

# 수직 다관절 사과수확로봇의 매니플레이터 개발 (I)

— 설계 · 제작 —

## Development of Manipulator for Vertically Moving Multi-Joint Apple Harvesting Robot (I)

— Design · Manufacturing —

장 익 주

정희원

I. J. Jang

### SUMMARY

This study is final focused on developing fruit harvesting robot can distinguish fruit type and status accurately. Multi-joint robot is able to discriminate tree shape and select mature fruit by image processing. The multi-joint robot consists of (a)rotating base, (b)turning first joint-arm, (c)rotating and turning second joint-arm, (d)rotating and turning third joint-arm, (e)rotating and turning last joint and (f)picker hand. The operational ranges of the robot are : horizontal 860~2,220mm, vertical 1,440~2,260mm, 270 degrees' rotation angle, 90 or 270 degrees' turning angle. The robot weighs 330kg. The multi-joint robot was designed in high accuracy and efficiency by getting as close as the movements of human arms and waist.

**주요용어(Key Words)** : 무인작업(Unmanned operations), 수직 다관절 로봇(Vertically moving multi-joint robot), 로봇 아암(Robot arm), 수확 핸드(Picker hand)

### 1. 서 론

과실 수확 로봇은 수확 대상물을 찾아서 수확 작업을 행하는 기계이다. 수확 로봇은 과실을 잡을 때의 힘을 제어하여야 하며, 과실의 크기나 색도를 정확하고 빠르게 인식하는 것이 바람직하다. 과실 수확 로봇은 공장 내에서 작업을 행하는 것이 아니고 야외에서 작업하는 것이므로 환경조건이 나쁘다. 대상물에 대해서도 형상이나 색도가

부정확하고 잎이나 가지 등에 부분적으로 가려져 있는 것이 많다. 또한 이것을 취급하는 사용자도 공장내의 로봇과는 달리 일반 농가이므로 기계 및 전자·전기 장치의 운전 유지관리에 관한 기술 수준이 낮다. 이와 같이 수확 로봇의 특징만 보더라도 기술적으로 특이한 로봇이다.

이러한 특성을 고려하여 장(1990)은 노동력 절감문제를 농업기계화를 통하여 접근하고자 과수원 작업 중 종래의 기계화 방법으로는 작업이 불가능

This study was conducted by the research fund supported by MAF-AGRP(Ministry of Agriculture & Forestry-Special Grants Research Program) in Korea and article was submitted for publication in August 2000; reviewed and approved form publication by the editorial board of KSAM in October 2000.

The corresponding author is I. J. Jang, Associate Professor, Dept. of Agricultural Engineering, Kyungpook National University, 1370 Sankyuk-dong, Book-gu, Taegu City, 702-701. E-mail: <ijjang@knu.ac.kr>.

한 수확 작업에 대하여 메카트로닉스 기술을 활용하여 무인작업이 가능한 로봇을 개발하고자 하였다. 개발하고자 하는 자율이동 다관절 과실(사과) 수확 로봇은 수직 다관절 매니퓰레이터의 로봇이며, 화상처리에 의한 수형 분석이 가능하고, 작업 필드 내에 있는 과실을 선별 수확 할 수 있는 과실 수확 로봇을 개발하는데 최종 목표를 두었다. 본 연구는 수직 다관절 과실(사과) 수확 로봇의 매니퓰레이터를 개발하는 연구이며, 개발(Ⅰ)은 매니퓰레이터의 설계·제작에 관한 것을 발표하고, 개발(Ⅱ)는 매니퓰레이터의 제어에 관하여 발표할 계획이다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 구성 및 동작 계획

본 연구에서는 과실 수확용 로봇을 개발하는 것이 주된 목적이므로 과실의 위치와 장애물의 회피에 가장 적합하다고 생각되어 수직 다관절 로봇 형태의 과실 수확 로봇을 개발하고자 하였다.

수직 다관절 과실수확로봇은 그림 1과 같이 베이스 선회, 제1아암의 회전, 제2아암의 회전 및 선회, 제3아암의 회전 및 선회, 종단관절의 회전 및 선회, 수확 핸드로 구성되어 있고, 동작의 형태(kondo, 1998; M.アコプラトッチ, 1986)는 다음과 같다.

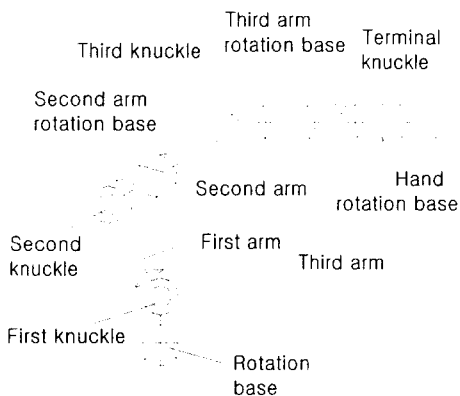


Fig. 1 Robot Device.

#### (1) 베이스 선회

로봇 전체를 회전시키고, 그 각도를  $\theta_1$ 로 한다. 위에서 봐서 시계방향으로 회전하는 경우를 정(+ )으로 하고, 반시계방향으로 회전하는 경우를 부(-)로 한다. 선회범위는  $270^\circ$  로 한다.

