

밭 노지 작업을 위한 모듈형 농업 로봇 플랫폼 개선에 관한 연구

김동우*, 홍형길*[#], 조용준*^{***}, 윤해룡*,
오장석*, 강민수*, 박희창*, 서갑호*^{**}

*한국로봇융합연구원 농업로봇자동화연구센터, **포항공과대학교 기계공학과,
***안동대학교 바이오ICT융합공학과

Improvements to a Modular Agricultural Robot Platform for Field Work

Dongwoo Kim*, Hyunggil Hong*[#], Yongjun Cho*^{***}, Haeyong Yun*,
Jangseok Oh*, Minsu Gang*, Huichang Park*, Kabho Seo*^{**}

*Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, **Dept. of Mechanical Engineering, Pohang University of Science and Technology, ***Dept. of Bio-ICT Engineering, Andong National University

(Received 31 May 2021; received in revised form 06 August 2021; accepted 06 September 2021)

ABSTRACT

Our study introduces an improved modular agricultural platform to provide convenience to agricultural workers. We upgrade the platform design in three parts, namely, by adding a 458 pattern tire, electricity control, and four-wheel steering function, to improve the platform performance. Results showed that the upgrades enhanced the platform performance and reduced its overall weight as compared with the existing platform. To demonstrate the performance of our improved platform, we conducted five types of experiments with respect to the climbing angle, variable width, attitude control, speed, and obstacle passing.

Keywords : Agricultural Robot(농업용 로봇), Modular Farming Robot(모듈형 농업 로봇), Remote Control(원격제어), Unmanned Intelligent Platform(무인 지능형 플랫폼)

1. 서 론

최근 벼농사에 비해 소득 수준이 높은 밭 작물이 증가함에 따라 밭농업이 농가의 주 소득원으로 부상하고 있어 밭농업의 중요성이 증가하고 있다.^[1] 그러나, 농업의 기계화 측면에서 보면 논농

업의 기계화율은 95퍼센트 이상이지만, 밭농업의 기계화율은 60% 이하이고 특히 파종, 이식기의 경우 각각 8.9% 23%에 불과한 상황이다.^[2] 밭농업에서 기계화가 부진한 이유로는 출하용도와 형태에 따른 다양한 기계 구성, 재배품목의 잦은 변동, 재배규모의 영세성 등이 있다.^[3]

이러한 문제를 해결하기 위해서는 기계 구성을 다양하게 할 수 있는 통합된 형태의 농기계가 필요하고, 농가 규모가 영세하기 때문에 비용 절감

Corresponding Author : honghg@kiro.re.kr

Tel:

Fax: +82-54-820-2891

이 가능한 모듈형 농업 플랫폼이 필요하다. 모듈형 발농업 플랫폼을 위한 기술들을 살펴보면, 국내사례로는 적외선 CMOS 카메라 영상을 활용한 농지 구성물 인지 기술^[4], 농업용 4륜구동 로봇에 적용 시킬 수 있는 주행 안정성 개선방법^[5], 4륜 독립구동 로봇에서의 주행 궤적 추종 성능 향상을 위한 휠 슬립 검출 및 보상제어^[6] 같은 기술들이 개발되었다.

국외사례로는 농작업을 위한 로봇 제작^[7-9], 스키드 조향 농업 로봇의 전력 특성 분석 및 최적화^[10], 기존 수확 로봇의 성능 개선^[11] 등 여러 기술들이 개발되었다. 그러나 농기계 산업 부품 및 원천 기술 측면에서 보았을 때, 농업 선진 국가와 비교해보면 기술력이 부족한 것이 현실이고, 스마트 농업 시장의 규모가 점차 커지고 있는 것에 비해, 시장 점유율의 대부분은 외산 기계가 차지하고 있는 실정이다.

이에 따라, 국내 원천 기술력 확보를 위해 국내 발농업 실정에 맞는 모듈형 농업 로봇 플랫폼^[12]을 제작 및 시제품 테스트를 하였다. 하지만 한국형 발농업 특성에 부합하면서 농작업 노동력 절감 및 작업 능률을 극대화하기 위해서는^[12] 개선된 플랫폼의 개발 필요성이 대두 되었다.

