

## 사과 수확 로봇의 핸드 개발(I)<sup>+</sup>

— 사과 수확용 로봇의 핸드 개발 —

## Development of Apple Harvesting Robot( I )

— Development of Robot Hand for Apple Harvesting —

章 益 柱\*

정희원

I. J. Jang

金 泰 漢\*

정희원

T. H. Kim

權 奇 榮\*

정희원

K. Y. Kwon

### ABSTRACT

The mechanization efficiency using high ability machines such as tractors or combines in a paddy field rice farm is high. Mechanization in harvesting fruits and vegetables is difficult, because they are easy to be damaged.

Therefore, Advanced techniques for careful handling fruits and vegetables are necessary in automation and robotization. An apple harvesting robot must have a recognition device to detect the positioning of fruit, manipulators which function like human arms, and hand to take off the fruit. This study is related to the development of a rotatic hand as the first stage in developing the apple harvesting robot. The results are summarized as follows.

1. It was found that a hand that was eccentric in rotatory motion, was better than a hand of semicircular up-and-down motion in harvesting efficiency.
2. The hand was developed to control changes in grasp forces by using tape-type switch sensor which was attached to fingers' inside.
3. Initial finger positioning was set up to control accurate harvesting by using a four step fingering position.
4. This study showed the possibility of apple harvesting using the developed robot hand.

**주요 용어(Key Words):** 사과 수확 로봇(Apple Harvesting Robot), 매니플레이터(Manipulator), 상하 반원 운동형 핸드(Semicircular up-and-down hand), 편심 회전 운동형 핸드 (Eccentric rotation hand), 영상 처리 장치(Image processing device)

### 1. 서 론

우리 나라의 경우 수도작에서는 트랙터 콤바인 등의 고성능 기계를 사용하여 작업 기계화율이 상당히

높은 수준에 달하고 있으나, 과일 및 야채의 생산에서는 기계화가 어렵고 장시간의 노동을 요하는 작업이 많으며 노동비도 매우 높다. 또한 농가 지출의 대부분이 노동비이고, 노동비의 비중이 높아 규모확대

+ 본 연구는 농촌진흥청의 1993년도 농업특정과제 연구비 지원으로 수행되었음

\* 경북대학교 농과대학 농업기계공학과

를 위한 수익 증대가 곤란한 상황이다. 이와 같은 상황에서 종래의 기계화 방법으로는 수행하기 어려운 작업과 노동 집약적인 작업, 고 작업 능률과 고정밀도를 요하는 작업 등을 자동화 및 로봇에 의해 해결할 수 있다고 생각된다. 농업용 로봇은 농작업을 자연 환경 하에서 수행하는 것이기 때문에 자연 환경, 작물 등을 인식하고 외부 환경의 외란에도 적응하면서 인간과 똑같은 작업을 하는 지능형 로봇이어야 한다. 특히 사과를 수확하는 사과 수확 로봇은 대상이 되는 작물이나 포장 조건이 일정하지 않으므로 외계를 감지하기 위한 인식장치를 가진 로봇이 필요하고, 일사조건이 변화하는 환경 하에서 과실의 3차원 위치를 검출하고 가지, 잎 등의 장애물이 많은 곳에서 사과를 수확하지 않으면 안되므로 일반 산업용 로봇과 달리 인간의 눈이나 손과 똑같은 작업을 할 수 있는 매뉴플레이터를 가지고 있어야 한다. 본 연구는 사과 수확 로봇 개발 과제중 그 첫 단계인 사과를 직접 잡아서 수확을 하는 핸드 개발에 관한 연구이다. 사과 수확 로봇용 핸드는 산업용 로봇의 그리퍼에 해당하는 부분이며 직접 사과를 잡고, 가지로부터 이탈시키는 부분으로서 사과를 손상시키지 않고 수확을 행하여야만 한다. 사과는 특성상 사과 꼭지를 절단하여 수확하면 병에 걸릴 확률이 높고, 또한 수확 과정에서 사과를 잡는 힘이나 가지와의 충돌 등에 의해서 사과의 손상이 발생하기 쉽다. 따라서 사과를 손상시키지 않고 수확할 수 있는 방법의 연구가 필요하다. 사람이 사과를 수확하는 방법에는 일정한 규칙이 있지는 않으나 대체로 2가지 유형의 수확 방법이 있다.

그 첫 번째 방법으로는 손가락으로 사과의 꼭지 부분에 있는 마디를 눌러서 마디가 힌지점이 되도록 해서 위로 젖히면서 수확하는 방법이고, 두 번째는 사과를 잡고 편심을 주어서 비틀어 회전시켜 당기는 방법이 있다. 본 연구에서는 상하 반원 운동을 행하여 수확 작업을 하는 핸드를 상하 반원 운동형 핸드라 하고, 편심 회전 운동을 행하여 수확 작업을 하는 핸드를 편심 회전 운동형 핸드라고 칭하였으며 이들 기구를 개발 제작하여 성능을 평가하는데 그 목적이

있다.

