

## 광섬유 자이로콤파스의 안정화시스템제작에 관한 기초 연구

양 승 국<sup>1)</sup>, 홍 창 희<sup>2)</sup>

### A Basic Study on the Fabrication of the Stabilizer of a Fiber Optic Gyrocompass

Sung-Kuk Yang, Tchang-Hee Hong

#### Abstract

In this research two kinds of stabilizer system of the fiber optic gyrocompass for ships was made and tested for evaluation of their performance.

The fiber optic gyroscope (FOG), the sensor used in the fiber optic gyrocompass, must have the high resolution capable of detecting the earth rate of 15 °/hr. The most important thing in finding the true north is to transform the voltage output to the projection of earth rate into the azimuth exactly. The other angular rate except for the projection of the earth rate causes to give the errors. The rotational motion among six degree of freedom (DOF) of ships needs to be protected if the fiber optic gyrocompass is used in ships practically. In this case the main errors of the fiber optic gyrocompass come from the roll and pitch of a ship. Therefore, the stabilizer system of the fiber optic gyrocompass for ships is necessary for keeping the normal operation from the unwanted motion.

In this research two kinds of stabilizer system was made and tested to evaluate their performance.

First, two accelerometers were used as the tilting sensors for detecting roll and pitch motion. The response was as good as 10 °/sec, but the mechanical vibration was a problem.

Second, two encoders as the tilting sensors and worm gears were adopted considering the mechanical vibration. The system was designed and made considering that roll motion is usually bigger than pitch and the maximum angular velocity of the roll is

1) 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정 전자·전산 전공

2) 한국해양대학교 전자통신공학과 교수

supposed to be  $6^\circ/\text{sec}$ .

The accuracy of the stabilizer system must be below  $0.5^\circ$  in order to stabilize the fiber optic gyrocompass having the accuracy of  $0.5^\circ$ . In case of the fabricated system, the theoretical accuracy is  $0.365^\circ$  and the estimated accuracy from the experimental data is about  $0.5^\circ$ .

Therefore it is expected that this system can be operated normally if it is installed on the ship. If the encoder of higher accuracy is used in the system or the motor is driven with the microstep method, the higher accuracy can be achieved.

## 제1장 서론

### 1.1 콤파스의 발달역사

항행체를 임의의 장소(출발점)에서부터, 예정된 다른 장소(목적지)로 이동시키는 기술을 항법이라고 한다. 초기의 항법에는 독특한 지형의 시각적 관측에 의한 연안항법(Piloting Navigation), 방향과 속도를 유지하며 지도 위에 궤적을 그려 항행체의 위치를 파악하는 추측항법(Dead reckoning Navigation), 천체를 이용하여 위치를 결정하는 천문항법(Celestial Navigation)등을 상호 보정하여 이용하였으며, 근래에 들어 라디오 기술의 발달로 로란(Loran), 쇼란(Shoran), 콘솔(Console)과 같은 위치 시스템이 보조 항법장치로서 발전하게 되었다. 현재에 이르러 외부의 도움 없이 항행체 스스로 자율적인 항해를 할 수 있는 관성 항법으로 발전하게 되었다. 이 모든 항법의 방법들은 선체의 운동방향과 위치 및 이동거리를 알기 위한 것이다.<sup>1)</sup>

관성항해를 하기 위해서는 방향과 움직인 거리를 알면 된다. 이론적으로 뉴턴 역학에 의해 움직인 거리는 속도를 적분함으로써 알 수 있고, 속도는 가속도를 적분함으로써 구할 수 있다. 그러므로 실제적으로 관성항법에서는 방향을 알 수 있는 콤파스와 가속도를 알 수 있는 가속도계가 필요하다. 이와 같이 콤파스는 항공기나 선박과 같이 항행체에 있어서 목적지까지 길을 인도하는 없어서는 안될 중요한 기기이다.

### 1.2 본 논문의 배경 및 목적

본 연구실에서는 선박용 광섬유 자이로콤파스를 연구 제작하였다. 이 광섬유 자이로콤파스를 선박에 이용하기 위해서는 지구자전신호 이외의 외란 신호를 차단 할 수 있는 안정화 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 광섬유 자이로콤파스를 위한 안정화시스템 제작에 관한 연구를 하였다.

