

자계표식을 이용한 로봇형 차량의 무인주행

Unmanned Driving of Robotic Vehicle Using Magnetic Marker

임대영 · 유영재*

Dae-Young Im and Young-Jae Ryoo*

목포대학교 제어시스템공학과

요 약

본 논문에서는 자계표식을 이용한 로봇형 차량의 무인주행기술을 제안한다. 자계표식을 이용한 주행시스템에서 가장 중요한 것은 자계도로상의 자석의 위치예측이다. 자석의 위치를 예측하기 위하여 자석과 센서의 상관관계를 해석하고 도로에 매설된 자석의 위치를 검출하기 위한 배열형 자계표식 위치인식센서를 제안한다. 또한 스텝모터를 이용한 조향제어장치를 개발하고 자동모드 및 수동모드 운전이 가능토록 한다. 무인주행 실험을 위해 자계도로를 설치하고, 제작된 로봇형 차량의 실험을 통해 실용성을 입증한다.

키워드 : 자계표식, 로봇형 차량, 배열형 자계표식 위치인식센서

Abstract

In this paper, unmanned driving of robotic vehicle using magnetic marker is proposed. One of the most important component of autonomous vehicle is to detect the position of a magnetic marker on the road. In order to calculate the precise position of a magnet embedded on the road, the relation of magnetic field and a sensor is analyzed, and a new position sensing system using arrayed magnetic sensor is proposed. Also, the steering control system using a stepping motor is developed for driving by automatic mode as well as manual mode. For the verification of usability, the developed robotic vehicle is tested on magnetic road.

Key Words : Magnetic marker, robotic vehicle, array typed magnetic position sensor

1. 서 론

1885년 독일 메르세데스 벤츠사의 Karl Benz가 발명한 가솔린 3륜 자동차를 시작으로 자동차의 기술은 급진적으로 발전하여왔다. 1911년 미국의 GM(General Motors)은 세계최초로 엔진시동을 위한 시동모터를 개발하여 자동차에 채용하였다. 이전에는 건장한 사람만이 자동차에 시동을 걸고 운전할 수 있었으나 시동모터로 인해 노약자나 여성들도 운전을 할 수 있는 기회가 많아지면서 자동차의 대중화에 크게 기여하였다. 이후 자동차 회사들은 자동차에 전기·전자·제어 분야의 즉 IT(Information Technology)기술을 적용하여 자동차를 개발하고 생산하기 시작하였다[1].

IT분야의 기술이 적용되어 차량이 개발되기 시작하면 서 가장 큰 주목을 받고 있는 기술은 차량이 도로의 상태를 스스로 판단하고 지도를 작성하거나 가상의 안내선을 따라 주행하는 무인주행시스템(Autonomous Driving System)이다.

무인주행시스템에 대한 대표적인 기술은 크게 2가지 분야로 나눌 수 있다. 시각센서기반(Vision Based)의 무인주행시스템과 위성항법을 이용한 GPS(Global Positioning

System)기반의 무인주행시스템이다.

시각센서기반의 무인주행시스템은 카메라를 통해 입력된 도로영상을 기반으로 차선을 검출하고 데이터를 처리하여 지도를 생성하고 차선과 차량의 위치관계를 파악하여 조향각을 제어함으로써 무인주행이 가능한 시스템이다. 물체나 도로로부터 반사되는 빛에 의한 영향과 비나 눈 또는 안개에 의해 차선이 가려질 경우 차선을 검출하지 못하여 주행을 할 수 없는 치명적인 단점을 가지고 있다[2].

GPS기반의 무인주행시스템은 위성에서 송신하는 지상의 위치 데이터를 수신하여 현재의 위치를 인식하고, 주행하는 방법으로 표준위치측정서비스를 이용한다. GPS는 일반인에게 서비스될 때 기본적인 위치오차가 포함되어있으며, 터널이나 빌딩이 많은 도심 등 수신환경이 열악한 곳에서는 신호를 수신할 수 없는 단점을 가지고 있다[3].

