

## 스마트 온실 방제 로봇의 요구조건을 고려한 평가 방법 연구

김경철<sup>1</sup>, 유범상<sup>2</sup>, 이시영<sup>1</sup>, 김국환<sup>1\*</sup>, 이명훈<sup>1</sup>, 홍영기<sup>1</sup>, 김현종<sup>1</sup>, 유병기<sup>1</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 스마트팜개발과

<sup>2</sup>국립전북대학교 기계시스템공학부

### The Study on Evaluation Method of Pest Control Robot Requirements for Smart Greenhouse

Kyoung-Chul Kim<sup>1</sup>, Beom-Sahng Ryuh<sup>2</sup>, Siyoung Lee<sup>1</sup>, Gookhwan Kim<sup>1\*</sup>,  
Meonghun Lee<sup>1</sup>, Young-ki Hong<sup>1</sup>, Hyunjong Kim<sup>1</sup>, Byeong-Kee Yu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Smart Farm Development, National Academy of Agricultural Science, RDA

<sup>2</sup>Department of Mechanical System Engineering, Jeonbuk National University

**요약** 최근, 스마트 농업에 대한 관심이 증가함에 따라 농업 자동화 및 로봇에 대한 연구개발이 증가하고 있다. 스마트 온실에서 사용되는 로봇은 작업 특성과 생육 환경이 고려되어야 한다. 이를 위해 스마트 온실의 환경 분석을 통해 개발되어진 방제 로봇들을 대상으로 하였다. 본 논문은 스마트 온실에 적용 가능한 방제 로봇의 요구조건을 고려한 평가방법에 대한 연구를 수행하였다. 로봇의 요구조건을 통하여 성능 및 품질 평가 기준을 수립하고 시험을 실시하였다. 로봇관련 표준을 참고하여 방제 로봇의 요구 기능과 목표를 도출하였다. 로봇의 성능을 위해 주행과 작업 능력 시험을 실시하였다. 주행시험은 로봇의 주행성능에 대한 시험을 실시하였고 작업능력은 방제성능에 대한 시험을 실시하였다. 로봇의 품질을 위해 내구성 시험을 실시하였다. 시험결과를 통하여 스마트 온실 로봇에게 요구되는 지표들을 도출할 수 있었다. 이를 통해 스마트 온실에 적용하기 위한 다양한 로봇들의 평가 기준이 될 것으로 판단된다.

**Abstract** Recently, research and development on agricultural robots have been on the rise as the interest in smart farming has increased. Robots used in smart greenhouses should be taken into account with the working characteristics and growing environment. This study examined cleaning robots developed through the environmental analysis of smart greenhouses. This study assessed the evaluation method considering the requirements of the pest control robot applicable to the smart greenhouse. The performance and quality assessment criteria were established to conduct tests through the requirements of robots. The required functions and goals of the pest control robot were derived by referring to the robot-related standards. A driving and working ability test was conducted to assess the performance of the robot. The driving test was conducted on the driving performance of the robot and the work capability was tested on the pest control performance. In addition, a durability test was conducted to assess the quality of the robot. The required factors for smart greenhouse robots were derived from the test results. The study results are expected be a standard for an evaluation of a variety of robots for applications to smart greenhouses.

**Keywords** : Smart Agriculture, Agricultural Robot, Smart Greenhouse, Performance Evaluation, Quality Evaluation

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(PJ013871012019)의 지원에 의해 이루어진 것임

\*Corresponding Author : Gookwan Kim(National Academy of Agricultural Science, RDA)

email: meceng@korea.kr

Received August 1, 2019

Accepted October 4, 2019

Revised October 1, 2019

Published October 30, 2019

## 1. 서론

농업은 인류의 식량을 생산하는 기초 산업으로 생존을 위해서는 꼭 필요한 산업이다. 그러나 기후 변화에 따른 재배 환경의 변화와 농촌 고령화에 따른 생산 인력 감소는 농업 생산 환경에 대한 변화를 요구하고 있다. 이를 위해 농업용 스마트 온실을 적용하는 사례가 증가하고 있다. 또한 다양한 농작업에 로봇의 도입이 검토되고 있으며, 농작업의 로봇화를 위한 연구들이 진행되고 있다 [1].

