

# 온실용 간이 자율주행 작업차의 개발<sup>+</sup>

## Development of a Simple Autonomous Vehicle for Greenhouse Works

이 재 환\* 류 관 회\*

정희원

J. H. Lee, K. H. Ryu

### ABSTRACT

This study was conducted to develop a simple battery-powered autonomous vehicle for greenhouse works. A steering method using speed difference of two independent driving motors was adopted. DC motor driving circuit, speed control circuit and controller using one-chip microcomputer were constructed.

The inputs of controller are rolling of the vehicle and current speed of driving motors. Using these signals, automatic guidance system along furrow was developed. A computer simulation program by the kinematic analysis was developed to find out optimal control algorithm.

The results of this study are as follows.

1. Automatic guidance system along the furrow that adopted two independent driving motors and rolling of vehicle was developed.
2. The results of simulation showed that PID control was adequate to automatic guidance system along furrow.
3. Two commercial 12V battery serially connected were able to drive the vehicle on the soil ground for five hours in continuous operation and for four hours in intermittent operation without recharging the battery.
4. The speed range was 0~0.7m/s and the rolling of vehicle could be controlled within  $\pm 5^\circ$  range.
5. From a series of tests, developed vehicle was found to be a useful tool for greenhouse works.

**주요 용어(Key Words)** : 자율주행 시스템(Automatic Guidance System), 원-칩 마이크로컴퓨터(One-chip Microcomputer), 속도 제어(Speed Control)

### 1. 서론

수도작의 경우와 달리 전작이나 시설 재배의 경우에는 농작업의 기계화율이 매우 낮고, 시설 재배는 그 특성상 수확 기간이 일정하게 정해져 있는 것이 아니라 재배 기간내에 연속적으로 수확작업이 이루어지며, 주요 작목인 채소의 경우

에는 수분이 많고 곡물에 비해 단위 면적당 수확물의 중량이 훨씬 크기 때문에 수확물의 운반 또한 농작업에서 큰 부분을 차지하게 된다. 최근 들어 온실의 관리 작업 및 수확 작업의 편의를 도모하기 위한 작업차가 외국에서 수입되어 시판되고 있으며, 국산의 경우에는 레일 위를 자율주행하면서 운반 작업과 방제 작업을 수행하는

<sup>+</sup>본 연구는 농촌진흥청의 1995년도 농업특정과제 연구비 지원으로 수행되었음.

\* 서울대학교 農業生命科學大學 農工學科

작업차가 개발되어 시판중에 있다. 그러나 레일 위를 주행하는 작업차의 경우에는 레일을 따로 설치해야 하는 부담이 생기며, 레일이 없는 경우에는 작업자가 농작업 뿐만 아니라 차량의 운전까지 신경을 써야 하므로 작업의 능률이 떨어지게 된다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로 자율주행이 제시되고 있다. 농작업차에 자율주행을 도입함으로써 작업자는 농작업에만 전념할 수 있게 되어 작업 능률이 향상되며, 운반 작업의 경우에는 수확물의 적재 및 하역에만 노력이 필요하므로 노동력을 절감할 수 있게 된다. 또한 시설원에 산업의 발전 방향이 파종, 이식 작업에서 수확, 출하까지의 전 작업이 공장생산 체제로 이루어지는 식물공장임을 감안할 때, 시설내 환경 제어 뿐만 아니라 농작업의 자동화에 관련된 연구도 병행되어야 하며 농작업의 자동화에 필수적인 자율주행 기술은 앞으로 시설원에 산업이 발전할수록 그 중요성이 더욱 커지리라 판단된다.

본 연구는 온실에 적합한 자율주행 차량을 개발하기 위한 것이며, 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 주행성과 경제성을 고려하여 차량의 조향 방식을 결정하고, 모터 구동 회로 및 속도 제어 회로를 구성한다.
2. 주행 상태 감지 센서의 출력 신호와 설정 속도를 입력으로 하고 구동 모터로의 제어 신호를 출력 신호로 하여 자율주행을 수행하는 제어 알고리즘 및 시스템을 구성한다.
3. 위 내용에 의해 자율주행 차량을 제작하고 주행 시험을 수행하여 실용성을 검증한다.

