

## 물체인식 및 회피를 위한 무인자동차의 제어 및 모델링에 관한 연구

김 상 겸\* · 김 정 하

국민대학교 자동차공학대학원

## Research of the Unmanned Vehicle Control and Modeling for Obstacle Detection and Avoidance

Sanggyum Kim\* · Jungha Kim

*Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea*

(Received 5 June 2003 / Accepted 25 July 2003)

**Abstract :** Obstacle detection and avoidance are considered as one of the key technologies on an unmanned vehicle system. In this paper, we propose a method of obstacle detection and avoidance and it is composed of vehicle control, modeling, and sensor experiments. Obstacle detection and avoidance consist of two parts: one is longitudinal control system for acceleration and deceleration and the other is lateral control system for steering control. Each system is used for unmanned vehicle control, which notes its location, recognizes obstacles surrounding it, and makes a decision how fast to proceed according to circumstances. During the operation, the control system of the vehicle can detect obstacles and perform obstacle avoidance on the road, which involves vehicle velocity. In this paper, we propose a method for vehicle control, modeling, and obstacle avoidance, which are evaluated through road tests.

**Key words :** Unmanned vehicle(무인자동차), Longitudinal control(종방향제어), Lateral control(횡방향제어), Obstacle avoidance(물체회피), Ultrasonic sensor(초음파센서)

### Nomenclature

$V(t)$	: source voltage of the equal circuit	$k_t$	: armature constant
$v_a(t)$	: armature voltage of the motor	$k_e$	: counter-electromotive force constant
$i_a(t)$	: armature current	$\delta$	: steering angle of the vehicle
$R_a$	: electric resistance	$\beta_{f1}, \beta_{f2}$	: front bilateral wheel sideslip angles of each tire
$L_a$	: electric inductance component of the electric windings	$\beta_{r1}, \beta_{r2}$	: rear bilateral wheel sideslip angles of each tire
$e$	: counter-electromotive force conduction of electricity while the motor is rotating	$Y_{f1}, Y_{f2}$	: front cornering forces of the tire
$J$	: moment inertia of the motor	$Y_{r1}, Y_{r2}$	: rear cornering forces of the tire
$b$	: damping ratio of the mechanical system	$K_f, K_r$	: cornering power of the front and rear tires

\*To whom correspondence should be addressed.  
ssanggyum@hanmail.net

### 1. 서 론

지난 수십년 동안 과학기술의 발전과 함께 차량

지능화에 대한 연구는 급속도로 발전하였다. 특히, 오늘날 많은 선진국과 자동차 메이커들은 보다 지능화된 차량 연구를 위하여 많은 투자를 하고 있다. 이러한 연구 중에서 특히 많은 관심을 보이는 분야가 무인자동차에 관한 연구이다. 무인자동차는 군사, 감시, 지형 맵핑 및 위험한 환경에서 사람을 대신하여 작업을 수행하는 곳에 널리 응용되고 있으며, 사회적인 산업기반과 밀접한 관계를 맺고 있다.<sup>1)</sup> 그리고 대부분의 무인자동차들은 차량의 안전성과 정확한 차량의 제어를 위하여 많은 센서들을 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서도 물체인식과 회피를 위한 차량 운동 제어와 모델링에 관한 연구를 수행하기 위하여 많은 센서들을 사용하였으며, 이것들은 정확성과 민감도를 요구한다. 특히, 무인자동차의 동적인 움직임을 감지하기 위하여 산업분야 및 군사분야에서 널리 사용되고 있는 자이로 센서, 초음파 센서, 레이저 스캐너 등을 사용하였고 센서들의 특성을 분석하고 실험을 통하여 정확성을 검증하였다. 더욱이 초음파 센서와 레이저 스캐너는 차량 전방의 물체인식과 회피를 위하여 사용되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무인자동차의 차량제어를 위한 종 방향 제어, 횡 방향 제어에 대하여 서술하였으며, 3장에서는 무인자동차의 센서 시스템에 대하여 서술하였다. 그리고 4장에서는 실험 평가 및 방법에 대하여 서술하였고, 마지막 5장에서 결론을 맺었다.

## 2. 무인자동차의 차량제어 시스템

### 2.1 종 방향 제어

본 논문에서 차량의 종 방향 제어는 모터와 브레이크 제어에 의하여 조작된다. 모터 구동 시스템은 디지털 신호 처리와 D/A 변환기에 의한 아날로그 신호 변환에 따른 모터의 입력 전압에 의하여 제어되고,<sup>1)</sup> 차량의 속도는 바퀴에 장착된 훌센서로부터 신호를 받아 제어하게 된다.

