

자기신호분석을 통한 차량의 감지센서와 자기형상에 관한 연구

최 학 윤*

Magnetic Signals Analysis for Vehicle Detection Sensor and Magnetic Field Shape

Hak-Yun Choi*

요 약

본 논문은 차량감지를 위해 자기센서를 이용하여 자기신호를 측정하고 형상을 분석한 결과에 관한 것이다. 자기센서는 하니웰사의 MR 센서를 이용하였고, 센서의 성능을 알아보기 위해 3축의 길이가 1.2 m인 자기장 발생장치를 제작하여 자기장 감지능력을 측정하였다. 차량감지는 주행차로와 비 주행차로에 센서를 설치한 후 감지여부와 차체의 크기가 다른 7개 차량에 대해서 자기장을 측정하였다. 또한 SUV와 소형 차량의 주차구역과 비 주차구역에 센서를 설치하고 자기장 형상을 분석하였다. 마지막으로 차량의 각 부분별 자기장 형상을 측정하였다. 측정 결과 주행차로에 자기장 형상은 비 주행차로의 경우보다 자기장 침투치가 크며 복잡한 형상을 보여 센서의 설치 위치로 주행차로와 주행차의 방향을 구분할 수 있었으며, 차체가 클수록 자기장의 변화가 커서 차량 종류를 식별할 수 있었다. 또한 차량의 각 부분별 자기장의 변화를 측정하여 형상을 분석하였다.

Key Words : magnetic field shape, AMR(anisotropic magnetoresistance), vehicle detection, EMF(earth magnetic field), helmholtz coil

ABSTRACT

This paper is about utilizing magnetic sensor to measure magnetic signal and analyze the form of magnetic signal for vehicle detection. For magnetic sensor, MR sensor from Honeywell company was used, and Helmholtz coil of which 3 axis' length is 1.2 m was manufactured to check the capability of the sensor and estimate its ability to detect the magnetic field. Vehicle detection was performed in following steps: installing sensor in road lane and non-road lane; estimating magnetic field when the vehicle is run by the driver; and estimating magnetic field of 7 different vehicles with different sizes. Also, sensor was installed at SUV and small-sized vehicle's park and non-park area to analyze the form of magnetic field. Lastly, the form of magnetic field made by different parts of the vehicle was analyzed.

Based on the analysis, the form of magnetic field's magnetic peak value was bigger for road lane than non-road lane, complicated form was useful to distinguish the road lane above the installed sensor and the location of the running car, and the types of vehicle could be sorted because the variance of the magnetic field was bigger for bigger size of the vehicle. Also, it was confirmed that the forms of vehicle in parts-by-parts estimates.

* 본 연구는 2014년 김포대학교의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

• First Author : Kimpo College Department of Information and Telecommunication, hychoi@kimpo.ac.kr, 정희원
논문번호 : KICS2015-02-012, Received January 19, 2015; Revised February 6, 2015; Accepted February 6, 2015

I. 서 론

지구 자기장(EMF : Earth Magnetic Field)은 넓은 영역에 걸쳐서 분포하여 자성체가 EMF 내에 놓이게 되면 자성체 주변에 교란이 발생한다^[1]. 차량은 100여 개 이상의 자성체관련 부품들이 사용되며 엔진과 트랜스미션으로 이루어진 파워트레인, 브레이크, 조향장치를 포함하는 새시로 구성된다. 그 외의 나머지 부분은 차체로 분류한다. 따라서 차량은 EMF를 집중 또는 분산시키는 역할을 하는데 이 변형된 자기장을 센서를 이용하여 감지할 수 있다면 차량의 위치와 이동 정보를 파악 할 수 있다^[2].

