

차량감지를 위한 이방성 자기저항센서 모듈의 설계

(Design of Anisotropic Magnetoresistance Sensor Module for Vehicle Detection)

최학윤* · 이형일**

(Hak-Yun Choi · Hyeong-II Lee)

Abstract

This paper is about the design of 3-axis magnetic sensor module which detects parking and moving vehicle. For the sensor module, MR Sensor from Honeywell of which maximum measurement range is ± 2 [G] is used. It also consisted of amplifier and sensor filter and fabricated 30×50 [mm] PCB. Fabricated sensor module produced helmholtz coil of which the length is 1.2[m] of 3-axis to know the performance. It installed sensor module at the center and measured the detected magnetic field. In result, 3-axis were detected as 0.2~0.3[mG] and the drift of the fluctuation of magnetic field was stabilized at 0.03[mG] unit. For the performance evaluation of the vehicle detection, after the entry and parking of the vehicle, variation of magnetic field was measured as 0.323~0.695[G] which the average 0.5[G] of the earth magnetic field was the center and the range of variation was confirmed as 0.37[G]. Therefore, the designed magnetic sensor can be used as the vehicle detection sensor module.

Key Words : AMR, Magnetic Sensor, EMF, Helmholtz Coil

1. 서 론

자기장을 변화시키면 전기저항이 변화하는 강자성 박막의 자기저항 효과를 이용하여 자기장을 측정하는 연구가 1966년에 Hebbert R.S와 Schwee L.J[1]에 의하여 처음 시도되었으며 그 후 여러 연구자에 의하여 현재도 진행되고 있다.

자기센서는 특정 물리, 화학량을 전기신호로 변환시

키는 기능을 수행하며 에너지원으로부터 발생된 신호인 음향, 진동, 가속도 센서와는 다르게 차량, 금속물질, 자석 등에 의한 지구자기장(EMF : Earth Magnetic Field)의 변화를 벡터로 감지한다[2]. EMF는 지역적으로 0.2~0.8[G]의 크기로 분포하며, 우리나라는 평균적으로 0.5[G]가 발생한다. EMF는 건물이나 자성체등에 영향을 주며 차량과 같은 자성체 주변에서는 자기장이 집중되거나 분산되는 교란현상을 발생시킨다. 이러한 교란 자기장의 변화를 감지할 수 있다면 차량의 존재유무를 감지할 수 있다. 특히 대부분의 차량은 외부와 차량하부가 철 금속(ferrous metal)으로 구성되어 있다. 따라서 자기센서는 차량과 같은 자성체를 감지하는 센서로는 아주 적합하고 주위 환경

* 주저자 : 김포대학 IT학부 부교수
** 교신저자 : 김포대학 IT학부 부교수
Tel : 031-999-4141, Fax : 031-999-4775
E-mail : hychoi@kimpo.ac.kr
접수일자 : 2011년 7월 5일
1차심사 : 2011년 7월 9일
심사완료 : 2011년 8월 2일

에 영향을 받지 않아 매우 유리하다[3].

실외에서 이동 중이거나 정지된 자동차를 인식하는 센서는 외부의 날씨변화 및 먼지, 전자파 간섭환경 등 매우 열악한 환경에서 사용되므로 극한적인 환경 하에서도 신뢰성을 유지할 수 있도록 내구성과 내환경성도 가져야 한다. 현재 주차나 이동 중인 차량과 같은 위치정보 탐지는 루프나 적외선 감지센서를 이용하여 차량의 유무 및 크기를 측정하는 시스템이 개발된 바 있으며, 진동이나 음향, 초음파, 레이저 감지기 및 자기센서를 활용한다[4]. 이중 루프감지기는 지중 매설 식으로 도로 훼손 면적이 넓고 도로의 열팽창 및 물리적 변화에 민감하여 감지 정확도가 떨어지고 유지보수 등에 많은 문제가 발생한다[5]. 또한 음향 및 진동센서는 이중 등방성을 가져 공간적 정보획득이 용이하지만 주위 환경의 영향을 많이 받는다. 한편 자기센서는 상대적으로 주위환경에 영향을 적게 받지만 비등방성 특성으로 인하여 센서와 차량의 종류와 방향에 따라 매우 상이한 출력을 나타내어 공간적 분석이 어렵고 실제 적용에는 어려움이 있다고 알려져 있다[6]. 실제 UC-Berkely에서는 기존 루프 센서와 자기센서를 사용하여 도로의 통행량분석을 위한 실험이 이루어졌으며, North Carolina대학에서는 주차장 출입게이트 상단에 자기저항 센서를 설치하여 출입 차량의 수를 파악하고, 주차장의 주요 통행로에 센서를 설치함으로써 주차중인 차량의 수를 파악하는 것이 가능함을 발표한 적이 있다[7].

