

초음파 위치인식 시스템을 이용한 차량의 무인주행

Unmanned Navigation of Vehicle Using the Ultrasonic Satellite System

김수용*, 이정민, 이동활, 이만형
(Su Yong Kim, Jung-Min Lee, Dong Hwal Lee, and Man Hyung Lee)

Abstract : In order for a vehicle to follow a predetermined trajectory accurately, its position must be estimated accurately and reliably. In this thesis, we propose trajectory tracking control methods for unmanned vehicle and a positioning system using ultrasonic wave. The positioning problem is an important part of control problem for unmanned navigation of a vehicle. Dead Reckoning is widely used for positioning of vehicle. However this method has problems because it accumulates estimation errors. We propose a new method to increase the accuracy of position estimation using the Ultrasonic Satellite System (USAT). It is shown that we will be able to estimate the position of vehicle precisely, in which errors are not accumulated. And proposed trajectory tracking control methods include both a new path planning method and a lateral control method for vehicle. The experimental results show that the proposed methods enables exact vehicle trajectory tracking even under various environmental factors.

Keywords : ultrasonic positioning system, unmanned vehicle navigation, path planning, lateral control

I. 서론

자동차 기술이 고도로 발달함에 따라 사람들은 좀 더 편리하고 안전하게 차량을 이용하고 싶어하는 기대가 커지고 있다. 이와 관련하여 세계 선진 자동차 회사뿐만 아니라, 연구소 등에서는 차량통합 기술에 관한 연구가 활발히 진행해 오고 있으며 특히 차량의 지속적인 증가와 도로의 제한으로 인한 차량 정체와 운전자의 안전을 위하여 ITS(Intelligent Transportation System), PATH(Partners for Advanced Transit and Highway) 와 AHS(Automated Highway System) 등의 연구가 세계적으로 진행되고 있다[1].

여러 다양한 연구 중 차량의 무인 주행을 위해서는 차량의 종방향 제어 및 횡방향제어가 우선 적으로 수행되어야 한다. 먼저 종방향 제어는 차량 속도를 조정하여 차량간의 간격이 적절하도록 조절하는 것이며, 횡방향 제어는 운전자의 승차감을 고려하여, 차선을 따라 주행을 하도록 하는 차량의 자동 조향을 말한다. 이러한 차량의 무인주행을 위한 많은 연구가 진행되어 왔다[2-5]. 이러한 차량의 무인 주행에 있어 가장 우선 수반되어야 할 것이 차량의 위치인식이다. 이는 차량의 위치인식이 가능해야 주행경로의 생성이나 전반적인 주행에 대한 정보를 이용하여 무인주행이 가능해지기 때문이다. 현재까지 차량의 위치인식을 위해서는 관성 항법 시스템(INS: Inertia Navigation System)이나 GPS(Global Positioning System), 레이저 스캐닝 시스템, 비전 시스템(vision system), 초음파 시스템 등에 관한 많은 연구가 진행되고 있다[6-9]. 그러나 가속도계나 자이로스코프에 의한 관성 항법 시스템의 경우, 인식영역의 제한이 없고 주행로의 구축이 용이하지만, 위치인식정도가 낮고 운행시간 경과에 따른 누적 오차가 발생한다. 또한 GPS나 레이저 스캐닝 시스템은 고정도의 위치

인식을 보장하지만, 비용문제나 인식영역과 인식환경에 많은 제약이 따르는 단점을 갖는다. 특히 레이저 스캐닝 시스템은 사람의 시력에 악영향을 미치므로 그 활용에 한계가 있다. 그리고 비전 시스템에 의한 위치 인식은 마이크로프로세서의 발달로 인해 영상처리 속도가 향상되고 있으나 아직까지 인식환경의 영향을 완전히 극복하지 못하였다.

따라서 본 논문에서는 차량의 무인 주행을 위한 위치인식 시스템으로 초음파 위치인식 시스템을 제안하고 차량에 적용이 가능한지 성능을 평가한다. 또한 차량의 횡방향 제어를 위한 무인주행 연구에 있어 어려움 중 하나는 알고리즘 검증 을 위한 실차테스트에 있다. 시뮬레이션만으로는 완전히 안정성을 검증할 수 없고 실차테스트는 상당한 사고 위험을 수반하고 있으며, 실험 장소를 구하는 것도 쉽지 않다. 그러므로 실차테스트시 발생하는 위험성이나 어려움을 해결할 수 있도록 1/10 차량을 이용하여 무인주행 실험을 수행하였다. 그리고 이를 이용하여 기존의 횡방향 제어의 단점을 보완하기 위한 새로운 차량의 횡방향 제어 알고리즘을 제안하고 이를 검증하고 성능을 평가하였다.

II. 초음파를 이용한 위치인식

초음파를 이용한 위치인식에서 기본은 그림 1에서와 같이 초음파가 송신된 시점 T_s 와 수신된 시점 T_r 과의 차이인 체

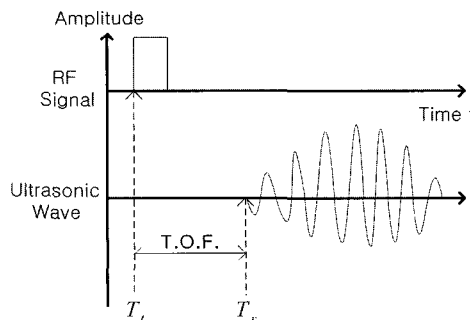


그림 1. T.O.F의 정의.
Fig. 1. Definition of T.O.F.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 12. 17., 채택확정 : 2007. 7. 3.

김수용 : 부산대학교 지능기계공학과(rocksy@pusan.ac.kr)

이정민 : 삼성전자 생산기술 연구소(noonwer@hanmail.net)

이동활 : 한국LPS(ldh@korealps.co.kr)

이만형 : 부산대학교 기계공학부(mahlee@pusan.ac.kr)

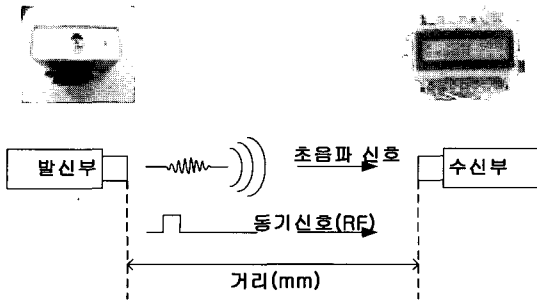


그림 2. 초음파 거리 측정 시스템.
Fig. 2. Ultrasonic distance measurement system.

