

자기저항소자를 이용한 전자 컴퍼스 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Electro Magnetic Compass Using Magnetic Resistance Element

양주호 · 김창화 · 박태원 · 문덕홍 · 이일영

J. H. Yang, C. H. Kim, T. W. Park, D. H. Moon and I. Y. Lee

Key Words : Magnetic Resistance Device (자기저항소자), Electro Magnetic Compass(전자컴퍼스)

Abstract : Most of the small-type fishing boats in this country don't have the autopilot system such as the large ships have. In this papers, we describes on the developmant of electro magnetic compass for the autopilot system of the small-type fishing boat, which is utilized the MR(magnetic resistance) device and the inclination sensor. And we investigated the validity of the developed electro magnetic compass through results of actual experiment.

1. 서 론

선박의 방위각은 대단히 중요한 요인이므로, 수 백년 전부터 자석의 지북성을 이용하여 선박의 방위각을 측정하였다. 이때 방위(선수각)를 측정하는 대표적인 장치는 자이로 컴퍼스(gyro compass)와 자기컴퍼스(magnetic compass)¹⁾ 등이 있다.

한편 최근 소형 유람선(leisure boat) 등은 내·외장 및 기능이 근대화, 하이테크(high technology)화 되어 가고 있으며, 또한 선박의 항법시스템들은 센서 및 마이크로 프로세서의 급진적인 발달로 인하여 급속히 전자화가 이루어지고 있다. 따라서 선박에서 중요한 요인의 하나인 방위각의 정보는 이러한 전자기기들과 상호의 정보교환이 이루어져야 한다.

자이로 컴퍼스는 정도(精度)에 있어서 탁월하나 작동에서부터 사용이 가능하기까지는 수 시간의 안정시간이 필요하기 때문에 연근해 소형 어선과 같이 항·포구를 빈번히 입 출항 해야하는 선박에서는 이용에 어려운 점이 많다. 이에 자기컴퍼스는 지자기의 성질을 이용한 측정기기로써, 그 원리는 대단히 간단하나 지자기 분포의 왜곡 등으로 그 정도가 자이로컴퍼스에 비해 다소 떨어진다.

그러나 자기컴퍼스는 마이크로프로세서를 탑재하여 외부기기와의 정보교환 및 빠른시간 내에 선박의 방위각을 측정할 수 있도록 개발되고 있으며, 이를 전자 자기컴퍼스(electro magnetic compass)라 한다²⁾.

최근 전자공학의 발전에 힘입어 자기의 세기에 따라 저항(또는 임피던스) 값이 변화하는 자기저항소자(또는 자기 임피던스 소자) 등이 널리 개발되고 있으며, 이를 산업현장에 적극 응용되어지고 있다³⁾.

따라서 본 연구에서는 소형선 등에 있어 선박의 방위각을 쉽게 얻어낼 수 있도록 하기 위하여, 우선 선체에 고정된 3축 지자기 센서로부터 선체의 3축 방위 성분의 세기를 검출한다. 이때 지자기의 강도(자속밀도)는 보통 0.6×10^{-4} 테슬러(tesler ; 0.6 gauss)이하 정도로 매우 약하기 때문에 3축 지자기 센서의 출력신호는 미약하다. 따라서 이를 증폭시키는 신호 증폭기의 회로를 설계 제작한다. 다음으로 선박은 항상 요동(롤링과 피칭)을 하므로 이를 계측할 수 있는 2축 경사센서를 부착하여 선박의 피칭과 롤링각을 검출하고, 이 검출된 값들로부터 선박의 방위각을 산출할 수 있는 알고리즘을 정식화 한다. 이러한 알고리즘을 계산 및 상위 컴퓨터와의 정보교환을 위하여 윈 보드 컴퓨터를 설계 제작하고, 이 설계된 윈보드 컴퓨터로부터 선박의 방위각을 계산한 후, 방위 지시계(액정 디스플레이 : LCD) 등에 출력시킨다. 또한 이 윈 보드 컴퓨터는 선박의 방위각의 연산뿐만 아니라 자차

접수일 : 1999년 1월 9일
양주호, 문덕홍 : 부경대학교 제어기계공학과
김창화 : 경남정보대학 제어시스템정보과
박태원 : 울산학성고등학교
이일영 : 부경대학교 기계·자동차공학부

및 편차의 수정도 행한다. 즉 지자기 센서부에 자성체가 있으면 자기장이 교란되어, 오차가 발생하므로 이 경우 마이크로 프로세서에서 방위 각도를 수정해할 수 있는 기능을 가지도록 하고(이를 자차 수정이라 함), 지자기 방위로부터 진방위를 구하기 위해서, 각 지역에 따라 발생하는 편차분을 수정할 수 있는 기능을 가지도록 한다(이를 편차 수정이라 함). 이렇게 설계 제작한 전자 자기컴파스에 대해 응답실험을 통하여 그 타당성을 조사한 후 향후 적용 가능성을 확인한다.

