

시설원예용 파이프 유도식 무인방제기 개발(I)†

- 무인 주행시스템 -

Development of a Self-Travelling Sprayer for a Greenhouse(I)

- Self-traveling System -

김 태 한*	장 익 주*	강 춘 태*
정회원	정회원	정회원
T. H. Kim	I. J. Jang	C. T. Kang

ABSTRACT

A self-travelling sprayer was developed to avoid the exposure of an operator to agricultural chemicals and exhaust gas, to improve safety and to increase working efficiency during the application and transport work in the greenhouses. This system consists of self-traveling system and the control system for application and safety device. The auto-spray car is equipped with a liquid chemical tank of 80ℓ capacity. The traveling system adopted mechanical steering system which link mechanism of front wheel is guided by guide rollers. The sprayer travels along the guiding pipe which is set on the furrow in the greenhouses. The sprayer stops automatically applying and traveling when the liquid chemical tank becomes empty or when the sprayer reach the turning point. The spray booms swings in a vertical plane. The control system of safety devices controls the automatic stop of the sprayer when there is an obstacle on the traveling path, or when the battery becomes discharged. The auto-spray car traveled smoothly and steadily along the guide pipe during traveling straightly and turning on the ground.

주요용어(Key Words): 무인방제기(Auto-spray car), 유도파이프(Guiding pipe), 약액탱크(Liquid chemical tank), 조향장치(Mechanical steering system), 무인운반차(Automatic transport vehicle)

1. 서 론

우리 나라의 시설 원예 면적은 '90년에 25,450ha에서 '97년에는 47,264ha로 약 2배 증가하였으며(농촌진흥청 원예연구소, 1998) 앞으로 시설 원예 면적은 더욱 더 증가할 것으로 생각된다. 그러나 하우스 내의 작업 중 방제 작업은 밀폐된 공간에서 인력에 의해 이루어지므로 인체에 해롭다(米村, 1978; 小島, 1978). 그리고 하우스 내의 각종 작업에 사용되는 농기계의 구동 동력원은 대부분 내연 기관이므로 이 기관에서 배출되는 유해가스는 인체뿐만 아니라 작

물의 생육에도 영향을 미치고 있다(농기구공업협동조합, 1990). 또한 토마토의 하우스 축성재배에 소요되는 총 노동시간은 1,200시간/10a로서 그중 운반에 소요되는 시간이 약 1,000시간/10a (1,000m²)로서 총 노동시간의 83%에 상당한다는 보고가 있다(小堀, 1977).

본 연구는 방제 작업의 자동화, 수확 및 운반 작업의 생력화 등 다목적 이용이 가능한 작업기 개발에 의해 유해한 농약과 농용 기관의 배기가스로부터 사람과 작물을 보호하고 노동생산성을 향상시키기 위하여 수행하였다. 본보에서는 시작기의 제작과 무인

† 본 연구는 1995년도 농림부 농림기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

* 경북대학교 농과대학 농업기계공학과

주행 성능에 관한 내용을 소개하고 제 2보에서는 무인 살포 시스템 및 시작기의 작업 성능에 대해 소개한다.

2. 연구사

시설 원예용 무인 방제기 개발에 관한 연구로서 일본의 경우 무인 주행 유도 방식이 마그네트 센서를 내장하고 개자리에 설치한 마그네트 마크를 감지하여 주행하는 자율 경로 방식과(丸山, 1997) 유도 케이블과 각 고랑의 입구에 센서 플레이트를 설치하고 유도 발신기의 신호를 감지하여 주행하는 고정 경로 방식(有光, 1996)을 채택하고 있으므로 구조가 복잡하고 주행 성능이 불량하며 기계의 가격이 고가가 되는 단점이 있다. 또한 이것들은 방제 작업의 용도로만 개발되었으며 호스권취식으로서 방제 작업시 동일 고랑을 전·후진하여 작업하므로 작업 능률이 크게 저하되고, 분무 노즐도 고정된 수직 분관에 배열한 입목(立木)살포 형식으로서 초장이 작은 작물의 방제에는 효과적이지 못하다.