## 2. 문헌개요

외국의 경우 트랙터의 자율주행에 관한 연구가 활발히 진행중에 있으며, 온실용 운반차의 자율주행에 관련된 논문도 수 편 발표된 바 있다. 국내의 경우에는 트랙터 및 콤바인의 자율주행에 관련된 논문이 발표된 바 있으나 온실용 작

업차의 경우에는 전무한 실정이다.

민(1993) 등은 트랙터의 3지점에 가속도계를 부착하고, 트랙터의 상대적인 위치 검출에 관한 연구를 수행한 바 있으며, Yodeke(1993) 등은 Geo-magnetic 센서 및 광학 센서를 이용하여 트랙터의 진행 방향 및 절대 위치를 감지하고 Machine-vision을 이용하여 기경운과 미경운을 구별하여 트랙터 경운 작업의 무인화에 관한 연구를 수행한 바 있다.

Kurata(1993) 등은 초음파 센서에 의해 차량과 작업로 경계와의 거리를 검출하고 이 신호를 이용하여 퍼지 제어를 수행함으로써 온실용 자율주행 차량을 개발한 바 있다. 최(1990) 등은 상용화된 위치 계측 시스템을 이용하여 트랙터의 자율주행 시스템을 개발한 바 있다.

## 3. 재료 및 방법

### 가. 자율주행 방식

차량은 고랑을 따라 주행해야 하기 때문에, 우선 고랑을 감지할 수 있는 방법과 감지된 고랑을 따라 자율주행할 수 있는 조향 방법을 결정하는 것이 중요하다.

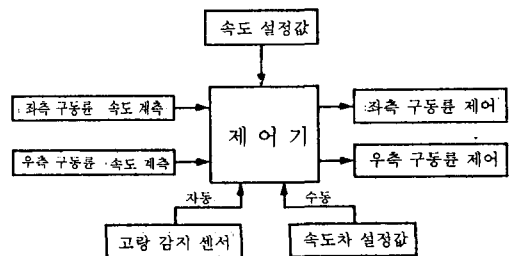


Fig. 1 Schematic diagram of automatic guidance system.

그림 1은 본 연구에서 개발된 자율주행 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 좌우 구동 차륜을 독립적으로 구동하고 이들의 속도차를 이용하여 차량의 전진 방향을 조절하는 조향 방식을 채택하였으며, 이러한 방식은 별도의 조향 모터에 의

한 조향에 비하여 속도 제어만을 필요로 하기 때문에 모터 선정에 있어서 모터의 제어 특성에 의한 제약이 적고 가격도 저렴하며 회전 반경 또한 작다는 장점이 있다. 모터의 속도 제어는 로터리 엔코더의 피드백 신호에 의해 수행되었다. 고랑은 차체의 기울어짐 정도를 감지할 수 있는 센서를 부착하여 이 센서의 출력 신호에 의해 차량이 고랑을 벗어나는지의 여부를 판단할 수 있도록 하였다.

자율주행이 구현되는 원리는 차량의 진행 방향이 전진 방향을 기준으로 할 때 고랑의 우측으로 치우친다면, 고랑 감지 센서가 이를 감지하여 우측 차륜의 속도를 높이고 좌측 차륜의 속도를 낮추어 차량의 진행 방향을 좌측으로 바꾸어 줌으로써 결과적으로 고랑을 따라 주행하게 되는 것이다. 차량의 주행 모드는 자동 모드와 수동 모드, 두 가지로 설정할 수 있도록 하였다. 자동 모드는 고랑 감지 센서에 의하여 좌우 구동륜의 속도차를 제어하는 방식이고, 수동 모드는 작업자가 원하는 진행 방향을 입력하면 이 값에 의하여 좌우 구동륜을 제어하는 방식이다.

