ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 24(1), 22-27 (2014) http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2014.24.1.022

방위각센서의 자기특성 측정 장치 제작

손대락*
한남대학교 물리학과, 대전시 대덕구 오정동 133번지

(2013년 11월 28일 받음, 2013년 12월 23일 최종수정본 받음, 2014년 1월 8일 게재확정)

자북을 지시하는 방위각 측정용 센서는 항공기와 선박이나 스마트폰 등에 널리 사용되고 있다. 센서의 좌표계가 회전을 하였을 경우도 방위각(azimuth angle) 및 회전각(roll angle)를 지시할 수 있게 하기위하여 3-축의 가속도 센서가 추가로 사용된다. 본 연구에서는 방위각센서에 부착된 3-축의 자기장센서의 특성을 측정하거나, 방위각센서용 3-축의 자기장센서를 개발하기 위하여 3-축의 자기장센서의 방위각 특성을 측정할 수 있는 장치를 개발 제작하였다. 3-축의 자기장발생을 위해서 직경이 290 mm 이상인 3-축의 헬름홀쯔 코일을 사용하여 코일 중심 ± 30 mm 범위에서 자기장의 분포의 균일도가 0.2 % 이내가 되게 하였다. 비자성실험실이 아닌 일반실험실에서도 실험이 가능하게 소형의 헬름홀쯔 코일과 3-축의 마그네토미터를 사용, 환경자기장(지구자기장+건축물에 의한 자기장)을 보상하고 시험하고자하는 자기장을 컴퓨터 소프트웨어로 제어를 할 수 있게 시험 장치를 고안하였다. 제작된 장치는 자기장을 0.2 % 정확도로, 직각도를 0.2°, 환경자기장을 10 nT 이하로 보상할 수 있었다. 또한 제작된 장치의 성능검증을 위하여 상용의 방위각센서에 대하여, 그 특성을 측정하여보았다.

주제어 : 방위각센서, 마그네토미터, 헬름홀쯔코일, 방위각, 나침반

I. 서 론

자기장을 이용한 나침반(magnetic compass)은 인류 역사에서 보면 자북을 지시하는 중요한 방위각 측정용 센서로 오랜 세월동안 활용되어 왔다. 2차 세계대전을 전후로 전자적인 방법으로 지구자기장을 측정하는 방법이 개발되어, 지금은 대부분 전자적인 방법의 마그네토미터를 사용하여 자북을 측정하고 있다. 2-축의 자기장센서로 방위각을 측정하기 위해서는 자기장센서를 액체위에 수평으로 놓이게 하여 측정을 하면 된다. 그러나 흔들림이 많은 곳에서 사용이 어렵고, 스마트폰과 같은 초소형의 방위각센서로는 사용이 불가능하다. 그래서 센서의 좌표계가 회전하고 있는 정보를 알기 위하여 3-축의 가속도 센서가 필요하다. 최근에는 MEMS기법을 바탕으로 한 가속도 센서가 개발되면서 3-축의 자기장센서와 3-축의 가속도 센서를 결합하여 센서의 방위각(azimuth angle) 및 회전각(roll angle)의 측정이 가능하여 선박의 heading 센서나 휴대폰의 방위각 센서로 많이 사용되고 있다[1, 2]. 본 연구에서는 방위각센서에 부착된 3-축의 자기장센서의 특성을 측정하고, 또한 방위각센서용 3-축의 자기장센서를 개발하기 위하여 3-축의 자기장센서의 방위각 특성을 측정할 수 있는 장치를 개발 제작하였고, 그 성능을 기존의 3-축 자기장센서와 방위각 센서를 활용하여 측정을 하여 보았다.

3-축의 자기장발생을 위해서는 3-축의 헬름홀쯔(Helmholtz) 코일을 사용하였으며, 비자성 실험실이 아닌 일반실험실에서도 실험이 가능하게 소형의 헬름홀쯔 코일을 사용, 환경자기장(지구자기장 + 전축물에 의한 자기장)을 보상하고 시험하고자하는 자기장을 컴퓨터 소프트웨어로 제어를 할 수 있게 시험 장치를 고안하였다.

