

광섬유 자이로컴파스의 제작에 관한 연구

이석정*, 홍창희**

A Study on the Fabrication of a Fiber Optic Gyrocompass

Seok-Jeong Lee, Tchang-Hee Hong

Abstract

In this paper two kinds of fiber optic gyrocompasses, i.e. a static and a dynamic scheme, have been proposed and made, and their performance were evaluated. It was found from this study that the dynamic scheme can be used by a lower cost sensor than the static scheme's. Therefore this paper shows contrary to our common thoughts that the fiber optic gyrocompass for ships is possible to be made inexpensive.

The static fiber optic gyrocompass system was made using a high performance fiber optic sensor having a scale factor of 210mV/deg/s and a resolution of 0.5deg/hr. The accuracy of this system was 0.29°.

Three kinds of fiber optic gyrocompasses were made by using the dynamic scheme. First one is a north seeking type and has a follow-up controller for showing the north direction. Its signal processing unit consists of only hardware electronic circuits. However, this system has the disadvantage of a complex mechanical structure. Second one is a heading angle display type and has a heading angle displayer instead of a follow-up controller. Its signal processing part consists of two lock-in amplifiers in 90° phase difference and a software algorithm for compensating the signal distortion due to environmental noises such as mechanical vibration. But the complicated electronics is the disadvantage of this system. Third one is also a heading angle display type. Its signal processing part consists of a simple electronic circuit and a software algorithm replacing most electronics such as a lock-in amplifier. The scale factor and the noise of its sensor were 267mV/deg/s and $2 \text{ deg/hr}/\sqrt{\text{Hz}}$ (1σ), respectively. We measured the heading angles in each direction of 45° successive rotation to evaluate the accuracy of this system and the root mean square error in this case was 0.5°.

In general we can not get an instant heading angle from the above fiber optic gyrocompass. However, this problem can be solved if we use a rate integrating gyro with a gyrocompass.

* 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정 광시스템 전공

**한국해양대학교 전자통신공학과 교수

The rate integrating gyro was improved by combining with GPS. The fiber optic gyrocompass can be more reliable system if it was combined with the rate integrating gyro using a FOG and GPS.

The fiber optic gyrocompass system abovementioned can be practically used on ships if it was installed on a stabilizer against the dynamic motion such as rolling and pitching.

제1장 서론

현재 선박에 사용되어오고 있는 기계식 자이로콤파스는 뺑이의 회전에 의한 세차 운동을 이용한 것으로서 고속의 회전부가 필요하므로 구조가 복잡하고 고장의 가능성이 많다. 또한 기동시간이 길고, 가격이 비싼 것이 단점이다. 본 연구에서는 각속도를 측정할 수 있는 광학센서의 일종인 광섬유 자이로스코프(Fiber Optic Gyroscope: FOG)를 이용하여 지구 자전 각속도를 측정함으로써 진북 방향을 찾는 광섬유 자이로콤파스를 구성하였다. 이것은 고속의 회전이 없으므로 이전의 기계식 자이로콤파스 시스템에 비하여 크기, 소모 전력, 비용의 효율성 측면에서 유리하다.

FOG 센서를 이용한 광섬유 자이로콤파스의 경우는 이미 일본의 히타치, 미국의 리튼, 앤드류사에서 각각 시작품을 개발하였으며, 미국의 하니웰에서는 항공기용으로 개발하여 도니어 328기와 보잉 777기에 이용되고 있다¹⁾. 그러나 아직은 세계적으로 선박용 광섬유 자이로콤파스가 상품화된 예는 없다. 또한 FOG를 이용하여 진북을 측정하는 기본적인 원리는 여러 가지 방식이 제안되어 알려져 있으나²⁾ 제작에 관한 구체적인 내용은 상품화 등의 이유로 알려져 있지 않으며, 국내에서는 제작된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 독자적으로 여러 가지 방법을 시도하여 연구하였다.

본 연구에서는 광섬유 자이로콤파스 시스템을 제작하기 위한 기초 연구로서 광섬유 자이로콤파스의 센서인 각종 FOG의 특성을 측정 및 분석하였다.

정적 방식은 Dyott와 Allen이 제안한 방법³⁾을 개선하여 정확한 위치 제어를 할 수 있는 스테핑모터를 이용하였다. 또한 알고리즘에서 방위 측정이 불가능한 사각 지점이 생기는 것과 한 개의 측정값이 두 개의 방위각에 대응되는 오류를 수정하여 개선된 알고리즘을 제안하였고, 이를 이용하여 정적 방식 광섬유 자이로콤파스를 제작하여 보았다⁴⁾.

동적 방식은 각각 3종류의 광섬유 자이로콤파스를 제작하여 보았다. Type I 기종(구분하기 위하여 편의상 임의로 명명함)에서는 FOG센서의 출력 신호를 하드웨어적으로 신호 처리하며, 항상 진북을 가리키도록 하는 진북추종부가 있다. 따라서 전자회로와 기계적 구조가 복잡하다. Type II 기종부터는 신호 처리된 방위 신호를 바로 선수 방위각으로 변환하여 컴퓨터의 모니터에 표시하게 하는 선수방위 표시형으로 제작하였다. 이렇게 하므로써 추종부가 필요없으므로 기계적 구조가 보다 간단해 질 수 있었다. 그리고 두 개의 Lock-in Amp를 사용한 신호 처리 회로와 알고리즘을 이용하여 기계적 진동에 의한 신호 왜곡을 보상할 수 있게 하였다. 그러나 전자회로가 복잡한 단점이 있다. 한편, 경제성을 고려하여 센싱 루프 반경을 크게 하여 감도를 높일 수 있게 주문 제작된 증저가 FOG 센서를 사용하여 보다 개선된 Type III 기종을 제작하였다. 기계적 구조를 단순화 하였고, 복잡한 신호 처리 회로를 소프트웨어화 하여 전자회로를 단순화 하였다. 이렇게 하여 정도와 응답 시간을 크게 개선할 수 있었다. 본 연구에서 정적 방식과 동적 방식의 Type I 및 Type II는 러시아의 St. Petersburg 통신 주립 대학교의 기술 자문을 받아 제작되었으며⁵⁾, Type III는 독자적으로 연구 제작되었다.

