

지구자계를 이용한 3축 자계센서의 수직성분 자계 보정방법 및 장치

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

정영윤¹, 임대영², 유영재³

- ¹ 전라남도 무안군 목포대학교 제어시스템공학과
E-mail: yyjung@mokpo.ac.kr
- ² 전라남도 무안군 목포대학교 제어시스템공학과
E-mail: dylim@mokpo.ac.kr
- ³ 전라남도 무안군 목포대학교 제어시스템공학과
E-mail: yiryoo@mokpo.ac.kr

요 약

본 논문은 지구자계를 이용하여 3축 자계센서의 수직 성분자계를 보정하는 방법과 장치를 제안한다. 자계센서는 설치각도 및 이득오차에 의해 출력 특성이 변화한다. 따라서 자계센서를 사용하기에 앞서 보정이 필요하다. 지구에서 발생하는 지구자계를 이용하여 간편하게 센서의 설치각도 및 이득오차에 의한 영향을 보정하였으며 이를 위한 장치를 설계하였다. 제안한 방법은 실험을 통하여 실용성을 검증하였다.

Key Words : Magnetic Field Sensor, Magnetic Field of the Earth, Sensor Compensation

1. 서 론

1856년 William Thompson, Lord Kelvin에 의해 강자성체내의 자기저항효과가 발견되었다 [1]. 자기저항효과는 강자성체내의 자화벡터의 방향이 적용되는 자계의 세기에 따라 변화하는 원리이다. 자기저항효과가 발견된 후 100여년이 지나 Thin-Film 기술이 개발되면서 실질적인 센서가 만들어졌다. 자기저항효과를 이용한 자기센서는 자기테이프와 자기디스크의 드라이브, 속도측정장치, 전자나침반, 차량검출장치, 전류측정장치 등 매우 많은 분야에 응용되고 있다. 자기센서는 자기저항소자를 이용한 Permalloy Thin Film을 Wheatstone Bridge의 구조로 집적시켜 자화벡터 변화에 따라 Bridge 저항률이 변화되어 자계의 세기를 전압으로 출력한다. 자기센서의 Wheatstone Bridge구조는 센서의 감도를 높이고, 측정의 반복성을 우수하게 하는 등 여러 가지 장점을 가지고 있다.

그러나 Bridge 오프셋을 포함하고 있어 센서의 출력을 왜곡시킨다[2]. 이러한 Bridge 오프셋은 여러 가지 방법으로 제거할 수 있다. 본 논문에서 사용된 자계센서는 자기센서의 Bridge 오프셋을 Set/Reset 효과를 이용하여 제거하였다 [3]. 자기센서는 설치각도에 따라 출력전압이 변화하는 특징을 가지고 있다. 그리고 자기센서를 이용한 자계센서는 이득오차를 포함한 출력을 나타낸다. 이러한 센서의 설치각도 및 이득에 의한 출력 오프셋은 보정되어야 한다. 본 논문에서는 지구자계가 지구중심에 영구자석이 위치한 것과 같은 자계분포를 나타낸다[4]는 점을 착안하여 지구자계를 이용하여 간편하게 자계센서의 수직성분 자계를 보정하는 방법과 장치를 제안한다. 제안하는 보정방법과 장치는 실험을 통하여 실용성을 입증하였다.

2. 자계센서의 구성 및 동작원리

2.1 자계센서의 구성

자계센서는 자극 주위나 전류가 지나가는 도선 주위에 발생하는 자기장(자계)의 세기를 측정하는 센서이다. 본 논문에서 사용된 자계센서

※ 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력 양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

는 그림 1과 같이 센서 주위의 자계의 세기를 전압으로 변화시켜주는 자기센서, 자기센서의 출력을 데이터 수집장치에 유용한 데이터로 만들어주는 증폭부, ADC, 마이크로컨트롤러를 사용한 신호처리알고리즘과 센서제어회로, 그리고 센서의 출력부로 구성되어 있다.

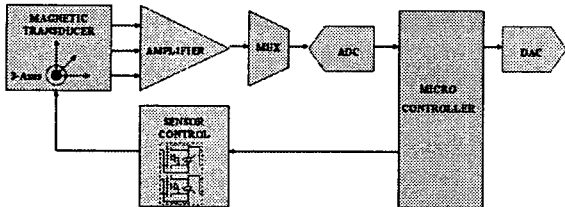


그림 1. 자기센서의 구성.

2.2 자기센서의 동작

자기센서는 Nickel-Iron(Permalloy)의 저항 띠를 Wheatstone-Bridge 구조로 집적시켜 만들었다. 자기센서는 주변 자계의 세기에 따라 저항률이 변화하는 자기저항효과를 이용하여 측정되는 자계를 전압 값으로 출력한다.

