

농작업자 자동 추종 운반차 개발 (I)

— 시작기 제작 및 실내성능시험 —

Development of an Autonomous Worker-Following Transport Vehicle (I)

— Manufacture and indoor experiment of the prototype vehicle —

권기영 정성림 강창호 손재룡 한길수 정석현 장익주
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
G. Y. Kwon S. R. Jung C. H. Kang J. R. Son K. S. Han S. H. Chung I. J. Jang

ABSTRACT

This study was conducted to develop a vehicle, leading or following a worker at a certain distance to assist laborious transporting works in greenhouses. A prototype vehicle, which consisted of the rear driving, the front steering and the console units, was designed and tested in the ideal indoor conditions.

Results of this study were summarized as following:

1. The driving unit was designed to travel at the speed ranges of 0.3~0.8 m/sec depending on the operating modes with a maximum payload of 100 kg.
2. The console unit consisted of a main-board including a 80C196KC microprocessor and peripheral devices, a power-board and safety interlock. Worker-leading, and following modes were available in automatic and manual modes.
3. Steering was achieved by turning the steering motor against the sensed direction. Proper steering angles for correcting travel direction were determined as 5 and 9 degrees when sensing cultivation beds and plants, respectively.

Keywords : Autonomous vehicle, Transportation, Worker-following, Mobile robot, Greenhouse

1. 서 론

시설원예는 노동집약적이며 순자르기, 눈따기, 유인, 열매숙기, 수확 등 기계화하기 어려운 작업이 많다. 또 대부분의 작업체계에서 항상 운반작

업이 이루어지고 있으며 시설 내 여러가지 작업단계 중 운반작업에 소모되는 노동력 비율은 매우 높다. 그리고 다량의 수확물을 바꾸거나 용기로 소량 운반하기 때문에 필연적으로 보행거리가 길어지고 규모의 확대에 따라 노동강도가 크게 된다

This article was submitted for publication in May 2002, reviewed and approved for publication by editorial board of KASM in July 2002. The authors are G. Y. Kwon, S. R. Jung, C. H. Kang, J. R. Son, K. S. Han, S. H. Chung at National Agricultural Mechanization Research Institute, Suwon, Korea; and I. J. Jang, Professor, Dept of Agricultural Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea. The corresponding author is G. Y. Kwon, Researcher, Div. of Fundamental Engineering and Technology, National Agricultural Mechanization Research Institute, 249 Suhdun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, 441-100, Korea. E-mail : <kykwon@rda.go.kr>

(Lee 등, 1993).

시설재배에 있어서 운반작업의 기계화에 의한 생력화는 시설원예의 노동 생산성을 향상시키고 작업자의 피로를 감소시키기 위한 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.

일본에서는 Kojima(1971)가 비닐하우스내의 수확운반 작업에서 수확용기(450×320×220 mm) 1개당 용량은 토마토와 오이는 20~25 kg, 피망은 12~13 kg이므로 운반차의 적정 적재량을 인력 일륜차는 12~13 kg, 동력 운반차는 소운반 전용의 경우 25~50 kg, 대소운반 승용의 경우 50~100 kg으로 제한하였다.

Kojima(1975)는 비닐 하우스내의 운반전용 궤도식 축전지차에 타임릴레이(time relay) 회로를 사용하여 자동정지와 자동발진을 시켰으며, 정지시간은 회로 중의 저항을 8단계로 변화시켜 30~150 초까지 제어하였다. 주행정지 시간의 제어는 작업자의 보행속도(오이 4~7 cm/s, 피망 2~4 cm/s)가 매우 늦어 감속이나 기계손실 등의 면에서 불리하므로, 주행시간을 5초, 주행거리를 1.5~2 m로 한정정지시간을 설정함으로써 주행과 정지를 반복하는 방식을 선택하였다.

