

LiDAR를 활용한 과수 형상에 따라 선택적 방제가 가능한 지능형 방제기 An Intelligent Spraying Machine Capable of Selective Spraying Corresponding to the Shape of Fruit Trees Using LiDAR

양창주¹ · 김국환^{1*} · 이명훈¹ · 김경철¹ · 홍영기¹
김현종¹ · 이시영¹ · 류희석¹ · 권경도¹ · 오민석²

Changju Yang¹, Gookhwan Kim^{1*}, Meonghun Lee¹, Kyoung-Chul Kim¹, Youngki Hong¹,
Hyunjong Kim¹, Siyoung Lee¹, Hee-Suk Ryu¹, Kyung-Do Kwon¹ and Min-seok Oh²

Received: 29 Sept. 2020, Revised: 22 Oct. 2020, Accepted: 28 Oct. 2020

Key Words : LiDAR(라이다), Speed Sprayer(방제기), Recognition of Fruits Tree Shape(과수 형상 인식)

Abstract: Driving on irregular and inclined roads using agricultural machinery such as spraying machines or trucks in orchards causes farmer casualties associated with the overturning of agricultural machinery. In addition, the harm to agricultural workers caused by the excessive inhalation of the scattered pesticide frequently occurs during pest control processes. To address these problems, we introduced precision agricultural technology that could selectively spray pesticides only where the fruit is present by recognizing the presence or shape of the fruit in the orchard. In this paper, a 16-channel LIDAR (VLP-16) made of Velodyne was used to identify the shape of fruit trees. Solenoid valves were attached to the end parts of 12 nozzles of the orchard spraying machine for on/off control. The smart spraying machine implemented in this way was mounted on a vehicle capable of autonomous travel and performed selective control depending upon the shape of the fruit trees while traveling in the orchards. This is expected to significantly reduce the amounts of pesticides used in orchards and production costs.

1. 서 론

국내 과수원의 규모는 2014년도 기준 161,888ha 에서 2018년도까지 164,718ha로 증가하였고¹⁾ 사과와 경우, 꾸준한 소비량의 증가(사과 1인당 연간소비량은 2016년도 기준 11.2kg에서 2021년도에는 11.5kg 으로 증가 예상)로 인해 과수원 규모는 더욱 확대될 것으로 전망된다.

과원에서 취급하는 대표적인 작물은 사과, 배, 복

숭아 등이 있는데, 안정적으로 수확량을 확보하기 위한 가장 기본적인면서도 중요한 농작업은 농약 살포에 의한 병해충 방제 작업이다.

우리나라의 과수원에서 일반적으로 사용하는 농약 살포 방식은 부채살 형태로 배치된 분사노즐을 기반으로 농약을 살포하면서 살포 면적을 넓히기 위해 송풍기를 장착한 스피드 스프레이어(speed sprayer, 이하 SS기)를 이용하고 있다. 현재 시판되고 있는 SS기는 재식 조건에 맞춰 조성된 과수원 내를 이동하면서 획일적으로 농약을 분사하는 방식으로만 운용되고 있다²⁾. 또한, 과수원의 불규칙하고 경사진 노면 조건으로 인해 농기계 및 작업기 전복사고와 농약을 살포하는 과정에서 농작업자가 유해성 농약을 과도하게 흡입하는 피해가 해마다 꾸준히 발생하고 있다³⁾.

또한, 농촌 사회의 고령화, 여성화로 인해 SS기와 같은 농작업 기계를 직접 운전하며 작업하기 어려운

* Corresponding author: meceng93@korea.kr

1 Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, Jeonju 54875, Korea

2 Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Jeonju 54875, Korea
Copyright © 2020, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

농가가 늘어나고 있는 실정이다. 그럼에도 불구하고 과수원에서 방제 작업은 병해충 발생 예방 차원에서 연간 12~15회 정도 실시하고 있다. 이러한 문제들을 해소하기 위해 영상으로 과수의 유무를 인식하여 농약을 살포하는 연구 개발이 진행되었으나⁴⁾ 상용화된 경우는 전무하며, 일부 중소형 기종을 대상으로 무선으로 제어하는 방식의 농기계가 개발되어 일부 상용화 되었다⁵⁻⁶⁾. 다른 연구에서는 카메라 또는 컬러-깊이(RGB-depth) 카메라를 사용하여 적용한 사례도 있으나⁷⁾, 실외 환경에서 사용하기에는 상대적으로 짧은 인식 거리로 인한 물리적 한계와 태양의 직사광선 및 그림자에 의한 성능 저하 문제, 좌우에 배치된 과수들에 대한 영상 정보를 얻기 위해서는 2대 이상 센서를 설치해야하는 복잡성 등 문제가 있다.