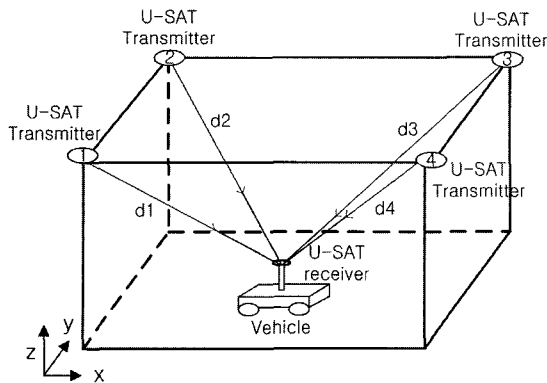


그림 3. 초음파 위치인식 시스템의 구성.
Fig. 3. Configuration of USAT.

$$d = c \times T.O.F \tag{1}$$

$$c = 331.5 + 0.60714T$$

공시간(T.O.F: Time of Flight)를 측정하는데 있다. T.O.F를 정밀하게 측정할수록 (1)로부터 정확한 거리를 측정할 수 있고 온도보상을 수행하면 좀 더 정밀한 측정이 가능하다. 본 논문에서는 40kHz의 Murata 사 MA40BR/S 초음파 센서를 사용하여 그림 2와 같이 초음파 거리측정 시스템을 구성하였고 초음파가 발신되는 시점을 측정하기 위해서 라디오 주파수(RF: Radio Frequency) 송수신 모듈을 이용하였다[10]. 그리고 정밀한 위치인식을 위해서 주기인식 검출방식을 이용하였다[11].

그림 2의 초음파 거리측정 시스템을 기본으로 하여 그림 3과 같이 초음파 위치인식 시스템(USAT: Ultrasonic Satellite System)를 구성하였다. 그림 2의 초음파 발신부가 그림 3에서와 같이 4군데의 고정된 위치에서 초음파와 RF 동기 신호를 발신하고 그림 2의 초음파 수신부가 이동체에 부착되어 초음파와 RF 동기신호를 수신하여 각각 초음파 송수신부까지의 거리를 측정하게 된다. 이를 바탕으로 삼변측량을 통한 정밀한 3차원 위치를 인식하게 된다. 또한 각각의 초음파 발신부로부터 발생한 초음파의 혼신을 막기 위해 0.1초 간격으로 순차발신한다[12-14].

먼저 USAT의 성능을 평가하기 위하여 먼저 그림 3과 같이, 가로 7m, 세로 5m, 높이가 4m인 실내에 USAT를 설치하였다. 그리고 가로, 세로 89cm 간격의 격자좌표에 초음파 수신기를 놓고 정지상태에서의 위치좌표를 측정하였다. 그림 4는 그 실험 결과이며 초음파 수신기가 측정을 위해 놓은

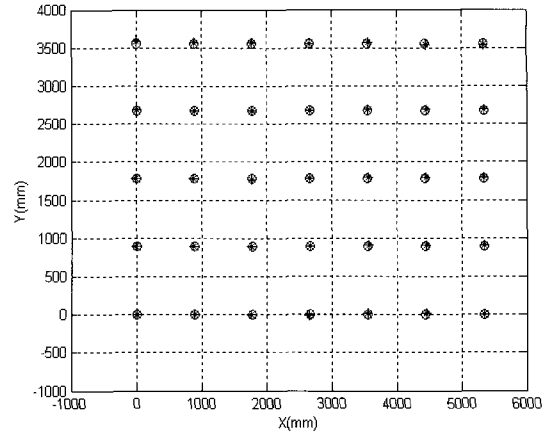


그림 4. 초음파 위치인식 실험 결과(o: 89cm 간격의 정사각형 격자좌표, *: 초음파 수신기로 측정된 위치좌표).
Fig. 4. Experimental results of USAT positioning measurement.

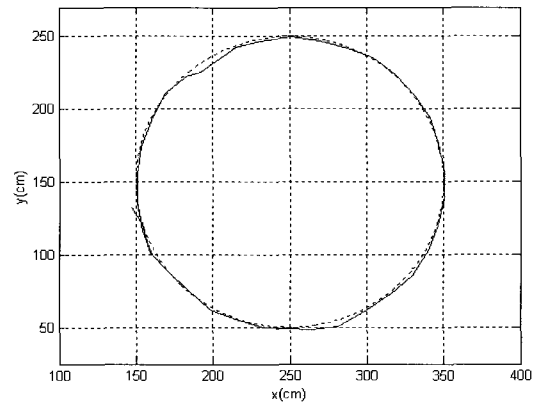


그림 5. 원궤적 추종실험(선속도: 40cm/s).
Fig. 5. Experimental results of tracking circle.

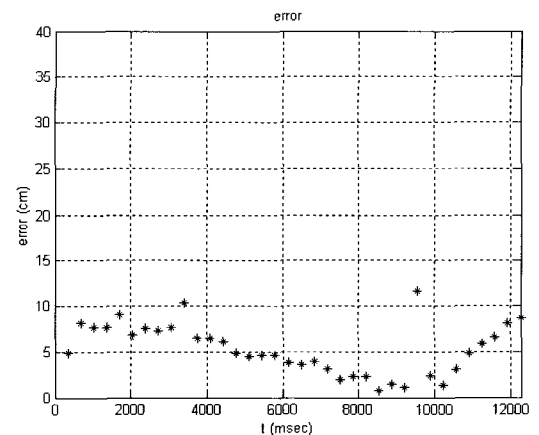


그림 6. 위치 인식 오차(선속도: 40cm/s).
Fig. 6. Experimental results of positioning error.

89cm 간격의 격자좌표와 수신기가 측정한 좌표의 최대 거리 오차는 2.3cm이며 평균 오차는 1.2cm로 나타난다. 다음으로 이동 상태의 위치인식 성능을 테스트하기 위하여 초음파 수신부를 반경 1m길이의 턴테이블(turntable) 팔에 고정하고 일정한 속도로 회전하여 위치좌표를 수신 받는다. 수신받은 위

치좌표는 턴테이블의 엔코더로부터 얻어지는 절대좌표를 기준좌표로하여 초음파에 의해 구해지는 위치좌표와 비교하여 평가하였다. 여기서 1/10 차량에 적용할 이동 속도가 0-40 cm/s인 것을 감안하여, 선속도 40cm/s로 원궤적을 일정하게 구동하여 USAT의 위치좌표 및 엔코더 정보를 수집하였다.

