

지구자계를 이용한 3축 자계센서의 수직성분자계 보정방법 및 장치

A Method and System to Compensate Vertical Component of 3-Dimensional Magnetic Field Sensor Using The Earth's Field

정영윤 · 임대영 · 유영재

Young-Yoon Jung, Dae-Young Lim and Young-Jae Ryoo

목포대학교 제어시스템공학과

요 약

본 논문에서는 지구자계를 이용하여 3축 자계센서의 수직성분자계를 간편하게 보정할 수 있는 방법과 장치를 제안한다. 자계센서의 출력은 설치각도 및 이득오차에 의한 출력 오프셋을 포함하고 있다. 따라서 자계센서를 사용하기에 앞서 보정이 필요하다. 자계센서의 보정은 무자계 공간에서 이루어져야 하나 지구자계를 이용하면 간단하게 자계센서의 출력 오프셋을 보정할 수 있다. 그리고 보정을 위한 장치를 설계하였다. 제안하는 방법과 장치는 실험을 통하여 실용성을 검증하였다.

Abstract

In this paper, a method and system to compensate vertical component of 3-dimensional magnetic field sensor using the earth's field was described. Output of magnetic field sensor have a output offset that is generated setting angle error of magnetic sensor and gain error. Thus, to using the magnetic field sensor, it must be compensated. The compensation of magnetic field sensor is required at shield space. However, using the earth's field, output offset of the sensor can be simply compensated. And, we designed system for compensation of the sensor. The proposed method and system are verified usefulness through experimental.

Key words : Magnetic field sensor, Magnetic transducer, Earth's field, Vertical component of magnetic field, Method and system to compensate magnetic field sensor

1. 서 론

1856년 William Thomson(Lord Kelvin)에 의해 강자성체 내의 자기저항효과가 발견되었다[1]. 자기저항효과는 자성체 내의 자화벡터의 방향이 인가되는 자계의 세기에 따라 변화하여 자성체의 전기적 저항률을 변화시키는 원리이다. 자기저항효과가 발견된 후 100여년이 지나 thin-film 기술이 개발되면서 자기저항효과를 이용한 자기센서가 상용화되기 시작하였다. 자기센서는 자기테이프와 자기디스크의 드라이브, 속도측정장치, 전자나침반, 차량검출장치, 전류측정장치, 자세제어장치, 자계센서 등 매우 많은 분야에 응용되고 있다. 자기센서는 자기저항소자를 이용한 Permalloy thin film을 Wheatstone-bridge 구조로 집적시켜 만들어졌으며, 주변 자계의 방향과 세기에 따른 자화벡터의 변화가 bridge 저항률을 변화시켜 전압으로 출력한다. 자기센서의 Wheatstone bridge 구조는 센서의 감도를 높이고, 측정의 반복성을 우수하게 하는 등 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그러나 센서의 주변에 자계의 영향이 없는 상황에도 bridge 오프셋을 포함한 출력전압을 나타내는 단점을 지니고 있다[2]. 이러한 bridge 오프셋 전압은 여러 가지 방법으로 제거할 수 있다.

본 논문에 사용된 자계센서는 bridge 오프셋 전압을 Set/Reset 효과를 이용하여 제거하였다[3-4]. 자계센서는 자계의 3차원 성분을 측정하기 위하여 x, y, z 각 3축의 방향을 따라 설치된 자기센서로 구성되어 있다. 자기센서는 설치각도가 변화하면 적용되는 자계의 측정값도 변화하게 된다. 그리고 자계센서는 내부의 저항성분이나 전기적인 요인으로 인한 이득오차를 포함한 출력을 나타낸다. 이러한 설치각도 및 이득오차는 자계센서의 출력에 영향을 미쳐 일정한 방향과 세기의 자계에 대해 센서들은 서로 다른 값을 출력하게 된다. 따라서 자계센서를 사용하기 위해서는 이러한 자계센서의 출력 오프셋이 보정되어야 한다. 자계센서의 보정을 위해서는 자계의 영향이 없는 무자계상태의 공간에서 이루어져야 하나 일반인이 무자계 공간을 구성하는데는 많은 어려움이 따른다.

