

농작업자 자동 추종 운반차 개발 (II)

— 주행제어시스템 보완 및 포장성능시험 —

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

— Supplementation of driving control system and field experiment —

권기영 정성림 강창호 손재릉 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 was tested in the practical field conditions using a developed control algorithm. Results of this study were summarized as following:

1. The sensing device consisted of infrared sensors was attached to the front of the vehicle and turning following algorithm was developed to make the vehicle turned as it follows a worker simultaneously.
2. The measured average power consumptions were 110W and 89W, equivalent to 5.2-6.4 hrs battery durations, at low speed with and without the maximum payload, respectively.
3. Results of the travel tests showed that the deviations from the center of row spacing were ± 100 mm along the ridge and ± 85 mm along the hydroponic bed in the greenhouse. Therefore, the worker-following transport vehicle was feasible to travel along the row without collision in the greenhouse.

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

1. 서 론

시설원예는 대부분 작업체계에서 운반작업이 이루어지고 있으며 운반작업에 소모되는 노동력 비율도 매우 높다. 그리고 다량의 수확물을 바꾸거나 용기로 소량 운반하기 때문에 보행거리가 길어지고 규모의 확대에 따라 노동강도가 크게된다 (Lee 등, 1993).

시설재배에 있어서 운반작업의 기계화에 의한 생력화는 시설원예의 노동 생산성을 향상시키고 작업자의 피로를 감소시키기 위한 중요한 문제이며, 이러한 문제에 대처하기 위해서는 원예시설 내에서 차량의 운전엔 신경 쓸 필요가 없이 작업자를 인식하여 따라가거나 고랑을 자율주행해서 이동할 수 있는 로봇형태의 운반차 개발이 요구된다.

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 Suhun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, 441-100, Korea. E-mail : <kykwon@rda.go.kr>.

이(1996)는 좌우 구동 차륜을 독립적으로 구동하여 수평센서의 출력신호에 의해 고랑을 따라 자율적으로 주행하는 자율주행 시스템을 개발하였으며, 자세 제어 성능은 직선에서 $\pm 5^\circ$ 이내에서 제어가 가능하였다고 보고하였다.

Yamashita(1999) 등은 초음파 유도 방식의 무인 운반차의 차체 측면에 2개의 초음파 센서를 부착하여 평탄한 노면 위에 설치한 재배상 벽면과의 거리 및 차체의 편요각을 계측함으로써 벽면에 평행하게 자세를 제어하였으며 선회제어는 근접 센서에 의하여 철판을 감지한 후 바로 선회를 개시하고, 선회각 제어는 구동륜에 부착한 광 감지식 회전센서에 의한 펄스를 읽어 행하게 하였으며, 벽면거리가 목표치 이하가 되면 바로 선회를 종료하고 벽면추종제어로 옮기게 하는 연구결과를 보고하였다.

그러나 고랑의 경사를 인식해서 주행하는 차량에 관한 연구는 사용된 수평센서의 응답성이 상당히 늦기 때문에 고랑의 형상에 따라 주행속도와 성능이 크게 달라질 수 있으며, 재배상 벽면을 인식해서 주행하는 방식은 초음파 센서가 항상 벽면을 인식할 수 있도록 재배상을 수평으로 설치하거나 반사판 종류를 추가 설치해야하는 번거로움이 있으며, 또 작물이 번성하여 재배상을 덮고 있는 경우에는 벽을 인식하여 주행하기는 어려운 문제점이 있다.

본 연구는 온실 등에서 수확작업이나 모종이식 작업시 수확물이나 재료 등을 신고 운반하는 경우 작업자와 일정 간격을 유지하면서 추종하거나 앞서가면서 이동하는 운반용 차량을 개발하기 위한 것이며, 제 1보에서는 농작업자 자동 추종 운반차의 주행시스템과 제어시스템을 설계 제작하고 선형모드와 추종모드에 대한 제어 알고리즘을 개발하여 실내주행시험을 실시하였으며, 본 보에서는 추종 운반차의 토경재배지 주행시의 안전장치로서 경사각 측정장치를 추가 구성하고 운반차의 작업자 추종 선회 알고리즘을 개발하여 실제 온실에서 주행시험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 주행 제어시스템의 보완

농작업자 추종 운반차는 차량 양측면의 센서로 작물 등을 인식하여 주행방향을 보정하는데, 보정

을 위한 인식대상이 없는 경우에 대비해서 경사각 측정 시스템과 선회추종 시스템을 개발하여 운반차의 주행 제어시스템을 보완하였다.

