

다중센서를 이용한 무인자동차 제어시스템 Automatic Automobile Control System with Multi-Sensor

한창우*, 최원식**
Chang-Woo Han*, Won-Sik Choi**

<Abstract>

Automatic automobile has been studied as the alternative energy system and the production flow automation device recently. But this is dependent on the import production, and its position cannot be controlled free from the fixed path. It is difficult to control the automobile position because of the eccentricity of inertia moment, slip and roughness between wheel and road surface. This problems is solved for the controller to be feedbacked the data of the multi-sensor system consisting of the rotary encoder and electronic compass. The proportional Integrated controller in the modified Ziegler-Nichols method is made up with Hitachi 7034 microprocessor. To the real time control the mechanical, electrical and electronic hardware and software device is produced by myself. The RF data of automobile speed and position is supplied to the remote PC to be displayed the automobile condition. By the experinent of the forward, spin, point path planning, it is known for automobile

Key Words : *Automobile, Microprocessor Alternative Energy, Control, Multi-Sensor*

1. 서론

최근 에너지 고갈 및 공해 완화 대책으로서 대체 에너지인 전기로 구동하는 무인자동차에 대한 연구^{1~7)}가 활발히 이루어지고 있다. 또한 반도체, 전자, 자동차, 화장품, 물류창고 등 산업현장에서의 수출경쟁력 약화를 극복하기 위

해 고도의 정밀성, 복잡성 및 생산단가 하락이 요구되고 있으며, 그 대책으로서 무인자동차와 같은 물류자동화가 제기되고 있다. 하지만 국내에서는 무인자동차의 자급이 전무한 상태이며, 대부분 일본, 독일, 스웨덴, 미국 등의 선진제품을 수입하거나 기술제휴를 통해 공급하고 있는 실정이다. 그러나 도입되는 무인자동차는 운행

* 정회원, 경북대학교 대학원 기계공학과 박사과정

* The Dept. of Mechanical Engineering, Kyungpook National University Graduate School

** 정회원, 밀양대학교 기계공학과 교수, 工博/技術士

** The Dept. of Mechanical Engineering, Miryang National University

경로 주위에 센서시스템이나 철로를 설치하여 운행되는 고정궤도 주행식으로 고정 주행선을 이탈할 경우 정상적인 작업이 불가능하다. 그런데 급격히 변화되고 있는 산업현장과 도로주행에 적용하기 위해서는 자율운행식 무인자동차의 개발이 시급하다. 하지만 차체 관성 모멘트(Inertia moment)의 편심(Eccentricity) 과 노면의 조도 및 거칠기에 기인한 바퀴의 미끄럼(Slip)과 마찰로 인하여 제어(Control)가 어려운 점이 개발의 난점으로 남아있다.

Muir¹⁾는 이동중인 무인자동차의 운동학적 및 동역학적 해(Kinematic and dynamic solution)를 구하는 방법을 제시하였고, 이에 대한 제어기법을 개발하였다. Hongo²⁾등은 무인자동차의 양쪽 바퀴에 부착된 엔코더로 얻은 회전수를 통하여 주행중인 자동차의 위치값을 계산하였으며 목표위치에 도착하면 차체에 설치된 광학센서를 사용하여 엔코더로 추정된 위치값에 누적된 오차를 보정하였으며, Walter³⁾등은 초음파 센서시스템을 사용하여 주위의 장애물을 인식하여 차체 위치를 보정하는 방법을 제안하였다. Ochi⁴⁾등은 차체에 설치된 레이저 광선을 이동위치의 일정한 위치에 설치된 비콘(Beacon)에 투사하여 비콘에서 반사되어 오는 광선의 각도를 광인식 센서배열로 감지하여 자동차 절대위치를 평가하는 방법을 제안하였다. 하지만 이 연구들은 운행 주위에 센서시스템이 필요하므로 완전한 자율주행식이라 보기 어렵다. 그리고 H.Nasr⁵⁾등은 CCD 카메라(Camera)를 채용한 비전 시스템(Vision system)을 이용하여 기준표식의 무늬를 인식하여 자동차의 절대위치를 계산하는 방법을 제안하였지만 주위조명 변화에 따른 오차가 크다는 단점이 있다. 또한 최근에는 퍼지 로직(Fuzzy logic)을 이용한 무인자동차의 주행 제어⁶⁾가 연구중이고, 이와 더불어 융합을 통해 각 센서들간의 단점을 상호 보완할 수 있는 복수센서 시스템이 제안되고 있다.⁷⁾

본 연구는 다변화한 주위환경에 대해 능동적이고 실시간적인 주행 제어를 위해 기구학적 및 전기전자적 특성을 고려하여 무인자동차의 본체, 구동모터 드라이브, 제어회로부를 직접 설계하고자 한다. 이렇게 설계된 하드웨어(Hardware)에 적합한 비례적분 제어기(Controller)를 구축하여 우수한 운행특성(Mobility)을 얻고자 한다. 또한 차체의 기계적 편심과 노면과의 미끄럼 및 마찰로 인해 얻어지는 엔코더(Encoder)

출력오차를 전자 나침반(Electronic compass)과의 융합 즉 다중센서시스템으로 보정하고자 한다.

2. 시스템

무인자동차의 구동방식에는 2개의 주행 액츄에이터의 속도 차에 의한 주행 방식과 액츄에이터와 방향 조정용 액츄에이터를 별도로 하여 구동하는 방식이 있다. 본 연구에서는 전자의 방식을 채택하였고, 주행용 액츄에이터로 직류 모터를 사용한다. 이 모터에 바퀴를 부착시키고, 이를 자동차 양단 중앙에 달아 구동시킨다. 본 연구에서 개발된 무인자동차의 개략도는 Fig.1과 같다.

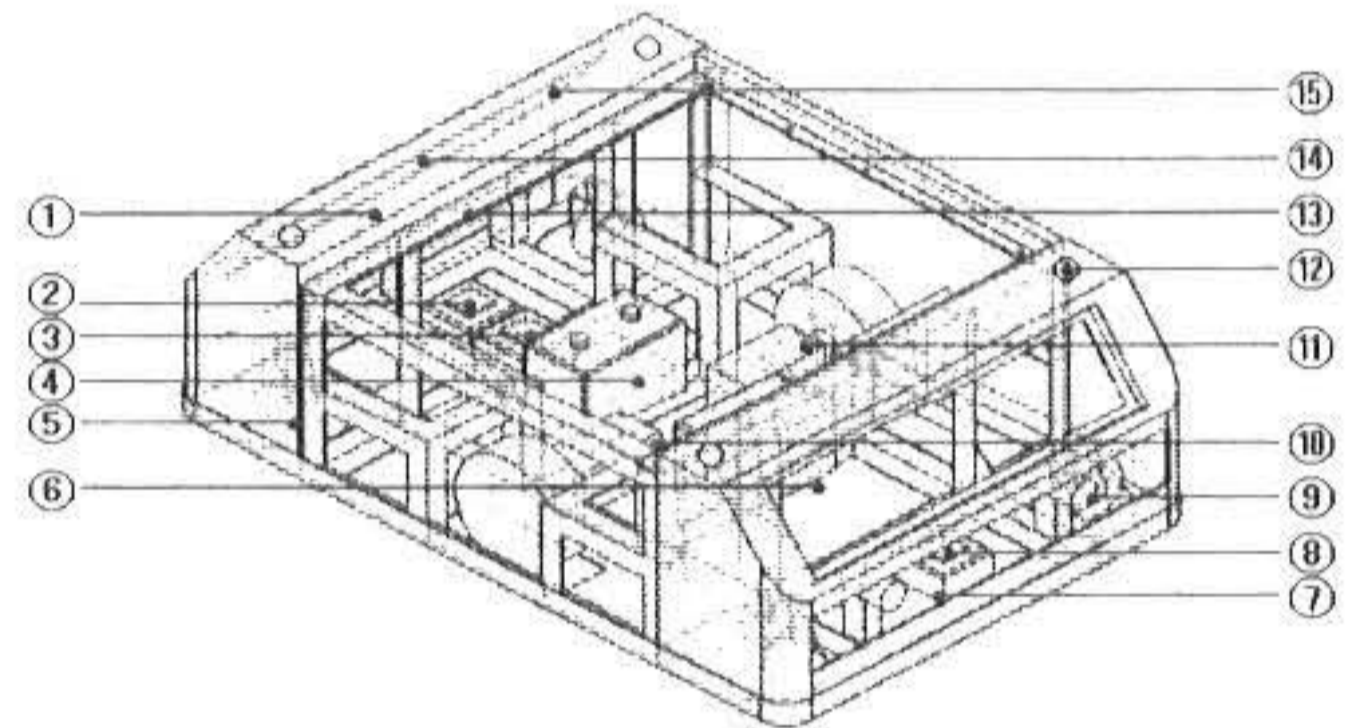


Fig.1 The schematic diagram of Automobiles

Table 1. The Part name of automobiles

U N I T	
①	Longitudinal G Sensor
②	DC-DC Switching Power Supply
③	DC motor Driver
④	12V Battery
⑤	Dummy Wheel
⑥	Temperature Sensor
⑦	Main Control Unit
⑧	Eelctronic Compass
⑨	Ultrasonic Sensor
⑩	Encoder
⑪	Wheel-Motor Assy
⑫	Limit Switch
⑬	RF Communication Module
⑭	Graphic LCD
⑮	Membrane Keypad

주행속도는 0.5m/sec이다. 좌우 구동 바퀴에 의해 주행하며 전후에 각각 2개의 캐스터(Caster)를 부착

하여 하중을 지지하도록 하였다. 구동 바퀴가 있는 중앙에 무인자동차의 하중이 집중하여 구동바퀴에 마찰력을 증가시켜 미끄럼이 일어나는 것을 최소화시키고자 하였다.