차량관리 시스템은 도로의 차량 통행량을 측정하는 시스템, 차량속도를 측정하는 시스템, 주차공간에 차량의 유무를 판단할 수 있는 시스템 등이 있다^[3]. 현재 차량 감지 센서로는 차량하중을 감지하는 압력 센서, 도플러 효과를 이용한 속도감지 레이저 센서, CCTV 영상을 분석하는 비디오 센서, 초음파 센서, 적외선 센서, 유도 루프 센서 그리고 자기저항센서 등 매우 많은 종류가 사용되고 있다^[4-6]. 여기서 압력 센서와 자기 센서를 제외한 대부분은 주로 실내에서 사용되고 있으며, 눈, 비, 먼지, 온도 등 센서 감지와 운영에 방해요소가 존재하는 실외에서는 사용이 불가능하다. 압력 센서는 차량의 감지에 우수한 성능을 갖지만 노면에 설치되어 차량의 바퀴와 직접 접촉에 의해 감지되는 만큼 감지범위가 좁고 센서의 파손이 빈번한 단점을 갖는다^[7].

유도루프 센서는 코일 위에 차량이 있을 때 변형된 인덕턴스 값으로부터 차량을 감지하며 날씨 또는 환경 조건에 크게 영향을 받지 않고 정확히 차량 감지가 가능하다^[8]. 하지만 차량 무게에 의해 통행할 때 코일에 부분 압력이 가해지면 정확한 측정이 어렵고 2 ~ 4 m 크기의 루프 정비를 위해 도로를 보수하거나 포장작업을 할 때 기존 재료의 차이로 시공불량이 발생할 수 있으며, 설치 시간이 길고 비용이 많이 소요된다. 그리고 단일 축만을 인지하기 때문에 주행 차량과 주변 옆 차로의 차량 또는 옆 주차 구역의 차량과의 구분이 모호한 경우가 발생할 수 있다. 하지만 자기센서는 5 mm 정도의 크기의 소형으로 설치가 용이하고 3축 감지가 가능하여 주행차로 이외에 비주행차로의 자기장 영향과 자성 재료의 특성에 따른 자기장 측정이 가능하다^[9].

UC 버클리 대학에서는 도로의 통행량 분석을 위해 자기저항센서를 도로면에 설치하여 코일 센서와 비교하였다^[10]. 실험결과 자기저항센서는 유도 코일의 86% 감지율에 대해 90% 이상의 정확도를 확인하였으며, 주차장에서의 주차면 점유 상태와 주행 차량의 속도 측정, 그리

고 차량의 종류 식별까지 가능함을 보였다. 하지만 인접 차로에 대형트럭이 있는 경우나 오토바이나 합성 금속을 많이 사용한 소형 차량의 경우나 시시각각 변화하는 지구자기장의 진폭 변화나 센서 주위 온도가 급속히 변화하는 경우에 자기센서를 구성하는 퍼멀로이 필름의 오동작 발생에 대한 문제점을 제시하기도 하였다.

본 연구는 도로, 주차장 및 차량의 종류를 감지하기 위해 자기센서를 이용하여 이동 및 정지된 차량에 대해 자기장을 측정하고 자기장 형상을 분석한다. 자기센서는 하니웰사의 MR 센서를 이용하여 제작한 센서모듈을 사용하고 성능을 검증하기 위해 자기장 발생장치를 제작하여 센서의 감지능력을 측정한다^[11]. 차량감지는 주행차로와 비 주행차로에 센서를 설치하고 차량을 이동시킨 후 변화되는 자기장과 차체의 크기가 다른 7개 차량에 대한 자기장을 측정한다. 또한 SUV와 소형 차량에 대해서 센서를 주차구역과 비 주차구역에 설치한 후 차량을 주차 및 이동시키면 변화되는 자기장을 측정하고 마지막으로 차량의 각 부분별 자기장의 변화를 측정하여 그 형상을 분석한다.

II. 차량 감지 센서

자기센서 소자는 5 mm 정도의 크기를 갖기 때문에 차량의 앞단에서 끝단까지 차량 각 부분의 자성재료의 특성에 따른 자기장 측정이 가능하다^[9].

