

자계기반 무인차량을 위한 조향장치의 개발

Development of Steering Actuator for Unmanned Vehicle Based on Magnetic Marker

임대영 · 유영재

Dae-Yeong Im and Young-Jae Ryoo

목포대학교 제어시스템공학과

요약

본 논문에서는 자계기반 무인주행 차량을 위한 조향장치를 설계하고 개발하였다. 자계기반 무인주행 시스템에서 가장 중요한 것은 자계도로를 따라 주행할 때 차량의 방향을 제어하는 조향장치이다. 본 논문에서는 조향각 제어를 위해 조향제어장치의 메커니즘을 설계하고 스텝모터의 속도 제어를 위해 새로운 속도 추종 주파수 제어 방법을 적용하였다. 개발된 조향장치의 실용성을 입증하기 위하여 개발된 시스템을 자계기반 무인주행 차량에 적용하고 주행실험을 수행하고 분석하였다.

키워드 : 조향장치, 스텝모터, 무인주행차량, 자계표식

Abstract

In this paper, a steering actuator is designed and developed for an unmanned vehicle based on magnetic marker. One of the most important component of an unmanned vehicle is a steering actuator to follow magnetic road. Thus, we develop a steering actuator using a stepping motor and adopt to a new frequency control method depended on speed of the vehicle. In order to verify the usability of the developed system, the setup of unmanned vehicle installed the designed steering actuator is tested on magnetic road.

Key Words : steering actuator, step motor, unmanned vehicle, magnetic marker.

1. 서론

세계적으로 차량의 무인주행에 대한 관심이 증가 하면서 많은 기술이 개발되고 있다. 대표적인 방법이 카메라(vision)를 이용한 방법으로 현재도 이 분야에 대한 연구는 활발히 진행되고 있다[1,2]. 다른 기술로는 GPS(global positioning system)를 이용하거나 적외선(infra red) 레이더 감지센서를 이용하는 방법의 연구가 활발히 진행되고 있다[3-5].

미국의 경우 1998년 미국 캘리포니아 교통국(cartrans)이 지원하는 버클리 대학 내의 PATH(california partners for advanced transit and highways) 프로그램에 의해 자계기반 무인주행 시스템이 최초로 선보였다[6-8].

네덜란드의 경우는 자동화용 AGV(automated guided vehicle)을 생산하는 frog navigation system사와 대형 트럭 및 버스를 생산하는 VDL그룹의 자회사인 APTS사에 의해 자계표식기반의 대중교통 버스와 park shuttle버스가 개발되어 상용화 되었다[9-10].

자계기반 무인주행 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같이 도로의 중앙에 자석을 일정한 간격으로 매설한다. 그리고 차량에는 자계를 검출할 수 있는 자계센서를 장착하여 자석

에서 발생하는 자계를 계측하고 측방향에 대한 차량의 이탈 거리 오차를 산출하여 이에 대응하는 조향각을 제어함으로써 무인주행이 가능한 시스템이다.

자계기반 자율주행 시스템의 장점으로는 빛이나 날씨에 의한 영향을 받지 않고 차량의 현재위치를 정확히 파악하며 주행할 수 있다.

즉 카메라를 이용하는 방법의 경우 도로에 반사되는 빛이나 겨울철 도로의 표면에 쌓인 눈 등에 의해 차선의 인식 감도가 현저한 차를 보인다. 그러나 자계기반 무인주행 시스템은 도로에 반사되는 빛이나 눈, 물 등에 관계없이 자석에서 발생하는 자계를 검출 하여 이용하기 때문에 차량의 위치 파악에 대한 정밀도가 매우 높다.

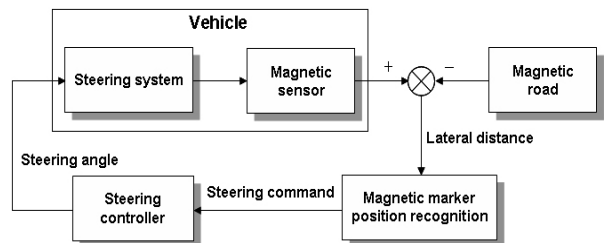


그림 1. 자계기반 무인주행 시스템의 블록도

Fig. 1. Block diagram of unmanned vehicle system based on magnetic marker

그러나 위에서 설명한 모든 무인주행 시스템은 주행 중

접수일자 : 2009년 4월 23일

완료일자 : 2009년 6월 1일

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역 혁신인력양성사업으로 수행된 결과임.

