

無人返送用 移動Robot의 Mechanism 設計 및 制御에 關한 研究
(A Study on the Design and Control for Mechanism of Automatic - Guided Mobile Robot)

*김재열 *박환규 **오용훈(※) **마상동 **오성민

* 조선대학교 정밀기계공학과
** 조선대학교 대학원

제1장. 서 론

최근 각 생산현장등에서 다양한 변화가 이루어지고 있는 가운데 공장자동화, 유연생산체계(FMS:Flexible Manufacturing System)³⁾의 개념이 산업현장에 확산되고 생산형태 또한 다품종 소량생산체제로 변화함에 따라 생산공장내에서 생산활동에 필요한 각종 공구, 부품, 작업물의 운반경로등이 다양해지고 복잡해 지고 있다. 이러한 상황에서 유연생산체계의 중요한 요소기술로서 각종 물류의 흐름과 제어를 빠른 시간내에 효율적으로 처리하기 위한 무인 반송 시스템으로 자체적으로 진행 방향을 변경할 수 있는 조향기능을 갖고 소정의 경로를 자동적이고 지능적으로 주행하는 AMR(Autonomous Mobile Robot)이라 불리는 이동 로봇^{5),6),7)}가 다양한 용도에서 그 필요성이 증가되고 있고 분야별로 경제적이고 효율적인 측면으로 많은 연구들이 진행되고 있다.

이동 로봇에 관한 연구는 1970년대 Nilson⁸⁾에 의해 미 탐사 지역에서 주행할 수 있는 SHAKEY가 제작된 이래 계속 지속되어 왔고 70년대 후반부터 마이크로 프로세서의 개발에 의해 on-board 디지털 신호처리 기술의 향상과 함께 이동 로봇에 대한 관심이 대두되었고 이제는 그 응용분야가 다양해지고 있는 실정이다.

현재 산업현장에서 시스템을 구축, 실용화 하고 있는 이동 로봇, 특히 무인 반송차는 원하는 경로상에 자성을 띤 테이프를 부착하고 이를 검출하여 유도하는 자기 자성 체식, 전선을 바닥에 매설하여 전선에 저주파를 흘려 그 자계를 감지하여 유도하는 전자식^{9),10)}, 그리고 반사테이프를 바닥에 부착하고 테이프로부터의 반사광을 광학적으로 처리하여 궤도 주행을 하는 광학식^{11),12),13)} 등이 있다. 또한 최근에는 화상처리 기술의 발달과 함께 CCD 카메라를 이용하여 물체의 형상,특징등을 추출하여 화상처리 하는 비전 시스템(Vision System) 을 적용하여 자율적으로 운행 하는 자율 이동 로봇등이 있다. 이러한 다양한 방식의

이동 로봇은 서로 여러가지의 장·단점을 가지고 있는데, 본 논문에서는 경로 설치 비용이 많이 들고 반복 주행으로 인하여 유도선인 반사테이프가 손상받기 쉬운 단점을 가지고 있지만 항상 고정 궤도를 감지하면서 주행하므로 제어가 간단하고 경로 추종이 우수한 장점을 가지고 있는 광학식의 유도방식^{11),12),13)}을 채택하고, 범용 PC 인 IBM 386 컴퓨터⁴⁾를 이용하여 두 구동 바퀴의 회전수를 정밀하게 제어, 위치 및 방향을 결정하는 이동 로봇 시스템의 개발을 목적으로 한다.

따라서 본 논문에서는 저가격, 고기능의 이동 로봇 시스템을 구축하고 실제로 설계 제작된 이동 로봇의 위치 및 방향 결정 능력등 정확한 제어의 유효성 및 안정성등을 확인하고자 한다.

제2장. 이론적 배경

2-1. 절대좌표계와 기구학적 해석

이동 공간내에서 이동 로봇의 절대위치는 6자유도(3개의 공간좌표 및 3개의 회전각)로 표시 되어야 하지만, 실내에서와 같이 이동하는 지면의 굴곡이 심하지 않으면 2개의 평면좌표 위치변수 (x_c, y_c) 와 조향각(heading angle)이라 불리는 하나의 방향변수 (θ_c) 등 3자유도로 표시된다.

Fig.1 은 본 논문에서 제작한 두개의 중심바퀴 구동방식의 이동 로봇의 좌표상의 기구학을 나타내고 있다. 본 논문의 이동 로봇을 움직이는 명령은 기구학적인 구조상 두개의 구동 바퀴에 의해서 이동 로봇의 속도와 조향각의 형태로 이루어 진다. 이동 로봇은 실제적으로 2차원 평면을 주행하고 있으며, 절대좌표계 X, Y 에서 이동 로봇의 자세는 로봇의 중심 (O_c) 의 좌표값 (x_c, y_c) 및 이동 로봇의 길이 방향축과 X 축 사이의 각도 θ_c 로 결정 된다. 그러므로 절대좌표계(world frame)에서 식 1)

과 같이 벡터로 표현한 것을 이동 로봇의 자세(posture)라 정의한다.

