

An Automatic Transfer System of the Path for an Unmanned Machine in the Greenhouse

Kim, Chang-Soo* · Lee, Dae-Weon¹ · Lee, Seung-Kee²

*Dept. of Mech. Eng., Sangju National Univ., Sangju 742-711, Korea

¹Dept. of Bio-Mech. Eng., Sung Kyun Kwan National Univ., Suwon 440-746, Korea

²Dept. of Agricultural Eng., Kongju National Univ., Kongju 340-800, Korea

Abstract

Agricultural machine is currently operated by man power in the greenhouse, which is oppressively hot and humid, and is for a farmer not to work in comfortable circumstances. In the future, agricultural machine will not have to operate by man power, but it will need do by unmanned power. In order to put into the automatic and unmanned operation of agricultural machine, this system was designed and built to move through the fixed path in the greenhouse. This system was composed of guiders (wires), a limit switch, an operating equipment, its software for automatizing a machine in the greenhouse. The guider was connected between the wall pillars, and the equipment was able to slide over the fixed path made of the guider, by rectilinear and rotational motion. A micro mouse was developed with a stepping motor to calculate on the success rate of its operation with the system. As might be expected, this system with the micro mouse was moved the paths with a success rate of 100% on the flat plane surface in our laboratory. However, on the sand plane or the other material plane, the success rate was not better than 80%. If the micro mouse were well operated, the success rate would be 100%. Based on the results of this research, this system would be expected to operate well on the path made of a simple wire.

Key words: automatic transfer system, unmanned machine, cart

*Corresponding author

¹⁾ 본 연구는 '99 상주대학교 산업과학기술연구소 과제로 수행되었음.

서 론

대부분의 기계 및 공정은 현재 점차적으로 무인자동화로 발전되고 있으며, 작업의 편리성을 강조하고 있다. 앞으로는 온실내의 농업기계도 무인자동화 시스템의 도입으로 인하여 누구나 손쉽게 작업설정을 하고 기계 스스로 원활하게 작업을 수행할 수 있도록 개선될 것이다. 우리나라의 온실은 과종기, 복합환경제어 시스템 및 양액관리 시스템 등 일부분만 자동화가 진행되었고 이식, 수확 및 운반 등의 작업은 아직도 노동력에 의존하고 있다. 경로 자동 변환 시스템을 활용한 대차시스템을 이용하면 비료 살포, 농약 살포 및 수확 작업 후 운반 작업에서 노동력을 감소시킬 수 있을 것이다.

온실에서 무인 자동화를 하기 위해서는 크게 두가지

로 나누어 개발되고 있으며, 하나는 시스템 자체가 자율 주행하는 것이고, 다른 하나는 작업기에 무인 자율 주행 시스템을 부착하는 연구이다. 전자에 해당하는 연구는 자율 주행을 이용한 무인 자동 방제기의 개발(Kim 등, 1997)과 송수신 장치를 이용한 현장에서 무선자동제어 시스템 개발(Kim 등, 1992)이 있으며, 후자에 대한 연구는 XY형 이동 시스템을 개발하여 온실에서의 이동 특성에 대한 연구(Kim 등, 1998)도 보고되어 있다.

본 연구에서는 온실에서 주행경로의 설정이 용이하고 제어가 수월한 고정 경로 방식을 이용한 자율 주행을 위하여 경로 자동변환 시스템을 개발하였다. 이는 경로설정 가이드를 온실 상부에 설치하여 온실의 형태, 고랑의 위치 등에 무관하게 주행 경로의 설정을 제어할 수 있는 경로 변환 시스템을 개발하기 위해 수행

하였다. 온실내 상부공간에 가이드를 설치한 후 이 가이드에 매달린 경로 변환 시스템에 의해 작업기가 일정 경로를 따라서 주행이 가능하도록 하였다.

