

자기환경필터를 이용한 자기표적 검출 시스템의 설계 및 제작

김원호*, 최인규**, 박종식**

Design and Implementation of the Magnetic Detection System
Using the Geological Magnetic Filter

Won-Ho Kim*, In-Kyu Choi**, and Jong-Sik Park**

요 약

본 논문에서는 자기 표적 검출시스템의 신호 대 잡음비 개선을 위하여 자기환경 필터를 설계하고 하드웨어로 구현하였다. 자기환경 필터를 이용하면 간섭성 잡음을 제거시켜 신호 대 잡음비를 개선시킬 수 있다. 시뮬레이션 결과 자기환경 필터는 간섭성 잡음을 소거시킬 뿐만 아니라 센서의 오배치에 의한 오차를 제거하고 지역적으로 국한된 규칙적인 잡음도 제거할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 자기표적 검출 시스템의 하드웨어를 설계, 제작하고 실험을 통하여 획득된 신호에 자기환경 필터 알고리즘을 적용할 경우 약 19dB 정도의 신호 대 잡음비 개선 효과를 확인하였으며 자기원 신호의 손상이 거의 없는 상태에서 간섭성 잡음을 제거할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we developed and implemented the geological magnetic filter for the improvements of the signal to noise ratio of the magnetic detection system. Using the geological magnetic filter, we can remove the coherent noises in the time domain and improve the signal to noise ratio of the magnetic detection system. Numerical simulation results show that geological magnetic filter can excellently remove the sensor misalignment effects and the regular short range local noise as well as it delete the coherent noises. We confirmed that the geological magnetic filter improved the signal to noise ratio about 19dB and deleted the coherent noises with restoring the source magnetic signal through experiments by implemented system.

1. 서 론

자동차나 배와 같은 물체는 강자성 물질로 구성되어 주위의 자기장을 변화시키기 때문에 일종의 자기원이 라 할 수 있으며 자기센서를 이용하여 자기장의 변화를 측정하면 이러한 자기원의 존재유무를 알 수 있다. 그러나 자기 센서를 통하여 측정된 신호에는 자기원에

의한 신호 이외에도 자기 잡음원에 의한 신호가 같이 포함되어 있다. 특히 원거리에서 자기원을 검출하기 위해 고감도의 센서를 사용할 경우 자기원을 제외한 주위 자기 잡음의 영향이 크기 때문에 센서 측정신호의 신호 대 잡음비를 향상시켜 주어야 한다. 자기 잡음원으로 작용할 수 있는 것으로는 센서신호 측정회로 자체에서 발생하는 잡음, 전원 및 기차선로 등 인공시 설물에 의한 잡음, 해수의 운동이나 태양 흑점의 운동에 의한 자기장의 왜곡, 자기 센서의 움직임에 의한 지구자기의 수평, 수직방향 성분의 잡음 등이 있다. 그

* 동의공업대학 전자과(Dept. of Electronics Eng.,
Donggeui Institute of Technology)

** 경북대학교 전자·전기공학부(Dept. of Electronics
& Electrical Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.)

<접수일자 : 1999년 2월 2일>

리고 자기장의 변화를 측정하여 자기원을 검출하고자 할 경우 지자기 미맥동장 또한 자기 잡음이라 할 수 있다.

이러한 잡음원들 중 원인 규명이 가능한 것들은 그 원인들을 제거해줌으로써 자기원 신호에 대한 잡음을 줄일 수 있다. 즉, 센서신호 측정회로 자체의 잡음은 자기장에 영향을 주지 않는 부품들을 사용하는 방법 등으로 잡음을 줄일 수 있으며 자기 센서의 움직임에 의한 신호의 왜곡은 경사측정장치(tiltmeter)를 사용하여 측정 신호를 보상하는 방법 등으로 그 영향을 줄일 수 있다. 그러나 원인을 제거할 수 없는 잡음원에 대해서는 신호처리 알고리즘을 이용하여 신호 대 잡음비를 개선시켜 주어야 한다.

본 논문에서는 자기 표적에 의한 자기 신호 대 잡음비를 개선하기 위하여 자기 검출센서와 기준센서로 이루어지는 복합 센서시스템을 구성하였다. 또한 자기환경 필터 시스템의 하드웨어를 설계, 제작하여 개발한 자기환경 필터 알고리즘을 적용하여 실험을 통하여 그 성능을 확인하였다.

