

# 과수 인식을 이용한 지능형 방제기 시스템 개발

## Intelligent Sprayer System using Tree Recognition

홍형길<sup>†</sup>·우성용<sup>1</sup>·송수환<sup>1</sup>·오장석<sup>1</sup>·윤해룡<sup>1</sup>·서갑호<sup>1</sup>·권순욱<sup>2</sup>·이기용<sup>3</sup>·이장창<sup>3</sup>·조희근<sup>3</sup>  
Hyung Gil Hong<sup>†</sup>, Seong Yong Woo<sup>1</sup>, Su Hwan Song<sup>1</sup>, Jang Seok Oh<sup>1</sup>, Haeyong Yun<sup>1</sup>,  
Kab Ho Seo<sup>1</sup>, Soon Wook Kwon<sup>2</sup>, Ki Yong Lee<sup>3</sup>, Jang Chang Lee<sup>3</sup>, Hee Keun Cho<sup>3</sup>

**Abstract:** Farmers using conventional sprayer system are exposed to pesticide poisoning and soil pollution due to pesticide application. In order to reduce this problem, the effective sprayer system is required. In this paper, we propose development of intelligent sprayer system using tree recognition. This intelligent sprayer system consists of an image recognition module, a remote control, a sprayer system, an air blower, and a control module. It is possible to spray pesticides automatically and manually through remote control using cameras and controls. We conducted a total of four experiments in tree recognition experiment, test of attachment and water sensitive papers, measurement of pesticide consumption, and measurement of worker exposure. The test results showed that the consumption of pesticides could be reduced while giving the same effect as conventional controls.

**Keywords:** Intelligent Sprayer System, Tree Recognition, Variant Spray, Automation

### 1. 서 론

과수 방제기는 우리나라 과수원에서 약 3만대 이상 보급이 되어있으며, 과수 농가의 90% 이상에서 이용되고 있다. 최근에는 농촌의 노동인력 감소, 노동 연령의 고령화, 작업환경 열악 등의 현상과 밀접한 관계를 가지고 농기계들이 발전해오고 있다. 특히, 과수 생산에 있는 여러 작업 단계 중 가장 힘들고 고용 노동력을 구하기 어려운 것은 병해충 방제작업이다.

기존의 방제 시스템 문제점은 과수나 주변 환경을 고려하지 않고 과도한 농약 살포로 인한 환경오염과 작업자의 농약 중독으로 이어지는 사고가 늘어나고 있다<sup>[1]</sup>. 매년 최소 3백만

명의 급성 또는 심각한 농약중독 환자가 발생하며 2만 여명이 직업적 농약노출로 사망하는 것으로 집계되고 있다. 농업인들에 대해서 농약중독에 관한 설문조사결과 밭작물 53.6%, 시설작물 58.9%, 과수 68.4%로 평균 50.2% 농업인들이 농약 중독 경험했고, 약 15%의 농업인들이 심각한 증상을 경험했으며, 특히 과수에 농약을 방제 할 시에 중독이 심한 것으로 나타났다<sup>[2]</sup>.

이런 문제점을 해결하기 위해서 농약 사용 방식과 살포 방식의 변화, 무인 방제기 또는 지능형 방제기 시스템의 연구들이 진행이 되었다. 소형의 스프레이어를 제작하여 센서 기반으로 적정 약액을 살포하는 연구가<sup>[3]</sup> 진행 되었으며, Phase-Doppler particle analyzer를 이용해서 살포된 입자들을 분석하고 최적의 약액을 살포하는 방법<sup>[4]</sup> 연구 되었다. 또한, 과수원과 포도밭의 다양한 환경을 고려해서 효율적인 살포 방법을 계산하는 살포 방식의 변화를 보조하는 시스템<sup>[5]</sup> RHEA (Robot Fleets Highly for Effective Agriculture and Forestry Management) 스프레이어를 사용해서 센서를 기반으로 구조물의 모양과 두께를 인식하고 스프레이어의 확산기의 방향과 분사 및 유속 등을 제어하는 살포 방식의 변화 시키는 시스템<sup>[6]</sup> 연구 되었다. 그리고 무인 방제 시스템에 관련된 개념 연구<sup>[7]</sup> 송풍기 블룸 노즐에 관련된 연구<sup>[8]</sup> 등도 진행되었다. 작업자의 안전을 위해서 과수의 형태, 초음파 센서로 거리를 확인해서 유압 실린더로 약대와 과수의 거리를 제어하여 무인방제 살포를 하는

Received : Feb. 23. 2020; Revised : Mar. 30. 2020; Accepted : Apr. 1. 2020

※ This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Advanced Production Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (316020-3, 317072-04). This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2018R1D1A1B07049072)

1. Researcher Engineer, KIRO, Andong, Korea (woosy, shsong, dueeldi, hyyun, neoworld@kiro.re.kr)

2. Team Manager, Siprosumer, Yecheon, Korea (swoonwook74@hanmail.net)

3. Professor, Department of Mechanical Engineering Education, Andong National University, Andong, Korea (kylee, leejc, hkcho@anu.ac.kr)

† Researcher Engineer, Corresponding author: KIRO, Andong, Korea (honghg@kiro.re.kr)

무인 방제 시스템<sup>[9-12]</sup>도 연구되었다.

기존 연구들에서 센서 및 카메라를 이용한 지능형 방제기 제어 시스템을 분석한 결과 구성 도는 [Fig. 1]과 같았다. 레이저 스캐너, 카메라 등 다양한 센서들을 사용해서 데이터를 수집하며, 생성된 원본 데이터를 저장해서 데이터 처리한다. 일반적으로 과수를 인식 또는 최적의 스프레이의 살포 각도, 분사량, 유속 등을 계산해서 최종적으로 스프레이어의 분사 노즐을 제어한다.