재료 및 방법

1. 시스템 구성

경로 자동변환 시스템은 온실내 상부공간에 경로 설정 가이드를 설치하고, 경로 설정 가이드를 따라 지상부의 작업기가 주행 할 수 있도록 작업기에 주행경로 변환시스템을 부착하는 방식을 채택하였다. 경로 설정 가이드는 작업기가 온실 내부를 이동하는데 있어 설정한 방향으로 원활한 작동을 하도록 하였으며, 주행경로 변환시스템은 경로 설정 가이드에 부착하였다. 여기서 작업기는 변환시스템의 실험을 수행하기 위하여 마이크로 마우스를 이용하였다. 마이크로 마우스가 움직일 때 주행경로 변환시스템이 쉽게 작동되는지를 검증하기 위해서 설계 제작하였다.

Fig. 1은 경로 자동 변환시스템을 나타낸 것이다. 이 시스템은 횡축 가이드(연마봉)를 따라 주행할 때는 횡축 고정부의 움푹 파인 부분에 가이드가 접촉되어

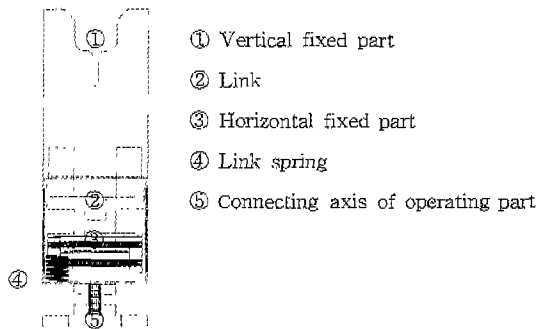


Fig. 1. An automatic transfer system.

주행한다. 이 때 종축 가이드를 만나면 횡축 고정부는 밀리면서 리미트 스위치가 접촉하게 된다. 그러면 링크부가 위로 작동하여 종축 가이드에 연결된 후 종축 가이드에 접촉되어 주행한다. 이 때 횡축 가이드를 만나게 되면 리미트 스위치가 접촉된다. 링크부가 아래로 작동하여 종축 가이드가 분리되는 것과 동시에 횡축 고정부의 움푹 파인 부분이 횡축 가이드를 접촉하여 주행하게 된다.

작업기의 주행부가 설정된 경로에서 벗어나려고 해도 경로 설정 가이드에 의하여 경로를 따라 주행하도록 Fig. 2와 같이 시스템을 구성하였다. 여기서 위 부분은 경로 자동변환 시스템이며, 아래 부분은 마이크로 마우스이다.

마이크로마우스의 구동부는 스테핑 모터를 이용하였고, 제어부에는 원칩을 이용하였다. Fig. 2와 Table 1에서 장치에 대하여 각부의 명칭과 크기를 나타내었으며 각각의 번호는 같은 부위를 나타내고 있다.

Fig. 2(a)에서 ⑧의 경로 설정 가이드는 직경 5 mm의 연마봉을 사용하였다. 이는 작업기의 직진성을 향상

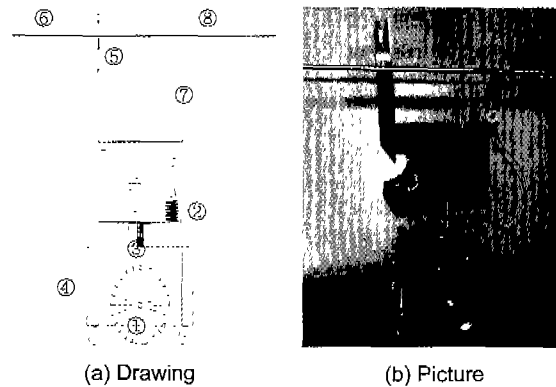


Fig. 2. The automatic transfer system and micro mouse.

Table 1. General description of the automatic transfer system and micro mouse.

	System width	System length ①	System height ②
Size of micro mouse	148 mm	170 mm	125 mm
	Wheel radius ③	Supported wheel radius ④	Wheel circumference
Size of micro mouse wheel	43.2 mm	13.5 mm	271.4 mm
	Horizontal ⑤	Vertical ⑥	Height ⑦
Size of automatic transfer system	144 mm	104 mm	106 mm
	Diameter	Height	-
Size of guide	5 mm	75 mm	-

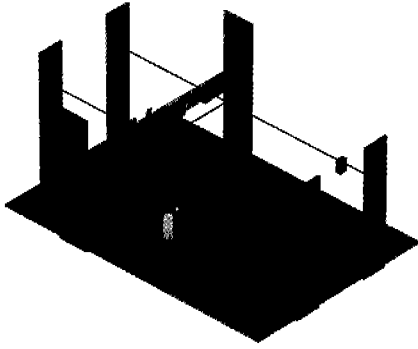


Fig. 3. Experimental equipment for automatic transfer system with paths.