실험 결과는 그림 5와 6과 같으며 그림 5는 USAT에서 측정된 위치좌표와 엔코더의 절대위치좌표와 비교하여 원궤적을 제대로 추정하는지 보여주고 있으며 그림 6은 위치인식 오차를 나타내고 있다. 최대 오차는 11.5cm이며 평균오차는 5cm이다. 이 정도의 오차는 1/10 차량의 크기와 실험 공간을 고려하였을 때 무인주행에 문제가 없을 것으로 판단된다.

III. 1/10 차량의 구성 및 모델링

그림 7은 실제 차량의 1/10로 상사 축소된 차량으로 본 논문의 실험에 사용된다. 차량의 전장은 40cm, 폭 24cm, 무게는 2.105kg이다. 1/10 차량의 구성은 그림 8에서와 같이 USAT를 통해서 0.4초의 샘플링 시간으로 절대위치(x,y)를 인식하며 0.1초의 시간간격으로 전자 나침반(CMP303-Robot Compass Module)으로부터 방향각(θ)을 획득하게 된다. 전자 나침반은 분해능 0.1°에 일반적으로 3°오차가 난다. 중앙 처리부는 ATMEGA 128을 이용하여 computer와 RS232통신을 하고 115200 bps의 속도로 data(x, y, θ , v) 전송 및 제어입력(δ, V)을 받게 된다. 차량의 구동부는 AT90S2313을 이용해서 Hitec 사의 HS 500서모 모터를 구동시키며 좌우 조향각은 최대 $\pm 30^\circ$ 이다. 다음으로 그림 7에서 보듯이 초음파 수신부와 1/10 차량의 무게 중심이 다르므로 이를 일치시켜 주기 위한 변환식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x &= x + \sqrt{5^2 + 2^2} \cos(\theta - \theta_a) \\ y &= y + \sqrt{5^2 + 2^2} \sin(\theta - \theta_a) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 θ_a 는 초음파 수신부와 무게중심(C.G.) 사이의 각이며, θ 은 차량의 전자나침반에서의 방향각이다.

그림 9는 실험에 사용된 1/10 축소 차량에 대한 차량 모델을 나타낸 것이다. 본 논문에서는 두 바퀴 모델을 기초로한 look-down 및 액츄에이터 요소를 고려한 모델링을 이용한다 [4]. 두 바퀴 모델(bicycle model)은 전륜 2바퀴, 후륜 2바퀴를 각각 차량 중심선상의 가상의 바퀴로 등가화 한 모델이다. 이는 조향 제어가 목적이므로 차량의 롤, 피치운동을 무시하며, 작은 요 방향의 각도 차와 종방향 속도가 일정하게 유지됨을 전제로 한다. 이와 같은 조건 하에서 선형화가 이루어진다.

선형화된 동적 방정식은 (3)와 같은 미분 방정식 형태로 표현되고 각각의 파라미터는 표 1과 같다. 차량 모델링의 적합성 여부를 검증하기 위해 정지상태에서 출발해서 20, 30, 40 cm/s의 일정한 등속도 상태로 접어든 이후 조향각을 20°, 30°로 입력을 주어서 그때의 차량의 특성들을 관찰하였다. 그림 10은 상태 방정식 (3)으로부터 구해진 전달함수에서 속도에 따른 보드(bode)선도이다.

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} v \\ r \\ \theta \end{bmatrix} + B\delta_f \quad (3)$$

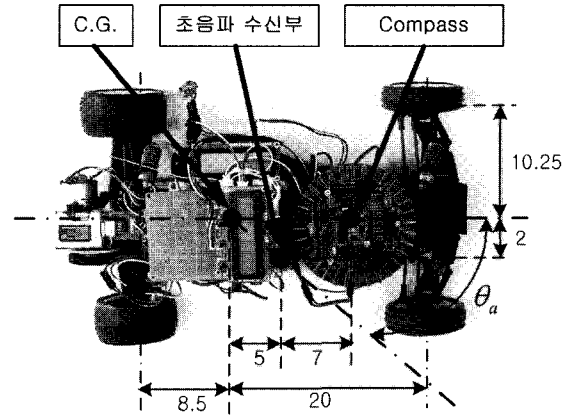


그림 7. 1/10 차량의 구성(단위: cm).
Fig. 7. Configuration of 1/10 car(unit: cm).

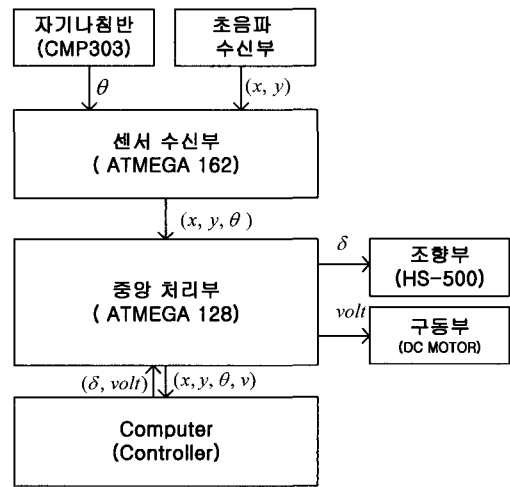


그림 8. 하드웨어의 구성.
Fig. 8. Configuration of hardware.

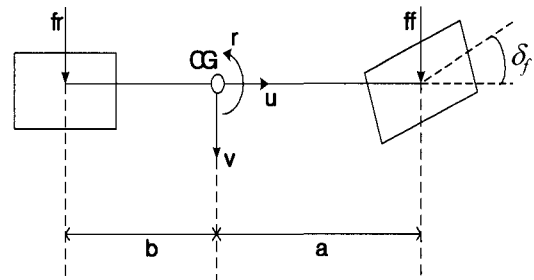


그림 9. 자유도 차량 모델.
Fig. 9. Simple bicycle model of vehicle.

