

노지 밭고랑 환경 적용을 위한 자율조향 플랫폼 개발

조용준^{*,****}, 윤해룡^{*}, 홍형길^{*}, 오장석^{*}, 박희창^{*}, 강민수^{*}, 박관형^{*},
서갑호^{*,**}, 김순덕^{***}, 이영태^{****,#}

^{*}한국로봇융합연구원 농업로봇자동화연구센터, ^{**}포항공과대학교 기계공학과,

^{***}(주)영동농기계, ^{****}안동대학교 바이오ICT융합공학과

Development of Autonomous Steering Platforms for Upland Furrow

Yongjun Cho^{*,****}, Haeyong Yun^{*}, Hyunggil Hong^{*}, Jangseok Oh^{*}, Hui Chang Park^{*}, Minsu Kang^{*},
Kwanhyung Park^{*}, Kabho Seo^{*,**}, Sunduck Kim^{***}, Youngtae Lee^{****,#}

^{*}Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, ^{**}Dept. of Mechanical Engineering, Pohang

University of Science and Technology, ^{***}Youngdong co.Ltd, ^{****}Dept. of Bio-ICT Engineering,

Andong National University,

(Received 14 June 2021; received in revised form 03 July 2021; accepted 26 July 2021)

ABSTRACT

We developed a platform that was capable of autonomous steering in a furrow environment. It was developed to autonomously control steering by recognizing the furrow using a laser distance, three-axis tilt, and temperature sensor. The performance evaluation indicated that the autonomous steering success rate was 99.17%, and it was possible to climb up to 5° on the slope. The usage time was approximately 40 h, and the maximum speed was 6.7 km/h.

Key Words : Electric Vehicle for Agriculture(농업용 전동주행장치), Platform for Upland(노지용 플랫폼), Autonomous Steering System(자율조향시스템)

1. 서 론

최근 농촌 환경에서 여성농업인수가 증가하고 고령화됨에 따라 여성친화형 농기계에 대한 관심이 높아지고 있다. 고령·여성농업인들의 대다수가 밭작물에 투여하는 노동량이 남성에 비해 많은 비

중을 차지하고 대부분 노동이 쪼그려 앉거나 같은 동작, 불편한 동작을 오랫동안 반복해야 하는 일이 대부분이다. 농작업 종사 특성을 보면 고령으로 갈수록 채소 농가의 비중이 높아지고, 담당 작업 종류는 수확 작업인 것으로 보고되고 있다. 이에 고령자, 여성농업인을 위해 해당 집단이 가장 많은 비중을 차지하는 채소(고추, 가지 등)작물의 수확작업 분야에 자율조향 플랫폼 개발은 필수적이다. 선진국 농기계 업체의 경우 GPS (Global

Corresponding Author : cyj@kiro.re.kr

Tel: +82-54-820-2822, Fax: +82-54-820-2892

Positioning System), GIS (Geographic Information System), 영상카메라, 생육계측센서 등을 이용한 무인운전 및 자동 제어기술 개발^[1-8] 등에 집중 연구개발 중이지만, 고가의 부품을 적용해야 하므로 원가가 높아 대규모 농장의 자동화 로봇에 적합한 제품이다.

본 연구에서는 거리센서를 활용한 자율조향 알고리즘 개발을 통해 저가형 자율조향 플랫폼을 제작하였으며, 노지 밭 환경에서의 수확작업 보조수단으로써 안정적인 운전을 확인하기 위해 요소별 주행 평가를 실시하였다.

2. 본론

2.1 플랫폼 설계

2.1.1 자율조향 플랫폼 구성

노지 밭고랑 자율조향을 위해 개발된 플랫폼은 플랫폼 최전방에 밭고랑을 인식할 수 있는 센서 모듈을 장착하여 현재 플랫폼의 고랑 내 위치를 인식할 수 있도록 하였고, 센서 데이터를 기반으로 고랑의 중앙을 지속적으로 추적 주행할 수 있도록 조향을 자율적으로 제어하였다. 기존의 수확용 의자와 유사한 크기로 설계하였으며, 배터리는 작업자 발 안착부 하단에 구성하여 무게 중심을 낮추어 주행 중 전복 문제를 해결하였다. 의자 또한 높낮이를 조절할 수 있어 체형에 맞도록 설계하였으며, 원터치 방식의 버튼을 적용하여 여성, 고령 농민이 주행 조작이 용이하도록 하였다. 하기 Fig. 1은 노지 밭고랑 자율조향 플랫폼 모델을 나타낸 것이다.