II. 자기 환경 필터의 구성

센서에 의해 측정되는 지자기 미맥동장에는 원 신호(source field) 외에도 센서가 놓인 지형에 의해 반사되는 반사파(reflected field)가 포함된다. 반사파는 다른 위치에서 측정된 신호와 선형적인 관계를 가지는 간섭성(coherent) 성분과 측정하는 위치에 따라서 독특하게 발생하는 비간섭성(incoherent) 성분으로 나눌 수 있다. 비간섭성 성분은 반사파의 크기나 방향을 변화시키므로 센서가 놓인 위치에 따라 측정신호가 달라지게 된다. 자기장을 반사시키는 지형적인 영향은 두 채널의 입력과 선형성을 가지는 일종의 지형 필터라 할 수 있다.^[2]

Fowler는 실험을 통하여 각 축방향의 비간섭성 신호가 센서에서 측정되는 축방향 신호의 약 -30dB 이하 정도임을 확인하였다.^[11]

지형 필터 모델^[2]에서는 비간섭성 성분을 지형적인 영향에 따른 잡음으로 간주하였으나 자기원에 의해 발생하는 자기장의 변화가 각 센서에 미치는 영향이 다를 경우에도 비간섭성 성분이 발생할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 특성을 이용하여 자기원에 의한 자기장의 변화를 측정하여 자기원을 검출할 수 있

도록 신호 대 잡음비를 개선시키는 검출 센서와 기준 센서로 이루어지는 자기 환경 필터를 구성하였다.

자기 환경 필터의 구성을 그림 1에 나타내었다.

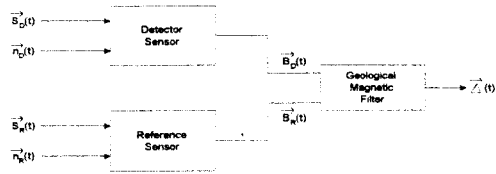


그림 1. 자기 환경 필터의 구성

Fig. 1. Configuration of the geological magnetic filter

그림 1에서 $\vec{S}_D(t)$ 와 $\vec{S}_R(t)$ 는 자기원에 의해 발생하는 자기장의 변화를 나타내며 $\vec{n}_D(t)$ 와 $\vec{n}_R(t)$ 는 지자기 미맥동장을 포함한 잡음 자기장을 의미한다. 기준 센서와 검출센서에서 측정되는 신호는 각각 두 성분의 합으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \vec{B}_D(t) &= \vec{S}_D(t) + \vec{n}_D(t) \\ \vec{B}_R(t) &= \vec{S}_R(t) + \vec{n}_R(t) \end{aligned} \quad (1)$$

$\vec{\Delta}(t)$ 는 기준 센서와 검출 센서에서 측정된 신호로 자기 환경 필터 출력을 구하여 얻어진다. 이러한 자기 환경 필터를 사용함으로써 지자기 미맥동장을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 공간상의 넓은 범위에 걸쳐서 일정한 영향을 미치는 자기 잡음원과 센서의 오배치(misalignment)에 의한 자기장의 변화 또한 제거할 수 있다. 자기장에 대한 지형적 영향은 주파수에 의존하므로 자기원 검출을 위한 자기 환경 필터 계수는 검출 센서와 기준센서에서 측정된 신호로부터 주파수 공간 상에서 상관 관계를 측정하여 구할 수 있다.

III. 극소자장 측정 시스템의 설계 및 제작

자기환경필터를 적용하여 극소자장을 측정하기 위해 설계 및 제작된 시스템은 그림 2와 같다. 자기환경필터 알고리즘을 적용하여 신호 대 잡음비를 개선하기 위해서는 두 개의 3축 센서에 입력되는 환경/표적 신호는 동일한 시점에서 측정되도록 동기화하여 지자장 일변화와 같은 공통적으로 변화하는 자기장 성분을 제거하는 것이 필요하다. 또한 2조의 센서가 설치된 곳에서 측정된 신호를 원거리 전송하기 위해서는 아날로그 신

성분과 그 고조파 성분들을 볼 수 있으며 백색 잡음 및 $1/f$ 잡음 특성 또한 관찰할 수 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 검출센서와 기준센서에서 측정된 자기장은 높은 상호 연관성을 갖고 있음을 알 수 있다.

