

자기형상을 이용한 차량감지조건 향상 기법

최 학 윤*

Vehicle Detection Condition Improvement Method Using
Magnetic Field Shape

Hak-Yun Choi*

요 약

본 논문은 차량의 정확한 감지를 위해 3축 자기장형상과 크기를 분석한 내용이다. 센서는 하니웰사의 자기센서를 사용하였고 차체크기가 다른 다양한 차종을 대상으로 측정된 결과, 차량의 존재유무와 차종을 확인할 수 있었다. 하지만 차체가 큰 차량이 소형차와 동시에 존재할 경우에 감지 판정에 오동작을 발생시켰고, 차량과 센서의 상대적 위치에 따라서 식별 불가능한 경우도 발생하였다. 이를 해결하기 위해 y 와 z 축의 자기장 형상의 상호 연관성을 분석하고 $x^2 + y^2$ 과 $y^2 + z^2$ 성분 값을 도출한 후 20대의 차량에 대한 차량감지실험을 하였다.

실험결과, 3축 자기장 값의 감지조건을 $1 < (x^2 + y^2)/(y^2 + z^2) < 5$ 범위에서 $y^2 + z^2$ 성분을 6,000 mG ~ 11,000 mG까지 1000 mG 간격으로 변화시켰는데 $y^2 + z^2$ 이 8,000 mG 이상이고 $(x^2 + y^2)/(y^2 + z^2)$ 이 3이하인 조건을 동시에 만족하는 경우에 20대의 차량이 모두 감지되었다. 실험의 객관성 확보를 위해 주차와 출차를 일반 주차공간에서 측정한 결과 95%의 차량감지율을 보였다.

Key Words : EMF(Earth Magnetic Field), Vehicle Detection, Magnetic Field Shape, Earth Magnetic Sensor, AMR(Anisotropic Magneto-resistance)

ABSTRACT

This paper is about the analysis of the shapes and intensity of 3-axes magnetic field and enhancement of the detection rate for the accuracy of the vehicle detection. The sensor used for this experiment was a magnetic sensor from Honeywell, which measured various vehicles with different sizes and identified the existences and types of vehicles. However, when large vehicles and compact cars existed at the same time, there was a malfunction in detection and rarely it was impossible to identify according to the relative positions of the sensor and the vehicles. To resolve this problem, the correlation of magnetic field shapes for y-axis and z-axis was analyzed, $x^2 + y^2$ and $y^2 + z^2$ values were derived and an vehicle detection experiment was conducted for 20 vehicles.

In results of changing $y^2 + z^2$ value from 6,000 mG to 11,000 mG with 1000 mG interval in the range of detection conditions of 3-axes magnetic field values as $1 < (x^2 + y^2)/(y^2 + z^2) < 5$, all 20 vehicles were detected under the condition in which $y^2 + z^2$ value is more than 8,000 mG and $(x^2 + y^2)/(y^2 + z^2)$ is less than 3. For the objectivity of the experiment, parking and outgoing of vehicles were measured in general parking spaces and demonstrated 95% vehicle detection rate.

*본 연구는 2017년 김포대학교 연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

* First Author : Kimpo University Department of Information and Telecommunication, hychoi@kimpo.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2017-08-221, Received September 18, 2017; Revised September 29, 2017; Accepted October 23, 2017

I. 서 론

차량이 이동하는 도로나 주차에 대한 정확한 감지 기술은 운전자에게 도로의 교통상황이나 주차공간에 대한 정보를 실시간으로 제공할 수 있고, 관리자는 도로와 주차장의 효율적 운영이 가능하다. 이러한 차량 감지는 신호등의 지속 시간을 실시간으로 지능적으로 결정하는 시스템, 도로 구간의 차량 통행량을 감지하는 시스템, 차량의 주행속도를 측정할 수 있는 시스템, 그리고 주차 상황을 모니터링 하는 시스템 등이 있다¹⁾.

차량감지 센서는 레이저 속도 감지 센서, CCTV를 이용한 영상 센서, 적외선 감지 센서, 초음파 센서, 차량무게를 이용한 압력 센서, 유도루프센서 그리고 자성체에 의해 변동되는 지자기(EMF : Earth Magnetic Field) 감지센서 등 다양한 종류가 사용되고 있다²⁻⁴⁾. 지자기는 지구 전 영역에 0.25 G ~ 0.65 G의 크기로 분포 되어있으며, 우리나라는 0.4 G ~ 0.5 G 정도이다. 차량과 같은 자성체가 위치하거나 이동할 경우 차량 주변에 자기장이 분산되고 EMF가 변형된다. 이러한 자기장을 센서로 감지할 수 있다면 차량의 존재유무를 확인할 수 있다^{4,5)}.