그림 1은 차량에 의해 변형된 EMF의 형상을 보여 주며 주행차로에 차량에 의해 변형된 자기장은 비주행차로의 센서에도 영향을 준다. 하니웰사의 MR 센서는 자성체의 전기적 저항이 자화방향과 전류의 방향에 따라 감지가능 자기장의 범위가 $10^{-8} \sim 10^2$ G이

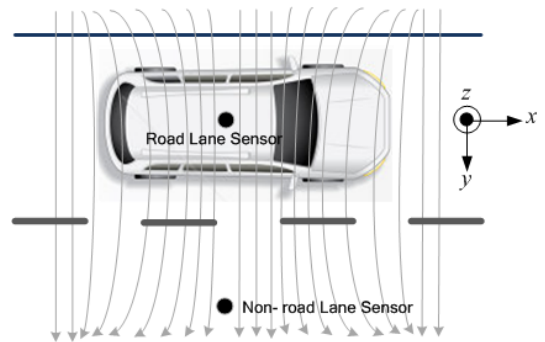


그림 1. 주행차로 차량에 의해 변형된 지구자기장
Fig. 1. Modified Earth Magnetic Field by Road Lane Vehicles.

며 센서의 출력은 3축으로 나타낼 수 있다. 각 축은 차량의 진행방향, 센서의 방향에 따라 서로 직교하는 출력을 나타낸다.

자기센서는 자속의 시간변화에 따라 유도기전력을 발생시키는 방식, 홀 효과를 이용하는 방식, 감지 코일의 인덕턴스 변화와 와전류효과를 이용하는 방식, 자기저항변화효과를 이용한 방식 등이 있다^[12]. 이방성자기저항(AMR : Anisotropic Magneto-Resistance) 센서의 자기저항효과는 자성체의 전기적 저항이 자화 방향과 전류의 방향에 따라서 변화하는 현상을 이용한 것으로 센서의 소형화가 가능하여 IC화 할 수 있는 장점을 가지고 있어 다양한 응용분야에 활용되고 있다^[9]. 본 연구에서는 Honeywell사의 MR센서(HCM1001/HCM1002)을 사용하여 설계된 센서 모듈로 측정하였으며, 측정 자기장 범위는 ± 2 G이고 분해능은 $27 \mu\text{G}$ 이다^[11].

자기센서의 감지 성능을 측정하기 위해서 센서가 3축의 자기장을 감지할 수 있도록 센서 외부에서 자기장을 발생시켜주는 헬름홀츠 코일을 제작하였다^[13]. 헬름홀츠 코일은 동일한 축에 위치한 지름이 a 인 원형코일이 d 만큼 떨어져 있고, 두 코일에 흐르는 전류가 같은 방향 및 권선수가 같을 경우, $d = 0.5a$ 일 때 두 코일의 중간 지점에서 균일한 자기장을 형성한다. 코일의 형태가 직사각형인 경우에는 $d = 0.5446a$ 이다. 이 조건을 만족하는 코일을 헬름홀츠 코일이라 한다. 직사각형 코일은 원형 코일에 비하여 프레임 제작하기 쉽고, 자기장 계산이 용이하며, 중심위치의 접근이 용이하다. 여기서 단일 사각형 코일은 90° 회전시키면서 3축 방향으로 측정하여야 하지만, 3축 사각형 코일은 고정시켜 둔 채 자기장 측정이 가능하다. 그림 2는 사각형 헬름홀츠 코일의 구조를 나타낸다.

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

그림 2와 같이 두 개의 사각형 코일이 z 축을 따라 서로 마주 보고 있고 전류 I 가 흐를 때 중심점 $z(0,0,0)$ 에서의 자속밀도 B_z 은 식 (1)과 같이 표현된다^[11].

여기서 $2r$ 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/m이다. 헬름홀츠 코일은 2.5 mm^2 의 전선을 이용하여 3축의 크기가

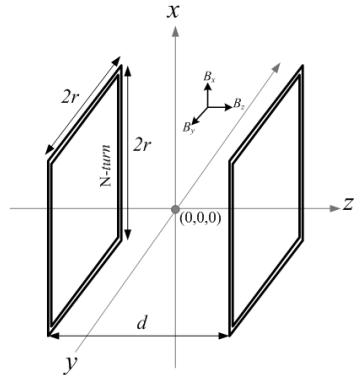


그림 2. 정사각형 헬름홀츠 코일
Fig. 2. Square Helmholtz Coil.

각각 1.2 m인 나무막대에 16회의 코일을 감아 제작하였다. 제작된 코일 중심에서 발생하는 자기장의 세기는 Biot-Savart법칙을 이용하여 근사화한 후 코일 중심 자기장을 계산하면 0.123 G이다.

