

자동 자기 왜곡보정 방위센서 개발

김상철 이용범 한길수 임동혁 최흥기 박우풍 이운용

Development of Auto-Tuning Geomagnetic Compass

S. C. Kim Y. B. Lee K. S. Han D. H. Im H. G. Choi W. P. Park W. Y. Lee

Abstract

The need for position information in agriculture is gradually increasing for precise control farm vehicle and effective manage farm land. Though geomagnetic sensor has a lot of merits in estimating heading angle of vehicle because of low costs and sensing ability of magnetic north, it is easy that sensor outputs are distorted in electro magnetic field environment.

This study was conducted to develop geomagnetic compass which could be available in measuring relative position from reference point correcting output distorted by external electro magnetic field in a small scale field. Magnetic inducing sensor (PNI's Vector2X) which wound enamel coated copper coil on ferrite core in order to measure and correct earth magnetic field.

Magnetic azimuth was corrected using the algorithm which estimated amount of magnetic distortion from the difference between each outputs of magnetic sensors that located on the cross shaped base. Developed auto-tuning magnetic sensor was showed less then 5% as bearing accuracy in the strong magnetic field.

Keywords : Farm vehicle navigation, Magnetic compass, Geomagnetic sensor, Azimuth correction, Auto tuning compass

1. 서론

정보화 농업기술의 발전에 따라 효율적인 농작물의 관리와 농작업의 기계적 제어를 위하여 위치정보의 필요성이 점차 증가하고 있다. 세계적 농업기술의 추이는 정보를 기반으로 한 지능형 농작업 기술로 발전하고 있으며, 공간적 위치정보를 가장 기본적인 정보 요소로 하고 있다. 우리나라와 같이 경지 구획의 크기가 작고 산악이 많아 전파 수신 환경이 열악한 지역에서 구미와 같은 에이커 단위의 변량처방을 목적으로 한 측위 시스템을 그대로 적용하기는 어렵다. 값싸고 구조적으로 간단하면서 소구획 경지내의 측위정보를 제공할 수 있으면 매우 이상적인 농업용 항법센서라 할 수 있다.

위치 정보는 크게 GPS 등에 의해 측정되는 절대 위치 좌표와 IMU(Inertial Measurement Unit), DR(Dead Reckoning) 센서 등에 의하여 측정되는 상대 위치 좌표가 있다. GPS는 오차가 누적되지 않고 시간에 따른 정밀도의 변화가 적은 대신 정밀한 측위를 위해서는 매우 비싼 비용이 필요한 반면, 관성센서를 이용한 상대위치 측정 방법은 시간이 지남에 따라 오차가 누적되고 정밀도의 변화가 크지만 단기간 내 소구획에서 비교적 정밀한 위치좌표를 얻을 수 있고 비용이 저렴한 장점이 있다. 상대 위치좌표를 이용하는 추측항법에 사용되는 방위각 센서로는 절대 방위를 지시하는 전자 컴퍼스(electric compass)와 상대 방위를 지시하는 자이로스코프(gyroscope)가 사용된다. 지구 자기장을 이용하는 자기 컴퍼스는 저가의

The article was submitted for publication in October 2007, reviewed and approve for Publication by the editorial board of KSAM in January 2008. The authors are Sang Cheol Kim, Researcher, KSAM member, Researcher, KSAM member, Yong Beom Lee, Senior Researcher, KSAM member, Kil Su Han, Researcher, KSAM member, Dong Hyeok Im, Researcher, KSAM member, Hong Gi Choi, Woo Pung Park, Senior Researcher, KSAM member, National Institute of Agricultural Engineering, and Woon Yong Lee, Professor, Korea National Agriculture Collage. Corresponding author: S. C. Kim, Research Engineer, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon, 441-707, Korea; Tel: +82-31-290-1847; Fax: +82-31-290-1930; E-mail: <sckim@rda.go.kr>.

방위각 센서로서 어느 위치에 있는 절대방위를 검출하는 반면에 외부 간섭자기장에 민감하게 반응하여 측정환경에 따라 다양한 오차수준을 내포하게 된다. 상대적으로 고가인 자이로컴파스는 관성력에 따라 물리적인 특성이 변화하는 것을 이용한 각속도 측정 센서로서 단기간의 방위에 대해서는 비교적 정확한 위치를 얻을 수 있고, 외부의 간섭에 대한 영향은 없지만 센서의 특성상 온도에 따라 변화하는 드리프트와 상대적인 방위각을 나타내는 특성 때문에 시간이 지남에 따라 오차가 누적되는 것이 큰 단점이라 할 수 있다(Vonder Hardt 등, 1996).

지금까지 정적인 간섭 자기장에 대한 보정방법은 여러 가지 형태로 제시되어 왔다. 자기검출소자의 여자전류방향을 바꾸어 측정한 값과 원래 값을 평균하여 사용하는 방법(PNI사의 Vector Electronic Compass의 보정방법, 1998), 자이로 센서를 이용해 방위각의 상대 변화와 절대 방위각 사이의 차로 부터 오차를 추정해 보정하는 방법(Vonder Hardt 등, 1996), GPS를 이용해 자기컴파스를 보정하는 방법(Kao, 1991) 등이 제시되어 왔지만, 컴파스를 장착한 이동체가 고압 트랜스 옆을 지나는 경우와 같이 지속적으로 자계의 강도 및 방향이 변화할 때 간섭 자기장에 대한 보정 방법은 제시되지 않았다.

