

무인 차량의 강인한 조향제어 시스템 개발에 관한 연구

정승권*, 김인수**, 김창섭*, 최주용*, 윤강섭***, 이만형****

Development of Steering Control System for UCT (Unmanned Container Transporter) Using Robust Control

Seung Gweon Jeong*, In Soo Kim**, Chang Sup Kim*, Joo Yong Choi*, Kang Sup Yoon***
and Man Hyung Lee****

ABSTRACT

In this study, the steering control system for UCT (unmanned container transporter) was developed using MR (Magneto-resistive) sensors. The MR and magnet sensors are used for the lane detecting system. The robust control theory is used for the design of the steering controller to reduce the uncertainties of the road. The performance of the robust steering controller is compared in simulations and tests using the existing PD controller of the UCT.

Key Words : Unmanned Container Transporter(무인 컨테이너 운반차량), Steering Control(조향제어), MR sensor(MR 센서), Robust Control(강인제어)

1. 서론

항만 자동화에 사용되는 무인 컨테이너 운반차량(Unmanned Container Transporter, 이하 UCT)의 운항은 무인 주행으로 이루어지며, UCT의 운항 시스템의 개발에 있어 기본적으로 무인 주행에 대한 연구가 수행되어진다. UCT의 무인 주행에는 속도 제어, 조향 제어, 충돌 회피 등의 연구가 필요하다. 도로상에서 UCT의 무인 주행을 위해서는 차량의 종방향 제어 및 횡방향 제어가 수행되어야 한다. 종방향 제어는 자동으로 차량의 가감속 운동을 제어함으로써 자동순항주행, 차간거리 유지, 충돌방지 등이 가능하며, PID 기법, 피드백 선형화 기법, 적응제어기법, 퍼지-슬라이딩모드 제어 등의 알고리

즘을 적용한 연구 사례가 있다. 횡방향 제어는 차선의 유지 및 차선변경 등의 기동 시에 필요하며 센서를 통해 기준선 및 차선을 인식하고 이로부터 측정된 횡방향 거리오차를 제어에 사용하게 된다. 차선 유지를 위해서는 기준선과 횡방향 거리오차를 영으로 수렴하도록 하는 조향각을 제어입력으로 인가하여 제어가 가능하며, 차선변경을 위해서는 이동하고자 하는 차선까지의 거리만큼 횡방향 거리오차를 발생시켜 이를 영으로 수렴하도록 조향각 입력을 인가하여 제어한다.^(1,4) 차량의 횡방향 제어에 관련한 연구는 근궤적을 사용한 피드백 조향제어 등과 같은 선형제어기법이 적용되었으나, 조향을 위해서 곡률 같은 전방 제어 정보를 사용하지 못하였다. 또한 횡방향의 동역학은 차량의 중량, 관성모

2002년 2월 25일 접수

* 부산대학교 지능기계공학과

** 국방과학연구소

*** 대구대학교 자동차.산업.기계공학부

**** 부산대학교 기계공학부

먼트, 종방향 속도, 타이어의 강성 및 노면과의 마찰 등의 영향을 받으며, 이러한 파라미터는 실제 주행상황에서 시간에 따른 변화가 심해 불확실성으로 작용하게 된다. UCT의 횡방향 안내를 위한 참조/탐지 시스템은 앞 보기(look-ahead) 시스템과 아래 보기(look-down) 시스템으로 나눌 수 있다. 앞 보기 시스템은 비전 시스템과 같이 차량의 앞부분에서 횡방향으로 떨어진 거리를 측정함으로써 인간의 행동을 모방하는 시스템이며, 아래 보기 시스템은 길 중앙에 전선, 자석 등을 설치하여 중앙으로부터 떨어진 거리를 측정하는 시스템으로, 센서를 앞 범퍼에 부착하여 사용한다. 아래 보기 시스템은 PATH에 의해 개발 및 시험되었지만 센서에 의한 횡방향 측정 범위가 비전 시스템에 비하여 제한적이고 도로 표면에 자석을 부착하면 정확한 위치에 설치하지 못하였을 경우에 발생하는 확률 오차가 존재한다^[5-7].