II. 실험장치의 제작

환경자기장을 측정하고 보상한 후, 원하는 자기장을 발생시키기 위해서 3-축의 헬름홀쯔 코일을 설계・제작하였다. 헬름홀쯔 코일의 직경이 클수록 자기 모멘트가 커지고 건물에 사용된 철근 등을 자화를 시킬 수 있기 때문에, 제작한 측정장치를 비자성 실험실이 아닌 일반실험에서도 사용가능하게 하기 위하여 가능한 작은 크기의 헬름홀쯔 코일을 제작하려고 하였다. ± 30 mm 범위에서 0.1 % 의 균일한 자기장을 얻기 위하여 3-축의 헬름홀쯔 코일 중 가장 작은 직경을 290 mm로 하였다. Fig. 1은 본 연구에서 설계・제작한 장치도로 3-축의 헬름홀쯔 코일에 일정한 전류를 공급하기 위한 정전류 공급장치(constant current source)는 PC에서 TCP/IP 통신으로 조절을 할 수 있게 하였다. 실험실의 환경 자기장을 측정하기 위하여 분해능이 0.1 nT이고 직각도가 0.5°인 3-축의 플럭스게이트 마그네토미터를 사용하였다[3]. 피측정 자기

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author:
Tel: +82-42-629-7512, e-mail: deracson@hnu.kr

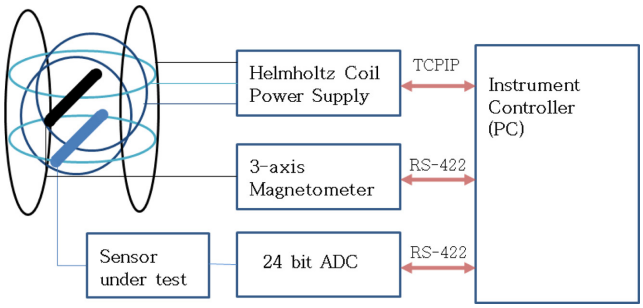


Fig. 1. (Color online) Schematic diagram of the constructed measuring apparatus for magnetic properties of heading sensor in this work.

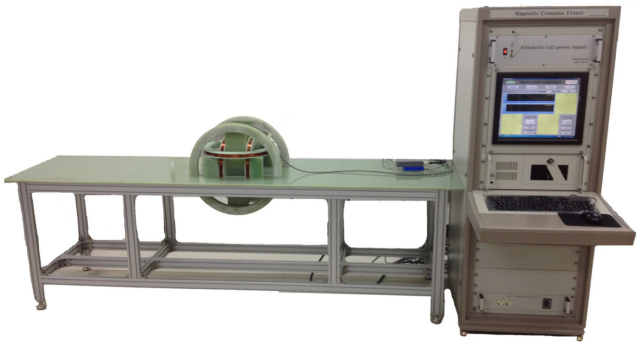


Fig. 2. (Color online) Photography of the constructed measuring apparatus for magnetic properties of heading sensor in this work.

장센서가 아날로그 출력일 경우 24bit digitizer를 사용하여 디지털로 변환한 후 RS422통신으로 PC에 입력하였다. Fig. 2는 본 연구에서 제작한 3-축의 헬름홀쯔 코일, 헬름홀쯔 코일에 전원을 공급하는 전원 장치 및 장치를 제어하는 PC의 사진이다.

제작된 헬름홀쯔 코일 장치의 교정은 한국표준과학연구원에서 교정을 받은 Bartington 사의 MAG-01을 사용하였다. 컴퓨터에서 입력한 자기장 값과 실제 헬름홀쯔 코일에서 발생되는 자기장이 ±0.2 % 이내가 되도록 교정을 하였다. 직각도의 측정은 직각도가 0.1°가 되게 정밀 가공을 한 아세탈 블록에 1-축 마그네토미터인 MAG-01를 넣은 수 있게 가공하여 헬름홀쯔 코일이 인가한 자기장 B_a 방향의 직각방향 자기장 성분 B_p을 측정하여 직각도 오차 δ를 다음 식으로 부터 구하였다.

$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{B_p}{B_a}\right) \tag{1}$$

제작된 3-축 Helmholtz코일의 자기적 직각도는 0.2° 이내에 제작이 되었음을 확인하였다.

