

고랑인식 센서 모듈을 이용한 밧고랑 자율조향에 대한 연구

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

^{*}한국로봇융합연구원 농업로봇자동화연구센터, ^{**}포항공과대학교 기계공학과,
^{***}경북대학교 로봇 및 스마트시스템공학과, ^{****}안동대학교 바이오ICT융합공학과

A Study on Furrow Autonomous Steering using Furrow Recognition Sensor Module

Yongjun Cho^{*,****}, Kwanhyung Park^{*}, Haeyong Yun^{*}, Hyunggil Hong^{*}, Jangseok Oh^{*}, Minsu Kang^{*},
Sunho Jang^{*}, Kabho Seo^{*,**,***}, Youngtae Lee^{****,#}

^{*}Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, ^{**}Dept. of Mechanical Engineering,
POSTECH, ^{***}Det. of Robot & Smartsystem Engineering, KNU, ^{****}Dept. of Bio-ICT Engineering,
Andong National University

(Received 12 July 2022; received in revised form 29 July 2022; accepted 03 August 2022)

ABSTRACT

In this paper, as a research on autonomous steering for agriculture, a sensor module for furrow recognition was developed through a low-cost distance sensor combination. The developed sensor module was applied to the vehicle, and when driving in a furrow curve, the autonomous steering success rate was 100% at a curvature of 20 m or more, and 70% at a curvature of 15 m or less. The self-steering success rate according to the ground condition showed a 100% success rate regardless of soil, weeds, or mulching film.

Keywords : Autonomous Steering System(자율조향시스템), Autonomous Steering for Furrow(고랑 자율조향), Furrow Recognition(고랑 인식)

1. 서 론

국내 농업은 인구의 감소와 함께 고령화 및 여성 편중 문제가 심화되고 있다. 우리나라는 세계 최저 수준의 출산율 등으로 인해 OECD 국가 가운데 고령화 속도가 가장 빠르다. 1970년 4.5명이었던 우리나라의 합계출산율은 2010년 1.23명으로 급속히

하락하였으며, 전체 인구에서 65세 이상의 고령인구 비율은 1970년 3.1%에서 2010년 11.3%로 증가하였다. 특히 농업분야에서는 65세 이상의 고령 농가가 차지하는 비율이 1970년 4.9%에서 2018년 44.7%로 크게 증가하였고 2022년에는 50%에 이를 전망이다.^[1] 별도의 은퇴 기준이 없는 농업의 특성 상 대부분의 고령 농업인은 각종 수전 농업이나 밭작물 등의 재배를 지속하고 있으므로 국내 농업 종사자 중 상당수가 고령자라고 볼 수 있다. 통계에서 보듯이 농업 자동화 기계 및 로봇 개발을 통해

Corresponding Author : yilee@andong.ac.kr

Tel: +82-54-820-5744

고령 농업인을 위한 노동력 대체 및 미래 농업 환경에 대한 준비는 필수적이라고 할 수 있다. 최근 자율주행, 인공지능 기술 고도화에 따라 관련 기술을 적용한 무인 운전 및 작업이 가능한 농기계 및 농업로봇을 농업 선진국을 중심으로 속속히 출시되고 있으며 그 외에도 생육계측, 자율작업에 대한 연구 개발도 활발히 이루어지고 있다.^[2-7] 본 연구 주제 역시 거리센서 기반 고랑인식 알고리즘 및 이를 활용한 자율주행 플랫폼에 관한 것으로써 본지에 설계 및 제작, 평가에 대한 내용을 발표한다. 본 논문에서는 농업용 자율조향 플랫폼에 대한 후속 연구로써 플랫폼 자율조향을 위한 고랑 인식 센서 모듈 개발 및 개발 제품 적용을 통한 자율조향 특성 평가에 대해 기술하였다.

2. 본론

2.1 고랑환경 정의

밭고랑을 자율조향하기 위해서 먼저 현재 고랑의 단면 인식을 하고 고랑 중심선을 추종하는 조향 제어가 필요하다. 그러므로 고랑 단면 인식은 조향 성공률을 결정하는데 중요한 핵심 요소이다. 고랑 인식을 위해 우리는 노지 고추밭을 섭외하여 실제 두둑과 고랑 치수를 측정하여 고랑인식을 위한 기준점을 확인하였다. 측정은 각 부분에 10회 표본 측정하였으며 최대, 최소값을 기준으로 오차범위를 선정하였다. 아래 Fig. 1은 고추밭 고랑 치수 측정 사진 및 측정된 고랑 기준 치수를 나타낸 것이다.