일반적으로 광섬유 자이로콤파스에 사용되는 FOG는 임의의 선수방향에 대한 지구자전 각속도의 정사영 성분을 검출하여 전압 값으로 출력한다. 광섬유 자이로콤파스는 이러한 FOG센서의 출력전압을 이에 대응되는 방위각으로 변환하여 진북과 선수 방위각을 찾아낸다. 따라서 광섬유 자이로콤파스에 사용되는 센서인 FOG는 지구자전 각속도  $15\text{deg/hr}$

를 검출할 수 있는 고분해능 특성을 가져야 한다. 이와 같이 광섬유 자이로콤파스가 진북을 찾아내는 핵심은 FOG센서에 입력되는 지구자전 각속도의 정사영 성분에 대응되는 출력 전압 값을 정확히 방위각으로 변환하는데 있다. 따라서 지구자전 각속도의 정사영 성분 이외의 다른 회전 각속도 성분이 FOG에 입력된다면 결과적으로 오차를 유발하게 된다. 이러한 광섬유 자이로콤파스를 실질적으로 선박과 같은 항행체에 이용하고자 하는 경우 다음절에서 설명하게 될 선박의 6자유도 운동 중에서 회전운동 부분이 광섬유 자이로콤파스에 오차 요인이 되므로 차단하여야 할 필요가 있다. 회전 성분으로는 회전축이 각각 선수에서 선미로의 롤(roll), 우현에서 좌현으로의 피치(pitch), 상하 요(yaw)성분이 있는데,<sup>10)</sup> 이 중에서 광섬유 자이로콤파스에 오차 요인이 되는 것은 롤(roll)과, 피치(pitch)이다.

## 제2장 선박용 광섬유 자이로콤파스를 위한 안정화 시스템의 개요

### 2.1 광섬유 자이로콤파스의 원리

일반적으로 광섬유 자이로콤파스에 사용되는 광섬유 자이로 스코프(Fiber Optic Gyroscope : FOG)는 임의의 선수방향에 대한 지구자전 각속도의 정사영 성분을 검출하여 전압 값으로 출력한다. 광섬유 자이로콤파스는 이러한 FOG 센서의 출력전압을 대응되는 방위각으로 변환하여 진북과 선수방위각을 찾아낸다. 따라서 광섬유 자이로콤파스에 사용되는 센서인 FOG는 지구 자전 각속도 15deg/hr를 검출할 수 있는 고분해능 특성을 가져야 한다. 우선 FOG의 동작 특성을 살펴보면 그림 2.1과 같이 대부분의 FOG의 내부에는 원통 구조의 외형과 대칭으로 광섬유 센싱 코일이 들어 있으며 센싱 코일의 중심 축을 z축으로 놓았을 때, z축을 회전축으로 회전을 시켰을 때는 회전 각속도가 감지되어 이 회전 각속도에 대응되는 전압을 시계방향과 반시계 방향으로 회전 할 때의 회전 각속도가 서로 반대 방향이므로 각각 극성이 반대인 출력 전압을 얻게 된다. 만일 다이내믹 레인지를 벗어나는 과도한 각속도를 입력하면 입출력 특성 곡선의 선형 영역을 벗어나 포화된 전압을 출력한다.

그러나 그림 2.1과 같이 센싱 코일면에 평행한 축, 즉 예를 들면 X축이나 Y축을 회전하였을 경우에는 회전 각속도를 전혀 감지할 수 없다. 이것은 광섬유 센싱 코일 면에 평행한 축을 회전축으로 회전이 일어나면 이 회전 각속도의 입력은 Sagnac 효과에 의한 광섬유 센싱 코일 내부에서의 광경로차에 전혀 영향을 미치지 않기 때문에 발생하는 현상이다. 이 성질을 잘 응용하면 지구의 자전 각속도를 측정하여 방위를 표시하는 콤파스를 제작할 수 있다.

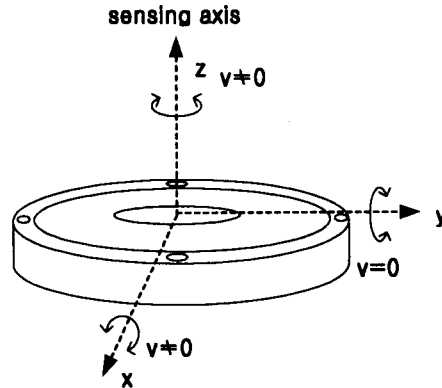


그림 2.1 FOG의 동작특성

## 2.2 선박의 자유도

선박의 경우 선체의 운동에 대해 두개의 좌표계를 정의하는 것이 편리하며 지구를 고정 좌표계로 보았을 때 선체를 운동좌표계로 생각하는 것이다. 고정좌표계에 대한 운동좌표계의 움직임은 선체의 선수에서 선미로의 병진운동인 서어지(Surge)와 회전운동인 롤(roll), 우현에서 좌현으로의 병진운동인 스웨이(sway)와 회전운동인 피치(pitch), 상하로의 병진운동인 히브(heave)와 회전운동인 요(yaw)로 분류된다. 이러한 6자유도 운동중에서 3자유도인 회전운동이 고려해야 할 요소인데 이중 요(yaw)운동은 그 결과가 항상 선수 방향을 나타낸다.<sup>10)</sup>