여기서,

$$A = \begin{bmatrix} -2(C_f + C_r)/mu & -u - l(aC_f - bC_r)/mu & 0 \\ -2(aC_f - bC_r)/I_{zz} & -2(a^2C_f + b^2C_r)/I_{zz}u & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 2C_f/m \\ 2aC_f/I_{zz} \\ 0 \end{bmatrix}, C = [0 \ 0 \ 1], D = 0.$$

표 1. 1/10 차량 파라미터.

Table 1. Parameter of 1/10 car.

| 파라미터 | 값 |
|-------|---------------|
| m | 2.105 [kg] |
| l | 28.5 [cm] |
| a | 20 [cm] |
| b | 8.5 [cm] |
| C_f | 0.191 [N/rad] |
| C_r | 0.51 [N/rad] |

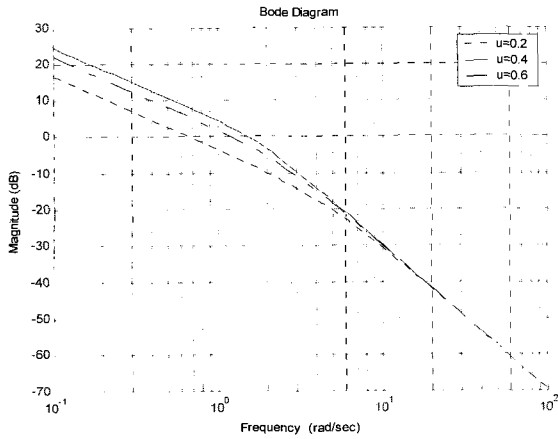
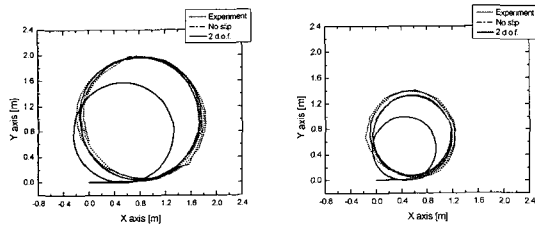


그림 10. 보드선도.

Fig. 10. Bode diagram.



(a) 조향입력이 20° 일 때 (b) 조향입력이 30° 일 때

그림 11. 조향입력에 따른 차량의 위치.

Fig. 11. Position of car by control input.

- a : distance from the vehicle C.G to front axle,
- c : distance from the vehicle C.G to rear axle,
- C_f/C_r : front/rear tire cornering stiffness [N/rad],
- I_z : yaw moment of inertia,
- l : wheel base $l = a + b$,
- m : vehicle total mass,
- r : yaw rate,
- u : longitudinal velocity of the vehicle at C.G,
- v : side-slip velocity of the vehicle at C.G,
- δ_f : front steering angle input.

그림 11은 차량의 조향각을 20°와 30°로 유지하고 40cm/s의 일정한 속도로 주행하였을 경우에 차량의 궤적을 미끄러짐이 발생하는 경우와 발생하지 않는 경우에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 실험을 통한 궤적을 나타낸다. 그림 11에서 볼 수 있듯이 모델링된 상태방정식의 2차 모델식이 차량의 실제 궤적을 추종하고 있음을 관찰할 수 있다.

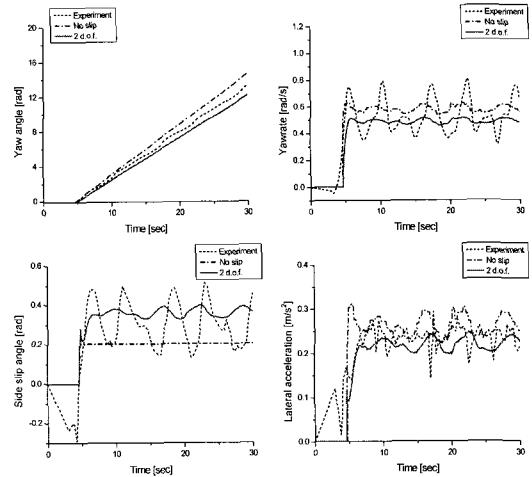


그림 12. 운동 특성 분석 결과(조향각: 20°).

Fig. 12. Dynamic properties of vehicle(steering: 20°).

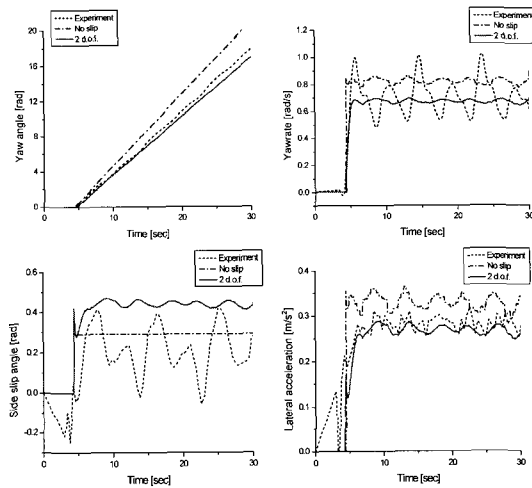


그림 13. 운동 특성 분석(조향각: 30°).

Fig. 13. Dynamic properties of vehicle(steering: 30°).

그림 12와 13의 실험 결과는 속도에 따른 차량의 요각과 요각변화값 그리고 측면 미끄러짐과 측면 가속도를 실제 차량의 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 모델링된 차량의 요각 및 측면 미끄러짐각의 시뮬레이션 결과와 달리 실제 차량의 실험에서는 다소 진동하는 현상이 있지만 이는 차량의 하드웨어적인 영향 및 센서의 특성으로 인해 발생한 결과로 볼 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 시뮬레이션에서 적용된 2차 모델식을 이용하여 제어기 및 차량의 동특성을 파악하도록 한다[15].