본 연구에서는 이전에 개발한 농업 플랫폼을 발농업 환경에서 테스트하면서 발생한 문제점을 바탕으로 기구 설계 및 전장부를 변경하였으며, 주행 안정성을 높이기 위해서 4륜 조향 기능의 알고리즘 개선을 진행하였다. 최종적으로 기존 테스트와 동일한 항목에서 조건을 강화하여 등판 각도, 자세제어, 속도 및 장애물 통과 등을 테스트하였다.

2. 본 론

2.1 개선 플랫폼의 구성

개발한 기존 플랫폼^[11]은 모터리, 휴립피복, 방재, 정식, 운반기 등을 메인 전장박스 하단에 부착하여 다목적 발농업 작업을 진행하였다. 하지만 기구적으로 독립 4륜 주행, 조향 구조, 작업기의 무게 및 노지를 주행하는 타이어 하중 분배 등으로 인해서 높은 소비 전력, 고중량, 가변 폭 변경의 어려움, 소형 타이어 등의 문제점이 발생하였다.

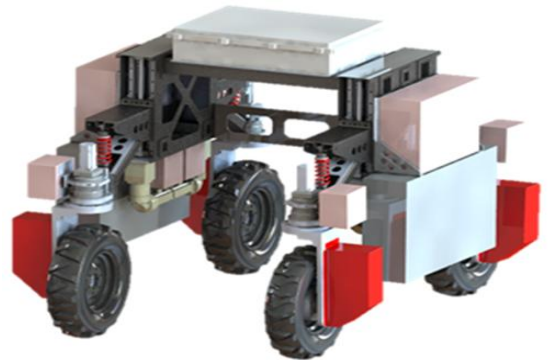


Fig. 1 Improved platform

Fig. 1은 개선된 플랫폼의 외형을 나타낸 그림이다.

개선된 플랫폼은 작업기, 배터리 등의 추가적인 무게들을 고려하여 플랫폼의 하중을 이전보다 개선하였고, 작업기들의 탈부착이 용이하도록 작업기 체결구조 및 가변 폭을 변경 가능하게 개발하였다. 또한, 주행 안전성을 높이기 위해서 농업용 타이어로 변경하였고, 농작업 환경에 적합하게 전장 부분들을 변경하였다. Table 1은 이전에 개발한 플랫폼과 개선된 농업용 플랫폼의 주요 사항을 비교한 표이다.

2.2 플랫폼 기구부 개선

개선된 플랫폼에서 기구부의 개선 사항은 주행 타이어 개선, 작업기 체결구조 변경, 가변 폭 변경 용이성 증대 같은 항목들이 있다. 기존 플랫폼의 타이어는 외경이 18인치이며 폭은 7.5인치로 허용 중량은 축당 최대 하중 180kg이다. 이는 동력부와 작업기를 모두 부착한 상태의 무게인 700kg 이상의 무게를 감당하기에는 타이어 허용 중량의 안전 계수가 낮은 문제가 있었다. 또한, 기존 18인치 타이어는 허용 하중이 낮고, 농경지에서 견인력을 발생하는 타이어 리그의 패턴이 단순하고 높이가 낮아 험지에서의 탈출의 어려움이 있었다.

일반적으로 험지에서 고립되었을 때 플랫폼이 탈출하기 위해서는 타이어의 지름이 클수록 험지에 고립될 확률이 줄어들고, 고립되더라도 탈출이 용이하다. 이 문제를 해결하기 위해서 개선플랫폼의 예상 무게를 700kg으로 상정하고 안전계수 1.5를 곱해 허용무게 이상을 만족하는 타이어들을 선정

하였으며, Fig 2와 같다. 선정된 458 패턴의 타이어는 23.32인치이며 리그 높이도 15mm로 낮아 조향에 필요한 힘이 적게 드는 장점이 있다. 이를 적용하여 무게 문제와 험지 탈출 능력을 개선하였다.

Table 1 Comparison of Agricultural Robot Platform Specifications

Parameters	Existing Platform	Improve Platform
Size	1680 x 2000 x 1480	1560 x 2000 x 1570
Weight	530kg	430kg
Tire	18inch ATV tire	23inch
Attitude control width	220mm	270mm



