

벼농사용 무인 제초로봇의 건답환경 주행 성능

Traveling Performance of a Robot Platform for Unmanned Weeding in a Dry Field

김국환¹, 김상철¹, 홍영기^{1,✉}

Gook-Hwan Kim¹, Sang-Cheol Kim¹, and Young-Ki Hong^{1,✉}

¹ 농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 (Department of Agriculture Engineering, National Academy of Agricultural Science, RDA)
✉ Corresponding author: sanm70@korea.kr, Tel: +82-31-290-1854

Manuscript received: 2013.8.6 / Revised: 2013.9.29 / Accepted: 2013.12.11

This paper introduces a robot platform which can do weeding while traveling between rice seedlings stably against irregular land surface of a paddy field. Also, an autonomous navigation technique that can track on stable state without any damage of the seedlings in the working area is proposed. Detection of the rice seedlings and avoidance knocking down by the robot platform is achieved by the sensor fusion of a laser range finder (LRF) and an inertial measurement unit (IMU). These sensors are also used to control navigating direction of the robot to keep going along the column of rice seedling consistently. Deviation of the robot direction from the rice column that is sensed by the LRF is fed back to a proportional and derivative controller to obtain stable adjustment of navigating direction and get proper returning speed of the robot to the rice column.

Key Words: Unmanned Weeding Robot (무인 제초 로봇), Sensor Fusion (센서 융합), Rice Seedling Detection (모열 검출), Path Estimation (경로 추정)

1. 서론

최근 친환경 농업은 건강과 환경에 대한 많은 사람들의 관심 증폭에 발맞춰 안전한 식품의 생산 요구가 확산되고 있다. 농업분야, 잔디, 골프장, 스포츠 분야 등에서 잡초를 관리하기 위하여 다량의 제초제가 사용되고 있는데, 이로 인한 환경 오염은 경제적 이익에 비해 피해가 심각하다. 제초제의 사용을 줄이면서 잡초를 제거하기 위해서는 수작업이 가장 좋은 방법이나, 시간과 비용이 많이 든다.¹ 농촌 인구의 급속한 고령화와 여성화로 인한 노동력 감소는 그런 힘든 작업을 더 어렵게 한다. 그래서 제초제 없이 물리적 제초방식을 대신할 수 있는 새로운 제초기술의 개발이 필요하다. 본 논문은 친환경 미래 농업 기계로써 제초로봇을

제안한다. 제초로봇은 노동집약적 제초 프로세스에 로봇 기술을 적용시켜 경작 범위를 넓히고 생산성을 증대시킬 수 있다.

최근 많은 연구자에 의해 활발히 진행되고 있는 자율 이동 시스템은 주변 환경을 인식하여 목적지까지의 경로를 계획한 후, 사고 없이 목적지까지 이동할 수 있는 시스템을 말한다. 특히, 영상처리를 바탕으로 한 차선 인식 및 이탈 방지와 레이저 센서를 사용하여 장애물 인식 및 회피에 많은 관심이 모아지고 있어 다양한 분야에서 수행되고 있다.¹⁻⁵ 상부에 달린 카메라를 이용하여 작물이 심어진 곳의 영상 정보를 얻어 색상 정보를 분석하여 작물과 나머지 부분을 구분할 수 있는 시스템이 있는데, 작물의 색상과 배경이 확연하게 차이가 나기 때문에 가능하다. 이러한 영상처리와

작물 인식 방법을 이용하면 전 영역에 걸쳐 제초제를 일정하게 뿌리지 않고 잡초의 영역에만 국부 분사하는 것이 가능하다.^{6,7} 이러한 연구에는 Bayes 분류기, HIS 변환, Hough 변환 등의 알고리즘이 사용되었다.⁸ 또한, 영상 처리 기법은 벼농사 같은 작업 공간을 주행할 때 작물열을 검출하여 경로를 찾는 데도 이용되었다.⁹ 거친 지형에서 경로 추종을 위하여 스테레오 카메라가 사용되었는데, 비전 시스템은 야외 농지와 같은 곳에서는 광원 환경의 급격한 변화로 인해 잘못된 결과를 야기할 수 있어 적절하지 않다.