따라서 본 논문에서는 지구 중심부에 영구자석이 위치한 것과 같은 분포를 나타내는 지구자계[5]를 이용하여 간편하게 자계센서의 수직성분 자계를 보정하는 방법과 장치를 제안한다. 제안하는 보정방법과 장치는 실험을 통하여 실용성을 입증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 본 연구가 수행된 배경과 자계센서의 구성, 그리고 자기센서의 bridge 오프셋 전압과 이를 제거하는 방법을 소개하고, 3장에서는 지구자계와 이를 이용한 자계센서의 수직성분자계를 보정하는 방법과 장치에 관해 논한다. 그리고 4장에서는 제안하는 방법과 장치를 이용하여 수행한 실험 결과를 고찰하

접수일자 : 2006년 4월 13일

완료일자 : 2006년 5월 30일

감사의 글 : 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

며, 5장에서 결론을 도출한다.

2. 자계센서의 구성 및 동작원리

2.1 연구배경 및 자계센서의 구성

본 연구실에서는 차량이나 로봇의 이동 경로 상에 자석을 설치하고 자석으로부터 발생하는 자계를 계측하여 자율주행이 가능하도록 하는 자계안내시스템에 관한 연구를 수행하고 있다. 자계안내시스템을 위해서는 자석으로부터 발생하는 자계를 계측하는 것이 가장 기본적으로 요구된다. 따라서 본 연구실에서는 자기센서를 이용하여 그림 1과 같은 구조의 자계센서를 개발하였다. 자계센서는 자극의 주위나 전류가 지나는 도선 주변에 발생하는 자기장(자계)의 세기를 측정한다.

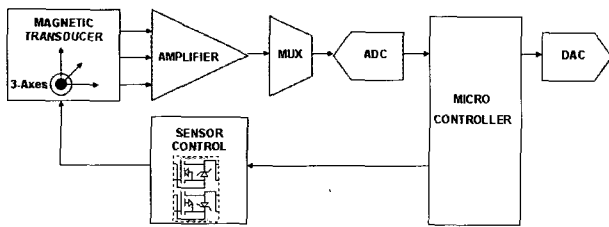


그림 1. 자계센서의 구성.

Fig. 1. Configuration of magnetic field sensor.

자계센서는 인가되는 자계를 전기적인 신호로 변환시키는 자기센서, 자기센서의 출력을 데이터 수집장치에 유용한 데이터로 만들어주는 증폭부, ADC, 마이크로컨트롤러를 사용한 신호처리알고리즘과 센서제어회로, 그리고 센서의 출력부로 구성되어있다. 개발된 자계센서는 수평성분자계(B_x , B_y), 수직성분자계(B_z)의 3가지 성분자계를 측정한다. 그림 2는 자계센서를 사용하여 자석을 센서의 바로 아래를 지나도록 센서의 후방 50[cm] 지점에서 전방 50[cm] 지점까지 이동시켜 변화하는 자계의 3차원 성분을 계측한 데이터이다.

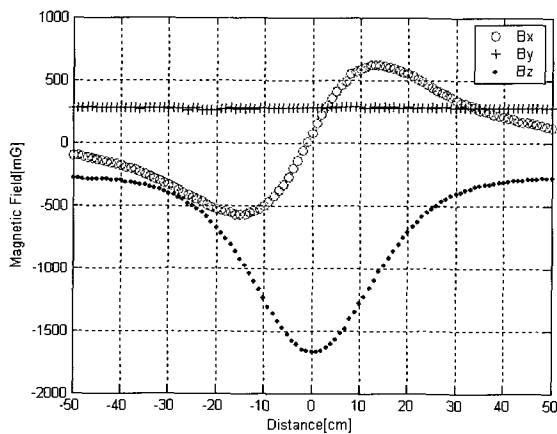


그림 2. 자계센서의 출력.

Fig. 2. Output of magnetic field sensor.

전·후 방향에 대한 성분인 B_x 는 자석이 센서를 지나면서 극성이 교번하여 나타나며, 측 방향에 대한 성분인 B_y 는 자석이 좌·우 이탈거리 없이 센서의 바로 아래를 지났기 때

문에 변화가 없이 일정한 값을 나타낸다. 그리고 높이방향에 대한 성분인 B_z 는 자석이 센서의 바로 아래를 지날 때 가장 큰 변화가 나타난다.

