

# 자계 표식기반 안내시스템을 이용한 차량의 무인주행

## Unmanned Driving of Vehicle Using Guidance System Based on Magnetic Marker

임대영, 유영재, 최민혁  
목포대학교 제어시스템공학과

Dae-Yeong Im, Young-Jae Ryoo, Min-Hyok Choi  
Department of Control System Engineering, Mokpo National University  
E-mail : dylim@mokpo.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 자계표식기반 안내시스템을 이용한 차량의 무인주행을 제안한다. 자계기반 안내시스템에서 가장 중요한 것은 자계도로상의 자석의 위치예측이다. 자석의 위치를 예측하기 위하여 자석과 센서의 상관관계를 해석하여 도로에 매설된 자석의 위치를 검출하기 위한 배열형 자계표식위치인식센서를 개발하였다. 또한 자동모드와 수동모드의 동작을 위해 스텝모터를 이용한 조향제어장치를 개발하였다. 자율주행 실험을 위해 자계기반 자계도로를 구성하였다. 그리고 로봇형 차량을 자계도로에서 실험을 통해 실용성을 입증하였다.

### 1. 서론

1885년 독일 메르세데스 벤츠사의 Karl Benz가 발명한 가솔린 3륜 자동차를 시작으로 자동차의 기술은 급진적으로 발전하여 왔다. 1911년 미국의 GM(general motors)은 세계 최초로 엔진시동을 위한 시동모터를 채용 하였다. 시동 모터로 인해 노약자나 여성들도 운전을 할 수 있는 기회가 생기면서 자동차의 대중화에 크게 기여하였다. 그 이후 자동차회사들은 자동차에 전자제어 분야의 기술을 적용하여 자동차를 개발하고 생산하기 시작하였다[1]. 따라서 차량의 안전성을 높이고 운전자의 편의장치가 증가하였다. 최근에는 이러한 시스템을 차량의 첨단화 및 지능화하라고 하며, 이는 IT(information technology)기술이 발전하면서 함께 발전하여 왔다. 이중에서도 가장 큰 관심을 받고 있는 기술은 차량이 도로의 상태를 스스로 판단하고 지도를 작성하거나 가상의 안내선을 따라 주행하는 자율주행 시스템(autonomous driving system)이다[2].

자율주행 시스템에 대한 대표적인 기술은 크게 2가지 분야로 나눌 수 있다. 카메라를 이용한 시각센서기반(vision based)의 자율주행시스템과 위성항법을 이용한 GPS(global positioning system)기반의 자율주행 시스템이다.

시각센서기반의 자율주행시스템은 빛에 의한 영향과 계절에 따른 일기의 영향으로 비나 눈 또는 안개에 의해 차선이 가려질 경우 차선을 검출하지 못하여 주행을 할 수 없는 치명적인 단점을 가지고 있다.

GPS기반의 자율주행 시스템은 기본 오차가 100[m]이며 터널이나 빌딩이 많은 도시 등 수신 환경이 빈약한 곳에서는 전파를 수신할 수 없는 단점을 가지고 있다. 또한 위치를 업데이트하는 걸리는 시간이 1[sec]로 매우 낮고, 실제 자율주행 시스템에서 거리오차는 최소 30[cm] 이내에서 이루어져야한다.

따라서 본 논문에서는 빛이나 위의 단점을 강한 자계표식기반 안내시스템을 제안한다. 그리고 제안하는 방법을 검증하기 위한 자계도로를 구성

하고, 자율주행을 위해 로봇형 차량을 개발하였다. 또한 자계도로의 자계표식을 인식하기 위한 자계표식위치인식센서와 스텝모터를 이용한 조향장치를 설계하고 개발하였다.

## 2. 자계표식기반 안내시스템

### 2.1 자계와 자석

본 장에서는 자석과 자계에 대한 모델을 분석하였다. 사용된 자석은 원통형의 영구자석으로 자기 쌍극자로 가정한다. 자석에서 발생하는 자계는 그림 2와 같이 직각좌표계를 사용하여 표현할 수 있다. 그림 2는 직각좌표계를 이용하여 3방향의 자계 벡터 성분을 표현하였다.

