

# 시설원예용 작업자 추종 운반로봇 개발

## Development of a Worker-Following Transport Vehicle for Greenhouse Use

권기영<sup>1\*</sup> · 정성립<sup>1</sup> · 손재룡<sup>1</sup> · 강창호<sup>1</sup> · 한길수<sup>1</sup> · 최홍기<sup>1</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 농업기계화연구소

G.Y. Kweon<sup>1\*</sup> · S.R. Jung<sup>1</sup> · J.R. Son<sup>1</sup> · C.H. Kang<sup>1</sup> · K.S. Han<sup>1</sup> · H.G. Choi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Agricultural Mechanization Research Institute, RDA, Suwon,  
441-100, Korea

### 서론

시설원예는 노동집약적이며 순자르기, 눈따기, 유인, 열매숙기, 수확 등 기계화하기 어려운 작업이 많다. 또 대부분의 작업체제에서 항상 운반작업이 이루어지고 있으며 시설 내 여러가지 작업단계 중 운반작업에 소모되는 노동력 비율이 매우 높다. 그리고 다량의 수확물을 바구니나 용기로 소량 운반하기 때문에 필연적으로 보행거리가 길어지고 규모의 확대에 따라 노동강도가 크게된다. 시설재배에 있어서 운반작업의 기계화에 의한 생력화는 시설원예의 노동 생산성을 향상시키고 작업자의 피로를 감소시키기 위한 극히 중요한 문제이다. 이러한 문제에 대처하기 위해서는 원예시설 내에서 차량의 운전이 신경 쓸 필요가 없이 작업자를 인식하여 따라가거나 고랑을 자율주행해서 이동할 수 있는 로봇형태의 운반차 개발이 요구된다.

따라서 본 연구는 온실 등에서 농산물의 수확작업이나 모종이식 작업시 수확물이나 재료 등을 싣고 운반하는 경우, 작업자와 일정 간격을 유지하면서 작업자를 추종하거나 앞서가면서 이동하는 운반용 로봇을 개발하기 위한 것이며, 그 구체적인 목적은 작업자 추종 운반로봇의 주행 시스템과 제어 시스템을 설계 제작하고 자율주행 및 작업자 추종을 위한 제어 알고리즘을 개발하여 제어성능을 평가하고 실제 온실에서의 주행시험을 통해 주행성능을 평가하는데 있다.

### 재료 및 방법

가. 시작기 설계제작

농작업자 추종 운반로봇의 주행시스템은 일반 차량의 조향 방법과 유사하게 후륜은 구동을 담당하고 전륜은 액츄에이터에 의해 조정되어 조향을 담당하도록 구성하였다.

후륜 구동부는 원활한 선회와 주행성 개선을 위해 차동장치를 사용하였으며, 주행속도를 제어하기 위하여 타코제네레이터가 부착된 서보모터를 사용하였다. 본 연구에서 로봇의 주행속도는 수확 및 운반작업에서 0.3m/s, 작업이 끝난 후의 이동속도를 0.8m/s로 간주하였다.

---

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

\*\* 경북대학교 농업기계공학과

전륜 조향부는 출력 25W, 축 속도 7.5rpm의 브레이크 부착형 기어드 모터(g geared motor)와 절대치 엔코더 그리고 직경 0.2m의 두 개의 바퀴 등에 의해 구성된다. 조향 모터는 지면에 대해 수직으로 세워져 차체 폭을 기준으로 중앙에 위치하고 있으며, 모터 축 끝단에 부착된 기어가 각각의 조향 바퀴의 축에 부착된 기어에 동력을 전달하여 모터축의 회전 방향과 반대로 조향륜이 회전하게 되어있다. 엔코더는 축 끝단에 피니언이 부착되어 조향모터 축에 부착된 동일한 크기의 기어와 1:1의 비율로 서로 맞물려 있어 현재의 중심축에서의 조향륜의 조향각도를 절대치 엔코더의 출력으로 바로 알 수 있게 구성되어 있다. 또 모터 축에 브레이크를 부착하여 전원이 오프 된 후의 관성력에 의한 회전을 막아 전륜의 정확한 위치를 설정하도록 하였다.