본 논문에서는 각각 90도의 간격으로 배치된 자기검출소자로부터 지속적으로 변화하며 자북측정에 영향을 미치는 외부 자계의 간섭을 효과적으로 제거할 수 있는 보정방법을 개발하고 이를 이용해 전주나 고압 트랜스 등 지자기 교란원이 존재하는 소구획 포장에서 상대위치를 측정하는데 이용될 수 있는 지자기 방위센서를 개발하고자 했다.

2. 재료 및 방법

가. 자북측정방법

지자기는 컴파스에 의해 측정될 수 있는 물리량이며, 방위

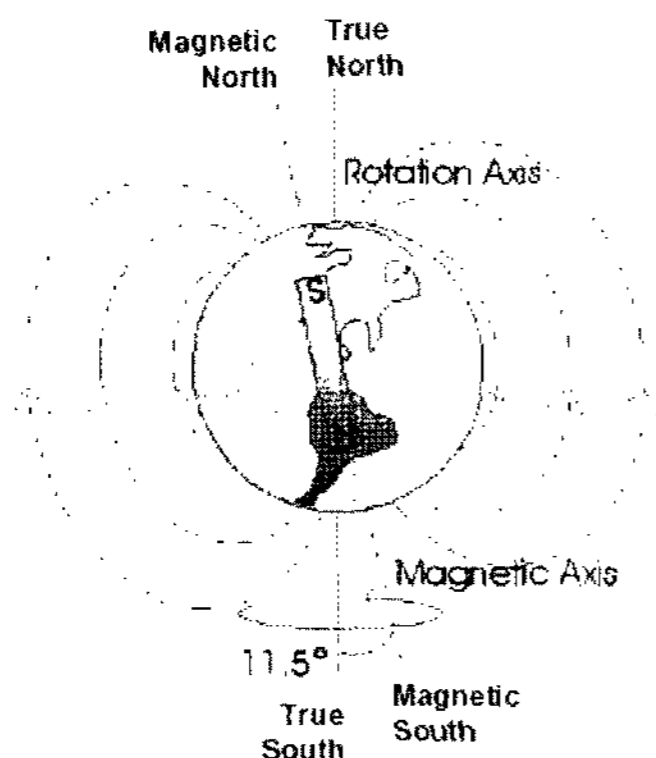


Fig. 1 Earth magnetic field.

를 측정하기 위하여 이 연구에서 개발하고자 하는 컴파스는 지자기의 기본적인 특성에 대해 다음과 같이 가정하였다. 지자기의 세기는 지표상의 위치에 따라 그 세기가 변하며 대략 20에서 50 A/m의 범위에 있다. 그림 1과 같이 지자기를 막대 자석에서 발생하는 것으로 가정하면 자력선의 방향은 지구의 남극에서 나와 북극을 향하게 된다. 그래서 자력선의 방향이 북반구에서는 아래쪽을, 남반구에서는 위쪽을 향하게 된다. 여기서 자극에 의하여 측정된 남북의 방향은 지구의 회전축으로 정의된 지리적 남북방향과 일치하지 않으며 지구의 자전축과 자극점을 연결하는 축 사이의 각도는 11.5°로 계산했다.

지표상의 어떤 점에서 자력선의 3차원 벡터를 나타낸 그림 2에서 자기방위는 벡터의 크기로부터 계산되며, 여기서 x축과 y축은 지표면과 평행하며, 지구중심을 향하여 수직인 방향이다. 방위는 자북과 어떤 항체의 진행머리 방향각과의 차이라 할 수 있다. 자북은 H_{eh} 로 표시될 수 있으며, 지자기의 모든 성분들은 지구중력에 수직인 것으로 가정했으며, 자북 H_{eh} 도 그림 2에서와 같이 자력선의 방향과 평행한 것으로 간주되었다.

