

工學碩士 學位論文

마그네틱 콤파스 데이터 電送 시스템의 設計 및  
具現에 관한 研究

A Study on Design and Implementation of  
Transmitting Magnetic Compass System

指導教授 金 基 文

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科

丁 昶 宇

工學碩士 學位論文

마그네틱 콤파스 데이터 電送 시스템의 設計 및  
具現에 관한 研究

A Study on Design and Implementation of  
Transmitting Magnetic Compass System

指導教授 金 基 文

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科

丁 昶 宇

本 論 文 을 丁 昶 宇 의 工 學 碩 士  
學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 梁 圭 植 (印)

委 員 林 宰 弘 (印)

委 員 金 基 文 (印)

2004年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

電 子 通 信 工 學 科 丁 昶 宇

# 목 차

## Abstract

제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구의 배경 .....	1
1.2 연구의 목적 및 내용 .....	2
제 2 장 TMC의 이론적 배경 .....	4
2.1 지구자장 .....	4
2.2 마그네틱 콤팩스와 자계 센서 .....	9
2.3 마그네틱 콤팩스 전송시스템의 개념 .....	15
2.4 해상전자장비 접속 규격 .....	18
제 3 장 제안된 TMC 시스템의 설계 및 구현 .....	26
3.1 시스템의 분석 및 회로의 구성 .....	27
3.2 신호 처리 알고리즘 .....	32
제 4 장 시스템의 평가 및 고찰 .....	43
4.1 시험 환경 .....	43
4.2 시스템의 성능평가 .....	44
제 5 장 결 론 .....	49
참 고 문 헌 .....	50
부       록 .....	51

## 표 차례

<표 2-1> 측정 범위에 의한 분류 .....	11
<표 2-2> 단순 데이터 형식 .....	19
<표 2-3> 복합 데이터 형식 .....	20
<표 2-4> 일반적인 송신측 ID .....	22
<표 2-5> 표준 문장 형식 .....	23
<표 4-1> 각 지점에서의 플럭스게이트 출력 전압값 .....	47

## 그림 차례

<그림 2-1 > 지구자장 .....	5
<그림 2-2 > 편각 .....	6
<그림 2-3 > 복각 .....	7
<그림 2-4 > 수평자력 및 수직자력 .....	8
<그림 2-5 > 마그네틱 콤파스 .....	9
<그림 2-6 > 링 코어 플럭스게이트 센서의 구조 .....	13
<그림 2-7 > 2축 센서 코일의 배치 .....	14
<그림 2-8 > 회전각에 따른 전압의 변화 (2축) .....	15
<그림 2-9 > TMC 시스템의 구성 .....	17
<그림 2-10> NMEA-0183 출력 형식 .....	22
<그림 3-1 > 시스템의 개요 .....	26
<그림 3-2 > 평가회로의 블록도 .....	27
<그림 3-3 > INTEL 80C196KC의 내부 다이어그램 .....	29

<그림 3-4 > INTEL 80C196KC 메모리 맵 .....	31
<그림 3-5 > 수평면상의 선수방위각 표시 .....	33
<그림 3-6 > 선수방위각 처리 루틴 .....	34
<그림 3-7 > 범위에 따른 방향 .....	35
<그림 3-8 > sin 및 cos의 최대, 최소값 .....	36
<그림 3-9 > 정규화 .....	37
<그림 3-10> 등편차선 .....	38
<그림 3-11> 등복각선 .....	38
<그림 3-12> 등수직자력선 .....	39
<그림 3-13> 등수평자력선 .....	39
<그림 3-14> 선수방위각 신호 처리 흐름도 .....	40
<그림 3-15> NMEA 출력 처리 루틴 .....	42
<그림 4-1 > 시험 환경 .....	43
<그림 4-2 > 성능평가 절차 .....	44
<그림 4-3 > 평가회로 동작 흐름도 .....	45
<그림 4-4> 플럭스게이트 출력 신호 .....	46
<그림 4-5> 평가회로 사진 .....	48
<그림 4-6> NMEA-0183 출력 캡처 .....	48

## Abstract

Recently, it was required many efforts to get no person operating ship and more safety using of digital communication and automation of navigation. One of them is double clauses of shipborne equipment.

By International convention for the Safety of Life at Sea(SOLAS) and IMO resolution A.382(X) of International Maritime Organization(IMO), it was obligated that standard magnetic compass is installed in ship, as double clauses of shipborne equipment.

That is, it was generalized that gyro compass which is exact device indicating true north is installed in ship for long time ago, but it was recommended obligatory that standard magnetic compass operated independently is installed for safety.

Also, it was recommended obligatory that transmitting heading device(THD) transmitting heading information to shipborne equipment such as radar and Automatic Identification System(AIS) is installed in 300~500T ship, by IMO resolution MSC.116(73)

Following above clauses, Transmitting Magnetic Compass(TMC) system as a efficiently method of THD using standard magnetic compass was used widely, and was begun to install in ship which was dehydrated after July 1. 2002.

TMC system is device which was inputted magnetic signal from fluxgate sensor connecting magnetic compass, and then displaying heading information processed correcting deviation and variation necessary in display part, and outputting suitable heading signal to communicate other navigation equipment through NMEA(National Maritime Electronics Association standard in the sea.

Today, TMC system permitted international approval is produced in minority companies of Germany and several country, it is not yet in Korea In this thesis, suggest the design and implement of TMC system. Thus it

will be good for basic research data to produce TMC system ourselves.

In this study, I produced the TMC system using 80C196 microcontroller in Intel Inc. and excepted making of fluxgate sensor, using common product C\_Plath of Germany.

Heading signal inputted sensor is processed by suitable algorithm, and then heading information processed is been transmitting to display part and at the same time, sending the NMEA-0183 standard output to communicate other navigational equipment.



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경

해상에서 선박의 방위를 나타내는 방법으로는 진북을 나타내는 자이로 콤파스와 자북을 가리키는 마그네틱 콤파스 및 위성항법시스템에 의해 위치좌표를 통해 방위를 계산하는 방법 등이 활용되고 있다.

그러나 마그네틱 콤파스는 자북을 가리키기 때문에 진북으로부터 1,440km 정도나 캐나다 측으로 벗어나 있고, 지표의 한 점에 있어서 자기 에너지도 측정 장소마다 방향 및 지표면의 기울기가 달라 정확한 위치를 알기 위해서는 방위각, 북각(경각) 및 그 밖의 각 점에서 자력의 수평분력 등을 구하고 그 값을 보정해 주어야 한다는 단점이 있다. 이러한 단점에도 불구하고 해상에서의 인명 안전에 관한 국제협약(SOLAS ; International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974)의 제5장 제12규칙 및 국제해사기구(IMO ; International Maritime Organization)의 결의안 A.382(X)에 의해 모든 선박에는 표준 마그네틱 콤파스 및 조타기 콤파스의 설치를 의무화하고 있으며, 이와 더불어 300~500톤 사이의 선박에 설치되는 레이더, 선박자동식별시스템(AIS ; Automatic Identification System) 등에 선수 방위를 입력하기 위한 장비로써 선수 방위송신장치(THD ; Transmitting Heading Device)를 의무적으로 탑재하도록 하는 IMO 결의안 MSC.116(73)이 채택되었다<sup>[1],[2]</sup>.

이 요건에 의해 500톤 미만의 선박에서는 자이로 콤파스가 요구되지 않음으로 정기적으로 진방위를 제공할 수 있는 마그네틱 콤파스를 설치하여 그 방위정보를 제공받아야 한다. 따라서 이에 가장 효율적인 방법 중의 하나인 마그네틱 콤파스 데이터 전송(TMC ; Transmitting

Magnetic Compass)시스템이 2002년 7월 1일 이후 건조되는 선박부터 탑재되기 시작하였다.

이러한 TMC 시스템을 마그네틱 콤파스와 함께 국제 승인을 취득한 제품이 국내에서는 개발되지 않아 전량 수입에 의존하는 실정에 있다.

따라서 본 논문에서는 기계 및 유체에 관련된 마그네틱 콤파스의 개발은 불가능하다 하더라도 마그네틱 콤파스의 방위를 전기 및 전자적인 방법으로 전달하기 위한 TMC의 개발은 쉽게 접근할 수 있고 개발된다면 조선 기자재 산업에 크게 일조할 수 있을 것으로 판단하였다.

## 1.2 연구의 목적 및 내용

통신의 디지털화, 신소재의 개발, 항해의 자동화와 같은 선박의 무인화 및 안전을 위한 많은 노력이 이루어지고 있고 이 중의 하나가 선박의 설비의 이중화 요건이다.

이미 오래 전에 자이로 콤파스와 같은 진복을 가르키는 정밀한 선수 방위 장치가 개발되어 선박 설치가 보편화되어 있지만 이와 함께 주 조타위치에서 선박의 침로를 결정하고 이를 표시하기 위해 어떠한 동력으로부터도 독립되어 적절히 조정된 표준 마그네틱 콤파스의 탑재가 계속 이루어지고 있는 것이 좋은 예일 것이다.

TMC는 SOLAS-2000 개정안의 채택에 따라 송신용 선수 방위 장치(THD)의 하나로써 가장 널리 활용되는 장비로써, 마그네틱 콤파스로부터의 선수방위를 플럭스게이트라는 센서를 통해 읽고 이 정보는 다시 송신부에 전달되어 요구되는 정확한 신호형태로 변환하며 필요한 오차 보정을 수행할 뿐 아니라, 국제 표준신호 형태로 다른 항해장치에서 이용할 수 있는 방위 정보를 출력해 줄 수 있는 장치를 일컫는다.

이러한 TMC는 기능적으로 선수방위에 대한 신호를 수신하고 다른 항해장치를 위해 적절한 출력 신호를 생성하며, 센서 자체가 TMC 장치에 포함될 수도 있다. 또한 TMC의 보정장치 또는 선수들이 사용자의 부적합한 동작으로부터 보호될 수 있도록 설계되어야 하고, 표시부는 센서의 수신을 표시하고 선수방위의 출력은 실제 방위로 나타내어야 한다.

전자적인 보정에 사용되는 수동 설정값은 적절한 수단으로 표시할 수 있어야 하고, 전송 및 분해능 오차는  $\pm 2^\circ$  이하이어야 하며, 정적인 상태에서의 오차는  $\pm 1.0^\circ$ , 선박의 진동, 롤링, 피칭 또는 선형적인 가속과 같은 능동적인 현상에 의해 기인되는 오차는  $\pm 1.5^\circ$  이내로 설계되어야 한다. 선박의  $10^\circ/\text{s}$ 의 회전에 대해  $\pm 0.5^\circ$ ,  $10^\circ/\text{s} \sim 20^\circ/\text{s}$ 의 회전에 대해  $\pm 1.5^\circ$ 의 추종 오차 이내이어야 하며, 해당 국제해상인터페이스 표준에 따른 신호를 출력하여야 한다<sup>[2],[3]</sup>.

본 논문에서는 이상의 특성을 가진 TMC 시스템을 연구하였으며 선수방위를 검출하는 센서는 연구범위에서 제외되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 마그네틱 콤파스 전송의 이론적 배경으로써 지구자장의 개념과 지구자장을 이용하여 선박의 선위나 침로를 결정할 수 있도록 하는 마그네틱 콤파스 및 지자계 센서에 대해 설명하였으며, TMC의 개념 및 TMC 시스템의 조건 및 현황에 대해 알아보고, 해상에서의 전자장비 접속 규격인 NMEA 표준에 대해 설명하였다.

제 3 장에서는 시스템의 전체적인 구성을 고찰하고, TMC 시스템을 설계하기 위하여 필요한 사항들을 정리하였다. 또한 INTEL 80C196KC 마이크로컨트롤러를 사용하여 시스템의 분석 및 설계를 연구하였으며, 제 4 장에서 설계된 시스템의 환경 구성, 시험 방법 및 결과를 도출하여 성능 평가를 하였다. 마지막으로 제 5 장에서는 결론을 도출하였다.