#### 2.1.1 구동시스템 모델링

Fig. 1은 차량의 종 방향 제어를 위한 구동부 시스템의 모델링과 모터의 구동 회로도를 보여주며, 종

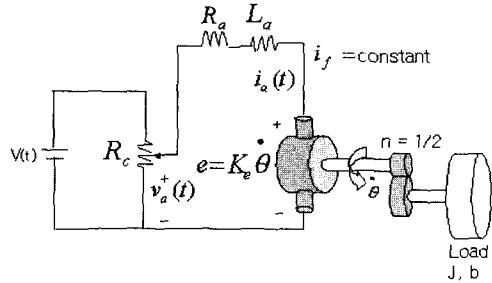


Fig. 1 Wire model of traction system

방향 제어를 위하여 DC모터 모델링을 수행하였다.<sup>2)</sup>

Fig. 1에서 DC 모터의 발생토크  $T$ 는 전기자 전류  $i_a(t)$ 에 비례하고, 토크  $T$ 는 다음 식 (1)과 같다.

$$T = k_t i_a \quad (1)$$

또한, Fig. 1에서 Kirchhoff 법칙을 적용한 전기자 전압 제어법에서 계자 전류는 일정하게 유지되므로 계자 전류  $i_a$ 는 일정하고, 토크는 직접적으로 전기자 전류에 비례하게 되어 다음 식 (2)와 같은 토크 방정식을 구할 수 있다.

$$T = k_t i_a = J \frac{d\dot{\theta}}{dt} + b\dot{\theta} = J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} \quad (2)$$

일반적으로 전기자는 전기자가 회전할 때 자속과 각속도의 곱에 비례하는 전압이 전기자에 유도된다. 따라서 일정한 자속에 대한 유도 역기전력  $e$ 는 각속도에 직접적으로 비례하며 다음 식 (3)과 같다.

$$e = k_e \dot{\theta} \quad (3)$$

Fig. 1에서 전압 방정식은 다음의 식 (4), (5)으로 나타낼 수 있다.

$$V(t) = k_a v_a(t) \quad (4)$$

$$v_a(t) - e = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (5)$$

여기서 전기자 저항  $R_a$ 와 역기전력 상수  $k_e$ 는 일정하고, 모든 초기 조건들은 0으로 가정하면 다음 식들과 같이 라플라스 변환식을 구할 수 있다.

$$V(s) = K_a V_a(s) \quad (6)$$

$$V_a(s) - K_e s \Theta(s) = (R_a + L_a s) I_a(s) \quad (7)$$

$$E(s) = K_e \Theta(s) \quad (8)$$

$$T = K_t I_a(s) = s(Js + b)\Theta(s) \quad (9)$$

역기전력의 영향은 DC 모터의 속도에 비례하여 커지게 되고 이는 모터의 속도를 감소시키는 역할을 하기 때문에 피드백 신호와 같은 역할을 한다. 따라서 역기전력은 시스템의 유효한 감쇠효과를 증가시키고 입력에 대한 출력  $V(s)$ ,  $\Theta(s)$ 의 관계식으로 나타내면 다음 식 (10)과 같다.

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{k_a k_t}{(R_a + L_a s) + (Js + b) + k_t k_e} \quad (10)$$

상태공간 형태로부터 위의 방정식들은 입력에 의한 전압과 상태변수의 전기 전류와 같은 회전 속도로 표현할 수 있다. 따라서 출력의 회전 속도는 다음 방정식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & \frac{K}{J} \\ -\frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} V \\ \dot{\theta} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (11)$$

Fig. 2는 위 식들에서 얻어진 전달함수에 근한 시스템 블록선도를 보여준다.

모터 회전체의 관성  $J$ , 전기자 내부저항  $R_a$ , 전기 인덕턴스  $L_a$ 값들을 위한 정확한 값은 매개 변수에 값을 대입하여 전달함수를 얻어야 하겠지만 정확한 값을 구하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 많은 실험을 통하여 구동 시스템의 전달함수를 구하였다.<sup>3)</sup> Fig. 3은 모터에 스텝 입력 전압을 인가하여 얻은 모터 속도의 궤적을 보여준다.

Fig. 3의 결과에서 시스템의 고유 주파수와 감쇠

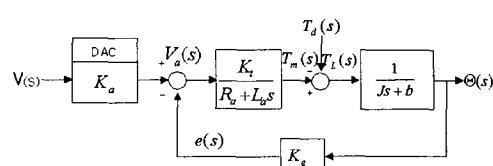


Fig. 2 Block diagram of traction system

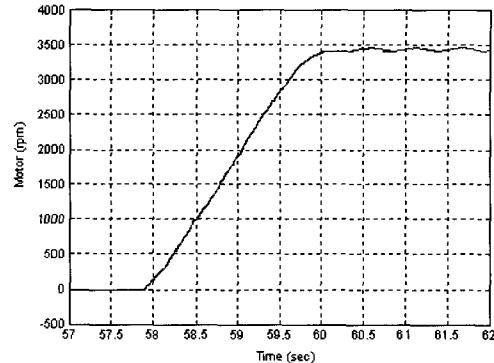


Fig. 3 DC motor RPM profile

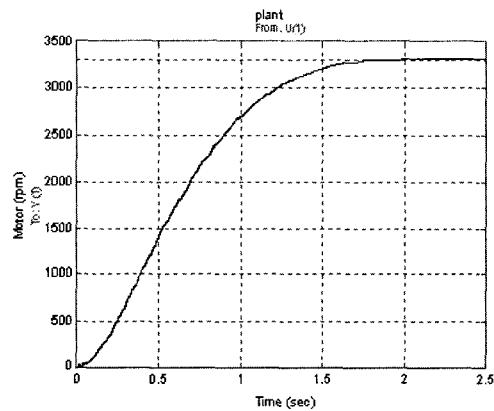


Fig. 4 Simulation result of transfer function [DC motor]