다양한 농작업 중에서 농약 방제는 심한 독성과 노동력 부족으로 인한 기피 작업으로 구분되고 있다. [2] 이러한 이유로 국내 스마트 온실에서 방제를 위해 다양한 형태의 로봇들이 개발되어졌으며[3~6], 이러한 로봇들은 스마트 온실에서 사람을 대신하여 작업을 수행할 수 있기 때문에 농업 생산 현장에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 스마트 온실에서 방제를 목적으로 하는 로봇의 개발 내용을 살펴보고, 로봇의 요구조건을 고려한 평가방법에 대한 연구를 통하여 농업용 로봇의 실용성을 향상시키고자 한다.

## 2. 스마트 온실 방제 로봇

### 2.1 스마트 온실 환경 분석

본 연구에 적용되어지는 로봇들은 벤토형 온실에서 방제를 위해 개발되어졌으며, 주 대상 작물은 장미이다. 시설 온실의 환경은 Fig. 1과 같이 폭 2.5m 정도의 콘크리트노면이 온실 가운데 있으며, 이를 중심으로 좌, 우로 작물이 위치하고 있다. 작물과 작물 사이에는 난방용 온수 파이프가 설치되어 있다.



Fig. 1. Agricultural Robot applied Greenhouse (Rose)

작물이 생육하는 베드의 위치 및 크기를 고려하여 로봇의 외형이 개발되었다. 또한 기존에 구축되어 있는 시설에 대한 변경 없이 로봇이 적용되어야하기 때문에 Fig. 2와 같이 로봇의 이동 경로가 설정 되었다.

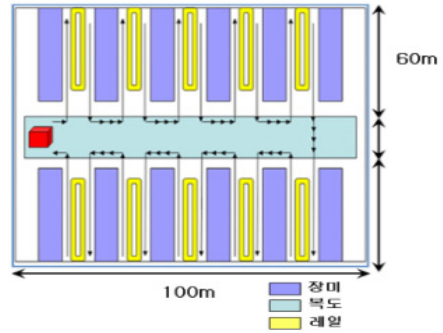


Fig. 2. Dimension of the Green House

콘크리트 노면에서는 로봇의 위치 인식 및 자율주행이 가능해야 하며, 작물 사이의 온수파이프의 허용하중을 고려하여 방제 로봇의 무게를 제한하고, 파이프와 일반 노면을 동시에 주행 가능한 이중바퀴 구조를 적용해야 한다. 이러한 환경요구조건을 고려하여 로봇이 개발되었다.

### 2.2 스마트 온실 방제 로봇의 종류 및 사양

본 연구에 활용된 로봇은 스마트 온실에 적용 가능한 로봇을 대상으로 하였으며, 농약 공급방식, 구동 기구 그리고 운영 방법 등 주요 사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of Pest Control Robot

Spec.	Type1	Type2	Type3	Type4
Pesticide Supply	Loading Tank	Reel hose (Fixed Tank)		
Weight	1,200 kg	150 kg	250 kg	450 kg
Working time	up to 4 hr			
Max Speed	1 %	2.5 %	2.0 %	1.5 %
Wireless Communication Distance	100 m			150 m
Spray Partical size(VMD)	150 ~ 200 $\mu$ m	120 ~ 150 $\mu$ m	80 ~ 120 $\mu$ m	60 ~ 100 $\mu$ m

Fig. 3(a) 로봇은 2008년도에 개발되어졌으며, 로봇에 농약 탱크가 적재되어 있다. 구동 특징은 4개의 바퀴가 2조 형태로 되어 있어 작물 사이 이동 구동부와 콘크리트 복도의 이동 구동부가 별도로 제작되어 있어 별도의

조향 기구부가 없다. 운영방식은 통제 PC에서 지정한 구간에 대해서 순차적으로 방제작업을 수행하도록 되어 있다.

Fig. 3(b) 로봇은 2009년도에 개발되어졌으며, 자동 릴 호스로 연결되어 고정되어 있는 농약 탱크로부터 농약을 공급 받도록 되어 있다. 로봇은 원격으로 조종되어지며, 개별 라인에 대해서만 자동으로 방제작업을 수행하는 반자동 형태의 로봇이다.[2]

Fig. 3(c) 로봇은 2010년도에 개발되어졌으며, Fig. 3(b)와 유사하게 자동 릴 호스로 연결되어 고정되어 있는 농약 탱크로부터 농약을 공급 받도록 되어 있다. 구동 특징은 4개의 레일 주행 바퀴와 2개의 케터필러로 구성되어 있어, 비포장(토경) 노면에서도 주행이 가능하도록 하였다. 노면의 각기 다른 색의 선을 인식하여 주행하도록 하였으며, 교차 지점에서 로봇이 90° 선회 후 작물 사이로 진입한다[3].

