

최 종
연구보고서

구기자 수확기 개발

Development of Boxthorn

(*Lycium chinense* Mill) Harvester

연구 기관

충남대학교

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “구기자 수확기 개발에 관한 연구”과제의
최종보고서로 제출합니다.

2000년 12월 20일

주관연구기관명 : 충남대학교

총괄연구책임자 : 이 상 우

세부연구책임자 : 허 윤 근

연 구 원 : 서 정 덕

연 구 원 : 나 상 욱

연 구 원 : 윤 덕 상

여 백

요 약 문

I. 제목

구기자 수확기 개발에 관한 연구

II. 연구 개발의 목적 및 중요성

1. 목적

가. 제 1 세부과제 : 구기자 수확기 개발 기초 연구

- 1) 구기자 가지, 숙과, 미숙과, 잎, 꽃 등의 물리적 및 역학적 특성을 측정 및 분석하여 숙과의 효율적인 탈과 메카니즘을 구명 수립한다.
- 2) 구기자의 생태 및 재배학적 특성을 조사 분석하여 수확작업의 기계화에 편리한 재배법과 적합한 수형 유인 방법을 강구한다.

나. 제 2 세부과제 : 구기자 수확 시작기 개발

- 1) 수확기의 주요구조를 ㉠ 탈과장치 ㉡ 집과장치 ㉢ 주행장치로 분류하여, 각 장치의 구조를 설계 제작하여 기능을 분석 보완하고, 이들을 종합하여 최종적으로 구기자 수확기계를 개발한다.

2. 연구 개발의 중요성

우리나라 구기자 작물은 1996년을 정점으로 하여 충남 청양과 전남 진도를 비롯한 재배면적 486ha에서 연간 약 1200ton의 구기자 열매를 생산하고 있고, 이 열매

는 한약재나 건강음료로 널리 이용되고 있고 잎이나 뿌리도 약재로 쓰이고 있는 우리나라 중요한 특화작물로 평가받고 있다. 그러나 재배작업은 거의 인력에 의존하고 있으며, 특히 수확작업은 간단한 도구의 사용이나 이용을 못하고 손으로 작은 열매를 하나 하나 따고 있는 인력작업으로 전체 생산비 가운데 84% 이상을 점하고 있다. 이로 인하여 영농규모는 개별 농가 당 약 10a 정도로 영세하고(송전의 외, 1993), 높은 인건비는 재배농가의 소득증대에 큰 장애가 될 뿐만 아니라 인력부족으로 안정적인 영농을 위협하는 시점에 이르고 있다. 따라서 현재 우리나라 구기자 재배농가는 수확작업의 기계화를 절실히 요구하고 있으며, 작업성능이 낮고 작업 환경이 열악한 인력수확작업을 높은 작업성능과 쾌적한 작업환경을 갖춘 기계수확작업으로 발전 전환시키는 것이 우리나라 구기자 생산원가를 감소시킬 수 있고 부족한 노동력을 대체시킬 수 있는 중요한 당면과제로 대두되었다. 아울러 이 연구 개발된 구기자 수확기계가 장차 농장에서 실용적으로 사용될 때 다음과 같은 시너지 효과가 유도 창출되리라 기대된다.

- 가. 기계 수확을 통하여 노동력을 감소하고 생산비를 낮추어 재배농가의 소득 증대를 도모하고 경쟁력을 높인다.
- 나. 열악한 수확작업환경을 쾌적한 작업환경으로 개선한다.
- 다. 기계수확의 높은 작업성능은 영농규모의 확대를 촉진하고 안정적인 영농 구조를 구축한다.
- 라. 국제 경쟁력을 증대시키어 국내에서 생산한 양질의 구기자를 국민에게 안정적으로 제공할 수 있다.
- 마. 우리나라 농업기계 산업 발전에 기여할 수 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

Ⅲ-1. 연구 개발 내용

본 연구과제의 연차별 연구 개발 내용과 범위를 분야별로 요약하면 다음과 같다.

1. 제 1세부과제 : 수확기 개발에 관한 기초 연구

가. 1차 년도

- 구기자의 기계화 적응재배법
 - 구기자 우량계통 생산력 검정, 예비 선발시험을 통한 품종별 특성 파악 및 품종선발.
 - 수확작업의 기계화에 편리한 재배 방법 강구.
 - 수확작업의 기계화에 적합한 구기자 수형의 유인방법의 모색.
- 구기자의 줄기, 열매, 잎 및 꽃 등의 물리적 및 역학적 특성 분석
 - 구기자의 줄기, 열매, 잎, 및 꽃 등의 정밀하고 세부적인 역학적 특성 연구를 위한 물성측정장치 및 이에 필요한 물림장치 설계 제작.
 - 설계 제작한 물성실험 장치를 이용한 구기자의 열매, 줄기, 잎, 꽃 등의 역학적 특성을 각 품종의 수확시기별로 정밀하고 세부적으로 구명.
 - 구기자 열매의 탈과 메카니즘을 이론적으로 분석하여 탈과 성능의 효율을 높일 수 있는 적합한 진동수와 진폭을 구명.

나. 2차 년도

- 구기자의 기계화 적응 재배법
 - 수확작업의 기계화에 편리한 재배법을 구체적으로 명시.
 - 수확작업의 기계화에 적합한 구기자 (외대)수형의 구체적 유인법 정립.
 - 구기자 가지의 진동 특성 구명.

2. 제 2 세부 과제 : 수확기 시작기 개발

가. 1차 년도

- 수확 방법과 장치에 따른 수확작업의 성능 및 기능 분석
 - 수작업의 인력관행 수확방법의 작업성능을 기준으로 하여 간단한 도구의 이용가능성 검토.
 - 수확작업의 기계화에 이용 될 수 있는 흡입형과 진동형의 작업성능을 예비실험을 통하여 비교 분석.
- 수확기능이 상대적으로 우수한 진동형 수확기 개발을 위한 진동탈과시험 장치를 설계 제작.
- 설계 제작한 진동탈과시험장치를 이용한 열매 탈과 특성을 수확시기 및 가진점별로 구명.
 - 미숙과, 꽃, 잎 등을 보호할 수 있고 숙과만을 선택 수확할 수 있는 적합한 진폭과 진동수 구명.
- 탈과 성능을 높일 수 있는 가진점 구명.
- 수확기계에서 탈과장치에 연결되는 집과장치의 형상과 작동방법.
 - 열매의 손상과 미수집량을 최소화 할 수 있는 기능 분석.

나. 2차 년도

- 구기자 수확 시작기의 설계전제 조건 설정
- 수확기계의 탈과장치 개발
 - 설계 방향 설정.
 - 진동발생 장치의 구조 및 작동방법.
 - 진동고리 형상 및 작동방법.
 - 동력원 선정.
- 속과의 집과장치 개발
 - 설계 방향 설정.
 - 집과상자 설계 및 제작.
 - 열매 집과안내장치 설계 및 제작.
 - 집과장치 장착 방법.
 - 열매 비산방지장치.
- 주행장치 개발
 - 프레임.
 - 주행속도 설정.
 - 동력전달장치.
 - 조향장치 및 전후진.
- 시작기 제작 및 포장 실험
 - 1차 시작기 제작 및 포장실험.
 - 2차 시작기 개발 및 평가.
 - 작업성능 평가
 - 문제점 파악 및 개선 대책

III-2. 연구 개발의 범위

1. 구기자의 기계화 적용 재배법

- 가. 구기자 품종 우량 계통 선발
- 나. 수확작업의 기계화에 편리한 재배법
- 다. 수확작업의 기계화에 적합한 수형의 유인법

2. 구기자의 열매, 잎, 줄기 등의 역학적 특성

- 가. 구기자 탈과 메카니즘의 이론 분석
- 나. 물성 측정 장치
- 다. 열매의 탈과력
- 라. 열매의 탈과력-중량(F/W)비
- 마. 잎 및 꽃의 탈리력
- 바. 가지의 진동 특성

3. 구기자 탈과장치의 기초 연구

4. 진동형 탈과실험장치

5. 진동 특성에 의한 구기자 열매의 탈과율

6. 탈과장치 개발

- 가. 설계 방향 설정
- 나. 진동 발생 장치의 구조 및 작동 방법
- 다. 진동고리 형상 및 작동 방법

라. 동력원 선정

7. 집과장치 개발

가. 설계 방향 설정

나. 집과상자

다. 집과안내장치

8. 주행장치 개발

가. 프레임

나. 주행 속도

다. 동력전달장치

9. 시작기 제작 및 포장 실험

가. 1차 시작기 제작 및 포장 실험

나. 2차 시작기 개발 및 평가

10. 작업 성능 평가 및 개선점

IV. 연구 개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 개발 결과

수행한 주요 연구결과를 세부과제별로 요약하면 다음과 같다.