조향각을 자동으로 제어할 수 있는 메카니즘 시스템을 필요로 한다.

기존의 무인주행 시스템의 조향각 제어장치는 대부분 DC모터에 기어를 장착하여 조향 속도와 토크를 제어하는 방법을 이용하고 있다. 그러나 이 방법은 자동주행모드의 경우 문제가 발생하지 않지만 수동모드의 경우 장착된 기어비에 따른 상대적인 토크가 유지되기 때문에 사람의 힘으로 조향각을 제어하기 힘든 단점을 지니고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 전자클러치 또는 레버 등을 활용하여 자동과 수동의 모드를 변환하고 차량의 조향축과 모터축을 연결하는 방법을 사용하지만 이는 추가적인 메카니즘이 증가하기 때문에 구축비용이 상승하는 단점을 지니고 있다. 또한 DC모터의 단점인 모터 브러시의 마모로 모터의 수명이 짧아진다.

따라서 본 논문에서는 스텝모터를 이용한 조향제어 메카니즘을 설계하고 개발한다. 스텝모터를 이용한 조향각 제어 메카니즘은 전압의 on/off 신호로 스텝모터의 여자를 제어함으로써 조향장치에 유지되는 토크를 자유롭게 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 즉, 전압을 차단하면 스텝모터는 여자 되어 토크는 소멸 되며 사람의 힘으로 자유로운 운전이 가능하다. 또한 전원을 공급하지 않으면 여자가 풀려 주파수 및 방향제에 따라 자동으로 구동된다. 스텝모터는 입력되는 주파수에 따라 속도 및 토크특성이 변화 한다. 조향각을 제어하기 위해 가장 적절한 속도와 토크를 제공하기 위해 스텝모터의 속도추종 주파수제어 방법을 제안한다. 개발된 조향장치와 속도추종 주파수 제어 방법을 무인주행 차량에 적용하고 실험성을 입증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 조향장치를 설계하고 개발한다. 3장에서는 개발된 시스템을 기반으로 조향장치를 실험 하고 계측된 데이터를 분석한다. 4장에서 개발된 조향장치를 무인주행 차량에 장착하고 실험 후 획득한 데이터를 분석한다. 5장은 결론을 통해 개발된 시스템의 장 단점을 파악한다.

2. 조향제어장치

2.1 조향제어장치의 설계

본 장에서는 스텝모터를 이용한 조향 제어장치를 설계한다. 스텝모터의 장점으로는 주파수에 따라 정밀한 각도제어가 가능하고, 회전각 오차가 누적되지 않으며, 정지토크가 크다.

또한 모터 브러시의 접촉부분이 없기 때문에 유지보수 및 사용이 용이하다. 주파수에 따른 특징으로는 주파수가 높을수록 회전속도는 빠르지만 토크가 떨어지고, 주파수가 낮을수록 회전속도는 느지만 토크가 높아지는 특성을 가지고 있다.

단점으로는 관성부하에 약하며, 정격용량보다 큰 부하가 걸리면 탈조현상이 발생하며, 특정 주파수에서 진동 및 공진현상이 발생한다.

그림 2는 조향제어를 위한 조향장치의 설계이고, 그림 2에서 보는 바와 같이 조향 휠의 지름은 350[mm], 조향휠 중심의 전체 길이는 620[mm]이고, 조향축의 지름은 19[mm]이다. 조향축을 보호하기 위하여 파이프관이 사용되었는데 조향축과 파이프관 사이의 여유 공간은 9.6[mm]이다. 파이프관 표면에 모터를 장착하기 위해 모터 지지대를 추가하였다. 그리고 조향모터는 차량의 핸들 축에 장착한다.