레이저 기반의 감지 기술들 또한 많은 연구자들에 의해 발표되었다.¹⁰⁻¹² 어두운 곳에서도 광원과 상관없이 측정이 가능한 레이저 거리 측정기 (Laser Range Finder, LRF)는 상대적으로 새롭고 흥미로운 고해상도 로봇 센서로서 각광받고 있다. 풍부한 고해상도, 고주파 데이터의 측정이 가능하기 때문에 수년 동안 고등 로봇 기술로 흔하게 사용되었던 이 센서는 상대적으로 저가의 로봇 응용 기술로 보다 일반화 되고 있다. LRF는 밀리미터 단위의 해상도로 무선용 고속 데이터 통신 규격(High Data Rate, HDR)에 맞춰 pencil beam 형태로 데이터를 제공한다. 소비전력은 적외선 거리측정기, 초음파 센서와 같이 작고 덜 정밀한 센서보다 약간 많이 소모되는 경향이 있다. 레이저 센서로 측정된 데이터는 2차원이나 3차원 좌표계의 점들의 연속으로 구성되어 데이터 처리를 통해 환경 기하학적인 정보를 직접적으로 얻을 수 있다. 그 정보는 어떤 물체들에 대한 정보 즉, 평면, 라인형상 물체들, 자동차, 또는 자연물 등으로써 인식될 수 있다.

본 논문은 LRF와 관성 측정 장치(Inertial Measurement Unit, IMU)의 센서 융합을 통하여 벼농사 환경의 불규칙적인 지면에 대응하여 안정적인 모열 사이를 주행하면서 제초작업을 수행할 수 있는 로봇 플랫폼을 소개하고 건담 환경에서의 주행 성능을 평가하고자 하였다.

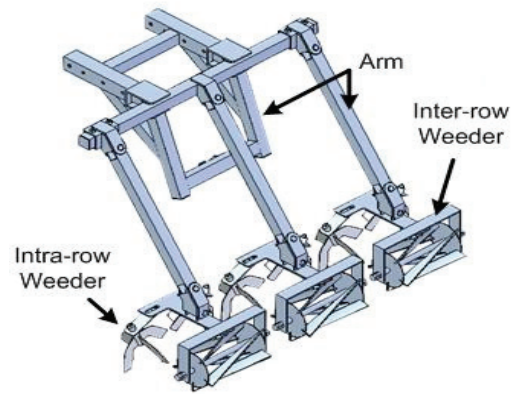
2. 시스템 및 실험 환경

2.1 무인 제초로봇 플랫폼

벼농사를 위한 농지는 벼가 자라도록 하기 위하여 충분한 물이 항상 차 있어 곤죽 상태이며, 지표면이 불규칙하다. 그렇기 때문에 일반적인 형태의 바퀴로 논 위를 주행하는 것은 매우 어렵다.



(a) Picture of a robot platform



(b) A weeding device (weeder)

Fig. 1 Robot platform for unmanned weeding and weeding device

본 논문에서 제초로봇은 Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 무논의 모열 사이를 주행할 수 있도록 궤도 형태로 하였고, 토사로 인하여 궤도가 벗겨지는 것을 방지하기 위하여 고무 재질의 크롤러로 선택하였다. 궤도 폭은 100 mm로 하였다. 선회 시 발생하는 비틀림으로 인한 휨 현상을 방지하고, 곤죽 상태의 지면 위에서 충분한 추종 추력을 얻기 위하여 로봇의 프레임은 스틸형강을 사용하여 강도를 보완하였다. 로봇의 차폭의 중심거리는 700 mm로 하여 300 mm의 일정한 간격으로 심겨진 모열 사이를 주행하면서 불규칙적인 노면에서도 안정성을 유지할 수 있도록 제작하였다. Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 로봇의 전방에는 모열을 검출하기 위한 LRF와 IMU를 장착하였고, 후방에는 제초용 작업기를 장착하여 제초작업을 수행할 수 있도록 제작되었다. 개발한 제초로봇의 제원은 Table 1과

Table 1 The specification of a weeding robot

Dimension	700 mm x 940 mm (+550) x 1039 mm (+615)
Weight	198 kg
Driving motor power	24 V, 320 W
Battery capacity	1 kW

같다. Table 1에서 (+550)은 작업기가 추가되었을 때의 길이를 나타내고, (+615)는 GPS와 GPS 연결봉이 부착되었을 때의 크기를 의미한다.