## 제 2 장 TMC의 이론적 배경

### 2.1 지구자장

#### 2.1.1 자장

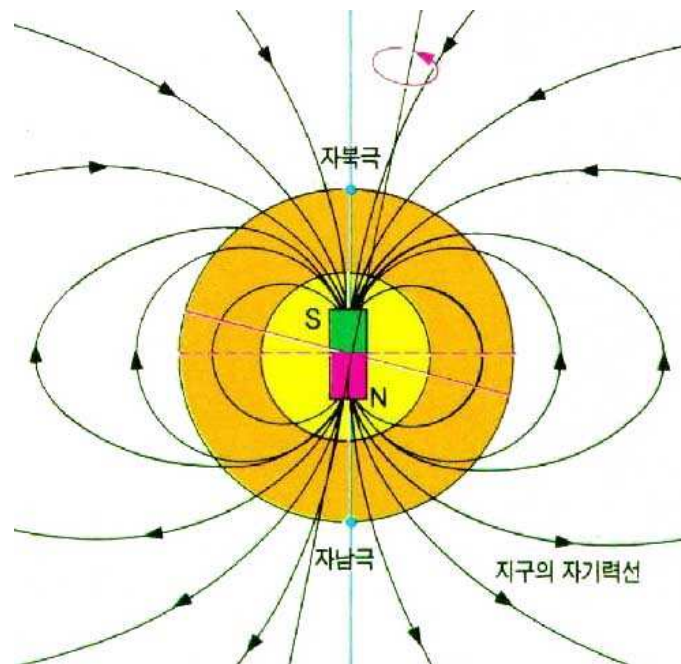
자석에 의한 자기력이 미치는 공간내에 자장(Magnetic Field)이 존재한다. 자장내의 어느 지점에서의 자기 강도를 그 지점에 대한 자력(Magnetic force)이라 하며, 그 지점에서의 자기 방향을 자력의 방향(Direction of magnetic force)이라고 한다.

자력의 C.G.S(Centimeter-Gram-Second) 단위는 gauss이며, 자기작용에 의한 자장의 방향은 자석의 N극에서 나와 S극으로 향한다.

#### 2.1.2 지구자장

지구표면은 그 전면을 둘러싼 천연자장 영역 내에 놓여 있다. 이 천연자장을 지구자장(Geo-magnetic field)이라 하며, 그 원인은 지구자기(Geo-magnetism)에 기인한다.

지구자장이 존재하는 원인에는 여러 학설이 있으나 모두 모순이 있으므로 확실한 것은 없다. 따라서 이해의 편의를 위해 지구 내부가 자화된 것으로 간주하기로 한다.



<그림 2-1> 지구자장

<Fig. 2-1> Geo-magnetic field

(1) 지구자기의 요소들

① 편각 또는 편차(Declination or Variation)

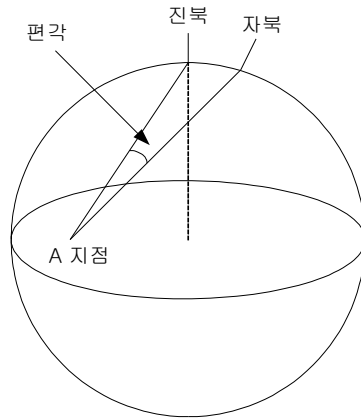
자침의 방향 즉 지구자력의 방향을 포함하는 면을 그 지점에 있어서의 자기자오면(Magnetic meridian)이라 하고 자기자오면과의 만나는 선을 자기자오선(Magnetic meridian line)이라 한다.

자기자오선은 일반적으로 지리학적 자오선(Geographical meridian)

즉 진자오선(True meridian)과 일치하지 않고 어긋나는 것이 보통이다. 이 자기자오선과 진자오선과의 사이각이 편각 즉 편차이다.

편차는 진자오선의 방향 즉 진북(True North)을 기준으로 동측으로의 편각을 +라 하면, 북으로 향하여 자기자오선이 진자오선보다 오른쪽으로 편동한 것을 편동편차(Easterly variation)라 하고, 왼쪽 즉 편서한 것을 편서편차(Westerly variation)라 한다. 편동편차는 +, 편서편차는 -의 각으로 표시한다.

지구자장은 시간과 장소에 따라 모두 변화하므로 편차의 값 또한 장소와 연변화량으로 분류되어 보정되어진다.



<그림 2-2> 편각

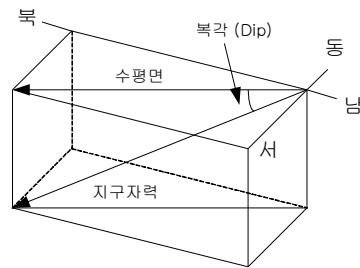
<Fig. 2-2> Declination or Variation

② 북각(Dip) 또는 경차(Inclination)

자침은 일반적으로 수평이 되지 않고, 북반구에서는 자침의 N극이 수평면에 대하여 하방으로 남반구에서는 자침의 N극이 수평면에 대

하여 상방으로 경사져 있다. 이 자침의 방향 즉 지구자력의 그 수평면에 대한 경사 즉 자기자오면 내에서 수평선과 지구자력의 방향과의 사이각을 북각(Dip)이라 한다.

북각은 수평면으로부터 하방으로 측정한 각을 +로 한다. 즉 자침의 N극이 수평면보다 하방이면 북각은 +의 각이며, 자침의 N극이 수평면보다 상방이면 북각은 -의 각이다.



<그림 2-3> 북각

<Fig. 2-3> Dip

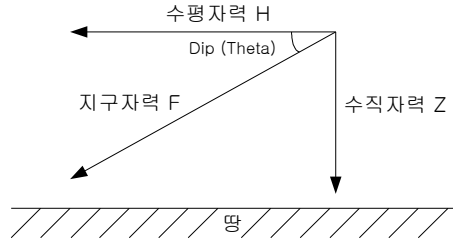
### ③ 지구자장의 방향

2개의 자석에 있어서 같은 극은 서로 반발하고 다른 극은 끌어당기므로 지구를 하나의 자석으로 간주하면 지구의 북단은 자석의 S극에 해당되며, 그 남단은 N극에 해당된다. 이를 지구의 자극(Magnetic pole)이라 한다.

자석이 만드는 자장의 방향은 자석의 N극에서 나와 S극으로 향하도록 표시하므로 지구자장의 방향은 남에서 북으로 향하게 되며 대개 북반구에서는 하방으로 남반구에서는 상방으로 향한다.

④ 수평 자력 및 수직 자력

지구자장의 강도 즉 지구자력은 보통 수평방향과 수직방향으로 나뉘는데, 각각 수평 자력(Horizontal force) 및 수직 자력(Vertical force)라고 한다.



<그림 2-4> 수평자력 및 수직자력

<Fig. 2-4> Horizontal force and Vertical force

⑤ 지구 자기의 3요소

일반적으로 편각(Var), 북각(Dip) 및 수평자력을 지구자기의 3요소라고 하며, 이들 3요소를 측정하면 그 장소에 있어서의 지구자장을 알 수 있다. 그러나 콤팩스를 사용할 경우에는 지구자장을 표시함에 있어 편각, 북각 및 수평자력으로 표시하는 것보다 편각, 수평자력 및 수직자력으로 표시하는 것이 편리한 경우가 많다.

지구자력을 F, 수평자력을 H, 수직자력을 Z, 북각을  $\theta$ 라고 하면 이들의 관계식을 다음과 같다<sup>[4]~[6]</sup>.

◦  $F = \sqrt{H^2 + Z^2}$  ,  $H = F \cos \theta$

◦  $Z = F \sin \theta$  ,  $\tan \theta = \frac{Z}{H}$



## 2.2 마그네틱 콤파스와 자계 센서

### 2.2.1 마그네틱 콤파스의 개요 및 원리

마그네틱 콤파스는 지구자장의 방향을 측정하여 방위를 구하는 항해계기이다. 즉 마그네틱 콤파스는 지표에 대해서 항상 일정한 방향을 가리키므로 선박의 침로를 알거나 혹은 시계(視界)내의 물표방위를 측정하여 선위를 결정하는데 필요한 항해계기로서 선내에서는 가장 기본적이고 가장 중요한 항해계기의 하나이다.

마그네틱 콤파스의 원리는 방위 눈금판에 자침(자석)을 붙인 것을 선회축으로 수평되게 지지하여 수평면내에서는 자유롭게 회전할 수 있도록 하면 항상 지구자기의 방향을 가리키게 된다<sup>[4],[6]</sup>.



<그림 2-5> 마그네틱 콤파스

<Fig. 2-5> Magnetic compass

### 2.2.2 자계 센서

지자계를 비롯하여 자기는 오래전부터 알려진 현상이며, 그 센서는 방위 측정용의 자침에서 시작되어 긴 연구의 역사를 가지고 있다. 2000년

이상 사용되어온 자계 센서의 초기 응용은 방향검출 또는 항행을 위주로 하였으며, 오늘날에도 항행이 그 주요 목적이기는 하나 그 외에 다양하게 활용되고 있다.

자계 센서에 의해 측정할 수 있는 정보는 항행을 위한 지자계 검출, 자계의 크기와 방향 및 측정 위치 등을 얻을 수 있다. 현재는 센서의 분해능 등이 비약적으로 높아졌으며, 소형화 및 전자 시스템과의 적합성이 크게 향상되었다. 그리하여 지자계 센서인 플럭스게이트(Fluxgate)나 이방성 자기저항(AMR ; Anisotropic Magnetoresistive) 센서와 같은 고성능 센서를 이용하여 전자 마그네틱 콤파스의 구현도 가능하게 되었다.

#### (1) 자계 센서의 분류

다양한 자계센서를 분류하는 한 방법으로는 측정 범위에 의한 것이다. 이는 저자계, 중자계, 고자계의 세가지 영역으로 나누어지며, 1 microgauss 이하의 영역을 측정하는 센서를 저자계 센서라 하고 1 microgauss에서 10 gauss까지의 범위를 측정하는 센서를 지자계 센서, 10 gauss 이상의 범위를 측정하는 센서를 바이어스(bias) 센서라 한다. <표 2-1>에 측정 범위에 의한 다양한 센서의 분류를 나타내었다.

##### ① 저자계 센서

저자계 센서는 대개 의료용이나 군사 탐지용으로 사용되어 왔다. 이들 센서들은 다른 자계 센서에 비해 크기가 크며 고가이다. 또한 매일 변화하는 지자계 값이 저자계 센서의 특정 범위를 초과 할 수 있으므로 지자계를 측정하기 위한 센서들로는 적절하지 않다. 저자계 센서의 종류에는 초전도 양자 간섭소자(SQUID ; Superconducting Quantum Interference Device)형과 씨치 코일(Search-Coil)형 및

<표 2-1>에 언급된 기타 저자계 센서들이 있다.

<표 2-1> 측정 범위에 의한 분류

<Table 2-1> Classification by sensing field ranges

자계센서의 기술	측정가능 범위 (가우스)				
	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>8</sup>
Squid 스쿼드	[10 <sup>-8</sup> , 10 <sup>4</sup> ]				
Fiber-Optic 광섬유	[10 <sup>-4</sup> , 10 <sup>0</sup> ]				
Optically Pumped 광학적 펌프	[10 <sup>-8</sup> , 10 <sup>0</sup> ]				
Nuclear Precession 핵 전진	[10 <sup>-4</sup> , 10 <sup>0</sup> ]				
Search-Coil 서치코일	[10 <sup>-8</sup> , 10 <sup>8</sup> ]				
	Earth's Field 지자계				
Anisotropic Magnetoresistive 이방성 자기저항	[10 <sup>-4</sup> , 10 <sup>0</sup> ]				
Fluxgate 플럭스게이트	[10 <sup>-4</sup> , 10 <sup>4</sup> ]				
Magnetoresistor 자기저항	[10 <sup>0</sup> , 10 <sup>4</sup> ]				
Magnetodiode 자기다이오드	[10 <sup>0</sup> , 10 <sup>4</sup> ]				
Magneto-Optical Sensor 자기광학 센서	[10 <sup>0</sup> , 10 <sup>8</sup> ]				
Giant Magnetoresistive 강자기저항	[10 <sup>0</sup> , 10 <sup>4</sup> ]				
Hall-Effect Sensor 홀효과 센서	[10 <sup>0</sup> , 10 <sup>4</sup> ]				

② 지자계 센서

중간 자계를 측정하는 센서들로서 지구자계를 이용하기에 가장 알맞은 센서들이다. 지구자계를 이용하는 분야는 다양하며, 주로 항행을 위한 방향각 계산, 운송수단 검출을 위한 거리 측정 및 편유클 정을 위한 자계의 변화 측정 등에 이용된다. 지자계 센서의 종류로는 플럭스게이트와 이방성 자기저항 센서 등이 있다.

### ③ 바이어스 자계 센서

대부분의 산업용 센서들은 측정된 자기장의 원인으로 불변의 자기를 이용한다. 이런 불변의 자성체 혹은 바이어스, 강자성체 물질이 센서에 접근하게 되면 센서는 전체 자기장에서의 변화를 측정하게 된다. 바이어스 자계 센서는 일반적으로 지자계보다 큰 자기를 측정할 뿐만 아니라 큰 자기에 의해 일시적으로 영향을 받는 상태까지 측정하게 된다.