일반적으로 광섬유 자이로콤파스에서는 순시적인 선수 방위각을 얻을 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 광섬유 자이로콤파스의 연구와 병행하여 각속도 적분 자이로를 연구하였다. 각속도 적분 자이로에 사용되는 FOG와 GPS는 저가이므로 광섬유 자이로콤파스와 복합 시스템으로 구성한다면 순시적인 선수 방위각을 얻을 수 있는 신뢰성 있는 시스템이 될 수 있다.

본 연구는 Roll과 Pitch운동과 같은 외란이 없는 정적 환경 조건하에서 제작 및 성능 실험을 하였으며, 실제 항행체에 탑재하기 위해서는 Roll이나 Pitch 운동과 같은 외란이 광섬유 자이로콤파스에 입력되지 않도록 안정화시켜줄 수 있는 안정화 제어가 필요하다.

제2장 FOG의 각속도 및 진북 측정 원리

회전량 Ω 에 비례하여 광로차 ΔL 을 발생하는 Sagnac 효과에 기초한 FOG의 동작 특성을 살펴 보면 그림 2.1과 같이 대부분의 FOG의 내부에는 원통 구조의 외형과 대칭으로 광섬유 센싱 코일이 들어있으며 센싱 코일에 수직인 z축을 회전축으로 회전을 시켰을 때에만 회전 각속도가 감지된다. 이 성질을 잘 응용하면 지구의 자전 각속도를 측정하여 방위를 표시하는 콤파스를 제작할 수 있다.

이제 FOG를 이용하여 진북을 측정하기 위하여 적도상에 수직으로 세워 그림 2.2의 ①과 같이 놓는다. 이 경우는 그림 2.1에서 z축 주위로 회전하는 경우와 같기 때문에 지구의 자전 각속도를 최대로 검출하므로 (+)최대 전압을 얻을 수 있다. 이때 광섬유 센싱 코일면에 수직인 방향을 가리키는 축을 방위축이라고 정의하자. 그러면 Fig. 2.2의 ①에서는 방위축이 북방향을 가리키며, 출력 전압은 최대값을 얻게 된다. 다음은 시계 방향으로 90° 를 회전시켜 ②와 같이 놓았을 때 방위축은 서쪽을 가리키며 출력 전압은 0이 검출된다. 또다시 시계 방향으로 90° 를 회전시켜 ③과 같이 놓았을 때 방위축은 남쪽을 가리키며 출력 전압은 최소값이 검출된다. 한번 더 시계 방향으로 90° 를 회전시켜 ④와 같이 놓았을 때 방위축은 동쪽을 가리키며 출력 전압은 ②의 경우와 마찬가지로 0이 검출된다. 따라서 ①~④의 과정을 단계적으로 반복하면 그림 2.3과 같은 출력 파형을 얻을 수 있다. 따라서 만일 FOG를 연속적으로 정속 회전을 시켰을 때는 그림 2.4와 같이 사인 파형의 출력 전압을 얻을 수가 있다.

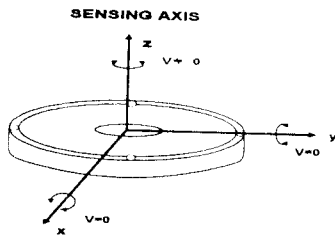


그림 2.1 FOG의 동작 특성

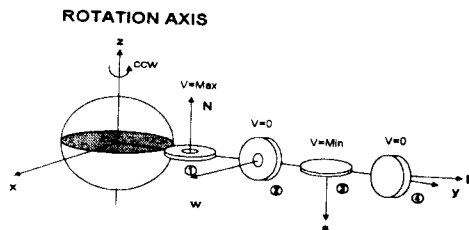


그림 2.2 FOG를 이용한 진북 측정의 개념도

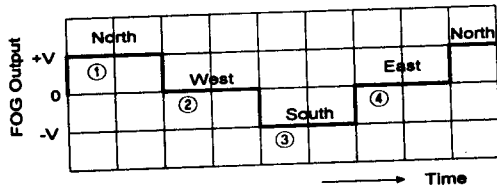


그림 2.3 각방위에 대한 FOG의 출력파형

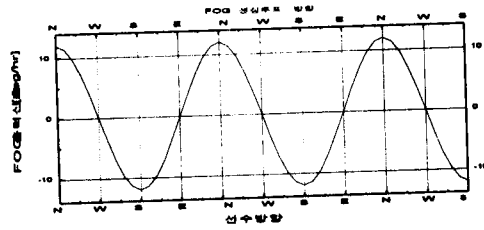


그림 2.4 FOG의 지구 자전 각속도 검출신호

이 사인파 신호의 위상은 진북 방향에 대한 선수 방위각을 나타내며 크기는 FOG 센서가 위치한 지구상의 위도와 관계가 있다.

FOG 센서를 이용하여 진북을 찾는 원리는 크게 나누어 정적 방식과 동적 방식의 두 가지 방식이 제안되어 알려져 있다. 정적 방식은 그림 2.2에서 설명한 바와 같이 FOG 센서가 특정 방향에 대하여 정지한 상태에서 측정된 출력 신호를 처리하여 진북을 찾는 방식으로서 회전체에서 외부로 신호를 전달하는 slip ring이 필요 없고 구조가 간단하다. 그러나 이 방식은 FOG 센서가 정지한 상태에서 얻은 신호를 처리하여 방위각을 얻기 때문에 잡음 특성이 좋은 고성능 센서가 필요하고 선박에 응용하기 위해서는 고도로 정밀한 안정화 제어가 필요하다. 반면에 동적 방식은 그림 2.4에서 설명한 바와 같이 센서가 연속적으로 회전하는 동안에 측정된 출력신호를 처리하여 진북을 찾는 방식으로서 slip ring이 필요하고 구조가 복잡한 반면 모든 방향에서의 신호를 처리하기 때문에 중저가 센서를 이용한 경제적인 광섬유 자이로콤파스를 구성하는 것이 가능하다.⁽⁶⁾

제3장 FOG의 특성 분석

본 연구에서는 확보된 각종 FOG센서의 스케일 팩터를 측정 및 분석하였다.