Fig. 3(d) 로봇은 2011년도에 개발되어졌으며, 농약 공급은 자동 릴 호스를 이용하여 고정된 탱크에서 공급 받도록 되어 있다. 이전 연구에서 발생한 문제점인 로봇 선회 후 작물 사이 진입을 위한 정렬 오차 및 자동 릴 호스의 꼬임으로 인한 원활하지 않는 농약공급을 해결하기 위해 2대의 로봇을 구성하였다. 또한 로봇의 원활한 자율주행을 위해서 4개의 바퀴 모두에 독립 조향 기구를 적용하여 이탈궤적을 줄여 협소한 공간에서의 주행 성능을 향상 시켰다[7].



(d) Type 4 Robot

Fig. 3. Pest Control Robots

### 3. 로봇의 요구조건 및 평가 방법

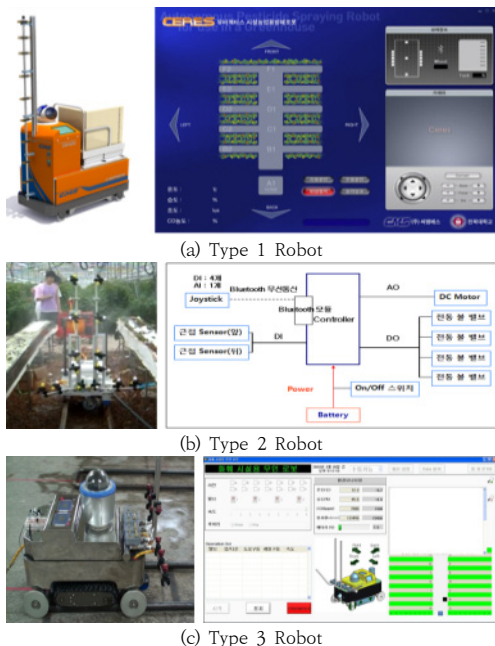
제품이 상품화되기 위해서는 다양한 요구사항을 만족해야 한다. 이러한 다양한 요구사항 중에 보편적이고 다수의 의견을 반영한 사항이 표준이다. 지능형 로봇 관련 국내외 표준 및 평가 체계는 아직 미흡한 단계이다. 국제 표준(ISO)의 경우 TC299(Robotics)에서 산업용 로봇과 서비스 로봇에 대한 안전 관련 요구조건 등에 대한 표준 제정을 진행하고 있으며 [8], TC23(Agricultural Machine)에서 로봇(무인)트랙터 와 무인항공방제기(드론)에 대한 표준 제정을 진행하고 있다. 국내의 경우 현재 지능형 로봇 국가 표준의 경우 산업용 로봇과 서비스 로봇에 대한 용어 및 안전 요구 사항이 주를 이루고 있다. 하지만 농업용 시설 방제 로봇의 경우 로봇이 활용되어지는 환경이 서비스 로봇이 활용되는 환경과 상이하기 때문에 농업용 로봇을 위한 요구사항 및 평가방법이 필요하다.

#### 3.1 요구조건에 따른 기준 수립

제품을 개발하는데 있어 평가는 시험규격을 제정하고, 그에 따라 시험 방법까지 구성할 수 있어야 하며, 의도한 성능을 확인하는 것을 성능규격이라 하고, 시간이 지남에 따라 성능에 변함이 없는지 점검하는 것이 신뢰성 규격이다 [9]. 성능관련 기준은 대다수 사용자의 요구사항과 안전을 위해 꼭 필요한 사항이 구분되어진다. 이를 위해 실제 시설 온실의 작업자들의 의견과 서비스 로봇의 안전 통칙[10]과 지침[11] 표준을 참고하여 수립하였다. Table 2는 로봇의 요구 기능과 목표에 대해 정리한 내용이다.

Table 2. Mission & Requirement Analysis

Requirement	Architecture	Goal of Function
Pest control	Sprayer and nozzle	Particle Size (VMD) below 500 $\mu$ m
		Adhesion Area Over 70 %
Water protection	Electronic parts	IP54
Hazard warning	Robot S/W	Robot Condition Monitoring



(a) Type 1 Robot

(b) Type 2 Robot

(c) Type 3 Robot

로봇의 기능 목표를 기준으로 성능 평가 기준은 설계 시 의도하였던 성능에 대한 구현 여부와 핵심모듈의 요소 성능을 포함하여 Table 3과 같이 일반 성능규격과 특수성능규격으로 구분 하였다[12].