Kojima(1980)는 고랑폭이 600 mm 이상의 대형 하우스나 선과장(選果場), 미곡처리장, 축사 등의 농업시설에서 사용할 수 있는 승용 축전지차를 제작하였다. 시작 운반차는 후륜구동의 4륜차로서 주행속도는 0.15~0.7 m/s 범위이며, 12V/100Ah의 축전지로 21kg의 하중을 적재하고 3~4시간의 연속운전으로 1ha의 하우스 수확작업이 가능하다고 하였다. 승용 축전지차에 의한 수확 운반작업은 손바구니에 비하여 작업 능률은 10~30% 저하하나 작업 강도가 저감되고 채취정확도가 2~9% 증가하므로 전체적으로는 수익이 증가하게 된다고 하였다.

大下(1989) 등은 좌우 장애물 검출판 및 초음파 근접 스위치로 작물의 줄을 검출하여 고랑을 주행하는 무인 관리기의 방향제어에서 제어부는 Z80 단일 보드 컴퓨터, 입출력 보드, 서보모터 드라이버로 구성하고 직류 모터, 로터리 인코더, 센서 등

과 접속하여 장치를 구성하였다.

大塚(1990) 등은 작업자의 파트너로서 작업자와 함께 행동하는 지능형 축전지차를 개발하였다. 3개의 주행모드(수동, 자동, 추종)를 설정하여 추종모드는 차 후방에 부착한 광전스위치 3개로 작업자를 감지하여 차체가 항상 작업자를 따라가도록 하고, 차의 반응 시간을 조정하여 작업속도에 맞추어 차가 이동하게 하는 연구결과를 보고하였다.

본 연구는 온실 등에서 농산물의 수확작업이나 모종이식 작업시 수확물이나 재료 등을 싣고 운반하는 경우 작업자와 일정 간격을 유지하면서 작업자를 추종하거나 앞서가면서 이동하는 운반용 차량을 개발하기 위한 것이며, 본 논문에서는 농작업자 자동 추종 운반차의 주행 시스템과 제어 시스템을 설계 제작하고 작업자 추종 및 주행을 위한 제어 알고리즘을 개발하여 실내주행시험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 주행시스템

농작업자 추종 운반차의 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. 차량의 주행속도는 수확 및 운반작업에서 0.3m/s, 작업이 끝난 후의 이동속도를 0.8m/s로 간주하여 차량을 설계하였다.

전륜 조향부는 그림 1과 같이 출력 25W의 브레이크 부착형 기어드 모터(g geared motor)와 절대치 엔코더 그리고 직경 0.2m의 두 개의 바퀴 등에 의해 구성하였다. 조향모터는 지면에 대해 수직으로 세워져 차체 폭을 기준으로 중앙에 위치하고 있으며, 모터 축 끝단에 부착된 기어가 각각의 조향 바퀴의 축에 부착된 기어에 동력을 전달하여 모터 축의 회전 방향과 반대로 조향륜이 회전하게 하였다. 조향륜거는 240 mm로 동력전달을 위한 기어가 차체의 폭을 벗어나지 않도록 설계하여 후륜거보다 65 mm 좁은 형태로 되어 있으며, 엔코더는

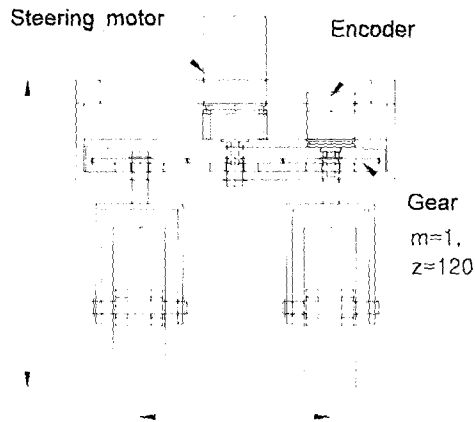


Fig. 1 Steering part of the prototype vehicle.