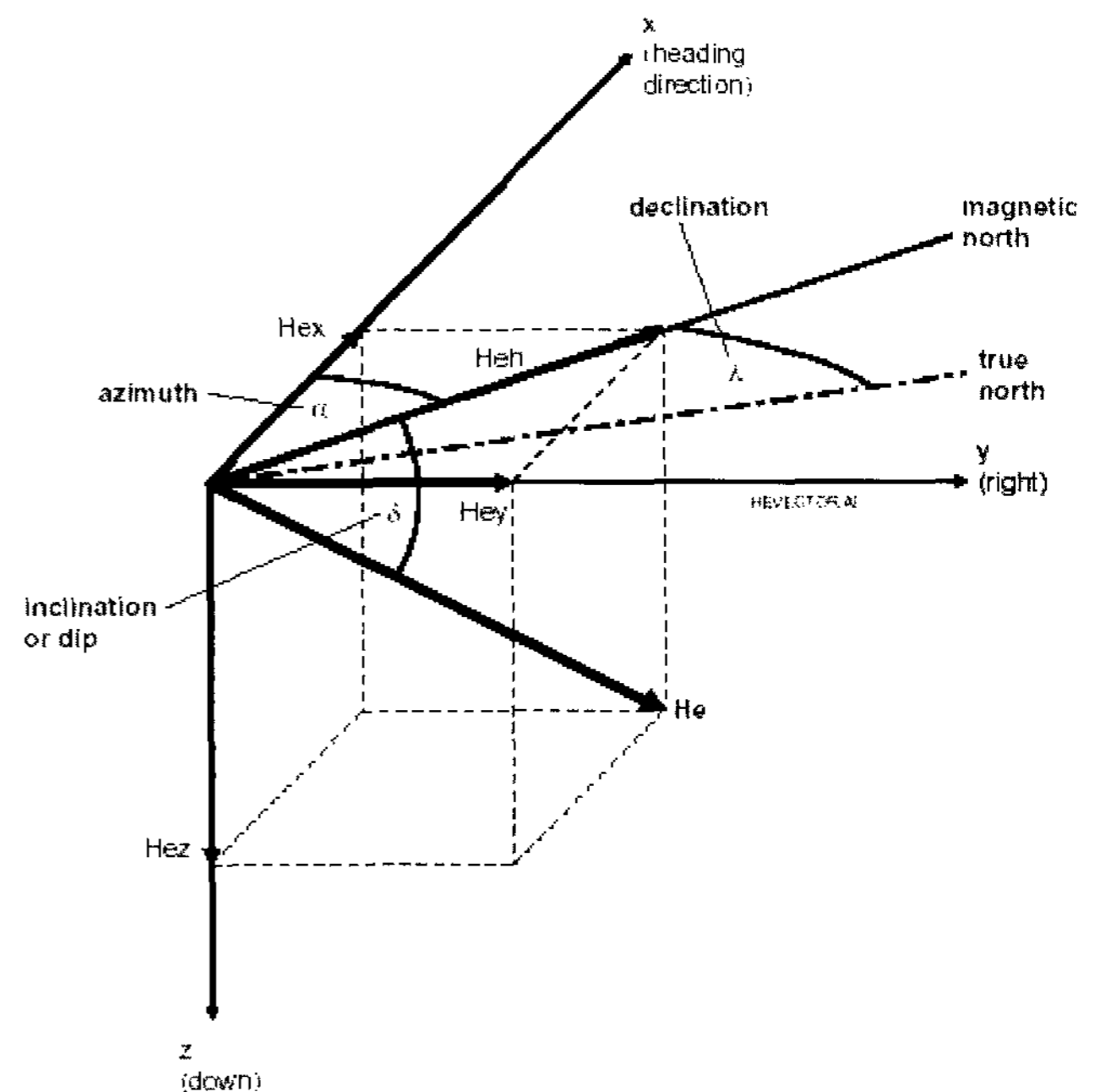


Fig. 2 Earth Magnetic field vector.

따라서 방위각(θ)은

$$\theta = \arctan \frac{H_{ey}}{H_{ex}} \quad (1)$$

으로 계산되며, 방위각 θ 는 자북에서부터 시계방향을 따라

증가하며 동쪽을 90°, 남쪽을 180°, 서쪽을 270°로 한다.

경사각 δ 는 자력선의 방향과 수평면 사이의 각도이다. 이 자력선의 경사각은 적도 부근에서 0이 되고 자극점 부근에서는 $\pm 90^\circ$ 가 된다. 따라서 콤파스로 방위를 측정시 콤파스가 기울어지게 되면 반드시 보상을 고려하지 않으면 안 된다.(Caruso 등, 1997)

편각 λ 는 진북과 자북 사이의 각도차이다. 편각은 지표상의 실제위치와는 독립적으로 발생하며 시간의 경과에 따른 Long Term Drift를 가지고 있다. 편각은 동쪽 혹은 서쪽 방향으로 존재할 수 있으며, 최대 $\pm 25^\circ$ 까지 이를 수도 있다.(Vonder Hardt 등, 1996)

나. 시험장치의 제작

실시간 외부자계를 자동보정하는 항법용 자기 콤파스는 그림 3에 나타낸 바와 같이 4개의 지자기 센서와 경사센서, 온도센서 그리고 시그널 컨디셔너 및 MCU(Atmega 128)로 구성했다.

