

# 시설재배용 무인작업기를 위한 X-Y 테이블형 이동 시스템 개발\*

## A Traveling Control System with the X-Y Table Actuator for Unmanned Operation in the Greenhouse

김 채 응\*

이 대 원\*

정화원

C. W. Kim

D. W. Lee

### ABSTRACT

In this study, a traveling control system was developed to transfer a machine without an operator in the working zone. The dimension of the system was modeled to design and construct smaller than that of real configuration of a greenhouse. For this system, the fixed path type was used to detect exact position during operating a manless machine, and the X-Y table actuator type to escape a unique path, which had the disadvantage in a fixed path type environment.

Based on the results of this research the following conclusions were made:

1. This system used two screws to move toward horizontal direction, and a plate to reach at any points in the working zone.
2. The software combined the functions of path selection and motor operation to control into one program. The path selection program was a menu driven program written in Visual Basic, and the motor operation program was written in Borland C++ for actuating motors.
3. The path-select mode of the program was used by selecting the desired paths, and the user path-create mode by selecting a random path in the path-selection program.
4. The system proved to be a reliable system for operating a manless machine, since accuracy and precision to reach the positions were less than 1%.

### 1. 서 론

시설재배 농업의 작물재배 과정에서 자동화는 필수적이라 할 수 있으며, 작업기를 작물사이의 고랑을 따라서 원하는 위치로 이동할 수 있는 이동시스템의 개발은 필요한 기술이라 할 수 있다. 작업기의

자동이동이 이루어진다면 노동력의 감소 뿐 아니라 고온다습의 온실 내에서의 작업과정을 작업자가 외부에서 제어해 줄 수 있으며, 밀폐된 온실에 약제를 살포하는 등의 질식의 위험성이 있는 작업을 사람이 직접 하지 않아도 될 것이다.

지금까지 온실내 작업기의 이동 시스템은 작업차

\* 본 연구는 농림부의 농림수산특정연구과제 연구비 지원으로 수행되었음.

\* 성균관대학교 생물기전공학과

에 직접 부착하는 방식이었다<sup>1,4)</sup>. 따라서 시설재배농업이 전과정 자동화 혹은 식물공장의 형태로 발전되어 나아갈 때 모든 작업기에 이러한 시스템을 부착한다면, 작업기의 제작과정이나 경제적으로 부담이 될 것이다.

작업기 자체와는 독립적으로 분리되는 순수 이동 시스템을 제작하여 경로를 설정해 주도록 할 필요가 있다<sup>7)</sup>. 위치검출을 정확히 하기 위해서는 고정경로 방식을 채택하는 것이 바람직하다. 고정경로의 가장 큰 단점인 경로의 고정성을 보완하기 위하여 X-Y 테이블 방식을 이용할 필요가 있으며, X-Y 테이블 방식을 사용함으로써 작업기는 정해진 지역에서 원하는 어느 위치로도 이동이 가능하고 사용자가 임의로 경로를 선택하여 사용할 수도 있다.

시설내에서 작물의 종류나 기타 다른 상황들로 인하여 고랑의 위치가 바뀔 경우에 고정경로 방식은 레일 등의 설치물을 바꾸는 환경에 맞추어 다시 설치해 주어야만 한다. 그러나 X-Y 테이블 방식을 사용할 경우에는 별도의 설비적인 변화없이 구동 소프트웨어 상의 설정치의 조절만으로도 온실 형태의 변화에 적용시킬 수 있다.

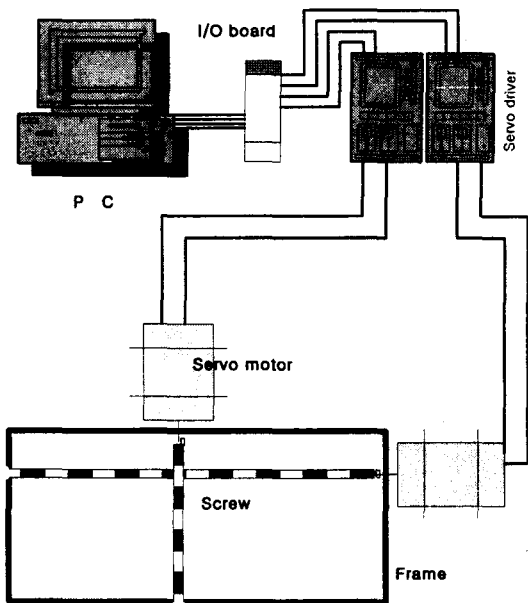


Fig. 1 Outline of the system.