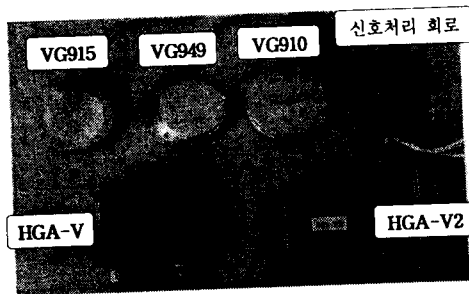


그림 3.1 실험에 사용된 각종 FOG



그림 3.2 FOG의 스케일 팩터 측정실험

실험에 사용한 기종은 그림 3.1과 같다. FOG의 특성인 스케일 팩터를 측정하기 위하여 0.0008 9° /sec 에서부터 13.59° /sec 까지의 범위 내에서 여러 가지의 특정 각속도를 가지는 회전 플랫폼

을 제작하였다. 그림 3.2는 구성된 실험 장치를 나타낸다. 이것을 이용하여 러시아 Fizoptika사 제품인 FOG 센서 VG910, VG915, VG949 기종과 일본 Hitachi사 제품인 HGA-V, HGA-V2 기종의 스케일 팩터를 측정하여 각각 30.68, 48, 17.8mV/deg/sec와 16.2, 12.2mV/deg/sec의 값을 얻었다. Fig. 3-3은 측정그래프의 한 예를 보여준다. 그림에서 각각 x축은 입력 각속도를 나타내며 y축은 출력 전압을 나타낸다.

FOG가 지구 자전 각속도를 검출할 수 있는 센서인지 아닌지를 판단하는 가장 간단한 방법은 센서를 지표상에 수평으로 놓고 출력값을 측정한 후 다시 센서를 뒤집어서 수평으로 놓고 출력값을 측정하였을 때 이 두 값의 차는 다음과 같다.

$$\Delta U = 2K\Omega_E \sin \theta_L \tag{3-2}$$

여기서 K는 FOG의 스케일 팩터, Ω_E 는 지구 자전 각속도, θ_L 은 위도를 나타낸다.

그림 3.4는 VG910의 새 모델로서 이전 기종과는 달리 내부 회로형인 #404 기종의 출력신호를 약 1000배 증폭하여 수평으로 놓았을 때와 뒤집어서 놓았을 때의 출력 신호차를 측정한 그래프를 나타낸다. 이 기종의 스케일 팩터는 약 40mV/deg/sec로서 위 식을 사용하여 출력 신호값의 차 ΔU 를 계산해 보면 약 0.193mV이다. 이 값을 1000배 하면 약 200mV로서 측정치와 거의 일치함을 볼 수 있다. 따라서 이 기종은 지구 자전 각속도를 검출할 수 있는 센서이다. 원래 VG910의 규격에는 분해능이 0.005°/sec로서 지구 자전 각속도를 검출할 수 없는 센서이나 제조 과정에서 광학부의 조립이 손실이 작게 이루어지면 이 기종의 경우와 같이 지구 자전 각속도를 검출할 수 있는 경우도 간혹 있다.

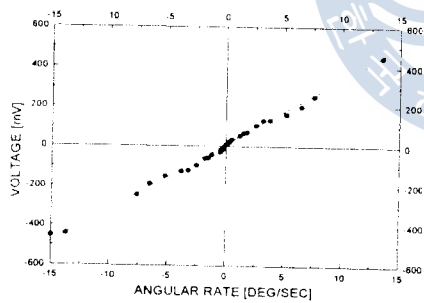


그림 3.3 VG910 기종의 스케일팩터 측정그래프

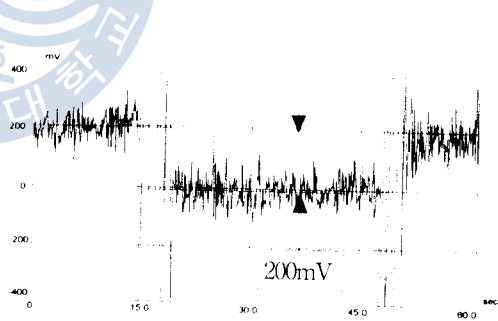


그림 3.4 VG910(#404)기종의 지구 자전 각속도 측정 그래프

제4장 정적 방식 광섬유 자이로콤파스

제2장의 그림 2.2에서 FOG센서의 출력신호는 편위상

$$S = a \cos \theta + k \tag{4-1}$$

표현할 수도 있으며, 여기서 S는 FOG 센서의 출력 신호로서 전압값으로 측정되고, 미지수는 a, θ , k로서 각각 a는 FOG의 스케일 팩터, θ 는 진북에 대해 측정하고자 하는 선수각, k는 offset을

나타낸다. 따라서 θ 값을 구하기 위해서는 (4-1)식이 3개의 미지수를 가지고 있기 때문에 3개의 방정식을 만들고 서로 연립시켜서 3원 연립방정식을 풀어서 θ 값을 구할 수가 있다. 3개의 연립 방정식을 만드는 방법은 정지 상태에서 세 방향에 대한 FOG의 출력값을 측정하고 측정결과를 방정식으로 만들어 구하면 진복을 찾을 수가 있다. 이것이 정적방식 광섬유 자이로컴파스에서 선수방위각을 구하는 기본원리이다.

본 연구에 사용된 FOG 센서는 러시아 Fizoptika사에 의뢰하여 주문 제작하였다. 이 센서의 스케일 팩터는 210mV/deg/sec 이므로 지구 자전 각속도인 0.0042deg/sec 가 입력되면 출력 신호는 약 0.87mV 가 검출된다. 실험실의 위도는 35° 이므로 센서에 입력되는 지구 자전 각속도의 위도에 대한 정사영 성분은 약 0.0034deg/sec 이며 센서의 최대 출력 신호는 약 0.715mV 가 검출된다. 그림 4.1은 광섬유 자이로컴파스의 전체 구성도를 나타낸다. 지구 자전 각속도를 검출할 수 있는 고감도의 FOG 센서를 회전 테이블 위에 장착하였고 회전 테이블은 Intel 8051프로세서로 구성된 신호처리기의 모터 제어부에 의해 스텝 모터로 구동된다. FOG 센서의 신호는 증폭된 후 신호처리기 내의 12비트 A/D변환부를 거쳐 RS232C를 통하여 PC로 입력되며 PC에서 소프트웨어로 구성된 각도 변환 알고리즘에 의해 선수각으로 변환되어 모니터에 표시된다. 그림 4.2는 구성된 정적 방식 광섬유 자이로컴파스의 외형을 나타낸다.