(1) 경사각 측정시스템

토경 재배지에서는 적외선 센서로 양옆의 작물을 인식하여 고랑을 주행하지만 양액 재배상처럼 연속적인 벽면에 대한 센서의 출력을 받을 수 없기 때문에 조향에 문제가 되는 경우가 있다. 따라서 고랑에서의 원활한 조향을 위하여 차체의 전방 중앙에 경사각 센서를 부착하여 안전장치의 역할을 하도록 하였다. 본 실험에서 사용된 경사각 센서의 제원과 내부구조는 표 1과 그림 1에 나타내었으며 동작원리는 다음과 같다(Lucas Control Systems, 2000).

경사각 센서가 어떤 각 θ 로 기울어질 때 센서 안에 매달린 질량체(pendulous mass)도 그 경사방향으로 움직이려 한다. 따라서 질량체의 위치변화는 위치센서(position sensor)에 의해 감지되고 그것

Table 1 Specifications of a clinometer

Item(unit)	Specification
Range($^\circ$)	± 90
Input voltage(V)	± 12 to ± 18
Input current(mA)	± 15
Full range output(V)	± 5
Output impedance(kohm)	4
Nonlinearity(%)	0.05
Resolution(arc sec)	4.0
-3 dB Frequency(Hz)	40

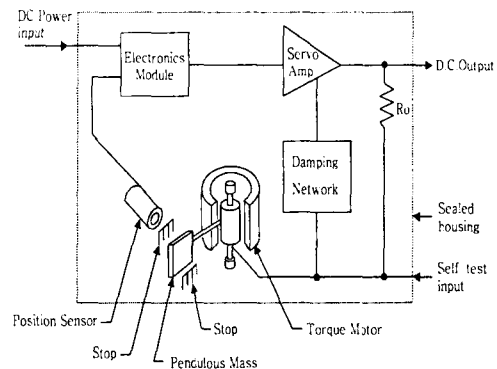


Fig. 1 Operation principle of a clinometer.

은 오차신호 출력음 만들며, 이러한 DC 오차신호는 Ro를 통한 토크 모터(torque motor)의 전기자와 연결되는 DC전류가 출력인 서보 증폭기에 공급된다. 토크 모터의 전기자에 사용되는 전류는 전량체에 작용하는 중력에 반대되는 토크를 만들고 전량체를 원래 위치로 되돌리게 되며 따라서 토크모터의 전류는 정확하게 센서의 경사도에 비례하게 되고, 또 그 전류는 Ro를 통과하여 똑같이 정확한 출력전압을 만들어내게 된다.

그림 2에 경사각 센서의 A/D 입력회로를 나타내었으며 A/D 컨버터는 80C196KC 마이크로컨트롤러에 내장되어 있는 것을 사용하였다. 이 내장된 A/D 컨버터는 아날로그 입력 전압의 범위가 0~5V의 정 방향 극성만 변환 가능하므로 +5V 출력의 경사각 센서의 경우는 OP 앰프로 반전형 가산회로를 구성하여 경사각 센서의 출력에 5V의 오피셋 전압을 더하고 그 값을 다시 반전 증폭회로에 입력시켜 0~10V 출력으로 변환해서 정밀저항으로 1/2로 분압하여 A/D채널로 입력시켰다.

경사각 센서를 이용한 조향 제어방법은 적외선 센서가 on이 되거나 경사각 센서의 출력이 설정치 이상이 되면 그 입력된 쪽의 반대 방향으로 주어진 각도만큼 조향을 행하며 적외선 센서가 off가 되고 경사각 센서의 출력이 설정치 이하이면 조향각을 0°로 복귀시켜 전진한다. 또한, 경사가 큰 곳에서 조향과 주행용 동시에 하는 경우에는 운반차가 놓여있는 위치와 진행방향에 따라 주행로를 벗어나 작물에 해를 끼칠 수가 있기 때문에 경사각 센서의 출력이 위험수준 설정치 이상이라면 일정각도 만큼 조향을 행한 후 주행을 하도록 하였다.