본 논문에서는 UCT의 무인 주행을 위한 조향 제어 시스템 개발을 위하여 센서 선정에 대한 연구 및 조향 제어에 대한 연구를 수행하였다. 본 논문에서 설계된 제어기를 실제 차량에 적용하여 그 성능을 평가하였으며, 현재 UCT에 사용되는 차량이 개발되지 않았으므로, 현재 사용 가능한 일반 차량을 이용하여 조향 제어기의 성능 시험 및 평가를 수행하였다.

2. UCT 모델링

차량의 6 자유도 비선형 운동 방정식^[8-9]은 매우 복잡하여 제어기설계에 사용하기 어려우므로 6 자유도의 복합 모델을 선형화 함으로써, 그림 1과 같은 횡방향 운동 및 요 운동을 나타내는 단순화된 모델을 유도하여 제어기를 설계한다. 차량 운동방정식에 대한 단순화된 모델은 조향제어가 관심 대상이므로 차량의 수직, 롤, 피치 운동을 무시하고, 요각차가 비교적 작고 차량의 종방향 속도가 일정하다고 가정하면, 복합 모델은 선형적인 모델로 단순화 될 수 있다. 상태 변수는 횡방향과 요 방향으로 각각 2개씩 총 4개이다.

횡방향 거리(y_r), 요각차($\epsilon - \epsilon_d$), 요각속도 $\dot{\epsilon}$ 가 작다고 가정하면, 다음 식을 유도 할 수 있다.

$$m(\ddot{y}_r + \frac{V^2}{\rho}) = F_{wy} + \sum_{i=1}^4 F_{Bi} \quad (1)$$

$$I_z \ddot{\epsilon} = M_{zu} \quad (2)$$

코너링강성 C_s 의 정의는 다음과 같다^[10].

$$C_s = \frac{\partial F_y(\alpha)}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=0} \quad (3)$$

여기서 $F_y(\alpha)$ 는 횡방향력이고, α 는 타이어 슬립각이다.

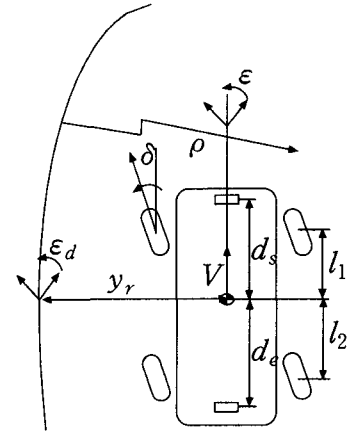


Fig. 1 Scope of the simple vehicle model

(1)과 (2)를 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} y_r \\ \dot{y}_r \\ \epsilon - \epsilon_d \\ \dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{A_1}{V} & -A_1 & \frac{A_2}{V} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{A_3}{V} & -A_3 & \frac{A_4}{V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_r \\ \dot{y}_r \\ \epsilon - \epsilon_d \\ \dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ B_1 \\ 0 \\ B_2 \end{bmatrix} \delta + \begin{bmatrix} 0 \\ A_2 - V^2 \\ 0 \\ A_4 \end{bmatrix} \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

차량의 질량 중심으로부터 d_s 만큼 전방으로 떨어져 있는 센서로부터의 출력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_s(t) = y_r + d_s(\epsilon - \epsilon_d) = [1 \ 0 \ d_s \ 0] \mathbf{x}(t) \quad (5)$$

실험시 차량의 요각을 구하기 위해서 다음과 같은 가정을 한다. 실험의 편의를 위해서 도로가 직선으로 시작하고, 그 시작하는 도로를 X축으로 한다면 다음과 같은 식으로 요각을 구할 수 있다.

Table 1 Nominal parameters for simulations

	Nominal value	Min. value	Max. value
$m(kg)$	1740	85%	115 %
$V(m/s)$	4	3	5
$I_z(kgm^2)$	3214	85 %	115 %
$C_s(C_{sr})$ (N/rad)	48000(42000)	20 %	200 %
$l_1(m)$	0.9357	constant	
$l_2(m)$	1.6213		
$d_s(m)$	1.8107		
$d_e(m)$	2.4113		