자계계측시스템을 구성하기 위하여 그림 3과 같이 자계센서를 자석으로부터 10[cm] 높이에 4[cm] 간격으로 설치하였다. 그리고 자석을 좌측 40[cm] 지점에서 우측 40[cm] 지점까지 이동 시키면서 자석의 수직성분자계를 계측하여 그림 3의 데이터를 획득하였다.

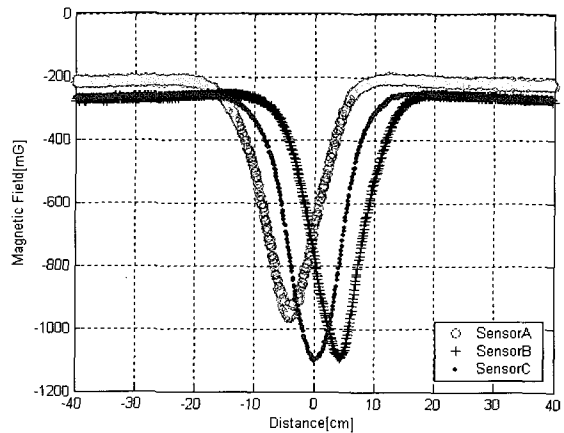
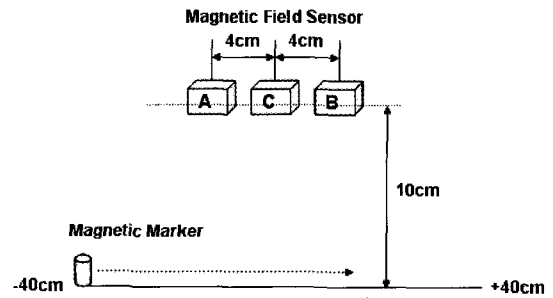


그림 3. 자계센서의 수직성분자계.

Fig. 3. Vertical component of magnetic field sensor.

자계센서의 출력은 자기센서의 설치각도 및 이동오차에 의한 출력 오프셋을 포함하고 있기 때문에 동일한 자계에 대하여 각 센서의 출력이 일정하지 않음을 알 수 있다. 그림 3의 데이터에서 좌·우 20[cm]에서 40[cm] 지점은 자석의 자계가 영향을 미치지 않는 즉, 지구자계만 계측되는 구간이다. 이 구간에서는 각 센서간 약 50[mG]의 차이를 보인다. 그러나 자석이 센서의 바로아래를 지나는 지점에서는 100[mG] 이상의 큰 오차를 보이고 있다. 만약 적용되는 자석의 자계가 더 커진다면 각 센서는 더욱더 큰 오차의 출력을 나타내게 되므로 자계센서를 사용하기 위해서는 이러한 출력 오프셋을 보정하여야 한다.

자계센서의 보정은 어떠한 자계의 영향도 미치지 않는 무자계 상태의 공간내에서 이루어져야한다. 그러나 일반인이 무자계 공간을 구성하는 데는 많은 어려움이 따르고, 무자계 공간이 갖추어진 곳을 찾아 매년 센서를 보정 하는 것은 번거로운 일이다. 따라서 누구나 간편하게 자계센서를 보정할 수 있는 방법과 장치가 요구된다.

2.2 자기센서의 동작

자기센서는 자기저항소자인 Nickel-Iron(Permalloy)의 저

항피를 그림 4와 같이 Wheatstone bridge 구조로 집적시켜 만들어져있다. 자기센서는 주변 자계의 방향과 세기에 따라 bridge 저항률이 변화하여 전압 값으로 출력한다. 자기센서의 bridge 구조는 센서의 감도를 높이고, 계측의 반복성을 우수하게 하는 등 많은 이점을 제공하는 반면 자계의 영향이 없는 상태에서도 bridge 오프셋 전압이 존재하는 단점을 가지고 있다.