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 구성하였다. 또 모터 축에 브레이크를 부착하여 전원이 off 된 후의 관성력에 의한 회전을 막아 전륜의 정확한 위치를 설정하도록 하였다.

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

차량의 크기는 운실 등에서의 고랑 폭과 수확물의 적재상자, 차동장치의 크기 등을 고려하여 400mm(W)×350mm(H)×900mm(L)으로 설계 제작하였으며, 그림 2와 표 1에 농작업자 추종 운반차량의 측면도와 제원을 나타내었다.

나. 제어시스템

운반용 차량의 제어 시스템은 80C196KC 마이크로컨트롤러, D/A컨버터, 병렬 입출력 인터페이스 PPI 8255에 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 주

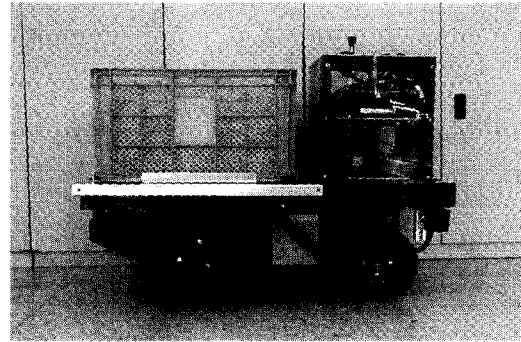


Fig. 2 Side view of the prototype vehicle.

Table 1 Specifications of the prototype vehicle

| Item(unit) | Specification |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Size(mm) | 400(W)×350(H)×900(L) |
| Longitudinal wheel separation(mm) | 480 |
| Lateral rear wheel separation(mm) | 305 |
| Driving part | Motor DC 25V/220W/3000rpm |
| Differential gear | Reduction ratio 58/1 |
| Steering part | Motor DC 24V/25W/7.5rpm |
| Payload(kg) | Max. 100 |
| Weight(kg) | 65 |
| Battery | DC 12V/24AH× 2ea |

는 DC-DC 컨버터, 각종모드를 설정하는 스위치 등으로 구성하였으며, 그림 3에 운반차의 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 0x00에서 0xFF까지의 입력범위에 대하여 약 -10~10V가 된다. 그리고 그림 4와 같이 컨트롤러에서 속도지령이 서보앰프에 입력되면 속도지령 전압과 타코제네레이터의 속도정보 전압의 오차를 검출하고, 이 전압을 증폭해서 속

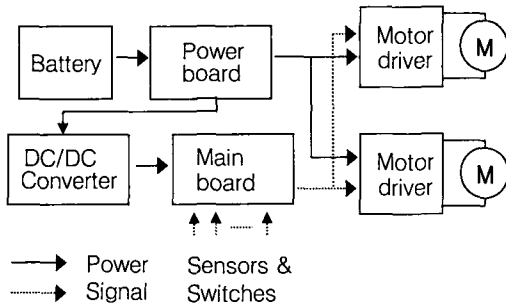


Fig. 3 Block diagram of the control system for the vehicle.

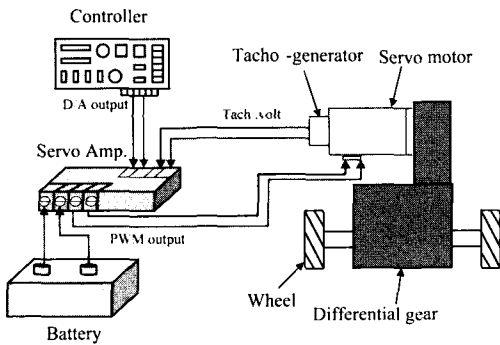


Fig. 4 Control schematic of the drive unit with a differential gear.

도 지령과 실제의 회전 속도가 일치하도록 모터를 구동시키도록 구성하였다.

또한 안전장치로서 긴급정지 버튼이나 범퍼 스위치가 on되면 차량이 정지하고 축전지가 저전압이 되면 알람이 발생하도록 구성하였다.