(2) 선회추종시스템

자동주행시의 추종모드는 운실 등에서 작물이나 양액 재배상 벽면을 인식하여 주행방향을 보정하여 작업자를 따라 직진 주행한다. 그러나 고랑을 벗어나 주행방향을 보정할 수 없는 경우, 운반차의 전방에 센서들을 부착하여 센서의 설정범위 안에서 작업자만 인식할 수 있다면 작업자의 이동에 따라 선회주행도 가능하다. 작업자를 추종하면서 주행하는 원리는 다음과 같다. 먼저 차량의 전방에 하나의 센서는 거리를 상대적으로 길게 설정하고 또 다른 하나의 센서는 상대적으로 짧게 설정한 2단 센서를 부착하여, 거리를 길게 설정한 센서가 on이 되고 짧게 설정한 센서가 off가 되는 위치에 작업자가 있으면 짧게 설정한 센서가 on된

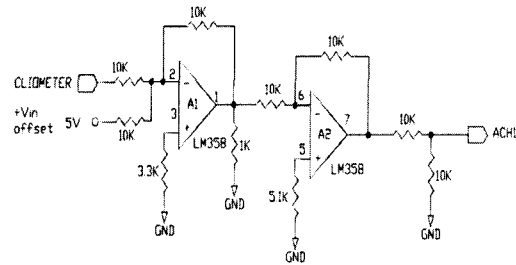


Fig. 2 A/D input circuit for a clinometer.

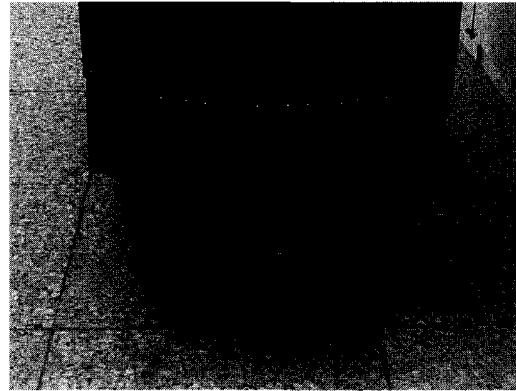


Fig. 3 Front view of the prototype vehicle with infrared sensors.

때까지 차량이 이동하게 된다. 또한 작업자가 차량 후방에 있지 않거나 거리를 길게 설정한 센서의 감지범위에서 벗어나면 차량은 정지한다. 따라서 본 연구에서는 차량주변의 장애물에 영향을 받지 않고 작업자를 따라 주행하게 하기 위하여 그림 3과 같이 운반차의 전방에 2개의 입력을 받는 센서를 1조로 하여 차량의 중심인 0°를 기준으로 하여 10°씩 등 간격으로 센서를 부착하여 ±25°범위 내에서 작업자를 인식하여 추종할 수 있도록 하였다.

그림 4는 선회추종시의 조향 알고리즘을 나타내고 있다. 먼저, 센서의 상태를 읽어들이며(Sensor input) 필터링(Filtering)을 하고 어느 위치의 센서가 on되었는지를 판단하며, 이동시켜야 할 조향각을 설정한다(Steer-angle set). 그리고 현재 조향류의 조향각도를 알기 위해 절대치엔코더의 값을 읽어 들인다(Encoder read). 절대치엔코더의 값과 이동시켜야 할 조향각이 같다면 조향모터는 구동하지 않고(Steer motor stop), 그 값이 다르면 현재의 위치에서 이동시켜야 할 조향각까지의 더 가까운 방향으로 모터를 회전시킨다(Steer motor run).