자기센서의 성능을 평가하기 위하여 그림 3과 같이 코일 내부에 자기 센서를 설치하고 자기장을 발생시킨 후 감지되는 자기장을 측정하였다. x, y, z 의 각축의 감지된 자기장 값은 0.0502 G, 0.091 G, 0.0685 G이며 전체크기는 0.124 G로 측정되었다. 여기서 0.124 G는 설계치 0.123 G와는 거의 일치하는 결과를 나타냈다. 그림 3은 헬름홀츠 코일을 이용한 자기센서 성능실험을 나타낸다.

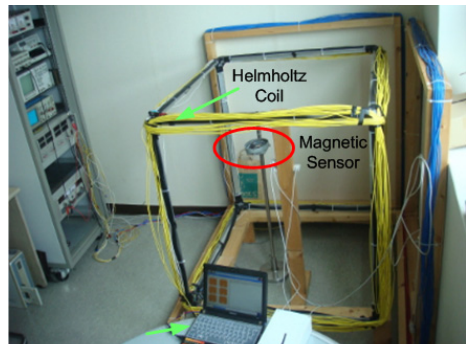


그림 3. 헬름홀츠 코일을 이용한 자기센서 성능실험
Fig. 3. Magnetic Sensor Performance Test using Helmholtz Coil.

III. 차량 감지센서를 이용한 자기장 측정

3.1 주행차로와 비주행차로의 자기장 형상

센서의 위치를 그림 4와 같이 주행차로와 비주행차로에 설치하고 SUV차량을 이동시키면서 자기장을



그림 4. 주행차로에서 SUV 차량의 자기장 측정
Fig. 4. Magnetic Field Measurement for SUV in Road Lane.

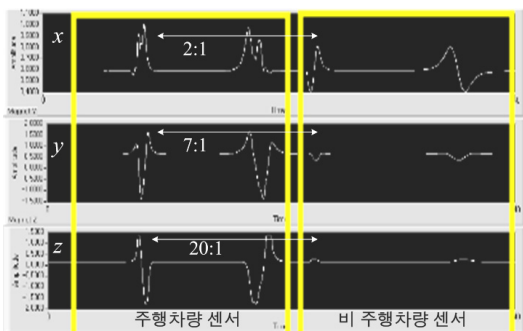


그림 5. 센서위치(주행차로와 비주행차로)에 따른 자기장 형상
Fig. 5. Magnetic Field Shape for Sensor Position (Road and Non-Road Lane).

측정하였다. 측정된 자기형상은 그림 5와 같다.

SUV 차량의 경우 주행차로에 설치된 센서와 비주행차로에 설치된 센서를 통과하는 차량의 자기장 변화량의 비는 x, y, z 축이 2:1, 7:1, 그리고 20:1의 비를 나타냈다. 또한 비교적 차체가 작은 소형차량의 경우에는 3:1, 8:1, 30:1을 나타냈다. 그림 5에서 보면 각 축의 자기장 형상은 다르며 주행차로의 센서에서 측정된 자기장형상은 복잡하고 첨두치를 더 많이 갖는다. 즉 차량의 진행방향인 x 축은 주행 및 비주행 차로의 차이가 비교적 작았지만, 옆 차선에 영향을 미치는 y 축 값은 7배 정도의 자기장 차이를 보였다. 특히 차량이 직접 통과하는 z 축은 주행차로와 비주행차로가 20 ~ 30배의 차이를 보였고, 비주행차로의 자기장은 거의 평탄한 특성을 보이고 있다. 즉 y 축과 z 축을 제외하고 차량 진행방향인 x 축은 주행차로 차량에 의한 자기장이 옆 차선에 30 ~ 40 % 정도 영향을 준다. 이와 같이 센서의 설치위치로 주행차로와 차량의 방향이 일치하는지를 판단하는 것이 가능하다.