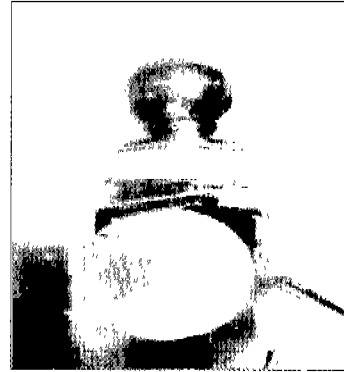


Fig. 4. Limit switch.

시켜 탈선을 방지하고, 주행경로를 고정해주는 역할을 한다.

본 시스템을 온실 내부에 설치하여 실험을 수행할 수 있지만, 이 변환시스템은 주행할 때 직각 회전 가능성을 측정하는 것이 주된 목적이기 때문에 Fig. 3와 같은 작은 직사각형의 실험장치를 제작하였다. 이 실험 장치는 프레스 보드를 이용하여 제작하였으며 경로설정 가이드는 연마봉을 사용하였다. 이는 실제 온실의 약 1/20 크기로 제작하였으며, 외형틀은 작동범위의 크기를 가로 2,500 mm 세로 1,100 mm로 하였다. 그리고 높이는 마이크로 마우스로 대신하였기 때문에 이 높이에 맞추어서 500 mm로 제작하였다.

Fig. 4에서 리미트 스위치는 경로설정 가이드의 횡축과 종축이 교차하는 지점에서 회전 부에 의해 작동하게 된다. 따라서 전·후 또는 좌·우 어느 방향에서든지 신호의 입력이 가능하도록 제작하였다.

경로 설정은 ‘ㄷ’자 모양으로 지정되어 있으므로 그 경로에 맞추어 그 회전 값을 우측방향으로 90°, 90°, 180° 회전 후에 그 역회전인 좌측방향으로 90°, 90°, 180° 회전이 가능하도록 초기 설정을 하였다. 다른 형

태의 경로에서 사용할 때는 데이터 값만 수정하면 어느 환경에서든지 적용시킬 수 있도록 하였다.

2. 주행 시스템

실험을 위한 주행 시스템은 경로 추종 가이드를 따라 종·횡 방향으로 이동할 수 있도록 마이크로 마우스를 제작하였다. 정확한 90°, 180° 회전을 제어하기 위해 바퀴에 2개의 스테핑 모터를 사용하여 구동하였다. 사용한 스테핑 모터의 제원은 Table 2에 나타냈다.

스테핑 모터의 제어는 모터 드라이브가 필요하기 때문에 SLA7024를 사용하였다. 사용한 모터 드라이브의 제원은 Table 3에 나타냈다.

3. 작업 환경 설정

작업 환경 설정의 주요 인자는 주행속도, 지면의 형태, 온실의 형태, 고랑 사이의 간격으로 하였다. 온실 내에서의 작업기는 고속주행이 필요하지 않지만 작업에 따라 작업 속도가 다르므로 주행 속도 또한 작업 속도에 의해 결정된다. 따라서 주행속도는 변화가 가능해야 하기 때문에 단계별로 속도 변화를 주어 온실

Table 2. Specification of stepping motor.

Model No.	Holding torque (kg · cm)	Current (A/phase)	Voltage (V)	Resistance (Ω/phase)	Rotor inertia (g · cm ²)	Overall length (mm)	Weight (kg)
NK266-02A	9	2	3.6	1.8	300	54	0.7

Table 3. Specification of motor control driver.

Model No.	Rating voltage	FET generating power inside press	Control voltage	T input voltage	Standard voltage	Generating power current
SLA7024	46	100	46	7	2	1.5

Table 4. Specification of main CPU.