로봇의 동력은 화석 연료의 사용으로 인한 배출 가스 발생을 줄여 친환경 유기농업을 추구하기 위하여 수소연료 전지와 배터리의 융합을 통한 하이브리드 형태로 제작하였다. 하이브리드형 동력 공급 장치는 수소연료전지와 플러그인 충전이 가능한 니켈수소 배터리(Nickel Metal Hydride, NiMH), 전력 변환기, 하이브리드 시스템 제어기로 구성되어 있다. 기본적인 동력 공급은 배터리를 사용하여 제조로봇에 필요한 전력(구동모터, 제어시스템, 센싱 등)을 제공하는데, 배터리가 방전되면 수소연료 전지를 사용하여 충전시키는 방식이다. 동력 공급 장치의 최대용량은 1 kW이다. 하이브리드 제어기는 배터리의 잔류 충전량을 감시하면서 수소연료 전지를 활성화시켜 전력을 생산하여 배터리를 충전할지를 결정한다. 배터리의 전압은 부하에 따라 22 V에서 28 V까지 변하는데, 22 V 밑으로 떨어지면 제어기는 수소연료전지를 동작시켜 전력을 생산하여 배터리가 28 V가 될 때까지 충전시킨다. 또한, 로봇의 상부에는 20 W급의 태양 전지 패널을 4개 장착하여 80 W의 보조 전력을 생산한다. 이로 인해 제조작업을 수행하지 않는 시간에는 패널을 통해 자동으로 충전하여 충전 시간 및 비용을 절감할 수 있어 친환경 보조 동력공급 장치로서의 역할을 수행하게 하였다.

제조 작업기는 Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 3개의 암에 각각 제조 작업 기구부가 연결되어 있다. 제조 작업 기구부는 두 부분 즉, 조간부와 주간부로 나뉜다. 조간 작업부는 자전식 원통 형태의 기구부에 스파이럴 형태의 제조날을 원주상에 배치한 형태로 제작하였다. 각각의 조간 작업부의 후미에는 한 쌍의 날개 모양의 회전륜 형태로 제작된 주간 작업부를 연결하였다. 제조 작업부와 암의 연결은 제조로봇의 불규칙적인 움직임에도 작업기가 작물을 손상시키지 않고 제조작업을 수행할 수 있도록 전우좌우 방향으로 약 15 mm의 유



Fig. 2 A weeding robot traveling on a paddy field

격을 두어 자중에 의한 기구부 위치의 변화와 바닥의 불규칙적인 굴곡면에 즉각 대응할 수 있도록 제작하였다.

Fig. 2는 제작된 제조로봇이 무논환경에서 주행하는 모습을 나타내고 있다.

2.2 모열 검출과 경로 추종

대부분의 벼농사 환경에서 이앙기로 이앙작업을 하면 모와 모 사이(조간)는 300 mm 간격으로 6조가(이앙기종에 따라 8조도 있음) 순차적으로 200 mm 간격(주간)으로 이앙기의 진행방향에 맞춰 심겨진다. 이앙작업을 하는 동안 운전자는 모열을 가능한 일직선으로 만들려고 하지만, 지면이 평탄하지 않고 곤죽 상태여서 실제로 직선이 되도록 작업하는 것은 매우 어렵다. 그렇기 때문에 모를 밟지 않고 모열을 따라 이동하면서 제조작업을 수행하기 위해서는 실시간으로 모열을 감지해야만 한다. 본 논문에서는 모열을 검출하기 위해서 LRF를 사용하였다. LRF는 측정 부위를 지면을 향하도록 하여 로봇의 전방에 부착하고 로봇의 진행방향에 대해 한번에 나란히 심겨지는 6조와 나란한 횡방향으로 고정(Fig. 1(a) 참조)시켜 지면과 모의 높이 방향을 측정한다. 장착된 LRF는 SICK사의 LMS111 모델로 실외용이고, 측정거리는 0.5 m ~ 20 m 이고, 0~270도까지 0.25도 간격으로 거리측정이 가능하다. 본 논문에서는 측정구간의 정중앙인 90도를 기준으로 하여 60~120도 구간에서 모열을 측정하였다. 0.25도마다 측정된 241개의 거리 값은 x, y값으로 변환시켜 2차원 공간상에 표현된다.