본 연구에서 제작한 3-축의 자기장 발생시스템은 헬름홀쯔 코일은 반경이 30 mm의 구형의 공간에서 0.1 % 균일한 자기장을 직각도는 ±0.2°의 정밀도로 얻을 수 있었다.

III. 자기장센서의 방위각 특성측정

자기장센서의 방위각 특성을 측정하기 위하여 헬름홀쯔 코일의 특정한 한 축과 자기센서의 특정한 한 축을 일치시켜야 된다. 축을 일치시키는 방법으로 기존의 선박용으로 사용되는 heading 센서의 경우 선축방향을 x-축으로 하고 있기 때문에 헬름홀쯔 코일의 x-축과 자기센서의 x-축을 일치시켜서 실험을 하였다. 이 경우 x-축을 서로 일치시키려면, 이론적으로는 헬름홀쯔 코일의 x-축에 자기장을 인가하여 센서의 x-축 자기장성분을 측정하여 그 값이 최대가 되게 센서를 회전하면 되나, 이 경우 1°가 벗어나는 경우 센서 출력 값 변화 즉, cos0°와 cos1°의 차이가 1.5×10^{-4} 밖에 되지 않기 때문에 측정이 매우 어렵다. 따라서 축의 직각방향의 성분을 측정할 경우 sin1°가 1.7×10^{-2}이기 때문에 쉽게 측정할 수 있다. 본 연구에서는 자기장센서의 x-축을 Helmholtz 코일의 x-축과 일치시키기 위하여 자기장 센서의 y-축 및 z-축의 자기장 출력 값이 최소가 되게 조절하여 x-축을 일치시켰다. 다음으로는 y-축을 일치시키기 위하여, x-축을 축으로하여 z-축의 값이 최소가 되게 센서 축을 회전시켰다.

헬름홀쯔 코일과 자기장 센서의 축을 일치시킨 후 인가하는 자기장의 방향에 따른 센서 출력 값을 측정하고 이로부터 방위각을 계산하여, 인가한 자기장방향과 센서출력으로부터 계산한 방위각과의 차이를 구하였다. 예를 들면 자기장의 크기가 50 μT이면서 x-y면에서 15° 각도로 헬름홀쯔 코일의 자기장을 반시계방향으로 회전시키면서 자기장 센서의 x-축 및 y-축의 출력 값으로부터 구한 각도와 인가한 자기장과의 각도차이를 x-y 평면에서 각도 오차로 하였다. 측정에 사용한 소프트웨어는 LabVIEW로 프로그램 하였다. Fig. 3은 측정 소프트웨어의 흐름도를 보여준 것으로 프로그램이 시작되면 기준으로 사용되는 3-축의 플럭스게이트 마그네토미터를 사용하여 환경 자기장을 측정한 후, 헬름홀쯔 코일중심부의 자기장이 ±10 nT 이하가 되게 보상을 하였다. 환경자기장이 보상이 되면 앞에서 언급한 바와 같이 방위각센서의 센서축과 헬름홀쯔 코일의 축과 일치를 시킨 후 헬름홀쯔 코일의 자기장을 x-y 평면, x-z 평면 또는 y-z 평면에서 입력을 한 각도로 일정한 간격으로 회전을 시키면서 자기장센서의 출력을 측정하고 이들로부터 방위각 오차를 구하였다. Fig. 4는 본 연구에서 개발한 측정 소프트웨어의 VI(Virtual Instrument)창을 보여주고 있다. VI 창에서는 자기장의 크기와, 자기장을 회전시킨 좌표계, 자기장 크기의 오차 및 각도의 오차를 표시하게 하였다.