바이어스 자계 센서의 종류로는 리드 스위치(Reed Switch), InSb 자기저항(Magnetoresistors), 홀 디바이스(Hall device) 및 강자기저항(GMR ; Giant Magnetoresistive) 센서 등이 있다. 바이어스 자계 센서 중 자기저항과 같은 일부 센서들은 수 테슬러 이상까지 측정할 수 있으며, GMR 센서의 경우는 밀리가우스 영역 이하까지 측정할 수 있다<sup>[7],[14]</sup>.

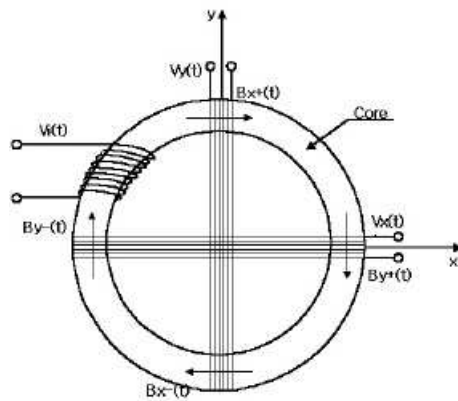
## (2) 플럭스게이트

플럭스게이트는 지구자계를 측정하여 항행 정보를 데이터화 할 수 있는 지자계 센서로써 항행 시스템에 가장 널리 사용되고 있다. 또한 플럭스게이트는 여러 다른 센서에 비해 비교적 고감도이며, 센서의 크기가 상대적으로 소형이고 전력소모가 적으며 출력신호 안정도가 우수하다는 장점이 있다.

### ① 플럭스게이트 센서의 구조와 동작원리

플럭스게이트 센서는 링형의 코어에 1개의 여자 코일과 2개의 검출코일이 감겨져 있다. 여자코일은 링코어 주위에 단단하고 균일하

게 감겨져 있으며, 전압이 인가되면 링코어의 단면을 따라 자력선이 형성된다. 인가전압을 교류형태이므로 자력선의 방향이 수시로 교차된다. 외부자장에 대한 변화량을 검출하기 위해 링코어의 중심에 수직방향으로 검출코일이 좁은 단면으로 균일하게 감겨져 있다. 수직으로 감겨진 형태로 인해  $X, Y$  축에 유도된 자장 변화를 검출할 수 있도록 구성되어 있다.



<그림 2-6> 링 코어 플럭스게이트 센서의 구조

<Fig. 2-6> Structure of ring-core fluxgate sensor

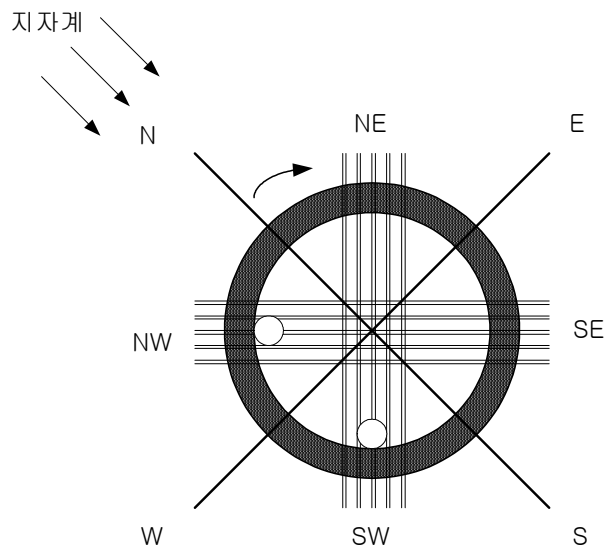
그 구조를 보면 <그림 2-6>와 같으며 링코어 주위에 균일하게 감겨진 코일을 여자코일이라 한다.

여자코일에 전류를 흘리기 위한 인가전압인  $V_i(t)$ 가 인가되면 코어는 자기이력곡선의 특성을 따라 여자된다. 코어 위에 균일하게 감겨진 코일을 검출코일이라 하며, 이 검출코일의 유기전압  $V_x(t)$ 와

$V_y(t)$ 는 코어내부의 자속변화에 따라 기전력이 유기되며, 유기된 기전력은 코어의 두 영역을 통해 시간함수적으로 변하여 각각 하나의 성분으로 유기된다.

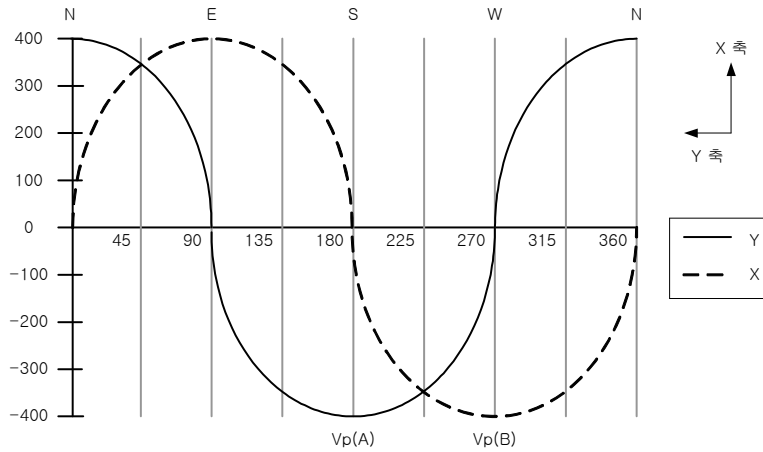
② 회전각에 따른 출력 파형

아래의 <그림 2-7>는 A와 B 구개의 2차 코일을 90°간격으로 배치한 플럭스게이트의 개요를 나타낸 것이다. “○” 표시는 코일의 극성을 나타내기 위한 것으로 현재의 상태에서 A와 B의 두 코일에 서 모두 “+”의 전압  $V_p(A)$ 와  $V_p(B)$ 를 얻었다고 가정하고, 센서 코일을 화살표 방향으로 회전시킬 때 두 전압의 변화를 보면 <그림 2-8>와 같다.



<그림 2-7> 2축 센서 코일의 배치

<Fig. 2-7> Configuration of 2-axis sensor coil



<그림 2-8> 회전각에 따른 전압의 변화 (2축)

<Fig. 2-8> Detection voltage according to turn deg. (2-axis)

$V_p(A)$ 와  $V_p(B)$ 는 지자기의 방향과 센서코일의 교차각  $\theta$ 의  $\sin\theta$  값에 비례하므로 두 축의 출력 파형을 보면 위상차가  $90^\circ$ 인  $\sin$  파형과  $\cos$  파형으로 나타난다<sup>[8],[9],[16]</sup>.

## 2.3 마그네틱 콤파스 데이터 전송시스템의 개념

### 2.3.1 TMC의 개요

TMC 시스템은 선수방위송신장치(THD)의 하나로 마그네틱 콤파스와 지자기 센서로부터 지구자기를 측정하여 항행에 필요한 정보 즉, 방위각 및 현재의 위치 정보 등을 디지털화하여 얻을 수 있는 장비이다.

TMC는 MSC 73의 부기 29의 선수방위송신장치(THD)에 관한 요건에

따라 기능적으로 선수방위에 대한 신호를 수신하고 다른 항해 장치와의 호환을 위해 적절한 출력 신호를 발생시킬 수 있으며, 임의의 센서 자체가 장비에 포함될 수 있다. 또한 사용자의 부적합한 동작에 충분히 보호될 수 있도록 설계되어야 한다.

정보의 표기는 센서의 종류에 상관없이 모든 출력 방위각은 실제 방위각을 표시하여야 하며, 전자적인 보정에 사용되는 수동 설정값은 적절한 수단으로 표시할 수 있어야 한다.

THD 장비의 정밀도는 연결된 검출부 부분에서 성능을 측정하는데, 검출부는 전송부분에 포함되어 있도록 설계되어야 하며 그 관련 장치는 모두 함께 측정이 이루어져야 한다. 결의 A.424(XI) 또는 A.821(19)의 규격에 따라 해상과 같은 조건하의 모든 장비의 출력은 다음과 같은 정밀도를 만족시켜야 한다.

- 전송 및 분해능 오차는  $\pm 0.2^\circ$  이하이어야 한다.
- 정적인 상태에서의 오차는  $\pm 1.0^\circ$  이하이어야 한다.
- 능동적인 현상에 의한 오차는  $\pm 1.5^\circ$  이하이어야 하며, 능동오차의 크기가  $\pm 1.5^\circ$ 를 초과할 경우 능동오차 주파수는 주기가 30초보다 짧지 않은 0.033Hz 이하이어야 한다.
- 선박의 회전율에 따른 오차는 회전율이 10. /s 이상에서는  $\pm 0.5^\circ$  이하이어야 하며, 10. /s ~ 20. /s 에서는  $\pm 1.5^\circ$  이하이어야 한다.

그리고 장비의 하나 이상의 출력은 해당 국제해상인터페이스 표준에 따른 신호를 출력하여야 한다<sup>[2]</sup>.

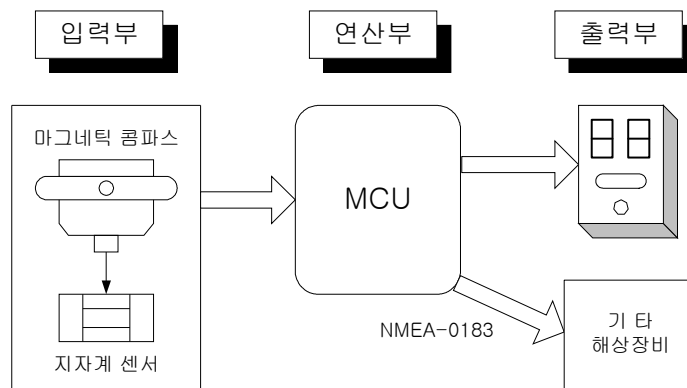
현재 TMC 장비의 현황을 보면 국제 승인을 받은 국산 장비는 아직 발매되지 않고 있으며, 국제 승인을 받은 업체는 독일 및 몇 나라의 소수 기업에서만 생산되고 있는 실정이다.



### 2.3.2 TMC 시스템의 구성

아래의 <그림 2-9>에서 보는 바와 같이 TMC 시스템은 크게 지자계를 측정하는 입력부와 지자계를 측정하여 얻은 방위 신호를 처리하는 연산부 및 이를 출력하는 출력부로 나누어진다.

입력부는 마그네틱 콤파스와 지자계 센서로 구성되며, 지자계 센서는 2.2.2에서 언급되었던 플럭스게이트나 이방성 자기저항 센서 등이 사용된다. 연산부에서는 마이크로프로세서를 이용하여 입력부의 지자계 신호를 통한 방위각 신호를 처리하게 된다. 마지막으로 출력부에서는 이를 출력하게 된다.



<그림 2-9> TMC 시스템의 구성

<Fig. 2-9> Configuration of TMC system

## 2.4 해상전자장비 접속 규격

### 2.4.1 NMEA의 개요

미국해상전자협회(NMEA ; National Marine Electronics Association)는 해상의 전자 산업과 이에 관련된 시장의 교육과 발전을 위해 결성되었으며, 해상 전자 업무에 관련된 제조업체, 배급업체, 상인 및 교육기관들로 구성된 비영리 기관이다.

또한 해상 장비간의 통신에 대한 전자 인터페이스와 데이터 프로토콜로써 NMEA 표준이 정의되어 있다<sup>[10],[17]</sup>.

### 2.4.2 NMEA 표준

NMEA 표준으로는 NMEA-0180, NMEA-0182 및 NMEA-0183이 있으며, 이들 표준에서는 한 회로에 대해 단일 송신측과 다수의 수신측을 허가하고 있으며 상호 연결선은 절연된 트위스트 페어를 이용하여 연결하도록 권하고 있다. 그러나 이 표준들은 어떤 특정한 연결에 대한 사용을 지정하고 있지는 않다.

NMEA-0180과 NMEA-0182 표준에서의 송신측 출력은 RS-232 혹은 TTL 버퍼로부터 4V에서 10mA로 출력된다. 단일 회로는 680Ω의 저항에 12V의 오픈 컬렉터 TTL 버퍼를 나타내며, 5.7V 이상의 전압에 대해서는 다이오드가 출력을 제한한다.

NMEA-0183 표준에서의 송신측 출력은 EIA-422로 출력된다. 이는 2개의 신호 라인(A, B)을 갖은 다른 시스템이다. A 라인에서의 전압은 이전의 TTL 단일선과 같으나, B 라인에서의 전압은 반전된다. 만약 A

가 +5V라면, B는 접지가 되며 이와 반대일수도 있다.

이 모든 경우에서 수신 회로는 회로 보호가 가능한 광-분리기를 사용해야 한다. 또한 입력은 수신기의 접지로부터 반드시 분리되어 있어야 한다.