Fig. 2 458 Pattern tire

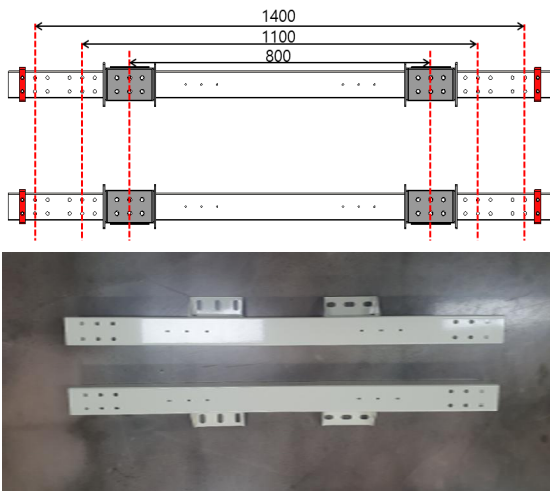


Fig. 3 The square pipe with variable phenomenon applied

본 연구에서 사용되는 플랫폼은 다양한 작물의 두둑 간격을 반영하여 가변 폭 조절이 편하게 되게 설계가 되어야 한다.

기존 플랫폼에서는 장비의 안전성 문제로 원형 파이프를 고정하여 테스트 진행하였다. Fig. 3을 참조하면, 개선 플랫폼에서는 비틀림 응력에 저항성을 지니고 있는 각형 파이프를 활용하여 플랫폼 내부에 작업할 수 있는 공간의 크기가 800mm, 1,100mm, 1,400mm 3단계로 구성되어 있으며, 내부 사이즈 공간이 800mm 일 때 바깥쪽 바퀴와 바퀴 사이 거리는 약 1,085mm로 1,100m 이량의 넓이를 가지는 작물에 대응 가능하도록 가변 폭 변경을 보다 용이하게 설계하였다.

개선된 작업기의 체결구조는 안전사고를 방지하는 부분에 중점을 두어 설계를 진행하였다. Fig. 4를 참조하면, 기존의 작업기 체결구조는 중앙에 위치한 두 개의 일반구조용 탄소강관에 위와 아래를 체결하는 클립프를 설계하여 동력부를 체결하는 동안 동력부의 하중을 들어 올린 상태로 체결하는 형태였다. 동력부의 무게는 150kg 이상으로 리프트 장비 없이는 체결할 수 없는 단점이 존재

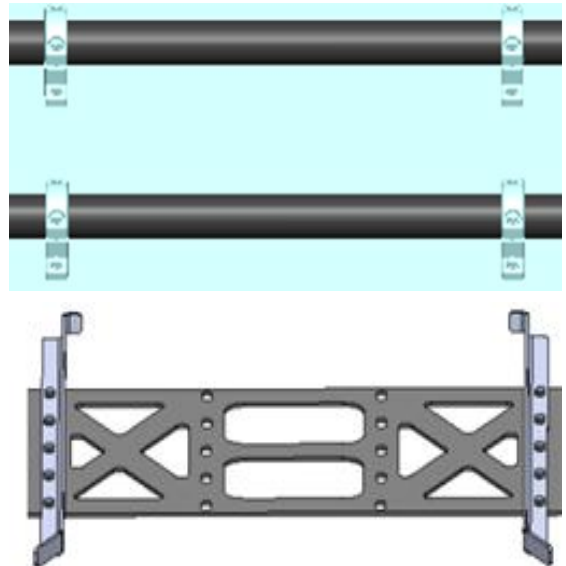


Fig. 4 Improvement of fastening structure of working machine. (top : original platform, down : improved platform)

하였다. 또한, 상부에서 볼트로 고정되는 방식이라, 진동에 의해 나사가 풀어지는 문제도 발생할 수 있다. 이를 개선하기 위해서, 개선된 플랫폼에서는 동력부의 고정방식을 상부 체결 방식이 아닌 슬라이드 방식으로 정해진 위치에 고정시키는 방식으로 설계하였다. 기존 플랫폼은 캔틸레버 형태의 구조로 길이가 길어질수록 모멘트가 크게 발생하여 파손이 발생할 수 있는 구조였다. 개선 플랫폼은 슬라이드 슬롯으로 인해 사각형 닫힌 구조로 프레임이 제작되어 구조적인 안전성이 높으며, 볼트가 풀려서 발생하는 안전사고를 방지할 수 있게 설계되었다.

2.3 플랫폼 전장 및 모터 개선

개선된 플랫폼에서 전장 및 구동부는 기존 플랫폼에서 변경된 기구부를 반영하고, 농작업에서의 자율성 및 편의성을 위해서 변경하였다. 변경 사항으로는 주 전원, 전원 연결부, 모터, 조향 및 자세제어 모터, 전장박스, 시스템 쿨러, 케이블 방수/방진 등이 있다.