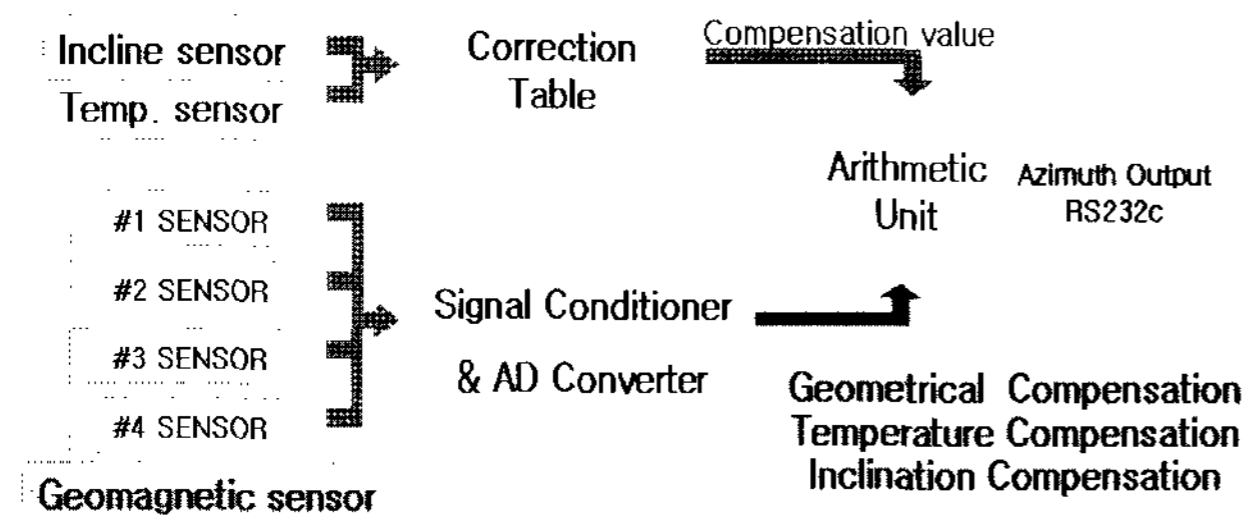


Fig. 3 Block Diagram for signal processing of auto-tuning compass.

즉 어떤 한 지점에서 자기 왜곡량을 추정할 수 있도록 각각 90도의 사이각을 갖는 4개의 지자기 측정용 센서 요소와 필터링과 증폭기능을 가진 시그널 컨디셔너, A/D변환기, 오차계산 및 실시간 보정 알고리즘 연산을 위한 마이크로 프로세서, 연산결과를 외부로 전송하는 직렬통신장치, 실시간 방위각을 표시하는 액정표시장치 등으로 구성된다. 지자기를 측정하는 센서는 그림 4의 (7)과 같이 #1, #2, #3, #4는 한 지점에서 각각 90도씩 다른 방향의 지자기 세기를 검출한다. 지자기를 측정을 위한 센서 요소는 그림 5와 같은 페라이트 코어에 코일을 감은 자기유도 센서(Vector 2X, 미국 PNI 사)를 이용했으며 제원은 표 1과 같다.

기본적인 자북의 방향을 연산하기 위해서는 직각으로 배치된 자계측정센서를 이용하여 측정된 자계의 세기를 식 (1)과 같이 계산을 하면 자북을 기준으로 한 항체 진행머리의 보정되지 않은 방위각을 식 (2)와 같이 얻을 수 있다.