IV. 차량 주행경로 생성 및 무인 주행 알고리즘

차량의 주행경로 생성은 그림 14와 같이 Point to Point 로 생성하게 된다. 먼저 차량이 목표 경로점 $P_p(i)$ 을 향해서 이동을 하게 되고 목표 경로점 $P_p(i)$ 의 일정한 반경 d_e 안으로 차량의 무게중심이 들어오게 되면 목표 경로점에 도착한 것으로 판단하고 다음 목표 경로점 $P_p(i+1)$ 로 주행경로를 전환하게 된다. 여기서 주행경로의 전환을 위해 반경 d_e 를

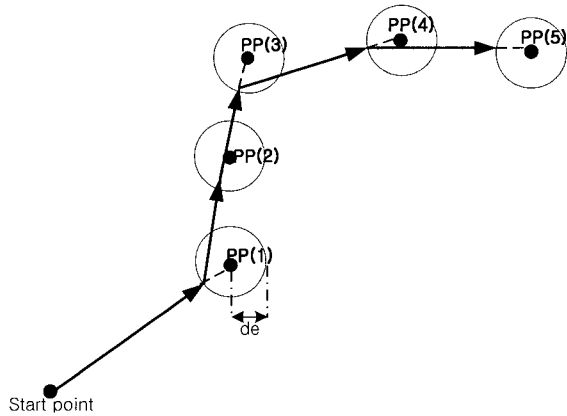


그림 14. 이동 경로 생성 방법.
Fig. 14. Path planning method.

든 것은 차량의 이동속도와 위치측정 오차에 의해서 차량이 정확히 목표 경로점을 통과하기 어렵다. 그러므로 목표 경로점을 일정 범위로 설정하여 그 영역을 통과하면 목표 경로점을 통과한 것으로 하여 다음 목표 경로점으로 자연스러운 이동을 가능하게 하기 위해서이다. 본 논문의 실험에서는 차량 속도는 40cm/s이고 이 때의 위치오차를 고려하여 d_e 는 25 cm로 선정하였다.

다음으로 횡방향 제어 알고리즘은 그림 15에서와 같이 목표 경로점과의 방향각 오차 θ_e 를 0으로 유지하도록 차량의 방향을 제어하게 된다. 그리고 목표 지점과 차량의 무게 중심과의 거리 d_k 가 d_e 보다 적을 때까지 목표 경로점 $P_p(i)$ 으로 이동하게 된다. 목표 지점과 차량의 무게 중심과의 거리 d_k 가 d_e 보다 적어지게 되면 다음 목표 경로점 $P_p(i+1)$ 과의 방향각 오차 θ_e 와 d_k 를 계산하여 횡방향 제어가 이루어진다. 이렇게 위의 과정들을 반복함으로써 차량의 횡방향 제어를 통한 무인주행이 이루어진다.

피드백 루프는 그림 16에서와 같이 최초 $P_p(i)$ 가 주어지게 되면 그때의 차량위치, $P_c(x, y)$ 를 피드백 받아서 차량의 목표각(θ_{r1}) 이 생성되게 된다. 이때의 각을 기준입력으로 하여 전자나침반을 통해서 들어오는 방향각(θ)을 이용하여 방향각 오차(θ_{e1})를 0으로 수렴하도록 하면 목표 경로점 P_p 로 이동하게 된다. 하지만 전자나침반에서의 방향각 샘플링 시간이 초음파의 위치 인식 샘플링 시간보다 4배 빠르기 때문에 단순히 방향각을 피드백하여 보상하면 $\theta_{e1} = \theta_{r1} - \theta$ 를 0으로 보내게 되므로 그림 17에서와 같이 path(2)로 차량이 이동하게 되며 이런 경우 실질적으로 목표 경로점 P_p 에 차량을 접근시킬 수 없게 된다. 그러므로 이를 극복하기 위하여 본 논문에서는 그림 16에서와 같은 방향각 변조기 $C_1(t)$ 를 이용한 새로운 횡방향 제어를 제안한다. 그림 16에서 보이는 $C_1(t)$ 는 (4)와 같이 구성된다. 여기서 d_k 는 현재 차량 위치와 P_c 까지의 거리 오차이며 K_r 은 방향각 변조계인이다.

$$\theta_{r2}(t) = \theta_{r1}(t) + K_r \frac{\theta_{e1}(t)}{d_k(t)} \quad (4)$$

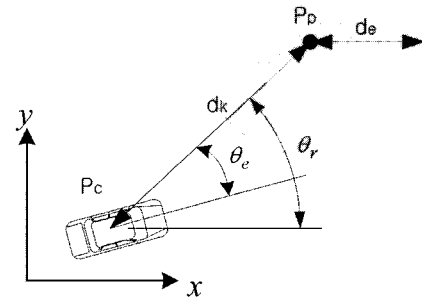


그림 15. 횡방향 제어 알고리즘.
Fig. 15. Lateral control algorithm.

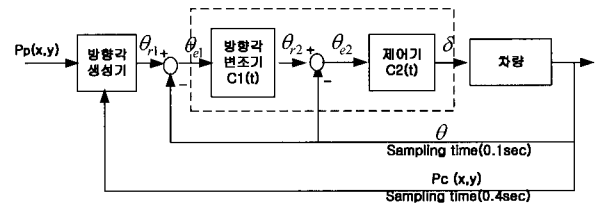


그림 16. 방향각 변조기가 적용된 피드백 루프의 블록선도.
Fig. 16. Block diagram of feedback loop by using heading angle modulator.

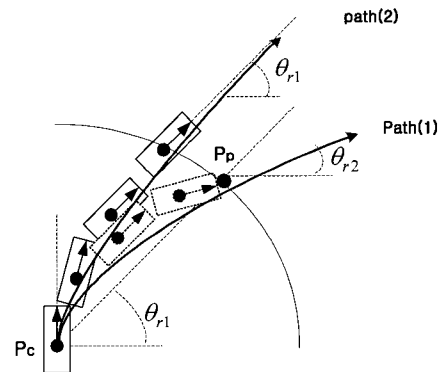


그림 17. 방향각 변조기의 방향제어 ($C_1(t)$).
Fig. 17. Heading angle control of heading angle modulator ($C_1(t)$).

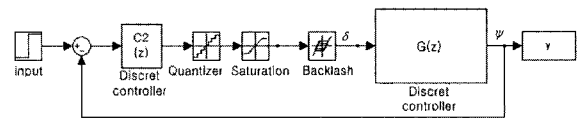


그림 18. 최종 횡방향 제어 시스템의 블록선도.
Fig. 18. Block diagram of total lateral control system.