3. 재료 및 방법

가. 시작기 설계·제작

우리 나라의 시설 재배 여건에 적합한 시설 재배 전용 무인 방제 및 운반 시스템 개발을 위해 시설 농가를 대상으로 온실 내의 작물별 물성 및 재배 방법과 하우스의 구조 등 설계 인자를 조사 분석한 결과(농림부, 1998)를 토대로 무인 방제 및 운반 시스템의 차륜 거리, 축간 거리, 기체 전장, 전폭, 전고 등의 재원을 결정하였다. 또한 소요 동력 산출과 안전율을 고려하여 전동기의 용량을 결정하고 시작기의 본체 및 방제 장치를 개발·제작하였다. 본체는 80ℓ 용량의 약액탱크를 탑재하고 무인 주행 시스템, 무인 살포 시스템, 안전장치를 갖추고 있다. 또한 약액탱크를 착탈식으로 제작하여 무인 방제 뿐만 아니라, 운반 작업에도 이용할 수 있도록 다목적 작업기로 설계하였다. 개발한 시작기의 주요 제원과 외관도를 각각 표 1, 그림 1에 나타내었다.

Table 1 Specification of prototype

Division		Unit	Details
Body	total length	mm	1,150
	total width	mm	430
	total height	mm	470(except liquid tank)
	weight	kg	150
	load weight	kg	100~150
Drive System	type		4wheel (2-wheel drive) low 0.25, high 0.5 guide pipe & roller (link)
	velocity steering	m/s	
Electric System	battery		12V · 90Ah (2EA)
	motor	Drive	24V, 0.4kW (1EA)
		Spray	24V, 0.75kW (1EA)
	control		driverless
Spraying System	Spray type pressure tank capacity	kg/cm ²	Vertical~Horizontal Maximum 18 80
		ℓ	

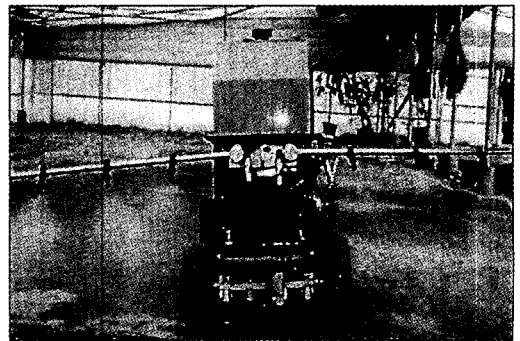


Fig. 1 Driverless auto spray car.

(1) 파이프 유도식 무인 방제기 본체

가) 차체

차체는 그림 2에서와 같이 SUS40을 중공으로 가공하여 경량화 하였으며 프레임 하부에 지지 브라켓을 설치하여 차체의 후부에는 구동용 배터리를 탑재하고 전부에는 약액분사 펌프 및 약액 분사 펌프 구동 모터, 중간부에는 콘트롤 박스를 탑재한다. 또한

프레임의 4측면과 상부를 판재로 커버를 하여 약액 및 먼지 등으로부터 배터리, 구동 모터, 약액분사 모터, 동력전달부를 보호하도록 하였다.

나) 주행장치

무인 방제 및 운반 시스템의 주행 장치는 현재 온실 내의 고랑이 함수율이 높은 진흙탕이므로 침하와 슬립을 방지하면서 주행할 수 있어야 하므로 후륜은 지름 $\phi 356\text{mm}$, 폭 85mm, 전륜은 지름 $\phi 254\text{mm}$, 폭 85mm의 광폭 고무 타이어를 사용하였고 후륜을 구동하였다. 그리고 하중 지지를 위하여 전륜, 후륜의 내측에 SUS 40으로 림을 가공하여 부착하였다.