X-Y 테이블은 바닥에 설치할 때 크기가 서로 다른 작업기의 운행이나, 같은 작업기라도 다른 작업을 수행할 경우 불편을 주기 때문에 천장에 설치하여 사용하는 방식을 선택하였다. 작업기는 천장의 X-Y 테이블에 연결하여 온실 바닥으로부터 떨어진 위치에서 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 이 때 작업기는 구동부와 전력 공급부가 불필요하기 때문에 최대한 경량으로 제작할 수가 있어 작업기 자체 하중에 대해서는 특별한 경우를 제외하고는 큰 무리가 없을 것으로 사료된다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. X-Y 테이블

#### (1) 구조

시설재배용 무인작업기를 주어진 길을 따라 자율 주행 할 때 가장 중요한 인자는 정확한 위치검출과 조향법, 직진성 등을 들 수 있다<sup>8)</sup>. 본 연구에서는 직진성과 위치 검출능력이 뛰어나고 선회시에 별도의 공간이 필요없고, 시설의 윗 부분에 설치해 주는 X-Y 테이블 방식을 이용하였다. 본 연구에서 제작된 시스템은 축소모형으로 제작하였다.

두 개의 스크류를 이용하여 두 방향의 직진 이동할 수 있도록 설계하였다. 각 스크류 끝에 모터를 부착하여 스크류의 회전을 통하여 동력을 전달하였다. 모터의 구동은 PC로 직접 제어하였으며, 이를 위하여 8255칩을 이용한 입출력 보드를 제작하였다.

#### (2) 모터

X-Y 테이블을 구동하기 위해서는 두 방향의 제어가 필요하며, 각 방향으로의 구동은 AC 서보모터를 이용하였다. 각 모터에는 인코더가 부착되어 있으며, 독립적인 서보 드라이버를 사용하였다. 서보 드라이버와 외부 컨트롤러와의 연결방법에는 펄스를 조절해 줌으로써 위치를 검출할 수 있는 펄스 입력형과 아날로그 신호를 입력하여 속도를 조절해 줄 수 있는 속도입력형의 두 가지 방법이 있다. 본 연구에서는 1회 구동시에 일정 속도회전으로 구동하기

위하여 펄스입력형 방식으로 구성하였다.

전원의 온 오프 (ON/OFF)시에 각 회로의 전원 및 신호송신 사이에 일정간격 이상의 시간을 두었다. 제어전원을 켜 후 정해진 시간간격이 경과하기 이전에 펄스입력신호를 주면, 서보 드라이버는 이를 무시하므로, 정확한 위치검출을 위하여 서보 온 신호의 입력 후 3초 이상의 간격을 두고 펄스입력신호를 보낼 수 있도록 하였다.

펄스열의 입력형태에는 반시계방향과 시계방향 형태와 펄스와 사인 (PULSE & SIGN)형태의 두 가지 종류가 있다. 반시계방향 회전시에는 B상 신호에

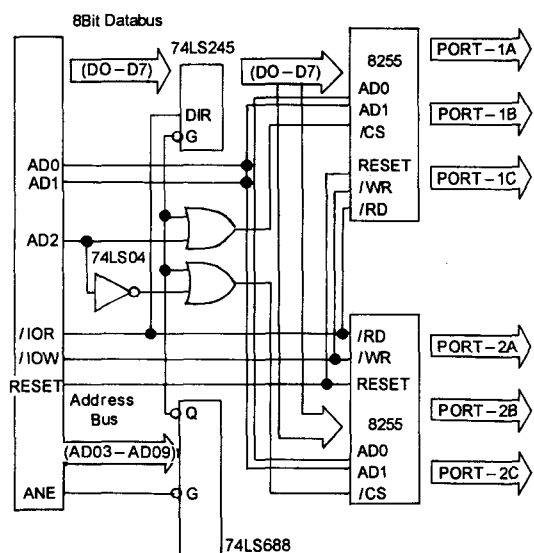


Fig. 2 Layout of an I/O interface board.

Table 1 Specification of AC servo motor

Item	Sepecfication (Unit)
Model	Deawoo 01CA
Nominal power	100 (WATT)
Rated torque	0.32 (Nm)
Rated velocity	3,000 (RPM)
Maximum velocity	4,500 (RPM)
Rated current	1.23 (A)
Resolution	2,000 (Pulse/rev)

높게(high) 하고 A상 신호에 펄스를 주며, 시계방향 회전시에는 A상 신호에 높게 (high) 하고 B상 신호에 펄스를 준다. 펄스와 사인 형태는 A상 신호에 펄스를 주며, B상 신호가 높게 (high) 할 때는 반시계방향 회전을 하고 낮게 (low) 할 때는 시계방향 회전을 한다. 본 연구에서는 펄스와 사인 형태의 펄스열 입력형태를 취한다.

### (3) 컴퓨터 입출력 및 모터 제어

모터를 PC에서 직접 제어할 수 있도록 8255칩을 이용한 I/O 인터페이스 보드를 제작하여 PC에 장착하였다. 입출력 보드에는 두 개의 8255칩을 사용하였으며, 각 칩에는 A, B, C, D 4개의 데이터 버스가 있다. 각 데이터 버스는 8핀으로 구성이 되며, D<sub>0</sub>~D<sub>7</sub>은 PC의 메인보드와 입출력 보드간의 데이터 버스이고 A, B, C는 입출력 보드와 외부와의 데이터 버스이다.