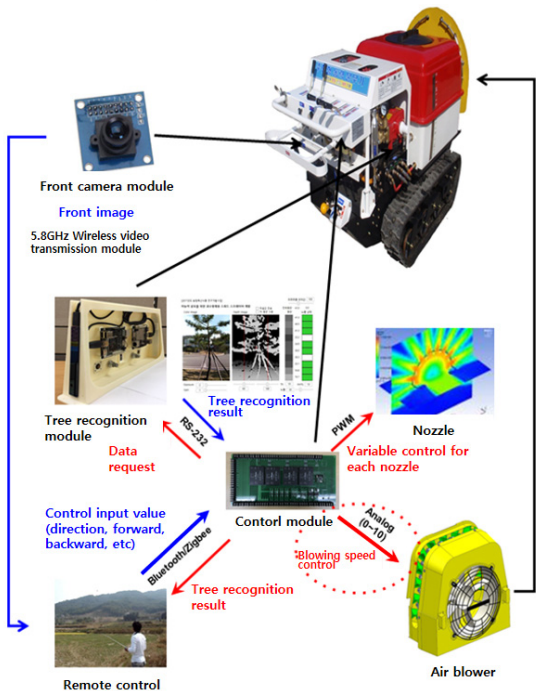
[Fig. 1] System configuration for Intelligent Sprayer System<sup>[13]</sup>

영상처리 기반의 지능형 방제기 시스템들은 잡초, 작물, 과수 등의 형상을 카메라 기반으로 인식을 해서 스프레이어를 제어해서 분사하는 시스템<sup>[14,15]</sup>들이 연구되었다.

본 논문에서는 RGB-D 카메라를 이용해서 영상을 획득하고 획득된 영상을 기반으로 하여 과수 형상을 인식하고, 과수 영역에 노즐을 제어하여 농약을 살포한다. 또한, 원격제어기를 이용해서 수동 및 자동으로 농약을 살포 가능하고, 농약 살포 상황을 전방 카메라로 모니터링하면서 작업자의 농약 중독 사고를 줄일 수 있는 지능형 방제 시스템을 제안한다.

## 2. 지능형 방제기 시스템 구성 및 제작

### 2.1 지능형 방제기 시스템 구성도

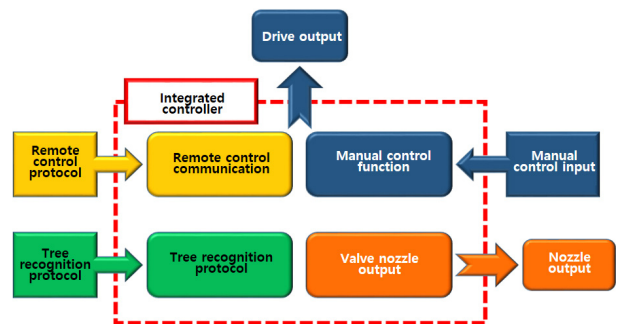


[Fig. 2] The proposed system

본 논문에서 제안하는 지능형 방제기 시스템은 [Fig. 2]와 같으며, 기존 방제기 기능에 원격 조정 기술과 저농약 살포 기술을 합치기 위해서 통합제어기(제어모듈), 과수 인식 영상처리 시스템, 원격제어기, 전/후방 카메라 등을 부착하였다.

#### 2.1.1 통합제어기 및 모듈 구성

본 논문에서 사용되는 제어 모듈은 Cortex-M3 기반 컨트롤러를 기반으로 만든 릴레이 보드를 사용하였으며, 릴레이 단위로 솔레노이드 밸브 및 방향 제어 밸브를 물려서 릴레이가 고장 시 해당 릴레이만 교체함으로써 보수가 용이하게 제작하였다. 통합 제어장치는 방제기 구동을 위하여 상호 기능구현이 필요한 장치에는 통신기능과 직접 구동 부는 입/출력 기능을 내장하여 총 4가지로 구성된다. [Fig. 3]을 참조하면, 통합제어기의 4가지 구성에는 기존의 방제기에 있는 기능인 수동 구동정보 입력과 구동정보의 출력 기능, 약재의 분사를 위한 솔레노이드 밸브의 제어기능과 추가적으로 개발한 과수인식용 영상처리 통신기능, 원격제어기간의 통신기능 등이 있다.



[Fig. 3] The integrated controller<sup>[16]</sup>

통합제어기(제어 모듈)를 중심으로 구동 모듈은 기존의 방제기를 그대로 사용하였으며, 송풍기의<sup>[17]</sup>송풍 속도를 제어하고 분사 노즐에서는 분출되는 유량, 분사 각도 등 분사 특성들을 다양한 압력으로 테스트 측정해서 변량제어가 가능하게 총 16개의 노즐로 구성되게 설계하였다. 16개의 노즐은 4개당 1개의 솔레노이드 밸브 1개가 연결되는 식으로 4분할된 배관구조를 취하고 있다. 각각의 솔레노이드를 통하여 ON/OFF 제어가 가능하도록 구현하였으며, 4분할 영역은 좌측 상단, 좌측 하단, 우측 상단, 우측 하단으로 구성되어 있으며, 실제 과수원들의 과수나무들의 높이는 지역의 특성 또는 재배 방식에 따라서 달라진다. 원격제어 통신부에서는 설계한 원격제어 프로토콜에 맞게 통신을 하게 구성되어 있으며 자세한 설명은 2.1.3절에서 다루도록 한다. 통합제어기에는 과수인식 모듈, 전방 카메라 모듈 등이 부착되어 있으며 통신으로 데이터를 송수신하는 형태이다.

과수 인식 모듈은 RGB-D 카메라 두 대가 방제기 양 옆에 각각 부착되어 있으며, 제어하는 영상처리 보드는 카메라와 각각 연결 되어 있는 형태이다. 여기서 사용된 영상처리 보드는 라떼판다로 RS-232 통신으로 제작된 제어 모듈과 연결되어 있는 형태이다. 라떼판다의 동작 환경은 Windows 10을 사용하고 있으며, 방제기의 전원을 동작 시키면 제어 모듈, 영상처리 보드, 카메라, 과수 인식 프로그램 등이 켜지는 구조이다. 과수 인식된 결과들 좌측 상단, 좌측 하단, 우측 상단, 우측 하단으로 4분할하여 나무가 있는지 과수 인식 결과 정보들을 전송중이며, 이 전송된 정보들을 기반으로 송풍기에서 농약 살포를 제어한다. RGB-D 카메라는 양 옆 전방 부분에 장착이 되어있으며, 송풍기와는 거리가 있으므로 인식 되자마자 분사를 제어하는 것이 아니라 방제기의 속도를 측정해서 딜레이로 송풍기가 나무에 도달하였을 시에 분사가 되는 형태이다.