로봇의 구동이나 센서의 입력전원 등 제어부 전원공급원으로서 무보수 밀폐형 축전지를 사용하였는데, 차체의 크기와 사용시간 등을 고려하여 세방전지(주)의 12V, 24AH 용량을 가진 ES24-12를 선정하였으며, 24V의 모터 구동을 위해 2개의 배터리를 직렬로 연결하여 사용하였다.

차체의 크기는 온실 등에서의 고랑 폭과 수확물의 적재상자, 차동장치의 크기 등을 고려하여 400mm(W)×350mm(H)×900mm(L)으로 설계 제작하였으며, 그림 1과 표 1에 작업자 추종 운반차량의 측면도와 제원을 나타내었다.

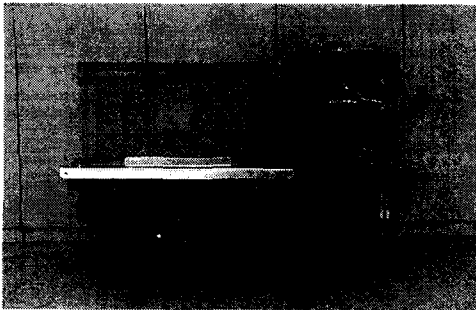


Fig. 1. Side view of the prototype vehicle

Table 1. Specifications of the prototype robot cart

Item(unit)	Specification	
Size(mm)	400(W)×350(H)×900(L)	
Longitudinal wheel separation(mm)	480	
Lateral rear wheel separation(mm)	305	
Drive part	Motor	DC 25V/220W/3000rpm
Differential gear	Reduction ratio 58/1	
Steering part	Motor	DC 24V/24W/7.5rpm
Payload(kg)	Max. 100	
Traveling speed(m/s)	0.3~0.8	
Battery	DC 12V/24AH× 2ea	

#### 나. 제어시스템 개발

운반용 로봇의 제어 시스템은 80C196KC 마이크로컨트롤러, D/A컨버터, 병렬 입출력 인터페이스 PPI 8255 등에 의해 구성된 메인보드와 배터리의 전원을 공급하거나 차단하는 릴레이와 퓨즈 등으로 구성된 파워보드, 서보 모터 제어용 드라이버, 24V의 배터리 전압을 LED 구동이나 릴레이구동을 위한 12V와 신호선을 위한 5V로 변화시켜 주는 DC-DC 컨버터, 각종모드를 설정하는 스위치 등으로 구성하였으며, 그림 2에 로봇의 제어시스템 구성 블록선도를 나타내었다.

본 제어시스템에서 모터 제어를 위한 D/A 컨버터 회로는 8비트의 전류 출력 방식인

DAC0800에 연산증폭기를 사용하여 전류를 전압으로 바꾸고, 디지털 입력 데이터를 래치하기 위해 74LS574를 접속하고 바이폴라 출력으로 구성하였으며, 그 출력 전압의 범위는 0x0에서 0xFF까지의 입력범위에 대하여 약 -10 ~ 10V가 된다. 그리고 그림 3과 같이 컨트롤러에서 속도지령이 서보앰프에 입력되면 속도지령 전압과 타코제네레이터의 속도정보 전압의 오차를 검출하고, 이 전압을 증폭해서 속도 지령과 실제의 회전 속도가 일치하도록 모터를 구동시키도록 구성하였다.