그리고 향후 개발된 핸드를 부착하여 수확을 행하는 매니플레이터에 관한 연구도 계속해서 보완, 진행되어져야 할 것으로 생각된다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 가. 상하 반원 운동형 핸드의 구성

그림 1과 같이 상하 반원 운동형 핸드는 사람이 직접 사과를 수확할 때의 운동 경로를 기계적으로 구상해서 장치를 제작한 것으로서, 사과를 쥐는 손가락 개폐 운동과 가지로부터 사과를 이탈시키는 상하 반원 운동으로 이루어져 있다.

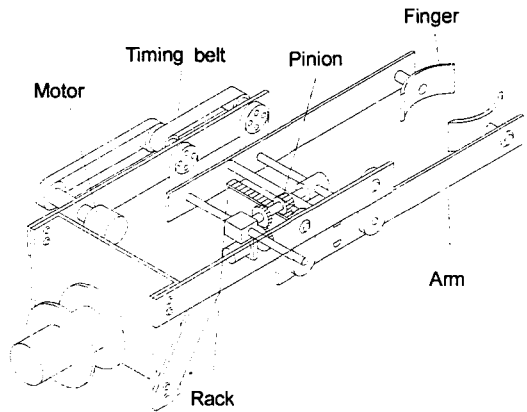


Fig. 1 Schematic diagram of semicircular up-and-down motion hand.

그림에서와 같이 사과를 잡는 손가락의 개폐 운동은 모터 축에 연결된 드라이브 기어가 회전을 하면 이 기어와 맞물린 또 다른 기어가 회전을 하여 동일 축 상에 있는 피니언이 회전을 하게 되고 피니언의 상하에 위치하고 있는 각각의 랙 기어가 상대적 수평 운동을 하여 랙의 선단에 고정된 아암을 수평 운동 시켜서 아암에 부착된 2개의 손가락이 사과를 잡도록 구성되어 있다. 각각의 아암에 부착된 2개의 손가락은 PVC 재질을 사용하여 제작하였으며, 각각의 랙 기어 이동 스트로크가 최대 25mm가 되게 설

계하였으므로 사과를 잡기 위한 상대적 수평 운동에 의한 핸드의 최대 스트로크는 50mm가 된다. 이 최대 스트로크는 12V 150RPM의 DC 모터에 의해 0.3 초 안에 핸드가 OPEN 또는 CLOSE 되어 사과의 지름이 최소 80mm에서부터 최대 130mm 까지 잡을 수 있게 하였다.

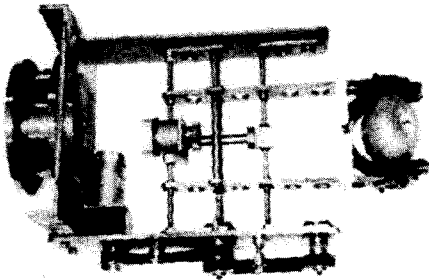


Fig. 2 Picture of semicircular up-and-down motion hand.

상하 반원 운동은 모터의 동력을 타이밍 풀리와 타이밍 벨트에 전달시켜 아암을 상하로 이동시켜서 이루어지도록 하였으며 안정된 상하 운동을 하도록 하기 위해 2곳에 링크를 부착시켰으며, 로봇 핸드에 잡힌 사과는 링크 운동에 의해서 사과 꼭지의 탈리 충을 힌지점으로 하여 상하 반원 운동되어 마디가 꺾어져 수확되어진다.

그림 2는 제작된 상하 반원 운동형 핸드의 사진을 나타낸 것이다. 그림 2에서와 같이 제작된 상하 반원 운동형 핸드의 손가락은 사람이 두 손으로 사과를 쥐면서 수확하는 형태의 것으로서, 링크의 스트로크는 67mm이고 반원 운동시의 Speed는  $1.67\pi$  rad/sec이며 상하 반원 운동형 핸드의 총 중량은 약 13KG이다.

#### 나. 편심 회전 운동형 핸드의 구성

편심 회전 운동형 핸드는 사과 꼭지를 비틀어서 수확하는 방법으로서 사과를 잡기 위한 손가락의 개

폐 운동과 가지로부터 사과를 이탈시키는 편심 회전 운동으로 이루어져 있다. 그림 3은 편심 회전 운동형 핸드를 나타낸 것이다.

사과를 잡는 손가락은 그림 3과 같이 3개의 손가락이 120도 등각으로 구성되어 있으며, 모터의 회전에 따라 3개의 손가락이 동일한 속도로 움직이는 연동형의 손가락 형태이다.

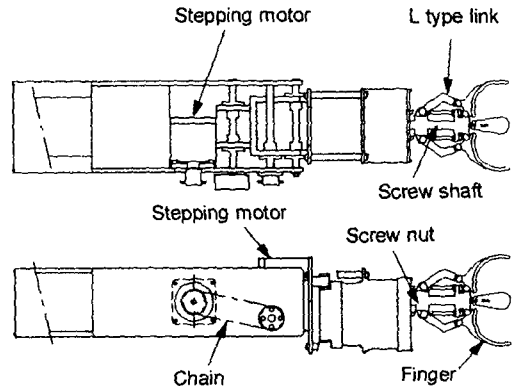


Fig. 3 Schematic diagram of eccentric rotation hand.