율을 알 수 있기 때문에 그를 통해 전달함수를 얻어낼 수 있다. 구동시스템의 전달함수는 다음 식 (12)와 같이 표현되어 진다.

$$G(s) = \frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{5866.575}{s^2 + 4.55s + 7.111} \quad (12)$$

Fig. 4는 위 식 (12)로부터 얻어진 전달함수를 MATLAB<sup>®</sup>을 이용하여 도시한 결과이고 이 실험은 Lab-view 프로그램에 의해 수행되었다.<sup>4)</sup>

또한, 본 연구에서는 구동부의 속도를 제어하는 데 있어 시스템의 정상상태 오차와 rising시간 및 settling시간을 줄이기 위해 PID 제어기를 설계하였다. 구동부의 PID 제어기를 설계하기 이전에 DC모터에 훌 센서를 부착하여 모터 속도 정보의 피드백을 통해 구동부의 폐루프를 구성하였다. 구동부 폐루프 시스템의 블록선도는 Fig. 5와 같다.

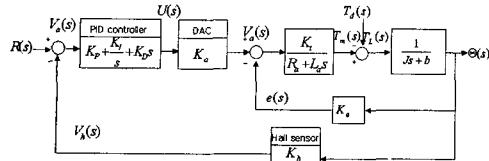


Fig. 5 Block diagram of closed-loop system

따라서, 구동부 폐루프 시스템의 전달함수는 다음 식 (13)과 같이 나타내어 진다.

$$\frac{\Theta(s)}{R(s)} = \frac{k_a k_t (k_d s^2 + k_p s + k_i)}{L_a J s^3 + (R_a J + L_a b + k_d) s^2 + (R_a b + k_t k_v + k_p) s + k_i} \quad (13)$$

이에 얻어진 매개 변수를 대입하여 정리하면 다음 식 (14)와 같다.

$$\frac{\Theta(s)}{R(s)} = \frac{5866.575(k_d s^2 + k_p s + k_i)}{s^3 + (4.55 + k_d) s^2 + (7.111 + k_p) s + k_i} \quad (14)$$

폐루프 상태에서의 시스템 성능에 근거하여 성능 목표치를 다음과 같이 2초 이내의 settling시간, 5% 미만의 과도응답, 1% 미만의 정상상태오차를 임의로 정하였다. 그리고  $k_p$ 와  $k_t$ ,  $k_d$ 의 값을 조절하여 Fig. 6과 같은 시뮬레이션 결과를 얻었다.

Fig. 6의 시뮬레이션에서 대입된  $k_p$ 와  $k_d$ 의 값을 실제 시스템의 PID controller에 적용하여 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다.

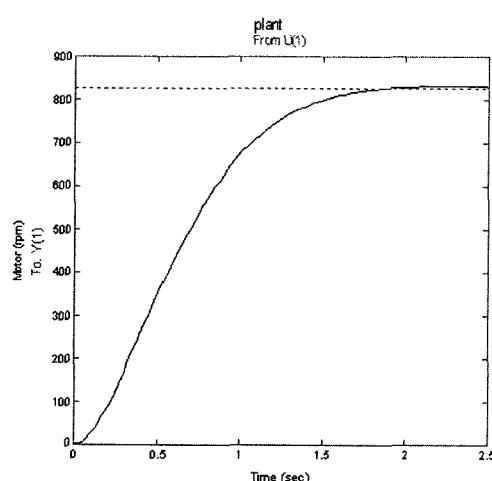


Fig. 6 Simulation result of PID controller

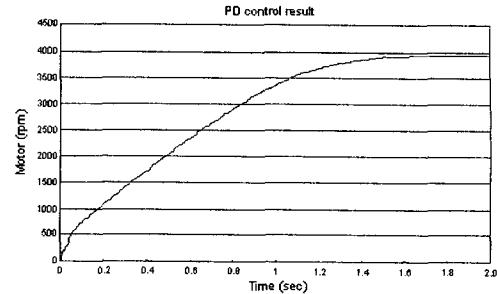


Fig. 7 Result of system with controller

시뮬레이션의 궤적에 미치는 성능 향상은 얻지 못했지만 PD controller 적용 시 settling시간이 0.2초 향상되는 효과를 얻을 수 있었다.

## 2.2 횡 방향 제어

본 논문에서 차량의 횡 방향 제어를 위하여 조향 엑추에이터는 스텝핑 모터를 사용하였고, 타이밍 벨트로 조향 축에 연결하였다. 조향 커럼의 조향 토크는 토크측정기에 의하여 평가되었고, 약 20[Kg · cm]이다. 그러므로 본 실험에서는 반력을 극복하기 위하여 1400[g · cm<sup>2</sup>] 관성 모멘트와 22[Kg · cm] 최대 토크를 가지는 PK-296 모델의 스텝핑 모터를 선택하였다. 입력 필스와 조향 각의 관계는 식 (15)와 같이 표현된다.

$$\alpha = \frac{360^\circ}{4000} [\text{deg/pulse}] = 0.09[\text{deg/pulse}]$$

$$\frac{1}{4000} [\text{rev/pulse}] = 0.00025[\text{rev/pulse}] \quad (15)$$

위 식 (15)로부터 최대 분해능이 0.18도임을 알 수 있었다.