가. 제 1 세부과제 : 구기자 수확기 개발 기초 연구

1) 구기자의 기계화 적응 재배법에 관한 연구

가) 우리나라에서 재배되고 있는 품종가운데 단위 면적당 산출량이 가장 많은 품종은 평균 생중량으로 유성2호가 697kg/10a, 청양구기자 664kg/10a이었으며 건중량으로는 청양구기자가 286kg/10a, 유성2호가 283kg/10a 이었다. 전체 시료의 평균 수량은 생중과 건중이 각각 426kg/10a와 177kg/10a로 조사되었다.

나) 수형의 생육특성에서 주지는 직립형태를 유지하였으나 1차지 내지 2차지는 반직립 내지 하향으로 늘어져 있었다. 따라서 관행 재배에서 분지간의 영킴 내지 중첩은 기계화에 장애 요인이 되었다.

다) 구기자 재식거리는 120×40cm(소식)이 90×30cm(밀식)보다 단위면적당 수량도 많았고, 통풍 및 통광이 좋아서 병해충의 발생을 억제하여 생육을 좋게 할 뿐만 아니라 넓은 공간은 적심 작업, 관리작업 및 수확작업에 편의성을 제공하였다.

라) 관행 재배법의 수형 유인법에서 한 주당 4~5줄기를 보호 생장시켜서 1차 적심은 구기순이 20~30cm 자랄 때, 2차 적심은 1차 측지가 20~30cm 자랄 때, 3차 적심은 2차 측지가 20~30cm 자랄 때 각각 순 끝 1~2cm 정도 잘라주어 적심을 실시하여 왔고, 3차 이상의 적심은 품종의 생육상태를 고려하여 실시하였으며, 지주 세우기는 1차 적심 후 두둑 양면에 약 5m 간격으로 2개씩 지주를 세우고 줄을 매어서 유인 줄

로 분지의 늘어짐을 방지하여 왔다. 그러나 기계작업 수행에는 가지의 밀도가 너무 크고 공간이 좁았다.

마) 수확작업의 기계화에 편리한 수형의 유인법에서는 한 주당 외대 또는 두대 줄기를 보호 성장시켜 줄기가 약 60cm 정도 자랄 때 순 끝 1~2cm을 잘라주어 1차 적심을 실시하였고, 이어서 1차 측지와 2차 측지에 대한 적심은 생육상태를 고려하여 실시함으로써 분지가 넓은 공간에서 건강하고 왕성하게 성장하여 관행재배법보다 개화기가 15~20일 정도 빨랐고, 수량성도 양호하였으며, 특히 분지간의 중첩 내지 영킴이 적었고 두둑 윗면과 분지 사이의 공간이 20~30cm 이상 만들어지며 기계를 효율적으로 사용함에 매우 편리하였다.

2) 구기자 줄기, 열매, 잎 및 꽃 등의 물리적 및 역학적 특성 분석

가) 구기자 줄기의 평균 경장과 직경은 각각 113.5cm와 0.95cm이었으며, 주당 평균 줄기 수는 5개이었다.

나) 구기자 열매의 평균 과장과 과경은 각각 13.8mm와 8.3mm이었고, 구형율은 0.7, 100과중의 생중과 건중은 각각 34.7g과 12.1g, 주당 평균 착과수는 997개이었다.

다) 구기자 과병의 길이는 11.3-19.3mm이었고, 직경은 열매 쪽이 굵고 가지 쪽은 가늘었다.

라) 구기자 열매의 속과와 미속과의 평균 탈과력은 각각 1.00N과 2.70N이었고, 속과와 미속과의 F/W비는 103~634와 526~1770으로 속과와 미속과의 차이는 2.7~5.1배로 탈과력의 차이가 현저하게 나타났다. 이 차이는 미속과를 보호하면서 속과의 선택적 수확의 가능성을 시사하였다.

마) 꽃의 탈리력은 평균값으로 1.69N이었으며 F/W의 평균값으로 약 4034이었다. 한편 구기엽의 탈리력은 평균값으로 약 4.07N이었으며 F/W값이 속과보다 월등히 크기 때문에 속과의 탈과 시에 건강한 꽃과 잎의

탈리는 피할 수 있다고 판단되었다.

바) 탈과된 열매를 구기자 발의 토양지면에 자연 낙하시킬 때 꽃받이가 붙은 완속과는 낙하 높이 약 1.6m, 꽃받이가 빠진 완속과는 1.1m (낙하속도 $V=4.46\text{m/s}$) 이상에서 파열되었다.

사) 구기자 탈과 메카니즘의 이론분석

진폭 < 과병(果柄)길이 : 열매가 과병에 매달리는 진자운동 발생

$$(\text{열매의 중량으로 유발되는 하중}) \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \text{과병의응력} \\ \text{열매의탈리력} \end{pmatrix}$$

진폭 > 과병길이 : 진가운동이 확대되어 열매의 운동속도에 의한 관성력 유발

$$\begin{pmatrix} \text{관성력에 의한 전단력} \\ \text{곡모멘트에 의한 전단력} \\ \text{열매끼리 또는 나무가지에 충돌} \\ \text{열매와 과병이 나무가지에 휘감기} \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \text{과병의응력} \\ \text{열매의탈리력} \end{pmatrix}$$

따라서 나무 가지에 전달되는 진동의 진폭은 과병의 길이 보다 크면 탈과 효율이 높아진다.

자) 구기자 가지의 자유진동수는 가지의 굵기가 증가함에 따라 증가하는 경향이었고, 그 범위는 약 $89\sim 363\text{ rad/s}$ 이었으며, 탄성계수는 가지의 굵기가 클수록 감소하였다. 측정치는 $2.01 \times 10^9 \sim 4.97 \times 10^9\text{ N/m}^2$ 이었다.

나. 제 2 세부과제 : 수확기 시작기 개발

- 1) 간단한 수확기구인 캔-빗살형, 장갑-깎때기형을 사용한 수확능률은 관행보다 낮았고 명석형은 거의 비슷하게 나타났다. 이 결과는 생물학적 제한요인(숙과, 미숙과, 꽃, 잎 등이 한가지의 마디에 혼재되어 있었고, 밀집된 분지 속에서 수확기구의 움직임이 어려웠음) 때문에 간단한 수확기구의 사용이 불가능함을 시사하였다.
- 2) 기계수확의 흡입형은 흡입물질이 흡입공기 유로를 부분적으로 막아서 일정한 흡입력을 유지함이 매우 어려웠고, 특히 열매 탈과 및 집과 과정에서 흡입력에 의한 숙과 탈과 속도(이론 속도 6974 m/s)가 열매 파열 한계속도(이론속도 4.64 m/s)보다 너무 커서 충돌로 인한 열매 파열이 문제되었다.
- 3) 진동형 기계 수확의 예비실험에서는 전체 수확량 가운데 이물질(구기엽, 부러진 잔가지, 마른 잔가지 등) 포함량이 약 30%로 많았으나, 미숙과는 전혀 포함하고 있지 않았고, 특히 탈과 집과된 숙과는 전혀 손상이 없었으며 수확능률도 가장 높아서 기계 수확 방법으로 가장 적합하리라 판단되었다.
- 4) 숙과의 탈과에 적합한 진동수와 진폭을 구명하고자 진동형 탈과 실험장치(그림 25, 26)를 설계 및 제작하였다. 이 장치의 주요기능으로서는 진폭 : 0~6 cm, 진동수 : 0~2430 rpm의 범위에서 가변적이고, 전자 클러치-브레이크 시스템을 이용하여 일정한 작동시간 중 설정 회전수를 순간적으로 유지 작동하도록 하였다.
- 5) 진동특성에 의한 구기자 열매의 탈과율

가) 숙과의 탈과율은 일정한 진폭에서 진동수가 증가할수록 증가하는 경

향을 나타냈으며, 일정한 진동수에서는 진폭이 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈다.

나) 진폭과 진동수가 일정한 경우에는 가진 시간이 증가할수록 속과의 탈과율이 증가하는 경향을 나타냈다.

다) 미속과의 탈과는 속과의 탈과가 어느 수준이상 이루어졌을 때 불규칙적으로 이루어졌으며, 미속과의 탈과가 현저하게 나타나는 진동수 및 진폭, 가진 시간의 수치가 탈과 최대 한계 치가 되었다.

라) 진동수, 진폭의 변화에 따른 탈과율은 진동수 범위가 900~1200 rpm, 진폭의 범위가 35~40mm 일 때 가장 양호한 탈과율을 나타냈다.

마) 최고 탈과율은 가진 시간이 3초, 진동수가 900 rpm, 진폭이 35 mm에서 87.6 %를 나타냈다.

6) 가진점의 위치

본줄기(主枝)에 가진 하는 경우에 전체 탈과율은 58%로 매우 미진하였고 전체가지의 탈과 현상을 가진점을 중심으로 가지의 생태에 따른 진동전달율에 의하여 결정되었다. 1차지 내지 2차지에 가진 하는 경우의 탈과율은 약 72%로 실용화 수준이었으며, 1차지 내지 2차지의 가진점은 가지 길이의 중간 위치에서 탈과 효율이 가장 높았다.