2. 방위각 추정의 원리

2.1 방위추정의 원리

지구는 하나의 큰 자석이고, 북쪽은 청극(靑極) 남쪽은 적극(赤極)임은 주지의 사실이다. 즉 지구 속에 하나의 큰 자석이 들어있다고 생각할 수 있고, 지구 속에 하나의 막대 자석을 중앙부에 실로써 매달아 수평으로 자유로이 회전 운동을 할 수 있도록 하면, 막대 자석의 적극은 지구의 북자극(청극) 방향으로, 막대 자석의 청극은 지구의 남자극(적극) 방향으로 향하게 될 것이다. 이러한 원리를 이용한 것이 자기컴파스이다.

Fig. 1은 우리 나라 부근의 한 장소에서의 지구 자기장의 각 성분을 나타내고 있는 그림이다. 이때 Fig. 1에서 φ 를 북각 또는 경차(Inclination)이라 하고, 자북과 진북 사이의 오차를 편각(Declination) 또는 편차(Variation)이라 하며, N_m 의 크기를 수평 자력이라 한다.

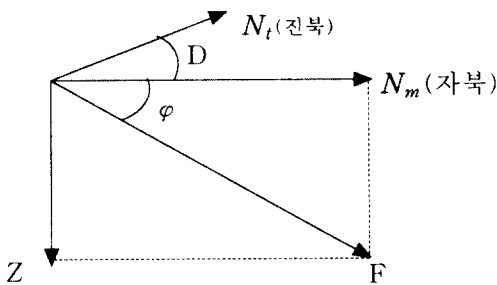


Fig. 1 Three element of geo-magnetism

따라서 Fig. 1로부터 수평자력의 X-축 및 Y-축의 세기와 수직자력의 세기를 계측할 수 있다면 그 지점에서의 방위각 F를 구할 수 있다. Fig. 2는 선수방향을 X축, 선체의 횡 방향을 Y축, 수직 방향을 Z축이라 할 때, 선체의 피칭시의 자력의 크기를 표시한 것이다.

이때 선체가 피칭한 경우의 수평 및 수직 자력

의 세기 H_x', H_y', Z' 라하고, 이 H_x', H_y', Z' 들을 구하면

$$\begin{pmatrix} H_x' \\ H_y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_p & 0 & -\sin \theta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_p & 0 & \cos \theta_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ Z \end{pmatrix} \quad (1)$$

로 된다. 이때 다시 선체가 롤링을 한 후의 자력의 세기 H_x'', H_y'', Z'' 라 하면,

$$\begin{pmatrix} H_x'' \\ H_y'' \\ Z'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ 0 & -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x' \\ H_y' \\ Z' \end{pmatrix} \quad (2)$$

로 된다. 이때 식 (1), (2)로부터 H_x', H_y', Z' 를 소거하면.

$$\begin{pmatrix} H_x'' \\ H_y'' \\ Z'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_p & 0 & -\sin \theta_p \\ \sin \theta_p \cdot \sin \theta_r & \cos \theta_r & \cos \theta_p \cdot \sin \theta_r \\ \sin \theta_p \cdot \cos \theta_r & -\sin \theta_r & \cos \theta_p \cdot \cos \theta_r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ Z \end{pmatrix} \quad (3)$$

