

시설농장 무선원격 반자동 방제시스템 개발

Development of Semi-Autonomous Pesticide Spray Robot for Glass House Rose Farming

김경철¹, 유범상^{2✉}, 양창원¹, 장교근³

Kyoung Chul Kim¹, Beom Sahng Ryuh^{2✉}, Chang Wan Yang¹ and Kyogun Chang³

1 전북대학교 대학원 정밀기계공학과 (Department of Precision Mechanical Engineering, Chonbuk National Univ.)

2 전북대학교 기계시스템공학부, 지능형 로봇 연구소 (Department of Mechanical System Engineering, Intelligence Robot Research Center, Chonbuk National Univ.)

3 전북대학교 자동차 부품 금형 기술 혁신센터 (CAMTIC)

✉ Corresponding author: ryuhbs@jbnu.ac.kr, Tel: 063-270-2480

Manuscript received: 2010.2.18 / Accepted: 2010.6.28

Agricultural automation has become more and more important by environmental change. The automation demands the highest technology due to the ever changing various conditions in agriculture system. In the paper, semi-autonomous pesticide spray robot system has been developed for rose farming in the glass house. The robot is in autonomous mode during pesticide spraying process driven on pipe rail. The robot is manually driven while moving from a rail to the next rail. The drive platform and autonomous operation control system are developed based on IT fusion technology. The pesticide spray system is also developed with nozzles and booms for precision mist spray system. Experimental data of nozzle test is also included.

Key Words: Agricultural Semi-automation (농업 반자동화), Automation Pesticide (자동 방제), Pest Control System (방제 시스템), Agricultural Robot (농업 로봇), PDA (입자 동력 분석)

기호설명

P = pressure

γ = specific weight

v = velocity

h = height

ρ = density

Q = discharge

1. 서론

최근 우리나라 농업 환경은 농업 인구의 고령화, 해외 수입 농산품과의 가격경쟁력 향상과 고생산성 요구 등으로 급격한 변화를 받고 있다. 일 반적으로 농업은 기후나 주위 환경에 쉽게 영향을

받는 분야로서 국가 식량안보차원의 장기적인 미래 농업을 위한 고생산성의 선진기술이 요구된다.¹⁻³ 따라서 한정된 공간에서 저 노동력임에도 안정적인 작물 출하가 가능한 자동화된 생산시설 확보가 요망되고 있다.^{3,4} 최근 국내외 농업 환경의 변화에 의해 농업용 로봇에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.⁵ 국외 연구의 경우, 네덜란드의 오이, 장미수확 로봇, 일본의 딸기 수확 로봇 등이 적용되고 있으며, 호주에서 개발한 토마토 농장 자동 방제 로봇이 있다. 국내 연구는 육묘 이식기와 토마토 수확 로봇, 약제 살포 로봇 등이 보고되고 있지만, 현재 농업용 로봇 기술 상태는 초보적인 연구 개발 단계에 머물러 있으며, 농업 환경에서 대상에 따른 로봇의 재배치, 재배열의 어려움과 주행 노면의 불규칙한 특징으로 이동 기술

구현의 어려움이 있다.^{1,2} 특히 농약 방제는 심한 독성과 노동력 부족으로 인해, 기피작업으로 구분되고 있다. 장미화훼는 높은 부가가치가 인정되는 시설 농업임에도 불구하고 잣은 농약 방제로 심한 노동력 부족을 겪고 있다. 따라서 장미화훼 시설농장의 자동화는 경제적 효과가 크다고 기대되고 있다.² 장미화훼 재배에 있어서 가장 난해한 부분은 해충 방제로써, 특히 잎 뒷면에 붙은 응애의 해충을 방제하는 것이다. 현재는 간이 분무기와 미스트 분무기가 까다로운 방제를 위해 사용되고 있으나 만족스러운 결과를 얻지 못하여 인력이 동원된 세세한 분무 작업이 수행되고 있다.² 또한 일반 농약, 살충제 방제와 미스트 방제시 방제 기구를 교체하여야 하는 불편함과 이중 방제 기구 구입에 따른 비용적인 문제를 갖고 있다. 미스트 방제 장치는 고정식 분무 방식으로 국지적 방제가 미흡하고, 또한 농약의 소모가 많으며 수입품으로 고가라는 단점이 있다. 본 논문에서는 직접 이동 가능하여 해충에 가까운 위치에서 촉각의 방제를 구현 할 수 있는 무선 원격제어가 가능한 로봇 방제기 개발에 대하여 정리하고자 한다.