Table 3. List of Performance Test

Usual Performance	Special Performance
Maximum Speed	Mass Flow Rate
Position Accuracy	Particle Size
Working time	Adhesion rate
Communication Distance	Spray range and area

다음은 로봇의 품질을 평가할 수 있는 내구성에 대한 평가를 위한 기준을 수립하였다. 내구성의 경우 부품에 대한 평가 기준은 일부 있으나, 전체 시스템에 대한 평가 기준은 전무한 상태이다. 이에 방제 로봇에서 사용빈도가 높고 고장발생 빈도가 높은 부품을 기준으로 적용하였다. 내구성 평가는 신뢰성한계시험규격과 수명시험규격으로 구분할 수 있다[13]. 일반적인 농업기계의 목표수명과 고장률을 참고하여 완성품 기준 B10을 설정하였으며, 이는 목표 수명 5년에 고장률 2 %를 의미한다. Table 4는 평가 규격에 대한 내용이다.

Table 4. List of Reliability Test

Marginal Test	Quantitative Test
Temperature Durability of Controller	Test of Driving Life for Pest Control robot
Stability & Shock of Controller	

### 3.2 성능 평가시험

성능 시험은 Table 5와 같이 로봇이 운영되어지는 시설 온실의 평균 환경 값을 기준으로 하였다. 그리고 평가 시험 조건은 5.0 m의 직선 구간과 회전반경 1.5 m 곡선 구간을 갖는 경로에 대해서 실시하였다.

Table 5. Performance Test Environment Conditions

Temperature	25±2 ℃
Relative Humidity	70±5 %
Pressure	96±10 kPa

로봇 속도 측정은 가속 구간 1 m 주행 후 5 m 구간을 주행하는데 걸리는 시간을 10회 측정하였다.

위치 정확도는 방제 작업시 목표위치 그리고 목표위치로 같은 방향에서 접근할 때의 도달 위치들의 평균과의 편차로 나타내며, 다음 식과 같이 계산 된다.

$$PA = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2} \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \quad (2)$$

$\bar{x}, \bar{y}$  : 반복 위치에 대한  $x, y$  평균값  
 $x_c, y_c$  : 목표  $x, y$  위치  $x_j, y_j$  :  $j$ 번째  $x, y$  위치

Table 6은 로봇의 속도 측정에 대한 결과 이다. 위치 정밀도 자율주행이 가능한 1, 3, 4번 로봇만 측정하였다. Table 7은 로봇의 위치 정밀도 결과이다.

Table 6. Result of Driving Speed

No	Type 1		Type 2		Type 3		Type 4	
	Time	Velocity	Time	Velocity	Time	Velocity	Time	Velocity
1	4.38s	1.14%	2.00s	2.50%	2.62s	1.91%	3.08s	1.62%
2	4.39s	1.14%	2.03s	2.46%	2.63s	1.90%	3.12s	1.60%
3	4.55s	1.10%	2.05s	2.44%	2.61s	1.91%	3.16s	1.58%
4	5.03s	0.99%	2.08s	2.40%	2.63s	1.90%	3.21s	1.56%
5	4.57s	1.09%	2.06s	2.43%	2.61s	1.92%	3.17s	1.58%
6	4.53s	1.10%	1.96s	2.55%	2.63s	1.90%	3.02s	1.66%
7	4.62s	1.08%	2.07s	2.42%	2.60s	1.92%	3.18s	1.57%
8	4.55s	1.10%	1.97s	2.54%	2.62s	1.91%	3.03s	1.65%
9	4.58s	1.09%	1.95s	2.56%	2.60s	1.92%	3.00s	1.67%
10	4.61s	1.08%	2.04s	2.45%	2.61s	1.91%	3.15s	1.59%
Avg	4.58s	1.09%	2.02s	2.47%	2.62s	1.91%	3.11s	1.61%

Table 7. Result of Positional Accuracy

	Type 1		Type 3		Type 4	
	x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	-87.7	32.3	33.1	7.0	8.1	1.9
2	-10.2	40.8	-18.3	12.1	1.6	2.4
3	40.8	25.5	12.4	-10.5	-2.4	0.2
4	-23.8	86.2	-26.2	-3.3	-1.4	0.9
5	40.8	37.4	12.8	10.8	2.5	2.3
6	64.6	-25.5	26.8	3.5	3.9	1.5
7	20.4	56.1	-0.6	15.8	2.3	6.4
8	-79.9	32.3	20.1	7.1	-4.8	1.9
9	47.6	85.4	16.3	-20.5	2.8	2.2
10	-34.0	-105.4	32.2	14.3	-2.0	5.2
Mean	45.0	52.7	19.9	10.5	3.2	2.5
PA	69.3		22.5		4.0	

작동 시간과 통신 가능 거리에 대한 성능 평가는 실제 시설 농장에서 실시하였다. 작동 시간은 완충된 충전지를 기준으로 2개의 작업 라인에 대해서 자동방제작업을 반복적으로 시행하였으며, 최대 작업 시간을 측정하였다. 그리고 통신 가능 거리의 경우에는 로봇과 통제 PC 또는 단말기와의 통신 가능한 물리적인 직선거리를 측정하였다. Table 8은 최대작업 시간과 통신 가능거리에 대한 결과 값이다.