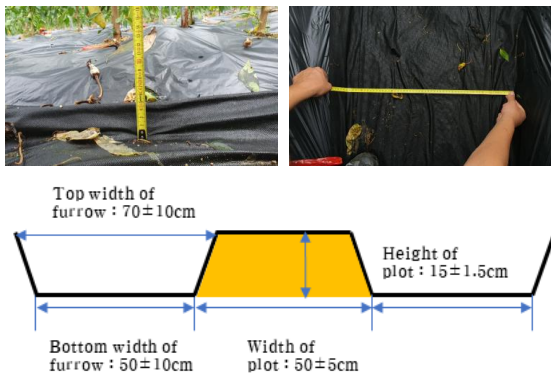


Fig. 1 Modeling of autonomous steering platform

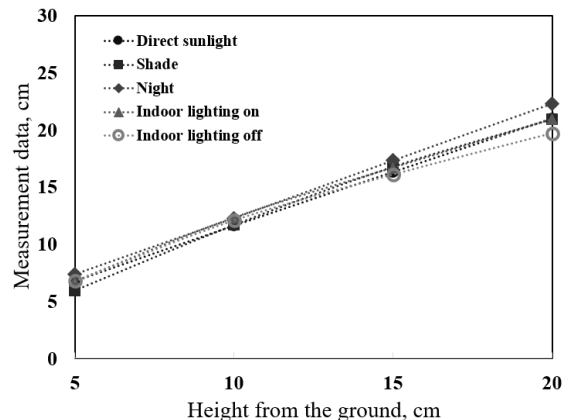
Table 1 The specification of distance sensor

Parameter	Specification
Part name	TFmini plus LiDAR
Detection range	10~1,200cm
Output type	UART
IP	IP65

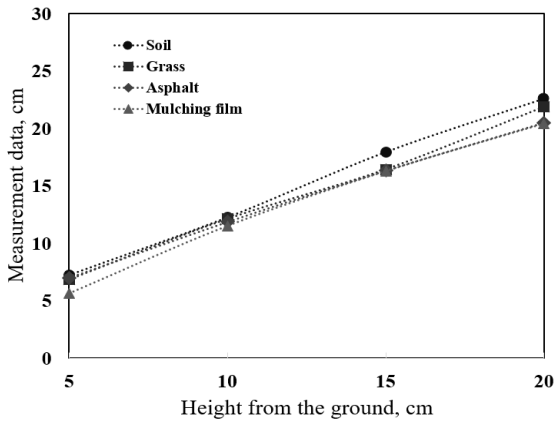
2.2 고랑인식 센서 모듈 환경영향 평가

700mm 파장대역의 적외선 거리센서 다수를 조합하여 고랑 양 옆의 경사면과 가장 하단의 중심점의 거리 차이를 감지함으로써 고랑단면을 인식하였다. 아래 Table 1은 고랑인식센서 모듈에 사용된 센서의 사양을 나타낸 표이다. 선정된 센서의 외부 환경영향에 대한 특성을 확인하기 위해 조도(태양광), 온도, 지면상태, 지면과의 높이와 같이 농업환경에서 고려되어야 할 환경 변화 요인 기준으로 센서의 거리 측정 평가를 수행하였다. 측정 결과, 조도 환경에 따른 측정 오차는 최대 1.43cm, 바닥면 오차는 최대 2.17cm, 온도 변화에 대한 오차는 최대 2.63cm로 측정되었다. 외부 환경영향에 따른 센서 특성 평가 결과는 Fig. 2에 나타내었다.

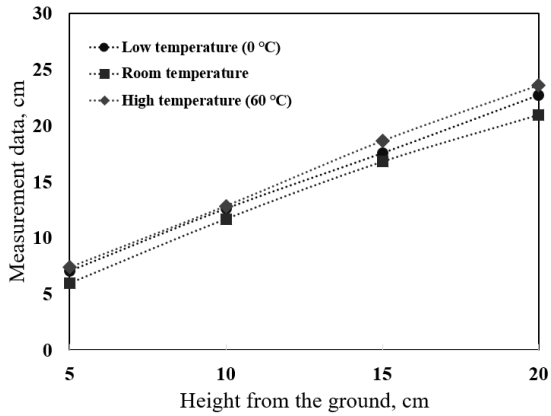
앞서 측정한 실제 고추밭 두둑 최저 높이가 13.5cm 이고, 선정된 센서의 환경에 의한 최대 오차는 2.63cm이므로 고랑을 인식함에 있어서 충분한 성능을 보임을 알 수 있었다.