최근에는 빛이나 날씨에 의한 영향을 받지 않고, 터널이나 빌딩이 많은 도심에서도 현재의 위치를 정확히 인식하면서 무인주행이 가능한 시스템으로 자계표식기반 안내시스템이 제안되었다.

자계표식기반 안내시스템은 그림 1에서 보는 바와 같이 도로의 중앙에 일정한 간격으로 자계표식(이하 자석)을 매설하여 자계차선을 구성하고, 차량에 장착된 자계센서(Magnetic Position Sensor)를 이용하여 센서가 자석을 지날 때 차량의 위치를 인식하고, 차량의 위치에 따른 조향각(Steering Angle)을 제어함으로써 무인주행이 가능한 시스템이다.

접수일자 : 2008년 4월 4일

완료일자 : 2008년 7월 8일

* 교신저자

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역 혁신인력양성사업으로 수행된 결과임.

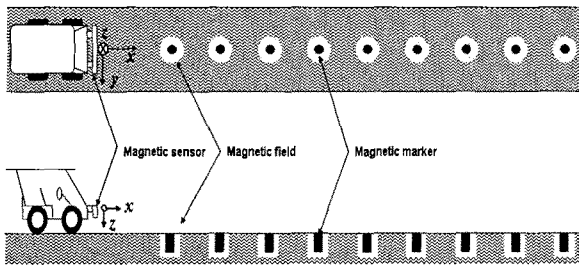


그림 1. 자계표식기반 안내 시스템
Fig. 1. Magnetic marker based guidance system.

자계표식기반 안내시스템에서 가장 중요한 것은 도로에 설치된 자석을 상대로 차량의 현재위치를 인식하고 도로를 추적하는 것이다.

기존의 자계표식위치인식방법은 3축 자기저항 센서를 이용한 것으로 사전에 실험을 통해 센서와 자석의 거리에 따른 좌우방향에 대한 자계성분(Lateral Magnetic Field(B_y))과 높이방향에 대한 자계성분(Vertical Magnetic Field(B_z))을 계측하여 지자계(Earth Magnetic Field)성분과 노이즈를 제거하고 Look-Up Table을 만들어 메모리에 저장한다. 그리고 차량이 실제 주행 시 계측된 두성분의 입력에 비례하여 자석의 위치를 검출하는 Peak-Mapping법을 이용하고 있다[4,5].

Peak-Mapping법의 경우 자석의 검출 정밀도를 높이기 위하여 방대한 양의 자계데이터를 저장해야하고 외란으로 작용하는 지자계를 제거해야하는 문제점을 가지고 있다. 가장 치명적인 문제로 저장되어 있지 않은 자계데이터가 입력될 경우 자석의 위치를 검출할 수 없는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 자석의 위치를 검출하는데 복잡한 수학과정을 거치지 않고 곧 바로 자석의 위치를 검출할 수 있는 방법으로 새로운 배열형 자계표식위치인식센서(Array Magnetic Marker Position Sensor)를 제안한다. 제안하는 방법을 구현하기 위하여 자기쌍극자 모델식을 유도하고, 모델식에 의해 얻어진 결과와 실측결과를 비교하고 3축센서의 B_z 를 이용하여 배열형 자계표식 위치인식센서를 개발한다. 그리고 개발된 무인주행 차량에 배열형 자계표식위치인식센서를 장착하고 무인주행실험을 통해 획득한 데이터를 분석한다.

2. 자계표식기반 무인주행 시스템의 구성도

2.1 무인주행시스템의 구조

자계표식기반 안내시스템은 그림 2에서 보는 바와 같이 크게 5가지 부분으로 구성되어 차량이 제어되고 무인주행이 가능하다.