$$\theta_n = \frac{\pi}{3} + 0.25n \quad (n = 0, 1, 2, \dots, 240) \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_n \sin \theta_n \\ l_n \cos \theta_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

이렇게 변환된 x 는 측정구간의 폭이 되고, y 는 측정높이가 된다. 2차원 공간 값으로 변환된 LRF 측정 값은 모열 검출 및 기준 위치를 결정하는데 사용된다.

Fig. 3(a)를 보면 센서에 의해 측정된 데이터를 총 5개 구간 즉, 측정 기준구간(RS), 2개의 모열 검출 구간(DS)과 2개의 궤도 구간(TS)으로 구분하였다. 수직 기준 높이 h 는 기준거리로써 모열까지의 측정 거리와 비교되는 기준 값이 된다. h 는 기준 구간 내에서 측정된 90도를 기준으로 했을 때 앞으로 10개씩의 거리 값 즉, $n=21$ 에 대하여 식(3)을 적용한 y_i 로 결정하였다.

$$h = \frac{1}{n} \sum_{i=c-10}^{c+10} y_i \quad (3)$$

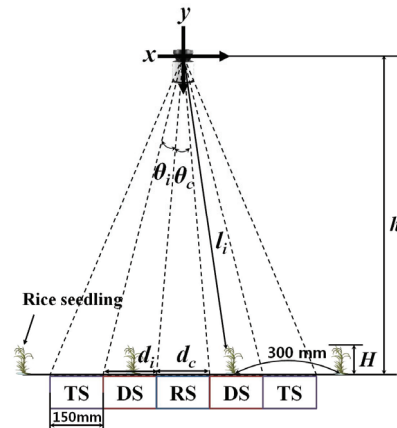
여기서, c 는 241개의 측정 값 중, 중심위치인 90도에서의 위치를 나타내는 값인 120을 의미 한다. 이런 방식으로 h 를 결정하는 이유는 하나의 특정 위치인 P_c (Fig. 3(b))까지의 y 만을 기준 값으로 사용하면 불균일한 바닥면으로 인해 y 가 일정하지 않은 값을 갖기 때문이다.

모열 검출 구간은 모가 심겨져 모를 검출하기 위한 구간으로 Fig. 3(b)를 보면, 구간 내 ($x_k \sim x_{k+m}$)에서 LRF로 l_i 를 측정하여 얻은 y_i 와 h 와의 차를 구한 후, 샘플링 시간마다 차이 값을 경계값(threshold) H 와 비교하여 모의 존재 유무를 결정한다.

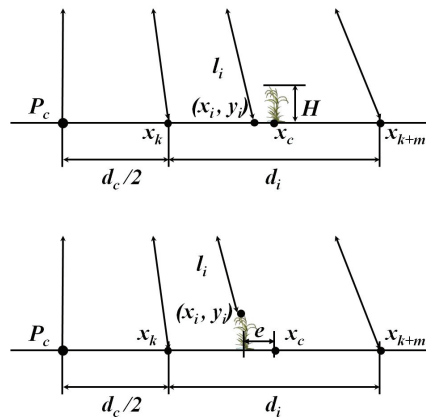
if $h - y_i \geq H$, then RICE SEEDLINGS EXIST, else NOT EXIST

이것이 가능한 이유는 이앙 후 14일 경과 후, 제초작업을 시작하는 시기의 모의 높이가 잡초들에 비해 크기 때문이다. 또한, 모열 중에 모가 심겨지지 않은 부분이 있다 하여도 기준 구간 양 옆 두 구간에서 비교 작업을 수행하기 때문에 강건한 로봇의 경로 추종이 가능하다. 궤도 구간에서는 LRF가 로봇의 궤도 바로 앞의 상태를 측정하여 모가 검출되면 로봇이 일정한 패턴으로 동작하여 모를 회피할 수 있게 하였다.