2.1 기구부

본 연구에서 개발한 무인자동차는 300kg_f의 적재 하중을 견딜 수 있도록 강도가 좋은 SS41(일반구조용 압연강)을 차체 몸체의 주 재료로 사용하였다. 또한 움직일 때 무게 중심이 높으면 높을수록 불안정하게 되므로 무게가 많이 나가는 배터리와 같은 부품 및 조립품 등은 아래쪽에 위치시켜서 무게중심을 낮추고 좌우동형, 전후동형으로 만들어 무게 중심을 무인자동차의 중심에 맞추고자 하였다.

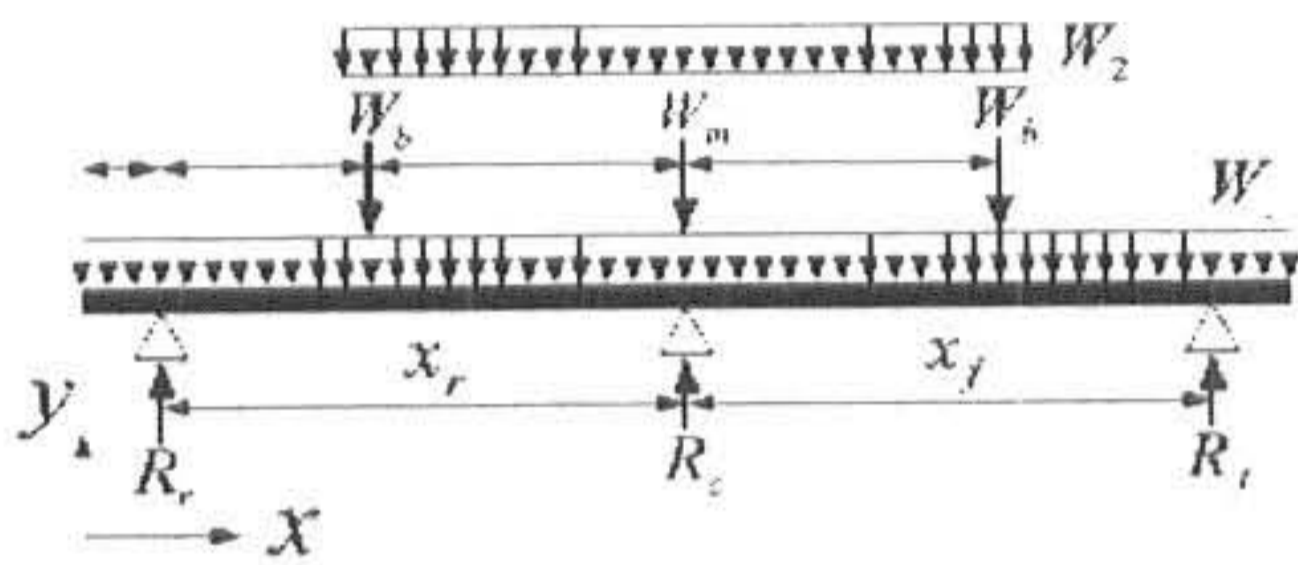


Fig. 2 Load distribution of the automobiles

무인자동차의 주행제어를 위해서는 무게중심 및 미끄럼에 대한 해석이 필요하다. 따라서 Fig.2와 같이 자동차 하중에 최대 적재량의 하중을 포함하여 계산하였다.

모터부 집중하중 $W_b = 24.5\text{kg}_f$, 바퀴부 집중하중 $W_m = 25.6\text{kg}_f$, 자동차 분포하중 $W_1 = 0.858\text{kg}_f/\text{cm}$, 그리고 적재부 분포하중 $W_2 = 1.25\text{kg}_f/\text{cm}$ 일 때 전체 무게 W_t 와 무게중심 \bar{x} 는 식(1), 식(2)와 같다.

$$W_t = \sum_{i=1}^3 W_i + \sum_{i=1}^2 \int_x w_i dx \quad (1)$$

$$= 284.8\text{kg}_f$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^5 W_i x_i + \int_x w_1 x dx}{W_c} \quad (2)$$

$$= 60\text{cm}$$

2.2 구동 모터부

구동 모터부의 오차(error)를 최소화하고 주어진 경로를 허용 오차범위내로 주행할 수 있도록 설계하기 위해서 적당한 구동방식을 선정함과 동시에 허용 무게 내에서의 정격속도 주행에 지장이 없도록 토크, 차륜의 회전수, 차륜과 주행도로간의 마찰 등을 고려하였다. 그리고 감속비는 모터의 연속 정격 각속도와 무인자동차의 속도에 의해서 결정하였다.

구동바퀴 최대 각속도 ω_{max} 와 회전시 바깥구동바퀴에 대한 모터의 최대각속도 ω_{wo} 를 고려한 감속기 어비 G는 식(3)과 식(4)와 같다. 여기서 V_{max} , R, s.f는 최대회전수, 바퀴의 반지름, 안전계수이고, T_R, R_d 는 자동차의 좌우구동바퀴 사이의 폭과 회전반경이다.

$$\omega_{max} = \frac{V_{max}}{R} \times s.f = 7.5 [\text{rad/sec}] \quad (3)$$

$$G = \frac{\omega_{wo}}{(1 + T_R/2R_d)\omega_{max}} \approx 30 \quad (4)$$

따라서 백래쉬와 소음이 적은 헬리컬 기어형 플랜지(Flange)취부 감속기를 사용하였다.

그리고, 주행모터의 토크용량은 초기 기동력 F_s 와 초기 기동토크 T_s 를 고려하여 식(8)과 같이 계산되었다. 여기서, n, a_{max} , e는 모터의 수, 최대가속도, 모터의 전기효율이다.

$$F_s = \frac{W_w}{n} \left(\frac{a_{max}}{g} + \mu \right) = 10.095 [\text{kg}_f] \quad (5)$$

$$T_s = \frac{F_s R}{e G} = 4.206 [\text{kg}_f\text{cm}] \quad (6)$$

따라서 모터용량 P을 구하면 식(7)과 같다.

$$P = sf \times G \times T_s \times \omega_{wo} = 142 [\text{W}] \quad (7)$$

이상에서와 같이 모터의 용량에 의해 직류 150W, 2800rpm, 6.9A, 5.0kgcm의 직류모터를 사용하였다.

2.3 제어 회로부

제어 회로부는 주행을 지시하는 동시에 실시

간적으로 각종 센서들을 통하여 자동차의 위치판별 및 주변환경 인식을 하여야 하고, 주행중에 발생하는 오차를 보정해야만 한다.

20MIPS의 빠른 프로세서 연산시간과 많은 디지털 입출력 포트(digital I/O port)들 및 A/D 변환기 채널(A/D converter channel)들을 내장한 마이크로프로세서(microprocessor, 이하 마이컴으로 칭함)가 필요하다. 따라서 히다찌(Hitachi)사의 SH7034 마이컴을 사용하였다. 이 마이컴은 32 Bit Risc형으로써 40개의 입출력포트, 8채널의 A/D 변환기 채널, 최대 38400bps 속도의 직렬통신채널(RS232C Serial I/O) 및 DMA 및 인터럽트(Interrupt)컨트롤러, 4채널의 카운터/타이머로 구성되어 있으며 소형화가 가능한 원칩(one-chip)형이다.

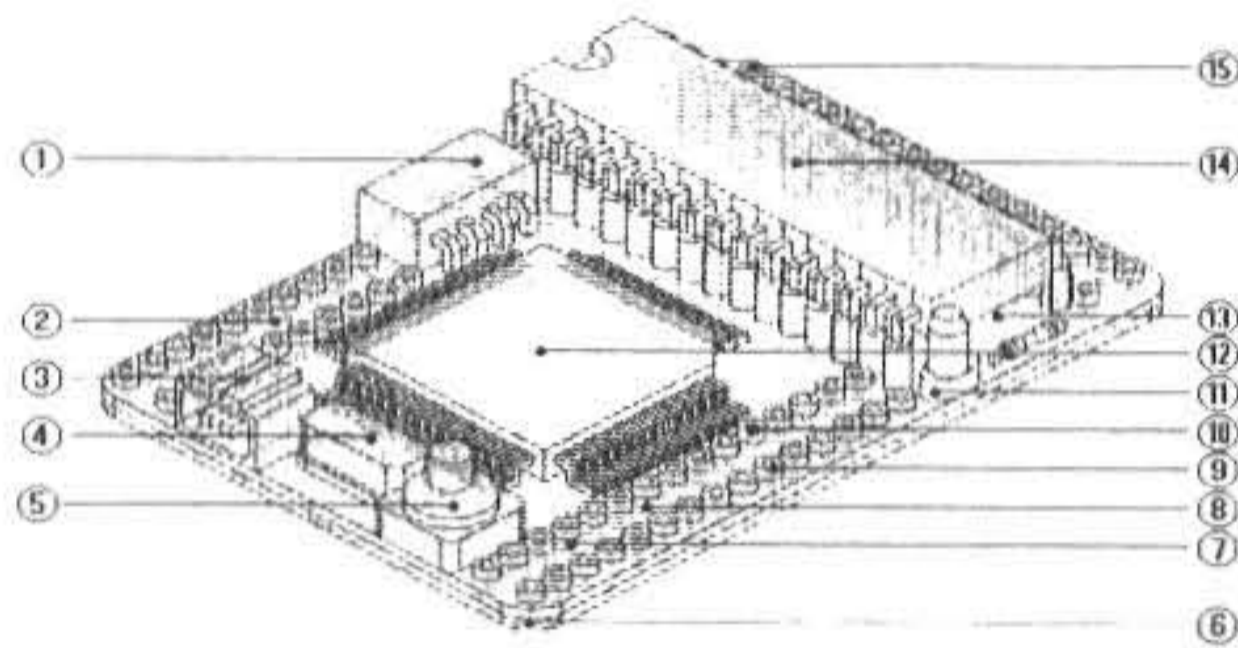


Fig. 3 The schematic diagram of the control circuit

롬 라이터(ROM Writer)와 같은 별도의 외부장치 없이 RS232C를 통한 컴퓨터와의 연결만으로 제어프로그램을 수정할 수 있도록 하드웨어를 제작하였으며, 회로 기판 내에는 1Mbyte ROM, 1Mbyte RAM의 외부메모리를 구비하여 무인자동차의 많은 Data들을 보존할 수 있도록 구성하였다.