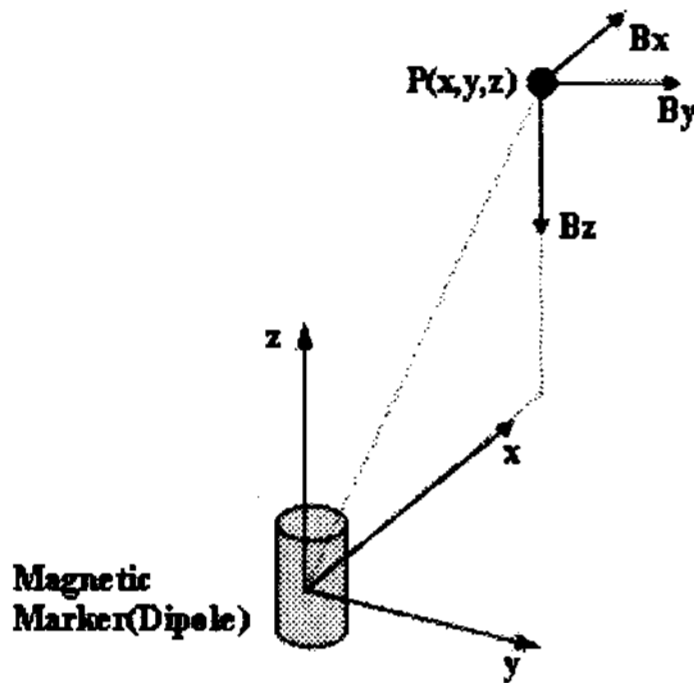


그림 1. 자기 쌍극자 모델.

$B_x$ 는 자석에서 발생하는 자계의 세로 방향 성분이다.  $B_y$ 는 가로 방향 성분이고,  $B_z$ 는  $B_x$ 와  $B_y$ 에 수직하는 높이 방향 성분이다. 어느 지점 P에서 자석으로부터 발생하는 자계의 3가지 성분  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ 는 각각 아래의 식 (1), (2), (3)에 의해 구할 수 있다.

$$B_x = \frac{3Kmzx}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \dots\dots\dots (1)$$

$$B_y = \frac{3Kmyz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \dots\dots\dots (2)$$

$$B_z = \frac{Km(2z^2 - x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \dots\dots\dots (3)$$

$$Km = \frac{\mu_0 M_T}{4\pi}, \quad M_T = \pi b^2 M_0$$

위의 식에서  $Km$ 은 비례상수 이고,  $M_0$ 는 자기 모멘트 그리고  $b$ 는 원통형 영구자석의 반지름이다.

### 2.2 자계표식기반자율주행 시스템의 원리

자계표식기반 안내시스템은 그림 1과같이 도로

의 중앙에 일정한 간격으로 자석을 매설하면 자석주변에 자계가 형성되며 자계를 이용한 자계차선이 구성된다. 그리고 차량에 장착된 자계센서를 이용하여 센서가 자석을 지날 때 자석의 자계가 분포하는 공간에서 3축 방향에 대한 자석의 자계분포를 측정한다. 측정된 3축 자계분포는 차량의 위치를 예측하는데 사용된다. 측정된 자계분포는 자석과 센서의 상관관계를 해석하여 차량의 위치를 파악하고, 차량의 위치에 따른 조향각을 제어함으로써 자율주행이 가능한 시스템이다.  $x$ 축은 차량의 진행방향,  $y$ 축은 자계차선으로부터 측면으로 벗어난 거리,  $z$  자계차선으로부터 센서의 높이 이다.