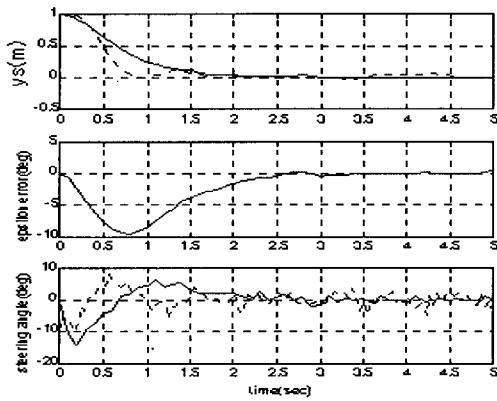


Fig. 3 Simulation results(5m/s, 1m offset)

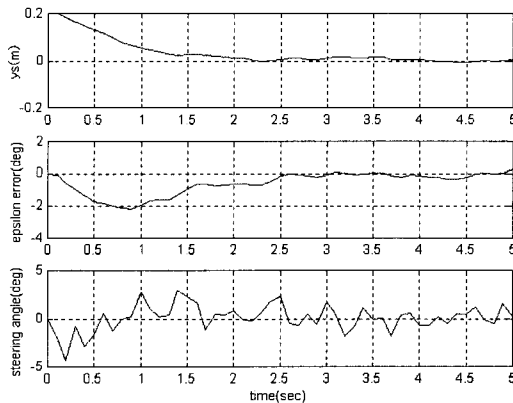


Fig. 4 Simulation results(4m/s, 0.2m offset, 80kg)

그림 3은 1m의 offset을 두고 5m/s의 속도 하에서 얼마나 빠른 시간 내에 차량이 유도선으로 돌아오는가를 H_∞ 제어기(실선) 및 PD 제어기(점선)의 시뮬레이션 한 결과이다. 정착시간에 있어서는 PD 제어기가 빠르나 외란에 대하여서는 H_∞ 제어기가 강하다. H_∞ 의 경우에 2.5초 이후 횡방향 거리가 거의 0에 가깝지만 PD 제어기의 경우에는 정상상태 오차가 존재함을 알 수가 있다. 시뮬레이션 결과로는 차량이 유도선을 잘 추종함을 알 수가 있다. 그림 4는 5m/s하의 시뮬레이션에서 결정된 γ 를 고정시키고 속도만을 4m/s로 낮추고, 0.2m의 offset, 그리고 차량에 가해지는 하중을 80kg 더하여 실시한 시뮬레이션 결과이다. 이는 실차실험에서 실시할 실험조건과 동일한 조건이다. 그림 3의 시뮬레이션과 비교하면, 차량의 요각차의 최대값이 그림 3에서는 약 -10° 정도였으나 속도 및 offset이 적은 경우인 그림 4에서는 약 -2° 정도이다. 제안된 H_∞ 제어기가 차량 질량의 변화에 대해 강인함을 보여준다.

4. MR 센서를 이용한 조향제어 시스템

4.1 자석 특성 실험

횡방향 제어는 차선의 유지 및 차선변경 등의 기동 시에 필요하며 센서를 통해 기준선 및 차선을 인식하고 이로부터 측정된 횡방향 거리오차를 제어에 사용하게 된다. 횡방향 거리오차 측정에 사용되는 센서 및 유도로는 본 연구에서는 자석의 자기장의 크기를 측정하는 MR 센서 및 자석을 이용하였다. 본 연구에서 사용된 MR 센서는 3축 자기 센서인 HMR 2003에 16-bit A/D 변환기, set/reset, RS-232통신 기능이 추가된 HMR 2300을 사용하였다. 자석 선정 및 센서교정을 위하여 한국표준과학 연구원에 있는 비 자성 목조 실험실에서 실험을 실시하였고, 실험을 통하여 자석의 물리량을 측정하였다. 본 실험을 통하여 3000 gauss의 자석을 선정하였으며, MR 센서의 시험 검사를 실시하였다. 현재 시중에 판매중인 자석 중, 본 실험에 적합한 자석으로 희토류계 자석을 선정하였다. 자석은 직경이 25cm, 높이가 0.5cm인 원반형이고 자기장의 세기는 3000gauss 이다. 가로, 세로, 높이가 각각 7cm, 4cm, 1.5cm인 아크릴판 중심부에 깊이 1cm로 직경이 25cm인 구멍을 파고, 그 안에 자석을 접촉제를 이용하여 고정시켜 사용하였다. 실험에 의해 자석간의 거리는 40cm로 정하였다. 이는 차량의 최대 운송 속도인 5m/s에서는 약 12.5개의 자석을 지나

게 되고, 자석 1개당 10개의 센서 출력값이 필요하다고 가정하면, HMR 2300 자체의 검출 회수가 154 samples/sec임으로 적절하다.