차량 감지 자기센서 시스템은 자기센서, 감지신호를 처리하는 프로세서, 신호를 전송하기 위한 통신모듈, 센서 구동을 위한 에너지가 필요하며 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 발전으로 시스템 동작을 위한 모든 요소가 TinyOS를 적용한 단일부품으로 직접화되고 있다⁶⁾.

UC 버클리에서는 차량의 통행량과 차종을 식별하기 위해서 자기저항센서(AMR : Anisotropic Magneto Resistance)를 도로면에 설치하여 90% 이상의 정확도를 확인하였으며, 주차장 점유 상태와 주행 차량의 속도 및 차량종류의 판정까지 가능함을 보였다. 차량의 식별 방법은 자기장 형상을 Hill Pattern으로 분리하는 방법을 사용하였다. 하지만 대형트럭이 인접차로에 근접하거나 합성 금속을 많이 사용한 소형 차량 및 오토바이의 경우엔 오동작의 문제점을 제시하였다⁷⁾. 센서에 의해 감지되는 주행 차량의 자기장은 급격한 변화를 보이면서 2~3개의 첨두치를 보이는 형상이지만, 센서 옆 차로 차량의 신호는 센서와 거리가 상대적으로 멀어 변화량이 작다고 하였다. 이와 같은 자기장 형상의 차이를 분석하면 주행차량의 감지가 가능하고 자기저항센서를 이용하면 EMF의 왜곡정도가 차종에 따라 다르며 약 15m 떨어진 차량의 움직임도 감지가 가능하다고 하였다⁸⁾.

본 논문은 자기센서를 이용하여 측정된 자기형상신

호와 크기를 분석하여 차량감지율을 향상시키기 위한 내용이다. 이를 위해서 차체 크기가 다른 트럭, 승합차, SUV, 중형차, 소형차 및 경차를 이용하여 측정된 3축 자기장 변화와 세기를 분석한다. 또한 차체가 큰 차량과 소형차가 센서에 미치는 상호영향을 고찰하기 위해 주행차로와 인접차로 차량의 자기장 간섭정도를 확인한다. 이 결과를 이용하여 3개의 주차구역 중심에 센서를 설치하고 순차적으로 주차 및 출차를 할 때 자기장의 변화와 주차점유 상태를 확인한다. 이 실험으로 센서와 차량의 상대적 위치에 대한 식별 불가능한 구역에 대해 평가하며 x, y, z 축 자기장형상의 상호연관성을 분석한다. 이상의 실험결과를 토대로 3개의 주차공간에 센서를 설치하고 20여대의 차량에 대한 차량감지실험을 하며 판정오차가 발생할 경우, 조건을 변경시키면서 최적 값을 도출한다. 마지막으로 객관성 확보를 위해 주차와 출차가 인위적이 아닌 일반 주차공간에서 실험하여 최종 차량감지조건을 평가한다.

II. 차량감지 자기센서

지자기센서는 자기장의 방향과 세기를 측정하는 장치로서 EMF측정, 위성자세결정 등에 주로 사용되며 응용범위는 Faraday의 전자기유도 방식, Hall 효과 이용방식, 코일의 Inductance변화와 와전류변환방식, 자기저항 효과를 이용하는 방식이 있다. 이 중 자기저항 변화효과를 이용한 자기저항 센서는 지자장의 교란현상을 감지할 수 있어 자성체감지용으로 많이 사용되고 있다^{9,10)}.

하니웰사의 이방성 자기저항센서는 자성체의 자화 방향과 전류의 방향에 따라 전기저항이 변화하는 현상을 이용한 것으로 감지범위가 $10^{-8} \sim 10^2$ G이고 분해능은 27 μ G 이며, 금속과 자성체의 진행방향 따라 3축의 출력을 나타낼 수 있다. 또한 RS-232나 RF모듈을 이용하여 유 무선으로 감지신호를 전송할 수 있다¹⁶⁾. 본 논문의 차량감지 측정은 (주)코암테크의 CMM-1001을 사용하였다^{9,11)}.

CMM-1001은 각 축 당 최대 ± 2 G까지 측정 가능하며 분해능은 0.05 mG이다. 또한 RF통신모듈, 방수 케이스 및 배터리로 구성되어 있어 EMF 및 자성체, 주변 잡음원에 의해 발생하는 자기장을 측정할 수 있다. CMM-1001은 하니웰사의 MR센서(HCM1001/HCM1002)를 사용하였다.