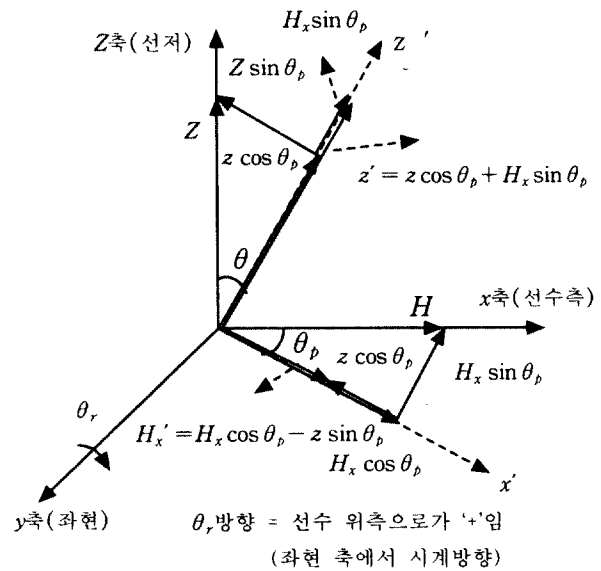


Fig. 2 The coordinate system in case pitching

로 된다. 이때 H_x'', H_y'', Z'' 는 선체의 3축 지자기 센서로부터 계측한 수평 및 수직성분에 대한

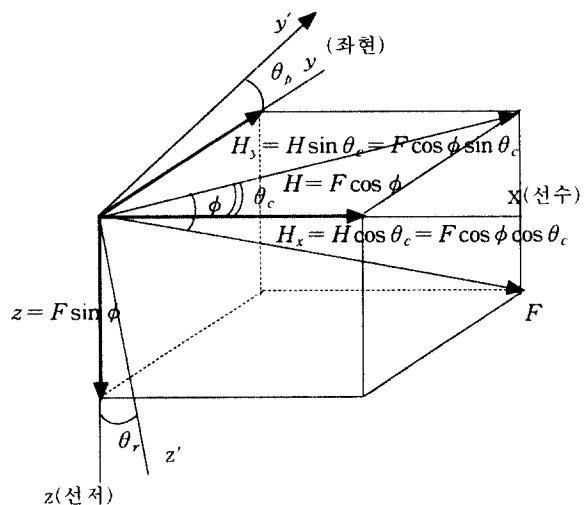


Fig. 3 The coordinate system

자력의 세기이다.

따라서 H_x, H_y, Z 는

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_p & 0 & -\sin \theta_p \\ \sin \theta_p \cdot \sin \theta_r & \cos \theta_r & \cos \theta_p \cdot \sin \theta_r \\ \sin \theta_p \cdot \cos \theta_r & -\sin \theta_r & \cos \theta_p \cdot \cos \theta_r \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} H_x'' \\ H_y'' \\ Z'' \end{pmatrix} \quad (4)$$

그러므로 3축 지자기 센서로부터 측정된 자계의 세기와 경사 센서로부터 측정된 각도를 이용하면, 연산된 H_x 와 H_y 값들로부터 컴퍼스 북(compass north) θ_c 는

$$\theta_c = \tan^{-1} \left(-\frac{H_y}{H_x} \right) \quad (5)$$

로 된다. Fig. 3은 이러한 변환을 나타낸 그림이다.

2.2 자차수정

자북과 컴퍼스 북 사이의 오차를 자차라 하는데, 이 자차의 발생요인은, 선체를 구성하고 있는 재료 중의 경철(硬鐵) 성분이 선박의 건조 과정 등에서 자성을 띠어 영구자석화 되어 자기컴퍼스가 놓여 있는 장소까지 영향을 미치는 영구자기와 선박 상에 설치되어 있는 각 장치들 중의 연철 성분이 지자기에 의해 자성을 띠어 이것이 자기컴퍼스가 설치된 장소에 영향을 미치는 감응자기의 두 요인이 있다.

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

이러한 자차를 수정하는 실용공식은 다음과 같다.