나. 고랑 자율주행 예측 시뮬레이션

고랑 자율주행에 알맞은 제어 방법 및 알고리즘을 개발하기 위해, 차량의 주행 상황을 기구학적인 분석을 통해 예측할 수 있는 시뮬레이션을 수행하였다. 그러나 기구학적인 모델링만을 수행하기 때문에 차량의 가반 중량이나 노면 경사 등에 의한 영향은 분석이 불가능하며, 결과 또한 정량적이라기 보다는 전체적인 경향을 나타내는 정도이다.

시뮬레이션 과정은 고랑의 형상을 모델링한 후, 수식화된 고랑 위에서 차량의 운동을 기구학적으로 분석함으로써 이루어진다. 그림 2와 그림 3에는 모델링된 고랑의 형상과 시뮬레이션에 사용된 차량의 좌표계를 각각 나타내었다.

시뮬레이션은 모델링된 수식을 기초로 컴퓨터 프로그램에 의하여 수행되었으며, 표 1에 시뮬

레이션 프로그램의 입출력 변수들을 나타내었다.

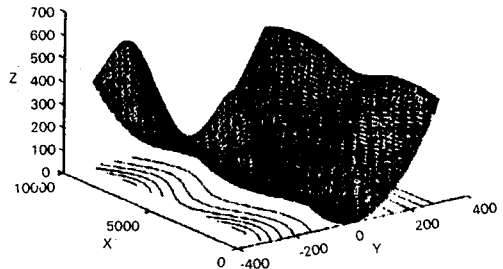


Fig. 2. modeling of furrow shape(unit : mm).

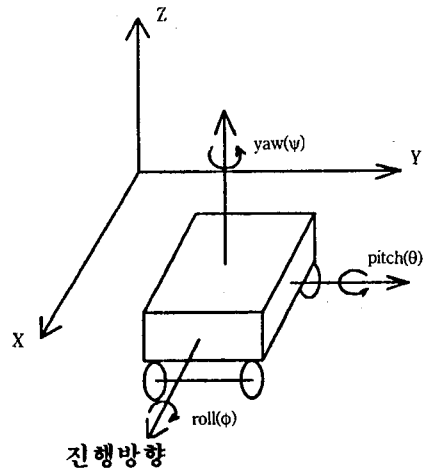


Fig. 3. Coordinate system.

Table 3.1. Input and Output variables used in the simulation program

입 력		출 력
차량 관련	윤거,축거, 주행속도,	각 차륜의 위치, roll, pitch, yaw
고랑 관련	경사도,수평 굴곡 정도, 수직 굴곡 정도	
제어 관련	제어 주기, 제어 알고리즘	

다. 주행 장치

구동부는 소요 동력을 고려하여 50W Geared DC 모터 2개를 구동륜에 각각 장착하는 방식으로 하였다. 선정된 모터의 주요 명세를 표 2에 나타내었다.

자율주행 차량은 배터리를 탑재하기 때문에, 모터의 소비전력은 구동 회로 설계시 주된 고려 사항 중의 하나이다. 따라서 본 연구에서는 PWM(Pulse Width Modulation) 방식에 의해 모터를 구동하여 소비전력의 절약을 도모하였으며, 전원 전압은 12V-15AH의 배터리를 직렬로 연결하여 24V로 사용하였다.

Table 3.2. Specifications of selected motor

항 목	명 세	항 목	명 세
모델명	WF125DC	권선 저항	3.5Ω
입력 전압	13.5V(DC)	토크 상수	0.727(저속)
정격 부하	4 N·m	무부하 전류	0.5 A(저속)
정격 속도	40 rpm	제 조 회사	만도 기계(주)

보통 제어기로부터 출력되는 전류는 수십mA 정도로 이 신호를 이용하여 모터를 원하는 속도로 회전할 수 있도록 하려면, 적절한 구동 회로가 필요하며, 그림 4는 본 연구에서 제작된 모터의 구동회로이다.

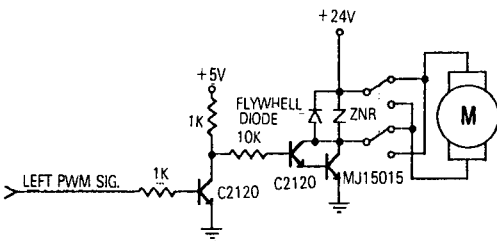


Fig. 4 Circuit diagram of the motor driving unit.