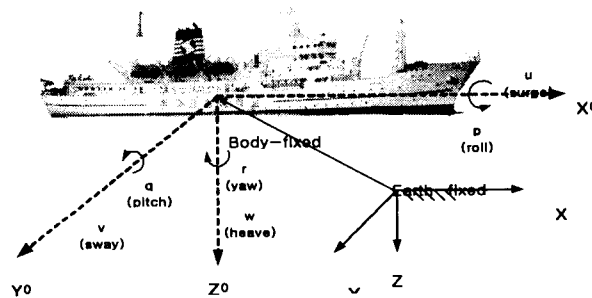


그림 2.7 선체의 운동좌표계

선박용 광섬유 자이로콤파스의 경우 롤(roll)과 피치(pitch)를 차단시켜 광자이로콤파스의 FOG 센서가 항상 지구 표면과 수직을 유지하면 정상적인 동작을 하게 된다.

### 제3장 가속도센서를 이용한 광섬유 자이로콤파스의 안정화 방식

#### 3.1 시스템 개요

가속도계를 이용한 광섬유 자이로콤파스 안정화 방식은 두 개의 경사센서, 즉 롤(roll)과 피치(pitch)의 각변위를 측정하는 센서와 두 축의 각변위를 보상시켜주는 스텝 모터, A/D 컨버터와 모터구동부, 제어를 위한 컴퓨터로 구성하였다. 두 개의 경사센서에 의해 입력된 외란, 즉 각변위량이 아날로그 신호로 출력되므로 A/D컨버터에 의해서 디지털 값으로 변환시킨 후 이 값을 신호처리에 의해 반대의 각변위량 만큼 스텝 모터를 구동하여 외란을 보상시키는 안정화 시스템을 제작하였다..

#### 3.2 시스템제작 및 측정실험

본 논문에서는 소형 안정화시스템을 실제 제작하였다. 그림 3.11은 제작된 소형 안정화시스템이며, 그림 3.12는 가속도계를 이용한 안정화시스템의 제어상태를 측정하는 실험장치이다.

시스템 본체에 부착된 가속도계는 시스템의 안정화 성능을 평가하기 위하여 임의로 가해 주는 롤(roll)과 피치(pitch)운동의 크기를 측정하기 위한 것이며, 이 가속도계의 출력 신호는 외란의 각변위를 나타낸다. 플랫폼에 부착된 가속도계는 플랫폼이 제어되는 상태를 신호로 출력하며,시스템이 안정화되는 정도를 측정하는데 이용된다. 또한 이 신호를 컴퓨터에 입력하기 위해서 아날로그를 디지털로 변환하는 A/D컨버터가 필요하며, 본 연구에서는 미국의 "Real Time Devices, Inc."의 ADA2110을 사용하였고, 이 A/D컨버터의 특성을 표 3.4에 나타내었다.

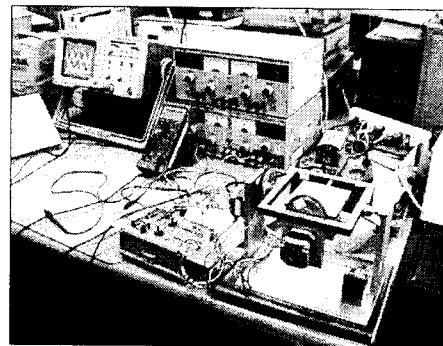


그림 3.11 제작된 가속도계를 이용한 안정화시스템

그림 3.12 가속도계를 이용한 안정화시스템과 제어실험장치

측정 실험에서는 시스템의 제어상태를 측정하기 위해서 가속도계를 시스템 본체에 부착

하여 롤(roll)과 피치(pitch)의 각변위의 변화를 알기 위한 것이고 플랫폼에 부착된 가속도계는 시스템 안정화를 위한 제어를 측정하기 위한 실험장치를 그림 4.12에 나타내었다. 측정 실험에서 그림 3.14는 실험 중의 신호를 표시하는 디지털 오실로스코프의 화면을 보여준다. 화면에서 위의 신호는 안정화 제어기의 플랫폼에 장착된 경사센서의 출력신호를 보여주며, 약 2V를 나타내므로 현재 양의 방향으로  $23.6^\circ$  가량 플랫폼이 기울어져 있음을 알 수 있다. 아래의 신호는 양의 방향으로 기울어진 플랫폼을 수평으로 제어하기 위하여 제어용 스텝 모터로 입력되는 구동용 펄스신호를 나타낸다. 화면에서 1눈금은 전압 1V를 나타내며 샘플링 시간은 1ms이다.