2. 농장 환경 및 개념설계

2.1 농장 환경을 고려한 시스템 요구조건

무선 원격 방제 시스템을 개발하기 위해서 방제시스템이 사용될 농장에 대한 분석을 실시하였다. Fig. 1은 본 시스템이 적용된 장미 농장이다. 농장의 시설 내부는 장미가 재배되는 베드 사이에 온수 파이프가 설치되어 있으며, 장미가 울창하여 내부로 이동하기가 난해함을 고려하여 시스템 설계를 하였다.

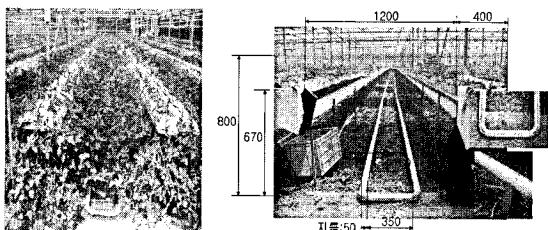


Fig. 1 Rose glass house where the designed system was applied

2.2 시스템 개념 설계

본 시스템은 지상으로부터 약 180mm 정도 떼

있는 온수 파이프 상에서 이동해야 되기 때문에 100kg 이하로 설계되어야 한다. 농약의 접착률 향상을 위해 분무기의 각도 조절이 용이하도록 설계되어야 하며, 동시에 농작물의 손실을 고려하여 좌우 폭을 최소화하여야 한다. 방제 살포 부위를 살펴 보면 Fig. 2에서와 같이 장미 해충은 장미 잎의 후면에 달라붙기 때문에 농약 살포시 아래 부분에서 상향으로 분무가 가능하여야 한다.



Fig. 2 Roses and leaves

이러한 조건을 만족하기 위해 Fig. 3과 같이 구조부, 제어부, 방제부로 구성하였다.

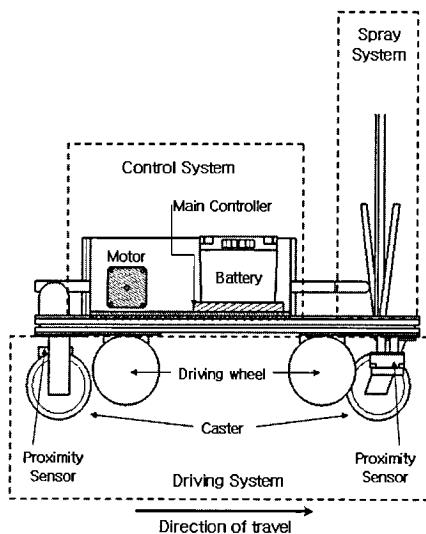


Fig. 3 Semi-autonomous pesticide application system

구조부는 외형부와 구동부로 나뉘어 지고, 제어부는 주제어부와 무선 통신부로 나뉘어진다. 마지막으로 방제부는 농장 환경을 고려한 방제 봄대, 일반 분무와 미스트 분무를 위한 선택적 노즐 바디, 방제를 위한 노즐 자동 밸브 장치 및 제어부로 구성된다. 본 시스템은 Fig. 4처럼 운용되며, 자동모드와 원격모드를 갖고 있다. 자동모드는 한 개의 라인에 대해서 자동으로 방제를 하며, 원격모드는 작업자의 지시에 따라 방제를 한다.

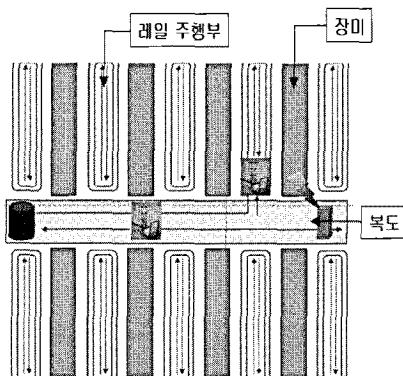


Fig. 4 Operative layout of semi-autonomous pesticide application system

농장 시설을 고려하여 무선 원격 방제 시스템의 크기 및 형상을 설계하였으며, 방제 필요 유량을 통하여 노즐의 위치 및 개수를 선정하였다. Table 1은 방제 노즐을 선정하는 기초 자료이다.

Table 1 Particle size data sprayed

	Pesticide	Particle size [μm]
Normal spray	Liquid	400~1200
Smooth spray	Liquid	155~440
Fog spray	Liquid	0.5~50
Mist spray	Liquid, powder	30~100
Low spray	Liquid	40~140

3. 무선 원격 방제 시스템 하드웨어 설계

3.1 시스템 구조 설계

본 논문에서는 개발된 방제 시스템은 지상 노면과 분무 시 파이프상에서 복합이송이 가능하도록 캐스터 바퀴와 레일을 주행할 수 있는 바퀴로 구성되었다. 또한 방제기의 전·후방에는 레일을 감지하여 주행 구간을 인식할 수 근접센서를 부착하였다. 상부는 작업자가 쉽게 다를 수 있도록 손잡이를 부착하였으며, 구동 모터와 제어박스 그리고 봄대와 노즐을 포함하는 방제부로 구성되어 있다. Fig. 5는 방제시 장미 손상을 줄이기 위해 봄대와 노즐을 최소화하도록 설계하였다.