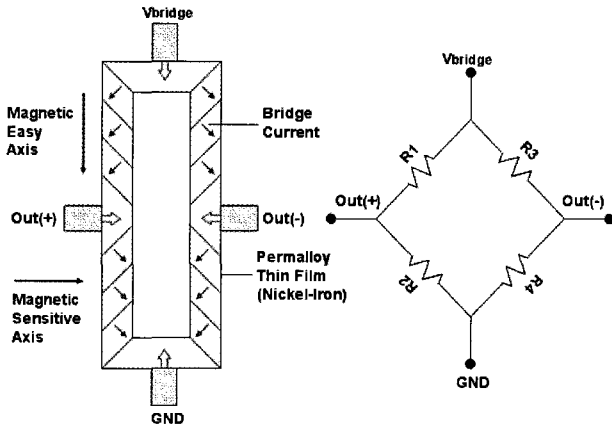


그림 4. 자기센서의 구조.
Fig. 4. Structure of magnetic sensor.

자기센서의 bridge 출력전압 $V_{out(+)}$, $V_{out(-)}$ 와 bridge 오프셋 전압 V_{offset} 은 다음 수식으로 계산할 수 있다.

$$V_{out(+)} = V_{bridge} \times \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right) \quad (1)$$

$$V_{out(-)} = V_{bridge} \times \left(\frac{R4}{R3 + R4} \right) \quad (2)$$

$$V_{offset} = V_{out(+)} - V_{out(-)} \quad (3)$$

예를들어 V_{bridge} 가 5[V]이고, bridge 저항 $R1$, $R4$ 가 1101[Ω], $R2$, $R3$ 가 1100[Ω]이라면 bridge 오프셋 전압은 -0.00227[V](2.27[mV])가 된다. 이때 센서의 감도가 1mV/V/G라면 센서의 오프셋은 -454[mG]가 된다. 이와같이 미세한 저항의 오차에도 bridge 오프셋 전압은 존재하게 된다. 대한민국의 평균 지구자계가 수평자계 -300[mG], 수직자계 -380[mG]인 점을 감안한다면 오프셋 전압은 작은 값이라 할 수 없다. 이러한 자기센서의 bridge 오프셋 전압을 제거하는 방법은 단락저항을 사용하는 방법, Amplifier의 기준 전압을 조절하는 방법, Set/Reset효과를 이용하는 방법, 보상 전류를 이용하는 방법, 프로그램을 사용한 디지털 가감법 등 여러 가지 방법이 있다. 이중 본 논문의 자계센서에서는 그림 5와 같은 Set/Reset효과를 이용하여 자기센서의 bridge 오프셋전압을 제거하였다. 그림 5의 Set/Reset 효과에 의한 자기센서의 출력전압은 다음 식과 같다.

$$V_{set} = -S \times H_{applied} + V_{offset} \quad (4)$$

$$V_{reset} = S \times H_{applied} + V_{offset} \quad (5)$$

$$V_{set} - V_{reset} = -2S \times H_{applied} \quad (6)$$

Set 후의 출력전압 V_{set} (수식 4)과 Reset 후의 출력전압

V_{reset} (수식 5)은 모두 오프셋 전압을 포함하고 있다. 수식 6과 같이 V_{set} 과 V_{reset} 의 차를 통해 간단하게 bridge 오프셋 전압이 제거된 출력전압을 얻을 수 있다.

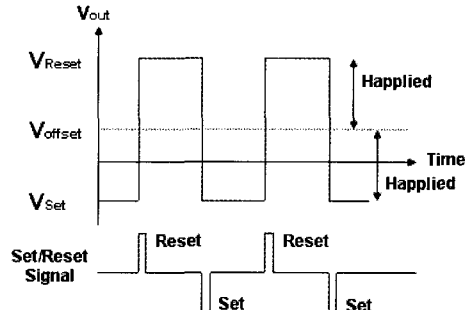


그림 5. Set/Reset 효과와 자기센서의 출력.
Fig. 5. Set/Reset effect and output of magnetic sensor

그러나 자기센서는 설치각도에 따라 센서 내부요소의 자화벡터의 방향이 변화하여 출력전압을 변화시킨다. 그리고 자계센서는 저항 값과 전기적인 요인으로 인해 이득오차가 발생하면 왜곡된 센서의 출력을 나타낸다. 이러한 설치각도 및 이득오차는 자계센서의 출력 오프셋으로 작용하여 동일한 자계에 대하여 일정한 출력을 얻을 수 없게 된다. 따라서 자계센서의 출력 오프셋은 보정되어야 한다.

