

# 果實收穫 로봇트에 關한 研究 (I)<sup>+</sup> —머니플레이터와 제어시스템 개발—

## Development of a Fruit Harvesting Robot (I) —Development of a Manipulator and its Control System—

柳 寬 熙\* 盧 祥 夏\* 金 東 祐\*  
K. H. Ryu, S. H. Noh, D. W. Kim,

### Summary

This study was carried out to develop an agricultural robot for fruit harvesting. As the first step an experimental manipulator and its control system were constructed. The articulated manipulator driven by DC motors has 3 degrees-of-freedom. The manipulator has a gripper adequate for fruit harvesting and an upper arm which forms a kind of guiding channel so that harvested fruit can pass through. Point-to-point control of joints are accomplished by a digital control system with a PID controller which consists of optical shaft encoders, power amplifiers using PWM, a microcomputer and a software. The microcomputer also computes the positions of manipulator and sequence of motions. The motion of the manipulator was so slow and rough that it would need further improvement.

### 1. 緒 論

로봇트는 제 1 차 石油波動 이후 産業 生産의 現代化를 위해 본격적으로 도입되었으며, 상품화되어 여러 분야에 이용되기 시작한 지 15년 이상이 지났다. 80년대에 들어서서 세계 여러나라에서는 농업 노동력의 감소와 인건비의 상승 등을 이유로 농업 분야에서도 로봇트의 이용 방안을 모색하기 시작하였으며, 농작업의 특성에 맞는 농업용 로봇트의 開發研究가 필요하게 되었다.

農業分野에서의 로봇트에 관한 연구는 耕耘作業, 果實收穫 및 分類作業, 農藥撒布 및 施肥作業, 林木 및 伐採作業, 家畜의 管理 등 단조롭고 힘이 드는 다양한 작업을 대상으로 이루어지고 있으며, 歐美와 日本 등에서는 이의 實用化에 관한 연구가 활

발하게 진행되고 있다.

앞으로 로봇트에 의한 果實收穫은 손으로 수확하는 방법이나 기존의 기계화에 의한 방법(예를 들어 trunk shaker 등)보다 경제적으로 有利해질 전망이 있다. 지금까지 개발된 과실 수확용 로봇트들은 사람에 비해 수확능력이 많이 뒤떨어지지만 1990년대에는 많은 개선이 이루어질 전망이다. 현재의 과실 수확용 로봇트는 대체로 知覺機能으로서 畫象處理(image processing) 시스템과 머니플레이터(manipulator)가 연결된 로봇트 시스템(robot system)이다. 그러므로 과실 수확용 로봇트를 개발하기 위해서는 이들 각각에 대한 연구가 선행되어야 하며, 이 분야에 대한 충분한 지식과 방법을 얻을 필요가 있다.

본 研究는 이러한 과실 수확 로봇트의 개발을 위

<sup>+</sup>본 연구는 1986년도 학술진흥재단의 첨단과학 연구비 지원에 의하여 수행된 것임.

\*서울대학교 농과대학 농공학과

한 기초 단계로서, 實驗機 水準의 과실 수확용 머니플레이터 및 이를 작동하기 위한 제어시스템을 개발하고, 이의 性能과 問題點을 檢討하는데 그 목적이 있다.

## 2. 材料 및 方法

농업용 과실수확 로봇은 산업용 로봇과 기본적으로 구조가 類似하다. 그러나, 농업용 로봇은 경제성이나 작업 특성 등을 고려할 때 타분야의 로봇에 비해 몇 가지 다른 특성을 생각할 수 있다.

먼저 과실수확 작업은 단순하며 작업 대상인 농작물이 다소 유연성이 있어 精巧한 동작이 크게 요구되지 않는다. 따라서 머니플레이터의 자유도를 비교적 작게 하여 作動機(actuator)의 수를 줄이고, 정밀도가 낮게 제작하는 것이 가격면에서 유리하다.

또한 구조적으로 과실수확에 적합한 형태를 갖출 필요가 있다. 가령 그립퍼(gripper) 부분을 크게 하고, 수확된 과일을 誘導管을 통해 移送시킬 수 있는 구조를 가지는 등을 생각할 수 있다.

수확작업의 특성상 自走型 로봇이어야 하므로, 무게가 가벼워야 한다. 작업 대상이 규격화 될 수 없으므로 플레이백(play back) 형태의 制御가 거의 필요없고, 많은 경우 知覺 機能(화상 처리 등)을 갖추어 자율적으로 對象物을 식별하고, 그에 따라 작동하는 智能 로봇일 필요가 있다.

### 가. 머니플레이터의 構成

본 연구에서는 自由度가 3인 3軸의 關節型 머니플레이터를 제작하였다. 그림 1은 머니플레이터의 外形과 크기를 나타낸 것이다. 머니플레이터의 윗팔은 수확한 과실이 통과해 나갈 수 있는, 속이 비어 있는 誘導管의 형태로 되어 있다. 유도관의 단면적의 크기는 80×80mm이고, 이는 수확할 수 있는 과실의 지름을 약 70mm 정도까지로 제한한다.

