

# 소형어선용 자동항행장치를 위한 전자자기컴파스의 국산화 개발

양 주 호/부경대학교 제어기계공학과

## 제 1 절 서설

방위(선수각)를 측정하는 대표적인 장치로는 자이로 컴파스(gyro compass)와 자기 컴파스(magnetic compass)를 들 수 있다.

자이로 컴파스는 정도(精度)에 있어서 탁월하나 기동 준비(warming up)시간이 길어서 연근해 소형 어선과 같이 항·포구를 빈번히 입출항 해야하는 선박에는 이용이 불가능하다. 자기 컴파스는 지자기의 성질을 이용한 측정 기기로써 그 원리는 대단히 간단하나 지자기 분포의 왜곡 등으로 그 정도가 떨어지는 결점이 있다.

최근 전자공학의 발전에 힘입어 자기의 세기에 따라 저항(또는 임피던스)이 변화하는, 소위 말하는 자기 저항 소자(또는 자기 임피던스 소자)등이 널리 개발되어 산업현장에 적극 응용되고 있다.

본 연구에서는 이 자기 저항 소자(MR소자: magnetic resistance device)를 이용해 지자기를 계측하고 이를 적당히 증폭하여, 마이크로 컴퓨터가 이 신호를 적절히 처리함으로써 선수방위를 측정할 수 있는 소형어선용 전자 자기 컴파스의 국산화 개발에 그 목적이 있다.

## 제 2 절 기존의 전자 컴파스 특성 분석

선박에서의 방위각은 대단히 중요한 요인이다. 수 백년 전부터 이 방위각의 측정에 이용된 것이 자기 컴파스인데, 이는 자석의 지북성을

이용한 것이다.

한편 최근의 소형 유람선(leisure boat)등은 날로 발전을 거듭하여 내·외장 및 기능이 근대화, 하이테크(high technology)화 되어 가고 있다. 자기 컴파스는 무언가 고전적인 감이 있을 뿐만 아니라, 기능면에서도 부족하다. 즉, 자기 컴파스로부터의 선수각 정보를 다른 전자 기기가 이용할 수 없다. 물론 선수각 정보를 다른 장비에 이용할 수 있는 기능을 보유한 방위 측정 장비로써 자이로 컴파스가 있으나, 가격이 자기 컴파스에 비하여 매우 고가이고 입출항이 잦은 연근해 어선 및 레저보트에는 적합하지 않다.

이러한 점들을 충족시킬 수 있도록 개발된 것이 전자 자기 컴파스(electro magnetic compass)이다.

이 전자자기컴파스는 구미에서는 오래 전부터 개발되어 시판되고 있으며, 미국의 KVH사 100/314 시리즈, 영국의 CETREK사의 555/550 시리즈, 서독 VDO사의 360 시리즈, 일본 TOKIMEC사의 EMC\_2형 LAGOON시리즈 등이 있다.

어느 제품이나 기본적으로는, 지자기의 방위를 검출하여 전기적인 신호로 변환하는 센서부와 방위각을 표시하는 지시부로 구성되어 있다.

지자기를 검출하는 방위센서로는 플럭스 밸브(flux valve)는 플럭스 게이트(flux gate)라 불리우는 X-Y 직교 코일이 이용되고, 이 코일은 선체의 요동이 있어도 수평을 유지할 수 있도록 짐발(Gimbal) 기구로써 보지되어 있다. 짐

발 내에는 기름을 넣어 댄핑(damping) 작용을 하도록 되어있다.

지자기의 강도(자속밀도)는 약  $0.6 \times 10^{-4}$  테슬러(Tesla : 0.7 Gauss)이하 ( $0.28 \sim 0.674$  Gauss) 정도로 매우 약하기 때문에 이를 증폭시켜 마이크로 컴퓨터가 쉽게 정보를 획득할 수 있도록 한다. 달리 증폭된 아날로그 신호를 그대로 지시하는 아날로그 방식도 있는데, TOKIMEC, CETREK 및 KHV사 제품은 디지털 방식이고, VDO사 제품은 아날로그 방식 및 디지털 방식의 겸용이다.

연산부인 CPU에서는 방위각의 연산뿐만 아니라 자차 및 편차의 수정도 행한다. 지자기 센서 코일부에 자성체가 있으면 자기장이 교란되어, 오차가 발생하므로 이 경우 연산부에서 방위 각도를 수정해야 하는데 이를 자차수정이라 한다.

한편 지자기 방위로부터 진방위를 구하기 위해서, 각지역에 따라 발생하는 편차분을 수정하는, 소위 말하는 편차수정을 할 수 있도록 되어 있다.

방위 지시계는 방위 눈금판이 회전하는 아날로그 형식과 LCD등을 이용한 디지털 방식이 있는데, 선박 조종시 시각적으로 쉽게 판별 가능한 아날로그 형식이 선호되고 있다. 각 사의 전자 자기 컴파스의 특징 및 타 방위 센서에 대한 장점은 아래와 같다.

- 1) 각 사의 전자 자기 컴파스 특징
  - 방위 정도 :  $\pm 1 \sim 3$ 도
  - 편차 수정 : 수동 또는 프로그래머블
  - 자차 수정 : 자동, 수동 또는 프로그래머블
  - 전원 : DC 10 ~ 30 V
  - 소요 전력 : 5 W 이하
  - 외부 출력 신호 : ① Repeater지시 계용  
② NMEA0183  
③ 외부기기용 디지털 신호 N+1  
④ 외부기기용 아날로그 신호 SIN/ COS
- 2) 타 방위 센서에 대한 장점
  - 자기 컴파스와 같이 자차에 대한 취 부장소의 제약이 없이 지시계는 어느곳이든

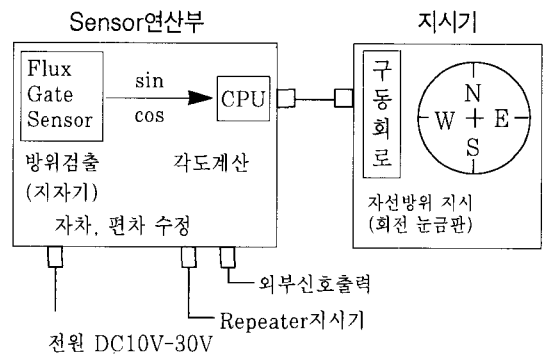
부착 가능함.