본 연구에서는 1개의 유도 파이프를 고랑에 설치하는 고정 경로 방식을 채택하고 그림 3과 같은 주행 유도 안내륜을 제작, 차체 전·후부에 부착하여 작업차의 전·후진시 주행 경로를 안내하

게 함으로써 무인주행시 직진 및 주행 성능이 우수하고 가격이 저렴하게 되는 기술을 적용하였다.

안내륜은 그림에서와 같이 MC 나일론재를 원기둥 형식으로 가공하여 주행 유도 파이프의 측면 일부에 접촉되어 선회하도록 하였다.

또한 2개의 주행 유도 안내륜 간격을 조절할 수 있도록 제작하여 유도 파이프의 외경 변화에 대응할 수 있도록 하였다.

그림 4는 파이프의 연결 장치와 지지장치를 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 주행 유도 파이프의 직선부 이음은 연결 부위에 직경이 작은 파이프를 삽입하여 연결시키고 이음매의 한쪽 단에는 볼트를 부착하여 고정하도록 하였으며 다른 쪽 하부에는 지지플레이트가 부착된 판내에 주행 유도 파이프에 용접한 작은 관을 삽입하여 볼트체결에 의해 주행 유도 파이프의 높이를 조절할 수 있게 하였다. 가로 20cm, 세로 30cm의 크기로 제작한 지지 플레이트는 지면에 삽입되어 안내물려에 의해 주행유도 파이프의 측면에 하중이 작용될 때 파이프의 좌우이동을 방지하고 파이프를 지지하여 주행유도 파이프 높이를 일정하게 유지시키는 역할을 한다. 이렇게 제작함으로써 유도 파이프는 설치가 간편하고 온실 내에서 작물의 재배 관리 및 수확이 완료된 후, 경운, 정지시 철거에 편리하도록 하였다.

또한 온실의 개자리 부분의 주행 유도 파이프를 그림 5와 같이 벤딩 가공하여 선회 성능이 우수하도록 하였다.

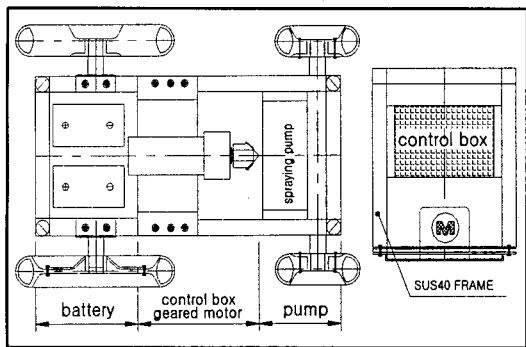


Fig. 2 Frame of prototype.

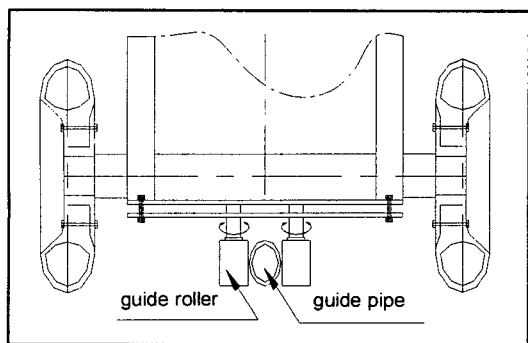


Fig. 3 Guide roller and pipe.

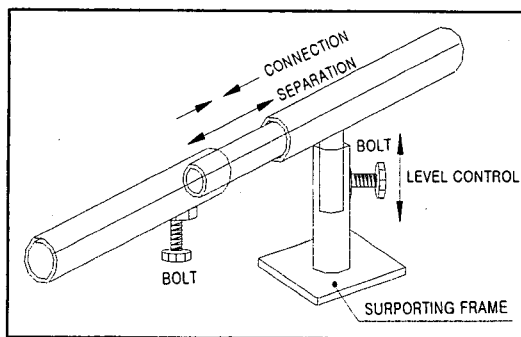


Fig. 4 Connecting and Fixing device.