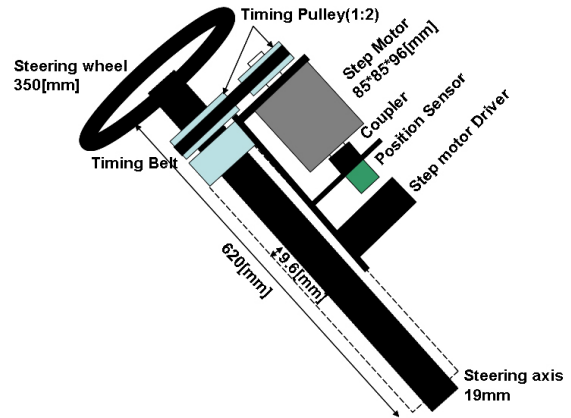


그림 2. 조향시스템의 설계
Fig. 2. Design of steering system

2.2 조향제어알고리즘

조향제어 시스템은 그림 3에서 보는 바와 같이 크게 5부분으로 나누어진다. 센서는 자계차선으로부터 차량이 이탈한 측방향에 대한 위치(lateral position) 데이터를 생성하여 출력한다. 센서에서 출력된 측방향 위치 데이터는 차량이 항상 자계도로의 중앙에 위치한다는 가정하에 센서의 중간인 기준 값(reference value)과 오차에 의해 실제 조향각 제어를 위한 조향각(steer command) 데이터를 산출한다. 그림 4는 조향장치를 제어하기 위한 제어기 알고리즘이다.

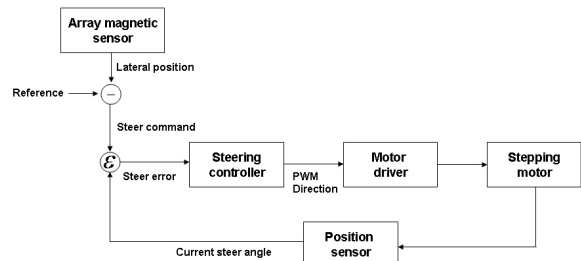


그림 3. 조향시스템의 블럭도
Fig. 3. Block diagram of steering system

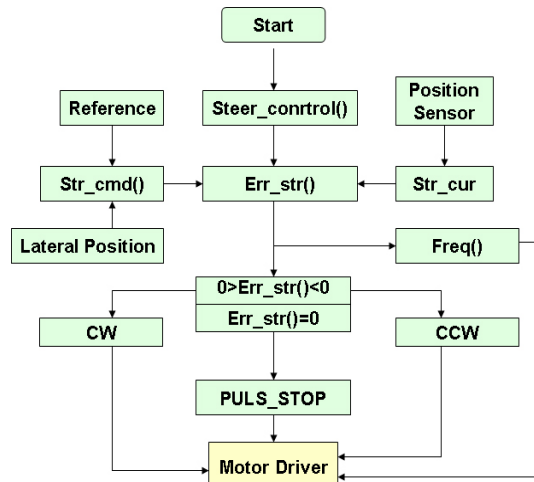


그림 4. 조향시스템의 알고리즘
Fig. 4. Algorithm of steering system

모터에 장착된 각도검출센서(position sensor)는 차량의 현재 조향각(current steer angle)인 str_cur을 계측하여 출력한다. 조향각 명령치 str_cmd결과와 현재 조향각str_cur의 차에 의해 차량과 자계차선 사이에 위치 오차err_str를 산출한다. 산출된 위치 오차는 주파수 제어기Freq()의 입력 변수로 사용된다. 조향각 제어기는 입력된 조향각 변수에 따라 스텝모터를 회전하기 위한 주파수를 생성하고 입력 변수의 값이 0보다 큰 경우 좌회전신호를 0보다 작은 경우 우회전신호를 출력한다. 제어기에서 출력된 주파수와 회전신호는 스텝모터 드라이버(Step motor driver)에 전달되며 스텝모터는 자계차선을 따라 조향각을 제어한다.

2.3 스텝모터의 주파수제어방법

차량이 주행 중에는 무게중심이 뒤로 이동하기 때문에 차량속도가 높을수록 조향제어가 쉽다. 반면 차량이 멈추거나 느린 속도로 주행할 경우 무게중심이 차량의 앞쪽으로 이동하기 때문에 조향토크를 높이기 위해서 주파수가 낮아야 한다. 즉 조향스텝모터의 회전속도와 토크를 조절하는 주파수가 차량의 상태에 따라 가변적이어야 한다. 또한 차량의 주행 속도와 탑승인원 또는 도로의 상황에 따라서 서도 가변적이어야 하고, 주행 중에는 조향제어가 부드럽게 이루어져야 한다. 조향 목적치에 가까워지면 목적치에 천천히 진입하여 오버슈트가 발생하지 않도록 하여 차량의 흔들림을 줄여야 한다.

