

# 정적방식 광섬유 자이로콤파스의 제작

이 석 정\* · 홍 창 희\*\*

## Fabrication of Static Fiber Optic Gyrocompass

*Seok-Jeong Lee\* · Tchang-Hee Hong\*\**

|                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| Abstract           | <목 차>                  |
| 1. 서 론             | 3. 정적방식 광섬유 자이로콤파스의 제작 |
| 2. 정적방식 신호처리의 기본원리 | 4. 결 론                 |
|                    | 참고문헌                   |
|                    | 감사의 글                  |

### Abstract

This paper describes the method and the results of making a fiber optic gyrocompass measuring the heading angles of a ship with a fiber optic sensor. As the method seeking for the heading angles, it is possible to get the heading angles by measuring the output signals from a stationary fiber optic sensor in at least three directions such as a heading direction and other two directions having phase difference  $\phi_1$  and  $\phi_2$  to the heading. We made the static fiber optic gyrocompass by a high performance fiber optic sensor having scale factor of 210mV/deg/s and resolution of 0.5deg/hr using this principle. The accuracy of this system was 0.29° from 20 numbers of data measuring the arbitrary heading angle.

### 1. 서 론

현재까지 사용되어오고 있는 기계식 자이로는 가격이 고가이며, 시동시간이 많이 걸릴 뿐만 아니라 전력소모가 많고 잦은 유지보수를 해야 하는 등의 여러 가지 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고 대량생산과 저가격화에 적합한 것이 바로 광섬유 자이로콤파스이다.

광섬유 자이로콤파스의 센서로 사용되는 광섬유자이로스코프(FOG)는 Sagnac효과를 이용하는 광학회전센서의 일종이며 개발 배경은 다음과 같다. Sagnac효과는 회전 각속도  $\Omega$ 에 비례하여 광로차  $\Delta L$ 이 발생하는 효과를 말하며 이 광로차를 광학적 간섭현상을 이용하여 위상차를 검출하면 회전한 각속도량을 알 수 있다. 1913년 Sagnac은 관성 공간에 대한 회전량을 측정하기 위하여 이러한 효

\* 정회원, 한국해양대학교 전자통신공학과

\*\* 정회원, 한국해양대학교 이공대학 전자통신공학과 교수

파를 이용한 간섭계를 제안하였고, 1925년 Michelson과 Gale이 지구 자전량을 측정하기 위하여 광경로 2km의 링 간섭계를 실험하였다. 이처럼 광경로를 크게 하면 할수록 그만큼 전체 실험장치의 크기가 커지고 장치를 정렬하기가 힘이 들며 세팅된 장치 부품마다 진동 등의 외부환경적 요인에 의한 여러 가지 신호잡음들이 생기게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 즉 전체 장치의 크기는 작게 하고 광경로는 크게 하기 위하여 1962년 Rosental은 폐공진경로를 따라 여러 번 공진할 수 있도록 링레이저 자이로를 제안하였고, 일년 후인 1963년 Macek과 Davis가 첫 시험 제작하였다. 현재는 링레이저 자이로 기술이 완숙단계에 이르러 관성항법에 많은 응용이 되고 있다. 그러나 링레이저 자이로는 광경로를 크게 하면서 장치의 크기는 작게 하는 문제는 해결하였으나 거기에도 한계가 있으며 또한 정렬하기가 힘이 들고 장치부품마다 잡음이 생기는 문제는 해결하지 못하였다. 그런데, 1967년 Pircher와 Hepner가 이러한 문제를 해결할 수 있는 광섬유 자이로(FOG)를 제안하였다. FOG는 광경로를 크게 하기 위해서는 단지 광섬유의 길이를 늘이면 되기 때문이다. 그후 1976년에 Vale와 Shorthill이 FOG를 최초로 시험 제작하였다<sup>(1)</sup>.