센서의 감지능력을 확인하기 위해서는 외부에서 자기장을 인위적으로 발생시키는 장치가 필요하다. 그림 2는 헬름홀츠(Helmholtz)코일 구조의 자기장 발생장



그림 1. 자기센서 (CMM-1001)
Fig. 1. Magnetic Sensor (CMM-1001).

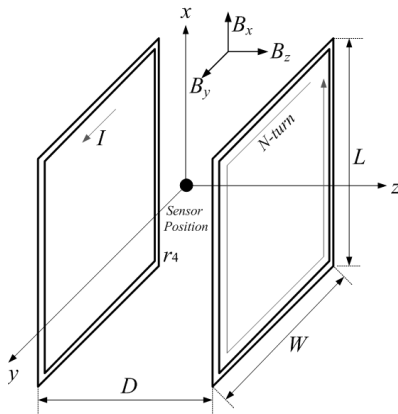


그림 2. 헬름홀츠 코일의 구조
Fig. 2. Structure of a Helmholtz Coil.

치를 나타낸다. 코일중심부에서 발생하는 B_z 은 다음과 같다^{9,12)}.

$$B = \left(\frac{1600}{D^2 + L^2} + \frac{1600}{D^2 + W^2} \right) \frac{LWN I}{\sqrt{L^2 + W^2 + D^2}} [\mu T] \quad (1)$$

여기서 B 은 자속밀도[μT], N 은 코일 권선 수(동일 방향), L, W 은 코일치수[mm], D 은 코일간의 거리[mm], I 은 전류[A]이다. 코일 제작은 각 축 1.2 m의 목재를 프레임으로 사용하였고 $1[mm^2]$ 의 구리선을 동일방향으로 20회씩 감았다. 인가된 전류는 1 A_{PP}이며 코일간 거리는 1.2 m이다. 이를 계산하면 코일 중심부의 발생된 자기장은 15.40 μT 이다. 제작된 코일의 중심부에 센서를 위치시키고 측정된 결과, 14.92 μT 로 측정되어 계산 값과 3 % 정도의 오차가 발생하

였다. 오차의 원인은 계산값을 근사식으로 사용하였고, 제작 시 목재 프레임의 가공 및 코일을 감을 때 불균일성으로 인한 오차로 판단된다.

III. 차량감지 자기장형상 분석

3.1 차체 크기에 대한 자기장 형상

도로에 자기센서를 설치한 후 다양한 차종에 대해서 자기장의 형상과 크기를 측정하였다. 차량이 없는 상태의 EMF는 x, y, z 축 각각 43 mG, 108 mG, 460 mG로 측정되었으며 EMF와 거의 같은 0.47 G이다. 여기서 x 은 차량의 측면방향, y 은 진행, z 은 상단방향을 나타낸다. 측정차량은 차체가 작은 소형승용차, 중간 차체를 가진 SUV 와 승합차, 차체가 큰 트럭 등 7개 차종을 대상으로 하였으며, 각 차량에 대해서 변화되는 자기장 형상과 크기변화로 차량의 존재유무를 확인하였다. 측정된 자기장 형상은 그림 3과 같다.

측정결과 모든 차량을 감지할 수 있었으며, 차체가 큰 차량일수록 자기장의 침투치가 크고 패턴 또한 복잡한 형태로 측정되었다. 이에 반하여 소형차는 크기가 작고 패턴도 단순한 형태였다. 즉 EMF 변화폭은 트럭이 x, y, z 각각 46 mG, 91 mG, 158 mG로 188 mG이고 소형차는 19 mG, 16 mG, 79 mG로 82 mG의 변화를 보였다. 두 차종을 비교하면 x 축 2배, y 축 6배, z 축 2배 이상이고, 전체 크기는 2배 이상이 되었으며 각 축의 최댓값만을 비교하면 5~10배의 차이를 보였다. 비교적 유사한 차체를 가진 승합차와 SUV, 소형 SUV와 준 중형차는 유사한 자기장 형상을 나타냈다. 이상의 결과로 자기장의 형상 및 크기 변화는

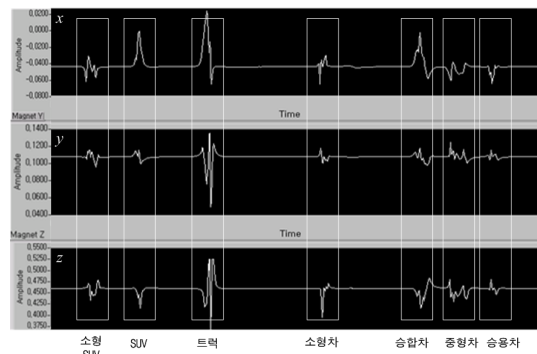


그림 3. 차종 크기에 따른 자기장의 형상과 크기 (소형SUV, SUV, 트럭, 소형차, 승합차, 중형차, 승용차)
Fig. 3. Magnetic Field Shape & Magnitude for Different Vehicle Sizes.(Small SUV, SUV, Truck, Compact Car, Vans, Sedan, Car)

차량의 존재 유무와 차종을 식별하는 것이 가능하다¹⁸⁾. 하지만 소형차 옆 차로에 차체가 큰 SUV나 트럭이 이동을 하면 차량인식 오동작을 일으키는 경우가 발생했다.