따라서 본 장에서는 스텝모터의 주파수 제어를 위한 주파수 가변제어방법을 제안한다. 주파수 가변제어 방법은 그림 5에서 보는 바와 같이 현재오차(e_c)가 Dead Zone내에 있는 경우 자계차선과 일치하기 때문에 조향제어가 발생하지 않고 $e_{min} \sim e_{max}$ 사이에서는 주파수가 $F_l \sim F_h$ 결과로 가변적으로 변해야 하며 e_{max} 이상이면 최대한 빠른 속도로 안정된 구간으로 진입하도록 주파수를 제어한다. 또한 차량이 정지하거나 느린 속도로 주행할 경우 F_l 의 주파수로 동작하도록 하였다.

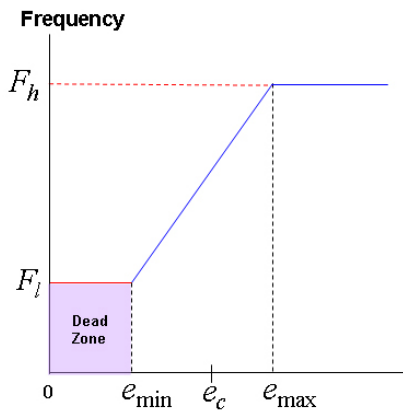


그림 5. 스텝모터 주파수제어의 개념

Fig. 5. Concept of frequency control for stepmotor

그림 6은 실제 주파수 제어방법을 그림으로 표현한 것이다. 차량의 현재위치와 센서에서 계측된 데이터의 차에 의해 발생한 ϵ 의 값이 10~512 사이에 위치하면 주파수는 500~2000 사이에서 변화하도록 하였고 ϵ 이 512이상이면 주파는 2000에 고정 되도록 하였다. 2000에 고정되도록 하는 이유는 주파수가 2000이상을 넘게 되면 차량을 제어할

수 있는 토크가 부족하여 자계도로를 이탈할 수 있기 때문이다.

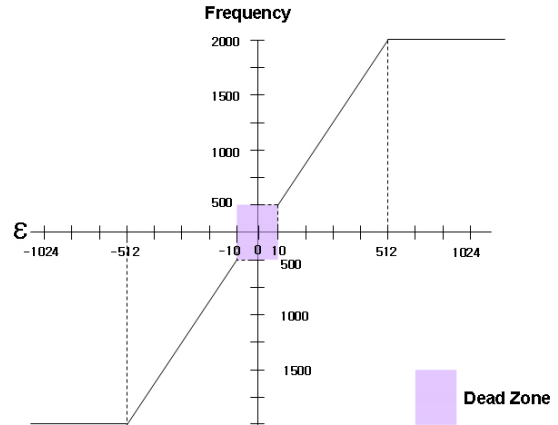


그림 6. 스텝모터 주파수

Fig. 6. Frequency control for stepingmotor

주파수를 구하는 공식은 식 (1), (2)와 같다.

$$F = \frac{e_c - e_{min}}{e_{max} - e_{min}} \times (F_h - F_l) \tag{1}$$

$$Frequency = F + F_l \tag{2}$$

3. 조향제어장치의 실험 및 고찰

3.1 조향제어장치

설계된 조향장치를 기반으로 실용성을 입증하기 위해 그림 7과 같은 조향장치를 개발하였다. 조향장치 개발에 사용된 스텝모터는 Autonics사의 A63K모델로 5상 스텝핑 모터이다. 이 모터의 최대 토크는 63[kgf·cm]으로 이다. 공급전압은 36[V]이며, 최대 전류는 2.8[A]이다.

스텝모터를 구동하기 위한 스텝모터 드라이버를 장착하였다. 스텝모터 드라이버는 Autonics사의 KR-55M모델로 1[Pulse]에 0.009[°]로 고정밀 회전 제어가 가능하며 공급전압은 36[V]이고 상당 최대 전류는 1.4[A]이다. 조향 제어기에서 계산되어 출력되는 주파수에 의해 회전속도 및 회전방향 모터의 여자 On/Off 신호를 스텝모터에 공급한다. 조향각은 오른쪽 20[°], 왼쪽 20[°]이다.