이러한 FOG는 성능에 따라 세등급으로 나눌 수 있다. 동작범위  $0 \sim \pm 30$  °/s, 분해능 0.001 °/s, drift 0.1 °/hr, scale factor에러 0.5% 이하를 1등급(고급)이라 하고 항공우주, 측지컴파스등에 이용할 수 있으며, 동작범위  $0 \sim \pm 100$  °/s, 분해능 0.01 °/s, drift 10 °/hr, scale factor에러 1% 이하는 2등급(중급)으로서 자동유도 차량, 안테나 제어 등에 이용할 수 있으며, 각각 동작범위  $0 \sim \pm 100$  °/s, 분해능 0.1 °/s, drift 20 °/hr, scale factor에러 1% 이하는 3등급(저급)으로서 응용분야는 차량항법장치등이다<sup>(2)</sup>. 항공기와 선박용 광섬유 자이로컴파스는 관성항법용 컴파스로서 자체적으로 진북과 선수방위를 검출할 수 있어야 하므로 분해능이 지구 자전속도인 0.0042 °/s를 검출할 수 있는 고성능 센서인 1등급 센서를 써야 하며, 차량항법용으로는 GPS와 Map-matching법을 이용하므로 FOG는 자체적으로 방위를 검출할 필요가 없이 상대적인 회

전량만 알 수 있으면 되므로 저급인 3등급 센서만으로도 충분하다.

FOG센서와 광섬유자이로컴파스의 국내의 연구동향으로서 먼저 FOG센서의 경우를 살펴보면, 미국의 하니웰, 리튼, 스미스 인더스트리, 일본의 JAE, 미쓰비시, 유럽은 영국항공(British Aerospace), 리테프, 포토네틱스사가 Y-coupler를 이용한 페루프 위상변조방식을 집적 광학적 구성으로 연구하고 있으며, 독일의 알카텔-SEL은 초기에 Y-coupler를 이용한 구성으로 개발하였으나, 현재는 개루프 방식을 채택하고 있다. 러시아의 Fizoptika, 일본의 히타치와 초기의 하니웰은 전체 광섬유화 개루프 방식을 택하고 있다. 사용하는 부품에 있어서 광섬유 부품으로는 대부분의 회사들이 편광유지 광섬유(PMF)를 사용하지만 스미스 인더스트리는 일반 광섬유를 복광하는 방식을 택하고 있으며, coupler 부품의 경우 일반적으로  $2 \times 2$  coupler를 사용하고 있지만 독일의 MBB 독일항공(Deutsche Aerospace)은 저가형 저급응용을 위해  $3 \times 3$  coupler를 택하고 있다. 또한 간섭형 FOG가 실용화되어 있지만 하니웰과 영국항공은 아직도 공진형 FOG를 연구를 계속하고 있다. 현재 알카텔-SEL, 히타치, 하니웰, 리튼, Fizoptika사는 상품화하여 생산을 하고 있다<sup>(3)</sup>. 히타치의 경우 대량생산설비를 완료하고 차량항법용 FOG를 도요타에 납품하여 GPS와 FOG를 이용한 차량항법장치를 마크II 기종에 장착하여 시판되고 있다<sup>(4)</sup>. 국내의 연구동향으로는 한국과학기술원의 김병윤교수 연구실에서 모드록킹 FOG등을 연구하고 있으며 현재는 차량 항법용 센서로서 소형 FOG를 연구하고 있으며, 충북대학교 박희갑 교수 연구실에서는 회투입인 Er첨가 광섬유를 이용한 FOG를 연구하고 있다. 또한 국내에서도 대전의 도남시스템(Fiber Pro)사에서 FOG센서를 소량 주문생산을 하고 있지만 coupler를 제외한 모든 부품을 수입에 의존하므로 가격이 고가여서 아직은 가격경쟁력이 확보되어 있지 않다. 이러한 FOG센서를 이용한 광섬유 자이로컴파스의 경우는 이미 일본의 히타치, 미국의 리튼, 앤드류사에서 각각 시작품을 개발하였으며, 미국의 하니웰에서는 항공기용으로 개발하여 도니어 328기와 보잉 777기에

이용되고 있다. 그러나 장시간 항해를 하는 선박의 경우에는 FOG센서의 중요한 특성인 drift에러를 항공기의 경우처럼 수시로 보정할 수가 없고 또한 경제성을 고려해야 하므로 아직은 세계적으로 선박용 광섬유 자이로콤파스가 상품화된 예는 없다.