PC에서 사용자가 사용할 수 있는 포트의 어드레스는 200(Hex)~3FF(Hex)까지이며, 5개의 덤 스위치를 이용하여 베이스 어드레스를 설정해 주도록 하였다. 출력되는 모든 신호에 LS04 TTL 칩을 통과시켜 갑작스러운 주전원의 이상시에 모터와의 신호를 차단 시켜주도록 하였다. 서보온과 서보오프 신호는 24볼트의 전압이 필요하기 때문에 2803칩과 릴레이를 이용하였으며, 24볼트의 전원공급은 직류 전원 공급기(power supply)를 이용하였다.

### (4) X-Y 테이블

두 방향으로의 위치 이동을 위하여 두 개의 스크류를 사용하였으며, 장축의 길이가 2,000mm, 단축의 길이가 1,500mm이다. 각 스크류의 지름은 20m이고, 1회전당 수평이동 거리는 20mm이다. 스크류에 걸리는 하중을 최소화 시키고, 수평을 유지시키기 위하여 각 방향의 스크류의 양쪽에 지름 20mm의 샤프트를 수평으로 설치하였다. 각 샤프트에는 베어링이 들어있는 블록을 2개씩 장착하여 스크류와 연결시킬 수 있도록 하였다.

장축을 구동시키는 모터는 장축구동용 스크류바 끝에 설치하였으며, 단축 구동용 모터는 장축의 스

스크류와 샤프트블록에 연결되어 X방향으로 움직이는 플레이트를 제작하여 X-Y 테이블 시작기 위에 설치하여 단축 스크류의 끝단과 연결 시켰다. 단축 구동용 스크류와 샤프트 블록에 이동가능한 플레이트를 장착하였으며, 이 플레이트에 작업기를 부착시켜 사용할 수 있도록 하였다. 단축에 설치된 플레이트의 위치를 이용하여 위치검출을 하였다. 모터와 스크류는 플렉서블 커플링(Flexible Coupling)을 사용하여 모터축과 스크류를 연결하였다. 모터가 회전을 하면 플렉서블 커플링을 통하여 회전력이 스크류에 전달되고, 스크류가 이 회전력을 받아 회전을 하면 스크류 위에 설치한 플레이트가 수평 이동을 하게 된다.

나. 구동 소프트웨어

(1) 구조

구동 소프트웨어는 크게 두 부분으로 분류 하였으며, 한 부분은 화면상의 디스플레이 및 환경설정, 경로지정, 모드선택 등을 할 수 있는 경로 설정부이고, 다른 한 부분은 모터의 구동을 위하여 직접 하드웨어

어 포트 입출력을 담당하는 모터 구동부이다. 본 연구에 있어서 메인부는 디자인 과정이 쉽고 수정이 용이하며 사용이 간편한 비주얼 베이직을 사용하였고, 모터 구동부의 경우에는 하드웨어 포트 입출력이 용이하고 처리속도가 빠른 C++을 사용하여 작성하였다.

메인부와 모터 구동부간의 연결은 메인부에서 모터 구동부의 함수를 호출하여 주는 방식으로 하였으며, 이는 비주얼 베이직의 OLE 객체 삽입 기능과 외부영역 함수 호출 기능을 이용하여 개발하였다. 메인부에서 모터 구동부로의 함수 호출 인자는 이동거리, 이동방향, 이동속도의 세 가지로 하였다. 이동거리 및 이동속도는 메인 프로그램의 초기화면에 있는 환경설정 모드에서 사용자가 직접 설정할 수 있게 하였으며, 이동방향은 지정된 경로 이동 및 수동제어시 사용자가 실시간으로 설정해 주는 방향을 계산하여 결정되도록 하였다. 모터 구동함수는 메인 프로그램에서 모터의 구동이 필요할 때 메인 프로그램으로부터 호출을 받아 실행이 된다.

이동방향은 X-Y 테이블 위에서 두 개의 축에 각각 2방향으로의 이동이 가능하기 때문에 4가지로 구분하여 이를 메인 프로그램 내에서 수치화시켜 인자

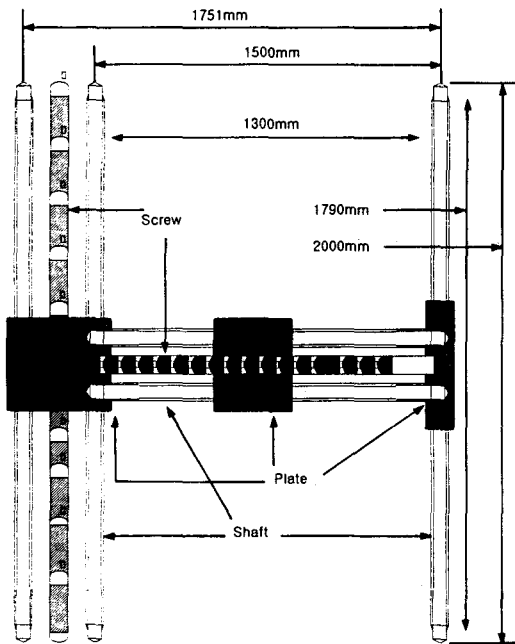


Fig. 3 Dimensions of X-Y table acuator.