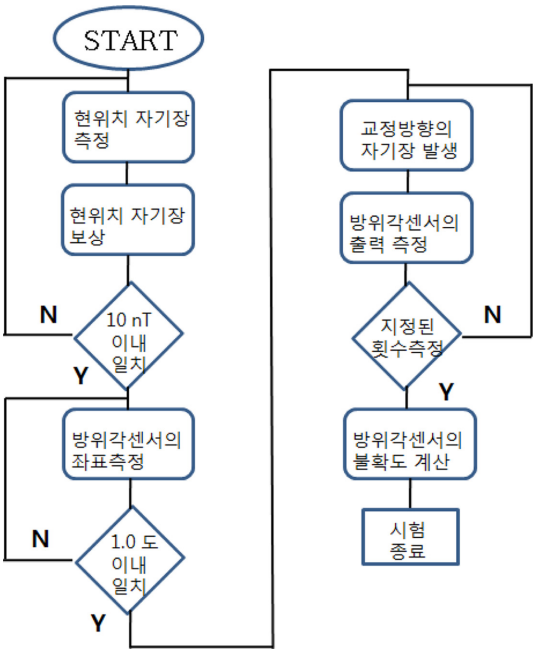


Fig. 3. (Color online) Flow chart of measuring software for magnetic property measurements of heading sensor.

제작한 측정 장치의 성능을 검증하기 위하여 상용의 A-사의 3-축 마그네토미터와 B-사의 방위각센서에 대하여 그 특성을 측정하여 보았다. Fig. 5는 A-사의 3-축 마그네토미터의 특성으로, Fig. 5-(a)는 x-y 평면에서 자기장 크기를 50 μT 로 15° 간격으로 반시계 방향으로 회전시키면서 측정한 결과로 자기장 크기의 오차는 1 %, 측정각의 오차는 0.4° 정도였다. 또한 Fig. 5-(b) y-z 평면에서 측정한 결과는 자기장 크기의 오차는 0.6 %, 측정각의 오차는 0.4° 정도였다. Fig. 6은 B-사의 방위각센서의 특성으로, 측정조건은 A-사의 경우와 동일하게 하였으며, Fig. 6-(a)는 x-y 평면에서의 결과로 자기장 크기의 오차는 1 %, 측정각의 오차는 0.4° 정도였다. 반면에 y-z 평면의 경우 Fig. 6-(b)와 같이 자기장 크기의 오차는 3 %, 측정각의 오차는 1.8° 정도로 컸다.

IV. 결 론

자북을 지시하는 방위각 측정용 센서는 항공기와 선박이나 스마트폰 등에 널리 사용되고 있다. 센서의 좌표계가 회전을 하였을 경우도 방위각(azimuth angle) 및 회전각(roll angle)를 지시할 수 있게 하기위하여 3-축의 가속도 센서가 추가로 사용된다. 본 연구에서는 방위각센서에 부착된 3-축이 자기장 센서의 특성을 측정하거나, 방위각센서용 3-축의 자기장센서를 개발하기 위하여 3-축의 자기장센서의 방위각 특성을 측정할 수 있는 장치를 개발 제작하였다. 3-축의 자기장발생을