레일에 진입 시 레일에서 방제기 상부까지의 높이는 366mm이다. CATIA V5를 이용하여 시스템 설계를 하였으며, Fig. 6에서 보여지는 것과 같이 실제 장미 농장의 환경을 모델링하여 간섭을 검토하였다.

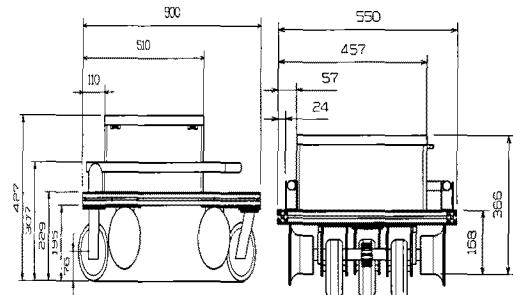


Fig. 5 Design of drive

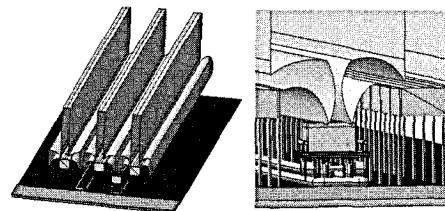


Fig. 6 Interference simulation between platform and roses

3.2 구동 시스템 설계

Fig. 7은 레일 바퀴의 실제 제작 사진을 보여주고 있다.

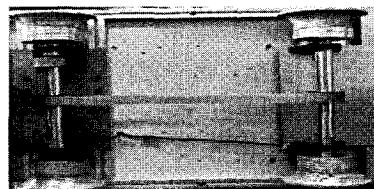


Fig. 7 Design of drive base

동력전달은 소음이 적고 텔루착이 용이한 타이밍벨트를 사용하였다. 구동 바퀴는 뒷바퀴가 모터로부터 타이밍벨트를 통해 동력을 전달받아 앞 바퀴까지 전달하여 구동한다. 또한 레일을 타고 움직이기 때문에 레일의 폭을 고려하여 축 길이를 선정 하였으며, 방제기가 원활히 움직이기 위해서 가장 중요한 접지력 향상과 일정하지 않은 레일의 폭으로 인해 시스템 불안정 원인이 될 수 있으므로 가이드 역할을 할 수 있도록 부드러운 바퀴를 제작하였다. 방제부의 방제 유량과 접착률을 기반하여 속도는 1.1m/s로 하였다.

3.3 제어부

주제어기는 Fig. 8과 같은 하드웨어 구조를 나타내고 있다.

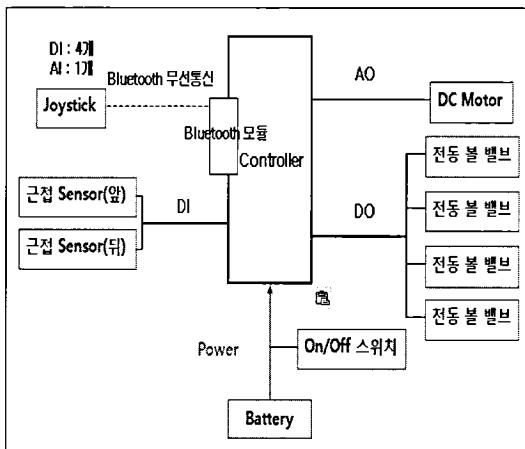


Fig. 8 Hardware construction of semi-autonomous pesticide spray robot

통신 프로토콜로는 블루투스를 채택, 벽이나 장애물 등을 통과해서 신호를 주고 받을 수 있고, 통신거리가 200m이다. 원격 모드시 조이스틱(Joystick)에서 나오는 4개의 디지털 신호와 1개의 아날로그 신호를 받아 DC 모터와 4개의 전동 불밸브를 각각 제어한다. 자동모드시 조이스틱으로부터 시작 명령에 따라 DC 모터는 정회전하여 전진하게 된다. 후방의 근접 센서를 방제기 가운데 위치하고 전방 센서는 한쪽 레일 부분에 위치하여 전방 센서가 레일 끝부분 도달시 레일이 감지되지 않는 점을 이용으며, 전방 센서 비감지시 처음에 선택한 불밸브가 열리고 후진하면서 방제를 수행하게 된다. 방제기가 처음 시작 지점에 도착하게 되면 후방 센서가 레일을 감지하여 동작을 완료하게 된다. 이 때 작업자가 인지하지 못한 채로 버튼을 누를 수 있으므로 시스템의 안정적 운용을 위해 자동모드 작동 중에는 수동조작의 조이스틱이 사용 불가하도록 하였다. 그러나 시스템 안전