Fig. 5는 개선된 플랫폼 전장 구성을 나타낸 것이며, 개선 플랫폼의 주요 변경된 부분은 Table 2와 같다. 전장 케이블의 최소한 사용을 위한 각 드라이버의 위치를 모터 주변으로 조정하였고, 드라이버의 위치 조정으로 각 방수/방진을 위한 전장 박스를 설치하였다. 또한, 기존대비 측면 전장 박스의 크기 축소 및 제어기능을 분산하여 설계하였으며, 센서 및 제어장치의 장착을 위한 메인 전장박스를 설계하였다.

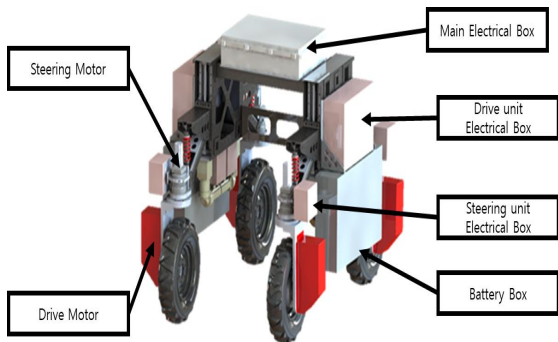


Fig. 5 Composition of platform electronic parts

Table 2 Comparison of platform electronic parts.

Parameters	Existing Platform	Improve Platform
Main power	Wired power supply (Wired Power Suppler)	Battery-51.1V 400AH
Main power connection	Electronic connection method (Magnet Contactor)	Contactless switch SSR (Solid State Relay)
Drive Motor	1.6kw	0.8kw
Steering and attitude control motor	0.2kw	0.4kw
Electrical box	Two main electrical box	Three main electrical box and six assistant electrical box.
System Cooler	80mm (4EA)	80mm (21EA)
Cable (waterproof /protection against dust)	Connector detachable Connector panel	Cable panel

전체 전원은 기존의 외부 전원 공급기 사용방식에서 배터리(51.1V 400AH) 배터리로 교체하여 구동 자유도를 상승시켰다. 주 전원 연결방식은 단속방식을 기계적 접촉 방식에서 전자식 접촉방식으로 변경하여 전기적 연결에 따른 충격을 완화시켜서 전원 연결 시에 발생하는 노이즈 및 접점과 정전용량으로 발생하는 전기적 충격으로 인한 문제를 개선하였다.

구동부, 조향부 및 자세제어 모터 사양은 전반적으로 플랫폼의 무게가 100kg가량 줄어들고 기어 비를 상승시켜서 각 파트별로 토크 산출 공식으로 계산하여 모터의 용량을 축소하였다. 구동부 1.6Kw 모터의 경우에 감속기의 기어 비를 1:40에서 1:100으로 증대시켜 출력이 낮은 800W 모터를 사용하여도 동작할 수 있게 개선하였으며, 조향부 및 자세제어 모터도 동일하게 기어 비를 증대시켜

서 선정하였다.

기존 플랫폼은 전장부를 2개의 전장박스로 분리하여 구성하였었고, 전원부, 제어모듈, 드라이버가 구분되지 않고 한 박스에 몰려있어 모터 드라이버에 노이즈를 일으키는 문제가 발생하였었고, 시스템 점검의 어려움이 있었다. 개선 플랫폼은 3개의 전장박스와 6개의 보조 전장박스로 구성하여 전원부, 제어모듈, 모터 드라이버를 분리하여, 시스템 점검의 용이성을 개선하였다.

모터 드라이버 전장박스를 모터 주변에 배치하여 전장케이블의 사용을 줄이고 노이즈를 개선하는 방향으로 설계하였다. 전장박스를 분리함에 따라 시스템 콜러도 기존 80mm 4개에서 80mm 21개로 숫자를 늘려 전장박스 열 배출량 또한 증가시켰다. 기존플랫폼은 방수/방진을 위해서 중계 커넥터를 사용하여 IP55 방수/방진을 구현하였다. 그러나 이는 케이블 수량의 증가의 원인이 되었고, 노이즈가 발생하는 문제가 있었다. 개선플랫폼에서는 케이블 자체를 잡는 형태의 판넬을 사용하여 케이블 수량을 감소시키고, 노이즈 발생원을 감소시켜 IP55 방수/방진을 구현하고, 관리의 용이성을 증대시켰다.

