

자기레도 자율주행시스템 기본설계를 위한 자기특성분석  
Analysis Magnetic Field for Basic Design of Autonomous System  
by Magnetic Guidance

임대영\*                      유영제\*                      김의선\*\*                      목재균\*\*\*  
Lim, Dae Young              Ryoo, Young Jac              Kim, Eui Sun              Mok, Jai Kyun

ABSTRACT

In this paper, an estimation system of vehicle position and orientation on magnetic lane, which is a parameter of the steering controller for automated lane following is described. To verify that the magnetic dipole model could be applied to a magnetic unit paved in roadway, the analysis of the the data 3-axis magnetic field measured experimentally.

1. 서론

지하철은 요금이 저렴하고 많은 인원을 수송할 수 있는 장점 때문에 시민들의 대중교통수단으로 이용되고 있다. 이러한 장점 때문에 지방자치단체의 중소도시에서 지하철의 도입을 요구하고 있으나, 지하철을 운영하고 있는 중소도시는 건설비에 의해 사용인원이 적어 적자를 피하지 못하고 있다. 이러한 요구에 대해 국가는 수용 할 수 없는 상태이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 국내의 연구진은 "국가교통핵심기술개발"의 일환으로 미소지점 이동성이 편리하고, 지하철과 같이 많은 인원을 수송하며, 장애인과 노약자가 사용하기 편하고, 환경오염 없이 자율주행이 가능한 "도시형 일류전기 레도차량시스템 개발사업"을 추진 중에 있다[1,2].

본 논문에서는 자율주행을 하기위한 시스템의 개발에 대해 살펴보기로 한다. 현재 자율주행을 할 수 있는 방법으로는 크게 두 가지가 있다.

첫 번째는 카메라를 이용하여 도로를 촬영하고 영상에서 차선을 검출하여 수행하는 방법으로, 이는 현재도 많은 연구가 진행중에 있다. 그러나 이는 영상을 처리하는 시스템이 고가이고 시스템 구축에 많은 비용이 부자되며, 눈이나 비가 내리 차선이 소실되면 차선을 감지하지 못하는 단점을 가지고 있다[3,4].

두 번째는 도로에 자기위를 매설하고 자기위에서 발생하는 자계를 계속하여 수행하는 방법이다. 이는 저렴한 마이크로프로세서를 이용하여 시스템을 구축할 수 있기 때문에 시스템에 부자되는 비용이 적다. 또한 자계를 이용하므로 날씨변화의 영향을 받지 않아 안전성이 높은 것으로 평가되었다.

이 시스템은 미국과 네덜란드에서 운영중에 있으며, 네덜란드는 APTS 그룹에 의해 개발되었고, 미국은 ITS(Intelligent Transport. System)의 일환으로 University California에서 주도하는

\* 목포대학교 제어시스템 공학과, 비회원

\*\* 서남대학교 전기·전자공학부, 비회원

\*\*\* 한국철도기술연구원, 정회원

PATH(Partners for Advanced Transit and Highway)프로그램에 의해 개발되었다[5.6].

국내의 경우는 전남대학교의 Ryoo and Kim의 연구에 의해 Neural Networks을 이용한 자계기반 자율주행 시스템이 성공적으로 이루어 졌다[7].

자계기반 자율주행 시스템에서 가장 중요한 핵심 기술은 자기원으로 구성된 자계도로상의 차량 현재위치를 검출하고 추測하는 것이다. 따라서 자계도로상의 현재위치를 검출하고, 분석하기 위한 시스템을 설계·구성하였다. 그리고 자기원의 종류와 설치간격 및 도로포장 종류와 재질에 따른 특성을 분석하였다.

## 2. 단일자기원의 자기장

그림 2.1은 원통형 단일 자기원을 자기 쌍극자 모델로 가정한 것이다. 단일자기원의 중심에서 P점만큼 떨어진 위치의 자계 성분( $B_x, B_y, B_z$ )의 세기를 유도할 수 있다.