그리고, 직류모터의 속도제어를 위해 마이컴에서 출력되는 PWM(Pulse-Width-Modulation)신호를 이용하였고, 정·역회전을 위해 4개의 FET로 이루어진 H-브릿지(bridge)형 모터구동회로를 Fig.4와 같이 구성하였다.

2.3 다중 센서 시스템

본 연구에 사용된 다중 센서 시스템은 로터리 엔코더, 전자 나침반, 초음파 센서로 구성되어

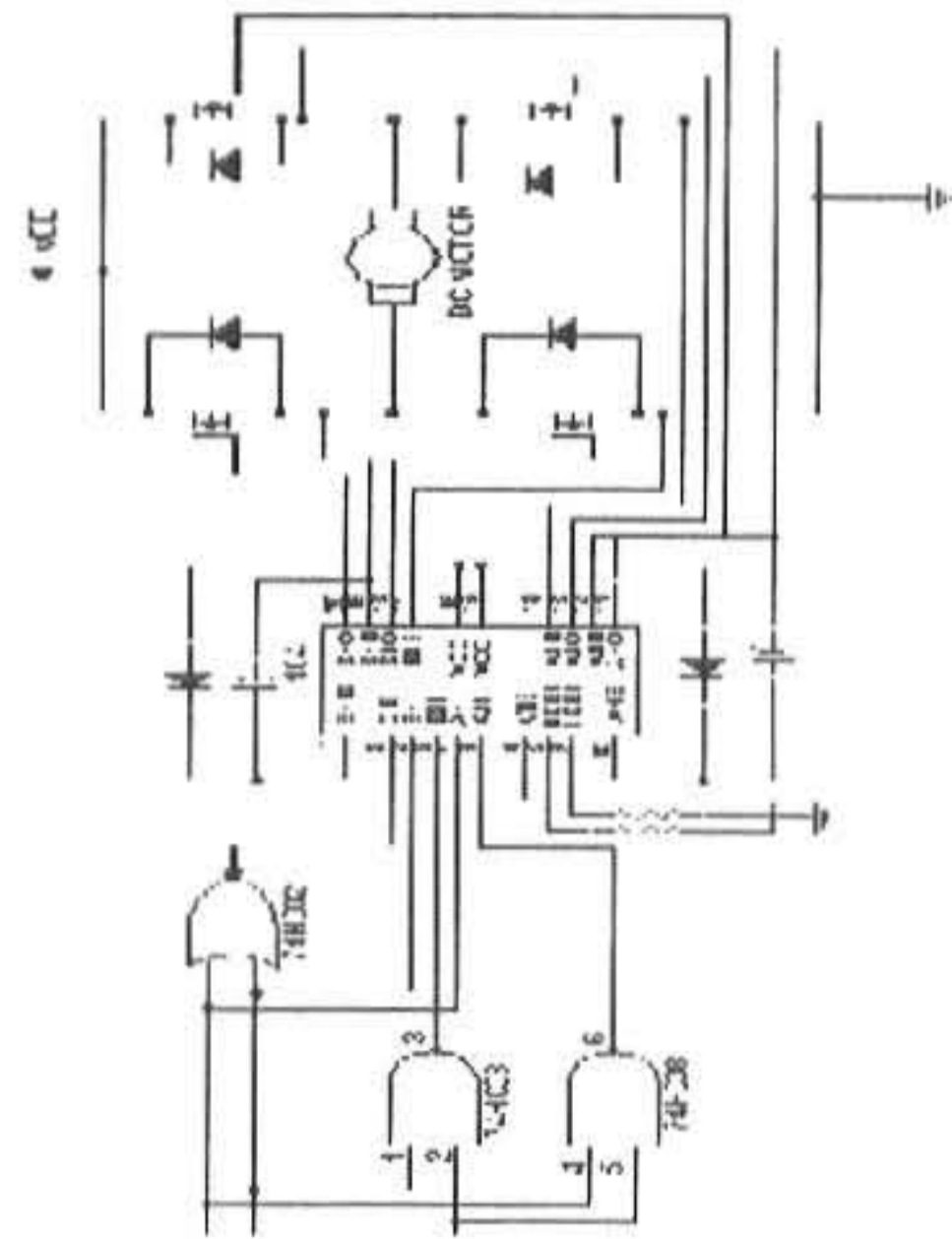


Fig. 4 DC Motor driving circuit

있다. 이 중 초음파 센서(Ultrasonic sensor)는 송수신병용 반사식으로 거리측정에 이용되는 것으로 본 연구에서는 측정오차가 크므로 돌출물 회피용으로만 사용하였다.

그리고, 자동차의 자세를 측정 및 보정하기 위해서 거리센서로 2048 pulses/rev 분해능인 로터리 엔코더(Rotary encoder)를 양쪽 바퀴에 장착하였다. 하지만 엔코더로는 바퀴의 미끄러짐에 오차 보정이 불가능하므로 전자 나침반과 같은 방위각 센서를 탑재하였다.

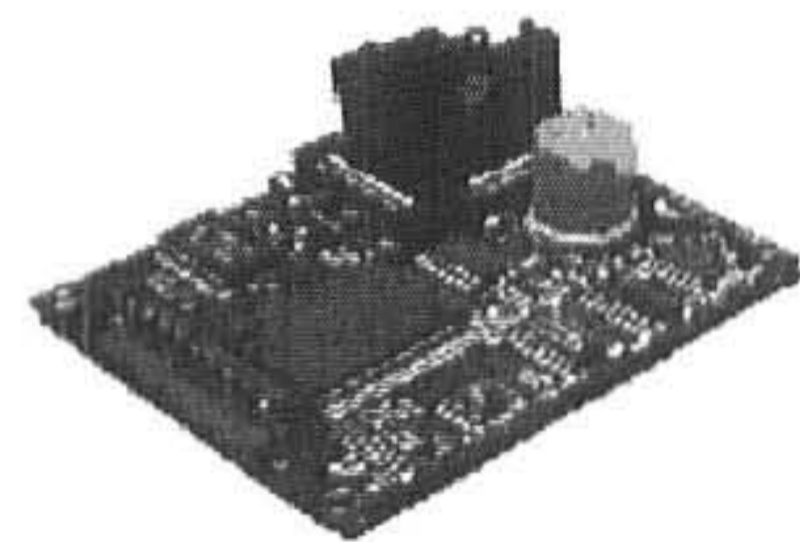


Fig. 5 Electronic compass

본 연구에 사용된 Fig.5의 전자나침반(Electronic compass)은 TI사의 TCM2VR20 모델로 0.01 °/rev 분해능으로 360 °각을 측정할 수 있는 센서로서 현재 위치의 X, Y, Z 방향의 자장을 측정하여 현재 위치의 온도, 방위각, 롤(Roll) 및 피치(Pitch)의 기울기를 측정할 수 있다. 보드레이트(Baud

Rate) 9600bps의 직렬통신으로 측정값을 PC나 마이크로프로세서로 받을 수 있다.

3. 위치변수 추출 및 제어기 설계

본 연구에서는 차체에 설치된 거리 및 방위각 센서에 의해 이동거리 및 이동방향을 계산함으로써 기준 위치로부터 현재 위치를 추정한다. 공간내에서 자동차의 절대 위치는 3개의 공간좌표 및 3개의 회전각으로 이루어진 6자유도(Degree of freedom)로 표시되지만, 강체인 자동차가 바닥이 굴곡이 심하지 않은 2차원 평면상에서 움직인다는 가정하에 거리 좌표값 X, Y 와 주행방향각 θ 의 3자유도로 표시한다. 따라서 Fig.6과 같이 3자유도의 위치 변수들을 사용하여 원호 모양의 이동궤적으로 자동차의 위치를 결정하였다. 좌우바퀴에 출력되는 엔코더출력의 증분 $\Delta U_L, \Delta U_R$ 로부터 차체의 곡률반경 ρ 은 식(8)과 같다.

$$\rho = \frac{T_R}{2} \frac{\Delta U_R + \Delta U_L}{\Delta U_R - \Delta U_L} \quad (8)$$