### 2.2.1 조향시스템 모델링

무인자동차의 조향 시스템 모델링을 위하여 차량의 운동 모델로 널리 사용되는 Bicycle 모델을 사용하였다.<sup>5,6)</sup> 이 때 차량의 룰링운동은 무시하고 수평면내를 일정속도로 주행하는 차량운동을 고려하였고, 차량의 연직 방향의 높이를 무시하여 지면에 투영되는 강체로 차량의 횡 방향의 병진 운동과 연직 축 돌레의 회전, 즉 요잉(Yawing) 운동을 고려하였다.

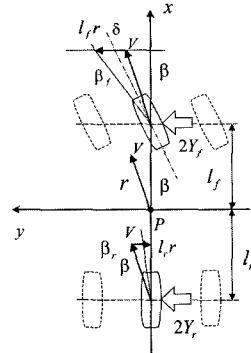


Fig. 8 Bicycle model for steering system

Fig. 8은 좌표계에 표현된 Bicycle 모델에 조향 시스템의 동적 운동을 표현하기 위한 변수들을 보여준다.

수평면내를 운동하는 차량이 횡 방향에 가속도 성분을 가지면, 그 중심점을 통과하는 연직축 둘레에 각속도를 가지며, 차량에 장착되어 있는 차륜에 코너링 포스가 발생한다. 이때 각각의 코너링 포스는 식 (16), (17)로 표현할 수 있다.<sup>7,8)</sup>

$$2Y_f = Y_{f1} + Y_{f2} \quad (16)$$

$$2Y_r = Y_{r1} + Y_{r2} \quad (17)$$

위 식 (16), (17)에서 각각의 힘을 y방향에 작용하는 것으로 표현하면 식 (18), (19)로 표시 할 수 있다.

$$mV\left(\frac{d\beta}{dt} + r\right) = 2Y_f + 2Y_r \quad (18)$$

$$I\left(\frac{dr}{dt}\right) = 2l_f Y_f - 2l_r Y_r \quad (19)$$

또한, 옆 미끄럼 각이 양(+)일 때 y방향에서 음(-)의 방향으로 코너링 포스가 작용하면 코너링 포스는 다음 식 (20), (21)로 표시 할 수 있다.

$$Y_f = -K_f \beta_f = -K_f \left(\frac{\beta + l_f r}{V - \delta}\right) \quad (20)$$

$$Y_r = -K_r \beta_r = -K_r \left(\frac{\beta - l_r r}{V}\right) \quad (21)$$

위의 식 (20), (21)을 식 (18), (19)에 대입하면 다음과 같은 식 (22), (23)을 구할 수 있다.

$$mV\left(\frac{d\beta}{dt} + r\right) = -2K_f \left(\beta + \frac{l_f}{V} r - \delta\right) - 2K_r \left(\beta - \frac{l_r}{V} r\right) \quad (22)$$

$$I\frac{dr}{dt} = -2K_f \left(\beta + \frac{l_f}{V} r - \delta\right) l_f + 2K_r \left(\beta - \frac{l_r}{V} r\right) l_r \quad (23)$$

이 식을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$mV\frac{d\beta}{dt} + 2(K_f + K_r)\beta + (mV + \frac{2}{V}(l_f K_f - l_r K_r))r = 2K_f \delta \quad (24)$$

$$2(l_f K_f - l_r K_r)\beta + I\frac{dr}{dt} + \frac{2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{V}r = 2l_f K_f \delta \quad (25)$$

식 (24), (25)를 통해 입력 조향각에 따른 차량의 요각속도 변화의 운동방정식을 유도해낼 수 있고 얻어진 운동방정식을 라플라스 변환하면 다음 식 (26)과 같다.

$$\frac{R(s)}{\Delta(s)} = \frac{2(mVl_f K_f s + (l_f K_f^2 + 2K_f K_r(2l_f - l_r)))}{mVl_f(s^2 + 2m(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r) + 2I(K_f + K_r)s + \frac{4K_f K_r V^2}{mIV^2} - \frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{mIV^2})} \quad (26)$$

무인자동차의 조향 시스템 전달함수를 구하기 위해 유도된 운동방정식의 매개 변수들인  $K_f$ 와  $K_r$ , 차량의 요잉 판성모멘트  $I$  등은 그 값의 정확한 측정이 거의 불가능하다. 따라서 차량에 임의의 조향각  $\delta$ 를 Step 입력하여 자이로 센서를 통해 얻어진 차량 요각속도 측정으로 시스템을 정의하였다. 다음 Fig. 9는 스텝 입력에 의한 조향각의 측정 결과를 보여준다.