이양기로 모를 심은 경우에는 전체로 봤을 때 무논 환경에서 이동하므로 모열은 직선 형태로 심어지지 않는 않지만 한번에 심어지는 경우인 조의 간



(a) Section separation and rice seedlings detection



(b) Specific drawing about a detection section

Fig. 3 Five sections of the range measured by LRF and rice seedlings detection

격은 300 mm로 일정하게 심어진다. 이를 고려하여 Fig. 3에서 보는 바와 같이 각 측정구간은 기준구간을 중심으로 150 mm로 고정하였고, 각 구간에 대하여 Fig. 3(b)의 $x_k \sim x_{k+m}$ 와 같이 m 개의 x 값으로 변환된다. 그러나 불규칙적인 지면을 이동하는 동안 로봇의 자세가 시시각각 변하기 때문에 로봇의 자세에 따라 측정범위도 변하여 항상 150 mm의 구간을 유지하기 어렵다. 예를 들어, Fig. 4(a)와 같이, 로봇이 앞으로 기운다거나(pitch 각 변화) 로봇의 높낮이가 변하는 경우, 로봇의 자세 변화로 인해 LRF와 지면 사이의 거리가 h 만큼 낮아진다. 이 경우, Fig. 3의 θ_c 와 θ_i 를 적용하여 구간을 분리하면 고정 값인 150 mm보다 작은 구간으로 할당되어 모열의 위치를 올바르게 측정하지 못하게 된다. 150 mm의 구간을 유지하기 위해서는 θ_c 와 θ_i 가 Fig. 4

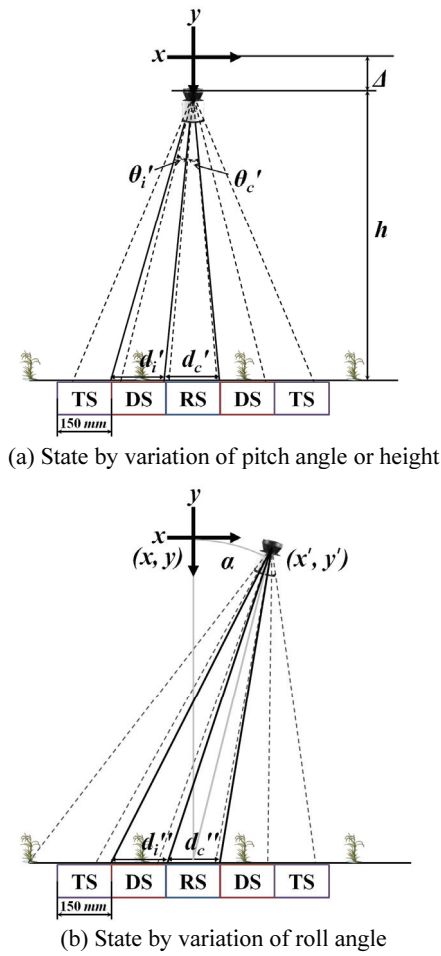


Fig. 4 LRF measurement state about variation of robot pose

(a)의 θ_c' 과 θ_i' 와 같이 커져야만 한다. 측정구간을 결정하는 변화된 각 θ_c' 과 θ_i' 은 식(4) 및 식(5)와 같이 계산된다.

$$\theta_c' = \tan^{-1}\left(\frac{0.5d_c}{h}\right) \quad (4)$$

$$\theta_i' = \tan^{-1}\left(\frac{d_i + 0.5d_c}{h}\right) - 0.5\theta_c' \quad (5)$$

여기서, d_i 는 5개의 구간 중 i 번째 구간의 폭을 나타내며 d_c 는 기준 구간의 폭을 나타낸다. 이 때, d_i 와 d_c 는 150 mm로 일정하고, θ_c 과 θ_i 는 각각 d_c 와 d_i 에 상응하는 각의 크기를 의미한다.