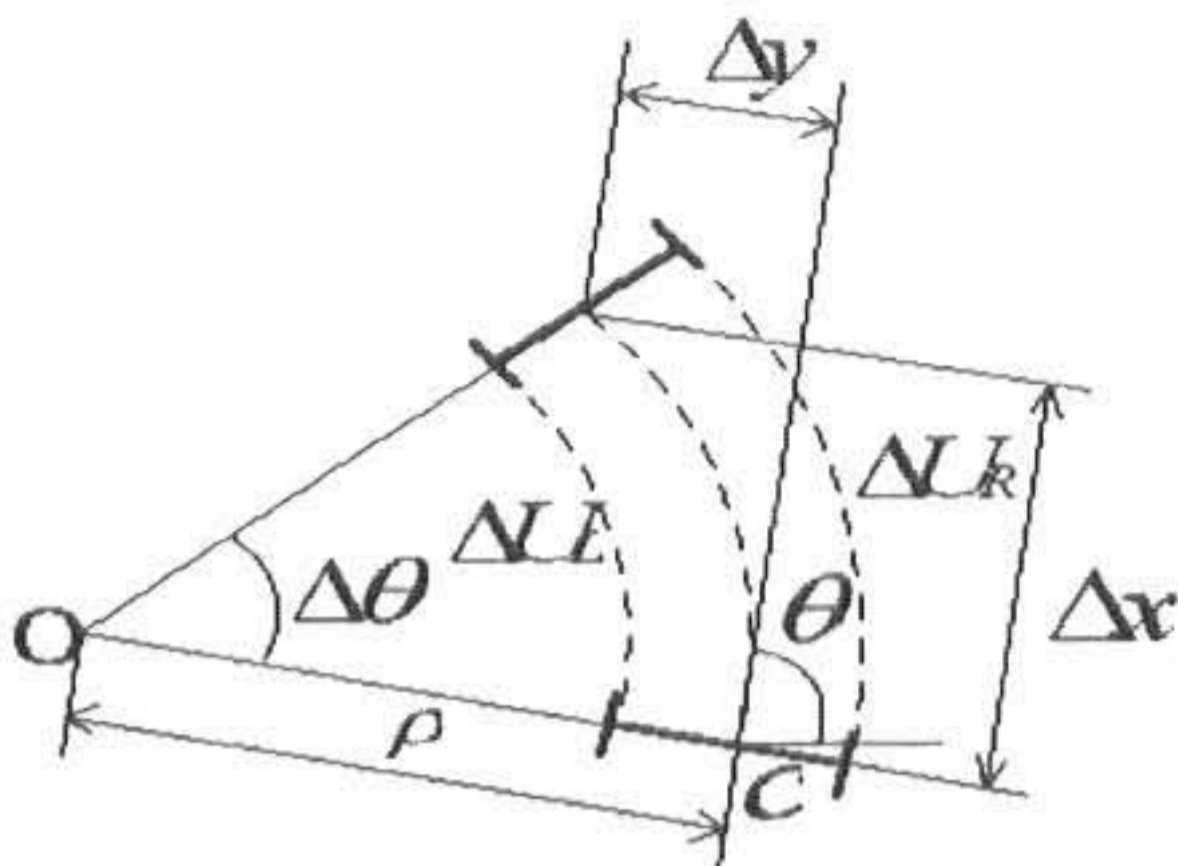


Fig. 6 The system coordinate

그리고, 현재위치증분 $\Delta X, \Delta Y$ 및 방향각 증분 $\Delta\theta$ 는 식(9)와 같다. 여기서 T 는 샘플링 타임(Sampling time)으로 0.01초이다.

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \frac{1}{T_R} (\Delta U_R - \Delta U_L) T \\ \Delta x &= \rho \sin(\Delta\theta) \\ \Delta y &= \rho [(1 - \cos(\Delta\theta))] \end{aligned} \quad (9)$$

따라서 차체의 최근 위치와 자세를 행렬 형태로 나타내면 식(10)와 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ \theta \end{pmatrix}_{K+1} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ \theta \end{pmatrix}_K + \begin{pmatrix} \cos \theta_K & -\sin \theta_K & 0 \\ \sin \theta_K & \cos \theta_K & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta\theta \end{pmatrix} \quad (10)$$

그런데, 위 식(9)는 자동차가 직선 경로를 따라 이동할 때는 곡률 반경의 값이 무한대가 되기 때문에 적용할 수 없다.

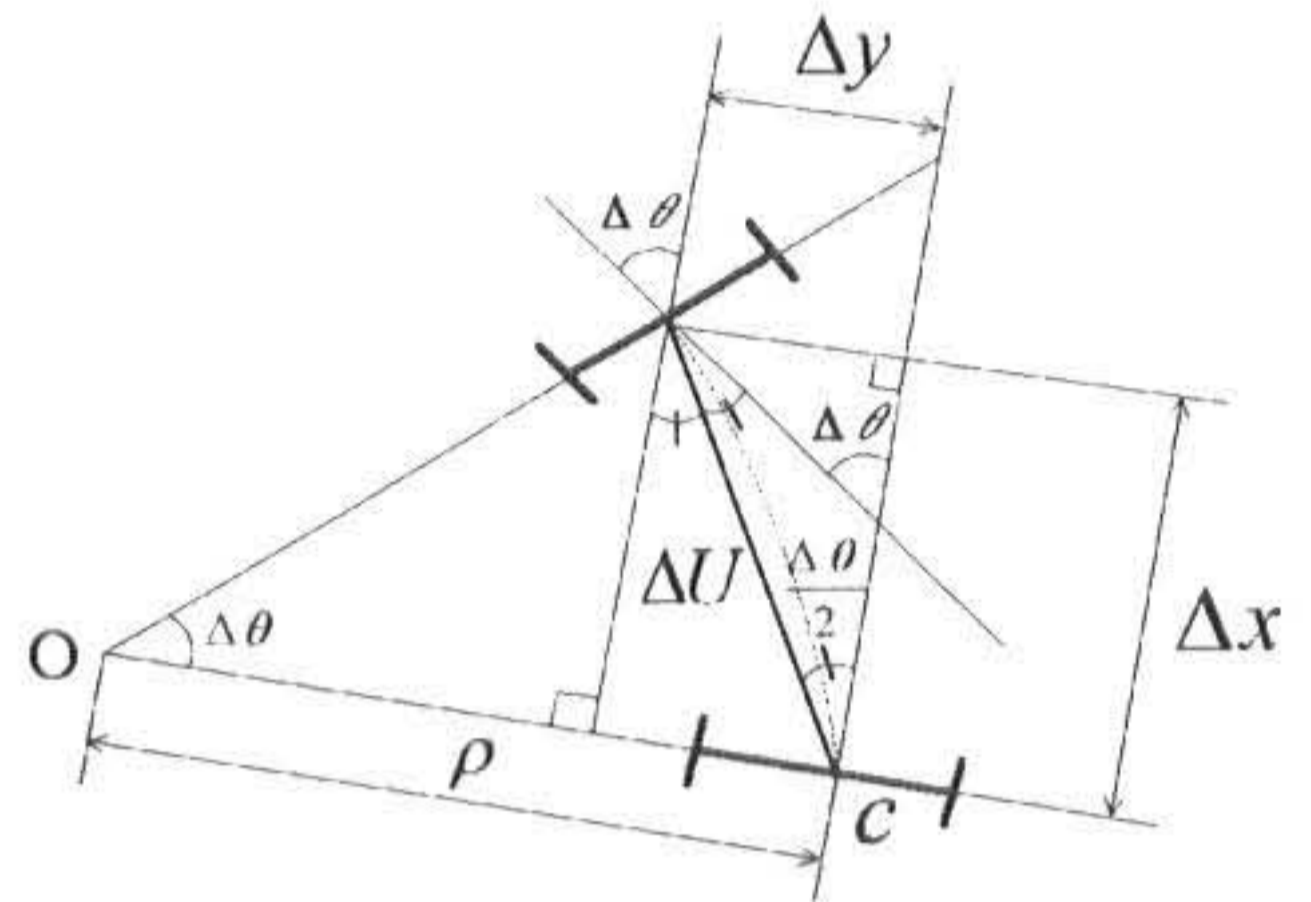


Fig. 7 The linear position estimate of automobiles

따라서 이동경로의 값을 Fig.7과 같이 선형화하여 식(10)과 같은 차분방정식(Difference equation)으로 나타낸다.

$$\begin{aligned} \Delta U &= (\Delta U_R + \Delta U_L) / 2 \\ \theta(K+1) &= \theta(K) + \Delta\theta \\ X(K+1) &= X(K) + \Delta U \cos [\theta(K) + \Delta\theta / 2] \\ Y(K+1) &= Y(K) + \Delta U \sin [\theta(K) + \Delta\theta / 2] \end{aligned} \quad (10)$$

본 연구는 차체 좌우바퀴에 설치된 엔코더 출력 $\Delta U_R, \Delta U_L$ 로부터 유도되는 방향각 $\Delta\theta$ 와 이 방향각을 보정하기 위해 전자나침반에서 출력되는 $\Delta\theta_c$ 의 융합에 의하여 현재 위치 X_k, Y_k, θ_k 를 판단(Decision)한다. 융합의 원리는 입력되는 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴의 회전수가 동일할 때 전자나침반에서 입력되는 방향각 데이터를 입력받아 바퀴의 미끄럼에 대한 오차를 보정하고 회전수가 다를 때는 방향각 데이터에 가중치를 두어 엔코더 데이터를 보정하는 방식이다.