Table 8. Result of working time & Communication Distance

		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Working Time (hr)	1	4.17	4.80	4.20	4.37
	2	4.20	4.83	4.13	4.52
	3	4.12	4.52	4.27	4.28
	Avg.	4.16	4.72	4.20	4.39
	Wireless Distance (m)	1	96	104	116
	2	94	102	108	155
	3	92	108	112	158
	Avg.	94	105	112	158

로봇의 주요 작업인 방제 관련 성능 평가는 유량, 분무 입자, 접착률 그리고 방제거리에 대해 실시하였다. 방제 성능의 경우 토출 압력과 노즐 종류에 따라 다르기 때문에 각 방제 로봇에 사용된 노즐을 대상으로 실시하였다. 본 연구에 활용된 로봇들은 저압에서도 방제 성능이 일정한 TeeJet社 노즐이 사용되었다.

방제 유량 성능을 측정하기 위해서 노즐의 토출 압력을 1~5bar 까지 1bar 단위로 변화를 주어 측정하였다. 측정방법은 작동 후 1분의 안정화를 거쳐 1분간 측정하였다. 이를 3회 반복하여 평균값을 도출하였다. Table 9는 압력별 유량에 대한 결과 값이다.

Table 9. Result of Mass Flow Rate

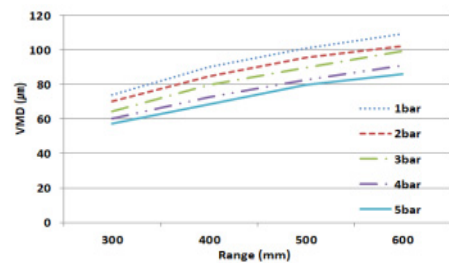
Pressure	TP8002	TP8004	TX-4	TX-6
1 bar	0.49 (kg/min)	0.98 (kg/min)	0.04 (kg/min)	0.07 (kg/min)
2 bar	0.68 (kg/min)	1.36 (kg/min)	0.12 (kg/min)	0.19 (kg/min)
3 bar	0.81 (kg/min)	1.62 (kg/min)	0.20 (kg/min)	0.31 (kg/min)
4 bar	0.94 (kg/min)	1.87 (kg/min)	0.28 (kg/min)	0.43 (kg/min)
5 bar	1.03 (kg/min)	2.07 (kg/min)	0.37 (kg/min)	0.57 (kg/min)

분무 입자에 대한 성능은 DANTEC社의 PDA (Particle Dynamics Analysis) 장비를 이용하여 측정하였다. 압력과 거리에 따른 입자크기를 측정하였으며, 수집 데이터는 회당 최대 10,000개, 최대 150초로 하였다[14]. Table 10은 압력, 거리별 입자크기 결과이다.