아래팔의 한쪽은 기어가 부착되어 있고, 그 기어의 중심은 어깨(shoulder)의 回轉軸上에 위치하며, 다른 쪽은 윗팔과 이어져 있다. 각 팔 및 어깨 전체는 허리를 중심으로 수평으로 회전하며, 그 驅動裝置는 베이스(base) 속에 위치하고 있다. 여기서 허리, 어깨, 팔꿈치의 回轉軸을 각각 軸 1, 軸 2, 軸 3이라고 하고, 그 驅動方式을 그림 2에 개략적

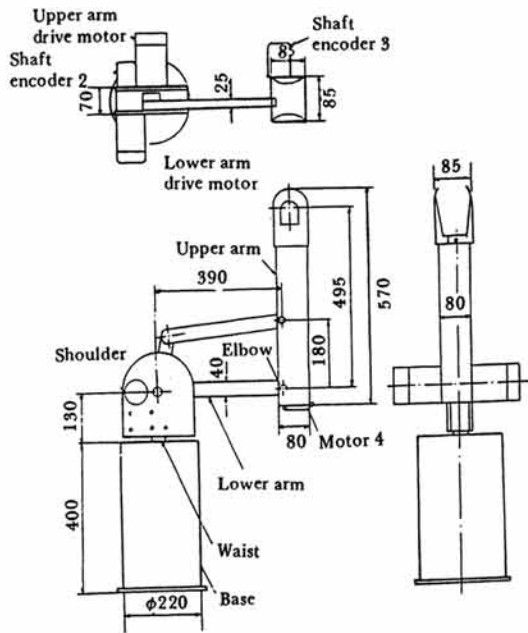


Fig. 1. Detailed configuration of the manipulator.

으로 나타내었다. 軸 1은 모터 1에서 20 : 68의 감속기어로 감속되어 허리를 구동하고, 軸 2는 모터 2에서 35 : 68의 감속기어로 감속되어 아래팔을 구동한다. 軸 3은 모터 3에서 AB, BC, CD의 4節 機構를 통해 윗팔을 구동한다.

또한 그림 2는 각 軸의 回轉位置를 檢出하기 위한 광학식 샤프트 인코더(optical shaft encoder)의 연결 위치를 보여주고 있다. 샤프트 인코더 1은 軸 1과 50 : 68의 기어로 연결되어 있다. 샤프트 인코더 2는 모터 2와 직접 연결되어 있다. 샤프트 인

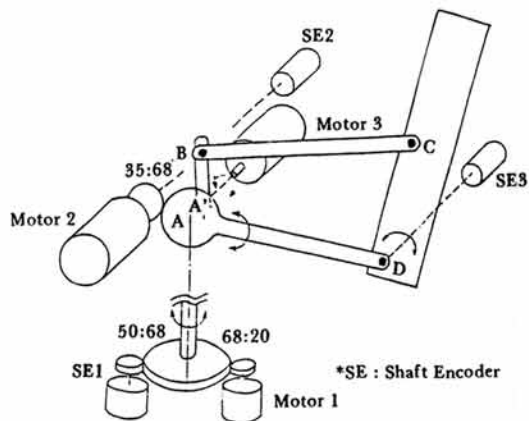


Fig. 2. Drive mechanism of the manipulator.

코더 3은 軸 3상에 직접 연결되어 있다.

그립퍼는 2개의 핑거(finger)로 구성되어 있다. 핑거는 길이가 145mm이고, 폭이 85mm이며, 끝이 안으로 약간 굽어 있어 과실을 감쌀 수 있는 형상으로 되어 있어서, 수확 작업 수행시 과실의 손상을 줄이고 또한 과실이 쉽게 빠져나갈 수 없게 되어 있다. 그림 3은 개략적인 그립퍼의 驅動方法을 나타낸 것이다. 그립퍼의 우측 핑거는 모터4에서 EF, DE, BD를 통해 4節連鎖로 구동된다. 좌측 핑거는 우측 핑거와 C점에서 BD와 슬라이더機構로 연결되어 작동된다.

나. 制御部의 構成

制御部는 그림 4에서와 같이 크게 모터를 구동하는 부분, 위치를 검출하는 부분, 演算하는 부분으로 나눌 수 있다. 각 축의 회전 위치를 검출하기 위한 인코더는 incremental 방식으로 TTL논리의 2相( $\phi A$ ,  $\phi B$ )의 出力 및 零點 出力(zero point output:  $\phi Z$ )을 가지고 있다. 인코더의 1 펄스에 해당되는 關節軸의 回轉角度는 그 축이 가지는 가장 작은 誤差이

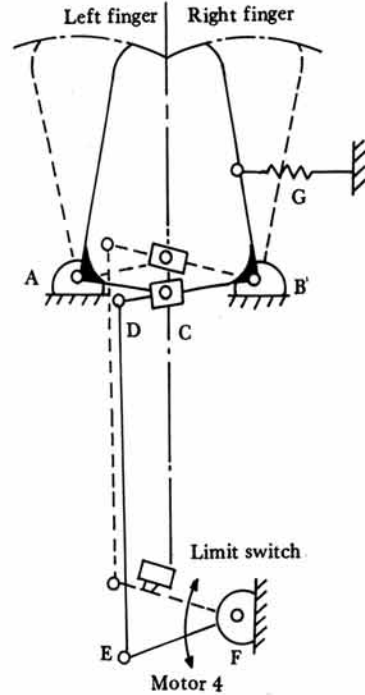


Fig. 3. Schematic diagram of the gripper mechanism.