2.4 플랫폼 주행 알고리즘 개선

본 연구에서 개발한 플랫폼의 장점은 2WS 조향 방법 외 4WS 조향이 가능하며, 4WS 조향은 진행 방향의 앞에 있는 전륜 바퀴의 조향각을 조절하는 동시에 뒷바퀴도 조향을 해 회전반경을 줄임으로써, 제자리 회전을 가능하게 개발하였다. 개선된 플랫폼의 너비가 조절됨에 따라 각 바퀴의 조향 방향과 구동바퀴의 회전 방향에 대한 명확한 정의가 필요하며, 기구적으로 전폭과 전장의 값에 따라서 조향 각도가 달라지면서, 모든 바퀴가 같은 궤적을 그리게 개선하였다.

Fig. 6을 참조하면, 한 바퀴를 기준으로 조향각(θ)을 생성하며 각 바퀴는 회전축에서 법선에 위치에 있으므로 조향축과 차량의 중심은 수직의 관계가 성립한다. 따라서 조향각(θ)(1)은 수직의 각도인 90도에서 c 의 각도를 뺀 값(2)이 되고, c 의 각도는 (4)의 수식처럼 역삼각함수 공식과 전장, 전폭(3)을 이용하여 계산할 수 있다. 상기와 같은

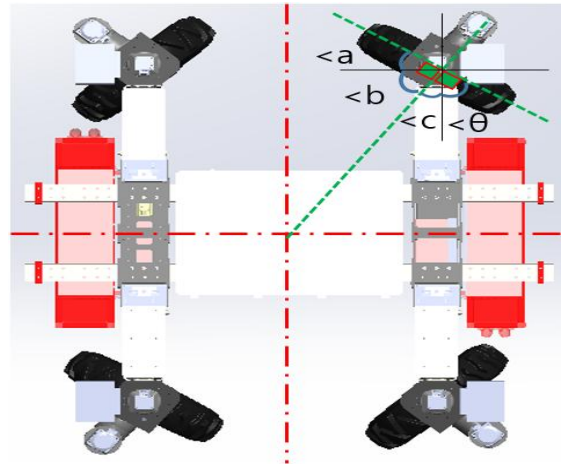


Fig. 6 In-place rotation angle

Table 3 Basic data for selection of motor

Contents of each section	Relational formula
$\angle \theta$ (Steering \angle) (1)	$\angle \theta = 90 - \angle c$ (2)
L (Full length) (3) J (Width)	$\angle c = \text{atan} \frac{L}{J}$ (4)

조건을 바탕으로 Table 3과 같은 조향 식을 산출할 수 있다.

산출된 조향 식을 바탕으로 플랫폼 제자리 회전 주행 시 4개의 조향 부의 조향각을 구하였고, 이를 제어 적으로 반영하였다.

3. 실험결과 및 고찰

개선된 플랫폼의 평가는 기존 방식과 동일하게 밭 노지 환경에서 작업 및 주행에 필요한 4가지 항목에 대해 수행하였으며, Table 4와 같다. 먼저, 플랫폼 주행 알고리즘 개선 부분과 작업 폭 가변 길이는 기존 플랫폼과 동일한 기능에 전폭과 전장의 값에 따라서 주행 플랫폼마다 적용되는 부분이 다르므로 생략하였다.

주행속도는 로봇 플랫폼의 작업량을 예측하고자 진행하였고, 자세조절 각도 폭은 경사지를 주행할 시에 필요한 작업성 확보를 위해 최대 각도를 평가하였다. 등판 각도는 이동 중 경사로의 주행 특성을 확인하기 위해 진행하였고, 노지 주행에 필

요한 장애물들을 극복하기 위해서 테스트를 진행하였다.

3.1 주행 속도

보편적인 농기계의 작업 수행 속도는 1~2km/h 정도로 작업을 수행한다. 본 논문에서는 플랫폼의 주행속도를 측정하여 농기계와 같이 작업 수행에 적합한지를 평가하였다.

플랫폼을 도로상에서 출발시켜 가속이 완료된 시점을 시작점으로 잡고 2m 테스트 구간의 통과 시간을 측정하였다. 이전 플랫폼과 개선된 플랫폼의 속도를 비교하였다. 평가 결과는 Table 4와 같이, 2m의 동일 거리에서 3.22초에 주행하였으며 2.232km/h 속도로 농기계로서 적합한 것을 확인 가능하였다.