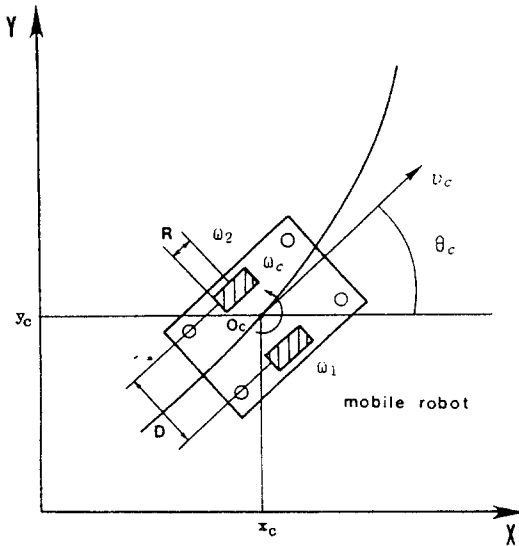


Fig.1 Kinematics of mobile robot

$$P_C = (x_c \ y_c \ \theta_c)^T \quad 1)$$

이동 로봇의 운동은 조향각 (θ_c) 방향으로의 선속도 (v_c) 와 로봇의 중심 (O_c) 에서의 회전속도 (ω_c) 의 2 개의 운동 자유도를 갖는다. 두개의 구동바퀴 이동 로봇의 경우 회전속도와 선속도로서 그 기구학적 모델은 표현된다.

좌·우 구동 바퀴의 회전 각속도를 ω_1, ω_2 로 정의 했을 때, 이동 로봇 중심 (O_c) 에서의 선속도 (v_c) 와 각속도 (ω_c) 는 다음과 같이 나타낸다.

$$v_c = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} R \quad 2)$$

$$\omega_c = \frac{R}{D} \Delta \omega = \frac{\omega_1 - \omega_2}{D} R \quad 3)$$

여기에서 R 은 구동 바퀴의 반경(Radius)이고, D 는 양 구동 바퀴 사이의 거리(Tread)를 나타낸다. 여기에서 ω_1, ω_2 는 바퀴축에서 본 각속도를 나타내고, ω_c 는 절대 좌표계에서 본 이동 로봇의 각속도를 나타내고 있다. 그러므로 절대좌표계에서 이동 로봇의 운동 방정식은 식 4),5),6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{dx_c}{dt} = v_c \cos(\theta_c) \quad 4)$$

$$\frac{dy_c}{dt} = v_c \sin(\theta_c) \quad 5)$$

$$\frac{d\theta_c}{dt} = \omega_c \quad 6)$$

그리고, 선속도 (v_c)와 각속도 (ω_c)로부터 이동 로봇의 자세 (x_c, y_c, θ_c) 는 식2) ~ 식6)의 기구학적 모델을 이용하여 식 7),8),9)와 같이 운동 방정식의 시간에 대한 적분으로 구할 수 가 있다.

$$x_c = \int v_c \cos \theta_c dt \quad 7)$$

$$y_c = \int v_c \sin \theta_c dt \quad 8)$$

$$\theta_c = \int \omega_c dt \quad 9)$$

제3장. 이동 로봇 시스템 구성

3-1. 이동 로봇의 구조

본 논문에서 제작한 이동 로봇의 하드웨어를 중심으로 한 전체적인 시스템의 구조를 Fig.2에 Block Diagram으로 나타내었다.

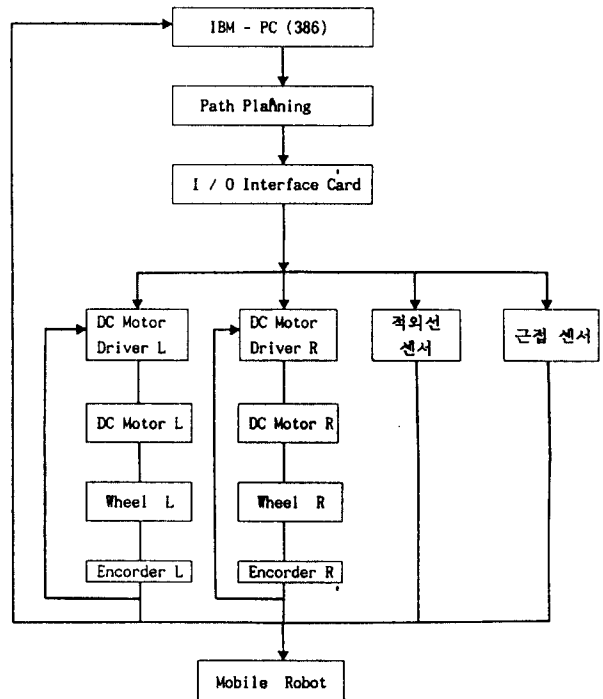


Fig.2 H/W Block diagram of mobile robot control system

로봇의 구성 요소는 상위 제어 시스템인 주 컴퓨터부 (IBM-PC386), 그리고 하위 제어 시스템인 로봇의 진행 방향과 속도를 제어하는 모터구동부와 장애물을 검출하여 충돌을 방지하는 적외선 센서, 또한 로봇의 경로 유도선을 검출하는 근접 센서의 센서부, 로봇에 동력을 공급하기 위한 전원부로 구성되어 있다.

대개 산업현장에서 실제 사용되는 컴퓨터는 16-32비트 마이크로 프로세서를 기본으로 하여 on-board 컴퓨터 구조로 설계되고 있으나 이러한 시스템은 하드웨어의 변경이 자유롭지 못하고 소프트웨어의 호환성이 없는 단점이 있으며 고가이다. 따라서 본 논문에서 사용하는 주컴퓨터는 시스템의 확장과 자유로운 프로그래밍을 고려하여 범용 PC(IBM386)를 채택하여 사용 하였다.