#### (2) 제1아암의 회전

제1아암의 회전각을  $\alpha$ 로 하고 수직 위치로부터 전방으로 회전시킬 경우를 정(+ )으로 하고, 후방으로 회전시킬 경우를 부(-)로 한다. 회전 범위는  $90^\circ$  이다. 제1아암의 회전축을 제1관절로 한다.

#### (3) 제2아암의 회전

제2아암의 회전각을  $\beta$ 로 하고 수평위치로부터 상향으로 회전시킬 경우를 정(+ )으로 하고, 하향으로 회전시킬 경우를 부(-)로 한다. 회전 범위는  $90^\circ$  이다. 제2아암의 회전축을 제2관절로 한다.

#### (4) 제2아암의 선회

제2아암 이후의 모두를 선회시키고,  $\theta_2$ 로 한다. 앞에서 봐서 시계방향으로 회전하는 경우를 정(+ )으로 하고, 반시계방향으로 회전하는 경우를 부(-)로 한다. 선회범위는  $300^\circ$  로 한다.

#### (5) 제3아암의 회전(제1손목의 굽힘)

제3아암의 회전각을  $\gamma$ 로 하고 수평위치로부터 상향으로 회전시킬 경우를 정(+ )으로 하고, 하향으로 회전시킬 경우를 부(-)로 한다. 회전 범위는  $270^\circ$  이다. 제3아암의 회전축을 제3관절로 한다.

#### (6) 제3아암의 선회(제1손목의 뒤틀림)

제3아암 이후의 모두를 선회시키고,  $\theta_3$ 로 한다. 앞에서 봐서 시계방향으로 회전하는 경우를 정(+ )으로 하고, 반 시계 방향으로 회전하는 경우를 부(-)로 한다. 선회 범위는  $270^\circ$  로 한다.

#### (7) 종단관절의 회전 (제4아암의 회전, 제2손목의 굽힘)

제4아암의 회전각을  $\delta$ 로 하고 수평위치로부터 상향으로 회전시킬 경우를 정(+ )으로 하고, 하향으로 회전시킬 경우를 부(-)로 한다. 회전 범위는  $270^\circ$  이다. 제4아암의 회전축을 제4관절 또는 종

단관절로 한다.

(8) 종단관절 선회(제4아암의 선회, 제2손목의 뒤틀림)

제4아암 이후의 모두를 선회시키고,  $\theta_4$ 로 한다. 앞에서 봐서 시계방향으로 회전하는 경우를 정(+ )으로 하고, 반 시계 방향으로 회전하는 경우를 부(-)로 한다. 선회 범위는  $270^\circ$  로 한다.

(9) 수확 핸드 (잡는 장치) : 수확할 사과를 잡는 장치

이와 같이 본 연구의 다관절 로봇은 인간의 팔과 허리의 기능에 가능한 한 접근시켜서 고정도, 고능률의 과일 수확 로봇이 되도록 하였다. 특히 종단관절은 사람의 손목에 해당하고 제3관절은 사람의 팔꿈치에 해당한다고 가정했을 때 사람의 팔꿈치에 해당하는 관절을 1개 더 가지고 있는 이유는 사람이 과일수확을 할 때 손이 과실에 닿지 않으면 허리를 굽히든지 뒤틀어서 과실을 잡으려고 하는 경우가 많다. 따라서 본 연구의 로봇은 사람의 허리와 어깨에 해당하는 베이스 선회와 제1관절만으로는 사람의 허리와 등뼈의 기능을 충분히 수행하지 못하므로 허리와 등뼈의 기능 대신에 팔꿈치의 기능을 수행하는 제2관절로 대치한 것이다.

나. 구동제원의 결정

로봇 아암을 회전하기 위하여 최대한의 토크가 필요한 것은 그림 2와 같이 아암이 수평으로 될 때이다. 여기에서 각부의 치수나 중량을 다음과 같이 가정한다.

(1) 제1아암의 길이(제1, 2관절 사이의 중심거리를 570mm로 하고 중량을 16kgf로 하여 제1관절로부터 285mm의 지점에 무게 중심이 있는 것으로 한다.

(2) 제2아암의 길이(제2, 3관절 사이의 중심거리를 870mm로 하고 중량을 32kgf로 하여 제2관절로부터 435mm 지점에 무게 중심이 있는 것으로 한다.

(3) 제3아암의 길이(제3, 종단관절 사이의 중심거리를 490mm로 하고 중량을 7kgf로 하여 제2관절로부터 1,115mm의 지점에 무게 중심이 있는

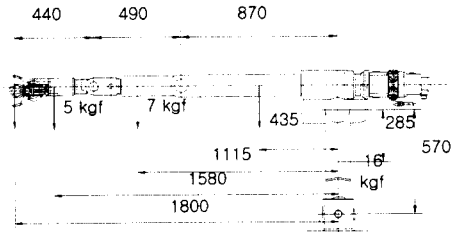


Fig. 2 Weight of arm.

것으로 한다.

(4) 종단아암의 길이는 핸드를 포함하여 440mm로 하고 중량을 5kgf로 하여 제2 관절로부터 1,580mm의 지점에 무게 중심이 있는 것으로 한다.