그리고 이 손가락들의 개폐 동작은, 모터의 축에 부착된 기어와 이 기어와 맞물린 또 다른 기어에 스크류 축을 연결하여 스크류 축이 회전을 하면 스크류 너트가 직선 운동을 하게 된다. 스크류 너트와 손가락 끝 부분을 L형 링크로 결합하여 너트의 전진 시는 손가락이 열리고 후진시는 닫히게 되어 있다. 손가락 개폐를 위해 사용되어진 모터는 12V 3,600RPM의 모터이며 12대 1의 감속 기어를 사용하여 300RPM으로 구동된다. 연동형의 손가락 개폐 운동을 행하게 하는 직동 기구에는 공압 실리더를 사용하면 빠른 속도의 운동을 행할 수 있으나 아날로그 형태의 정밀한 위치 제어가 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 아날로그 형태의 정밀한 위치 제어가 가능하게 하고 제어의 효율성을 피하기 위해 전기 모터를 사용하였다.

사과를 잡고 회전시켜 수확을 행하는 경우 편심을 주지 않고 제자리에서 핸드를 회전시키면 꼭지가 빠

져 버리는 경우가 빈번히 발생하기 때문에, 마디 부분을 꺾어 사과를 수확하기 위해서, 본 연구에서 제작한 핸드는 3개의 손가락 중심과 일치하는 스크류축을 핸드 중심으로부터 25mm 편심 되게 하였다. 핸드의 편심 회전 운동은 손가락과 손가락 개폐를 위한 모터 및 기구 일체에 기어를 부착하여 스텝핑 모터와 외접 기어 운동을 시켜서 행한다. 회전하는 방향은 로봇의 시각 장치에서 인식한 과실 및 가지의 위치에 따라 결정된다. 가지에 부착된 사과의 형태가 일정하지 않으므로 가지로부터의 방해물을 피하기 위해 손가락의 위치를 적절하게 변화시켜 주어야 하는데 일반 DC 모터를 사용하면 정확한 위치 제어가 어렵고 장치도 복잡해진다. 그래서 가감속 제어가 가능한 스텝핑 모터를 사용하여 30도씩 손가락 위치를 변화시켜 사과가 달려 있는 가지의 형태를 크게 3가지로 분류하여 그 형태에 따라 초기 위치를 설정하였으며 사과를 가지로부터 이탈시킨 후의 최종 위치는 동일하게 하였다. 그리고 편심 회전 운동 때문에 손가락 중심점의 이동이 발생하는데 이를 일치시키기 위해 손가락 개폐를 위한 기구 일체와 편심 회전을 위한 기구 일체를 또 다른 스텝핑 모터를 사용하여 수평으로 좌우 이동시킬 수 있는 수평 위치 보정용 평형 이동 기구를 제작 부착하였다. 편심 회전 운동을 위해 사용되어진 모터와 수평 보정용 스텝핑 모터는 동일한 사양으로 가감속 제어가 가능하며 스텝 각이 1.8도 이고 여자 방식은 현재 가장 많이 사용하고 있는 2상 여자 방식이다. 그림 4는 제작된 편심 회전 운동형 핸드의 사진이며 그림에서와 같이 손가락, DC 모터, 스텝핑 모터 등으로 구성되어 있다.

#### 다. 핸드의 제어부 구성

사과 수확에 적합한 편심 회전 운동형 핸드에 사용되어지는 센서는 먼저, 핸드가 사과를 잡을 수 있는 위치에 왔는 지를 감지하기 위한 3개의 터치 센서(TACTILE SWITCH)가 120도 등각으로 손가락 사이에 위치하고 있으며 3개의 센서 중 한 개라도 작

동을 하면 LED가 발광을 하고 다음 작업을 할 수 있도록 시퀀서 제어 장치로 구성되어 있다. 사과를 잡는 것은 터치 센서의 감지 후에 모터의 회전 운동이 시작되어 손가락 안쪽에 부착된 사과의 파쇄 방지를 위한 파지력 제어 센서가 작동할 때까지 핸드가 닫힌다.

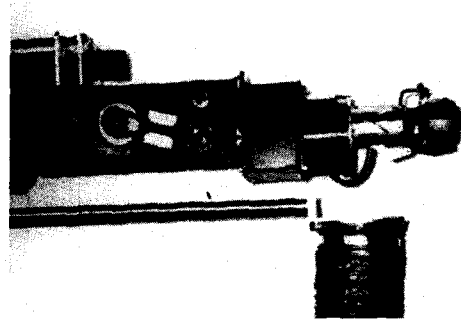


Fig. 4 Picture of eccentric rotation hand.

사과의 손상 방지를 위해 사용되어진 압력 센서로서는  $200\text{g}/\text{cm}^2$ 의 압력에서 ON-OFF 제어가 가능한 특수 제작된 테이프식 스위치이며 3개의 손가락 안에 각각 부착되어 있다. 편심 회전 운동형 핸드는 스크류 너트의 직선 운동에 따라 개폐가 이루어지는 기구인 만큼, 나뭇가지나 잎 등에 의해 터치 센서는 작동되었으나 사과를 잡는 데는 실패한 경우 파지력 제어 센서가 작동할 때까지 모터가 계속 회전하여 너트가 스크류 최상단에 위치하게 되면 손가락의 파손이 예상된다. 그리고 너트가 최하단에 위치할 시는 손가락의 힌지 부분의 파손이 예상된다. 따라서 스크류 너트 전후 각각의 위치에 메카니컬 스톱퍼를 장착하고 동작 극한용으로 리미트 스위치를 부착하였다. 그리고 사과의 크기를 선별하기 위해 스크류축을 따라 직선 이동을 행하는 너트에 포텐쇼미터를 부착하였다.