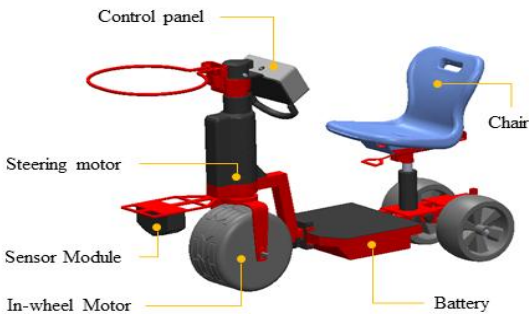


Fig. 1 Modeling of autonomous steering platform

2.1.2 시스템 제어

플랫폼 시스템은 크게 전체 제어를 관장하는 중앙 제어부, 고랑 인식을 위한 센서모듈의 보조 제어부, 사용자 명령을 입력받는 컨트롤 패널, 알고리즘에 따라 주행 및 조향을 수행하는 모터부로 구성된다. 플랫폼 전방에 설치된 센서 모듈은 ‘U’자 형태의 고랑 인식을 위해 Table 1과 같은 사양의 레이저 센서 4개가 부채꼴 형태로 장착되어 있다.

플랫폼이 고랑 내에서 한 방향으로 정렬되면 좌우의 레이저 센서는 반비례하게 출력하게 되는데 이와 같은 센서 신호의 변화패턴을 파악하는 조향

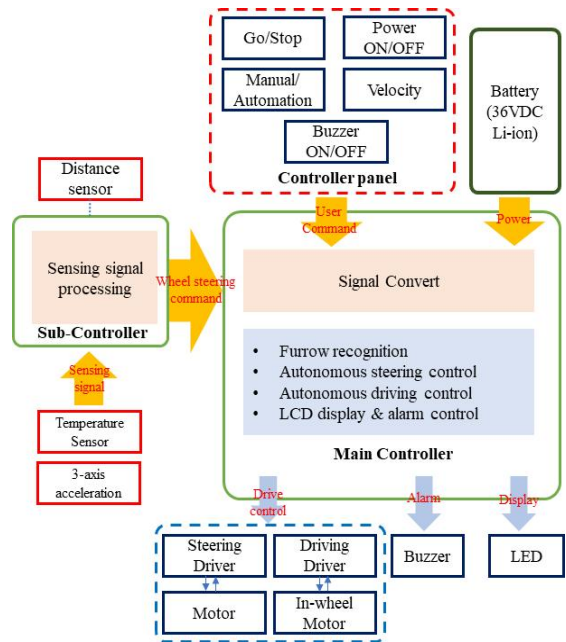


Fig. 2 The diagram of system control

Table 1 The specification of distance sensor

Parameter	Specification
Part name	TFmini plus LiDAR
Detection range	10~1,200cm
Output type	UART
IP	IP65
Operating temperature	-20 ~ 60℃

알고리즘을 설계하였다. 노지 환경에서는 작업 시 고온 작업이 많으며, 밭고랑 표면은 조도가 고르지 않다. 이러한 환경은 고랑을 인식하는 거리 센서의 신호를 왜곡할 우려가 있는데 이를 보완하기 위해 센서모듈 내 온도센서와 3축 기울기 센서를 구성하였다. 거리센서로부터 측정된 신호는 온도 센서를 이용하여 온도 보정을 수행하게 되고, 기울기 센서는 현재 플랫폼 기울기 상태를 파악하여 거리 센서의 신호를 기울기에 따라 보정하게 된다. Table 2는 밭고랑 내에서 플랫폼이 인식할 수 있는 고랑의 형태를 크게 7가지로 구분한 것이다.

Table 2 Aligned type of platform

Case	Type	Image
1	Center	
2	Furrow right-aligned (min)	
3	Right-aligned (max)	
4	Left-aligned (min)	
5	Left-aligned (max)	
6	Tilt to the right direction	
7	Tilt to the left direction	