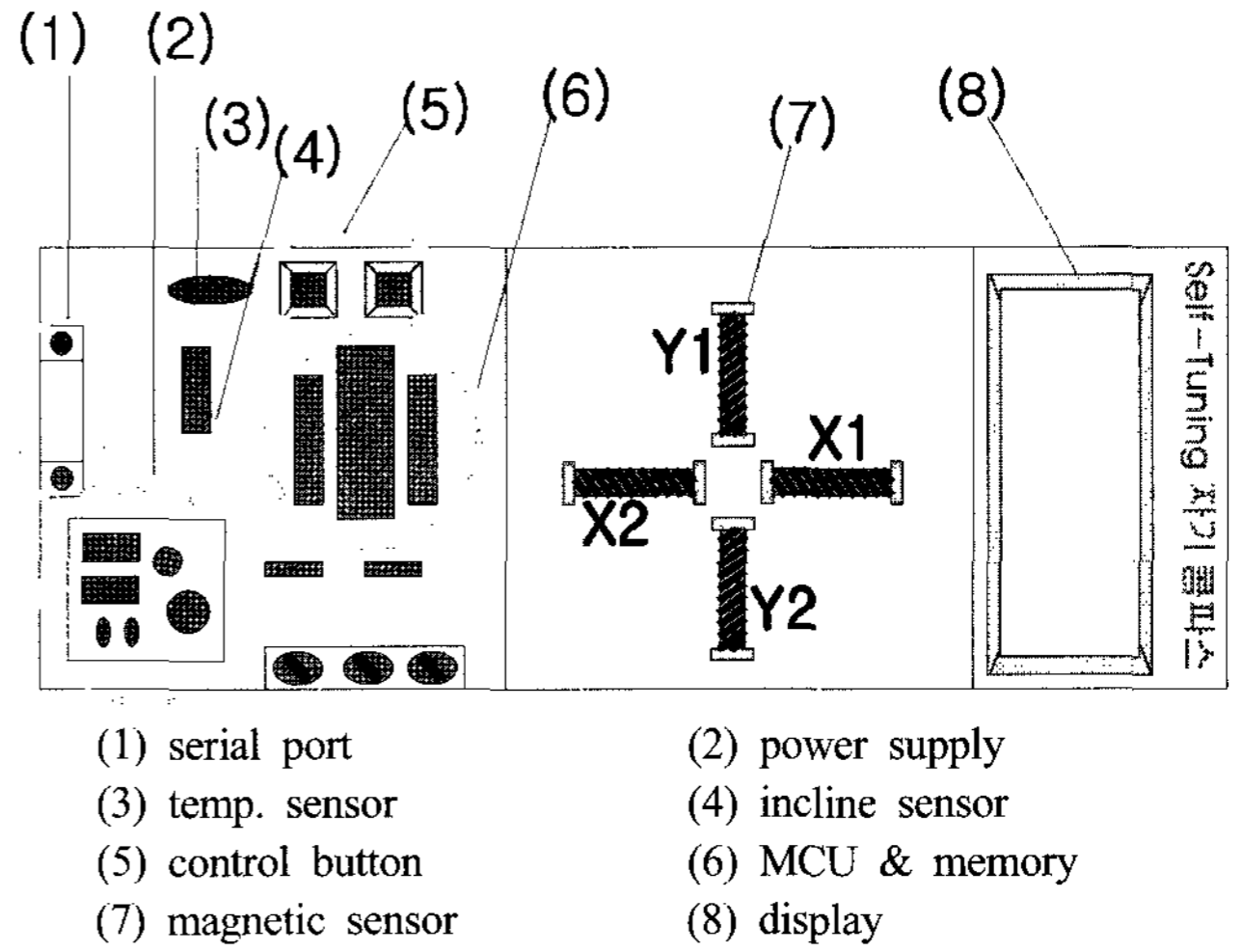


Fig. 4 Schematic Design of Auto-Tuning Compass.

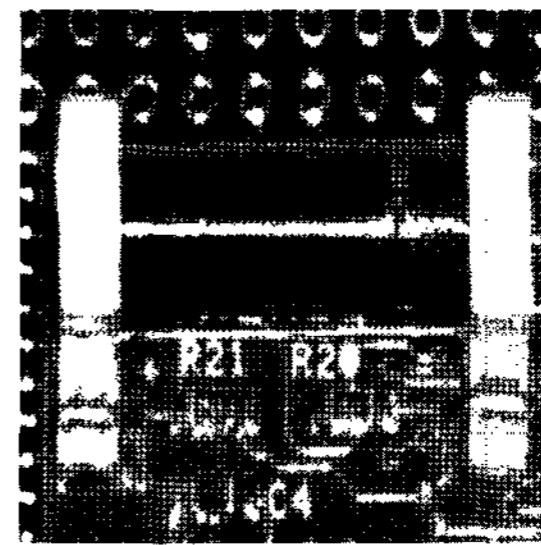


Fig. 5 Vector 2X module.

Table 1 Vector 2X specification

Type	Magneto-inductive sensor
Range	$\pm 2G$
Output	BCD, Volt
Input Power	5 V
Operating temp.	-20 ~ +70°C

$$UncorrectedHeading(\theta) = \tan^{-1}\left(\frac{X_0}{Y_0}\right) \tag{2}$$

$$X_0 = X_e + X_n \qquad Y_0 = Y_e + Y_n$$

X_0 : X축 센서 출력 Y_0 : Y축 센서출력
 X_e : X축 지구자기의 세기 Y_e : Y축 지구자기의 세기
 X_n : 외부자계 노이즈 Y_n : 외부자계 노이즈

그러나 이 연구에서는 외란에 대해 실시간 동적 tuning이 가능한 자기 콤파스를 목적으로 했기 때문에 센서를 그림 4와 같이 배치하여 4방향의 자기변화량을 동시에 측정하도록 했다. 이렇게 측정된 지자기의 세기는 식 (3)과 같은 방법으로 우선 외란에 의한 오차의 크기를 계산하고 오차량 만큼을 약 5 Hz의 속도로 보정하도록 했다.

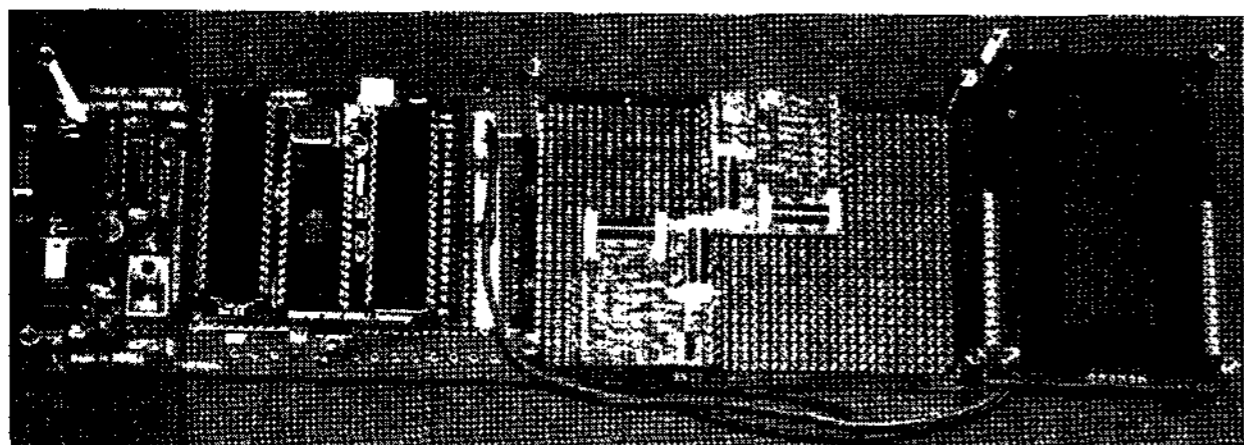


Fig. 6 Figure of proto-type sensor.

$$\begin{aligned}
 X_n &= (X_1 + X_2)/2, & Y_n &= (Y_1 + Y_2)/2 \\
 X_e &= X_0 + X_n, & Y_e &= (Y_0 + Y_n) \\
 \text{CorrectedHeading}(\theta) &= \tan^{-1}\left(\frac{X_e}{Y_e}\right) \quad (3)
 \end{aligned}$$