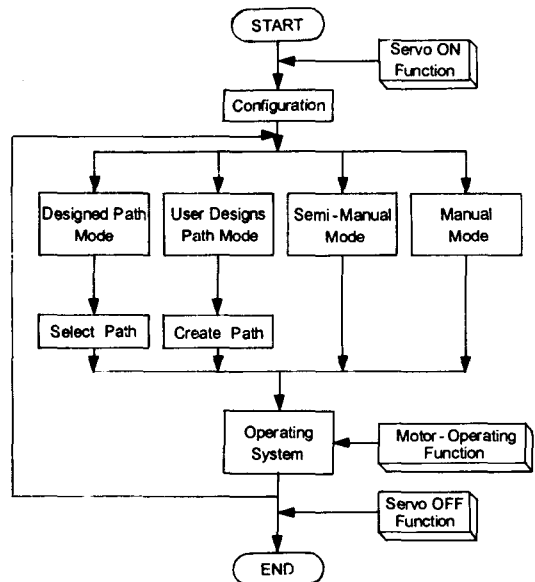


Fig. 4 Flowchart of main program.

로 전달하게 하였다. 이동속도와 이동거리는 메인 프로그램의 환경설정 모드에서 사용자가 직접 설정을 해 주도록 하였다. 이동거리는 메인 프로그램의 환경설정 모드에서 설정되어 있는 값을 직접 전달하게 되며, 모터 구동용 함수에서는 스크류 1회전당 수평이동거리와 모터의 회전수를 이용하여 계산하였다. 이동속도는 메인 프로그램의 환경설정 모드에서 설정해 주는 값을 직접 전달받게 된다.

(2) 환경설정

환경설정 모드에서는 시스템을 사용자가 원하는 대로 구동할 수 있는 정보를 입력할 수 있도록 하였다. 환경설정에서 지정해 줄 수 있는 인자는 세 가지로 이동속도, 가로·세로 고랑의 개수와, 가로·세로 고랑사이의 너비로 설정하였다. 본 연구에서는 최대고랑 개수를 5개로 하였으며, 프로그램 상수값을 변화 시킴으로써 최대 늘리거나 줄일 수 있도록 하였다.

고랑사이의 너비는 일정하다고 가정하였으며, 가로측과 세로측 고랑사이의 너비는 다르게 설정해 줄 수 있도록 하였다. 본 시스템에서는 가로측과 세로측의 최대 이동거리를 고려하여 고랑의 개수와 고랑

사이의 너비를 곱한 값이 최대 이동거리를 넘지 않도록 하였다. 고랑사이의 너비는 센티미터 단위로 설정할 수 있도록 하였다.

온실에서 작업을 하는 작업기의 경우에는 특별한 경우를 제외하고는 고속이동이 필요하지 않으며, 본 연구에서는 5 cm/sec에서 15 cm/sec 사이의 이동속도로 구동될 수 있도록 하였다. 속도는 최소속도와 최대속도 사이에서 4수준으로 구동할 수 있도록 하였으며, 이 값은 환경설정 모드에서 사용자가 설정하여 사용할 수 있도록 하였다. 이동속도의 설정도 고랑개수의 설정과 마찬가지로 프로그램 상의 상수를 변화시켜 최소속도와 최대속도를 변화시킬 수 있도록 하였다. 모터의 회전속도는 RPM 단위로 측정이 되며, 모터 1회전당 2cm가 이동이 되므로 이를 고려하여 개발된 시작기의 이동속도를 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{주행속도(cm/sec)} = \text{모터회전속도(RPM)} \times \frac{1}{60} \times 2$$

..... (1)

고랑의 개수와 고랑사이의 너비를 직접 설정하여 시스템에 바로 적용시킬 수가 있기 때문에 작업환경의 변화로 인한 시스템 교체없이 사용할 수 있도록 하였다.

(3) 경로지정 모드

일반적으로 많이 사용되는 경로를 프로그램내에 미리 저장하여 이러한 경로를 선택하는 경우에는 별도로 사용자가 경로를 지정할 필요가 없이 저장되어 있는 경로를 이용할 수 있도록 하였다. 기본적으로 저장되어 있는 경로 이외에도 사용자가 자주 사용하는 경로를 경로지정 모드안에 저장시켜 놓을 수 있도록 하여 사용자가 자주 사용하는 경로가 한 가지가 아니고 여러 가지의 경우에도 특별한 조작없이 PC에서 경로를 선택하여 쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 사용자가 선택한 경로를 화면에 이동 순서와 함께 표시하여 주었으며, 시뮬레이션 기능을 통하여 화면상으로 경로의 진행 방향과 순서를 점검할 수 있도록 하였다.