상위 제어 시스템인 주 제어 컴퓨터는 전체적인 시스템을 총괄하는 기능으로 주행 알고리즘과 장애물 충돌 회피 알고리즘을 수행하면서 로봇의 조향각과 속도 제어 신호를 발생한다. 또한 각종 신호로부터 입력되는 정보를 처리, 관리하며 시스템의 이상유무등 상태를 점검하거나 감시하는 기능을 수행한다.

평탄한 지면에서 무인 반송용으로 쓰이고 있는 하위 제어 시스템인 이동 로봇의 조향 방식으로는 전륜구동 조향방식(Front Wheel Steering), 전후륜 독립구동 조향방식(Twin Wheel Steering), 좌우륜 독립구동 조향방식(Power Wheel Steering)등이 사용되고 있는데, 본 연구에서는 전후방 좌우에 2개씩 자유회전을 할 수 있는 보조바퀴를 장착하고 중간에 로봇을 이동 시키는 2개의 구동바퀴를 DC 서보모터와 연결한 좌우륜 독립구동 조향방식(PWS)을 채택 하였다. 따라서 상위 제어 시스템에서 내려오는 로봇의 속도와 조향각을 2개의 서보모터 속도로 바꾸어 모터를 정방향 또는 역방향으로 구동시켜 두 구동바퀴의 회전수에 의해 로봇의 진행 방향과 속도를 정밀하게 제어할 수 있도록 하였다.

그리고 적외선 센서는 전방에 나타난 장애물을 검출하는데 일정거리 이내에 장애물이 감지되면 로봇을 서행 주행 시킨 후 정지시킬수 있도록 인터럽트 신호를 보내고, 근접센서는 로봇의 경로 유도선을 검출 하면서 이동 로봇의 경로선 이탈을 방지 하였다. 또한, 로봇의 전후 좌우에 장착된 보조 바퀴는 볼 캐스터를 사용하여 주행시에 주행면과의 마찰을 무시하고 자유로이 회전할 수 있도록 설계 하였다. 그리고 유도선으로는 반사가 쉬운 얇은 테이프를 10 Cm 넓이로 설치 하였다.

다음의 Fig.3과 Table.1은 이동 로봇의 구조와 제원을 나타내고 있다.

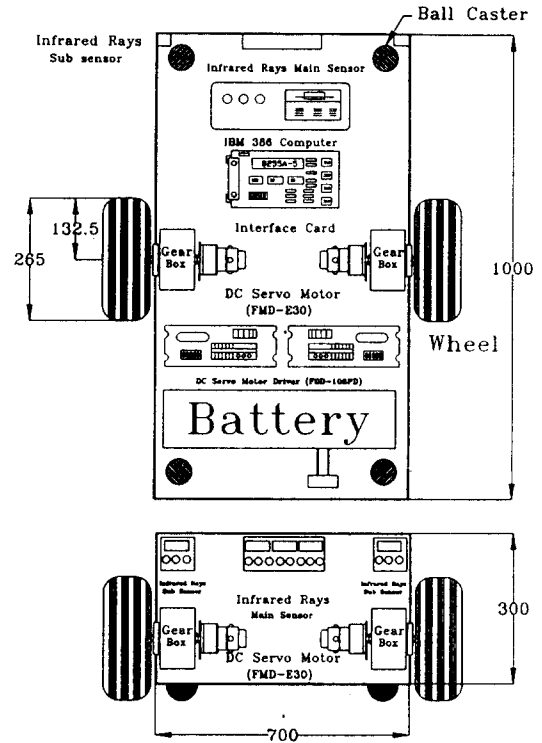


Fig.3 Architecture of the mobile robot

Table.1 Specification of the mobile robot

항 목	제 원
이동 로봇트 중량	70 Kg
이동 로봇트 크기	700 × 1000 × 300 mm
구동 MOTOR	DC SERVO MOTOR(FMD-30EA)
구동 축수	2축
구동 방식	속도차 구동 방식
분해능	1000 P/R
C P U	i80386 - 33MHz
장애물 검출 센서	적외선 센서(PX-2)
유도선 방식	광학식
유도선 검출 센서	근접센서
정지 정도	± 50mm
주행 속도	5Km/h

3-1-1. 구동부

본 이동 로봇트에 사용된 구동원으로는 정격출력이 300W인 금성사의 FMD-30EA DC 서보모터를 사용 하였다. 이동 로봇트에 사용된 바퀴의 반경은 0.1325m 이고 모터속도를 감속하고 토크를 증가 시키기 위하여 감속기어의 감속비는 1:30 으로 하여 구동 모터와 기어 박스를 연결하여 제작 하였다.

그리고 서보모터의 정격회전수가 3000 rpm 이므로 이동 로봇의 속도는 다음과 나타낼 수 있다.

$$3000 \text{ (r/m)} \times 2\pi \times 0.1325 \text{ (m)} \div 30 \div 60 \text{ (s/m)} = 1.38 \text{ (m/sec)}$$

그러므로 로봇은 무부하시 시속 약 5 Km/h 로 주행을 하게 된다.

3-1-2. 센서부

본 무인반송용 이동 로봇에서 사용하는 장애물 검출 센서로는 SUNX사의 PX-2 시리즈 적외선 센서를 장착하여 사용 하였다.