Fig. 9는 많은 실험을 통해 얻은 결과이고 다음 식 (27)과 같은 시스템 전달함수를 구할 수 있다.

$$G(s) = \frac{R(s)}{\Delta(s)} = \frac{97.3}{s^2 + 2.31s + 2.78} \quad (27)$$

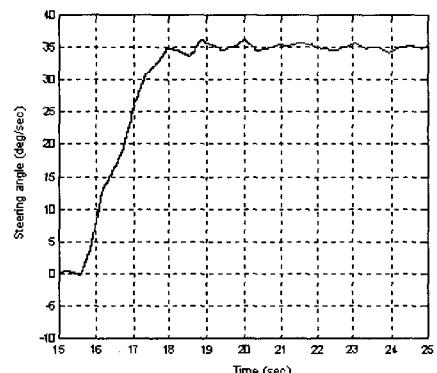


Fig. 9 Yaw rate profile by a gyro sensor

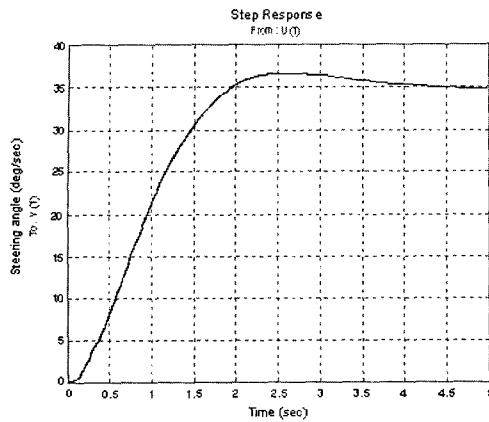


Fig. 10 Simulation result of transfer function [steering control]

전달함수 평가를 위하여 시뮬레이션을 수행하였고, Fig. 10은 시뮬레이션 결과를 보여준다.

모델링에 의한 결과는 실험적으로 측정한 값들과 노이즈 및 불확실한 튜닝으로 인하여 정확하게 일치하지는 않는다. 그러나, settling시간, rising시간과 정상 상태에 놓는 거의 유사하다. 따라서 더욱 정확한 횡 방향 제어를 위하여 PID 제어기를 설계하였고 다음 식 (28)은 PID제어기의 전달함수를 보여준다.

$$G_c(s) = \frac{R(s)}{\Delta(s)} = \frac{97.3(K_d s^2 + K_p s + K_i)}{s^3 + (K_d + 2.31)s^2 + (K_p + 2.78)s + K_i} \quad (28)$$

여기서  $K_p$ ,  $K_d$ ,  $K_i$ 는 PID이득 값을 의미하며, P=2, D=1, I=0일 때, 시스템의 settling시간이 1 sec 향상되는 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 11은 이득 값에 의한 시뮬레이션 결과를 보여준다.

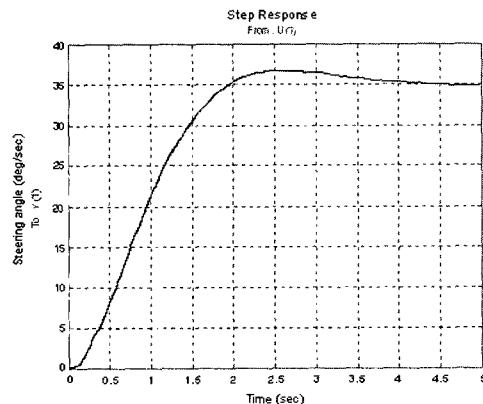


Fig. 11 Closed-loop system simulation with PID controller

### 3. 무인자동차의 센서 시스템

차량의 주행 시 조향각에 따른 차량의 요각속도 변화를 얻기 위하여 본 논문에서는 산업 및 차량 항법 시스템 등에서 널리 사용되는 Murata사의 ENV-05H 자이로 센서를 사용하였고, 물체인식과 회피를 위하여 초음파 센서와 레이저 스캐너가 사용되었다. 일반적으로 초음파 센서와 레이저 스캐너에 의한 거리측정 신호들은 D/A 변환기에 의하여 디지털 값으로 변환되고, DAQ 보드 및 마이크로 프로세스처리에 의하여 메인 컴퓨터에서 거리를 계산하게 된다. Fig. 12는 조향각에 따른 차량의 요각속도 변화를 측정하기 위한 자이로 센서와 메인 보드와의 인터페이스 회로도를 보여준다.