본 연구에서는 FOG센서가 특정방향에 대하여 정지한 상태에서 측정된 출력신호를 처리하여 진북을 찾는 정적방식 광섬유 자이로콤파스를 제작하여 성능을 측정해 보았다. 이방식은 Dyott와 Allen이 제안한 방법<sup>(5)</sup>으로서 회전체에서 외부로 신호를 전달하는 slip ring이 필요 없고 구조가 간단한 장점이 있다. Dyott와 Allen의 시스템에서는 특정방향에 대한 FOG센서의 출력신호를 얻기 위하여 위치제어를 제네바 기어로 명명된 기계적 구조를 이용하였으나 위치제어는 시스템의 정도에 직접적인 영향을 미치게 되며, 아무리 고성능 센서를 사용한다하더라도 위치제어가 제대로 되지 않았을 때는 각도 오차가 발생하게 된다. 따라서 기계적 구조에 의한 위치제어는 정밀한 위치제어를 할 수 없다는 판단에 따라 본 연구에서는 정확한 위치제어를 할 수 있는 스테핑 모터를 이용하여 위치제어를 하였다. 본 연구에서는 러시아 Fizoptika사의 분해능 0.5 deg/hr인 고성능 FOG센서를 사용하여 정적방식 광섬유 자이로콤파스를 제작하였으며, 총 20회 방위각을 측정하여 시스템 정도 0.29°를 얻었다. IMO규정에 의한 기계식 자이로콤파스의 허용정도가 0.7°임을 고려해 볼 때 양호한 콤파스가 제작되었음을 알 수 있다.

## 2. 정적방식 신호처리의 기본원리

일반적으로, 광섬유 자이로(FOG)는 회전각속도와 상대적인 회전각도를 검출할 수 있으나 방위각은 검출할 수가 없다. 따라서 FOG를 자이로콤파스에 이용하기 위해서는 지구자전속방향을 식별할 수가 있어야 한다. 즉, 지구자전속도를 검출할 수 있어야 한다. 이를 위하여 FOG는 지구자전속도인 15deg/hr를 검출할 수 있는 고분해능 특성을 가져야 한다.

그림 1은 광섬유 자이로콤파스의 간단한 개념도를 나타내며, 그림 2는 그림 1과 같이 구성되어 정속회전을 시켰을 때 FOG센서로부터 검출되는 출력신호 형태를 나타낸다. 그림 1과 같이 FOG센서를 지표면에 수직으로 세우고 센싱루프면을 동서방향으로 평행하게 정렬하여 FOG의 출력신호를 측정하면 지구자전속도에 해당하는 값을 얻을 수 있다. 그러나 남북방향으로 평행하게 정렬하고 FOG의 출력신호를 측정하면 센싱루프에 수직인 방향으로 지구자전속도가 입력이 되므로 센싱루프는 지구자전속도를 전혀 감지할 수가 없다. 따라서 FOG로부터 0인 출력신호를 얻게 된다. 따라서 FOG를 연속적으로 정속회전을 시키면 그림 2와 같이 사인파형태의 출력신호를 얻게 된다<sup>(6)</sup>.



그림 1. 광자이로콤파스의 원리

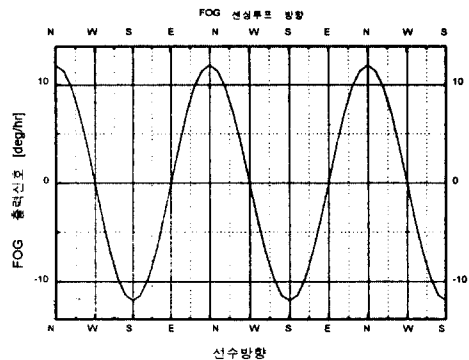


그림 2. FOG의 지구자전속도 검출신호

그림 2에서 FOG센서의 출력신호는

$$S = a \cos \theta + k E_P \quad \dots\dots\dots (1)$$

과 같이 표현되며, 여기서 S는 FOG센서의 출력신호로서 전압값으로 측정되며, 미지수는 a,  $\theta$ , k로서 각각 a는 FOG의 scale factor,  $\theta$ 는 진북에 대한 제1방향의 선수각, k는 offset을 나타낸다. 따라서 구하고자 하는 값은  $\theta$ 로서 미지수가 3개이므로 3개의 방정식을 얻어 3원 연립방정식을 풀어 구할 수가 있다. 그러므로 임의의 한 방향 즉, 선수 방향을 제1방향으로 선택하고, 제1방향에 대해  $\varphi_1$ 인 방향을 제2방향 그리고  $\varphi_2$ 인 방향을 제3방향으로 정하여, 이 세방향에서 각각 FOG의 출력값을 정지상태에서 측정하면 진북을 찾을 수가 있다. 이것이 정적방식 광섬유 자이로콤포스에서 선수방위각을 구하는 기본원리이다.