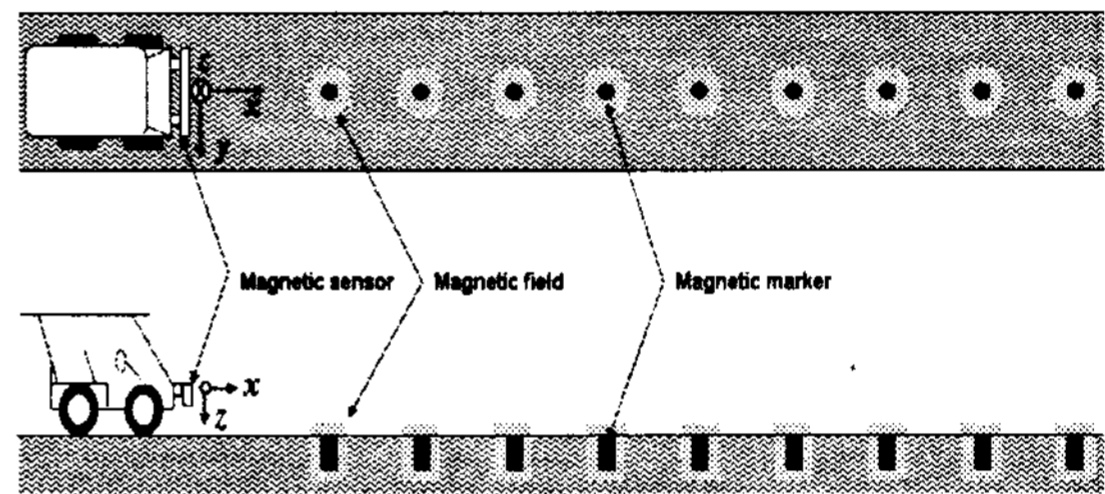


그림 2. 자계표식기반 안내시스템.

## 3. 자계표식기반 위치인식 센서

### 3.1 Peak Mapping

Peak mapping법은 사전에 저장된 좌우방향 자계성분( $B_y$ )과 높이방향 자계성분( $B_z$ )의 비교를 통해 자석의 위치를 예측한다. 이 방법은 Look-up 테이블에 저장되어있는 데이터의 분해능에 따라 자석의 위치 정밀도가 결정된다. 즉 테이블을 만들기 위하여 센서로부터 떨어진 자석의 이동 거리가 1[cm]이면 정밀도는 1[cm]이고, 5[cm]를 이동하였다면 정밀도는 5[cm]가 되는 것이다. 따라서 정밀도를 높이기 위해서 자석의 이동거리가 짧아야 하기 때문에 데이터를 저장하는데 메모리소모가 많고, 지자계를 제거해야하는 문제점을 가지고 있다. 지자계는 비선형적이기 때문에 이를 제거하는데 복잡한 수식을 이용해야 한다. 또한 가장 치명적인 문제인 저장되어 있지 않은 데이터가 입력될 경우 위치를 예측할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 이러한 위치오차의 발생을 해결하기 위하여 보간법을 사용하지만 보간법역시 복잡한 수식을 처리해야하는 과정을 거쳐야한다. 이러한 복잡한 수식은 알고리즘 처리시간의 지연을 가져오고 이는 곧 차량의 주행과 같은 실시간 제어에 큰 장애요소가 된다.

### 3.2 Array Magnetic marker Position Sensor

배열형 자계위치센서는 제안하는 새로운 방법이다. 이 방법은 측정된 자계데이터를 자석의 위치를 예측하는데 바로 사용한다. 그림 3은 개발된 자표식 위치인식 센서이다. 먼저 8개의 센서를 배열로 설치하고 자석이 센서를 따라 1번에서 8번 까지 이동한다면 센서에서 측정된 자계데이터는 자석의 아래에서 가장 작(Peak)은 자계의 세기를 나타낸다. 따라서 각 센서의 Peak를 검출하여 비교하고 이 중에서 자계의 세기가 가장 큰 것을 검출함으로써 자석의 위치를 예측할 수 있다. 이 경우 Peak를 검출하여 자석의 위치를 예측하기 때문에 자계데이터를 저장할 메모리가 필요 없고, 데이터가 존재하지 않는 구간이 없으며 보간법이나 지자계를 제거해야하는 절차가 필요 없어 실시간으로 데이터 처리가 가능하며 알고리즘 처리 시간이 짧아 차량을 제어하는 시스템에 영향을 주지 않는 장점을 가지고 있다. 그림 4는 개발된 센서 3개의 보드를 연결하여 로봇형 차량에 장착한 것이다. 로봇형 차량은 총 96[cm]를 감지할 수 있다.