### 라. 제어 장치

모터의 속도는 인크리멘탈식 로터리 엔코더를 사용하였으며, 차량의 Roll방향 기울어짐 정도를 감지하는 센서는 스프링 진자에 마그네트와 자기 저항 소자를 조합하는 방식의 상용화된 경사 센서를 사용하였다.

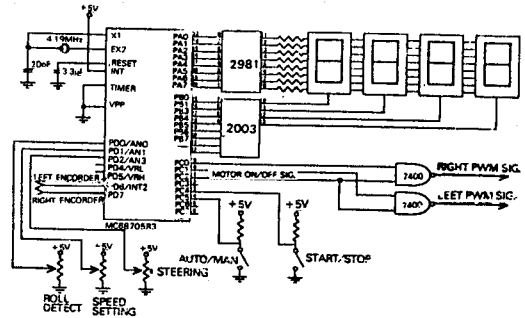


Fig. 5 Circuit diagram of the main controller unit.

전용 컨트롤러는 미국 MOTOROLA社의 원칩 마이크로 컴퓨터 MC68(7)05를 이용하여 개발하였으며, 그림 5에는 원칩 마이크로 컴퓨터를 이용한 컨트롤러의 회로도를 나타내었다.

컨트롤러의 키 입력부는 작동 모드의 자동/수동 변환키, 출발/정지 선택키로 구성하였으며, 제어 신호 출력부는 양 차륜의 개별적인 속도 제어를 위한 두 개의 출력 신호와 이 두 신호를 낸드 게이트(nand gate)에 의해 동시에 ON/OFF하는 제어 신호로 구성하였다. 속도 센서의 입력 신호는 직접 마이크로컴퓨터에 입력시켜 소프트웨어적으로 계수토록 하였으며, 속도 설정과 진행 방향 설정은 사용자의 편의를 고려해 가변 저항을 이용하여 A/D 채널로 입력시켰다. 또한 현재 차량의 주행 속도를 표시하기 위한 4개의 7 세그먼트 LED를 부착하였다.

모터의 속도 제어 방식은 비례 제어 방식으로, 차량의 자세 제어 방식은 비례-미분 제어 방식으로 채택하였으며, 이 알고리즘을 MC68(7)05 전용 어셈블리로 구현하였다.

### 마. 시작기

시작기를 제작하였으며, 대략적인 외형과 주요부의 치수를 그림 6에 나타내었다. 프레임의 재질은 스테인레스 스틸을 사용하였고, 전륜은 러그가 있는 공기 타이어를 사용하였으며, 후륜은 방향이 자유롭게 조절되는 캐스터를 사용하였다. 차체의 중량은 20kg이며, 여기에 배터리의

무게를 포함할 경우 32kg이다. 전륜에는 2개의 모터를 각각 직결하였고, 로터리 엔코더를 부착하여 모터의 회전속도를 측정할 수 있도록 하였다.

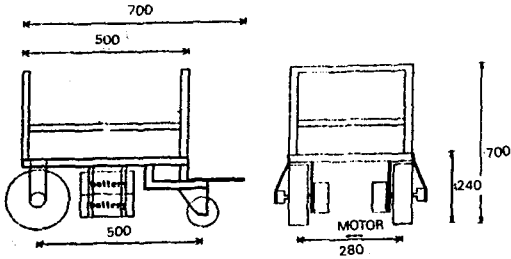


Fig. 6 Shape and dimensions of the cart developed.