3.2 자세제어 각도 폭 및 수평이동

자세조절 기능은 기존 플랫폼에서는 5.5도에서의 자세제어를 수행하였으나 이번 테스트에서는 Fig. 7과 같이 더 높은 5.9도의 경사로에 플랫폼을 이동시키고 자세 조절 기능을 수행하여 플랫폼 수평 유지 여부를 확인하고 수평상태에서 이동 가능한지를 확인하였다. Table 4에서처럼 경사각도 5.9도의 경사로에서 후륜 2바퀴의 자세조절 기능을 동작시켜 본체를 수평(0도) 자세를 유지하는 것을 확인 가능하였다. 이후 측면 주행을 통해 자체 조절된 상태에서 주행할 수 있음을 확인하였다. 이 항목의 경우 비탈진 노지 환경에서 울곧게 정식하는 것에 필요한 부분이며 테스트 결과 만족하는 부분을 확인하였다.



Fig. 7 Posture control test of platform

Table 4 Comparison of platform electronic parts

Test Type	Evaluation item	Existing Platform	Improve Platform
Speed test	Test distance	2m	2m
	Driving time	3.32s	3.22s
	Velocity	2.168 km/h	2.232 km/h
Posture control	Slope angle	5.5°	5.9°
Climbing test	Climbing angle	15°	20°
Obstacle passing test	Obstacle passing condition	45°, 10cm	45°, 15cm

3.3 등판각도

플랫폼의 경사로 주행 특성을 분석하기 위해서 기존 플랫폼에서 수행하였던 15도 경사로보다 높은 18도 이상의 경사로에서 등반 가능 여부 확인을 위한 주행 평가를 시행하였다.

먼저, 플랫폼을 0도에서 출발시켜 20도 경사로를 모두 올라간 후 정지하고, 하강하는 방식으로 등반 평가를 진행하였다. 평가 결과 Table 4와 같이 20도의 경사로 각도에서도 문제없이 안정적으로 등반 가능하였으며, 등판 각도 평가 이미지는 Fig. 8에 나타내었다.



Fig. 8 Slope test of platform

3.4 장애물 극복 단차

농업용 플랫폼은 작업 과정 중 두둑의 단차를 통과해야 하는 경우가 존재하며, 돌 또는 기타 장애물들이 많은 환경에서 작업을 수행한다. 이런 경우를 대비하여 Fig 9와 같이 높이 15cm, 경사도 45도의 콘크리트 장애물을 테스트필드에 설치하여 장애물 통과 여부를 확인하는 실험을 진행하였다.

개선된 플랫폼을 주행시켜 장애물을 통과했을 때 Table 4와 같이 기존 플랫폼이 통과하였던 10cm보다도 높은 15cm 장애물을 안정적으로 통과하는 것을 확인하였다.

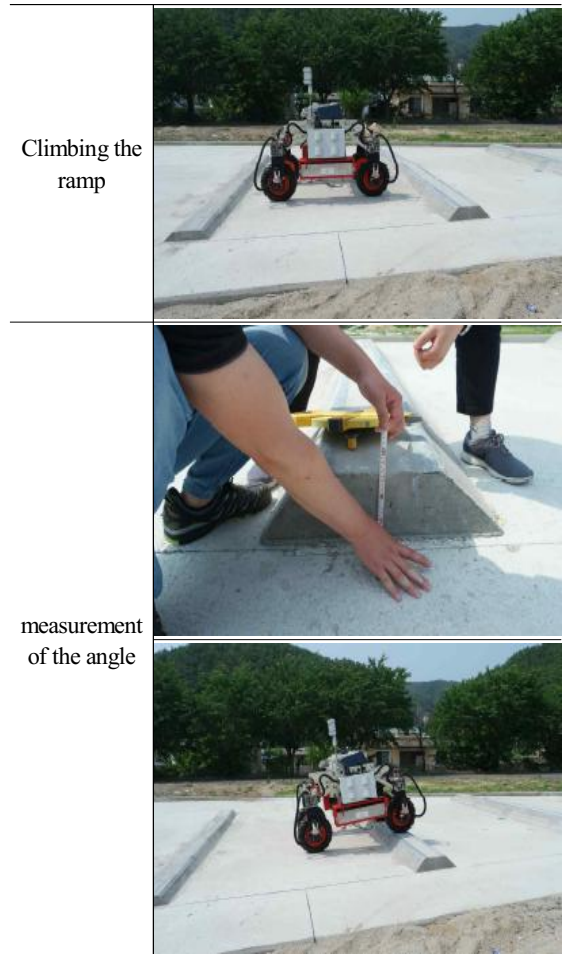


Fig. 9 Obstacle-overcoming test

4. 결론

본 연구에서는 기존 모듈형 플랫폼에서 발견된 문제점들을 반영하여 설계한 플랫폼을 제안하였다.