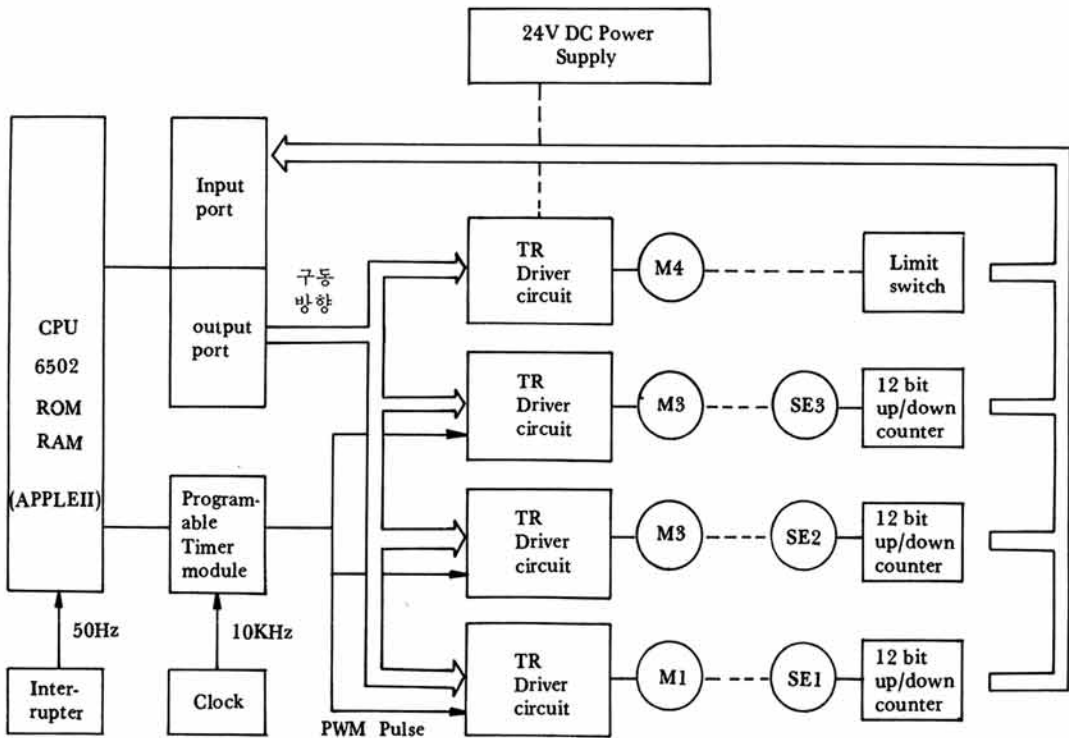


Fig. 4. Block diagram of the controller.

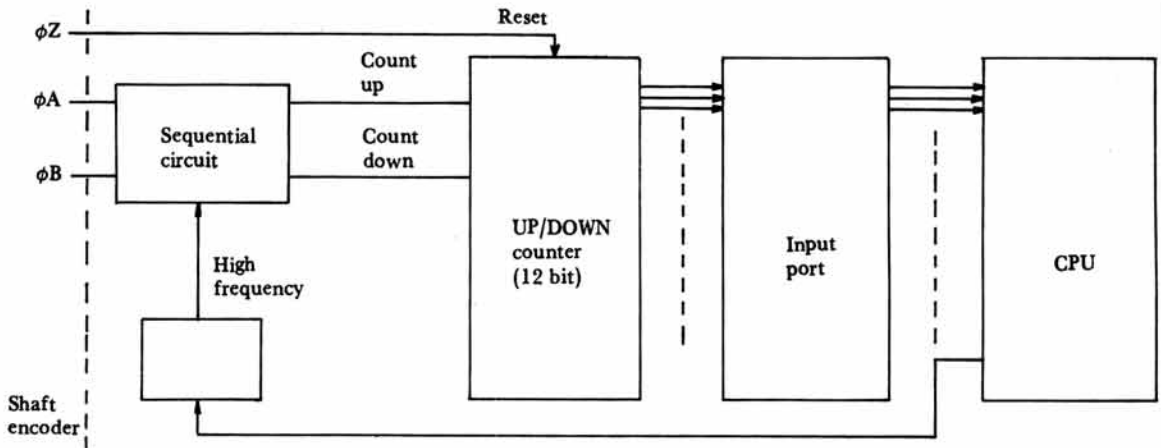


Fig. 5. Block diagram of the position hardware.

Table 1. Resolutions of shaft angular displacement at each joint.

Joint	S.E	Reduction Ratio	Resolution (Degree/Pulse)
1	600p/r*	68:50	0.44
2	600p/r	68:35	0.3
3	600p/r	1:1	0.6

\* pulse per revolution

며, 이는 그 축에서의 分解能이 된다. 表1은 각 관 절축의 分解能을 나타낸 것이다.