작업자와 작물을 인식하는 센서는 NPN 오픈콜렉터 타입의 출력을 가진 적외선 센서로 EQ34 (SUNX, Japan)를 사용하였다. 거리 설정 범위는 0.2~2m이며 응답시간은 2ms이하이다.

다. 제어 알고리즘

그림 5는 자동주행시 작업자를 기준으로 차량의 추종과 선행동작이 가능한 범위를 나타낸 것이다. 농작업자 자동 추종 운반차의 주행방식은 자동주행과 수동입력주행으로 구성하였으며 각각의 방식에 따라 고속과 저속주행이 가능하다. 자동주행방

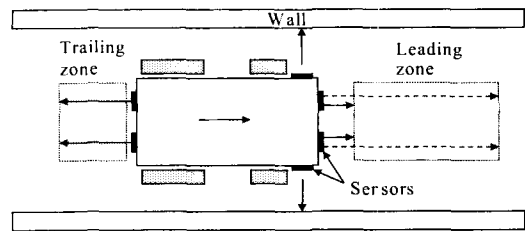


Fig. 5 Leading and trailing zones in automatic mode from a worker's viewpoint.

식에서는 작업자가 뒤에 있고 차량이 앞에 있어 작업자가 전진하면 일정거리를 두고 차량이 앞서가는 동작을 선행모드, 작업자가 앞서가면 일정거리를 두고 차량이 따라오는 동작을 추종모드라고 하였다.

선행모드시에는 차량의 후방에 부착된 센서가 작업자를 인식하여 on이 되고, 전방에 부착된 센서가 off, 즉 장애물이 없다는 걸 인식한 상태가 될 때 앞으로 이동한다. 전방에 장애물이 있는 경우, 즉 전후방 감지센서가 모두 on이 되면 정지되도록 하였다. 또 작업자가 차량의 후방에 없는 경우나 센서의 설정거리 밖에 있는 경우에는 후방감지 센서가 off가 되며 차량은 정지하게 된다.

추종모드시의 주행원리는 차량의 전방에 있는 하나의 센서는 거리를 상대적으로 길게 설정하고 또 다른 센서는 상대적으로 짧게 설정한 2단 센서를 부착하여, 거리를 길게 설정한 센서가 on이 되고 짧게 설정한 센서가 off가 되는 위치에 작업자가 있으면, 짧게 설정한 센서가 on될 때까지 차량은 이동한다. 작업자가 차량 후방에 없거나 거리를 길게 설정한 센서의 감지범위내에 없으면 차량은 정지한다.

그림 6은 추종 운반차의 구동제어 알고리즘을 나타낸 것으로써 먼저 시스템 초기화를 시키고 긴급정지 스위치가 눌러져 있으면 구동모터를 정지시키고 그렇지 않으면 자동주행 또는 수동입력주행인지를 판단한다. 만약 자동주행모드라면 주행조건을 만족하는 지를 판단하여 모터를 구동시키고 조건을 만족하지 않으면 모터를 정지시킨다. 수동주행시에는 조이스틱 조작에 따라 모터를 구동시킨다.

그림 7은 추종 운반차의 자동주행시 조향방법을

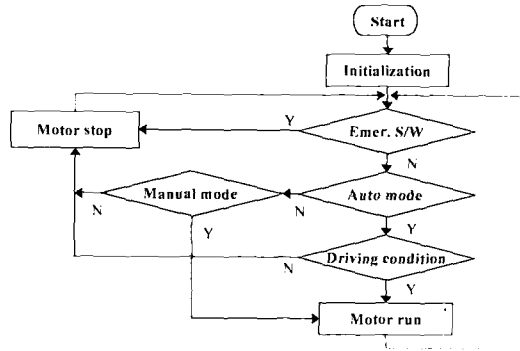


Fig. 6 Flowchart for driving control algorithm.