전방 카메라 모듈은 원격제어기에 무선 영상을 전송하는 모듈로 디스플레이 액정에서 확인 가능하다. 방제기를 주행 시에 주행로의 장애물이나 상태의 정보들을 확인하기 위해서 용량이 큰 영상을 송출하고 고주파의 신호생성이 가능하면서, 동시에 주변 신호의 간섭을 최소화할 수 있으면서도 50 M 이상의 수신거리를 확보하기 위해서 5.8 GHz, 2 W출력을 가지는 송출기로 적용하였다. 최종적으로 통합제어기의 입력과 출력은 하기의 [Table 1] 과 같이 구성을 하였다.

[Table 1] The input and output configuration of integrated controller<sup>[16]</sup>

Function	Number of channels	Detail contents
Power(DC)	12V, 5V, 3.3V	Power supply for camera module and external module
Digital input	12 channel	Control panel switch input
Digital output	13 channel	Various relay output, valve and clutch control
Solenoid valve	4 channel	Pesticide spray control
Drive and Directional valve	4 channel	Speed sprayer driving and direction control
Electro-magnetic clutch	1 channel	Spray pressure control
Communication	3 channel	Remote controller and image processing module communication
DC motor control	1 channel	Linear motor control

### 2.1.2 과수인식 알고리즘 개발

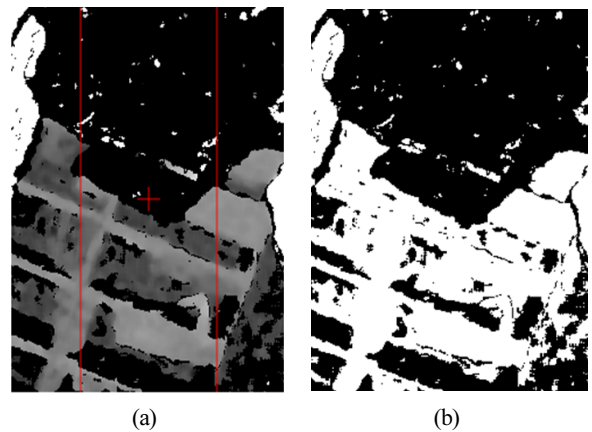
기존 RGB-D 카메라에서 취득되는 Depth 거리 정보는 카메라 자체에 내장된 IR Laser Projector의 정보를 가공하여 검출

된 거리 정보를 사용한다. 기본적으로 제공하는 SDK의 알고리즘에는 IR이 발사되고 물체들에 반사되어 들어오는 IR의 세기 정보가 활용되어 밝기 값으로 환산되어서 나타나는 형태이며, 식 (1)과 같은 형태로 표현이 된다. D는 최종 측정거리를 나타내며, c는 빛의 속도, t<sub>0</sub>은 IR이 반사되어 돌아오는 펄스 길이이며, S1과 S2는 아날로그 타이머에서 사용되는 메모리 요소를 의미한다. S1과 S2는 물체에 반사되어 돌아오는 펄스의 길이를 저장하고, S1에서 동일한 신호 폭만큼 지연을 시키는 형태가 S2이다. 둘의 비율을 반영하여 최종 거리를 측정한다.

$$D = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t_0 \cdot \frac{S2}{S1 + S2} \quad (1)$$

SDK에서 제공되는 거리가 큰 차이가 없음에도 불구하고 물체들을 구분하기 위해 시각화 처리하였으며 [Fig. 4]의 (a)와 같이 표현된다. 하지만, 이 정보만 사용하면 실외에서 취득되는 영상에서 카메라 내부 파라미터인 Gain과 Exposure 값의 시각화를 통해서 변환 정보들을 그대로 사용하기 어려우며 실제 방제기는 실시간으로 이동하는 중이므로 과수원 주행 중에서는 배경 및 나무들의 조건들이 계속 변하게 되기 때문에 영상의 시각화가 계속 갱신이 되는 문제가 발생한다. 식 (2)를 적용해서 실제 거리 값을 영상화 시켜준다. 영상화를 시키려면 실제 0~255 범위로 표시해야만 하며, 식 (2)의 x는 실제 영상에 표현되는 밝기 값이다. D<sub>real</sub>은 실제 거리 값이며, D<sub>max</sub> 최대 거리 값과 D<sub>min</sub> 최소 거리 값을 설정해서 영상 정규화를 적용하며, 그 결과는 [Fig. 4]의 (b)와 같이 나타난다. 여기서 D<sub>min</sub> 최소 거리는 센서 스펙의 범위를 설정 하였고, D<sub>max</sub> 최대 거리는 과수원에서 과수 열 간의 거리를 고려해서 6 m로 설정하였다.

$$x = \frac{(D_{real} - D_{min}) \times 255}{(D_{max} - D_{min})} \quad (2)$$



[Fig. 4] The result of normalization<sup>[16]</sup>

적용 결과 [Fig. 4]의 (a)와 같이 가까운데도 시각화 표현되던 실내 환경 영상들이 [Fig. 4]의 (b)와 같이 거의 동일한 거리로 영상화 되어 나오는 것이 확인 가능하다.