모터축의 풀리가 5바퀴 회전할 때 핸들축의 풀리는 2.5바퀴 회전한다. 모터의 축과 차량의 핸들축에는 2:1의 타이밍 풀리를 장착하였다. 핸들축의 풀리와 모터축의 풀리는 온도의 변화나 외부환경에 강인한 고장력 타이밍 벨트를 이용하여 연결하였다. 벨트의 장력을 조절할 수 있도록 핸들축은 고정된 상태에서 모터는 수평으로 이동이 가능하도록 하였다.

모터의 후면 중심축에는 Copal 전자의 M-1305 고정밀 각도검출센서를 장착하여 현재 차량의 조향각을 계측할 수 있도록 하였다. 각도검출센서의 최대 회전수는 5[Turn]이며, 공급전원은 5[V]이다. 각도검출센서의 출력은 핸들의 조향각에 따라 0~5[V]까지 출력된다. 각도센서를 보호하기 위하여 모터 중심축과 포지션센서의 중심축 사이에는 커플러를 부착하여 각도검출센서를 보호하였다. 또한 차량의 핸

들은 자동모드와 수동모드로 동작이 가능하도록 개발하였다.

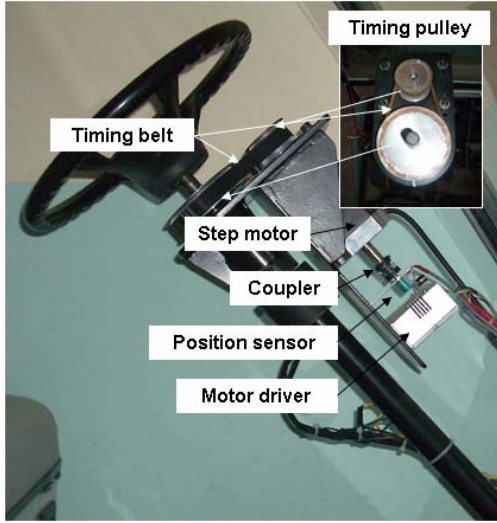


그림 7. 조향제어장치
Fig. 7. Steering actuator

3.1 조향제어실험

본 절에서는 개발된 조향장치의 실용성을 입증하기 위하여 스텝제어 방법과 개발된 주파수 제어방법을 비교한다. 실험환경은 다음과 같다. 센서의 크기는 가로 90[cm]로 차량의 범퍼에 장착하였으며 지면으로부터 15[cm] 떨어져있다. 마그네틱 마커는 지름 2.5[cm], 높이 2[cm]의 네오디뮴 자석이다. 자석을 센서의 좌측 끝에서 우측 끝으로 이동하며 조향장치의 회전에 따른 Steering command, Steering angle, Steer error, Frequency 총 4가지 데이터를 계속한다. 계측에 사용된 모니터링 시스템은 LabView를 이용하여 개발하였다.

3.2 스텝 제어 실험

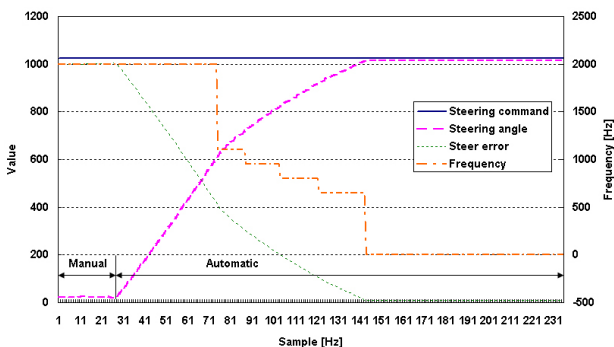


그림 8. 스텝 제어
Fig. 3. Step control

그림 8은 스텝제어를 이용한 주파수제어 이다. 오차가 256이상이면 주파수는 2000[Hz]로 최대한 빠른 속도로 회전하도록 하고, 256이하 일 때는 스텝제어를 하도록 하였다. 이때 1스텝당 주파수는 150[Hz]씩 가변되도록 하였으며 최소 주파수는 650[Hz]로 설정하였다. 그러나 스텝제어의 경

우 스텝에 따라 주파수가 150[Hz]씩 가변되기 때문에 조향 제어가 부드럽지 못하고 현재 조향각이 조향명령을 추종하여 목적치에 도달하는데 까지 걸리는 시간이 6[sec]로 매우 길다. 따라서 이러한 경우 로봇형 차량이 자계도로를 추적하지 못하고 탈선하는 문제가 발생한다.