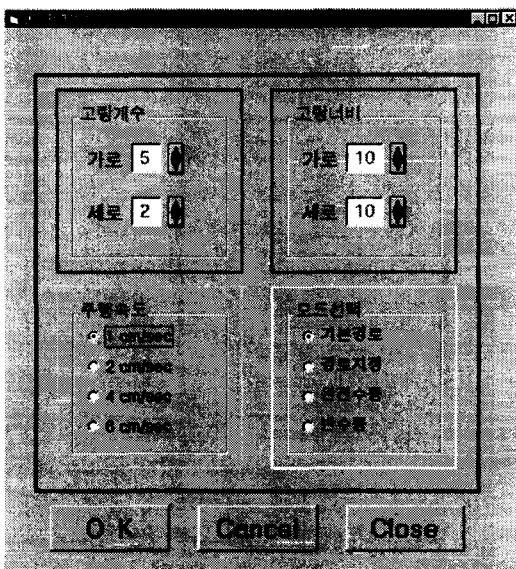


Fig. 5 Configuration of main mode.

**(4) 사용자 경로설정 모드**

사용자 경로설정 모드는 경로지정 모드에 저장되어 있지 않은 경로를 사용자가 임의로 지정하여 시스템을 구동시키고자 할 때 이용할 수 있다. 경로의 진행 단위는 가로축 및 세로축에서의 고랑과 고랑이 만나는 교차점들 사이이다. 시작점으로부터 다음 고랑들 사이의 교차점까지의 방향은 버튼을 조작함으로써 부분경로의 설정이 가능하며, 다음 번의 부분경로의 설정시에는 이전 단계에서 설정해 주었던 끝점이 다시 시작점이 되어 그 점으로부터의 부분경로를 방향설정 버튼으로부터 입력받게 하였다.

부분경로를 설정해 주는 과정은 PC의 화면상으로 디스플레이가 되며, 각 방향으로의 선택전에 미리보기 기능으로 사용자가 화면을 통하여 정확한 경로를 선택해 나아가고 있는지를 알 수 있도록 하였다. 사용자 경로의 설정이 완결된 후에도 시스템을 직접 구동시키기 전에 경로의 수정이 필요한 경우에는 경로를 시작점으로부터 다시 설정해 줄 수 있도록 하였으며, 간단한 마우스 조작만으로도 경로설정 및 수정이 가능하도록 하였다.

**(5) 반수동 모드**

반수동 모드는 모든 경로를 설정해 주어서 작업이 완료될 때까지 시스템이 자동적으로 이동을 시켜주는 방법과는 대조적으로 시스템을 동작시키면서 사용자가 상황에 맞게 실시간으로 방향을 설정하도록 하였다. 방향설정 버튼을 이용하여 이동방향을 결정해준 뒤 시작버튼을 사용하여 시스템을 이동시키며, 시스템이 직접 구동되기 전에 설정한 방향을 전후좌우의 4가지 방향으로 미리 디스플레이 해 주었다.

작업을 진행하면서 전체의 경로를 순서에 맞게 예측하기 어려운 경우에 반수동 모드를 이용할 수 있으며, 작업의 진행정도와 기타 작업환경 등을 사용자가 직접 확인을 하면서 국지적인 경로의 선택을 할 수 있도록 하였다. 사용자가 방향을 설정해 주면 시스템은 설정된 방향으로 다음의 교차점까지 자동적으로 이동을 할 수 있도록 하였다.

**(6) 완전수동 모드**

완전수동 모드는 이동거리를 시스템이 자동적으로 처리해 주지 않으며, 사용자가 직접 눈으로 확인하면서 정지시킬 위치에 도달하였을 때 정지시킬 수 있도록 하였다. 환경설정에서 설정해 주는 고랑의 개수와 고랑사이의 거리와는 무관하게 작동을 하며, 단지 사용자가 시작과 정지를 위하여 시스템에 전달하도록 하는 신호에 의해 구동이 되도록 하였다.

반수동 모드의 경우에 사용자는 방향만을 설정해 주면 되고 이동거리는 프로그램에 의해 자동으로 설정이 되는데 반하여 완전수동 모드에서는 사용자가 이동방향뿐 아니라 이동거리까지도 직접 제어를 해야 한다.

**(7) 모터 구동 프로그램**

모터 구동용 프로그램은 AC 서보모터의 작동을 시작할 수 있게 하는 서보온(Servo ON)함수, AC 서보모터의 작동을 정지시키는 서보오프(Servo OFF) 함수와 직접 모터의 회전을 담당하게 되는 모터 구동함수로 분류하였다. 모터 서보온 함수는 메인 프로그램의 실행시에 환경설정 모드가 로드되는 것과 동시에 호출신호를 받아 실행되며, 시스템이 구동되어질 수 있는 상태로 만들어 준다. 모터 서보오프 함수는 메인 프로그램의 종료 직전에 호출되어 시스템의 구동을 종료시킨 후 리턴이 되어 메인 프로그램이 종료될 수 있도록 하였다.

