DBpia

논문 21-46-11-37 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '21-11 Vol.46 No.11
https://doi.org/10.7840/kics.2021.46.11.2088

배 과수원 대상 LiDAR 기반의 인식 영역별 고효율 분사 제어 알고리즘 개발

양 창 주◆, 원 진 호*, 김 국 환°, 권 경 도*, 김 경 철*, 홍 영 기*

Development of High-Efficiency Spray Control Algorithm for Each Recognition Area Based on LiDAR for Pear Orchards

Changju Yang◆, Jin-ho Won*, Gookhwan Kim°, Kyung-Do Kwon*,
Kyoung-Chul Kim*, Youngki Hong*

요 약

본 논문에서는 배 과수원에서 LiDAR를 이용하여 과수의 재식 조건을 고려한 분사 제어가 가능하도록 고효율 알고리즘을 제안하였다. 사과 과수원을 대상으로 개발한 선행 연구에서는 과수 체적 데이터의 수직 분포 상태를 고려하여 인식 영역을 정의하고 노즐별 분사를 제어하였다. 또한, 분사된 농약이 안개 같은 상태가 되어 LiDAR에 인식되는 문제를 해결하기 위해 순차 지연 기법을 활용하였다. 그러나 배 과수원의 경우, 사과와는 다른 재식 방법을 사용하기 때문에 센서로부터 인식되는 과수 체적 데이터의 분포 상태가 달라진다. 이와같이 달라진 과수원의 물리적 특성과 방제기 노즐의 구조적 특성을 고려하여 과수 유무 인식 알고리즘을 보완하기 위해 현장 데이터를 분석하고 인식영역을 정의하는 방식과 분사 영역별 인식하는 알고리즘을 개선하였다. 인식된 과수 데이터의 인식 영역별 분포상태 값 메모리에 가우시안 필터 기반 시뮬레이션을 수행하여 타당성을 검증하고, 분사 노즐을 제어하기 위한 신호의 정확도를 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다.

키워드 : 지능형 농기계, 가우시안 필터, 분사제어, 라이다, 방제기, 과수원
Key Words : Intelligent Farm Machinery, Gaussian filter, Spray control, LiDAR, Speed sprayer, Orchard

ABSTRACT

In this paper, a high-efficiency algorithm was proposed to enable spray control considering the planting conditions of orchards using LiDAR in pear orchards. In the previous study developed for apple orchards, the recognition area was defined and spraying for each nozzle was controlled in consideration of the vertical distribution of fruit tree volume data. In addition, the sequential delay technique was used to solve the problem that the sprayed pesticide became fog-like and recognized by the LiDAR. However, in the case of a pear orchard, the distribution of fruit tree volume data recognized by the sensor is different because a planting method different from that of apples is used. Considering the changed physical characteristics of the orchard and the structural characteristics of the control nozzle, the method of analyzing field data and defining the

※ 본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ015597012021)에서 지원하여 연구하였음.
◆ First Author : Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, nobel1st@korea.kr, 정회원
° Corresponding Author : Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, meceng93@korea.kr, 정회원
* Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences
논문번호 : 202109-255-0-SE, Received September 14, 2021; Revised October 24, 2021; Accepted October 26, 2021

www.dbpia.co.kr

recognition area and the algorithm for recognizing each spray area were improved to supplement the orchard recognition algorithm. A Gaussian filter-based simulation was performed on the distributed state value memory for each recognition area of the recognized fruit tree data to verify the validity and proposed a method to improve the accuracy of the signal for controlling the spray nozzle.

Ⅰ. 서 론

우리나라 농산물은 주로 노지에서 생산하고 있으며, 노동력의 수요가 매우 많은 분야로 노동력 부족 해결을 위한 기술개발이 시급한 실정이다. 농촌 인구의 고령화 및 노동인구 감소로 인한 문제를 해소하기 위해서는 무인화 기술이 접목된 노동력 절감형 농기계의 기술 개발이 필요하다[1]. 디지털 농업기술의 세계적인 흐름에 발맞춰 농업인의 경험과 직관에 의한 의사결정 및 농작업을 대체하기 위한 딥러닝 및 인공지능 등의 기술 개발이 중요하며 특히, 노지 환경에서 운용중인 농기계가 인공지능 기술에 의해 무인 농작업이 가능하기 위해서는 재배환경 정보를 센싱하고 농작업 경로생성 및 자율주행 등 자동화·지능화 기반기술의 개발이 필요하다[2].

도시화 및 산업화를 넘어 4차 산업혁명이라는 시대적 흐름은, 청·장년층 농촌 인구 감소에 많은 영향을 주고 있고 기존 농업 인구의 고령화는 농업 현장의 노동력 감소를 가속화 시키고 있으며[3] 신규 영·창농인 유입으로 발생하는 시행착오로 인한 기회비용 손실 발생과 국지적 환경에만 최적화된 농작업 기술의 현황은 노지 농업의 기술발전에 대한 수요를 더욱 증대시키고 있다.

노지 농업에서 노동력의 수요를 매우 많이 필요로 하는 분야인 과수원은 병충해로 인한 피해를 막기 위해 시행하는 방제작업에 가장 많은 노동력을 필요로 한다. 인력에 의존하여 실시되었던 기존 관행 방식의 방제작업의 경우, SS기 보급등의 기계화를 통해 노동력 확보 및 작업시간의 단축등의 효과를 가져왔으나 인력에 의해 직접 작업기를 운전하고 분사 장치를 조작하는 과정에서 발생하는 안전 사고문제와 농약 과다 분사로 인한 토양 환경오염 문제 그리고 방제 과정에서 직접적 노출로 인한 작업자의 피부 및 호흡기 질환 등의 원인이 되고 분사 시 비산된 농약이 주변 농가에 영향을 끼쳐 피해를 주는 등의 여러 가지 문제는 해결되지 못하고 있다[4].

이와 같은 배경으로부터 수행된 선행 연구사례로는 무인화 방제기술을 개발하기 위해 리모컨 방식의 무선 이동 제어 알고리즘을 적용하거나 RGB-Depth 카메라 센서를 활용한 과수 인식 기반 변량 제어 기술 등이 시도된 바가 있다[5-8]. 노지 시설 제어 방제 방식은 경작지의 전체 면적에 통합 제어가 가능하도록 고안된 방제장치를 설치해야 하는 비용 부담이 있고 급수 시설 성능 지속성 및 개별 분사 장치에 대한 유지 관리에 별도의 노동력이 필요로 하는 문제가 있었다. 리모컨으로 이동체를 제어하는 무인화 방제기의 경우 RGB-Depth 카메라 기반의 영상처리 기술을 통해 과수의 유무를 판단하고 농약을 살포하는 방식으로 연구가 수행되었으나 태양광의 영향으로 인한 인식률 저하 문제가 발생하거나 영상처리용 장비를 운용하기 위한 농작업자에게 요구되는 전문성 부재 등의 문제로 인해 아직 상용 제품으로 발전한 사례가 없다.