(1) 아암의 토크 결정

본 연구의 로봇은 총 9개의 구동 모터로 구성되어 있으며 그 중에서 가장 큰 구동 토크를 필요로 하는 것은 선회대이다. 따라서 아암의 토크 결정 방법은 선회대를 예로 하여 설명한다. 선회대는 Robot 전체를 회전시키는 것으로서 로봇을 회전시키는데 필요한 토크를 고려하여야 한다. 특히 아암을 수평으로 뻗을 때, 큰 관성모멘트 때문에 선회 개시 시의 서보 모터의 구동 토크도 고려하여야 한다. 로봇 아암의 선회축의 회전 관성모멘트를 계산해 보면 그림 3의 (a)와 같이 4각형 판의 중심축 회전 관성모멘트  $I_G$ 는 다음과 같이 표시된다(판의 두께는 길이에 비교하여 극히 작다).

$$I_G = \frac{1}{12} \cdot \frac{W}{g} \cdot l^2$$

W : 판의 중량 (kgf)

g : 980 (cm/s<sup>2</sup>)

l : 판의 길이(cm)

또한 중심 축에서  $l_1$  만큼 떨어져 있는 개소로 축으로 하여 이 판을 회전시킬 때의 관성 Moment는 다음과 같이 표시된다.

$$I = I_G + \frac{W}{g} \cdot l_1^2$$

$l_1$ 이  $l$ 에 비하여 크면,  $I_G$  보다  $\frac{W}{g} \cdot l_1^2$ 가 상당히 크게 된다. 로봇 아암 각 부분의 중량과 선회 축으로부터의 거리는 그림 3의 (b)와 같고, 각 아암

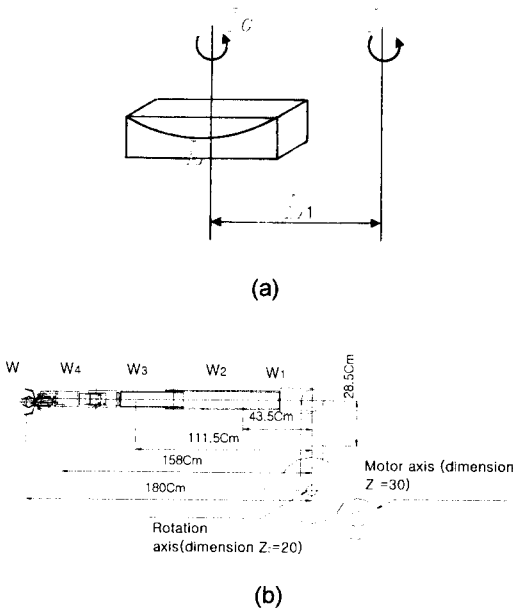


Fig. 3 Inertia moment.

의 중심 축 회전 관성모멘트를 무시하면 로봇 아암의 선회 축 회전 관성모멘트는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$I = \frac{1}{980} \{ (5 \times 158^2) + (7 \times 111.5^2) + (32 \times 43.5^2) + (16 \times 28.5^2) \}$$

$$= 291.218 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2$$

그리고, 아암을 20rpm의 속도로 회전시킬 때, 선회 개시 시에 필요한 토크는 다음과 같이 표시된다. (단, 정지 마찰 토크는 무시한다)

$$T = I \times \omega$$

T : 회전 개시 토크 (kgf · cm)

I : 관성 Moment (kg · cm · s<sup>2</sup>)

ω : 각 가속도 (rad/s<sup>2</sup>)

또한 각 속도 ω는 2πN (N rpm)으로서 표시되므로

$$\omega = 2\pi N = 2\pi \cdot 20 = 125.6 \text{ [rad/min]}$$

$$= 2.1 \text{ [rad/s]}$$

로봇 아암을 ω=0의 상태에서 ω=2.1의 상태로 되는데 0.1초를 요한다고 보면

$$T = I \cdot \omega = 291.218 \times \frac{2.1 - 0}{0.1}$$

$$= 6115.58 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

선회 개시 시의 기동 토크는 로봇 아암 각 부분의 중심 축 회전 관성모멘트 및 정지 마찰 토크를 고려하면(선회 개시 시의 토크의 1.5~2배) 12,231 kgf · cm가 필요하다. 따라서, 그림3(b)의 중앙부에 장착된 Servo cup Motor는 기동 토크 112kgf · cm, 감속비를 123:1로 설정하면 베이스 선회대와 좌, 우측 서보 모터는 물론 제1관절 상부의 모든 장치를 회전시키는데 충분하다.

## (2) 아암의 치차 결정

제1아암을 회전시킬 때 필요한 토크 T<sub>1</sub>은 아암이 수평일 때 최대로서

$$T_1 = 0 \times 180 + 5 \times 158$$

$$+ 7 \times 111.5 + 32 \times 43.5 + 16 \times 28.5$$

$$= 3418.5 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

서보 모터는 기동 토크 112kgf · cm의 것을 사용하고, 실제의 구동 토크는 22.3kgf · cm로 하여 계산한다. 치차는 1단으로 하여 전달효율은 0.85로 하고 치수비를 i 라고 하면