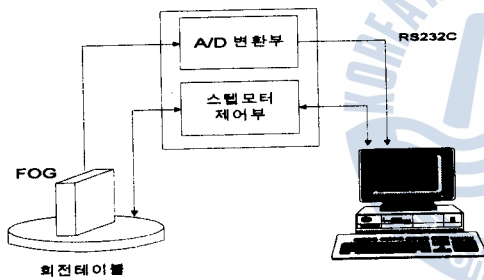


그림 4.1 정적방식의 구성도



그림 4.2 정적방식의 외형사진

제작된 정적 방식 자이로컴파스의 성능을 테스트하기 위하여 임의의 방향에 대한 선수 방위각을 측정하여 보았다. 한 방향에서 약 5초간 센서의 출력 신호를 샘플링하여 평균을 취하며 각각 네 방향에서의 출력 신호를 측정하여 1개의 선수 방위각을 얻는다. 총 20회를 측정하여 얻은 그래프를 그림 4.9에 나타내었다. 그래프로부터 알 수 있듯이 선수 방위각은 $1^\circ \pm 0.29^\circ$ 를 나타낸다. 시스템의 정도는 0.29° 의 자승 평균 오차를 얻었다.

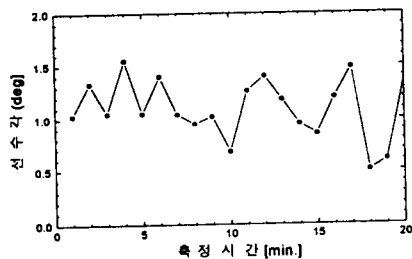


그림 4.7 선수각의 정도 측정 실험

제5장 동적 방식 광섬유 자이로컴파스

그림 5.1은 동적 방식 신호 처리 과정을 블록도로 나타내었다. FOG의 출력단에서 나오는 신호는 그림 5.2와 같이 여러 가지 잡음을 포함하고 있다. 따라서 원하는 출력 신호의 주파수와 다른 주파수 대역의 잡음 성분을 제거하기 위하여 정속 회전 주파수를 중심 주파수로 하는 대역통과필터(BPF)를 통과시킨다. BPF 후의 출력 신호는 그림 5.3과 같다. 그러나 원하는 출력 신호와 주파수가 동일한 잡음신호는 여전히 포함되므로 이 잡음을 소거하기 위해 로크인 증폭기를 통과시켜 BPF 출력 신호와 기준 신호를 곱한 후 저역통과필터(LPF)를 통과시킴으로써 시간 평균하여 DC 신호로 변환시킨다. 그림 5.4는 LED-PD interrupter에서 로크인 증폭기로 입력되는 기준 신호를 보여준다. 그림 5.5는 로크인 증폭기를 통과시킨 후의 출력 신호를 나타내며 그림 5.5의 신호와 그림 5.6의 신호를 곱한 후의 신호이다. 이 신호가 LPF 후에 적분되어 DC신호로 나타난다. 그림 5.8은 LPF 후의 시간 평균된 DC 신호를 나타낸다. 이 신호의 크기가 진북과 선수 방향과의 위상차를 나타낸다. 따라서 그림 5.9의 (a)와 같이 이 신호가 항상 0이 되도록 피드백(feedback) 제어하여 항상 바늘이 진북을 가리키도록 하는 방식을 진북 추종형이라 한다. 한편 그림 5.9의 (b)와 같이 진북 추종을 할 필요 없이, 이 신호의 크기를 그대로 방위각으로 변환하면 바로 선수 방위각을 정확하게 알 수 있다. 이와 같이 선수 방위각을 온라인으로 바로 표시해 주는 것을 선수 방위 표시형이라 한다.