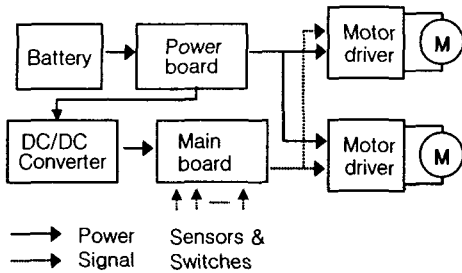


Fig. 2. Schematic of the worker-following vehicle control system

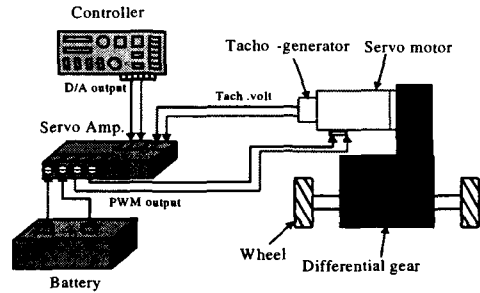


Fig. 3. Control schematic of the drive unit with a differential gear

농작업자 추종 운반로봇의 주행모드는 하우스 내에서 적외선 센서로 작업자나 작물을 감지하여 고랑을 자율주행하는 자동모드와 조이스틱 입력에 의해 동작하는 수동모드가 있다. 또 자동모드에서는 작업자가 뒤에 있고 로봇이 앞에 있어 작업자가 전진하면 일정거리를 두고 로봇이 앞서가는 선행모드, 작업자가 앞서가면 일정거리를 두고 로봇이 따라오는 추종모드가 있다. 그리고 추종모드에도 작업자를 따라 선회하는 선회추종모드가 있다.

선회추종모드는 그림 4와 같이 로봇의 전방에 각각 10°의 각도로 적외선 센서를 부착시켜 센서의 설정범위 안에서 작업자를 인식하여 작업자의 이동에 따라 선회주행이 가능한 모드이다. 선회추종시 조향 알고리즘은 그림 5와 같이 먼저, 센서의 상태를 읽어들이 필터링을 하여 어느 위치의 센서가 온 되었는지를 판단하고, 이동시켜야 할 조향각을 설정한다. 그리고 현재 조향륜의 조향각도를 알기 위해 절대치 엔코더의 값을 읽어들인다. 절대치 엔코더의 값과 이동시켜야 할 조향각이 같다면 조향 모터는 구동하지 않고, 그 값이 다르면 현재의 위치에서 이동시켜야 할 조향각까지의 더 가까운 방향으로 모터를 회전시킨다.

#### 다. 시험방법

운반로봇이 자동모드로 주행할 때 직진보정을 위해서는 로봇의 양 측면에 부착된 적외선 센서를 제어 입력원으로 하여 조향각을 제어하는 데, 주행시의 적절한 조향각을 구하기 위하여 조향각에 따른 운반로봇의 최대 진입각과 주행경로를 구하였고, 센서의 감지거리에 따른 주행성능을 알아보기 위하여 실내에서 주행시험을 하였다. 그리고 주

행거리에 따른 로봇 중심에서의 이동변위를 측정하기 위해 로봇의 양 측면과 벽면까지의 거리측정은 거리에 비례한 출력이 나오는 초음파 센서를 사용하여 데이터 수집장치로 25ms의 샘플링 타임으로 실시간으로 수집하였다.



Fig. 4. Front view of the prototype robot cart with infrared sensors

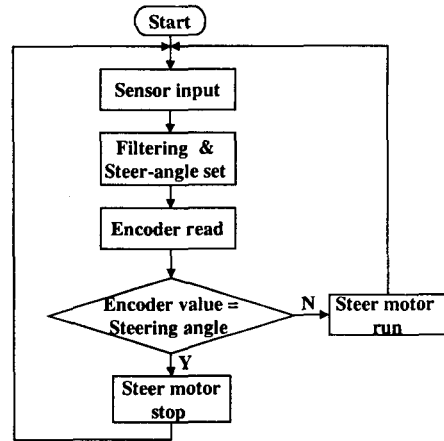


Fig. 5. Flowchart for steering control in the worker-following turning mode

토경재배 온실에서의 주행시험은 로봇의 중앙에  $\phi 1$ 의 고무튜브를 부착한 0.5 liter의 물통을 달고 주행시켜 그 때의 주행궤적을 측정하는 것으로 하였으며, 양액 재배지에서의 주행시험은 작물을 인식하여 조향을 하면서 주행하는 방법과 양액 베드를 인식하여 조향을 하면서 주행하는 방법 2가지로 나누어서 실시하였다.

선회추종 모드에서의 시험은 직선 주행 시험과 S자 곡선 주행 시험을 행하였다. 직선 주행 시험은 콘크리트 바닥 위에 직선을 긋고 사람이 그 직선을 따라 이동하면 그 뒤를 추종하는 로봇의 궤적을 측정하였다. S자 곡선 주행 시험은 직경 4m의 반원 두개를 서로 연결하여 S자 곡선을 만들어 그 곡선 위를 사람이 지나가면 로봇도 따라 이동하도록 하여 그 궤적을 측정하였다.