위와 같은 문제를 해결하기 위해 태양광의 간섭을 받지 않는 LiDAR 센서를 채택하고 산업용 PC에 Linux OS와 ROS 및 Python을 기반으로 개발된 소프트웨어를 탑재하여 소형화한 제어기를 개발하였으며 개별 노즐에 솔레노이드 밸브만을 추가함으로써 상용 제품에 부착 및 적용이 용이하도록 개발한 하드웨어를 활용하여 과수의 유무 및 형상을 인식하고 노즐별 각도에 맞게 농약 분사가 가능한 효율적인 제어 알고리즘을 제안하였다.

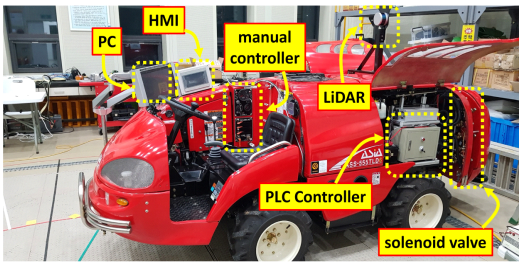
Ⅱ. 연구수행방법

2.1 LiDAR기반 지능형 로봇 방제기 시스템 구성

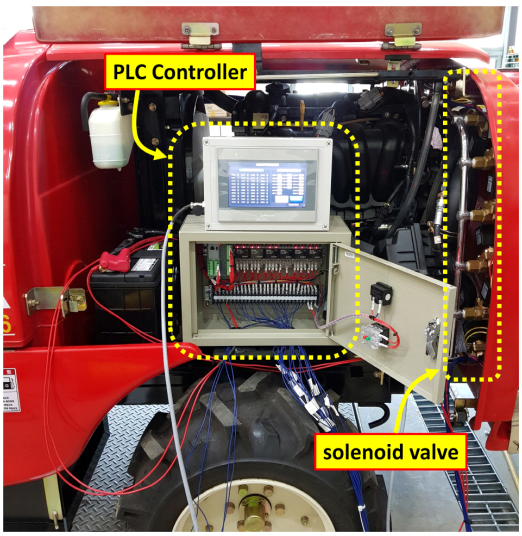
본 논문에서 배 과수원 내의 과수의 형상을 인식하기 위해 사용한 센서는 Velodyne 사의 LiDAR(VLP-16, PUCK)모델을 활용하였으며 down sampling 및 임계값 처리 기법(threshold)을 알고리즘에 적용하고 데이터 연산 속도를 증가시켜 고효율 제어가 가능하도록 하였다.

그림 1(a)는 고속 분무기(SS기, speed sprayer)의 방제부에 LiDAR센서, 산업용PC, 사용자 편이 기계 인터페이스(HMI, Human Machine Interface) 및 PLC기반 제어기를 결합한 형태의 하드웨어 구성 모습을 보여주고 있고, 그림 1(b)와 같이 각 노즐에 솔레노이드 밸브를 장착하고 PLC기반 제어기를 이용해 노즐의 개폐를 제어하였다. 그림 1(c)는 제어신호 전달을 위해

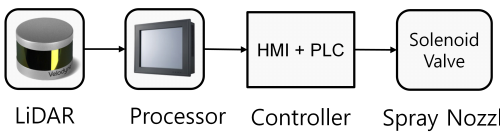
www.dbpia.co.kr



(a) Speed sprayer with sensor and control system installed



(b) PLC-based controller for solenoid control



(c) Recognition data and control signal transmission structure

그림 1. 승용형 지능형 로봇 방제기 시스템 구성 모습
Fig. 1. The configuration of the riding type intelligent robot speed sprayer system

LiDAR 센서, 산업용PC, PLC제어기 및 솔레노이드 밸브까지의 연결 구조를 나타내고 있다.

표 1은 본 논문에서 활용한 LiDAR 센서의 동작 및 실험 조건을 나타낸 것이다. 과수 체적에 대한 전체 형상을 정확히 판단하기 위해 물리적인 특성을 고려하여 3차원 위치 데이터의 분포를 바탕으로 배 과수원 내에 재식된 과수의 체적 상태 및 구조를 분석하였다.

2.2 배 과수원 환경 정보 수집

기존에 수행했던 연구에서는 사과 과수원을 대상으로 분사 제어를 수행하는 알고리즘을 개발하였으나[9],

표 1. 시뮬레이션 및 분석을 위해 사용된 LiDAR 특성 및 실험 조건.
Table 1. LiDAR properties and experimental conditions used for simulation and analysis.

Laser Channel		16
Laser Wavelength λ(nm)		905
Measuring range (m)		100
Accuracy (cm)		Max. ±3
Resolution	FOV(H)	±15.0°
	FOV(V)	360°
	Azimuth(H)	2.0°
	Azimuth(V)	0.2°
RPM		600

재식 조건이 다른 과수의 경우 노즐의 분사 각 및 범위의 조건이 달라지기 때문에 과수의 체적에 대한 구조적 분석이 다시 수행되어야 한다.

그림 2는 본 논문에서 테스트 배드로 선정한 배 과수원 현장 모습을 나타낸 것이다. 세로로 재식되었던 사과 과수의 재배 방식과는 달리, 배 과수는 비닐하우스 골조와 비슷한 아치형 구조물 형태를 따라서 전정 및 관리가 되고 있었다.

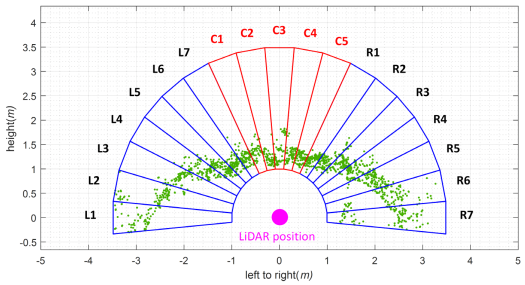
그림 2. 테스트 배드로 선정한 배 과수원 모습
Fig. 2. Pear orchard selected as test bed

2.3 LiDAR 기반 과수원 내 3차원 정보 분석

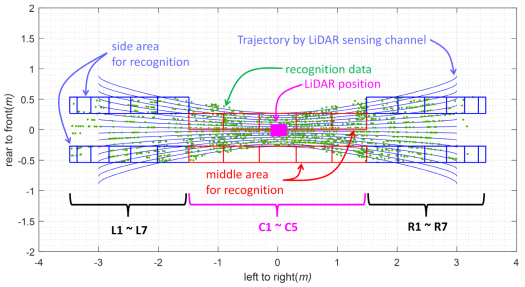
그림 3은 배 과수원을 대상으로 과수의 재식 조건을 고려하여 SS기에 설치된 노즐별 분사각에 따른 과수 인식범위 설정 및 솔레노이드 밸브의 제어 방식을 결정하기 위해 과수의 체적 정보를 분석한 결과를 나타내고 있다.