Fig. 13은 초음파 센서로부터 신호를 받기 위한 블록 선도를 보여준다.<sup>9)</sup>

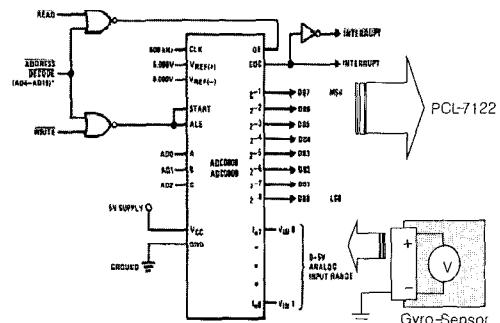


Fig. 12 Signal converting & interfacing of the gyro sensor

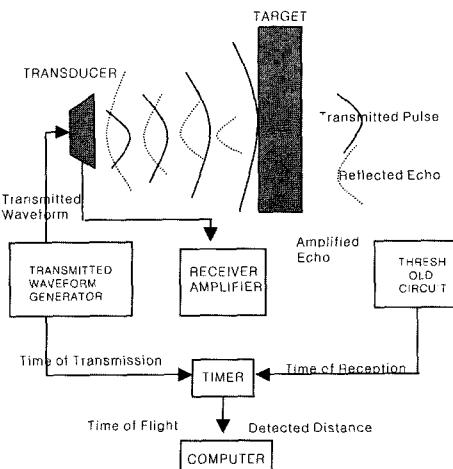


Fig. 13 Functional diagram of the ultrasonic sensor

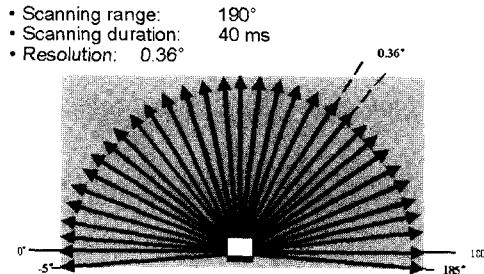


Fig. 14 Scanning field of the laser scanner

또한, Fig. 14는 레이저 스캐너의 스캐닝 영역을 보여준다.

레이저 스캐너의 측정 방법은 레이저 범 떨스의 전달 시간에 의하여 물체의 거리를 측정한다. 레이저 범의 떨스는 내부 회전 거울에 의해 반사되고 그 것은 팬 모양의 스캔을 만들어 내며 물체의 형상은 연속적으로 받은 떨스에 의해 결정된다. 스캔 측정 데이터들은 외부 평가 프로그램에 의해 처리되고 물체 측정을 위한 표준 데이터는 RS232 시리얼 인터페이스 카드에 의하여 메인 컴퓨터로 전송된다.<sup>10)</sup>

#### 4. 실험평가

물체인식과 회피실험 평가는 본 연구에 있어 가장 중요한 실험 중에 하나이다. 따라서 본 연구에서는 물체인식 및 충돌회피를 위하여 ULTRA-U 초음파 센서와 레이저 스캐너를 사용하였고, 이 센서들은 범위 센서들 중의 하나이며, 물체의 거리를 측정한다.<sup>10)</sup> 특히 초음파 센서는 부피가 작고, 가격이 저렴하며, 거리계산이 쉽기 때문에 일반적으로 무인자동차 및 이동 로봇 등에 널리 사용된다. 물체인식 및 충돌회피 실험을 위하여 센서를 차량 전방 및 측방에 부착하였고, 센서에 대한 특성을 분석한 후 실차 실험을 수행하였다. 첫 실험 단계는 초음파 센서와 레이저 스캐너에 의한 환경 인식이다. Fig. 15는 복도에서의 초음파 센서들의 실험 결과를 보여준다. 실험 조건은 측면 앞에 2개의 센서와 측면 뒤에 2개의 센서를 부착하여 차량으로부터 복도 벽면까지의 거리를 계산하였다.<sup>11)</sup> 결과에서 각각의 그래프는 초음파 센서로부터 복도 벽면까지의 거리를 의미한다. 이때 그래프의 형상은 실제 실험 조건인 복도의 형상을 의미한다. 본 실험으로부터 약간의 테

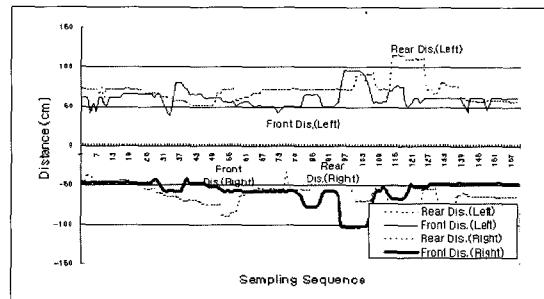


Fig. 15 Ultrasonic sensor experiment in corridor  
[compare sensor signal]

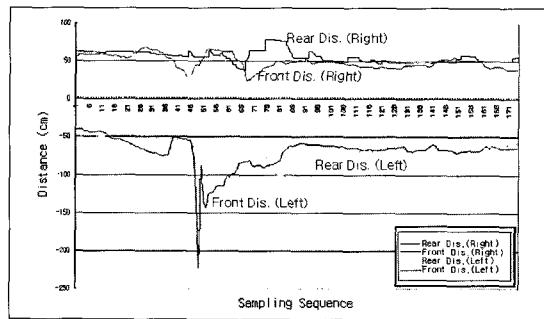


Fig. 16 Ultrasonic sensor experiment in corridor  
[compare sensor s-turn signal]

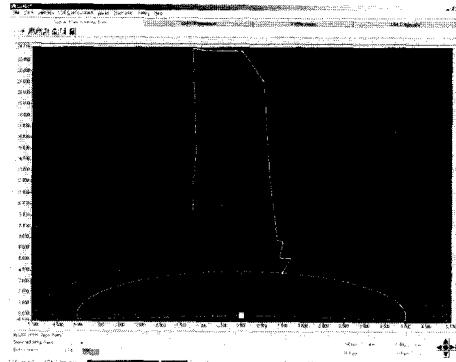


Fig. 17 Screen shot with one chair in the field of view

이터 처리에 따른 시간 지연이 있음을 알 수 있었고, 센서에 의한 출력 값은 실험 환경과 일치함을 알 수 있었다.