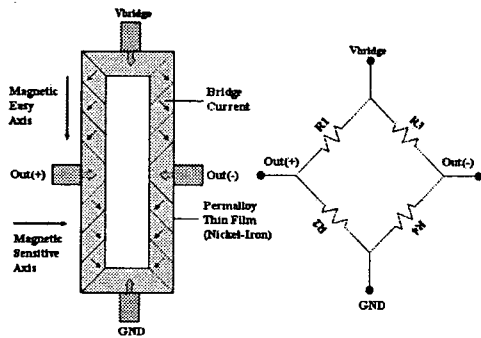


그림 2. 자기센서의 구조.

Wheatstone-Bridge구조는 센서의 감도를 높이고, 계측의 반복성을 우수하게 하는 등 많은 이점을 제공하는 특징을 지닌다. 그러나 자계의 영향이 없는 상황에도 오프셋 전압이 존재하는 단점을 가지고 있다. 그림 2의 Bridge구조의 출력 $V_{out(+)}$ 와 $V_{out(-)}$ 는 다음과 같다.

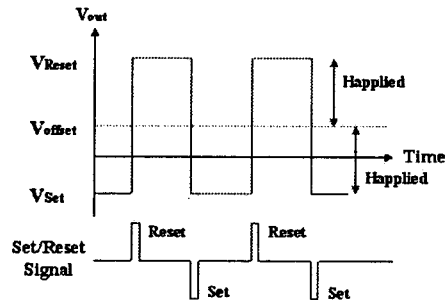
$$V_{out(+)} = V_{bridge} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_{out(-)} = V_{bridge} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

$$V_{offset} = V_{out(+)} - V_{out(-)}$$

예를 들어 V_{bridge} 가 5[V]이고, 저항 R_1, R_2 가 1101[Ω], R_3, R_4 가 1100[Ω]이라면 오프셋 전압은 -0.00227[V](-2.27[mV])가 된다. 이때 센서의 감도가 1mV/V/G라면 센서의 오프셋은 -454[mG]가 된다. 대한민국의 평균 지구자계

가 수평자계 -300[mG], 수직자계 -380[mG]인 점을 감안한다면 오프셋 전압은 작은 값이라 할 수 없다. 이러한 센서의 오프셋을 보정하는 방법은 단락저항을 사용하는 방법, Amplifier의 기준전압을 조절하는 방법, Set/Reset 효과를 이용하는 방법, 보상전류를 이용하는 방법, 프로그램을 이용하는 디지털 가감법 등 여러 가지 방법이 있다. 본 논문에서 사용한 자기센서는 그림 3과 같은 Set/Reset효과를 이용하여 센서의 오프셋을 제거하였다.



$$V_{set} = -S \times H_{applied} + V_{offset}$$

$$V_{reset} = S \times H_{applied} + V_{offset}$$

$$V_{set} - V_{reset} = -2S \times H_{applied}$$

그림 3. Set/Reset 효과.

Set 후의 출력전압 V_{set} 과 Reset 후의 출력전압 V_{reset} 은 모두 오프셋 전압을 포함하고 있다. V_{set} 과 V_{reset} 의 차를 통해 간단하게 오프셋은 제거된다. 제거된 오프셋은 Bridge 오프셋 뿐 만아니라 온도변화 및 주변 환경에 의한 오프셋까지 포함하고 있다. 그러나 자기센서는 설치각도에 따라 출력전압이 변화하는 특성을 지니고 있다. 그리고 자기센서를 이용하는 자기센서는 전기적요인 및 저항 값에 따라 이득 오차가 발생한다. 자기센서를 사용하기 위해서는 설치각도 및 이득오차에 따른 출력 오프셋을 보정하여야 한다. 그림 4는 3개의 센서를 4cm 간격으로 자석으로부터 10cm의 높이에 설치하고 자석을 -40cm에서 +40cm까지 이동시켰을 때 수직성분자계의 출력을 나타낸다.

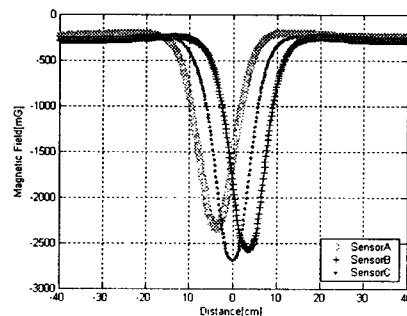


그림 4. 자기센서의 출력.

자계센서의 출력은 그림 4와 같이 자기센서의 설치각도 및 이득오차에 의한 오프셋을 포함하고 있기 때문에 적용되는 자계의 변화에 따라 일정한 출력을 나타내지 못 한다.