방향각 변조기는 그림 17에서처럼 방향각을 θ_{r1} 에서 θ_{r2} 로 변화시킴으로써 차량을 원하는 경로 P_p 로 이동시킬 수 있게 된다. 여기서 방향각 변조계인 K_r 선정은 차량의 회전 반경 및 P_p 까지의 거리에 의해서 결정되게 되며 본 실험에서는 0.5m간격으로 주행 경로점이 설정되어 0.5로 방향각 변

조계인을 설정하였다. 차량의 회전반경은 조향입력에 비례해서 커지며 차량의 위치가 P_p 와 거리가 먼 경우에는 무리한 방향각 변조가 필요가 없으나 가까운 거리에서는 방향각 변조가 이루어져야 정확한 목표 위치로 횡방향 제어가 되므로 (4)와 같은 형태의 방향각 변조기를 제안하였다. 그림 18은 실제 차량에서의 비선형 요소는 제어입력의 양자화, 입력값의 포화 그리고 조향입력에 의한 실제 기구부에서 발생하는 backlash를 포함한 최종 횡방향 제어 시스템의 블록선도이다. 제어기는 PID제어기를 사용하여 횡방향 제어를 실시하고 앞장에서 구한 차량 모델링의 최종 이산화된 전달함수는 다음과 같다. 그리고 이를 바탕으로 실제 1/10 차량의 횡방향 제어를 통한 무인 주행을 실험하고 제안한 횡방향 제어 알고리즘의 성능을 검증한다.

$$\theta(z) = G(z)\delta(z)$$

$$G(z) = \frac{0.01524z^2 + 0.001253z - 0.01185}{z^3 - 2.626z^2 + 2.289z - 0.6631} \quad (5)$$

V. 무인 주행 실험

1/10 차량의 횡방향 제어 실험은 외부적인 요소가 없는 700 x 400cm인 실내 공간에서 이루어졌다. 그림 19는 차량의 주행 경로점들 $P_p(i)$ ($i=1, \dots, 20$) 을 나타내고 있으며 각각은 50cm간격으로 놓여있다. 그리고 목표 경로점의 범위 d_e 는 25cm로 설정하였다. 무인 주행 실험은 최초 차량이 (500, 350)의 위치에서 출발하여 (250, 300)의 위치를 처음 목표 경로점 $P_p(1)$ 으로 설정하고 시계반대방향으로 계속하여 목표 경로점을 바꾸면서 궤적을 따라 40cm/s의 일정한 속도로 이동한다. 그림 20은 기존의 PID제어기를 이용한 차량의 무인 주행 실험 결과를 나타내고 있다. 여기서 초음파에서 얻어지는 위치좌표가 가끔 큰 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 노이즈에 의한 영향이나 초음파를 수신받지 못해 발생하는 오차이다. 하지만 USAT은 오차가 누적되지 않기 때문에 노이즈의 영향이 없거나 초음파를 제대로 수신받으면 다시 정상적인 위치좌표를 출력시켜주는 것을 볼 수 있다. 그러므로 차량이 궤적을 완전히 이탈하지 않는 것을 알 수 있다. 이런 위치 오차를 제거하기 위하여 LPF(Low Pass Filter)를 추가하여 오차를 개선하였다. 그림 21은 위치데이터의 FFT 분석 결과이고 결과에서 보듯이 고주파쪽으로 노이즈가 있는 것을 확인할 수 있다. 이를 제거하기 위하여 설계 사양을 Cutoff frequency는 1Hz로 하고 감쇄는 4Hz에서 -40dB, 통과이득 1로 정하였다. 그리고 실시간 제어를 고려하여 3차원 버터워스(butterworth) LPF를 (6)과 같이 설계하였고 이를 위치좌표 오차 제거에 이용하였다.

$$H(z) = 0.0181 \frac{Z^3 + 3Z^2 + 3Z + 1}{Z^3 - 1.76Z^2 + 1.1829Z^1 - 0.2781} \quad (6)$$

그림 22는 방향각 변조기를 포함하지 않고 LPF가 포함된 시스템에서 실험한 차량의 무인 주행 실험 결과이다. 필터가 적용됨으로써 차량의 움직임이 좀 더 안정적으로 나타나고 있으나 부분적으로 목표 경로점의 범위를 벗어나고 있는 것

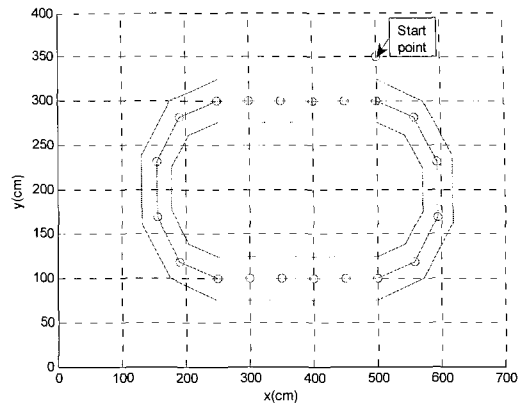


그림 19. 차량 주행 경로 및 경로점.
Fig. 19. Path and point for vehicle navigation.

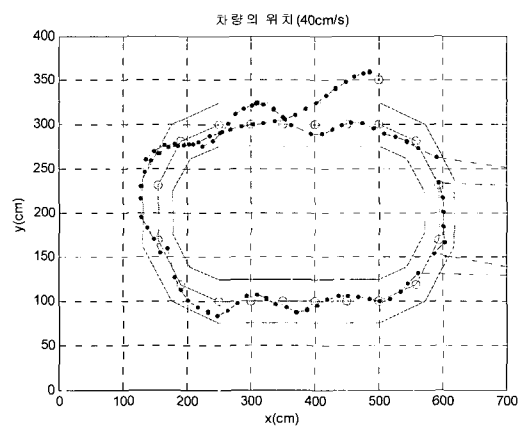


그림 20. 제어기 사용 실험결과.
Fig. 20. Experiment result without LPF.

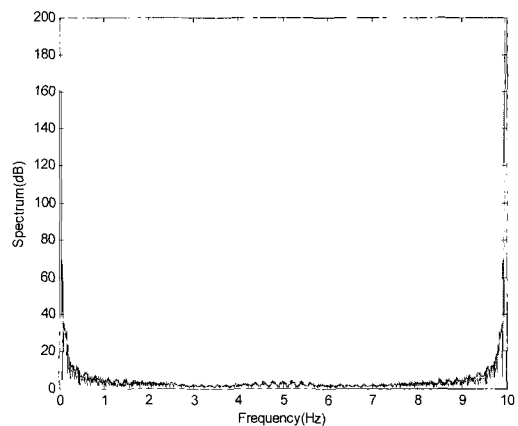


그림 21. 위치 데이터 FFT 분석 결과.
Fig. 21. FFT result of position data.