우선 제1방향에서의 FOG 출력  $S_1$ 을 수식으로 나타내면

$$S_1 = a \cos \theta + k_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

과 같이 되며, 여기서 a는 FOG의 scale factor,  $\theta$ 는 진북에 대한 제1방향의 선수각, k는 offset을 나타낸다. 제2방향에서의 FOG의 출력  $S_2$ 는

$$S_2 = a \cos(\theta + \varphi_1) + k_2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

제3방향에서의 FOG의 출력  $S_3$ 은

$$S_3 = a \cos(\theta + \varphi_2) + k_3 \quad \dots\dots\dots (4)$$

가 된다. 실험에 사용한 FOG의 bias drift가  $0.5^\circ / h$ 이므로, 만일 세방향에서의 FOG 출력신호  $S_1, S_2, S_3$ 를 각각 1회씩 측정하는 데 걸리는 총 측정 시간 T가 수분이내이면

$$k_1 \approx k_2 \approx k_3 \approx k \quad \dots\dots\dots (5)$$

가 된다. 여기서 k를 소거하면

$$S_1 - S_2 = a[\cos \theta - \cos(\theta + \varphi_1)] \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$S_1 - S_3 = a[\cos \theta - \cos(\theta + \varphi_2)] \quad \dots\dots\dots (7)$$

가 되며 여기서 다시 a를 소거하면

$$P = \frac{S_1 - S_2}{S_1 - S_3} = \frac{\cos \theta - \cos(\theta + \varphi_1)}{\cos \theta - \cos(\theta + \varphi_2)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

여기서 P는 선수각과 제1방향에 대한 제2방향과 제3방향의 위상차에 해당하는 정보만을 가지고 있는 신호값이 된다. 따라서 편의상  $\varphi_1 = \pi/2$ 이고  $\varphi_2 = -\pi/2$ 로 취하면, (8)식은

$$P = \frac{\cos \theta - \cos(\theta + \frac{\pi}{2})}{\cos \theta - \cos(\theta - \frac{\pi}{2})} \quad \dots\dots\dots (9)$$

가 되며 (9)식의 P는 순수하게 선수각 정보만을 가지고 있는 신호값이 된다.

P값으로부터 선수각을 구하기 위해 (9)식을 정리하면

$$P = \tan(\theta + \frac{\pi}{4}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

이 되며, 선수각은

$$\theta = \tan^{-1} P - \frac{\pi}{4} \quad \dots\dots\dots (11)$$

이 되므로 (11)식의 P값만 알면 선수각을 구할 수 있다.

이와 같이 임의의 세방향에서의 FOG 출력값  $S_1, S_2$ 와  $S_3$ 로부터 P값을 구할 수 있고 P값을 알면 선수각을 찾을 수 있다. 여기서 만약 또 다른 한 방향에서의 FOG 출력값  $S_4$ 를 측정한다면,  $S_1, S_2$ 와  $S_4$ 로부터  $P_1$ 값을 구하고,  $S_1, S_2$ 와  $S_3$ 로부터  $P_2$ 값을 구하여  $P_1$ 과  $P_2$ 를 평균 내어 P값을 구함으로써 측정시간을 줄이면서도 정도가 높은 값을 구할 수 있다. 그러므로 실제적인 경우에는 다음과 같이 제1방향에 대해  $\varphi_3 = \frac{3\pi}{2}$ 인 방향을 제4방향으로 선택하여 총 네방향에서의 출력값을 얻어 이로부터 2개의 선수각을 얻게된다.

$$S_4 = a \cos(\theta + \varphi_3) + k_4 \quad \dots\dots\dots (12)$$

여기서  $k_4 \approx k$ 이다.

따라서 식(2), (3), (4), (5)식을 이용하여 선수각 정보를 가지고 있는 FOG의 출력값을 각각 구하면

다음과 같다.

$$P_1 = \frac{S_1 - S_2}{S_1 - S_4} = \frac{\cos \theta - \cos(\theta + \frac{\pi}{2})}{\cos \theta - \cos(\theta + \frac{3\pi}{2})} \dots (13)$$

$$P_1 = \tan(\theta + \frac{\pi}{4}) \dots (14)$$

$$P_3 = \frac{S_3 - S_4}{S_3 - S_2} = \frac{\cos(\theta + \pi) - \cos(\theta + \frac{3\pi}{2})}{\cos(\theta + \pi) - \cos(\theta + \frac{\pi}{2})} \dots (15)$$

$$P_3 = \tan(\theta + \frac{\pi}{4}) \dots (16)$$

$$P_2 = \frac{S_2 - S_3}{S_2 - S_1} = \frac{\cos(\theta + \frac{\pi}{2}) - \cos(\theta + \pi)}{\cos(\theta + \frac{\pi}{2}) - \cos \theta} \dots (17)$$