- 진동, 동요, 충격에 강하다.
- 자이로 컴파스에 비해 기동 시간이 매우 짧음.
- 외부기기(autopilot, video plotter등)에 방위 정보 공급 용이.
- 자차 및 편차 수정이 용이.

### 1. EMC\_2의 상세 특징

여러 사의 제품 중 일본 TOKIMEC사의 EMC\_2형 전자 컴파스 시스템에 대해 살펴본다.

이 시스템은 <그림 1>과 같이 센서 연산부와 지시기로 구성되어 있으며, 연산부에서는 플럭스 게이트 센서에 의하여 침로의 방위를 검출하고, 이 아날로그 신호를 디지털 신호로 처리하여 각도에 따른 펄스 신호 출력을 지시기에 보낸다. 이러한 신호는 편차 및 자차 수정이 행하여져서 진방위로 지시되도록 해야 한다.



<그림 1> EMC\_2 Type 전자컴파스 시스템 계통도

지시기에서는 연산부로부터 보내온 방위 펄스 신호를 계수하고 각도에 따라 펄스 모터를 구동시켜 방위 눈금판이 회전하여 방위각을 읽을 수 있게 되어있다.

또한, 센서 연산부에서는 리피터 지시기출력과 외부 신호 출력도 얻을 수 있게 되어 있다. 전원은 DC 12V 또는 24V가 기본이며 소비 전력은 지시기가 1개일 때 5W정도이고 사양은 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 EMC\_2의 사양

부분	항 목	사 양
시스템	정도	$\pm 2^\circ$
	해상도	$0.5^\circ$
	동작 회전률	$33^\circ/\text{sec}$
	자차 수정범위	$\pm 15^\circ$ (수동조정)
	편차 수정범위	$\pm 30^\circ$ (수동조정)
	동작 전원 전압	(DC 10.2V~15.6V) (DC 20.4V~31.2V)
	전력소모	5W이하
	부속품	Power supply/신호선
주 회로부	동작온도	$0^\circ \sim 60^\circ \text{ C}$
	보관온도	$-15^\circ \sim 80^\circ \text{ C}$
	동작습도	95%(상대습도)이하
	보관습도	95%(상대습도)이하
	최대허용 경사각	$45^\circ$ (좌우)
	진동	max. $25.4 \text{ m/s}^2$ (2.5G)
	충격	max. $196 \text{ m/s}^2$ (20G)
지시부	동작온도	$0^\circ \sim 60^\circ \text{ C}$
	보관온도	$-15^\circ \sim 80^\circ \text{ C}$
	동작습도	95%(상대습도)이하
	보관습도	95%(상대습도)이하
	진동	max. $25.4 \text{ m/s}^2$ (2.5G)
	충격	max. $196 \text{ m/s}^2$ (20G)

## 2. NMEA 0183 통신 프로토콜

NMEA(National Marine Electronics Association)에서 해상 장비간의 접속성과 호환성의 편의를 도모하기 위하여 인터페이스에 관한 표준 규격을 제정하여 이용하고 있는데, EMC\_2는 그 중의 하나인 NMEA0183 통신 프로토콜(protocol)을 따르고 있다. 즉, EMC\_2의 통신 프로토콜은 다음의 〈표 2〉와 같다.

## 제 3 절 지자기 및 방위 추정 알고리즘

### 1. 지자기

지구는 하나의 큰 자석이고, 북쪽은 청극(靑極) 남쪽은 적극(赤極)임은 주지의 사실이며, 이것을 그림으로 표시하면 〈그림 2〉와 같다. 즉, 지구 속에 하나의 큰 자석이 들어있다고 생

〈표 2〉 EMC\_2의 통신 프로토콜

구분	세 목	내 용
Format	Baudrate	4800 bps
	speed	200ms
	Data	1 start bit 8 data bit No parity 1 or more stop bit
protocol	\$ HC HDM yyy.y M * cks <CR> <LF>  \$ : NMEA HC : magnetic compass의 ID(Talker의 ID) HDM : data형식 또는 刑표시 yyy.y : Bearing degree (예 123.4°) M : Magnet * cks : Checksum <CR> : Carriage Return <LF> : Line Feed	

각할 수 있다. 따라서 지구 속에 하나의 막대 자석을 중앙부에 실로써 매달아 수평으로 자유로이 회전 운동을 할 수 있도록 하면, 대략 지구의 북자극(청극) 방향으로 막대 자석의 적극이, 남자극(적극) 방향으로 막대 자석의 청극이 향하게 될 것이다. 이러한 원리를 이용한 것이 자기 컴파스이다.

자극의 위치는 다음과 같다.

### 자극의 위치 :

북반구(  $72^\circ \text{ N} - 96^\circ \text{ W}$  )

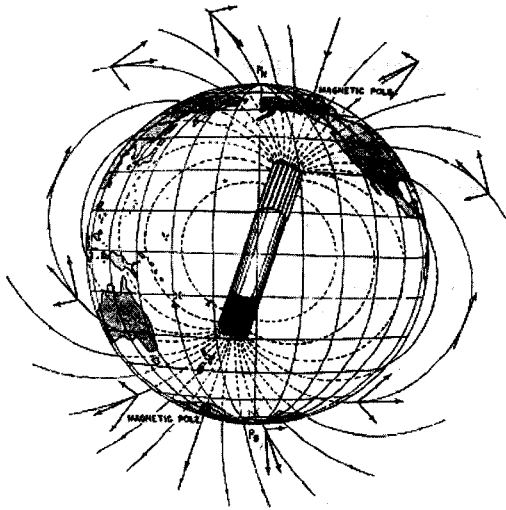
남반구(  $73^\circ \text{ S} - 150^\circ \text{ E}$  )

〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 자기장의 축은 지구 자전축  $P_N - P_S$  에 대해 약  $17^\circ$  정도 기울어져 있고, 매년 약간씩 이동하여 960년 주기(정확한 값은 아님)를 갖고 변화한다.