그림 5는 샤프트 인코더의 信號를 이용하여 각 축의 회전 위치를 검출하는 개략도를 나타낸 것이다. 인코더의 2상의 信號는 sequential circuit에서 카운트 업(count up) 펄스 또는 카운트 다운(count down) 펄스로 분리되어 12 bit의 업/다운 카운터(up/down counter)로 計數된다. 각 축의 영점 위치는 샤프트 인코더의 영점 信號( $\phi z$ )가 검출될 때이며, 이때 업/다운 카운터를 "0"으로 reset 하게 된다. 각 업/다운 카운터는 전원이 "off"시 데이터를 잃어 버리므로 매번 전원이 "on"한 직후에는 머니플레이터를 동작시켜 영점 위치를 일치시킬 필요가 있다.

농업용 로봇트에 있어서 이동형 로봇트는 電源을 탑재할 필요가 있으므로 消費電力도 또한 고려되어야 한다. 일반적으로 모터를 구동할 때 線形的인 파워 앰프(power amp)에 의한 제어보다 펄스 폭 변조(pulse width modulation, PWM)에 의한 제어

가 소비 전력면에서 더 효율적이다. 여기서는 일반적인 D/A 變換器 및 PWM 發生回路 대신에 타이머素子 (PTM6840)를 응용한 회로를 제작하였다. 그림 6에 모터의 구동 회로를 간략하게 나타내었다. 變調 펄스의 스위칭 週期 T는 100  $\mu$ sec를 사용하고 있고, 그 크기  $T_n$ 은 CPU가 PTM6840(Programmable Timer Module)에 써넣은 값에 따라 결정된다.

따라서 모터의 구동전원을 24V 단일 전원을 사용할 때 모터에 印加되는 평균 전압  $V_{av}$ 는  $24 \times T_n / T$ 가 된다. 모터의 회전 방향은 in1, in2 입력에 따라 트랜지스터 스위칭 회로에 의해 정해진다.

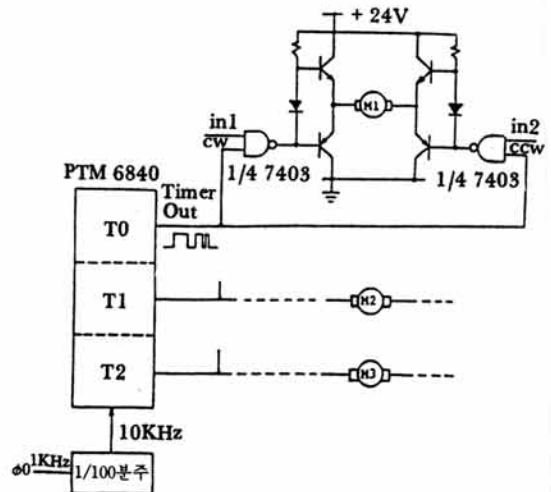


Fig. 6. Motor drive circuit.

다. 머니플레이터의 制御

1) 關節軸의 座標 計算(arm solution)

그립퍼의 作用點 P는 그림 7과 같이 圓筒形 座標系로 나타낼 수 있다. 이때 P(θ, r, z)는 關節軸의 座標(θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>, θ<sub>3</sub>)로 표현된다.

본 연구에서는 머니플레이터의 동작 순서가 θ<sub>1</sub>의 회전이 끝난 후 θ<sub>2</sub>, θ<sub>3</sub>의 회전이 이루어지도록 제어되므로, 원통형 좌표계를 사용하는 것이 컴퓨터의 計算量을 줄일 수 있어 편리하다. 여기서 θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>, θ<sub>3</sub>은 각각 식(1), 식(2), 식(3)으로 표현된다.

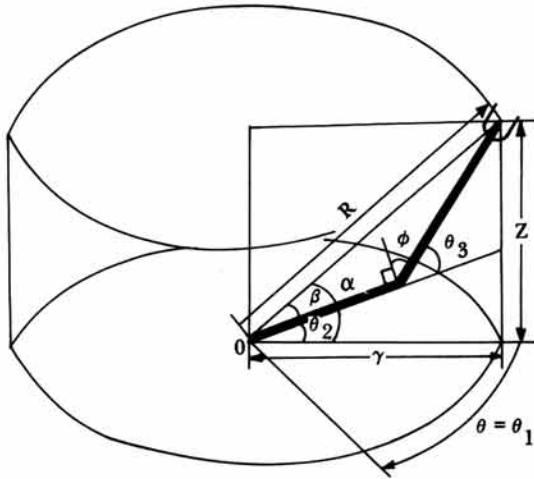


Fig. 7. Cylindrical coordinate of the manipulator.

$$\theta_1 = \theta, -\pi \leq \theta_1 \leq \pi \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta_2 = \text{atan} \left( \frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2} \right), -\frac{\pi}{2} \leq \theta_2 \leq \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta_3 = \pi - \text{atan} \left( \frac{\sin \phi}{\cos \phi} \right), -\frac{\pi}{2} \leq \theta_3 \leq \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,  $\sin \theta_2 = \sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$   
 $\cos \theta_2 = \cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$

$$\cos \alpha = \frac{r}{R}$$

$$\sin \alpha = \frac{z}{R}$$

$$\cos \beta = \frac{a_2^2 + R^2 - a_3^2}{2a_2 R}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta}$$

$$\sin \phi = \cos \left( \frac{\pi}{2} - \phi \right) = - \left( \frac{a_2^2 + a_3^2 - R^2}{2a_2 a_3} \right)$$

$$\cos \phi = \sqrt{1 - \sin^2 \phi}$$

$$R = \sqrt{r^2 + z^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{r}{R}$$

$$\sin \alpha = \frac{z}{R}$$

$$a_2 = 390 \text{ mm}$$

$$a_3 = 495 \text{ mm}$$

2) 收穫 範圍

그림 8에 머니플레이터의 수확 범위를 나타내었다. 머니플레이터는 그 구조에 의해 각 관절축의 동작 범위가 제한된다. 머니플레이터의 그립퍼의 작용점은 일정한 작업 범위(work space), 즉 수확 범위를 가지며 작동 프로그램 작성시 각 좌표가 이 수확 범위에 들도록 고려되어야 한다.