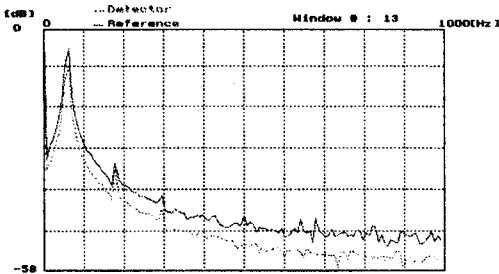


그림 5. 자기원이 없는 경우 검출 센서와 기준센서 z축 성분의 주파수 스펙트럼

Fig. 5. Frequency spectrum of z-axis component of reference and detector sensor without magnetic signal source

자기원이 없는 경우의 측정 신호를 이용하여 구성한 필터 계수 중 검출 센서의 z축 성분을 위한 필터 계수를 그림 6에 나타내었다. 기준 센서의 z축 성분에 가장 영향을 받음을 관찰할 수 있다.

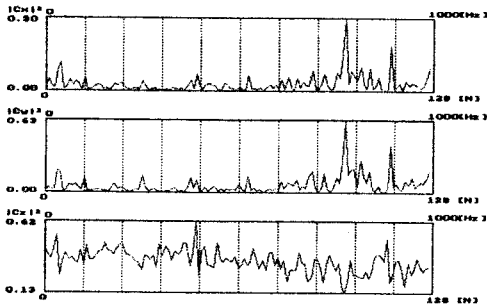


그림 6. 검출 센서 z축 성분을 위한 자기환경필터 계수
Fig. 6. Geological magnetic filter coefficient for z-axis component of detector sensor

그림 7은 자기원이 없는 경우의 검출 센서 출력 파형과 자기 환경 필터 출력 파형을 나타내며 이 중 검출 센서와 필터 출력의 z축 성분의 주파수 스펙트럼은 그림 8과 같다. 센서의 불완전한 오프셋 조정과 오배치에 의한 DC성분이 제거되고 또한 전원에 의한 60Hz

잡음 성분이 제거되었음을 확인할 수 있다. 검출 센서의 z축 성분의 평균 DC 오프셋은 $-1.37nT$ 이고 $3.52nT$ 의 RMS(root mean square)를 갖는데 반해 자기 환경 필터의 출력 신호의 경우 평균 오프셋은 $0.04nT$ 이며 RMS는 $0.39nT$ 이다. 따라서 자기 환경 필터의 신호 대 잡음비 개선 이득은 $19.1dB$ 임을 알 수 있다.

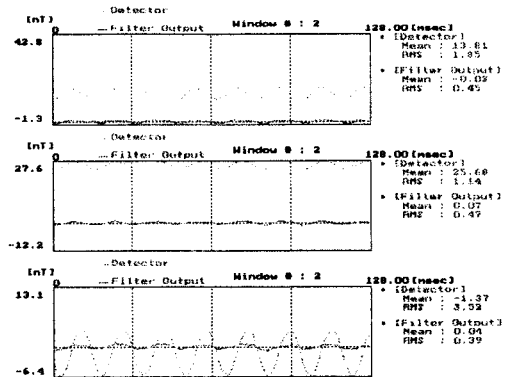


그림 7. 자기원이 없는 경우의 검출 센서 측정 파형과 자기 환경 필터 출력 파형

Fig. 7. Measured waveform of detector sensor and GMF output signal without magnetic source

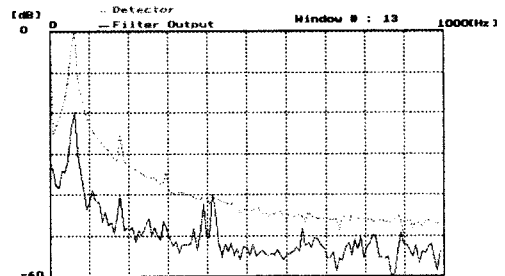


그림 8. 검출 센서 측정 신호와 자기 환경 필터 출력 신호 z축 성분의 주파수 스펙트럼

Fig. 8. Frequency spectrum of z-axis component of detector sensor and GMF output signal