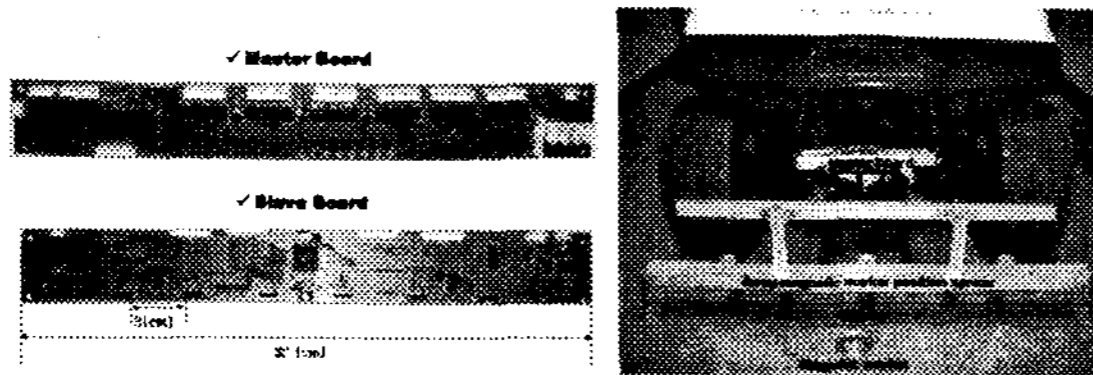


그림 3. 배열형 자계표식 위치인식센서.

## 4. 로봇형 차량

### 4.1 조향장치

그림 5에서 보는 바와 같이 조향장치는 차량의 핸들에 스텝모터를 장착하고 모터와 핸들축에 2:1의 타이밍 풀리를 장착하였다.

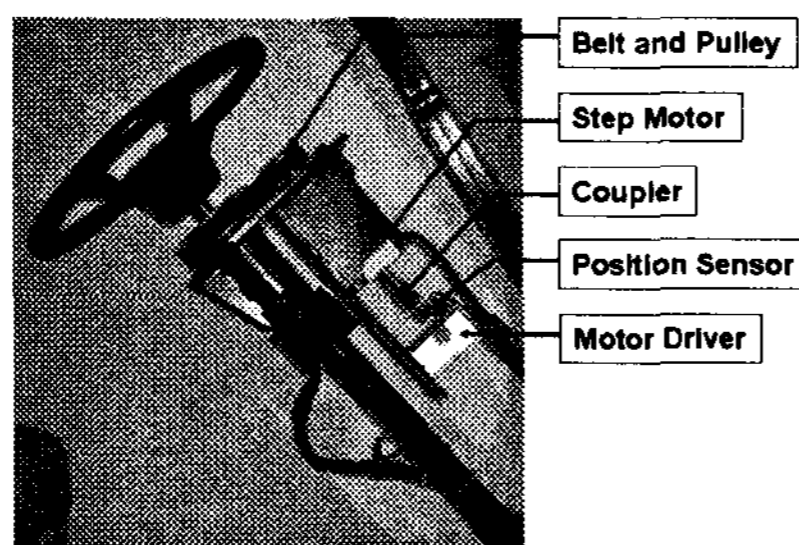


그림 4. 조향시스템의 기계적 구조.