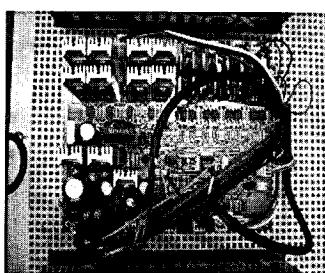


Fig. 9 Main controller of semi-autonomous pesticide spray robot

과 직결되는 긴급정지 버튼은 작업자 직접운용이 가능하게 하였다. Fig. 9는 주제어기의 실제 모습이다.

Fig. 10은 실제 제작한 원격 제어기이다. 블루투스 안테나를 제외한 크기 65 mm × 125 mm × 30 mm으로 제작하였으며, 자동모드 시작, 방제기 전/후진, 가/감속도, 불밸브 선택과 불밸브 On/Off로 이루어져 있다.

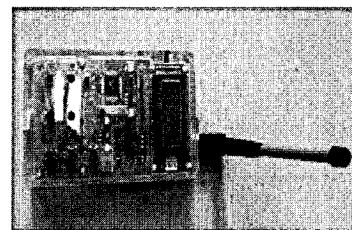


Fig. 10 Remote controller of semi-autonomous pesticide spray robot

LCD 화면에서는 현재 맞추어 놓은 방제기의 속도와 불밸브 On/Off 상태를 표시창을 통하여 나타내며, 현재 통신 상태를 항시 보여주고 있다.

Table 2는 방제기 소요 전력에 대한 분석이다.

Table 2 Specification of electric power devices

Voltage	Sub system	Current(A)	Electricity(W)
DC 24V	Motor	17	408
	Bluetooth	0.1	1.2
DC 12V	Sensor(2EA)	0.01	0.12
	valve(4EA)	0.05	0.6
	Etc		1.32

3.4 방제부

방제 노즐을 설정하는데 있어 세가지 조건을 고려하였다. 첫 번째로 시설 농장에서의 농약 방제량을 고려하였다. 18개의 베드에 500 l를 사용한다. 이에 방제기의 주행 속도를 고려하여 다음의 수식을 통하여 방제 노즐의 유량을 계산하였다.

$$\text{작업 시간 } 1080 \div 1.1 m/s = 981.8 s = 16.36 \text{ min} \quad (1)$$

$$\text{주행 거리 } 60 m \times 18 \text{ 회} = 1080 m \quad (2)$$

$$\text{필요 유량 } 500 \div 16.3 = 30.5 l/\text{min} \quad (3)$$

두 번째로 농약은 수용제와 수화제로 구분되는 데, 수화제의 경우 물에 잘 녹지 않아 노즐이 막히는 경우를 고려해야 한다.

마지막으로 단일유체 노즐에서 분무시 효율적인 해충 방제에 요구되는 미립화의 정도를 고려하였다. 이러한 조건을 만족할 수 있는 Fig. 11 의 Spray system 社의 Teejet 노즐인 XRC8002-VS 와 TP8004EVS 를 선정하였다.⁶

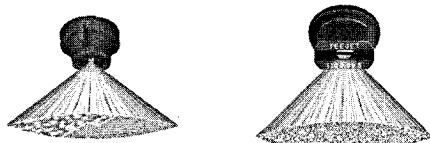


Fig. 11 Spray nozzle [Teejet Technology, 2007]

방제 봄대의 경우 방제 노즐의 유량을 고려하여 Fig. 12 와 같이 각 봄대마다 노즐의 개수를 달리하여 배치하였다.

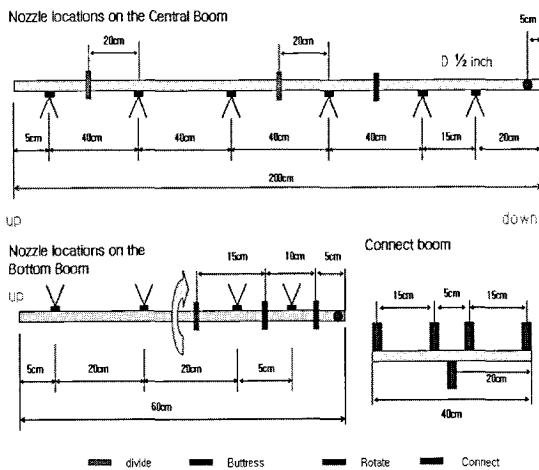


Fig. 12 Nozzle locations on the spray Boom

유량 공급 봄대에서 두 개의 중앙 봄대와 두 개의 아랫 봄대로 Fig. 13 과 같이 연결되어 있다.