(a) Condition of the ground



(b) Illuminance environment



(c) Temperature of outside

Fig. 2 Measurement results according to the external environment

2.3 고랑인식을 위한 센서 배치

다수개의 센서로 고랑 단면을 효율적으로 인식하기 위해 센서 배치를 ‘-’형과 ‘V’형 2가지로 나누어 설계하였다. 배치 형상대로 고랑인식 센서모듈은 좌우 대칭 구조로 설계하였으며 외각면 센서는 경사면, 내각면 센서는 바닥면을 감지하도록 배치 각도와 지면에서의 높이를 지정하였다. Fig. 3은 센서 배치 각도, 높이 측정을 위한 평가 사진을 나타낸 것이고, 측정 결과, 지면에서의 높이 25cm일 때 기준으로 내측 각도는 150도, 외측은 165도로 확인되었다. 보다 효율적인 센서 배치 형태를 확인하기 위해 형태별로 고랑 내 주행 시 센서 특성을 평가하였다.

Fig. 4는 평가 결과를 나타낸 그래프이고, 평가 결과, ‘V’형 배치가 ‘-’형 배치에 비해 보다 약 75%의 양호한 감도를 보였다. 이는 일률적이지 않은 고랑 환경에서 최고점과 최저점을 구분하는데 있어 중요한 요소이다.

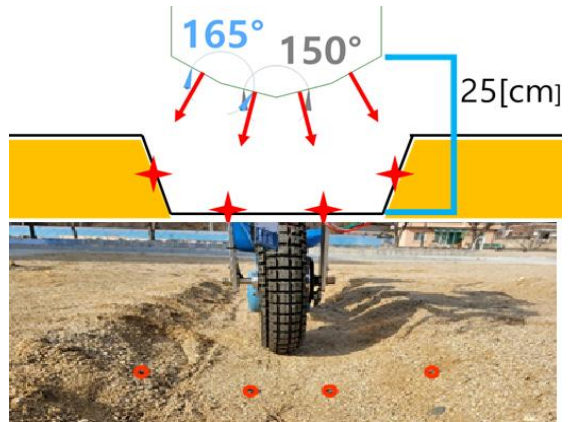
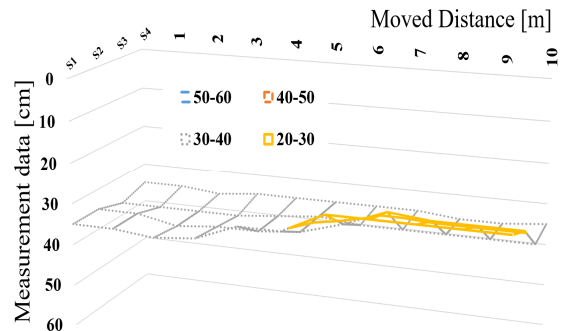
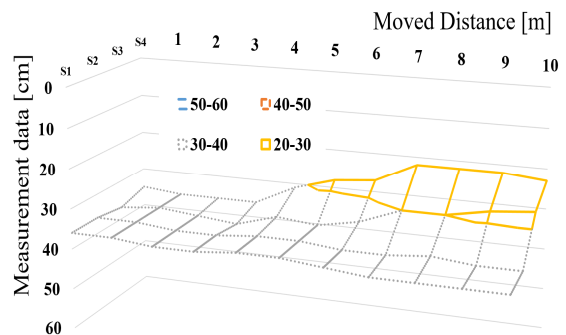


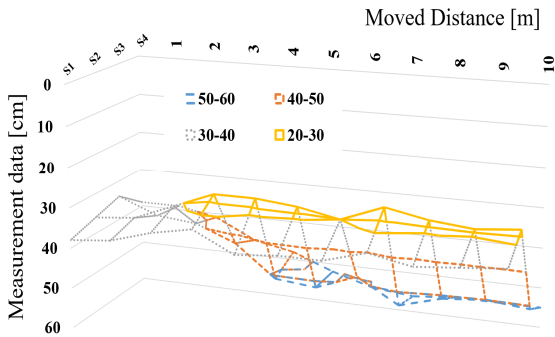
Fig. 3 Test for placement of furrow recognition sensor



