

# 선박용 동조 자이로컴파스 신호처리 시스템 개발에 관한 연구

이 채 호<sup>(1)</sup>, 홍 창 희<sup>(2)</sup>

A study on developing of Dynamically Tuned Gyrocompass Signal  
Processing

Lee Chae-Ho , Hong Chang-Hye

## Abstract

For navigation, we need some information about the state and the position of a moving object. Gyrocompass offers azimuth of the moving object. It have been making the moving object navigate independently.

The domestic technology of Gyrocompass is very lack, so we need to research more. It is very difficult to manufacture the mechanical part because of its delicate structure. We have researched on the signal processing part of DTG more than the mechanical part as the first stage.

The signal processing part is divided into three parts, that is, input part, processing part and control output part. The input part receives external angular moment signals and external control signals from Gyroscope. The processing part carries out the algorithm for north direction control, operates control motors in the control output part and outputs a directional information.

As the result of operating the manufactured system, we can obtain an appropriate direction in north direction control. However we have experimented the system at only a fixed state, therefore we need to experiment it at a dynamic state.

In the future, we have to pursue more advances on the DTG processing system and the algorithm for north direction control.

---

(1) 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정

(2) 한국해양대학교 전자통신공학과 교수

## 1. 서론

항행체를 한 장소에서 다른 예정된 장소로 이동시키는 기술을 항법 또는 항해라고 하며 관성항법 시스템(INS : Inertial Navigation System)은 항행체가 자율적인 항해를 할 수 있도록 하는 항해 방법이다.

INS는 움직이는 거리와 방향만을 이용하는데, 가속도를 측정하여 적분함으로써 속도를 얻고, 속도에 적분을 다시 가함으로써 이동거리를 측정할 수 있게 한 방법이다. 즉, INS에는 필수적으로 두 가지 센서가 필요하다. 한가지는 가속도를 측정하는 가속도계라는 센서와 나머지 한가지는 회전관성을 이용하여 지구의 각속도를 측정하는 센서인 자이로스코프이다. 그리고 이러한 센서들을 이용하여 거리 및 방향을 측정하여 항해가 가능하도록 하는 장비의 이름을 자이로콤파스라고 부른다.

현재 선박이나 항공기와 같은 항행체에 있어서 목적지까지 길을 인도하는 장비로서 자이로콤파스는 없어서는 안 되는 장비이다. 자유공간을 움직이는 항체에 있어서 위치, 속도, 자세에 대한 정보는 항체의 유도 및 제어를 위하여 필요한 기본적인 정보량이다. 자이로콤파스는 이들 정보를 외부와 교신 없이 연속적으로 제공한다.

INS는 크게 두 가지로 분류되어지는데, 한가지는 짐벌(Gimbal)과 플랫폼(Platform)을 사용하는 짐벌드 시스템이고, 다른 한가지는 그러한 것이 없이 관성 센서를 항체에 부착시키는 SDINS (Strapdown Inertial Navigation System)이다. 본 논문에서 다루어질 동조 자이로콤파스(DTG : Dynamically Tuned Gyroscope)는 SDINS방식을 이용하는 자이로콤파스들 중의 하나이다.

자이로콤파스에 관한 기술에 대해서는 이미 미국, 일본, 러시아, 독일, 영국 등의 일부 선진국들에서는 많은 연구가 이루어져 왔다. INS는 미래를 나아가기 위한 핵심적인 기술로서 특히, 국방산업 또는 우주항공기술 개발, 해양의 개척에 필수적이라고 할 수가 있다. 국내에서도 선박용 중심으로 자이로콤파스에 대한 연구는 계속 이루어지고는 있다. 하지만 이러한 장비의 개발과 연구 및 투자가 너무나 부족하여 아직도 실용화를 이루지 못하고 있으며 기술의 수준이 선진국들에 비해 아직 너무나 미흡한 현실에 있다.

자이로콤파스의 제작은 크게 기계적인 부분과 전자적인 부분으로 나눌 수 있다.

기계적인 부분은 자이로스코프의 관성력을 유지하기 위하여 외부 힘으로부터 보

호될 수 있는 설계의 모든 것을 말하며 회전자의 설계, 회전자의 안정을 잡아주는 모터부분, pick-up 코일 등을 말하며, 전자적인 부분에는 지북제어를 위한 각종 신호처리를 의미하며 알고리즘 연산, 신호 제어, 방위 출력 그리고, 각 부분들을 동작하게 하는 전원 등을 의미한다.

본 논문에서는 기본적인 단계로 선박에서 사용되는 전자적인 부분의 핵심인 DTG 신호처리 시스템을 실제적으로 제작하고 지북 추종성능을 확인하며 실용화에 관한 중요성을 제시하고자 한다. 신호처리 시스템의 제작을 위해 기계적인 표준이 되어 사용되어진 자이로스코프는 러시아의 Delphin사에서 제공을 하였다. 또한 제어 알고리즘도 현재 실용화 장비로 나오고 있는 시스템의 알고리즘을 이용하여 제어를 해 보았다.