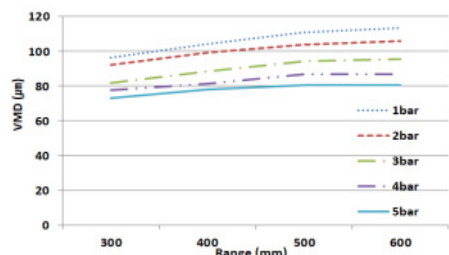
Table 10. Result of Particle size

		300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
TP 8002	1 bar	73.69 $\mu\text{m}$	90.29 $\mu\text{m}$	100.73 $\mu\text{m}$	109.20 $\mu\text{m}$
	2 bar	70.04 $\mu\text{m}$	84.80 $\mu\text{m}$	95.72 $\mu\text{m}$	102.36 $\mu\text{m}$
	3 bar	64.40 $\mu\text{m}$	79.66 $\mu\text{m}$	89.68 $\mu\text{m}$	99.46 $\mu\text{m}$
	4 bar	60.29 $\mu\text{m}$	72.66 $\mu\text{m}$	82.59 $\mu\text{m}$	91.06 $\mu\text{m}$
	5 bar	57.09 $\mu\text{m}$	68.68 $\mu\text{m}$	79.66 $\mu\text{m}$	85.78 $\mu\text{m}$
TP 8004	1 bar	96.52 $\mu\text{m}$	104.24 $\mu\text{m}$	110.85 $\mu\text{m}$	113.54 $\mu\text{m}$
	2 bar	92.21 $\mu\text{m}$	99.16 $\mu\text{m}$	103.90 $\mu\text{m}$	106.11 $\mu\text{m}$
	3 bar	81.74 $\mu\text{m}$	88.25 $\mu\text{m}$	94.45 $\mu\text{m}$	95.41 $\mu\text{m}$
	4 bar	77.45 $\mu\text{m}$	81.38 $\mu\text{m}$	86.68 $\mu\text{m}$	86.76 $\mu\text{m}$
	5 bar	73.11 $\mu\text{m}$	78.08 $\mu\text{m}$	80.55 $\mu\text{m}$	80.55 $\mu\text{m}$
TX-4	1 bar	150.75 $\mu\text{m}$	155.09 $\mu\text{m}$	157.21 $\mu\text{m}$	158.81 $\mu\text{m}$
	2 bar	149.80 $\mu\text{m}$	153.61 $\mu\text{m}$	157.79 $\mu\text{m}$	159.72 $\mu\text{m}$
	3 bar	147.00 $\mu\text{m}$	153.18 $\mu\text{m}$	153.18 $\mu\text{m}$	153.18 $\mu\text{m}$
	4 bar	147.16 $\mu\text{m}$	151.35 $\mu\text{m}$	153.43 $\mu\text{m}$	157.08 $\mu\text{m}$
	5 bar	145.09 $\mu\text{m}$	150.22 $\mu\text{m}$	154.35 $\mu\text{m}$	154.99 $\mu\text{m}$
TX-6	1 bar	198.50 $\mu\text{m}$	201.83 $\mu\text{m}$	203.64 $\mu\text{m}$	203.67 $\mu\text{m}$
	2 bar	195.55 $\mu\text{m}$	198.66 $\mu\text{m}$	198.18 $\mu\text{m}$	200.74 $\mu\text{m}$
	3 bar	191.73 $\mu\text{m}$	193.87 $\mu\text{m}$	196.62 $\mu\text{m}$	191.57 $\mu\text{m}$
	4 bar	188.64 $\mu\text{m}$	190.72 $\mu\text{m}$	190.45 $\mu\text{m}$	186.66 $\mu\text{m}$
	5 bar	185.84 $\mu\text{m}$	187.52 $\mu\text{m}$	185.70 $\mu\text{m}$	185.70 $\mu\text{m}$

방제 거리의 경우 Fig. 4와 같이 500 mm 지점에서 입자 크기의 특성이 변하는 것을 확인할 수 있었다.



(a) TP8002



(b) TP8004

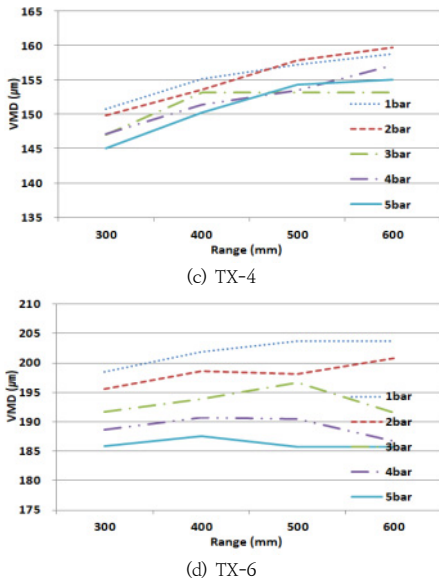


Fig. 4. Particle Size According to the Pressure & Range

### 3.3 품질 평가시험

품질 시험은 온도변화에 따른 내환경 시험과 연속동작에 따른 내구성 시험을 실시하였다.

내환경 시험의 경우 온도변화에 가장 취약한 제어 보드를 대상으로 하였다. 시험조건은 방제 작업을 위해 로봇이 온실을 출입할 때 온도변화가 가장 크게 발생하기에 1달 평균 방제 횟수에 목표 수명 5년을 고려하여 설정하였다. 또한 로봇 운영 장소의 최저 온도편차와 최고 온도편차에 따른 가속 계수를 다음의 식과같이 도출하였으며, Fig. 5와 같이 시험주기를 설정하였다[15]. 평가 결과 모든 로봇들의 제어기가 온도 변화에 따른 고장이 없는 것을 확인하였다.