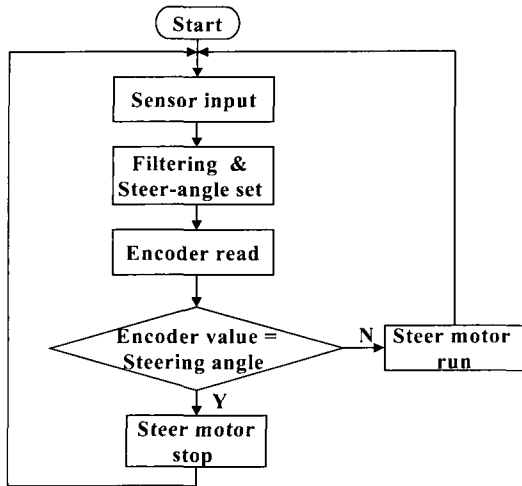


Fig. 4 Flowchart for steering control in turning following mode.

운반차의 구동은 조향과 동시에 이루어지고 있으며 구동제어 알고리즘은 제 1보의 그림 6과 동일하다.

나. 시험방법

(1) 전력소모량 측정

포장에서의 작업시 운반차의 주행 가능시간을 산출하기 위해 각각 0, 25, 50, 75, 100 kg의 5 수준의 부하를 싣고 자동 저속주행과 수동입력에 의한 고속주행을 시켜 그 때의 전력 소모량을 측정하였다. 타이어 공기압 및 적재위치에 따라 전력 소모량이 차이가 있기 때문에 본 실험에서는 타이어 공기압은 30 psi, 적재물은 적재부 중앙에 적재하였다.

(2) 토경재배지 주행시험

농작업자 추종 운반차의 주행시험을 위한 공시포장은 농촌진흥청 원예연구소의 온실을 이용하였으며, 그림 5에 토경재배 온실의 주요치수와 운반차의 주행경로를 나타내고 있다. 재배양식은 두둑 폭 1,400 mm, 두둑높이 25 mm, 고랑 폭 400 mm 이고, 고랑과 고랑 사이의 거리는 900 mm이며, 작물의 주간과 조간은 각각 50 mm, 40 mm이다.

토경재배 온실에서의 주행시험은 차량의 중앙에 $\phi 1$ 의 고무튜브를 부착한 0.5 l의 물통을 달고 주행시켜 그 때의 주행궤적을 측정하는 것으로 하였다.

Fig. 5 Travel route of a ridge cultivation greenhouse.

(3) 양액재배지 주행시험

양액 재배지에서의 주행시험은 작물을 인식하여 조향을 하면서 주행하는 방법과 양액 재배상을 인식하여 조향을 하면서 주행하는 방법 2가지로 나누어서 실시하였다.

그림 6의 오이 재배온실과 같이 재배상의 높이가 낮아 작물의 잎과 줄기가 재배상을 완전히 덮고있어 벽면을 인식하지 못하는 경우에는 토경 재배지에서의 주행시험과 마찬가지로 물통에서 흘러나온 물의 흔적에 의해 그 주행궤적을 측정하였다.

그림 7은 양액재배 온실에서의 양액 재배상을 인식하여 주행시험하는 장면을 나타내고 있다. 재배상의 높낮이에 관계없이 연속적으로 벽면을 인식하여 조향하기 위하여 양액 재배상에 비닐을 부착하고 양측면의 초음파 센서로 주행경로를 계속하였다.

(4) 선회추종 주행시험

작업자를 따라 선회가 가능한 선회추종 모드에서의 시험은 직선 주행 시험과 S자 곡선 주행 시험을 행하였는데 그 측정방법은 차량의 중앙에 $\phi 1$ 의 고무튜브를 부착한 0.5 l의 물통을 달고 주행시킨 후 그 궤적을 측정하는 것으로 하였다. 직선 주행 시험은 콘크리트 바닥 위에 직선을 긋고 사람이 그 직선을 따라 이동하면 그 뒤를 추종하는 차량의 궤적을 측정하였으며 S자 곡선 주행 시험은 직경 4 m의 반원 두 개를 서로 연결하여 S자 곡선을 만들어 그 곡선 위를 사람이 지나가면 차량도 따라 이동하도록 하여 S자 곡선의 각 반원의 중심점에서 각각 3°의 각도로 원호와 교차하는 직선 상에서 S자 곡선과 차량의 주행궤적과의 오차를 측정하였다.



Fig. 6 Travel experiment by detecting plant location in a hydroponics greenhouse.