3.2 인근차로의 차량이 센서에 미치는 영향

앞서 차체크기에 따른 자기장의 세기와 형상은 큰 차이를 보였으며, 대형차는 인근 차로에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 그림 4는 2개의 차로(센서 설치차로와 비설치차로)에서 센서 주행차로와 옆 차로를 통과하는 차량의 자기장 형상이다.

그림에서 보면 센서 설치차로에 차량의 x , y 및 z 축 자기장 변화량은 매우 컸다. 반면에 센서 옆 차로 차량이 센서에 미치는 영향은 x 축을 제외하고 y , z 축은 미미했다. 즉 x 축은 1~2배 y 축의 경우 7~10배, z 축은 약 20배에 달한다. 소형차는 y , z 축은 각각 10배, 40배, x 축은 4배로 나타났다. 각 축 성분을 비교해보면 차체크기에 따라 x 축은 옆 차로에 25% ~ 100% 영향을 미치고 y 축은 10% ~ 15%, z 축은 3% ~ 5% 정도 영향을 준다. 이로서 차량감지를 위해 x 축 성분은 제외하고 y , z 축만으로 차량감지를 한다면 주행차로와 비주행차로의 구분이 가능하다.

이번에는 3개의 주차구역 중심에 센서를 설치하여 3대의 차량을 순차적으로 주차와 출차시켜 센서에 주는 영향을 측정하였다. 주차와 출차의 순차적인 진행은 그림 5와 같다.

3개의 주차구역실험은 그림 6과 같이 인근차량 실험과는 다르게 복잡한 형상과 크기를 나타냈다. ①차량이 없는 상태에서 중형차가 1번 구역에 주차하였을

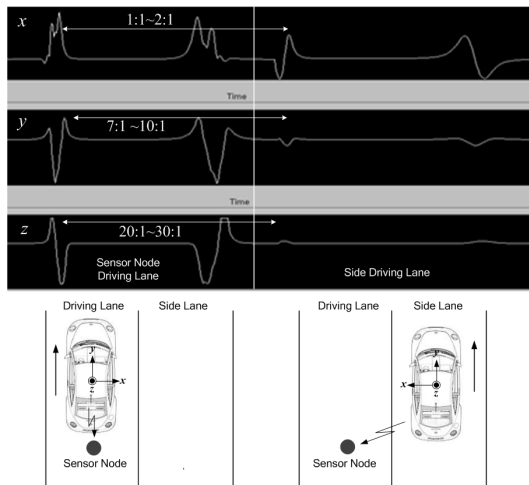


그림 4. 옆 차로 차량이 센서에 미치는 영향
Fig. 4. The Influence of Side Lane Car on Sensor Node.

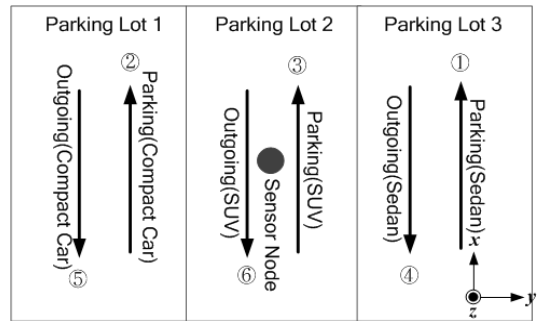


그림 5. 순차적 주차 및 출차가 센서에 미치는 영향
Fig. 5. The Influence of Consecutive Parking And Outgoing on Sensor Node.

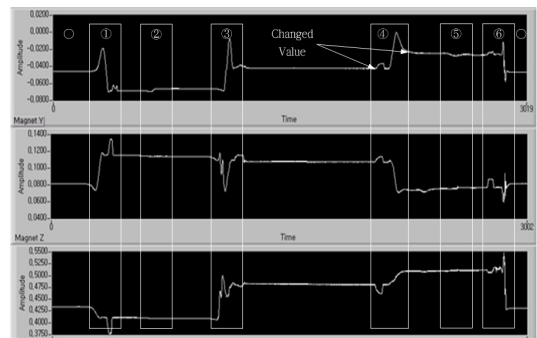


그림 6. 순차적으로 주차 및 출차 할 경우 자기장 형상 (3개의 주차구역)
Fig. 6. Magnetic Field when Parked and Outwent Sequentially (3 Different Parking Lots).