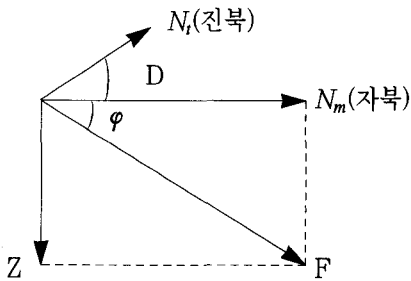
이와 같은 변화를 영년 변화(Secular variation)라 하며, 이 변화 이외에도 하루 중에 변화하는 일 변화(Diurnal variation) 등이 있다.

우리 나라 부근의 한 장소에서의 지구 자기장의 각 성분은 〈그림 3〉과 같다. 그림에서  $\phi$ 를 북각(Dip) 또는 경차(Inclination)이라 하고,

자북과 진북 사이의 오차를 편각(Declination) 또는 편차(Variation)이라 하며,  $N_m$ 의 크기를 수평자력이라 한다. 즉, 지자기의 3요소는 편차, 북각, 수평자력인데, 컴파스를 사용할 경우 편차, 수평자력, 수직자력으로 표시하는 것이 편리할 경우가 많다.



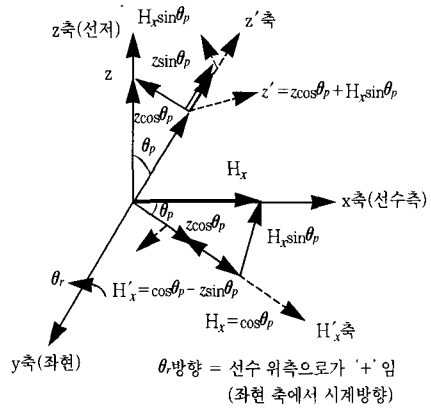
(그림 2) 지구 자기장



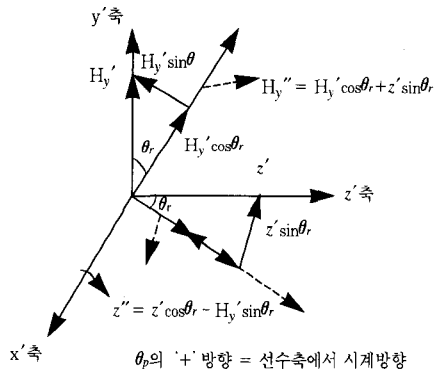
(그림 3) 지자기의 3요소

## 2. 방위 추정 알고리즘

(그림 4)는 선수방향을 x축, 선체의 횡방향을 y축, 수직 방향을 z축이라 할 때, 선수방향의 수평 자력  $H_x$ 의 크기를 표시한 그림이다. a)의 pitching시의 그림으로부터  $H'_x$ ,  $H'_y$ ,  $Z'$ 는 다음과 같이 되고,



a) pitching시의 좌표 변환



b) rolling시의 좌표 변화(아래)

$$\begin{bmatrix} H''_x \\ H''_y \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_r & \sin\theta_r \\ 0 & -\sin\theta_r & \cos\theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H'_x \\ H'_y \\ Z' \end{bmatrix}$$

b)의 rolling시의 그림으로부터  $H'_x$ ,  $H'_y$ ,  $Z'$ 는 다음과 같이 된다

$$\begin{bmatrix} H'_x \\ H'_y \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_p & 0 & -\sin\theta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_p & 0 & \cos\theta_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ Z \end{bmatrix}$$

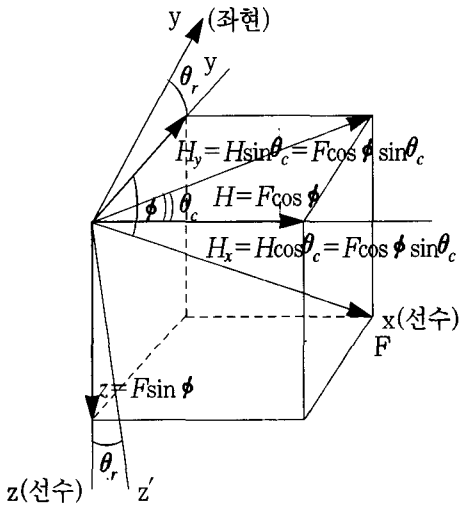
위의 두 식에  $H'_x$ ,  $H'_y$ ,  $Z'$ 를 소거하면 다음과 같이 된다

$$\begin{bmatrix} H''_x \\ H''_y \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_p & 0 & -\sin\theta_p \\ \sin\theta_p \cdot \sin\theta_r & \cos\theta_r & \cos\theta_p \cdot \sin\theta_r \\ \sin\theta_p \cdot \cos\theta_r & -\sin\theta_p & \cos\theta_p \cdot \cos\theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ Z \end{bmatrix}$$

그러므로  $H'_x, H'_y, Z'$ 는 앞 식의 행렬의 역 변환을 이용하면 된다

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_p & 0 & -\sin\theta_p \\ \sin\theta_p \cdot \sin\theta_r & \cos\theta_r & \cos\theta_p \cdot \sin\theta_r \\ \sin\theta_p \cdot \cos\theta_r & -\sin\theta_r & \cos\theta_p \cdot \cos\theta_r \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} H_x'' \\ H_y'' \\ Z'' \end{pmatrix}$$

이렇게 연산된  $H_x$ 와  $H_y$ 값들로부터 컴퍼스북 (compass north)  $\theta_c$ 는 <그림 5>로부터  $\theta_c = \tan^{-1}(-\frac{H_x}{H_y})$ 가 된다.



<그림 5> 선체 동요시의 좌표계

### (1) 자차수정

자북과 컴퍼스 북 사이의 오차를 자차라 하는데, 이 자차의 발생요인은, 선체를 구성하고 있는 재료중의 경철(硬鐵) 성분이 선박의 건조 과정 등에서 자성을 띠어 영구 자석화 되어 자기 컴퍼스가 놓여있는 장소에 까지 영향을 미치는 영구자기와, 선박상에 설치되어 있는 각 장치들 중의 연철 성분이 지자기에 의해 자성을 띠어 이것이 자기 컴퍼스가 설치된 장소에 영향을 미치는 감응 자기의 두 요인이 있다.

이 감응 자기는 경철 성분에 의한 영구자기와는 달리, 연철이 놓여지는 방향에 따라 지자기 교란의 강도가 달라진다.