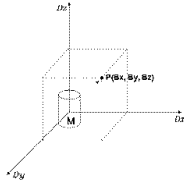


그림 2.1 단일자기원의 자계.

자계의 세기  $U$ 와 P점의 자계  $B$ 의 3축성분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U = \frac{M \cos \theta}{4\pi \mu_0 r^2}$$

$$= \frac{Mz}{4\pi \mu_0 (x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}$$

단,  $U$ : 자기쌍극자세위,  $r = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$

$M$ : 자기쌍극자모멘트,  $\mu_0$ : 진공중의 투자율.

$$B_x = \frac{3Kxz}{r^5} [G]$$

$$B_y = \frac{3Kyz}{r^5} [G]$$

$$B_z = \frac{K(2z^2 - x^2 - y^2)}{r^5} [G]$$

단,  $K = \frac{M_0}{4\pi}$      $\alpha$ : 단위원산계수

## 3. 자계측 및 분석 시스템

자계를 계속하고, 분석하기 위한 시스템을 그림 3.1과 실제 자동차에 장착하기위한 시스템을 그림 3.2와 같이 설계·제작하였다. 단일 자기원을 고정하고 이를 자기저항센서를 이용하여 자계를 계속한다. 계속된 자계는 마이크로프로세서와 컴퓨터 사이에 직렬통신을 통해 컴퓨터에 전송된다. 전송된 데이터는 개발된 소프트웨어에 의해 그래프로 표시된다. 본 실험에 사용된 자기원은 페라이트이며, 직경 2.5[cm]×10[cm] 크기를 갖는다. 자기저항센서는 미국 Honeywell사의 HMR2300 사용하였다. 이는 내부에 HMC 1001과 1002로 구성되어있다.  $\pm 2$ [Gauss]내에서 자계를 계속할 수

있고, 70[ $\mu$ Gauss]의 정밀도를 가지고 있다. 또한 10~154개의 샘플링을 설정할 수 있고, 명령어의 입력에 따라 동작 한다. 실내실험을 위해 센서의 이동거리가 정확하도록 가로, 세로 100[cm] 크기의 모눈종이를 바탕에 설치하였다. 센시노이즐 고정하기 위해 아크릴 케이스를 제작하였다. 센서는 자석의 표면으로부터 20[cm]위에 고정하였다. 센서의 이동방향은 자기원을 중심으로 전후방향( $D_x$ )과 측방향( $D_y$ )으로 5[cm]간격으로 -50[cm]에서 50[cm]까지 이동하며 계속하였다.

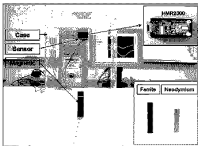


그림 3.1 실내 실험장치.

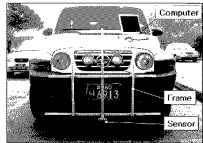


그림 3.2 자동차에 장착된 센의 실험장치.

### 3.1 단일자기원의 자계분포

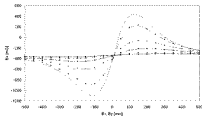


그림 3.3 전후방향( $B_z$ ) 자계분포.

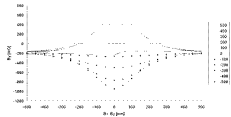


그림 3.4 측방향( $B_y$ ) 자계분포.

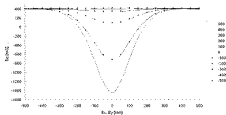


그림 3.5 높이성분( $B_z$ ) 자계분포.