위와 같은 문제들을 해결하고 농작업자의 편의를 도모하면서 생산비용까지 절감할 수 있는 지능형 방제기를 개발하였다. 지능형 방제기는 기존 SS기나 자율주행 플랫폼에 라이더(LiDAR, Light Detection and Ranging)를 장착하여 과수 사이를 이동하면서 좌우의 과수 유무 및 형상을 인식하여 SS기의 분사 노즐을 개별적으로 제어하여 과수에게만 농약을 살포할 수 있도록 개발하였다. 라이더는 레이저를 이용하여 3차원 공간상에서 센서로부터 사물까지의 거리를 측정하여 공간상에 포인트 클라우드(point cloud) 데이터 형태로 반환하여 환경에 대한 정보를 획득할 수 있는 장치로 지적, 건설, 국방, 우주 등 다양한 분야에 응용되어 사용되고 있다⁸⁻¹⁰⁾. 또한, 위치 및 거리에 대한 정확한 정보가 중요한 이동 로봇 및 자율주행 자동차 기술 분야에서 핵심기술로 적용되고 있다¹¹⁻¹²⁾.

본 논문에서는 지능형 방제기 구현을 위해 단일 라이더를 사용하여 실시간으로 3차원 공간상에서 수집된 포인트 클라우드 데이터를 기반으로 과수의 유무 및 형상을 인식하고 위치 및 크기에 따라 효율적으로 농약을 분사할 수 있는 방법을 제안하였다.

2. 스마트 로봇 방제기 시스템 구성

2.1 방제 장치 및 제어 시스템 구성

Fig. 1은 과수원에서 사용하고 있는 SS기의 모습으로 일반적으로 주행부(하부)와 방제부(상부)로 나뉘어 독립적으로 운용되는데, 본 논문에서는 한성 T&I사의 SS-500WDLXII 모델의 방제부만을 사용하였다. 방제부의 경우, Fig. 1에서 보는 바와 같이 수동 제어부, 약액 탱크, 송풍 엔진 및 펌프, 분사 노즐(좌, 중,

우, 6개씩 총 18개) 및 송풍장치로 구성되어 있는데, 농약 살포에 사용되는 기존 분사 노즐 앞 단에 Fig. 2와 같이 전자식 솔레노이드 밸브를 장착하여 분사 노즐을 필요에 따라 개별적으로 제어할 수 있도록 하였다.

Fig. 3은 솔레노이드 밸브를 제어하고 유량 및 압력을 측정할 수 있으며 전체 시스템 제어를 위한 상위 제어기와의 통신을 위해 제작된 컨트롤 박스(하위 제어기)를 보여주고 있다.



Fig. 1 General speed sprayer used in orchards

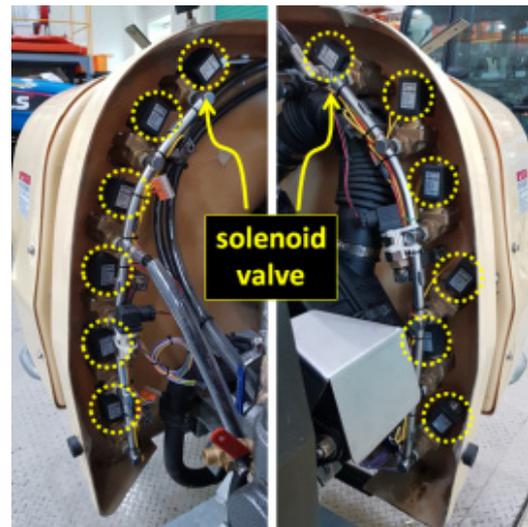


Fig. 2 Installation of solenoid valves for individual control of injection nozzles.



Fig. 3 Control system for valve control and operation status monitoring

2.2 과수 환경 인식 시스템

본 논문에서는 과수 유무 및 형상을 인식하기 위해 벨로다인(Velodyne)사의 16채널 라이다(VLP-16)를 활용하였는데, 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Specifications of LiDAR

channel	16[ch]
light wavelength(λ)	905[nm]
measure distance	100[m]
accuracy	Max. ± 3 [cm]
insight(vertical)	30(± 15.0) $^{\circ}$
insight(horizontal)	360 $^{\circ}$
angular resolution(vertical)	2.0 $^{\circ}$
angular resolution (horizontal/azimuth)	0.2 $^{\circ}$
Motor RPM	10[Hz]

Fig. 4는 SS기에 설치된 라이다의 실제 모습과 인식된 데이터를 3차원 공간상에서 해석하기 위해 설정된 기준 축 성분과 센싱 방향에 대한 정보를 나타내고 있다.

Fig. 4의 (a)는 사용된 라이다의 실제 모습이고 (b), (c)는 측면에서 봤을 때 기준 축에 대한 정보와 센싱 방향 및 범위를 나타내고 있다. Fig. 4 (b)에서 보는 것과 같이 수평을 기준으로 총 16개의 채널(레이저 센서)이 $\pm 15^{\circ}$ 범위 안에서 각각 2° 간격으로 구성되어 있어 라이다에서 광원을 조사하여 포인트 클라우드 데이터 형태로 3차원 공간 정보를 얻을 수 있다.