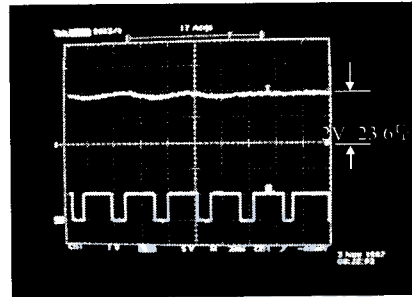


그림 3.14 안정화시스템이 기울어졌을 때 감지된 레벨센서의 출력신호와 안정화시키기 위해 스텝모터를 구동하는 구동신호

그림 3.16에서부터 그림 3.17까지의 화면에서 아래의 신호는 안정화 제어기의 플랫폼에 장착된 경사센서의 출력신호를 보여준다. 위의 신호는 안정화 제어기의 제어 상태를 모니터링하기 위하여 안정화제어기의 프레임에 장착한 센서의 출력신호를 나타내며, 이 신호를 이용하여 안정화 제어기에 임의로 가해진 롤(roll)운동의 크기를 알 수가 있다. 따라서 가해진 롤(roll)운동의 방향과 크기를 위의 신호로부터 알 수가 있고, 아래의 신호로부터 플랫폼이 제어되고 있는 상태를 알 수가 있다. 그림 3.14는  $5.3^\circ/s$ 의 각속도로 안정화 제어기에 롤(roll)운동을 가해주었을 때 플랫폼의 상태를 보여준다. 수평을 유지하고 있으나 진동이 생김을 알 수가 있다. 이 때의 샘플링 시간은 10ms이다.

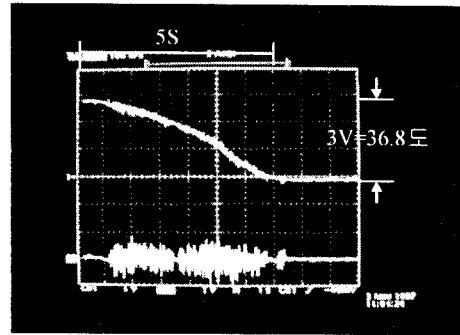
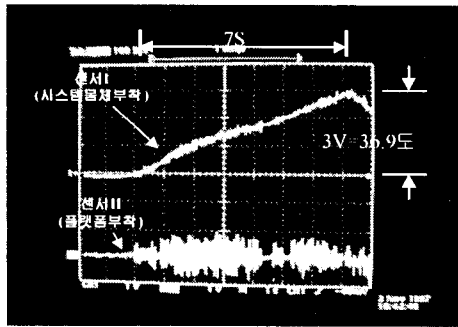


그림 3.14 평형상태에서 안정화시스템을 기울이고 있을 때 수평상태를 유지하고 있는 플랫폼  
 그림 3.15 반대방향으로 Roll운동 후 평형상태로 돌아가는 플랫폼

그림 3.15은 7.26 1/s의 각속도로 안정화 시스템의 물체가 기울어진 상태에서 플랫폼이 수평을 유지하며 다시 평형상태로 돌아올 때까지의 제어상태를 나타내며 샘플링 시간은 10ms이다. 그림 3.16는 샘플링 시간을 2.5ms로 변경하여 평형상태로부터 18.4 1/s의 각속도로 roll운동을 가하였을 때의 안정화 시스템의 물체가 기울어진 상태에서 플랫폼이 수평을 유지하는 제어 상태를 나타낸다. 그림 3.17은 샘플링 시간을 0.5ms로 변경하여 동일한 실험을 한 경우를 보여준다. 이 때 가해진 각속도는 6.0 1/s이다.

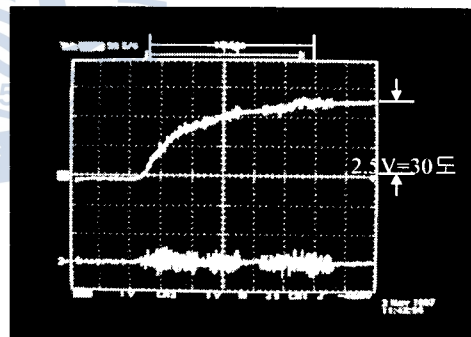
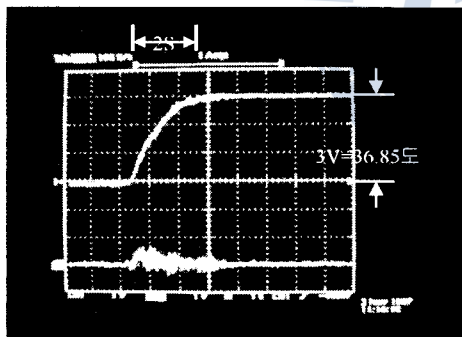