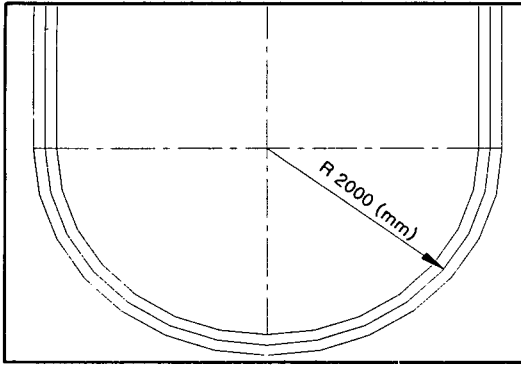


Fig. 5 Guide pipe for turning.

다) 조향장치

조향장치는 전륜의 선회 반경이 작고, 정확한 선회를 할 수 있도록 메카니즘을 개발하여야 하므로 차체에서 수직으로 상부에 베어링을 넣은 브리킷을 달고 하부에 수평으로 구멍을 내어 베어링을 넣고 앞차축과 키로서 고정하였다. 또한 브리킷 하부에 플랜지를 부착하여 좌우 바퀴를 링크 기구로 연결하여 선회시 좌·우 바퀴가 동일 각도로 선회되도록 하였다.

라) 동력 전달 장치

전기 작업차의 구동방식에는 트랜스미션과 차동장치로 구성하는 방식, 트랜스미션 없이 전동기와 프로펠러축을 직결하고 차동장치를 부착한 형식, 트랜스미션과 차동장치 없이 차륜축 혹은 차륜내부에 전동기를 설치한 형식으로 대별할 수 있으며 미션과 차동 장치로 구성된 방식을 채택하면 중량이 증가되고 구조가 복잡하여 대용량의 배터리를 사용해야 하고 기체가 커지는 등 여러 가지의 문제점이 있어 본 연구에서는 미션과 차동장치 없이 차축에 전동기를 설치하는 형식을 채택하였다. 이 형식은 기술적으로도 안정되어 있고 트랜스미션이 없으므로 여기에서 발생하는 5~10%의 동력전달 손실을 줄일 수 있는 특징이 있다(清水, 1992). 또한 트랜스미션과 차동장치를 사용하지 않으므로 공간을 감소시킬 수 있어 구조 전체가 단순하고 설제도 용이한 특징이 있다.

차체의 폭을 최소화하기 위하여 동력 전달은 1개의 모터를 차 축에 직각 방향으로 설치하여 그림 6

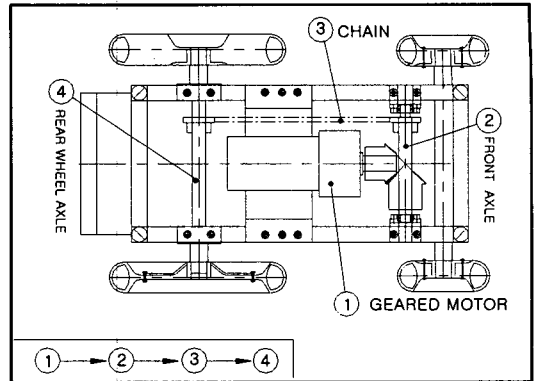


Fig. 6 Schematic diagram of power transmission.

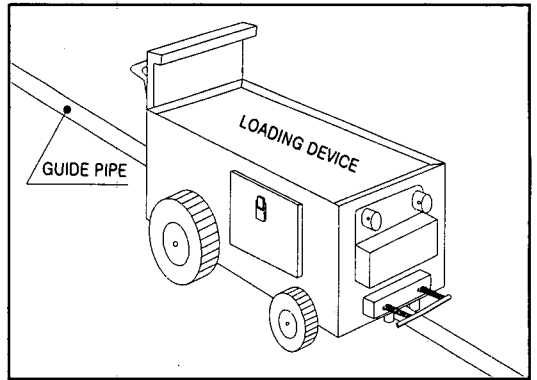


Fig. 7 Loading device for transportation.