Model No.	Specification
80C196KC	488 byte RAM
	20 MHz move
	28 branch intercept source/16 vector
	Total dual in serial port
	Behaviour structure 8bit / 16bit bus
	sample/hold ability 8/9 bit A/D convert
	232 byte register file
	5 branch 8 bit I/O port
	4 branch 16bit software timer
	16bit watch timer

상부 가이드를 따라 이동할 때 지면의 상태에 따른 주행 경로 추종 시스템의 효율성과 적합성 여부를 측정하였다. 즉, 대차시스템은 주행 속도에 따라 주행 시스템의 주행시 직진성을 얼마나 보장할 수 있는가에 대한 실험을 수행하였다.

지면은 완전 평면일 경우와 온실 내부의 지면이 고르지 못한 상태 등을 감안하여 평면프레스 보드, 흙 표면 및 모래 위의 3가지 바닥 형태로 나누었다.

4. 경로지정

고정 경로 방식은 사용자가 시스템의 사용 목적과 형태에 따라서 임의로 경로를 설정할 수 없도록 하였다. 그러나 온실 내부의 고랑사이 간격의 변화로 인하여 무인 자동화 시스템의 경로설정엔 변화를 주어야 할 경우에는 특별한 프로그램상의 변화 없이 경로 설정 가이드의 위치변화 만으로 이동할 위치의 변경이 가능하도록 하였다.

경로 설정 가이드는 좌우로 이동이 용이하게 설계를 하였기 때문에 간단한 조작만으로 손쉽게 위치의 변화가 가능하도록 제작하였다. 경로 설정 가이드의 위치변환 패턴을 Fig. 5에 나타내었다.

5. 모터 구동 프로그램

구동 소프트웨어는 가이드를 이용한 작업기의 경로 설정에 중점을 두어 프로그램을 구성하였다. 모터 구동 프로그램은 IC96-C 컴파일러를 이용하여 hex 파일로 변환시킨 후, MAX-232를 시리얼 케이블을 통해 구동 시스템의 메인보드의 RAM에 다운로드 시켜서 사용하였다.

모터 구동 프로그램은 시스템의 시작과 종료를 위해 모터 온·오프 함수, 한 스텝각(1.8°)만큼 스테핑 모터

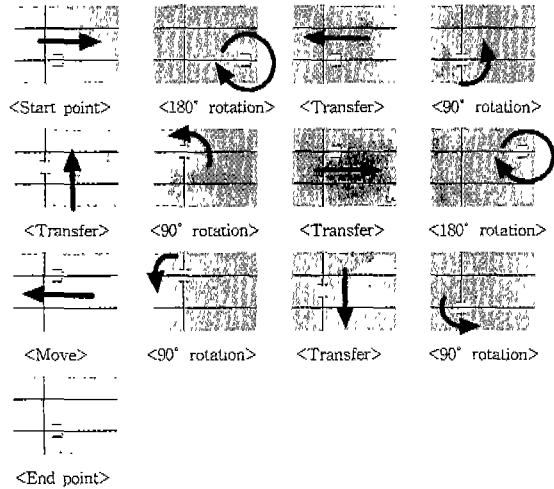


Fig. 5. Pattern to rotate and transfer the automatic transfer system.

를 구동시키는 원스텝 함수, 리미트 스위치로부터 입력을 받는 스위치체크 함수, 이동 방향을 전환하는 턴 함수 등으로 구성하였으며, 이 함수들을 호출하여 스테핑 모터를 구동시키는 메인 함수로 구현하였다.

모터를 작동하기 위한 메인 함수는 펄스수, 이동 방향, 리미트 스위치의 카운터 값을 이용하여 모터를 구동하였다. 이동 방향과 펄스수는 프로그램 상에서 수동적으로 수정하여 사용하였다. 리미트 스위치의 카운터 값은 대차 시스템의 이동 방향이 전환되어야 하는 지점에서 리미트 스위치로부터 실시간으로 직접 입력을 받았다.