가중치는 실험을 통해 얻을 수 있었다. 이렇게 판단된 위치에 의해서 자동차의 위치 및 자세를 비례적분제어기(PI controller)에서 궤환(feedback)받아 원하는 위치에 도달할 수 있도록 양쪽구륜모터의 속도를 제어한다. 비례적분제어기의 이득(Gain)은 계단입력에 대한 시스템의 응답을 3차계이상의 고차계에 적용할 수 있는 2차계형식의 평가함수를 이용한 개량 지글러-니콜슨 방법(Modified Ziegler -Nichols Method)을 사용하여 실험적으로 구하였다.⁸⁾ 비례감도 K_p 의 조절은 제어오차의 2승면적과 제어에 소요되는 에너지의 가중합으로 표시되는 2차계의 평가함수를 도입하고 이 평가함수를 최소가 되도록 K_p 를 조절한다. 본 연구에서는 이를 이용하여 무부하상태-최고속도 전진 주행실험을 기준으로 비례적분이득 K_p, K_I 를 선정하였다.

바퀴의 엔코더 출력을 입력받아 비례적분이득 K_p, K_I 를 조정하여 바퀴의 속도제어를 하였고 그 결과는 Fig.10과 같다. 이 실험을 통해 양쪽 바퀴가 완전히 동조(synchronization)함을 알 수 있다.