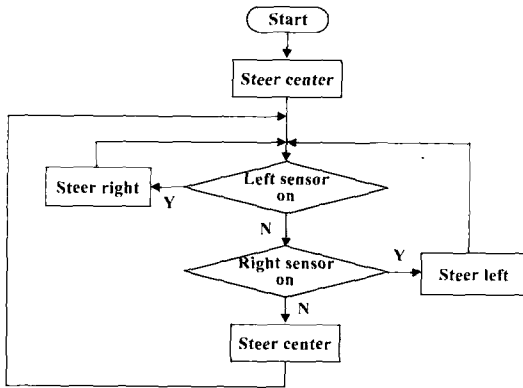


Fig. 7 Flowchart for steering control algorithm.

나타내고 있는데 이것은 적외선 센서가 on될 때의 센싱거리와 off 될 때의 센싱거리가 서로 다른 히스테리시스 특성을 이용하였으며, 차량의 양측 센서 중 on되는 쪽의 반대 방향으로 설정된 조향각 만큼 조향을 하도록 하였다. 양 측면 센서가 모두 on이면 설정된 조향각을 유지하며 전진하고 모두 off이면 전진하면서 조향각을 0°로 복귀시킨다.

라. 시험방법

추종 운반차가 자동으로 주행할 때 직진보정을 위해서는 차량의 양 측면에 부착된 적외선 센서를 제어 입력원으로 하여 조향각을 제어하는 데, 주행시의 적절한 조향각을 구하기 위하여 조향각 1, 3, 5, 7, 9°에 따른 운반차의 최대 진입각과 주행

경로를 구하고, 센서의 감지거리에 따른 주행성능을 알아보기 위하여 실내에서 주행시험을 하였다. 주행조건으로서, 주행로는 실험실의 화강석 바닥, 조향 제어를 위한 적외선 센서의 인식물체는 높이가 300 mm 스티로폼, 주행로의 폭은 800 mm, 속도는 저속인 0.3 m/s, 주행방법은 선행모드로 하였다. 그리고 주행거리에 따른 차량 중심에서의 이동변위를 측정하기 위해 차량의 양 측면과 벽면까지의 거리측정은 거리에 비례한 출력이 나오는 초음파 센서를 사용하였다.

본 실험에서 사용한 초음파 센서는 아날로그 전압출력과 NPN 오픈 컬렉터 출력이 나오는 ULTRA-210A(CMC, USA)를 사용하였으며 최소 검출거리는 127 mm, 최대 검출거리는 1,016 mm이며 출력전압은 0~10 V이다. 1초에 40회의 샘플링 속도를 가지고 있으며 작동 초음파 주파수는 210 KHz이다. 주행시험시 관련 데이터를 수집하기 위한 장비로서는 CR9000(Campbell Scientific, USA) 데이터 수집장치와 노트북 컴퓨터 등을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 적정 조향각 산출

운반차의 자동주행시 직진보정을 위한 적절한 조향각을 구하기 위하여 조향각에 따른 벽과의 충돌없이 주행이 가능한 주행로의 중심선과 차량이 이루는 각, 즉 주행로에 진입할 때 가능한 최대 진입각을 구하고, 자동으로 주행시 조향각에 따른 차량 중심에서의 이동변위를 구하였다. 먼저 최대 진입각을 구하기 위해서는 운반차 양 측면의 적외선 센서가 on 될 때 조향하는 각도를 각각 설정하고 그림 8과 같이 차량의 길이방향 중심선과 조향축 중심선이 만나는 점과 주행로의 중심선이 만나는 점을 기준으로 운반차를 중심선에서의 어긋남 각 β 의 위치로 설정하면, 각각의 조향각으로 주행시켰을 때 벽면에 부딪히지 않고 주행이 가능한 각을 식(1)부터 식(4)를 이용하여 시뮬레이션에 의해 구할 수 있다. 여기서 전륜 조향륜은 두개의 조향륜의 중심에 있는 것으로 간주하였으며, 회전반경 r 은 다음 식과 같다.