2. 자기원이 존재할 경우

500Hz와 30Hz의 자기장 신호를 발생시키는 자기원이 있는 경우의 측정 데이터를 이용하여 자기 환경 필터에 의한 자기원 신호복원 효과를 검증하였다. 그림 9는 검출 센서와 기준센서에 의해 측정된 신호의 파형을 나타낸다. 이 경우의 자기 환경 필터의 출력과 검출 센서에서 측정된 신호를 그림 10에 나타내었다. 자기

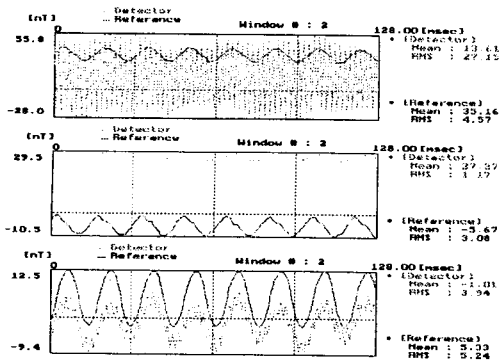


그림 9. 자기원 존재시 검출 및 기준 센서의 측정 파형
 Fig. 9. Measured waveform of reference and detector sensor when magnetic signal source exists

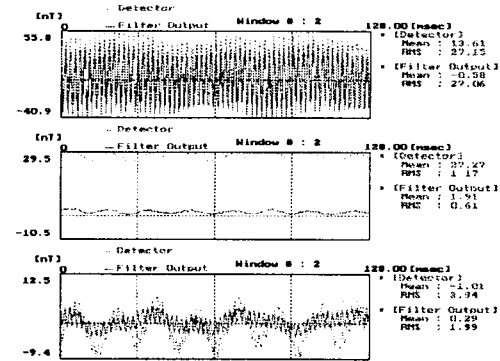


그림 10. 자기원이 존재할 경우의 검출 센서 출력 파형과 자기 환경 필터 출력 파형
 Fig. 10. Measured waveform of detector sensor and GMF output signal when magnetic signal source exists

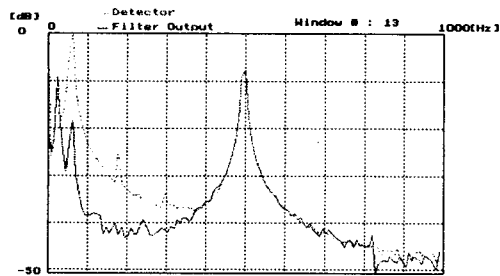


그림 11. 자기원이 존재할 경우의 검출센서 측정신호와 필터 출력 신호 z축 성분의 주파수 스펙트럼
 Fig. 11. Frequency spectrum of z-axis components of detector sensor and GMF output signal when magnetic signal source exists

환경 필터를 통하여 잡음을 제거하고 깨끗한 자기원에 의한 신호를 검출함을 볼 수 있다. 검출 센서 측정신호와 필터 출력 신호의 z축 성분의 주파수 스펙트럼을 나타내는 그림 11에서 자기원 신호는 거의 손상을 받지 않으면서 나머지 간섭성 잡음을 제거하는 것을 확인할 수 있다.

3. 자기원을 이동한 경우

그림 12는 자기원을 북쪽으로 25 cm 이동한 경우의 검출 센서 파형과 자기 환경 필터 출력 파형을 나타낸다. 자기원의 이동에 따른 필터 출력의 DC 평균값의 변화를 알 수 있다.