마이크로 마우스는 리미트 스위치의 입력을 받고 펄스 수에 따라 90° 또는 180°로 제자리에서 방향만 전환 후에 직진하도록 하였다. 90°, 180°로 방향을 전환하는 펄스 수는 다음과 같은 식에 의하여 계산하였다.

$$1\text{펄스당 전진하는 거리} = \frac{\text{스텝각}}{360^\circ} \times \text{차바퀴둘레} \quad (1)$$

$$360^\circ \text{회전시} = 2 \times \pi \times \frac{\text{차축간의 거리}}{2} \times 1\text{펄스당 전진하는 거리} \quad (2)$$

$$180^\circ \text{회전시} = 2 \times \pi \times \frac{\text{차축간의 거리}}{2} \times 1\text{펄스당 전진하는 거리} \times \frac{1}{2} \quad (3)$$

온실내 무인작업기를 위한 경로 자동변환 시스템 개발

$$90^\circ \text{ 회전시} = 2 \times \pi \times \frac{\text{차축간의 거리}}{2} \times 1 \text{ 펄스당 전진하는 거리} \times \frac{1}{4} \quad (4)$$

마이크로 마우스의 차축간 거리는 132 mm이고 1펄스당 전진 거리는 스테핑 모터의 스텝각이 1.8°이므로 식 (1)에 의하여 1.357 mm 계산되었다. 마이크로 마우스가 180° 회전시에는 모터의 펄스를 식 (2)의하여 153으로 사용하였고, 90° 회전시에는 식 (3)에 의하여 76펄스를 모터에 입력하였다.

6. 실험방법

시스템의 주행시험은 시작한 위치에서 이동을 하여 정확한 위치로 이동이 이루어지는지 여부와 정확한 지점에서 선회성 및 직진성능을 시험하였다. 이 실험은 제작된 실험장치에서 ‘ㄷ’형 또는 ‘ㅌ’형의 경로이며, 실험에서는 ‘ㄷ’형 경로를 선정하였다. 마이크로 마우스의 주행은 좌측 하단에서 시작하여 각 방향 전환 지점에서 주행 경로 변환 시스템이 180°, 90°, 90°, 180°, 90°, 90°로 방향 전환의 선회성 및 직진성능을 시험하였다. 이 과정에서 직진성은 직진방향의 주행이며, 선회성은 회전의 안전성을 의미한다.

실험은 속도를 3단계(0.1 m · s⁻¹, 0.5 m · s⁻¹, 0.9 m · s⁻¹)로 바꾸어 실시하였고, 마이크로마우스 주행부의 지면 상태(평면, 흙, 모래)를 변화시켜, 실제 온실과 유

Table 5. Experimental design.

Velocity	Ground	Flat surface	Soil surface	Sand surface
Low speed (0.1 m · s ⁻¹)		TEST 1	TEST 2	TEST 3
Middle speed (0.5 m · s ⁻¹)		TEST 4	TEST 5	TEST 6
High speed (0.9 m · s ⁻¹)		TEST 7	TEST 8	TEST 9

사한 환경 조건을 맞추어 Table 5와 같이 실험 설계 하였다.

결과 및 고찰

무인 자동화를 위한 경로 자동변환 시스템의 주행 성능을 측정하기 위하여 작업기 대신에 마이크로마우스를 사용하였다. 작업기는 종류에 따라 작업속도 및 주행 속도가 다르다. 따라서, 마이크로마우스의 속도 변화에 따른 자동변환 시스템의 직진성과 선회성을 실험하였다. 지면의 형태는 완전 평면일 경우와 온실 내부의 지면이 고르지 못한 상태 등을 감안하여 마이크로마우스 주행부의 지면 조건들 평평한 프레스 보드, 흙 표면 그리고 모래 위에서 성능을 실험하였다.

경로 자동변환 시스템을 사용한 마이크로마우스가 고정 경로를 따라 직선 이동 및 선회를 하면서 출발

Table 6. Success ratio on the three surface.