차량(Vehicle)이 자계도로(Magnetic Field Road)를 따라 주행하면 차량에 장착된 자계센서에 의해 자계차선의 자계분포를 계측한다. 계측된 자계분포에 따라 차량이 자계도로를 좌우로 벗어난 측면이탈거리(Lateral Distance)를 산출한다. 측면이탈거리에 따라 자석의 위치를 인식(Magnetic Marker Position Recognition)하고, 자석의 위치 인식기는 조향각을 제어하기 위한 조향각 명령(Steering Command)을 출력한다. 산출된 조향각은 조향제어기(Steering

Controller)의 입력변수로 사용되며, 조향각제어기는 입력된 조향각에 따라 핸들을 제어하고 이에 따라 차량은 자계차선을 추적하게 되며 차량의 무인주행이 가능하다.

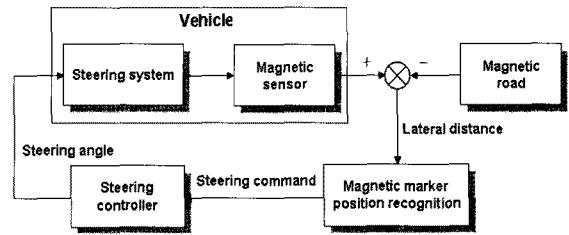


그림 2. 자계표식기반 안내시스템의 구성도
Fig. 2. Block diagram of magnetic marker based guidance system.

3. 자석의 쌍극자 모델

자계도로를 구성하면 자석과 센서의 상관관계를 해석하여 자계도로로부터 떨어진 센서의 위치를 예측해야 차량이 자계도로를 추적할 수 있다. 자석의 위치를 예측하기 위해서는 자계에 대한 수학적 모델이 필요하다. 따라서 본 절에서는 자석의 위치를 예측하기 위하여 자석을 자기쌍극자(Magnetic Dipole)로 가정하고 수학적 모델을 적용한다. 즉 자석을 자기쌍극자 모델로 가정하면, 3차원 공간에서 자석에 3축 자계성분(B_x, B_y, B_z)의 자계세기를 유도할 수 있고 이는 자석으로부터 떨어진 센서의 위치 예측이 가능하기 때문이다.

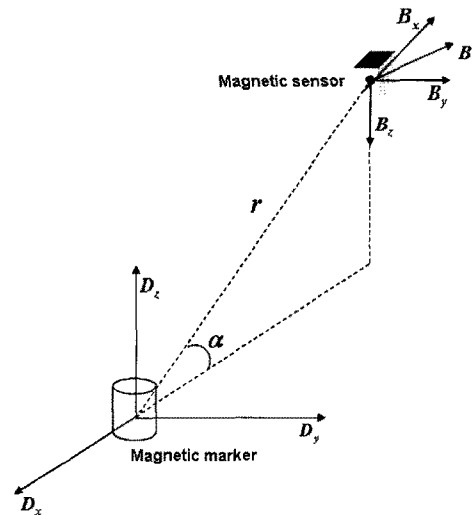


그림 3. 자기쌍극자모델
Fig. 3. Model of magnetic Dipole.

그림 3처럼 자석으로부터 임의의 거리만큼 떨어진 위치에서 3축 자계센서를 이용하여 자석의 자계를 계측하면 자석의 자기쌍극자자위는 식 2와 같이 나타낼 수 있다. 이 때 B_x 는 자석으로부터 센서가 전방이나 후방에 위치할 때 자계이고, B_y 는 좌측이나 우측에 위치할 때 이며, B_z 는 자석

과 센서의 높이에 따른 자계이다.

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

$$= \frac{Mz}{4\pi\mu_0 (x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad (1)$$

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

M : 자기쌍극자모멘트, μ_0 : 진공중투자율.

자기쌍극자자위와 자계의 관계로부터 3축 방향 성분의 자계의 세기 B_x, B_y, B_z 는 식 2와같이 나타낼 수 있다

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

$$B_y = \frac{3Ky z}{r^5}$$

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

단, $K: \frac{M\alpha}{4\pi}$ α : 단위환산계수.

3.1 자기쌍극자모델의 검증

자기쌍극자모델을 검증하고 자계를 실측하기 위하여 그림 4와 같은 자계분석시스템을 설계하고 개발하였다.