본 실험에서 사용한 적외선 센서의 배치는 로봇의 중앙 앞면에 1개의 메인센서를 부착하고 좌·우의 측면에 1개씩의 보조센서를 부착한 시스템을 구성하여 장애물을 검출 하도록 하였다. 메인센서의 최대 측정 거리 (r_{max}) 는 약 5m이고 보조센서의 최대 측정 거리 (r_{max})는 약 0.7m이다. 보조센서는 컨벡터를 이용하여 메인센서와 접속하였다. 센서의 검출영역 선택은 메인센서의 검출영역 전환 스위치로써 선택할 수 가 있다. 그리고 로봇이 궤도를 추적하여 주행하는 도중 장애물로부터 일정거리에 접근하면 주컴퓨터에 인터럽트 신호를 보내 PC상의 메인 프로그램에서 인터럽트 서비스 루틴을 구동하여 모터 구동장치를 중지시켜 운동을 멈추게 한다.

또한, 이동 로봇의 유도선 이탈을 방지하기 위하여 금성사 제품의 ZVF-S40-20DPO 근접센서를 사용 하였다. 근접센서는 로봇의 정면에 3개를 설치 하였다.

그리고 위치 및 속도결정 제어 시스템에 타코제너레이터 (Tachogenerator)가 광범위하게 사용되고 있는데 본 시스템에서는 고가인 타코제너레이터를 사용하지 않고 인크리멘탈 엔코더를 이용하여 이 출력을 F/V 변환기 (Frequency - Voltage Converter)로 변환해서 속도 정보를 검출 하였다. 즉, 모터축의 회전량을 펄스의 수로 변환하여 출력을 한다. 본 시스템에 사용된 엔코더는 1000 P/R의 것을 사용하였고 출력 펄스를 4채배하여 4000 P/R의 정밀도를 가지게 된다.

3-1-3. 전원부

이동 로봇이 장시간 자율주행을 하기 위해서는 자체 내에 로봇의 기본 요건인 전원을 가지고 있어서 필요한 부분에 자유롭게 전원을 공급할 수 있어야 한다. 본 실험에서 사용한 로봇은 구동앰프 전원으로 DC +24V가 필요하고 컴퓨터부에는 DC +12V와 DC +5V가 사용된다. 따라서 12V 60AH의 축전지 2개를 직렬로 연결하여 DC +24V의 전원을 각 부분에 공급하고 DC-DC Inverter를 사용하여 전압을 100V로 상승시켜 DC 서보모터를 구동 시킨다.

3-2. 제어 시스템

이동 로봇의 제어는 두 구동 바퀴의 속도 제어와 위치 제어로 나누어 진다. 로봇 바퀴의 속도 제어는 로봇에 탑재된 IBM-PC에 의하여 제어 프로그램에서 발생된 로봇의 속도 제어 명령을 받아 전압제어 발전기(VCO)에서 각각의 바퀴의 속도를 제어하고 위치 제어는 현재 위치를 엔코더의 정보로부터 얻어내어 위치를 제어 한다. PC 부에서 내려오는 속도 지령값은 디지털값으로 전해지므로 D/A컨버터를 통하여 전압값으로 바꾸어진 전압은 VCO를 통하여 서보 드라이버에 속도지령으로 변환 된다. 본 시스템에서는 VCO MC14046B를 사용하였다.

본 제어 시스템은 매크로 어셈블러 언어를 사용하여 운영 프로그램을 작성 하였고 이 운영 프로그램이 IBM-PC 와 I/O 인터페이스 카드를 통하여 서보 드라이버, 서보모터, 적외선 센서등을 컨트롤 하도록 구성 하였다. 본 논문에서 사용된 서보 드라이버는 금성사의 FDD-106PD로서 위치, 속도 동시 제어용으로 설계되었으며 PWM주파수는 15KHz이다. 그리고 최대 지령 입력은 400KPPS이며 위치 결정도는 ± 1 Pulse 이다. 또한, 비상정지기능, 과속도, 과전류, 과부하등의 이상 상태 검출 기능들을 가지고 있다.

3-2-1. 제어 알고리즘

다음의 Fig.4에 이동 로봇의 전체적인 알고리즘을 나타내었다.

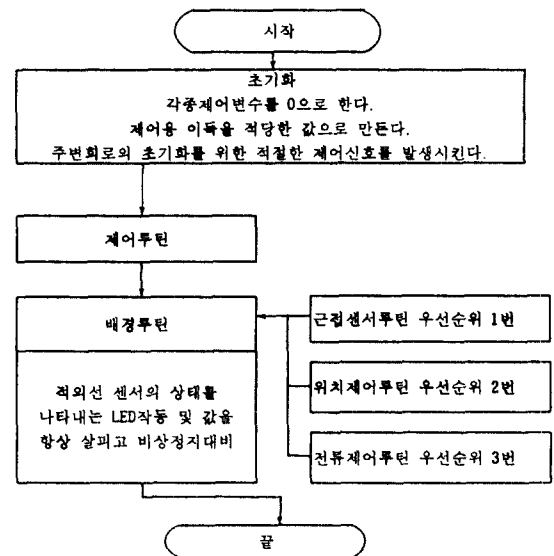


Fig.4 Flow chart of control algorithm

제4장. 실험 및 결과

4-1. 실험장치 구성 및 경로추종 정도실험

실제로 설계, 제작한 이동 로봇의 주행성능과 유효성을 알아보기 위하여 로봇의 경로 추종의 정밀도를 측정하

여야 한다. 따라서 본 실험에서 사용한 로봇은 하드웨어의 구조상 반사테이프를 이용한 광학식의 유도방식을 채택하고, 두 구동 바퀴의 회전수를 정밀하게 제어하는 시스템이므로 평탄한 바닥에 유도선인 반사테이프를 부착하고 로봇의 경로 추종 정도를 측정한다.