때 3축 모두 비교적 큰 자기장의 변화가 감지되었다. ②중형차에 의해 변화된 자기장환경에서 경차의 진입은 센서에 거의 영향을 미치지 못했다. ③센서 위를 진입하는 SUV는 이미 중형차와 소형차에 의해 변화된 x 축과 y 축의 변화와 중첩되면서 미미하였고 z 축만이 74 mG로 많은 변화를 감지하였다. 출차의 경우 ④첫 번째 주차하였던 중형차의 출차로 32 mG → 17 mG, 33 mG → 33 mG, 23 mG → 27 mG 로 변화하면서 중형차에 의해 변화되었던 크기만큼을 상쇄시켰다. ⑤소형차의 출차도 3 mG → 2 mG, 1 mG → 2 mG, 2 mG → 2 mG 로 감소하면서 소형차에 의해 변화시켰던 만큼의 자기장을 상쇄시켰다. ⑥SUV의 출차도 26 mG → 21 mG, 6 mG → 6mG, 74 mG → 80 mG 로 감쇄시키면 주차와 출차가 모든 끝난 상태에서는 최초의 EMF 상태로 되었다. 이 실험은 z 축 자기장이 ③의 74 mG, ⑥의 80mG로 가장 큰 변화를 나타내면서, 주차 ①, ②와 출차 ④, ⑤의 z 값에 비해 3 ~ 40배 정도 차이가 발생하였고 z 축 성분으로 효과적인 차량감지를 할 수 있다. 한편 이 실험에서

표 1. 순차적 주차 및 출차에 따른 자기장 변화 값
Table 1. Magnetic Field Change Value for Sequential Parking and Outgoing.

No	Vehicle Type /Direction	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	Parking State
		Magnetic Field Change Value			
○	EMF	-46	82	43	No Parking
①	Sedan /Parking	-46→69 (32)	82→115 (33)	434→411 (23)	Parking Lot 3
②	Compact Car /Parking	-69→66 (3)	115→114 (1)	411→409 (2)	Parking Lot 1&3
③	SUV /Parking	-66→40 (26)	114→108 (6)	409→483 (74)	Parking Lot 1&2&3
④	Sedan /Outgoing	-40→23 (17)	108→75 (33)	483→510 (27)	Parking Lot 1&2
⑤	Compact Car /Outgoing	-23→25 (2)	74→76 (2)	510→512 (2)	Parking Lot 2
⑥	SUV /Outgoing	-25→46 (21)	76→82 (6)	51→43 (80)	No Parking

SUV가 정확히 주차하지 않은 경우, 감지에 일부 실패한 경우가 발생하였다. 즉 차량감지는 가능하지만 주차구역(2.3 m × 5 m)에 차량을 비스듬히 세우거나 정확히 센서 중앙위치가 아닌 경우 일부 오차가 발생하였다. 결과적으로 차량과 센서의 상대적 위치에 따라 감지문제를 유발시킬 수 있다.

3.3 센서와 차량 위치에 대한 자기장형상과 상호 연관성

앞서 자기장 변화량이 가장 큰 *z*축 성분으로 차량을 감지하는 것이 가능하였다. 하지만 차체의 크기에 비해 센서는 10cm 정도이기 때문에 센서와 차량의 상대적인 위치에 따라 감지에 오동작을 유발 할 수 있다¹⁸⁾. 그림 7은 전형적인 *z*축 자기장 형상이다. 변화량의 순시 값을 사용한다면 차량의 B, D 또는 F의 위치

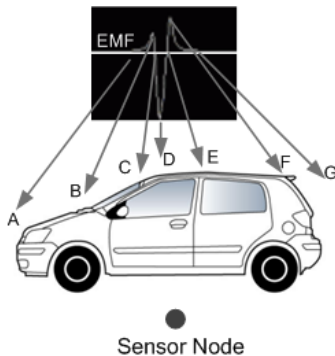


그림 7. 센서와 차량의 상대적 위치에 따른 *z*축 자기장 형상
Fig. 7. Magnetic Field Shape of *z*-axis according to Relevant Positions of Vehicle and Sensor.