$$P_2 = -\cot(\theta + \frac{\pi}{4}) \dots (18)$$

$$P_4 = \frac{S_4 - S_1}{S_4 - S_3} = \frac{\cos(\theta + \frac{3\pi}{2}) - \cos \theta}{\cos(\theta + \frac{3\pi}{2}) - \cos(\theta + \frac{\pi}{2})} \dots (19)$$

$$P_4 = -\cot(\theta + \frac{\pi}{4}) \dots (20)$$

그림 3과 4의 그래프로부터 알 수 있듯이 식(14), (16), (18), (20)을 이용하여 각각 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub> 신호값을 측정하여 이에 대응되는 방위각으로 변환할 수 있다.

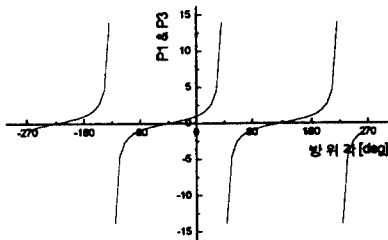


그림 3. 방위각에 따른 P<sub>1</sub>과 P<sub>3</sub>의 신호값

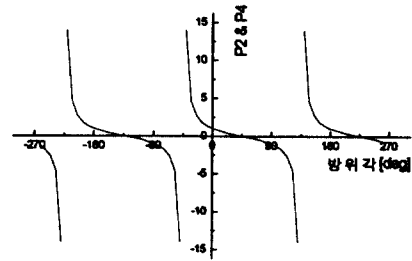


그림 4. 방위각에 따른 P<sub>2</sub>와 P<sub>4</sub>의 신호값

그러나 그림 3 또는 4를 이용하여 방위각을 구할 때는 다음과 같은 두 가지 문제점이 발생한다.

- (1) 방위각이 각각  $-\frac{3\pi}{4}, \frac{\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \dots$ 가 되는 지점에서는 P값이  $\pm\infty$ 가 되므로, 각도측정이 불가능하다.
- (2) 한 개의 P값이 두 개의 방위각도(즉,  $\theta$ 와  $\theta + \pi$ )에 대응된다.

이와 같은 문제점의 해결책은 식 (14)와 (16)으로부터 다음과 같이 P값을 계산하여 결과값이 1보다 큰가 작은가를 판별한 후 각각 (a), (b)와 같이 방위각으로 변환할 수 있다.

$$P = \frac{P_1 + P_3}{2} \dots (21)$$

(a)  $|P| < 1$ 인 경우;

$$\theta = \tan^{-1} P - \frac{\pi}{4} \dots (22)$$

(b)  $|P| > 1$ 인 경우;

식 (18)과 (20)로부터

$$P_1' = \frac{S_1 - S_2}{S_1 - S_4} = \cot(\theta + \frac{\pi}{4}) = \frac{1}{P_1} \dots (23)$$

$$P_3' = \frac{S_3 - S_4}{S_3 - S_2} = \cot(\theta + \frac{\pi}{4}) = \frac{1}{P_3} \dots (24)$$

$$P' = \frac{P_1' + P_2'}{2} \dots\dots\dots (25)$$

$$\theta = \tan^{-1} P' - \frac{\pi}{4} \dots\dots\dots (26)$$

문제점을 보완한 후의 그래프를 그림 5에 나타내었다. FOG센서의 출력신호로 P값을 계산 후 앞에서 언급한 바와 같은 문제점이 없이 방위각으로 변환될 수 있음을 알 수 있다.

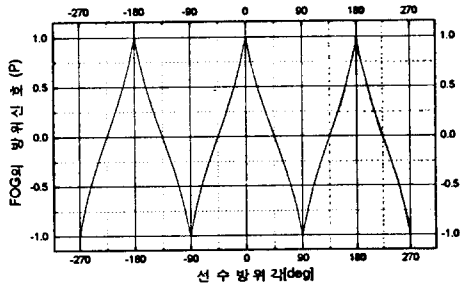


그림 5. 방위각에 따른 FOG의 방위신호

한편,  $\theta = 45^\circ$  에서  $|S_1| = |S_2| = |S_3|$  이므로

$$P = \frac{0}{2S_1} \text{가 된다.}$$

그러나, 잡음으로 인한 잡음회전을  $\Delta\Omega$ 는 잡음신호  $\Delta S$ 를 일으키며, 이 잡음신호에 의한 P에러 값은

$$\Delta P = \frac{\Delta S}{2(S_1 + \Delta S)} \approx \frac{\Delta S}{2S_1} \dots\dots\dots (27)$$