3. 지구자계를 이용한 보정방법 및 장치

3.1 지구자계

지구자계는 그림 6과 같이 지구 중심부에 N극이 남쪽을 향하고, S극이 북쪽을 향하도록 영구자석을 놓아 둔 것과 같은 자계의 분포를 나타낸다.

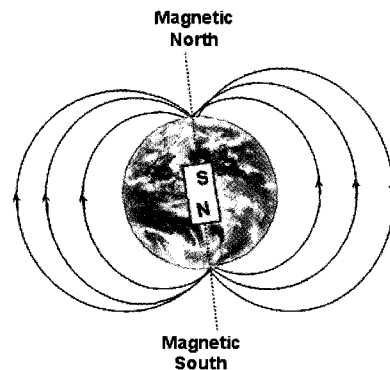


그림 6. 지구자계.
Fig. 6. Earth's field.

지구상 임의의 지점에서의 지구자계는 3차원 직각 좌표계에 그림 7과 같이 벡터성분으로 나타낼 수 있다. 지구자계벡터(Be)는 x, y, z축 상의 3가지 성분벡터 Bex , Bey , Bez 로 나뉘어진다. Bex , Bey 는 지구표면과 평행한 수평성분 벡터(Beh)이고, Bez 는 지표면으로부터 아래로 수직인 수직성분벡터이다. 이때 지구자계벡터(Be)를 수평성분벡터(Beh)를 기준으로 회전시키면 수직성분벡터(Bez)가 변화한

다. 수직성분벡터(Bez)는 지구자계벡터(Be)가 수평면과 평행하게 되었을 때 최소값을, 수평면과 직교할 때, 즉 z 축과 평행하게 되었을 때 최대값을 나타내게 된다.

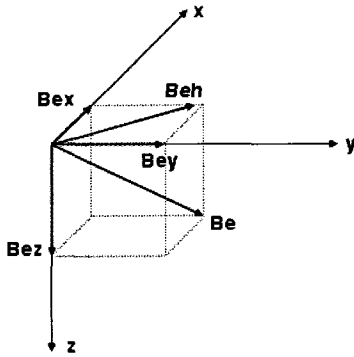


그림 7. 지구자계의 벡터성분.
Fig. 7. Vector component of earth's field.

3.1 수직성분자계 보정방법과 장치

그림 7에서 수평성분벡터(Beh)와 지구자계벡터(Be)가 이루는 각도를 θ (Dip or Inclination angle)라 할 경우 지구자계벡터(Be)가 θ 의 각도로 회전하는 경우의 수직성분벡터(Bez)는 다음과 같은 수식으로 계산될 수 있다.

$$Bez = \sin\theta \times \sqrt{Be^2 - Beh^2} \quad (7)$$

그림 8은 지구자계벡터(Be)를 수평성분벡터(Beh)를 기준으로 360도 회전시켰을 경우의 수직성분벡터(Bez)의 변화에 대한 컴퓨터시뮬레이션 결과이다.

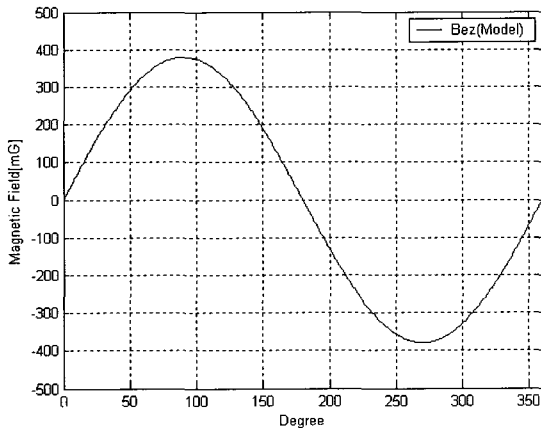


그림 8. 수직성분자계의 모델.
Fig. 8. Model of vertical component magnetic field.