본 연구는 정지 및 이동 중인 차량에 대하여 3축의 EMF변화를 감지할 수 있는 센서모듈에 관한 내용이다. 센서 설계를 위해서 2개(1축, 2축)의 하니웰사의 자기저항(MR : Magnetoresistance)센서를 사용하고 증폭회로 및 저역통과필터(LPF)를 구성하여 PCB 작업을 하였다. 제작된 센서모듈의 성능 평가를 위해 3축의 길이가 1.2[m]인 헬름홀츠코일을 제작하여 중심부에 센서모듈을 설치하고 센서 특성실험을 하였다. 실험은 증폭기를 이용하여 1[App]의 전류를 코일에 인가하고, 센서출력을 오실로스코프로 측정한 후 A/D 카드를 거쳐 컴퓨터로 측정하였다. 측정결과 3축은 각각 0.2~0.3[mG]로 측정되었고, 0.03[mG] 단위에서 움직임이 안정되었다. 차량을 이용한 실험에서는 EMF

평균치 0.5[G]에 대하여 차량이 진입할 때 0.32[G], 차량이 정지할 때 0.69[G]의 자기장 변동을 감지하여 센서모듈에 대한 성능과 유용성을 확인하였다.

2. EMF와 AMR센서

차량은 100여개 이상의 자석관련 부품들이 사용되며 엔진과 트랜스미션으로 이루어진 파워트레인, 브레이크, 현가 및 조향장치를 포함하는 새시(chassis), 그 외의 나머지 부분은 차체로 분류한다. 이러한 차량은 차체나 엔진블록 같은 금속성 재질이 EMF를 압축시키는 역할을 하는데 이 압축된 자기장을 센서를 이용하여 감지할 수 있다면 차량의 위치와 이동경로 및 주변 정보를 파악 할 수 있다. 그림 1은 차량에 의해 변형된 EMF를 보여준다. 여기서 변형된 EMF를 정량적으로 측정하기 위해서는 자기센서가 필요하며 자성체의 전기적 저항이 자화방향과 전류의 방향에 따라서 변화하는 탐지가능 자기장의 범위는 $10^{-8} \sim 10^2$ [G]의 범위로 알려져 있다[8]. 자기센서의 출력은 3축으로 나타낼 수 있고, 각 축은 물체의 진행방향, 센서의 방향에 따라 서로 직교하는 출력을 나타낸다.

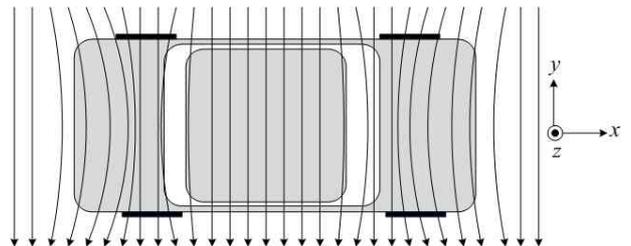


그림 1. 차량이동에 의해 변형된 지구자기장
Fig. 1. Modified Earth Magnetic Field by Vehicles Moving

자기센서는 응용범위에 따라 그 종류가 다양하며 자기 현상으로 분류하면 자속의 시간변화율에 비례하여 기전력을 발생시키는 방식, 홀 효과를 이용하는 방식, 감지코일의 인덕턴스 변화와 와전류효과를 이용하는 방식, 자기저항변화효과를 이용한 방식 등이 있다[9].