3.2 주행차로와 비주행차로의 자기장 형상

그림 6은 차체 크기가 다른 차량이 EMF에 미치는 영향을 알아보기 위해 센서를 주행차로에 설치하고 '카렌스, 카니발, 트럭, 라노스, 스타렉스, 레조, 볼보'를 측정한 자기 형상 그림이다. 그림에서 보면 각 차량의 자기장 형상은 모두 달랐으며 자성체를 많이 포함하고 있는 차체의 크기에 따라 자기장의 변화가 크고 첨두치가 높았다. 특히 트럭의 경우 소형차량에 비해서 모든 축에서 10배 이상의 자기장 크기를 나타냈으며, 비교적 차량의 크기가 유사한 카니발과 스타렉스는 자기장의 크기뿐 아니라 형상도 유사하게 측정되었다. 또한 자기장 형상 변화로 센서를 통과하는 순간의 차량 움직임을 확인할 수 있었다. 따라서 각 차종에 대해 자기장 형상으로 차종을 식별하는 것이 가능하다.

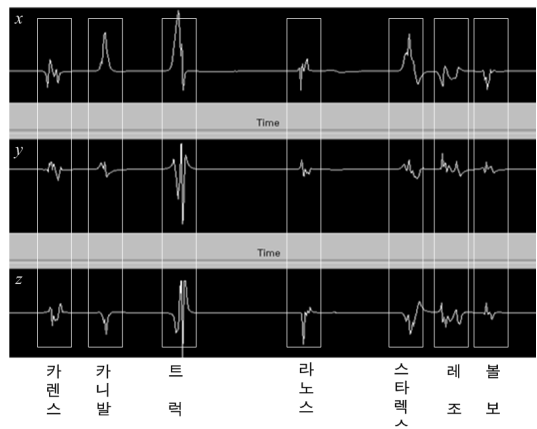


그림 6. 차체의 크기에 따른 자기장 변화 형상 (카렌스, 카니발, 트럭, 라노스, 스타렉스, 레조, 볼보)
Fig. 6. Magnetic Field Variation Shapes for Vehicle size. (Carens, Carnival, Truck, Lanos, Starex, Rezo, Volvo.)

3.3 주차 및 출차 시 자기장 형상

그림 7은 SUV와 소형 차량을 이용하여 주차 및 출차 시 자기장의 변화와 주차차량이 비주차 구역에 미치는 영향을 알아보기 위해 측정된 그림이다.

표 1을 보면 레조 차량은 주차 칸의 옆 칸에 센서를 설치하고 차량이 주차된 상태와 출차에 따라 옆 주차 칸에 미치는 영향을 측정하였다. 측정결과, 차량의 진행방향인 x 축의 경우 -46 mG에서 -69 mG으로 23 mG의 변화량을 보였으며, 측면방향인 y 축의 경우 변화량은 33 mG, z 축 방향은 23 mG로 측정되었다. 여기서 보면 주차 시 옆 주차 칸 센서의 자기장의 변화량은 유사하지만, 기준 자기장은 $x = -46 \text{ mG}, y =$

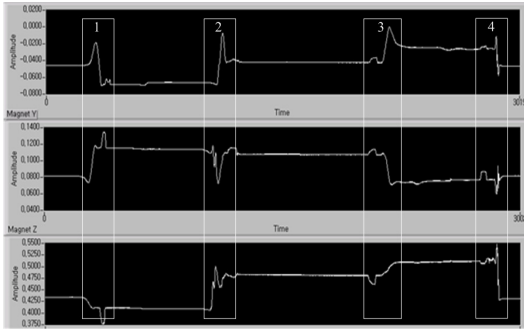


그림 7. 주차 및 출차 시 SUV와 소형 차량의 자기장 형상
Fig. 7. Magnetic Field Shapes of SUV and Small Vehicles for Parking and Non-Parking.

표 1. 차량위치와 센서위치에 따른 자기장 측정치 (mG)
Table 1. Magnetic Field for Different Sensor Position and Parking and Non-Parking (mG).