## 2. 관성항법과 동조 자이로콤파스

### 2.1 자이로콤파스 동작 원리

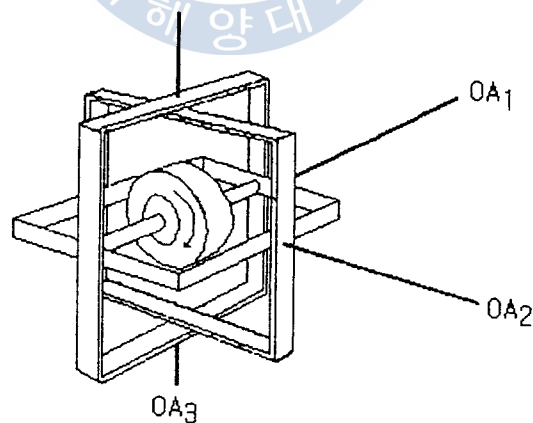


그림 2.1 자이로스코프의 구조

관성항법에 가장 대표적인 장비가 자이로콤파스이다. 그리고 이 중에 가장 중요한 센서가 자이로스콧프이다.

자이로스콧프는 자이로축(Spin Axis), 수평축, 수직축이라는 3축으로 되어 있다. 자이로축( $OA_1$ )은 회전자가 고속으로 회전할 수 있도록 회전자를 지지하며 회전관성의 방향을 가리키는 중심 막대의 역할을 담당한다. 그리고 수평축( $OA_2$ ) 및 수직축( $OA_3$ )은 자이로축 상하의 기울기와 좌우의 회전을 각각 담당한다. 그래서 이러한 3축에 의해 자이로스콧프는 공간의 어떠한 방향이라도 가리킬 수가 있게 된다.

자이로스콧프의 동작은 이러한 3축 구조에서 자이로의 고속회전에 의해 발생하는 자이로의 두 가지 성질에 의해서 이루어진다.

첫 째는 한 방향만을 가르키는 회전관성이다.

두 번째는 외부에서 가하는 힘에 대해 수직방향으로 회전축이 움직이는 세차운동이다.

하지만 지구상에서 북이라고 하는 것은, 적도를 빼고는 변화하기 때문에 지구상의 변화(위도 차에 따른 자전)에 대해서 자이로스콧프만으로는 지구상의 북을 가리켜서 방위를 추종하기는 불가능하다. 따라서 일반적으로 자이로콤파스는 자이로스콧프의 기본적인 특성에 북을 추적 할 수 있도록 액체의 유동을 이용하거나 증력을 이용하는 방법, 전기적인 방법 등을 추가하여 세차운동을 일으키게 된다.

실제적인 예로 북반구의 중간위도에서는, 자이로축을 수평으로 해서, 북으로 향하게 하면 그림 2.2에서 보인 것처럼, 지반은  $w \sin l$ 이라는 정도로 좌로 선회하기 때문에, 자이로축은 동쪽으로 향하게 되는데, 그렇게 향한 각의 크기를 우리는 동편각(東偏角)이라고 부르며  $\alpha$ 라고 표시한다. 지반은  $w \cos l$ 로 동쪽으로 기울어져 있기 때문에, 따라서 자이로축의 N단은  $w \cos l \sin \alpha$ 로 상승한다. 이것이 자이로콤파스 지북력의 원동력으로 된다.

즉, 지구 자전에 의해 자이로축의 지북단(N)이 상승하고 수평면에 대해서 솟은 각  $\beta$ 를 발생하게 된다. 이때  $\beta$ 의 크기에 맞게 비례하는 힘을 발생시킬 경우, 자이로축이 회전하는 방향의 토크를 발생시킨다. 따라서 자이로축은 이러한 토크에 의해 자오선 방향에 일치하는 세차운동을 발생시키는 결과를 만들게 되는데, 이것이 자이로콤파스의 지북원리이다.

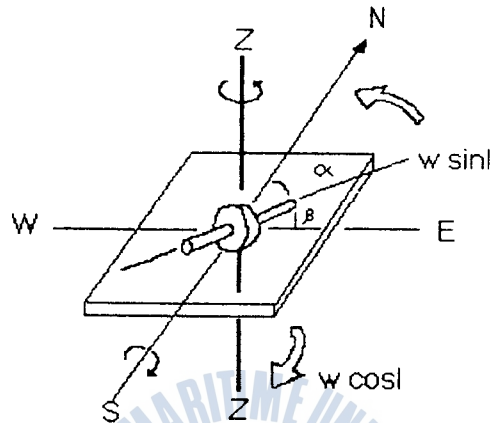


그림 2.2 중위도에서 자이로의 움직임

## 2.2 동조 자이로콤파스

SDINS는 센서들이 직접 몸체에 부착되어 기준좌표계를 연속적으로 계산하여 가상적인 플랫폼을 컴퓨터에 저장시키는 것이다. SDINS를 개발하는데 있어서 가장 중요한 문제는 적절한 자이로스코프의 개발과 빠른 속도의 연산을 수행할 수 있는 프로세서의 개발에 있다.