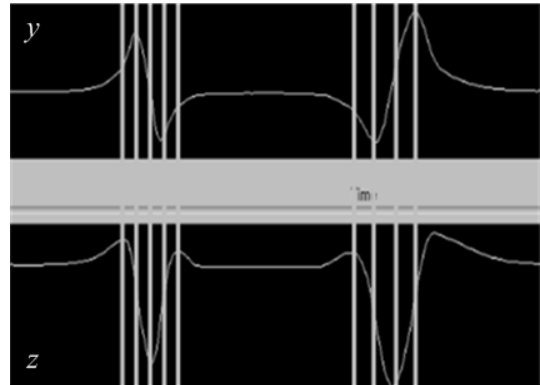


그림 8. *y*축과 *z*축 자기장형상의 상호연관성
Fig. 8. Correlation of Magnetic Field Shapes of *y*-axis and *z*-axis.

에 있을 경우 차량 인식이 가능하지만, C 또는 E의 위치에 있을 경우 EMF 변화가 0으로 감지되어 차량 인식오차가 발생시킬 수 있다. 이러한 현상은 주행 중에 더 복잡한 양상으로 발생될 것으로 예상되고 인식률 실패의 원인이 될 수 있다. 실제 차량길이가 작은 경차, 주차구역 내 대각선 혹은 주차구분선에 걸쳐 주차할 경우 감지실패 현상이 발생했다. 결국 *z*축을 차량 판정의 기준 값으로 사용한다고 해도 센서와 차량의 상대적 위치에 따라 판정 불가능한 경우도 발생할 수 있다.

*z*축의 식별 불가능한 문제를 해결하기 위해 *y*축과 *z*축의 상호연관성을 관찰하였다. 그림 8을 보면 *y*축이 최대일 때 *z*축 값은 최대 변위와 일치하고 반대로 *z*축이 최대일 때 *y*축의 값이 최대 변위에 위치하고 있다. *y*축과 *z*축은 서로 최대, 최소값이 일치하지 않으므로 비록 *x, y*중 한 축이 0이라도 다른 축은 0이 되지 않으며 동시에 0인 지점은 발생하지 않는다. 이에 따라 *y*와 *z*축 성분을 동시에 사용하여 차량감지를 하였다.

IV. 차량감지를 향상을 위한 조건

3구역 주차감지에서는 *y, z*축 중 가장 변화가 큰 *z*축을 가지고 차량감지를 하면 되었다. 하지만 센서와 차량의 상대적인 위치에 따라 차량식별 오차를 발생시킬 수 있어 *y*축도 차량감지의 성분으로 사용하였다. 차량감지를 위해 측면성분인 *x*축을 제외하고 *y*축과 *z*축 값을 가지고 다양한 방법으로 계산해보았고, $x+y$ 값으로 사용하기에 자기장의 값이 너무 작아서 y^2+z^2 의 값을 식별의 기준으로 정했다.

그림 9는 현장실험을 위해 3개의 주차구역에 센서를 설치하고 y^2+z^2 값으로 주차 및 출차 실험을 하였다. 본 실험은 트럭 및 중형차, SUV 및 소형차 20대를 기준으로 이루어졌으며 z 축만을 기준으로 할 때 60%의 차량을 인식하였다. 40% 정도의 인식률 오차는 앞서의 실험과 같이 대형차와 소형차가 동시에 주차할 경우 에 주로 발생하였다.

차체가 큰 차량의 y^2+z^2 성분은 모두 10,000 mG 이상이며 소형차의 경우, 6,500 mG ~ 8,000 mG 였다. 우선 10,000 mG를 인식기준으로 하였다. 그 결과 z 축만을 감지조건으로 할 경우보다 약간의 인식률 개선을 있었지만 소형차의 인식은 불가능하였다. 이제 y^2+z^2 을 7,000 mG을 변경할 경우 소형차인식은 가능하였지만 1번 구역에 트럭이 진입할 경우 2번의 빈 주차구역에서도 소형차의 주차로 인식되었다. 즉 강한 자기장을 발생시키는 트럭의 경우 옆 주차공간에 소형차가 주차한 것으로 오동작을 일으켰다. 이제 y^2+z^2 을 6,000 mG ~ 11,000 mG까지 1,000 mG간격으로 기준을 변경하였는데 어느 조건도 차량인식률을 개선하는 데는 한계가 있었다.