핸들 축의 풀리와 모터축의 풀리는 타이밍 벨트를 이용하여 연결하였다. 모터 축에는 포지션

센서를 장착하여 현재 조향각을 측정 하도록 하였으며, 모터 축과 포지션센서의 중간에는 커플러를 장착하여 포지션센서를 보호하였다. 그리고 스텝모터 드라이버를 장착하였다. 스텝모터 드라이버는 차량제어기에서 입력되는 주파수와 방향 정보에 따라 차량의 방향을 제어한다.

### 4.2 차량시스템

본 장에서는 로봇의 기술을 적용한 차량을 설계하고 개발한다. 차량은 "MOROCLE- I (Mokpo national university robotic vehicle -I)이라고 명명하였다.

자체를 구성하는 기계적인 부분과 제어를 위한 전기적인 부분으로 나뉜다. 그림 6은 차량에 장착된 전체 시스템이다. 차량의 전방과 후방 범퍼 아래에는 어레이 자계표식 위치인식 장치가 장착되어 주행 시 자계를 측정하고 알고리즘에 따라 차량의 위치오차를 인식하여 이를 메인 제어기에 전달한다. 차량의 위치오차가 입력되면 메인제어기는 자계도로를 벗어나지 않도록 알맞은 조향각 제어와 속도를 계산한다. 조향제어 부는 조향제어 명령에 따라 스텝모터를 좌, 우로 회전시키며, 후륜구동모터의 속도제어 부는 지시된 속도에 따라 구동모터를 구동시킨다. 전방의 범퍼에는 초음파 센서를 이용하여 장애물을 감지하도록 하였으며, 운전석에는 전체 시스템을 제어하고 모니터 할 수 있는 컨트롤 패널이 있다.