이방성자기저항(AMR : Anisotropic Magnetoresistance)센서는 자성체에 의한 EMF의 변화를 감지

할 수 있다. 자기저항효과는 자성체의 전기적 저항이 자화방향과 전류의 방향에 따라서 변화하는 현상을 이용한 것으로 센서의 소형화가 가능하고, IC화할 수 있는 장점을 가지고 있어서 다양한 응용분야에 활용되고 있다. 그림 2는 자기저항센서의 기본구조를 나타낸다[10].

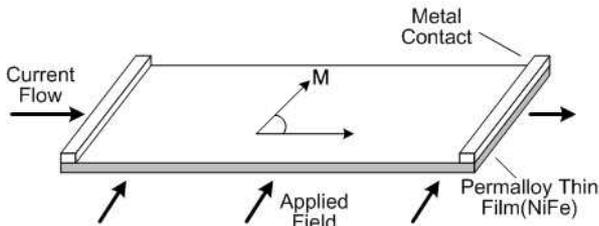


그림 2. MR센서의 기본구조
Fig. 2. Principle structure of MR sensors.

그림 3은 휘트스톤 브리지형태를 갖는 자기저항을 나타낸다. 그림에서 브리지 전압 V_b 에 의해 저항에는 전류가 흐르고, 4개의 브리지저항 값은 모두 동일하다. 외부에서 가해진 자기장은 전기저항의 변화를 가져오고 출력을 전압신호로 변환할 수 있다.

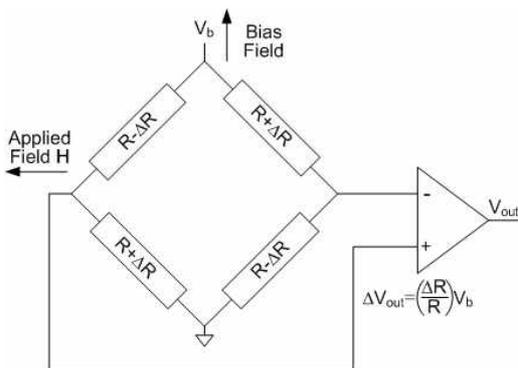


그림 3. 휘트스톤 브리지 형태의 자기저항
Fig. 3. Wheatstone Bridge in the form of Magnetoresistance.

3. 자기센서모듈의 설계 및 성능평가

3.1 자기센서 모듈 설계

하니웰사의 AMR센서는 자기저항 효과를 이용한

휘트스톤 브리지형 이방성 자기센서로 자성체 탐지분야에 효과적이다. 특히 RS-232를 이용하여 PC로 직접 데이터를 전송할 수 있고, 무선모듈을 부착할 경우 감지된 자기장의 무선전송이 가능하다. 또한 IC에 내장된 Ni, Fe등의 강자성체 금속은 특정 방향의 외부 자기장 강도에 따라 방향과 크기를 검출할 수 있다.

본 논문에서 설계할 센서모듈은 1[μ s] 이하의 응답속도를 갖고 미세한 자성체의 변화도 정확한 감지할 수 있도록 0.1[mG] 이하의 분해능을 목표로 한다. 센서는 하니웰사의 MR센서(HMC1001/HCM1002)를 이용하여 증폭기 및 LPF(Low Pass Filter)등을 구성하여 PCB작업을 하였다. 각 소자의 전기적 특성은 표 1과 같다[10].

표 1. HCM1001/1002의 전기적 특성
Table 1. Electric Specification of HCM1001/1002.

특 성	HCM1001(1축) /1002(2축)
Measuring Magnetic Field Range	± 2 [G] (cf : EMF 0.5[G])
Bridge Supply Voltage	5~12[V]
Sensitivity(mV/V/gauss)	2.5~4.0
Bridge Offset	-15[mV]
Resolution(μ gauss)	27
Bandwidth	DC~5[MHz]

일반적으로 EMF의 크기는 0.5[G]정도의 매우 작은 크기이기 때문에 자성체가 근접하였을 때의 EMF 변화량도 미약하다. 즉 자기센서의 저항 값의 변화에 따른 전위차는 미소하기 때문에 이 신호를 확장시키기 위한 증폭기가 필요하다. 즉 센서 브리지전압을 5[V]라 하고 EMF를 0.5[G]라고 하면 센서출력은 3[mV] 정도여서 이 신호를 A/D 처리하기 위해서는 3[V]이상의 증폭이 필요하다. 본 설계모듈에서는 100[μ V]의 낮은 오프셋전압과 0.2[μ V/°C]의 낮은 드리프트 특성을 갖는 OP213 증폭기를 직렬 2단으로 구성하여 1000배 이상 증폭을 하였다. 1차 증폭은 오프셋을 조정하기 위해 3핀 트리머 저항을 연결하여 외부에서 저항을

차량감지를 위한 이방성 자기저항센서 모듈의 설계

조정할 수 있도록 하였으며, 2차 증폭은 감도조정을 위한 저항을 연결하여 구성하였다.