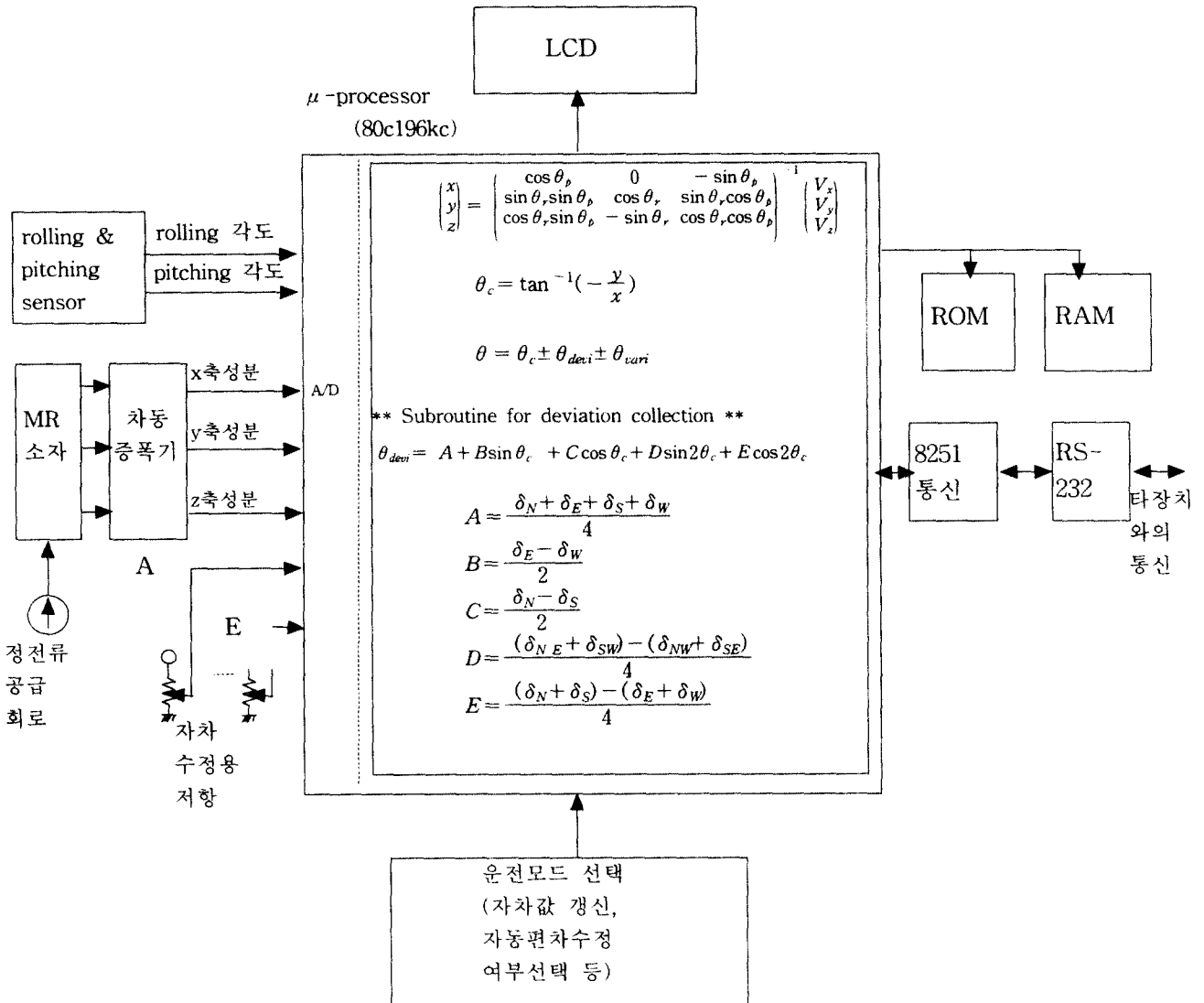


Fig. 4 Electro magnetic compass system

$$\delta = A + B \sin \theta_c + C \cos \theta_c + D \sin 2\theta_c + E \cos 2\theta_c \quad (6)$$

여기서, θ_c 는 컴퍼스 침로이고, A, B, C, D, E 는 다음과 같다

$$A = \frac{\delta_N + \delta_E + \delta_S + \delta_W}{4}, \quad B = \frac{\delta_E - \delta_W}{2}$$

$$C = \frac{\delta_N - \delta_S}{2}, \quad D = \frac{(\delta_{NE} + \delta_{SW}) - (\delta_{NW} + \delta_{SE})}{4}$$

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

여기서 $\delta_N, \delta_E, \delta_W, \delta_S, \delta_{NE}, \delta_{SW}, \delta_{NW}, \delta_{SE}$ 등은 8방위 자차이다.

따라서 자차 수정을 위해서는 먼저 자차를 측정해야 하는데, 자차를 측정하는 데에는 여러 방법 등이 사용되어 진다.

3. 방위 측정 시스템의 구성

선체의 선수각(heading : Heading)을 얻기 위하여 본 연구에서 사용할 방위 측정시스템의 구성도는 Fig. 4와 같다. 여기서 이 시스템의 구성을 세분하여 보면, 지지기의 계측 및 선체의 롤링과 피치의 각들을 계측하기 위한 센서부, 센서로부터 측정된 신호를 증폭하기 위한 신호 증폭부, 그리고 이 신