$$(\text{필요토크}) = (\text{Motor의 토크}) \times (\text{치수비})$$

$$\times (\text{전달효과})^2$$

$$\text{치수비} = \frac{3418.5}{22.3 \times 0.85^2} = 268$$

치수30과 20의 치차는 Motor 축과 선회 축에 일체가 되게 조립되었으며, 치차의 재질은 모두 특수강(SNCM21)으로 제작하고 치폭은 15mm로 하였다. 치차의 강도는 서보 모터의 회전수 N을 약 23rpm으로 하였으므로 모터 축에 부착된 치차의 주 속도 V는

$$V = \frac{\pi(mZ_1) \times N}{60} = \frac{3.14 \times 5 \times 30 \times 23}{60}$$

$$= 180.55 \text{ mm/s} = 0.1806 \text{ m/s}$$

로 극히 저속이 되므로 치형 면에 가해지는 정적

인 굽힘 강도만을 단순화시켜 검토하였다. 제1아암에 발생한 모멘트는 3418.5kgf·cm로서 치차 Z<sub>2</sub>의 반경은 30이므로 Z<sub>1</sub>과 Z<sub>2</sub>의 치형 면에 걸리는 힘 F는

$$F = \frac{3418.5}{3} = 1139.5\text{kgf}$$

이다. 그러므로 루이스(Lewis) 식(洞 등, 1983)에 따라

$$F = \delta mby$$

$\delta$  : 저속회전 경우의 허용능력

m : Module

b : 치폭

y : 치형계수 (0.446)

$$\delta = \frac{F}{mby} = \frac{1139.5}{5 \times 15 \times 0.446}$$

$$= 34.066\text{kgf/mm}^2$$

특수강의 인장강도는 80kgf/mm<sup>2</sup> 이상으로 되어 있으므로 실용상 아무런 지장은 없다. 제2아암, 제3아암 등은 제1아암보다 치차에 걸리는 힘이 적으므로 허용능력이 제1아암 보다 적다. 따라서 인장강도 80kgf/mm<sup>2</sup> 이상인 특수강의 치차를 사용하면 실용상 아무런 지장이 없는 것으로 사료된다.

#### 다. 로봇의 작동 범위

로봇의 작동범위의 작도는 참고문헌 5를 참고로 하였으며, 본 연구의 로봇 작동범위는 그림 4와 같이 수평거리 860~2,220mm, 수직거리 1,440~2,260mm, 선회 각도 270°, 회전각도 90°, 270°이다. 로봇의 축간 거리는 베이스 높이 780mm, 제1아암 570mm, 제2아암 870mm, 제3아암 490mm, 종단관절 아암과 hand 440mm이고, 작동할 수 있는 회전각도 및 선회 각도의 범위는 베이스 선회 270°, 제1아암의 회전 전방 45°, 후방 45°, 제2아암의 회전 상향 45°, 하향 45°, 제2아암의 선회 270°, 제3아암의 회전 상향 135°, 하향 135°, 제3아암의 선회 270°, 종단관절 아암의 회전 상향 135°, 하향 135°, 종단관절 아암의 선회 270°이다.

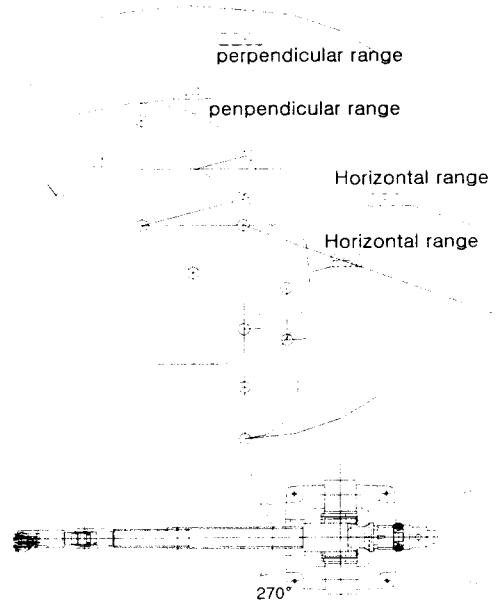


Fig. 4 Working range of robot.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 베이스 선회대

베이스의 선회는 그림 5와 같이 베이스대의 선회 축을 중심으로 하여 360° 회전이 가능하다. 로봇을 움직이는 9개의 모터 중, 베이스 선회대를 제외한 모든 모터가 베이스대 상부에 위치하기 때문에 베이스의 선회와 같이 움직인다. 따라서 모터의 리드 선이 장애가 되어 동작을 제한하므로, 1회전 이상 회전시키기는 곤란하다. 실제로는 180° 정도의 위치에서 충분하지만 모터의 리드 선을 길게 하여 약 270° 까지 선회하도록 설정하였다. 선회는 로봇 전체를 회전시켜야 하므로 큰 토크가 필요하다. 따라서 베이스 선회대 모터는 기동토크 112kgf·cm, 운전토크 22.3kgf·cm인 YASKAWA CUP MOTOR 400W, 회전수 1,750rpm인 DC 모터를 사용하였고, 최대 전달 토크 30kgf·cm, 감속비 123 : 1인 하모닉 감속기를 사용하였다. 선회속도는 최대 23rpm에서 관절의 회전속도 140°/초로서 본 연구의 로봇을 회전시키기에는 충분하였다.