그림 4. 제작된 자기센서모듈의 회로기판 및 실장부품
Fig. 4. PCB and Mount Component of Magnetic Sensor Module.

센서필터는 검출파형과 함께 존재하는 고주파 성분을 제거하기 위하여 다중귀환 LPF를 사용하였다. 자기센서의 출력은 자체의 오프셋전압, 지구자기장의 직류성분 및 1000[Hz]이상의 주위 잡음 자기장도 출력되므로, LPF에서 오프셋전압 및 순수한 직류성분은 센서와 병렬로 커패시터로 차단하고 교류잡음을 제거하였다. 그림 4는 제작된 자기센서 모듈의 PCB 기판을 나타낸다.

3.2 자기장발생코일 설계

자기센서의 성능을 측정하기 위해서는 센서가 3축의 자기장을 감지할 수 있도록 센서 외부에서 자기장을 발생시키는 자기장 발생코일이 필요하다. 자기장 발생코일 중 사각형 헬름홀츠 코일을 그 중앙에 자기장이 분포하고 비교적 넓은 작업공간을 제공해주는 장점이 있어 아주 적합하다[11].

그림 5와 같이 두 개의 사각형 코일이 z축을 따라 마주 보고 있고 전류 I 가 흐를 때 중심점 $z(0,0,0)$ 에서의 자속밀도 B_z 은 다음과 같이 표현된다.

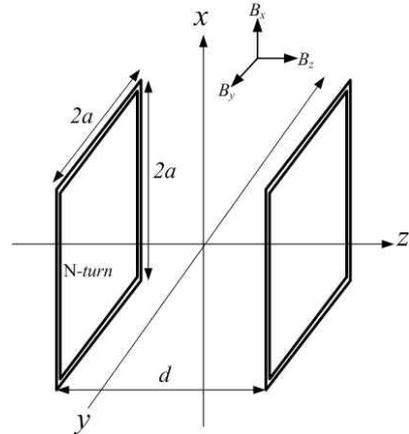


그림 5. 사각형 헬름홀츠 코일
Fig. 5. Geometry of Rectangular Helmholtz Coil.

$$B_z = \frac{4a^2\mu_0NI}{\left[\left(\frac{d}{2}\right)^2 + a^2\right]\sqrt{2a^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}} \quad (1)$$

여기서 $2a$ 은 코일의 직경[m]이고, N 는 코일의 권선 수, d 은 두 코일간의 거리[m], I 는 코일에 인가된 전류[A]이다. 또한 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]이다. 헬름홀츠 코일은 제작 및 작업의 편의성을 위하여 $2.5[\text{mm}^2]$ 의 전선을 이용하여 3축의 크기가 각각 $1.2[\text{m}]$ 인 나무막대에 16[회]의 코일을 감아 제작하였다. 제작된 코일에서 발생하는 자기장의 세기는 Biot-Savart법칙을 이용하여 근사화하면 다음과 같다[12].

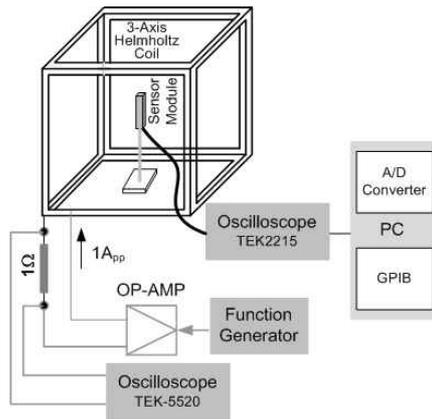
$$B_z = \left(\frac{1600}{D^2 + L^2} + \frac{1600}{D^2 + W^2}\right) \frac{LWN I}{\sqrt{L^2 + W^2 + D^2}} [\mu T] \quad (2)$$

여기서 W, L 은 코일의 치수[mm], D 는 두 코일간의 거리[mm], N 는 각 방향에서 코일 권선 수, I 는 코일의 흐르는 전류[A]이다. 코일의 전류가 1[A] 라면 코일의 중심에서의 자기장은 $0.123[\text{G}]$ 이다.