No	Vehicle	Sensor Position	Vehicle State	x-axis (Variation)	y-axis (Variation)	z-axis (Variation)
1	Rezo	Non-Parking Zone	Parking	-46→69 (23)	82→115 (33)	434→411 (23)
2	Santafe	Parking Zone	Parking	-66→40 (26)	114→108 (6)	409→483 (74)
3	Rezo	Non-Parking Zone	Moving	-40→23 (17)	108→74 (34)	483→510 (27)
4	Santafe	Parking Zone	Moving	-25→47 (22)	76→82 (6)	512→431 (81)

82 mG, z = 434 mG 로 x축에 비해 z축은 10배 정도의 크기를 보이고 있다. 이는 출차시도 유사한 측정 결과를 나타내었다. 신타페 차량은 주차구역에 센서를 설치하고 차량을 주차 및 출차상태로 자기장을 측정하였다. 여기서 보면 자기장의 변화량의 비가 x:y:z = 26 : 6 : 74로 약 4 : 1 : 12 이지만 레조와 같이 기준자기장의 비는 근사적으로 1 : 3 : 7로 나타났으며, 출차의 경우에는 주차된 상태에 비해서 z축의 크기가 더 컸다. 이상의 결과에서 자기장은 z축 성분이 가장 크게 변화되고 있으며, 3축 자기센서의 z축 성분을 기준으로 설정하면 효과적으로 차량을 감지하는 것이 가능하였다.

그림 8은 측정된 z축 자기장 형상을 가지고 즉 차량의 각 부분에 자기장 변화량을 분석하였다. 그림에서 보면 차량의 위치에 따라서 자기장이 급격하게 변화함을 알 수 있다. 즉 감지 센서가 2, 4 또는 6의 위치에 있을 경우 충분한 변화량을 감지하여 차량을 인식할 수 있지만, 3 또는 5의 위치에 센서가 있을 경우 차량의 존재를 인식할 수 없다. 이것은 센서를 주차구

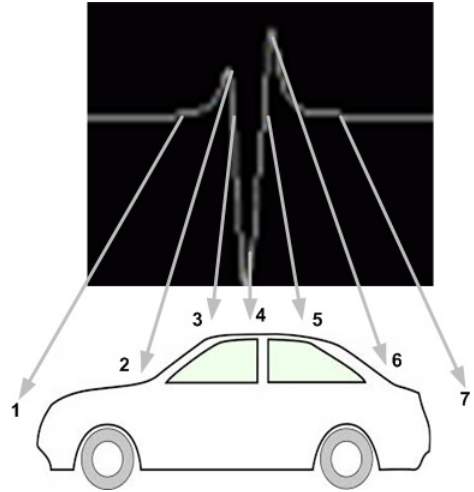


그림 8. 차량의 부분별 자기장의 변화량
Fig. 8. Magnetic Field Variation for Parts of Vehicle.

역 중심에 설치하고 차량을 주차시킬 때 차체 상부의 약 50cm 정도 차량감지에 문제를 발생할 수 있다. 이러한 문제점 해결을 위한 차량 인식을 향상에 관한 다양한 연구가 지속되어야 할 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 주차면에 차량의 존재 유무 판단 시스템, 주차장의 차량 이동 관리 시스템 등에 활용이 가능하도록 센서 모듈을 제작하여 자기장의 변화를 측정하였다. 이를 위해서 자기센서는 하니웰사의 MR센서를 이용하였고, 센서의 성능을 알아보기 위해 3축의 길이가 1.2 m인 자기장 발생장치를 제작하여 자기장 감지능력을 측정하였다. 차량감지는 주행차로와 비주행차로에 센서를 설치한 후 자기장을 측정하였고, 차체의 크기가 다른 7개 차량에 대해서 자기장을 측정하였다. 또한 센서의 위치를 SUV와 소형차량의 주차구역과 비주차구역에 설치하고 자기장 형상을 측정하였다. 마지막으로 차량의 각 위치별 자기장 형상을 분석하였다.

측정결과 주행차로에 자기장 형상은 비주행차로의 경우보다 자기장 침투치가 크며 복잡한 형상을 보여 센서의 설치위치로 주행차의 방향을 구분할 수 있었으며, 차체가 클수록 자기장의 변화가 커서 차량 종류를 식별할 수 있었다. 또한 주차구역의 차량은 비주차구역에 영향을 주는 것을 확인하였다. 마지막으로 차량의 부분별 측정에서는 차량 인식이 불가능한 부분이 존재하였다. 이로서 자기센서로 분석한 자기장형상은 주차장의 주차면 점유상태확인과 주행차량의 속도 감지 그리고 차량

종류를 인식하는데 사용될 수 있음을 확인하였다.