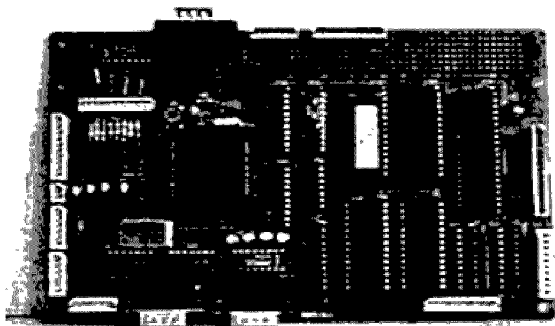


Fig. 5 Photograph of one-board μ -computer

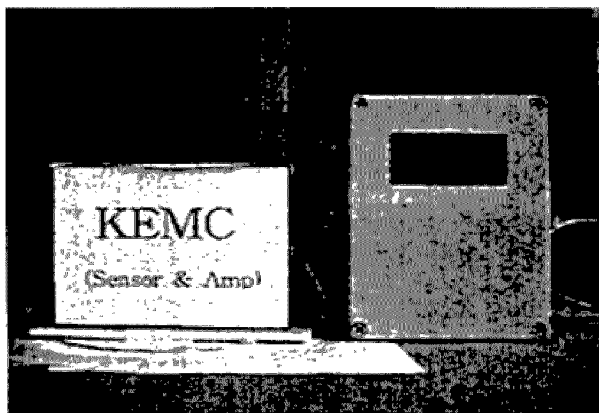


Fig. 6 Photograph of KEMC

호를 읽어들이 2절에서 서술한 방위추정 알고리즘에 따라 선체의 방위각을 계산하고, 계산된 결과 값을 LCD상에 보여주는 윈 보드 마이크로 컴퓨터로 나누어 질 수 있다. Fig. 5, Fig. 6은 본 연구에서 설계 제작한 윈 보드 마이크로 컴퓨터 및 전자 자기컴퍼스의 실물사진이다.

3.1 3축 지지기 센서 및 구성도

자기를 검출 할 수 있는 소자로는 플럭스 게이트(flux gate), 홀 소자, MR소자(자기저항소자), GMR소자(거대 자기저항소자 ; Giant magnetic resistance element), MI소자(자기 임피던스소자 ; Magnetic Impedance element) 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 미소 자기에 대해서도 감도가 양호한 MR 소자(형명 : FSD-20055AY -001)를 사용하였으며, 이때 이 소자의 사양은 Table 1에 있다.

Table 1 Specifications of the magnetic resistance element

항 목	내용 / 조건	규 격
초기화 자계		H-ini > 20 Oe
검출자계	초기화자계방향의 바이어스자계Hb=0	H-ex < 55 Oe
정격전류		5 mA
최대 정격전류		10 mA
입출력 저항	H-ex =0 Oe	800±200 Ω
불평형 전압	H-ex =0 Oe, I=5mA	±5 mV
적 감 도	H-ex =25 Oe, I=5mA	2.5±0.5×10e-4 mV/mA/Oe/Ω
히스테리시스	H-ex=+/-25 Oe loop	0.5mV
포화자계	출력전압의 피크치의 자계	50 Oe이상

또한 이러한 자기저항소자를 이용하여 3축의 방향에 대한 지지기 성분을 계측하기 위하여 Fig. 7과 같이 자기저항소자를 X축 Y축 Z축에 대하여

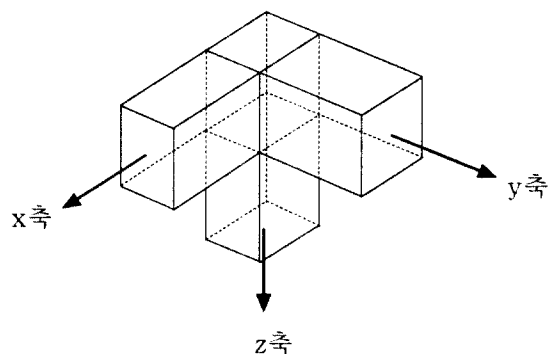


Fig. 7 3-axis-detection type magnetic sensor

각각 90도 각도로 배치하고, 자계의 집속 효과를 증가시키기 위하여 직경이 $\phi 3$ 이고 길이가 10[mm]인 퍼멀로이드 봉을 축 중심에 삽입하였다. 그리고 각각의 지자기 센서가 직교하는 부분에는 한 변이 10[mm]인 정사각형 블록 퍼멀로이드를 사용하여 3축 지자기 검출장치를 구성하였다. Fig. 8은 이러한 특성을 갖는 자기저항소자를 사용하여 제작한 3축 지자기 검출장치의 실물사진이다.