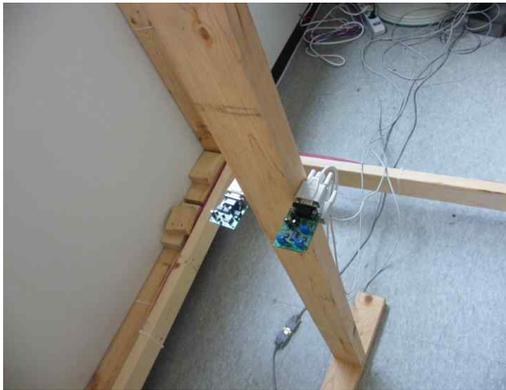
3.3 자기센서모듈의 성능평가

자기센서 모듈의 성능을 평가하기 위하여 그림 6과 같이 자기장발생코일의 중심부에 센서모듈을 설치하고 감지하는 자기장을 측정하였다. 코일에는 함수발

생기의 출력을 1[A_{pp}]로 증폭시켜 코일에 인가한 후 자기장을 발생시켰다. 그리고 감지된 센서출력은 오실로스코프로 측정한 후 16비트 A/D 카드를 거쳐 컴퓨터로 관찰하였다. 그림 6은 헬름홀츠 코일을 이용한 자기센서 성능실험을 나타낸다.



(a) Configuration of Sensor Module measurement



(b) Photography of Sensor Module measurement

그림 6. 헬름홀츠 코일을 이용한 자기센서모듈 성능실험
Fig. 6. Magnetic Sensor Module performance test using Helmholtz Coil

그림 7은 직류자기장의 측정값을 나타낸다. x, y, z 의 각축의 감지 자기장의 평균치는 0.0502[G], 0.091[G], 0.0685[G]로 측정되었으며 전체크기는 0.124 [G]로 측정되었다. 여기서 0.124[G]는 설계치 0.123[G]와는 거의 일치하는 결과를 나타냈다. 또한 x 축의 자기장 변동치는 0.3[mG] (0.0504~0.0501[G]), y 축은 0.2[mG] (0.0903~0.0901[G]), z 축은 0.2[mG] (0.0685~0.0687[G]) 정도

의 미약한 자기장의 변동을 감지되었고 0.03[mG]의 범위에서 움직임이 안정되었다. 따라서 센서모듈의 분해능은 0.03[mG] 이하임을 확인할 수 있었다. 그림에서 미약한 자기장의 변동은 주변에 자성 재료의 이동이 발생되고 있는 상황이라 할 수 있다. 본 측정이 진행되고 있는 건물은 실험실로 철로 된 의자 또는 이동 카트, 모터의 이동 등 자성 재료의 위치가 변동되어지고 있다는 증거이다. 실제로 센서로부터 1[m] 떨어진 거리에서 작은 금속 조각을 흔들었을 때 같은 주기의 자기장 변동이 감지되었다.

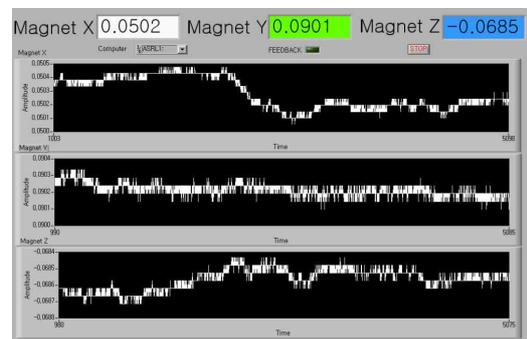


그림 7. 자기센서모듈의 직류자기장 감지신호
Fig. 7. Detected DC Magnetic Signal of Magnetic Sensor Module