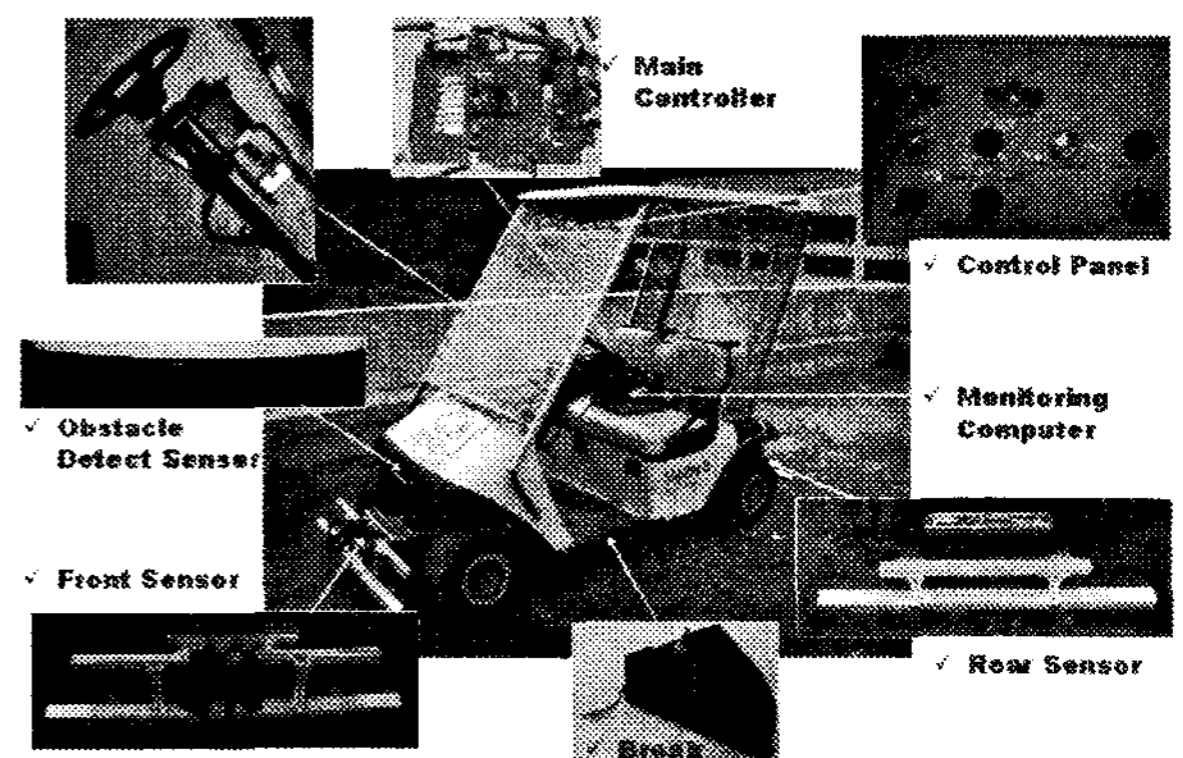


그림 5. MOROCLE- I .

차량의 제어시스템을 모니터링 하도록 모니터링 컴퓨터가 시스템을 감시하고 측정된 데이터를 저장한다. 장애물 감지 및 비상시 자동으로 차량을 세우기 위한 자동 브레이크를 개발하여 장착하였다. 또한 비상시 차량을 정지할 수 있도록 비상스위치가 장착되어 있다.

## 5. 실험 및 결과

### 5.1 위치인식

그림 7은 개발된 자계표식 위치 인식장치와 기존의 Peak-Mapping법을 결과를 비교한 것이다. 점선안의 거리는 기존의 방법을 이용하여 자계표식의 위치를 계측한 것으로 실험을 통해 얻은 데이터다. 그림에서 보는 바와 같이 기존의 방법은 0[cm]를 중심으로 약 -9[cm]~9[cm]로 총 18[cm] 내에서 검출함을 보였다. 그러나 개발된 배열형 자계표식 위치인식장치는 0[cm]를 중심으로 -54[cm]~54[cm]까지 총 104[cm]를 계측함을 보인다. 따라서 개발된 방법이 기존의 방법보다 약 5.7배 이상 검출 범위가 확장되는 우수성을 검증하였다.

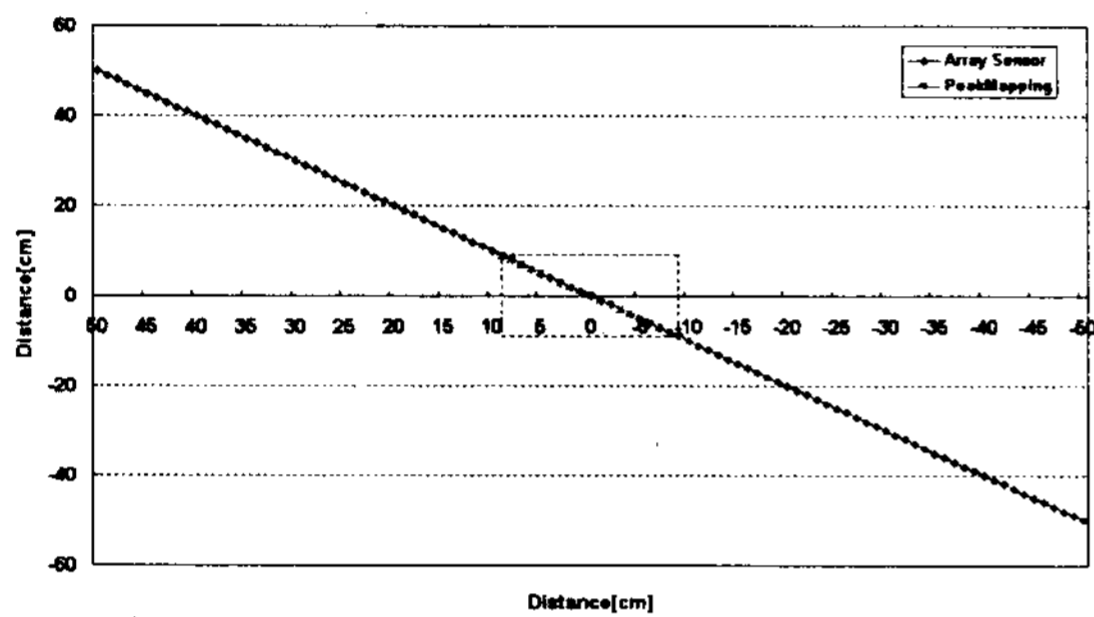


그림 6. Peak mapping 과 Array magnetic marker position sensor의 비교.