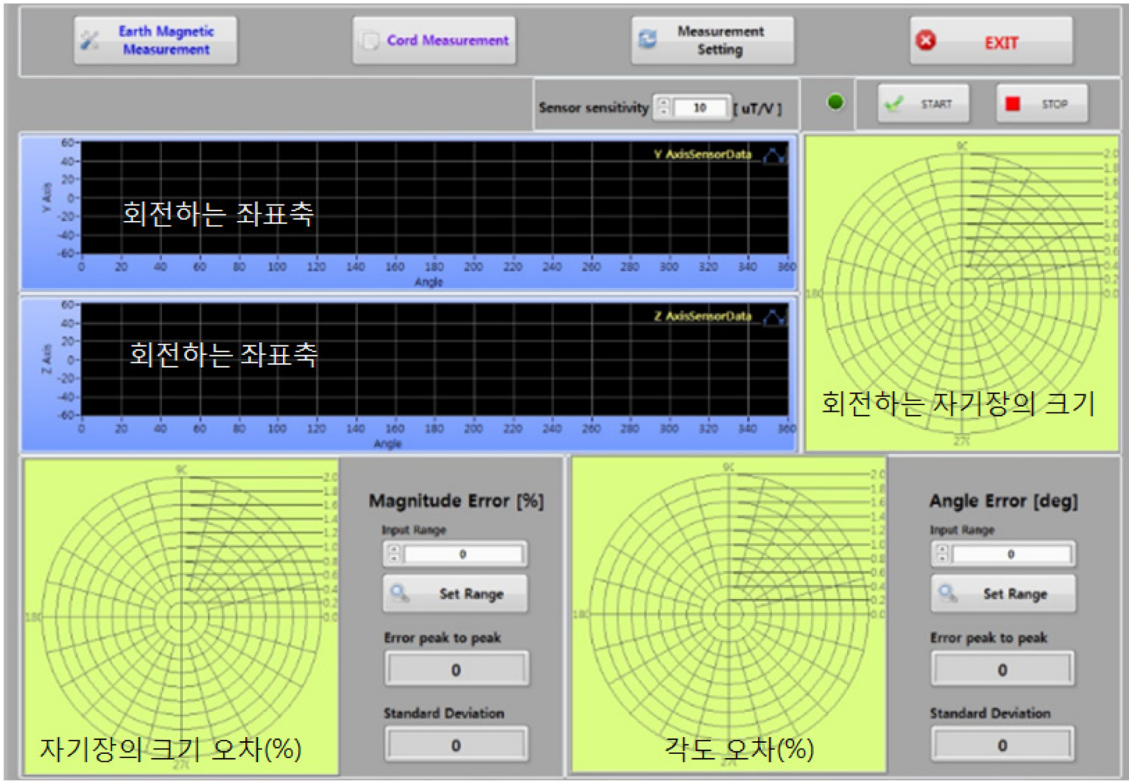
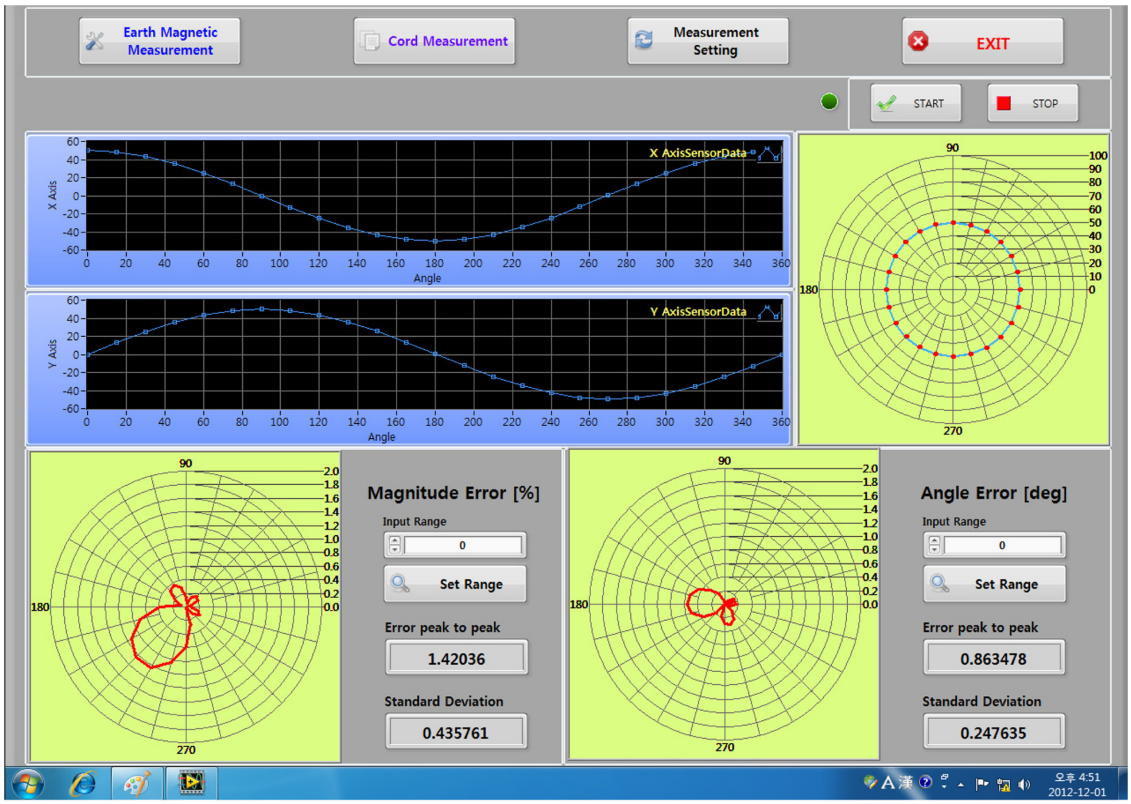