각 관절축의 회전 범위는 θ<sub>1</sub>의 경우, 전범위(-180° ≤ θ<sub>1</sub> ≤ 180°)를 가지며, 아래팔은 θ<sub>2</sub>가 -42.5° 지점에 스톱퍼(stopper)가 부착되어 있어 -42.5° ≤ θ<sub>2</sub> ≤ 90°의 범위가 되고, θ<sub>3</sub>의 범위는 윗팔을 구동하기 위한 4절 연쇄의 크기에 의해 제한되며, 55° ≤ θ<sub>3</sub> ≤ 136°의 범위를 갖는다. 그림 7의 r과 z는 OA가 340mm ≤ OA ≤ 780mm이므로 340 ≤ √(r<sup>2</sup> + z<sup>2</sup>) ≤ 780를 만족시켜야 한다.

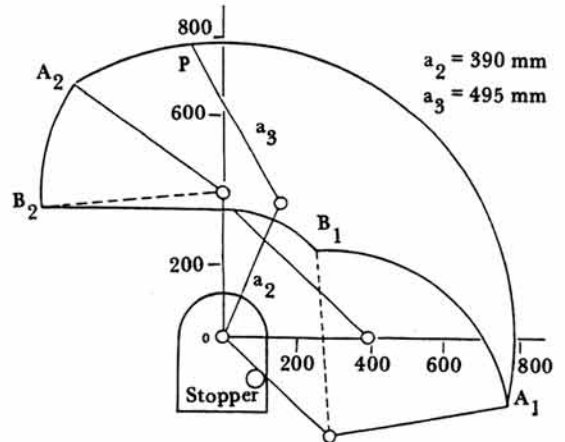


Fig. 8. Harvesting space.

3) 모터의 位置 制御

DC 모터에 印加되는 전압 V<sub>av</sub>는 식(4)로 표현되

며, 그때에 작용하는 토크  $T_m$ 은 식(5)와 같이 된다. 그리고 본 연구에서처럼 모터의 속도가 느리게 작동할 경우  $E_b$ 에 의한 효과는 무시할 수 있으며 모터 토크는 印加 電壓  $V_{av}$ 에 비례하게 된다.

$$V_{av} = R I_a + D_b \dots\dots\dots (4)$$

$$T_m = K_m I_a = \frac{K_m}{R} (V_{av} - E_b) \dots\dots\dots (5)$$

여기서,  $R$  = Resistance of armature of a DC motor

$L_a$  = Armature current

$E_b$  = Back EMF (electro modulo force)

$K_m$  = Constant

본 연구에서는 일반적인 모터제어 시스템과 달리 하드웨어적인 속도 피드백계가 생략되어 있어 속도를 制御 變數로 하는 位置 制御가 어렵다. 그러므로, 여기서는 荷重이나 摩擦 등에 의한 定常 誤差의 문제 등을 해결하기 위해 위치를 디지털 프로그램에 의한 PID(proportional integral derivative) 制御를 하고 있다. 일반적으로 PID 제어는 식(6)으로 표현되며 discrete form으로 식(7)과 같이 근사하게 나타낼 수 있다. 식(7)은 마이크로컴퓨터를 사용하여 소프트웨어적으로 간단히 실현된다.

$$T_m(t) = K_c [\theta_d - \theta(t)] + K_i \int_{t_0}^t [\theta_d - \theta(t)] dt - K_d \dot{\theta}(t) \dots\dots\dots (6)$$

$$T_m(i) = K_c [\theta_d - \theta(i)] + K_i T \sum_{n=0}^i [\theta_d - \theta(n)] - \frac{K_d}{T} [\theta(i) - \theta(i-1)] \dots\dots\dots (7)$$

여기서,  $\theta(t), \theta(i)$  = 현재치

$\theta_d$  = 목표치

$K_c, K_i, K_d$  = Servo gains

$T$  = 샘플링 주기

4) 머니플레이터 作動 프로그램

그림 9는 위의 機能을 포함하는 주프로그램을 나타낸 것이다. 작동이 시작되면 먼저 入出力 機能들은 각각의 형식으로 初期化되고, 카운터의 數值도 각 關節軸의 실제 위치와 일치시킨다. 다음은 지각 기능시스템(화상처리 시스템 등)과 같은 외부로부터 수확 위치를 나타내는 目標座標가 入力되어야 한다. 또한 목표 좌표는 실제 위치의 좌표 외에도 그 위치에서의 그립퍼의 동작(open or close)도 지시되어야 한다.