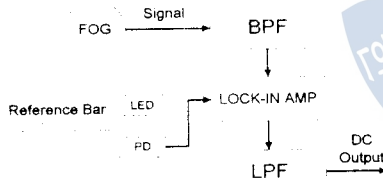


그림 5.1 동적방식의 신호처리 과정

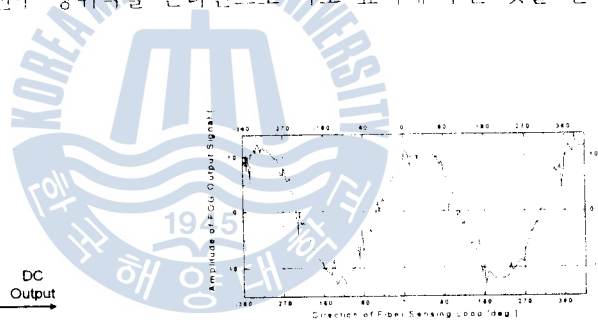


그림 5.2 FOG의 출력 신호 형태

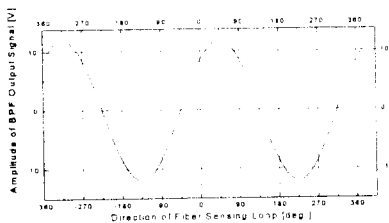


그림 5.3 BPF후의 신호 형태

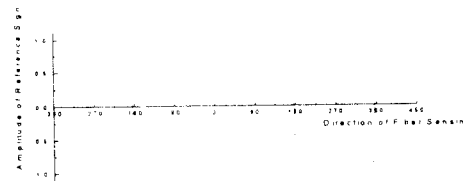


그림 5.4 기준 신호 형태

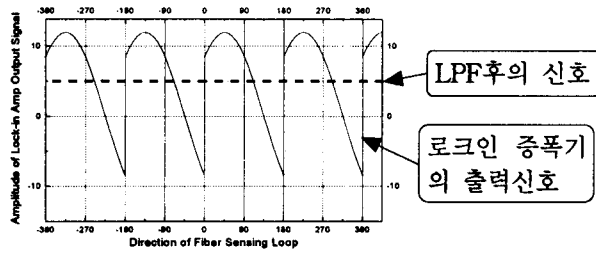


그림 5.5 시간평균된 신호 형태

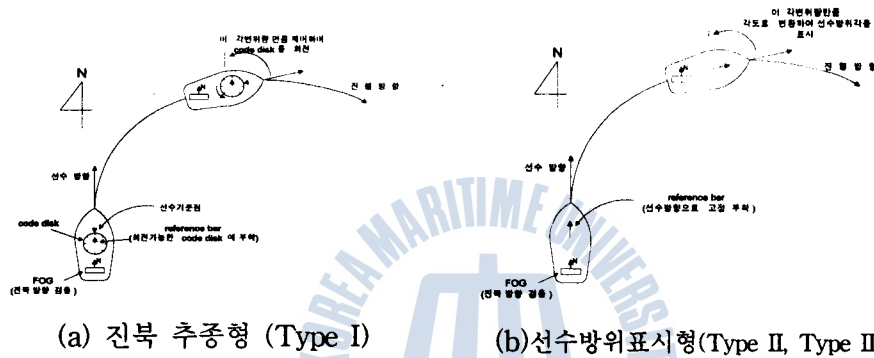


그림 5.6 진북 추종형과 선수방위 표시형의 개념도

5.1 Type I(진북추종형) 광섬유 자이로콤파스

Type I 기종은 기본적인 신호처리 방법을 사용하여 제작되었다. 그림 5.7은 Type I 기종의 구성도를 나타낸다. 정속 회전하고 있는 슬릿 디스크 상에 수직으로 설치된 FOG 센서의 출력 신호는 앞서 기술한 신호 처리 과정을 거친다. 최종적으로 신호 처리된 신호값은 진북과 선수 방향과의 위상차에 해당하는 방위 신호로서 전압값으로 측정된다. 즉, 이것은 진북에 대하여 선수가 상대적으로 얼마만큼 회전해 있는가를 나타낸다. Type I 기종에서는 이러한 방위 신호값 만큼을 되먹임(feedback) 제어하여 시스템 상단부에 부착되어 있는 두 개의 진북 추종용 DC 모터를 구동하여 0° 에서부터 360° 까지 표시되어 있는 코드 디스크의 0° 지점이 항상 진북을 향하도록 하였다. 그러므로 시스템의 선수 방향에 표시된 기준점이 가리키는 각도를 읽으므로써 선수각을 알 수 있다. 그림 5.8은 제작된 Type I 기종의 외형을 보여준다. 그림 5.9는 Type I 기종의 블록도를 나타낸다.

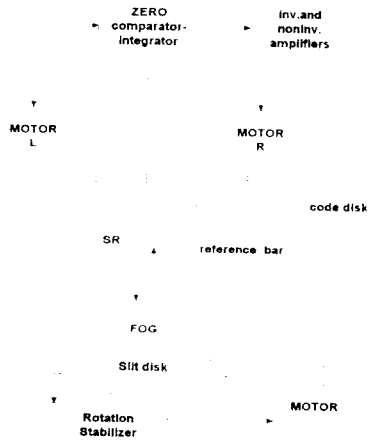


그림 5.7 Type I의 구성도

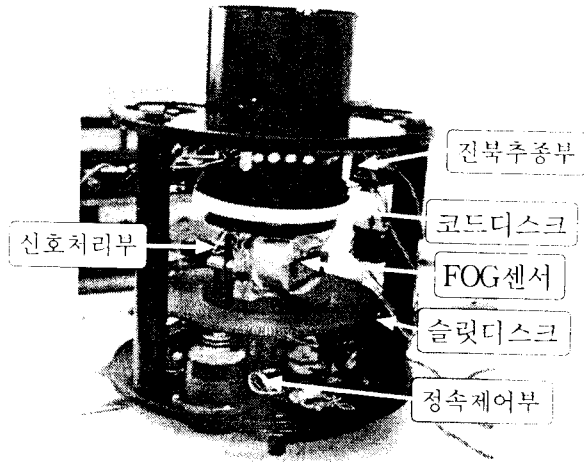


그림 5.8 Type I의 외형

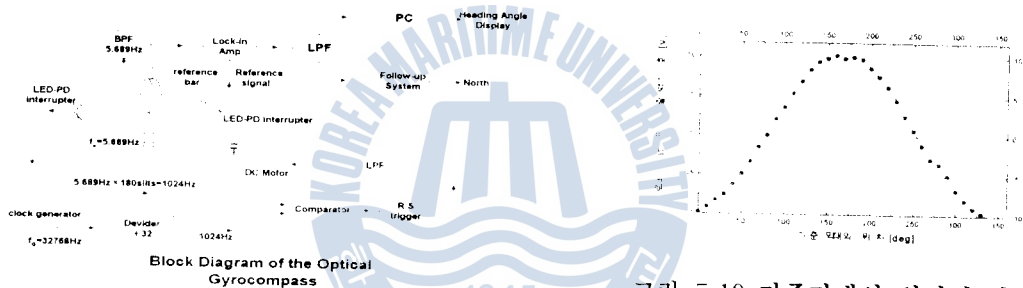


그림 5.9 Type I의 블록도

그림 5.10 기준막대의 위치에 따른 로크인 앰프의 출력 신호

먼저 FOG의 신호를 측정하였다. 이것은 진북 추종부의 코드 디스크를 피드백 제어하여 이 디스크에 고정 부착되어 있는 기준 막대로 커트된다. 이 코드 디스크는 손으로 10^0 간격으로 회전하였고, 로크인 증폭기 신호는 오실로스코프로 측정하였다. 측정 결과를 그래프로 나타내면 그림 5.10과 같다. 이 신호는 지구 자전 각속도 신호와 회전의 각속도 변동으로 인한 왜곡에 대한 정보를 가지고 있다. 이 신호를 이상적인 사인파와 비교해 보면, 이 신호와 사인파 간의 차의 RMS값은 0.16V이다. 사인파의 직선 부분에 대해서는 1° 보다 적은 오차를 가진다. 170° 와 270° 부근에서 왜곡이 있음을 알 수 있다. 따라서 선수가 170° 와 270° 부근에 있을 때는 시스템의 정도는 1° 보다 큰 오차를 발생하게 된다.

5.5 Type II(선수방위 표시형) 광섬유 자이로콤파스

동적 방식 광섬유 자이로콤파스 Type II 기종은 각각 두 개의 로크인 증폭기를 사용하여 각각 상대적으로 90° 의 위상차를 가지는 출력 신호를 신호 처리하여 여러 가지 외부 환경에 의한 기계적인 잡음에 의한 왜곡을 보상하는 방법을 사용한다.