7) 구기자 수확시작기의 설계 전제조건 설정

가) 구기자 재식거리는 120×40cm(소식)로 정하였고, 두둑의 폭×높이 = 60×15~20cm, 고랑의 간격×깊이 = 60×10cm로 규격화하고 묘상의 표면 형상은 타원으로 하였다.

나) 시작기의 주요 구조는 탈과장치 집과장치 주행장치 및 프레임으로 구성하였다.

8) 탈과장치 개발(그림 40)

가) 설계 방향 설정

- (1) 미숙과, 꽃, 잎 등과 혼재되어 있는 숙과를 선택적 수확이 가능하도록 탈과시키데 미숙과, 꽃, 잎 등은 보호되어야 한다.
- (2) 작업자의 손에 미치는 하중을 경량화한다.
- (3) 작업자에 미치는 진동을 최소화한다.
- (4) 탈과장치의 소요동력은 생태적 변화에 대응하도록 여유마력을 갖도록 한다.
- (5) 일정한 작업 범위에서의 작업은 일률적으로 이루어져야 한다.

나) 주요 구조 및 작동방법

- (1) 진동 발생 장치로는 슬라이드 크랭크 시스템(그림 38)을 이용하여 설계 및 제작하였다.
- (2) 크랭크 시스템 및 모터를 이송안내봉에 장착하여 작업자에 미치는 하중을 경량화 할 뿐만 아니라 장치의 이동을 용이하도록 하였다.
- (3) 진동고리의 착탈방식은 조립식, 왕복 운동하는 진동고리의 방향 전환은 좌우로 자유롭게 회전식이 되도록 설계 제작하였다.

9) 숙과의 집과장치 개발(그림 45)

가) 설계 방향 설정

- 미수집량을 최소화한다.
- 열매 집과 시에 열매의 손상이 없어야 한다.
- 집과장치는 변형된 두둑에도 기능이 유지되어야 한다.

나) 집과 상자의 형상(그림 41)은 두둑과의 충돌을 최소화하도록 삼각형 단면으로 설계하였다.

다) 열매 집과안내장치는 집과안내판과 안내솔로 구성되었고, 설치 각은 열매의 구름이 가능한 크기로, 그리고 나무 밑 부분의 집과 기능을 유

지하도록 집과안내솔은 2단으로 설계 제작하였다.

- 라) 집과안내장치의 작동을 개폐식으로 설계 제작하여서, 수확기계의 포장주행은 원활하게 그리고 탈과작업 중에는 집과기능이 나무 밑부분까지 가능하도록 하였다.
- 마) 탈과 낙하하는 열매가 튀김으로 인하여 손실되지 않도록 열매비산방지막을 설치하였다.
- 바) 집과장치의 장착방법에서는 집과장치가 변형된 두둑에서 적용될 수 있도록 상하로 가변적 장치로 장착하였다.

10) 주행장치 개발

- 가) 1차 시작기의 프레임의 규격은 구기자 재식거리 및 수고와 작업공간을 고려하여 길이(L)×폭(W)×높이(H) = 1500×1200×1300 mm로 설계 제작하였으나 기계를 취급할 때와 선회시킬 때 너무 커서 불편함 때문에 2차 시작기의 프레임을 1200(L)×1000(W)×1300(H)mm로 재조정하였다.
- 나) 주행속도는 포장상태를 고려하여 15~20 cm/s 범위로 설정하였다.
- 다) 동력원은 탈과장치의 경량화와 동력전달장치의 단순화를 고려하여 엔진 부착형 1kW 발전기와 모터를 사용하였다.
- 라) 동력전달 시스템에서 1차 시작기는 맞물림클러치 및 체인 시스템을 채택하였으나 조작성이 불편하고 출발 시에 진동이 커서 2차 시작기에서는 텐션 폴리 클러치와 벨트 폴리 시스템으로 전환시키었다.
- 마) 주행 시스템은 전륜 조향과 후륜 구동 시스템을 채택하였고 전후진은 투웨이 스위치(two-way switch)로 간편하게 조작하도록 하였다.
- 바) 주요장치 보호와 작업자의 작업 환경 개선을 위하여 기계 윗 부분에 캐빈을 추가로 설치하였다.

11) 시작기의 제작과 포장 실험

가) 제 1차 시작기

- (1) 프레임(1500(L)×1200(W)×1300(H)mm)에 탈과장치와 집과장치를 장착시켜 제작하였다.
- (2) 기계가 포장 내로 진입할 때 고랑에 짚이 깔려 있었고, 짚과 토양이 젖어 있어서 포장내의 기계 주행은 구동후륜(ϕ 400 mm)의 침하 및 공회전 때문에 불량하였다.
- (3) 탈과작업에서 작업자의 손에 미치는 하중은 크지 않았지만 진동고리의 방향이 일정한 방향으로 고정되어 있어서, 진동고리를 구기자 가지에 순간적으로 걸 때 매우 불편하였고, 진동고리의 고리를 1개로 구성되어 있는 것보다는 2~3개로 구성되어 있는 것이 분지에 진동고리를 거는 것이 능률적이었다.
- (4) 단면 형상이 직4각인 집과 상자의 밑면이 변형된 두둑 윗면에 부딪치어 주행에 장애를 일으켰다.
- (5) 열매 집과 안내판과 집과안내솔 등의 장착 시에 설치각 15° 는 집과안내솔 끝이 주지 주변을 감싸기 보다 분지 사이에 끼었으며, 특히 집과안내솔이 고정 설치되어 있어서 기계 주행 시에 집과안내솔이 꺾이거나 틈새가 벌어져 집과 기능이 저하되었다.

나) 제 2차 시작기

- (1) 2차 시작기의 프레임을 1200(L)×1000(W)×1300(H)mm로 다시 조정하였고, 이에 개선 보완된 탈과장치 및 집과장치를 장착시켜서 2차 시작기를 제작하였다.
- (2) 2차 시작기의 주행 성능을 향상시키고자 구동후륜을 러그가 크고 직경이 ϕ 500mm인 바퀴로 교체시켜서 공회전을 줄이었고 전륜의 조향장치를 설치하였다. 그러나 동력 전달장치인 벨트와 풀리 사이에서 부분적으로 발생하는 슬립은 개선점으로 남았다.

- (3) 탈과장치의 진동고리를 좌우로 자유롭게 움직일 수 있도록 커플링 (그림 40)시스템을 이용하여 진동고리의 방향을 자유롭게 회전 가능하도록 보완 설계 제작하여 탈과성능을 크게 향상시켰으나, 전후로 움직일 때 동력선인 피아노선의 강성 때문에 다소 불편하였다.
- (4) 4각 단면의 집과상자의 밑면의 두둑 쪽의 면을 경사지게 3각 단면으로 변경시켜 주행시의 장애를 없앴다.
- (5) 열매 집과 안내판 및 안내솔이 탈과 시에는 구기자나무 밑부분을 감싸고, 기계 주행 시에는 집과 상자 쪽으로 이동시켜 집과장치가 구기자나무에 걸리지 않도록, 4절 링크 시스템(그림 45)을 이용한 개폐식으로 개선하여 주행과 집과 기능을 크게 향상시켰다.
- (6) 작업 성능 평가
- (가) 속과의 탈과율은 82%내외로 비교적 양호한 편이었고 나머지 18%는 차기 수확 시에 수확할 수 있다고 사료되었다.
- (나) 집과율은 93%내외로 나타났고 여기서 약 7%의 미집과 열매는 주로 기계 전후 방향으로 튀김에 의한 손실이었으므로 튀김방지막의 설치로 충분히 예방 할 수 있다고 사료되었다.
- (다) 미속과의 탈과율은 약 5% 안팎으로 큰 문제점은 아니었다.
- (라) 작업성능은 속과의 상태에 의하여 크게 차이가 있었지만 속과 상태가 양호한 경우에는 인력작업에 의한 수확량에 비하여 4.2배까지 나타났다.
- (7) 2차 시작기의 개선점
- (가) 포장 내의 기계 주행성능 향상을 고려하여 기계 폭은 재식거리(120cm)에 맞추어 재조정할 것
- (나) 탈과장치의 동력전달 축(피아노선)의 구부러짐을 최소화하기 위하여 동력 전달축의 연장선 상단에 크랭크 시스템 및 모터의 설치 위치를 설정한다.
- (다) 탈과장치의 동력전달 축(피아노선)의 커버 호스를 가변적인

자브라 호스로 교체하여 휨모멘트를 감소시킨다.

(라) 튀김에 의한 열매손실을 방지하기 위하여 집과안내솔의 설치 각을 약 10° 로 하고, 집과안내판의 옆면에 튀김 방지날개를 보설한다.

(마) 집과안내솔이 주지 및 분지 사이로 끼일 때 집과 기능을 보강하기 위하여 집과안내솔의 배열을 2단으로 한다.

(바) 주행장치의 동력전달효율을 보강하기 위하여 벨트 시스템을 체인 시스템으로 교체하거나 풀리의 직경을 증대시킨다.