4.2 MR 센서

MR 센서는 이방성의 자기저항을 이용하여 자기장의 세기를 검출하는 센서이다. 그림 5는 MR 센서 실험을 위한 실험 장치이다. 본 실험 장치는 높이를 고정시킨 후 횡방향 거리로 자석을 옮겨가면서 실제 MR 센서에 나타나는 출력 특성을 알아보기 위해 만들어진 실험 장치이다. 본 실험 장치의 실험 목적은 다음에서 설명하는 MR 센서의 출력 특성을 알아보기 위한 것이다. MR 센서가 지면에서 일정한 높이(15cm)에서 자석의 중앙을 통과할 때 다음과 같은 출력을 나타낸다. 각 피크는 자석 사이의 거리에 관계가 되는데, 이는 그래프의 X축에 속도를 곱하면 실제 자석간 거리가 되고, 각각의 그래프는 같은 피크 시점을 보이게 된다.

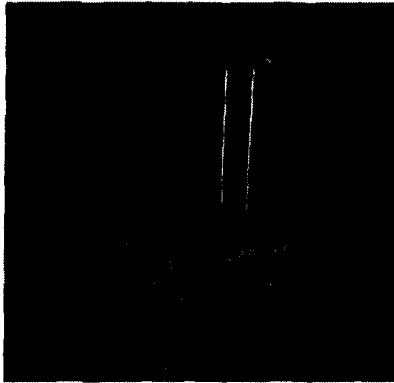


Fig. 5 Test set of MR sensor

그림 6은 자석을 일정한 거리로 서로 다른 극을 교대로 배치하였을 때의 출력 곡선이다. 상대적으로 자석을 배열하면 두 개의 서로 다른 극이 서로 간섭하여 하나의 커다란 자석을 배열한 것과 같은 효과를 나타낼 수 있다. 그러나 어느 정도 이상 간격이 멀어지면 그림 7과 같이 서로 다른 극의 간섭이 적어져 독립된 두 개의 서로 다른 자석으로 인식한다. 자석의 N은 Z축의 아래 쪽 피크에, S극은 Z축의 위쪽 피크에 각각 대응이 된다. X축의 피크는 각 Z축 피크 사이의 중심에서 발생한다.

상대극으로 배열하였을 시 자장의 세기가 더 커

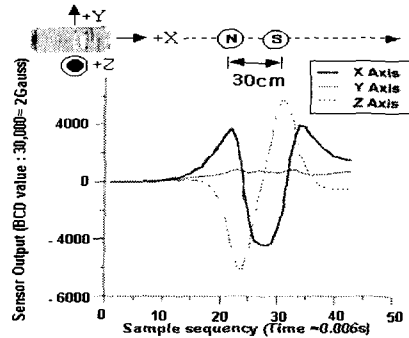


Fig. 6 N-S series of the magnet with 30cm

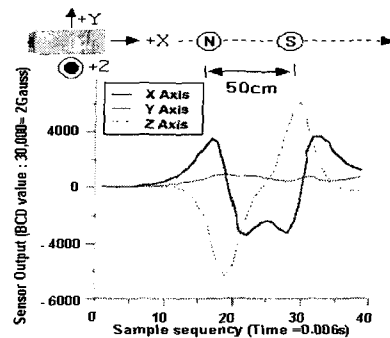


Fig. 7 N-S series of the magnet with 50cm

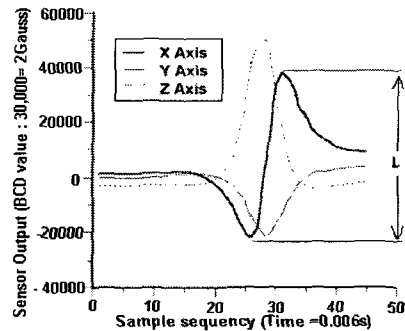


Fig. 8 Difference between max. and min. (L is difference between max. and min. value)