Type II 기종은 Type I 기종에 제2의 로크인 증폭기와 저역 통과 필터를 추가하고 진북 추종부를 사용하지 않는 대신에 출력 신호를 컴퓨터에 연결하여 왜곡보상 알고리즘을 이용하여 선수 방위를 표시하도록 개조하였다. 그림 5.11은 개조된 Type II의 구성도를 나타낸다. 그림 5.12는 개조된 Type II 기종의 외형을 보여준다. Type I에서와는 달리 시스템의 상단부에서 볼 수 있는 방위 추종부의 부가적인 기계 장치와 전자 회로 부분은 사용하지 않는다. 따라서 구조가 보다 간단해질 수 있다. 제작 후 시스템을 임의의 방향으로 향하게 한 후 선수 방위각을 측정할 결과를 그림 5.13에 나타내었다. 선수 방향은 0.2° 였으며, 자승 평균 오차는 0.6° 이었다. 이 경우는 실험 환경이 양호하여 좋은 결과에 해당하며, 평균적으로는 약 1° 가량의 자승 평균 오차가 나왔다.

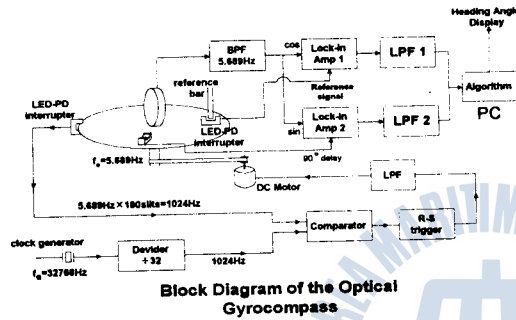


그림 5.11 Type II의 블록도

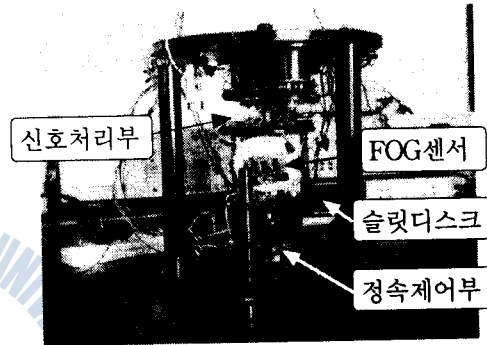


그림 5.12 Type II의 외형

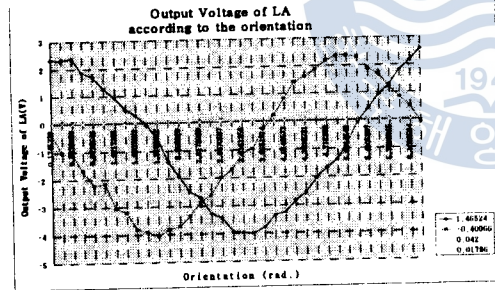


그림 5.13 2개의 로크인 증폭기 출력신호

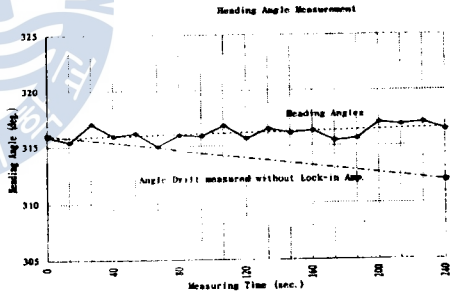


그림 5.14 선수 방위각의 측정 그래프

5.6 Type III (선수방위 표시형) 광섬유 자이로컴파스

Type III 기종에서는 경제성을 고려하여 일반적인 차량 항법용 규격의 FOG 센서를 지구 자전 각속도를 검출할 수 있는 감도로 센싱 루프의 직경을 크게 설계하여 주문 제작하였다.⁶⁾ 이렇게 함으로써 센서의 비용을 정적 방식 뿐만아니라 동적 방식의 Type I과 II 기종에서 사용한 센서에 비하여 아주 많이 줄일 수 있었다. VG951 센서의 스케일 팩터가 $267\text{mV}/^\circ/\text{s}$ 이므로 지구 자전 각속도가 최대로 검출되었을 때의 출력 신호값은 1.11mV 이며, 위도 35° 인 본 실험실에서는 0.82mV 의 전압값을 갖는다.

Type I과 Type II에서 사용된 슬릿 디스크를 1000 ppr의 디지털 엔코더로 대체하여 기계적 구

조를 단순화하였다. 신호 처리를 위한 로크인 증폭기와 시간 평균을 위한 저역 통과 필터는 드립프트 등의 전자적 잡음 요인의 제거와 구조의 간단화를 위하여 소프트웨어 처리하였다. 그림 5.15는 제작된 동적 방식 광섬유 자이로컴파스의 외형 사진을 보여준다. 제작된 광섬유 자이로컴파스는 스위치를 켜고 동시에 시동되어 초기각 0° 로 리세트된 후 현재의 선수 방위각으로 추종하는데 걸리는 시간은 그림 5.27의 측정 그래프에서 볼 수 있듯이 약 2~3분 정도 걸린다. 1회전 당 한 개의 각도를 화면에 표시하며 이 때 걸리는 시간은 5.7초이다.

제작된 광섬유 자이로컴파스의 정도를 알아보기 위하여 임의의 방향에 대한 선수 방위각을 측정하여 보았다. 그림 5.16은 각도가 표시된 회전 플랫폼 위에 제작된 광섬유 자이로컴파스를 설치하여 성능을 조사하기 위한 실험 장치를 보여준다. 그림 5.17은 임의의 한 방향에 대해 선수 방위각을 측정한 평균 그래프이며 각각의 데이터는 10개의 선수 방위각을 측정한 후 평균하여 얻은 값이며 총 실험 시간 45분 동안 46개의 데이터를 나타낸다.