에서와 같이 모터 축과 모터 축에 직교하는 축을 설치하여 양 축에 베벨 기어를 가공하여 결합하고 모터와 직교하는 축의 일단과 후륜 축에 각각 스프로킷을 설치하여 체인에 의해 후륜 축을 구동하도록 하였다.

마) 약액탱크 및 콘테이너 탑재 장치

그림 7에 개발한 시작기의 약액탱크 및 콘테이너를 탑재할 수 있는 탑재 장치를 나타내었다.

수확물 및 비료 등의 운반을 위해 방제 작업을 하지 않을 때에는 약액 탱크를 해체하고 콘테이너를 탑재하도록 제작하여 시작기의 다목적 이용에 의한 연간 이용 시간을 확대할 수 있게 하였다. 또한 이 콘테이너 탑재 시스템의 크기는 수요에 따라 크게 제작할 수 있다.

(2) 약액탱크 및 약액 분사장치

가) 착탈식 약액탱크

약액탱크는 착탈식으로 설계하여 운반시에는 약액탱크를 분리시키고 운반 컨테이너를 탑재하도록 제작하였다. 약액탱크는 전장 780mm, 전폭 330mm, 전고 350mm로 하여 용량이 80ℓ로 하였으며 탱크의 상부에는 주수구를 하부에는 배수용 코크를 설치하였고 농약에 의한 부식 방지를 위하여 스테인레스강으로 제작하였다.

나) 약액 분사장치

약액 분사장치로서 약액 분사펌프 구동용 모터와 약액 분사펌프를 그림 8에 나타내었다. 약액 분사펌프는 재질이 동(銅)이고 여과기가 부착된 베인펌프로서 흡입관은 약액탱크와 연결하고 송출관은 분사관에 연결하여 농약을 살포한다. 약액 분무량은 57~475 ℓ/hr, 분사 압력은 최대 18kg/cm²의 범위 내에서 조정할 수 있다. 또한 분무 펌프의 여과기는 100메시 와이어 스크린(mesh wire screen)으로서 단면적이 20cm²이고 중량이 1.25kg이다. 분사 펌프 구동용 모터는 24V, 0.4kW 출력의 DC 모터이다.

다) 수평·수직 살포용 분무관

시작한 분무관을 그림 9에 나타내었다. 분무관은 스테인레스강을 사용하여 약액에 의한 부식을 방지할 수 있게 하였으며 시설 내 작물별 재배 방법 및 물성 조사 분석 결과에 의해 길이 1,000mm로 하였다. 분무관은 그림에서와 같이 모터축의 회전으로 인해 수평, 수직 운동을 할 수 있도록 개발하여 외국의 수직 살포용과 달리 수평·수직 살포가 가능하게 하였다.

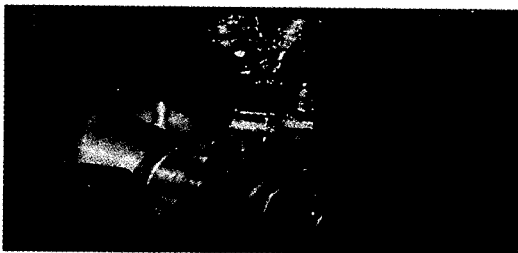


Fig. 8 Spraying pump.

였다. 따라서 초장이 작은 작물은 노즐이 작물 위에서 농약을 살포하고, 초장이 큰 작물은 고장에서 측면 살포가 되는 등 초장이 다양한 작물에 효과적으로 살포할 수 있다. 여기에서 사용한 모터는 전원 공급시 모터 축이 90° 회전하고 전원을 차단하면 다시 원래의 위치로 돌아오는 댐퍼모터를 사용하였으며, 수동조작에 의해 분무관의 수직상태에서 수평상태까지 사이를 임의의 각도로 조절할 수 있게 하였다. 분무관은 약액 살포시에는 장착하고 운반시에는 탈착하여 운반작업시 장애가 되지 않도록 하기 위하여 커프팅식으로 제작하여 착탈이 용이한 원터치식 착탈메카니즘으로 제작하였다.