2. 결과 활용에 대한 건의

가. 제 1 세부과제 : 구기자 수확기 개발 기초 연구

구기자는 꽃 및 미숙과 그리고 숙과가 혼재되어 있는 무한화서과이다. 혼재되어 있는 숙과를 기계적으로 선택적 수확이 가능하도록 역학적 기준을 설정하고자 구기자작물 전체에 대한 물리적 및 역학적 특성을 구명하였다. 이 구명된 결과를 본 연구의 구기자 수확기 개발에 활용함은 물론, 공개하여 앞으로 폭 넓은 구기자 연구에 많이 활용되리라 기대된다. 아울러 본 연구에서 수행한 “수확작업의 기계화에 편리한 재배법과 적합한 수형유인법”의 시험포를 충남 청양구기자시험장의 포장에 상설하여 구기자 재배자로 하여금 견학 및 시연을 손쉽게 접할 수 있도록 하여 홍보도 하고 기술을 보급하도록 협의하였다.

나. 제 2 세부과제 : 구기자 수확 시작기 개발

본 연구에서 개발된 구기자 수확기(2차 시작기)의 최종평가에서 지적한 세부적 개선점을 보완한 시작기는 구기자 재배농가가 농장에서 직접 사용할 수 있는 실용화 단계의 기계라고 평가되었다. 이 기계의 운전 조작은 단순하여서

사용자로 하여금 1~2시간의 실기 교육으로 사용함에 불편이 없으리라 사료되었다. 이 기계의 제작비는 실비로 대략 450만원 정도로 예상되어서 소규모 재배 농가에서는 다소 경제적 부담을 갖는 수준이라 생각되었다. 이 기계를 생산 보급 할 때에는 본 연구에서 개발한 “수확작업의 기계화에 편리한 재배법과 적합한 수형 유인법”의 기술의 교육 및 보급과 함께 추진되어야 본 연구에서 개발한 구기자 수확 기계의 실용화를 촉진하리라 판단되었다. 따라서 실용화 1단계는 보완된 기계를 기관에서 시범적으로 생산 제작한 후 이 구기자 수확기계를 충남 청양구기자시험장의 “기계화 시험포”에 상설하여 구기자 재배자가 직접 사용도 해 보고 기술교육을 전수한 후 재배자가 주문생산을 요청할 때 기술 이전을 받은 중소기업이 생산 보급함이 바람직하다고 사료되었다. 본 연구에서 개발된 구기자 수확기의 특허 출원은 현재 준비중에 있다



구기자 열매



구기자 수확 시작기

SUMMARY

I. Title

Development of Boxthorn (*Lycium chinense* Mill) Harvester

II. Objectives and Importance

1. Objectives

1) The first detail project: Primary study for development of boxthorn harvester

(1) To establish an effective detachment mechanism of mature boxthorn berries by investigating and analyzing the physical and mechanical properties of branch, mature berries, immature berries, leaves, and flower of boxthorn.

(2) To formulate a convenient cultural practice and proper bending technique of tree shape for mechanization of the harvest of boxthorn berries by investigating and analyzing biological and culturing characteristics of boxthorn.

2) The second detail project: Development of prototype of boxthorn harvester

Main components of the harvester could be classified into a detachment system, a collection system, and a traveling system. Design and construct each component, analyze and upgrade the mechanism of each component, and, finally, develop a boxthorn harvester by put these components together.

2. Importance of Research and Development

Boxthorn cultivation in Korea was in peak at 1996 and the cultivation area of boxthorn was about 486 ha with the annual total production of berries of 1200 ton. Boxthorn was evaluated as one of

the specialized crop. The berries mainly used as herbs and stamina drinks, and leaves and roots of the boxthorn were also used as medicinal purpose.

The cultural practice, however, of the boxthorn almost depended on hand labor. Specially, the harvesting of the boxthorn berries was totally accomplished by picking a berry one by one by hand and required 84% of the total production cost of berries. Thus, the size of the farm of boxthorn was paltry such as about 10a for each farmer. A high labor cost of harvesting was a barrier for increasing income of the boxthorn cultivation farmers and it was up to intimidate the stabilized farming by dwindling of the labor in suburban area.

Recently, farmers strongly demand the mechanization of the harvest of boxthorn berries, and by changing a hand picking harvest that is a low harvesting efficiency and poor harvesting condition into a mechanical harvest that is a high harvesting efficiency and agreeable harvesting condition, the production cost of the boxthorn berries may be lowered and substitute the dwindling labor in suburban for the boxthorn cultivation.

Followings are expected effects after the developed boxthorn harvester in this study may practically be used in fields.

- (1) To promote the farmers profit increase, and to increase the competitiveness in market by mechanical harvesting, reduce the labor demand, lower the production cost
- (2) To improve the poor harvesting environmental conditions to pleasant conditions of operation.
- (3) The mechanical harvesting with a high operation performance promotes the enlargement of size of boxthorn farming and establishes a stabilized farming system.
- (4) To offer high quality domestic boxthorn berries steadily to a

demand, by increasing international competitiveness.

- (5) To contribute expansion of the domestic agricultural machinery industry.

III. Contents and Extents of Research and Development

Contents and extents of the research and development of this project were summarized as yearly basis as follows.

III-1 Contents of Research and Development

1. The first detail project: Primary study for development of boxthorn harvester

1) The first year

(1) Cultural practice of boxthorn for adaptation of mechanization of harvest

- A. To understand characteristics of the varieties of boxthorn by preliminary selection test of productivity of superior line of boxthorn (*Lycium chinense* Mill).
- B. To study a convenient cultural practice for the mechanization of the harvest.
- C. To study bending technique of proper tree shape for the mechanization of the harvest.

(2) Analysis of physical and mechanical characteristics of branches, berries, leaves, and flowers of boxthorn

- A. To design and construct measurement systems and its associated jigs for a detailed study of mechanical characteristics of branches, berries, leaves, and flowers.

- B. To examine closely mechanical characteristics of branches, berries, leaves, and flowers of boxthorn of each variety by harvesting season using measurement systems.
- C. To examine a proper frequency and amplitude of the vibration for high detachment efficiency of the berries by analyzing theoretical detachment mechanism of the boxthorn berries.

2) The second year

(1) Cultural practice of boxthorn for adaptation of mechanization

- A. To formulate a cultural practice of boxthorn for adaptation of mechanization of harvest of berries concretely.
- B. To establish a bending technique of tree shape of boxthorn for a efficient mechanization of harvest of boxthorn berries.
- C. To study the vibration characteristics of boxthorn branches.

2. The second detail project: Development of prototype of boxthorn harvester

1) The first year

(1) Analysis of performance and capability of applied various methods and equipments for harvesting operation.

- A. To investigate a possibility of the application of a simple equipment for harvesting based on the efficiency of current conventional hand picking harvest technique.
- B. To compare and analyze the performance and capability of an air suction and a vibration type of harvesting as a preliminary test, which could be one of the options as a

technique of the mechanization of harvest.

(2) Design and construction of a vibration detachment test system for development of vibration harvester that was relatively superior on the harvesting capability.

(3) Investigating of the detachment characteristics of boxthorn berries by harvesting seasons and applying locations of vibration using the vibration detachment test system.

To investigate a reasonable frequency and amplitude of the vibration for a selective harvest of mature berries without damaging immature berries, flowers, and leaves.

(4) To investigate a location of the applying point of vibration for a higher detachment efficiency.

(5) To analyze operation method and shape of the collection system, which was one of the major component of harvester.

Analysis of the performance of the collection system that minimizes the damage of berries and missing berries detached.

2) The second year

(1) Establishment of prior design conditions of a prototype of boxthorn harvester

(2) Development of detachment system of harvester

A. Establishment of design concept

B. Structures and moving manner of a vibration generating system.

C. Shape and operation method of vibration rod.

D. Power source and a power transfer system.

(3) Development of mature berry collecting system

- A. Establishment of design concept.
- B. Design and construction of a collecting box.
- C. Design and construction of a guiding unit of a collecting system.
- D. Mounting device of the collecting system on the harvester frame.
- F. Protection device for scattering detached berries.

(4) Development of a traveling system

- A. Frame.
- B. Traveling speed.
- C. Power transfer system
- D. Steering system and forward/backward device.

(5) Construction of a prototype of harvester and field test

- A. Construction of the first trial prototype harvester and field test.
- B. Development of the second trial prototype harvester and field test.
- C. Evaluation of the operation performance.
- D. Examination of the problems and plans of improvement.

III-2 Extents of Research and Development

1. Cultural practice of boxthorn for adaptation of mechanization

- 1) Select superior line of boxthorn variety
- 2) Convenient cultural practice for a mechanization of harvest
- 3) Proper bending technique of tree shape for mechanization of harvest.

2. Mechanical characteristics of boxthorn berries, leaves, and branches

- 1) Theoretical analysis of detachment mechanism of boxthorn berries.
- 2) Detachment force of boxthorn berries.
- 3) Force-to-weight(F/W) ratio of boxthorn berries.
- 4) Detachment force of flowers and leaves.
- 5) Vibration characteristics of boxthorn branches.