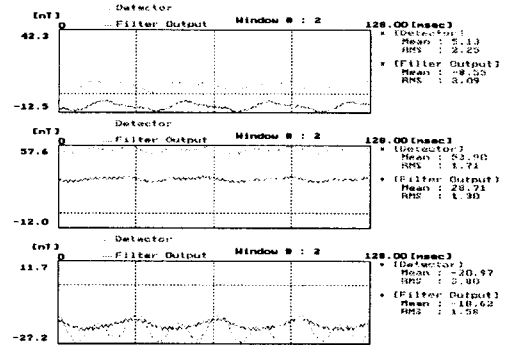


그림 12. 자기원을 북쪽으로 25cm 이동한 경우의 검출 센서 측정 파형과 자기 환경 필터 출력 파형
 Fig. 12. Measured waveform of detector sensor and GMF output signal when magnetic signal source moved toward north about 25cm

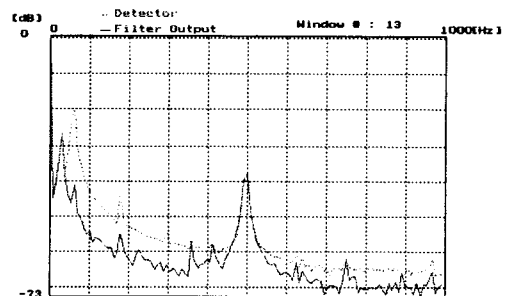


그림 13. 자기원을 북쪽으로 25 cm 이동한 경우의 검출 센서 측정 파형과 자기 환경 필터 출력 z축 성분의 주파수 스펙트럼
 Fig. 13. Frequency spectrum of z-axis components of detector sensor and GMF output signal when magnetic signal source moved toward north about 25cm

그림 13은 검출 센서 과정과 자기 환경 필터 출력의 z축 성분의 주파수 스펙트럼을 보여준다. 자기원이 이동된 경우에도 자기 환경 필터를 이용하면 자기원 신호의 손상이 없이 간섭성 잡음이 제거되는 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 자기장의 변화를 감지하여 자기원의 존재유무를 판단하고 또한 표적의 위치를 파악할 수 있는 센서 시스템에서 측정 위치에 따른 자기장 사이의 선형적인 상관관계를 이용하여 신호 대 잡음비를 개선할 수 있는 자기 환경 필터를 설계하고 이를 바탕으로 자기표적 검출 시스템을 구현하여 그 성능을 확인하였다. 자기 환경 필터는 검출 센서와 기준 센서에서 측정된 신호로부터 주파수 공간상에서 상관 관계를 측정하여 필터를 구성한 후 기준 센서에서 측정되는 신호로 검출 센서에서 측정된 신호를 보상하도록 하였다. 시뮬레이션을 통하여 알고리즘이 정상적으로 동작함을 검증하였으며 부수적으로 센서의 오배치를 보정시켜 주는 효과를 확인하였다. 또한 자기환경 필터의 하드웨어를 설계, 제작하고 실험을 통하여 획득된 신호에 자기환경 필터 알고리즘을 적용할 경우 약 19dB 정도의 신호 대 잡음비 개선 효과를 확인하였으며 자기원 신호의 손상이 거의 없는 상태에서 간섭성 잡음을 제거할 수 있음을 확인하였다.

VI. 참고 문헌

- [1] Brooks Carlton Fowler, "A Study of the Geomagnetic Micropulsations Using Gradio-magnetic Techniques," *Ph. D. dissertation*, The University of Texas Austin, 1973.
- [2] W.H. Kim and J.S. Park et. al., "A Theory of the Geological Magnetic Filter for the Improvement of the Signal to Noise Ratio of the Magnetic Detection System," *Journal of the Korean Sensors Society*, Vol. 6., Nov. 1997.
- [3] Heinz-Otto Peitgen and Dietmar Saupe, *The Science of Fractal Images*, Springer-Verlag New York Inc., 1988.
- [4] O.V. Nielsen et. al., "Analysis of Fluxgate Magnetometer Based on Metallic Glass Sensors," *Meas. Sci. Tech* 2, pp. 435-440, 1991.
- [5] O.V. Nielsen et. al., "A New Amorphous Ribbon Fluxgate Sensor Based on Torsional-creep-induced Anisotropy," *IEEE Trans. MAG-26*, pp. 276-280, 1990.
- [6] *APS520A Operation Manual*, Applied Physics System.

著 者 紹 介

김원호

『센서학회지 제6권 제6호』 논문 97-6-6-05, p.36 참조
 현재 동의공업대학 전자과 조교수

박종식

『센서학회지 제5권 제3호』 논문 96-5-3-07, p54 참조
 현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수

최인규

『센서학회지 제6권 제6호』 논문 97-6-6-05, p.36 참조