하드웨어의 베이스 어드레스(Base Address)를 200(Hex)로 지정을 해 주었으며 200(Hex)부터 203(Hex)까지는 장축을 구동시키는 모터의 신호 입출력 어드레스로 설정하였고, 204(Hex)부터 207(Hex)까지는 단축을 구동시키는 모터의 신호 입출력 어드레스로 설정하였다. 서보온/오프(Servo ON/OFF) 어드레스는 200(Hex)번지의 신호 입력으로 양축의 모터를 동시에 제어해 주었으며, 그 이외의 입출력신호 설정번지와 펄스 입력번지는 양축 모터에 대하여 독립적으로 설정하였다.

모터 구동 함수가 호출되면 가장 먼저 호출인자들의 입력을 받게 하였다. 입력받은 호출인자들을 사용하여 모터를 사용자가 원하는 속도와 거리, 방향으로 구동하도록 하였다. 모터 1회전당 펄스수는

1000으로 설정을 하였으며, 필요에 따라서 이 값을 변경하려면 모터 구동 프로그램에서의 상수값 변화로 쉽게 늘리거나 줄일 수 있도록 했다. 작업기의 갑작스러운 출발과 정지는 시스템에 충격을 가하게 되어 시스템의 고장 및 파손의 우려가 있다. 이를 방지하기 위하여 가속 및 감속을 행할 수 있는 프로그램을 작성하였다.

#### 다. 실험장치

시스템의 구동시에 정확한 위치로의 이동이 이루어지는지의 여부와 경로를 이동하고 난 후에 다시 정위치로 정확히 귀환하는지를 알아보아야 한다. 정밀한 측정이 요구될 때 레이저 스캐너(Laser Scanner)을 사용할 수 있다<sup>6)</sup>. 이를 위하여 작업기가 부착되는 위치에 직선으로 투사되는 레이저를 수직 방향으로 장착시켜 작업기 부착용 플레이트가 이동할 때 레이저가 수직방향의 바닥으로 투사되도록 하였다. 바닥에는 1mm 단위로 눈금이 표시되어 있는 눈금판을 제작하여 움직이지 않도록 바닥에 고정시켜 놓았다.

좌표는 시스템의 출발위치가 (0,0)이 되도록 하였다. 눈금판의 좌표는 (-20, -20)에서 시스템의 실제 이동거리인 (1500, 1000)보다 큰 (1600, 1100)까지로 하여 구동시에 실제 이동거리 밖으로 발생할지도 모르는 오차를 측정할 수 있도록 하였다. 1mm 단위 이하로 발생하는 오차는 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 0.1mm 단위로 측정을 하였다. 측정위치는 눈금에서 투사된 레이저광의 중점을 중심으로 하였으며, 투사된 레이저광의 지름은 약 0.5mm이다.

#### 라. 실험방법

1회 구동시에 두 방향을 모두 구동시켰다. 원하는 위치까지의 이동시에는 X방향으로 먼저 구동시킨 후에 Y방향으로 구동시켰다. 원점에서의 귀환시에는 진행해 온 경로와 반대경로를 가질 수 있도록 X방향으로 먼저 구동시켰다. X방향으로 300mm와 1,500mm의 2수준, Y방향으로 250mm와 1,000mm의

2수준 총 4개의 위치를 지정하여 실험을 하였다. 각 위치로의 이동과 귀환실험은 구동 소프트웨어상의 환경설정 모드에서 설정해 줄 수 있는 4가지의 속도 (5, 8, 12, 15 cm/sec)로 각각 실시하였다. 따라서 총 16수준에서의 위치검증 실험을 하였고, 각각의 경우에 10회 반복으로 구동 실험을 하였다.

측정은 이동거리를 기준으로 하였다. 지정위치로 이동했을 때의 위치를 측정하였고, 그 위치에서 다시 원점으로 귀환했을 때의 위치를 측정하여 원점과 비교하였다. 각각의 경우에 있어서 발생하는 오차를 중심으로 정밀도를 측정하였으며, 이동거리와의 관계로써 정확도를 측정하였다.

10회 반복 측정시에 오차의 평균은 양수와 음수가 모두 발생할 수 있기 때문에 산술평균을 사용하지 않고, 편차평균을 이용하여 구하였다. 정밀도는 각각의 측정위치에서 발생하는 편차를 가지고 계산하였다. 정확도는 실제 이동거리를 이동거리의 참값과 비교하여 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 편차의 측정

각 측정위치에서의 편차는 Y축 방향의 경우에는 거의 전 구간에서 1mm 이하의 오차를 보였고, X축 방향의 경우에는 약 0.3mm에서 3.0mm 사이의 편차를 보였다. 각 방향으로의 편차는 이동거리와는 상관없이 없는 것으로 판단이 되며, X축 방향의 오차가 크게 나타나는 것은 눈금판의 제작과정과 바닥에 고정과정에서 발생한 오차라 사료된다. X축의 편차가 같은 X좌표에서도 Y좌표에 따라서 차이를 보이는데, 이는 X축과 Y축의 고정시에 축간의 직각 정렬이 정밀하게 맞추어지지 않아서 발생한 오차라 판단된다. 이동속도에 따른 편차의 변화는 없었으며, 한 좌표에서의 속도에 따른 편차발생의 차이는 X축과 Y축 방향 모두 0.6mm 이내였고, 편차의 크기와 속도와는 무관한 것으로 판단된다.