이러한 자차를 수정하는 실용공식은 다음과 같다.

$$\delta = A + B\sin\theta_c + C\cos\theta_c + D\sin 2\theta_c + E\cos 2\theta_c$$

여기서,  $\theta_c$ 는 컴퍼스 침로이고,  $A, B, C, D$ 는 다음과 같다.

$$A = \frac{\delta_N + \delta_E + \delta_S + \delta_W}{4}$$

$$B = \frac{\delta_E + \delta_W}{2}$$

$$C = \frac{\delta_N + \delta_S}{2}$$

$$D = \frac{(\delta_{NE} + \delta_{SW}) + (\delta_{NW} + \delta_{SE})}{4}$$

$$E = \frac{(\delta_N + \delta_S) + (\delta_E + \delta_W)}{4}$$

따라서 이들 값을 구하여 자차를 수정하기 위해서는 먼저 자차를 측정해야 하는데, 자차를 측정하는 데에는 다음과 같은 방법이 있다.

- ① 원거리 물표 방위법
- ② 상호 방위법
- ③ 해도로부터 얻어진 물표의 자침 방위에 의한 방법
- ④ 천체 방위법
- ⑤ 자이로 컴퍼스와 비교하는 방법

그리고 진침로 계산식은 다음과 같다.

진침로 = 컴퍼스 침로 ± 자차 ± 편차

여기서, '+'는 편동, '-'는 편서

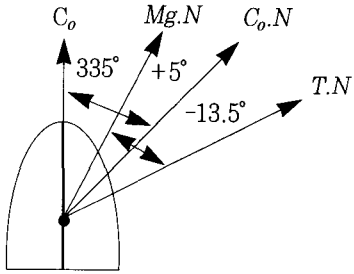
참고로 우리나라 근해의 편차는 다음과 같다.

- 인천앞, 울산앞 : 약 7
- 제주도 부근 : 약 6° W
- 울릉도 북부 : 약 8° W
- 동지나해 부근 : 약 5° W

<그림 6>은 자차와 편차에 의한 진침로가 계산의 일례를 표시하고 있다.

이들 방법 중 원거리 물표 방위법에 대해 설명한다

넓은 해상에서 가능한한 멀리 있는 물표를 선정하고, 자차를 측정하고자하는 컴퍼스로써



편차 :  $13.5^\circ W = -13.5$   
 자차 :  $5^\circ E = +5$   
 컴파스 침로 :  $335^\circ$   
 $\therefore$ 진침로 =  $335 - 13.5 + 5 = 326.5^\circ$

<그림 6> 자차와 편차

선수를 32방위(16방위, 8방위)로 향하게 정침시킨후, 물표의 베어링 각을 측정하여 기록한다. 32 방위점 각각에 대한 측정이 끝나면 측정방위의 평균치를 구한다 이 평균치로부터의 각 방위점에서의 측정값의 차이가 그 점에서의 자차이다. 그 값이 '+'이면 편동, '-'이면 편서에 해당한다.

이 방법을 이용할 때 주의해야 할 점은 측정 한 물표의 방위가  $360^\circ$  양측에 걸쳐 있을 때 주의해야 한다. (이는 부호 때문임)

<참고> 자이로 컴파스에 의해 자차를 측정할 경우는 자이로 컴파스로부터의 진북과 마그네틱 컴파스 북 사이의 오차에다 이미 알고 있는 편차를 가감함으로써 자차를 얻을 수 있다.

$$\text{평균치} = \frac{(-9 - 20 - 27.5 - 20 + 4 + 24 + 22.5 + 6)}{8} = -2.5 = 357.5^\circ$$

(2) 편차수정

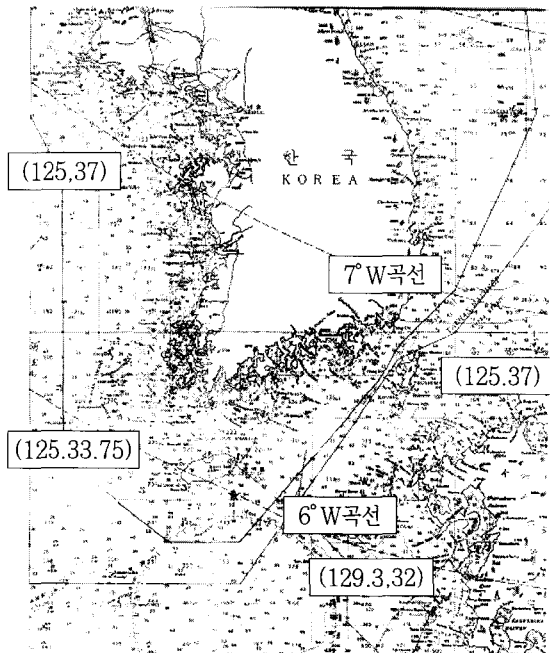
우리나라 근해의 등편차 선도는 <그림 7>과 같다.

편차를 위치에 따라 자동으로 수정하기 위하여, 연근해 해도상에 표시되어 있는 등편차 곡선을 이용한다.

그림으로부터 알 수 있듯이  $7^\circ W$  등편차 곡

<표 3> 예

선수 컴파스 방위	측정된 물표 방위	자차	선수 컴파스 방위	측정된 물표 방위	자차
N	351(-9°)	$\delta_N = 357.5$ -351 = 6.5° E	S	4°	-2.5-4 = 6.5 = 6.5W
NE	340(-20°)	$\delta_{NE} = 357.5$ -340 = 17.5° E	SW	24°	26.5° W
E	332.5(-27.5°)	25° E	W	22.5°	25° W
SE	340(-20°)	17.5° E	NW	6°	8.5° W



<그림 7> 등편차 선도

선은 대략 서해의 태안 반도와 동해 울산만을 가로 지르는 포물선 형태이고,  $6^\circ W$  등편차 곡선은  $7^\circ W$  등편차 곡선과 형상이 유사하고 제주도 를 지나고 있다.

본 연구에서 이를 직선으로 근사화 하고 편차를 경도와 위도의 함수로 표시하여, GPS등의 측정기로부터 선박의 위치를 알 수 있을 때는 자동적으로 편차수정이 가능하도록 한다. 그렇게 하기 위해서는 먼저 편차를 경도와 위도의 함수로 표시해야 한다.