노즐은 스톱 밸브가 내장된 확산 폭이 넓은 원추 공형 노즐로서 분사각은 분무관에 고정된 노즐헤드를 수동 조작에 의해 360° 조절이 가능하며 분무 압력이 15~25kg/cm²일 경우 분무량은 8~10 ℓ/min로서 주행속도에 관계없이 분무압력에 따라 일정량이 분사된다. 노즐 간격은 노즐의 확산 폭을 고려하여 분무관 1개에 4개의 노즐을 230mm 간격으로 설치하였다.

(3) 무인 주행 및 살포 제어장치

그림 10은 무인방제기의 구동제어회로를 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 모터 구동은 대전류용 릴레이(30A) 5개를 사용하여 ON/OFF 제어에 의해 정·역 회전을 하게 되고 이에 의해 전·후진을 하게 된다. 대전류 릴레이를 구동하는 제어용 릴레이는 4점점소용량 릴레이(3A)를 13개 사용하였다.

제어는 전파 리모콘에 의한 신호를 수신하여 정회전 1단(전진 1단), 정회전 2단(전진 2단), 약액살포

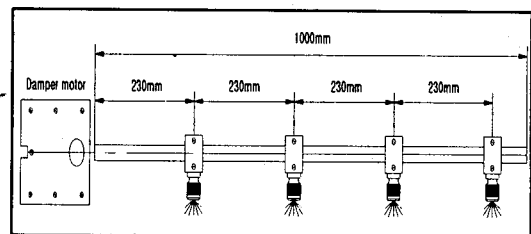


Fig. 9 Spraying pipe.

등을 수행하고 약액탱크내에 약액이 없을 경우와 배터리 방전 및 기체 접촉시 자동 정지 등의 특수 기능도 수행하도록 하였다. 또한 긴급한 상황시 비상 버튼을 누르면 릴레이로 들어가는 전류를 차단하여 모든 릴레이 작동을 정지시켜 안전장치로서의 역할을 하도록 하였다. 주행속도 제어는 배터리(24V-90A)로부터 공급되는 90A의 전류를 전진 1단에서는 12A, 전진 2단에서는 24A로 모터에 공급하여 저속·고속의 속도 제어가 가능하도록 하였다.

(4) 안전장치

그림 11은 무인방제기가 작업중 장애물에 접촉되

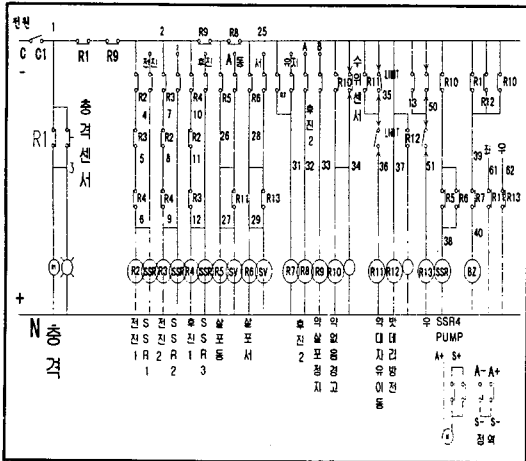


Fig. 10 Schematic circuit draw for power control.

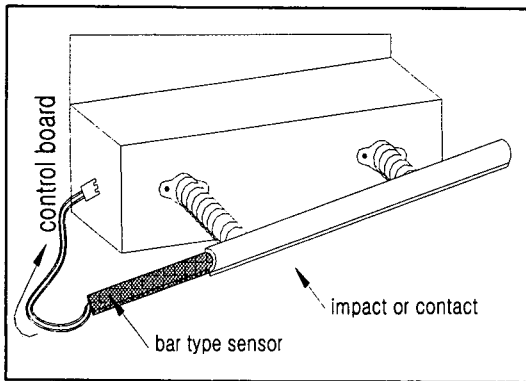


Fig. 11 Safety device.