그림 3(a)는 LiDAR에서 인식된 과수의 위치데이터와 노즐별 각도에 따라 설정된 인식범위 조건을 SS기의 후면에서 바라본 것을 나타내고 있다. SS기에 고정된 노즐 위치는 송풍팬을 중심으로 원형에 가깝게 배치되어있으나 각 노즐별 분사된 양액이 도달해야 하는 과수까지의 거리는 수평방향으로 약 3미터, 수직방향으로 약 1미터로서, 과수의 위치 데이터를 분석한 결과

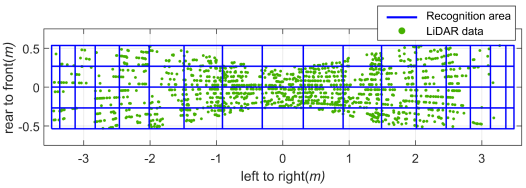
www.dbpia.co.kr



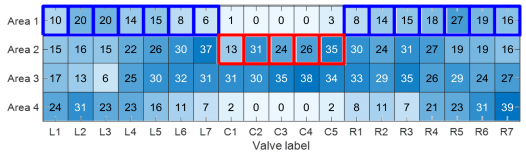
(a) Rear view about recognition each range by angle and recognized LiDAR data



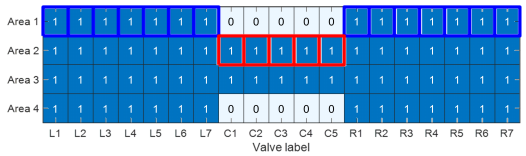
(b) Top view for LiDAR data and modyfied recognition area



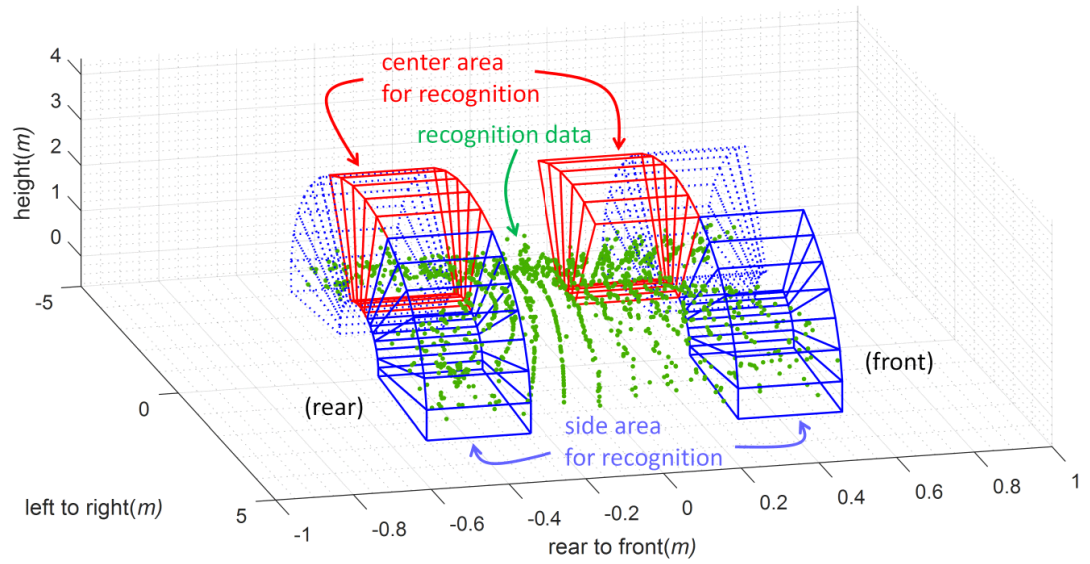
(c) Top view



(d) Result of counting recognized LiDAR data



(e) Result of thresholding operation for generating control signal



(f) 3D view for analyzing with recognition area structure and LiDAR data position

그림 3. LiDAR 센싱 구조 분석 및 분리된 3차원 인식 영역별 시간 지연 순차 데이터의 유효성 검토
Fig. 3. LiDAR sensing structure analysis and validation of time-delay sequential data for each separated recognition 3D area

타원 형태의 궤적으로 분포되어 있음을 알 수 있었다. 이를 기반으로 LiDAR의 중심으로부터 인식 거리 범위를 [1.0m : 3.5m]로 설정하였으며 분사각을 고려한 반원 형태로 인식 영역을 설정하였다. 또한, SS기의 수동 밸브에 연결된 노즐끼리 그룹을 정의하고 왼쪽 7개, 가운데 5개, 오른쪽 7개에 노즐과 동일한 위치의 밸브에 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 순서대로 인식명을 부여하였다.

www.dbpia.co.kr

그림 3(b)는 그림3(a)의 상태를 상부에서 내려다본 모습을 나타낸 것이다. 그림 3(a)에서 설정한 인식 영역을 기준으로 기존에 수행했던 순차 데이터 지연 기법을 적용하여 테스트 배드에서 실험을 진행한 결과, 가운데에 위치한 5개 밸브가 제대로 동작하지 못하는 것이 관찰되었다. 그림 3(c)는 현장 테스트에서 발견되었던 문제를 해결하기 위해 분석한 데이터 분포 및 인식 영역에 대한 구조를 나타내고 있다. 각 영역별로 인식된 데이터의 분포상태를 분석한 결과, 그림 3(d)에 보이는 바와 같이 각각 Area 1과 Area 4의 가운데 5개 영역(C1~C5)에서 LiDAR의 데이터 인식이 수행되지 못함을 확인하였다. 그러나 그림 3(d)와 그림 3(e)의 결과로부터 알 수 있듯이, C1~C5에 해당하는 인식 영역에서는 L1~L7 영역 및 R1~R7 영역과 같은 지연 시간을 기준으로 동작하지 못한다.

사과나무의 경우 과수의 중심을 기준으로 일정한 거리에 존재하는 군집된 데이터의 높이만 고려하여 분석한 후 제어를 수행하면 되었으나 배 과수의 경우는 LiDAR의 인식 가능 영역특성(FOV)으로 인해 데이터의 방향에 따라 인식이 가능한 최대 외곽 범위가 다르다. 그로 인하여 그림 3(d)와 같이 각각 Area 1과 Area 4의 가운데 5개 영역(C1~C5)에 실제로는 과수가 존재함에도 불구하고 LiDAR가 인식하지 못하여 데이터의 부재로 인해 순차 데이터 시간 지연 기법을 이용한 알고리즘을 적용할 수 없다.