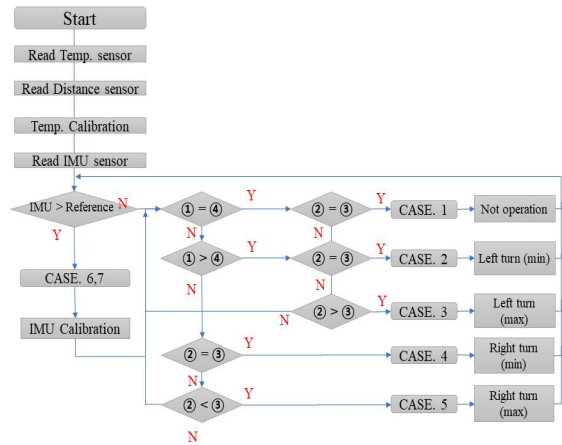


Fig. 3 The diagram of system control

Fig 3은 Table 1의 고랑의 형태에 따라 센서모듈의 출력 신호가 변화되는 것을 판단하고 조향을 결정하는 알고리즘 순서도를 나타낸 것이다. 먼저 거리, 온도, 기울기 센서의 신호를 입력받고, 온도 보정을 거친다. 이후 기울기센서 신호를 비교하여 현재 플랫폼이 일정 기울기 이상이라면 기울기에 따른 거리센서 신호를 보정을 실시한다. 이렇게 온도와 기울기가 보정된 4개의 센서 신호는 Fig 3에 따라 상호 비교를 수행한다. 비교 결과에 따라 현재의 Case 상태를 인식하고 그에 따라 조향을 결정하는 방식이다. 고랑 표면 영향에 따른 오차를 줄이기 위해, 먼저 센서로부터 입력된 거리값은 수십회 샘플링하여 필터링 후 평균값 산출하여 알고리즘에 반영하였다. 각 센서 값 비교요소 동일여부 판단 시에는 ±5cm의 오차범위를 두었고, 대소 비교 시에는 상대적 비율을 적용하였다. 이 때 센서 측정값의 상대적 비율은 밭고랑의 환경(깊이, 슬로프 각도 등)에 따라 달라지므로 각 환경에 맞게 조절할 필요가 있다.

2.2 플랫폼 제작

플랫폼 시제품은 Fig 4와 같이 전장 1,200mm, 전폭 350mm, 전고 710mm로 제작되었다. 전륜은 10-6.0-5.5의 광폭형 인휠모터를 장착하였고, 후륜은 외경 200mm, 폭은 100mm로 광폭형 타이어를 장착하여하중에 의해 노지를 파고 들어가는 현상



Fig. 4 Prototype platform

Table 3 The specification of platform

Parameter	Specification
Size	(W)350 × (L)1,200 × (H)710 mm
Weight	25 kg
Payload	80 kg
Power source	48 V 20 AH

을 최소화하였다. 의자는 높낮이 조절이 가능하도록 가스 실린더를 이용하여 구현하였다. 조향모터는 조향감속기와 같이 조향축 위에 직결로 연결되어 있으며, 커버를 이용하여 방수, 방진에 용이하도록 하였다. 자율조향을 하기 위해 두둑의 높이를 측정하는 센서모듈은 수확용 포대걸이 하단 프레임에 고정하였다. 프레임 경량화를 위해 알루미늄 재질을 적용하였으며, 조작패널 및 커버는 폴리카보네이트(PC)로 가공하였다.

Table 3는 제작된 플랫폼의 주요 재원을 나타낸 것이다. 플랫폼은 최대하중 80kg까지 가능한데, 성인 작업자 외 20kg의 수확물을 싣고 이동할 수 있는 수준이다.

3. 실험결과

3.1 플랫폼 주행특성 평가

개발된 플랫폼의 노지 환경 주행특성을 파악하기 위해 Table 4와 같이 자율조향 성공률, 최대속도, 사용가

Table 4 Results of test

Parameter	Result
Success rate of autonomous steering	99.17 %
Maximum speed	6.7 km/hr
Usage time	40.3 hr
Slope	5 °



Fig. 5 Autonomous steering test

능시간, 경사로 주행 등 총 4가지 항목에 대해 평가를 수행하였다.

3.1.1 자율조향 성공률

밭고랑 환경에서의 자율조향 성공률을 평가하기 위해 플랫폼의 실제 사용 환경에 가장 유사하도록 조건을 수립하였다. 직선 및 곡선(최대 12.2°)이 혼합된 조건의 총 120m 밭고랑을 1m단위 분할하여 주행 및 정지를 반복하였을 때 플랫폼이 고랑을 이탈(경사면에 전륜이 접촉되어 더 이상 주행이 되지 않을 경우)하는 횟수를 측정하였다. 평가 결과, 고랑 이탈 횟수는 1회로 약 99.17%의 성공 확률을 보였고 12도 이상의 곡선도 주행이 가능한 것을 확인하였다. Fig 5는 고랑 자율조향 평가 사진을 나타낸 것이다.