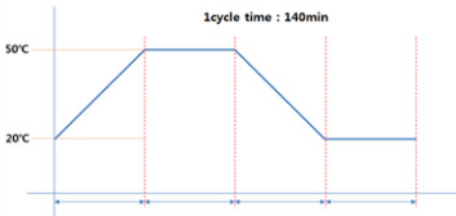


Fig. 5. Cycle of Accelerated Test

$$AF = \left( \frac{TRIANGLET_{max}}{TRIANGLET_{min}} \right)^2 = \left( \frac{30}{5} \right)^2 = 36 \quad (4)$$

$$cycle = 110/year \times 5years = 550 \quad (5)$$

$$N_{number\ of\ Test} : 550/36 = 15.27 \cong 16 \quad (6)$$

내구성 시험은 목표 수명을 기준으로 평균 작업 거리를 계산하였다. 장미 온실을 기준으로 조사 결과 1회 평균 작업 거리는 약 720 m 이며, 로봇의 목표 수명 동안 총 이동 거리는 약 120 km 가 도출되었다. 이동 거리와 가장 연관성이 높은 구동 모터에 대해 부하를 기준으로 가속 조건을 다음의 수식으로 계산하여 가속계수를 도출하였다[15]. Table 10은 각 로봇들의 가속계수 값과 연속운전 거리이다.

$$AF_{CR} = \left( \frac{regular\ Current}{Pick\ Current} \right) \quad (7)$$

Table 11. Acceleration Factor & Distance of Test

	Acceleration Factor	Distance of Test
Type 1	27.04	4.44 km
Type 2	15.26	7.86 km
Type 3	16	7.50 km
Type 4	17.36	6.91 km

계산되어진 각 로봇들의 가속 계수를 이용하여 로봇들의 연속운전 거리를 가속조건으로 주행 후 고장 여부를 판단하였다. 이때 가속조건은 구동모터가 최대 전류를 사용하는 조건을 의미한다. 평가 결과 연속운전 거리동안 고장이 없는 것을 확인하였다.

## 4. 결론

본 논문은 스마트 온실에 적용 가능한 로봇들에 대한 요구사항 및 평가방법에 대한 연구를 목적으로 하였다. 이를 위해 국내 스마트 온실에서 활용하기 위해 개발되어진 로봇들 중 가장 실용화 단계가 높은 방제 로봇에 대해 우선적으로 적용하였다.

스마트 온실 방제 로봇의 요구조건을 수립하기 위해 국내외 지능형 로봇 관련 표준들을 기반으로 로봇의 요구 기능과 목표를 도출하였다. 이를 통하여 로봇의 성능 및 품질을 평가하는 기준 지표를 수립할 수 있었다. 수립된 평가 지표에 대한 객관적인 결과를 얻기 위한 성능평가 방법을 도출할 수 있었다.

본 연구는 스마트 온실에 적용하기 위한 다양한 로봇들에 대한 요구사항과 평가방법의 기준이 될 것으로 판단되며, 스마트 시설 온실 로봇의 상용화에 도움이 될 것으로 사료된다.