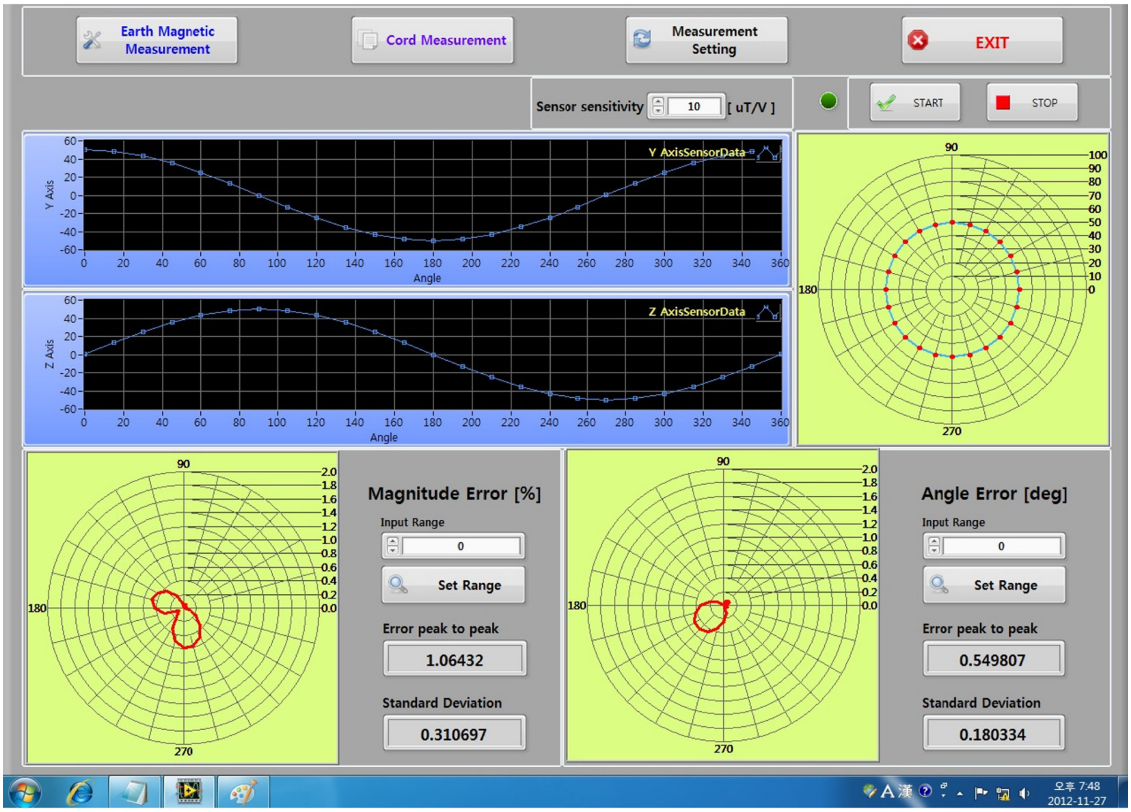