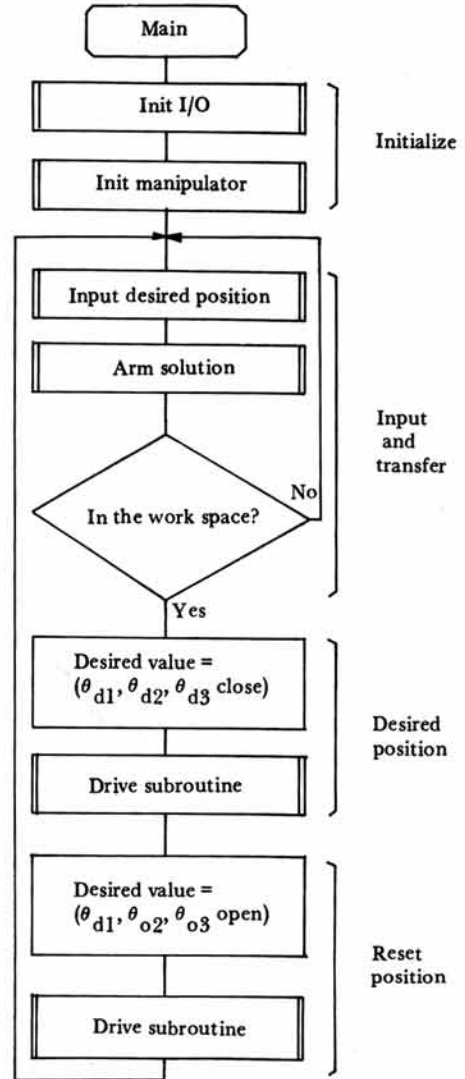


Fig. 9. Flow chart of the main program.

위치좌표 ( $\theta, r, z$ ) 및 그립퍼의 동작은 관절축의 좌표 ( $\theta_{d1}, \theta_{d2}, \theta_{d3}$ )와 그립퍼의 동작으로 변환된다. 각 좌표는 또한 수확범위 내에 있는가 판단된다. 그리고 나서, 정해진 순서에 따라 變換된 좌표로 각 관절이 구동된다.

수확 작업을 위한 동작은 [위치입력→좌표변환→목표위치→대기위치]의 순서로 되풀이 된다. 여기서 대기 위치는 과실 수확후 되돌아 오는 위치 ( $\theta_{d1}, \theta_{o2}, \theta_{o3}$ )와 그립퍼의 닫힘이다. 그립퍼가 과실을 잡기 위해서는 그립퍼의 作用點 P의 左右 핑거 사이에 과일이 들어와야 하며, 이는 관절축 2와 3이 동작

하는 平面 위에 과실이 위치해 있어야 함을 뜻한다.

따라서, 머니플레이터를 구동하는 子프로그램은 關節軸 1이 먼저 동작하여 과실이 축 2와 3의 平面 위에 있게 되면 축 2와 3이 동작하고, 각 축의 동작이 전부 완료되면 그립퍼가 동작하는 순서로 이루어져 있다. 각 축의 동작에는 또한 PID 알고리즘이 포함되어 있다.

#### 4. 結果 및 考察

##### 가. 머니플레이터의 性能

제작된 머니플레이터의 수확 가능한 과실의 최대 지름은 7cm였다. 과실을 수확할 수 있는 수직 범위는 약 80cm 정도이며, 수평 범위는 약 90cm로 나타났다. 머니플레이터의 重量은 약 30kg이었다. 머니플레이터가 어떤 위치에 도달했을 때, 주어진 목표 위치와 실제 위치 간에 誤差가 생기며 이는 각 關節軸의 分解能과 기계적인 加工 精度, 엔코더의 誤差와 計數 誤差 등에 의해 발생한다. 엔코더의 分解能에 의한 각 關節軸의 오차는 축 1에서  $\pm 0.50^\circ$ , 축 2에서  $\pm 0.35^\circ$ , 축 3에서  $\pm 0.60^\circ$ 로 나타났다. 따라서 실제 그립퍼의 作用點에서의 오차는 각 팔의 길이를 고려하면 축 1에 의해 최대 6mm, 축 2에 의해 최대 2.1mm, 축 3에 의해 최대 5.2mm로 산출된다. 그러므로 엔코더의 분해능에 의한 作用點의 最大誤差는  $9.4\text{mm}(\sqrt{6^2 + (2.1+5.1)^2})$  정도가 된다. 그러나 축 2와 축 3의 동작은 소프트웨어적으로 오차의 허용 범위를 크게 하여 목표치에 빨리 도달할 수 있도록 하고 있다. 이 머니플레이터의 동작 시 最大 誤差는 2cm 정도로 나타났다. 또한 머니플레이터가 당길 수 있는 최대의 힘은 약 2kgf였다.

머니플레이터의 동작 방법은 point-to-point의 위치 제어이며, 동작시간은 어떤 형태의 實時間 制御나 trajectory planning을 하고 있지 않으므로 이동할 때 소요되는 시간은 대략적으로 축 1에서 5-10초, 축 2와 3에서 최대 10-15초 소요되었다. 전체적으로 한 週期的 수확 동작시간(대기위치에서 목표위치로 가서 과일을 잡고 다시 대기위치로 오는 시간)은 최대 40초 정도 소요되는 것으로 나타났다.