특별한 경우 단일선 혹은 EIA-422의 A라인은 컴퓨터의 RS-232 입력에 직접 연결될 수도 있다.

### 2.4.3 NMEA-0180과 NMEA-0182

NMEA-0180과 NMEA-0182는 매우 제한적이며 로란 C(혹은 다른 항행 수신기, 로란에 언급된 특별 규격은 제외한다.)와 오토파일럿에만 적용된다.

NMEA-0180과 NMEA-0182는 같은 의미이며 차이점은 NMEA-0180은 단순 형식에서 사용되고 NMEA-0182는 복합 형식에서 사용된다.

#### (1) 단순 데이터 형식

단순 형식은 1200 baud의 전송속도로 오드 패리티를 포함하며, 0.8에서 5sec 간격으로 전송된 단일 데이터로 이루어져 있다.

<표 2-2> 단순 데이터 형식

<Table 2-2> Simple data format

비트	0	1	2	3	4	5	6	7
값	cross-track error						1	0
설명	크로스 트랙 에러						데이터 유효성	단순 데이터

비트 0에서 5는 크로스-트랙 에러를 나타내며, 에러는 2진 오프셋으로 주어진다. 비트 6에서의 값 1은 데이터가 유효함을 나타내며, 비트 7에서의 값 0은 단순 데이터 형식임을 나타낸다.

(2) 복합 데이터 형식

<표 2-3>에 나타난 바와 같이 복합 데이터 형식은 ASCII로 나타내어진 크로스-트랙 에러와 진로에 대한 방위각, 현재의 위도/경도 및 2진 상태 바이트로 구성된 37 바이트의 데이터 블록으로 이루어져 있다.

<표 2-3> 복합 데이터 형식

<Table 2-3> Complex data format

바이트	데이터	설명
1	\$	
2	M	장치
3	P	주소
4	K = 킬로미터	크로스 트랙
	N = 해리	에러
	U = 마이크로세컨드	단위
5-8	0-9 또는 .	크로스 트랙 에러값
9	L 또는 R	크로스 트랙 에러 위치
10	T 또는 M	진방위 또는 자기 방위
11-13	0-9	다음 진로에 대한 방위값
14-23	12D34'56"N 또는 12D34.56'N	현재 위도
24-34	123D45'67"W 또는 123D45.67'W	현재 경도
35	Non-ASCII 상태 바이트	
	bit 0 = 1	수동 사이클 잠금
	bit 1 = 1	저 SNR
	bit 2 = 1	사이클 점프
	bit 3 = 1	깜빡임
	bit 4 = 1	도착 경보
	bit 5 = 1	TD의 불연속
	bit 6 = 1	항상
36	NUL 문자 (80h)	
37	ETX 문자 (83h)	

데이터 블록은 2에서 8sec 간격으로 전송되어진다. 복합 형식에서의 모든 바이트는 비트 7의 값이 1로써 단순 형식과 구별되어진다. 단순 데이터와 복합 데이터의 동시 전송도 가능하며 심지어는 복합 데이터 블록의 중간에 단순 데이터 바이트가 삽입될 수도 있다.

#### 2.4.4 NMEA-0183

##### (1) 일반적인 문장 형식

NMEA-0183 표준에서 사용된 모든 문자는 출력 가능한 ASCII 문자이며 전송속도는 4800 baud이다.

데이터는 문장 형태로 전송되어지며 각 문장은 "\$", 송신측 ID를 나타내는 두 개의 문자, 문장 ID를 나타내는 3개의 문자로 시작하여 콤마(,)로 구분된 데이터 필드가 따라오며 추가적으로 체크섬(checksum)과 캐리어 리턴/라인피드로 종결된다. 한 문장의 길이는 "\$"와 CR/LF를 포함하여 82개 문자까지 가능하다.

만약 필드의 데이터가 유효하지 않다면, 해당 필드를 생략하거나 콤마로 범위를 정하여 전송한다. 이 때 문자 사이에 빈 공간은 없어야 한다.

추가적인 체크섬 필드는 "\*"와 모든 문자를 XOR하여 나타낸 두 개의 헥사값으로 구성되어 있으며, 이 때 "\$"와 "\*"는 XOR를 하지 않는다. 체크섬은 일부 문장에서 요구되어진다.

이 표준은 상인 개개인이 독자적으로 문장 형식을 지정할 수 있도록 하고 있으며, 이런 문장들은 "\$P"와 상인 ID인 3개의 문자로 시작하며 그들이 원하는 데이터가 뒤따른다. 이 데이터는 본 표준 문장의 일반 문장 형식에 준한다.

<표 2-4> 일반적인 송신측 ID

<Table 2-4> General transmission ID

송신측 ID	설 명
GP (Global Positioning System receiver)	세계측위시스템 수신기
LC (Loran-C receiver)	로란-C 수신기
OM (Omega Navigation receiver)	오메가 항행 수신기
I I (Integrated Instrumentation)	통합기구

다음은 일반적인 NMEA-0183 출력의 예이다.

\*1 \$HCHDG, 237.0, 01.5, W, 04, W

	\$	HC	HDG,	237.0,0	Dev 01.5,W,	Var 04,W	CRLF
*1	헤더	송신측 ID	데이터 ID		데이터		종단

<그림 2-10> NMEA-0183 출력 형식

<Fig. 2-10> NMEA-0183 Output format

(2) 문장 해석의 예

① 표준 문장

송신측은 일반적으로 각 기기의 업데이트 속도에 맞게 정해진 간격으로 문자 그룹을 전송하나 대개 1초를 넘지 않는다.

“\*” 뒤의 문자는 체크섬을 나타내며 이는 대부분의 문자에 있는 추가적이며 표준에 따른다. 형식은 다음과 같으며 주요 몇 가지만 소개하겠다.

<표 2-5> 표준 문장 형식

<Table 2-5> Standard sentence format

형 식	설 명
APB	오토파일럿 형식 B
BOD	방위각 - 목적기 항행지점에 대한 실제값
BWC	항행지점에 대한 방위각과 거리 - 대형 원주
BWR	항행지점에 대한 방위각과 거리 - 항정선
GGA	세계측위시스템(GPS) 고정 데이터
GLL	지리적 위치, 위도와 경도
GSA	GPS DOP와 능동 위성
GSV	시계 내의 위성
HDM	방향, 자기
HSC	조타에 대한 방향 명령
MTW	해수 온도
ROO	현재 유효한 경로에서의 항행지점 ID 리스트
RMB	권고된 최소 항행 정보
RMC	권고된 최소 특수 GPS/Transit 데이터
RTE	유효한 경로에서의 항행지점
VHW	해수의 속도와 방향
VWR	관련된 바람의 방향과 속도
WCV	항행지점 종단 속도
WDC	항행지점에 대한 거리
WDR	항행지점 거리, 항정선
WPL	항행지점 위치
XTE	크로스-트랙 에러, 측정값
WTR	크로스-트랙 에러 - 쓸모없는 값 계산

예시)

APB - 오토파일럿 형식 B

APB, A, A, 0.10, R, N, V, V, 011, M, DEST, 011, M, 011, M

A 로란-C blink/SNR 경고

A 로란-C 사이클 경고

0.10 크로스-트랙 에러 거리

R 키 오른쪽 (L 왼쪽)

N 크로스-트랙 에러 단위 - 해리

V	도착 경고 - 원주
V	도착 경고 - 수직선
011, M	자기 방위각, 목적지에 대한 실제
DEST	목적지 지점 ID
011, M	자기 방위각, 목적지에 대한 현지 위치
011, M	조타 자기 방향

BWC - 진로에 대한 방위각과 거리

BWC, 225444, 4917.24, N, 12309.57, W, 051.9, T, 031.6, M, 001, N, 004\*29

225444	22 : 54 : 44에 대한 UTC
4917.24, N	항행지점의 위도
12309.57, W	항행지점의 경도
051.9, T	항행지점의 방위각, 실제 각도
031.6, M	항행지점의 방위각, 자기 각도
001.3, N	항행지점에 대한 거리, 해리
004	항행지점 ID

GGA - 세계측위시스템(GPS) 고정 데이터

GGA, 123519, 4807.038, N, 01131.324, E, 1, 08, 0.9, 545.4, M, 46.9, M, , \*42

123519	12 : 35 : 19 UTC에 대한 고정값
4807.038, N	위도 48°07.038 ' N
01131.324, E	경도 11°31.324 ' E
1	고정값 : 0=사용불가, 1=GPS 고정, 2=DGPS 고정
08	위성궤도의 수
0.9	위치의 수평도



545.4, M	고도, 미터, 해수면 평균 이상
46.9, M	지오이드(해수면 평균)의 높이
(공란)	최근 DGPS 업데이트의 초단위 시간
(공란)	DGPS국 ID 번호

② 독자적 문장

독자적 문장은 상인 개개별로 지정한 문장이다. 다음은 Garmin 독자적 문장에 대한 예이다. “P” 독자적 문장을 나타내며 “GRM”은 Garmin의 상인 코드이고 “M” 또는 “Z”는 특수문장 형식을 나타낸다.

\$PGRME, 15.0, M, 45.0, M, 25.0, M\*22

15.0, M	미터단위로 평가된 수평위치 에러
45.0, M	미터단위로 평가된 수직위치 에러
25.0, M	전체 구형 위치 에러

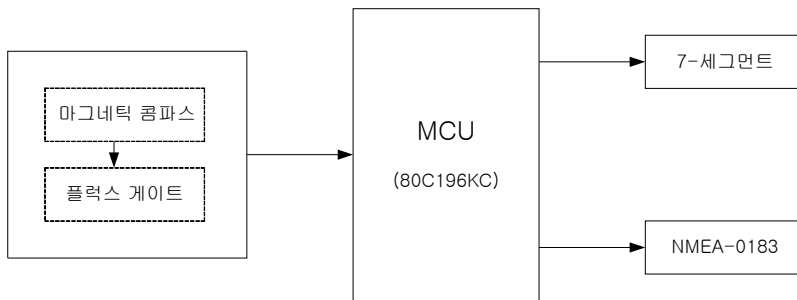
\$PGRMZ, 93, f, 3\*21

93, f	피트 단위의 고도
3	고정 단위 위치 : 2 = 사용자 고도, 3 = GPS 고도

### 제 3 장 제안된 TMC 시스템의 설계 및 구현

본 절에서는 제 2 장에서 분석·정리된 TMC 시스템을 설계하고자 한다. 개발하고자 하는 시스템은 INTEL사의 80C196KC을 MCU로 하여 마그네틱 콤파스 및 지자계 센서인 플럭스게이트의 신호를 입력받아 A/D 컨버팅을 거친 후 방위각 처리 알고리즘에 따라 신호처리하여 표시 장치로 전송 또는 NMEA-0183 형식으로 출력하여 기타 장비와 호환하도록 하였다.

본 시스템의 기본 구성도는 <그림 3-1>과 같다.



<그림 3-1> 시스템의 개요

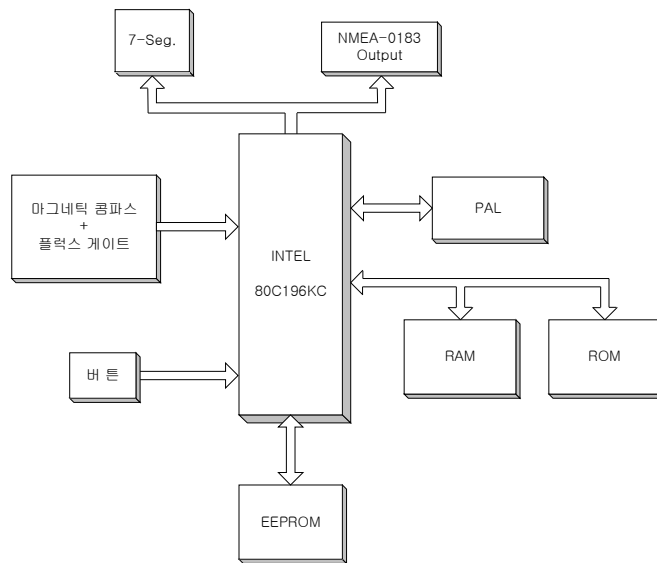
<Fig. 3-1> Introduction of System

### 3.1 시스템의 분석 및 회로의 구성

#### 3.1.1 회로의 구성

<그림 3-2>는 평가회로의 블록 다이어그램을 나타낸 것이다. 플럭스 게이트로부터의 방위각을 처리하기 위해 INTEL 80C196KC를 사용하였으며, 자체 10비트(0~1023) A/D 변환기의 채널 0에는 플럭스게이트의 cos 신호가 입력되며, 채널 1에는 플럭스게이트의 sin 신호, 채널 2에는 ref 신호가 각각 입력된다.