그림 5는 로봇 손가락의 개폐 운동을 위한 모터의 정/역 구동 회로로서, 정 또는 역의 펄스가 입력되면 정 또는 역으로 회전할 수 있도록 구성되어 있으며, 만약 정/역의 신호가 동시에 입력되면 +, - 전기가 단락(SHORT) 되어 모터가 파손될 우려가 있

다. 따라서 이를 방지하기 위하여 2개의 트랜지스터 TR 2335를 사용하여 정 또는 역의 신호 중 어느 하나의 신호가 들어오면 또 다른 하나의 신호는 절대 작동되지 않도록 inter lock 회로를 구성하였고, 채터링이나 소음을 고려하여 전체 회로를 TR로 구성되어 무접점 릴레이 회로를 만들어 사용하였다.

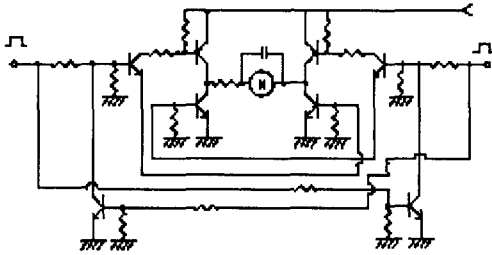


Fig. 5 Circuit for driving motor.

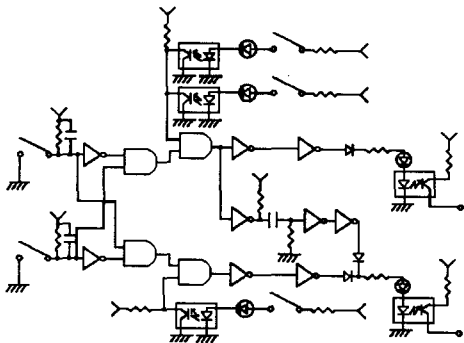


Fig. 6 Circuit for safety device.

그림 6은 로봇 손의 안전 장치 회로도로서 그림과 같이 정/역 회전 신호를 입력시키면 정/역의 펄스를 그림 5의 DC 모터의 정/역 구동 회로로 출력되도록 하였다. 그림 6에서도 그림 5에서와 같이 오동작을 방지하기 위하여 정의 신호가 입력되면 역의 신호가 입력되어도 역의 펄스가 출력되지 않도록 구성하였고, 정회전에서는 정회전 STOP 스위치나 테이프 스위치 둘 중 하나라도 작동하면 STOP 되도록 구성하였으며 정의 신호가 HIGH에서 LOW로 떨어질 때는 항상 일정 시간의 역의 펄스가 발생되도록 하였다. 이것은 로봇 손가락의 관성 모멘트에 의해서 STOP 후에도 일정 거리만큼 회전하여 사과를 강하게 잡는 것을 강제적으로 정지시키기 위한 것이

다.

그림 7은 로봇 손가락의 위치 제어 원리를 설명하기 위한 것이다.

그림 7의 [A]는 로봇 손가락의 속도 제어 방법을 설명한 것으로서 그림에서와 같이 로봇 손가락의 모터가 가속되어 등속 운동하고 어느 위치에 와서는 감속되어 정지하는 것이 일반적이다. 그러나 사과크기는 일정하지 않으므로 감속 지점의 위치를 찾는 것은 어렵다. 따라서 본 연구에서는 파지압 센서인 테이프 스위치가 ON되면 그림 7의 [B]와 같이 DC 모터의 정확한 위치 제어를 위하여 역방향의 순간 역전원을 공급하여 급정지하도록 설계하였다.

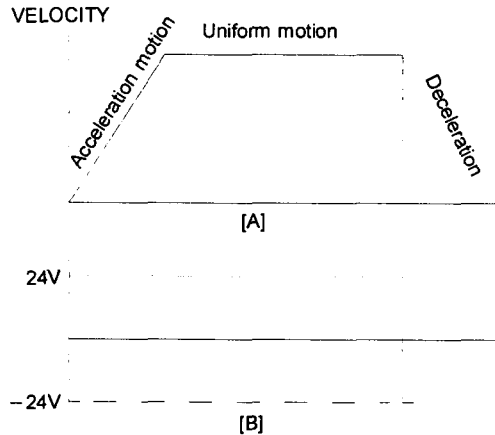


Fig. 7 Position control of robot fingers.

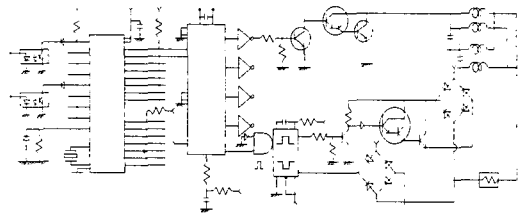


Fig. 8 Driving circuit of stepping motor.