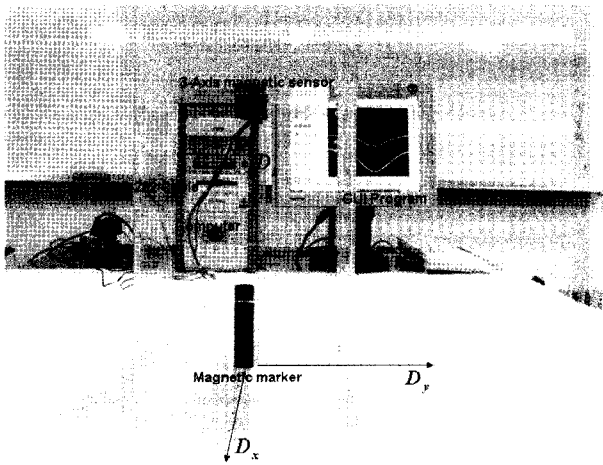


그림 4. 자계측정시스템.

Fig. 4. Magnetic field measuring system.

3축 자계센서에서 계측된 자계는 RS-232 직렬통신을 통해 컴퓨터에 전송되며, 컴퓨터의 GUI(Graphic User Interface)프로그램은 이를 분석하여 자계값을 그래프로 나타낸다. 먼저 거리에 따른 정확한 자계를 계측하기 위하여 바닥에 100[cm]×100[cm]의 모눈종이를 설치하였다. 센서를 고정하고 높이를 조절하기 위하여 아크릴을 이용한 센서고정 장치를 제작하였으며 이는 최대 40[cm]를 위아래로 이동할 수 있다. 센서는 Honeywell사의 HMR-2300 3축 자계센서를 이용하였다. 이는 ±2.5[Gauss]까지 측정이 가능하

다. 컴퓨터의 자계계측용 GUI프로그램은 LabView를 이용하여 개발하였다. 자계표식과 센서의 위치에 따른 3축 자계 성분 (B_x, B_y, B_z)을 계측하여 그래프와 자계의 값으로 표시한다. 자석을 전후, 좌우방향으로 5[cm]간격으로 이동하면서 자계의 변화를 계측하였다. 사용된 자석은 직경 2.5[cm]×높이10[cm]의 페라이트 자석을 이용하였다. D_x 는 센서를 중심으로 자석이 앞뒤로 움직이는 방향이고, D_y 는 센서를 중심으로 자석이 좌우로 움직이는 방향이다. 그리고 D_z 는 자석을 중심으로 센서가 위아래로 움직이는 방향이다.

3.2 모델과 실측자계의 결과비교

2장에서 제안했던 자기쌍극자 모델식의 유용성을 검증하기 위해서 모델을 통해 얻은 3축 방향에 대한 자계분포 데이터와 실측을 통해 계측된 자계분포 데이터를 비교함으로써 모델식이 유용함을 검증한다.

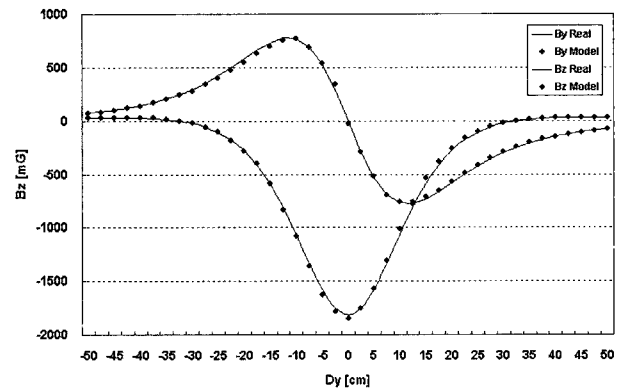


그림 5. 모델과 실측자계의 비교.

Fig. 5. Comparison of between model and real data.