### 5.2 도로주행

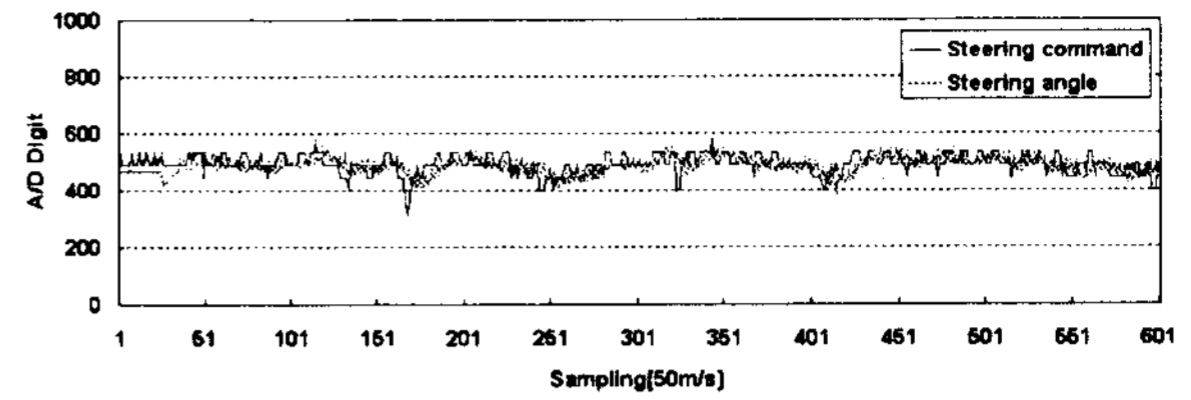
그림 7의 (a)는 직선도로를 주행한 것이고, (b)는 도로에서 우측으로 45[cm] 벗어나 주행한 것이며, (c)는 차량이 도로와 대각선을 이룬 상태에서 출발한 것이다. 자계도로의 길이는 총 30[m]이다.

직선도로의 경우 출발위치는 센서와 핸들이 중앙에 위치하기 때문에 값이 중앙에 위치하는 것을 볼 수 있고, 조향각이 조향명령을 추종하는 것을 볼 수 있다.

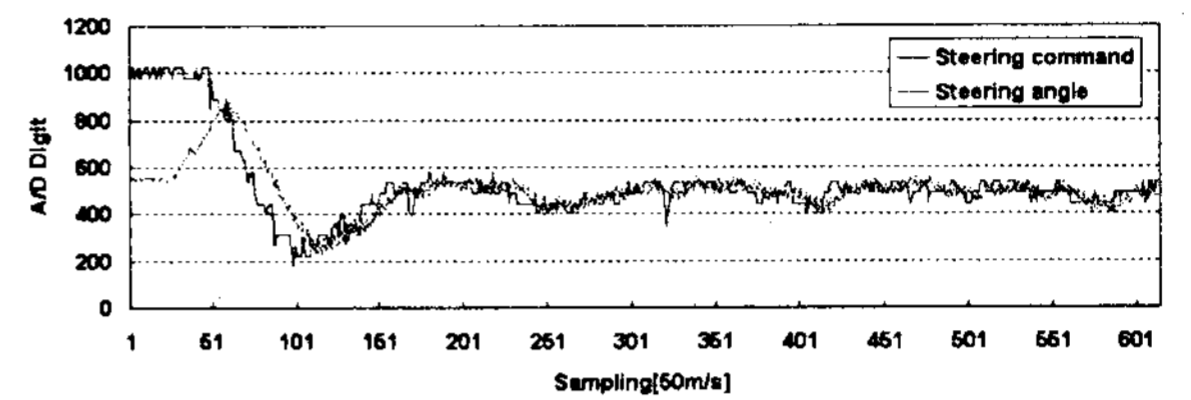
측방오차의 경우 차량이 도로를 중심으로 우측으로 45[cm]벗어나 출발한 것이며, 조향명령은 우측으로 벗어난 결과를 출력하고 조향각은 중앙에 위치하기 때문에 변화가 없음을 볼 수 있다. 그러나 출발 후 조향명령은 자계도로 방향으로 향하며 조향각은 조향명령을 추종하여 상승하는 것을 볼 수 있다.