해충은 잎의 후면 부분에 붙기 때문에 방제 시 아래 부분에서 상부를 향해 미스트 분무를 하여야 하며, 일반 분무는 중앙에 수직으로 위치하여 좌우 방향으로 분무가 가능하도록 설계하였다. Fig. 14 와 같이 제작하였다.

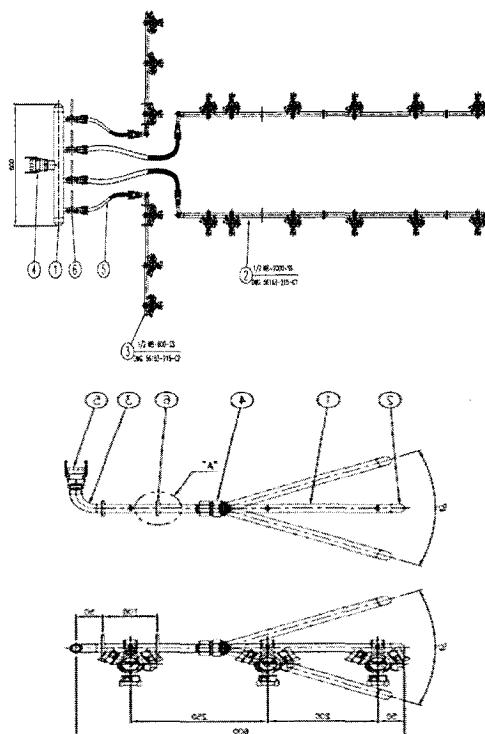


Fig. 13 Design of spray boom & spray nozzle control

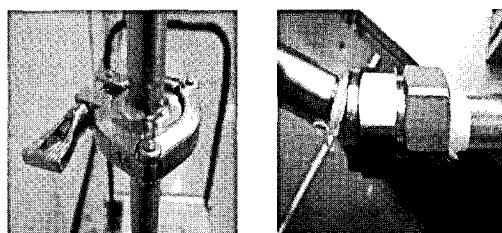


Fig. 14 Nozzle control system

봄대의 형상과 치수를 바탕으로 하여 분무기 펌프를 선정하였다. 이에 분무기 펌프 압력 손실 및 선정을 위해 Bernoulli 방정식을 적용하였다. 관의 지름이 일정하고 비압축성 유체가 정상상태 유동을 유지하는 가정이 가능하므로 연속 이론에 의하여 $v_1=v_2$ 를 얻을 수 있으며 이를 식에 적용하면 다음과 같다.⁷

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}, \quad h_1 = h_2 \quad (4)$$

실제로 유동하는 모든 유체는 난류유동에 의한 상호충돌과 점성에 의한 마찰의 영향으로 손실수두(H_L)가 크게 발생한다. 또한 관의 방향 변환과 관 면적 변경에 따른 속도 감소에 의한 손실이 발생하게 된다. Darcy-Weisbach 의 관마찰 손실식도 적용하면, 전체 손실을 구할 수 있다.⁷

4. 자동 방제 시스템 운용 소프트웨어 구성

본 시스템은 크게 두 개의 운용 모드를 갖고 있다. 그 첫 번째로 자동 모드로 레일의 시작점에서부터 한 개의 라인을 자동으로 방제하고 다시 시작점으로 돌아오는 모드로, 각각의 분무 불대를 자동 블 뱀브를 이용하여 On/Off 제어가 가능하며, 라인 끝 지점의 재질이 고무이기 때문에 근접 센서를 이용하였다. 방제부가 있는 부분이 전방으로, 전방 근접 센서의 경우 왼쪽 끝부분에 장착 근접 센서에 신호가 감지될 때 주행하도록 하였으며, 반대로 후방 센서의 경우 후방 정 가운데에 장착