## References

- [1] K. C. Kim, M. H. Ko, B. S. Ryuh, S. C. Kim, "R&D Case of agricultural Robots", *KROS Robot & Human*, Vol.9, No.3, pp.17-25, Jul. 2010.
- [2] K. C. Kim, C. W. Yang, B. S. Ryuh, "Development of Semi-Autonomous Pesticide Sprayer for Rose Horticulture System Development of Spraying system", *Proceedings of Fall KSPE Conference*, KSPE, Daegu, KOREA, pp.167-168, OCT. 2009.
- [3] K. C. Kim, B. S. Ryuh, C. W. Yang, Kyogun Chang, "Development of Semi-Autonomous Pesticide Spray Robot for Glass House Rose Farming", *Journal of KSPE*, Vol.27, No.9, pp.34-42, Sep. 2010.
- [4] K. C. Kim, B. S. Ryuh, "Development of Agriculture Robot for Unmanned Management in Controlled Agriculture", *Journal of ICROS*, Vol.17, No.5, pp.444-450, May. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.5302/ICROS.2011.17.5.444>
- [5] K. C. Kim, C. W. Yang, K. J. Kim, B. S. Ryuh, "Development of Four-Wheel Independent Steering Driving Platform for Agricultural Robot", *Journal of KSPE*, Vol.28, No.8, pp.942-950, Aug. 2011.
- [6] K. C. Kim, M. H. Ko, B. S. Ryuh, "Development of Agriculture Auto Hose Reel by using Wheeled Mobile Robot", *Journal of KAIS*, Vol.15, No.3, pp.1299-1304, Mar. 2014.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.3.1299>
- [7] M. H. Ko, B. S. Ryuh, K. C. Kim, Abhijit Suprem, Nitaigour P.Mahalik "Autonomous Greenhouse Mobile Robot Driving Strategies From System Integration Perspective:Review and Application", *Journal of IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol.20, No.5, pp.1705-1716, Aug. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMECH.2014.2350433>
- [8] Y. S. Jung, K. H. Lee, B. S. Seo, "Safety and Performance Evaluation Technology of Service Robots", *Journal of KICS*, Vol.33, No.8, pp.36-43, July. 2016.
- [9] D. S. Ryu, "Quality Reliability Technology for Product Success", p.27, Lux media, 2011.
- [10] KS Standard, "General Rules on the Safety of Service Robots (KS B 6935:2015)", Korean Agency for Technology and Standards, 2015.
- [11] KS Standard, "Service Robots-Safety Guide (KS B 6936:2015)", Korean Agency for Technology and Standards, 2015.
- [12] David W. Oliver, Timothy P. Kelliher, James G. Keegan, "Engineering Complex Systems with Models and Objects", McGraw-Hill, pp 85-94, 1997.
- [13] NASA, "Reliability Training", p.6, 1992.
- [14] Arthur H. Lefebvre, "Atomization and sprays", Hemisphere publishing co., pp.91, 1989.
- [15] W. Nelson, "Accelerated Testing", Wiley, p86, 2004.

### 김 경 철(Kyoung Chul Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2015년 8월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2016년 7월 ~ 2019년 1월 : 농업기술실용화재단 연구원
- 2019년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 스마트팜개발과 연구사

<관심분야>

농업로봇, 농업드론, 스마트 팜

### 유 범 상(Beom sahnng Ryuh)

[정회원]



- 1979년 2월 : 서울대학교 기계설계공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : Purdue University 기계공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 교수

<관심분야>

자동화, 로보틱스

### 이 시 영(Siyoung Lee)

[정회원]



- 1992년 7월 : 농촌진흥청 시설재배과(농업연구사)
- 2008년 2월 : 경북대학교 생물산업기계공학과(공학박사)
- 2012년 7월 : 농촌진흥청 에너지환경공학과(농업연구관)
- 2019년 4월 ~ 현재 : 농촌진흥청 스마트팜개발과(농업연구관)

<관심분야>

농업로봇, 스마트팜

김 국 환(Gookhwan Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경희대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : 경희대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 2014년 12월 : 농촌진흥청 국립농업과학원 PostDoc.
- 2015년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 재직

〈관심분야〉  
농업로봇, 자율항법기술

이 명 훈(Meong-Hun Lee)

[정회원]



- 2006년 2월 : 순천대학교 공과대학 정보통신공학 (공학석사)
- 2011년 2월 : 순천대학교 공과대학 정보통신공학 (공학박사)
- 2010년 4월 ~ 2013년 11월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

- 2013년 12월 ~ 2017년 1월 : 순천대학교 산학협력중점교수
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 스마트팜개발과 농업연구사

〈관심분야〉  
무선통신, 인공지능, 산업융합, 표준 기술 개발

홍 영 기(Young-Ki Hong)

[정회원]



- 2001년 3월 : 일본 동경농업대학교 농업공학전공 (공학석사)
- 2004년 3월 : 일본 동경농업대학교 생물환경조절학전공 (공학박사)
- 2004년 4월 ~ 2006년 3월 : 일본 동경농업대학교 종합연구소 박사후연구원

- 2007년 12월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사

〈관심분야〉  
영상처리, 패턴인식, 기계학습, 인공지능, 정보통신

김 현 종(Hyunjong Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 서울대학원 동물자원과학과 (축산학석사)
- 2000년 2월 : 서울대학교 서울대학원 동물자원과학과 (농학박사)
- 1998년 2월 ~ 2019년 1월 : 국립축산과학원 연구직(연구사, 연구관)

- 2019년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 스마트팜개발과 농업연구관

〈관심분야〉  
가축번식학, 스마트농업, 머신러닝

유 병 기(Byeong Kee Yu)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울대학교 농공학과 농기계전공(공학사)
- 1999년 2월 : 성균관대학교 대학원 농업기계전공 (공학석사)
- 1992년 7월 ~ 2006년 6월 : 농촌진흥청 농공연구사
- 2006년 6월 ~ 현재 : 농촌진흥청 연구사

〈관심분야〉  
농업 인공지능