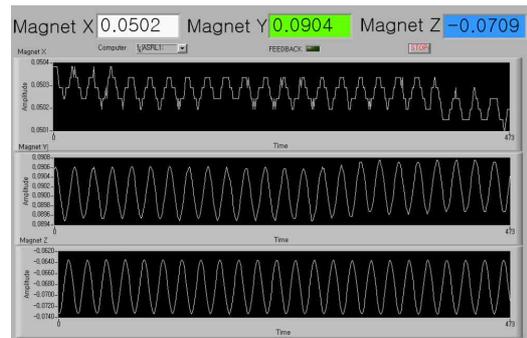


그림 8. 자기센서모듈의 2[Hz] 자기장 감지신호
Fig. 8. Detected 2[Hz] Magnetic Signal of Magnetic Sensor Module.

그림 8은 코일에 2[Hz]의 교류신호를 공급한 후 센서에 감지되는 측정 자기장이다. 측정결과 자기장변동 최대치는 x 축은 0.2[mG], y 축은 1.0[mG], 그리고 z 축은 11[mG] 정도로 측정되고 있으며 3축 모두 진동

현상을 보이고 있다. 여기에서 x, y 축이 z 축에 비해 작은 자기장이 감지되는 것은 센서의 구조상 각 축의 방향이 코일과 정 방향으로 일치되지 못하고 있기 때문으로 판단한다.

3.4 차량감지 성능평가

철을 포함한 차량이 있는 경우, EMF의 자속이 집중되거나 분산되는 현상이 발생하는데, 차량 근처에 있는 자기센서는 이 변형된 자기에 의해 영향을 받게 된다. 하지만 자기센서의 위치가 차량의 표면과 내부에 있지 않기 때문에 차량에 미치는 자속밀도의 변화와는 일치하지는 않는다. 이러한 점은 자기장을 감지하는데 있어 장점이 될 수도 단점이 될 수도 있다. 만약 차량탐지 거리가 가장 중요하다면, 기하급수적으로 변화하는 자속의 변화는 단점이 될 수 있고, 달리는 차량의 인접 차로와 주차 응용에서는 장점이 될 수 있다.

그림 9는 차량이 이동시 EMF의 변화를 측정하는 그림이다. 그림에서 보면 각 축의 신호 형상은 차이가 있다. 센서의 상단을 통과한 차량의 x, y 축은 복잡한 침두치를 가지고, 측면부분인 z 축은 단 하나의 침두치를 보여주고 있으며 각 축간 그 세기의 변화가 명백히 다른 양상을 보여준다. 측정결과 센서모듈의 각 축은 0.5[G]의 EMF 평균치에 대해 0.132~0.195[G], 0.050~0.150[G], 0.291~0.650[G]의 변화치를 보였으며 주차 전 0.323[G]에서 주차 후 0.595[G]로 약 0.37[G]의 자기장 변동치를 얻을 수 있었다.



그림 9. 차량의 진입과 주차 후 자기장 측정치
Fig. 9. Magnetic Field measurement for Vehicle Entry and Parking

표 2. 차량감지에 대한 지구자기장 측정치
Table 2. Measured EMF for Vehicle Detection.

	자기장 평균치[G]	차량주차전 [G]	차량주차후 [G]
x 축	0.193	0.132	0.195
y 축	0.105	0.050	0.150
z 축	0.492	0.291	0.650
크기	0.539 (53.9 μ T)	0.323 (32.3 μ T)	0.695 (69.5 μ T)

5. 결 론

주차관리와 같은 차량 존재유무의 탐지는 적외선 감지센서를 이용하여 차량의 크기를 측정하고 위치감지 및 유도서비스를 제공하는 시스템이 개발된 바 있으며 감지센서로 진동이나 음향, 초음파, 레이저 및 자기센서를 이용하기도 한다. 하지만 실외의 이동 중이거나 정지된 차량을 인식하는 센서는 외부의 날씨변화 및 먼지와 전자파 간섭환경 등 매우 열악한 환경에서 사용되므로 극한적인 환경 하에서도 신뢰성을 유지할 수 있도록 내구성과 내환경성도 가져야 한다.