위도를 y, 경도를 x라 할 때 등편차 선도는 다음과 같은 1차 함수로 간주한다.

$$y = ax + b = [a \ b] \begin{pmatrix} x \\ 1 \end{pmatrix}$$

그리고 기울기 a와 y축의 교점 b를 편차  $\theta_{vari}$ 의 1차 함수로 가정하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} &= f(\theta_{vari}) = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_{vari} \\ 1 \end{pmatrix} \\ &= (\theta_{vari} \ 1) \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ 1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

등편차 곡선  $7^\circ W (\triangle \theta_1)$ 와  $6^\circ W (\triangle \theta_2)$ 에 대한 각각의 1차 함수의 기울기 a와 y축과의 교점 b를 알 수 있으므로, 이 정보로부터 다음과 같이  $h_{ij}$  들을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_1 & \theta_2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \\ \therefore \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_1 & \theta_2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \end{aligned}$$

$h_{ij}$ 가 구해진 경우 임의의 점 x, y에서의 편차는 다음과 같이 계산 된다.

$$\begin{aligned} y &= (h_{11} \theta_{vari} + h_{12} h_{21} \theta_{vari} + h_{22}) \begin{pmatrix} x \\ 1 \end{pmatrix} \\ &= h_{11} \theta_{vari} x + h_{12} x + h_{21} \theta_{vari} + h_{22} \end{aligned}$$

$$\therefore \theta_{vari} = \frac{y - h_{12}x - h_{22}}{h_{11}x - h_{21}}$$

나. 실제 보상식

등편차  $7^\circ W$  곡선 식 :

$$\begin{aligned} y &= \frac{-(37-35)}{130.8-125} (x - 125) + 37 \\ &= -0.345x + 80.103 \end{aligned}$$

등편차  $6^\circ W$  곡선 식 :

$$\begin{aligned} y &= \frac{-(33.75-32)}{129.3-125} (x - 125) + 33.75 \\ &= -0.407x + 84.622 \end{aligned}$$

따라서,

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -0.345 & -0.407 \\ 80.103 & 84.622 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -6 \\ -1 & 7 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0.062 & -0.779 \\ -4.519 & 111.736 \end{pmatrix} \\ \theta_{vari} &= \frac{y + 0.779x - 111.736}{0.062x - 4.519} \end{aligned}$$

예) 위치 ( $129^\circ E, 34^\circ N$ )인 곳에서의 편차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \theta_{vari} &= \frac{34 + 0.779 * 129 - 111.736}{0.062 * 129 - 4.519} \\ &= 6.54^\circ W \end{aligned}$$

이상을 요약하여 블록선도로 표시하면 <그림 8>과 같이 된다.

<그림 8>의 블록선도 중의 역행렬을 구하면 다음과 같다.

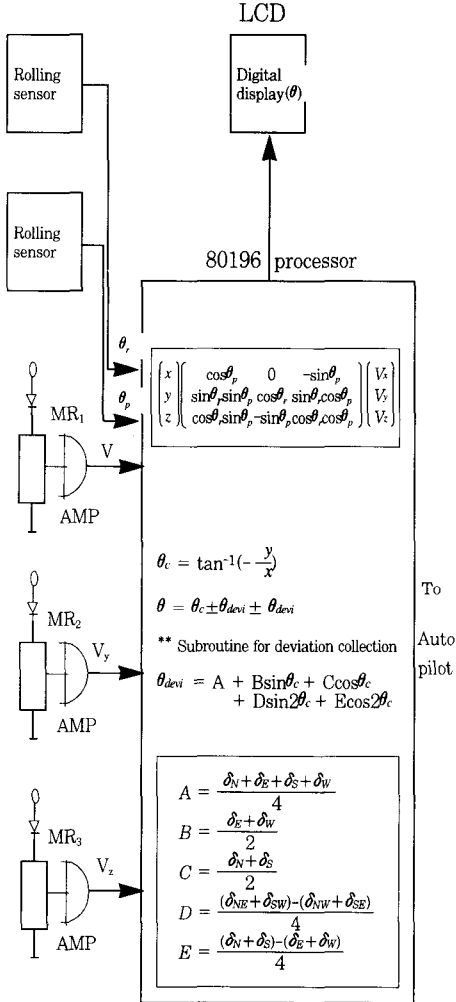
$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos\theta_p & 0 & -\sin\theta_p \\ \sin\theta_r \sin\theta_p & \cos\theta_r & \sin\theta_r \cos\theta_p \\ \cos\theta_r \sin\theta_p & -\sin\theta_r & \cos\theta_r \cos\theta_p \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} \\ &= \frac{adjA}{detA} \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} detA &= \cos^2\theta_r \cos^2\theta_p + \sin^2\theta_r \cos^2\theta_p \\ &\quad + \sin^2\theta_r \sin^2\theta_p + \cos^2\theta_r \sin^2\theta_p \\ &= 1 \\ adjA &= \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} \cos\theta_p & \sin\theta_r \sin\theta_p & \cos\theta_r \sin\theta_p \\ 0 & \cos\theta_r & -\sin\theta_r \\ -\sin\theta_p & \sin\theta_r \cos\theta_p & \cos\theta_r \cos\theta_p \end{pmatrix}$$

(그림 8) 방위 검출 시스템



(표 4) 마이크로 자계 센서 소자의 기본성능 비교

마이크로 자계 센서	홀 소자	MR소자	GMR소자	MI소자
재료	반도체 InSb, GaAs	자성박막 NiFe, FeCo	자성/도체 다층막	아몰퍼스 와이어 리본, 스퍼터막
파라미터 변화율		0.1% / Oe	1% / Oe	10~120% / Oe(와이어) 2~8% Oe(스퍼터막)
검출가능 최소자계	0.5Oe	0.5Oe	0.01Oe	10 <sup>-6</sup> Oe(ac) 10 <sup>-5</sup> Oe(dc)
응답속도	1kHz (마그네 트 미터)	MHz	MHz	MHz

홀 소자나 자기 저항 (MR)소자는 소자로서의 응답이 약 1MHz까지 가능 하지만 신호대 잡음비(S/N)를 충분히 높게 하기 위해 증폭기를 접속하면 주파수 응답에 의해 응답속도가 결정된다(홀 마그네트 미터는 1kHz). 최소 검출 자계는 모두 0.5G 정도이며 지자기의 안정된 검출은 용이하지 않다. 전통적인 고감도 자계 센서인 플럭스 게이트 센서는 마이크로 치수는 아니지만 약 30mm 길이의 헤드를 이용하면 한결같은 최소 검출 자계가 10<sup>-6</sup>G에 달한다.