그림 3.16 평형상태에서 기울어지기 시작하여 다시 평형상태로 돌아갈 때까지 수평을 유지하고 있는 플랫폼

그림 3.17 평형상태에서 Roll운동을 시작하여 다시 평형상태로 돌아가고 있는 플랫폼

### 3.3 결과 및 검토

시험용 안정화 제어기와 구동용 제어 회로를 직접 제작하였으며, 두 개의 레벨 센서에 의해 변위각이 진압으로 바뀌면 이 신호를 컴퓨터에 접속된 A/D컨버터에 입력하여 디지털 값으로 변환시키고 이 값을 컴퓨터 프로그램에 의하여 펄스 신호로 변환되어 안정화 제어기의 스텝 모터로 입력되어 변위각을 보상하도록 하였다.

이러한 구성으로 제작한 안정화 시스템을 시험해 본 결과 샘플링 시간을 2.5ms로 하였을 때 가장 양호한 결과가 나왔으며, 초당 약 10°의 상당히 큰 Roll 운동을 가해주었을 때도 수평 상태를 유지하고는 있으나 기계적인 진동이 발생하는 문제점이 나타났다. 이것은 프레임과 기어 등의 부속을 본 연구실에서 직접 가공 제작했던 관계로 기계가공 정밀도가 떨어지는 점과 스텝 모터의 디지털 적인 구동이 감도가 높은 센서에 입력되어 되먹임(feedback)되어 마치 스피커의 출력이 마이크로 되먹임 되어 증폭됨으로써 나타나는 하울링과 같은 현상이 일어나는 것으로써, 해결책은 첫째, 기계 가공 기술자에 의뢰하여 제작 시 축과 기어의 정밀도를 높이고 기어 비를 크게 함으로써 스텝 모터의 디지털 적인 구동을 거의 연속적으로 플랫폼에 전달되도록 하고, 둘째는 디지털 적인 구동회로를 미세 제어 스텝구동을 사용하여 거의 연속적인 모터구동을 하여 진동의 발생을 방지한다. 셋째는 플랫폼의 기계적인 진동이 센서에 재 입력되어 되먹임 되지 않도록 센서와 플랫폼 사이에 방진재료를 넣어 진동입력을 차단한다. 네 번째로는 센서의 출력신호를 밴드 통과 필터링(BPF)하여 잡음을 차단한다. 마지막으로 탑재할 선박의 운동 특성을 고려하여 롤(roll)과 피치(pitch)운동의 주파수특성 이외의 주파수성분을 잡음신호로 간주하고 제어서이 잡음 신호들을 제외하는 알고리즘을 적용한다면 정상동작을 할 것으로 기대된다.

## 제4장 엔코더 센서를 이용한 광섬유 자이로컴파스의 안정화 방식

### 4.1 시스템 개요

가속도계를 이용한 안정화시스템의 경우 선체의 병진 운동시 나타나는 가속도 성분이 검출되어 시스템의 안정화가 문제시되었다. 그래서 이 문제를 해결하기 위하여 엔코더 회전축에 추를 매달아 추의 무게와 길이를 조절함으로써 병진운동에 대한 가속도 검출의 문제를 해결하려고 했다. 롤(roll)과 피치(pitch)를 검출하기 위한 2축으로 두 개의 엔코더가 필요하며, 회전 방향과 각변위량을 검출하기 위한 센서 검출회로부가 필요하다. 또한 출력신호가 디지털신호이므로 이 신호를 컴퓨터에 입력 할 수 있는 인터페이스카드가 2개 필요하며, 제어용 컴퓨터에서 회전한 값만큼의 역방향으로 모터를 구동시켜 모터를 제어하는 시스템을 구성하였다.

### 4.3 시스템 제작 및 측정실험

가속도계를 사용한 안정화 제어시스템에서 문제시된 기어부분과 센서부분중에서 먼저 기어부분을 보다 정밀하게 제어하기 위해서 기어 비를 10:1로 한 워밍기어를 사용하였고, 롤(roll)과 피치(pitch)를 검출하기 위한 엔코더를 설치하기 위해 구조가 보다 큰 시스템을 제작하였다. 또한 모터구동부는 가속도계를 이용한 안정화 시스템에서 이용된 모터구동부를 사용하였다.