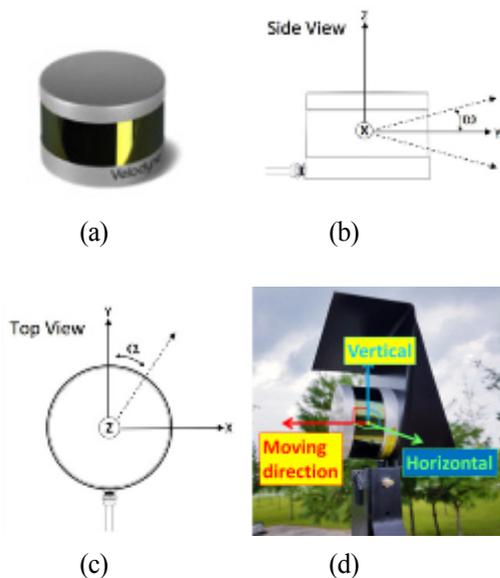


Fig. 4 Axis and direction information for data acquisition by LiDAR

Fig. 4(c)에서 보이는 것과 같이 원통 구조를 중심으로 offset 각도(α)를 기준으로 360° 회전하며 0.2° 간격마다 물체까지의 거리를 측정하여 반환한다. Fig. 4(d)는 SS기에 장착된 라이다의 모습을 보여준다.

과수원 환경 정보(과수, 관수 파이프, 지지대 등)를 인식하기 위해 SS기 상부에 과수의 높이를 고려하여 지면으로부터 1.9m 위치에 Fig. 5와 같이 라이다를 장착하였다.

이 때, 라이다는 Fig. 4(d)에서 보는 바와 같이 수평 상태로 장착된 것이 아니라, 수직 상태, 즉 하늘을 바라보는 형태로 장착되었는데, 라이다 내 16개의 레이저 센서가 360° 회전하면서 데이터를 얻기 때문에 수직으로 장착하는 것으로 좌우에 위치한 과수를 동시에 인식할 수 있기 때문이다. 즉, Fig. 5에서 보는 바와 같이 라이다에 의해 감지되는 물리적인 영역은 과수등 사물이 없는 하늘방향과 SS기 몸체로 인한 지면 방향을 제외한 좌우측 영역이 되고 라이다 중심을 기준으로 전방 15° 부터 후방 15° 까지 라이다로부터 2m 떨어진 과수 기준 약 1.072m 이내 폭을 인식할 수 있다. 수평 방향으로 설치할 경우, 주변 환경 정보(과수 및 구조물)의 제한된 폭(2m 기준 1.072m) 이하로만 인식되어 3~4m 이상의 크기로 자라는 과수의 전체 높이와 형상을 인식할 수 없게 된다.

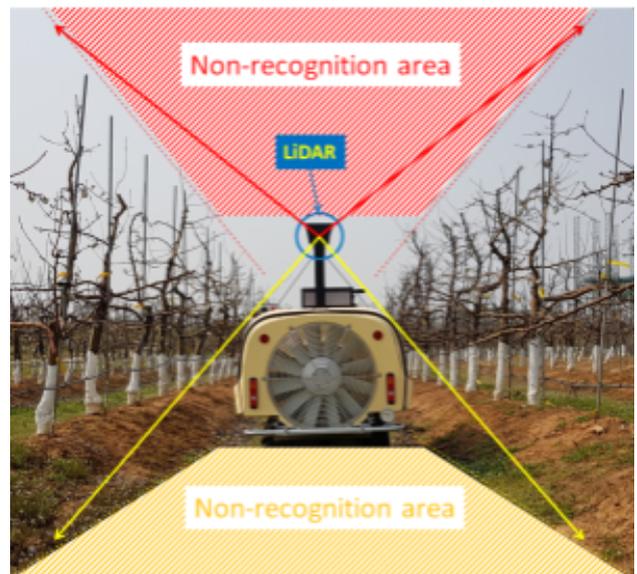


Fig. 5 LiDAR location and measurement range mounted on Speed-Sprayer.

2.3 라이다 데이터 처리 및 밸브 제어 시스템

Fig. 6은 라이다 기반의 지능형 방제기 제어 시스템 구성과 장치 간 전달 신호 체계를 나타내고 있다. 라이다로부터 포인트 클라우드 형태의 데이터를 처리하기 위해 리눅스(Linux) 환경에서 로봇 개발에 특화된 로봇 소프트웨어 플랫폼인 ROS(Robot Operating System)를 활용하였다.