**2.1.3 원격제어기 및 원격 프로토콜 정의**

본 실험에서 사용한 원격제어기에서 통신 모듈을 원격지에서 원활한 데이터의 송수신을 위하여, 영상모듈(5.8 GHz), 휴대폰 및 무선데이터(2.4 GHz)를 피하기 위해서 400 MHz 대역의 신호를 사용하였다. 400 MHz의 대역은 100 m 이상의 원격제어기용으로 적합하며 교체와 장착이 용이하도록 핀헤더 연결용 커넥터로 선정하였다. 원격제어기는 각 구동에 필요한 기능을 도출하여 전/후진, 분무, 자동, 송풍, 1분사, 2분사, 좌우, 비상정지 그리고 LCD화면으로 구성을 하였고 [Fig. 5]와 같다. 전/후진 및 좌/우 회전 구동은 조그 버튼을 통하여 기능사용 시 점침의 신호가 인가되며, 사용하지 않을 때는 자동으로 중립 위치로 돌아가도록 상시 정지 상태 유지 기능을 만들어서 조작 안전성을 향상시켰다. 원격제어기의 전원 구성은 4시간 이상의 작업시간 구동이 가능하기 위해서 7.2V Li-Po 배터리를 채택하여 원격제어기에 전원을 공급하고, 공급된 전원은 5V 및 3.3V 전원으로 변경하여 제어기 내의 전자부속의 구동에 필요한 전원을 소자에 공급이 가능하도록 설계 하였다. 각 기능용 신호는 버튼을 통하여 전달이 되기 때문에 각 버튼을 연결이 가능하도록 전용 단자를 설치하여 연결과 수리 및 수정이 가능한 장점을 가지고 있다. 제작된 원격제어기 전체 크기는 330(가로)×175(세로)×60(높이)(mm)로 제작하였으며, 태양 빛으로 인한 시안성과 먼지나 흙 등으로 인한 오염을 방지하기 위해서 케이스에 썸 캡을 장착하였다.



[Fig. 5] The portable remote controller<sup>[16]</sup>

[Fig. 3]에서 언급한 바와 같이, 통합제어기와 원격제어기의 프로토콜과 과수인식 시스템과 통합제어기의 프로토콜을 정의하였다. 통합제어기와 원격제어기 프로토콜은 [Table 2]와 같이 구성하였다. 신호체계는 양방향으로 원격제어기에서 방제기로 0~11번째 데이터를 송수신 받는 형태이다. 무선 신호

의 시작과 끝을 알리기 위한 데이터와 스프레이어 노즐, 구동 제어, 분사 제어 모드(수동모드, 자동모드) 등으로 구성되며 기능별로 정리하였다. 과수인식 시스템과 통합제어기의 프로토콜은 영상처리 결과를 분사 신호로 축소해서 변환이 용이하게 정의했다. [Table 3]을 참조하면, 데이터 3~12에서 4분할로 단순하게 표현하였으며, 각 과수인식 기능에 구현된 내용들을 프로토콜에 정형화 시켜서 반영하였다.

[Table 2] The communications protocol between integrated controller and the portable remote controller<sup>[16]</sup>

Data	Function
0	Start Point
1	Defined command system number Remote controller(0: Off 1:On, 2:Emergency)
2	The direction of the speed sprayer (Forward/Backward, Left/Right)
3	Speed information (0 : Maintenance, 1: Speed Up, 2:Speed Down)
4	Spray status
5	Manual mode : 0 /Auto mode (Variable control) : 1
6	2 split mode / 4 split mode
7	Spray Off
8	Dummy
9	Anti-confusion data region
10	Cyclic redundancy check (CRC)
11	End Point

[Table 3] The communications protocol between integrated controller and image processing device<sup>[16]</sup>

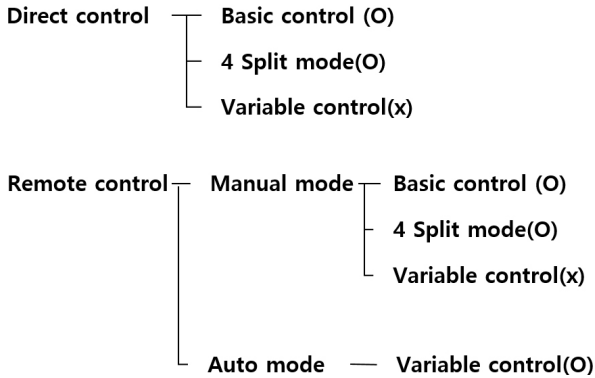
Data	Function
0	Start Point
1	Image processing data transmission and request command
2	Image processing part (0 : left), (1 : right)
3~12	Tree recognition region (0~100 step, 4 split)
13	Correction data between camera and spray nozzle
14	Dummy
15	Cyclic redundancy check (CRC)
16	End Point

**3. 실험 결과**

과수원 지능형 방제기 평가는 과수원에서 과수 인식 실험, 감수지 부착 및 살포, 농약 살포량 측정, 작업자 노출량 측정으로 총 4가지 실험을 진행하였고, [Fig. 6]과 같이 조정 모드를



구분하여서 테스트 하였다. 직접 조정은 작업자가 스피드 스프레이어기를 직접 운전하는 것이고, 원격 조정은 원격제어기를 사용하여 멀리 떨어진 상태로 운전한다. 분사 모드는 일반분사, 4분할 분사, 변량제어로 총 3개로 분류하였다. 일반분사모드는 기존의 방제기와 동일하게 농약 살포를 계속하는 것을 의미한다. 본 논문에서 개발한 방제기는 4분할로 솔레노이드 밸브를 on/off하여 상하 및 좌우 부분의 각각에 대한 농약의 배출을 제어 가능하며 이를 4분할 분사 모드라고 한다. 이는 과수의 특성상 4m 이상의 높은 나무와 그 이하의 나무를 구별하기 위해서 만든 기능이다. 변량제어는 사과나무의 나뭇잎과 형상을 인식하여 4분할로 솔레노이드 밸브를 on/of하여 농약 분사량을 자동으로 제어하는 모드로 과수 인식을 했을 때와 일반분사 모드와 변량제어 모드와 성능 평가를 진행하였다.