었을 경우에 경고음과 함께 경고등에 붉은 불이 들어오면서 동시에 무인방제기가 자동으로 주행 및 분무를 정지하도록 한 안전장치로서 기체의 전부에 부착하였다.

그림에서와 같이 스프링에 지지된 충격 감지 봉속에 종이 두께의 얇은 센서가 내장되어 있어 이 봉이 장애물에 접촉되면 경고를 한다.

그외 안전장치로서는 배터리의 출력 전압을 체크하여 규정 전압 이하가 되었을 때와 약액수위 감지 센서에 의해 탱크내의 약액 수위가 규정 수위 이하로 내려갔을 때 경보음이 울림과 동시에 주행, 분무를 정지하도록 하였다.

나. 무인 주행 시험 방법

온실에 유도 파이프를 설치하고 전술한 시작기를 이용하여 저속 (0.25m/s) 및 고속(0.5m/s)에 대해 무인 주행을 실시하여 다음의 항목에 대해 측정하였다. 실험시의 토양은 함수비가 19.4%이고 점토 2.5%, 실트 23.4%, 모래 74.1%로 구성되어 미농무성법 (USDA)에 따라 사질양토로 분류되었다. 또한 약액 탱크내의 약액량은 60ℓ를 기준으로 하였으며 분사량 만큼 보충하면서 시험하였다.

(1) 유도 파이프의 설치 높이

온실 내에서 유도 파이프의 설치 높이를 2~12cm 범위에서 2cm씩 변화시켜서 시작기가 주행 유도 파이프 위를 무인 주행하는 사이에 주행 상태를 관찰하여 주행 경로로부터 이탈되지 않고 안정 상태로 주행 가능한 설치 높이를 구하였다.

(2) 시작기의 선회 반경

시작기의 선회 반경이 작을수록 주행 유도 파이프 설치 간격을 좁게 할 수 있어 유도 파이프의 설치 자유도가 크게 된다. 따라서 온실 내에서 선회 유도 파이프의 반경을 1.5~2.2m 범위에서 0.1m씩 변화시켜서 시작기가 무인 주행하는 사이에 주행 상태를 관찰하여 안정되게 선회 가능한 선회 반경을 구하였다.

이상의 실험은 각각 5회 반복하였으며 실험시 시작기의 무인 주행 상태를 본기가 주행 유도 파이프를 이탈하지 않고 원활하게 주행하는 상태를 안정, 경우에 따라 주행 유도 파이프를 이탈하는 상태를 약간 불안정, 주행 불가 상태를 불안정으로 평가하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 주행 유도 파이프 설치 높이에 따른 주행 성능

온실 내에서 시작기의 무인 주행 성능 시험을 한 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2의 상단은 유도 파이프의 설치 높이에 따른 무인 주행 성능 시험 결과를 나타낸 것으로서 표에서와 같이 최적 설치 높이는 6~8cm 범위였고 높이 12cm에서는 시작기의 본체가 주행 유도 파이프에 접촉되어 주행이 불가능하였으며 2cm에서는 주행시 궤도를 이탈하였다. 이와 같은 결과는 주행속도가 0.25m/s, 0.5m/s에서 동일하게 나타났다. 또한 주행 안정성 평가시 슬립률은 실험구간의 5회 평균값

으로 32.6%로 나타났다.