## 결과 및 고찰

작업자 추종 운반로봇의 최소회전 반경은 실험에 의해 구해진 값으로 540mm이었으며, 토경재배 온실과 양액재배 온실에서의 주행 성능은 자동모드로 주행하여 그 때의 이동궤적을 구하여 평가하였으며, 추종선회시의 성능은 직선주행과 S자 주행을 통해 그 궤적으로 평가하였다.

그림 6은 운반로봇이 토마토 재배 온실에서 폭 400mm의 고랑을 따라 5m 주행하였을 때의 주행궤적을 나타내고 있으며 주행로의 중심선에서 약  $\pm 100$ mm 범위 내에서 주행하여 주행성능이 우수함을 알 수 있다. 그러나 토경재배지에서의 주행궤적은 작물의 종류나 센서가 감지하는 부분에서의 잎과 가지의 밀집도 등에 의해 주행궤적은 다소 달라질 것이라고 생각된다. 그리고 그림 7은 양액재배 온실에서 작물을 인식하여 조향하면서 주행하는 경우의 운반로봇의 경로를 측정하는 것이다. 실험조건으로서 베드 간

격이 1800mm, 높이가 400mm이고, 주행로의 바닥에는 부직포가 깔려있고 재배작물은 오이이다. 본 실험에서는 양액재배 베드의 높이가 낮아 오이의 잎과 가지가 베드를 완전히 덮고 있어 1800mm의 베드 간격 중에서 실제로 주행할 수 있는 주행로의 폭은 1000~1200mm 밖에 되지 않았다. 그리고 오이 잎은 크기가 크고 달려있는 위치도 일정하지 않고 조밀하게 모여있지 않아서 정확한 센싱거리를 설정할 수 없는 문제점이 있었다. 따라서 본 실험결과 중심선에서의 최대 이탈거리는 265mm가 되어 토마토 토경재배 온실에서의 주행결과 보다 양호하지 못함을 알 수 있었다. 그러나 주행로 폭과 차체의 폭을 고려했을 때 작물에 손상을 입히지 않을 정도로 떨어져서 오이의 잎이나 가지를 인식하여 자동으로 주행이 가능함을 알 수 있었다.

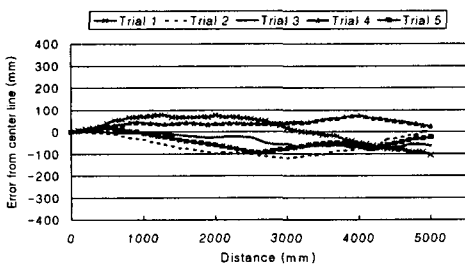


Fig. 6. Errors from the center line for furrow travel trials in a ridge cultivation greenhouse

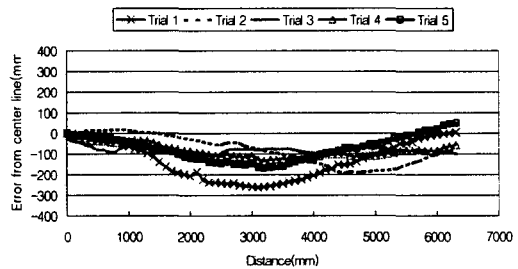


Fig. 7. Errors from the center line for travel trials by detecting plant location in a hydroponics greenhouse

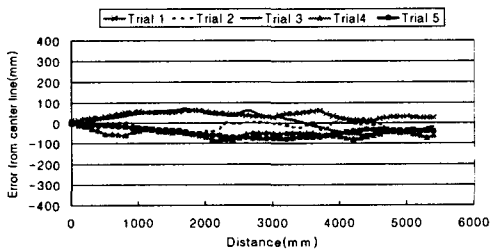


Fig. 8. Errors from the center line for travel trials by detecting wall surface in a hydroponics greenhouse

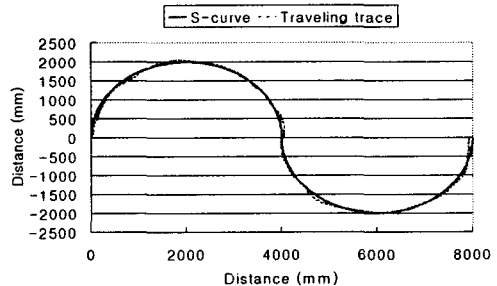


Fig. 9. Error for S-curve traveling of the robot cart in worker-following turning mode