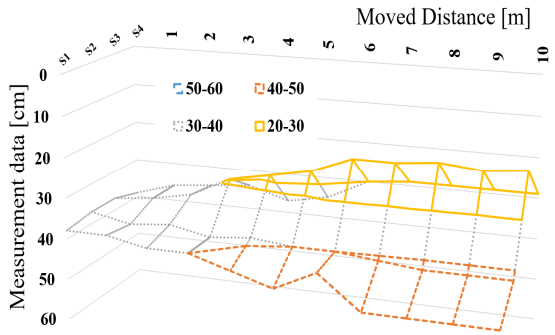
(a) Straight_Turn right



(b) Straight_Turn left



(c) V-Shaped_Turn right



(d) V-Shaped_Turn left

Fig. 4 Furrow recognition characteristics according to sensor arrangement type

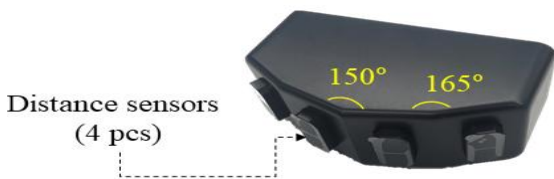


Fig. 5 Manufactured sensor module

2.4 고랑인식 센서모듈 제작

센서 배치 단락에 도출된 데이터를 기반으로 고랑인식용 센서 모듈을 Fig. 5와 같이 제작하였다. 고랑인식 센서 모듈은 ‘V’자 배치를 가지도록 플라스틱 케이스 가공 시 도출된 센서 배치 각도를 설계에 반영하였다. 주행 플랫폼의 전후단에 장착할 수 있도록 케이스가 구성되어 있으며 모듈 내부에 기울기 센서와 온도센서, 신호처리부를 포함하는

PCB를 고정할 수 있도록 하였다. 고랑인식을 위한 신호처리 알고리즘 및 시스템 제어에 대한 내용은 앞서 발표한 논문에 상세히 기술하였다.^[8]

3. 실험결과

3.1 고랑 곡선로 조향 특성

국내 밭 농업 환경은 지형적 특성상 경사도가 있는 밭과 들이 주를 이루고 있으며, 개인 위주의 소규모 농장이 대부분을 차지하고 있다. 그러므로 개발된 고랑 인식모듈의 고랑 내 자율조향 특성을 파악하기 위해 고랑 곡률, 지면 상태에 대한 평가를 수행하였다. 고랑은 고추밭에서 측정된 기준 치수로 고랑을 형성하고 곡률은 10~20m까지 5m단위로 20회씩 반복 평가하였다.

곡률에 따른 자율조향 성공률은 20m 곡률에서는 모두 성공하였으며, 15m 곡률에서는 70%, 10m 곡률에서는 50%의 성공률을 보였다. 일반적으로 20m 곡률 이상으로 고랑이 형성되어 있으므로 특수한 산악지역의 노지 밭 환경을 제외하고는 사용에 있어서 무리가 없음을 확인하였다. 곡률이 커지면서 성공률이 낮아진

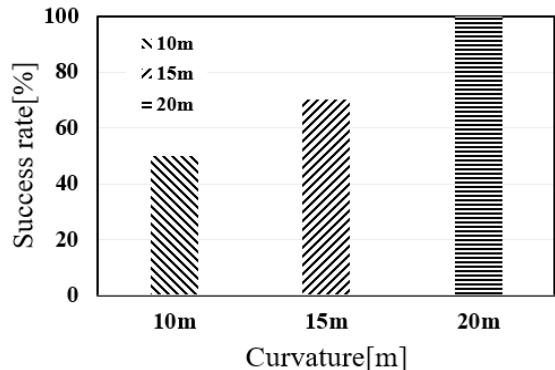
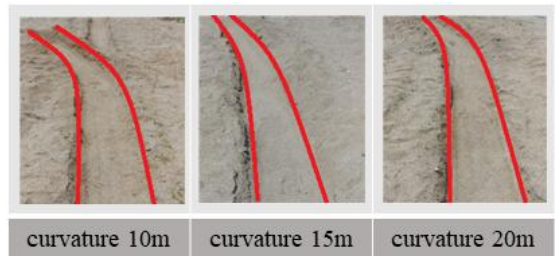