시판되고 있는 이 센서의 응답속도는 1kHz이다. 초전도 양자 간섭 디바이스(SQUID)는 절대 온도 4K로 냉각할 필요가 있어 대규모 장치가 되지만 초고감도 자계센서로 10<sup>-9</sup>G의 자계까지 검출할 수 있고 뇌자기나 심장자기 등의 생체자계검출에 사용되나 일반적으로 사용되는 센서는 아니다. 이 들 3종류의 자계센서는, 새로운 자계검출 목표에 대해서는 검출감도 또는 응답속도의 어느쪽인가가 부족하기 때문에 불충분하다. 자기 임피던스(MI) 자계 센서는 아몰퍼스 와이어를 이용한 경우 마이크로 치수 헤드로 10<sup>-6</sup>G의 자계검출 분해능을 가지며, 응답속도는 수 MHz이기 때문에 새로운 자계검출 목표의 넓은 부분을 커버한다.

## 제 4 절 자기 검출 소자

### 1. 자기 검출 소자

자기를 검출 할 수 있는 소자로는 플럭스 게이트(flux gate), 홀 소자, MR소자(자기 저항 소자), GMR소자(거대 자기 저항 소자 ; Giant Magnetic Resistance device), MI소자(자기 임피던스 소자 ; Magnetic Impedance device) 등이 있다.



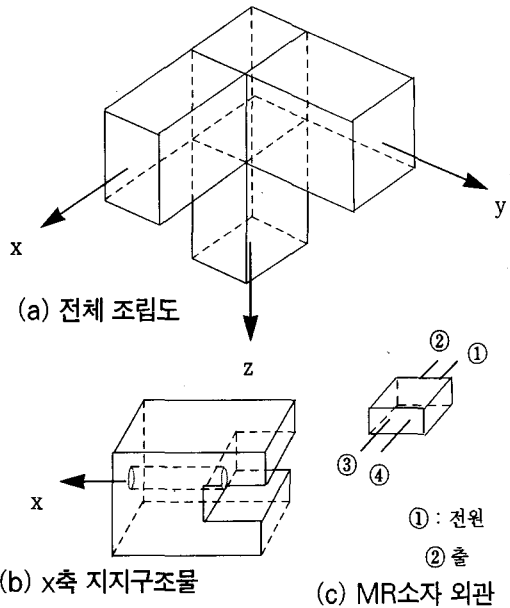
〈표 5〉 FSD-20055AY-001의 사양

항 목	내용 / 조건	규 격
초기화 자계 (H-ini)		$H\text{-ini} > 20 \text{ Oe}$
검출 자계 (H-ex)	초기화자계방향의 바이어스자계 $H_b=0$ 일때	$H\text{-ex} < 55 \text{ Oe}$
정격전류		5 mA
최대 정격전류		10 mA
사용온도		$-30 \sim 85^\circ \text{C}$
보관온도		$-40 \sim 125^\circ \text{C}$
입출력 저항	$H\text{-ex} = 0 \text{ Oe}$	$800 \pm 200 \ \Omega$
불평형 전압	$H\text{-ex} = 0 \text{ Oe}$ , $I=5\text{mA}$	$\pm 5 \text{ mV}$
적 감 도	$H\text{-ex} = 25 \text{ Oe}$ , $I=5\text{mA}$	$2.5 \pm 0.5 \times 10^{-4} \text{ mV/mA/Oe}/\Omega$
히스테리시스	$H\text{-ex} = \pm 25 \text{ Oe}$ loop	0.5mV
포화자계	출력전압의 피크치의 자계	50 Oe이상
입출력저항의 온도계수	$H\text{-ex} = 0 \text{ Oe}$	$0.3\% / ^\circ \text{C}$
불평형전압의 온도계수	$H\text{-ex} = 0 \text{ Oe}$ , $I=5\text{mA}$	$\pm 20 \mu\text{V} / ^\circ \text{C}$
적감도의 온도계수	$H\text{-ex} = 25 \text{ Oe}$ , $I=5\text{mA}$	$-0.12\% / ^\circ \text{C}$
단자의 인장력	340g, 30 sec	단자파손 없음
단자의 휨	226G, 90° 휨 1회	단자파손 없음

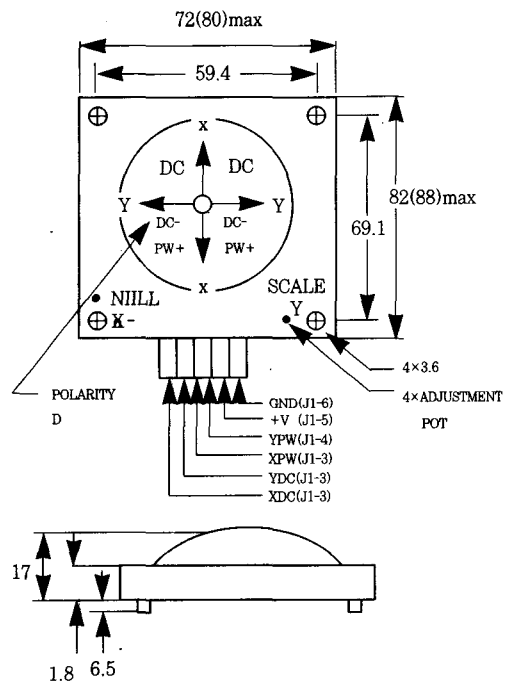
## 2. 방위 측정 시스템의 구성

전체의 헤딩(heading)을 얻을 수 있는 여러 가지 방법을 검토 조사하였는 바, 이 중 지자기를 직접 계측할 수 있는 센서로는 InSb 자기저항 소자, GaAs 홀 소자, MR 소자 등이 있으나, 본 연구에서는 미소 자기에 대해서도 감도가 양호한 MR 소자(형명 : FSD-20055AY-001)를 이용하여 방위 추정 장치를 설계 제작하였으며, 그 소자의 사양은 〈표 5〉와 같고, 이 소자를 이용하여 지자기를 검출할 수 있도록 차동 증폭회로를 설계 제작한다.