그림 8은 로봇 손가락의 편심 회전 운동 및 손가락 초기 위치 설정에 따른 수평 위치 편차 보정을 위한 스텝핑 모터 구동 회로로서 그림에서와 같이 스텝핑 모터의 가감속 제어가 가능하게 하기 위하여 원칩 마이크로 컴퓨터, 스텝핑 모터 구동 IC, 정지

후의 전력 제어를 위한 단 안정 멀티 바이브레이터 IC, 구동 트랜지스터 등으로 구성되어 있다. 그리고 사과를 가지로부터 이탈시키는 회전 운동의 최종 위치를 제어하기 한 센서로서는 근접 센서를 사용하였다.

스텝핑 모터의 가감속 제어는 원칩 마이크로 컴퓨터를 사용하여 프로그램 제어를 행하였다. 스텝핑 모터는 특성상 정지되어 있을 때 토크가 가장 크며 가장 많은 전류가 흐르는 특성이 있다. 따라서 정지 후는 위치 유지에 필요한 최소의 전류만 공급하고 구동 시는 구동 토크를 크게 하여 필요한 토크를 발생시키기 위하여 많은 전류가 공급되게 한 것이 이 회로도의 특징이다.

그림 9는 스텝핑 모터의 가속 감속과 펄스 폭과의 관계를 나타내고 있다.

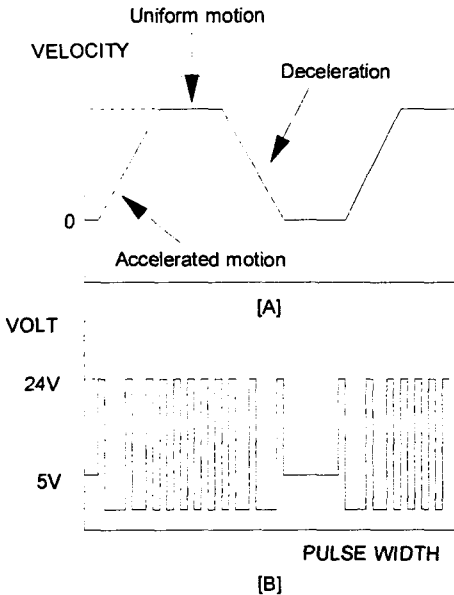


Fig. 9 Relation between variable speed and pulse of stepping motor.

그림 [A]와 같이 스텝핑 모터를 사다리꼴 구동 법으로 구동시킬 때 스텝핑 모터에 가해지는 펄스는 그림 [B]와 같이 펄스 폭을 조절하는 PWM 방식에 의해 속도를 제어하였다. 모터를 가속할 때의 펄스

수와 펄스 간격은 직접 계산하여 DATA로써 사용하였으며 원칩 마이크로 컴퓨터를 사용하여 프로그램 제어를 하였다. 본 연구에 사용된 원 칩 마이크로 컴퓨터는 미국 INTEL사의 8 BIT 원 칩 마이크로 프로세서 8751H로서 프로그램의 수정이 가능한 EPROM형이다. 그리고 칩 내에 CPU와 메모리 I/O를 내장하고 시리얼 포트로 직접 데이터를 교신할 수 있는 고성능 소형 마이크로 컴퓨터로서 주로 프로세서 컨트롤러 시스템에 사용되고 있다. 4K 바이트의 프로그램 ROM, 128 바이트의 내부 RAM이 내장되어 있고 4포트/8비트의 입출력 포트, 4비트 사용이 가능한 2개의 16비트 타이머 카운트, 시리얼 I/O, 우선 순위 설정이 가능한 5개의 인터럽트 등으로 구성되어 있다. 또한 8751H는 발전 회로가 내장되어 있어 3.5~16MHz 광 대역 반 공진 회로를 구성한다. 이 발전을 시스템 클럭으로 하고 이를 12분주 한 값이 1명령 사이클이다. 본 연구에서는 그림 8과 같이 3개의 8비트 I/O 포트인 P0, P1, P2만 사용하였으며 디지털 IN, OUT만 사용하여 입출력 포트의 ON OFF 타이밍에 의하여 펄스 제어를 행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 상하 반원 운동형 핸드

사람이 사과를 수확 할 때의 운동 경로를 기계적으로 구상해서 제작한 상하 반원 운동형 핸드는, 모터의 구동 축 상하에 랙 기어를 부착시켜 모터의 구동시 랙 기어가 상대적 수평 운동을 하여 이 랙 기어의 상대적 수평 운동에 의해 2개의 손가락이 CLOSE 또는 OPEN되는 핸드 개폐 작동 기구와, 이 핸드의 개폐 작동 기구를 모터와 타이밍 벨트로 상하 링크 운동시켜서 사과를 가지로부터 이탈시키는 상하 반원 운동 기구로 구성되어 있다.

모터의 회전 운동이 랙과 피니언에 의해 직선 운동으로 바뀌는 평형 슬라이드 기구의 결점은 슬라이드를 행하기 위한 가이드 기구를 가지고 있기 때문에 제작 조립 정도에 따라서 슬라이드 부의 마찰이

대단히 크게 되는 점이다.