따라서 바닥이 평탄하고 넓은 공간에 미리 주어진 절대좌표계에서의 반사테이프의 구간별 좌표값 (x_g, y_g, θ_g) 에 대한 로봇의 유도선 경로 추정 정도 오차 실험을 하였다. 추정정도 오차 실험은 로봇의 직선 주행시, 우회전시, 좌회전시일때 실시 하였는데, 로봇에 여러가지 동작 속도를 부여하여 목표로 하는 정밀도 이상의 오차값을 가질때의 동작속도보다 낮은 속도로 이동 속도를 점차적으로 증가 시키면서 각 주행 형태별로 각각 10회씩 반복 주행을 하게 하였다.

다음의 Fig.5), 6), 7)은 절대좌표계에서 로봇의 출발지점인 ① 점과 목표지점인 ⑤ 점 사이의 유도선 경로 좌표를 나타내고 있고, Table.2, 3, 4 는 각 경로 구간들의 절대좌표계에 대한 좌표값을 나타내고 있다.

Table.2 Coordinates value of guidance-line in straight traveling

(단위: Cm)

구간번호	구간종류	x_g	y_g	θ_g
①	직선	200	100	28°
②	직선	200	200	43°
③	직선	200	300	57°
④	직선	200	400	64°
⑤	직선	200	500	68°

Table.3 Coordinates value of guidance-line in clock wise traveling

(단위: Cm)

구간번호	구간종류	x_g	y_g	θ_g
①	직선	200	125	33°
②	원호	214	250	48°
③	원호	280	360	50°
④	원호	375	450	49°
⑤	원호	500	500	45°

Table.4 Coordinates value of guidance-line in counter clock wise traveling

(단위: Cm)

구간번호	구간종류	x_g	y_g	θ_g
①	직선	400	125	17°
②	원호	370	250	33°
③	원호	300	360	49°
④	원호	210	450	64°
⑤	원호	100	500	78°