[Fig. 6] The operating mode of the speed sprayer. ‘○’ operable case and ‘×’ is an inoperable case<sup>[16]</sup>

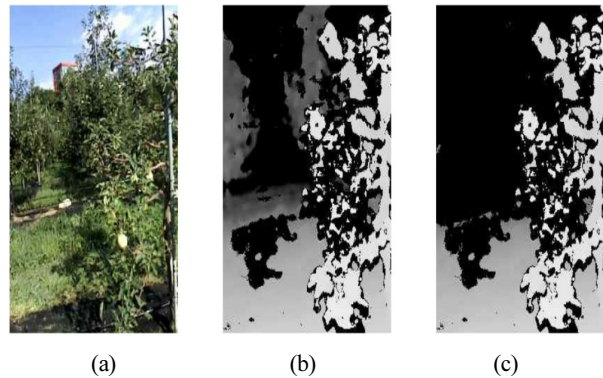
### 3.1 과수 인식 실험 결과

본 논문에서는 과수 인식 알고리즘을 적용해서 과수원에서 실시간으로 테스트를 적용해보았다. 과수원에서 과수가 여러 열로 배치되어 있고, 일반적으로 과수원의 과수 열 간의 거리는 3~6m 정도이다. 본 실험의 목적은 스피드 스프레이어기가 방제를 할 시에 앞 열 과수만 인식하고, 뒤 열의 과수는 인식을 안 하는 것을 목적으로 실험 하였다. 총 1,234장을 과수원에서 촬영하였으며 장소와 시간을 달리해서 오전에 촬영한 영상이 DB1과 DB3이고 DB2와 DB4는 오후에 촬영한 영상이다. DB의 Groundtruth를 지정한 기준은 앞 열 과수를 설정하고 과수원 특성상 뒤 열의 과수들은 배경으로 분류하였다. [Fig. 7]을 참조하면 (a)는 RGB 원본 영상이고, (b)는 Depth 원본 영상이고 (c)는 앞 열 과수만 인식한 결과이다.

[Table 4] The experiment result of tree recognition<sup>[16]</sup>

	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)
DB1	82.3	85.3	84
DB2	90.2	92.6	91
DB3	97.72	100	96.15
DB4	100	100	100

[Table 4]를 참조하면, Accuracy는 최종적으로 과수 형상을 검출한 결과이며 Groundtruth로 지정한 나무를 검출 했는지 오검출 했는지의 결과를 의미한다. Precision은 실제 과수 인식 알고리즘을 적용된 결과들 중에서 실제 Groundtruth로 지정한 나무를 얼마나 제대로 검출한 것의 비율을 나타낸다. Recall은 실제 Groundtruth로 지정한 나무를 얼마나 많이 검출 했는지에 대한 비율을 나타낸다. 일반적으로 Precision과 Recall은 trade-off 관계로 모두 균등하게 높게 나타나야 잘 검출된 것을 의미한다. 오후 DB에 비해 오전 DB에서 성능이 떨어지는 것을 나타내며 태양광의 영향이 큰 것을 확인 하였다. DB 분석 결과 DB1과 DB2는 구름 없는 날 DB3과 DB4는 구름이 많이 낀 날로 영상을 촬영하였고, 태양광에 영향이 적은 순서대로 성능이 나타났다. 농약 살포에는 문제없는 성능을 나타냈다.

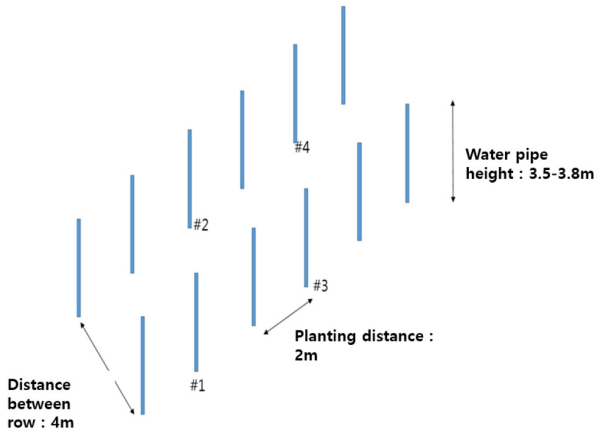


[Fig. 7] The experiment result of tree recognition<sup>[16]</sup>

### 3.2 사과나무에 감수지 부착 및 살포 결과

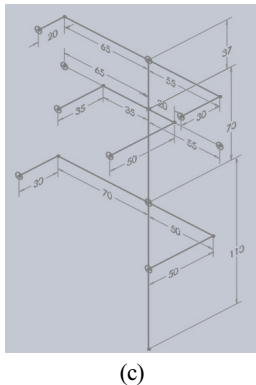
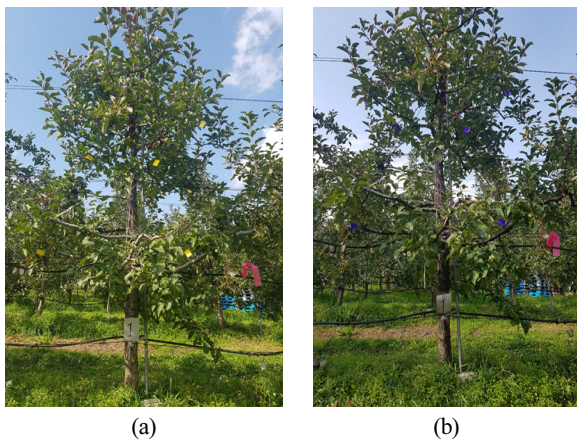
지능형 방제기 에서 변량제어라는 모드를 개발하여 농약의 사용량을 줄였다면 줄어든 대비만큼 실제 일반분사모드와 같이 농약이 나무에 잘 부착이 되는지 확인을 할 필요성이 있었다. 본 실험은 과수원에 배치된 사과나무에 감수지를 부착하여 지능형 방제기를 원격조정 기준으로 일반분사모드와 변량제어모드일 때를 방제가 잘 되는지를 비교하였다. 1개의 감수지는 반으로 접어서 편으로 사과 나뭇잎에 부착하였다. [Fig. 8]을 보면, 총 4개의 사과나무(#1,#2,#3,#4)에 총 11장의

감수 지를 부착하였고, 사과나무 형상을 1~3단으로 구성을 해서 1단에는 감수지 3장, 2단에는 감수지 5장, 3단에는 감수지 3장을 부착하였다.