〈그림 9〉는 MR 소자의 조립도이다.



〈그림 9〉 MR소자 조립도



〈그림 10〉 경사 센서

그런데 정확한 헤딩을 얻기 위해서는 <그림 5>에서와 같이 3축(x, y, z 축)의 지자기를 검출하여야 하는데 선박은 항상 요동하고 있으므로 지자기의 x, y, z 방향의 성분을 정확히 알기 위해서는 선박의 롤링(rolling)과 피칭(pitching)을 검출하여야 한다. 그래서 본 연구에서는 퍼시코 엔지니어링사(일본)의 2축 경사 센서를 이용하였으며, 외관 및 핀(pin)의 용도는 <그림 10>과 같고, 그 제원은 <표 6>과 같다.

<표 6> 경사 센서의 사양

내 용	사 양
측정 범위	+/- 20 도
분해능	0.01
선형성	0 - 10도 까지 : +/- 0.2 도 10 - 15도 까지 : 읽은값의 2% 15 - 20도 까지 :
재현성	+/- 0.1도
시정수	0.3 초
주파수응답(대역폭)	0.5 Hz
사용온도	-40~ +85°C
보관온도	-55~ +85°C
온도 특성(감도)	0.1%/°C
습도 특성(영점)	0.01%/°C

<그림 9>와 같이 구성된 방위 검출 소자와 <그림 10>의 경사 센서를 이용하여 구성된 방위 검출 시스템은 <그림 8>과 같은 연산을 통하여 선수 헤딩을 구할 수 있다. 이 계산의 실현에 이용될 원보드 마이크로 컴퓨터(80196kc)는 설계 자작하였다.

또한 MR소자에서 검출된 지자기 성분의 신호는 MR소자의 양단의 전압으로 출력이 되며, 이 양단의 신호의 차는 미소하므로 이 양단의 전압을 차동증폭하는 회로가 필요하다. 따라서 이러한 아날로그

(analog)신호는 연속적으로 이어진 신호를 의미하는 것으로서, 이를 처리하기 위해서는 아날로그 IC가 필요하다.

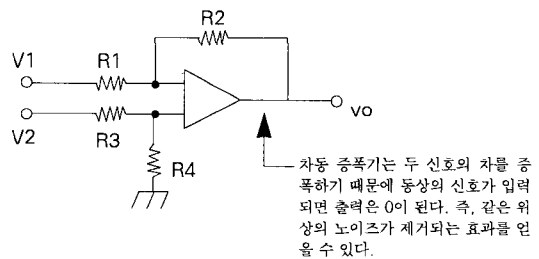
즉, 아날로그 IC는 온도, 습도, 압력, 거리 등의 연속적인 아날로그 신호를 처리하는 IC로서, 그 회로의 주역은 연산 증폭기(Operational Amplifier)이다.

최초의 연산 증폭기는 아날로그 컴퓨터의 연산용으로 개발되어 졌으며, 초기에는 진공관으로 구성되어 동작 전압이 높았으나, 오늘날 반도체 기술의 발전에 따라 IC화되어 성능 및 신뢰도가 매우 높아지고, 그 응용 분야도 여러 형태로 다양해졌다.

연산 증폭기의 가장 중요한 기능은 이름에서 보는 것과 같이 입력 신호를 연산 증폭해 주는 것으로, 그 기능을 이용하여 여러 가지 형태의 회로를 구성하게 된다.

연산증폭기는 많은 회사에서 제조하고, 그 종류 또한 대단히 다양하기 때문에, 사용할 때에는 회로의 특성, 가격, 정밀도, 납기 등을 고려하여야 하며, 한 IC안에 여러개의 연산증폭기가 들어있는 것도 있으므로 선택에 유의해야 한다.

<그림 11>은 연산증폭기 1개로 차동 증폭기를 구성한 가장 간단한 회로이다. 이 회로의 해석은 대개 중첩의 원리를 이용하여 회로 해석을 할 수 있으며, <그림 11>에서 차동 증폭기의 입출력 관계를 유도 하면,



<그림 11> 차동 증폭기의 기본회로

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$$

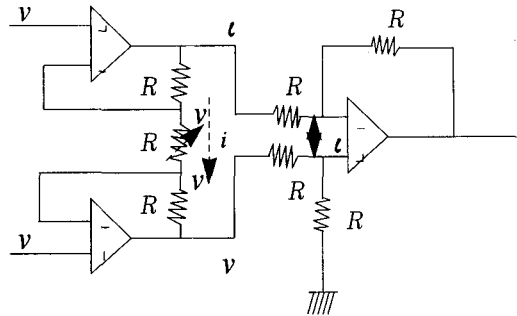
로 된다.

(여기서,  $R_2/R_1 = R_4/R_3$ )

〈표 7〉 각 저항값

X축			Y축			Z축		
저항 기호	저항값 (Ω)	비 고	저항 기호 (Ω)	저항값 (Ω)	비 고	저항 기호 (Ω)	저항값 (Ω)	비 고
R1			R1			R1		
R2	10K		R2	10K		R2	10K	
R3	10.33K	가 변	R3	20K	가 변	R3	20K	가 변
R4	10K		R4	10K		R4	10K	
R5	750		R5	750		R5	1K	
R6	1K		R6	1K		R6	750	
R7	400K		R7	400K		R7	400K	
R8	74.04K	가 변	R8	0.7K	가 변	R8	4.4K	가 변
R9	500K		R9	500K		R9	500K	
R10	5K		R10	5K		R10	10K	
R11	1K	가 변	R11	1K	가 변	R11	2K	가 변
R12	1K		R12	1K		R12	22K	
R13	1K		R13	2K		R13	11.4K	가 변
R14	22K		R14	22K		R14	22K	
R15	80.96	가 변	R15	30.59K	가 변	R15	5K	
R16	22K		R16	22K		R16	5K	
R17	5K		R17	5K		R17	5K	
R18	5K		R18	5K		R18	5K	
R19	5K		R19	5K				
R20	5K		R20	5K				