Fig. 4. (Color online) VI (Virtual Instrument) panel of the measuring software.

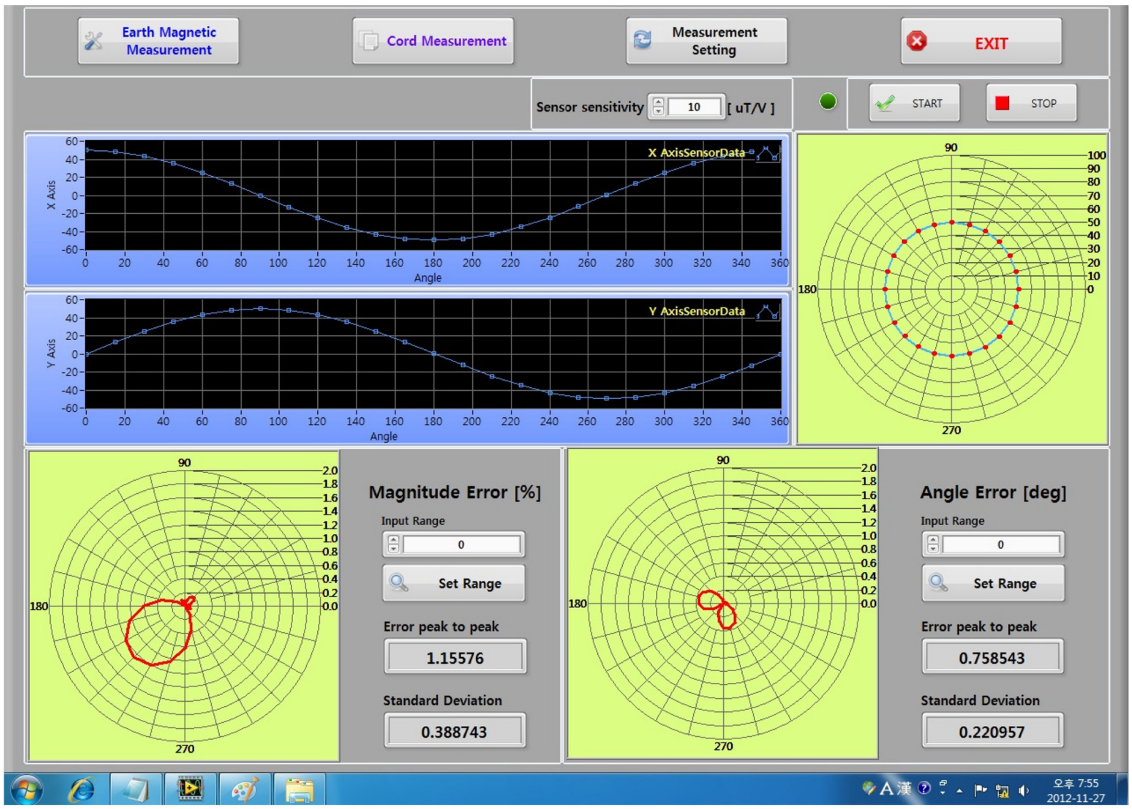


(a)