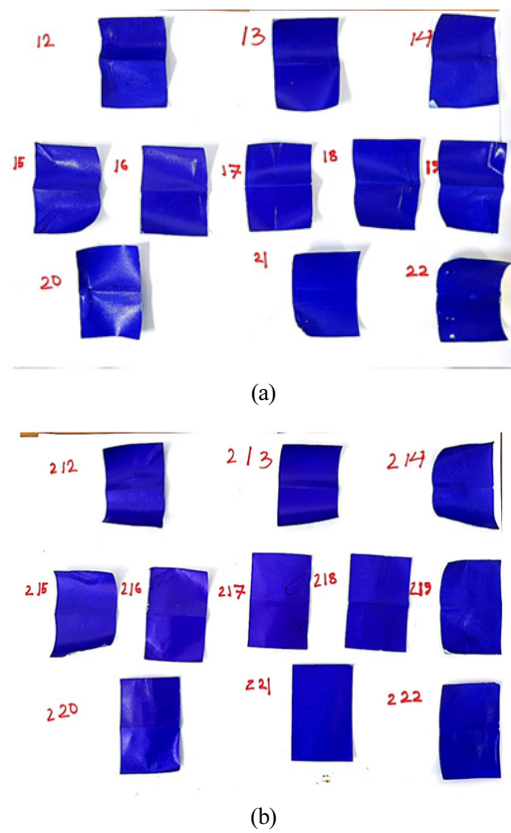
[Fig. 8] An arrangement of apple trees in an orchard<sup>[16]</sup>

[Fig. 9]의 (b)가 감수지 부착의 예이다. 감수지는 기본은 노란색이며, 농약이 묻으면 파란색으로 변하는 특성이 있다. [Fig. 9]의 (a)가 농약을 치기 전 사과나무에 감수지를 부착한 사진이고, [Fig. 9]의 (c)가 농약을 친 뒤에 감수지가 변한 결과이다.



[Fig. 9] The location and photos of the water sensitive papers attached to the apple tree of No. 2<sup>[16]</sup>. (a) before pesticide spraying (b) after pesticide spraying (c) locations of water sensitive papers

최종적으로, 감수지에 묻은 농약이 마를 때까지 기다린 후 나무에서 떼어냈으며, [Fig.10]을 참조하면 원격 조정의 일반 분사모드와 변량제어 모드 확인결과 모두 파란색으로 변하였고, 감수지 농약 피복율이 100%로 나타났다. 방제기를 일반 분사모드, 변량제어모드에서 농약을 분사하였을 때 농약이 사과나무 나뭇잎의 앞면과 뒷면의 면적에 잘 부착되었음을 의미한다. 방제기를 원격조정에서 변량제어모드로 농약을 분사하더라도 일반분사모드의 경우와 같은 결과가 나타났다. 결론적으로 동일하게 방제 효과를 나타내면서 농약 소비량을 줄이는 것이 가능하다는 것을 의미한다.



[Fig. 10] The color of water sensitive paper attached to the apple after pesticide spraying<sup>[16]</sup> (a) basic control (b) variable control

### 3.3 농약 소비량 측정 결과

본 논문에서는 위에서 언급한 일반분사모드와 변량제어 모드로 농약소비량을 측정하였다. 실험 내용은 과수원에서 100m를 이동시에 모드 2개로 각각 3번 방제를 하였고, 약액탱크에 있는 남아있는 물을 계량하여 소비량을 측정하였다. 농약 면적당 소비량은 농약소비량 / (열 간거리 × 이동거리)으로 계산해서 측정하였다. 스피드 스프레이어에 있는 펌프를 사용하여 약액탱크에 있는 물을 매스실린더로 계량하였다. [Table 5]

를 참조하면, 변량제어모드에서 농약 소비량은 일반분사모드에 비해 57% 농약이 절약이 가능한 것으로 나타내며, 2배 이상의 면적에 농약 분사가 가능했다. 농약 소비량을 측정할 시에는 [Fig. 11]과 같이 겨울에 나뭇잎이 없는 상태였으며, 실제 사과나무 방제를 할 경우 계절별로 1년에 12~17회 정도를 하는 편이다. 전체적으로 방제에 사용되는 농약은 나뭇잎의 부착 정도에 따라 농약 소비량은 달라지긴 하지만 절약이 가능한 것을 확인하였다.

[Table 5] The pesticide consumption results<sup>[16]</sup>

Mode of operation	Pesticide Consumption (L)	Consumption of Per Area (L/3.3 m <sup>2</sup> )
Basic control	117.07±1.64	1.207
Variable control	50.54±3.37	0.521



[Fig. 11] An arrangement of apple tree in an orchard<sup>[16]</sup>

### 3.4 작업자 노출량 측정 결과

[Fig. 6]에서 언급한 바와 같이 직접조정(일반분사), 원격 조정(자동모드/변량제어)을 통해 500 L 모두 소모될 때까지 농약 살포는 각각 1번씩 수행하여 작업자 노출량 측정을 수행하였다. 이 실험의 경우를 통한 농기계사고에 대한 안전성 확보 및 농약 중독 문제를 해결하는데 초점을 두었다. 작업자는 내복과 작업복을 순차적으로 착용하였고, 작업자는 [Table 6]에 있는 8개 부분 별로 절단 및 구분하여 지퍼 백에 넣었다. 냉동고에서 구분된 장비들을 보관 한 뒤에 한울생명과학(주)에서 320개 항목에 대한 잔류 농약 검사를 실시하였다. 실험에 사용한 농약은 빅카드이며, 클로아니딘(Clothianidin) 액상 수화체 성분으로 구성되어있다. [Table 6]을 참조하면, 대부분 클로티아니딘이 검출되었고 그 외에 다른 물질(Dicloran, Diphenylamine, Carbendazin)이 검출되었다. 작업자가 과수원을 이동하면서 접촉한 것으로 생각이 되며, 직접조정이 원격 조정보다 약 15 배 검출된 것으로 확인 되었다.