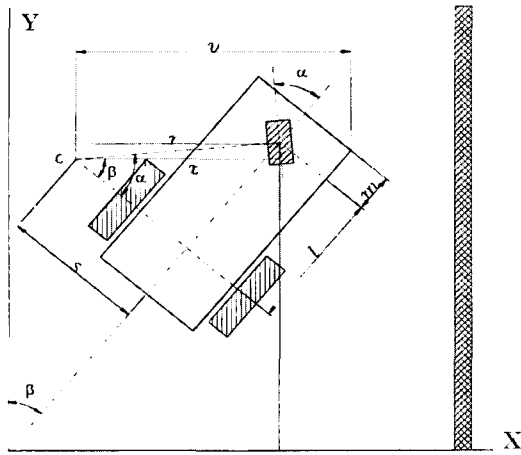


Fig. 8 Schematic of finding a proper steering angle.

$$r = \frac{l}{\sin \alpha} \quad (1)$$

회전반경의 중심점 c로부터 차량의 세로축 중심선까지의 거리 s는

$$s = r \times \cos \alpha \quad (2)$$

와 같으며, 회전반경 r을 X축 성분으로 나타낸 x는

$$x = r \times \cos (\alpha - \beta) \quad (3)$$

과 같다. 그리고 회전반경의 중심점 c로부터 차량의 우측 모서리까지의 거리 v는 차량의 폭이 400 mm 이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = \sqrt{(l+m)^2 + (s+200)^2} \quad (4)$$

즉, v는 회전반경 r로 주행하는 차량이 중심점 c에서 최대로 벗어나는 거리이다. 그러므로 v에서 x를 뺀 값이 실제 주행로의 중심선에서 벗어난 거리가 된다. 이렇게 해서 시뮬레이션 한 결과, 조향각이 1° 일 때 가능한 최대 진입각은 7°, 조향각이 3° 일 때는 14°, 조향각이 5° 일 때는 19°, 조향각이 7° 일 때는 24°, 조향각이 9° 일 때는 28° 로 나타났다.