계산된 방위각은 그림 7의 블록도에서와 같이 경사 및 온도보정, 편각보정을 통해 프로세서의 시리얼포트를 통해 출력되도록 했다. 경사 및 온도보정은 센서 제조자가 제공한 데이터 시트의 보상값을 테이블화하고 측정된 온도 또는 경사에 해당하는 보정값을 참조토록 했다. 편각보정은 우리나라가 지리적으로는 동편각 지역에 위치하고 있으나 서편각 자기특성을 나타내므로 자북방위각에 6°30'의 도자각을 감하여 도북방위각으로 출력되도록 하였다. 이렇게 제작된 실시간 자기보정형 콤파스는 그림 8과 같이 외부 노이즈 원으로 약

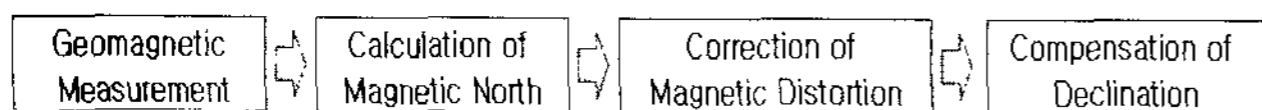


Fig. 7 Block Diagram for Error Correction of Auto-Tuning Compass.

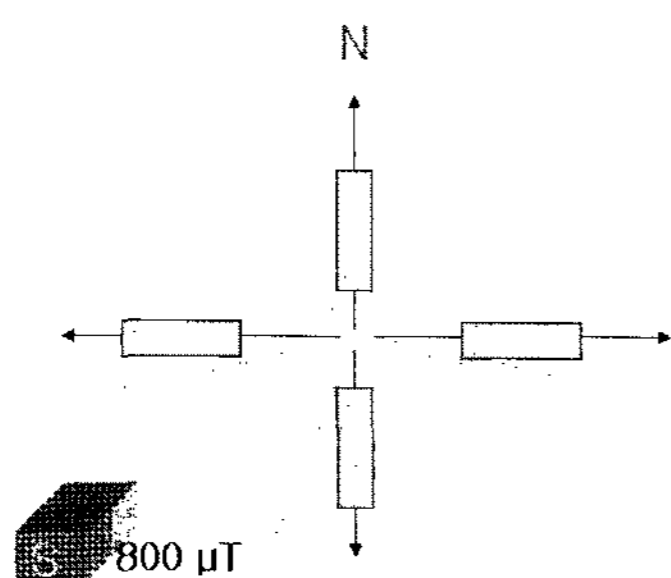
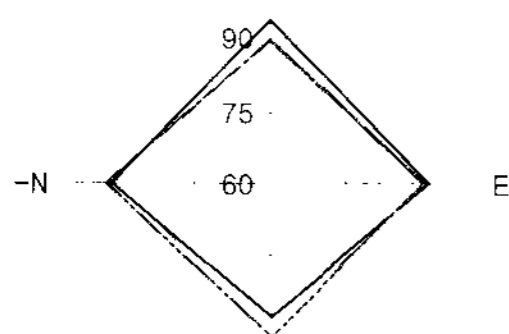


Fig. 8 External magnetic field.



	East	South	West	North
Mean	90.66667	180	270.0667	361.0667
Standard Deviation(σ)	1.112697	0.92582	1.533747	1.279881
Coefficient variation(CV)	0.012272	0.010287	0.017029	0.014054

Fig. 10 Difference angle between by geological arrangement and by sensor.

800 μ T의 외부자계를 인위적으로 배치했을 때 왜곡된 지자기환경속에서 방위각의 보정성능을 시험했다.

3. 결과 및 고찰

제작된 콤파스를 우선 외부자계의 영향이 없는 곳에 설치하여 각각 직각방향으로 배치된 센서의 자계강도 출력을 식 (2)와 같이 처리하여 그림 9에 표시하였다. North_Sens는 센서의 머리방향을 자북과 일치하도록 둔 상태이며, East_sens, South_sens, West_sens는 North_sens로부터 시계방향을 따라 각각 90°, 180°, 270°간격으로 센서의 머리방향이 향하고 있다. 동일한 방법으로 제조된 센서이지만 코어나 코일의 재질에 따라 자계검출의 특성과 노이즈에 대한 영향이 그림 9와 같이 각각 다른 오차로 나타났다. 오차의 범위는 $\pm 4^\circ$ 정도의 범위를 나타냈다.