Fig. 7 Travel experiment by detecting wall surface in a hydroponics greenhouse.

3. 결과 및 고찰

가. 전력 소모량 측정

운반차의 주행 가능시간을 산출하기 위해 전력 측정계를 사용하여 적재함의 중앙에 각각의 부하를 싣고 저속 및 고속으로 주행시켜 그 때의 전력 소모량을 측정하였다.

먼저, 모터를 구동시키지 않은 무 부하의 대기 상태일 때는 센서 등의 구동전류로 인해 전력 소모량은 25W 이었으며, 조향모터를 구동시켰을 때는 대기상태에서의 소비전력을 포함하여 50W 정도의 전력이 소모가 되었다.

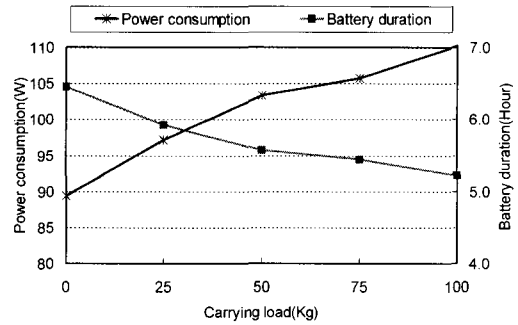


Fig. 8 Power consumption and battery duration for different loads at low speed.

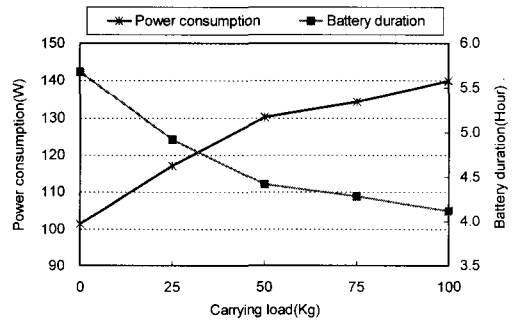


Fig. 9 Power consumption and battery duration for different loads at high speed.

그림 8은 운반차를 저속으로 자동주행 시켰을 때의 실험결과인데, 전체 샘플링 데이터 중에서 구동모터만 동작한 경우가 전체의 약 30%정도이고 나머지 70%는 구동모터와 조향모터가 동시에 동작하는 조건이었다. 그래프에서 알 수 있듯이 무부하로 주행시 89W가 소모되어 24 AH의 배터리를 사용하는 경우, 예상 연속 주행시간은 6.4 hr 이고, 25 kg의 부하로 주행시 97W가 소모되어 주행시간은 5.9 hr, 50 kg의 부하일 때는 103W가 소모되어 주행시간은 5.6 hr, 75 kg의 부하에는 106W가 소모되어 주행시간은 5.4 hr, 100 kg의 부하에는 110W가 소모되어 5.2 hr의 주행이 가능하다.

그림 9는 운반차를 고속으로 연속 주행시켰을 때의 실험결과인데, 조향은 없이 구동모터만 동작시키는 조건이었다. 무부하로 주행시 101W가 소모되어 예상 주행가능 시간은 5.7 hr이고, 25 kg의

부하로 주행시 117W가 소모되어 주행시간은 4.9 hr, 50 kg의 부하일 때는 130W가 소모되어 주행시간은 4.43 hr, 75 kg의 부하에는 134W가 소모되어 주행시간은 4.29 hr, 100 kg의 부하에는 140W가 소모되어 4.1 hr의 연속 주행이 가능하다.

나. 토경재배지 주행성능평가

그림 10은 운반차가 토마토 재배 온실에서 폭 400 mm의 고랑을 따라 5 m 주행하였을 때의 주행궤적을 나타내고 있다. 본 실험의 경우는 운반차가 주행로의 중심선에서 약 +100 mm 범위 내에서 주행하여 작물에 해를 입히지 않고 주행이 가능함을 알 수 있었다. 그러나 토경재배지에서의 주행궤적은 작물의 종류나 센서가 감지하는 부분에서의 앞과 가지의 밀집도 등에 의해 주행궤적은 다소 달라질 것이라고 생각된다.