B_x 축의 데이터는 B_y 축과 위상만 90차이나고 동일하기 때문에 생략한다. 모델식에 의해 계산된 자계데이터는 지자계가 없는 상태로 가정하였기 때문에 계측된 자계데이터에서 지자계성분을 제거하고 모델식에 의해 계측된 자계와 지자계가 제거된 실측자계를 비교한다. 그림 5는 자석이 그림 4에서 처럼 D_y 방향으로 좌측에서 우측으로 총 100[cm]를 이동했을 때 B_y 와 B_z 의 자계분포로 B_y 의 경우 최대오차는 52[mG], 평균오차는 3[mG]이다. B_z 의 최대오차는 50[mG], 평균오차는 1.6[mG]이다. 여기에서 발생하는 오차는 사람이 자석을 옮겨가며 계측한 데이터이기 때문에 사람 실수에 의한 오차로서 사실상 무시해도 관계가 없다. 따라서 자계표식의 자계는 자기쌍극자 모델을 적용하는 것이 유용함을 알 수 있다. 또한 자계의 변화추이를 살펴보면 B_y 축의 자계변화는 센서가 위치한 0[cm]를 기준으로 좌측에 위치할 때는 값이 양의 결과를 나타내고 우측에 위치할 때는 음에 결과를 나타낸다. 즉 좌측과 우측이 서로 교번하는 것을 알 수 있다. 그러나 B_z 의 경우 센서가 위치한 0[cm]에서 가장 낮은 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그리고 3축 자계센서는 0[cm]를 중심으로 ±50[cm]를 넘어가면 자계를 계측하지 못한다.

4. 배열형 자계 표시위치인식센서

4.1 자계 표시위치인식센서의 원리

자계차선을 따라 주행을 하기 위해서는 자계차선으로부터 차량의 방향과 위치를 추론하는 과정이 필요하다. 본 자계표시위치인식방법은 B_z 축의 자계를 이용하여 자석의 위치를 예측하는데 바로 사용한다. 그림 6은 제안하는 방법의 개념도이다. 먼저 8개의 1축 센서를 배열로 설치하고 자석이 센서를 따라 1번에서 8번까지 이동한다면 센서에서 측정된 자계 값은 그림에서 보는 바와 같이 나타난다.

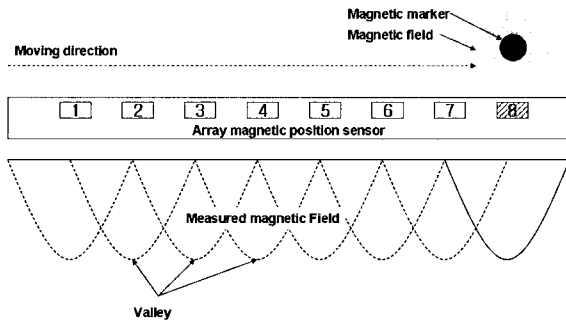


그림 6. 배열형 자계표시위치인식센서의 개념도.
Fig. 6. Concept of array magnetic marker position sensing method.

이때 자계의 세기는 자석이 센서에 가까울수록 약해지고 센서에서 멀어질수록 강해진다. 따라서 이 중에서 자계의 세기가 가장 낮은 값을 검출함으로써 자석의 위치를 예측할 수 있다. 이 경우 실시간으로 데이터 처리가 가능하며 알고리즘 처리 시간이 짧아 차량을 제어하는 시스템에 영향을 주지 않는 장점을 가지고 있다.