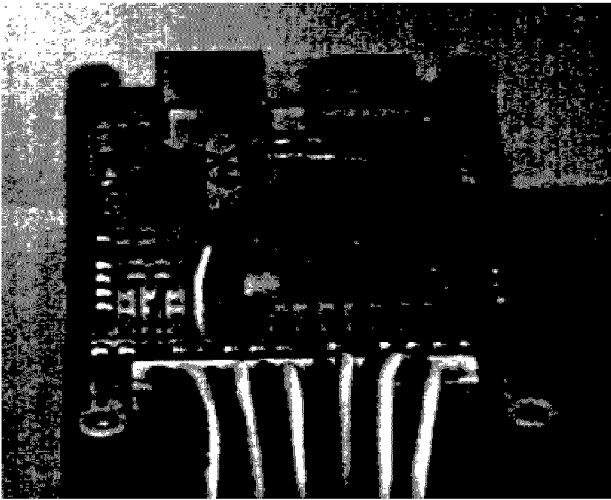


Fig. 8 Photograph of 3-axis-detection type magnetic sensor

또한 선박은 항상 요동하고 있으므로 정확한 heading을 얻기 위해서는 2절에서 서술한 바와 같이 3축(x, y z 축)의 지자기를 성분만 아니라 선박의 롤링(rolling)과 피칭(pitching)에 대한 각을 검출하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 퍼시코 엔지니어링사(일본)의 2축 경사 센서를 이용하였으며, 2축 경사 센서의 사양은 Table 2에 있다.

Table 2 Specifications of the inclination sensor

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
온도 특성(감도)	0.1%/ °C
습도 특성(영점)	0.01 % / °C

3.2 구동 및 신호 증폭회로

본 연구에서 사용하는 자기저항소자는 정전류 구동회로가 요구되므로, 시판되고 있는 정전류소자(AD580)를 사용하여 정전류 회로를 설계 제작하였다.

이러한 정전류가 자기저항소자를 통과하면, 3축 자기센서의 각도변동으로 인하여 자기저항소자의 양단에 전위차가 발생된다. 이때, 이 전위차는 미소하기 때문에 이 신호를 증폭하기 위한 회로가 요구되어 진다. 이때 사용되어지는 회로는 연산증폭기를 사용한 차동증폭기이지만, 입력부의 입력 임피던스를 크게 하여야 하므로, 본 연구에서는 고 입력 차동증폭기를 설계 및 제작하였으며, 한 축에 대해 설계되어진 신호증폭기의 전자회로도 는 Fig. 9와 같고, 설계 제작한 차동증폭기의 실물사진은 Fig. 10과 같다.