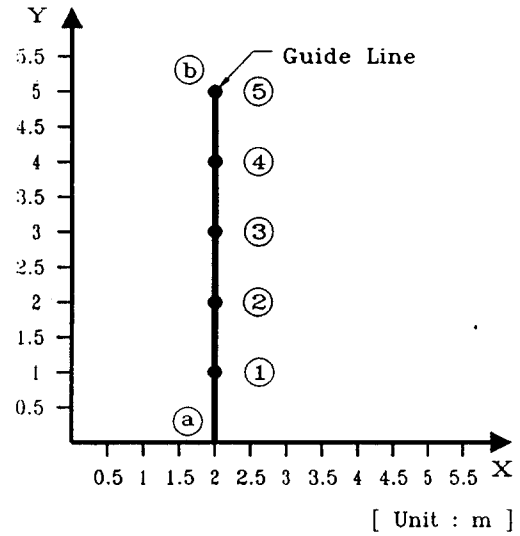


Fig.5 Coordinates system of straight guidance-line

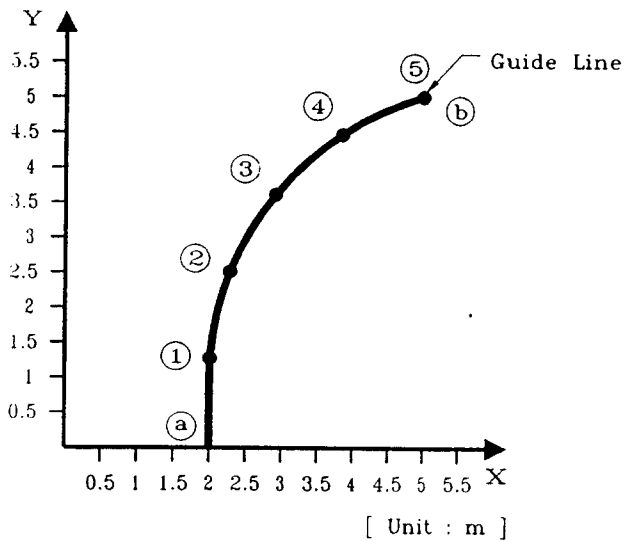


Fig.6 Coordinates system of clockwise guidance-line

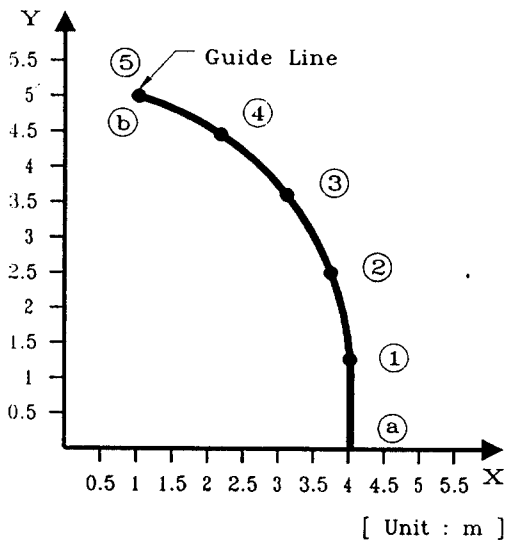


Fig.7 Coordinates system of counterclockwise guidance-line

4-2. 실험결과 및 고찰

본 무인 반송용 이동 로봇 시스템은 컴퓨터 제어부와 서보 모터 구동부 및 기계구동부로 나눌 수 있다. 이들 시스템 전체에 대한 성능은 각 부분에 대한 연관 기능 실험을 통하여 알아볼 수가 있는데, 본 논문에서는 하드웨어적인 구조상 유도선인 반사테이프를 추적하는 방식이므로, 로봇의 경로선 추적 위치결정 정도 실험을 통하여 이동 로봇의 성능을 알 수가 있었다. Table.5 와 Table.6 , Table.7 은 로봇에 각각 0.05m/sec, 0.1m/sec, 0.2m/sec 의 이동 속도를 부여하고 각각 10회씩 직선 주행, 그리고 좌·우 회전주행을 반복시켜서 얻어진, 각 구간에서의 로봇의 중심점 위치와 방향각 x_c, y_c, θ_c 의 평균값을 나타 내었다. 또한, 실험결과와 분석을 용이하게 하기 위하여 Fig.8, 9, 10에 Table.5, Table.6 , Table.7의 값을 그래프로 나타 내었다.

Table.5 Coordinates value of Robot in straight traveling

(단위: Cm)

구간	속도 변위	0.05m/sec			0.1m/sec			0.2m/sec		
		x_c	y_c	θ_c	x_c	y_c	θ_c	x_c	y_c	θ_c
①		196	100	88°	197	100	91°	197	100	94°
②		194	200	90°	194	200	91°	195	200	89°
③		198	300	88°	193	300	90°	192	300	91°
④		202	400	87°	195	400	90°	201	400	83°
⑤		205	500	87°	198	500	88°	204	500	89°

Table.6 Coordinates value of Robot in clockwise traveling

(단위: Cm)

구간	속도 변위	0.05m/sec			0.1m/sec			0.2m/sec		
		x_c	y_c	θ_c	x_c	y_c	θ_c	x_c	y_c	θ_c
①		198	125	91°	203	125	89°	203	125	90°
②		210	250	84°	210	250	88°	206	250	87°
③		276	360	60°	272	360	60°	269	360	60°
④		370	450	43°	367	450	41°	365	450	42°
⑤		500	507	27°	500	511	27°	500	519	28°

Table.7 Coordinates value of Robot in counterclockwise traveling

(단위: Cm)

구간	속도 변위	0.05m/sec			0.1m/sec			0.2m/sec		
		x_c	y_c	θ_c	x_c	y_c	θ_c	x_c	y_c	θ_c
①		397	125	91°	398	125	91°	397	125	91°
②		368	250	104°	369	250	104°	371	250	100°
③		308	360	119°	310	360	117°	314	360	119°
④		215	450	135°	217	450	139°	217	450	135°
⑤		100	509	152°	100	512	152°	100	518	150°

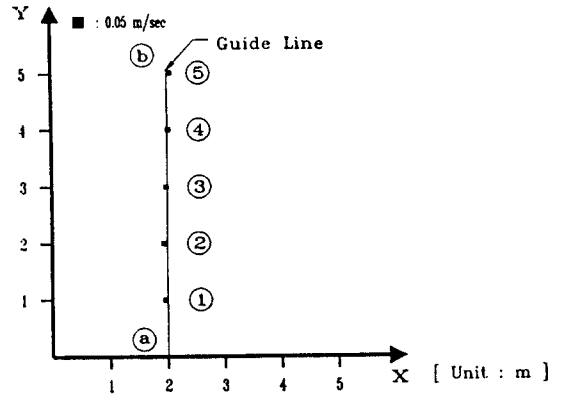


Fig.8 (a) Graph of straight traveling (case of Velocity 0.05m/s)

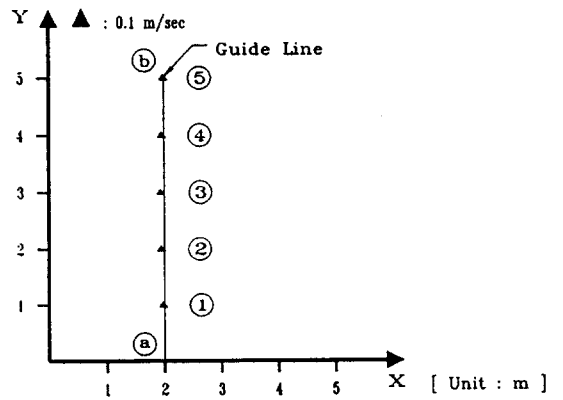


Fig.8 (b) Graph of straight traveling (case of Velocity 0.1m/s)