그림 3(e)는 솔레노이드 밸브 제어를 위해 임계값 처리로 상태 값을 판별한 결과를 나타내고 있다. 이러한 분석결과를 토대로 분할된 인식 영역별 제어를 위해 가운데 영역의 과수를 인식하여 제어가 가능한 방법을 고안하였다. 그림 3(d)와 그림 3(e)으로부터 확인할 수 있듯이 Area 2의 가운데 영역(C1~C5)은 t_0 일 때와 인식범위만 다를 뿐 인식된 데이터를 통해 과수의 체적을 판별하기에는 문제가 없다.

2.4 과수 형상 데이터 기반 제어 환경 조건 분석

그림 4는 과수까지의 거리를 기준으로 인식되는 영역을 4부분으로 나누고 앞부분과 뒷부분에 대한 각각의 과수 형상 데이터의 중심을 기준으로 인식된 데이터의 물리적 구조에 대한 분석결과를 나타내고 있다.

방제기가 등속으로 움직이는 경우 시간 변화량 t_s의 관계는 식(1)과 같고, 시간 변화량에 대한 순차 데이터의 개수 n_{seq}를 구하기 위해서는 식(2)와 같이 LiDAR의 데이터 전송 주기 R_t 로 나누면 구할 수 있다.

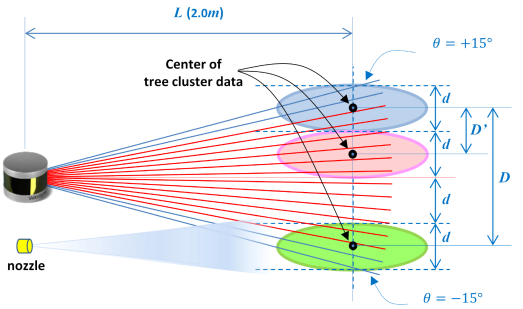


그림 4. LiDAR 센싱 구조 및 단일 순차 데이터의 특성 분석
Fig. 4. Characterization of LiDAR sensing structures and single sequence data

$$t_s = t_n - t_0 \tag{1}$$

$$n_{seq} = \frac{t_n - t_0}{R_t} = \frac{t_s}{R_t} \tag{2}$$

식 (3)은 Area 1 시점의 과수 형상 데이터와 Area 2 시점의 과수 형상 데이터 사이의 거리를 D' 라 정의할 때 Area 4 시점의 기준으로 계산된 D와의 관계를 정의한 식이다. 식(4)는 Area 2 시점의 과수 형상 데이터 거리 D' 를 계산하는 식이다.

$$D = \frac{1}{2}d + 2d + \frac{1}{2}d = 3d \tag{3}$$

$$\begin{aligned} D' &= \frac{1}{3}D = \frac{1}{3}\cdot 3d = d \\ &= \frac{1}{3}\left(L\cdot\tan(\theta)\cdot\frac{3}{4} - L\cdot\tan(\theta)\cdot\frac{1}{4}\right) \\ &= L\cdot\tan(\theta)\cdot\frac{1}{2} = 2m\cdot\tan(15^\circ)\cdot\frac{1}{2} \\ &\cong 0.268m \end{aligned} \tag{4}$$

식(5)와 식(6) 그리고 식(7)은 식(4)으로부터 계산된 D' 값을 이용하여, Area 1의 형상 데이터와 Area 4의 데이터가 서로 일치하기 위해 필요한 시간 t_s 를 계산하고 이를 바탕으로 몇 번째 순차 데이터를 활용해야 하는지를 나타내고 있다.

식(5)는 거리 D' 를 구하기 위해 속도 V 와 시간 t_s 와의 관계를 정의한 것이고, 식(6)은 식(5)를 시간 t_s 에 대해 정리한 것이며, 식(7)은 식(6)에 식(2)와 식(5)을 대입하여 정리한 결과를 나타내었다.

$$D' = V\cdot(t_n - t_0) = V\cdot t_s \tag{5}$$

www.dbpia.co.kr

$$t_s = \frac{D'}{V} \tag{6}$$

$$n_{seq} = \frac{t_s}{R_t} = \frac{D'}{V \cdot R_t} = \frac{0.268_m}{0.65_{m/s} \cdot 0.1_{\sec}} \cong 4.12 \tag{7}$$

식(7)에 의해 계산한 결과, 지연 순차 데이터를 4번째(약 4.12) 메모리 위치에 저장하고 활용해야 함을 알 수 있다. t_0 시점에서의 위치가 Area 1이라 할 때, 시퀀스 데이터의 지연 시점은 식(6)의 계산 결과로부터 t_4가 되고 좌·우측 Area 2의 위치와 일치함을 알 수 있다. 이를 바탕으로 그림 3(f)와 같이 빨간색으로 표현한 영역에 대하여 과수 형상 데이터를 인식하고 분사 제어를 위한 상태값 판별에 활용할 수 있다.

2.5 밸브 제어를 위한 인식 정보 처리 기법 설계

그림 5는 LiDAR에서 인식된 데이터를 기반으로 노즐의 분사 여부를 결정하기 위해 적용한 FIFO(First in first out) 알고리즘 방식을 나타낸 것이다. 기존에 수행되었던 알고리즘에서는 분무된 농약을 인식하는 현상을 회피하고 과수의 위치 데이터만 정확히 인식하기 위해 LiDAR로부터 수신된 데이터가 Area 1의 위치일 때 시점을 t_0 라하고 Area 4의 위치일 때 시점을 t_{12} 라고 정의할 때 두 위치에서의 데이터 분포상태를 비교하고 판단하여 분사 여부를 결정하였다.

LiDAR로부터 t_0 시점에서 인식된 첫 번째 데이터를 19개로 분할된 인식 영역별로 과수 체적 데이터를 판단하고 임계값 처리를 통해 제어 신호로 변환한 후 12개의 구속장을 갖는 메모리 공간으로 설정된 첫 번째 위치에 저장한다. 인식된 두 번째 시퀀스 데이터는 첫 번째 메모리 공간에 저장하고 이전에 저장되었던 데이터는 두 번째 데이터 저장 공간으로 옮겨지며 순차적으로 저장된다. 이후 노즐의 분사 여부를 정확히 결정하기 위해 t_{12} 시점에 인식하고 저장된 데이터 a와 현재 시점에 인식된 a' 두 데이터를 비교하여 AND 연산을 수행하여 판별하는 방식으로 제어 신호를 생성하였다.