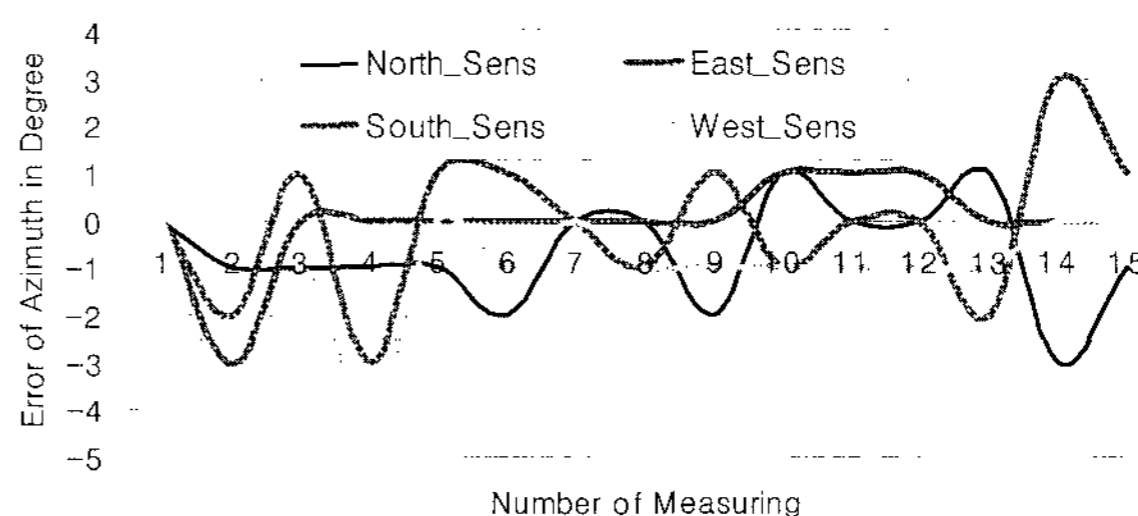


Fig. 9 Azimuth output of prototype sensor without noise affected.

그림 10은 각 센서간의 기하학적 배치각도와 센서 출력에 의해서 계산된 방위각과의 차이를 표시한 것이다. 외란의 영향이 없을 때는 변이계수 2%이내에서 기하학적 각도와 큰 차이가 없이 일치하고 있음을 볼 수 있다. 평균값과 기하학적 각도와와의 차이는 대체로 1%이내임을 알 수 있다.

그림 11은 외부 노이즈 원으로 약 800 μ T의 외부자계를 거리를 다르게 하여 배치했을 때 센서의 출력이 변화하는 형태를 극좌표 모양의 그래프로 나타낸 것이다. 각 축이 나타내는 값은 자기센서에 의해 측정된 센서간의 각도이다. 북서간의 자기출력이 60% 이상까지 왜곡되어 있으며 그 자체로는

방위 정보를 추정하는 것이 불가능하다. 그러나 식 (3)에 제시된 방법에 따라 센서데이터를 보정했을 때의 결과를 그림 12에 나타내었다. 왜곡이 매우 심한 경우에도 대체로 5% 이내의 오차로 복원되는 결과를 얻었을 수 있었다. 다만 왜곡이 매우 컸을 경우 복원 후 방위각사이의 각도 합이 360° 보다 작아지는 경우도 발생이 되었으며 금후 보완연구가 필요한 것으로 나타났다.

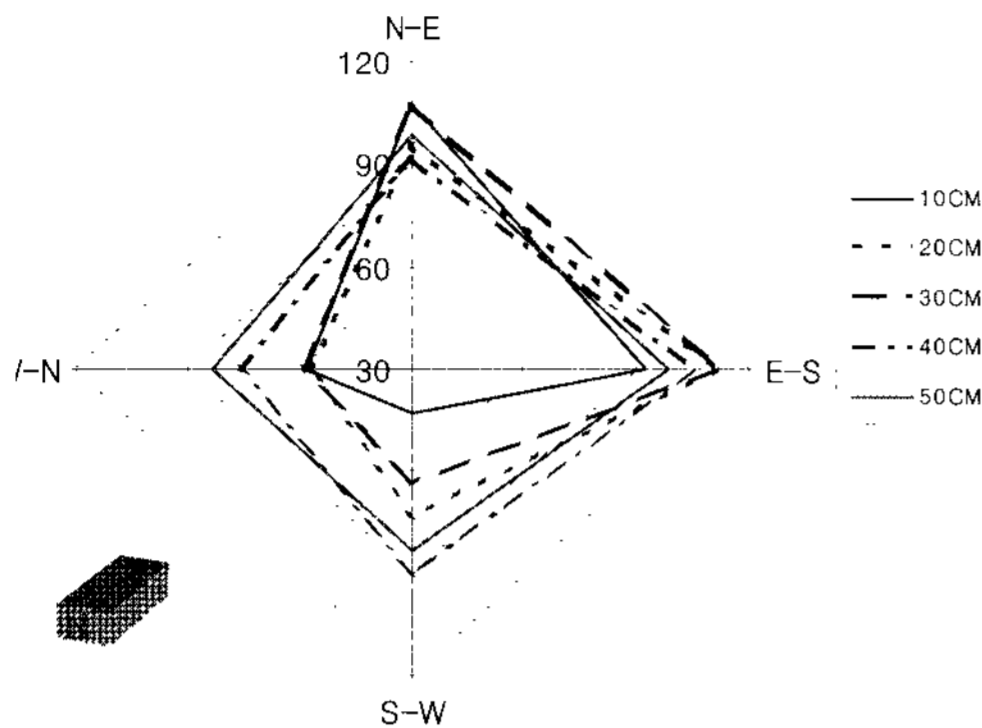


Fig. 11 Deformed sensor data by magnetic noise.