그림 9와 같이 자기센서를 순수한 지구자계를 계측하기 위하여 지표면으로부터 1[m]이상의 높이에 설치하고, 자기센서를 수평선을 축으로 360도 회전시키면서 지구자계를 계측하면 자기센서의 수직성분자계는 지구자계벡터(Be)를 회전시켰을 경우의 수직성분벡터(Bez)와 동일한 변화를 나타낸다. 이때 자기센서의 설치각도오차나 자기센서의 이득오차가 존재하면 자기센서의 수직성분자계의 변화는 그림 10과 같이 나타난다. 그림 10의 데이터에서 '+ with Setting Angle

Error' 곡선은 자기센서의 설치각도오차가 존재할 경우의 수직성분자계의 데이터이다. 자기센서의 설치각도오차에 따른 수직성분자계는 기준모델에 비해 좌·우측으로 이동하여 결과가 나타난다. '· with Gain Error' 곡선은 자기센서의 이득오차가 존재할 경우의 수직성분자계의 데이터이다. 이득오차에 따른 수직성분자계는 기준모델에 비해 크거나, 작은 값의 범위에서 변화하게 된다.

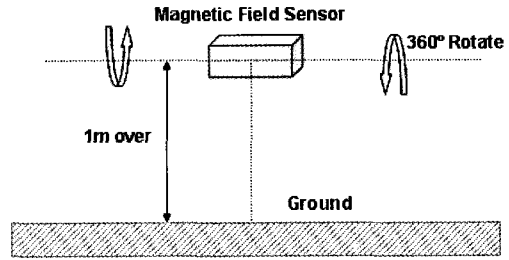


그림 9. 자기센서의 회전.
Fig. 9. Rotation of magnetic field sensor.

이와 같이 자기센서를 수평선을 축으로 360도 회전시키면서 지구자계를 계측한 자기센서의 수직성분자계와 모델을 비교하면 간단하게 설치각도와 이득오차에 의한 자기센서의 출력 오프셋을 검출하여 수직성분자계를 보정할 수 있다.

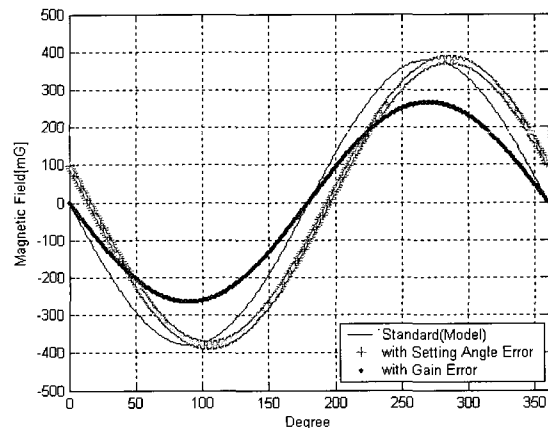


그림 10. 설치각도와 이득오차의 영향.
Fig. 10. Effect of setting angle error and gain error.

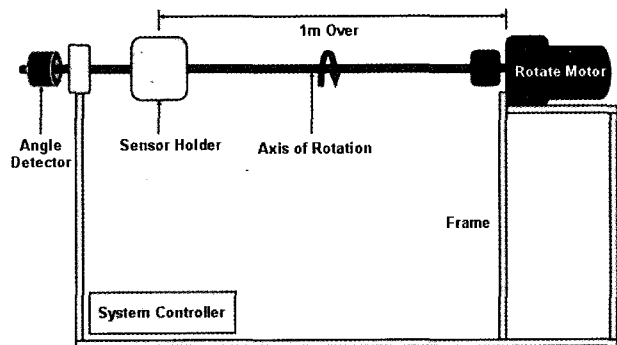


그림 11. 수직성분자계의 보정장치.
Fig. 11. System to compensate vertical field.

그림 11은 그림 9와 같이 자계센서를 지표면과 수평한 선을 축으로 회전시키기 위한 장치의 구성도이다. 자계센서의 수직성분자계를 보정하기 위한 장치는 자계센서를 일정한 속도로 360도 회전시킬 수 있어야 하며, 센서의 출력이 지구자계 외에 주변자계의 영향을 받지 않도록 하여야 한다. 따라서 모터에서 발생하는 자계의 영향을 받지 않도록 센서 고정부는 모터로부터 일정거리에 설치하여야 하며, 장치의 기구물은 자계에 영향을 미치지 않는 재료를 사용하여야 한다.