3. 지구자계를 이용한 보정방법

3.1 지구자계

지구자계는 그림 5와 같이 중심부에 N극이 남쪽을 향하고, S극이 북쪽을 향하도록 영구자석을 놓아 둔 것과 같은 자계분포를 나타낸다.

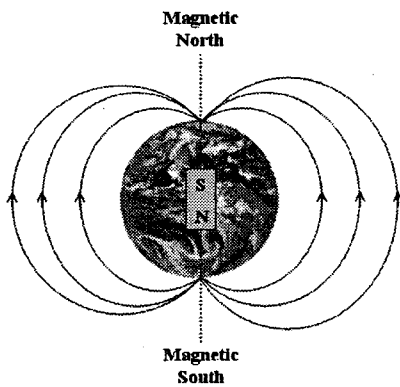


그림 5. 지구자계.

그림 6은 지구상의 임의의 지점의 지구자계 벡터성분(Be)을 직각좌표계에 나타낸 것이다. x, y축은 지구표면과 평행한 수평성분 벡터(Beh; Bex, Bey)이고, z축은 지표면으로부터 아래로 수직인 수직성분 벡터(Bez)이다.

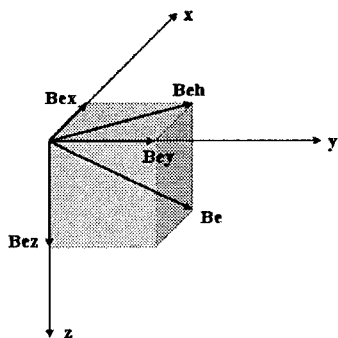


그림 6. 지구자계 벡터성분

이때 지구자계 벡터성분(Be)이 수평면을 기준으로 회전하게 되면 수직성분 벡터(Bez)는 변화하게 된다. Bez는 Be가 수평면과 평행하게 되었을 때 최소값을 나타내고, 수평면과 직교할 때 즉, z축과 평행하게 되었을 때 최대값을 나타내게 된다.

3.2 수직성분 자계의 보정방법

그림 7과 같이 자계센서를 지표면과 직교하는 방향으로 회전시키면 지구자계 벡터성분을 수평면을 기준으로 회전시켰을 경우와 동일한 효과를 얻을 수 있다.

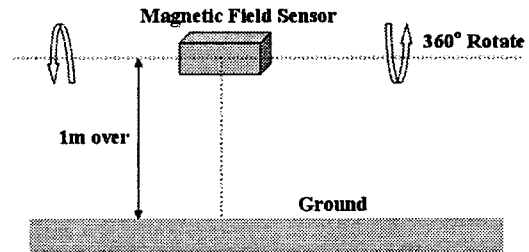


그림 7. 자계센서의 회전

그림 6에서 수평성분 벡터(Beh)와 지구자계 벡터(Be)가 이루는 각도를 θ 라 할 경우 수직성분 벡터(Bez)는 다음과 같은 수식으로 계산될 수 있다.

$$Bez = \sin \theta \times \sqrt{Be^2 - Beh^2}$$

대한민국의 평균 수직자계가 380[mG]이므로 그림 7과 같이 자계센서를 순수한 지구자계를 측정하기 위하여 지면으로부터 1m이상의 높이에 설치하고 360도 회전시킬 경우 수직성분 자계의 출력은 그림 8과 같이 나타난다.

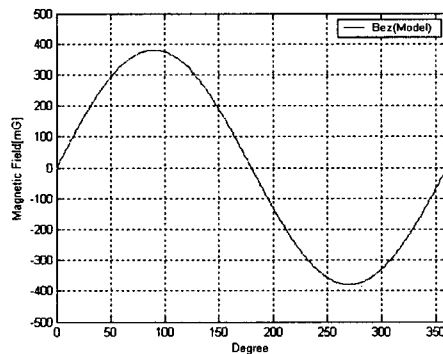


그림 8. 수직성분 자계의 출력 모델.

회전을 통해 측정된 지구자계의 수직성분 자계와 위의 모델에 의한 수직성분 자계를 비교하여 간단하게 설치각도 및 이득오차에 의한 자계센서의 수직성분 자계 출력 오프셋을 보정할 수 있다.