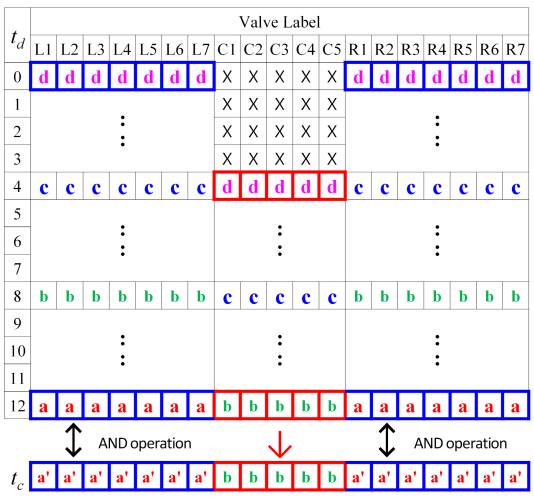


그림 5. 시퀀스 데이터 기반 시간지연 기법을 적용한 FIFO 구조
Fig. 5. FIFO structure using sequence data-based time delay technique

그림 4의 t_{12} 와 t_c 시점의 파란색 영역은 L1~L7 및 R1~R7 에 해당하는 밸브를 제어하기 위해 메모리에 저장된 상태 값을 AND 연산 통해 결정하는 데이터 간 관계를 보여주고 있고, 빨간색 영역은 그림 3(e)에서 Area 4의 가운데 5개 인식 영역(C1~C5)의 결과처럼 AND 연산을 위한 데이터의 부재로 인해 메모리에 저장된 값을 그대로 활용하였다.

Ⅲ. 시뮬레이션

3.1 과수원 현장 데이터 기반 시뮬레이션

그림 6은 테스트 배드로 선정한 배 과수원에서 재식된 과수열을 따라 SS기로 이동하면서 임의의 구간 [33.75m~53.75m]에 대하여 LiDAR로 인식한 3차원 위치 데이터 분포상태를 상부에서 내려다본 것을 나타낸 것이다.

그림 6(a)는 과수원 내의 임의 구간을 SS기로 이동하며 LiDAR로 인식한 데이터를 나타낸 것을 보여주고 있고, 그림 6(b)는 그림 6(a)의 데이터를 기반으로 각 19개 인식 영역별 데이터의 개수를 파악하고 임계값 처리를 통해 판별된 솔레노이드 밸브 제어값(On:1, Off:0) 결과를 세로로 배치하고 이동 방향 순서대로 나열하여 나타내었으며 노란색은 On을, 파란색은 Off를 의미한다. 이와 마찬가지로 그림 6(c)와 (d)는 Area 2에서 인식된 데이터를, 그림 6(e)와 (f)는 Area 4에서 인식된 데이터를 순서대로 나열하고 임계값 처리 기법을 수행한 결과를 나타내고 있다.

그림 6(a)와 그림 6(c)의 과수 체적을 인식한 위치 데이터 분포상태를 비교했을 때 매우 유사한 형태로 인식되고 있는 반면에, 그림 6(e)의 인식결과와 같이 가운데 5개 인식 영역(C1~C5)에 해당하는 부분에서 인식이 잘 되지 않는 것을 확인할 수 있다. 각각 그림 6(b), 그림 6(d), 그림 6(f)는 인식된 데이터를 기반으로 생성한 제어 신호 값 상태를 보여주고 있으며 Area 2의 데이터를 순차적으로 저장하여 노즐의 분사 제어

www.dbpia.co.kr

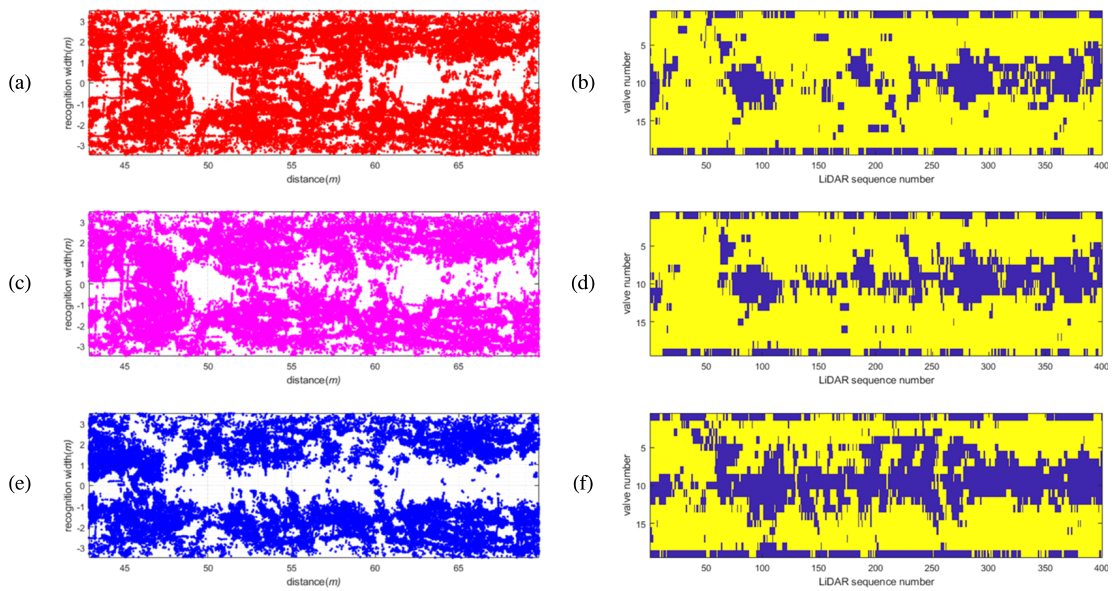


그림 6. 인식 영역별 과수 체적 데이터 분포 상태 비교를 위한 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation result for comparison of fruit tree volume data distribution status by recognition area

값으로 활용한다. 이와 같은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 인식 영역별 노즐의 분사 제어를 수행하기 위해 시퀀스 데이터의 속성을 고려하였다.

3.2 가우시안 필터 기반 시뮬레이션

SS기 노즐의 분사 제어를 위해 장착된 솔레노이드 밸브는 전기적 신호로 제어하며 순간적인 전류 신호의 입력으로 코일의 자기장을 형성하여 동작시키는 원리를 이용한다. 본 논문에서 과수 체적 위치 정보를 인식하기 위해 사용한 LiDAR는 표 1에 명기한 것처럼 600rpm의 주기로 동작하고, 솔레노이드 밸브의 동작 속도 또한 LiDAR의 데이터 통신 속도의 주기를 따르게 된다. 이때 밸브는 물리적으로 움직이는 스위치로써 고속으로 동작을 하는 경우 밸브 및 배터리와 같은 전력 계통 장치의 내구성에 영향을 미치게 된다.

또한, 과수 체적의 특성상 연속적인 형상을 띠고 있음에도 불구하고 송풍팬의 바람이나 엔진으로부터 전달되는 진동 및 SS기 자체의 움직임으로 인해 인식된 위치 데이터의 분포상태가 일정하지 않다는 점은 밸브 제어값 상태가 불연속적으로 생성될 수밖에 없다는 것을 의미한다. 본 논문에서 사용한 가우시안 필터는 노이즈 제거나 불연속적인 데이터의 형태를 부드럽게 만들기 위해서 사용되는 필터의 종류로서, 일반적으로 영상처리 분야에서 주로 사용된다[10,11].