그림 3.3은 페라이트 단일 자기원의 전후방향에 대한 자계분포를 나타낸다. 전후방향으로 이동하는 동안 자기원이 위치한 0[cm]를 기준으로 후방에 위치한 때는 음에 값을 전방에 위치한 때는 양에 값을 갖고 좌측과 우측에 동일한 분포가 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 3.4는 측방향으로 이동할 때 자계의 분포를 볼 수 있다. 자기원이 위치한 0[cm]에서 자계의 분포가 가장 크게 나타

나는 것을 볼 수 있고, 좌측에 위치할 때 음에 값을 우측에 위치할 때 양에 값이 나타나는 것을 볼 수 있으며, 상하에 동일한 분포가 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 3.5는 수직방향에 대한 자계의 분포를 나타낸다. 자기원이 위치한 0[cm]에 가까워질수록 두 자계의 분포가 커지고, 자기원의 위에 위치할 때 자계의 분포가 가장 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

따라서 본 실험을 통해 진후방에 대한 자기원의 위치와 정보는  $B_z$ 축의 자계분포를 통해 알 수 있고, 측방향 이팅에 대한 정보는  $B_x$ 축을 통해 알 수 있으며, 자기원으로 부터 센서의 높이정보는  $B_y$ 축을 통해 알 수 있음이 입증되었다.

### 3.2 설치간격에 따른 자계분포

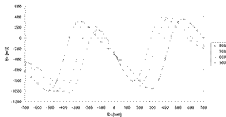


그림 3.6 진후방향( $B_z$ ) 자계분포.

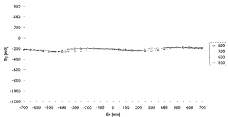


그림 3.7 측방향( $B_y$ ) 자계분포.

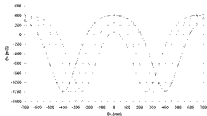


그림 3.8 높이정보( $B_z$ ) 자계분포.

그림 3.6은 페라이트 자기원의 설치간격에 따른 진후방향에 대한 자계의 분포를 보여준다. 두 자기원 사이의 거리는 50[cm]~80[cm]까지이며, 두 개의 자기원을 고정하고, 자계의 분포를 계속하였다. 자기원의 간격이 좁아질수록 자계의 변화 폭과 세기는 약아지는 것을 볼 수 있다. 이는 자기원이 가지고 있는 자계가 중첩되기 때문인데 거리가 가까울수록 중첩되는 부분이 많아지는 것을 볼 수 있다. 그림 3.7은 측방향에 대한 자계의 분포를 보여준다. 센서가 측면이탈성분이 발생하지 않았기 때문에 자계의 분포가 거의 일정하게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 그림 3.8은 수직방향에 대한 자계의 분포를 보여준다. 0[cm]를 기준으로 자기원에 형성된 자계가 서로 중첩되는 것을 확인할 수 있다. 자기원의 거리가 짧을수록 자계의 변화가 작아지는 것을 볼 수 있다. 80[cm]의 경우 지자계의 값을 계속하였다. 따라서 자기원의 설치간격이 짧으면 설치비용이 늘어나기 때문에 80[cm]이상 이어야함을 볼 수 있다.

### 3.3 설치각도에 따른 자계분포

그림 3.9는 자기원을 도모에 배치하거나, 배치되어 있는 자기원이 외부의 힘에 의해 위치가 이

동하여 설치각도가 틀어진 경우 전후방향에 대한 자계의 분포를 보여준다. 자기원은 후방으로  $0^\circ \sim 30^\circ$  까지  $5^\circ$ 간격의 기울기를 갖도록 하였다. 자기원이 위치한 0[cm]를 기준으로 기울기가 커질수록 자기원의 기울기를 갖는 방향으로 자계가 형성되는 것을 볼 수 있다. 그림 3.10은 측방향의 기울기를 갖는 자계의 분포를 보여준다. 측방향의 변화가 발생하지 않았기 때문에 자계의 변화가 일정하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 3.11은 수직방향에 대한 기울기를 갖는 자계의 분포를 보여준다. 기울기가 커질수록 자계의 세기는 감소하고 기울기가 커지는 방향으로 자계의 변화가 이동하는 것을 볼 수 있다.

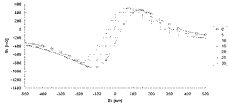


그림 3.9 전후방향( $B_z$ ) 자계분포.