나. 시작기의 선회 반경 변화에 따른 주행 성능

온실 내에서 주행 유도 파이프의 선회 반경 변화에 따른 무인 주행 성능을 시험한 결과 표 2의 하단에서와 같이 선회 반경이 1.9m 이상에서는 선회가 양호하였고 1.7~1.8m 범위에서는 불안정하였으며 1.6m 이하에서는 시작기가 궤도를 이탈하여 선회가 불가능하였다. 이는 차동장치가 없기 때문에 선회 소요 반경이 크게되는 것으로 생각된다. 또한 주행 속도를 0.25m/s에서 0.5m/s로 증가시켰을 경우에는 선회 성능이 다소 우수하게 나타났다.

5. 요약 및 결론

하우스내의 방제 작업시 유해한 농약과 농용 기관의 배기가스로부터 작업자와 작물을 보호하고 운반 작업의 패적화에 의해 노동생산성을 향상시키기 위한 목적으로 방제 및 운반 작업 등 다목적 이용이 가능한 시설 재배 전용 무인 방제 및 운반 작업기 개발과 무인 주행 성능 시험에 관한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 조향장치는 전륜의 선회 반경이 작고, 정확한 선회를 할 수 있도록 좌우 바퀴를 링크 기구로 연결하여 선회시 좌우 바퀴가 동일 각도로 선회되도록 하였다.

2) 주행 유도 방법은 1개의 유도 파이프를 고랑에 설치하는 고정 경로 방식을 채택하고 주행 유도 안내륜을 제작하여 작업기의 전·후부에 부착함으로써 직진 및 주행 성능이 우수하고 가격이 저렴하게 되는 기계적인 주행 유도 기술을 개발하여 적용하였다.

3) 동력 전달 장치는 트랜스미션과 차동장치가 없고 기술적으로 안정되어 있는 형식을 채택하여 1개의 모터에 의해 구동하는 메카니즘을 개발하여 구조가 간단하고 가격이 저렴하며 제어가 용이하도록 하였다.

4) 분무관은 댐퍼모터를 이용하여 수평·수직 살포가 가능하도록 개발하여 초장이 다양한 작물에 효

Table 2 Result of unmanned traveling test

Specification		Stability	
		Velocity (0.25m/s)	Velocity (0.50m/s)
Height of guide pipe from the ground (cm)	2	×	×
	4	△	△
	6	○	○
	8	○	○
	10	△	△
Radius of turning (m)	1.6	×	×
	1.7	△	△
	1.8	△	○
	1.9	○	○
	2.0	○	○

○ : Perfect stable (never stops and never swerves from the guide pipe).

△ : Imperfect stable (sometimes stops and sometimes swerves from the guide pipe).

× : Unstable (cannot travel).

과적으로 이용할 수 있는 구조로 하였다.

5) 분무관은 약액 살포시에는 장착하고 운반시에는 탈착하여 운반 작업시 장애가 되지 않도록 착탈이 용이한 윈턴치식 착탈메카니즘으로 제작하였다.

6) 온실에서 무인 방제기의 무인 주행 성능 시험 결과 직진 및 선회부에서 안정된 주행이 가능하였다.

참 고 문 헌

1. 한국농기공업협동조합. 1990. 시설원예에서 유해가스 피해 및 대책에 관한 연구. pp. 9-62.
2. 농림부. 1998. 시설원예용 밧데리카식 무인 방제 시스템 개발 연구보고서. pp. 27-34.
3. 농촌진흥청원예연구소. 1998. 시설원예 생산비용 절감기술 심포지엄 자료. pp. 147-160.
4. 小堀 乃. 1977. 施設園藝における運搬作業の機械化. 日本農業機械學會誌 39(3):372-375.
5. 米村純一. 1978. 農藥撒布作業の災害防止. 日本農業機械學會誌 40(3):431-438.
6. 小島和雄. 1978. ハウス内の作業環境について. 日本農業機械學會誌 40(2):289-292.
7. 清水浩. 1992. 電氣自動車のすべて. 日刊工業新聞社. pp. 61-78.
8. 有光工業株式會社. 1996. アリミシ オートスプレカ取扱説明書.
9. (株)丸山製作所. 1997. 丸山シャトルスプレカ取扱説明書.