IMU는 LRF의 값을 보정하기 위하여 로봇의

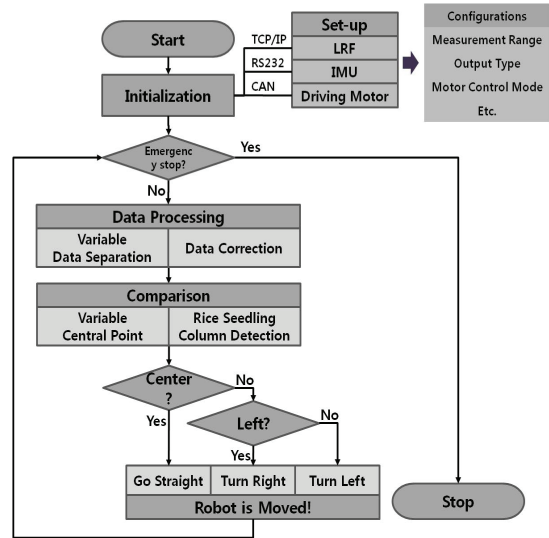


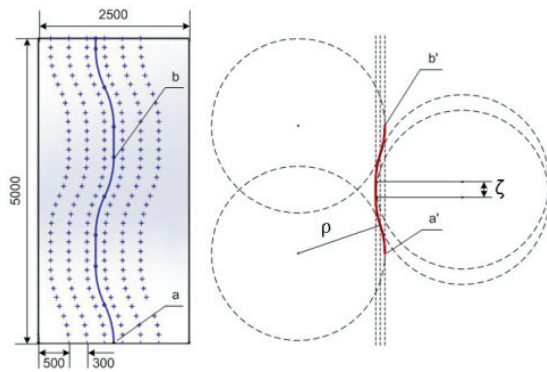
Fig. 5 Flowchart for local path following and steering

자세의 변화에 따른 Euler 각(roll(α), pitch(β), 그리고 yaw(γ))을 측정한다. h 의 보정은 로봇이 불규칙한 지면을 지나면서 진후좌우의 흔들림으로 인한 각도가 변하기 때문에 필요하다. Pitch 각 β 의 변화에 따른 보정은 Fig. 4(a)에서 변환된 것과 동일하게 θ_c' 과 θ_i' 의 변환된 값을 적용하여 보정이 가능하다. 하지만, roll 각 α 의 변화는 Fig. 4(b)에서 보는 바와 같다. 로봇의 자세가 α 만큼 변화하여 LRF의 위치가 (x, y) 에서 (x', y') 로 회전했다면 식(6)의 회전행렬을 이용하여 원래대로 바꿀 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = I_\alpha \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} \quad (6)$$

이는 α 가 변해도 기준높이인 h 가 변하지 않아서 측정구간을 결정하는 θ_c 와 θ_i 도 변하지 않기 때문이다. 보정된 값은 기준높이와 모열 검출에 사용된다.

측정된 모열에 대한 보정 데이터를 이용하여 로봇은 경로를 결정하고 국부 경로를 추정한다. Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이, 로봇은 모열을 x_c 에 위치하도록 하여 주행하게 된다. 검출된 모열의 위치가 x_i 라면 x_c 와의 차를 통해 오차 e 를 산출하고, 오차에 대한 PD 이득값을 적용하여 로봇이 조건의 중심을 따라 이동할 수 있도록 하였다. 국부 경로 추종 및 조향을 위한 흐름도는 Fig. 5와 같다.



(a) Geometry of the working space



(b) Picture of the working space

Fig. 6 The constructed working space for experiment

2.3 시험 환경

본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하기 위하여 이양기를 사용하여 작업한 것과 동일한 작업 환경을 조성하였다. 총 6조로 이양이 가능하며 조간은 300 mm, 주간은 150 mm로 이양한 것과 같은 공간을 2,500 mm의 폭 5,000 mm의 길이로 구성하였다. 실험을 위하여 플라스틱으로 제작된 인공모를 사용하여 지면에 구멍을 뚫어 고정시켰다. 환경 조성 시 편차를 줄이기 위하여 바닥에 두 개의 줄자를 고정하고 주간과 조간을 기준 삼아 지면에 실로 격자를 만들었다.