기계, 전기, 전자가 하나로 복합된 메카트로닉스 기기인 DTG는 크게 기계적인 부분과 전기·전자의 두 부분으로 나누어 이야기 할 수 있다. 이 중에서도 신호처리 시스템은 동조 자이로콤파스의 전자적인 부분에서 가장 핵심적인 부분이다. 특히 자이로콤파스의 제작이 미흡한 국내에서 신호처리 시스템의 개발은 자이로 기술의 경쟁력 확보와 활성화에 대한 밑거름이 될 수 있다는 다른 의미들까지 내포하고 있다.

특히 기능적으로 디지털 방식의 동조 자이로콤파스 신호처리 시스템은 순수하게는 방위를 제공하는 기능이지만 부가적인 옵션을 첨가함으로써 더 많은 편의를 제공할 수가 있다. 특히 내부에 data 기억 소자를 추가하여 시스템의 갑작스런 이상에

대비하여 재 동작 시에 setting 시간을 줄여줄 수가 있으며 필요한 장비를 부가적으로 첨가하여 사용을 용이하게 할 수가 있다.

### 2.3 신호처리 시스템 구성 및 제작

디지털 방식의 동조 자이로컴파스 신호처리 시스템의 주된 목적은 자이로스코프의 신호를 제어하여 지북을 지향하게 함으로써 방위를 제공하는데 있다. 그리고 입력 신호에 따라 달라지는 전류의 변화 제어, 배의 속력 및 방위 정보 출력, 온도에 의존한 장비의 제어, 모드 변화에 따른 장비의 상태 변화, stabilizer의 제어, 일정한 power의 제공, 시스템 이상 시에 자동 off 등의 중요한 기능을 한다.

이러한 System의 구성은 크게 입력부, 제어 및 출력부, 연산부, 기억부로 나눌 수 있다.

신호처리의 전체 흐름은 그림 2.3과 같다.

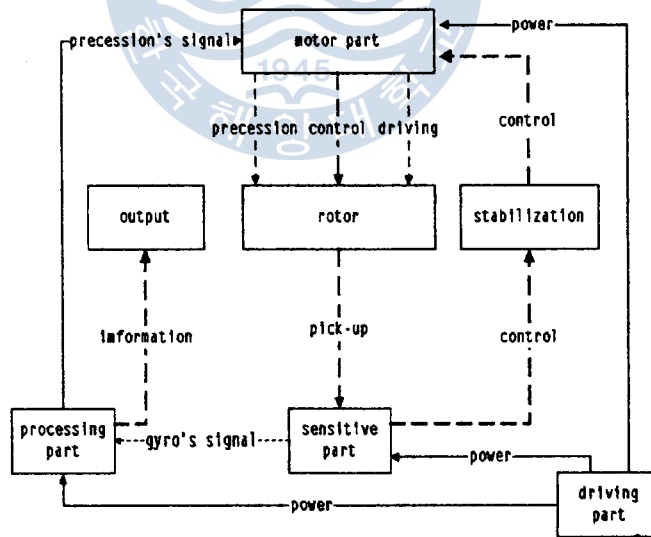


그림 2.3 DTG의 신호처리 구성도

### 2.3.1 입력부

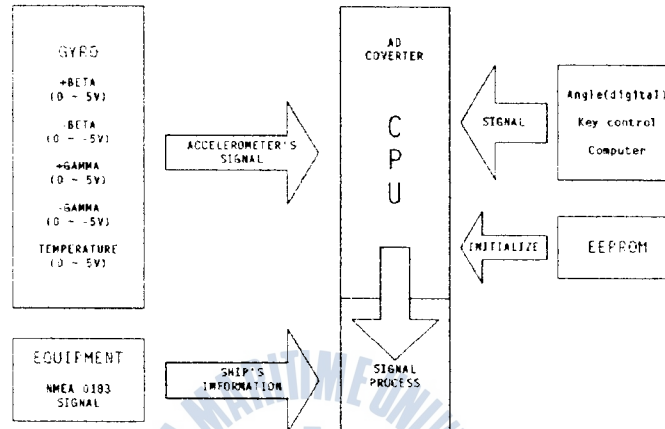


그림 2.4 입력부의 구성도

DTG가 지북제어를 위하여 사용되어지는 신호는 가속도계로부터 받아들여지는 기울기 신호( $\beta$ ,  $\gamma$ ), 온도 센서에 의해 검출된 온도 신호(T) 그리고 레졸버라는 것에서 방위각의 신호를 입력받게 된다. 그 외에도 지북제어를 위한 선박의 속력을 외부의 다른 장비로부터 입력을 받게 하였다. 이러한 입력 신호들은 자이로를 제어하는 모터의 동작 알고리즘에 직접적인 영향을 미친다. 그리고 이러한 제어 알고리즘들의 발생 오차를 보정하기 위해 필요한 정도 보정을 위하여 외부에서 설정이 가능하도록 키에 대한 입력도 추가적으로 부착하였다.