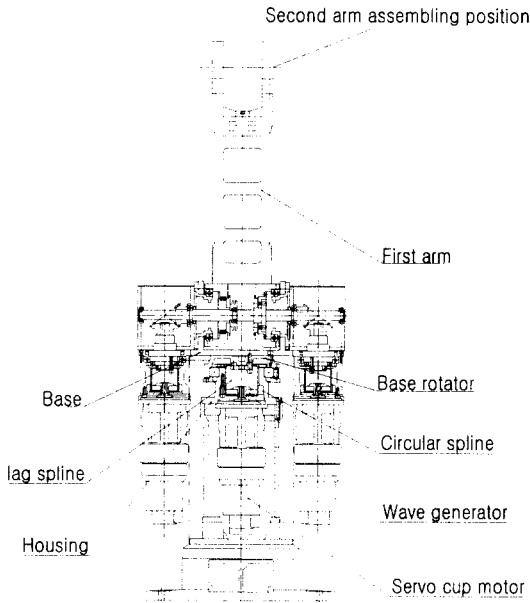


Fig. 5 Detail drawing of base rotator.

또한, 베이스 선회대의 구조는 그림 5에서와 같이 베이스대에 내경  $\phi 200\text{mm}$ 의 베이스 로테이터를 M10 볼트(특수볼트) 6개로 견고하게 조립하고, 베이스 로테이터 내부에는 외경  $\phi 200\text{mm}$ , 내경  $\phi 140\text{mm}$ , 폭 25mm의 대형 롤러 베어링을 압입하여 베어링의 내륜에 하모닉 드라이브(정밀 감속기) 하우징 상부를 압입시켰다. 베이스 로테이터 중앙 보스에는 원주방향으로 6개의 M10 암나사를 가공하여 플렉스플라인이 견고하게 조립되게 하였으며, 정밀 감속기 하우징 내부에는 서클러 스플라인이 견고하게 조립되게끔 하였다. 정밀 감속기 하우징 하부에는 서보 컵 모터가 M8 볼트 4개로 견고히 취부되어 있으며, 모터의 축에는 웨이브 제너레이터가 일체로 조립되어 있다.

베이스 로테이터(선회 축) 구동은 서보 컵 모터에서 동력을 전달받아 웨이브 제너레이터에 연결되고, 플렉스플라인과 서클러 스플라인의 작동에 의하여 플렉스플라인에 동력이 전달되어 외경  $\phi 200\text{mm}$ 의 롤러 베어링의 외륜과 함께 베이스 로테이터가 회전하게 된다. 정밀 감속기 하우징 하부는 블록 A상부에 고정되게 하였으며, 베이스 로테

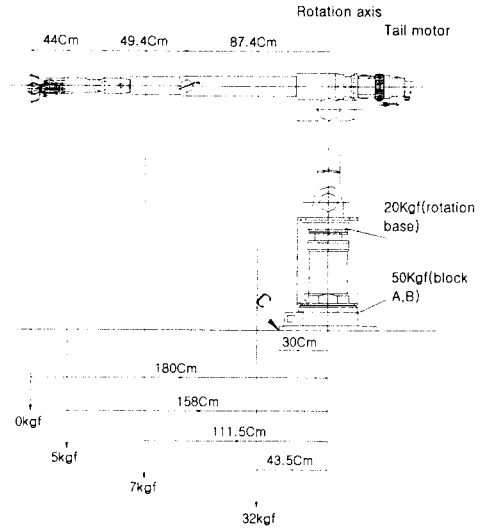


Fig. 6 Robot balance.

이터의 회전에 의해 베이스 대의 상부가 원활하게 선회되게 하였다. 베이스 선회대는 로봇 아암을 수평으로 하여 최대 가반 중량물을 잡을 때 최대 모멘트를 받게 되므로 자립이 가능한 선회대가 필요하다. 선회대의 크기는 한 변이 600mm의 정방형 단면으로 두께 30mm의 주철 블록으로 하고, 이 블록의 중앙부에 외경  $\phi 370\text{mm}$ , 내경  $\phi 354\text{mm}$ , 높이 650mm의 원통으로 지지하는 것으로 하여, 이것을 블록 A로 한다. 로봇이 아암을 수평으로 하여 중량 0kg의 물체를 잡을 때 점 C를 지점으로 하여 쓰러지게끔 하는 모멘트를 계산하면 다음과 같이 된다. 대략 그림 6에 따라서 자중에 의한 모멘트를 계산한다.

(1) 손목 굽힘, 손목회전(비틀), 잡음장치를 합하여 약 5kgf로 하고, 선회축에서의 거리를 158cm로 한다.

(2) 제3아암의 무게를 3.5kg, 종단 관절 아암 및 종단 관절 아암을 4kgf로 하고, 합계 7.5kgf로 하여 선회 축에서의 거리를 111.5cm로 한다.

(3) 제2아암의 무게를 11kgf, 제3암 회전용 모터 9kgf, 제2관절 선회와 제2관절 보조 아암을 12kgf로 하여 합계 32kgf로 선회 축에서의 거리를 43.5cm로 한다.

(4) 제1아암과 체인을 합하여 16kgf로 하고, 선회축에서의 거리를 28.5cm로 한다. 또한 연미 부분

과 모터는 선회 축보다 좌측에 있으므로 무시한다.