주행성능을 평가하기 위하여 직선 및 곡선 구간이 복합된 주행 경로를 Fig. 6(a)와 같이 조성하였다. 곡선 구간의 경우, 이양기의 최소 선회반경을 기준으로 결정하였다. 이 때, 최소 선회반경은 이양기의 차폭 C_b 에 의해 결정되는데, 본 논문에서는 다양한 이양기 중에서 6조식이며 차폭이 1,985 mm인 것을 선정하였다. 이 이양기로 작업하였을 때 생성될 수 있는 최소 선회반경 ρ 는 식(7)로 계산된다.

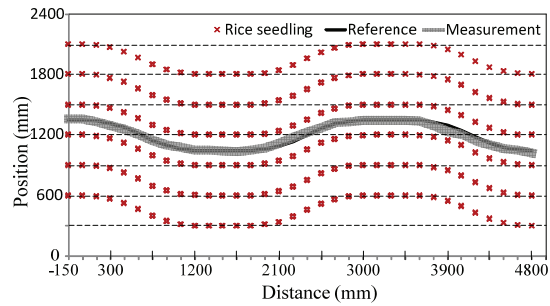


Fig. 7 Experimental result of tracking a reference trajectory

$$\rho = \frac{C_b}{\sin \phi} \tag{7}$$

이 때, ϕ 는 이양기의 전륜의 최대 조향 각도를 나타낸다. $\phi = 45^\circ$ 일 때 최소 선회반경 ρ 는 2.807 m이다. 최소 선회반경을 기반으로 조간인 300 mm를 넘지 않는다는 가정하에 주행 경로를 결정하였다. 또한 Fig. 6(a)의 오른쪽 그림과 같이 곡률이 반대 방향으로 조성된 부분의 연결 구간에는 0.5 m의 직선 구간 ζ 를 두어 직선과 곡선에 대한 주행이 병행되도록 구성하였다. Fig. 6(b)는 조성한 환경을 보여준다.

3. 결과

조성된 작업 환경에서 제초로봇의 주행 시험에 대한 경로를 얻기 위하여 격자 형태의 작업 공간의 기준면으로부터 로봇의 구동 트랙에 의해 생긴 궤적들의 중심까지의 거리를 측정하였다. 눈으로 정확하게 측정하는 것은 어렵기 때문에 데이터는 약간의 측정 오차를 갖고 있다. 오차를 최소화하기 위하여 구동 트랙의 양 쪽 모두를 측정한 후, 두 측정 데이터의 평균 값을 로봇의 주행 경로로 결정하였다. 측정된 주행 경로는 Fig. 6(a)와 같이 조성된 기준 경로와 비교하였다. Fig. 7은 주행 경로와 측정된 주행 경로를 나타내고 있다. 제초로봇의 주행속도는 0.2 m/s이고, 샘플링 타임은 10 ms이다. 굵은 실선은 기준 경로를 나타내고 있고 시험을 통해 측정된 로봇의 경로는 두꺼운 그림자 선으로 표현되었다. 이 때, 그림자 선의 두께는 로봇의 트랙 폭인 100 mm와 동일하다. 그림에서 보는 바와 같이 로봇은 모열에 어떠한 손상도 없이 조간 사이를 따라 기준 경로에 맞춰 잘 주행하고