향후 연구과제로는 차량의 부유별 자기장이 측정되지 않는 부분에 대한 신호해석과 식별 불가능한 위치를 없애 차량인식률을 높이고, 소형차 및 중형, 트럭 등 다양한 차량에 대한 자기장 형상과 측정치를 이용하여 관련이론을 정립하고 데이터를 분석을 통한 정량화 연구가 필요하다. 또한 자기센서의 시간 및 기상조건에 의한 지구자기장의 영향과 차폐, 온도 압력 등 외부 환경의 변화에 대한 내구성을 가진 탑재 개발 등이 필요하다.

References

[1] K. T. Kim, C. H. Kwak, S. G. Hong, S. J. Park, and K. W. Kim, "Light-weight signal processing method for detection of moving object based on magnetometer applications," *J. IEK*, vol. 46, SP, no. 6, pp. 870-879, Nov. 2009.

[2] D. R. Son, "The principles and applications of magnetic sensor," *J. KOMAG*, vol. 7, no. 6, pp. 334-339, Dec. 1997.

[3] Y. J. Ryoo, E. S. Kim, M. J. Kim, and Y. C. Lim, "Recognition of road direction for magnetic sensor based autonomous vehicle," *J. KIEE*, vol. 52D, no. 9, pp. 526-531, Sept. 2003.

[4] A. Bhawiyuga, H. H. Nguyen, and H. Y. Jeong, "A fusion of vehicle sensors and inter-vehicle communications for vehicular localizations," *J. KICS*, vol. 37C, no. 7, pp. 544-553, Jul. 2012.

[5] D. H. Shin, J. H. Baek, H. Y. Choi, and Y. G. Kim, "Functional testing of level crossing obstruction detecting system using laser radar sensor," *J. KICS*, vol. 39C, no. 3, pp. 307-315, Mar. 2014.

[6] J. H. Lee, J. H. Yoo, and S. Y. Jung, "Inter-vehicular distance estimation scheme based on image sensor," in *Proc. KICS*, pp. 78-79, Yongpyeong, Korea, Jan. 2013.

[7] M. H. Kang and D. Y. Jeong, "A research on the vehicle detecting using earth magnetic field sensor," in *Proc. KIEE*, pp. 1239-1241, Jul. 2001.

[8] K. Jung, J. K. Jeong, and I. S. Kim, "Radar vehicle detector for the replacement of the conventional loop detector," *J. KIEES*, vol. 11, no. 8, pp. 1346-1356, Dec. 2000.

[9] *1-and 2-axis magnetic sensors*, HMC 1001/1002 and 1021/1022, Datasheet, 900248, Honeywell, 2012, from <http://honeywell.com>

[10] Jiagen Ding, Sing-Yiu Cheung, Chin-Woo Tan, and Pravin Varaiya, *Vehicle detection by sensor network nodes*, California PATH Research Report, UC Berkeley, UCB-ITS-PRR-2004-39, Oct. 2004.

[11] H. Y. Choi and H. I. Lee, "Design of anisotropic magnetoresistance sensor module for vehicle detection," *J. KIIEE*, vol. 25, no. 8, pp. 99-105, Aug. 2011.

[12] S. H. Lee, Y. B. Kim, S. H. Hwang, H. T. Choi, and S. W. Lee, "Magnetometer development for satellite attitude control," in *Proc. KSAS*, KSAS03-2155, pp. 288-291, Nov. 2003.

[13] H. Y. Choi, "Performance evaluation of low frequency magnetic field shielding by eddy-current," *J. KIIEE*, vol. 24, no. 9, pp. 124-128, Sept. 2010.

최 학 윤 (Hak-Yun Choi)



1985년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업
 1987년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 석사
 1999년 8월 : 건국대학교 전자공학과 박사
 1996년 3월~현재 : 김포대학교 교수

<관심분야> 전자파, 안테나, EMI/EMC