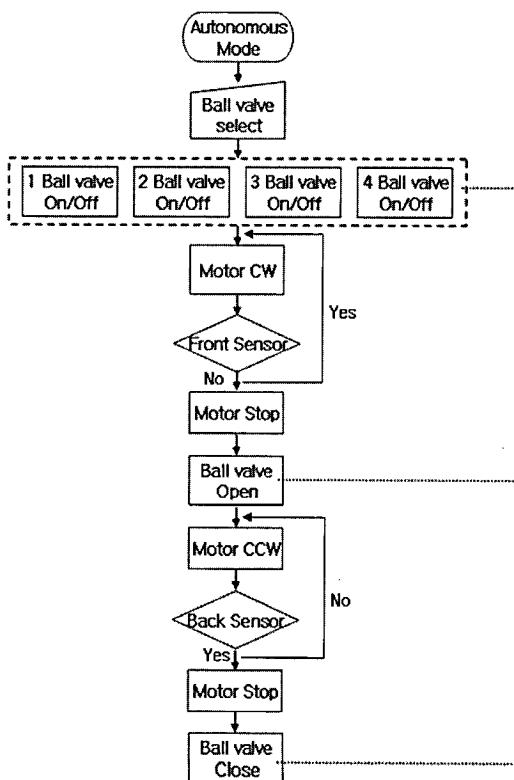


Fig. 15 The flow chart for autonomous mode

근접 센서에 신호가 감지되면 정지하도록 하였다. 또한 긴급 상황 발생시 원격으로 긴급 정지할 수 있다. 방제기 제어부에 농약이 덜 묻도록 하기 위해서 자동 모드 시에는 방제기가 되돌아오면서 방제하도록 하였다. Fig. 15는 자동모드 순서도이다.

두 번째는 원격 모드로 원격 이동 방법이다. 이는 작업자가 원하는 국지적인 부위에 정밀 방제가 가능하도록 하는 운용 방법이다. 원격 모드시 4 개의 봄대를 On/Off 제어할 수 있으며, 작업자가 방제기를 헤일 위에서 전후 이동시킬 수 있다. Fig. 16 은 원격 모드에 대한 순서도이다.

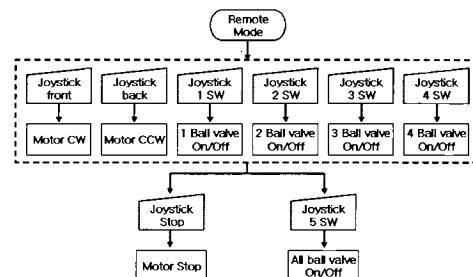


Fig. 16 The flow chart for remote mode

5. 성능 시험

방제기의 성능을 시험하기 위해서 시스템 구동에 대한 성능 시험과 방제부 성능시험으로 나뉘어 실시하였다. 시스템 구동에 대한 성능 시험은 실제 방제기가 사용될 농장에서 실시하였다. 방제부의 경우는 유량과 액적 크기를 측정하였다.

5.1 시스템 구동에 대한 성능 시험

Fig. 17 은 바퀴의 충분한 접지력에 의한 구동, 레일이 견딜 수 있는 허용하중, 레일의 센서 감지, 자동 모드시 시작과 끝점에 대한 센서 감지 및 차동 유무, 무선 통신의 감도를 성능시험 실시하여 성능이상이 없음을 검증하였다.

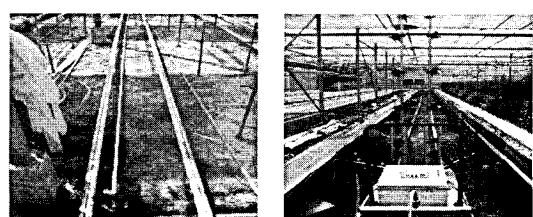


Fig. 17 Test performance

5.2 무선 원격 방제 시스템에 대한 성능 시험

본 시스템의 방제에 대한 성능 시험은 질량 유량(Mass Flow Rate)과 액적 크기에 대한 실험을 실시하였다. 유량 측정 실험은 Fig. 18 과 같이 실시하였으며, 1 분 단위로 1bar에서 5bar 까지 각 3회 씩 측정하였다.

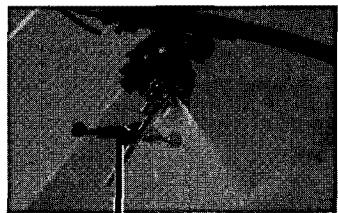


Fig. 18 Mass flow rate test of nozzle

Table 3 은 질량 유량 테스트(성능시험) 결과를 보여주고 있다.

노즐 질량 유량을 그래프로 표현하면 Fig. 19, 20 과 같이 표현된다.