3.3 속도추종 주파수제어 실험

그림 9는 제안하는 속도추종 주파수제어방법의 결과이다. 먼저 주파수는 차량의 속도를 측정할 수 있는 엔코더 펄스(Encoder Pulse)의 측정 결과에 따라 제어되도록 하였다. 즉, 엔코더 펄스가 2이하의 경우 주파수는 500[Hz]로 동작하도록 하였고, 2이상인 경우 최대 2000[Hz]에서 최소 500[Hz]사이에서 조향각 오차 10~256에 따라 주파수가 선형적으로 가변되도록 하였다. 이 경우 조향각 오차가 작을수록 서서히 움직이고 오차가 커질수록 빠르게 움직인다. 따라서 조향각 오차는 차량이 자계차선과 일치할 때는 작아지며, 이때 조향각 제어는 빠른 속도보다 오히려 느린 속도로 제어될 때 정밀도가 높아진다.

그래프를 살펴보면 조향각의 명령은 수동이나 자동일 때 1024로 변함이 없고, 수동모드에서 차량이 출발을 하지 않았기 때문에 엔코더의 펄스는 0이고 이때 주파수는 500[Hz]이다. 그리고 조향각은 24이며, 조향각 오차는 1000이다. 자동모드에 진입하는 44[sample]부터 차량이 주행을 시작하고 엔코더의 펄스가 2이상 이 되면서 조향각 오차에 따라 주파수가 가변되는데 46~103샘플까지는 조향각 오차가 설정한 256보다 크기 때문에 가장 빠르게 동작할 수 있도록 2000[Hz]로 동작하고, 104~137샘플까지는 조향각 오차가 256~10사이이므로 주파수는 2000[Hz]~500[Hz]까지 가변된다. 이 때 조향각은 조향각 명령을 추종하면서 조향각 오차를 감소시킨다. 조향각 오차의 10% 설정한 Dead Zone 구역이다. 따라서 조향각은 43~103샘플까지 최대한 빠른 속도로 조향각 명령을 추종하는데 조향각 명령의 60[%]까지 도달하는데 걸리는 시간은 2.95[sec]로 빠른 속도이다. 또한 자계차선이 센서의 양쪽 끝부분에 위치할 경우 부하가 크기 때문에 회전력을 높여야 한다. 기존의 방법에서는 이 경우 탈조가 발생하였으나 제안하는 방법의 경우 탈조가 발생하지 않고 제어가 가능함을 보여주고 있다. 따라서 속도 추종 주파수 제어 방법이 기존 방법보다 우수함을 입증하였다.

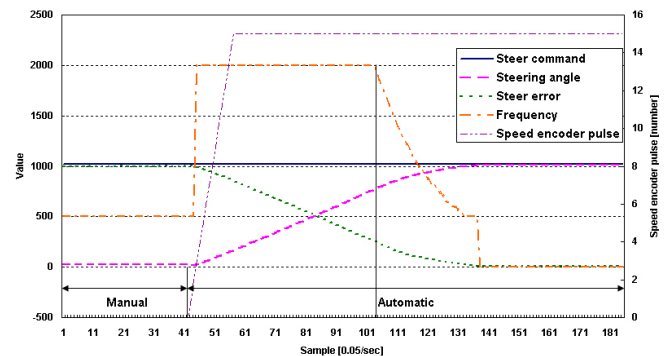


그림 9. 속도추종 주파수 제어
Fig. 9. Speed following frequency control

4. 무인주행차량의 실험

4.1 무인주행차량

그림 10은 개발된 조향장치를 장착한 무인주행 차량이다. 차량은 “MOROCLE- I (Mokpo national university robotic vehicle - I)이라고 명명하였다. 차체를 구성하는 기계적인 부분과 제어를 위한 전기적인 부분으로 나누어 진다.