또한 외부에 ROM 64K바이트(27C512)과 RAM 32K바이트(62256) 및 디코딩 소자인 PAL(22V10)을 각각 연결하였다. PAL(22V10)의 총 10개의 출력핀은 ROM과 RAM 선택, 그리고 추가확장을 위한 8255의 선택 및 8 비트 디지털 입/출력을 위한 칩선택으로 이용하였다.



<그림 3-2> 평가회로의 블록도

<Fig. 3-2> Evaluation circuit block diagram

그리고 추가적으로 연결한 EEPROM인 ATMEL사의 24C04는 4K바이트의 저장용량을 가지며, 본 시스템의 전영역에 대한 방위각의 편차정보 (Variation), 방위각과의 오차보정(Deviation), 센서 설정계수 등의 값이 저장되어진다. 그리고 전원을 켜거나 끄면 저장되어진 값들이 읽혀진다. 이 계수들은 버튼에 의해서 조절할 수 있으며, 변경된 계수들은 자동 저장된다.

시스템의 운용에 앞서 입력되는 플럭스게이트의 값이 올바른지를 알 필요성이 있으므로, 입력단에 테스트 핀을 두어 플럭스게이트 원래 신호의 출력 파형을 오실로스코프나 테스터로 측정 가능하게 하였다. 플럭스게이트의 신호영역은 0~12V의 DC값이 나와야 하는데 통산 0V 보다는 몇 볼트 높고, 12V 보다는 몇 볼트 낮은 값이 나온다. 이는 80C196KC의 입력값 0~5V 보다는 높은 값이므로 저항과 저역통과필터(여파기)를 거쳐 A/D 컨버터의 입력으로 연결하였다.

입력된 플럭스게이트의 신호를 신호처리하여 얻은 방위각은 7-세그먼트로 전송되어 표시되어지거나, NMEA-0183 형식으로 출력되어진다.

MC14489는 멀티캐릭터 LED 디스플레이/램프 드라이버용 소자로서, 7-세그먼트의 출력을 조절하며 8번핀에 연결된 저항으로 밝기 조절이 가능하다.

NMEA-0183 형식의 출력은 2.4절에서 설명한 바와 같이 EIA-422 형식으로 출력된다. 이는 80C196의 TTL 레벨 출력과는 다르므로 이를 보정해 주어야 한다. 이를 위해 Texas Instruments사의 AM26L31C 소자를 사용하였다<sup>[13]</sup>.

AM26C31C는 4배-차동-라인-드라이버(Quadruple Differential Line Driver)로서, ANSI TIA/EIA-422와 ITU 권고 V.11을 지원하며 단일 5V TTL 레벨로 동작한다. 16핀으로 구성되어 있으며 TTL 레벨의 두 입력

1번 핀을 각각 NMEA1+, NMEA1-의 EIA-422 신호레벨로 변화하며, 2번과 3번 핀은 항상 쌍으로 함께 쓰여야 한다. 이외의 7, 9, 15번 핀도 이상과 같은 구조이다.

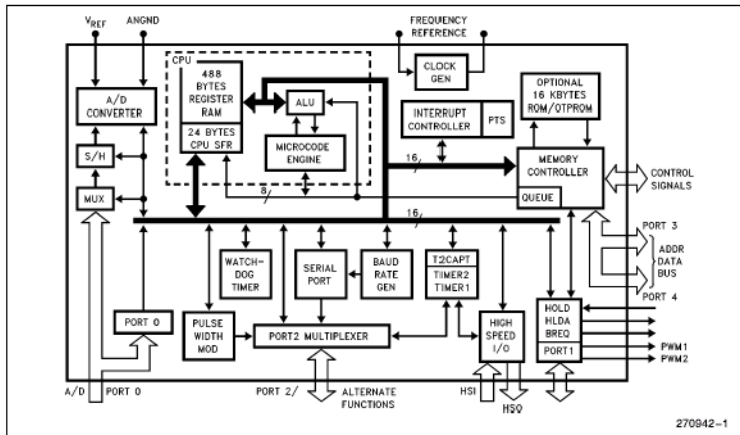
전체 회로도에는 부록에 나타내었다.

### 3.1.2 80C196KC

#### (1) INTEL 80C196KC의 특징

80C196KC는 인텔사의 16비트 원 칩 마이크로컨트롤러로, 보통의 8비트와 16비트 마이크로컨트롤러의 구조와는 달리 독자적인 구조를 사용하고 있으며, 처음에는 NMOS 타입의 8096-90과 BH 버전이 제품화되었지만, 최근에서는 CMOS 타입의 80C196KA, KB, KC, 80C196MC 등의 고도의 기능을 갖는 것들이 출하되고 있다.

다음 <그림 3-3>는 INTEL 80C196KC의 내부 다이어그램이다.



<그림 3-3> INTEL 80C196KC의 내부 다이어그램  
 <Fig. 3-3> Internal Diagram of INTEL 80C196KC

80C196KC는 풍부한 인터럽트 소스와 고속 입·출력을 위한 HSI(High Speed Input)와 HSO(High Speed Output), PWM를 이용한 DC 모터 제어, 각종 센서 입력을 위한 8/10 비트의 A/D 컨버터 등 다양한 기능을 구사할 수 있는 장점이 있다. 특히 본 논문에서 플럭스게이트 센서의 신호 처리를 위해서는 A/D 컨버터 내장이 선택의 큰 요인으로 작용하였다. 또한 연구개발 과정에 있어서 C 언어뿐만 아니라, 어셈블러와 같이 프로그램을 구현할 수 있는 점을 채택하여 연구에 활용토록 하였다<sup>[11],[12]</sup>.

다음은 INTEL 80C196KC의 특징을 설명한 것이다.

- 16 and 20 MHz Available
- 488 Byte Resister RAM
- 16×16 Multiply (20 MHz), 32/16 Device (20 MHz)
- Resister to Resister Architecture
- 28 Interrupt Sources / 16 Vectors
- Powerdown and Idle Modes
- Peripheral Transaction Sever
- High Speed I/O Subsystem, Five 8-bit I/O Ports
- 16-Bit Watchdog Timer
- Dynamically configurable 8-Bit or 16-Bit Buswidth
- Full Duplex Serial Port
- Four 16-bit Software Timers
- 16-Bit Timer, 16-Bit Up/Down Counter with Capture
- 3 PWM Outputs
- 8-bit or 10-Bit A/D converter with Sample/Hold
- HOLD/HLDA Bus Protocol

(2) INTEL 80C196KC의 메모리 맵 배치

INTEL 80C196KC의 메모리 공간은 외부 메모리 또는 I/O 영역과 내부 ROM 또는 외부 ROM 영역, 어드레스 및 데이터 버스 영역, 내부 RAM 및 SFR 영역으로 나누어진다.

<그림 3-4>은 INTEL 80C196KC의 메모리 맵을 나타내고 있다.

Description	Address
External Memory or I/O	0FFFFH 06000H
Internal ROM/OTPROM or External Memory (Determined by EA)	5FFFH 2080H
Reserved. Must contain FFH. (Note 5)	207FH 205EH
PTS Vectors	205DH 2040H
Upper Interrupt Vectors	203FH 2030H
ROM/OTPROM Security Key	202FH 2020H
Reserved. Must contain FFH. (Note 5)	201FH 201AH
Reserved. Must Contain 20H (Note 5)	2019H
CCB	2018H
Reserved. Must contain FFH. (Note 5)	2017H 2014H
Lower Interrupt Vectors	2013H 2000H
Port 3 and Port 4	1FFFH 1FFEH
External Memory	1FFDH 0200H
488 Bytes Register RAM (Note 1)	01FFH 0018H
CPU SFR's (Notes 1, 3, 4)	0017H 0000H

<그림 3-4> INTEL 80C196KC 메모리 맵  
<Fig. 3-4> INTEL 80C196KC Memory map

## 3.2 신호 처리 알고리즘

### 3.2.1 지자계 센서 신호 및 방위각의 처리

#### (1) 지자계 센서 출력 신호 처리

지자계 센서인 플럭스게이트의 방위각 출력은 2.2.2에서 언급한 바와 같이 지구자장을 X 성분과 Y 성분으로 결정한다.

X 성분은 선박의 직진 방향 또는 전진 방향을 의미하며, Y 성분은 선박이 오른쪽 또는 왼쪽으로 얼마만큼 이동되었는지를 각  $\theta$ 에 따라 나타낸다.

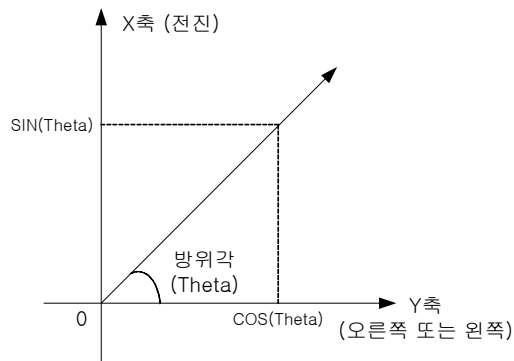
또한 X 성분과 Y 성분의 최대값은 각 지점에서의 지자계 강도에 따라 결정된다.

아래의 식은 X 성분과 Y 성분에 대한 표현식이다.

- $X = \sin\theta$  ----- 전진
- $Y = \cos\theta$  ----- 오른쪽 또는 왼쪽 이동

<그림 3-5>는 X 성분과 Y 성분을 수평면상에 도시한 것이다.





<그림 3-5> 수평면상의 선수방위각 표시

<Fig. 3-5> Display of heading in horizontal plane

(2) 방위각 처리

① 방위각 정의

방위각은 위에서 설명한 X 성분과 Y 성분에 의해 결정되며, 플럭스게이트로부터의 출력 신호를 다음의 식에 따라 방위각 및 범위에 따른 방향으로 결정하게 된다. 아래의 식은 오랜 연구 결과로 그 신뢰성을 입증 받은 식으로 항행 시스템에 다양하게 응용되고 있다<sup>[15],[16]</sup>.

◦ 방위각(Heading 또는 Azimuth) =  $\arctan(X/Y)$

방향 (Direction) =  $90 - [\arctan(X/Y)] * 180/\pi$  ( $Y > 0$ )

방향 (Direction) =  $270 - [\arctan(X/Y)] * 180/\pi$  ( $Y < 0$ )

방향 (Direction) = 180 ( $Y = 0, X < 0$ )

방향 (Direction) = 0 ( $Y = 0, X > 0$ )

위의 식을 프로그램화하는 과정에서  $\arctan$  값에 대한 함수가 없  
어 이를 테일러 급수(Taylor series)로 표현하여 수행하였다.

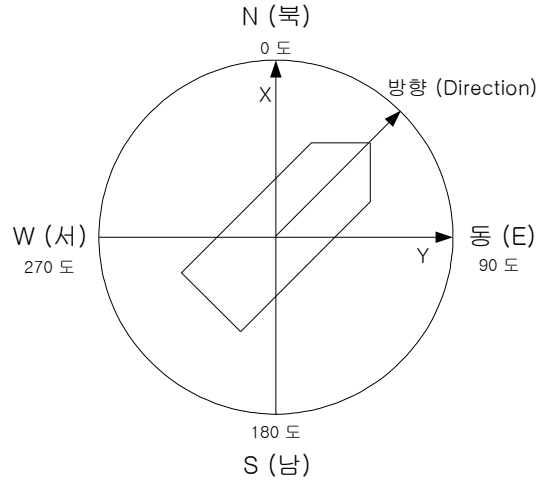
프로그램 상에서 수행된 내용을 보면 다음과 같다.

```
float atan(float r)
{
    float sum, sum1;
    int count, cnt, j, i;
    sum1 = 1;
    j = 1

    for(count = 3; count <30; count+=2)
    {
        j = j * (-1);
        sum1 = 1;
        for(cnt = 1; cnt<=count; cnt++)
        {
            sum1 = sum1*r;
        }
        sum = sum + j*sum1/count;
    }
    sum = r +sum;
    return(sum);
}
.
.
void deg_c(void)
{
    float adc0, adc1;
    float th, s0, s1, pa;
    .
    .
    pa = s1 / s0;
    th = -atan(pa) + M_PI / 2;
    .
    .
}
```

<그림 3-6> 선수방위각 처리 루틴  
<Fig 3-6> Heading processing routine

<그림 3-7>은 위의 식에 따른 선박의 침로를 2차원 평면상에 나타낸 것이다.