아래 식(8)은 분산이 $\sigma = 1.5$ 일 때 인식된 과수 체적 데이터가 정규분포 특성을 갖는 가우시안 필터 함수이다.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{(2\pi\sigma^2)}} \times e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (7)$$

$$\begin{cases} x : variable \\ \mu : average \\ \sigma^2 : dispersion \end{cases}$$

가우시안 필터를 적용하여 합성곱 연산을 위해 생성된 마스크 구조는 1차원 배열의 구속장과 동일한 길이로 설정되며, 13개 시퀀스 데이터 상태 값을 1차원 배열로 저장하여 합성곱(Convolution) 연산을 수행하였다. 아래 표 2는 식(8)의 함수를 이용해 배열의 순서에 따라 부여하게 될 가중치 값을 나타낸 것이다.

아래 그림 7은 합성곱 연산을 위해 식(8)에서 배열의 위치값을 변수(x)로 표현된 정규분포 그래프와 표 2에 나타낸 가중치 값을 정규분포 형태를 나타낸 것이다.

그림 8은 LiDAR로 매 시퀀스마다 단위 간격당 인

표 2. 가우시안 필터 마스크를 위한 파라미터 값
Table 2. Parameters for gaussian filter mask

x	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
ω (10^{-2})	0.0	0.1	0.8	3.6	10.9	21.3	26.6	21.3	10.9	3.6	0.8	0.1	0.0

www.dbpia.co.kr

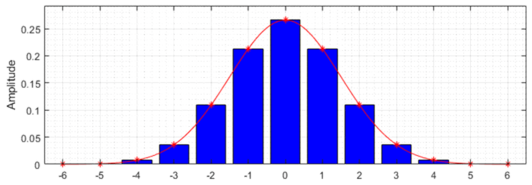


그림 7. 가우시안 함수의 정규 분포상태 그래프
Fig. 7. Normal distribution state graph of gaussian function

식되는 과수 10그루에 대한 데이터 개수를 기반으로 가우시안 필터를 적용하기 전·후의 상태를 비교한 것이다. 과수 1개에 해당하는 폭(약 1.6m, 과수 재식 간격)을 이동하면서 영역 내에 인식되는 데이터 개수의 변화는 그림 8(a)와 같이 나타났으며 그림 8(b)는 가우시안 필터를 적용하여 변환된 데이터 분포상태를 보여주고 있다. 그림 8(b)의 결과로부터, 가우시안 함수 기반의 마스크 연산을 통해 인접한 영역간 데이터의 분포 상태를 연속적인 상태로 개선할 수 있음을 확인하였다.

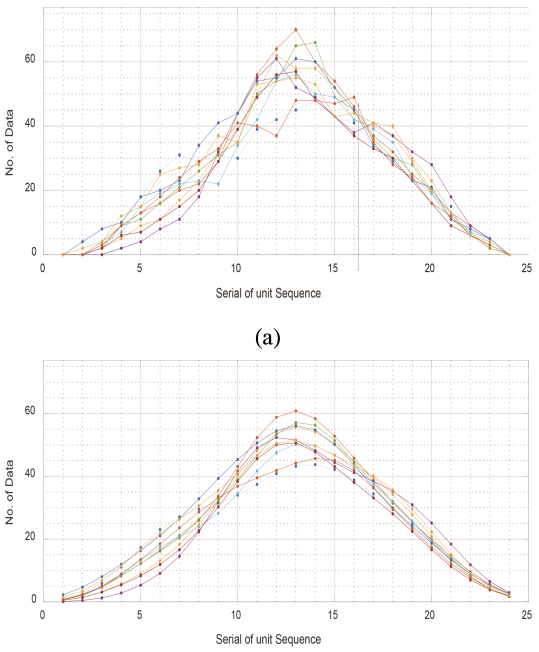


그림 8. 가우시안 필터 적용 여부에 따른 인식 데이터 수 분포 상태 비교 (a) 가우시안 필터 적용 전 (b) 가우시안 필터 적용 후
Fig. 8. Comparison of the distribution status of the number of recognition data according to whether or not gaussian filter is applied (a) raw data state (b) after applying gaussian filter

그림 9. 분사제어 알고리즘 적용 실험을 위해 선정된 배 과수원
Fig. 9. Pear orchard selected for spray control algorithm application experiment

Ⅳ. 실험 결과

그림 9는 전북 전주시 덕진구 원동에 위치한 테스트 배드로 선정된 배 과수원의 모습을 나타낸 것이다.

그림 10은 그림 9에 나타낸 배 과수원 현장에서 제안한 개발한 알고리즘을 적용하고 유효성을 검증하기 위해 임의로 선정한 구간에 대해 분사실험을 수행한 결과를 나타낸 것이다.

그림 10(a)는 수집된 현장 적용 실험 결과 데이터 중 임의의 구간 [125.05m~131.70m]에 대하여 LiDAR로 인식한 3차원 위치 데이터 분포 상태를 위에서 내려다보는 방향으로 나타낸 것이다. 그림 10(b)는 그림 3(c)에서 정의된 인식영역 중 그림 3(e)의 Area 1에서 인식된 데이터 상태를 나타내고 있으며 그림 10(c)는 Area 2에서 인식된 데이터 상태를 나타내고 있다.

그림 10(d)는 그림 10(a)의 데이터로부터 Area 2에서 인식된 중간 영역(C1~C5) 데이터와 Area 1에서 인식된 좌·우측 영역(L1~L7, R1~R7) 데이터를 결합한 상태를 나타낸 것이다. 그림 10(e)는 Area 4에서 인식된 데이터 상태를 나타내고 있으며 좌·우측 영역(L1~L7, R1~R7) 데이터를 기준으로 AND 연산을 위해 사용되었다. 그림 10(g)와 그림 10(h)는 각각 그림 10(d)와 그림 10(e)에 가우시안 필터를 적용한 결과를 나타낸 것이다.