### 3.3.2 연산부

연산부에서는 입력된 신호들을 지북제어 알고리즘 식에 대입하고 판단하게 하는 역할을 한다. 모드의 선택, 연산을 위주로 동작하며 그 외 필요한 외부의 상황을 판단한다. 따라서 고성능 CPU가 되어야만 제대로 된 동작을 할 수 있게 된다.

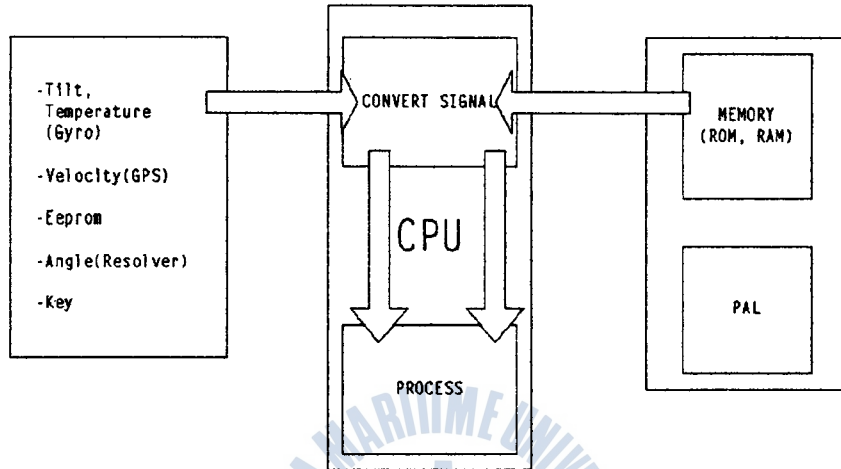


그림 2.5 연산부 구성도

전형적인 DTG의 연산 구성은 그림 2.5와 같다. 지북 추종 제어에 중요한 영향을 끼치는 요소는 대표적으로 선박의 외란, 속도, 위도 등이 있다. 정확한 방위각의 정보를 얻기 위해서는 이러한 여러 요소들을 항상 고려해 주어야 한다. 그래서 CPU에서 이루어지는 연산이라는 것은 지북제어를 위한 알고리즘에 선박의 지북제어에 연관되는 여러 가지 입력들을 대입하여 연산한 후 연산결과에 적당한 양만큼 모터에 전기적인 신호를 주는 것을 말한다. 여기서 알고리즘이란 지북제어를 할 수 있도록 정밀하게 표현화 된 운동 방정식을 의미한다. 참고로 이 수식들은 러시아의 Delphin사의 상용화 제품에서 지북제어를 입증하였다.

· Z축 상의 모터

$$\left( U \sin \varphi + \frac{V}{R} \sin K \cdot \tan \varphi + w_{gpz3} \right) \cos \gamma + \frac{k_1 \beta \cos \gamma}{\cos \varphi} + w_{zh} \quad (2.1)$$



· X축 상의 모터 :

$$\begin{aligned} & \frac{V}{R} \sin K + k_2 \beta + (U \sin \varphi + \frac{V}{R} \sin K \cdot \tan \varphi + w_{gpz3}) \sin \gamma \\ & + \frac{k_1 \beta \sin \gamma}{\cos \varphi} + w_1 \partial px_t + w_2 \partial dx_t + w \partial px \end{aligned} \tag{2.2}$$

표 2.1 지북제어의 요소들

parameter	의미
U	지구의 속도
$\varphi$	배의 위도
R	지구 반경
V	배의 속력
$\beta$	북쪽 가속도계의 기울기
$\gamma$	동쪽 가속도계의 기울기
$w_{gpz3}$	중력의 방위 드리프트를 위한 상수
$w_{ZH}$	중력에 무관한 드리프트 방위 상수
$w_1 \partial x_t, w_2 \partial x_t$	주위 온도의 자이로콤파스 상수
$w_{gpzx}$	자이로콤파스 상수
$k_1, k_2$	scale factor (z 축),(x 축)