가 된다. 또한 FOG의 감도축이 남북으로 놓일 때, 최대신호를 얻으므로

$$S_{MAX} \propto \Omega_e \cos \phi_L \dots\dots\dots (28)$$

가 되며, 여기서  $\Omega_e$ 는 지구자전 각속도이고,  $\phi_L$ 은 위도를 나타낸다. 그리고 임의의 선수방향인 제1방향에서의 FOG출력값  $S_1$ 은

$$S_1 = S_{MAX} \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) = \frac{S_{MAX}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (29)$$

이므로 P에러 값은

$$\Delta P = \frac{\Delta S}{2S_1} = \frac{\Delta S}{\sqrt{2}S_{MAX}} = \frac{\Delta\Omega}{\sqrt{2}\Omega_e \cos \phi_L} \dots\dots\dots (30)$$

로 나타낼 수 있다. 한편으로 식(10)으로부터

$$\frac{dP}{d\theta} = 1 + P^2 \dots\dots\dots (31)$$

가 됨을 알 수 있고, P에러 값에 대응되는 각도에러는

$$\Delta\theta = \frac{\Delta P}{1 + P^2} \dots\dots\dots (32)$$

가 된다. 그러므로  $\theta = \frac{\pi}{4}$  일 때,  $P = 0$  이기 때문에  $\Delta\theta = \Delta P$ 이다. 따라서 시스템의 잡음신호에 따른 각도에러는

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\Omega}{\sqrt{2}\Omega_e \cos \phi_L} \dots\dots\dots (33)$$

가 된다.

또한 다음과 같이 이론적인 최적적분시간을 추정해 볼 수 있다. 정도는 적분시간의 제공근에 따라 개선된다. 그러나, FOG의 drift에 의해 한계가 있다. drift를  $\Omega_D$  °/hr라하고, 잡음회전율을  $\Delta\Omega$  °/hr/ $\sqrt{Hz}$  =  $\Omega_N$  °/ $\sqrt{hr}$ 라 하면

$$\Omega_N \sqrt{t} = \Omega_D t \dots\dots\dots (34)$$

가 되며, 여기서 t는 적분시간[hr]이다. 이것을 정리하면

$$t^{\frac{1}{2}} = \frac{\Omega_N}{\Omega_D} \dots\dots\dots (35)$$

가 되며, 따라서 이상적으로 볼 때 drift 한계까지 정도를 개선할 수 있는 적분시간을 최적적분시간이라고 정의하면 최적적분시간은

$$t^{\frac{1}{2}} = \frac{\Omega_N}{\Omega_D} \dots\dots\dots (36)$$

가 된다. <표 1>에서와 같이 본 연구에서 사용된 FOG센서의 잡음은  $\Omega_N = 0.4 \text{ deg/hr}/\sqrt{Hz}$ 이고, drift는  $\Omega_D = 0.5 \text{ deg/hr}$ 이므로 이론적인 최적적분

시간은 0.64초이다.

### 3. 정적방식 광섬유 자이로콤파스의 제작

본 연구에 사용된 FOG센서는 러시아 Fizoptika 사에 의뢰하여 주문 제작하였으며 특성을 <표 1>에 나타내었다. 여기서 scale factor, noise와 long term bias stability (또는 drift)는 FOG센서의 응용에 있어서 제일 먼저 고려되어야 할 가장 중요한 특성이다. scale factor란 입력되는 회전각속도에 비례하여 출력되는 전압값을 나타내며 이센서의 scale factor는 210mV/deg/sec이므로 지구자전속도인 0.0042deg/sec가 입력되면 출력신호는 약 0.87mV가 검출된다. 실험실의 위도는 35° 이므로 센서에 입력되는 자전속도는 약 0.0034deg/sec이며 센서의 최대 출력신호는 약 0.715mV가 검출된다. 센서의 고유잡음특성은 고주파잡음인 랜덤노이즈와 long term bias stability 또는 drift라고도 하는 아주 느린 주기의 저주파잡음이 있다. 랜덤노이즈는 센서의 분해능을 결정하며, drift는 장시간 항해하는 선박의 관성항법용 콤파스에 있어서는 가장 중요한 특성이라 할 수 있다. 그림 6은 광섬유 자이로콤파스의 전체구성도를 나타낸다. 지구자전속도를 검출할 수 있는 고감도의 FOG센서를 회전테이블 위에 장착하였고 회전테이블은 Intel 8051프로세서로 구성된 신호처리기의 모터제어부에 의해 스텝모터로 구동된다. FOG센서의 신호는 증폭된 후 신호처리기 내의 12비트 A/D변환부를 거쳐 RS232C를 통하여 PC로 입력되며 PC에서 소프트웨어로 구성된 각도변환 알고리즘에 의해 선수각으로 변환되어 모니터에 표시된다. 그림 7은 선수각을 결정하기 위한 알고리즘의 흐름도를 나타낸다. 선수방향을 포함한 네방향에서의 FOG센서의 출력신호값을 측정하기 위하여 변수  $i$ 를 초기화하고  $i$ 위치로 회전테이블을 회전시킨 후  $t$ 시간 동안 FOG센서로부터 출력신호를 측정하여 배열  $Dat[i]$ 에 저장한다. 각각 네방향에서의 출력신호값을 측정하기 위하여  $i$ 를 증가시켜 4가 될 때까지 루프를 돌린 후 (13), (15), (21)식을 각각 이용하여  $P$ 값을 구한다. FOG의 출력신호값을 방위각으로 변환할