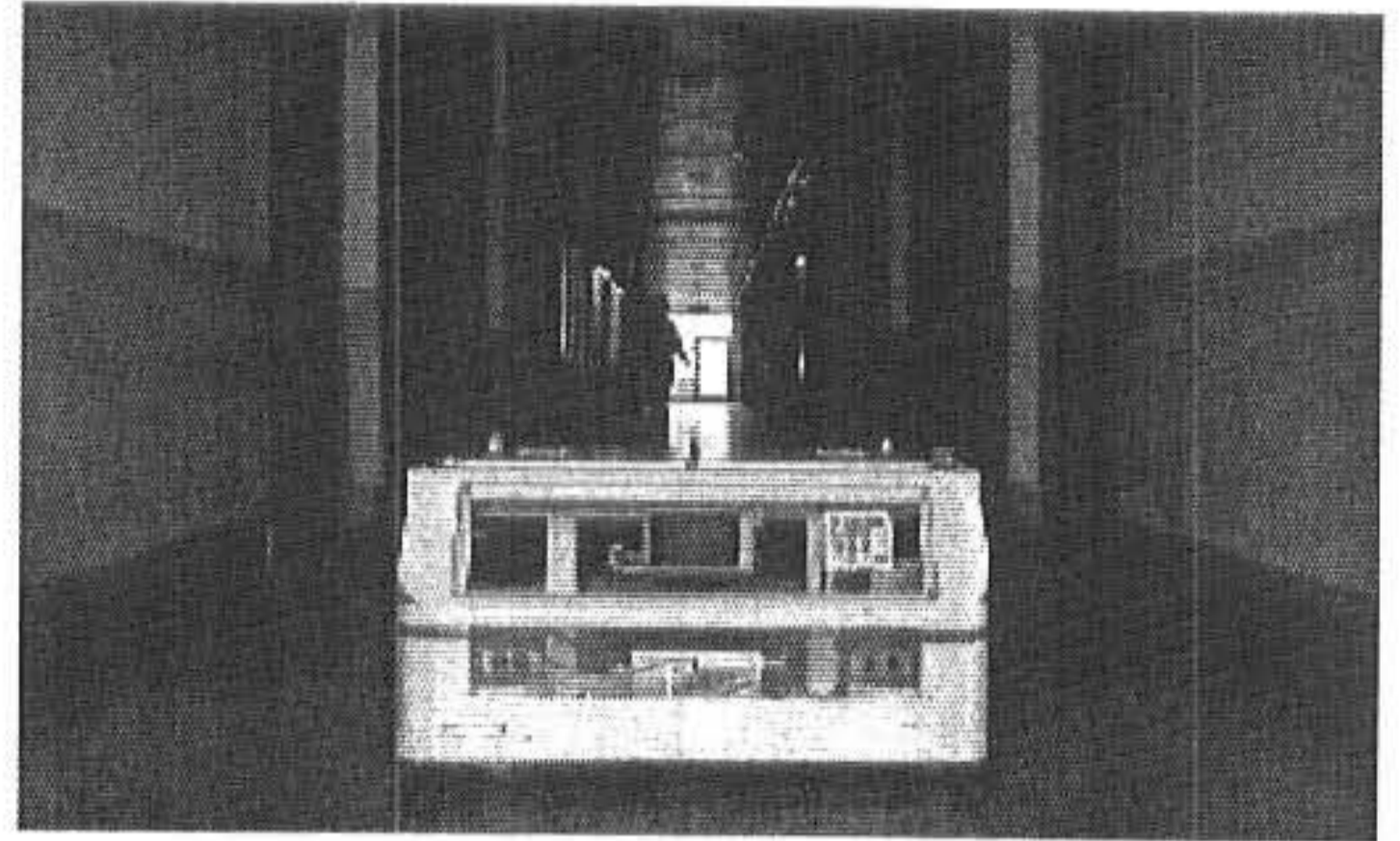


Fig. 9 The experimental environment and automobiles

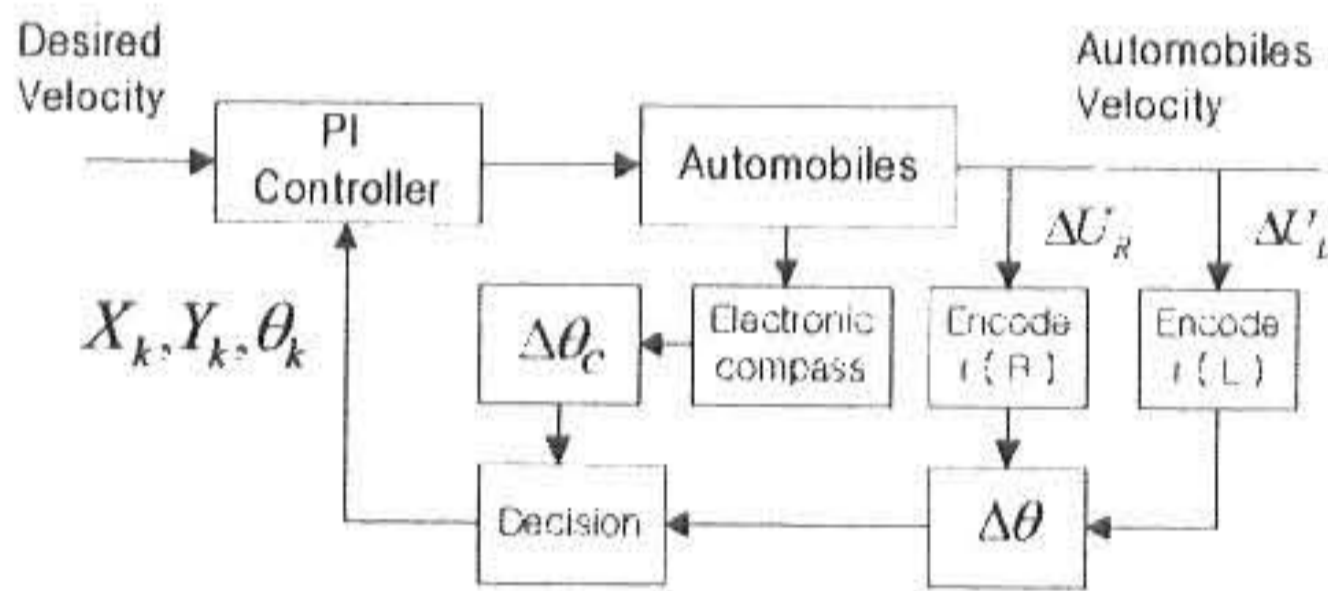


Fig. 8 The block diagram of the control system

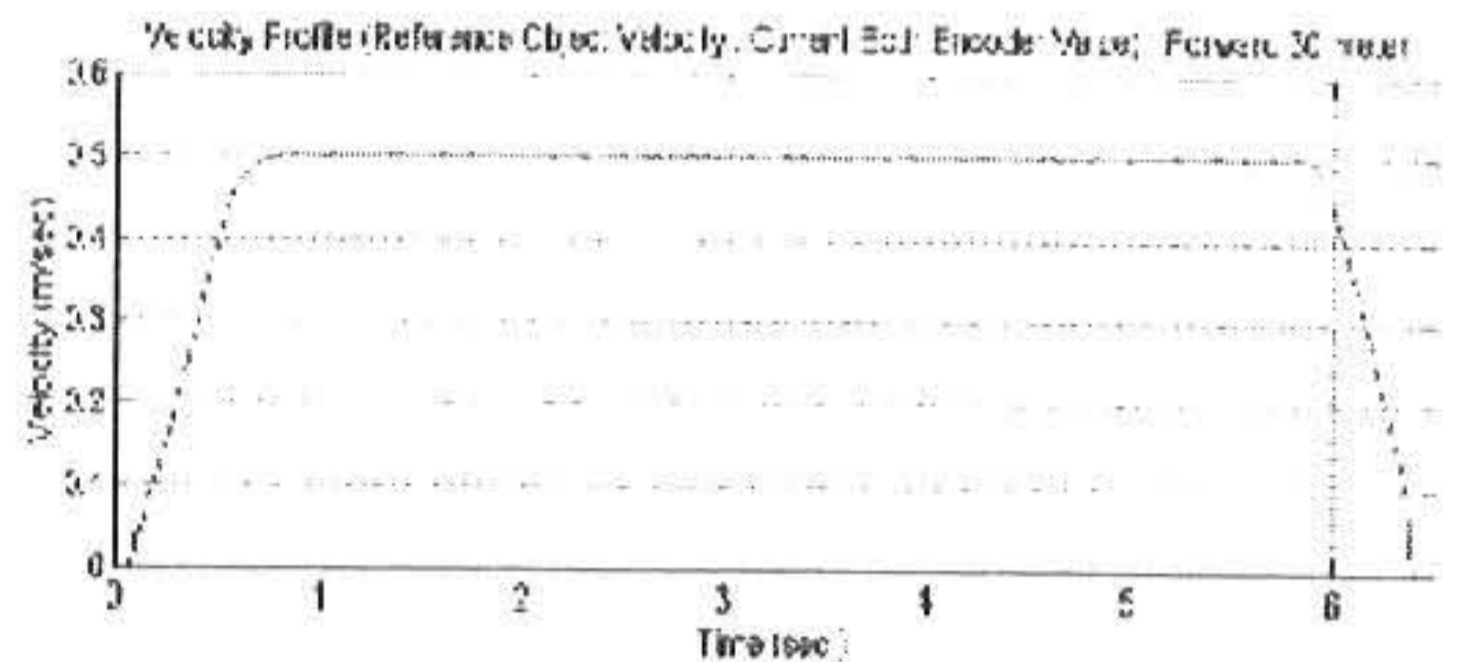


Fig. 10 The velocity profile

4. 실험 결과 및 고찰

무인자동차를 대상으로 전진, 제자리회전, 포인트 경로 주행 등으로 나누어 실험을 수행하였다. 자동차의 입력 지시는 호스트 PC, 리모콘, RF 모듈을 이용한 리모트 PC, 리미터 스위치, 리모콘 키패드(Remocon key pad)등에 의해 수행된다. 그리고 출력사항은 그래픽 LCD를 통해 실시간으로 보여주며 메모리된 자료들은 정해진 시간마다 호스트 PC로 전송된다. 자동차의 실제위치 측정을 위해서는 차체 후변부에 중앙으로부터 좌우로 300 mm 떨어진 지점에 별도 기구부를 설치하고 0.5 mm 직경의 표식을 바닥에 표시하여 삼각측량법에 의하여 계산하여 마이컴이 계산한 값과 비교하였다.

바퀴의 기준속도 프로파일(Reference velocity profile)은 사다리꼴 형태(Trapezoidal shape)로 입력하였다. 주행실험을 하기 전 무부하시 정격 최대속도에서 전진 30 m 주행에 대한 실험을 하였다. 우선 양쪽

한국산업규격 KS A 1640(무인 운반차의 특성 및 기능 시험 방법)에서는 주행면으로 평탄하고 건조한 포장노면 또는 유도루트 그리고 이동 거리로는 등속 구간 5 m 이상에 대해 실험을 규격화하고 있다. 본 연구는 이러한 환경에서 10m 전진 및 회전실험을 실시 하였다. 그리고 출발 및 정지시 발생하는 오차를 줄이기 위해 X축방향 속도 프로파일을 따라가게 하였다.

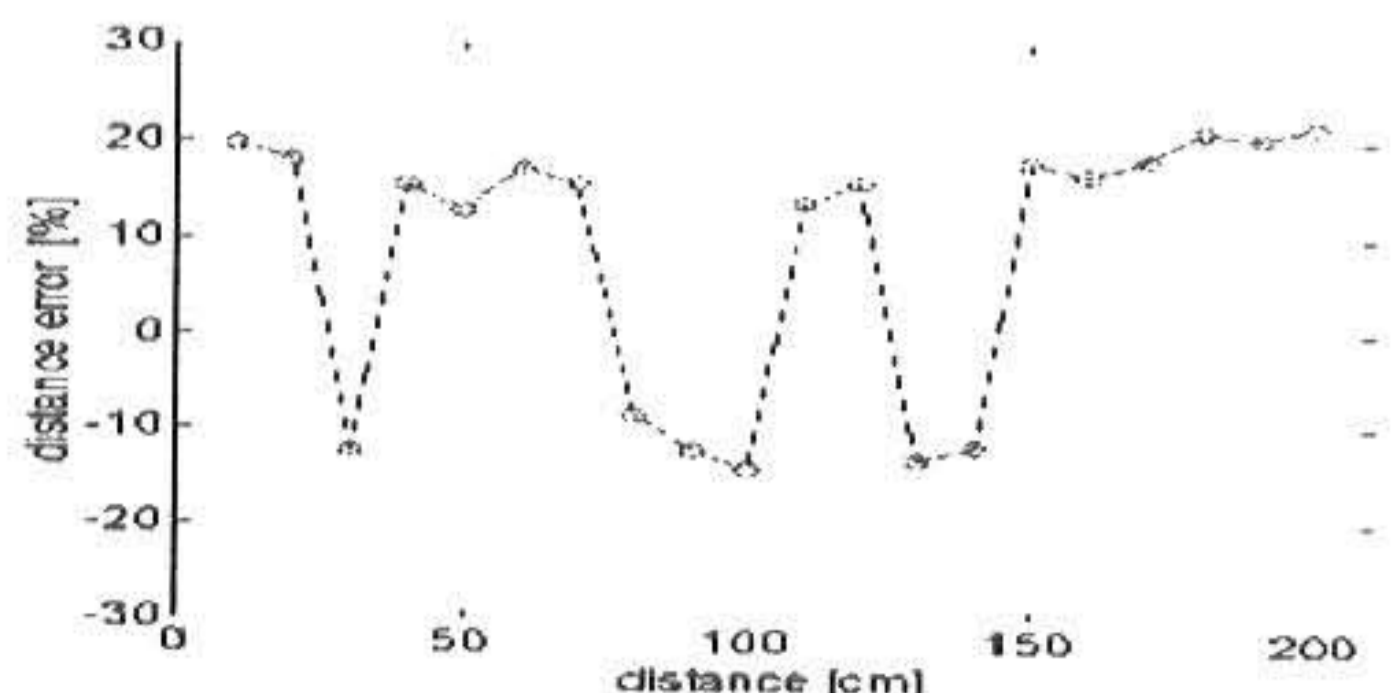


Fig. 11 The distance error of the ultrasonic sensor

주행 실험에 앞서 초음파 센서를 차체 전면에 부착하여 측정거리 0.1~2m, 투상실효각 $\pm 15^\circ$ 내에서 각 거리별로 최대값을 취하였고, 이러한 계측오차실험을 5회 반복수행하여 그 평균값을 채택하였다. 그 결과는 Fig.11과 같다. 전 구간에서 오차의 최소값 9%, 평균값 16%를 감안할 때 초음파 센서는 본 연구의 거리계측용 유도센서로서 사용하기엔 부적합하다. 따라서 돌출물 검출용으로만 사용하였다.