주행방향을 자계도로로부터 약 30[°] 정도 틀어진 상태에서 출발한 경우 센서와 조향각은 중앙에 위치하기 때문에 중앙에 위치함을 확인할 수 있다. 그러나 주행이 시작되면서 차량이 자계도로로부터 틀어진 방향으로 주행하다 도로로 진입하는 것을 볼 수 있다. 또한 직선도로의 주행 중

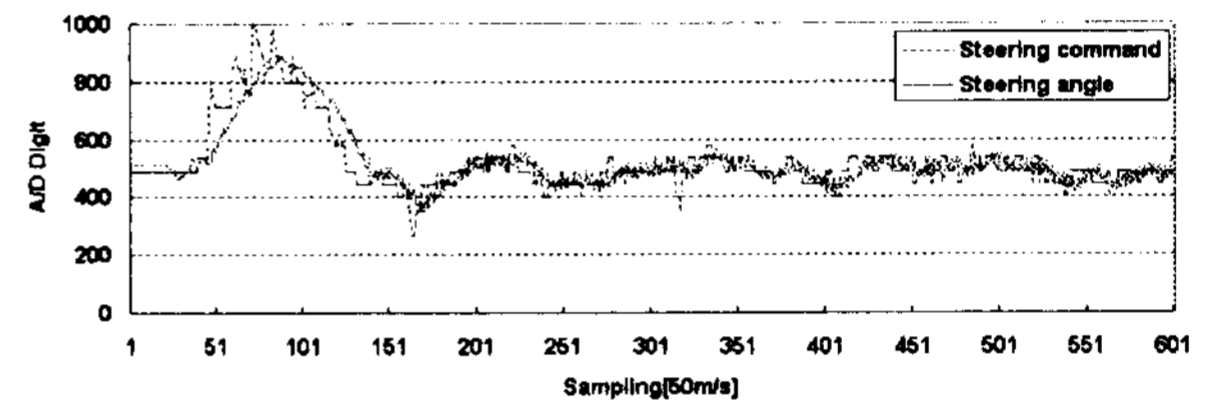
에는 위치 오차가 5[cm]이내임을 실험을 통해 검증하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 7 도로주행결과.

(a) 직선도로, (b) 측방향 위치오차, (c) 주행 방향 위치오차.

## 6. 결론

본 논문에서는 자계표식기반 안내시스템을 위한 새로운 자계표식위치인식방법을 제안하고 이를 실험하기 위한 조향제어용 스텝모터를 이용한 조향장치와 로봇형 차량을 개발하였다. 실험결과 기존의 자계표식위치인식장치보다 개발된 위치인식장치의 성능이 약 5.7배 상승하였으며, 이를 개발된 로봇형 차량에 장착하고 실험한 결과 5[cm]이내의 오차를 가지고 주행 하는 것을 확인하였다.

## 7. 참고문헌

- [1] 선우명호, "21세기 자동차와 전자기술 오토저널," pp. 24-33, 2월, 1996.
- [2] Mrcio Dorigo, "Introduction to the special issue on learning autonomous robot," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol. 26, No. 3, pp. 361-364, June 1996.