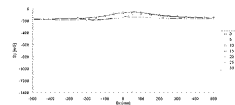


그림 3.10 측방향( $B_y$ ) 자계분포.

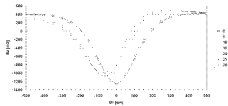
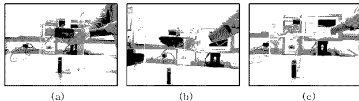


그림 3.11 수직방향( $B_z$ ) 자계분포.

### 3.4 도로포장 및 계절에 따른 자계분포

도로의 포장종류와 센서의 보호를 위해 사용된 계절이 자계가 존재하는 공간에서 어떤 영향을 주는 지에 대해 살펴본다. 그림 3.12은 콘크리트, 아스팔트, 스테인레스 계절에 대한 설명이다. 표 1은 계측전과 계측후의 자계의 변화이다. 실험결과 작은 오차범위 내에서 자계에 큰 영향이 없음을 볼 수 있다.



(a) 콘크리트, (b) 아스팔트, (c) 스테인레스.

그림 3.12 도로포장종류와 계절에 따른 자계분포.

표 1.1 계측전후의 자계변화

	계측 전			계측 후		
	$B_x$ [mG]	$B_y$ [mG]	$B_z$ [mG]	$B_x$ [mG]	$B_y$ [mG]	$B_z$ [mG]
Concrete	-347.9	-132.1	-1230	-347.5	-132.1	-1230
Asphalt	-224.7	-194.9	-1180	-224.7	-194.9	-1181
Stainless	-361.1	-139.3	-1229	-361.2	-139.2	-1229

#### 4. 결론

본 논문에서는 자계도로를 구성하고 자율주행하기 위한 선행조건으로 자기저항 센서를 이용한 자계기반 도로의 자계특성을 분석하였다. 자율주행 시스템에서 가장 중요한 핵심기술은 자기원으로 구성된 자계도로를 주행하는 차량의 현재위치 파악이다. 따라서 자계도로위에 차량의 현재위치를 검출하기 위한 시스템을 설계하고 구성하였다. 그리고 센서와 자기원 사이에 존재하는 자계의 특성을 분석하기 위한 실험을 행하였다. 자기원의 간격 및 자기원의 기울기에 따른 자계의 3축성분과 도로포장 종류에 따른 데이터를 획득하였다. 획득한 데이터를 이용하여 3축성분에 따른 거리정보와 방향을 분석하였다.

#### 감사의글

본 논문은 한국철도기술연구원의 “국가교통핵심기술 개발사업”에 의해 지원받았습니다.

#### 5. 참고문헌

1. 목재균, 윤희택, 정우성, “도시형 연료전지 궤도차량 시스템 기술 개발사업”, 한국철도기술, 50호, 11월, 12월, 2004.
2. 목재균, 김용기, 유영재, “정밀정차를 위한 전자기 안내궤도기술 개발”, 한국철도기술, 50호, 11월, 12월, 2004.
3. 유영재, “상대분할 신경회로망을 이용한 자율주행 전기자동차의 도로영상기반제어” 전남대학교 박사학위논문, 1998.
4. Young-Jae Ryoo and Young-Cheol Lim "Coordinated Control of Speed and Steering System Based on Neural Network for Automated Lane Following Vehicle", ICEE'99, Volume 1, B3-05, pp.370-373, 1999
5. C. Y., Chan, and H. T., Tan, "Evaluation of Magnetic as a Position Reference System For Ground Vehicle Guidance and Control", California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2003-8, March, 2003.
6. C. Y., Chan, "Effects of External Objects and Earth Field on Magnetic marker Systems For Ground Vehicle Guidance and Control" California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2002-20, May, 2002.
7. Young-Jae Ryoo, Eui-Sun Kim, Young-Cheol Lim, Jai-Kyun Mok and Seky Chang, "Intelligent Position System for Magnetic Sensor Based Autonomous Vehicle", SCIS & ISIS 2004, CD-ROM, 2004.