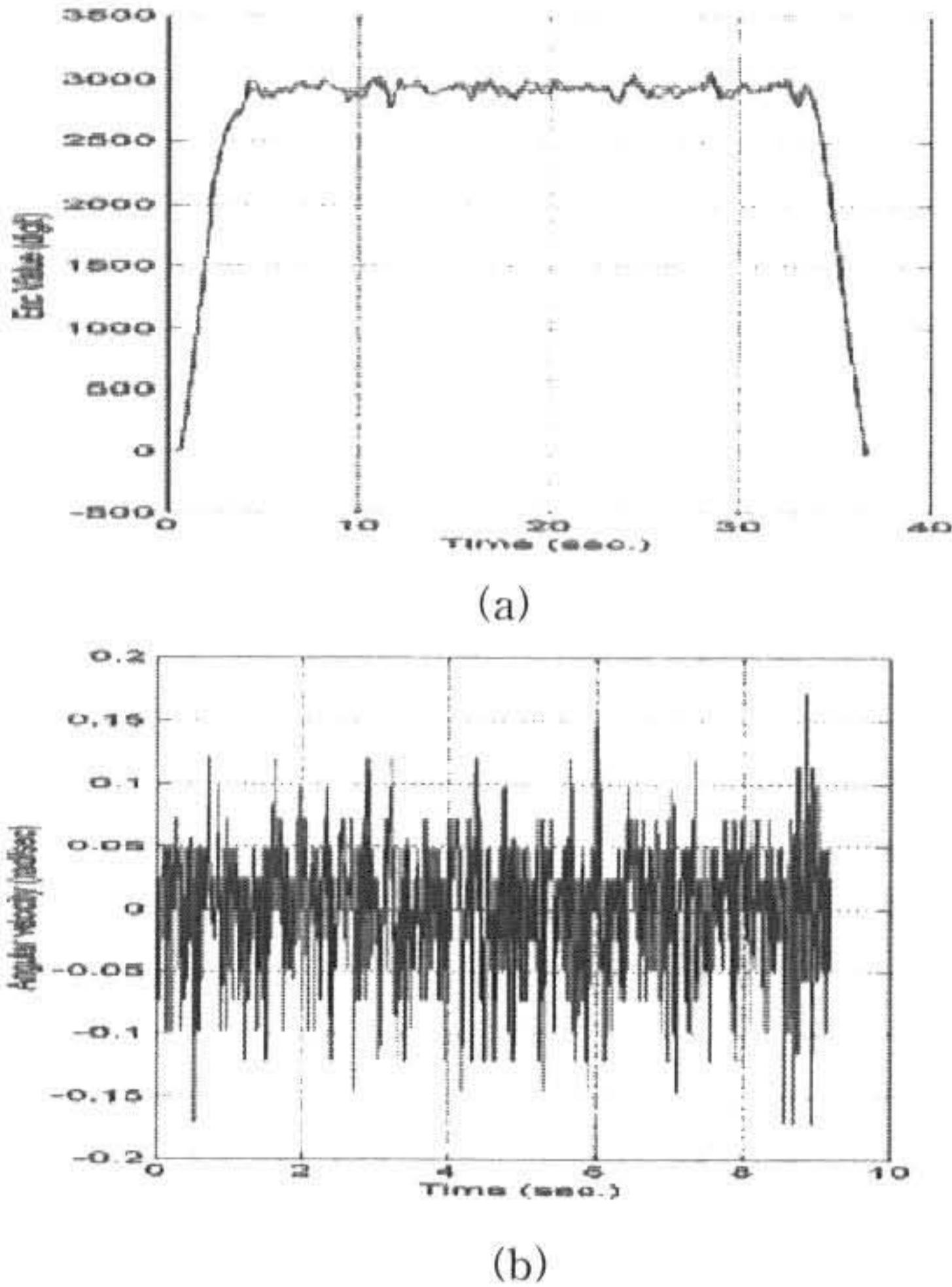


Fig. 12 The encoder and electronic compass output in 10m forward motion

Fig. 12(a)와 (b)는 10 m 전진 주행에 대한 양쪽 바퀴에 장착된 엔코더 및 전자나침반에서 출력되는 속도 파형이다. 엔코더 출력을 볼 때 양쪽 바퀴의 동조 속도차는 50/3000 RPM인 1.7%오차로 아주 미소하다. 그리고 바퀴의 속도 오차는 200/3000 RPM인 6.7%, 전진시 방향각의 직진성 오차도 $0.17/2\pi$ 인 2.7%로 제어가 잘 되고 있다. 따라서 이러한 제어가 이루어진 상태에서 자동차의 전진, 제자리 회전, 포인트 경로 주행 등을 실시하였다.

전진주행(Forward motion)은 10 m의 직선경로를 기준으로 DC 모터 속도를 제어하였으며, 자동차의 위치 평가를 위해 엔코더 및 엔코더와 과 나침반의

융합에 의한 위치와 방향에 대한 실측치를 기준으로 X, Y, θ 축 방향으로의 오차를 분석하고자 하였다. Fig.13은 10 m 전진주행에 대한 위치정밀도를 나타내고 있다.

X축 오차에 대해서는 평균 4.22mm에서 0.69mm로 84%, Y축에 대해서는 평균 20.12mm에서 8.03mm로 60%, 방향각 θ 오차에 대해서는 0.11° 에서 0.05° 로 55%가 줄어들었다.

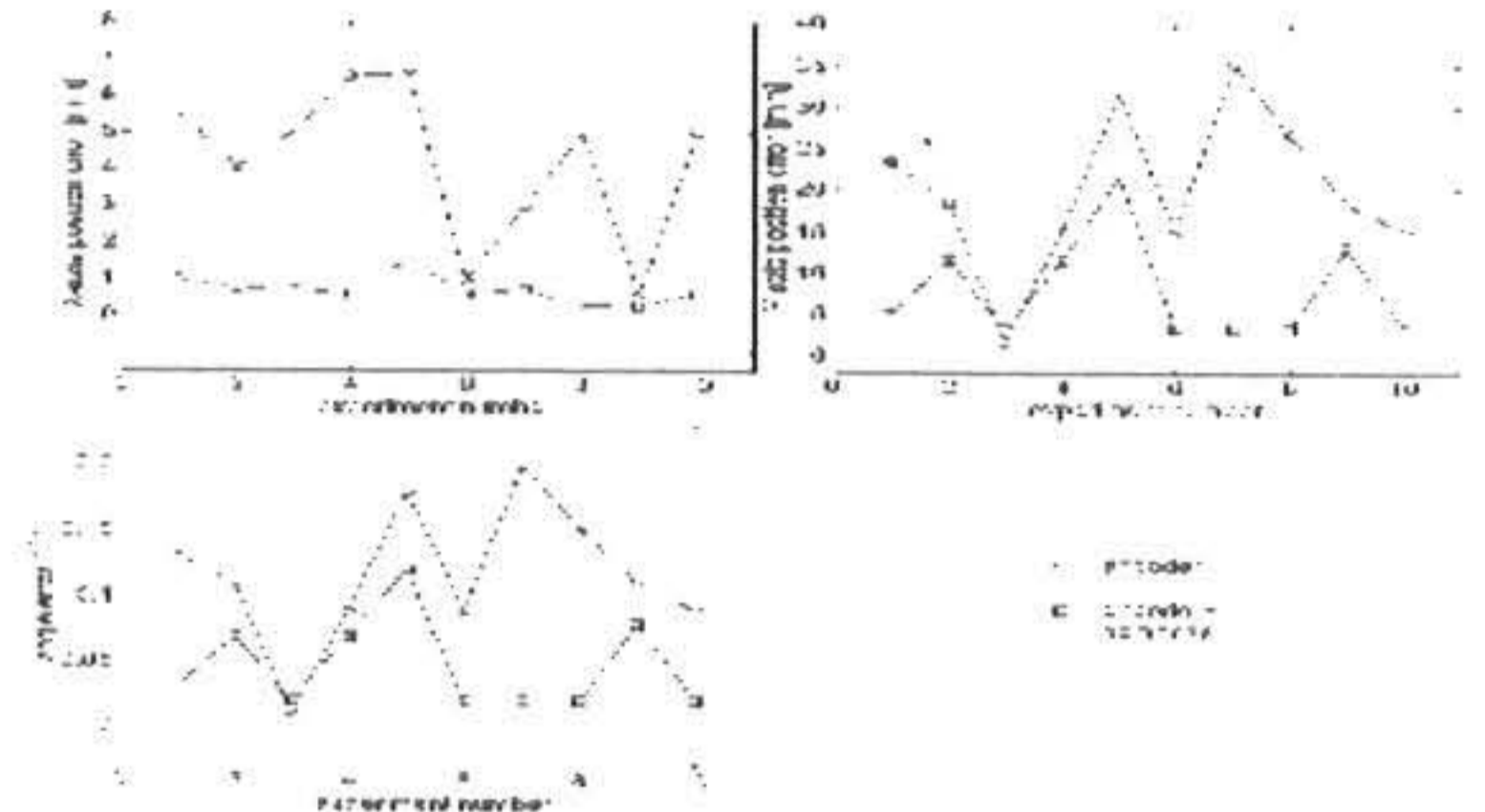


Fig. 13 The position error in the forward motion

제자리 회전주행(Spin Turn motion)은 목표 위치(Reference position) θ 를 시계방향으로 90° 로 설정하여 전진주행에서와 같은 방법으로 분석하였다. Fig.14는 제자리 회전주행에 대한 위치정밀도를 나타내고 있다.

X축 오차에 대해서는 평균 11.85mm에서 0.93mm로 92%, Y축에 대해서는 평균 20.97mm에서 3.04mm로 86%, 방향각 θ 오차에 대해서는 1.17° 에서 0.09° 로 92%가 줄어들었다.