지기 때문에 더욱더 센서로 그 자장을 측정하기가 용이해지므로, 본 논문에서는 상대 극 배열 방식을 택하였다. 출력의 크기는 서로 다른 극으로 배열한 것이 같은 극으로 배열한 것보다 큰 출력을 보임으로 측정 데이터의 세분화 측면에서는 서로

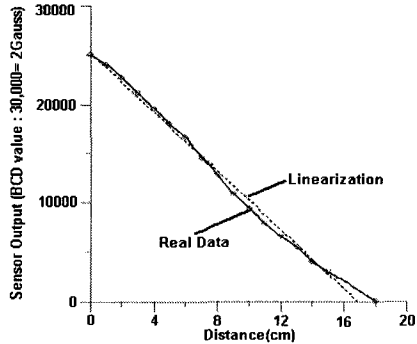


Fig. 9 Linearization of the distance according to the output

다른 극으로 배열한 것이 더 이점이 있다. 영구 자석을 지면으로부터 일정한 높이(15cm)에 장착하여 상대극으로 배열한 유도선을 MR 센서가 바로 위를 진행 할 때와 횡방향으로 거리를 두고 진행할 때의 출력의 크기는 거리에 따라 값이 작아진다. 즉, 거리가 가까울 때에는 MR 센서 Z축의 최대값과 최소값의 차이가 크고, 거리가 멀 때에는 MR 센서 Z축의 최대값과 최소값의 차이가 작다. 센서의 진행 방향에 대하여 자석을 횡방향으로 거리를 두고 실험을 한 결과를 그래프로 나타내면 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. MR 센서의 출력에 의하여 피크를 제외한 각 구간에서 어느 정도의 선형 근사 출력이 나온다는 것을 알 수가 있다. 본 논문에서는 센서의 이동 방향에 따라 자석간의 상대적 거리가 달라짐을 고려하여 40cm로 정했다. 실험 장치를 통해 제작하여 자석과 일정한 offset 거리에 대한 센서의 출력을 반복하여 구하였다. 이러한 값에서 Z축의 최대값과 최소값의 차이를 평균하여 그림 9와 같이 나타내었다. 선형 보간 이전의 곡선에서는 유도선과 센서의 떨어진 거리가 거의 선형에 가깝게 변한다는 것을 알 수 있다. 상기와 같은 실험 결과를 이용하여 다음과 같은 선형화식을 만들어 사용할 수 있다.

$$y_s = k \times \frac{1}{L} \quad (11)$$

여기서 y_s 는 유도선과 센서사이의 떨어진 거리이고, L 은 센서 출력의 최대값과 최소값의 차이, k 는 비례 상수이다.

유도선에 대하여 센서의 횡방향 거리를 판단하는 알고리즘은 각 샘플링 타임마다 Z축과 Y축의

미분 부호를 판별함으로써 이루어진다. 하지만 Z축 피크와 Y축 피크 시점이 정확하게 일치하지 않기 때문에 바로 적용을 할 수가 없다. 각 피크 시점의 차이는 지구 자기장이나 주위의 철, 혹은 다른 자석 등에 의한 노이즈 영향으로 일정하지 않기 때문에 프로그램 상에서 보상하는 데에는 다소 어려움이 있다. 현재 구현된 알고리즘 상에는 X축이 피크를 보일 때 Z축과 Y축의 미분 부호를 비교하여 유도선에 대한 센서의 위치를 판단한다. X축 피크까지 센서가 이동을 해야만 데이터가 나오기 때문에 연속적인 값을 얻을 수 없는 문제점을 고려하여야 한다. 실제 실험에서 거리 판단에 사용하는 값은 Z축 값이다. 지구상에는 지구의 자기장이 형성되어 있는데, 미세 저자장인 지구자장(Earth Magnetic Field, EMF, 혹은 지자장)의 크기는 우리나라의 경우, 시간에 따라 변하지 않는 직류성분이 수직방향으로 $40 \mu T(0.4\text{gauss})$, 남북 방향으로 $30 \mu T(0.3\text{gauss})$, 동서 방향으로 $3 \mu T(0.03\text{gauss})$ 이며, 태양풍 등이 없는 정상적인 날의 시간에 따라 변화는 성분은 약 100 nT/day 이다. 따라서 차량이 운동을 지상에서 여러 방향으로 한다면 방위에 따라서 그 자기장의 크기가 달라지므로 Z축 값을 거리 계산에 이용하고, Y축 값은 센서의 좌, 우측을 판별하는 값으로 이용한다. 조향 제어 실험을 위하여 차량중심으로부터 횡방향 거리 및 차량의 요각을 측정하기 위해서는 총 4개의 MR 센서가 필요하다. 전방 범퍼 아랫부분 및 후방 범퍼 아래 부분에 각각 2개씩 총 4개를 사용했다. 실험에는 HMR 2300 및 HMR 2003의 2 종류의 MR 센서를 사용하였다.