본 논문에서는 정지 및 이동차량과 같은 자성체 탐지를 위해 30×50[mm] 크기의 3축 자기센서 모듈을 설계하였다. 이를 위해서 최대 측정범위가 ± 2 [G]인 하니웰사의 MR센서를 이용하여 증폭회로 및 센서필터 등을 구성하여 PCB를 제작하였다. 제작된 센서모듈의 성능을 알아보기 위해 3축의 길이가 1.2[m]인 자기장 발생코일을 제작하여 중심부에 센서를 설치하고 감지되는 자기장을 측정하였다. 측정결과 3축은 각각 0.2~0.3[mG]로 측정되었고, 센서의 분해능을 결정하는 자기장의 변동은 0.03[mG] 단위에서 움직임이 안정되었다. 차량감지 성능평가에서는 차량의 진입과 주차 후 자기장의 변화가 지구자기장의 평균치 0.5[G]를 중심으로 0.323~0.695[G]로 측정되었고 약 0.37[G]의 변동폭을 확인할 수 있었다. 따라서 설계한 센서모듈은 차량감지 센서로 활용될 수 있다고 생각된다.

향후 연구로는 센서 모듈의 센서네트워크 적용을 위해 무선 송수신 모듈을 적용하고, 차량별 EMF변화 형상을 분석하여 차량 존재유무 이외의 차량종류별 감

지를 위한 연구가 필요할 것이다. 또한 옥외 및 주차 타워의 엘리베이터 및 전력선등의 자기잡음이 센서 성능에 주는 영향, 인접한 대형차량에 따른 간섭신호 판별을 위한 연구가 필요할 것이다.

본 논문은 2011학년도 김포대학 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Hebbert, R. S. Schwee, L. J. "Thin Film Magnetoresistance Magnetometer." Review of Scientific Instruments, Vol.37, pp.1321-1323, 1966.
- [2] 김기태외 3인, "이동 물체 탐지를 위한 자기센서 응용 신호처리 기법." 전자공학회, 제 46권 SP편 제6호, pp.870-879, 2009.11.
- [3] 손대락, "자기센서의 원리와 응용." 한국자기학회, Vol.7, No.6, pp.334-339, 1997.12.
- [4] 유영제외 3인, "자기센서 기반의 자율주행차량의 도로방향 인식." 전기학회, Vol.52D, No.9, pp. 526-531, 2003.9.
- [5] Henry R. Samey, "Method and apparatus for analyzing traffic and a sensor therefore." USA, Patent Number 5,877,705 Mar.1999.
- [6] 김기태외 1인, "센서네트워크 응용을 위한 AMR 자기센서의 공간적 출력신호 모델연구." 전자공학회 하계종합학술대회, 제31권 제1호, pp.953-954, 2008.
- [7] Ding, Jiagen, Cheung, Sing-Yiu, Tan, Chin-woo, Varaiya, Pravin, "Vehicle Detection by Sensor Network Nodes." Research Reports, UC Berkeley, Oct.2004.

- [8] 김홍규외 1인, "Ad-Hoc 센서 네트워크상에서 MySQL을 활용한 자성체 이동경로 추적에 관한 연구." 한국인터넷 정보학회 제6권 제1호, pp.279-283, 2005.6.
- [9] 이선호외 4인, "위성 자세제어용 자기센서의 개발." 한국항공우주학회, KSAS03-2155, pp.288-291, 2004.
- [10] Honeywell, 1 and 2-axis magnetic sensors, HMC 1001/1002 and 1021/1022, Datasheet 900248.
- [11] 최학윤, "와전류에 의한 저주파 자기장 차폐 성능 평가." 한국조명전기설비학회, Vol.24, No.9, pp.124-128, 2010.9.
- [12] 이근형, "저주파의 전자기와 차폐실 설계 및 성능평가에 관한 연구." 아주대학교 대학원 전자공학과, pp.9-15, 2007.2.

◇ 저자소개 ◇



최학윤(崔學潤)

1963년 4월 21일생. 1985년 숭실대학교 전자공학과 졸업. 1987년 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1999년 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1996년~현재 김포대학 IT 학부 부교수.



이형일(李亨一)

1960년 11월 2일생. 1985년 명지대학교 전자계산학과 졸업. 1994년 명지대학교 대학원 전자계산학과 졸업(석사) 2000년 명지대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1997년~현재 김포대학 IT 학부 부교수.