Table 3 Data of mass flow rate test

bar	XRC8002-VS		TP8004EVS	
	Mass (Kg)	Mass flow Rate (kg/s)	Mass (Kg)	Mass flow Rate (kg/s)
1	0.460	0.007	1.015	0.016
	0.450	0.007	0.950	0.015
	0.460	0.007	0.980	0.016
2	0.640	0.010	1.360	0.022
	0.660	0.011	1.360	0.022
	0.650	0.010	1.370	0.022
3	0.810	0.013	1.595	0.026
	0.775	0.012	1.630	0.027
	0.790	0.013	1.640	0.027
	0.790	0.013	1.640	0.027
4	0.910	0.015	1.860	0.031
	0.915	0.015	1.860	0.031
	0.915	0.015	1.895	0.031
5	1.000	0.016	2.065	0.034
	0.995	0.016	2.065	0.034
	1.015	0.016	2.070	0.034

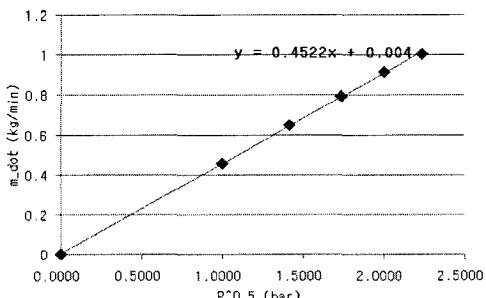


Fig. 19 Mass flow rate of XRC8002-VS

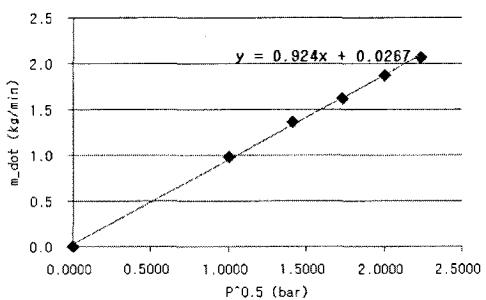


Fig. 20 Mass flow rate of TP8004EVS

$$p = \rho gh \quad Q = Av \quad v = \sqrt{2gh} \quad Q = A\sqrt{\frac{2}{\rho}} \quad (5)$$

식 4 의 유량과 압력과의 관계를 실험 그래프와 비교해 보면 선형적으로 잘 나타나는 것을 확인할 수 있었다.⁷

다음은 액정 크기에 대한 실험으로 DANTEC 社의 PDA(Particle Dynamics Analysis) 장비를 이용하여 측정 하였다. PDA 장비는 광학적 기술을 이용하여 입자의 크기와 속도를 측정하는 장비이며, Fig. 21 은 PDA 장비의 측정원리를 보여 주고 있다.⁷

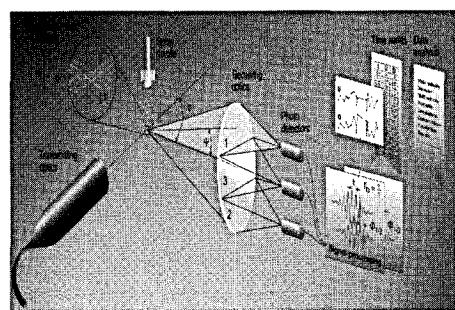
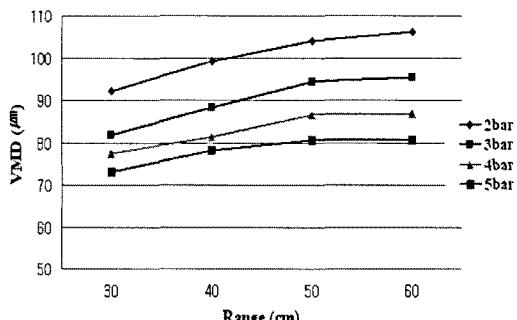
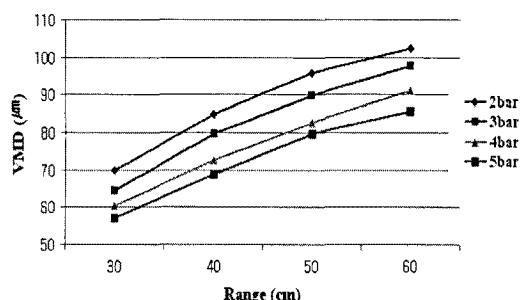


Fig. 21 Principle of PDA system[A.H. Lefebvre, 1989]