좀 더 정확한 측정장비를 사용하고 좀 더 정밀하게 양쪽 축간의 직각 정렬을 맞추어 준다면 현재 발생중

Table 2 Average of absolute deviation at each point

Velocity (cm/sec)	Average deviation at assigned point (mm)							
	(300, 250)		(300, 1000)		(1500, 250)		(1500, 1000)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
5	0.42 (0.39)*	0.29 (0.31)	2.52 (2.57)	0.27 (0.33)	2.59 (2.60)	0.91 (0.85)	2.45 (2.46)	0.68 (0.65)
8	0.43 (0.37)	0.18 (0.28)	3.06 (3.06)	0.30 (0.35)	2.55 (2.55)	0.99 (1.00)	2.95 (2.93)	0.68 (0.63)
12	0.27 (0.30)	0.10 (0.14)	2.34 (2.37)	0.26 (0.38)	2.35 (2.29)	1.19 (1.18)	2.97 (2.97)	0.63 (0.57)
15	0.37 (0.35)	0.14 (0.25)	2.49 (2.50)	0.28 (0.29)	2.40 (2.43)	1.23 (1.20)	2.96 (2.97)	0.56 (0.46)

\* The values in the parentheses indicate the absolute deviations occurring at the starting position in return paths.

인 오차를 상당부분 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

나. 정밀도의 측정

시스템의 정밀도 측정값은 전 구간에서 1% 미만의 값을 보였고, 특히 Y축 방향으로의 정밀도의 값은 전구간에서 0.38% 이하의 값을 보이고 있다. 시스템의 정밀도는 상당히 좋은 것으로 판단이 되며, 현재 발생하고 있는 오차는 스크류와 각 베어링이 가지고 있는 고유의 허용오차가 크게 영향을 받는 것으로 보인다. 반복측정에 의한 오차는 거의 없는 것으로 판단이 된다.

X축의 정밀도가 Y축의 정밀도보다 낮은 이유는 시스템의 제작시에 X축 방향으로의 정렬이 Y축 방향으로의 정렬보다 조금 부정확하기 때문인 것으로 판단된다. 이동속도의 변화가 정밀도에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단이 되며, 시스템의 출발과 정지시에 사용한 가속과 감속은 잘 구동하였다. 좀 더 정밀한 축 정렬기술을 사용하고, 허용오차가 작은 스크류와 베어링을 사용한다면 현재보다 정밀도가 향상될 것으로 판단된다.

다. 정확도의 측정

시스템의 정확도 측정값은 거의 전 구간에서 양쪽 축방향 모두 1% 이하의 편차를 가지고 있다. 따라서 정확도도 상당히 좋은 것으로 판단이 된다. 한 위치(300, 1000)에서의 정확도가 다른 위치에서 보다 상대적으로 많이 낮은 이유는 양쪽 축간의 직각 정렬이 정확히 맞지 않아서 발생한 것이라 보이며, 정확한 계측장비를 사용한다면 정확도가 더 좋아질 것이라 판단된다.

한 위치(300, 1000)를 제외한 전 구간에서는 0.5% 이하의 편차를 보여 모터의 회전수 및 회전위치 제어에 있어서는 만족할 만 하였다. 편차의 측정 및 정밀도의 측정과 마찬가지로 정확도의 경우에서도 속도에 따른 변화는 없었다.

귀환시의 이동거리는 0.1mm 이하의 오차를 보였으며, 이는 모터가 정확한 회전위치를 유지하면서 회전하는 것으로 판단이 된다. 편차의 측정과 정밀도의 측정에서도 마찬가지로 귀환시에 그 위치로의 이동시와의 오차가 발생하는 것은 시스템 제작시의 정확한 수평 및 수직 정렬과정에서 생긴 기구적 오차와 측정시에 생긴 측정오차 때문인 것으로 판단이 되며, 이동거리와 이동속도에는 관계가 없는 것으로 판단된다.



Table 3 Precision at each point

Velocity (cm/sec)	Precision at assigned point (%)							
	(300, 250)		(300, 1000)		(1500, 250)		(1500, 1000)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
5	0.33 (0.42)	0.41 (0.28)	0.07 (0.06)	0.35 (0.35)	0.03 (0.05)	0.18 (0.21)	0.03 (0.04)	0.09 (0.15)
8	0.36 (0.49)	0.67 (0.28)	0.04 (0.06)	0.25 (0.27)	0.04 (0.03)	0.15 (0.15)	0.04 (0.05)	0.22 (0.24)
12	0.61 (0.40)	1.15 (0.90)	0.06 (0.08)	0.38 (0.24)	0.04 (0.03)	0.08 (0.08)	0.05 (0.07)	0.21 (0.26)
15	0.26 (0.49)	0.83 (0.66)	0.04 (0.04)	0.28 (0.33)	0.03 (0.05)	0.13 (0.11)	0.05 (0.05)	0.19 (0.31)