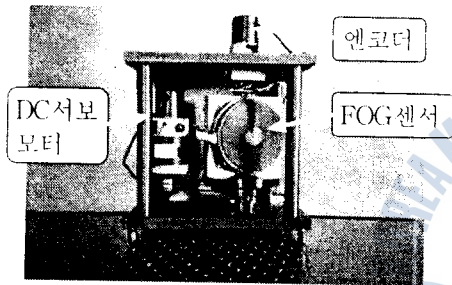


그림 5.15 Type III 기종의 외형



그림 5.16 성능조사를 위한 실험

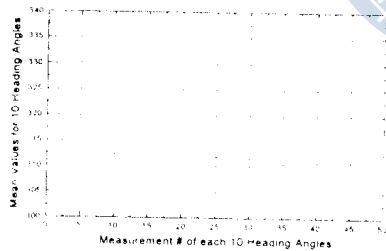


그림 5.17 선수각 측정그래프

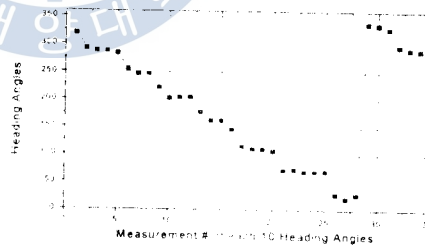


그림 5.18 45° 씩 회전시 선수각 그래프

다음은 특정 방향에 대한 신호 왜곡이 있는지를 알아보기 위하여 각 방위에 대하여 선수각을 측정하여 보았다. 그림 5.18은 자이로컴파스를 임의의 위치에서 시작하여 선수각을 45° 씩 등 간격으로 회전하여 측정하였다. 그래프에서 오차가 있는 데이터들은 45° 씩 회전하고 나서 안정화되기 전에 측정된 값들이다. 측정 시간 30분 동안 34개의 데이터를 수집하였으며 자승 평균 오차는 0.5° 이었다. 따라서 왜곡이 없이 양호하게 선수 방위각을 알 수 있었다.

제6장 각속도 적분 자이로의 제작

각속도 적분 자이로란 지구 자전을 검출할 수 없는 감도가 낮은 FOG를 사용하여 회전 각속도를 검출하여 적분함으로써 상대적인 선수각(heading)의 변화량을 각도로 표시해 주는 것을 말한다. 본 연구에는 FOG로부터 선수각을 얻고, GPS에 의해서 보정을 하는 하이브리드(hybrid)형 각속도 자이로에 관하여 연구해 보았다. 그림 6.1과 같이 차량에 GPS 안테나를 설치하여 GPS 신호를 수신하도록 하고, FOG를 탑재한 후 다음과 같은 실험을 하였다.

- (1) GPS로부터 실제 선수각에 근사한 유효값을 얻기 위해 차량의 최저 임계 속도의 결정
- (2) 적분에 의한 누적 오차가 얼마나 효율적으로 보정되었나를 알아보기 위하여 직선 주행로에서의 하이브리드 자이로에 의한 선수각 측정
- (3) 곡선 도로 주행시의 하이브리드 자이로에 의한 선수각 측정

실험에는 최저 각속도 $0.5[^\circ/\text{sec}]$ 까지 검출할 수 있는 FOG인 HGA-V 기종을 이용하였으며, $0.8[^\circ/\text{sec}]$ 이상의 신호만을 1 [msec] 간격으로 샘플링하여 적분하였다. 실험에 사용한 장비는 그림 6.2와 같다. GPS수신기는 Motorola사 제품인 84D43579M03 기종을 사용하였다. 이 기종은 DOP = 3.0 일 때 오차 15m 이내이다. 실험적으로 얻은 $18[\text{km/h}]$ 를 임계 속도로 하여 그 이상의 속도에서는 GPS로부터 선수각을 얻으며, 그 이하의 속도에서는 FOG로부터 선수각을 얻게 하였다.

실험결과의 일례로서, 그림 6.23은 임계 속도를 $21.6[\text{km/h}]$ 로 하고, 주로 $0\sim 20[\text{km/h}]$ 인 임계속도 이하의 속도로 직선 도로를 주행하였을 때 91초 동안 수집한 데이터를 나타낸다. GPS만 이용하였을 때의 선수각은 변화가 많으나 하이브리드 자이로의 선수각은 거의 일정하다. 그림에서 위의 그래프는 주행 속도의 변화를 나타내며, 아래의 그래프는 선수각의 변화를 나타낸다. 아래 그래프에서 검은 선은 GPS 출력을 나타내고, 흰 선 FOG 출력을 나타낸다. 그림 6.25는 임계속도를 $21.6[\text{km/h}]$ 로하고, $10\sim 50[\text{km/h}]$ 속도 범위에서 임계치를 기준으로 상하 속도 가변을 계속 시킨 경우 264초 동안 수집한 데이터를 나타낸다. 임계치 이상의 속도에서 양호한 결과를 보여주며, 임계치 이하의 속도에서도 주기적으로 임계치 이상의 속도로 감으로서 FOG의 드리프트 에러를 보정을 한다면 실용적으로 사용가능하다고 생각된다.



그림 6.7 GPS 안테나를 설치한 차량

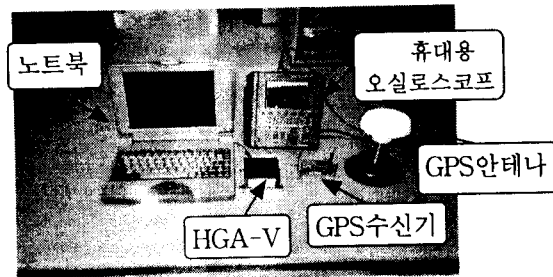


그림 6.9 실험에 사용한 장비

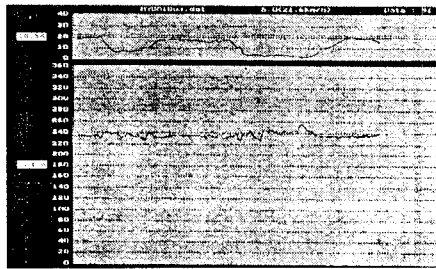


그림 6.23 직선도로를 주행하였을 때의 측정 그래프

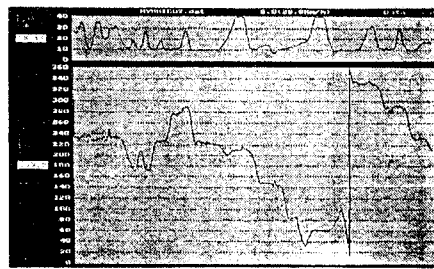


그림 6.25 속도 가변을 계속 시킨 경우의 측정 그래프

제7장 결론

본 연구에서는 광섬유 자이로컴파스 시스템을 제작하기 위한 기초 연구로서 지금까지 알려진 컴파스를 실용화 관점에서 자체 제작하여 그 성능 및 제작상의 문제점들을 간파한 연후에 경제적이고 신뢰성있는 광섬유 자이로컴파스의 형태를 제안하였다.