3. Primary study of detachment system for boxthorn berries.

4. Vibratory detachment test system.

5. Detachment rate of boxthorn berries with vibration characteristics.

6. Development of detachment system.

- 1) Establishment of design concept.
- 2) Structure and operation method of vibration system.
- 3) Structure and operation method of vibration hook.
- 4) Selection of power source and power transfer system.

7. Development of collection system.

- 1) Selection of design concept.
- 2) Collecting box.
- 3) Collecting guide system.

8. Development of Traveling system

- 1) Frame
- 2) Travel speed
- 3) Power transfer system

9. Manufacturing prototype of harvester and field test

- 1) Manufacturing the 1st trial prototype of harvester and field test
- 2) Development of the 2nd trial prototype of harvester and evaluation.

10. Evaluation of operation performance of developed a harvester and improvable remarks

IV. Results of Research and Development and Suggestion of Practical Use

IV-1. Results of research and development

Followings were summary of results obtained from each detail project.

1. The first detail project: Primary study for development of boxthorn harvester

(1) Cultural practice of boxthorn for adaptation of mechanization

- A. Among the boxthorn varieties cultivated in Cheongyang Boxthorn Experiment station, the most high productive varieties were Youseong #2 with original weight of the

average of 697 kg/10a and Cheongyang gugija with original weight of the average of 664 kg/10a of the berries, meanwhile, Cheongyang gugija with dried weight of the average of 286 kg/10a and Youseong #2 with dried weight of the average of 283 kg/10a of the berries. The average production in overall varieties was 426 kg/10a and 177 kg/10a with the original and dried weight, respectively.

- B. In tree shape of the boxthorn, the stems were almost in straight upward and secondary and more subbranches (i.e , hanger branches) were curved to the ground. Thus, in the conventional cultural practice of the boxthorn, the branches were tangled each other and/or piled on the other, which was a barrier for the mechanization of harvest of boxthorn berries.
- C. In the planting distance of the boxthorn, the cultivation system of 120×40cm allowed good aspiration and penetration of light for growth to control the disease and insect damage, and also offered convenience for pruning, cultivation, and harvesting operation, which was more productive than the system of 90×30cm.
- D. By the bending technique of tree shape of boxthorn in conventional cultural practice, there were four to five primary stems in a bush, and the first pruning was carried out when shoots grew around 20 to 30 cm, the second pruning was done when the first side branch grew around 20 to 30 cm, and the third pruning was done when the second side branch grew around 20 to 30 cm by the cutting the branch at the 1 to 2 cm near to the end of the branch. The over third pruning was done by considering the phase of the growth. The support for the bush was set up after the first pruning of the branch. Two supports were set up as a pair at the

sides of the ridge with the width of 5 cm and tied the supports with plastic string to protect the branches hanging down toward to the ground. The space, however, was limited and branches were so dense for the mechanical harvesting operation.

E. A single or two primary stems were grown for the tree-shape by pruning and bending for the mechanization of harvesting of berries. The pruning of this cultural practice was carried out by cutting the primary stem or stems at the near to 1 to 2 cm at the end of the stem or stems. Remain of the pruning was done by considering the phase of the growth of bush. This cultural practice allowed secondary or more branches wide space to grow healthier and flourisher than the conventional cultural practice such that the flowering time was 15 to 20 days earlier than the conventional cultural practice, and the productivity was satisfactory. Specially, this cultural practice showed less branches tangling and/or pile on the other and had enough vertical space with 20 to 30 cm between the ground and secondary branches allow easy of harvesting machine application.

(2) Analysis of physical and mechanical properties of branches, berries, leaves, and flowers.

A. The average length and diameter of the boxthorn branches was 113.5 cm and 0.95 cm, respectively, and the average number of primary stems per bush was about five.

B. The average length of the major and minor axis of berries was 13.8 cm and 8.3 cm, respectively, the sphericity of the berries was 0.7, the 100-fruits mass was 34.7g and 12.1g with original and dried weight, respectively, and the average of total number of fruits setting per branch was 997.

- C. The length of the fruit stem was around 9.3 to 11.3 cm with thicker at the fruit side and thinner at the branch side.
- D. The average detachment force of mature and immature berries was 1.0 N and 2.0 N, respectively, and F/W ratio (Force-to-weight ratio) of which was in the range of 103~634 and 526~1770, respectively. The difference of F/W between the mature and immature berries was around 2.7~5.1 fold such that it indicated a possibility to harvest the mature berries selectively without detaching the immature berries.
- E. The average detachment force of the flowers from the calyx was 1.69 N and which of the average F/W ratio was about 4034. Meanwhile, the average detachment force of the leaves was 4.07 N and which of the average F/W ratio was 2412. Thus, it was considered that the detachment of health leaves and flowers could be avoided when the mature berries detached because the detachment force and F/W ratio were much higher than which of the mature berries.
- F. Detached mature berries were damaged (e.g., punctured) when the berries were free of fall to the ground at the height of over 1.6 m and 1.1 m (with the speed of 4.64 m/s) with peduncle and without peduncle, respectively.
- G. Theoretical analysis of detachment mechanism of berries showed that the pendulum motion occurred with the longer length of fruit stem than the amplitude of applied vibration. With this case of vibration mode, the detachment force and stress of the fruit stem were caused by the weight of berries, and then detachment of berries occurred. In the case of the amplitude of vibration longer than the length of the

fruit stem, the pendulum motion of the berries extended to produce moment of inertia due to the speed of motion of berries. With this case of vibration mode, the shear force due to the moment of inertia of the berry weight, the shear force due to the bending moment on the fruit stem or the impact force produced by collision of among berries or of between branches and berries, and/or entwining of berries or fruit stems to branches, which caused the detachment of the berries against the stress of the fruit stem and/or detachment force of berries. Thus, when the transferred amplitude of vibration to the branch was larger than the length of the fruit stem, the detachment efficiency was increased.

H. The natural frequency of the boxthorn branches increased as the diameter of the branches increased and its range was around 89~363 rad/s. The modulus of elasticity of the branches decreased as the diameter of the branches increased and the measured value of it was 2.01109~4.97109 N/m².

2. The second detail project: Development of prototype of boxthorn harvester.

1) Simple equipments applied for harvesting of berries such as can-teeth of comb type and glove-funnel shaped type showed a lower harvesting efficiency than the conventional hand picking harvesting, while the mat type spread on the ground showed the similar harvesting efficiency as the conventional harvesting of berries. These results indicated the simple equipments as the harvesting aid were useless with the limited biological factors such as coexistence of mature and immature berries, flowers, and leaves in a branch and difficulty of movement of equipment in the dense and/or entangled branches to harvest berries .

2) The air suction type of mechanical harvest showed a difficulty

to maintain a constant suction pressure due to blocking of the flow stream in the sucking hose by the sucked materials, and, specially, since the theoretical speed of air stream for the detachment of mature berries of 6974 m/s was much higher than the limiting speed of damage of berries of 4.64 m/s, a puncture of the berries due to the impact induced in inside of the suction tank.

- 3) The results from the preliminary test with the vibratory mechanical harvest method showed the 30% of content of foreign material (i.e., leaves, fractured twigs, and/or dried twigs) in the total of detached material. The immature berries, however, did not appear among them and, specially, there was no punctures on mature berries and showed the highest harvesting efficiency among several mechanical harvesting methods applied. Thus, the vibratory mechanical harvest method was considered to be the most efficient one for the boxthorn berries in the field.
- 4) A vibratory detachment test system was designed and constructed to determine a proper frequency and amplitude of shaking for the detachment of boxthorn berries. The major function of the system was a capable of adjustment of amplitude and frequency in the range of 0~6cm and 0~2430rpm, respectively, instant on/off of the system revolution, and maintaining the predetermined speed of revolution for a selected time duration by the electronic clutch/brake unit.
- 5) The detachment rate of the boxthorn berries with the vibration characteristics were as follows;
 - a. The detachment rate of the mature berries increased as the frequency increased at the constant amplitude, and increased as amplitude increased at the constant frequency.
 - b. The detachment rate of mature berries as the shaking time

- increased at the constant frequency and amplitude.
- c. The detachment of immature berries occurred irregularly after some extent of reasonable detachment of the mature berries, and the maximum limiting value of the frequency, amplitude, and the shaking time was a threshold that the detachment of immature was significantly increased.
 - d. The most efficient detachment rate of the boxthorn berries was obtained at the frequency and amplitude range of 900-1200 rpm and 35-40 mm, respectively.
 - e. The highest detachment efficiency was 87.6% at the frequency and amplitude of 900 rpm and 35 mm, respectively, with a shaking time duration of 3 seconds.
- 6) The location of shaking point - The detachment rate with the shaking location at the primary stem was very low of 53% and the overall detachment efficiency of whole tree was determined by the transfer rate of the vibration from the center of the shaking location. With the location of shaking at the first or secondary branches, the detachment rate was relatively high enough of 72% for the practical application and the location of the shaking of this case was at the middle of the branches, which showed a relatively high detachment efficiency.
- 7) Establishment of the preliminary design conditions of the prototype of boxthorn harvester
- a. The planting distance of the boxthorn of 120×40cm, the width and height of the crop bed of 60cm and 15-20cm, respectively, and the distance and depth of the furrow of 60 cm and 10 cm, respectively, was selected for the prototype. The cross section of the surface shape of the row was elliptical.
 - b. The main components of the prototype were consisted of ① a detachment system, ② a collecting system, ③ a traveling system, and ④ a main frame.