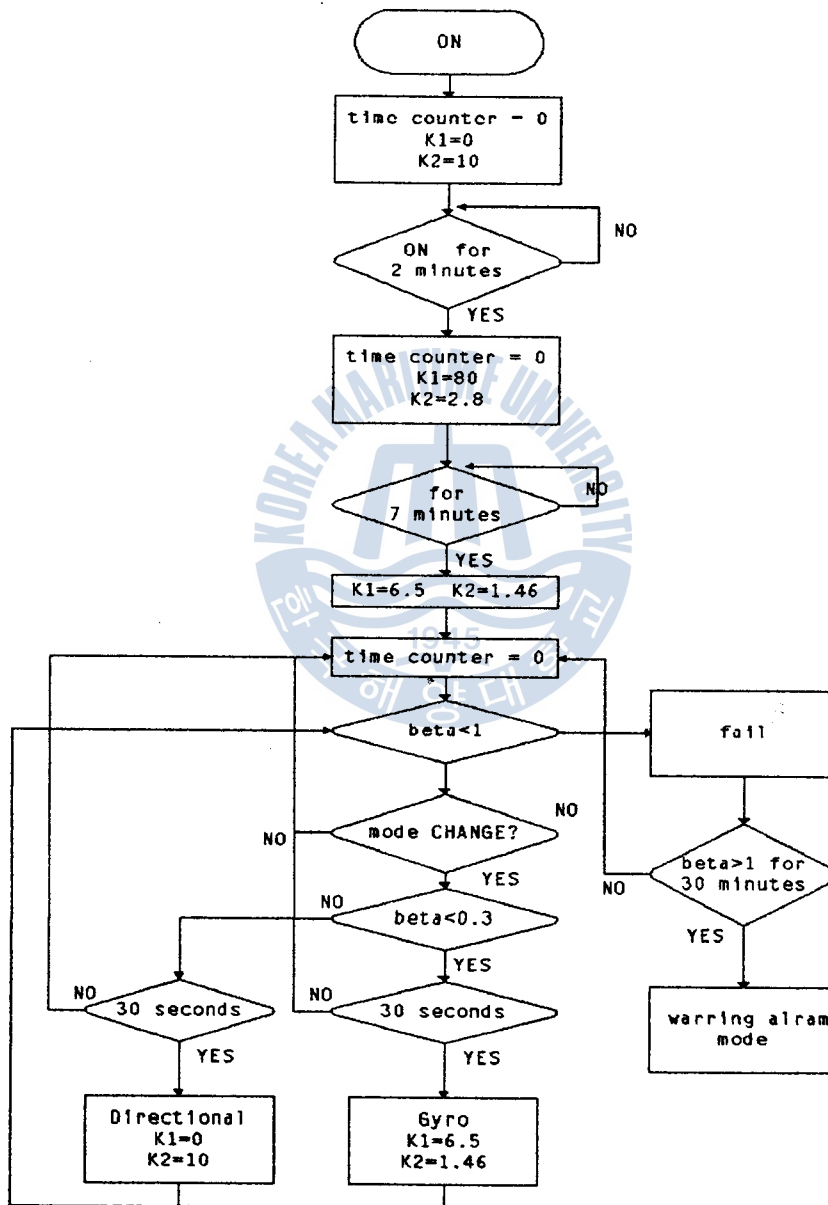


그림 2.6 자이로의 모드 변화 및 동작 순서도

파라미터의 설명들은 표 2.1에 잘 나와 있다. 파라미터들은 항체의 움직임과 상태, 의치 등의 정보를 가진 것들로서 시간적인 변화에 의존하는 것과 독립적으로 존재하는 상수들로 구분이 된다.

특히  $k_1$ ,  $k_2$ 는  $\beta$ 와 함께 중요한 성격을 띠고 있다. 이 상수들은 시스템이 동작하는 순간부터 자이로의 동작 모드에 영향을 끼치게 된다. 그 모습이 그림 2.6을 보면 잘 알 수가 있다. 이 두 상수는 신호처리에 이용될  $\beta$ 의 크기를 조절하는 값이다. 그래서 이 값은 처음 시스템이 동작하면 상수에는 기본 과정을 거쳐서 일정한 시간이 지난 후 시스템이 정상적인 동작을 하게 되면 배의 기울어짐의 크기에 따라서 모드의 변화를 갖게 되는데, 각각의 모드 변화에 따라 앞의 두 상수가 변화를 하게 된다.