그러므로 MR 소자에 의해 검출된 지자기의 신호에 대해 입력 임피던스를 크게하고 동상신호성분을 제거하기 위한 차동증폭회로는 〈그림 12〉와 같으며, 이 회로는 X-축 방향의 성분만을 차동 증폭하는 회로이다. 이 회로의 입 출력 관계를 유도하여보면 다음과 같다. 〈그림 12〉에 있어, 저항  $R_1, R_2, R_3$ 에 흐르는 전류는 일정하므로, 이 회로에 오옴의 법칙을 적용하면,



〈그림 12〉 고입력 임피던스 차동 증폭회로

$$\frac{v_{10}-v_1}{R_2} = \frac{v_1-v_2}{R_1} = \frac{v_2-v_{20}}{R_3}$$

..... (a)

로 된다. 또한 저항  $R_4, R_5$  및 저항  $R_6, R_7$ 에 흐르는 전류는 일정하므로 이는

$$\frac{v_{10}-v_2}{R_4} = \frac{v_3-v_0}{R_5} \Rightarrow \frac{R_4}{R_5} v_3 - \frac{R_4}{R_5} v_0 + v_3$$

..... (b)

$$\frac{v_{20}-v_3}{R_6} = \frac{v_3}{R_7} \Rightarrow \frac{R_6+R_7}{R_7} v_3$$

..... (c)

로 된다. 따라서 식 (a)~(c)를 정리하면 출력은

$$v_0 = \frac{R_5}{R_4} \left(1 + \frac{R_2+R_3}{R_2}\right) (v_1-v_2)$$

..... (d)

로 되며, 여기서  $\frac{R_5}{R_4} = \frac{R_7}{R_6}$  이다.

이 회로의 특징은 높은 CMRR과 높은 입력 임피던스를 얻을 수 있다는 점과  $R_2$ 를 조정함으로써 CMRR에 영향을 미치지 않도록 하면서 이득을 조정할 수 있다는 점이다. 따라서 이 회로는 아날로그 입력회로나 상용주파수의 동상노이즈를 제거하고자하는 회로에 이용된다.

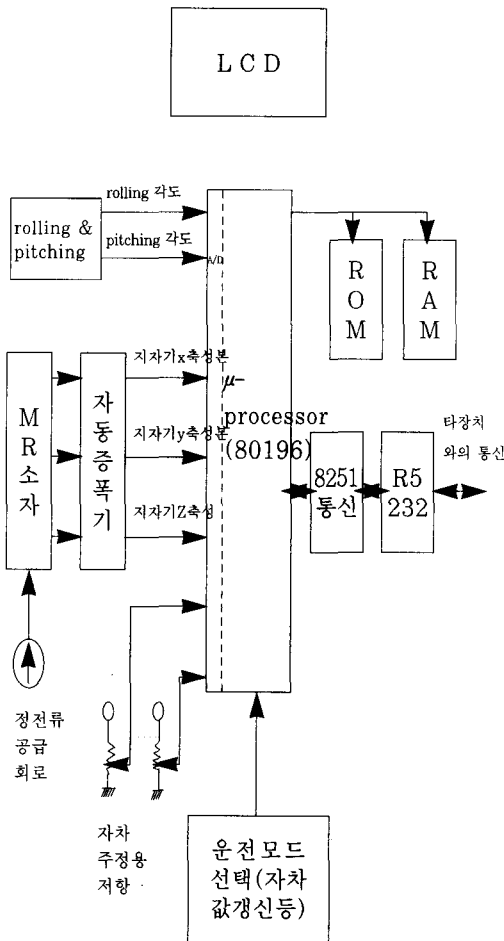
또한 지자기의 X, Y, Z축의 성분을 차동 증폭하기 위해서 〈그림 12〉의 회로를 3개 사용한다.

그리고 MR소자의 입력단에는 일정한 전류(정전류)가 흐르도록 하는 회로가 필요한데, 이

러한 회로를 정전류공급 회로라 한다. 이 정전류공급 회로를 구성하기 방법으로는 트랜지스터를 이용하는 방법, 정전류다이오드를 이용하는 방법 및 정전류IC를 이용하는 방법 등이 있는데, 본 연구에서는 정전류 IC를 이용한 방법을 사용하기로 한다.

본 연구에서 사용한 정전류 IC는 아날로그 디바이스사의 AD580이다.

다음은 이 정전류 IC소자의 특성을 알아보기 위하여 <그림 13>과 같이 구성하여 실험을 수행하였다.



<그림 13> 전자 컴퍼스 구성도

이 회로에 있어서  $R_1$ 은 소자의 데이터시트를 참고로 하여 선정하면,

$$i = \frac{2.5V}{R_1} + 1mA = 5mA$$

$$R_1 = \frac{2.5V}{4 \times 10^{-3}} = 625\Omega$$

로 된다, 이때 이 값을 가지고 실험을 수행한 결과  $R_1 = 625\Omega$ 일 때 전류계로는  $4.9mA$ 가 측정되었으며,  $R_1 = 609 \sim 622\Omega$ 일 때는  $5mA$ 가 측정되었다. 또한 저항  $R_2 + R_3$ 는 부하의 저항을 의미하는 것으로, 부하의 저항 값이  $800 \pm 200\Omega$ 의 범위로 변경되었을 때, 이 회로에 흐르는 정전류가 변동하는 가를 알아보기 위해 사용한 저항 값이다.

### 3. 전자자기컴퍼스의 구성도

앞에서 설명한 정전류공급 회로, 차동증폭회로, rolling 및 pitching 각도 계측센서(경사센서), 마이크로 컴퓨터, LCD 표시장치 등을 조합하여 구성된 전자자기컴퍼스의 구성도는 <그림 14>와 같다.

<그림 14>중에 있는 저항 A, ..., E는 자차 수정용 가변저항으로서 8방위에서의 자차에 관한 오차 정보가 실험에 의하여 결정되면 이 값에 해당하는 것을 가변저항으로 조정할 수 있도록 하였다.

그리고 8251 직렬통신 IC를 이용하여 선박의 다른 장비에 선수각 정보를 출력할 수 있도록 하였고, 그때 이용되는 통신 프로토콜은 NMEA-0183을 따르도록 하였다.

그리고 외부의 스위치를 이용하여, 자차값 갱신 여부 및 자동편차 수정여부를 선택할 수 있도록 한다.

<다음호에서 계속>