8) Development of detachment system

(1) Establishment of design concept

- a. Minimize the weight of the system for the operator
- b. Minimize the system's vibration transferring to the operator
- c. Maintain extra power for required system power
- d. Simplified the operation procedure

(2) Main components and operation procedure

- a. Designed and constructed a slide crank system (Fig. 38) to produce vibration.
- b. The crank system and motor was mounted on the parallel slide transferring guide at the top of the frame so as to minimize the load onto operator and ease the movement of the system.
- c. The vibration hook with reciprocating motion was designed and constructed as assembling unit for the easy of detachment/attachment, and as a rotating unit for the easy of change of direction of application.

9) Development of collecting system (Fig. 45)

(1) Establishment of design concept

- a. Minimize the scattering of detached berries.
- b. Eliminate the damage (e.g., puncture) of berries.
- c. Maintain the collecting system's performance with the deformed (i.e., uneven) row.

(2) The shape of the collecting box (Fig. 45) was selected as the cross section of triangular to minimize the impact to the ground.

(3) The guiding unit of the collecting system was consisted of a guiding brush and plate. The mounting angle of the guiding

unit was selected such as the detached berries could be freely rolling down to the collecting box. The guiding brush was made with two rows of layer with different length such that it could maintain the collecting function of the berries under the bush.

- (4) The operation of the guide unit of the collecting system was designed as an open and shut type such that it allowed the smooth movement while traveling without harvesting operation, and allowed the perfect function of collection under the bush while in harvesting operation.
- (5) The scatter protection curtain was installed onto the main frame of the harvester to protect the berries scattered by impact while in free of fall on the collecting system after detachment.
- (6) The mounting device of the collecting system was designed as a height adjustable to allow free vertical movement to the deformed ground surface.

10) Development of traveling system

- (1) The frame size of the first trial prototype of the harvester was designed and constructed as $1500 \times 1200 \times 1300$ mm (length \times width \times height). Since, however, the first trial frame was too big to turn and operate the system in the narrow field, the second trial prototype of the harvester was upgraded and constructed as $1200 \times 1000 \times 1300$ mm (length \times width \times height).
- (2) The traveling speed of the harvester was designed as in the range of 15~20cm/s by considering the field surface condition and harvesting operation speed.

- (3) The power source of the traveling system was selected as a unit of generator (1 kW) with an engine and motor by considering lightening of the detachment system and simplification of the power transfer system.
 - (4) The first trial of the power transfer system was selected as a jaw clutch and chain system, however, it had problems such as a high vibration at the start of the system and difficulty of operation. Thus, at the second trial, the combination of tension pulley and belt pulley was selected to reduce those problems mentioned above.
 - (5) The front wheel steering and rear wheel drive system was selected for the travel of the harvester and the two-way switch for the easy of operation of the forward and backward travel was selected.
 - (6) A cabin was installed on the top of the frame of the harvester for the protection of the major components of the harvester and improvement of the operation environment of the operator.
- 11) Manufacture of the prototype of boxthorn harvester and field test
- (1) The first trial prototype
 - a. The first trial of the prototype boxthorn harvester was manufactured with the detachment system and the collecting system mounted on the frame size of 1500×1200×1300 mm.
 - b. The system's traveling performance in the field was poor because of the sink of the rear drive wheel (Ø400 mm) into

the ground and the idle of the rear wheel when the system start to get into the field due to the spread straw on the field and wetted straw and field.

c. The load felt to the operator was not heavy during harvesting. Since the direction of the action, however, of the vibrating rod was fixed to a one direction, it was not easy to hook the vibration hook instantaneously to the boxthorn branches. It was more efficient for the detachment rate using two or three hooks attached at the tip of the vibration rod than the single hook attached at the tip of the vibration rod.

d. The collecting box with a cross section of rectangular shape caused a traveling barrier due to the impact to the deformed field surface.

e. The mounting angle of the guiding plate and the guiding brush for the collecting system was set with 15° . The tip of the guiding brush, however, was tangled into the secondary branches rather than surround around the primary stems. Specially, since the guiding plate and the guiding brush was fixed at the frame of the harvester, the collection efficiency declined due to a hole caused by the bending and/or opening of the guiding brush.

(2) Development of the second trial prototype and evaluation

a. The frame of the second trial prototype was adjusted and modified to $1200 \times 1000 \times 1300$ mm, and improved and upgraded detachment and collecting system were mounted to it.

- b. The rear wheel drive tire was replaced by the larger diameter of 500 mm and bigger rug to improve the travel performance and eliminate the idle of the wheel, however, there was a slip between belt and pulley of the power transfer system.

- c. The shaking rod of the detachment system was redesigned and manufactured for the free of rotate using a coupling device (Fig. 40) and, by that, improved the detachment efficiency significantly. There was, however, a minor load to the operator due to the rigidity of the wire inside the flexible cable of the detachment system.

- d. The bottom of the cross section of the rectangular shape of the collecting box was changed into triangular shape at the row side of the field and eliminated the impact onto the deformed ground surface.

- e. The guiding plate with the guiding brush was redesigned as open-and-shut type and manufactured using a quadric link system (Fig. 45) such that this device surrounded the primary stems of the bush (i.e., shut) thoroughly to collect detached berries when the system in harvesting and opened toward the collecting box when the harvester in moving to the next bush. By changing of the collection system, the collection efficiency was significantly increased.

- f. Evaluation of the operation performance
 - a) The detachment rate of the mature berries was satisfactory with 82%.
 - b) The collection rate of the detached berries was around 93% and the 7% of the uncollected rate was due to scattered berries dispersed toward the front and back of the harvester. This problem considered to be prevented by

installing a modified protection curtain at the front and back of the harvester frame.

- c) The detachment rate of the immature berries was around 5% and it was not considered being a serious problem.
 - d) The operation performance of the harvester showed a significant difference based on the difference of the maturity of the berries. The performance was, however, 4.2 times high with the fully matured berries as compared with the conventional hand picking harvest.
- g. Improvable details of the second prototype of harvester.
- a) The width of the frame of the harvester could be adjusted to the standard cultural practice (120cm) to increase the systems traveling performance.
 - b) A crank system and motor should be installed at the upper end of the extension of the vibration transfer axle (piano wire) of the detachment system to minimize the bending of the power transfer axle.
 - c) Reduce the bending moment of the vibration transfer axle cover by changing the current rubber cover to a flexible one.
 - d) The mounting angle of the guide brush should be changed to 10° and install more scatter protection curtain to prevent loss of detached berries by scattering.
 - e) The array of the guide brush should be changed to two rows with different lengths to eliminate the openings or hole, caused by tangling with main and/or secondary branches so as to reinforce the collecting performance of the collecting system.
 - f) The belt system of the traveling system should be changed to a chain system or the diameter of the pulley should be enlarged to increase the power transfer efficiency.

IV-2 Suggestions for the practical use of results

1. The first detail project: Primary study for development of boxthorn harvester

The boxthorn is belonging to solanaceae and has long, recurved, thorny branches and leaves are dark green, ovate about 3 cm long. It bears reddish purple flowers followed by orange-red berries. Specially, the boxthorn has a setting of mature, immature, and flowers on a branch. This research analyzed the physical and mechanical properties of overall boxthorn bush to establish a mechanical criterion for a selective mechanical harvesting method of the mature berries.

Results from this research should be used not only for practical use of development of the harvester but also expected to use for research on the boxthorn in overall in the future after this results would be published.

Also, the research of 『Convenient cultural practice and proper tree shape bending technique for the mechanization of the harvest』 carried out by this research team established a exhibition plot permanently at the Cheongyang Boxthorn Experiment Station, Chungnam, Korea, allowing to inform and offer techniques to farmers through a field study and a trial performance.

2. The second detail project: Development of prototype of boxthorn harvester

The boxthorn harvester developed by this research was evaluated as for a practical use in the field after the harvester was reinforced by the improvable details mentioned above in the section of 『Final Evaluation』. The operation procedure of the harvester was considered being simple enough to handle and/or use for one or two hours practical exercises without any inconvenience. The product cost of the harvester was estimated as ₩4,500,000 and this price

was considered being a little economic burden for farmers of small size farming.

When this boxthorn harvester would be manufactured and supplied to user, the education of the technique of **『Convenient cultural practice and proper tree shape by pruning and bending technique for the mechanization of the harvest』** should be done in parallel to the user such that the practical use of the harvester would be encouraged.