차량의 전방과 후방 범퍼 아래에는 자계표식위치인식센서가 장착되어 주행 시 자계를 계측하고 알고리즘에 따라 차량의 위치오차를 인식하여 이를 주제어기에 전달한다. 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. 전방의 범퍼에는 초음파 센서를 이용하여 장애물을 감지하도록 하였으며, 운전석에는 전체 시스템을 제어하고 모니터 할 수 있는 컨트롤 패널이 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.



그림 10. Morocle- I
Fig. 10. Morocle- I

4.2 S-자형 자계도로주행실험

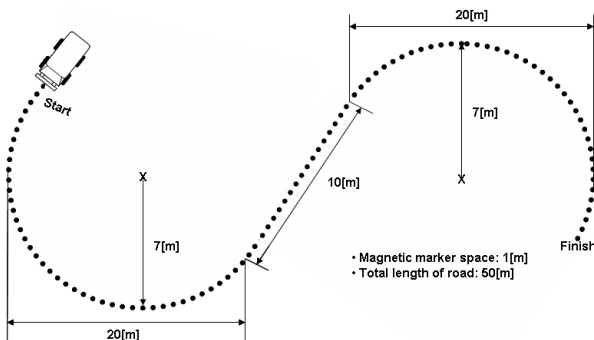


그림 11. S자형 자계도로
Fig. 11. S-type magnetic road

실험을 위해 그림 11과 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 12는 실제 자계도로를 무인으로 주행한 사진이다.

무인주행차량의 실험을 통해 제안하는 조향장치와 속도 추종 주파수 제어방법을 사용할 수 있음을 입증하였다.



그림 12. 무인주행궤적
Fig. 12. Trajectory of unmanned driving

5. 결 론

본 논문에서는 자계기반 무인주행 차량을 위한 조향장치를 설계하고 개발하였다. 스텝모터의 속도 및 토크의 특성을 고려하여 새로운 속도추종 주파수제어 방법을 적용하였다. 속도추종 주파수 제어방법을 우수함을 입증하기 위하여 스텝제어 방법과 비교함으로써 우수성을 입증하였다. 개발된 조향장치와 속도추종 주파수 제어방법을 자계기반 무인주행 차량에 적용 하고 길이 50[m]의 S자형 곡선 자계도로에 적용하여 주행실험을 행하였다. 주행실험결과 최대 오차가 10[cm]이내임을 확인하였다. 향후 최대 오차를 5[cm] 이내로 줄이기 위해서는 차량제어 분야에 및 차량 동역학 분야에 신경회로망 또는 퍼지 제어 등 지능형제어기법을 적용할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] G. N. Desouza and A. C. Kak, "Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 2, 2002.
- [2] Young-Jae Ryoo and Young-Cheol Lim, "Visual Control of Autonomous Vehicle by Neural Networks Using Fuzzy-Supervised Learning," *Journal of Electrical Engineering and Information Science*, vol. 2, no. 2, pp. 77-85, 1997.
- [3] T. Upadhyay, S. Cotterill and A. W. Deaton, "Autonomous GPS/INS navigation experiment for

space transfer vehicle," *IEEE trans. on AES*, vol. 29, no. 3, pp. 772-758, July, 1993.

- [4] 김양환, 최병석, 이장명, "GPS와 듀얼 전자 컴파스를 이용한 차량의 혼합항법 시스템," *제어자동화시스템공학회논문지*, 제12권 제2호, pp.106-112, 2, 2006.
- [5] W.S Wijesoma, K. R. S. Kdagoda, and A. P. Balasurjya, "road-boundary detection and tracking using ladar sensing," *IEEE Trans, On Robotics and automation*, Vol. 20, no. 3, pp.456-646, 2004.
- [6] <http://www.path.berkeley.edu>
- [7] Han-Shue Tan, Benedicte Bougler, "Vehicle Lateral Warning, Guidance and Control Based on Magnetic Marker: PATH Report of AHSRA Smart Cruise 21 Proving Tests," *Calivornia PATH Working Paper*, UCB-ITS-PWP-2001-6.
- [8] Aaron Steinfeld, Han-Shue Tan, "Preliminary Findings for a Lane-Keeping and Collision-Warning Driver Interface for Snowplow Operations," *California PATH Working Paper*, UCB-ITS-PWP-99-6.
- [9] <http://www.frog.nl>
- [10] <http://www.pts-phileas.com>

저 자 소 개



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 18권 제 6호 참조.