라이다를 통해 측정된 데이터를 카테시안 좌표계(cartesian coordinates) 형태의 3차원 공간상에 나타내는 방식으로 변환하여 지능형 방제기가 과수 사이를 이동하면서 실시간으로 과수 등 주변 환경 정보를 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 정보를 기반으로 하위 제어기에 제어 신호를 전달하여 분사 노즐에 장착된 솔레노이드 밸브를 개별적으로 제어하는 방식으로 농약을 선택적으로 살포할 수 있다.

녹색 선으로 연결된 순서도 부분은 센싱 및 제어부를 나타내고 있고, 빨간색 선으로 연결된 순서도 부분은 압력 펌프 및 송풍장치 구동을 위한 기존 방제기의 동작 방식을 나타내고 있다. 제어 방식은 라이다가 과수 형상에 대한 3차원 공간상에 표시된 과수 등 물체에 대한 좌표값 정보를 상위제어기로 전달하면 3차원 공간 상 위치와 각도 값을 기반으로 상위제어기에서는 인식 영역을 결정하여 전자 밸브를 제어하기 위한 신호를 제어 시스템(하위제어기)으로 전송한다. 이 때, 데이터 처리 및 제어 시스템은 ROS Kinetic과 Python 2.7을 활용하여 구현하였다.

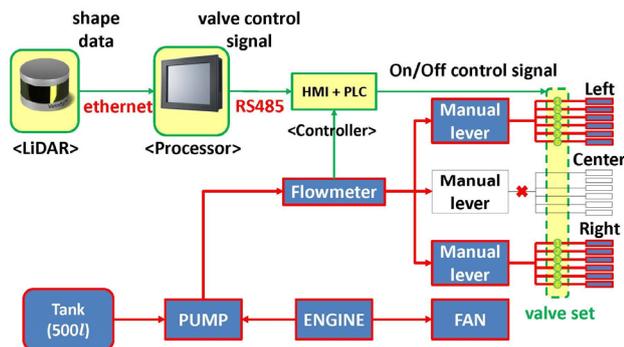


Fig. 6 LiDAR-based fruit tree data analysis and spray control process.

3. 라이다를 활용한 과수원 환경 인식

3.1 과수원 환경 분석

과수원에서 데이터 수집 및 실험을 실시하기 위하여 전북 완주군 이서면에 위치한 국립원예특작과학원의 사과 시험 포장을 선정하였고, 2020년 4월부터

8월까지 과수 생장에 따른 데이터를 수집하였다.

시험 포장 내 과수의 배치는 과수 간격은 1.6m, 열 간격은 4.0m로 심어져 있고 1ha를 기준으로 농기계의 이동 및 선회를 위한 가장자리 공간을 제외한 면적(88m×88m) 내에 약 1,100주가 심어져 있다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 지지대 및 관수 파이프는 과수와 같은 위치에 설치되어 있으며, 과수와 설치물 모두 두둑 위에 심겨져 있다.

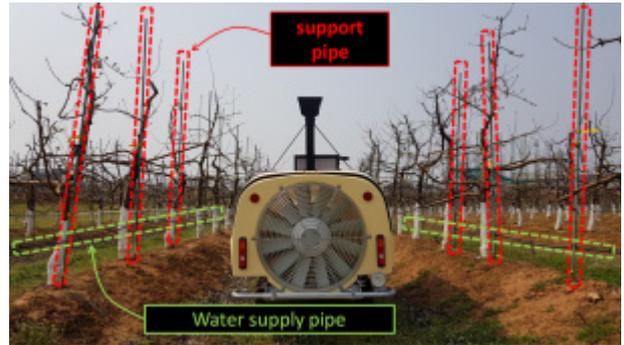


Fig. 7 Apple trees planted in the orchard and installed facilities.

3차원 공간상에서 포인트 클라우드 데이터 기반으로 과수를 인식하기 위해 중요한 점은 과수와 관수 파이프, 지지대 등 구조물과 분리시키는 것이다. 라이다로 인식되는 데이터 간 거리는 수평 방향 분해능이 0.1°~0.4°에 대해 각각 약 1.75~6.98mm이기 때문에 직경 15mm의 관수 파이프와 직경 20mm의 지지대의 경우, 3~12개의 포인트 데이터가 인식되는데 이는 과수의 잔가지 보다 굵거나 유사한 형태를 띠고 있어 라이다에 의존하여 각각의 개체로 구분해내는 것은 쉽지 않다.