기존의 농기계에서 평가되는 항목들을 바탕으로 주행속도, 자세제어 각도, 등판 각도, 장애물 극복 단차 등을 테스트하였다.

성능 평가 결과, 이전 플랫폼에 비해서 밭 노지 환경에서 더욱 안정적인 주행이 가능함을 확인하였다.

향후에는 주행 플랫폼에 부착되는 작업 모듈(로

터리, 휴림, 피복, 방제, 정식)을 탈부착 시에 반자동 및 자동으로 연결되는 자동 툴 체인지 부분과 IMU, 카메라, 정밀 GPS 등을 추가하여 자율주행 개선과 등판 각도, 장애물 극복 단차 등 밭에서 주행 테스트 환경을 진행할 예정이다.

후 기

“본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업 및 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(317072-04,120077-1)”

“이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2018R1D1A1B07049072).”

REFERENCES

1. Chae, K. S., Kim, H. S., Lee, Y. S., Kim, K. P., Kook, S. Y., Mun. H. P., “Issues and development directions of field agriculture,” KERI Agricultural focus, pp. 1-20. 2014.
2. Cha, E. J., Shin, C. S., “Research and Development Trends of Field Agricultural Machinery in Domestic and Foreign Countries,” In proceedings of the KSAM & ARCS 2021 Spring Conference 2021, Vol. 26, No.1, pp. 32-32. 2021.
3. Yoo, L. N., Hwang, S. C., “A Comparative Study on the Policy of Korea and Japan for Improving Upland Farming Mechanization,” Journal of Korean Society of Rural Planning, Vol. 24, No. 4, pp. 89-97, 2018.
4. Kim, W. K., Yang, S. H., “A Comparative Study on the Policy of Korea and Japan for Improving Upland Farming Mechanization,” ICROS Annual Conference 2018, pp. 335-336, 2018.
5. Kim, K. C., Ko, M. H., Oh, Y. S., Imaan, D.-Y., Lee, J. H., Ryuh, B. S., “A Comparative Study on the Policy of Korea and Japan for Improving Upland Farming Mechanization,” Korean Society for Precision Engineering, pp. 478-479, 2014.
6. Kim, B. S., Cho, S. W., Moon, H. C., “Slip Detection and Control Algorithm to Improve Path Tracking Performance of Four-Wheel Independently Actuated Farming Platform,” The Journal of Korea Robotics Society, Vol. 15, No. 3, pp. 221-23, 2020.
7. Danton, A., Roux, J.-C., Dance, B., Christophe, C., Lenain, R., “Development of a spraying robot for precision agriculture: An edge following approach,” 2020 IEEE Conference on Control Technology and Applications, pp. 267-272, August 24-26, 2020.
8. Bechar, A., Vigneault, C., “Agricultural robots for field operations: Concepts and components,” Biosystems Engineering, Vol. 149, pp. 94-111, 2016.
9. Bechar, A., Vigneault, C., “Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems,” Biosystems Engineering, Vol. 153, pp. 110-128, 2017.
10. Dogru S., Marques L., “Power Characterization of a Skid-Steered Mobile Field Robot with an Application to Headland Turn Optimization,” Journal of Intelligent & Robotic Systems, Vol. 93, Issue. 3/4, pp. 601-615, 2019.
11. Lehnert, C., McCool, C., Sa, I., Perez, T., “Performance improvements of a sweet pepper harvesting robot in protected cropping environments,” Journal of Field Robotics, Vol. 37, Issue. 7, pp. 1197-1223, 2020.
12. Song, S. H., Oh, J. S., Hong, H. G., Woo, S. Y., Seo, K. K., Kim, D. H., “Robot platform design for multipurpose field farming,” KSMTE Conference 2018, pp. 148, 2018.