로봇은 아암의 길이 180cm의 곳에서 0의 중량 물을 잡고, 점 C와 선회 축에서의 거리는 30cm로 한다.

$$\begin{aligned} T &= 5 \times (158-30) + 7 \times (111.5-30) \\ &\quad + 32 \times (43.5-30) + 16 \times (28.5-30) \\ &= 1618.5\text{kgf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

위의 식은 로봇 팔이 점 C를 중심점으로 하여 쓰러지려는 모멘트이다. 또한 선회대는 20kgf, 블록 A는 약 50kgf, 연미에는 32kgf의 모터가 1개, 선회대 좌측에 30kg의 모터 1개와 6kg의 기어 박스 1개, 선회대 우측에 30kg의 모터 1개와 6kg의 기어 박스 1개, 블록 A의 내부에 30kgf의 모터가 1개 있다. 합하여 약 224kgf의 중량이 선회축 부근에 있고, 점 C를 지점으로 하여 로봇을 쓰러지지 않게 하려는 모멘트는  $224 \times 30 = 6720\text{kgf} \cdot \text{cm}$ 로서 로봇의 자립으로서는 충분하다. 그 결과 로봇의 전체중량은 약 330kgf로 안전하므로 선회대는 로봇의 자립이 가능하여 이동할 수 있는 차량의 프레임 상부 중앙에 탑재 고정시키는 형태로 하여 이동하면서 과일을 수확할 수 있게 하였다.

#### 나. 제 1 아암

베이스대의 수직위치로부터 전방 45°, 후방 45° 움직임이 가능하므로 제1아암의 회전범위는 90°이다. 제1아암의 회전도 베이스 선회대를 제외한 모든 암을 작동시켜야 하므로 큰 동력이 필요할 것으로 사료되어, 모터와 감속기의 사양은 베이스 선회대용과 동일한 것을 사용하였다. 모터와 감속기는 그림 5에서와 같이 베이스 선회대 우측에 장착하였고, 감속기와 제1아암의 연결은 제1관절 아암 하부 우측면 내부에 M6볼트 6개(특수강볼트)로 회전축과 일체가 되게 고정하였으며, 회전축의 끝 부분은 우측 기어박스에 조립된 두 개의 볼 베어링에 지지되게 하였다. 동력의 전달은 감속기 상부에 취부된 치차(치수 30, 모듈 5.0, 치폭 17mm)와 회전축에 취부된 치차(치수 20, 모듈 5.0

치폭 17mm)에 의하여 속도비 1/170로 전달된다. 특히 여기에서는 확고한 동력 전달이 되도록 치차의 백래쉬를 최대한 줄이기 위하여 헬리컬 베벨 치차를 사용하여 동력이 전달 되도록 하였다. 또한 프레임은 그림 6에서와 같이 중량 16kg의 알루미늄 주물로 가공 제작되었으며 프레임 좌, 우 측면에는 제1아암과 제2아암의 선회를 원활하게 할 수 있는 베어링 취부 홈을 가공하였으며, 베어링 잡이를 취부할 수 있는 M6 암나사(깊이 16mm)를 각각 원주 6등분하여 가공하였고, 내부 우측에는 제1아암 회전축을 조립할 M6 암나사(깊이 18mm) 6개를 원주 등분하여 가공하였다. 프레임의 하부 중앙에는 제2암 선회용 체인을 조립할 수 있도록 폭 50mm, 높이 170mm로 절개하였으며, 하부중심에서 높이 570mm의 지점에 제2아암의 보조 아암을 부착할 수 있는 Y자 형의 홈을 가공하였고 양 측면에는 제2아암 축을 지지할 베어링 홈을 가공하여 놓았다. 제2아암의 보조 아암은 중량 4.5kg의 알루미늄 주물로 가공되었으며 가로 346mm, 세로 140mm, 폭 116mm, 두께 8mm의 ㄷ자형으로, 전, 후 방향에는 제2관절 이후에 사용할 서보 컵 모터와 제2아암 선회대를 취부할 M8 나사구멍이 각각 4개씩 가공되어 있다. 중앙부의 좌측면에는 제2아암의 관절 축이 조립될  $\phi 35\text{mm}$ 의 구멍이 뚫려 있고 이 구멍을 중심으로 제2아암과 스프로켓이 고정 조립될 수 있는  $\phi 7\text{mm}$  구멍 6개가 가공되어 있으며, 우측면에는 제2아암 축 지지대가 조립될  $\phi 35\text{mm}$ 의 구멍이 뚫려 있다.

프레임과 보조 아암의 조립은 프레임 하부의 우측내부에 제1아암 회전축이 프레임에 취부되고 프레임 우측 끝단에 취부된 볼베어링에 지지되어 제1아암이 헬리컬 베벨 치차의 동력을 전달받아 원활하게 선회하게 되고 프레임 하부의 좌측에는 프레임끝단에 취부된 볼베어링에 의해 지지되어 제1아암 아이들 축 끝단에 취부된 더블 스프로켓과 상부 보조 아암에 조립된 더블 스프로켓에 체인(더블50#)이 연결되어 보조 아암이 회전되어 제1아암 이후의 상부가 작동하게 되어 있다.