4.2 배열형 자계 표시위치인식센서의 설계

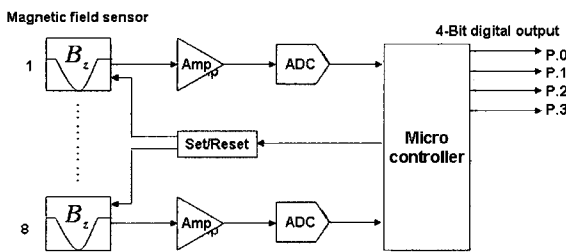


그림 7. 자계표시위치인식센서의 블록다이어그램
Fig. 7. Block diagram of array magnetic position sensor

그림 7은 자계표시위치인식센서보드의 블록다이어그램이다. 센서는 B_z 축 자계를 측정하고 이를 전기적인 신호로 변환하는 8개의 자계센서로 구성되어 있다. 자계센서의 출력 전압이 미세하기 때문에 이를 증폭하는 증폭부, 마이크로프로세서의 처리를 위한 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하는 ADC부, 그리고 자계의 위치를 디지털 형태로 출력할 수 있는 4-Bit Digital Output 포트가 구성되어 있다. 또한

실제 센서의 구조는 Wheatstone Bridger구조로 직접화시켜 만들어졌는데 이로 인해 센서의 출력전압은 오프셋을 포함하고 있어 이를 제거하기 위한 Set/Reset 회로로 구성되어 있다.

4.3 개발된 자계 표시위치인식센서

그림 8 (a)는 개발된 배열형 자계표시위치인식센서이고, (b)는 배열형 자계표시위치인식센서의 주제어기다. 센서와 메인제어기의 크기는 길이 32[cm]×넓이 4[cm]이다. 위치인식센서는 8개의 자계센서가 배열로 나열되어 있으며, 센서의 간격은 센서를 중심으로 4[cm]이다. 전면부에는 메인 MCU, 자계센서, 증폭기 전원회로 등으로 구성되어 있고, 전원은 12[V]를 사용한다. 후면부에는 Set/Reset을 위한 MOSFET, Crystal 등으로 구성되어 있다. 메인제어기는 MCU, Multiplexer, 전원회로로 구성되어 있다. 높이방향에 대한 자계성분 B_z 는 그림 6에서 보는 바와 같이 자석과 센서의 위치가 동일할 때 자계의 세기가 가장 작게 나타난다. 따라서 높이방향에 대한 자계성분을 검출하는 센서를 그림 8 (a)에서 보는 바와 같이 4[cm]간격으로 8개를 열로 배치하였으며, 각각의 센서는 좌우로 2[cm]씩 자계의 검출이 가능하다. 자계표시의 위치를 인식하는 방법은 모든 센서의 자계를 검출하여 자계의 세기를 비교하고 그 중에서 자계의 세기가 가장 작은 센서의 위치를 검출하면 자석의 위치를 검출할 수 있다.

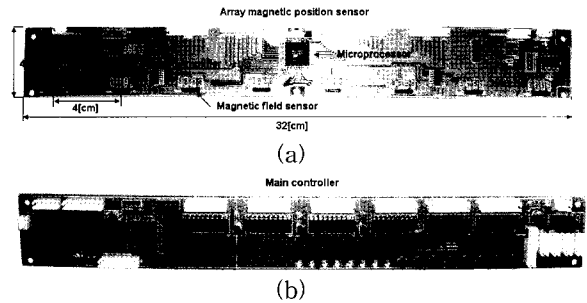


그림 8. 배열형 자계표시위치인식센서
Fig. 8. Array magnetic marker position sensor.

5. 실험

5.1 실험용 차량

그림 9는 개발된 로봇형 차량이다. 차량은 “MOROCLE-I (Mokpo national university robotic vehicle - I)”이라고 명명하였다. 차체를 구성하는 기계적인 부분과 제어를 위한 전기적인 부분으로 나뉜다. 차량의 전방과 후방 범퍼 아래에는 배열형 자계표시위치인식센서가 장착되어 주행 시 자계를 측정하고 알고리즘에 따라 차량의 위치오차를 인식하여 이를 주제어기에 전달한다.