Thus, as the first step of the practical use of this developed harvester, it was desirable that the improved and reinforced harvester should be manufactured by a government organization and always placed it at the **『Mechanization field plot』** of the Cheongyang Boxthorn Experiment Station allowing the farmers to have experience and education of the operating technique and others. Then, once if user wants own and asks the harvester, small and medium size of enterprises that had a technology transfer should be manufactured and supplied.

The patent application of the developed boxthorn harvester by this research would be under the process.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	47
Chapter 2 Growth characteristics and cultural practice for adaptation of mechanization of boxthorn	50
Phrase 1 Growth characteristics of boxthorn	50
Phrase 2 Adaptation of mechanization of boxthorn	56
Chapter 3 Mechanical properties of berries, leaves, and branches of boxthorn	60
Phrase 1 Theoretical analysis of detachment mechanism of boxthorn berries	60
Phrase 2 Detachment force of boxthorn berries	64
Phrase 3 Force-to-weight(F/W) ratio of boxthorn berries	75
Phrase 4 Detachment force of flowers and leaves of boxthorn	80
Phrase 5 Vibration characteristics of boxthorn branches	82
Chapter 4 Primary study of detachment system for boxthorn berries	99
Chapter 5 Detachment rate of boxthorn berries	103
Chapter 6 Development of detachment system	121

Chapter 7 Development of collecting system	128
Chapter 8 Development of frame and travel system	137
Chapter 9 Manufacturing of prototype of harvester and field test	142
Chapter 10 Evaluation of operation performance of developed harvester and improvable remarks	148
References	150

목 차

제 1 장 서 론	47
제 2 장 구기자의 생육특성 및 기계화 적응 재배법	50
제 1 절 구기자의 생육특성	50
제 2 절 기계화 적응 재배법	56
제 3 장 구기자의 열매, 잎, 줄기의 역학적 특성	60
제 1 절 구기자 탈과 메카니즘 이론 분석	60
제 2 절 열매의 탈과력	64
제 3 절 열매의 탈과력-중량(F/W)비	75
제 4 절 꽃 및 잎의 탈리력	80
제 5 절 가지의 진동 특성	82
제 4 장 구기자 탈과장치의 기초 연구	99
제 5 장 구기자 열매의 탈과율	103
제 6 장 탈과장치 개발	121
제 7 장 집과장치 개발	128

제 8 장 프레임 및 주행 장치 개발	137
제 9 장 시작기 제작 및 포장 실험	142
제 10 장 최종 시작기의 작업 성능 평가 및 개선점	148
참고문헌	150

제 1 장 서 론

1. 연구 개발의 목적

구기자(*Lycium chinense* Mill)는 가지과에 속하는 높이 1m 내외의 낙엽성 관목으로 중국, 일본, 대만, 우리나라 등에 식생분포를 이루고 있는 약용작물이며 우리나라에서는 청양과 진도지방에서 많이 재배되고 있다. 구기자의 열매는 한약재나 건강음료로 널리 이용되고 있으며 잎이나 뿌리도 약재로 쓰이고 있는 우리나라 중요한 특화 작물로 재배되어 왔다. 구기자는 숙과, 미숙과 및 꽃이 한 가지의 한 마디에 혼재되어 있고, 열매는 작고 수량이 많으며 과피가 얇아서 수확 할 때에 손상되기 쉽고, 수형도 매우 다양 복잡하고 줄기와 잎의 밀도가 커서 손으로 열매를 하나 하나 따서 수확하고 있다. 이 인력 수확작업은 전체 생산비 가운데 84%를 점하고 있다. 이로 인하여 영농규모는 개별 농가 당 약 10a 정도로 영세하고, 높은 인건비는 재배 농가의 소득 증대에 큰 장애가 될 뿐만 아니라 인력부족으로 안정적인 영농을 위협하는 시점에 이르렀다.

인력 수확작업의 노동력을 감소하여 생산비를 낮추고, 열악한 작업환경을 개선하고, 안정적인 구기자 영농구조를 구축하여서 양질의 구기자를 국민에게 제공할 수 있는 수단으로는 오직 수확기계의 개발을 통한 수확작업의 기계화가 될 수 있다.

본 연구의 목적인 수확기계의 개발을 성취하기 위한 선행연구로는, 꽃과 미숙과와 혼재되어 있는 완숙과의 선택적 수확을 기계적 방법으로 강구 할 수 있는 역학적 기준을 설정하는 일이다. 이를 위해 구기자 작물 전체에 관한 물리적 및 역학적 특성에 대한 연구가 성공적으로 수행되어야 한다. 아울러 구기자 재배 농가에 따라 다른 재배법과 매우 다양 복잡한 구기자 수형에 관한 연구 즉 “수확작업의 기계화에 편리한 재배법과 적합한 수형 유인법”의 정립에 관한 연구도 동시에 수행되어야 한다.

2. 연구개발의 범위

가. 구기자의 기계화 적용 재배법

- 1) 구기자 품종 우량계통 선발
- 2) 수확작업의 기계화에 편리한 재배법
- 3) 수확작업의 기계화에 적합한 수형의 유인법

나. 구기자의 열매, 잎, 줄기 등의 역학적 특성

- 1) 구기자 탈과 메카니즘의 이론 분석
- 2) 물성측정 장치
- 3) 열매의 탈과력
- 4) 잎 및 꽃의 탈리력
- 5) 가지의 진동특성

다. 구기자 탈과장치의 기초 연구

라. 진동형 탈과실험장치 제작 및 진동특성에 의한 구기자 열매의 탈과율

마. 탈과장치 개발

- 1) 설계 방향 설정
- 2) 진동 발생장치의 구조 및 작동 방법
- 3) 진동고리 형상 및 작동 방법
- 4) 동력원 선정

바. 집과장치 개발

- 1) 설계방향 설정
- 2) 집과 상자
- 3) 집과 안내장치

사. 프레임 및 주행장치 개발

- 1) 프레임
- 2) 주행속도
- 3) 동력전달장치

아. 시작기 제작 및 포장실험

- 1) 1차 시작기 제작 및 포장실험
- 2) 2차 시작기 개발 및 평가

자. 최종 시작기의 작업성능 평가 및 개선점

제 2 장 구기자의 생육특성 및 기계화 적응 재배법

제 1 절 구기자의 생육특성

본 연구에서는 청양구기자시험장에서 보유하고 있는 구기자의 우량계통 품종의 생산력을 조사하고 예비 선발된 우량품종들의 생육특성을 파악하고, 또한, 수확작업의 기계화에 편리한 재배법 및 수형의 유인법들을 정립하였다.

1. 우량계통 구기자 품종 선발

가. 생육 특성

본 연구에서 구기자의 우량계통을 선발하기 위하여 우리나라에서 재배되고 있는 대표적인 12품종을 선정하여 생육특성을 조사하였다. 생육특성은 품종별 가지의 경장(줄기 길이) 및 직경, 주당 줄기수 및 분지수 등을 조사하였고, 분지수는 1차 및 2차 적심을 한 후에 조사하였다. 이 조사에서 표본은 품종별로 구기자 20주를 포장에서 무작위로 선택하였으며, 길이 측정에는 버니어 캘리퍼스(Mitutoyo, Model CD-20CP)로 측정하였고 평균값으로 산출하였다. 한편, 엽면적은 품종별 20주를 선택한 후 각주에서 20개의 잎을 선택하여 엽면적 측정기(LI-CDR Inc, model LI-3100)를 이용하여 측정한 후 평균값으로 산출하였다. 표 1은 품종별 구기자의 경장(cm), 줄기직경(mm), 줄기수(ea/plant), 분지수(ea/plant) 및 엽면적(cm^2)을 조사한 결과를 나타내고 있다.

구기자 전 품종의 평균 경장 및 줄기 직경은 각각 113.5cm와 9.5mm로 관찰되었으며, 평균 줄기수는 5개, 평균 분지수는 1차 및 2차 적심 후 각각 30개와 61개로 관찰되었다. 본 실험에서 사용한 품종 중 경장과 줄기 직경이 가장 큰 반면 줄기수가 가장 적은 것은 중국1호로 관찰되었으며 줄기수가 가장 많은 것은 유성2호로 관찰되었다. 분지수(ea/plant)는 유성2호가 1

차 적실 후 40개로써 가장 많은 것으로 관찰되었으며 2차 적실 후에는 일본 1호가 76.3개로써 가장 많이 관찰되었다. 구기자의 엽면적은 품종별로 다소 차이가 나타났으며 그중 유성2호가 엽면적(30.4 cm²)이 가장 넓은 것으로 관찰되었다.

Table 1 Physical characteristics of stems, branches, and leaves of the boxthorn (*Lycium chinense* Mill).