그림 4.11은 시스템의 전체 구조를 나타낸 것이다.



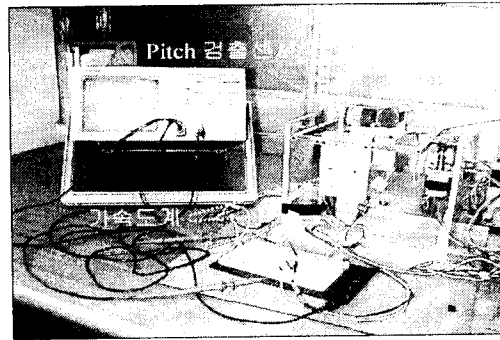
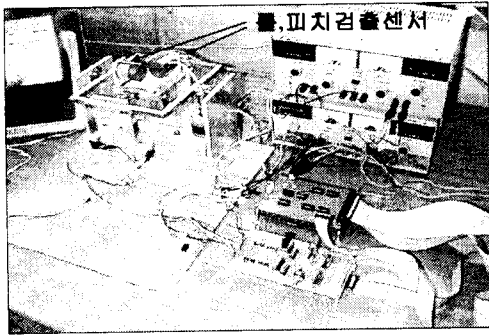


그림 4.11 제작된 안정화 시스템그림

그림 4.12 시스템 안정화를 위한 제어 실험장치

추정 실험에서는 시스템의 제어상태를 측정하기 위해서 가속도계를 시스템 몸체에 부착하여 롤(roll)과 피치(pitch)의 각변위의 변화를 알기 위한 것이고 플랫폼에 부착된 가속도계는 시스템 안정화를 위한 제어를 측정하기 위한 실험장치를 그림 4.12에 나타내었다. 그림 4.13의 그래프에서 위의 신호는 평형상태에서 안정화 시스템을 기울였다가 되돌려 놓았을 때의 운동상태를 나타내는 신호이며 아래신호는 이러한 상황에서 플랫폼을 안정화시키기 위하여 모터를 구동시키기 위한 구동펄스를 나타낸다. 그림 4.14에서 위의 신호는 안정화 시스템을 기울였을 때 기울어짐을 검출하여 출력되고 있는 엔코더 펄스와 아래신호는 이를 제어하기 위한 구동펄스를 나타내고 있다. 그림 4.15의 그래프는 임의의 한 축 방향으로 각변위를 가했을 경우에 나타난 측정결과로 각변위량이 진압으로 출력된 가속도계를 각도로 환산하여 나타내면, 8초 동안 9.25°로 기울어 졌다가 다시 수평 상태로 돌아간 경우로 각속도  $\omega$ 는 2.3 °/s를 나타내고 있으며, 그림 4.16에서 보인 그래프는 8초 동안 20°로 기울어 졌을 때의 경우로 각속도  $\omega$ 는 2.5 °/s를 나타내고 있다.

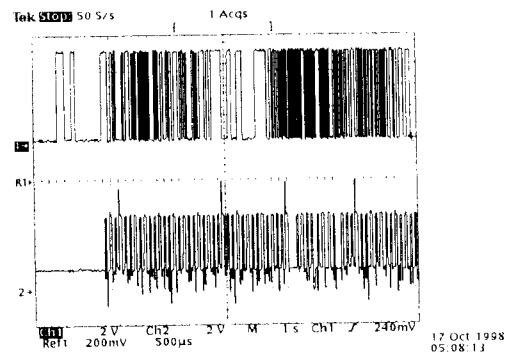
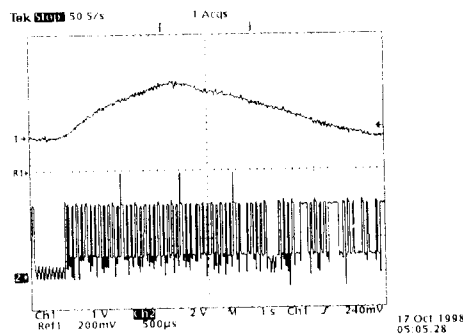


그림 4.13 평형 상태에서 안정화 시스템을 기울였을 때 구동회로에 입력되는 펄스  
그림 4.14 안정화 시스템을 기울였을 때 출력되는 엔코더 펄스와 모터 구동 펄스