을 알 수 있다. 이는 그림 17에서 나타나는 영향으로 볼 수 있다. 이를 극복하기 위하여 LPF와 방향각 변조기를 추가한 횡방향 제어기를 이용한 경우의 실험 결과는 그림 23과 같이 나타난다. 방향각 변조기를 포함한 경우에는 오차 범위가 목표 경로점의 범위인 25cm 안에서 차량이 궤적을 잘 추종하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 각각 실험의 횡방향 오차를 살펴보면 그림 24와 같이 나타난다. LPF를 사용하지 않

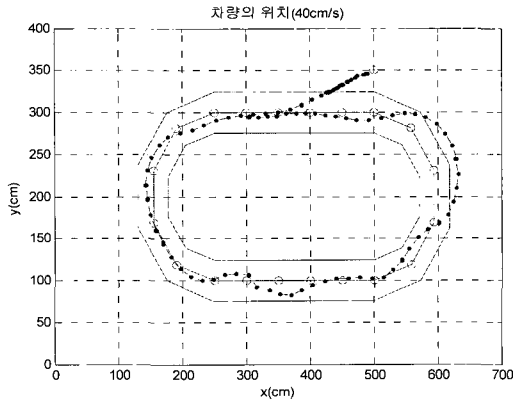


그림 22. 필터처 4클자리후 제어기만 사용한 경우.

Fig. 22. Experiment result with LPF.

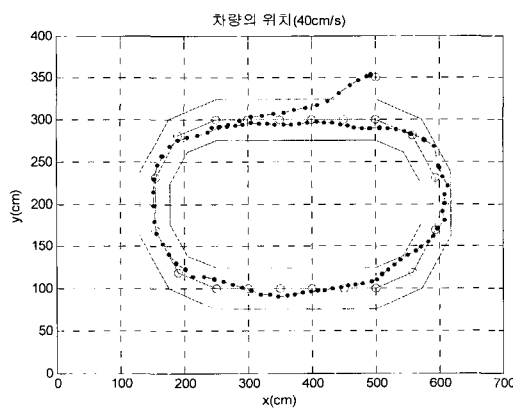


그림 23. 방향각 변조기가 포함된 실험결과.

Fig. 23. Experiment result with proposed lateral control system.

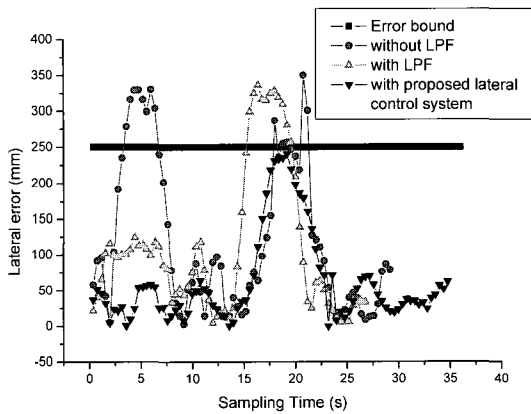


그림 24. 3가지 실험 결과의 횡방향 오차.

Fig. 24. Experimental results of lateral errors.

았을 경우에는 최대 위치 오차는 35.0cm이며 평균 오차는 11.9cm이고 LPF를 사용하였을 경우에는 최대 위치 오차는 33.6cm이며 평균 오차는 10.9cm로 나타나며 LPF를 사용하지 않았을 경우보다 약간 나이지지만 크게 오차가 개선되지는 않는다. 이는 같은 제어기를 사용하고 위치좌표가 x축방향으로만 튀어서 제어에 크게 영향을 미치지 않았기 때문이다. 그러나 LPF와 방향각변조기가 포함된 경우는 최대 오차는 24.0cm이며 평균 오차는 6.1cm이다. 이는 앞의 두가지 실험

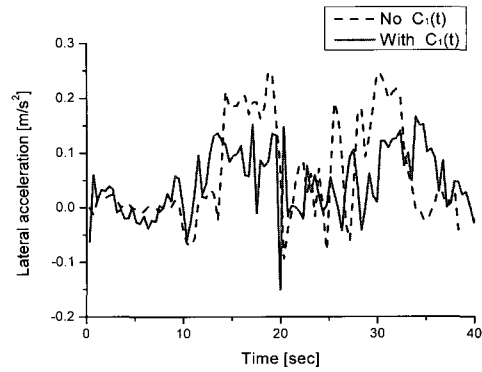


그림 25. 요각 변화.

Fig. 25. Experimental results of yaw rate.

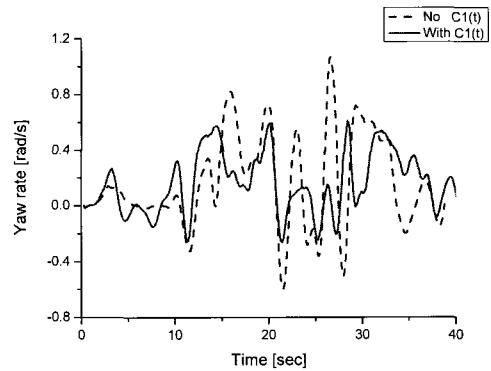


그림 26. 횡방향 가속도.

Fig. 26. Experimental results of lateral acceleration.

의 경우보다 훨씬 안정적인 성능을 나타내고 있으며 최대오차범위도 25cm 이하로 안정적인 주행 성능을 나타낸다. 또한 그림 25과 26은 방향각 변조기를 포함하였을 때와 포함하지 않았을 경우의 요각 변화와 횡방향 가속도를 나타내고 있다. 각각의 상태를 살펴보는 이유는 이 변화폭이 적을수록 차량의 승차감이 좋다는 것을 나타낸다. 그러므로 그림 25과 26에서 볼수 있듯이 방향각 변조기가 포함된 경우가 그렇지 못한 경우보다 차량 승차감에 있어서도 좋은 성능을 나타내고 있다는 것을 알수 있다. 이번 차량 무인 주행 실험을 통해서 본 논문에서 제안한 USAT을 적용하여 무인주행이 가능하다는 것을 확인할 수 있었으며 방향각 변조기를 추가한 횡방향 제어 알고리즘의 성능이 기존의 방식보다 향상되었음을 실험으로 확인할 수 있었다. 또한 1/10 차량을 이용하여 알고리즘 검증이 쉽게 안정적으로 진행되었다. 그러므로 이 시스템을 이용한 차량의 무인주행 연구에 시뮬레이션만으로 검증이 힘들었던 여러가지 성능 평가가 가능하게 되었다.