Fig. 8은 과수원에서 라이다로 인식된 거리와 각도 값을 3차원 공간상에 표현한 것이다. Fig. 8(a)의 상부 그림은 과수원을 위에서 내려다보는 시각으로, Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이 2 ω , 즉 라이다의 측정 폭 기준으로 얻어진 데이터를 이미지화 한 것을 나타내고 있고, 하부 그림은 SS기가 이동하는 방향을 기준으로 후방에서 전방으로 바라보는 시각으로 Fig. 5에서 보는 바와 같이 라이다 비 인식 부분을 제외한 데이터를 이미지화 한 것으로 보여주고 있다. Fig. 8의 상부 그림에서 거리 D는 2m을 기준으로 재식된 라이다와 과수 간 거리, 폭 W는 D를 기준으로 전체 인식 영역의 후방 1/3인 약 35.7cm 폭의 과수 인식 구간을 나타내고 있다. 과수 인식 두께인 L은 과수의 체적(맨 가지 상태 및 잎이 풍성한 상태)을 고려하여

인식 영역을 지정하였으며 SS기의 중심으로부터 좌우 1.2~2.5m 사이에 있는 1.3m 두께를 인식 영역으로 설정하였다.

4. 현장 적용 시험

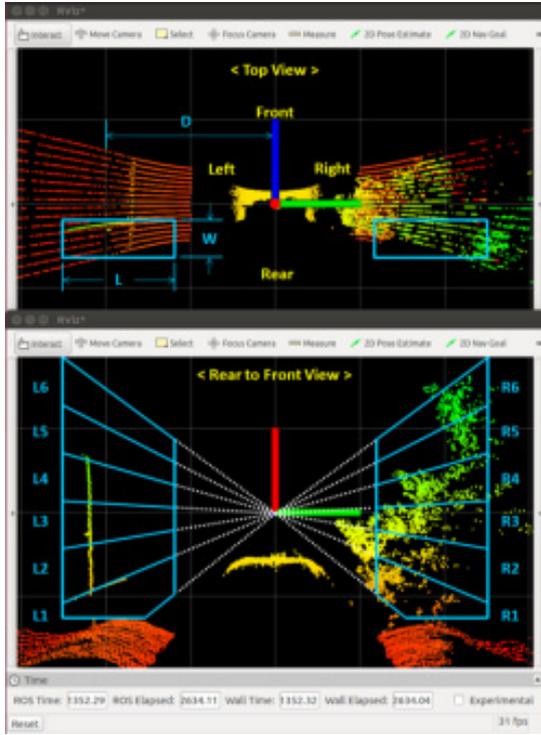
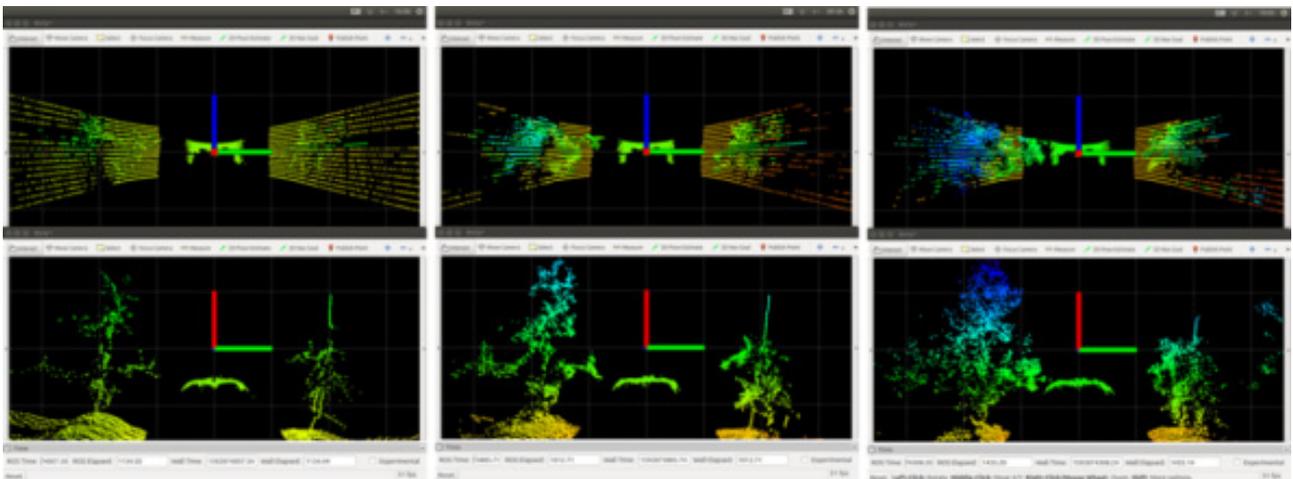


Fig. 8 Recognition area definition status of LiDAR data by nozzle spray angle

시험 포장의 과수 높이를 측정한 결과, 평균 약 3.5m이었으며 SS기의 좌우 각각 6개씩 배치된 분사 노즐의 분사 각도를 균등하게 배분되도록 조정하였고, 인식영역 또한 일치하도록 설정하였다.