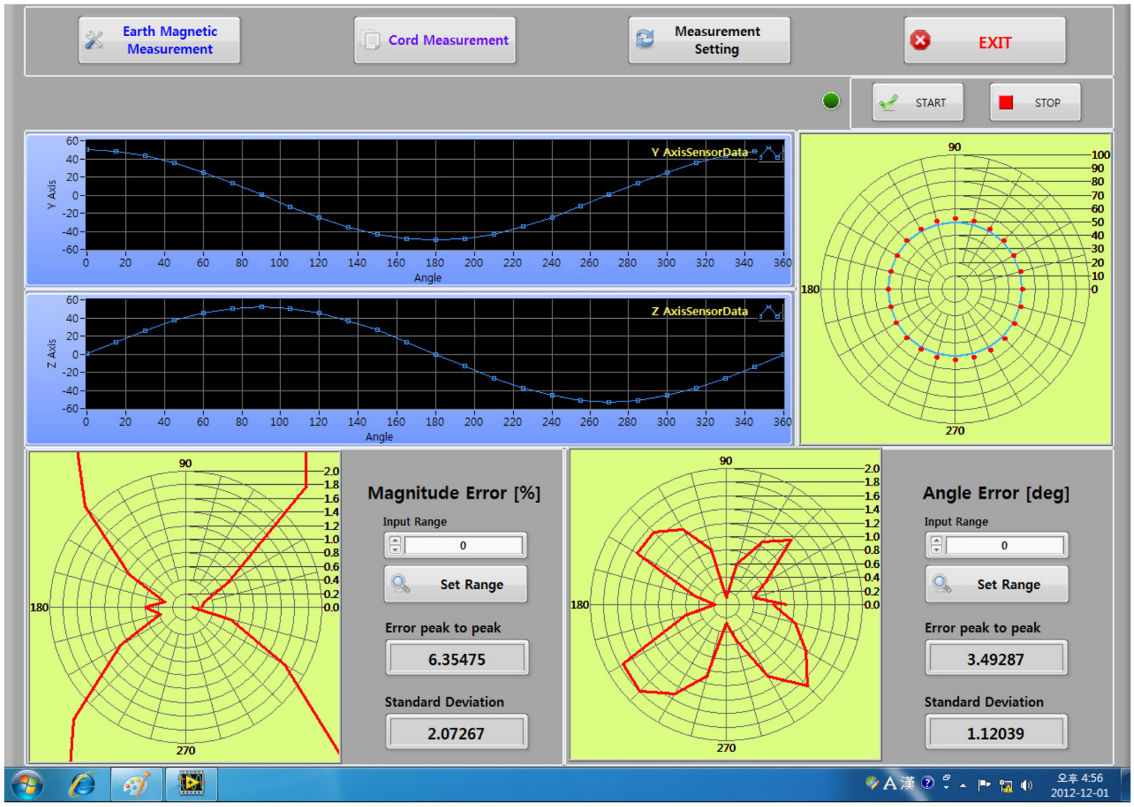


(b)

Fig. 5. (Color online) Magnetic field of 50 μT rotates counterclockwise with 15° steps in x-y plane (a), and y-z plane (b) for the A-company 3-axis magnetometer.



(a)



(b)

Fig. 6. (Color online) Magnetic field of 50 μT rotates counterclockwise with 15° steps in x-y plane (a), and y-z plane (b) for the B-company heading sensor.

위해서 3-축의 헬름홀쯔 코일을 사용하였으며, 비자성실험실이 아닌 일반실험실에서도 실험이 가능하게 하기 위하여 소형의 헬름홀쯔 코일을 설계 제작하였는데, ± 30 mm 직경의 범위에서 0.1 % 자기장 균일도로 자기장을 발생시키고, 환경자기장을 10 nT 이하로 보상한 후, 측정하고자 하는 자기장을 0.2 % 정확도와 0.2° 직각도로 발생시킬 수 있었다. 특성측정을 위한 소프트웨어는 LabVIEW로 프로그래밍 하였다. 제작된 장치의 성능검증을 위하여 상용의 방위각센서에 대하여 그 특성을 측정하여보았다.

감사의 글

본 연구 개발을 위하여 2013년 한남대학교 학술연구조성비에 의하여 일부 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] S. W. Lin, Z. N. Zhang, and J. C. Hung, “A high Accuracy Magnetic Heading System Composed of Fluxgate magnetometer and Microcomputer”, Proc. of the IEEE, 148 (1989).

[2] http://www.findmems.com/memsic/chs110-memsics-chs-series-of-high.

[3] D. Son, “Construction of Feed-back Type Flux-gate Magnetometer”, J. Kor. Mag. Soc. **22**, 45 (2012).

Construction of Measuring System for Magnetic Properties Measurement of Azimuth Angle Sensor

Derac Son*

Dept. of Phys. Hannam University, 133 Ojungdong Deadeok-gu, Daejeon City

(Received 28 November 2013, Received in final form 23 December 2013, Accepted 8 January 2014)

North indicating azimuth angle sensors have been used in airplanes, ships traditionally and nowadays employed in smart phones. For the azimuth and roll angle measurement of the sensor, 3-axis acceleration sensor was added to the 3-axis magnetic field sensor. In this work, we have constructed a measuring system for the measurement of the magnetic field and the angle uncertainty of the magnetic field sensors. Measuring system could be useful not only in non-magnetic laboratory but also in normal laboratory, we constructed small size of 3-axis Helmholtz coils for the compensation environment magnetic field (Earth magnetic field and magnetic field from building) and the generation of magnetic field for the test of magnetic field sensor. The constructed measuring system could compensate environment magnetic field below 10 nT level and generate 3-dimensional magnetic field with magnitude uncertainty of 0.2 % and angle error of 0.2° within the volume of ± 30 mm diameter at center of Helmholtz coils. For the conformation of developed measuring system, We tested commercially available 3-axis magnetometer and heading sensor.

Keywords : heading sensor, magnetometer, Helmholtz coil, azimuth angle, magnetic compass