4. 실험 및 결과 고찰

4.1 수직성분 자계 보정장치

자계센서의 수직성분 자계의 보정을 위한 장치는 자계센서를 일정한 속도로 360도 회전시킬 수 있어야 하며, 센서의 출력이 지구자계

외에 주변자계의 영향을 받지 않도록 하여야 한다. 보정장치는 그림 9와 같이 모터, 회전축, 자계센서 고정부, 장치 제어기로 구성된다. 모터를 사용하여 자계센서를 정속으로 360도 회전시키며, 모터에서 발생하는 자계의 영향을 받지 않도록 센서를 모터로부터 1m 이상 되는 위치에 설치하였다. 그리고 지표면과 수평하도록 회전축을 설치하여 자계센서가 수평면을 기준으로 회전할 수 있도록 하였다.

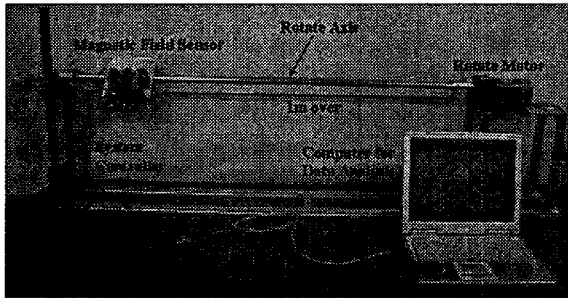


그림 9. 수직성분 자계 보정장치.

4.2 수직성분 자계 보정 실험

그림 9의 수직성분 자계 보정장치를 이용하여 자계센서를 360도 회전시켜 지구자계를 측정하였다. 그림 10은 보정 전의 자계센서의 수직성분 자계 출력 데이터이다. 모델과 비교하였을 때 각 센서에 이득오차와 0점 오프셋이 존재함을 볼 수 있다.

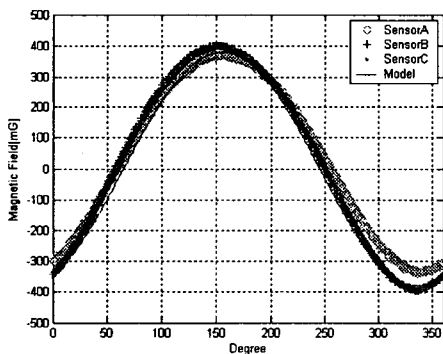


그림 10. 보정 전 자계센서의 출력.

그림 11은 이득과 오프셋을 보정한 후 측정된 데이터이다. 각 자계센서에 의해 측정된 데이터와 모델에 의한 데이터가 일치함을 볼 수 있다. 그림 12는 보정된 자계센서를 이용하여 그림 4와 동일한 조건으로 변화되는 자석의 자계를 측정된 데이터이다. 각 센서가 자계의 변화에 따라 동일한 출력을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 지구자계를 이용하면 자계센서의 수직성분 자계를 간단한 방법으로 보정할 수 있다.

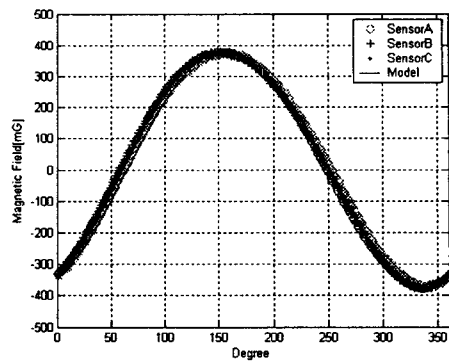


그림 11. 보정 후 자계센서의 출력(지구자계).

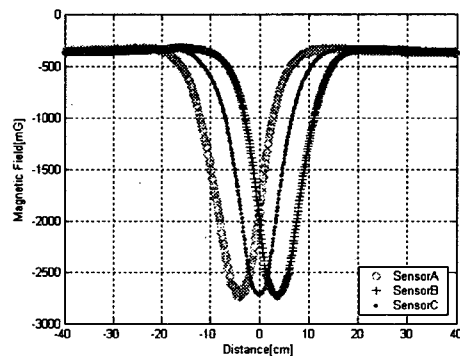


그림 12. 보정 후 자계센서의 출력(자석의 자계).

5. 결론

본 논문에서는 지구자계를 이용하여 3축 자계센서의 수직성분 자계를 보정하는 간편한 방법과 장치를 제안하였다. 자기센서의 설치각도 및 이득오차로 인해 발생하는 자계센서의 오프셋을 센서를 지표면과 수평한 축을 기준으로 360도 회전시켜 보정하였으며, 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 SSEC, <http://www.magneticsensors.com>
- [2] Solid State Electronics Center, "Handling Sensor Bridge Offset", Honeywell SSEC Application Note AN212.
- [3] Y.-Y. Jung, Y.-J. Ryoo, "Development of Intelligent Sensor for Magnetic Guidance System of Robot and Vehicle", ISIS2005, Proceedings pp. 159-164, September, 2005.
- [4] Thomas Stork, "Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52" Philips Semiconductors Application Note AN00022.