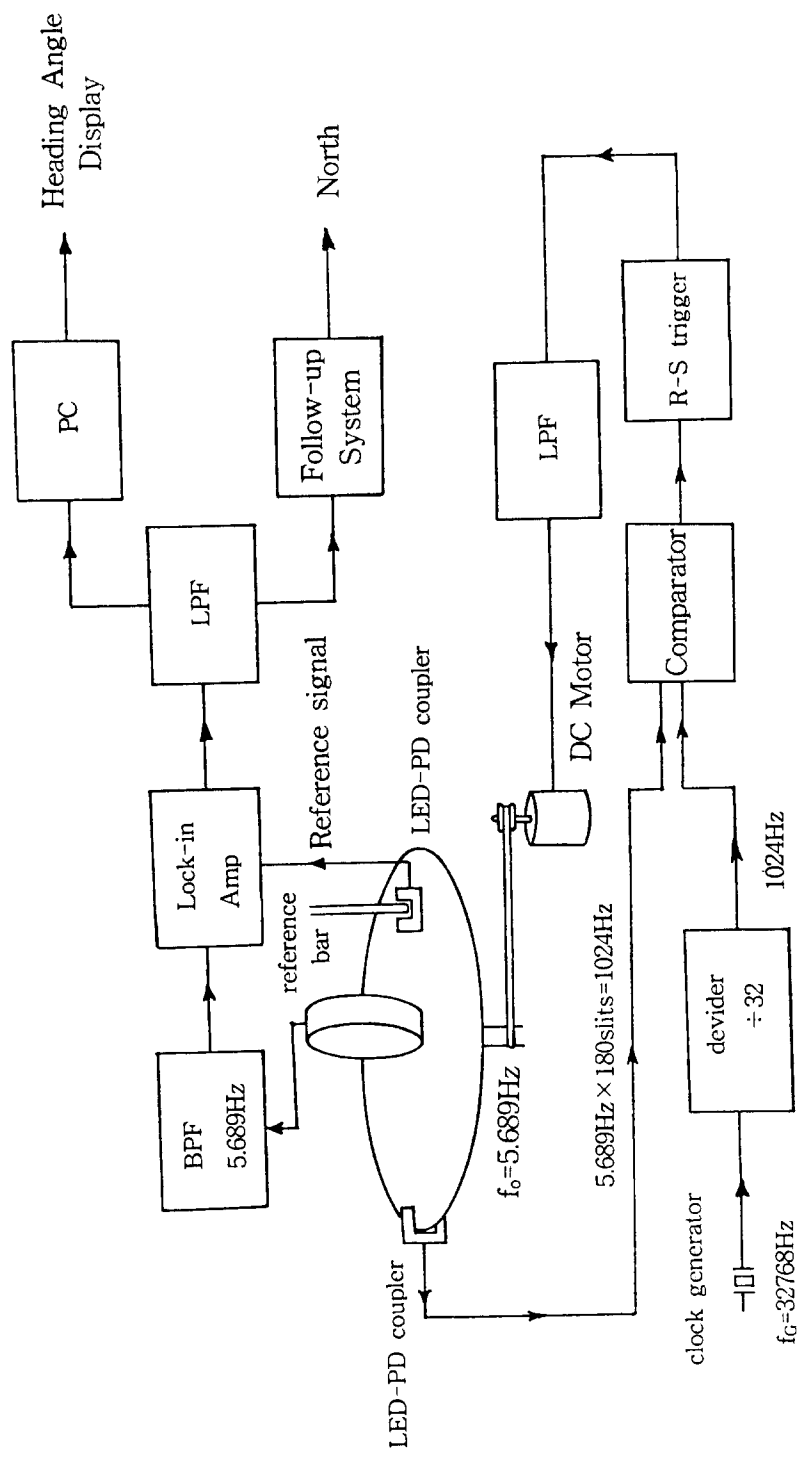


그림 7. 동적방식 광자이모컴퍼스의 블록도

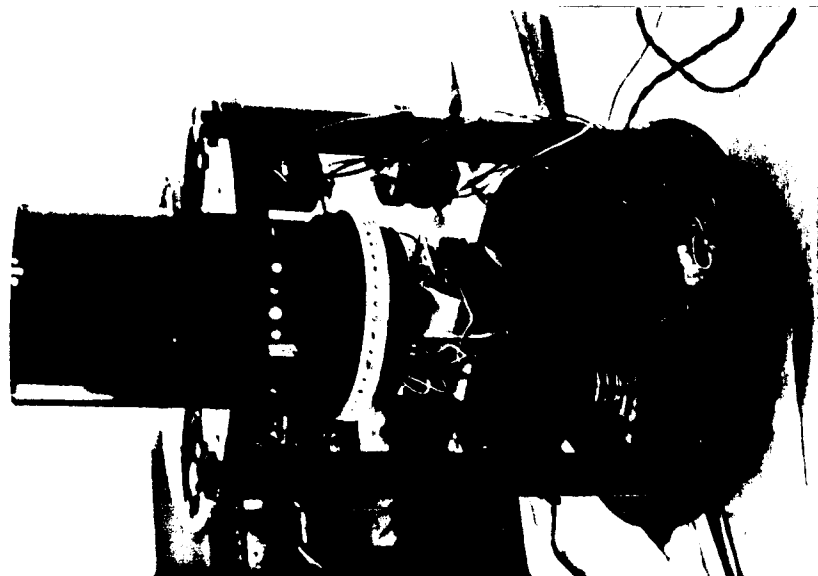


그림 8. 동적방식 광자이로컴파스의 외형

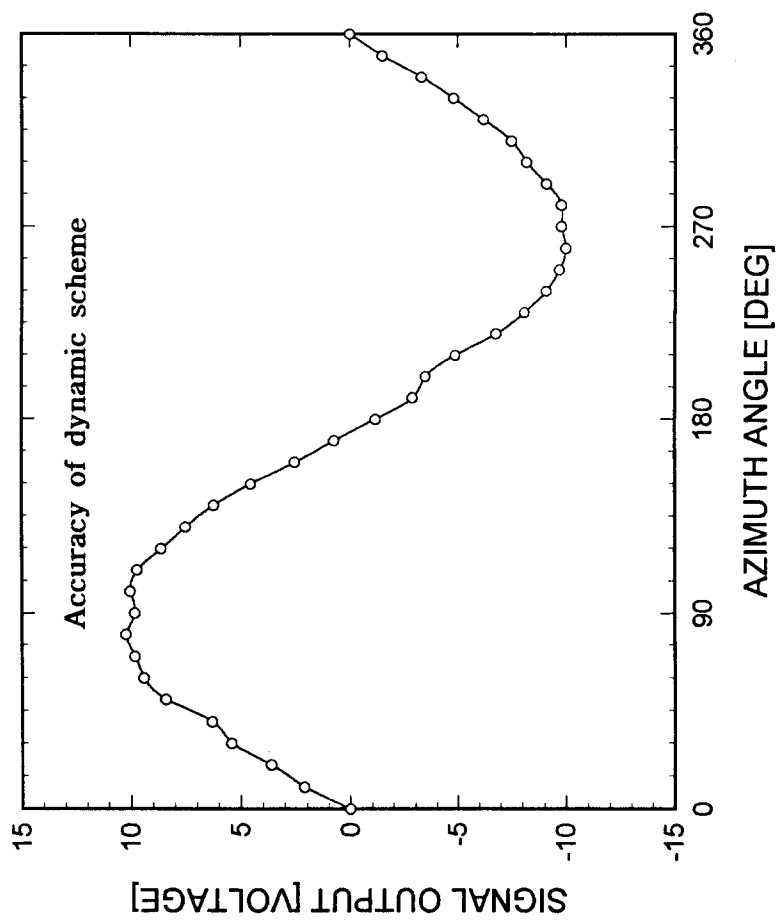


그림 9. 동적방식 광자이로컴파스의 측정그래프

참고문헌

1. R. B. Dyott and D. E. Allen, "A Fiber Optic Gyroscope North Finder", Proc. 10th International Conference on Optical Fiber Sensors, Glasgow, Scotland, p.442~p.448, 1994.
2. T. Kumagai, N. Ashizuka, H. Nakai, H. Kajioka, "Development Of An Optical Gyrocompass Using A High-sensitivity Fiber Optic Gyroscope", Proc. SPIE Vol. 1795, p.105~p.117, 1992.