[Table 6] The result of exposure dose for a sprayer<sup>[16]</sup>  
(unit: mg/kg)

Number	Part	Direct control (Basic control)	Remote control (Auto mode/variable control)
1	Hat, mask and goggles	Clothianidin:0.538	Clothianidin:0.027 Dicloran:0.454
2	Chest	Clothianidin:0.012	Dicloran:0.056 Diphenylamine:0.15
3	Back	Clothianidin:0.003	None
4	Right arm and glove	Clothianidin:0.006	None
5	Left arm and glove	Clothianidin:0.035 Carbendazin:0.005	None
6	Hip	Clothianidin:0.004	Clothianidin:0.024
7	Right leg	None	None
8	Left leg	Clothianidin:0.18	None
	sum	Clothianidin:0.778	Clothianidin:0.051

## 4. 결 론

본 연구에서는 과도한 농약 살포로 인한 환경오염 및 농기계 사고들을 줄이고자 지능형 방제기 시스템을 제안하였다. 과수원에서 활용하기 위해서 과수 인식 실험, 감수지 부착 및 살포, 농약 살포량 측정, 작업자 노출량 측정의 실험을 테스트 하였다. 성능 평가 결과 기존의 방제기와 동일한 방제효과에 농약 사용량을 줄이는 효과를 얻을 수 있었다. 향후 연구로는 자동화 및 정밀농업에 초점을 두어 개발한 방제기에 계절 별 과수나무들에 대한 빅 데이터화, 농약 사용량, 과수원 자율주행, 병충해 및 생육 모니터링 등을 이용한 자동화 시스템 등을 연구하고자 한다.

## References

- [1] J. D. Luck, S. K. Pitla, S. A. Shearer, T. G. Mueller, C. R. Dillon, J. P. Fulton, and S. F. Higgins, "Potential for pesticide and nutrient savings via map-based automatic boom section control of spray nozzles," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 70, no. 1, pp. 19-25, Jan, 2010, DOI: 10.1016/j.compag.2009.08.003.
- [2] National Institute of Agricultural Sciences, [Online], [http://farmer.rda.go.kr/portal/menu1/psuc/SafeManageManualLst.do?menuId=PS03428&m\\_id=9000\\_46&lcl=263006&mlsfc=263025&scl=75080&totalSearchYn=Y](http://farmer.rda.go.kr/portal/menu1/psuc/SafeManageManualLst.do?menuId=PS03428&m_id=9000_46&lcl=263006&mlsfc=263025&scl=75080&totalSearchYn=Y), Accessed: February 11, 2020.
- [3] B.-R. Min, J.-H. Choi, K.-S. Lee, W. Kim, and D.-W. Lee, "Performance test and image processing analysis of a small and medium sized sprayer for pests control for fruit trees and roadside trees," *Journal of Bio-Environment Control*, vol. 29,

- no. 2, pp. 101-108, Jun, 2011, [Online], <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201125247229359.page>.
- [4] T. A. Ebert, R. C. Derksen, R. A. Downer, and C. R. Krause, "Comparing greenhouse sprayers: The dose-transfer process," *Pest Management Science*, vol. 60, no. 5, pp. 507-513, Dec, 2003, DOI: 10.1002/ps.779.
- [5] P. J. Walklate, J. V. Cross, and G. Pergher, "Support system for efficient dosage of orchard and vineyard spraying products," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 75, no. 2, pp. 355-362, Feb, 2011, DOI: 10.1016/j.compag.2010.12.015.
- [6] M. Vieri, R. Lisci, M. Rimediotti, and D. Sarri, "The innovative RHEA airblast sprayer for tree crop treatment," *Proc. of RHEA Annual Conference 2012*, pp. 93-98, Sep, 2012, [Online], <https://flore.unifi.it/retrieve/handle/2158/814278/26122/319%20-%20rhea%20pisa%20vieri.pdf>.
- [7] R. Hołownicki, G. Doruchowski, W. Świechowski, A. Godyń, and P. J. Konopacki, "Variable air assistance system for orchard sprayers; concept design and preliminary testing," *Journal of Biosystems Engineering*, vol. 163, pp. 134-149, Nov, 2017, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.004.
- [8] O. H. Björnsson, J. Maargaard, C. I. Terp, and S. L. Wiggers, "Dynamic analysis of the intelligent sprayer boom," *11th International Conference on Vibration Problems*, Lisbon, Portugal, pp. 9-12, 2013, [Online], [http://www2.dec.fct.unl.pt/~zuzana/icovp/components/com\\_breezingforms/uploads/391\\_paper0.pdf](http://www2.dec.fct.unl.pt/~zuzana/icovp/components/com_breezingforms/uploads/391_paper0.pdf).
- [9] D. H. Lee, K. S. Lee, Y. J. Cho, J. Y. Lee, and S.-O. Chung, "Development of Autonomous Sprayer Considering Tracking Performance on Geometrical Complexity of Ground in Greenhouse," *Journal of Biosystems Engineering*, vol. 37, no. 5, pp. 287-295, Oct, 2012, DOI: 10.5307/jbe.2012.37.5.287.
- [10] M. Pérez-Ruiz, P. Gonzalez-de-Santos, A. Ribeiro, C. Fernandez-Quintanilla, A. Peruzzi, M. Vieri, S. Tomic, and J. Agüera, "Highlights and preliminary results for autonomous crop protection," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 110, pp. 150-161, Jan, 2015, DOI: 10.1016/j.compag.2014.11.010.
- [11] B. K. Lee, B. R. Min, M. Y. Lee, Y. I. Hwa, D. S. Choi, J. T. Hong, and D. W. Lee, "System Design for Developing the Remote Controlled Sprayer of Pear Trees," *Protected Horticulture and Plant Factory*, vol.22, no.4, pp. 303-308, Dec, 2013, [Online], <http://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE02345532>.
- [12] J. H. Hwa, B. K. Lee, M. Y. Lee, D. S. Choi, J. T. Hong, and D. W. Lee, "Development of an Automatic Sprayer Arm Control System for Unmanned Pest Control of Pear Trees," *Protected Horticulture and Plant Factory*, vol. 23, no. 1, pp. 26-30, Mar, 2014, [Online], <http://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE02383058>.
- [13] Y. Chen, "Development of an Intelligent Sprayer to Optimize Pesticide Applications in Nurseries and Orchards," Ph.D. dissertation, Ohio State University, Columbus, OH, USA, 2010, [Online], [https://etd.ohiolink.edu/pg\\_10?::NO:10:P10\\_ACCESSION\\_NUM:osu1290526778](https://etd.ohiolink.edu/pg_10?::NO:10:P10_ACCESSION_NUM:osu1290526778).
- [14] Q. Meng, R. Qiu, J. He, M. Zhang, X. Ma, and G. Liu, "Development of agricultural implement system based on machine vision and fuzzy control," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 112, pp. 128-138, Mar, 2015, DOI: 10.1016/j.compag.2014.11.006.
- [15] J. Möller, "Computer vision - A versatile technology in automation of agriculture machinery," *21st Annual Meeting EIMA International*, Bologna, Italia, pp. 1-17, 2010, [Online], [https://www.clubofbologna.org/ew/ew\\_proceedings/KNR\\_Moeller.pdf](https://www.clubofbologna.org/ew/ew_proceedings/KNR_Moeller.pdf).
- [16] S. J. Park, J. C. Lee, D. H. Kim, S. W. Kwon, W. I. Kim, K. Y. Lee, H. K. Cho, H. S. Kim, H. D. Kwon, P. Ahmed, S. Santos, K. H. Seo, S. Y. Woo, and H. G. Hong, "Final report of development of speed sprayer in orchard for spraying pesticide reduction," Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong-si, Republic of Korea, Dec, 2018, [Online], [http://policy.nf.go.kr/search/searchDetail.do?rec\\_key=UHI\\_00000127534185](http://policy.nf.go.kr/search/searchDetail.do?rec_key=UHI_00000127534185).
- [17] D. Y. Bae, J. C. Lee, K. Y. Lee, S. W. Kwon, and D. H. Kim, "The Spraying Characteristic According to a Sharpe of DISE/WHIITL of Nozzle for a Speed Sprayer," *J. Comput. Fluids Eng.*, vol. 23, no. 2, pp. 61-65, 2018, DOI: 10.6112/kscfe.2018.23.2.061.