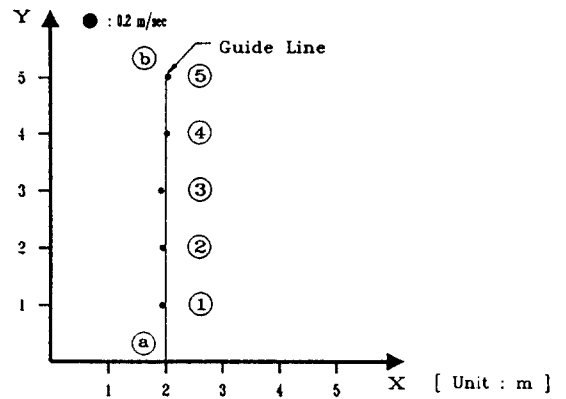


Fig.8 (c) Graph of straight traveling (case of Velocity 0.2m/s)

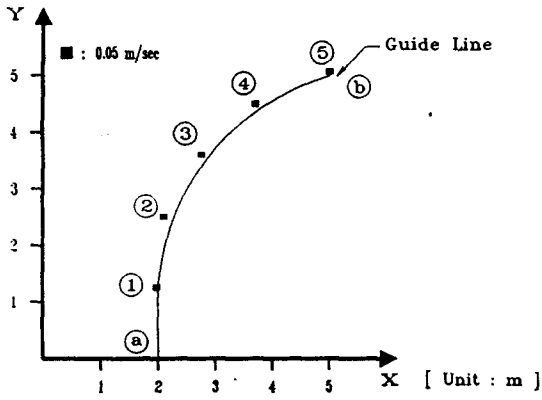


Fig.9 (a) Graph of clockwise traveling
(case of Velocity 0.05m/s)

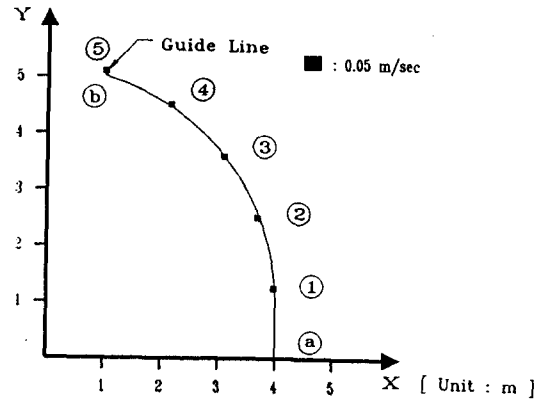


Fig.10 (a) Graph of counterclockwise traveling
(case of Velocity 0.05m/s)

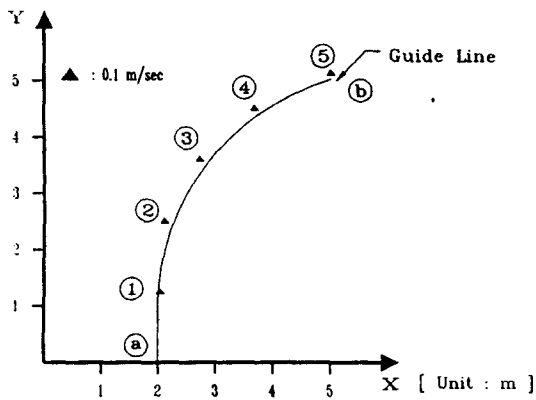


Fig.9 (b) Graph of clockwise traveling
(case of Velocity 0.1m/s)

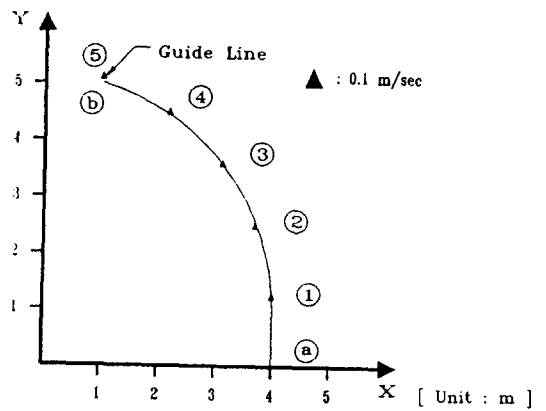


Fig.10 (b) Graph of counterclockwise traveling
(case of Velocity 0.1m/s)

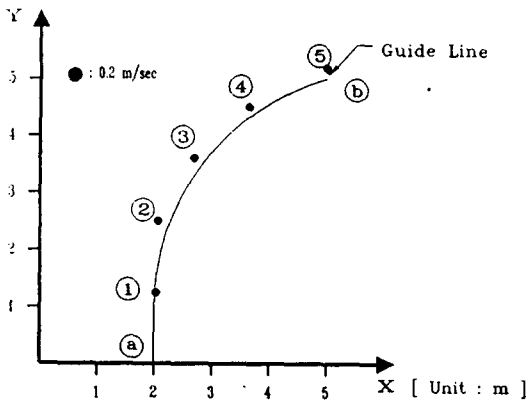


Fig.9 (c) Graph of clockwise traveling
(case of Velocity 0.2m/s)

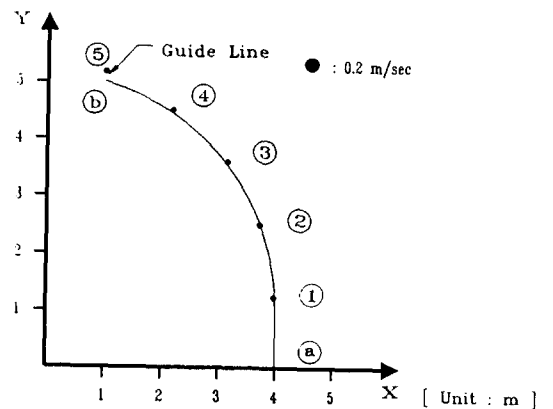


Fig.10 (c) Graph of counterclockwise traveling
(case of Velocity 0.2m/s)