상하 반원 운동형 핸드는 사과를 잡는 랙과 피니언에 의한 수평 직선 운동은 원활히 작동되었으나, 사과를 가지로부터 이탈시키는 상하 반원 운동은 사람이 수확하는 경우와 달리 고정되어 있어야 하는 마디 부분이 연약한 가지의 유연성 때문에 힌지점으로서의 역할을 다하지 못하고 핸드의 움직임에 따라 사과 가지도 함께 움직이는 경우가 빈번하였으며, 가지의 형태에 따라 사과와 가지를 함께 잡아서 수확이 불가능한 경우도 발생하였다.

따라서, 상하 반원 운동형 핸드의 경우는 사과가 달려있는 가지가 굵은 경우에는 수확이 가능하지만 가는 가지에 달려있는 사과는 사과와 가지가 일체가 되어 손가락 운동에 따라 함께 운동하기 때문에 수확이 불가능하므로 사과 수확 로봇용 핸드로서는 부적합하다고 사료되며 다른 방법으로 수확을 행하는 핸드 개발이 요구되어 편심 회전 운동형 사과 수확 로봇 핸드를 구상하였다.

#### 나. 편심 회전 운동형 핸드

편심 회전 운동형 핸드는, 상하 반원 운동형 사과 수확 로봇 핸드의 결점을 수정 보완한 것으로서 모터의 회전 운동을 직선 운동으로 변화시켜 3개의 손가락이 연동으로 OPEN 또는 CLOSE 되게 하는 손가락 개폐 운동과 가지로부터 사과를 이탈시키는 편심 회전 운동으로 이루어져 있다. 실험 결과, 편심 회전 운동형 핸드는 사과를 쥐는 손가락 개폐 운동과 수확을 행하는 편심 회전 운동이 원활히 작동하여 정확한 수확이 가능한 것으로 확인되었다. 그러나 상하 반원 운동형 핸드에서와 마찬가지로 가지의 형태에 따라 사과와 가지를 함께 잡는 경우가 생겨 손가락의 위치를 달리할 필요성이 있었다.

그림 10의 하단의 그림은 정면에서 보았을 때 사과를 잡기 전 초기 손가락 위치를 나타내고 있으며, 상단의 그림은 각각의 초기 손가락 위치에서 수확이 가능한 형태로 사과가 가지에 달려 있는 형상을 나타낸 것이다. 사과를 수확한 후 다시 제자리로 복귀

한 초기 형태를 TYPE-0라고 하고 여기서 반시계 방향으로 30도 이동했을 때를 TYPE-1, TYPE-0에서 반시계 방향으로 60도 이동했을 때를 TYPE-2, TYPE-0에서 90도 이동했을 때를 TYPE-3라고 하였다. 이와 같이 4가지 형태의 초기 손가락 위치로서 사과를 잡는데 가지의 간섭으로부터 피할 수 있다고 생각된다.

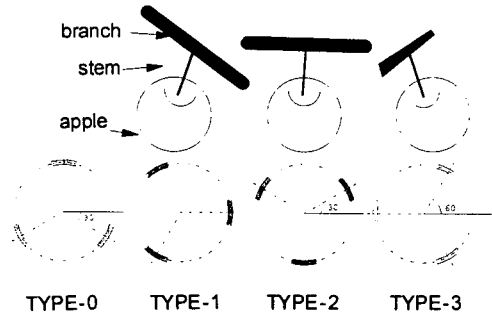


Fig. 10 Initial position of fingers with eccentric rotation mechanism.

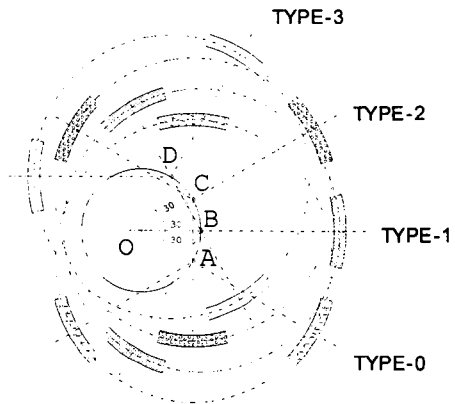


Fig. 11 Movement of the finger center.

그림 11은 정면에서 보았을 때의 실제의 손가락 중심점의 이동을 보여 주고 있으며, TYPE-0 형태의 손가락 중심점 A, TYPE-1 형태의 손가락 중심점 B, TYPE-2 일 때 중심점 C, TYPE-3 일 때 중심점 D는 핸드의 중심점 O로부터의 반경 25mm의 궤적을 그린다.