때의 두 가지 문제점 중에서 문제점(1)을 해결하기 위하여  $P$ 값이  $|P| < 1$  인지를 비교한 후  $|P| > 1$  인 경우에는 (18), (20), (25)식을 이용하여 출력신호값을 각도로 변환한다. 이 때 FOG출력 신호값을 방위각으로 변환할 때의 두 가지 문제점 중에서 문제점(2)가 발생했는가를 확인하기 위하여 S2 신호값이 0보다 큰가를 비교하여 0° ~ 360° 이내의 각도 값으로 변환한다. 그리고 나서 변환된 각도 값을 출력한다. 그림 8은 구성된 정적방식 광섬유 자이로콤파스의 외형을 나타낸다. 총20회를 측정하여 얻은 방위각은 <표 2>와 같으며, 이것의 그래프를 그림 9에 나타내었다. 그래프로부터 알 수 있듯이 선수방위각은  $1^\circ \pm 0.29^\circ$  를 나타낸다. 시스템의 정도는 0.29° 의 자승평균오차를 얻었다.

<표 1> 정적방식 광자이로콤파스용 FOG의 특성

| 분 류                          | 특 성                     |
|------------------------------|-------------------------|
| 크 기                          | 140×150×80 mm           |
| 무 게                          | 1500g                   |
| power consumption            | 15V (35mA), +5V (110mA) |
| Scale factor                 | 210mV / deg/h           |
| noise(1σ)                    | 0.4deg/hr/√Hz           |
| long term bias stability(1σ) | 0.5deg/hr               |
| bandwidth                    | 3Hz                     |