차동장치에 의한 주행 시스템의 경우, 양 바퀴 독립구동형 주행 시스템과 달리 토경 재배지에서의 주행상 문제점이 발생하였는데, 이것은 인력에 의한 두둑 형성 등의 이유로 주행면이 고르지 못해 한쪽 바퀴는 지면에 닿고 다른 한쪽은 지면사이의 마찰이 부족하여 슬립이 일어나는 경우 진행 방향으로 나아가지 못하고 제자리에서 머물러 원할한 주행이 불가능하다는 점이었다. 따라서 차동장치에 의한 주행 시스템을 사용하는 경우에는 양 바퀴 모두 지면에 닿아 충분한 마찰력이 있어 무부하시에도 주행이 가능할 정도로 주행로가 평탄하여야만 한다.

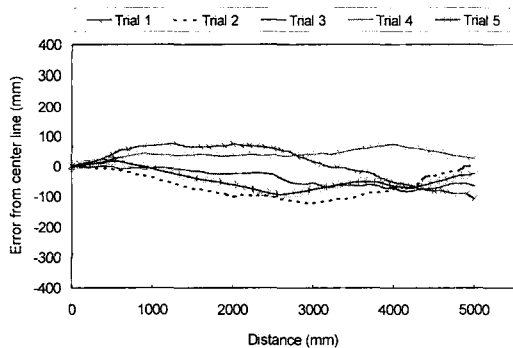


Fig. 10 Errors from the center line for furrow travel trials in a ridge cultivation greenhouse.

다. 양액재배지 주행성능평가

그림 11은 양액재배 온실에서 작물을 인식하여 조향하면서 주행하는 경우의 운반차의 경로를 측정하는 것이다. 실험조건으로서 재배상의 간격이 1,800 mm, 높이가 400 mm이고, 주행로의 바닥에는 부직포가 깔려있고 재배작물은 오이이다.

본 실험에서는 재배상의 높이가 낮아 오이의 잎과 가지가 재배상을 완전히 덮고있어 1,800 mm의 재배상 간격에서 실제로 주행할 수 있는 주행로의 폭은 1,000~1,200 mm 밖에 되지 않았다. 그리고 오이 잎의 크기가 크고 달려있는 위치도 일정하지 않고 조밀하게 모여있지 않아서 정확한 센싱거리를 설정할 수 없는 문제점이 있었다. 따라서 본 실험결과 중심선에서의 최대이탈거리는 265 mm가 되어 토마토 토경재배 온실에서와 주행결과보다 양호하지 못하였으나 주행로 폭과 차체의 폭을 고려했을 때 작물에 손상을 입히지 않을 정도로 떨어져서 오이의 잎이나 가지를 인식하여 자동으로 주행이 가능함을 알 수 있었다.

그림 12는 양액재배 온실에서 재배상 벽면을 인식하여 5.5 m를 주행하였을 때의 주행궤적을 나타내고 있으며, 실험조건으로서 재배상 높이는 시작점에서 54 cm, 끝 지점에서는 64 cm로 완만한 경사가 져있으며 재배상 간격은 1,200 mm이었다. 실험결과 운반차는 주행로의 중심선에서 +85 mm 범위 내에서 주행하여 주행성능이 우수함을 알 수 있었다.

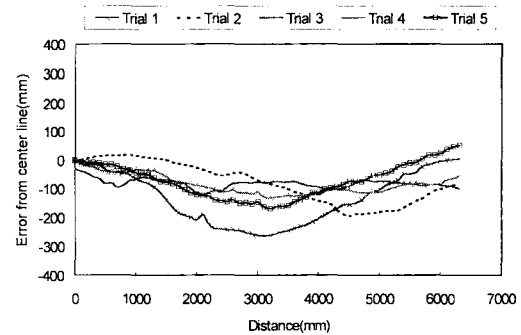


Fig. 11 Errors from the center line for travel trials by detecting plant location in a hydroponics greenhouse.