다. 제 2 아암

제2아암의 회전각은 수평위치로부터 상향 45°, 하향 45°로 움직임이 가능하므로 제2관절 아암의 선회범위는 270°이다. 작동은 그림 6에서와 같이 베이스 선회대 좌측에 부착된 좌측 서보 컵 모터와 하모닉 드라이브의 작용에 의해 헬리컬 베벨 치차에 동력이 전달되고 제1아암 하단부 회전축에 장착된 더블 스프로켓(치수 15, 피치 15.875mm, 외경 83mm)과 제1아암 상단부 즉 제2아암의 보조 아암 내부에 장착된 스프로켓(치수 15, 피치 15.875mm, 외경 83mm)에 50 # 더블 체인에 동력이 전달되어 제2관절 아암 축에 최종적으로 동력이 전달되고, 제2아암의 보조 아암과 일체가 되어 제2아암을 회전시키도록 하였다.

제2아암의 프레임은 두께 8.0mm, 폭 120mm, 길이 700mm의 알루미늄 판으로 끝을 둥글게 가공하였다. 프레임 좌측면에는 아암 취부대를 부착 조립할 수 있는  $\phi 6.5\text{mm}$ 의 구멍을 가공하였으며, 우측면에는 제3관절 축을 조립할 수 있는  $\phi 78\text{mm}$  구멍을 가공하였다.

제2아암의 선회는 그림 7에서와 같이 제2관절 보조 아암 상부에 부착된 서보 컵 모터에서 동력을 전달받아 하모닉 드라이브의 작동에 의해 제2아암과 제2아암 이후의 모든 아암을 동시에 회전시킨다. 제2아암의 선회에서도 제2아암 이후의 모든 아암을 선회시켜야 하므로 다소 큰 동력이 필요할 것으로 사료되어 모터와 감속기의 사양은 제1아암에 사용한 것과 동일한 것으로 사용하였다.

제2아암의 연결은 그림 7에서와 같이 서보 컵 모터와 감속기에 취부된 좌·우의 지지대가 제2아암의 보조암 전, 후에 M8 볼트 8개로 견고하게 조립되게 하였다.

라. 제 3 아암

제3아암의 회전축을 제3관절로 하고, 제1, 제2아암은 수확 핸드를 수확 할 과실까지 이동하는 역할만 하지만 제3아암부터는 사과나무 속의 사과를 수확할 때 장애물을 피하여야 할 경우가 발생하므

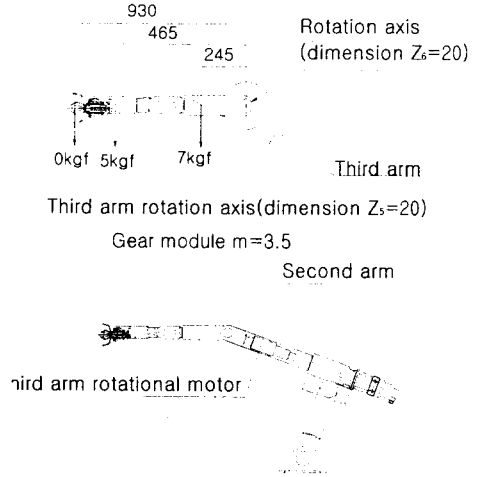


Fig. 7 Dimension ratio of arm rotation.

로 회전각을 크게 한 것이 특징이다. 따라서, 제3아암의 회전각은 수평위치로부터 상향 135°, 하향 135°로 움직일 수 있도록 하였으므로 제3아암의 회전범위는 270°이다.

제3아암의 연결은 그림 7에서와 같이 제2아암의 상단부에 조립된 2개의 볼베어링(6913ZZ) 내륜에 제3관절의 관절 축의 조합과 제3관절 축 잡이에 지지되게 하였으며, 제3관절 축의 조합과 제3관절 축 잡이는 제3관절 아암의 좌우에 각각 고정 취부되어 있다. 작동은 그림 7에서와 같이 제2아암 속에 장착된 DC서보 모터에서 동력을 전달받아 하모닉 드라이브의 작용에 의해 하모닉 드라이브 축 끝단에 연결된 회전축에 동력이 전달되고, 회전축에 일체로 조립된 헬리컬 베벨 치차(치수 20, 외경  $\phi 63$ , 치폭 16mm)에 동력이 전달되어 제3관절 축의 헬리컬 베벨 치차와 직결로 동력이 전달되어 제3아암을 회전시키게 되고, 제3아암은 종단관절 아암과 연결되어 있다.

제3관절에 사용된 서보 모터의 사양은 300W, 75V, 5.6A, 3000rpm이고, 감속기의 사양은 최대 전달 토크 6.4kg·m, 감속비 80 : 1 인 하모닉 감속기를 사용하였다. 선회속도는 최대 37.5rpm에서 관절의 회전속도 225°/초로서 본 로봇의 회전에는 충분하였다. 모터의 축에 종단관절 아암을 취부하였다.



마. 종단관절 아암

종단관절과 종단아암은 제3관절과 비슷한 구조로 제작되었으나 사용된 모터와 감속기는 소출력의 것이고 그림 8과 같이 제작되었다. 종단관절은 사람의 손목에 해당하며 종단관절의 굽힘(손목의 굽힘)은 종단관절 선회 모터 상부에 조립된 타이밍 벨트에 의해 동력이 전달되어 상하 90°로 회전하게 된다.