수확 과정은, TYPE-0의 손가락 중심점 A를 초기

위치로 해서 로봇의 시각 장치인 영상 처리 장치에서 인식한 사과 가지의 형태에 맞게 손가락 TYPE을 설정한다. 카메라에서 인식한 사과의 중심에 TYPE-0의 중심점 A가 일치하게 매뉴플레이터의 구동 프로그램이 제작되어 있어서 만약 TYPE-1의 형태로 손가락을 초기화했다면, 사과의 중심점은 점 A와 일치하고 있는데 잡기를 시도하는 TYPE-1의 손가락 중심의 위치는 점 B이므로 중심점이 상이하다. 따라서 중심점을 일치시켜 주기 위해서는 로봇의 이동이 요구된다. 수직 이동은 매뉴플레이터의 하강 운동으로 행하면 되나, 수평 이동은 매뉴플레이터를 탑재한 차량의 차륜이 움직여야 하는데 정확한 거리만큼의 이동이 어렵다. 따라서 핸드 자체만을 수평으로 좌우 이동시켜 줄 수 있는 장치를 제작해서 부착하였고 정확한 거리 제어를 위해 마찬가지로 스텝핑 모터를 사용하였다. 그림 3에서와 같이 모터와 스크류 축을 체인으로 연결하여 스크류 축의 회전 운동을 핸드 전체의 좌우 수평 운동으로 바꿔준다.

손가락 중심점이 A에서 B 또는 C, D로 이동했을 때의 보정거리 값은 계산되어진 것을 윈칩 마이크로 컴퓨터의 메모리에 저장하여 DATA로써 사용하였다.

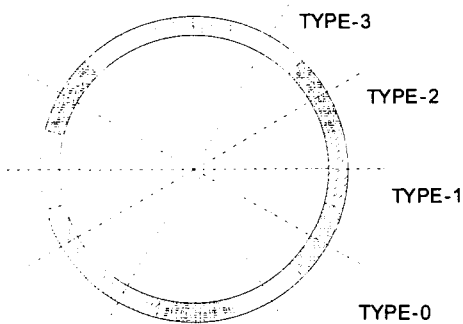


Fig. 12 Projecting position of fingers in x-y plane.

그림 12는 TYPE-1, TYPE-2, TYPE-3의 손가락 중심점을 A점과 일치하게 상하 수평 이동 시켰을 때

평면에 나타난 그림이다.

핸드의 편심 회전 운동을  $2n \text{ rad/sec}$ 로 고려했을 때 180도 회전에는 0.5초가 걸린다. 매뉴플레이터의 후진 속도를 최대 500mm/sec로 가정하고, 100mm/sec, 200mm/sec, 300mm/sec, 400mm/sec, 그리고 500mm/sec로 5단계로 변화를 주어서 실제로 과수원에서 수확을 행한 결과, 후진속도를 100mm/sec로 설정한 경우는 수확을 행하는 속도가 너무 느리다는 단점이 있었으며 500mm/sec의 경우에는 오히려 사과를 당기는 힘에 의해서 수확되므로 사과 꼭지가 빠지는 경우가 빈번하였다. 표 1은 매니플레이터의 후진 속도에 따라 각각 15회씩 수확작업을 행했을 때 손상 없이, 수확에 성공한 사과의 개수를 나타내고 있으며, 사과의 수확을 행하는 속도와 사과를 손상시키지 않는 상황을 고려해 볼 때 후진속도를 300mm/sec로 설정하는 것이 적합하다고 판단된다.

사과 수확 로봇용 편심 회전 운동형 핸드를 사용한 수확 방법으로는, 3개의 손가락 안에 사과가 정확히 들어오면 손가락이 닫히면서 사과를 잡는다. 그런 다음 마디를 꺾어주는 핸드의 편심 회전 운동과 사과를 당겨 주는 매뉴플레이터의 후진 운동에 의해서 사과가 가지로부터 이탈되어서 수확이 행해진다.

Table 1 The number of harvested apples by the each speed of manipulator

Speed (mm/sec)	100	200	300	400	500
Number of apples	14	14	14	11	7

핸드의 작동 방법은, 사과가 달려있는 가지의 형상에 따라 손가락의 TYPE이 결정되고 수평 위치 보정용 기구가 작동하여 정해진 위치만큼 이동하여 거리를 보정한다. 그런 다음 영상 처리 장치에서 파악한 사과의 센터 위치에 3개의 손가락 중심을 일치시키기 위해 매뉴플레이터를 이동시킨다. 사과가 달려있는 위치까지 매뉴플레이터가 전진하여 손가락 안에 사과가 정확히 들어오면 터치 센서가 작동되면서



매뉴플레이터는 정지하고 핸드 개폐용 모터가 회전을 시작하여 손가락 내측면에 부착된 파지력 제어 센서가 작동하면 회전을 멈춘다. 그리고 스텝핑 모터에 의해 핸드가 편심 회전 운동되어 사과가 수확되어진다. 편심 회전 운동은 근접 센서의 감지 후 최종 위치에서 정지되며, 매뉴플레이터는 사과를 속도, 크기에 따라 분류하여 정해진 위치에 갖다 놓기 위해 이동한다. 핸드 개폐용 모터가 회전하여 손가락이 벌어져 사과가 아래로 떨어지면 한 사이클의 수확 작업은 끝나고 다시 원 위치로 돌아가서 계속적인 작업을 행한다.