Fig. 6 Autonomous steering success rate according to curvature

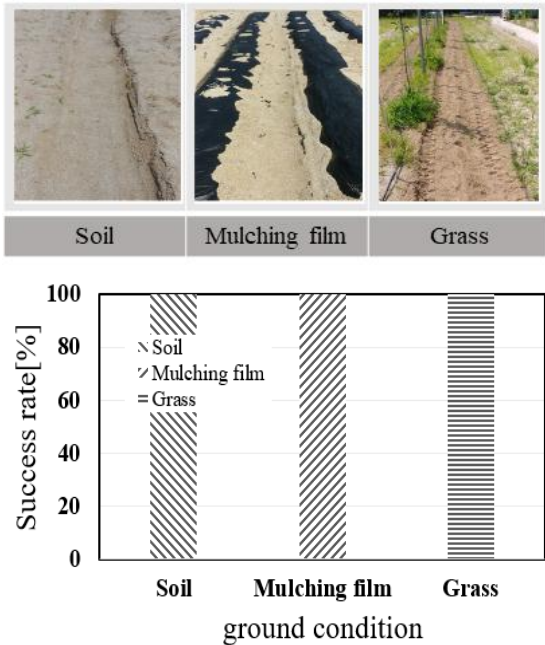


Fig. 7 Autonomous steering success rate according to ground conditions

이유는 주행속도 대비 센서 모듈의 경사면 측정 속도의 차이 및 경사면의 조도, 지속적인 플랫폼 기울기 변화에 따른 노이즈 발생이 원인으로 예상되며 성공률을 높이기 위해 기울기센서 보정 알고리즘의 최적화 및 센서 모듈의 측정 신호 대비 노이즈 필터링 방안을 추후 상용화 개발에서 지속 강구할 예정이다.

3.2 지면 상태에 따른 자율조향 특성

지면의 상태에 따른 자율조향 특성을 평가하기 위해 지면을 흙, 비닐, 잡초 환경으로 지정하고 10m 거리를 각각 20회 반복 주행하여 조향 성공률을 환산하였다. 지면 영향 평가 결과, 흙, 비닐, 잡초 모든 환경에서 성공적으로 100% 자율조향이 되어, 지면 상태에 대한 영향은 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 RTK-GPS, LiDAR 등 고가의 자율주행 부품 사용 없이 저가형 거리센서를 조합으로 한 고랑인식 센서 모듈을 개발하여 고랑 내 자율조향 특성 평가를

수행하였다. 고랑의 곡률, 지면의 상태 등 외부 환경에 대해 안정적인 고랑인식 및 자율조향 성공률을 보여 농업용 보조로봇, 추종 플랫폼 등 반 자율 고랑 주행을 위한 단기간 상용화 기술을 확보했다고 할 수 있다. 추후 무인 농업용 로봇 및 자율주행 플랫폼 적용을 위한 보다 안정적인 고신뢰성 센서 모듈을 개발하기 위해서는 불균일한 고랑 상태, 작물 등에 의한 외부 노이즈에 대한 신호 보정 및 필터링을 추가적으로 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

“이 논문은 농림축산식품부 첨단농기계산업화기술 개발사업, 노지분야 스마트농업 기술 단기 고도화사업, 기술사업화지원사업, 중소벤처기업부 중소기업기술혁신개발사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (120077-1, 322041-2, 122053-3, S3243475).”

REFERENCES

1. “2020 Agricultural, Forestry and Fisheries Census Results“(2021), https://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/8/2/index.board?bmode=read&aSeq=403184&pageNo=1&rowNum=10&amSeq=&sTarget=title&sTxt= (accessed 28, Sep., 2021).
2. Bechar, A., & Vigneault, C., “Agricultural Robots for Field Operations: Concepts and Components,” *Biosystems Engineering*, Vol. 149, pp. 94-111, 2016.
3. Noguchi, N., “Agricultural Vehicle Robot,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 30, No. 2, pp. 165-172, 2018.
4. 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.
5. Foglia, M. M., & Reina, G., “Agricultural Robot for Radicchio Harvesting,” *Journal of Field Robotics*, Vol. 23, No. 6-7, pp. 363-377, 2006.
6. Cho, Y., Yun, H., Hong, H., Oh, J., Woo, S., Song,

- S., ... & Jo, J., “A Study on Bird Deterrent System to Improve the Performance of Repelling Harmful Birds”, Journal of Korea Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 8, pp. 15-21, 2020.
7. Cho, Y., Woo, S. Y., Song, S. H., Hong, H. G., Yun, H., Oh, J. S., “A Study on Modular Agricultural Robotic Platform for Upland”, Journal of Korea Robotics Society, Vol 15, No. 2, pp. 124-130, 2020.
8. Cho, Y., Yun, H., Hong, H., Oh, J., Park, H. C., Kang, M., & Lee, Y., “Development of Autonomous Steering Platforms for Upland Furrow”, Journal of Korea Society of Manufacturing Process Engineers, Vol 20, No. 9, pp. 70-75, 2021.