그림 10은 임의의 待機 位置( $\theta=0, r=310, z=310$ )에서 假想的 과실이 달린 지점( $\theta=0, r=410, z=500$ )까지 동작의 실례를 보여준다. 동작은 (a), (b), (c), (d)의 순서로 진행되며, 그립퍼가 열린 상태의 待機 位置에서 目標 位置까지 이동하고, 그 위치에서 그립퍼가 닫히며, 다시 대기 위치로 돌아오는(이동안 과실은 가지에서 분리되고, 유도관을 따라 통과함) 한 사이클의 수확 동작을 나타내고 있다. 또한 이 사이클은 매회 새로운 과실 위치가 주어질 때마다 되풀이 된다.

본 연구의 과실 수확용 로봇의 性能은 다음 표 2와 같이 요약할 수 있다.

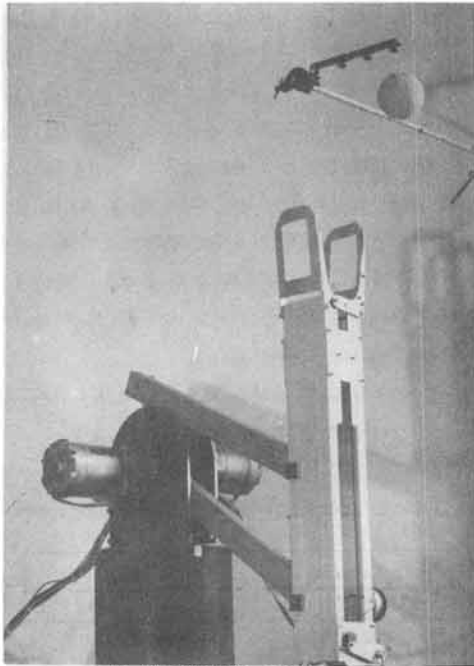
Table 2. Specifications of fruit harvesting robot.

Controlled axes	3 DOF
Max. size of fruits	7 cm
Max. vertical harvesting range	80 cm
Max. horizontal harvesting range	80cm
Type of control	Point-to point position control
Actuator	DC moter
Position accuracy	$\pm 2$ cm
Max. harvesting cycle	40 sec
Weight	30 Kg

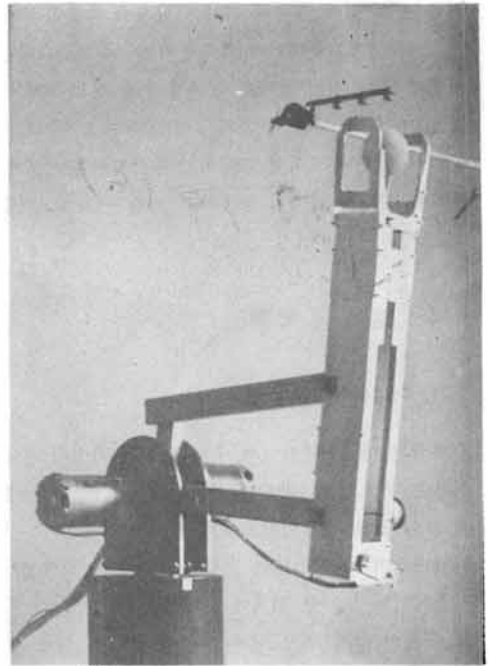
##### 나. 問題點

대부분의 산업용 로봇은 5軸 또는 6軸의 自由度를 가지고 있는 반면, 본 연구에서 제작된 과실 수확용 로봇은 공간좌표 상에 움직일 수 있는 최소의 自由度인 3軸의 關節로 구성되어 있다. 따라서 그립퍼가 과실을 집을 수 있는 방향은 임의로 제어될 수 없고 그 위치에 의해 결정된다. 결국 4축 이상의 자유도를 가지도록 만들어졌을 때와 비교해서 수확 작업시에 불리한 점은 있으나, 자유도를 줄임으로써 구조 및 제어가 간단해지므로 가격면에서 유리하다. 머니플레이터의 수확 범위는 될수록 넓고 과수의 외형과 어느 정도 일치하는 것이 바람직하다. 본 머니플레이터는 수확 범위가 좁고 그 모양도 상방향으로 치우쳐 있다. 유도관의 크기는 과실의 크기에 맞게 약간의 여유를 두어야 할 것이다.