이번엔 x, y, z 축의 x^2+y^2 , x^2+z^2 , y^2+z^2 을 계산하여 x^2+y^2 , y^2+z^2 의 두 값을 추출하였다. 앞서

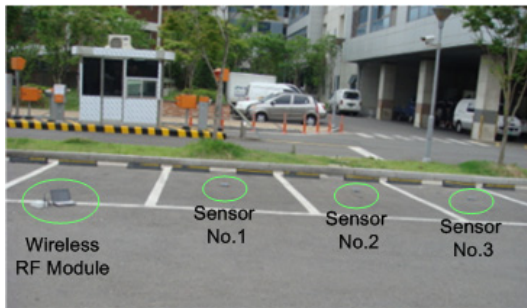


그림 9. 차량 주차 및 출차 현장 실험
Fig. 9. On Site Parking and Outgoing Experiment for Vehicles.

와 같이 y^2+z^2 은 6,000 mG ~ 11,000 mG(step 1,000 mG)로 하고 x^2+y^2 을 y^2+z^2 로 나누어 k 라 하고 $1 < k < 5$ 인 조건으로 차량인식 조건을 계산하였다.

$$k = \frac{x^2 + y^2}{y^2 + z^2} \quad (2)$$

여기서 k 의 x, y, z 은 자기장센서 각 축의 자기장 값이다.

표 2를 보면 y^2+z^2 을 11,000 mG 이상으로 하고 $1 < k < 5$ 의 조건에서는 k 에 상관없이 인식률이 75% 정도였다. 이 조건으로는 k 값과 무관하게 소형차를 인식하지 못하는 것으로 판단된다.

y^2+z^2 을 10,000 mG 이상에서는 k 값에 많은 변화를 보였으며 55% ~ 85%의 감지율을 보였다. y^2+z^2 을 9,000 mG 에서는 5% 정도 개선된 60% ~ 95%의 인식률을 보였으며 앞서와 같이 k 값에 따라 많은 변화를 보였다. 이에 반하여 y^2+z^2 이 6,000 mG 이상이라 할 경우 k 값에 따라 많은 영향을 받고 있으며 인식률은 70% ~ 90%이다. 이 조건에서는 소형차는 인식 가능하지만 인접 구역의 대형차량에 의한 간섭영향이 크다. y^2+z^2 이 7,000 mG에서는 10,000 mG이상인 경우와 같이 인식률은 75% ~ 90%였다. y^2+z^2 을 8,000 mG 이상인 조건하에서 k 을 변화시켜 보았다. 그 결과 65% ~ 100%의 인식률을 보였으며 특히 $k < 3$ 일 경우 20대 전 차량을 감지하였다. 정확한 감지율 검증을 위해 주차와 출차가 실험조건과 다른 일반 주차장에서 $y^2+z^2 > 8000$ mG, $k < 3$ 두 조건을 동시에 만족하는 경우에 대해 실험하였다. 측정결과는 18 ~ 20대의 차량을 인식하여 90% ~ 100%임을 확인하였다. 인식되지 못한 차량은 차로에 걸쳐서 주차하

표 2. y^2+z^2 과 k 값에 따른 차량감지대수 (차량 수: 20대)
Table 2. The Number of Vehicle Detection according to y^2+z^2 (mG) and k -value (Total Vehicles: 20).

$k \backslash y^2+z^2$ (mG)	> 6000	> 7000	> 8000	> 9000	> 10,000	> 11,000
$k < 1$	14	15	13	12	11	12
$k < 2$	17	18	18	15	15	15
$k < 3$	18	18	20	19	17	15
$k < 4$	15	18	19	17	17	15
$k < 5$	15	16	17	17	17	15

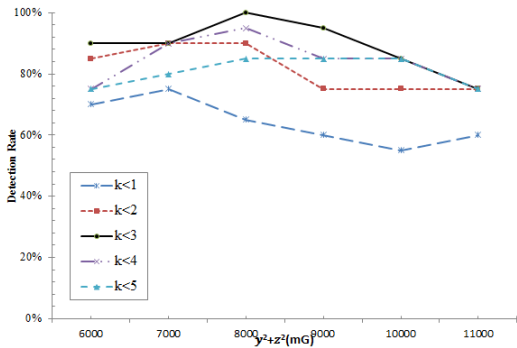


그림 10. y^2+z^2 과 k 값에 따른 차량감지율
 Fig. 10. Vehicle Detection Rate according to y^2+z^2 and k -values.

는 경우이고, 특별한 원인이 없는 경우였다.

V. 결 론

현재 도로의 차량감지용 센서의 대부분을 차지하는 유도코일 형 자기센서는 2m이상의 코일을 6m 정도의 도로를 절개하여 설치하며 시간이 지나면 도로의 변형이 발생하여 수명이 2년 정도로 짧다. 반면 지자기 센서는 15cm 정도의 소형으로 선진각국에서는 주차면의 점유상태, 주행차량의 속도 그리고 차량의 종류 식별을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만 인접구간의 대형차량, 합성급속을 사용한 소형차, 시시각각 변하는 지자기장의 변화 및 지자기센서 주위의 온도변화에 따른 퍼멀로이 필름의 오동작 발생으로 차량감지의 문제점을 제기하고 있다.