### 2.3 제어 및 출력, 기억부

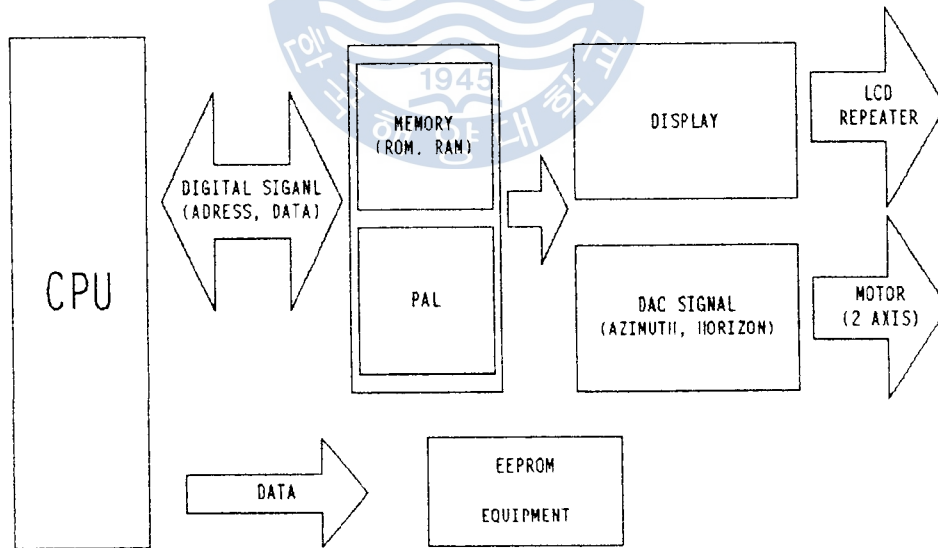


그림 2.7 제어 및 출력부의 구성도

지북제어에 관한 적절한 연산이 CPU에서 이루어지면 그 결과들은 그림 2.7과 같다. 방위 및 위도와 경도에 대한 정보가 display 장비 및 직렬 통신, 키 제어 등의 신호에 전달을 하게 되고 모터 제어를 위한 알고리즘 연산 결과는 DAC에 신호를 보내어 servo 모터에 전달이 이루어지게 되어진다. 각 모터는 Azimuth와 Horizon에 대한 제어를 각각 담당하며 모터에 입력되어지는 전압은 최대 15V ~ - 15V의 동작을 한다. 즉 자이로에서 받은 외부의 영향에 대한 신호와 속도와 그 외 많은 파라미터들이 연산되어져 그 결과가 모터에 전달이 되어지게 된다.

그리고 각 지북제어 연산 결과 및 파라미터들의 변화를 매 동작 때마다 저장하기 위해 임의적으로 부가를 하여 예상 밖의 결과들에 대해 대비를 할 수 있도록 하였다. 기억소자로는 EEPROM 24C04를 사용하여 직렬 데이터 전송을 주고받을 수 있게 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

제작된 자이로콤파스가 실제적인 활용에 들어가기 위해서는 많은 실험이 거쳐져야 한다. 본 논문에서는 기본적인 시험인 정정 시험에 중점을 두었다.

정정 시험의 구분은 크게 3가지로 나누는 데 첫 번째가 정정 시간 시험, 두 번째는 정정점 오차 시험, 세 번째로는 정정점의 항정성 시험이다. 본 논문에서는 제작된 자이로콤파스 신호처리 시스템의 동작을 확인하기 위한 목적이기 때문에 세 번째 실험은 제외하였다.

각 실험은 안정화된 테이블에서 일정한 방향에 대해 약간씩 선수 방위에 대한 변화를 주며 실험이 이루어졌다. 측정간격은 5분을 기준으로 하였다. 그래서 이러한 이유로 정확한 overshooting에 대한 결과는 제대로 나타나지 않았다.

#### 3.1 제작된 시스템의 실험 결과

##### 3.1.1 정정 시간

정정 시간은 자이로를 동작시키는 순간에서 settling이 잡히는 순간까지의 시간을

의미하며, 자이로의 settling이 완전히 이뤄져야만 선박과 같은 항체가 방위의 정보 및 항해에 필요한 정보의 이용이 가능해진다.