4. 실험 및 결과 고찰

4.1 실험환경

자계센서의 수직성분자계 보정실험을 수행하기 위하여 보정장치의 설계요건에 부합하도록 그림 12와 같이 실험환경을 구성하였다. 보정장치는 자계센서를 회전시키기 위한 회전 모터, 센서를 지표면과 수평한 선을 축으로 회전시키기 위한 회전축, 회전축에 센서를 고정시키기 위한 센서 고정부, 센서의 회전각을 검출하기 위한 회전각 검출기, 그리고 보정장치를 제어하고 분석용 컴퓨터와 인터페이스를 담당하는 장치 제어기로 구성하였다.

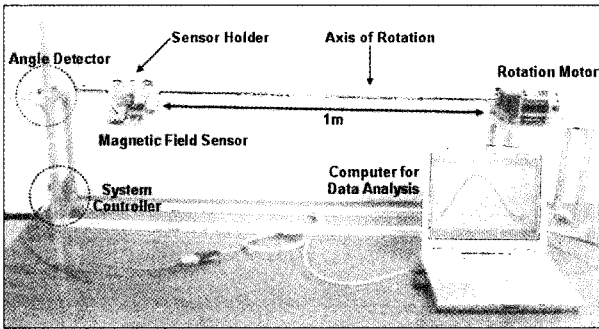


그림 12. 실험환경.
Fig. 12. Experimental environment.

4.2 수직성분자계 보정실험 및 분석

수직성분자계 보정장치를 사용하여 자계센서를 360도 회전시키면서 지구자계를 계측하였다. 그림 13은 보정 전 자계

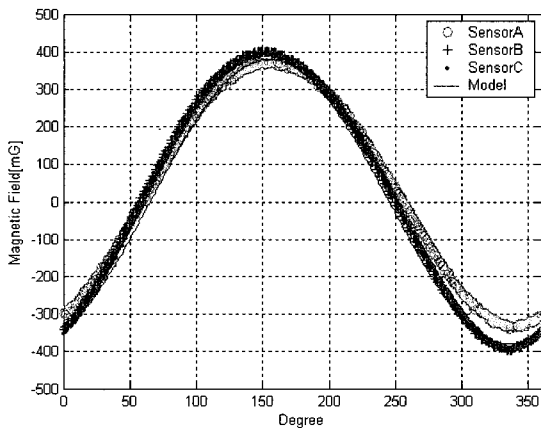


그림 13. 보정 전 자계센서의 출력(지구자계).
Fig. 13. Output of before compensation(earth's field).

센서를 이용하여 지구자계를 계측한 자계센서의 수직성분자계 출력 데이터이다. 기준 모델과 비교하였을 때 각 센서 A, B, C의 출력에는 설치각도 및 이득오차에 따른 출력 오프셋이 존재함을 볼 수 있다.

검출된 각 센서 A, B, C의 출력 오프셋을 이득 1.081배, 0.968배, 0.962배 그리고 설치각도에 따른 오차 자계 $-21[mG]$, $-2[mG]$, $0[mG]$ 로 보정하였다. 보정 후의 자계센서를 이용하여 지구자계를 계측한 각 센서의 수직성분자계는 그림 14와 같다. 각 자계센서의 계측 데이터와 기준 모델의 데이터가 일치함을 확인할 수 있다.

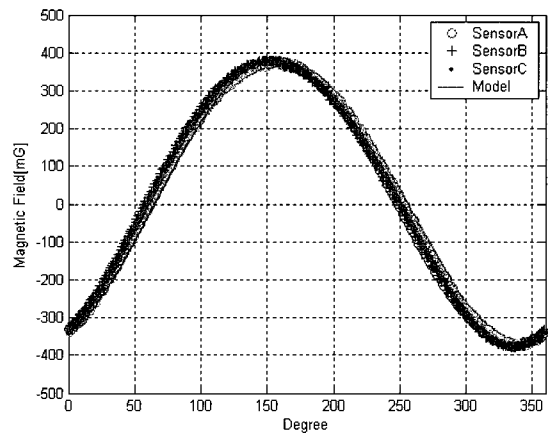


그림 14. 보정 후 자계센서의 출력(지구자계).
Fig. 14. Output of after compensation(earth's field).