그림 10(f)는 그림 10(d)와 그림 10(e)로부터, 그림 10(i)는 그림 10(g)와 그림 10(h)로부터 임계값 처리를 통해 판별된 상태 제어값을 AND 연산한 결과를 나타낸 것이다. 그림 10(f)와 그림 10(i)는 가우시안 필터를

www.dbpia.co.kr

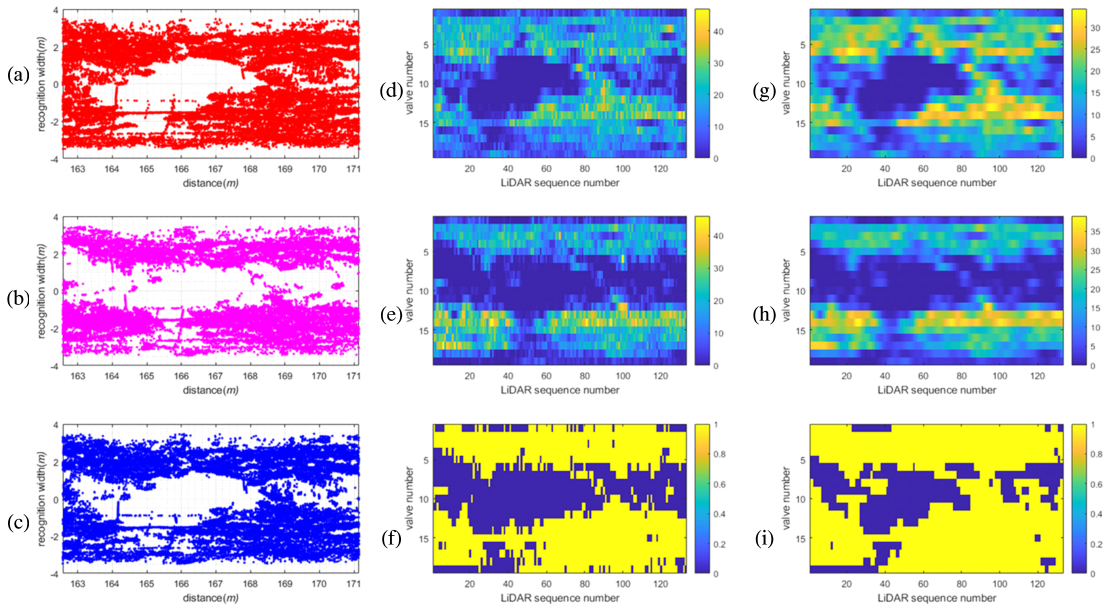


그림 10. 인식영역 별 인식된 과수 체적 데이터 비교 및 알고리즘 별 제어 상태값 비교
Fig. 10. Comparison of recognized fruit tree volume data by recognition area and comparison of control state value by algorithm

적용하기 전과 후의 AND연산 결과를 나타내고 있으며 그림 10(f)와 그림 11(i)의 노란색은 해당 인식영역에 과수가 있음을 판별하고 분사를 수행하기 위해 솔레노이드 밸브 상태를 'On'으로 정의한 것을 의미하고, 파란색은 해당 인식영역에 과수가 없다고 판단하고 솔레노이드 밸브 상태를 'Off'로 정의한 것을 의미한다. 위의 실험 결과로부터, 가우시안 필터를 적용하였을 때 분사 장치 제어값 상태가 더 연속적으로 정의되었음을 보여주고 있다.

그림 11은 테스트 배드로 선정한 과수원에서 2개의 과수열을 연속적으로 이동하면서 분사실험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 그림 11(a)는 그림 9에서 노란

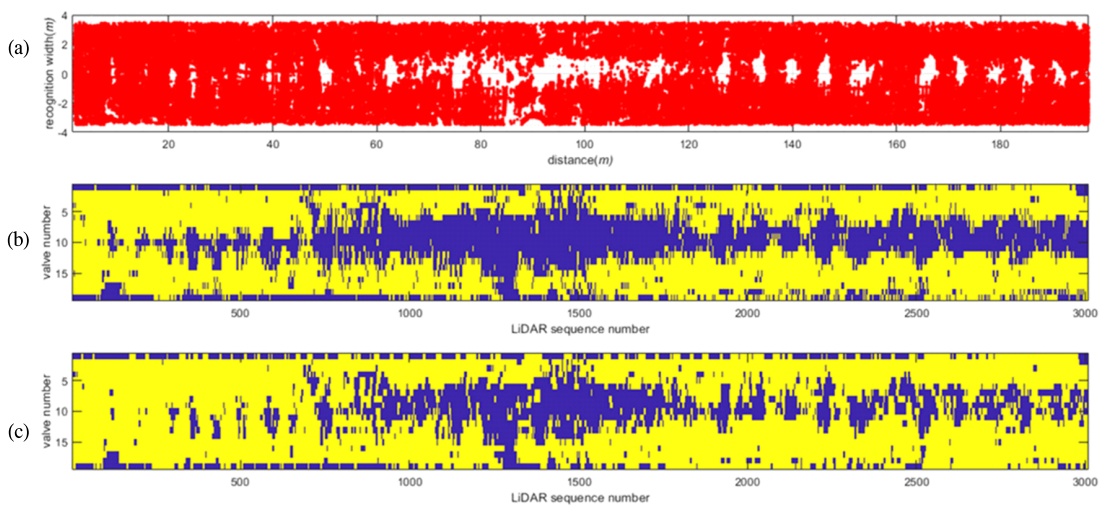


그림 11. 테스트 배드로 선정된 배 과수원에서 2개 과수 열 전체 구간을 주행하며 분사 실험을 수행 한 결과
Fig. 11. Results of spraying experiments while driving all two rows of fruit trees in the pear orchard selected as the test bed

www.dbpia.co.kr

색 선으로 표시한 지정 주행 경로상에서 LiDAR에 의해 인식된 과수 체적 데이터의 상태를 나타낸 것이고 그림 11(b)와 그림 11(c)는 가우시안 필터링 및 인식 영역별 지연 시간 알고리즘을 적용하기 전과 후의 제어 상태값 결과를 나타낸 것이다. 그림 11(b)에서는 그림 3에 정의된 가운데 인식영역(C1~C2)에서 과수 체적 데이터가 잘 인식되지 않는 것을 확인할 수 있으나, 그림 11(c)에서는 그림 11(a)의 과수 체적 데이터의 분포상태와 매우 유사한 형태로 인식되었음을 확인할 수 있었다.

그림 12는 그림 11로부터 분석한 데이터를 기반으로 노즐의 분사 제어를 수행한 정확도를 나타낸 것이다. 그림 12로부터, 좌·우측 인식 영역과 중간 인식 영역을 별도로 분리하여 과수 체적 데이터를 인식하고 가우시안 필터 처리한 데이터를 기반으로 AND 연산을 수행한 결과가 훨씬 더 향상되었음을 확인하였다.

표 3은 테스트 배드로 선정한 배 과수원에서 과수의 생육 시기별로 수행한 분사 실험 결과를 나타내고 있다. 비교대상으로 실험 수행 시 분사 조건은 일괄 살포 방식의 관행 방제 효과와 비교를 위해 농가현장에서 설정한 기준을 지표로 삼고 압력과 송풍기 동작 조건을 적용하고 수행하였으며, 6월 중순에 과수의 낙과 방지를 위해 조절한 경우를 제외하고는 모두 동일한 조건으로 실험하였다. 실험 결과, 시기별 과수의 체적에 따른 농약 사용량의 차이는 있으나 단위 거리당 소요된 농약 살포량을 조사한 결과 기존 관행 방식의 방제 방식보다 평균 36.89% 절감할 수 있음을 확인하였다.