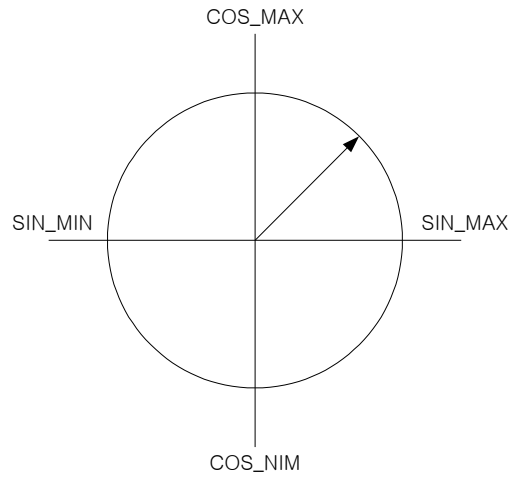
<그림 3-7> 범위에 따른 방향

<Fig. 3-7> Direction according to range

② sin, cos의 최대, 최소값 결정 및 정규화

방위각 계산과정 중에서 플럭스게이트로부터의 출력값인 sin값과 cos값이 오류없이 처리되기 위한 과정으로 sin값과 cos값의 최대값 및 최소값을 결정해야 한다. 방위각 결정의 중요요소인 sin값과 cos값은 그 허용범위 이내에 있어야만 정확한 결정이 이루어지며, 그 값을 초과할 경우에는 계산의 오류를 범하기 때문에 이 과정을 수행하였다. 만약 sin값과 cos값이 입력 허용 범위를 초과한다면 그 값은 임의의 값으로 대체되며 이는 오류를 나타내므로 후에 이를 참조

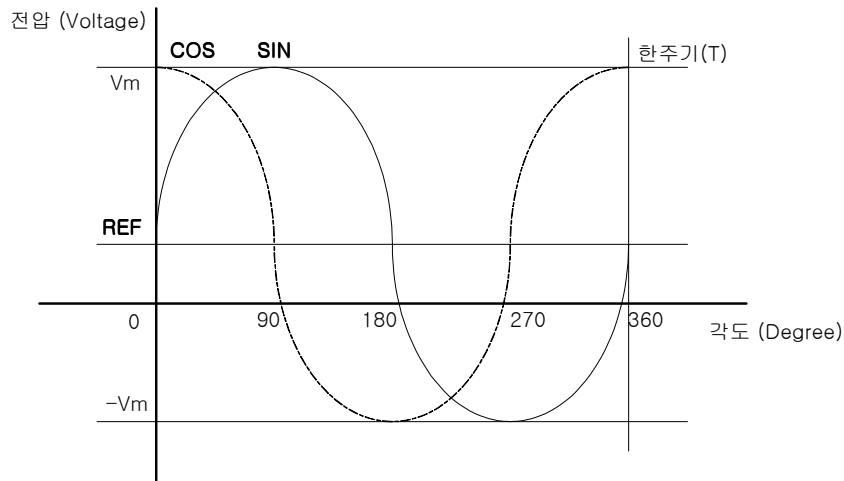
하여 적절한 한계값을 입력하도록 한다. 이후 한 주기 동안의 플릭스게이트의 sin, cos의 최대, 최소값이 자동으로 저장되어지며, 이는 외부의 추가로 연결된 EEPROM에 저장되어진다. 본 논문에서는 autominmax() 함수에 의해 sin 및 cos의 최대, 최소값은 입력되는 값을 분석하여 자동적으로 설정하게 되어 있다. 또한 입력된 sin값 및 cos값이 범위를 초과했을 경우에는 에러가 발생했으므로 minmaxerr() 함수에 의해 에러발생을 처리하였다.



<그림 3-8> sin 및 cos의 최대, 최소값

<Fig. 3-8> Maximum and minimum value of sin, cos

그리고 계산된 sin값 및 cos값을 정규화하였다. 아래의 <그림 3-9>은 기준전압 ref에 대해 각각  $V_m$ 과  $-V_m$ 으로 정규화 한 과정을 나타낸다.

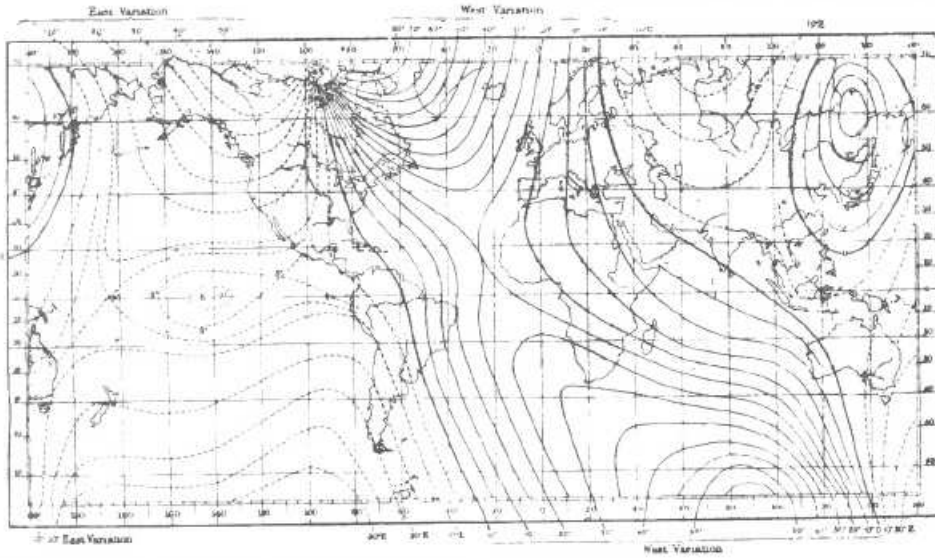


<그림 3-9> 정규화

<Fig. 3-9> Normalization

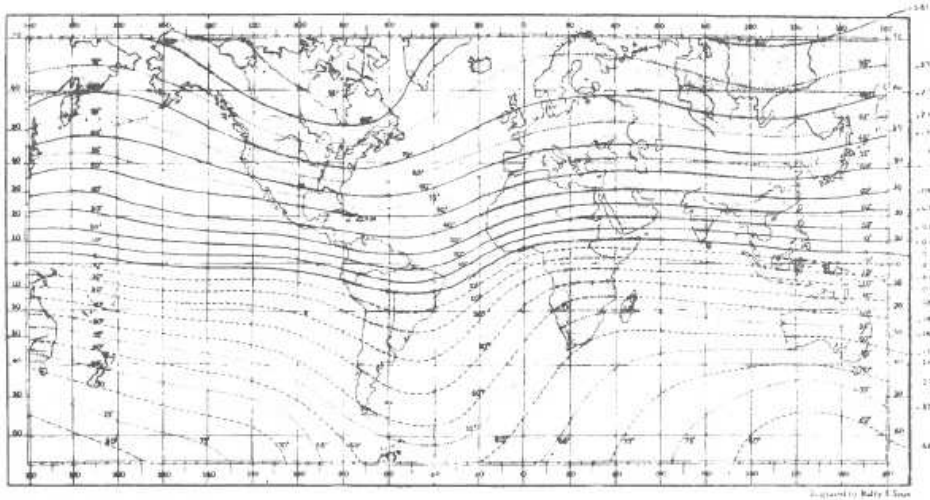
③ 편차(Variation) 및 자차(Deviation) 보정

지구자장은 이전에 언급하였듯이 시간과 장소에 따라 모두 변화하며, 편차의 값 또한 장소와 연변화량에 따라 보정되어야 한다. 이 변화는 어느 것이나 그리 큰 값은 아니므로 일반적인 경우에는 크게 주의할 필요가 없으나 정밀한 방위를 측정하고자 한다면 주의를 하여야 한다. <그림 3-10>, <그림 3-11>, <그림 3-12> 및 <그림 3-13>은 각각 등편차선, 등복각선, 등수직자력선 및 등수평자력선을 나타낸다.



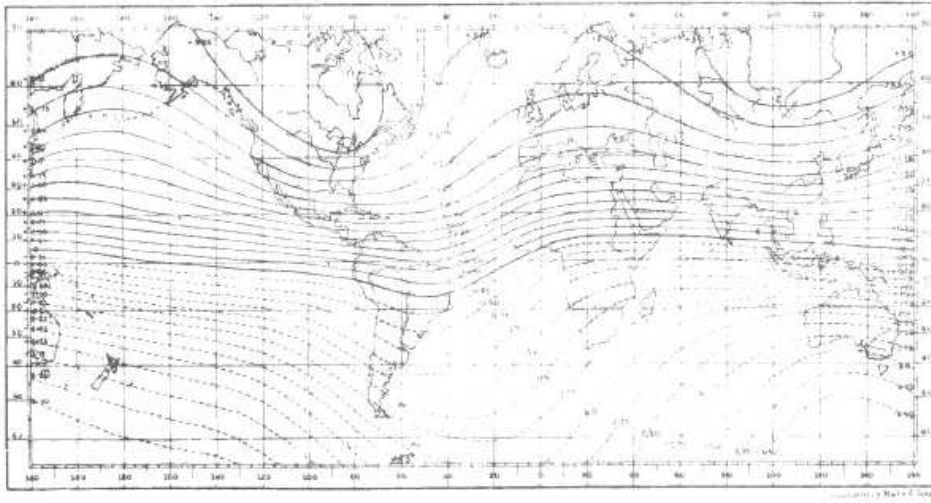
<그림 3-10> 등편차선

<Fig. 3-10> Lines of equal variation



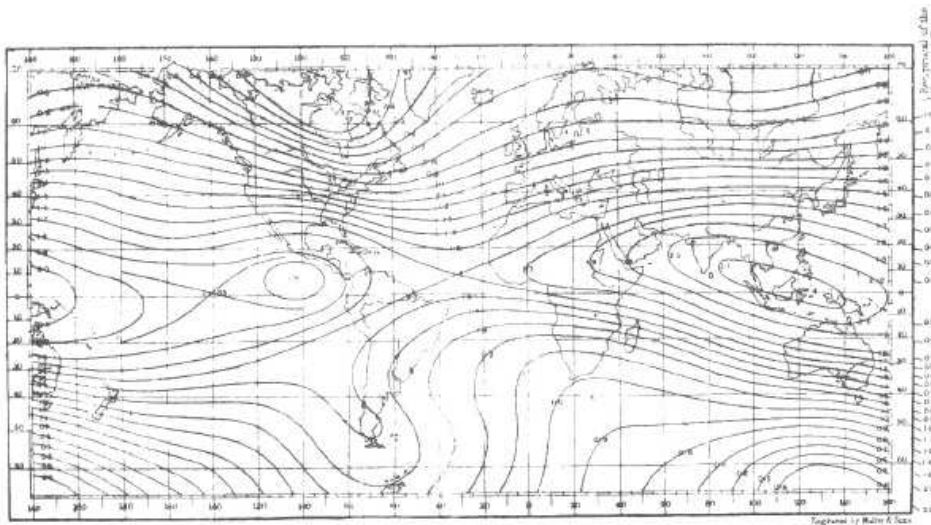
<그림 3-11> 등복각선

<Fig. 3-11> Lines of equal dip



<그림 3-12> 등수직자력선

<Fig. 3-12> Lines of equal vertical intensity



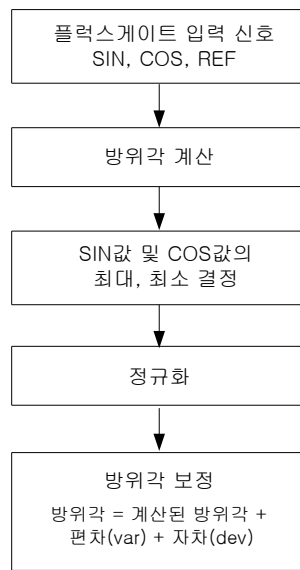
<그림 3-13> 등수평자력선

<Fig. 3-13> Lines of equal horizontal intensity

따라서 본 시스템에서는 정밀한 방위각을 얻는 것이 목적이기 때문에 플럭스게이트 신호를 처리하여 계산된 방위각이라 할지라도 이를 곧바로 수용하기에는 무리가 있다. 아래의 식은 계산된 방위각에 지역별 지자계의 차이인 편차와 편차의 보정에도 불구하고 발생하는 오차에 대한 정보인 자차를 보정한 방위각을 나타낸 것이다.

◦ 방위각 = 계산된 방위각 + 편차(Variation) + 자차(Deviation)

또한 방위각은 0~360°의 범위에 있으므로 방위각이 360°이내의 범위이면 그대로 사용하며, 360°를 넘어서게 되면 -360을 하여 방위각의 범위에 들도록 한다.



<그림 3-14> 선수방위각 신호 처리 흐름도

<Fig. 3-14> Flow chart of heading signal procedure



편차(variation)의 보정은 버튼에 의해서 수행되어지며, 각 지점에서  
의 보정값은 EEPROM에 저장되어진다.