#### 바. 성능 시험

제작된 차량의 주요한 성능을 측정하기 위한 실험을 수행하였다. 측정 항목은 차량 주행 시간과 속도 제어 성능 및 자세 제어 성능으로 하였다. 차량의 주행 시간 측정 실험 조건은 총 중량 100kg, 주행 속도 0.3 m/s, 노면 조건 평지, 비포장으로 하였다. 주행 시간의 측정은 연속 주행 시간과 간헐 주행 시간으로 나누어 각각 측정하였다. 간헐 주행 방식은 8초 동안 주행하고 2초 동안 정지하는 방식으로 수행하였다. 속도 제어 장치의 성능 실험은 차량의 하중을 변화시켜 가면서 하중의 증가에 따른 주행 속도의 변화를 측정하는 방식으로 수행하였다. 주행 속도의 측정은 콘크리트와 노지, 두 종류의 포장 조건 하에서 수행하였다.

직선 고랑에서 차량의 자세 제어 정도를 측정하기 위한 실험을 수행하였으며, 시험 조건은 총 중량 100kg, 주행 속도 0.3m/s로 하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

개발된 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 제어 알고리즘에 대한 차량의 주행상태를 시뮬레이션 하였다. 그림 7은 비례 제어 방식과 비례-미분 제어 방식간의 자세 제어 결과를 비교하여 나타

낸 것이다. 그림 7에서 보듯이 단순히 차량의 자세 기울어짐만을 가지고는 제어 성능이 좋지 못함을 알 수 있다. 그림 8은 비례 제어 상수를 0으로 하고, 미분 제어 상수만으로 제어 했을 경우이다.

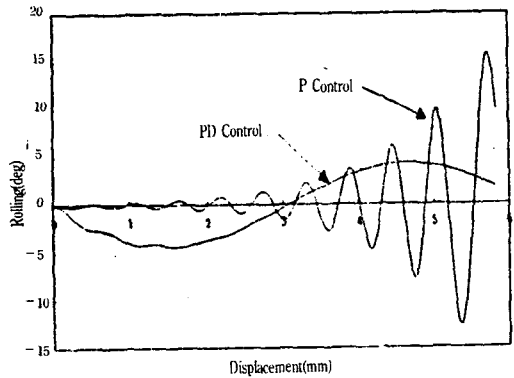


Fig. 7 Altitude control performance of P and PD controllers by simulation.

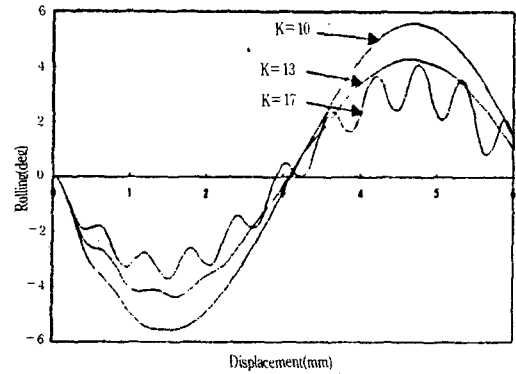


Fig. 8. Altitude control performance of the the PD controller with different values of  $K_d$  simulation.

그림에서 보듯이 미분 제어 상수가 작을 경우에는 양 차륜의 속도 차가 작기 때문에 고랑의 변화에 대한 응답이 느려서 전체적으로는 기울어짐이 커지는 경향을 보였다. 반대로 미분 제어 상수가 클 경우에는 양 차륜의 속도 차가 지나치게 커지므로 기울어짐 정도가 요동하는 경향을 나타내었다. 그림 9에는  $K_d$ 를 13으로 고정된 상태에서  $K_d$ 를 변화시켜가며 제어 했을 경우이다. 그림에서 비례 제어는 차량의 자세를 제어하는데 별다른 도움을 주지 못함을 알 수 있다. 그

러나 이러한 결과는 시뮬레이션에 사용된 고랑의 형상이 정현파이므로 차량 기울어짐 정도의 변화량이 일정하게 증감하기 때문이므로, 실제의 경우에는 비례 제어 또한 차량의 자세 제어 성능에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

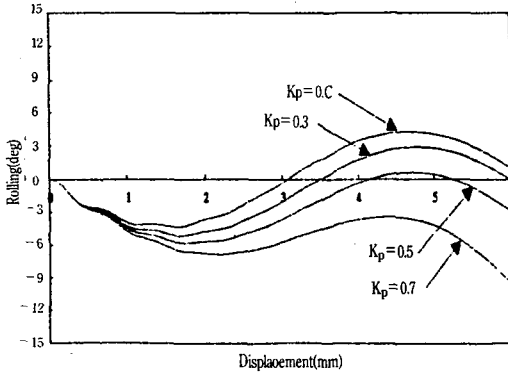


Fig. 9 Altitude control performance of the PD controller with different of  $k_p$  and constant  $k_a$  by simulation.