본 논문은 지자기센서를 이용하여 트럭, 승합차, SUV, 중형차 및 소형차의 자기형상신호와 세기를 분석하고 차량감지율을 향상시킨 내용이다. 측정결과, 차량의 존재유무와 차종은 확인할 수 있었으며 차체가 큰 차량일수록 자기장 패턴이 복잡한 양상으로 나타났고 자기장의 침투치 및 변화량이 작은 차체에 비해 2~10배 정도 차이를 나타냈다. 하지만 소형차 옆 차로에 차체가 큰 SUV나 트럭이 접근하면 차량인식 오동작을 일으키는 경우가 발생했다. 이를 해결하기 위해 y 축과 z 축 신호의 상호연관성을 분석하였고 y^2+z^2 값을 도출하여 3개의 주차구간에서 20여대의 다양한 차량을 대상으로 실험을 하였다. 실험결과 차량감지율은 60 ~ 70%로 나타났으며 오차를 줄이기 위해 y^2+z^2 을 6,000 mG ~ 11,000 mG까지 1,000 mG간격으로 감지조건을 변경하였다. 6,000mG 기준은 모든 차량의 감지가 가능하였지만 대형차량 옆 칸

에 소형차가 인식되는 오동작이 발생하였고, 9000 mG로 기준을 변경하였을 때는 소형차를 인식하지 못하였다. 결국 y^2+z^2 값으로는 모든 차량을 인식하기에 불가능하여 새로운 변수를 도입하여 인식조건으로 삼았다. 즉 y^2+z^2 값과 $1 < (x^2+y^2)/(y^2+z^2) < 5$ 을 동시에 변경하면서 실험 한 결과, y^2+z^2 이 8,000 mG 이상이고 $(x^2+y^2)/(y^2+z^2) < 3$ 이하인 조건을 동시에 만족할 경우, 20대의 차량이 모두 감지되었다. 실험을 객관성을 위해 주차와 출차가 실험조건과 다른 일반 주차장에서 측정한 결과 95%의 차량감지를 하였다.

본 연구는 신호등 대기시간의 결정, 도로 구간의 차량 통행량, 속도 측정을 위한 거리속도계산 시스템, 주차장 활용 공간의 지능적 관리에 활용 가능할 것으로 판단된다. 하지만 본 실험조건은 주차 및 저속인 상태이다. 따라서 현재 유도코일형 센서를 대체하기 위해서는 200km이상의 고속차량을 감지할 수 있는 빠른 응답속도의 지자기센서의 개발과 노이즈제거 기술, 신호처리 기술의 발전이 필요할 것이다.

References

- [1] 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. 526-532, Sep. 2015.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] D. R. Son, "The principles and applications of magnetic sensor," *J. KOMAG*, vol. 7, no. 6, pp. 334-339, Dec. 1997.
- [5] 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.*

- IEEK*, vol. 46, no. 6, pp. 870-879, Nov. 2009.
- [6] Honeywell, *1 and 2-axis magnetic sensors, HMC 1001/1002 and 1021/1022, Datasheet 900248*, Retrieved Dec., 2010, form <https://neurophysics.ucsd.edu/Manuals/Honeywell/HMC>
- [7] J. Ding, S. Y. Cheung, C. W. Tan and P. Varaiya, *Vehicle detection by sensor network nodes*, California PATH Research Report, UC Berkeley, UCB-ITS PRR-2004-39, Oct. 2004. Retrieved Aug., 2015, form <http://escholarship.org/uc/item/72b6f7gh#page-3>
- [8] H. Y. Choi, "Analysis of magnetic signals using vehicle detection sensor and magnetic field shape study," *J. KICS*, vol. 40, no. 02, pp. 349-354, Feb. 2015.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] CMM-1001 available : <http://www.coamtech.co.kr/>
- [12] K. H. Lee, *Study on the Design and Evaluation of Low Frequency Electromagnetic Wave Shielding Room*, M. A. Degree in Univ. of Ajou, Feb. 2007.

최학윤 (Hak-Yun Choi)



1985년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업

1987년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 석사

1999년 2월 : 건국대학교 전자공학과 석사

1996년 3월~현재 : 김포대학교 정보통신과 부교수

<관심분야> 전자파, 안테나, EMI/EMC