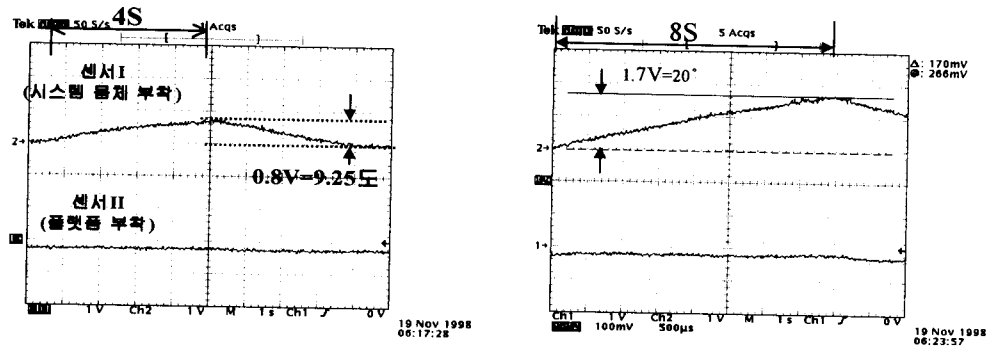


그림 4.15  $2.3^\circ/s$ 의 각속도에 따른 안정도    그림 4.16  $2.5^\circ/s$ 의 각속도에 따른 안정도

## 4.2 결과 및 검토

본 연구에서 시스템 설계시 선체운동의 크기를 충분히 여유를 두어 롤(roll), 피치(pitch)의 운동량을 최대  $\pm 45^\circ$ 에서 주기가 15초라 가정하면 각속도가  $6^\circ/s$ 이므로, 시스템 응답속도가 최대  $6^\circ/s$ 가 되도록 설계하였다. 다양한 각속도 변화를 가한 실험에서 양호하게 안정화시킬 수 있음을 알 수 있었다.

한편, 시스템의 안정화 정도를 평가하면 스텝모터의 스텝당 회전각이  $1.8^\circ$ 이고 10:1의 기어비를 사용하였으므로 제어정도는  $0.18^\circ$ 이다. 엔코더의 한 펄스가  $0.365^\circ$ 이므로 시스템의 이론적 정확도는  $0.365^\circ$ 이다. 그림 4.15와 그림 4.16에서 플랫폼에 부착된 센서II의 신호를 보면 일직선임을 알 수 있다. 이 신호의 잡음 한계는 거의 수십mV 이내이므로  $0.5^\circ$  이내로 안정화되고 있음을 알 수 있다. 그러나 더 높은 정도를 얻고자 할 경우 고분해능의 엔코더를 사용하거나 스텝모터의 구동회로를 마이크로 스텝구동으로 사용하면 더욱더 높은 정도를 얻을 수 있을 것이다.

## 제5장 결론

광섬유 자이로콤포스가 진북과 선수 방위각을 찾아내는 주된 핵심은 FOG센서에 입력되는 지구자전 각속도의 정사영 성분에 대응되는 출력 전압 값을 정확하게 방위각으로 변환하는 데 있다. 따라서 지구자전 각속도의 정사영 성분 이외의 다른 회전 각속도 성분이 FOG에 입력된다면 결과적으로 오차를 유발하게 된다. 이러한 광섬유 자이로콤포스를 실용적으로 선박과 같은 항행체에 이용하고자 할 경우 선박의 6 자유도 운동 중 요(yaw)운동을 제외한 피치운동과 롤(roll)운동을 차단해 주어야 한다. 예를 들면 선박이 주기 15초로 좌우  $\pm 15^\circ$ 로 롤(roll)운동을 할 때 각속도의 크기는 약  $2^\circ/s$ 이며, 이것은 지구자전 각속도의 약 500배에 해당한다. 따라서 이러한 각속도가 광섬유 자이로콤포스의 FOG센서에 입력이 된다면 신호포화를 일으켜서 정상동작을 할 수가 없다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 가속도계를 이용한 안정화 시스템과 엔코더를 이용한 안정화 시스템을 제안하여 설계 및 제작을 하였다. 또한 2가지 방식에 대한 외란 검출 센서 신호와 제어 시정수와의 관계식을 유도 하였으며, 제작된 안정화 시스템의 평가를 위한 측정실험 방법을 제안하였다.

첫째 물(roll)과 피치(pitch)운동을 검출하기 위한 경사센서로서 가속도계를 사용한 안정화 시스템의 경우, 조당 약  $10^\circ$  의 상당히 큰 회전운동을 가해주었을 때도 수평상태를 유지하는 양호한 응답속도를 얻을 수 있었다. 그러나 스텝모터의 링스구동에 의한 기계적 진동이 센서에 피폭됨에 따라 증폭되는 문제점이 발생하였다.