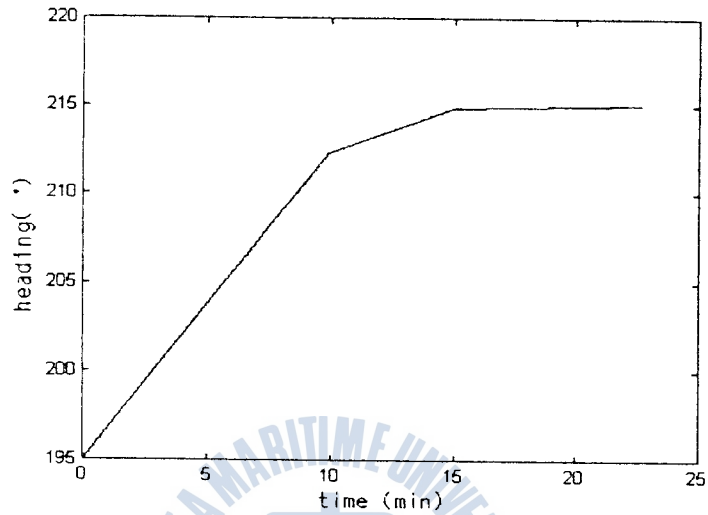


그림 3.1 정정 시간에 대한 측정 그래프

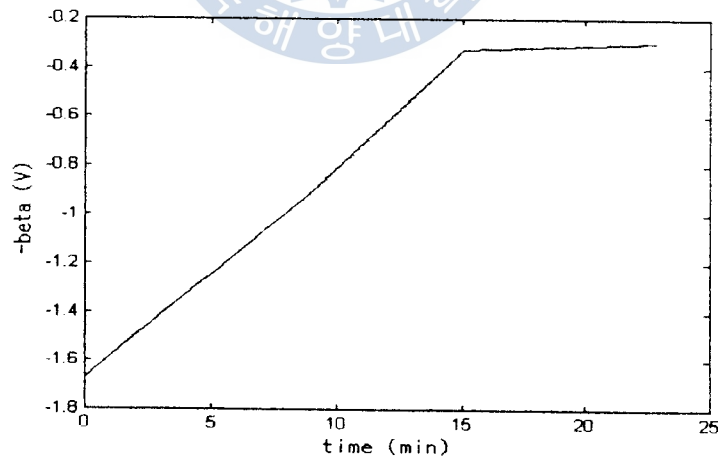
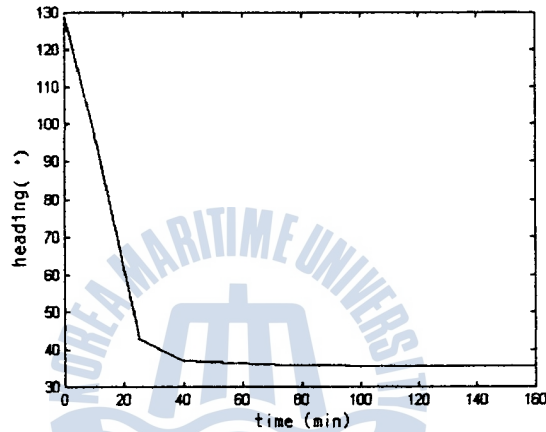


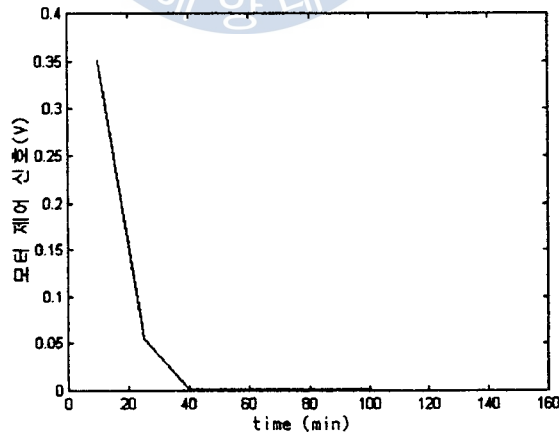
그림 3.2 지북 추종에 따른 각검출기의 전압 변화

### 3.1.2 정정점 오차

정정점의 오차는 settling이 이루어지고 난 이후의 추종을 살피는 것이다. 초기 시작에서는 앞 실험의 과정을 반복하게 된다. 그런 후, 일정한 간격을 두고 시간에 따르는 방위각의 변화를 살피기 때문에 앞의 실험과 커다란 차이점은 없다.



(a) 시간에 대한 방위각의 변화



(b) Z축 알고리즘의 전압 변화

그림 3.3 정정 오차 실험 I

## 4.2 실험 고찰

지금까지의 보여준 내용들은 제작한 DTG 신호처리 시스템의 지북 제어 동작과 그 특성을 보여준 것들이다. 그 결과들은 다음과 같다.

첫 번째, settling을 40분 이내에서 얻을 수 있었다. 하지만 선형적인 구간을 더욱 넓여주면서 기울기를 좀더 높여 줄 수 있는 특성을 가지게 한다면 여기서 얻었던 결과들을 훨씬 앞당길 것이다.

두 번째, 시스템의 분해능은  $0.08^\circ$  정도이다. 따라서 각 소자의 불안정 및 열적 특성을 일정하게 유지할 수 있도록 한다면 더 정밀하고 안정된 동작을 할 수 있는 신호처리 시스템의 제작이 가능할 것이다.

세 번째, 제작된 자이로콤파스의 프리세션 제어를 최소 3mV로 제어가 가능하였다.

네 번째, 기계적인 자이로콤파스를 동작시키더라도 전류의 특성은 1A 이내라는 동작을 이루었다.

다섯 번째, 고성능 프로세서를 사용함으로써 지북제어의 고속 신호처리가 가능하고 다양한 기능의 사용이 편리하였다.

여섯 번째, module화를 함으로써 기능의 구분 및 수정, 개선이 편리하였다.

하지만 이러한 특성들을 얻음에도 불구하고 이 시스템을 제작하며 나름대로 한계점들과 차후 개선점들이 많이 발견이 되었다.