### 3.2.2 처리된 데이터의 출력

#### (1) 표시장치로의 전송

위의 3.2.1에서의 플럭스게이트 센서 신호의 처리 후 계산된 방위각  
은 Display() 함수를 통해 한 바이트씩 표시장치로 출력된다. 4개의 7-  
세그먼트 중의 3개는 소수점 이상의 자리를 표시하며, 나머지 한 개는  
소수점 이하 1자리를 표시하도록 되어있다.

#### (2) NMEA-0183 형식을 통한 외부 전송

NMEA 출력 메시지는 10Hz(100ms)마다 발생하는 HSO 인터럽트를  
통하여 수행되며, 프로그램은 2Hz(500ms)의 주기로 동작한다. 따라서  
HSO 인터럽트가 1번째, 2번째, 3번째 발생했을 때에는 아무런 동작을  
하지 않으며, 4번째 인터럽트 발생시 첫 번째 메시지를 송신하며, 5번  
째 발생시에는 두 번째 메시지를 송신하도록 하였다.

그리고 NMEA 출력 메시지는 시리얼 인터럽트에 의해 자동으로 메  
시지가 송신되는 것이 아니라 HSO 인터럽트 안에서 한 바이트씩 직  
접 시리얼 포트를 체크하면서 송신하므로 이 때에는 아무런 동작도 하  
지 않는다.

출력 메시지의 형태는 원하는 NMEA-0183 형식에 따라 달라질 수  
있으며 이는 프로그램적으로 수정이 가능하다. 본 논문에서는 방위각,  
자차 및 편차의 정보를 전달하는 HDG 표준 문장 형식과 자계값을 방

위각으로 나타내는 HDM 표준 문장 형식으로 NMEA 출력을 나타내었다.

```
void NMEA_HCHDG(void)
{
    int ki, kf;
    int di, df;
    int vi, vf;
    char ds, vc;

    ki = (int)(deg_w);
    kf = (int)(deg_w*10)%10;
    di = (int)(deviation_didf);
    df = (int)(deviation_didf*10)%10;
    vi = (int)(CF[0]);
    vf = (int)(CF[0]*10)%10;
    .
    .
    .

    sprintf(out1, "$HCHDG, %d.%d,%d.%d,%c,%d.%d,%c*00\r\n",
    ki,kf, di, df, dc, vi, vf, vc);
    sprintf(out2, "$HCHDG, %d.%d,%d.%d,%c,%d.%d,%c*00\r\n",
    ki,kf, di, df, dc, vi, vf, vc);
}

void NMEA_HCHDM(void)
{
    int ki, kf, ki1, ki2, ki3;

    ki = (int)(deg_w);
    ki1 = ki/100;
    ki2 = ki/10%10;
    ki3 = ki%10 + 0x30;
    kf = (int)(deg_w*10)%10;
    sprintf(out1, "$HCHDM, %d.%d, M*00\r\n", ki, kf);
    sprintf(out2, "$HCHDM, %d.%d, M*00\r\n", ki, kf);
    CheckSum();
}
```

<그림 3-15> NMEA 출력 처리 루틴

<Fig. 3-15> NMEA output processing routine

## 제 4 장 시스템의 평가 및 고찰

### 4.1 시험 환경

TMC 시스템의 시험은 장비를 직접 선박에 장착하여 해상에서 그 방위각을 측정하여야 하지만 평가 회로의 구조상의 문제와 실험 선박의 수급 및 여러 여건상 실제로 해상에서 실험하기에는 무리가 따른다. 따라서 지상에서 그와 유사한 상황을 가상으로 구성하여 그 성능을 시험하였다.

시험 환경은 자장을 유도시키는 대형 헬륨홀츠 코일 내에 방위각이 표시된 테이블을 놓고 그 위에 마그네틱 콤파스를 위치시킨 다음 플럭스게이트 센서를 연결한다.

본 논문에서 플럭스게이트 센서의 연구는 범위에서 제외하였으므로 기존에 상용화되어 있는 독일의 C\_Plath 제품을 사용하였다. 마지막으로 플럭스게이트의 출력 신호를 TMC 시스템에 연결하는 것으로 시험을 위한 환경 구성을 마쳤다.



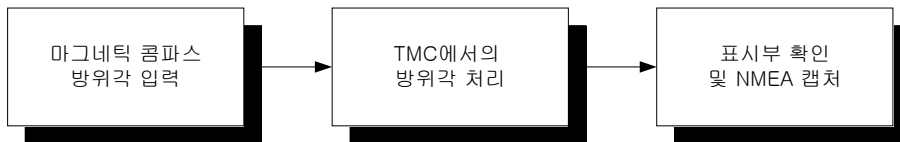
<그림 4-1> 시험 환경

<Fig. 4-1> Test environment

## 4.2 시스템의 성능평가

### 4.2.1 성능평가 절차

TMC 시스템의 성능평가를 위한 절차는 아래 <그림 4-2>에서 보는 바와 같이 마그네틱 콤파스의 선수 방위각을 조절하면 TMC 시스템은 입력되는 플럭스게이트 센서의 신호를 처리하여 이를 표시하게 된다. 표시부에서는 이미 알고 있는 입력 방위각에 대해 얼마만큼 정확히 그 값을 나타내는지 확인한다. 또한 방위각 표시뿐만 아니라 NMEA 형식의 출력 역시 제대로 발생되는지 확인한다.

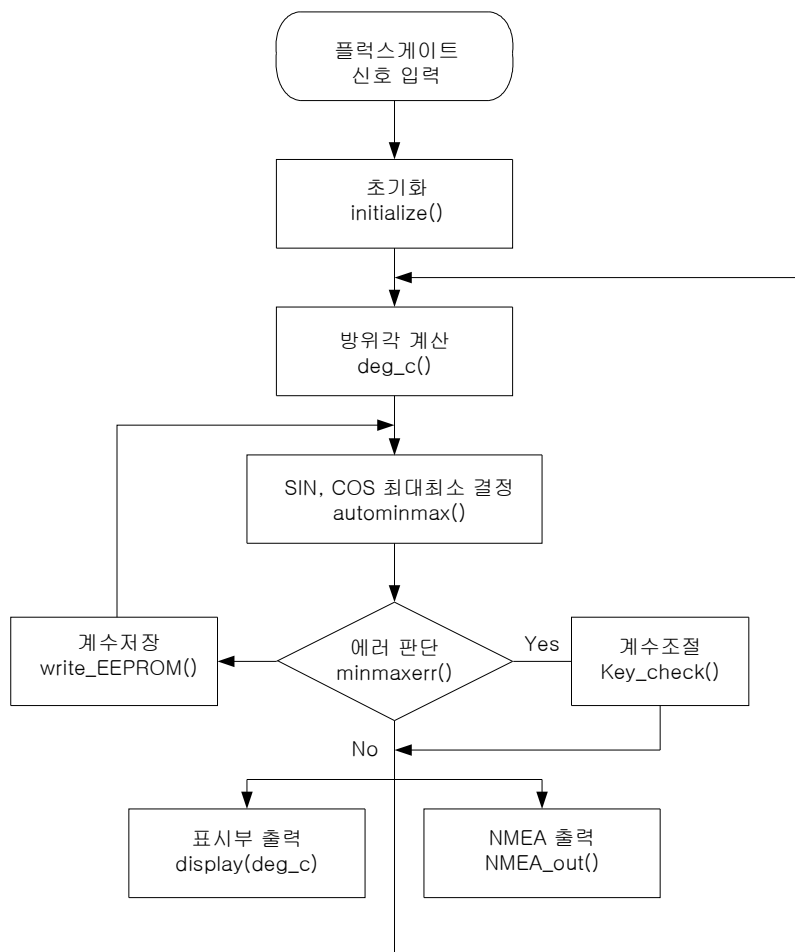


<그림 4-2> 성능평가 절차

<Fig. 4-2> Performance appraisal procedure

<그림 4-3>은 평가회로에서 사용한 시스템 알고리즘으로 플럭스게이트와 평가회로의 연결이 끝나고 전원을 투입하면 ROM에 저장된 파일 시스템에 의해 초기화가 실행되어 각 소자의 입출력 모드 결정 및 어드레스가 설정되고 입력된 자기값을 읽어 방위각을 산출해낸다. 이때 발생하는 중요 계수값들은 자동으로 저장되며 오류가 있을 시에는 버튼을 통한 수동 조작이나 프로그램상의 수정을 통해 오류를 처리한다.

정확한 실험을 위해 마그네틱 콤파스의 방위 조절시 sin 및 cos의 최대, 최소값이 되는 0°, 90°, 180° 및 270°에서는 천천히 회전시키며 그 외에는 조금 빨리 회전하여도 상관없다. 또한 정확한 계수값이 입력 되기 위해 마그네틱 콤파스를 한바퀴 반 이상 회전시키도록 하였다.



<그림 4-3> 평가회로 동작 흐름도

<Fig. 4-3> Flow chart of evaluation circuit

#### 4.2.2 결과 및 고찰

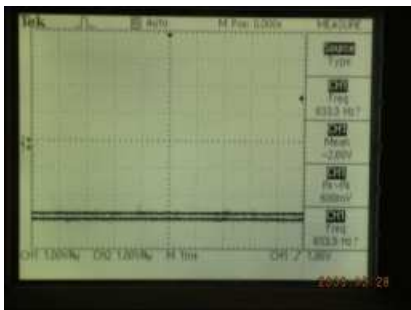
본 논문에서는 TMC에 관련된 기본 개념을 분석하고 이를 바탕으로 시스템을 설계 및 구현하였다. 먼저 입력되는 플럭스게이트 센서의 값이 적절한지를 알아보기 위해 테스트핀을 통하여 각 지점에서의 SIN 및 COS 출력 전압값을 알아보았다. <그림 4-4>와 <표 4-1>에 각각 오실로스코프를 통한 파형과 출력 전압값을 나타내었다.