그림 8은 양액재배 온실에서 양액 베드를 인식하여 5.5m를 주행하였을 때의 주행 궤적을 나타내고 있으며, 실험조건으로서 베드 높이는 시작점에서 54cm, 끝 지점에서는 64cm로 완만한 경사가 저있으며 베드 간격은 1200mm이었다. 실험결과 운반로봇은 주행로의 중심선에서  $\pm 85\text{mm}$  범위 내에서 주행하여 주행성능이 우수함을 알 수 있었다. 그림 9는 사람이 S자 곡선 위를 이동할 때의 로봇의 궤적을 나타내고 있다. S자 곡선

의 각 반원의 중심점에서 각각 3°의 각도로 원호와 교차하는 직선을 긋고 그 직선 상에서 S자 곡선과 로봇의 주행궤적과의 오차를 측정하였는데 그 오차는 ±75mm 이내로 되어 직선 위를 추종할 때의 오차 45mm와 마찬가지로 우수한 추종 성능임을 확인할 수 있었다.

## 요약 및 결론

본 연구는 작업자와 일정 간격을 유지하면서 이동하는 로봇을 개발하기 위한 것이며 이를 위해 기구부와 제어부를 설계 제작하고 제어 알고리즘을 개발하여 주행시험을 수행하였으며 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 농작업자 추종 운반로봇의 주행 시스템으로 차동장치에 의한 후륜 구동부와 전륜 조향부를 구성하고, 모터, 배터리 등을 선정하여 기구부를 설계 제작하였으며, 제작된 기구부의 주행속도는 작업속도와 이동속도를 고려한 0.3~0.8m/s이고 최대 적재량은 100kg이다.

나. 운반로봇의 제어시스템은 80C196KC 마이크로컨트롤러 및 주변소자에 의한 메인보드, 파워보드, 서보 모터 드라이버 그리고 각종모드를 설정하는 스위치 등으로 구성하였다.

다. 작업자 추종 운반로봇의 주행모드는 자동모드와 수동모드로 구성하였으며, 자동모드는 로봇이 앞서가는 선행모드와 작업자를 따라가는 추종모드 그리고 작업자를 추종하여 선회하는 선회추종모드로 구성하였다.

라. 토마토 재배 온실에서의 주행시험 결과 중심선으로부터 약 ±100mm 범위 내에서 주행하여 주행성능이 우수함을 알 수 있었으며, 오이 양액재배 온실에서 작물을 인식하여 주행하는 경우 중심선으로부터의 이탈거리가 265mm 이내로 되어 잎이나 가지를 인식하여 자동으로 주행이 가능함을 확인할 수 있었다. 그리고 양액 베드를 인식하여 주행하였을 때 1200mm의 폭을 가진 주행로의 중심선에서 ±85mm 범위 내에서 주행하여 주행성능이 우수함을 알 수 있었다.

## 인용문헌

1. 이승규외 : 1993, 시설원예용 다목적 운반차에 관한 문헌 고찰, 경상대 논문집 32(1), pp.101-123
2. 재단법인 산학협동재단 : 1993, 시설원예용 다목적 운반차의 개발에 관한 연구, pp.10-11
3. 이재환, 류관희 : 1996, 온실용 간이 자율주행 작업차의 개발, 한국농업기계학회지 제 21권 제4호, pp.422-428
4. 윤덕용 : 2000, 80C196KC 마스터(I), Ohm사, pp.177-188
5. Intel : 1992, 8XC196KC/8XC196KD User's Manual
6. Jun Yamashita, Kazunobu Sato : 1999, Automated Vehicles for Greenhouse Automation, Journal of Robotics and Mechatronics 11(3), pp.200-207
7. 韋 學軍 : 1990, 低速無人作業機の自動操向制御に関する研究(第1報) -制御システムと田畦 追従制御-, 日本農業機械學會誌 52(5), pp.19-26
8. 大塚 ほか : 1990, 施設内作業のロボット化に関する研究 -インテリジェントバッテリー-カーによる新作業方式-, 日本農業機械學會講演要旨 49: pp.269-270
9. 金子昌彦 ほか : 1997, 農用自律走行車輛の制御に関する研究(第3報) -走行制御システムによるハウス内走行實驗-, 日本農業機械學會誌 59(4), pp.39-46