그림 9는 센싱거리를 200 mm로 설정하고 각각

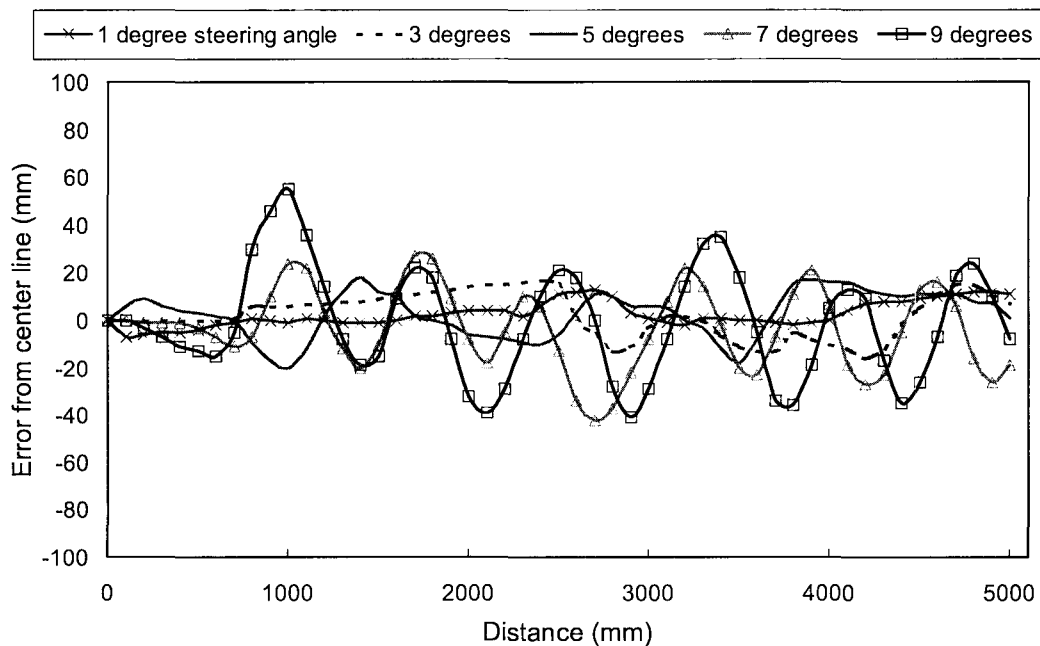


Fig. 9 Errors from the center line at different steering angles in the automatic mode.

의 조향각으로 자동 주행시켰을 때의 경로를 측정 한 그래프이다. 위 실험 결과로부터 조향각이 크면 차량이 놓여있는 위치가 주행로의 중심선에서 큰 각도로 벗어나 있어도 벽에 부딪히지 않고 주행이 가능하나, 조향각이 크면 클수록 주행시 중심선에서의 이동변위도 커지고 중심선에서의 좌우 왕복횟수도 많아져 전체 주행거리도 길어짐을 알 수 있다. 그래서 본 연구에서는 양액베드를 인식하여 자동모드로 주행할 때의 조향각은 최대 진입 각과 최대 이탈변위를 고려해서 5°로 설정하고, 작물을 인식하여 주행할 때는 9°로 설정하여 주행시험을 하도록 하였다.

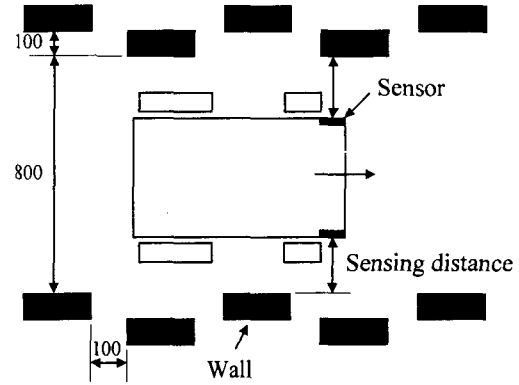


Fig. 10 Configuration for travel experiment by detecting unevenly located wall.

나. 실내 주행성능시험

토경재배지 또는 양액재배지에서 작물을 인식하여 조향을 해야 하는 경우를 위해 그림 10처럼 스티로폼으로 100 mm 간격으로 벽면을 만들고 그 벽면을 1블록 당 100 mm씩 요철을 두어 800 mm의 주행로를 가지도록 주행환경을 구성하여 실내

에서 기초실험을 하였다. 각각의 센싱거리를 200 mm로 하고 조향각을 9°로 하여 주행시켰을 때 그 주행경로는 그림 11과 같이 나타났으며 벽과의 충돌없이 주행로 중심선으로부터 ±100 mm 안에서 주행이 가능함을 알 수 있었다.