**홍형길**

2012 동국대학교 전자공학과(학사)  
 2014 동국대학교 전자전기공학과(석사)  
 2018 동국대학교 전자전기공학과(박사)  
 2017~현재 한국로봇융합연구원 선임연구원

관심분야: 딥러닝, 농업용 로봇, 영상처리, 자율주행, 자동 제어



**서갑호**

1999 고려대학교 전기공학과(학사)  
 2001 KAIST 전자전산학과(석사)  
 2009 KAIST 전자전산학과(박사)  
 2009~현재 한국로봇융합연구원 책임 연구원

관심분야: 지능제어, 임베디드 시스템, 농업용 로봇, 영상처리



**우성용**

2009 경북대학교 기계자동차공학과(학사)  
 2014 DCT 기술 연구소 주임연구원  
 2016 DGIST 로봇공학과(석사)  
 2017 UNIST 기계항공원자력 연구원  
 2017~현재 한국로봇융합연구원 주임연구원

관심분야: 시스템 로봇 제어, 자동 제어, 농업용 로봇



**권순욱**

2000 단국대학교 산업공학과(학사)  
 2011 (주)우진시스템 선행기술팀  
 2017 승진상사 기술팀장  
 2017~현재 승진프로슈머 기술팀장

관심분야: 농업용 기계, 방제기



**송수환**

2014 안동대학교 기계설계공학과(학사)  
 2016 안동대학교 기계설계공학과(석사)  
 2018 한국섬유기계융합연구원  
 2018~현재 한국로봇융합연구원 주임연구원

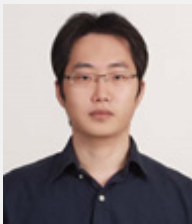
관심분야: 기구설계, 농업용 로봇, 계측 제어



**이기용**

1986 영남대학교 기계공학과(학사)  
 1992 University of Illinois at Chicago  
 기계공학과(석사)  
 1995 University of Illinois at Chicago  
 기계공학과(박사)  
 1997~현재 국립 안동대학교 교수

관심분야: Pollutant reduction, Energy, Combustion, Multiphase chemically reacting flows



**오장석**

2004 고려대학교 전자및정보공학과(학사)  
 2006 고려대학교 전자정보공학과(석사)  
 2016 고려대학교 전자정보공학과(박사)  
 2018 한국과학기술연구원  
 2018~현재 한국로봇융합연구원 선임연구원

관심분야: 3차원 복원, 딥러닝, 농업용 로봇, 영상처리, 자율주행



**이장창**

1989 중앙대학교 기계공학과(학사)  
 1991 중앙대학교 기계공학과(석사)  
 2000 R.P.I. 기계공학과(박사)  
 2000~현재 국립 안동대학교 교수

관심분야: Two-phase flows, Aerodynamics, Condensation and Cavitation



**윤해룡**

2010 안동대학교 기계공학(학사)  
 2012 안동대학교 기계시스템공학(석사)  
 2017 안동대학교 기계시스템공학(박사)  
 2019 경북테크노파크 전임연구원  
 2019~현재 한국로봇융합연구원 선임 연구원

관심분야: 농업용 로봇, 기구설계, 촉각 센서



**조희근**

1996 영남대학교 기계공학과(학사)  
 1998 경북대학교 기계공학과(석사)  
 2006 University of Wisconsin-Madison  
 기계공학과(박사)  
 2011 KAIST 인공위성연구소 선임연구원  
 2011~현재 국립 안동대학교 부교수

관심분야: 복합재료, 최적설계, FEM, CAE