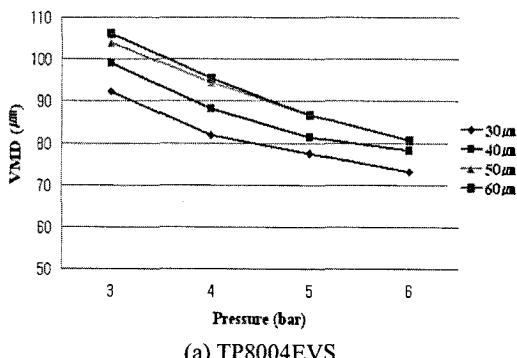


(a) TP8004EVS

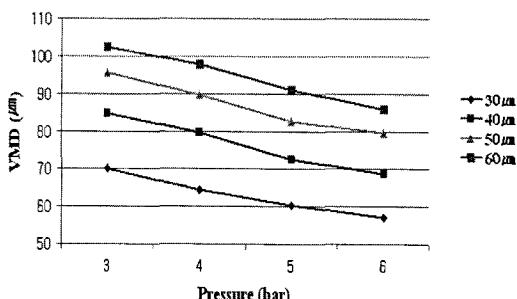


(b) XRC8002-VS

Fig. 22 Data of particle sizes vs. distance



(a) TP8004EVS



(b) XRC8002-VS

Fig. 23 Data of particle sizes vs. pressure

액적 크기 테스트는 2bar에서 5bar 압력까지, 노즐 끝과 측정기까지의 거리를 30cm에서 60cm 까지 10cm 간격으로 하였다. 10,000 개의 데이터를 측정하였으며, 측정 시간은 150 초로 실시하였다.⁸ Fig. 22, 23은 액적 크기를 보여 주고 있다.

TP8004EVS는 평균 약 72~108 μm 의 크기를 보여주었고, XRC8002-VS는 평균 약 58~102 μm 의 크기를 보여 주고 있다. 이를 통하여 TP 8004EVS 노즐은 일반 방제에 사용하도록 하였으며, XRC8002-VS 노즐은 아랫 봄대에 장착하여 상부로 미스트 방제에 사용하도록 하였다.

6. 결론

본 논문은 내외적으로 급격하게 변하고 있는 농촌 환경에 도움이 되기 위해 개발한 시설농장 무선원격 반자동 방제시스템 개발에 관하여 정리하였다. 시설 농장에 대한 현장 분석을 통해서 작업자의 편리성을 고려한 무선 원격 자동 시스템을 구성 하였으며, 이를 위하여 구조부, 제어부, 방제부로 구성하였다. 구조부에는 외형부와 구동부로 나뉘어지며, 작업자가 필요 시 전력을 차단하여 원활한 수동 조작을 가능하게 하여 방제 시스템을 수동으로 이송할 수 있도록 하였다. 제어부는 주 제어부와 무선 통신부로 나뉘어지며, 실내의 정숙한 작동 환경과 매연 방지를 위한 전기식 구동 방식을 사용하였으며, 임베디드 시스템에 의한 동작 전용 제어기를 적용하였다. 마지막으로 방제부는 방제 봄대와 방제 노즐로 구성되었으며, 미스트 분무와 일반 분무 두 가지의 경우에 유연하게 적용 가능토록 하였으며, 하단부에 노즐을 설치하여 잎의 뒷면에 대한 방제가 가능하도록 하였다. 이러한 단계를 통하여 자동 방제기를 설계 제작하였으며, 현장 시스템 구동 성능 시험과 방제 시스템 성능시험을 실시하였으며 실제 농장에 적용하여 현재 운용하여 보았다.

본 연구를 통하여 방제작업을 시행하는데 있어 투입 인원수와 인건비를 현저하게 줄일 수 있으며, 작업 시간 또한 기존의 12~13 시간의 작업 시간을 3 시간 이내로 줄일 수 있게 된다. 또한 아직 미비한 미스트 분무 시스템과 농업 자동화 로봇 시스템에 대한 새로운 개발을 수행하였다. 이를 통하여 완전자동화에 선행하는 농업 반자동화를 위한 농약 방제기의 새로운 기술을 지속적으로 제시할 수 있으며, 농촌 사회에 대단위 농업의 해법을 제

시할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Kim, K. C., Park, J. I. and Ryuh, B. S., "Development of Intelligent Agricultural Robot for Farming Automation," Korea Robotics Society Annual Conference, pp. 41-44, 2008.
2. Kim, K. C., Yang, C. W. and Ryuh, B. S., "Development of Semi-Automatic Pesticide Sprayer for Rose Horticulture System -Development of spraying System" Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 167-168, 2009.
3. Choi, J. J., Park, S. H. and Choi, Y. K., "Development of a Remote Control Equipment for Farm Automation," Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea IE, Vol. 45, No. 4, pp. 19-26, 2008.
4. Kassler, M., "Agricultural Automation in the new Millennium," Computer and Electronics in Agriculture, Vol. 30, No. 1, pp. 237-240, 2001.
5. Lee, D. H. and Park, W. K., "Retrospection on Agricultural Mechanization Researches," Journal of Biosystems Engineering, Vol. 24, No. 5, pp. 453-462, 1999.
6. Teejet Technologies, <http://www.teejet.com>, TeeJet Catalog 50-M, 2007.
7. Fox, R. W. and McDonald, A. T., "Introduction to Fluid Mechanics, 5th Ed.," John Wiley & Sons, Inc., 1999.
8. Lefebvre, A. H., "Atomization and sprays," Hemisphere Publishing Co., pp. 91-99, 1989.