그림 15는 보정된 자계센서를 사용하여 그림 3과 동일한 조건으로 이동하는 자석의 자계를 계측한 각 센서의 수직성분자계 데이터이다. 각 센서가 자계의 변화에 따라 최대 $10[mG]$ 오차범위 내에서 동일한 출력을 나타내었다. 이와같이 설계된 보정장치와 지구자계를 이용하면 자계센서의 수직성분자계를 간편하게 보정할 수 있다.

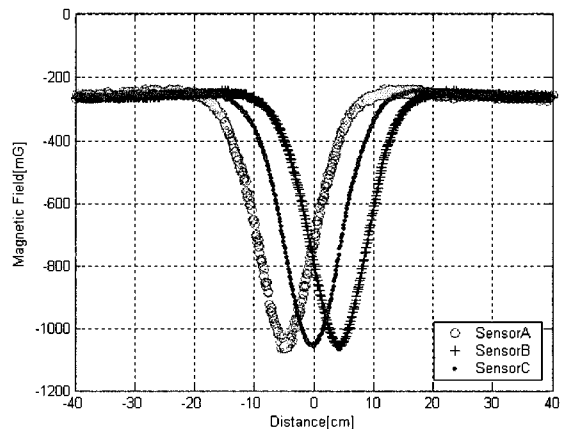


그림 15. 보정 후 자계센서의 출력(자석의 자계).
Fig. 15. Output of after compensation(field of magnet).

5. 결 론

본 논문에서는 지구자계를 이용하여 3축 자계센서의 수직 성분 자계를 보정하는 간편한 방법과 장치를 제안하였다. 자계센서의 출력에는 자기센서의 설치각도 및 이득오차로 인하여 발생하는 출력 오프셋이 존재한다. 출력 오프셋은 동일 자계에 대한 센서들의 출력을 일정하지 않게 한다. 따라서 자계센서의 사용에 앞서 센서의 보정이 요구된다. 자계센서의 보정은 무자계 공간에서 이루어져야 하나 일반인이 무자계 공간을 구성하는 데는 어려움이 따른다. 따라서 본 논문에서는 지구자계를 이용하여 센서를 지표면과 수평한 선을 축으로 360도 회전시키는 간편한 방법으로 센서의 출력 오프셋을 보정하였다. 그리고 보정을 위한 장치를 설계하였다. 제안하는 자계센서의 수직성분자계 보정방법과 장치는 실험을 통하여 유용함이 검증되었다.

참 고 문 헌

- [1] Michael J. Caruso, Carl H. Smith, "A New Perspective on Magnetic Field Sensing", Technical Articles, Honeywell Solid State Electronics Center.
- [2] Solid State Electronics Center, "Handling Sensor Bridge Offset", Honeywell Application Note AN212, <http://www.magneticsensors.com>
- [3] M. J. Caruso, Application Note AN-201, 205, and 213, Honeywell Solid State Electronics Center.
- [4] Products Data Sheet, "1-and 2-Axis Magnetic Sensors", Honeywell Solid State Electronics Center.
- [5] Thomas Stork, "Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52", Philips Semiconductors Application Note AN00022.

저 자 소 개



정영윤(Jung, Young-Yoon)
2004년 : 목포대학교 제어시스템공학과 공학사.
2005년~현재 : 동 대학원 제어시스템 공학과 석사과정.

관심분야 : 자율주행 차량 및 로봇, 자계안내시스템, 임베디드 시스템.

Phone : 061-450-2759
Fax : 061-450-2750
E-mail : yyjung@mokpo.ac.kr



임대영(Lim, Dae-Young)
2002년 : 목포대학교 제어시스템공학과 공학사.
2004년 : 동 대학원 제어시스템공학과 공학석사.
2004년~현재 : 동 대학원 제어시스템 공학과 박사과정.

관심분야 : 자율주행 시스템, 지능제어 시스템, 원격제어 시스템.

Phone : 061-450-2759
Fax : 061-450-2750
E-mail : dylim@mokpo.ac.kr



유영재(Ryoo, Young-Jae)
제15권 제6호 (2005년 12월호) 참조.

Phone : 061-450-2754
Fax : 061-450-2750
E-mail : yjryoo@mokpo.ac.kr