가속도계를 이용한 안정화 시스템의 문제점을 개선하기 위하여 엔코더를 이용한 안정화 시스템을 제작하였다. 이 시스템에서는 기계적 진동을 고려하고 보다 정밀한 제어를 위하여 링 기어를 채택하였다. 그리고 물(roll)과 피치(pitch)를 검출하기 위하여 엔코더 회전축에 추를 매달아 경사센서로 이용하였으며 추의 무게와 길이를 조절함으로써 병진운동에 대한 가속도 검출 문제를 해결하고자 하였다.

본 연구에서 안정화 시스템 설계시 진체운동의 크기를 충분히 여유를 두어 물(roll)과 피치(pitch)의 운동방향을 최대  $45^\circ$  에서 주기가 15초라 가정하면 각속도가  $6^\circ/s$  이므로, 시스템 응답속도가 최대  $6^\circ/s$  가 되도록 설계하였다. 다양한 가속도 변화를 가한 실험에서 양호하게 안정화시킬 수 있음을 알 수 있었다.

한편, 정도  $0.5^\circ$  의 광섬유 자이로콤파스를 안정화시키기 위해서 안정화 시스템의 정도가  $0.5^\circ$  이내가 되어야 한다. 제작된 시스템의 안정화 정도를 평가하면 스텝모터의 스텝당 회전각이  $1.8^\circ$  이고 10:1의 기어비를 사용하였으므로 제어 정도는  $0.18^\circ$  이다. 엔코더의 한 링스당  $0.365^\circ$  이므로 시스템의 이론적 정확도는  $0.365^\circ$  이다. 측정 데이터에서 플랫폼에 부착된 센서II의 신호가 일치선이므로 시스템이 플랫폼을 수평으로 잘 유지함을 알 수 있었다. 또한 이 신호의 잡음 한계는 거의 수십 $\mu V$  이내이므로 약  $0.5^\circ$  이내로 안정화되고 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 시스템을 선박에 탑재할 경우 양호하게 동작할 것으로 기대된다. 그리고 더 높은 정도를 얻고자 할 경우 고분해능의 엔코더를 사용하거나 스텝모터의 구동회로를 마이크로 스텝구동으로 사용하면 더욱더 높은 정도의 안정화 시스템을 구현할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 1) Fundamentals of Inertial Navigation, Training Manual in Field Engineering and Training, Litton Guidance and Control Systems Division, Litton Systems, Inc., 1980, p.1.
- 2) Sagnac, G., "L'éther lumineux démontré par l'effet du vent relatif d'éther dans un interférence de l'interféromètre en rotation uniforme," Comptes rendus de l'Académie

des Sciences, Vol.95, 1913, pp. 708-710.

- 3) Michelson, A.A., and H.G. Gale, *Journal of Astrophysics*, Vol.61, 1925, pp.401.
- 4) Rosenthal, A.H., "Regenerative Circulatory Multiple Beam Interferometry for the Study of Light Propagation Effects," *J.O.S.A.*, Vol.52, 1962, pp.1143-1148.
- 5) Macek, W.M., and D.T.M. Davis, "Rotation-Rate Sensing With Travelling-Wave Ring Lasers," *Applied Physics Letters*, Vol.2, 1963, pp.67-68.
- 6) Ezekiel, S., and G.E.Knausenberger, eds., "Laser Inertial Rotation Sensors," *SPIE Proceedings*, Vol.157, 1978.
- 7) Chow, W.W, J. Gea-Banacloche, L.M. Pedrotti, V.E. Sanders, W. Schleich, and M.O Scully, "The Ring Laser Gyro," *Review of Modern Physics*, Vol. 57, 1985, pp.61.
- 8) Pircher, G., and G. Heppner, "Perfectionnements aux dispositifs du type gyromètre interférométrique à laser," French patent 1.563.720, 1967.
- 9) Vali, V., and R.W. Shorthill, "Fiber Ring Interferometer," *Applied Optics*, Vol.15, 1976, pp. 1099-1100(SPIE, MS8, pp.135-136).
- 10) Thor I. Fossen "Guidance and Control of Ocean Vehicles" John Wiley & Sons, pp.5-6,1994
- 11) R.A.Laskin and S.W.Sirlin, "Future Payload Isolation and Pointing System Technology," *AIAA J. of Guidance, Control, and Dynamics*, vol.9, no.4,pp.469-477, 1986
- 12) 이석정, "광섬유 자이로 콤파스의 제작에 관한 연구" 한국해양대학교 공학 박사학위논문, 1998
- 13) 김병영, "자이로 스코프를 이용한 안정화 플랫폼의 동특성 해석 및 건실 제어" 서울대학교 공학박사학위논문, 1996
- 14) 이왕현 편저, "모터제어기술" 성안당 pp.69, 1995
- 13) 미관방용 외 저, "센서 인터페이싱 NO 3" 기전연구사, pp.13 1992