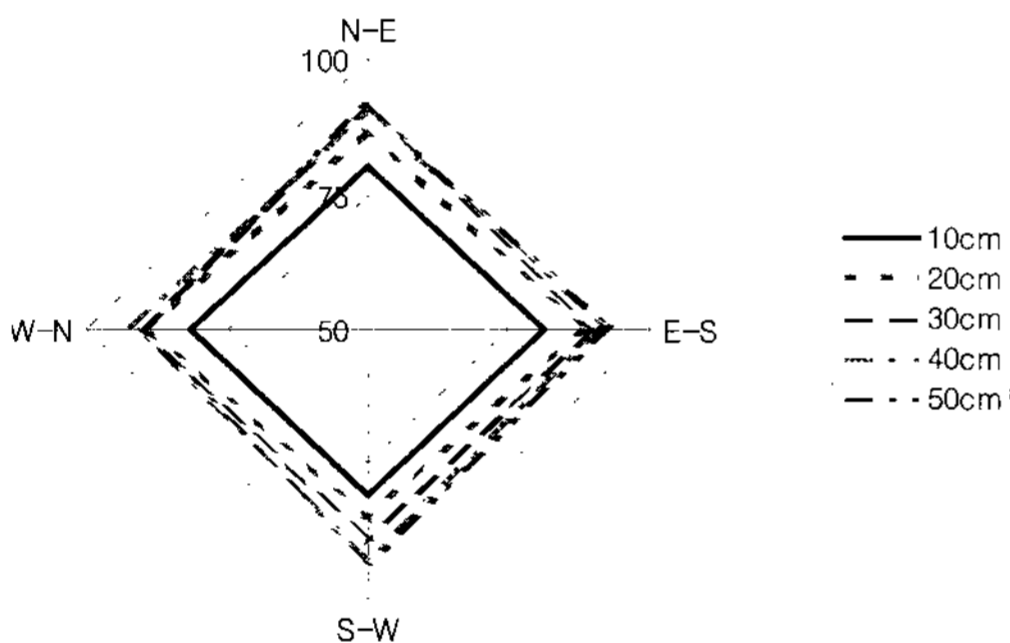


Fig. 12 Restored sensor data by algorithm.

4. 요약 및 결론

외부의 전자계로부터 발생하는 오차를 자동 검출하여 보정함으로써 보다 간편하게 소구획 포장에서 상대위치를 측정하는데 이용될 수 있는 지자기 방위센서를 개발하고자 했다. DR 방법을 위한 지자기 방위센서는 절대 방위의 측정과 저렴한 가격 등의 많은 장점에도 불구하고 외부 전자계에 대한 민감한 반응 때문에 발생하는 오차 때문에 정밀 위치계측에 그리 많이 이용되지 못하여 왔다. 각각 90°의 간격으로 배치된 자기검출소자로부터 지속적으로 변화하며 자북측정에 영향을 미치는 외부자계의 간섭을 효과적으로 제거할 수 있는 보정 방법을 개발하고 이를 이용해 전주나 고압 트랜스 등 지자기 교란원이 존재하는 소구획 포장에서 상대위치를 측정하는데

이용될 수 있는 자동보정 지자기 방위센서를 개발하고자 했으며 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 지자기를 측정하기 위하여 페라이트 코어에 코일을 감은 자기유도 센서(PNI's Vector2X)를 이용하여 4방향의 자기변화량을 동시에 측정하도록 90° 간격으로 센서를 배치하고, 입력된 자계강도로 부터 계산된 방위각은 경사 및 온도보정, 편각보정을 통해 프로세서의 시리얼포트를 통해 출력되도록 했다.
- (2) 센서는 시계방향을 따라 각각 90° 간격으로 센서는 동일한 방법으로 제조된 센서이지만 코어나 코일의 재질에 따라 자계검출의 특성과 노이즈에 대한 영향에 대한 반응이 각각 달라 서로 다른 오차범위로 나타났다. 오차의 범위는 $\pm 4^\circ$ 정도의 범위를 나타냈다
- (3) 자계의 외란이 없을 때 자동보정 지자기 방위센서는 변이계수 2%이내에서 기하학적 방위각과 큰 차이가 없이 일치하였으며, 센서 평균값과 기하학적 각도와와의 차이는 대체로 1% 이내로 나타났다.
- (4) 외부 노이즈 원으로 약 800 μT 의 외부자계를 거리를 다르게 하여 배치했을 때 센서의 출력은 북서간의 자기출력이 60% 이상까지 왜곡되어 있으며 그 자체로는 방위의 정보를 추정하는 것이 불가능하였지만 식 (3)에 제시된 방법에 따라 센서데이터를 보정했을 때 대체로 5% 이내의 오차로 복원되는 결과를 얻었을 수 있었다. 다만 왜곡이 매우 컸을 경우 복원 후 방위각사이의 각도 합이 360° 보다 작아지는 경우도 발생이 되었으며 금후 보완연구가 필요한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Barshan, B. and H. Durrant-Whyte. 1995. Inertial navigation systems for mobile robots. IEEE Trans Robot. Automat. 11: 328-342.
2. Von der Hardt, H. J., D. Wolf and R. Husson. 1996. The dead reckoning localization system of the wheeled mobile robot ROMANE, IEEE/SICE/RSJ International onference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems: 603-610.
3. Caruso, M. J. 1999. Anisotropic magnetoresistive sensors theory and applications. Sensors. 19(3):6-8.
4. PNI Ltd. 1998. Vector electronic modules application Note: 5-12.
5. Kao, W. 1991, Integration of GPS and dead reckoning navigation systems. Proc. of VNIS:56-66.