4.3 실험차량 구성

실제 실험에 사용된 차량차량의 앞 범퍼 아랫부분과 뒤 범퍼 아랫부분에 MR 센서를 설치하였고, 핸들 구동을 위한 모터에 관련된 드라이브 시스템은 운전석 바로 옆에 구성하였다. 제어를 위한 연산과 명령을 담당하는 컴퓨터와 전체 시스템의 전원 공급 장치는 뒤 트렁크 부분에 구성하였다. 핸들 조향 부분은 차량의 운전석 앞부분에 설치되어 있으며 컴퓨터에 의해 계산된 제어량만큼 핸들을 직접 동작시키는 부분으로서 정확한 제어량을 전달하기 위하여 기어를 이용한 동력 전달 장치를 설치하였으며, 핸들이 장착되어 있으므로 경우에 따라서는 수동/자동 조향이 가능하도록 설계하였다. 실험차량의 조향 기어 형식은 파워 랙 및 피니언 구

조로 되어 있으며 스티어링 휠 자유 유격은 약 10mm 정도이다. 바퀴는 외측으로 30.76°내측으로 35.37°움직이게 되어있고, 핸들 회전과 바퀴의 움직임의 비 즉, Total Gear Ratio는 14.8:1이다. 그리고 조향 모터와 핸들은 기어로 물려 있으며 1:2.6875의 비율로 물려 있다. 따라서 조향 모터와 바퀴의 움직임 비는 39.775:1의 비율이다. 즉 조향 모터가 약 40°움직이면 바퀴가 1°움직이게 된다. 따라서 원하는 각도만큼 바퀴를 움직일 수 있다. 조향부는 삼성 CSM 모터 및 CSD 서보 드라이브를 사용하였다. MMC(Multi Motion Controller) 보드는 모터의 속도 및 운동을 제어하기 위하여 사용하였으며, 속도 제어가 10~2000rpm까지 조정이 가능하다. 본 실험에서는 실제 운전자의 일반적인 조향시의 속도를 흉내내기 위해 60rpm으로 하였다. 모터부와 핸들부 사이의 기어비가 2.6:1임으로, 모터가 초당 1바퀴 회전시 핸들은 초당 약 1/3 바퀴정도 회전하게 된다. 차량의 회전 속도에 제한을 둔 이유는 급격한 조향각의 변경을 방지하고, 사람의 조향을 흉내내기 위함이다. 실험에 사용된 프로그램은 볼랜드 C++를 이용하였다. 차량에 설치된 장치의 전원은 모두 차량 배터리로부터 각종 전력변환기를 통해 만들어진다.

그림 10은 실험을 하기 위해 구성된 실험 장치에 대한 그림이다. HMR 2300을 차량의 앞 범퍼에, HMR 2003을 차량의 뒤 범퍼에 장착한 후, 획득된 정보가 컴퓨터를 통해서 차량에 부착된 핸들부까지의 전달 체계를 설명한 그림이다.

실험은 80m의 도로에서 실시하였다. 실험은 UCT 차량의 운행 속도(최대 운송 속도 : 5m/s, 가

동 운송 속도 : 4m/s, 곡선 운송 속도 : 3m/s)에 준하여 실시하였고, 계획된 양호한 아스팔트 도로에서 실시하였으며, 도로의 중앙에 자석을 직선 및 곡선으로 설치하여 실시하였다. 실험은 다음과 같은 조건하에 실시한다.