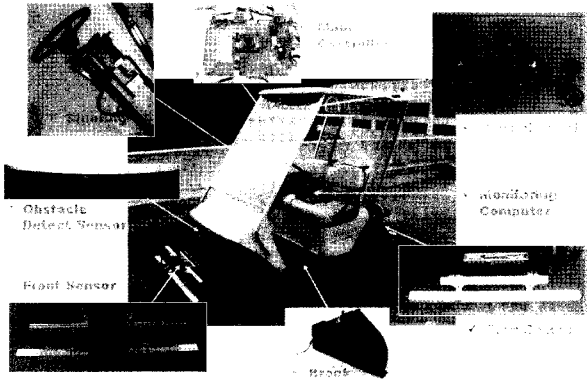


그림 9. Morocle- I
Fig. 9. Morocle- I.

차량의 위치오차가 입력되면 주제어기는 자계도로를 벗어나지 않도록 알맞은 조향각 제어와 속도를 계산한다. 조향제어부는 조향제어 명령에 따라 스텝모터를 좌, 우로 회전시키며, 후륜구동모터의 속도제어부는 지시된 속도에 따라 구동모터를 구동시킨다. 진방의 범퍼에는 초음파 센서를 이용하여 장애물을 감지하도록 하였으며, 운전석에는 전체 시스템을 제어하고 모니터 할 수 있는 컨트롤 판넬이 있다.

차량의 제어시스템을 모니터링 하도록 모니터링 컴퓨터가 시스템을 감시하고 계측된 데이터를 저장한다. 장애물 감지 및 비상 시 자동으로 차량을 정지하기 위한 자동 브레이크를 개발하여 장착하였다. 또한 비상 시 차량을 정지할 수 있도록 비상스위치가 장착되어 있다.

5.2 자계도로

실험을 위해 그림 10과 같은 S자형 자계도로를 설계하고 구성하였다. 도로의 전체 길이는 50[m]이며, 자석의 간격은 50[cm], 회전반경은 7[m]이다. 센서는 자석의 표면으로부터 15[cm]위에 설치되어 있다. 그리고 차량은 10[km/h]의 속도로 주행한다.

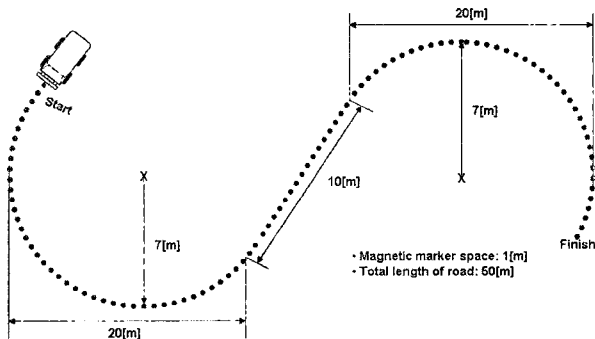


그림 10. S자형 자계도로
Fig. 10. S-type Magnetic road.

그림 11은 자계도로를 따라 무인주행 하는 S자형 자계도로의 주행 후의 궤적을 보여주고 있다. 그림 12는 조향각 명령과 계측된 조향각 이다. 그래프는 조향각 명령을 현재 조향각이 추종하고 있음을 보여주고 있다. 출발할 때 차량은 자계도로의 중앙에 있음을 확인할 수 있고, 27샘플부터 조향각이 회전을 시작하며, 384샘플까지는 첫 번째 곡선의 구간을 주행한다. 그리고 469샘플까지는 직선의 구간을 주

행하며 764샘플까지 두 번째 곡선의 구간을 주행함을 볼 수 있다. 그리고 두 번째 곡선의 구간에서 10[°]에서 15[°]사이를 흔들리는 것을 볼 수 있다. 이는 실제 주행에서는 조향 장치의 기계적인 구조에 의해 이러한 흔들림 현상이 무시되고 차량이 자계도로를 따라 주행하는 것을 확인하였다. 또한 최대 오차가 10[cm]이내 임을 확인하였다.