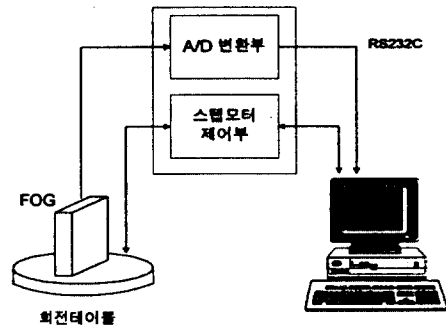


그림 6. 정적방식 광자이로콤파스의 구성도

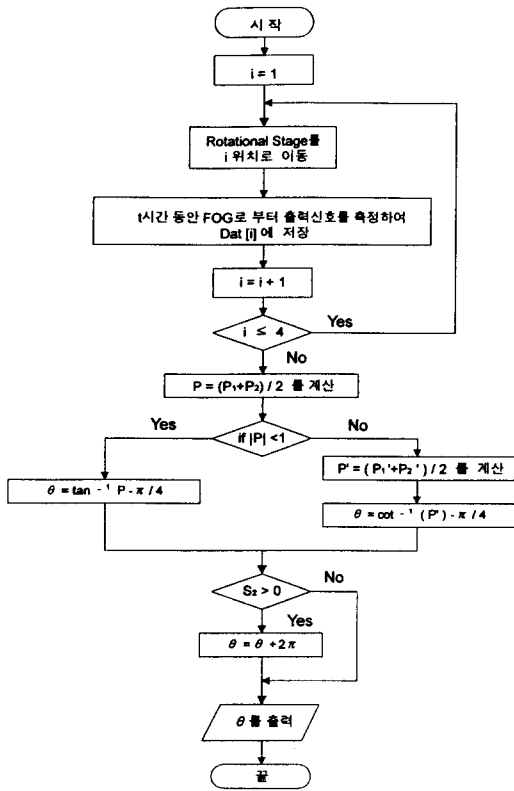


그림 7. 선수각을 결정하기 위한 알고리즘의 흐름도

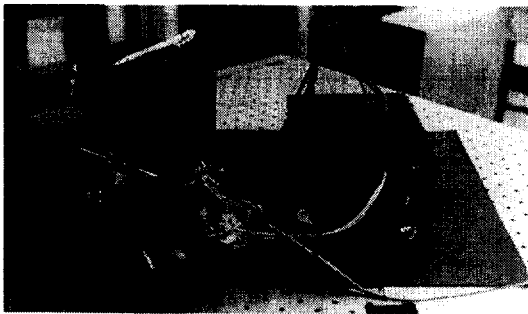


그림 8. 정적방식 광섬유 자이로콤파스의 외형사진

Mean(Y)=1.0935  
 sd(yEr)=0.28994  
 se(yEr)=0.06483  
 Sum=21.87  
 N=20

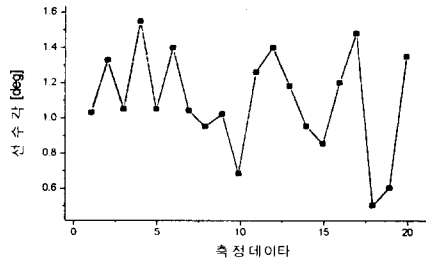


그림 9. 선수각의 정도 측정실험

#### 4. 결 론

분해능 0.5 deg/hr인 고성능 FOG센서를 사용하여 정적방식 광섬유 자이로콤파스를 제작하였다. 총 20회 방위각을 측정하여 시스템 정도 0.29° 를 얻었다. 이 시스템의 장점은 slip ring이 필요 없고, 기계적인 구조가 간단한 반면에 단점은 정지상태에서 신호를 측정하므로 잡음과 drift가 적은 고성능 FOG센서를 사용하여야 하고 기계적 진동이나 충격에 의한 잡음이 시스템 정도에 직접적으로 영향을 주므로 동적인 항행체보다는 측지용 콤파스 분야에 적합하다. 만약 선박과 같은 동적인 항행체에 응용하고자 할 때에는 고도로 정밀하게 안정화시켜 줄 수 있는 안정화제어기가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 이석정, 배정철, 홍창희, "광섬유 자이로스코프

〈표 2〉 측정한 방위각의 데이터

|     |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |     |      |      |      |     |      |     |     |      |
|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| No. | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13   | 14   | 15   | 16  | 17   | 18  | 19  | 20   |
| 측정값 | 1.03 | 1.33 | 1.05 | 1.55 | 1.05 | 1.4 | 1.04 | 0.95 | 1.02 | 0.68 | 1.26 | 1.4 | 1.18 | 0.95 | 0.85 | 1.2 | 1.48 | 0.5 | 0.6 | 1.35 |



- (1)"-기술해설, 항해학회지 제18권 제4호, p.171~p.178, 1994.
- (2) H. Kajioka et al, "Fiber Optic Gyro productization at Hitachi", proceedings of Fiber Optic Gyros: 15th Anniversary Conference, SPIE vol. 1585, 1991.
- (3) Hervé Lefèvre, "The Fiber Optic Gyroscope", Artech House, Inc, 1993, p.1~p.2.
- (4) H. Soekawa et al, "Fiber Optic Gyroscope for Vehicle Navigation System", 日立電線 No. 13, p.1~p.6.
- (5) 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.
- (6) T. Kumagai et.al, "Development of an optical

gyrocompass using a high-sensitivity fiber optic gyroscope", proceedings of Fiber Optic and Laser Sensors X SPIE vol. 1795, p.105~p.117, 1992.

### 감사의 글

본 연구는 중기거점 선박용 항해·통신장비 개발과제의 일환으로 통상산업부의 지원에 의하여 수행되었습니다.

러시아 세인트 피터스버그 통신주립대의 B. E. Strigalev, I. A. Matisov, B. A. Nicolaev교수의 기술지원에 감사하며, 해군사관학교 김성진, 이상식, 권용수교수님의 협력연구 및 삼양무선공업(주) 임건사장님의 재정지원과 부설 선박자동화연구소의 배정철소장님을 비롯하여 김재관부장님, 최우진씨와 이병창씨의 도움에 대해 감사드립니다.