- 1) 차량의 바퀴는 다음과 같이 정렬하기로 한다. 시험 도로에 진입하기 전에 차량은 정속으로 핸들의 조정 없이 직선 운행을 한다.
- 2) 시험 도로에 도착시, 시스템을 가동 시켜 무인 조향 되게 한다.
- 3) 차량의 속도는 차량에 부착된 속도 계기판을 이용하여 수동으로 조작하며, 오차는 ±10% 이내로 유지하도록 한다.
- 4) 조향각 δ 는 조향 명령당 15° 이내로 제한한다.

실험은 직선 및 직선과 곡선으로된 도로에서 실시하였다. 가동 운송 속도인 4m/s에서 직선 및 곡선으로된 도로에서 실시하였고, 80kg의 하중을 가변하면서 실험을 실시하였다. 또한 최대 운송 속도인 5m/s에서 직선 및 곡선으로 된 도로에서 실시하였고, 80kg의 하중을 가변하면서 실험을 실시하였다. 실험 결과는 대체적으로 중심을 잘 따라간다. 곡률이 시작하는 부분에서 약간의 떨림이 발생하였으나, 센서의 측정 범위 내에서의 떨림으로 별로 문제가 되지 않았다.

그림 10(a)는 PD 제어기를 이용한 실험으로 곡선을 주행할 때의 실험 결과이다. 초기 진행 시에는 유도선을 따라서 잘 진행하나 곡선을 만나는 12초 이후에는 오차값이 증가함에 따라 유도선을 벗어 날려고 하는 경향을 보였다. H_{∞} 제어기의 실험 결과에서는 시뮬레이션에서 결정된 제어기를 실험에 직접 사용시 대부분 조향각이 점점 커져 발산하는 경향이 많았다. 이 경우 설계 파라미터를 다시 조정하여 γ 를 찾고, 다시 결정된 제어기를 실험에 사용하였다. 그림 11(b)는 4m/s의 속도 하에서 차량이 직선 및 곡선으로 구성된 유도선을 추종하는 가를 알아보는 실험이다. 직선 구간에서는 차량이 유도선을 잘 따라감을 알 수 있으나, 곡선 구간에서는 값이 급격하게 변화하는 부분이 발생한다. 이는 곡률이 외란으로 작용하였고, 차량의 흔들림 등으로 인한 코너링 강성 등이 변화하였기 때문에 발생하였다고 볼 수 있다. 그림 12는 4m/s의 속도 하에서 80kg의 하중을 차량에 더한 다음, 차량이 직선 및 곡선으로 구성된 유도선을 추종하는 가를

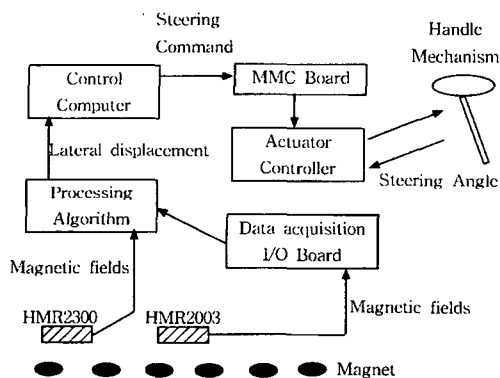
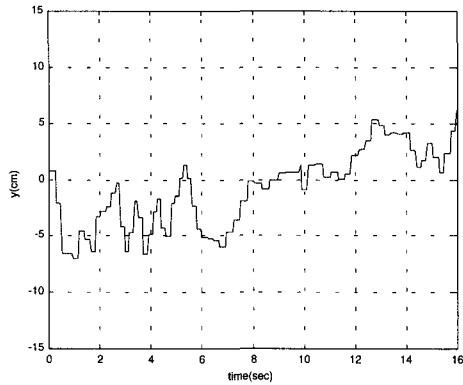
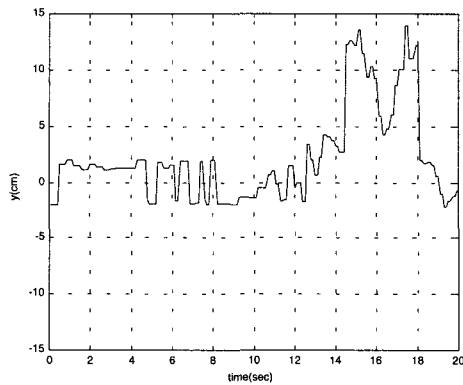