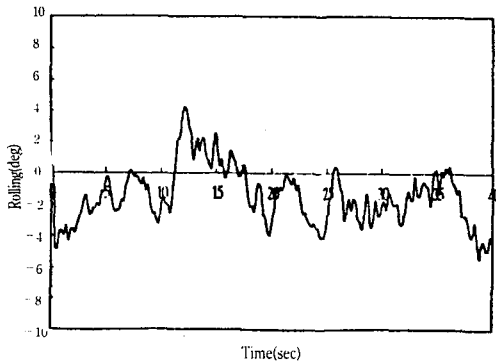


Fig. 10 Altitude control performance of the cart.

연속 주행과 간헐 주행에 대하여 주행 시간을 측정 한 결과 연속 주행시에는 5시간 동안 사용이 가능하였으며, 간헐 주행시에는 주행 시간(8초)과 정지 시간(2초)의 비율 4 : 1로 했을때 순 주행시간으로 4시간동안 사용 가능하였다.

콘크리트와 노지의 두 가지 노면 조건에 대하여 속도 제어 성능 실험을 수행하였다. 노면은 평지였으며, 구름 저항 계수는 콘크리트의 경우 0.02~0.05, 노지의 경우 0.05~0.14였다. 두 가지

노면 조건에서 동일하게 하중 변화에 관계 없이 0~0.7m/s의 범위에서 제어되었으며, 이는 선정된 모터의 출력 토크와 회전 속도가 적절하였음을 의미한다.

그림 10에 직선 고랑에서의 자세 제어 성능을 나타내었다. 그림에서 보듯이 자세 제어 정도  $\pm 5^\circ$  이내에서 제어가 가능함을 확인하였다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 온실에 적합한 자율주행 차량을 개발하기 위한 목적으로 수행되었으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 좌우 구동 차륜을 독립적으로 구동하여 수평 센서의 출력신호에 의해 고랑을 따라 자율적으로 주행하는 자율주행 시스템을 개발하였다.
2. 기구학적인 분석을 통하여 자세 제어 알고리즘과 고랑의 형상에 따른 자세 제어 성능을 시뮬레이션하였다.
3. 시작기를 제작하고 원칩 마이크로 컴퓨터에 의한 자율주행 콘트롤러 및 소프트웨어를 개발하였다.
4. 제작된 시작기의 성능 시험을 수행하였다. 차량의 사용 시간은 연속 주행시 5시간, 간헐 주행시 4시간이었으며, 속도 제어 성능은 0~0.7 m/s 범위에서 연속적으로 제어가 가능하였고, 자세 제어 성능은 직선 고랑에서  $\pm 5^\circ$  이내에서 제어가 가능함을 확인하였다.

## 6. 참고 문헌

1. Beckwith, T.G., R.D. Marangoni and J.H. Lienhard V. 1993. Mechanical measurements-5th ed. Addison-Wesley Publishing Company.
2. Choi, C.H., D.C. Erbach, R.J. Smith. 1990. Navigational tractor guidance system. Transaction of the ASAE 33(3) : 699-706.
3. Kuo, B.C. 1991. Automatic control systems-6th ed. Prentice-Hall.

4. Kurata, J. 1993. Automatic guidance of farm vehicles. IFAC Mathematical and control applications in agriculture and horticulture. 219~223.
5. Lin, C.F. 1994. Advanced control systems design. Prentice-Hall.
6. Yodeke, J. 1993. Development of the electric driven automatic guided vehicle for use in greenhouses and its travelling performance. IFAC Mathematical and control applications in agriculture and horticulture. 237-242.