또 다른 실험의 결과로서 Fig. 16은 같은 조건에서의 S턴 실험 결과를 보여준다. 이 결과에서도 약간의 시간 지연을 알 수 있었다.

Figs. 17과 18은 복도에서의 물체인식을 위한 레이저 스캐너의 연속 실험을 보여준다. 실험 조건은

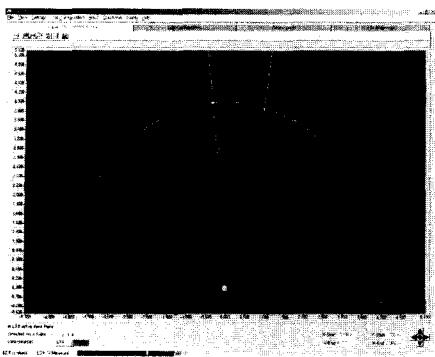


Fig. 18 Screen shot with one person in the field of view

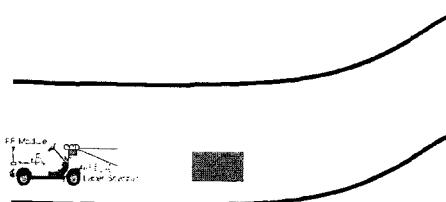


Fig. 19 Environment of road, which has an obstacle in the front

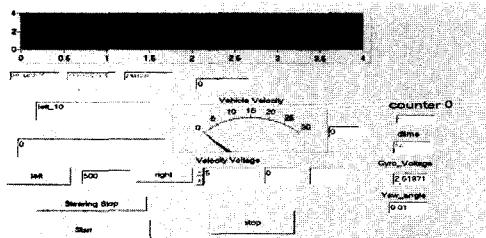


Fig. 20 Display of detecting obstacle [visual basic]

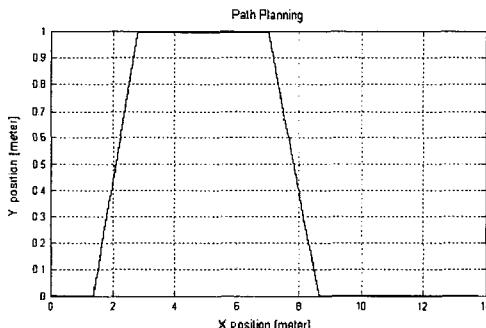


Fig. 21 The result of the path planning

각각 2m와 3m앞에 장애물이 놓여있다. 첫 번째 실험으로부터 전방 2m 왼쪽에 하나의 물체(의자)가 있음을 레이저 스캐너의 신호를 통하여 인식할 수

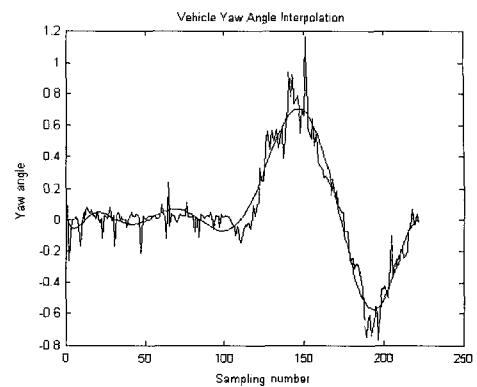


Fig. 22 Interpolation curve of yaw angle

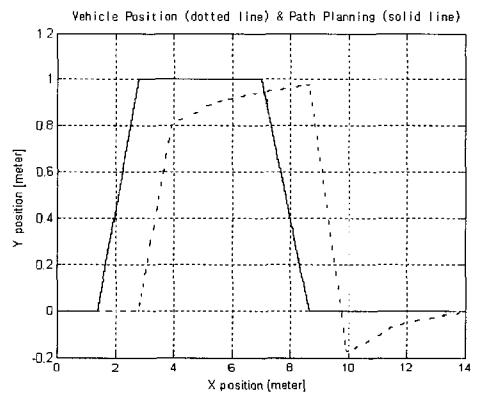


Fig. 23 Comparison between vehicle position and path planning

있고, 두 번째 실험은 차량 앞쪽 중앙에 물체(사람)가 놓여 있음을 보여준다. 이 결과로부터 정확한 물체인식과 커브의 모양은 레이저 스캐너 데이터의 정확성을 보여준다.

Fig. 19는 레이저 스캐너와 초음파 센서에 의한 물체인식 및 회피 방법을 위한 실험 조건을 보여준다.

Figs. 20과 21은 물체인식과 회피를 위한 프로그램 환경과 path planning 결과를 보여준다.

Fig. 20은 센서로부터 물체의 크기와 모양 및 주변 환경에 대한 데이터를 받아 들인다.

Fig. 22는 물체 회피를 위한 자이로 센서와 초음파 센서를 통한 차량의 요 각도를 보여주며, 실제 출력 값을 보간 곡선을 통하여 나타내었다.