Fig. 10 Schematic diagram of the experimental setup



(a) PD control



(b) H_{∞} control

Fig. 11 Test result(4m/s, curve course)

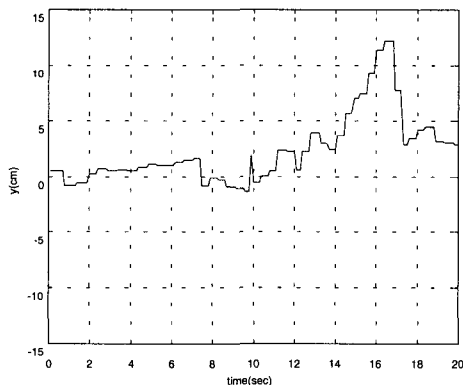


Fig. 12 Test result (H_{∞} control, 4m/s, curve course with 80kg)

알아보는 실험이다. 차량의 전체 중량에 비하여 사람이 1 사람정도 더 타는 것은 차량에 별 영향이 없다.

5. 결론

본 연구에서는 항만 자동화의 일환으로 개발중인 UCT의 실차 제작 전에 조향제어 시스템 개발을 목적으로 실시하였다. MR 센서의 출력 특성을 알아보기 위해 실험을 실시하였고, 실차실험을 위하여 차량 조향제어 시스템을 구축하였다. 차량에 작용하는 각종 외란을 H_{∞} 제어기 설계 기법을 이용하여 최적화 기법에 근거한 제어기를 설계하였고, 시물레이션 결과를 통하여 비선형 또는 불확실성에 견실성을 보장하는 성능을 보였다. H_{∞} 제어기를 차량의 조향장치에 적용하여 실험을 실시하였고, 시물레이션 결과와 비교 검토를 하였다.

참고문헌

1. 첨단항만 핵심기술 개발사업단, 첨단항만 무인 장비제어 및 통합운영 핵심기술개발, 현대중공업(주), 1999.
2. 최재원, 이석, 이만형, 박운식, "ITS분야에서의 계측제어 및 통신기술," 한국정밀공학회지, 제 18권, 제1호, pp. 12-20, 2000.
3. M. Heller and M. Huie, "Vehicle Lateral Guidance using Vision, Passive Wire and Radar Sensors," Proceedings of the IEEE-IEE Vehicle Navigation & Information Systems Conference Society of Automotive Engineers, pp. 505-508, 1993.
4. M. Tai and M. Tomizuka, "Robust Longitudinal Velocity Tracking of Vehicles Using Traction and Brake Control," Advanced Motion Control, Proceedings of the 6th International Workshop, pp. 305-310, 2000.
5. M. Maurer, R. Behringer, S. Furst, F. Thomanek and E. D. Dickmanns, "A Compact Vision System for Road Vehicle Guidance," Pattern Recognition, Proceedings of the 13th International Conference, Vol. 3, pp. 313-317, 1996.
6. C. Chen, J. Guldner, I. Kanellakopoulos and M. Tomizuka, "Nonlinear Damping in Vehicle Lateral control: Theory and Experiment," Proceedings of the American Control Conference, pp. 2243-2247,

- 1998.
7. Hwei Peng, Wei-Bin Zhang, Alan Arai, Ye Lin, Thomas Hessburg, Peter Devlin, Masayoshi Tomizuka and Steven Shladover, Experimental Automatic Lateral Control System for an Automobile, PATH Research Report, 1992.
 8. H. Peng and M. Tomizuka, Lateral Control of Front-Wheel-Steering Rubber-Tire Vehicles, UCB-ITS-PRR-90-5, PATH Research Report, 1990.
 9. H. Peng, Vehicle lateral control for highway automation, University of California, Berkeley, Dissertation, 1992.
 10. T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Inc., 1992.
 11. J. C. Doyle, K. Glover, P. P. Khargonekar and B. A. Francis, "State-Space Solutions to Standard H₂ and H_∞ Control Problems," IEEE Transactions on Automation Control, Vol. 34, No. 8, pp. 831-847, 1989.
 12. K. Zhou and J. C. Doyle, Essential of Robust Control, Prentice-Hall, Inc., 1998.