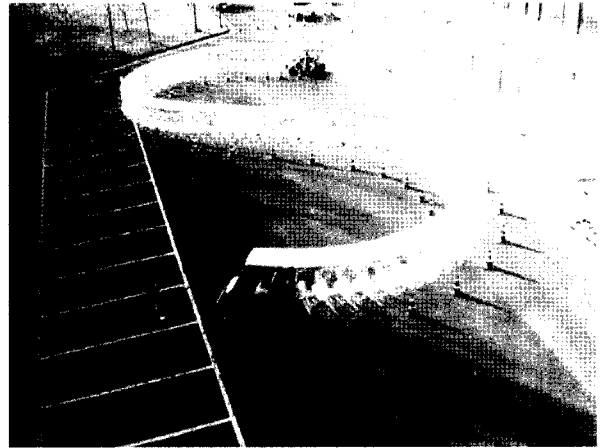


그림 11. 주행궤적
Fig. 11. Trajectory of autonomous driving of S-type road.

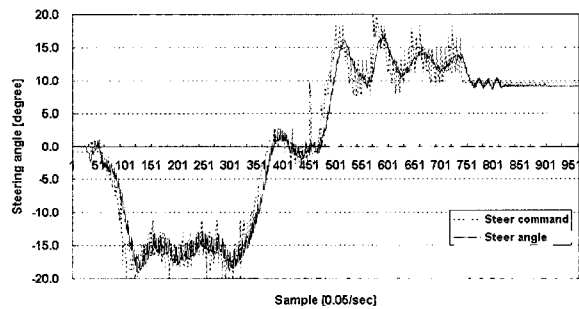


그림 12. S자형 도로의 주행결과
Fig. 12. Result of autonomous driving of S-type road.

6. 결 론

본 논문에서는 자석의 위치를 검출하는데 복잡한 수학과정을 거치지 않고 곧 바로 자석의 위치를 검출할 수 있는 방법으로 새로운 배열형 자계표식위치인식센서를 제안한다. 제안하는 방법을 구현하기 위하여 자기쌍극자 모델식을 유도하고, 모델식에 의해 얻어진 결과데이터와 실측결과를 비교하였으며, 3축센서의 B_z 을 이용하여 배열형 자계표식 위치인식센서를 개발하였다. 그리고 로봇형 차량에 개발된 센서를 장착하고 무인주행실험을 통해 획득한 데이터를 분석하였다.

분석결과 자계도로로부터 차량이 10[cm]의 오차 내에서 주행함을 확인하였고 속도가 빨라지면 차량이 흔들리는 현상과 차선을 이탈하는 현상이 발생하였다. 이는 도로의 곡률

과 차량의 동적특성이 고려되지 않아 발행하는 문제로 차후 도로의 곡률반경 및 동적특성에 대한 연구가 요구된다.

저 자 소 개

참 고 문 헌

- [1] 선우명호, "21세기 자동차와 전자기술 오토저널," pp. 24-33, 2, 1996.
- [2] Tsuji, T., Hattori, H., Watanabe, M., Nagaoka, N., "Development of night-vision system", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 3, no. 3, pp. 203 - 209, 2002
- [3] R. Babu and J. Wang, "Performance of code tracking loop in ultra-tight GPS/INS integration," ENC-GNSS 2005, Munich, Germany, 19-22 July. 2005.
- [4] Robert E. Parsons, "Lateral Guidance System Requirements Definition," PATH Research Report, UCB-ITSPRR-88-1.
- [5] Han-Shue Tan, Fanping Bu, Benedicte Bougler, Shiang-Lung Koo, David Melson, Joanne Chang, Thang Lian, "Development of the Advanced Rotary Plow(ARP) for Snow Removal Operations," California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2006-17.



임대영(Dae-Yeong Im)

2002년 : 목포대학교 제어계측공학과
공학사

2004년 : 목포대학교 제어시스템공학과
공학석사

2008년 : 목포대학교 제어시스템공학과
공학박사

관심분야 : 무인주행차량, 자계안내시스템, 지능제어시스템

Phone : 061-450-2759

Fax : 061-450-6256

E-mail : dylim@mokpo.ac.kr



유영재(Young-Jae Ryoo)

제 17권 제 6호 참조.