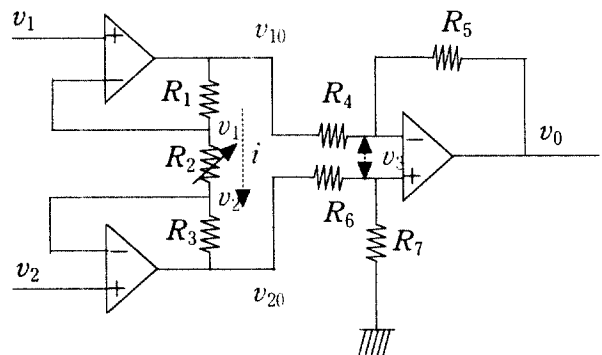


Fig. 9 Differential amp with high impedance

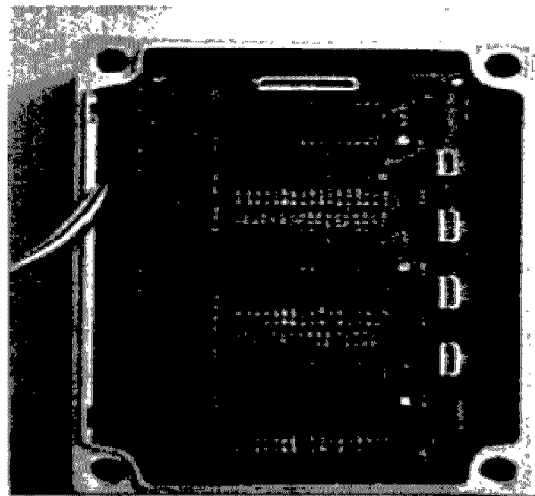


Fig. 10 Photograph of Differential amp with high impedance

3.3 원 보드 컴퓨터 구성 및 설계

방위 측정 시스템에 사용되어질 원 보드 컴퓨터는 신호 증폭기로부터 전달된 신호를 디지털 값으

로 읽어들이 수 있는 기능이 있어야 하고, 상위 컴퓨터와의 데이터 송수신이 용이해야 하며, 방위각 계산 알고리즘을 손쉽게 계산할 수 있는 기능과 계산된 방위각을 방위 지시계 등에 출력할 수 있는 기능이 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 CPU내부에 10비트의 A/D변환기능이 내장되어 있는 16비트 제어전용 프로세서인 80196kc를 사용하여⁴⁾ 원 보드 컴퓨터를 설계 제작하였다. 이때 외부로부터 측정해야 할 물리량의 수는 10개인데, 80c196kc의 A/D의 수는 8개만 있으므로 나머지 2개에 대한 물리량의 계측은 외부에 8비트 A/D변환기 설치하였다. 또한 설계된 원 보드 컴퓨터에는 상위 컴퓨터와의 데이터통신을 위하여 8251소자를 사용하여 외부기기와의 통신을 수행할 수 있도록 하였으며, 계산된 선체의 방위각을 보이기 위하여 LCD를 내장하였다. 그리고 외부의 디지털 입력 스위치를 사용하여 자차 및 편차 수정이 가능하도록 하였다.

4. 응답실험

본 절에서는 2절에서 구현한 방위추정 알고리즘과 3절에서 서술한 방위 측정 시스템을 구성한 후 아래와 같이 정특성 및 동특성 실험을 행하였다. 또한 외부에 퍼스널 컴퓨터를 사용하여 방위 측정 시스템에서 송신한 데이터를 저장하도록 하였다.

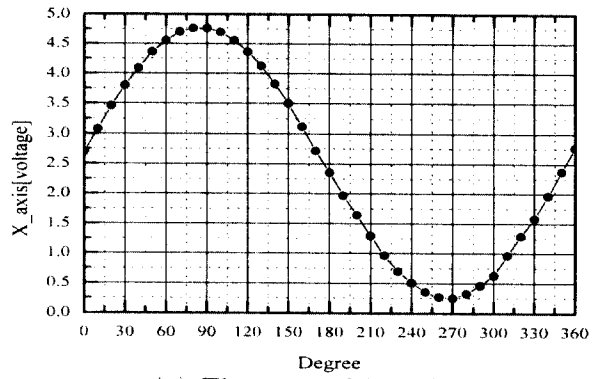
정특성(Step.1) 10도씩 각도변화에 따른 신호 증폭기의 출력전압

동특성(Step.2) 3축 지자기 센서의 각도변경

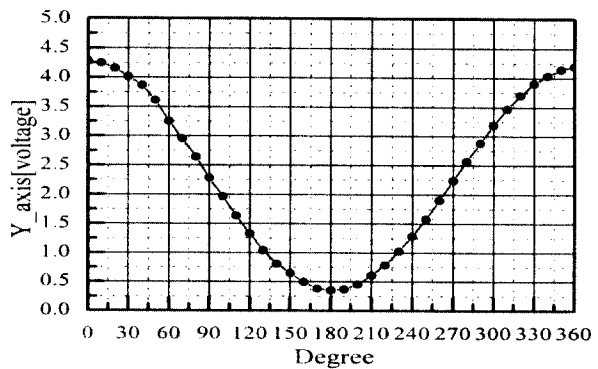
- a) 0 --> 90, 90-->180,
- b) 0 --> 180, 90-->270

Fig. 11은 Step.1에 대한 응답실험의 결과이며, 측정된 각도는 각각 10도씩 증가 하였을 때 신호 증폭기의 출력전압을 계측하여 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 알 수 있듯이 X축과 Y축의 전압은 90도의 위상차를 나타내고 있으며, 신호의 피크대 피크 값은 약 4[v]로 되어 있는 것을 알 수 있다.

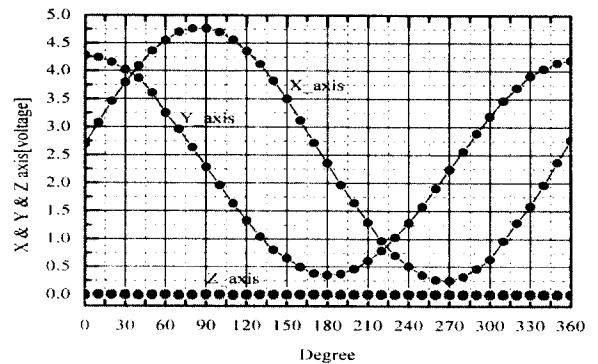
Fig. 12 ~ Fig. 13는 Step.2에 대한 응답실험의 결과이다. 이때 각도의 변경은 순간적으로 약 90도 (Fig. 12) 및 180도(Fig. 13)를 회전시킨 경우의 결과이며, 이때의 신호 증폭기의 출력전압을 디지털 메모리 스크로프를 사용하여 계측하였다. Fig. 12의 결과를 보면 X-축의 신호는 하강하고 있으며, Y축의 신호는 0-->180까지 계속하강하고 있는 모습을 보여주고 있다. 이는 Fig. 13의 결과를 보면 X축의 신호는 90도에서 가장 큰 값을 가지고 있으며 270