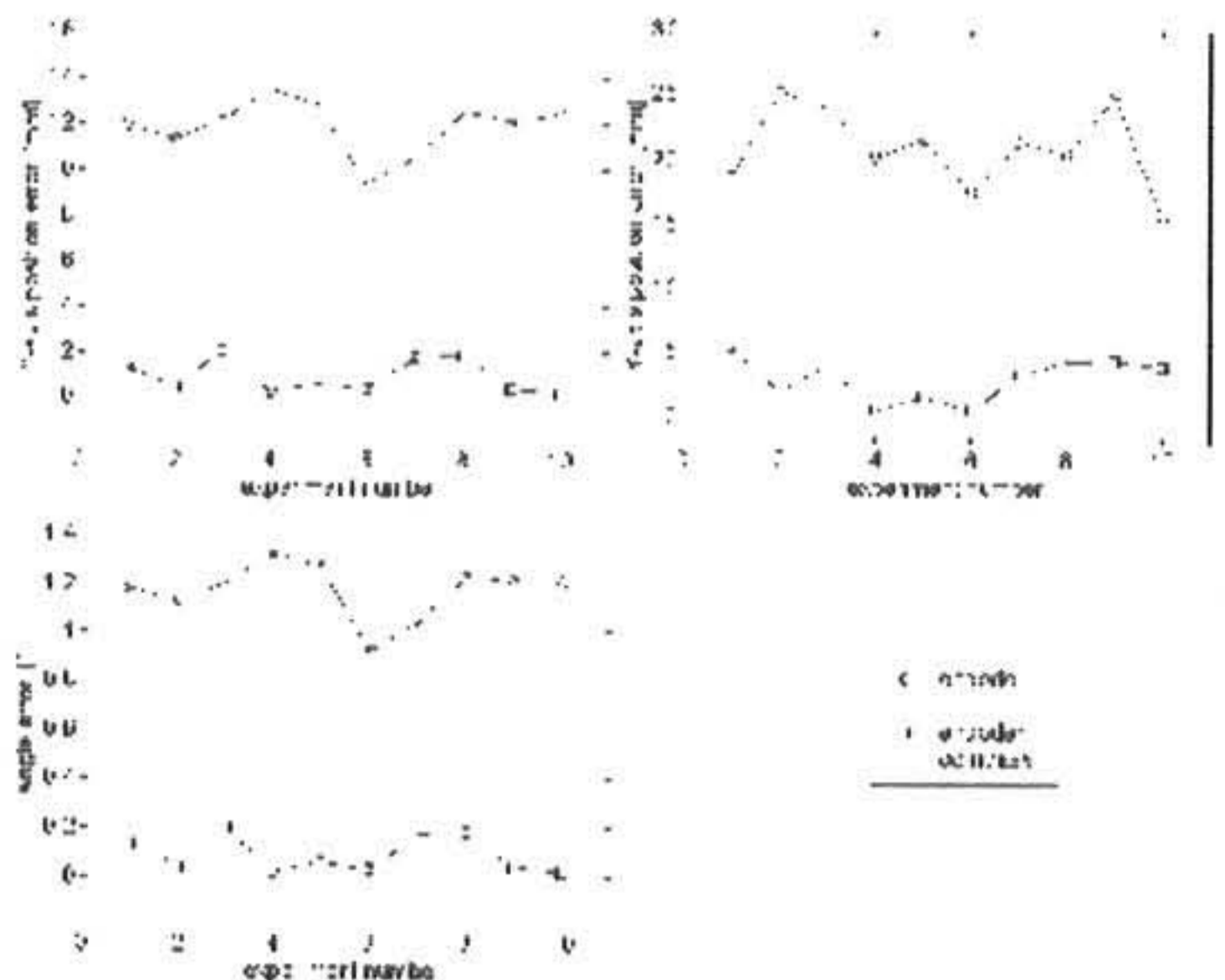


Fig. 14 The position error in the spin turn motion

전진주행과 제자리 회전주행이 혼합되어있는 포인트 경로(Point path planning) 주행 실험을 수행하였다. 포인트 경로 주행은 2.5 m 정사각형을 주행하여 제자리로 돌아오는 경로를 설정하여 실험하였다. Fig.15는 포인트 경로 주행에 대한 위치정밀도를 나타내고 있다.

X축 오차에 대해서는 평균 6.56mm에서 4.54mm로 31%, Y축에 대해서는 평균 76.05mm에서 26.69mm로 65%, 방향각 θ 오차에 대해서는 0.44 °에서 0.15 °로 66%가 줄어들었다.

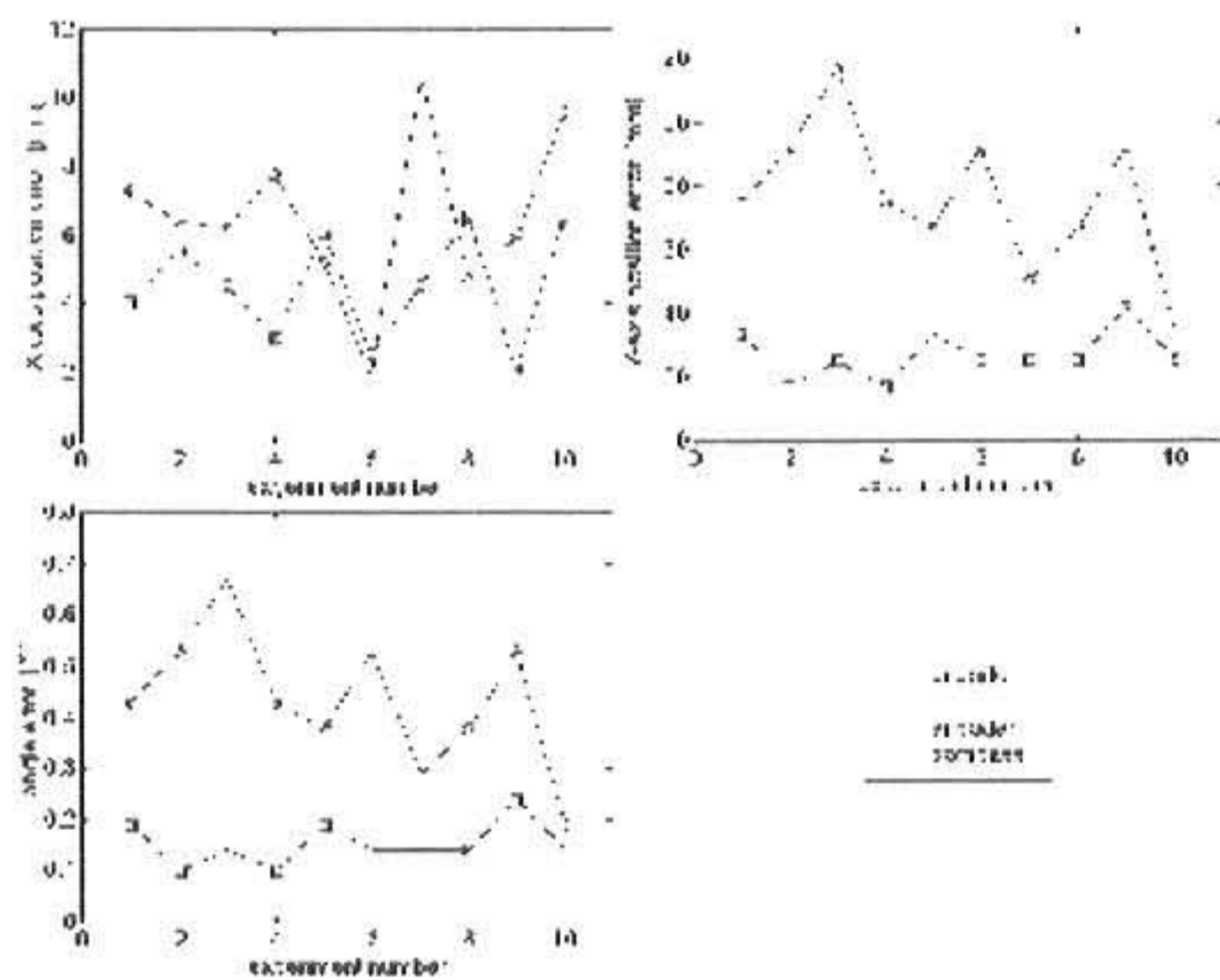


Fig. 15 The position error in the point path planning motion

따라서 엔코더만을 사용하여 자동차의 위치 및 자세를 제어할 경우 출발 및 정지시 발생하는 미끄럼 및 마찰의 영향으로 자세 판단에 있어 오차가 발생함을 알 수가 있다.

이렇게 판단된 데이터를 가지고 위치 및 속도 제어를 할 경우 X, Y, θ 의 오차가 전진주행시 4.22, 20.12mm, 1.17 °, 제자리 회전주행시 11.85, 20.97mm, 1.17 °, 포인트 경로 주행시 6.56, 76.05mm, 0.44 °의 오차가 발생함을 알 수 있다. 그런데 전자나침반을 사용하여 엔코더 데이터를 보정하여 제어할 경우 전진주행시 0.69, 8.03mm, 0.05 °, 제자리 회전주행시 0.93, 20.97, 0.09 °, 포인트 경로 주행시 4.54, 26.69, 0.15 °로 오차가 향상됨을 보였다. 이는 전자 나침반을 이용하여 간단한 융합기법만으로도 출발 및 정지시 발생하는 미끄럼 및 마찰에 기인한 오차를 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

그리고, 본 연구에 덧붙여 융합기법으로서 비선형 제어기법인 슬라이딩모드(Sliding mode) 및 유전 알고리즘(Genetic algorithm)을 이용할 경우 오차는 더욱 개선될 것으로 사료되며 향후 더욱 연구에 증진 할 예정이다.

5. 결론

기구적인 특성을 고려한 무인 운반차 설계 및 마이컴으로 엔코더 및 전자 나침반의 데이터를 이용한 운행 제어를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 우수한 운동성을 결정하는 기구학적 특성의 자동차 설계와 실시간 제어성을 결정하는 전기·전자적 특성의 하드웨어 설계를 구축할 수 있었다.
- (2) 전재시 총중량이 300 kg_f이고 정격최대속도가 0.5m/sec 그리고 위치정밀도가 76mm/10m의 우수한 위치제어성을 가지는 무인 운반차를 개발할 수 있었다.
- (3) 300 kg_f 전재시 개량 지글로-니콜슨 방법을 이용한 비례적분제어기를 구축하여 6.7%의 속도오차특성을 얻을 수 있었다.
- (4) 10m 전진, 제자리 회전, 포인트 경로 주행 시험시 편심, 미끄럼, 마찰로 인해 발생하는 엔코더 출력 오차를 전자 나침반과의 융합 즉 다중센서와의 융합을 통해 최소 31%, 최대 92% 줄일 수 있었다.
- (5) 히다찌 원칩 마이컴을 통한 컨트롤러 설계로 제어 유니트(Control Unit)의 유연성 및 소형화를 구축할 수 있었다.

참고문헌

- 1) Muir and P. Fred : Modeling and Control of Wheeled Mobile Robots, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1772-1778, (1987)
- 2) T. Hongo, et al : An Automatic Guidance System of a Self-Controlled Vehicle, IEEE Trans. on Industrial Electronics, pp.5-10, (1987)
- 3) S. A. Walter : The Sonar Ring - Obstacle Detection for a Mobile Robot, Proc. of IEEE Int.

Conf. on Robotics and Automation, pp.1574-1579,
(1987)

4) T. Ochi : A positioning system for mobile robots using systemical rotating laser beams, *Advanced Robotics*, Vol4, No.3, pp.217-222, (1990)

5) H. Nasr and B. Bhanu : Landmark Recognition For Autonomous Mobile Robots, *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.1218-1223, (1988)

6) Heungsik. Noh, Hyuntae. Kim, Seungwoo. Kim, and Mignon. Park : Cooperative Mobile Robots using Fuzzy Algorithm, *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.796-802, (1992)

7) D. Kriegman, E. Triendl, and T. Binford : A Mobile Robot-Sensing, Planning and Locomotion, *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.402-408, (1987)

(2001년 5월7일 접수, 2001년 8월 16일 채택)