Table 4 Accuracy at each point

Velocity (cm/sec)	Accuracy at assigned point (%)							
	(300, 250)		(300, 1000)		(1500, 250)		(1500, 1000)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
5	0.10 (0.13)	0.12 (0.12)	0.84 (0.84)	0.03 (0.03)	0.17 (0.17)	0.36 (0.34)	0.16 (0.16)	0.07 (0.07)
8	0.14 (0.12)	0.07 (0.11)	1.02 (1.02)	0.03 (0.04)	0.17 (0.17)	0.40 (0.40)	0.20 (0.20)	0.07 (0.06)
12	0.09 (0.10)	0.04 (0.06)	0.78 (0.79)	0.04 (0.04)	0.16 (0.15)	0.48 (0.47)	0.20 (0.20)	0.06 (0.06)
15	0.12 (0.11)	0.06 (0.10)	0.83 (0.83)	0.03 (0.03)	0.16 (0.16)	0.49 (0.48)	0.20 (0.20)	0.06 (0.05)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 온실에서 사용하고 있는 작업기를 무인으로 동작하도록 하기 위한 궤도용 제어시스템 개발을 위해서 모형장치를 제작하여 개발 가능성을 확인하였다. 이 시스템은 실제 온실 구조의 크기보다는 축소된 형태로 설계 제작하여 실험하였다. 작업기가 무인이동을 할 때 가장 정확하게 위치를 검출하기 위하여 고정경로 방식을 설정하였으며, 고정 경로 방식의 단점인 경로의 한정성을 탈피하기 위하여 X-Y 테이블 구동시스템으로 설계 제작하였다.

이 시스템은 시설재배용 온실의 천장에서 이동하면서 평평한 온실에서 작업기가 농산물을 취급하기에 적합하게 시스템을 설계 제작하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 실제 온실에서와는 달리 구동축을 지지해 줄 수 있는 프레임을 모델화한 후 설계 제작하였고, 레벨링 풋(Leveling Foot)을 이용하여 수평을 유지하도록 하였다. 두 개의 스크류를 이용하여 두 방향 수평이동이 가능하도록 설계하였고, 이동 플레이트를 제작하여 시설내의 어느 위치로도 이동이 가능하도록 하였다. 모터의 구동은 각각의 독립적인 드라이버를

사용하였고, PC 사이의 신호 입출력을 위한 I/O 보드를 직접 제작하였다.

2. 구동 소프트웨어는 경로설정 프로그램과 모터 구동 프로그램으로 나누어 개발하였다. 경로설정 프로그램은 비주얼 베이직을 사용하였고, 모터구동용 프로그램은 C++ 언어를 사용하였다. 두 프로그램 및 하드웨어의 인터페이스는 비주얼 베이직의 외부함수 호출기능을 이용하였다.

3. 경로설정 프로그램은 다섯 부분으로 나누어 작성하였다. 이 중에서 경로선택 모드는 주로 요구되는 경로를 선택하여 사용하도록 하였고, 사용자 경로설정 모드는 사용자가 임의의 경로를 설정하도록 하였다. 사용자가 경로를 직접 설정해 줌으로써 고정경로 방식의 최대 단점인 경로의 한정성 문제를 해결하였다.

4. 위치검출 실험에서 정밀도와 정확도의 값이 모두 1% 이하로 측정이 되었으며 이는 작업기의 무인 이동에 무리가 없을 것으로 판단되며, 구동축의 설치때 수평 및 수직정렬을 정확히 맞추면 시스템의 정확도 및 정밀도가 0.5% 이내로 좋아질 것으로 사료된다. 또한 시설내에서는 저속 이동으로 대부분의 작업이 가능하기 때문에 15cm/sec 이하의 저속으로 실험하였으며, 이 범위에서는 위치검출에 영향이 없는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 김찬수, 윤여두, 김기대. 1997. 하우스용 무인자동 방제기의 개발. 한국농업기계학회 1997년 동계 학술대회 논문집. 18-25.
2. 류관희, 노상하, 고태균, 이기명, 이승규. 1996. 농업기계 분야의 신기술 개발과 전망. 한국농업기계학회지. 21(2):263-275.
3. 류관희, 조성인, 황 현, 최중섭. 1996. 생물생산을 위한 지능로봇공학. 문운당.
4. 이재환, 류관희. 1996. 온실용 자율주행 작업차의 개발. 한국농업기계학회지. 21(4):422-428.
5. 농촌진흥청 농업기계화연구소. 1996. 농업용 로봇 연구개발 동향과 전망. "농업용 로봇 연구개발 동향과 전망" '96심포지엄 발표문.
6. Flanagan, D. C., C. Huang, L. D. Norton, and S. C. Parker. 1995. Laser Scanner for Erosion Plot Measurements. Transactions of the ASAE 38(3):703-710.
7. Klassen, N. D., R. J. Wilson, and J. N. Wilson. 1994. Guidance System for Agricultural Vehicles. Pro-ceedings of VII World Congress on Agricultural Engineering: 1136-1142. International Commission of Agricultural Engineering. CIGR.