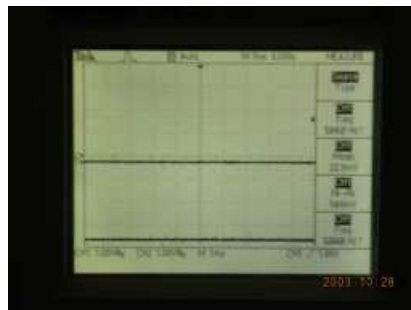
(a) 50°



(b) 90°



(c) 230°



(d) 270°

<그림 4-4> 플럭스게이트 출력 신호

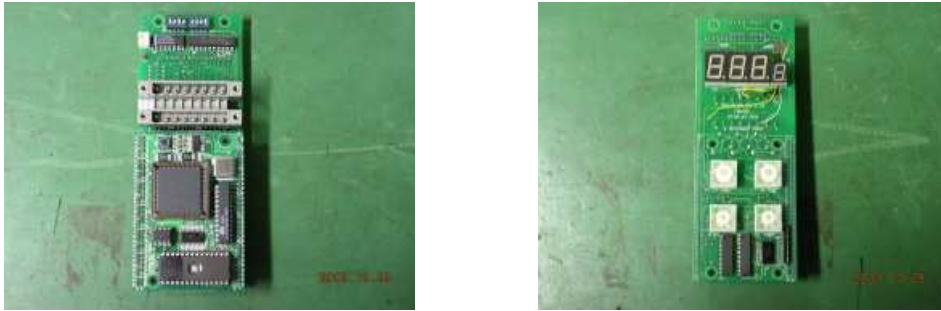
<Fig. 4-4> Fluxgate output signal

<표 4-1> 각 지점에서의 플럭스게이트 출력 전압값

<Table. 4-1> Fluxgate output voltage at each point

각도 (Deg)	COS (V)	SIN (V)	REF (V)	각도 (Deg)	COS (V)	SIN (V)	REF (V)
0	8.70605	5.62500	5.62012	185	2.42188	5.25391	5.63477
5	8.69141	5.87402	5.62012	190	2.47559	5.00977	5.63477
10	8.65234	6.12305	5.63965	195	2.55371	4.75098	5.63477
15	8.57422	6.37207	5.63965	200	2.63672	4.53613	5.61035
20	8.48145	6.61133	5.62500	205	2.76855	4.28223	5.62988
25	8.35938	6.86035	5.63477	210	2.90527	4.05762	5.62500
30	8.19336	7.11914	5.61035	215	3.06641	3.84766	5.61035
35	8.04199	7.31445	5.63965	220	3.25195	3.61816	5.61523
40	7.87109	7.53418	5.63965	225	3.53516	3.33984	5.60547
45	7.67578	7.71973	5.63965	230	3.71582	3.18848	5.61523
50	7.47070	7.91504	5.61035	235	3.90137	3.05176	5.60547
55	7.21191	8.10547	5.62988	240	4.11133	2.91016	5.63477
60	7.00684	8.24219	5.62988	245	4.35059	2.77344	5.62988
65	6.77246	8.38379	5.63965	250	4.59473	2.66602	5.60547
70	6.52832	8.49609	5.62012	255	4.81934	2.58301	5.60547
75	6.27441	8.58887	5.62012	260	5.08301	2.51953	5.62988
80	6.03027	8.64258	5.62500	265	5.35645	2.47559	5.62012
85	5.77148	8.68164	5.63965	270	5.59570	2.46582	5.60547
90	5.51758	8.69629	5.63477	275	5.85938	2.49023	5.60547
95	5.24902	8.68164	5.62988	280	6.10840	2.53906	5.63477
100	5.00977	8.63281	5.62988	285	6.35254	2.60742	5.61523
105	4.77051	8.55469	5.63965	290	6.59668	2.71484	5.62988
110	4.49219	8.44238	5.62012	295	6.83594	2.82715	5.60547
115	4.27734	8.33008	5.63965	300	7.06543	2.97852	5.62988
120	4.04785	8.17871	5.62500	305	7.29980	3.13965	5.61523
125	3.82324	8.01758	5.62988	310	7.48047	3.29890	5.61035
130	3.59398	7.82715	5.61035	315	7.69531	3.49609	5.62500
135	3.39844	7.63672	5.62500	320	7.87598	3.70117	5.63477
140	3.19824	7.42676	5.62012	325	8.07617	3.94531	5.62500
145	3.01858	7.18262	5.62988	330	8.24219	4.17480	5.63477
150	2.86621	6.96777	5.61035	335	8.38379	4.40918	5.63477
155	2.73438	6.73828	5.60547	340	8.46833	4.64355	5.63477
160	2.62695	6.51855	5.63477	345	8.59375	4.90234	5.61035
165	2.52930	6.26465	5.61523	350	8.64746	5.12207	5.63477
170	2.45605	6.00586	5.62988	355	8.68652	5.37598	5.62500
175	2.41699	5.72754	5.62988	360	8.70605	5.62500	5.62012
180	2.40723	5.49316	5.62500				

이후 마그네틱 콤파스의 방위를 조절하면서 그 값을 확인하였다. 결과로 방위출력은 오차범위 내에서 입력방위각과 매우 유사한 값을 얻었으며, <그림 4-6>과 같이 동쪽 227.5°, 자차 보정없음을 뜻하는 NMEA 출력 또한 발생됨을 확인하였다.



<그림 4-5> 평가회로 사진

<Fig. 4-5> Photography of evaluation circuit



<그림 4-6> NMEA-0183 출력 캡처

<Fig. 4-6> NMEA-0183 output capture



## 제 5 장 결 론

해상에서 선박의 항행시 방위 정보는 매우 중요한 요소로써 자이로 콤파스, 마그네틱 콤파스 및 위성측위시스템 등의 방법으로 나타낼 수 있다. 이중 마그네틱 콤파스는 항상 일정하지 않은 지구자기를 이용하기 때문에 많은 보정이 필요하다는 단점이 있어 타 장비에 비해 정밀도가 떨어진다. 그러나 해상에서의 국제인명안전협약(SOLAS)과 국제해사기구(IMO)의 결의안 MSC.116(73)의 채택에 의한 선박 설비의 이중화 요건으로 표준 마그네틱 콤파스의 설치 및 선수방위송신장치(THD)의 탑재를 의무화하고 있다.

마그네틱 콤파스 전송(TMC)시스템은 송신용 선수방위장비의 효율적인 방법중 하나이나 현재 국제 승인을 얻은 시스템은 독일 및 몇 나라 제품에 국한되어 있다. 아직 우리나라에서는 국제 승인을 받은 제품이 출시되지 않고 있으므로, 본 연구는 기본적인 하나 TMC 시스템을 구현함으로써 제품의 국산화를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 80C196KC를 이용하여 테스트 보드를 설계하였으며, 육상에서 대체 실험을 한 결과 정지상태의 오차 범위에 해당하는  $\pm 1.0^\circ$  이내에서 입력과 유사한 선수방위각을 얻었다. 또한 방위각과 편차 및 자차 정보를 나타내는 HDG 표준 문장 형식의 NMEA-0183 출력을 얻었다.

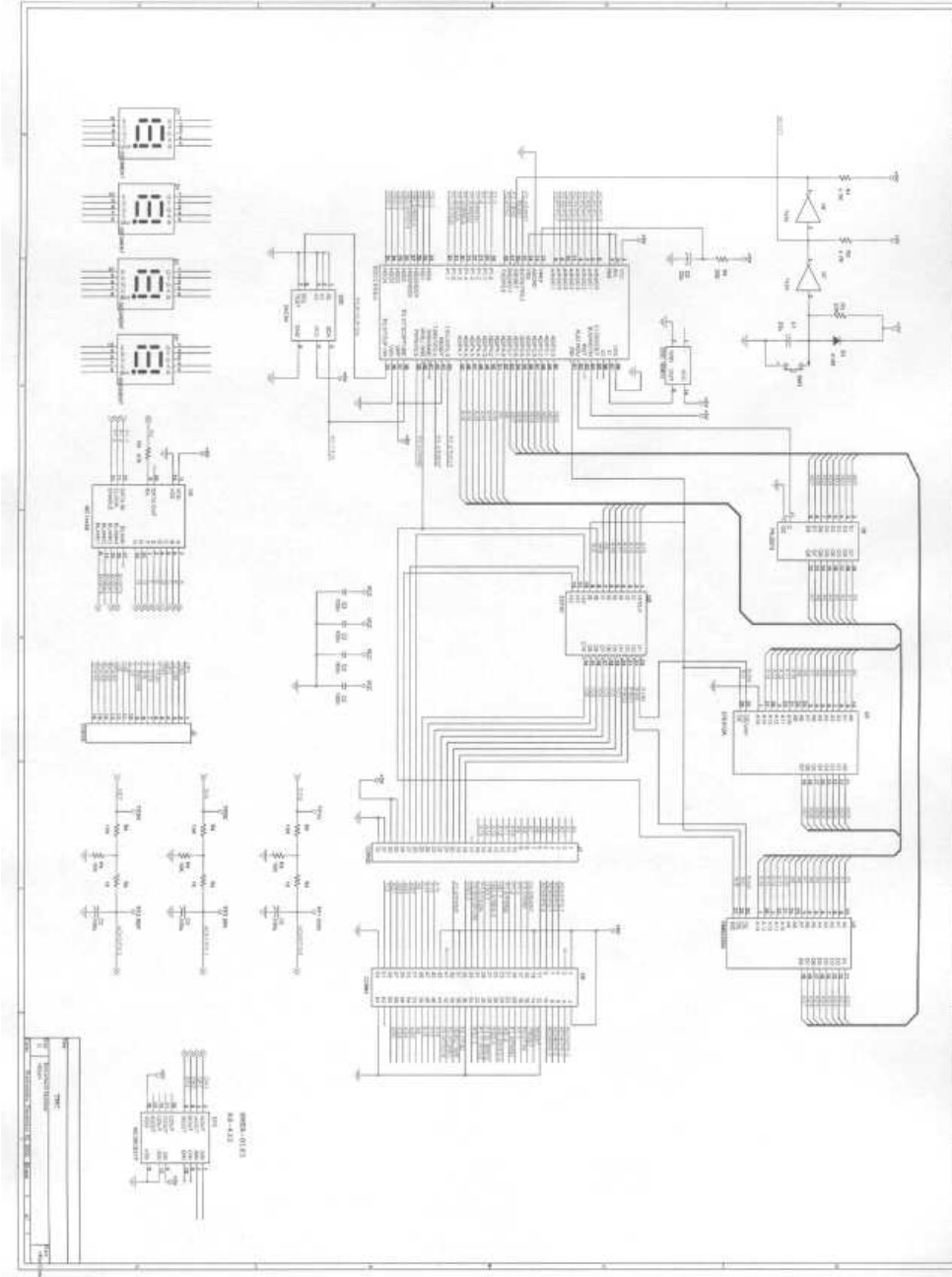
본 연구에서 제안한 TMC 시스템은 선박 설비 요건에 완전히 충족하지 못하기 때문에 이후 제품화를 위해서는 많은 보완이 필요할 것이나, 마이크로프로세서를 이용한 하드웨어 및 소프트웨어의 구현을 통해 이 분야의 발전을 위한 토대를 마련할 수 있으리라 본다.

본 연구에서는 2축 센서에 의한 시스템의 구성을 다루었으나 추후에는 선박의 롤링, 피칭 및 요잉 등의 요인을 감안한 3축 센서 또는 틸팅 센서를 통한 좀더 정밀한 방위정보를 나타내는 방법에 대한 연구를 수행할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] SOLAS, 「해상인명안전협약 1974」, 해인출판사, p.831, 1998.
- [2] 해양수산부, “국제해사기구(IMO) 제73차 해사안전위원회(MSC) 참가 보고서”, 해양수산부, p.743, 2001.
- [3] IMO. Performance Standards for Shipborne Radiocommunication and Navigational Equipment, IMO, 1997.
- [4] 이종락, 「항해계기(제1권)」, 아성출판사, pp.1~2, 25~37, 1970.
- [5] W.Denne·Extra Master, 「Magnetic Compass Deviation and Correction」, Brown, Son & Ferguson, pp.36~43, 1979.
- [6] 이상집·정태권·이은방 공저, 「최신 항해기기론」, 다솜출판사, pp.31~38, 2002.
- [7] 편집부, 「센서의 원리와 사용법(I)」, 도서출판 세화, pp.183~209, 1988.
- [8] 박용우·김기우·김남호·류지구, “페라이트 링 코어를 이용한 Fluxgate 센서의 구현”, 센서학회지 제8권 제6호, pp.427~434, 1998.
- [9] 최조천·주기세, “Fluxgate형 지자계 콤팩스의 설계와 방위 분석에 대한 연구”, 목포해양대학교 논문집 제6권 제2호, pp.229~238, 1998.
- [10] Peter Benett, The NMEA FAQ Version 6.3, pp.1~12, 2000.
- [11] 차영배, 「Micro Controller 80196」, 다다미디어, 1998.
- [12] INTEL Inc., 8X196KC User manual, 1995.
- [13] Texas Instruments Inc., AM26LS31C User manual, 1998.
- [14] Dr. Carl. Smith & Robert Schneider, “A New Perspective on Magnetic Field Sensing”, Nonvolatile Electronics Inc, pp.1~8, 1998.
- [15] Michael J. Caruso & Lucky S. Withanawasam, “Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors”, Honeywell, pp.9~13, 1999.
- [16] Honeywell, “Compass Heading using Magnetometers”.
- [17] NMEA, NMEA 0183 Standard Ver 3.0, NMEA, pp.40~47, 2000.

# 부 록



## 감사의 글

학부 때부터 대학원 생활까지 부족한 저를 친자식처럼 보살펴주시고 지도해주신 김기문 교수님께 진심으로 감사의 말씀 올립니다. 교수님께서 배풀어 주신 은혜에 비해 부족한 점이 많아 죄송스럽고, 더욱 열심히 해야하는 아쉬움이 남습니다.

그리고, 바쁘신 일정에도 많은 격려를 해주시며, 논문을 지도해 주시고 심사해주신 양규식 교수님, 박동국 교수님께 감사드리며, 학교생활을 지도해 주신 학과 교수님께도 감사드립니다.

아울러, 논문을 완성하기까지 바쁜 생활에도 불구하고 아낌없는 지원과 조언을 해주신 임종근 선배님, 이영섭 선배님께 감사드립니다. 또한 연구실 생활을 같이 하며 많은 도움을 주신 장정운, 김진현, 손우기, 이해영 선배님과 심영식 후배님께 감사드리며, 따뜻한 위로와 격려를 해주신 통신공학실 여러 선배님들과 학과 및 다른 연구실의 선후배님들께도 감사드립니다.

어릴 때부터 같이 지내며 도움을 주었던 가우회 친구들과 동창생들, 주위 많은 동생들에게도 고마운 마음입니다.

항상 저를 믿어주시고 격려와 용기를 주신 부모님께 감사드리며, 힘들 때마다 위안이 되고 사랑을 준 동생 향임이와 정현이에게 고마움을 전합니다.

주위 많은 분들의 도움으로 인해 작은 결실을 얻게된 만큼 이를 출발점으로 삼아 앞으로 더 많은 노력을 할 것이라 다짐하며, 은인들의 고마움을 항시 마음속에 새기며 보답하도록 하겠습니다. 끝으로 학문적인 지식 이외에도 삶의 지혜를 가르쳐주신 지도 교수님께 다시 한번 감사의 말씀을 올립니다.