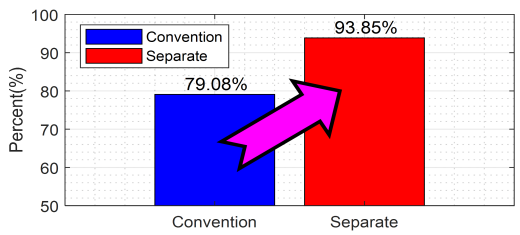


그림 12. 제어 알고리즘 별 분사 제어 정확도 비교
Fig. 12. Comparison of spray control accuracy by control algorithm

표 3. 배 과수원 내 방제 방식별 실험 결과
Table 3. Experimental results for each control method in a pear orchard

실험일자		6/4	6/7	6/19	6/29	6/30	7/14	7/22
분사 조건	압력 (bar)	20	20	18	18	20	20	20
	송풍기 (rpm)	1800	1800	1500	1800	1800	1800	1800
사용량 (ℓ)	관행	약110	약110	약70	약110	약115	약115	약115
	제어	약65	약65	약45	약70	약75	약75	약75
절감률(%)		40.91	40.91	35.71	36.36	34.78	34.78	34.78

V. 결 론

본 논문에서는 배 과수원에서 지능형 로봇방제기에 LiDAR 센서를 활용하여 과수의 체적을 정확히 인식하고 고효율 농약 살포를 위해 노즐 분사 제어가 가능한 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션 및 현장 실험을 통해 그 효과를 확인하였다. 테스트 배드로 선정한 실제 농가를 방문하여 얻은 배 과수 데이터를 기반으로 센서와 위치 데이터의 3차원 공간에서의 물리적 특성을 분석하고 down sampling, 시퀀스 데이터 지연 기법, 임계값 처리 기법 및 가우시안 필터 기법을 적용한 소프트웨어 시뮬레이션을 통해 개발한 알고리즘의 유효성을 검증하였으며, 최종적으로 배 과수원에서 농약 살포 실험을 통해 노즐의 분사 제어 정확도 및 농약 절감률의 효과를 확인하였다.

향후 상기 개발된 기술을 적용한 현장 실증 평가를 통해 상용화 기술로서의 가치를 고취 시킬 계획이며 센서 및 제어기 등의 하드웨어적 요소를 간소화하여 제품 생산비용 절감에 기여할 수 있도록 고도화 방안을 추진할 계획이다.

References

[1] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, "*Agricultural Machinery Ownership Status*," Sep. 2021.

[2] Korean Rural Economic Institute, "*A Plan to Establish Precision Agricultural System to Enhance Agricultural Competitiveness*," May 2021.

[3] Korean Statistical Information Service, "*Results of the 2020 Census on Agriculture, Forestry and Fisheries*," Apr. 2021.

[4] Rural Development Administration, "*Investigation of diseases and damages in the work of farmers*," 2019.

[5] K. Seo, D. Kim, G. Bae, and S. Park, "Development of tree recognition algorithm for low pesticide control," *Conf. Korean Soc. for Precision Eng.*, vol. 17, p. 365, 2017.

[6] K. Seo, D. Kim, G. Bae, and S. Park,

www.dbpia.co.kr

"Developed remote control sprayer for low pesticide variant control," *Conf. Korean Soc. for Precision Eng.*, vol. 17, p. 366, 2017.

[7] K. Lee, J. Lee, M. Lee, J. Kim, and H. Lee, "User interface design of a remote controller for a sprayer," *Conf. Inst. Contr., Robotics and Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 129-130, 2019.

[8] M. Lee, M. H. Cha, C. S. Park, H. M. Lee, and G. H. Lee, "Development of off-road surface shape estimation system using depth camera for unmanned agricultural tractor," *Conf. The Korean Soc. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 135-136, 2020.

[9] C. Yang, M. Lee, K. Kim, Y. K. Hong, H. Kim, S. Y. Lee, H. Ryu, K. Kwon, M. Oh, and G. Kim, "LiDAR-based efficient spray control algorithm development for intelligent spraying machine," *J. Knowledge Info. Technol. and Syst.*, vol. 15, no. 5, pp. 659-670, Oct. 2020.

[10] E. W. Weisstein, "*Gaussian function*," Wolfram MathWorld, 2002.

[11] European Mathematical Society, "*Normal distribution*," Encyclopedia of Mathematics, 2020.

양 창 주 (Changju Yang)

2014년 8월 : 전북대학교 전자공학 박사

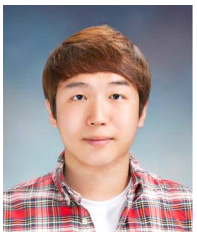
2016년 11월~2018년 6월 : 전북대학교 전자공학부 연구교수

2020년 3월~현재 : 국립농업과학원 농업공학부 박사후연구원

<관심분야> 인공지능, 영상처리, 스마트팜

[ORCID:0000-0003-4909-2578]

원 진 호 (Jin-ho Won)



2017년 2월 : 충북대학교 바이오시스템공학 석사

2019년 9월~현재 : 전북대학교 농업기계공학 박사과정

2019년 6월~현재 : 국립농업과학원 농업공학부 석사후연구원

<관심분야> 스마트팜, 농기계 자율주행, 농업로봇

[ORCID:0000-0001-6568-2098]

김 국 환 (Gookhwan Kim)

2010년 2월 : 경희대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)

2010년 3월~2014년 12월 : 농촌진흥청 국립농업과학원 PostDoc.

2015년 1월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 재직

<관심분야> 농업 로봇, 자율항법 기술

[ORCID:0000-0002-7278-3476]

권 경 도 (Kyung-Do Kwon)

2017년 2월 : 충남대학교 바이오시스템기계공학 석사

2018년 3월~현재 : 충남대학교 바이오시스템기계공학 박사과정

2020년 9월~현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

<관심분야> 영상처리, 인공지능, 농업로봇

[ORCID:0000-0003-1794-3438]

www.dbpia.co.kr

김 경 철 (Kyoung-Chul Kim)

2015년 8월 : 전북대학교 정밀기계공학 박사
2016년 7월~2019년 1월 : 농업기술실용화재단 연구원
2019년 2월~현재 : 국립농업과학원 농업연구사

<관심분야> 농업로봇, 농업드론, 농업 인공지능
[ORCID:0000-0001-6699-881X]

홍 영 기 (Youngki Hong)

2004년 3월 : 일본 동경농업대 생물환경조절학전공 박사
2007년 3월~2021년 2월 : 국립농업과학원 농업연구사
2021년 3월~현재 : 국립농업과학원 농업연구관

<관심분야> 영상처리, 기계학습, 인공지능
[ORCID:0000-0002-9772-9820]

www.dbpia.co.kr