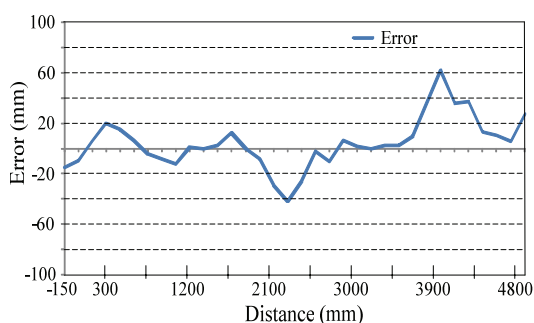


Fig. 8 Absolute error between the reference and the measured trajectory

있음을 알 수 있다. Fig. 8은 기준 경로와 측정 경로의 절대 오차를 나타내고 있다. 절대오차의 최대 값은 62 mm 인데, 로봇의 트랙 폭이 100 mm 이고, 조간이 300 mm 임을 고려하면 기준 경로부터의 62 mm의 편차는 모열에 어떠한 손상도 없고 로봇의 조향 제어는 충분히 안정적이라고 할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 친환경 제조 작업을 수행하기 위해 개발된 제조로봇을 소개하고 LRF와 IMU의 센서 융합으로 모열을 검출한 후, 모열에 어떠한 손상 없이 기준 경로를 따라 안전하게 주행하는 방법에 대해 제안하였다. 제안한 알고리즘을 탑재한 로봇 플랫폼은 불규칙하고 곤죽 상태의 지면 위를 주행하기 위하여 고무 형태의 크롤러를 사용한 구동부, 친환경 유기 농업을 실현하기 위한 수소연료전지와 배터리 형태의 하이브리드 형태의 전원 공급장치 및 탈부착이 가능한 무동력 제조기구부로 구성되었다. 로봇 플랫폼의 불규칙한 지면에서의 모열 추종 성능을 평가하기 위한 주행 시험은 두 가지 형태의 발생 가능한 경로인 직선과 곡선 구간의 조합을 병행하여 논리적으로 합당하게 조성된 시험 환경에서 수행되었다. 시험 결과, 기준 경로에 대하여 최대 편차 62 mm 이내로 모열을 따라 주행할 수 있다는 것을 검증하였고 이는 조간 폭과 주행 트랙 폭을 고려하였을 때 충분히 좋은 추종 성능을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과

학기술 연구개발사업(과제번호: PJ008610)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

1. Watchareeruetai, U., Takeuchi, Y., Matsumoto, T., Kudo, H., and Ohnishi, N., "Computer Vision Based Methods for Detecting Weeds in Lawns," Proc. of IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, pp. 1-6, 2006.
2. Chen, B., Tojo, S., and Watanabe, K., "Machine Vision for a Micro Weeding Robot in a Paddy Field," Biosystems Engineering, Vol. 85, No. 4, pp. 393-404, 2003.
3. Jung, B., Yeo, I., and Cho, C., "Autonomous Traveling of Unmanned Golf-Car using GPS and Vision System," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 26, No. 6, pp. 74-80, 2009.
4. Jiang, G, Ke, X., Du, S., and Chen, J., "A Straight Line Detection Based on Randomized Method," Proc. of 9th International Conference on SIGNAL PROCESSING PROCEEDINGS, pp. 1149-1152, 2008.
5. Igawa, H., Tanaka, T., Kaneko, S., Tada, T., and Suzuki, S., "Visual and Tactual Recognition of Trunk of Grape for Weeding Robot in Vineyards," Proc. of IECON 09, pp. 4274-4279, 2009.
6. Hemming, J. and Rath, T., "Computer-vision-based Weed Identification under Field Conditions using Controlled Lighting," Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 78, No. 3, pp. 233-244, 2001.
7. Lee, W., Slaughter, D., and Giles, D., "Robotic Weed Control System for Tomatoes," Precision Agriculture, Vol. 1, No. 1, pp. 95-113, 1999.
8. Jiang, G, Zhao, C., and Si, Y., "A Machine Vision Based Crop Rows Detection for Agricultural Robots," Proc. of International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, pp. 114-118, 2010.
9. Furgale, P. and Barfoot, T., "Stereo Mapping and Localization for Long-range Path Following on Rough Terrain," Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 4410-4416, 2010.
10. Zhao, H., Liu, Y., Zhu, X., Zhao, Y., and Zha, H.,

- “Scene Understanding in a Large Dynamic Environment through a Laser-based Sensing,” Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 127-133, 2010.
11. Ryo, T., Noboru, N., and Akira, M., “Automatic Guidance with a Laser Scanner for a Robot Tractor in an Orchard,” Proc. of the International Conference on Automation Technology for Off-road Equipment, pp. 369-373, 2004.
 12. Subramanian, V., Burks, T., and Arroyo, A., “Development of Machine Vision and Laser Radar Based Autonomous Vehicle Guidance Systems for Citrus Grove Navigation,” Journal of Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 53, No. 2, pp. 130-143, 2006.