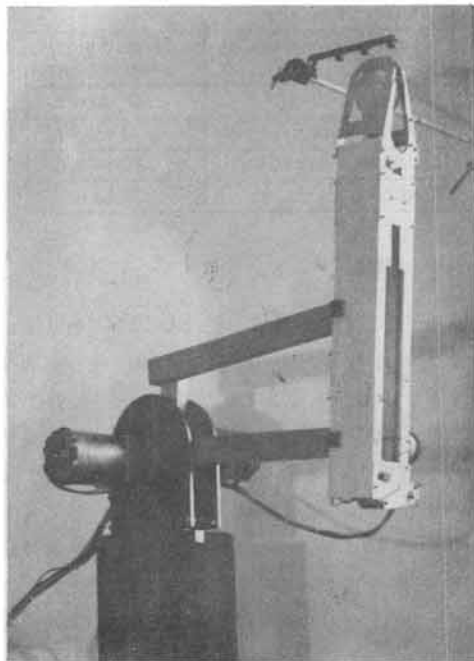
각 축의 동작시 가속 구간과 감속 구간을 두는



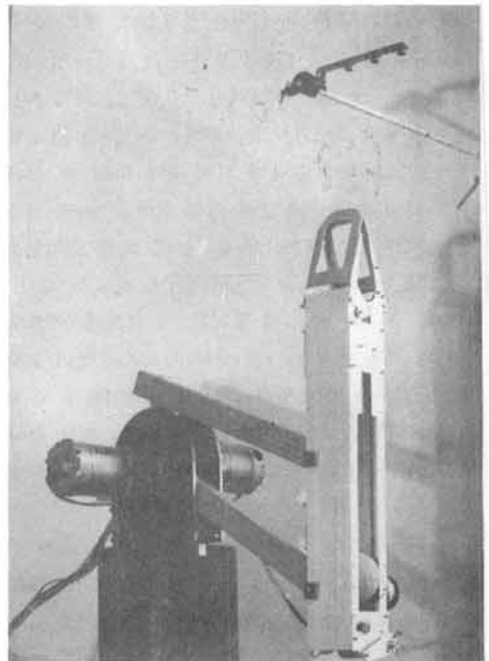
(a) (0, 310, 310, open)



(b)



(c) (0, 410, 500, close)



(d)

Fig. 10. The sequence of the manipulator motion to reach a given coordinate.

trajectory planning 을 행하고 있지 않으므로 출발 및 정지시에 나쁜 특성이 나타난다. 따라서 trajectory planning 은 고속의 연산 능력을 갖는 마이크로

로컴퓨터가 요구되며, 제어부가 복잡하게 되어 고가로 되지만 채용되어야 할 것이다. 또한 기계적인 가공 정도가 낮음으로 인한 관절축의 백래쉬(backla-



sh)와 정적 마찰에 의한 스틱 슬립(stick slip) 현상도 개선되어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 要約 및 結論

본 研究의 目的은 農業用 果實 收穫 로봇트의 개발을 위하여 實驗用 머니플레이터를 제작하고 이를 驅動하기 위한 제어 시스템을 개발하며, 그 성능을 살펴보는 데 있다.

제작된 머니플레이터는 3軸의 關節型으로서 DC 모터로 구동되며, 수확에 적합한 그립퍼와 수확한 과실이 통과할 수 있는 誘導管 形態의 팔을 가지고 있다. DC 모터는 트랜지스터 회로에 의해 PWM 방식으로 驅動된다. 각 관절의 위치는 光學式 인코더에 의하여 관절축에서 직접 또는 기어로 감속되어 검출된다. 머니플레이터의 座標計算 및 位置制御 등은 단일의 마이크로컴퓨터에 의하여 수행된다. 머니플레이터의 위치제어는 PID制御를 이용한 point-to-point 동작 방식으로 이루어지고 있다.

본 과실 수확용 로봇트의 문제점은 수확범위가 비교적 작으며, 머니플레이터의 동작이 느리고 원활하지 못한 점 등으로서 앞으로 개선이 요구된다.

## 參考文獻

1. Tuttle, E.G. 1983. Image controlled robotics in agricultural environments. Proceedings of the first international conference on robotics and intelligent machines in agriculture, October.
2. Bouvet, C. et. al. 1981. Des technique industrials poun robot agricole. Measures-Regulation-Automatisme.
3. Kawamura, N. et. al. 1984. Study on Agricultural Robot (1). Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery. 46(3):353-358. (in Japanese)
4. Kawamura, N. et. al. 1985. Study on Agricultural Robot (2). Journal of the Japanese Society of Agricultural Ma-

- chinery. 47(2):177-182. (in Japanese)
5. d'Esmon, A.G. 1985. Robotic Harvesting of Apples. Agri-Mation 1. ASAE Publication 01-85. pp.210-214.
6. Bradu, M. 1983. Basics of robot motion and control. Robot Motion
7. Snyder, W.E. 1980. Microprocessor-based path control. Robotics Age.
8. Paul, R.P. 1982. Robot manipulators. M.I.T. Press, Cambridge, Mass.
9. Chen, F.Y. 1986. Gripping mechanisms for industrial robots. In: Pham, D.T. and W.B. Heignbotham (ed.). Robot grippers. IFS (Publications) Ltd, UK. pp. 3-26.
10. Kuo, B.C. 1980. Digital Control Systems. Holt, Rinehart and Winston, Inc. pp.689-705.
11. Pham, D.T. and S.H. Yeo. 1984. Concentric gripping of cylindrical workpieces using quasi-parallel grippers. In: Pham, D.T. and W.B. Heignbotham (ed.). Robot grippers. IFS (Publications) Ltd, UK. pp.229-261.
12. Craig, J.J. 1986. Introduction to Robotics. Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. 303p.
13. Leveathal, L.A. 1979. 6502 Assembly language programming. McGraw-Hill, Osborn.
14. Kuo, B.C. 1979. Incremental motion control: Step motors and controls. SRL Publishing, Champaign, IL.
15. Millman, J. and C. Halkias. 1972. Integrated electronics. McGraw-Hill, New York.
16. Snyder, W.E. and G. Schott. 1980. Using optical shaft encoders. Robotics age.