로봇의 제일 끝단에 취부된 인식 카메라에 의해

잡음 물체가 감지되면 핑거에서 물체(사과)를 잡은 후 비틀 필요가 있다. 이 비틀림 작동은 핸드 회전 모터에서 동력을 전달받아 센서에 의해 종단관절 로테이터가 180° 회전하게 되고, 인체에 비하면 손목 비틀림이 된다. 잡음 장치는 이동 스크류에 연결된 로드 에 의해 오므렸다 폼다 하는 구조로 제작되었고 인체에 비교하면 손가락이 물건을 잡는 것에 해당한다.

4. 결 론

본 연구는 노동 집약적인 과수 경영의 규모 확대와 생산성 향상 및 우리 나라 과수 산업의 국제 경쟁력 강화를 위하여 노동력 절감 문제를 농업기계화를 통하여 접근하고자 과수원 작업 중 종래의 기계화 방법으로는 작업이 불가능한 수확작업에 대하여 베카트로닉스 기술을 활용하여 무인작업이 가능한 로봇을 개발하는 데 목적이 있다. 본 연구의 수직 다관절 사과 수확 로봇은 그림 9와 같이 설계제작 되었으며 잎, 가지 등의 장애물을 회피할 수 있는 고능률 사과 수확 로봇의 매니플레이터로서 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

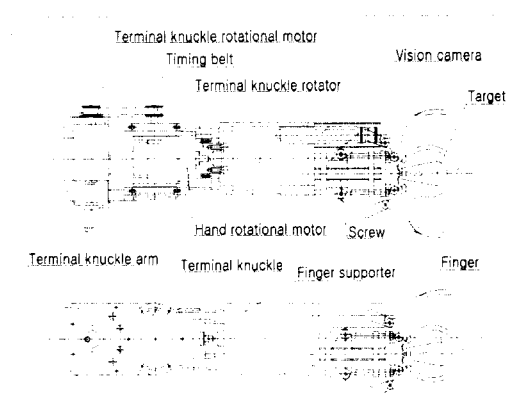


Fig. 8 Detail drawing of terminal knuckle and hand.

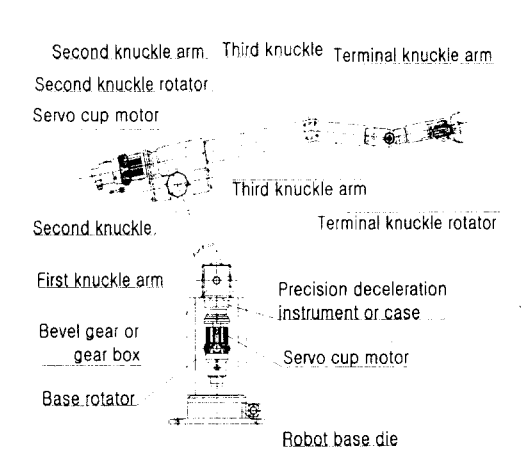


Fig. 9 Terms of robot modules.

1) 수직 다관절 사과 수확 로봇은 베이스 선회, 제1아암의 회전, 제2아암의 회전 및 선회, 제3아암의 회전 및 선회, 종단관절의 회전 및 선회, 수확 핸드로 구성되어 있다.

2) 로봇의 축간 거리와 무게는 베이스 높이 780mm, 270kg, 제1아암 570mm, 16kg, 제2아암 870mm, 32kg, 제3아암 490mm, 7kg, 종단관절 아암과 핸드 440mm, 5kg이고 총 중량은 330kg이다.

3) 로봇의 작동범위의 각도는 베이스 선회 270°, 제1아암의 회전 전방 45°, 후방 45°, 제2아암의 회전 상향 45°, 하향 45°, 제2아암의 선회 270°, 제3아암의 회전 상향 135°, 하향 135°, 제3아암의 선회 270°, 종단관절 아암의 회전 상향 135°, 하향 135°, 종단관절 아암의 선회 270° 이다

4) 로봇의 작동 범위의 거리는 수평거리 860~2,220mm, 수직거리 1,440~2,260mm, 선회각도 270°, 회전각도 90°, 270° 이다

### 참 고 문 헌

1. 장익주. 1995. 과수원 무인 작업 로봇 개발에 관한 연구, 농촌진흥청 연구보고서. pp. 51-85.
2. Naoshi Kondo, K. C. Ting. 1998. Robotics for Bioproduction Systems, Design and Control of Manipulators. ASAE/The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems. pp. 31-36.
3. M. 프로브라토ッチ, V. 보토코냐시크. 1986. 로봇트工學의基礎---마니퓰레-타의動力學. 슈프링거·퓨어라크東京株式會社, Springer-Verlag Tokyo Berlin Heidelberg New York London Paris. pp. 5-12.
4. 洞 啓二, 堀尾 亨也. 1983. 마이콘制御 핸드 로봇트(設計·制作·制御). 파워社. pp. 4-35.
5. 三菱株式會社. 1992. MITSUBISHI 三菱電機 마이크로로봇 RV-M2 MOVEMASTER RP-M2. pp. 1-26.



### 학 위 취 득

성 명 : 홍 종 태 (洪 種 太)  
생 년 월 일 : 1954년 10월 30일  
취 득 학 위 명 : 농 학 박사  
학 위 수 여 대 학 : 경북대학교  
학 위 취 득 년 월 일 : 2000년 2월 25일  
학 위 논 문 : 배추수확기 개발에 관한 기초연구