우선 기초연구로서 광섬유 자이로컴파스의 센서인 FOG의 특성을 분석하였다. 확보된 각종 FOG센서의 스케일 팩터를 측정 및 분석하고 이 중에서 스케일 팩터 선형성이 우수한 기종을 선택하여 상대적인 회전각을 측정하는 각속도 적분 자이로의 제작에 이용하였다. 또한 지구 자전 속도를 검출할 수 있는 분해능을 가진 기종을 선택하여 광섬유 자이로컴파스의 기초 연구로서 지구 자전 속도를 검출하여 이론적인 계산치와 비교해 보았다.

정적방식 광섬유 자이로컴파스는 Dyott와 Allen이 제안한 방법으로서 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. 또한 알고리즘에서 방위측정이 불가능한 사각지점이 생기는 것과 한 개의 측정값이 두 개의 방위각에 대응되는 오류를 수정하여 개선된 알고리즘을 제안하였고 이를 이용하여 정적방식 광섬유 자이로컴파스를 제작하여 보았다. 분해능 0.5 deg/hr인 고성능 FOG센서를 사용하여 정적방식 광섬유 자이로컴파스를 제작하였다. 총 20회 방위각을 측정하여 시스템 정도 0.29°를 얻었다.

그리고 경제성을 고려하여 중저급 센서를 이용할 수 있는 세 종류의 동적방식 광섬유 자이로컴파스를 제작하여 보았다. 진부 추종형 Type I 기종에서는 진부추종부가 부가되므로 기계적으로 복잡하다. 그리고 선수각을 목측으로 눈금을 읽으므로 목측오차도 발생한다. 따라서 이러한 에러를 줄이기 위하여 선수 방위 표시형 동적방식 Type II 기종부터는 신호 처리된 방위신호를 바로 선수 방위각으로 변환하여 컴퓨터의 모니터에 표시하게 하는 선수방위 표시형으로 제작하였다. 그리고 두 개의 로크인 증폭기를 사용한 신호처리 회로와 알고리즘에 의해 기계적 진동에 의한 신호 왜곡을 보상할 수 있게 하였다. 이 기종은 전자적인 신호처리회로가 복잡한 단점이 있다.

한편, 센싱루프 반경을 크게 하여 감도를 높여서 주문 제작한 경제적인 중저가형 FOG 센서를

사용하여 보다 개선된 선수 방위 표시형 동적방식 Type III 기종을 제작하였다. 슬릿디스크의 기계적인 가공 정밀도에는 한계가 있으므로 정밀도가 높은 1000ppr의 엔코더로 교체하여 기계적 구조를 단순화하였고, 복잡한 신호처리 회로에 개입되는 전자적인 잡음과 로크인 증폭기에 사용되는 아날로그 스위치의 온도 드리프트 문제를 해결하기 위하여 소프트웨어화 하였다. 이렇게 하여 정도와 응답시간을 크게 개선할 수 있었으며, 저잡음화와 소형화를 기할 수 있었다. 회전주파수 0.175Hz로 정속회전시켜 1회전당 1개의 각도를 화면에 표시하는 데 걸리는 시간은 5.7초이다. 제작된 광섬유 자이로컴파스의 성능을 알아보기 위해 다음의 두가지 실험을 해 보았다. 첫째, 제작된 컴파스의 정도를 알아보기 위하여 임의의 방향에 대한 선수 방위각을 측정하였다. 측정시간 45분 동안 46개의 데이터를 얻었으며 자승평균오차는 0.4° 였다. 둘째, 특정방향에 대한 신호왜곡이 있는지를 알아보기 위하여 임의의 방향에 대한 선수각을 측정해 보았다. 측정시간 30분 동안 34개의 데이터를 얻었으며 자승평균오차 0.5° 를 얻었다. 따라서 왜곡이 없이 양호함을 알 수 있었다.

본 연구는 Roll과 Pitch운동과 같은 외란이 없는 정적 환경 조건하에서 제작 및 성능 실험을 하였으며, 실제 항행체에 탑재하기 위해서는 Roll과 Pitch운동과 같은 외란이 광섬유 자이로컴파스에 입력되지 않도록 안정화시켜줄 수 있는 안정화제어기(Stabilizer)가 필요하다.

일반적으로 광섬유 자이로컴파스에서는 순시적인 선수 방위각을 얻을 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 광섬유 자이로컴파스의 연구와 병행하여 각속도 적분 자이로를 연구하였다. 각속도 적분 자이로에 사용되는 FOG와 GPS는 저가이므로 광섬유 자이로컴파스와 복합 시스템으로 구성한다면 순시적인 선수 방위각을 얻을 수 있는 신뢰성 있는 시스템이 될 수 있다.

차후 GPS와 FOG에 수직인 2개의 각속도계를 복합적으로 구성하는 시스템도 연구해볼 필요가 있다. 일반적으로 각속계와 같은 기계적인 센서는 드리프트의 에러가 없으므로 상기와 같이 구성한다면 더욱 신뢰성있는 시스템을 꾸며볼 수 있으리라 사료된다. 특히 이들 센서들은 가격이 컴파스에 비하여 저가이므로 보다 신뢰성을 높이기 위해 차후에는 광섬유 자이로컴파스와 함께 GPS와 FOG에 수직인 2개의 각속도계를 복합적으로 구성한 시스템에 관한 연구도 제안한다.

참고문헌

- 1) Fiber Optics News, 16 December 1991, pp.3, 4.
- 2) H. Kajioka, T. Kumagai, H. Nakai, H. Tizuka, M. Nakamura, and K. Yamada, "Fiber optic gyro productization at Hitachi", SPIE Proceedings, Vol. 1585, 1991, pp. 17-29.
- 3) 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
- 4) 이석정, 홍창희, "정적방식 광섬유 자이로컴파스의 제작," 한국항해학회지, 제21권 제2호, 1997, pp.59-67.
- 5) Private discussion with prof. B. E. Strigalev, I. A. Matisov, B. A. Nicolaev at St. Petersburg State Univ. of Telecommunication in Russia.
- 6) Private discussion with Dr. Logozinski at Fizoptika in Russia