Fig. 9는 시기별 과수의 생육 변화에 따른 라이다 기반 데이터를 시각화 한 것으로, 생육 과정에 따라 과수 형상의 크기 차이를 비교하기 위해 동일한 위치의 나무를 기준으로 데이터를 획득하였다. 방제를 하는 시기가 잔가지 상태일 때부터 잎이 무성하게 자란 상태까지 모두 적용되므로 4월부터 6월까지 데이터를 얻어 비교하였다. Fig. 9(a)는 4월 7일자에 기록한 데이터로 이파리가 거의 없는 맨가지 상태일 때의 과수의 형상 데이터를 나타내고 있고, Fig. 9(b)와 Fig. 9(c)는 자라나는 이파리의 체적 상태가 변화하면서 라이다로 인식되는 데이터의 수가 점점 증가하는 모습을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Table 2는 Fig. 9의 시기별 과수의 체적 변화에 따른 3차원 위치 데이터의 개수를 나타내고 있다. Raw 데이터 상태 그대로 사용하는 경우, 지지대 및 관수 파이프 등의 구조물에 의해 생성된 데이터와 과수 데이터 간에 구분이 어려워 과수가 없음에도 불구하고 농약 분사를 하게 되는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 다운 샘플링(down sampling)과 임계값(threshold) 기법을 활용하여 필터링 알고리즘을 구현 하였다. 다운 샘플링을 통해 상대적으로 체적이 작은 지지대와 관수 파이프에 해당하는 포인트 클라우드 기반의 데이터 수를 감소시키고, 데이터 수가 각 인식 구간별 10개 이하인 경우는 0(off, closed)으로 정의하고 10개 초과는 1(on, open)로 정의하여 임계값 처리를 통해 밸브 제어를 수행하였다.



(a) April 7

(b) May 11

(c) June 5

Fig. 9 Comparison of LiDAR-based data and analysis according to changes in fruit tree growth by period

Table 2 Comparison of control status values by down sampling and threshold.

Area No.	April 7					
	Raw data		Down sampling		Threshold(10)	
	L	R	L	R	L	R
6	89	2	18	0	1	0
5	105	30	21	6	1	0
4	106	54	21	11	1	1
3	73	103	15	21	1	1
2	174	88	35	19	1	1
1	72	114	14	23	1	1

Area No.	May 11					
	Raw data		Down sampling		Threshold(10)	
	L	R	L	R	L	R
6	311	1	62	0	1	0
5	352	33	71	7	1	0
4	442	98	89	20	1	1
3	189	313	38	63	1	1
2	325	156	66	51	1	1
1	264	332	54	67	1	1

Area No.	June 5					
	Raw data		Down sampling		Threshold(10)	
	L	R	L	R	L	R
6	298	2	100	0	1	0
5	466	11	93	2	1	0
4	447	181	89	36	1	1
3	356	68	72	68	1	1
2	298	68	59	68	1	1
1	201	72	39	72	1	1

Fig. 10은 Fig. 9(c)의 과수에 대한 위치 데이터로부터 Table 2와 같이 다운 샘플링 및 임계값 처리를 통한 인식영역에서의 데이터 분포 상태를 나타내고 있다. Fig. 10(a)와 (b)는 단일 시퀀스 내에 인식된 전체 데이터를 상부(top view)와 전면(front view)에서 보이는 형태로 나타낸 것이다. Fig. 10(c)는 (a)로부터 제어 영역(후방)에 대한 데이터를 나타내고 있고, (d)는 (b)로부터 각각 분사 노즐에 해당하는 영역에서 인식된 데이터를 나타내고 있다. 위와 같이 Raw 데이터 상태에서 다운 샘플링 및 임계값 기법을 사용하여 맵블을 제어하였다.

Fig. 11은 적용한 알고리즘에 기인하여 분사 맵블 제어한 결과, 살포된 농약이 과수의 다양한 부분에 고르게 뿌려졌는지 알아보기 위하여 감수지를 부착한 위치를 나타내고 있다. 상대적으로 좁은 면적에 해당하는 상부는 1장(A위치)의 감수지를, 비교적 넓

은 면적에 해당하는 나머지 부분(B, C, D 위치)에는 각각 3장의 감수지를 부착하였다. 이 때, D 위치를 기준으로 A 위치까지 위쪽 방향으로 각각 1m 간격으로 배치하였다.