3.1.2 주행 속도

개발된 플랫폼은 수확용 의자에서 착안하여 개발하였기 때문에 작업 중 주행 속도는 중요한 성능 특성은 아니다. 다만, 밭이나 작업장 이동 시에는 일정 속도 이상이 필요하므로 최대 주행 속도에 대해 평가를 수행하였다. 플랫폼이 출발하여 가속이 완료된 후 시작지점으로부터 10 m 구간을 지날 때까지의 걸리는 시간을 측정하여 속도로 환산하였다. 주행시간은 주행 모드를 1/100초 단위의 프



Fig. 6 Speed test of platform

Table 5 Usage time test

Parameter	Result
Operating time (1 cycle)	3.2 sec
Current (RMS during 1 cycle)	1.663A
Battery capacity	75,600Ah
Usage time	40.38hr

레이م 속도로 녹화하여 환산하였다. 평가 결과는 10 m의 거리를 5.36초 동안 주행하였으며, 속도로 환산결과 6.72 km/h로 측정되었다. 평가 이미지는 Fig 6에 나타내었다.

3.1.3 사용 시간

사용 시간 평가는 배터리 완충 시 최대 전류용량 대비하여 플랫폼 한 주기 작동(1m 주행/정지)시 평균 소모전류를 측정하여 나누어서 시간으로 환산하였다. 평가 결과는 Table 5와 같이 측정되었고 사용 시간 환산결과 1회 완충 시 약 40시간 동안 사용이 가능할 것으로 예상되었다.

3.1.4 경사로 주행

플랫폼의 경사로 주행 특성을 확인하기 위해 5도 경사로에서 주행 평가를 수행하였다. 먼저 플랫폼을 평지(0도)에서 출발시켜 경사로(5도 이상)를 등반 가능 여부를 확인하였다. 평가 결과, 플랫폼의 주행모터의 최대 출력 전류는 10 A로 측정되었으며, 이는 출력제한 전류 15 A 대비 66.7% 수준으로 안정적인 등반이 가능함을 확인하였다. 등판각도 평가 이미지는 Fig. 7에 나타내었다.



Fig. 7 Slope test of platform

4. 결론

본 연구에서는 농작업 노동력 절감 및 수확 작업 시 능률 극대화를 위해 밭 노지 환경에 고랑을 자율 주행할 수 있는 플랫폼을 제안하였다. 자율조향 성공률, 최대속도, 사용가능시간, 경사로 주행 등의 항목에 대해 주행 성능 평가 결과, 밭 노지 환경에서 안정적인 주행이 가능함을 확인하였다. 향후에는 개발된 주행 플랫폼을 활용하여 여러 조건의 필드 테스트를 통해 고랑 상태에 따른 센서 인식율 향상 및 알고리즘 보안을 수행할 예정이다.

후 기

“이 논문은 2020년도 농림축산식품부 첨단농기계산업화기술개발사업, 첨단생산기술개발사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음(120077-1, 317072-04, 320028-3).”

REFERENCES

- Suprem, A., Mahalik, N., & Kim, K., “A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector,”

- Computer Standards & Interfaces, Vol. 35, No. 4, pp. 355-364, 2013.
2. Zhao, Y., Gong, L., Huang, Y., & Liu, C., "A review of key techniques of vision-based control for harvesting robot," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 127, pp. 311-323, 2016.
 3. Slaughter, D. C., Giles, D. K., & Downey, D., "Autonomous robotic weed control systems: A review," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 61, No. 1, pp. 63-78, 2008.
 4. Kim, W. K., Kim, D. G., & Yang, S. H., "Recognition of agricultural components using IR image for agricultural field robots," *ICROS Annual Conference 2018*, pp. 335-336, 2018.
 5. Kim, C. W., & Seo, J. H., "A Bio Inspired Control Strategy for a Mecanum-Wheeled Robot Position Control," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 23, No. 12, pp. 1055-1062, 2017.
 6. Ko, K. E., Yang, S., & Jang, I., "Real-Time Tomato Ripeness Classification System based on Deep Learning Model for Object Detection," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 24, No. 11, pp. 999-1004, 2018.
 7. Subramanian, V., Burks, T. F., & Arroyo, A. A., "Development of machine vision and laser radar based autonomous vehicle guidance systems for citrus grove navigation," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 53, No. 2, pp. 130-143, 2006.
 8. Cho, Y., Woo, S. Y., Song, S. H., Hong, H. G., Yun, H., Oh, J. S., & Kim, D. H., "A Study on Modular Agricultural Robotic Platform for Upland", *Journal of Korea Robotics Society*, Vol 15, No. 2, pp. 124-130, 2020.