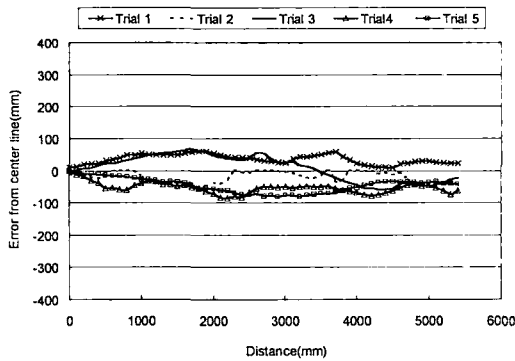


Fig. 12 Errors from the center line for travel trials by detecting wall surface in a hydroponics greenhouse.

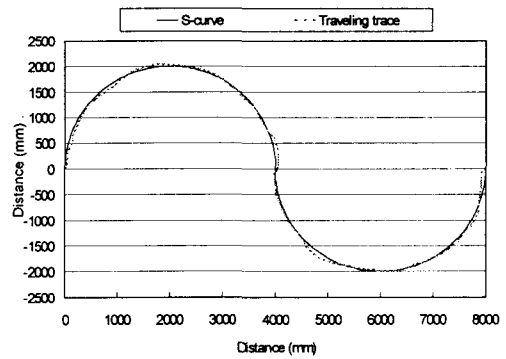


Fig. 14 Error for S-curve traveling experiment in turning mode.

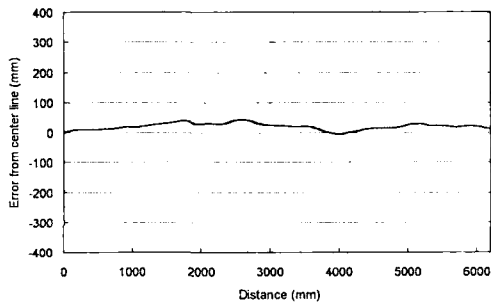


Fig. 13 Error for straight line traveling experiment in turning mode.

라. 선회추종 성능평가

그림 13은 사람이 직선 위를 이동할 때 사람을 따라 이동하는 차량의 중심에서의 궤적을 나타낸 것이다. 차량을 직선 위에 일치하게 놓고 직진 주행을 시키더라도 차량의 기계적 오차나 양 바퀴의 압력차, 노면의 상태 등에 의해 주행궤적은 직선에서 많이 벗어나게 되는데, 그림 13의 주행궤적을 보면 오차가 ± 45 mm 이내로 선회추종성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 14는 사람이 S자 곡선 위를 이동할 때의 차량의 궤적을 나타내고 있다. 그 오차는 ± 75 mm 이내로 되어 직선 위를 추종할 때와 마찬가지로 우수한 추종 성능임을 확인할 수 있었다.

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 운반차를 개발하기 위한 것이다. 이를 위해 주행제어시스템을 보완하고 포장 주행시험을 수행하였으며 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 운반차가 작업자를 따라 추종하면서 동시에 선회할 수 있도록 하기 위한 선회추종시스템을 구성하였으며 고랑에서의 원활한 조향을 위하여 차체의 전방 중앙에 경사각 센서를 부착하여 안전장치의 역할을 하도록 구성하였다.

2) 자체중량 65 kg의 운반차를 무부하로 저속 자동모드로 주행시켰을 경우, 평균 전력 소모량은 89W가 측정되어 24 AH의 배터리를 사용할 경우, 약 6.4 hr 동안 연속주행이 가능하였으며, 100 kg의 부하로 주행시에는 110W가 소모되어 5.2 hr의 주행이 가능하였다.

3) 토마토 재배 온실에서의 주행시험 결과 중심선으로부터 약 ± 100 mm 범위 내에서 주행하여 작물에 해를 입히지 않고 주행이 가능함을 알 수 있었으며, 양액 재배상을 인식하여 주행하였을 때 주행로의 중심선에서 ± 85 mm 범위 내에서 주행하여 주행성능이 우수함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 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)
2. Lucas Control Systems. 2000. Operating Instructions, Installation Information, and Calibration Certificate for Servo Inclometers.
3. Yamashita, J. and K. Sato. 1999. Automated Vehicles for Greenhouse Automation. Journal of Robotics and Mechatronics 11(3):200-207.(In Japanese)
4. 이재환. 1997. 온실용 간이 자율주행 작업차 개발. 석사 학위논문. 서울대학교 대학원.