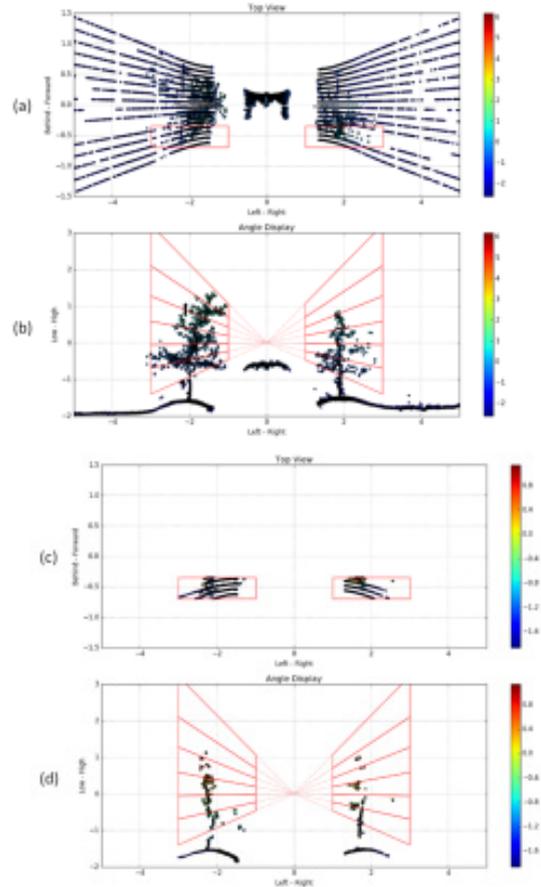


Fig. 10 Position data recognized by LiDAR in a single sequence.

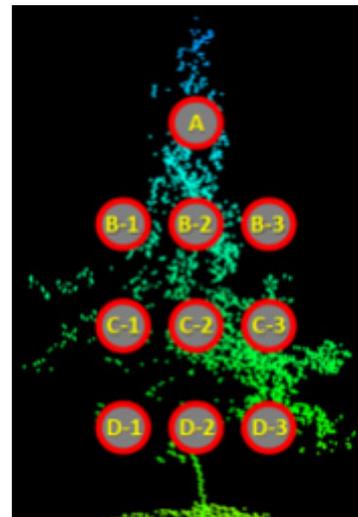
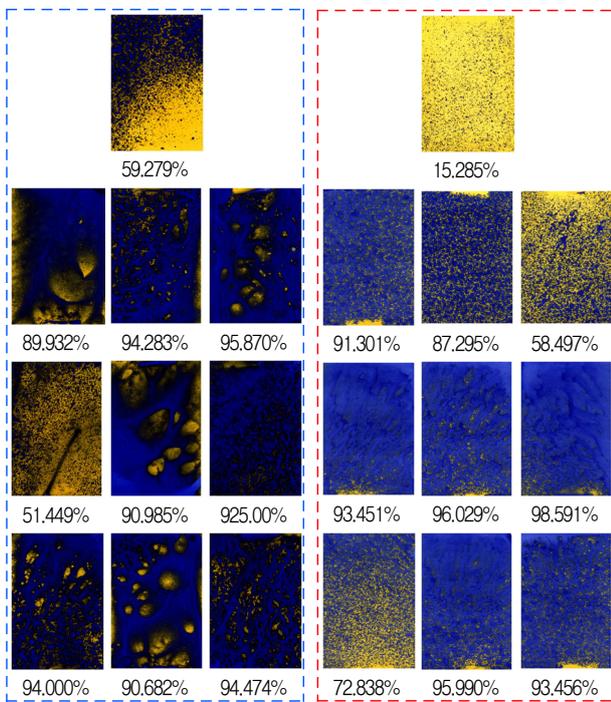


Fig. 11 Placement information about the height and spacing of water-sensitive paper

Fig. 12는 일정한 압력과 송풍량으로 정량 살포하는 관행 방식과 과수의 형상에 따라 선택적으로 분사 제어한 결과를 나타내고 있다. Fig. 11에서 표시한 위치에 있는 잎의 뒷면에 감수지를 붙여 농약이 점착된 상태를 나타내고 있으며 감수지의 노란색 부분은 농약이 묻지 않은 곳이고 파란색 부분은 농약이 묻은 곳을 의미한다.

분사 시험 조건은 풍속 2m/s 이하 일 때를 기준으로 SS기의 송풍기 회전 속도는 2,500 rpm, 분사 압력은 25 bar로 설정하였다. Fig. 12(a)는 관행적으로 정량 살포한 결과를 나타내고 있고, Fig. 12(b)는 본 논문에서 구현한 알고리즘으로 과수 형상에 맞춰 분사 제어를 한 결과를 나타내고 있다. Fig. 12(a)의 경우는 일괄적으로 분사하는 방식이기 때문에 감수지에 농약이 과다하게 흡착되어 흘러내리는 것이 관찰되었고, Fig. 12(b)와 같이 분사 제어를 하였을 때는 입자 형태로 농약이 고르게 살포되었음을 알 수 있었으며, 과수의 형상을 인식하고 위치별로 정확히 분사했음을 확인하였다. 감수지 각 이미지 아래의 숫자는 감수지 전체 면적 대비 농약이 점착된 비율을 나타내고 있는데, 비율이 높은 것뿐만 아니라 필요한 양만 고르게 분포되어 점착된 것이 효율적으로 살포된 것이라 판단 할 수 있다.