VI. 결론

본 논문에서는 기존의 위치인식 방식의 단점을 극복하고 실내에서 정밀한 위치인식이 가능한 USAT을 제안하고 시스템을 구성하였다. 그리고 이동물체에서 정밀한 위치인식이 가능함을 판단하기 위하여 40cm/s로 이동하고 있을 때의 위치인식 성능을 평가하였고 그 결과 이동물체의 위치인식 용으로 사용가능하다는 결론을 얻었고 이를 바탕으로 차량의 무인주행을 위해서는 필요한 위치를 인식하는데 USAT을

이용하였다. 또한 1/10차량의 무인주행 시스템을 개발하였고 이에 맞는 새로운 방식의 횡방향 제어 알고리즘을 제안하고 이를 적용하여 성능을 비교 평가하였다. 실험 결과로부터 본 논문에서 제안한 횡방향 제어 알고리즘의 적합성을 검증하여 보다 안정적인 무인 주행이 가능해졌다. 또한 무인 주행 시스템으로 개발된 1/10 차량은 실제 차량 실험에서의 위험성을 제거하였으며 보다 편리하고 쉽게 여러가지 테스트가 가능하므로 앞으로 실차 테스트 전에 적용할 수 있는 pre-test 차량으로써 사용될 수 있을 것이다. 이와 같은 방법들을 통해 향후 여러가지 다른 무인 차량 시스템에 적용을 함으로써 차량 무인 주행 연구에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

앞으로 보완해야될 연구 과제들로는 차량의 고속 주행에 대해서 초음파 위치인식 방법은 다소 큰 오차를 보이고 있으며 이점에 대한 연구가 계속 진행이 되어야 할 것이다. 또한 보다 넓은 지역에 사용을 위한 USAT의 영역을 확장하는 문제에 대해서 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] M. Lappe and J. P. Rauschecker, "A neural network for the processing of optic flow from ego-motion and higher mammals," *Neural Computation*, vol. 5, no. 3, pp. 374-391, 1993.

[2] 김상겸, 김정하, "물체인식 및 회피를 위한 무인자동차의 제어 및 모델링에 관한 연구," *한국자동차공학회 논문집*, 제 11 권, 제 5 호, pp. 183-192, 2003.

[3] J. R. Jang, C. Sun, and E. Mizutani, *Neuro-fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, pp. 104-110, 1997.

[4] J. Ackermann and J. Guldner, and V. I. Utkin, "A robust nonlinear control approach to automatic path tracking of a car," *IEEE control conference*, no. 389, pp. 196-201, 1994.

[5] M. Tanagiya, K. Tomita, and S. Tsugawa, "Effects of field of view on lateral control performance in a vision based autonomous vehicle," *JSAE Review* 20, pp. 499-504, 1999.

[6] 최병준, 김수일, 김춘승, 이연정, 이상룡, "울이동로봇을 위한 초음파 센서 응용기술," *제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지*, 제 8권, 제 5 호, pp. 31-42, Sep. 2002.

[7] Eric Abbott and David Powell, "Land-vehicle navigation using GPS," *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 1, January 1999.

[8] 이왕현, 권인소, "다중반사특성을 이용한 새로운 초음파 거리 센서," *제어 · 자동화 · 시스템공학논문지*, 제 8 권, 제 7 호, pp. 564-572, 2002.

[9] S. S. Ghidary, T. Tani, T. Takamori, and M. Hattori, "A new Home Robot Positioning System(HRPS) using IR switched multi ultrasonic sensors," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 4, pp. 737-741, Oct. 1999.

[10] T. Arai and E. Nakano, "Development of Measure Equipment for Location and Direction(MELODI) using Ultrasonic Waves," *Transactions of the ASME*, Vol. 105, pp. 152-156, 1983.

[11] 이동환, 안희태, 백광렬, 이만형, "거리측정에서의 초음파 신호 검출 분해능 개선에 관한 연구," *한국자동차공학회 부산울산경남지부 2003 추계학술대회*, pp. 95-102, 2003.

[12] C.-C. Tong, J. F. Figueroa, E. Barbieri, "A method for short or long rang time-of-flight measurements using phase-detection with an analog circuit," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 50, no. 5, pp. 1324-1328, Oct. 2001.

[13] S. Y. Kim, D. H. Lee, H. T. An, S. H. Lee, Y. H. Koh, and M. H. Lee, "Analysis of UPS (ultrasonic positioning system) using DGPS," *Industrial Electronics Society, 2004. IECON 2004. 30th Annual Conference of IEEE*, vol. 1, pp. 609-613, 2004.

[14] J.-M. Lee, D. H. Lee, H. T. An, N. H., M. K. Kim, and M. H. Lee, "Ultrasonic satellite system for the positioning of mobile robots," *Industrial Electronics Society, 2004. IECON 2004. 30th Annual Conference of IEEE*, vol. 1, pp. 448-453, 2004.

[15] Lennart Ljung, "System Identification: Theory for the User, Prentice-Hall, 1987.



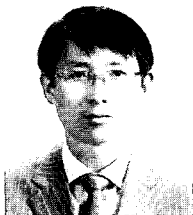
김수용

1977년 12월 13일생. 2003년 부산대학교 기계공학부 졸업. 2005년 부산대학교 지능기계공학과 석사. 2005년~현재 동 대학원 박사수료. 관심분야는 이동로봇 무인주행 및 위치추정.



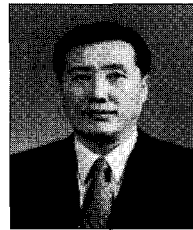
이정민

2003년 부산대학교 기계공학부 졸업. 2005년 부산대학교 메카트로닉스 협동과정 석사. 2005년~현재 삼성전자 생산기술 연구소 선임연구원. 관심분야는 생산 자동화 및 로봇 시스템.



이동환

1984년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1986년 부산대학교 기계공학과 석사. 1996년 부산대학교 기계공학과 박사 수료. 2004년~현재 한국LPS 대표.



이만형

1969년 부산대학교 기계과 졸업. 1971년 부산대학교 기계과 석사. 1983년 미국 오레곤 주립대학 공학박사. 1984년~현재 부산대학교 기계공학부 교수.