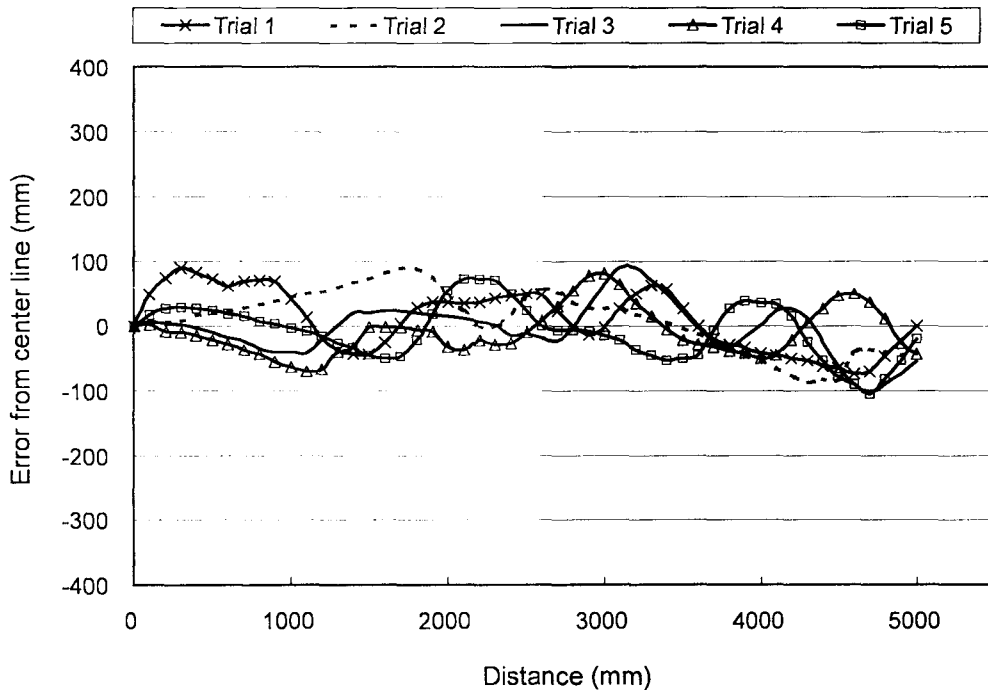


Fig. 11 Errors from the center line for travel trials by detecting unevenly located wall.

4. 요약 및 결론

본 연구는 온실 등에서 농산물의 수확작업이나 모종 이식작업시 수확물이나 재료 등을 싣고 운반하는 경우, 작업자와 일정 간격을 유지하면서 추종하거나 앞서가면서 이동하는 차량을 개발하기 위한 것이다. 이를 위해 농작업자 자동 추종 운반차의 주행시스템과 제어시스템을 설계 제작하고 작업자 추종 및 주행을 위한 제어 알고리즘을 개발하여 실내주행시험을 실시하였으며 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 운반차의 주행시스템으로 차동장치에 의한 후륜 구동부와 전륜 조향부를 구성하였으며, 제작된 차량의 주행속도는 0.3~0.8 m/s이고 최대 적재량은 100 kg이 되도록 하였다.

2) 운반차의 제어시스템은 80C196KC 마이크로 컨트롤러 및 주변소자에 의한 메인보드, 파워보드, 서보 모터 드라이버 그리고 각종모드를 설정하는 스위치 등으로 구성하였다.

3) 추종 운반차의 자동주행방식은 차량이 앞서가는 선행모드와 작업자를 따라가는 추종모드로 구성하였으며, 자동주행시의 직진보정을 위한 적정 조향각은 양액베드를 인식하여 주행할 때는 5°, 작물을 인식하여 주행할 때는 9°로 선정하였다.

참 고 문 헌

1. Kojima, K. 1971. The Mechanization of Transport in Vinyl House(I) -Design and Experimental Work of Crawler-. Journal of the Japanese Society for Agricultural Machinery 33(1):26-32.(In Japanese)
2. Kojima, K. 1975. The Mechanization of Transport in Vinyl House(VI) -Automatic Operation of the Car for Exclusive Use of Transport-. Journal of the Japanese Society for Agricultural Machinery 36(3):410-416.(In Japanese)
3. Kojima, K. 1980. Design and Experimental Work of Riding Battery Car. Journal of the Japanese Society for Agricultural Machinery 42(3):363-368.(In Japanese)
4. Lee, S. K., S. T. Kim, W. J. La, Y. B. Min and Y. B. Kim. 1993. A Review of the Multipurpose Carrier for Protected Horticulture. J. of Gyeongsang Nat. Univ. 32(1):102-123.(In Korean)
5. 大下 泰生 ほか. 1989. 畦間無人走行管理機の開発. 日本農業機械學會講演要旨 48:97.
6. 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-による新作業方式-. 日本農業機械學會講演要旨 49: 269-270.