Fig. 23은 주행에 따른 차량의 위치와 path planning의 실험 결과를 비교하여 보여준다. 그림

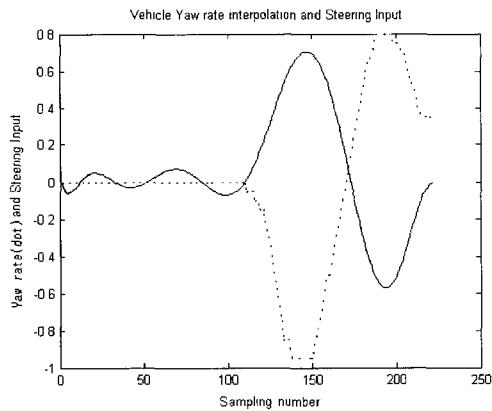


Fig. 24 Comparison between yaw angle and steering input

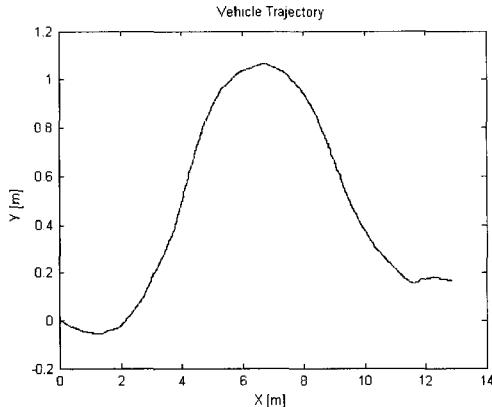


Fig. 25 Vehicle trajectory of collision avoidance

으로부터 path plan과 차량의 경향이 비슷함을 알 수 있었다.

차량의 조향 입력 값에 따른 요인 각의 결과를 Fig. 24에서 보여준다. 이때 자이로 센서와 초음파 센서 입력 데이터에 의한 곡선은 조향 입력 데이터 곡선의 역으로 표현된다.

Fig. 25는 도로의 오른쪽에 물체가 있을 때 초음파 센서에 의한 충돌회피 궤적을 보여준다. 본 실험에서는 센서로부터의 데이터 처리시간과 에러율을 감소시키기 위하여 평균 값 알고리즘을 적용하여 초음파 센서를 실험하였다. 그 결과 충돌회피를 위한 차량의 궤적은 목표 궤적인 최소반경 보다 크다.

일반적으로 이상조건이 아닌 실제 차량 실험에 있어 초음파 센서들은 불안정한 신호를 출력한다. 이러한 문제는 초음파 센서 Filtering과 퍼지 제어와 같은 좀더 향상된 알고리즘을 통하여 극복할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 물체 인식 및 회피를 위한 무인자동차의 제어 및 모델링에 대한 시스템을 개발하였다. 차량의 제어를 위하여 횡. 방향과 종 방향 제어에 대한 차량 모델링, 설계 및 시뮬레이션을 수행하였고, 더욱 향상된 차량의 성능 및 제어를 위하여 제어기를 설계하였다. 또한, 물체 인식 및 회피를 위하여 각종 센서(자이로 센서, 초음파 센서, 레이저스캐너) 등을 사용하였으며, 이러한 센서들에 대한 특성을 분석하고, 알고리즘과 실험을 통하여 검증해 보았다.

## 후 기

이 논문은 2002년도 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 지원되었음.

## References

- 1) M. S. Kim, "The System Modeling for Unmanned Vehicle & Autonomous Driving Algorithm by Ultrasonic Sensors," Master's Thesis, Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, 2001.
- 2) S. J. Lee, K. S. Yi, "Throttle/Brake Combined Control for Vehicle-to-Vehicle Distance and Speed Control," Transactions of KSAE, Vol.9, No.2, pp.137-142, 2001.
- 3) G. F. Franklin, J. D. Powell, E. N. Abbas, Feedback Control of Dynamic Systems, Addison Wesley, 1995.
- 4) National Instruments, Lab-VIEW Data Acquisition Basics Manual, National Instruments, 1996.
- 5) R. C. Dorf, R. H. Bishop, Modern Control Systems, Addison Wesley, 1997.
- 6) T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, 1992.
- 7) K. H. Park, S. J. Heo, I. H. Paik, K. S. Yi, "Estimator Design for Road Friction Coefficient and Body Sideslip Angle for Use in Vehicle Dynamics Control Systems," Transactions of KSAE, Vol.9, No.2, pp.176-184, 2001.

- 8) C. W. Seo, J. Y. Kim, D. G. Hong, K. S. Huh, "Active Steering Control Based on The Estimated Tire Forces," KSME (A), Vol.24, No.9, pp.2228-2234, 2000.
- 9) S. D. Tumbo, J. D. Salyani, "Laser, Ultrasonic and Manual Measurements of Canopy Volumes of Citrus Trees," American Society of Agricultural Engineers (ASAE), Paper No.01-011068, 2001.
- 10) B. G. Kim, Y. H. Park, S. G. Kim, J. H. Kim, "The Development of Collision Avoidance Algorithm for Unmanned Vehicle Using Ultrasonic Range Sensors," Proceeding of ICCAS, pp.20-23, 2001.
- 11) J. W. Lee, "An Application of Computer Vision and Laser Radar to a Collision Warning System," Transactions of KSAE, Vol.7, No.5, pp.258-267, 1999.