(a) conventional spraying (b) controlled spraying
Fig. 12 Comparison of adhesion rate between conventional and controlled spraying

5. 결론

본 논문에서는 과수의 형상과 유무에 따라 선택적으로 분사 할 수 있는 과수원용 지능형 방제기(speed sprayer)를 개발하였다. 과수의 형상과 유무를 판단하기 위해 라이다를 사용하였고, 거리와 각도 정보를 통해 3차원 공간상에 위치한 과수와 관수 파이프, 지지대 등 과수원 내에 존재하는 사물의 모든 위치 데이터를 측정할 수 있다. 이렇게 측정된 라이다의 포인트 클라우드 데이터를 활용하여 과수의 형상에 따라 방제하기 위해 SS기의 분사 노즐을 개별적으로 제어할 목적으로 전자식 슬레노이드 밸브를 장착하였다.

이렇게 제작된 지능형 방제기로 과수원에서 과수의 생육 시기별 형상 인식 및 방제 시험을 수행하였고, 관행 살포 방식으로 농약을 분사했을 때 나뭇잎 등에 붙는 점착률을 비교해 본 결과, 감수지의 농약 점착률의 분포는 유사하지만 지능형 방제기로 살포한 농약이 고르게 분포되었음을 알 수 있었다. 13)에 따르면, 과수 앞에 피복된 농약의 점착률이 20~50%가 가장 좋은 상태이며, 50~80%는 과도(excessive), 80% 이상은 지나치게 과도(overdoing) 하다고 되어 있는데, 본 논문의 결과는 다소 과도한 부분이 있으나 추후 시험을 통해 적절한 송풍기 회전 속도와 분사 압력을 결정하여 농약을 살포하면 최적의 점착률을 확보할 수 있을 것이다.

또한, 지능형 방제기를 사용하게 되면 관행 SS기와 유사한 방제 효과를 내면서 농약 살포량은 절감할 수 있어 농민들의 생산 비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 농약 살포로 인한 농작업자의 과도한 농약 흡입 및 비산으로 인한 타 작물로의 피해 등을 현저히 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 추후, 다양한 농가에 적용하여 성능을 평가하고 기술의 완성도를 높이기 위해 현장 실증 연구를 수행할 예정이며 최종적으로 과수 농가에 보급될 수 있도록 추진할 계획이다.

후 기

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ013860032020)의 지원에 의해 이루어진 것임을 밝힙니다.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs Republic of Korea, "Agriculture, Food and Rural Affairs Statistics Yearbook", p.82, 2019.
- 2) W.-R. Gill et al., "Design and Development of Chemical Spray Robot Based on Analysis of Greenhouse Environment", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol.30, No.4, pp.290-296, 2020.
- 3) "Investigation of diseases and damages in the work of farmers", Rural Development Administration, 2019.
- 4) K. Seo et al., "Development of Tree Recognition Algorithm for Low Pesticide Control," Proceedings of KSPE 2017 Autumn Conference, p.365, 2017.
- 5) K. Seo et al., "Developed Remote Control Sprayer for Low Pesticide Variant Control", Proceedings of KSPE 2017 Autumn Conference, p.366, 2017.
- 6) K. Lee et al., "User Interface Design of a Remote Controller for a Sprayer", Proceedings of 2019 The 34th ICROS Annual Conference, pp.129-130, 2019.
- 7) M. Lee et al., "Development of Off-road Surface Shape Estimation System Using Depth Camera for Unmanned Agricultural Tractor", Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers Conference, pp.135-136, 2020.
- 8) H. Kim, J. Lee, and Y. Kim, "A Study on the Integration of Airborne LiDAR and UAV Data for High-resolution Topographic Information Construction of Tidal Flat", Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.38, No.4, pp.345-352, 2020.
- 9) T. Yoo and J. Kwon, "Accuracy verification of digital topography (contour lines) using high-precision LiDAR data", Proceedings of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography Annual Conference, pp.241-243, 2020.
- 10) J.-K. Park and K.-W. Lee, "Analysis of Data Characteristics by UAV LiDAR Sensor", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.21, No.5, pp.1-6, 2020.
- 11) M.-G. Kim, S.-H. Bae and H. Kim, "Real-Time 3D-LiDAR Object Detection in Autonomous Vehicle Systems Using Cluster-Based Candidates and Deep Learning", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.25, No.9, pp.795-801, 2019.
- 12) J. Park et al., "Projection-based Occupancy Map Coding for 3D Point Cloud Compression", IEIE Transactions on Smart Processing & Computing, Vol.9, No.4, pp.293-297, 2020.
- 13) J. Mangadoa et al., "Measuring the Accuracy of a Pesticide Treatment by an Image Analyzer", Procedia Technology, Vol.8. pp.498-502, 2013.