(a) The case of X-axis



(b) The case of Y-axis



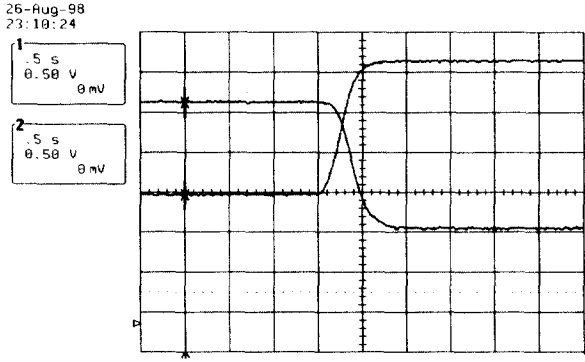
(c) The case of X-Y-Z axis

Fig. 11 The results of static characteristic

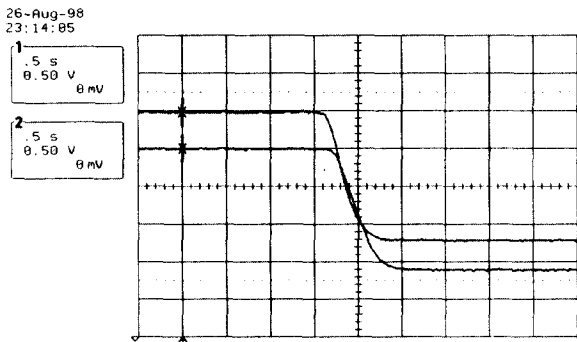
도 부근에서 가장 적은 값을 보이고 있다. 또한 Y축의 신호는 0도에서 가장 크고 180도에서 가장 적은 값을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이 그림으로부터 알 수 있듯이 X와 Y축은 위상차가 90도를 가지고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 자기저항소자를 이용하여 지구의



(a) 0 -> 90



(b) 90-180

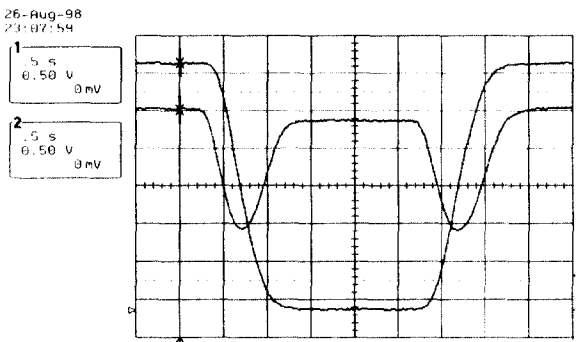
지자기를 검출하기 위한 회로 및 시스템을 설계 및 제작하고, 이 설계한 전자 컴퍼스에 2축 경사 센서를 포함한 방위 측정 시스템을 구성한 후, 응답실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 자기저항소자를 이용하여 선박의 방위각을 측정할 수 있음을 알 수 있었으며, 방위각을 얻는데 소요시간의 필요가 없어 항구를 빈번히 왕래하는 선박에 경제적으로 장착 할 수 있다고 사료된다.
- 2) 향후 실선 실험을 통하여 개발된 전자 컴퍼스의 성능을 조사하는 것은 향후의 과제로 남겨둔다.

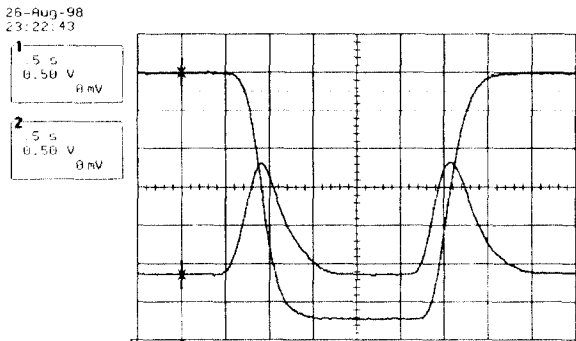
참고문헌

1. 이종락, "항해계기학", 1970
2. 유공압 기술, "전자 자기컴퍼스", pp. 36~38, 1991, 4
3. 월간 지능형 생산기술, pp. 91~95, 1997, 4
4. 차영배, "One chip microprocessor", 다다미디어, 1997

Fig. 12 The results of dynamic characteristic(I)



(a) 0 -> 180 -> 0



(b) 90 -> 270 -> 90

Fig. 13 The results of dynamic characteristic(II)