REFERENCES

본 무인 반송용 이동 로봇 시스템의 주행 성능 실험 결과 0.05m/sec로 저속 주행을 시켰을 때와 직선 주행을 시켰을 때는 오차가 6 Cm 이내로 크게 발생하지 않았지만 원호 운동시와 속도를 0.2m/sec로 증가 시켰을 때는 로봇의 위치 결정 정도 오차가 유도선에서 최대 20 Cm 가까이 많이 나타났고, 다시 원래의 경로선으로 복귀 하는데 어려움이 있었다.

본 실험의 결과 이동 로봇의 유도선 추종 주행시 다음과 같은 원인들로 인하여 오차가 발생 하였다. 로봇의 주행시에 기계적인 오차와 전기적인 오차가 발생 하였는데, 기계적인 오차로는 주행시 발생하는 바퀴의 미끄러짐과 같은 오차이다. 이는 바닥의 상태 및 구동바퀴의 재질, 볼 캐스터와 바닥과의 마찰, 그리고 바퀴의 기계적 불균형 및 구동바퀴의 독립식의 가감속 속도제어에 따른 오차라고 볼 수가 있다. 전기적인 오차로는 모터엔코더의 엔코딩 오차와 제어용 케이블에 대한 노이즈 침입등이 있었다.

또한, 본 실험에서는 비록 미리 주어진 경로에 대한 로봇의 위치추종 정도 오차가 적게 나타 났으나 Table.5, Table.6, Table.7 에서와 같이 주행 거리가 길고 원호 운동시, 특히 속도가 빨라지면 센서의 데이터 합성등 연산속도의 한계로 인하여 오차가 크게 나타나는 경향이 있었다.

이러한 원인들로 인하여 무인 반송용 이동 로봇의 정밀도를 크게 저하 시켰다.

제5장. 결 론

본 논문에서는 무인 반송용 이동 로봇을 설계, 제작 하였으며 IBM-PC와 인터페이스 회로를 사용하고, 아날로그 PI 제어를 이용하여 이동 로봇의 주행에 대한 연구를 수행 하였으며 결과는 다음과 같다.

1. 무인 반송용 이동 로봇을 0.05 m/sec 의 이동속도로 직선 주행을 시켰을때 이동 로봇의 중심점 위치의 유도선 추종 정밀도 오차는 목표지점인 ㉑ 번째 구간 ㉒ 점에서 최대 6 Cm 의 오차가 발생하였고, 0.2 m/sec 로 이동속도로 높여 회전 주행을 시켰을때는 최대 20 Cm 의 오차가 나타났다.
2. 무인 반송용 이동 로봇의 특성 실험을 통하여 설계 제작한 이동 로봇과 PC를 이용한 제어프로그램, 인터페이스 회로의 설계 및 제어계 구성의 유효성을 입증하였다.
3. 본 무인 반송용 이동 로봇의 장애물 인식이나 경로추종에 비전 시스템등을 적용할 경우 유연 생산시스템 및 각 산업체의 공장자동화에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

1. R.A. Bohlander, "Understanding AGVS today" AGVS '86 Seminar, Material Handling Research Center, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Oct.1986.
2. B.Boldrin, "Application and procurement of automatic guided vehicle system", Robotics Engineering, Feb. pp.10~14, 1986.
3. Groover M. P., "Automation, Production Systems & Computer Integrated Manufacturing." Prentice Hall International, 1987.
4. Robert E. Young, "Software Control Strategies For Use in Implementing Flexible Manufacturing Systems" Industrial Engineering, 1981.
5. T.Tsumura et al, "An experimental system for automatic guidance of roboted vehicle, following the route stored in memory", in Proc. 11th Int. Symp. Industrial Robots, pp.187-193, Oct. 1981
6. W.L.Nelson and I.J.Cox, "Local path control for an autonomous vehicle," in Proc.IEEE Int. Conf. Robotics Automat., April 1988. pp. 1504~1510.
7. T.Tsumura, "A system for Measuring current Position and Heading of Vehicle", Bull. JSME, Vol.25, No.203, 1982.
8. P.Hart, N.J.Nilson, B.Raphael, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths" IEEE Trans. Sys. Sci. Cyber, SSC-4(2): pp.100~107, 1968.
9. M.Tajima, "Computer controlled wire guided vehicle in FMS", Proc. 1st Int. Conf. on AGVS, pp.1~10, 1981.
10. M.H.E. Larcombe, "Stability of wire and Line guided vehicles", Proc. 1st Int. Conf. on AGVS, pp.137~144, 1981.
11. A. Gallet, "Optical automatic guidance system of a mobile robot for industrial manufacturing", Proc. 1st Int. Conf. on AGVS, pp.79~88, 1981.
12. T. Miura, et al, "Automated guided vehicle using magnetic marker", Proc. 3rd Int. Conf. on AGVS, pp.181~188, 1985.
13. K.C. Drake, et al, "Sensing error for a mobile robot using line navigation", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-7(4), pp.485~490, 1985.