Surface	Flat						Soil						Sand					
	0.1		0.5		0.9		0.1		0.5		0.9		0.1		0.5		0.9	
Variable number	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
1	6	1	6	1	6	1	1	·	2	·	2	·	2	·	6	1	2	·
2	6	1	·	·	·	·	1	·	6	1	6	1	2	·	6	1	6	1
3	6	1	6	1	·	·	2	·	6	1	6	1	1	·	2	·	6	1
4	6	1	6	1	6	1	1	·	1	·	1	·	1	·	6	1	6	1
5	6	1	2	·	6	1	2	·	2	·	1	·	2	·	6	1	2	·
6	6	1	6	1	1	·	2	·	2	·	6	1	6	1	2	·	6	1
7	6	1	6	1	1	·	2	·	2	·	6	1	2	·	6	1	6	1
8	6	1	1	·	6	1	1	·	6	1	2	·	6	1	6	1	6	1
9	6	1	6	1	6	1	2	·	6	1	1	·	1	·	6	1	6	1
10	6	1	·	·	6	1	1	·	6	1	1	·	2	·	6	1	6	1
Success number	10		6		6		0		5		4		2		8		8	
Success ratio (%)	100		60		60		0		50		40		20		80		80	

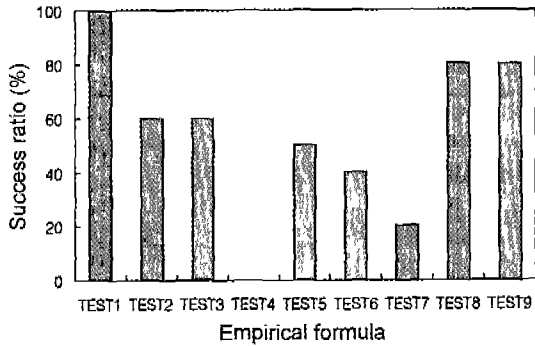


Fig. 6. Success ratio.

점으로 되돌아오는가를 실험하였다. 실험은 각각 10회 반복 측정하였으며, 그 평균치를 산출하였고, 이를 바탕으로 최적의 작업환경을 발견하였다.

Fig. 5에서 자동변환 시스템이 선화한 횡수를 N이라고 하였으며, 정상적 작동횡수를 B라고 하였다. 그래서 이 실험에서는 N의 최대값은 6이고, B의 최대값은 1이다. 직진 및 선화 주행에 있어서 문제점을 발견하지 못한 주행상태는 B와 N이 모두 최대값을 가질 때이다.

자동변환 시스템은 전복에 대하여 스스로 회복능력이 없기 때문에 직진성을 향상시킬 수 없었다. 주행 시험 TEST 1에서 즉, 마이크로마우스 주행부의 지면 조건이 평면, 저속($0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)의 상태에서 100%의 정확한 경로 추종 성공률을 얻을 수 있었다.

Fig. 7에서 지면 상태가 균일한 평면의 경우에는 저속으로 실험을 한 TEST 1에서 100%로 가장 높은 경로 추종 성공률을 보였으며 주행부 지면 조건이 흙 표면이고 저속($0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)인 TEST 4와 TEST 7의 경우에는 슬립이 발생하여 경로 추종 성공률이 낮게 나타났다.

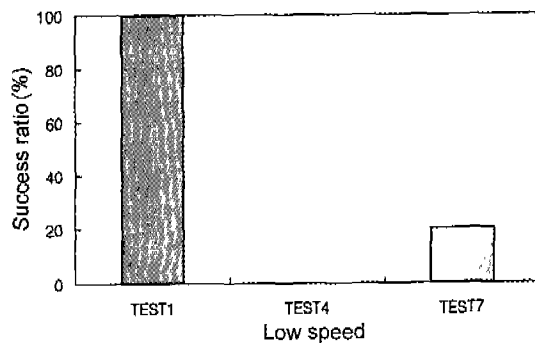


Fig. 7. Success ratio of low speed.

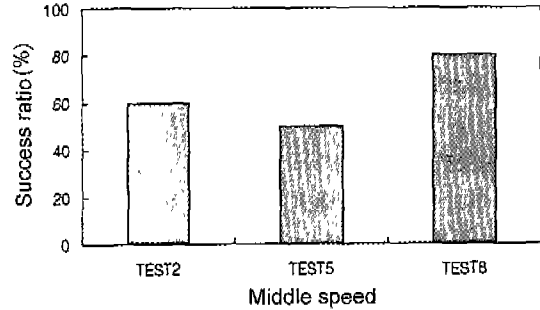


Fig. 8. Success ratio of middle speed.