첫 번째로, 국내 자이로콤파스의 활성화 및 그 이용증대, 저렴한 가격으로 해외 시장에 대해서 경쟁력을 높이기 위해 기계적인 제작이 필요하다.

두 번째로 디지털 방식의 동조 자이로콤파스 신호처리 시스템의 표준화에 대한 문제점이다. 아직 이 시스템에 대해 많은 실험 및 연구가 이루어지지 못하고 있으며, 제작에 따른 표준화를 이루지 못하고 있다. 본 실험에서도 동적 상태, 실제적인 항해, 열적인 영향, 외부의 강한 충격, 방수 등의 문제점들에 대해 더 많은 과정들이 거쳐야 한다.

세 번째로 부품의 국내 제작에 있다. 특히 고성능 프로세서의 제작은 DTG의 모든 요소에 직접적인 영향을 끼친다. 또한 가격, 기술, 부피 등을 결정하는 핵심적인 요소이다.

네 번째는 외부장비와의 더욱 편리한 연계성을 유지하고 간편한 항해를 위한 서비스를 더욱 많이 제공해 주어야만 할 것이다.

그리고 마지막으로 더욱 정밀한 제어를 위해 지북제어 알고리즘에 대한 구체적인 연구가 더욱 많이 시행되어야 한다.

## 5. 결론

본 논문에서는 디지털 방식의 동조 자이로컴퍼스 신호처리 시스템을 직접 제작하여 지북 제어에 대한 실험들을 수행하였다. 전자적인 시스템의 제작과 전체 신호처리 알고리즘을 계획한 후 신호처리 시스템을 하나의 기판으로 구성하였으며 내부의 동작 및 알고리즘 제어는 각 부분을 함수화하여 EPROM에 저장을 시켜 실험하였다.

신호처리 시스템의 동작 순서는 자이로스코프에서 얻어진 아날로그 신호(각속도)를 디지털로 변환한 후 고성능 프로세서인 80196KC를 이용하고, CPU에서 지북 제어 알고리즘 연산을 거쳐 모터에 신호를 보내어 줌으로써 직접적인 세차운동을 가하게 하였다. 입력 전압의 분해능은  $0.08^\circ$  이고 출력은 3mV로 제어를 더욱 정밀하게 할 수 있도록 하였다. 그 외에도 필요한 추가 옵션을 위하여 키의 첨가 및 기억 장치를 추가하여 장비의 선원적인 이상에 대해 발생하는 문제점을 보강하게 하였다.

제작된 시스템은 안정화 된 테이블에서 지북제어 실험을 하였다. 실험에서는 최대 40분 이내의 settling 특성을 얻을 수 있었다. 또한 실험 상황에 대한 조건들을 변화시켜줌으로써 보다 빠른 시간적 특성도 얻을 수 있었다.

제작된 시스템은 열적인 안정, 동적인 실험, 표준화된 시스템의 제작 등에서 미흡한 점이 많이 남아 있다. 하지만 앞으로 꾸준한 연구와 투자가 계속 되어진다면 빠른 기간 내에 우리 스스로의 제작이 가능하리라 생각이 된다.



## 참고 문헌

- [1] R. J. G. Craig, "Dynamically Tuned Gyros in Strapdown Systems,", Conference Proceedings no 116, North Atlantic Treaty for Organization Advisory Group for Aerospace Research and Development 1972.
- [2] 과학기술처 "정밀계측장치 제작에 따른 해석기법 개발", p 1 ~ 40, 1987,
- [3] 해군본부 "관성항법의 원리", p 25 ~ 57, p 94 ~ 96, 1986
- [4] 송진우 "동조 자이로스코프를 위한 재평형루프 설계", 서울대 대학원 석사학위 논문, p 1 ~ 13, 1997
- [5] 안창기 "동조 자이로스코프 기계부의 제작 및 해석에 관한 연구", 서울대 대학원 석사학위 논문, 1994
- [6] 유윤기 "레졸버를 이용한 디지털 자이로콤파스의 개발에 관한 연구", 한국해양대 대학원 석사학위 논문, 1992
- [8] 통상산업부 "광파이버 자이로스코프를 이용한 선박용 자이로콤파스 시스템 개발", 1997
- [7] 삼양무선, "콤파스와 자동조타", 매뉴얼, 1996
- [9] 삼양무선, "Convert for Rotor Power Supply and Resolver to digital", 매뉴얼, 1996
- [10] 차영배 "Micro Controller 80196". DADA MEDIA, 1996
- [11] 김석주 "C로 하드웨어 주무르기", 가메출판사, 1996
- [12] 이우선, 이상우 "i80c196kc 구조\*응용 모터자동제어", ohm, 1995
- [13] 이왕현 "모터 제어 기술", 성안당, 1992
- [14] IMO "NMEA", 1992
- [15] 인터넷 및 DATA SHEET(소자에 대한 정보)