그림 13은 핸드의 제어 흐름도 블록 다이어그램을 나타낸다. 위와 같은 방법으로 30개의 사과를 수확했을 때 손가락의 파지력에 의해 파손되는 사과는 하나도 없었으나, 편심 회전 운동시 옆가지에 찢려서 손상을 입은 경우가 2회 발생하였다. 이는 수확하고자 하는 사과 주위의 가지 상태에 따른 것이기 때문에, 본 연구 과제와 병행되어 행해지는 기계화 적응형 수형 개발이 이루어지면 해결될 것으로 생각된다.

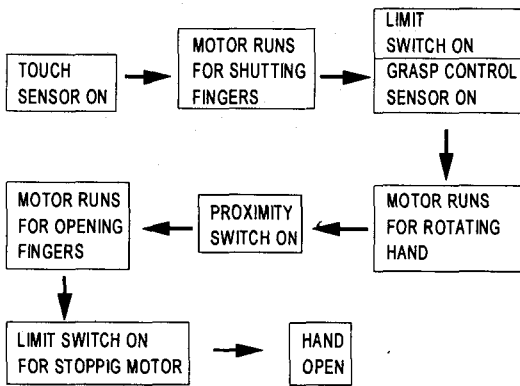


Fig. 13 Block diagram of hand control.

#### 4. 결 론

우리 나라의 경우 수도작에서는 트랙터 콤바인 등의 고성능 기계를 사용하여 작업 기계화율이 상당히 높은 수준에 달하고 있으나, 과실 및 야채의 생산

에서는 기계화가 어렵고 장시간의 노동을 요하는 작목이 많으며 노동비도 매우 높다. 이와 같은 상황에서 종래의 기계화 방법으로는 곤란한 작업과 노동 집약적인 작업, 고 작업 능력과 고 정밀도를 요하는 작업 등은 자동화 및 로봇화 하여 해결해야 한다고 생각된다.

사과를 수확하는 사과 수확 로봇은 대상이 되는 작물이나 포장 조건이 일정하지 않으므로 외계를 감지하기 위한 인식장치를 가진 로봇이 필요하고, 일사조건의 변화하는 환경 하에서 과실의 3차원 위치를 검출하고 가지, 잎 등의 장애물이 많은 곳에서 사과를 수확하지 않으면 안되므로 인간의 눈이나 손과 똑같은 작업을 할 수 있는 매뉴플레이터를 가지고 있어야 한다.

본 연구는 사과 수확 로봇 개발 과제중 그 첫 단계인 사과를 직접 쥐고 수확을 행하는 핸드 개발에 관한 연구이며 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 가지로부터 사과를 이탈시키는 수확 능력은 상하 반원 운동형 핸드보다 편심 회전 운동형 핸드가 우수한 것으로 나타났다.

2. 사과를 쥐는 힘은 손가락의 내측면에 부착된 테이블식 스위치형 촉각 센서에 의해 제어될 수 있도록 핸드를 개발하였다.

3. 사과가 달려있는 형상에 따라 손가락의 위치를 제어하여 수확하는 것이 바람직하다는 것을 확인하여 4단계의 초기 손가락 위치를 설정하였다.

4. 로봇 핸드는 사과를 크기에 따라 선별 수확하는 것이 가능하고 사과 이외의 타 과수 수확작업에도 로봇 핸드를 개발하여야 할 필요성이 있다고 생각된다.

#### 5. 참고 문헌

1. 나종래, 문세홍. 1989. 인텔 8051 구조와 설계응용, 도서출판 Ohm사. 4-184.
2. 장익주, 김용구, 문종열. 1994. 기계화 적응형 과수 모델과 무인 로봇 개발에 관한 연구, 농촌진

- 홍칭 연구보고서. 63-96.
3. 편집부역. 1993. 스텝핑 모터의 활용기술, 도서출판 세운. 122-123.
  4. 藤浦 建史, 浦 元信, 川材 登, 竝河 清. 1990. 果實收穫用ロボット 2). 日本農機誌 52(2):35-42.
  5. 川材 燈, 竝河 清, 藤浦建史, 浦 元信. 1984. 農業用ロボットの研究 1). 日本農機誌 46(3):353-358.
  6. 川材 登, 竝河 清, 藤浦建史, 浦 元信. 1985. 農業用ロボットの研究 (2). 日本農機誌 47(2):177-182.
  7. 川材 登, 藤浦建史, 浦 元史, 近藤 直. 1985. 果實收穫用ロボット (2). 日本農機誌 47(2):237-241.
  8. 近藤 直, 川材 登, 1985. マニピュレ-タ 装着用カメラによる果實の位置検出法. 日本農機誌 47(1):60-65.
  9. 近藤 直, 遠藤 後三. 1989. マニピュレ-タ 装着用カメラによる果實の位置検出法 (2). 日本農機誌 51(4):41-48.
  10. 近藤 直, 芝野保徳. 1990. マニピュレ-タ 装着用カメラによる果實の位置検出法. 日本 農機誌 52(4):75-82.

## 알림

「한국농업기계학회」는 1998년(학회지 23권1호)부터 「한국농업기계학회지」를 연 6회(2월, 4월, 6월, 8월, 10월, 12월)에 걸쳐 발행할 계획입니다. 이에 각 기관 및 학과 회원들께서는 논문 게재 신청에 착오없으시기 바랍니다.