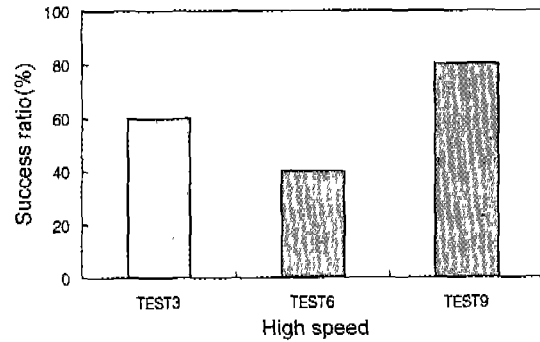


Fig. 9. Success ratio of high speed.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 흙과 모래에서는 저속의 TEST 4, TEST 7의 0%, 20%에 비하여 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 중속으로 주행 성능을 실험한 결과 TEST 5, TEST 8의 경우 각각 50%, 80%의 경로 추종 성공률을 나타냈다. TEST 8의 실험을 통하여 중속으로 주행을 할 경우에는 저속보다 균형성과 속도에 따른 추진력 향상으로 인한 안전성이 증가하는 것으로 판단된다.

Fig. 9에서 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 고속에서 주행 성능을 실험한 결과는 TEST 3, TEST 6, TEST 9의 경우 각각 60%, 50%, 80%로 나타났다. Fig. 8과 9를 통하여 살펴보면 속도가 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 증가해도 영향이 크지 않게 나타났다. Fig. 9를 통해 고속에서는 지면 상태가 모래인 경우에 평면과 흙 표면 일 때보다 균형성, 견인력 및 안정성이 증가하여 높은 성공률을 보였다.

Literature cited

1. Kim, C.S., K.H. Choi, S.T. Kim, and Y.B. Min. 1992. Development of a Wireless Control System for Rice

온실내 무인작업기를 위한 경로 자동변환 시스템 개발

- Transplanter of Walking Type. The Korean Society for Agricultural Machinery 17(1):45-54 (in Korean).
2. Kim, S.C., Y.D. Yun, and D.K. Kim. 1997. Development of Autonomous Sprayer for Greenhouse. The Korean Society for Agricultural Machinery 18-25 (in Korean).
3. Kim, C.W., and D.W. Lee. 1998. A Traveling Control System with the X-Y Table Actuator for Unmanned Operation in the Greenhouse. The Korean Society for Agricultural Machinery 23(2):157-166 (in Korean).

온실내 무인작업기를 위한 경로 자동변환 시스템 개발

김창수* · 이대원¹ · 이승기²

*상주대학교 기계공학부, ¹성균관대학교 생물기전공학과, ²공주대학교 농공학과

적 요

현재 온실에서 농작업을 하는 작업기는 사람이 운전하고 있다. 온실 안은 무척이나 무덥고 열악한 작업 조건이다. 그렇기 때문에 앞으로 무더운 온실내의 작업기 개발은 사람이 직접 운전하지 않고, 자동화에 의한 무인화 될 것으로 전망된다. 온실에서 자동화 및 무인화의 작업을 돕기 위하여 온실내의 경로(길)에 따라 자동적으로 이동할 수 있는 시스템을 개발하게 되었다. 이 시스템은 작업기의 자동화와 무인화를 위한 것이며, 이를 위하여 온실의 천장에 가이드를 연결한 후 이를 따라 시스템이 자동으로 이동할 수 있는 경로 자동변환 시스템이다. 이 시스템은 연마봉으로 만들어진 경로를 따라 선회 및 직선운동이 가능하며, 이 시스템은 경로 변경을 위한 리미트 스위치와 소프트웨어로 구성되어 있다. 이 시스템의 작동여부를 실험하기 위하여 스테핑모터를 가진 마이크로 마우스를 이용하였다. 견고한 실험실의 평면 위에서의 작동실험은 시스템 작동이 100%의 성공률을 나타내었지만 모래위나 다른 조건에서는 성공률이 80% 이하로 낮게 나타났다. 실제 온실에서도 충분한 강도를 가진 연마봉을 이용하여 처짐에 대한 부분을 고려하여 사용한다면 경로를 따라 주행하는 이 시스템은 잘 작동할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 경로설정 시스템, 무인 작업기, 리미트 스위치