Variety	Stem		No. of stems (ea/plant)	No. of branches (ea/plant)		Area of leaf (cm ²)
	Length (cm)	diameter (mm)		1 st	2 nd	
Cheongyang native	101	8.1	5.3	30.8	43.3	22.0
Jinbu native	107	8.6	4.6	29.1	57.5	23.6
Jindo native	110	8.9	5.6	37.5	69.0	27.0
Keumsan native	110	10.5	4.7	31.1	66.5	28.9
Hanam native	109	10.1	5.1	37.4	72.8	22.9
Youseong #1	115	10.1	5.5	36.4	79.9	29.6
Youseong #2	119	9.5	7.2	39.9	64.2	30.4
Joonggug #1	133	11.3	4.5	30.9	52.8	26.6
Joonggug #2	119	9.7	4.9	34.7	75.0	24.2
Youngha	122	9.3	6.6	40.0	58.6	17.6
Ilbon #1	94	7.9	6.6	34.3	76.3	17.4
Cheongyang gugija	123	10.0	5.6	37.9	75.2	24.9
Mean	113.5	9.5	5.1	30.1	61.0	24.6

나. 구기자 열매 특성

품종별 구기자 열매의 특성을 조사하기 위하여 열매의 과장(mm), 과경(mm), 구형율(sphericity)등을 조사하였다. 표본은 품종별로 20주씩 포장에서 선택한 후 각 주에서 수확시 20개의 열매를 채취하였으며 버니어 캘리퍼스를 사용하여 측정된 후 평균값으로 산출하였다.

구형율(Sphericity)은 기하학적 평균직경(Geometric Mean Diameter)을 장경(Major Diameter)으로 나눈 값을 사용하였다(Mohsenin, 1970). 기하학적 평균 직경은 (과장 × 과경 × 과폭)^{1/3}으로 계산하며 구기자열매에 있어서 과경과 과폭은 동일한 것으로 가정하였다.

100과중(g)은 열매 100개의 무게를 측정한 값이다. 또한 100과중을 생중(g)과 건중(g)으로 표기하였으며 생중은 수확후의 무게를 나타낸 것이며 건중은 수확한 구기자를 60℃에서 24시간 오븐 건조시킨 후에 무게를 측정한 값이다.

착과수는 주당 연간 산출량을 품종별로 조사한 것이다. 수량(kg/10a)은 품종별 20주에서 연간 생산된 양을 주당 평균값으로 환산한 후 주당 재배간 격 (120cm × 40cm)을 고려한 환산 면적 10a에 적용하여 산출한 값이다.

품종별 구기자의 과장, 과경, 구형율 및 100과중을 표 2에 나타내었다. 구기자 전체시료의 평균 과장과 과경은 각각 약 14mm 와 8mm로 관찰되었으며 100과중의 생중 및 건중의 평균은 각각 34.7g과 12.1g으로 관찰되었다. 구기자 열매의 구형율은 평균 0.7이며, 전 품종에 있어서 구형율의 범위는 0.63 ~0.76으로 관찰되었다. 또한 주당 평균 착과수는 997개로 관찰되었다.

Table 2 Physical characteristics of berries of boxthorn.

Variety	Berry		Sphericity	100 fruit mass (g)		No. of berries (ea/plant)	Amount of harvest (kg/10a)	
	Length (mm)	Diameter (mm)		Original	dried		Wet	Dry
Cheongyang native	15.3	8.2	0.64	31.5	11.9	995	402	152
Jinbu native	15.9	8.3	0.63	32.1	12.3	966	467	179
Jindo native	14.3	8.6	0.70	25.2	11.7	890	262	122
Keumsan native	16.2	9.2	0.70	36.8	14.7	1173	489	195
Hanam native	15.2	8.3	0.65	28.5	12.1	1112	564	239
Youseong #1	12.4	7.1	0.67	20.9	10.6	823	445	226
Youseong #2	14.5	9.5	0.74	35.0	14.2	1623	697	283
Joonggug #1	10.4	7.0	0.75	38.8	10.1	752	384	100
Joonggug #2	12.8	8.8	0.76	28.1	12.3	720	323	141
Youngha	13.0	7.7	0.70	19.2	10.8	655	199	112
Ilbon #1	12.8	8.8	0.76	23.5	10.4	845	210	93
Cheongyang gugija	13.5	8.6	0.72	32.0	13.8	1414	664	286
Mean	13.9	8.3	0.7	34.7	12.1	997.3	425.5	177.3

공시 품종 중 중국1호가 100과중(생중)이 가장 많은 것으로 관찰되었으나 100과중의 건중은 가장 낮은 품종으로 관찰되었다. 한편, 100과중 건중의 무게가 가장 많은 품종은 금산재래로써 14.7g을 나타내었다. 품종별 주당 착과수는 유성2호, 청양구기자, 금산재래 순으로 많이 나타났으며 영하 품종이 가장 낮은 값으로 나타났다.

전체 시료의 연간 평균 수량(kg/10a)은 생중과 건중 각각 426(kg/10a)과 177(kg/10a)으로 조사되었으며 품종별 생중 수량은 유성2호(697 kg/100a), 청양구기자(664 kg/100a) 순으로 많은 것으로 관찰되었으며 건중은 청양구기자(286 kg/100a), 유성2호(283 kg/100a) 순으로 많이 관찰되었다.

다. 과병 특성

청양재래를 표본 품종으로 하여 10개의 과병을 무작위로 선택하여 물리적 특성 및 형상을 조사하였다. 구기자 과병의 형상은, 대부분 곧게 아래로 향하고 있지만 열매가 가지 위쪽에 있는 경우에는, 붙어 있는 위치에 따라 휘어져 있었다. 과병의 직경은, 열매 쪽으로는 굵고 가지 쪽은 가늘었다. 과병의 길이는 11.3~19.3mm로 측정되었으며, 평균 길이는 14.06mm이었다(표 3).

Table 3 Physical dimension of the pedicel of the berry of Cheongyang native variety

Sample No.	Length (mm)	Diameter (mm)	
		Fruit side	Branch side
1	11.3	1.7	0.7
2	19.3	2.0	0.8
3	11.1	3.2	1.3
4	13.4	2.1	1.1
5	15.5	3.5	0.7
6	11.8	3.0	1.0
7	14.0	3.0	0.9
8	17.6	2.9	1.0
9	13.3	4.3	1.2
10	13.3	2.3	0.9
Avg.	14.06	2.8	0.96

2. 구기자 품종의 내병성

구기자 품종의 우량계통은 청양구기자 시험장에서 재배되고 있는 여러 품종(표 2 참조) 중에서 병해충 저항성, 수량성, 착과수 등을 종합적으로 고려하여 관찰한 결과 유성 2호와 청양구기자 품종이 가장 양호한 것으로 나타났다. 유성 2호는 잎의 흑응애가 강하고 열매의 탄저병에 대한 저항성은 중간 정도이며 수량성이 양호한 것으로 나타났고, 청양구기자의 병해충 저항성은 무방제하의 자연발생에서 열매의 탄저병은 중간정도이며 잎의 흑응애에 대하여는 강한 것으로 나타났으며 수량성도 다른 품종에 비해 양호한 것으로 나타났다(표 4 참조). 표 4는 청양재래와 비교한 청양구기자의 생육 특성 및 병해충에 대한 조사결과를 나타낸 것으로 탄저병이나 흑응애에 저항성이 강한 것으로 나타났다.

Table 4 Characteristics of growth and disease and insect of boxthorn

Variety	Length of branch (cm)	Area of leave (cm ²)	Disease and insect			Berry	
			Anthrax (%)	Powdery mildew (0-9)	Eriophyid mite (%)	Major axis (mm)	Minor axis (mm)
Cheongyang native	127	29.4	14.6	9	4.7	13.6	8.7
Cheongyang gugija	112	15.1	43.5	9	71.3	14.9	7.8

3. 기계화 적응형 품종 선발

기계화 적응형 재배법 확립과 동시에 기계화 적응 품종 선발이 필요하다. 기계화 적응형 품종은 열매의 질량이 큰 대과성 품종으로 진동수확시 완숙 구기자의 탈과력이 작게 소요되어 수확작업능률을 높일 수 있으며, 과병이 짧고 건설하여 진동수확시 미숙과의 과병이 잘 떨어지지 않고, 완숙과가 쉽게 탈과되는

품종을 선발하였다.

구기자 가지에 진동을 가하여 탈과하는 방법에서 가지의 진동특성에 따라 탈과작업능률은 크게 영향받는다. 구기자 가지는 진동이 효율적으로 전달되어 탈과가 양호하게 일어나려면 분지발육이 거의 없고 분지성이 약한 품종이 좋으며, 또한 직립으로 재배하는 수목형 재배 시 유인작업이 편리한 직립형 품종이 좋다. 이러한 성질을 갖는 품종으로 앞으로 계속하여 육성할 때 가능성을 보이는 품종은 청양 3호, 청양 4호, 청양 5호로 판단되었다.

제 2 절 기계화 적응 재배법

1. 수확 작업의 기계화에 편리한 재배법

“기계화 수확 작업 편리형 재배법”을 모색하기 위하여 청양재래와 청양구기자 품종을 표본으로 선택하여 재식거리, 적심 방법 그리고 주지의 형상에 따른 수량성과 병충해(흰가루병) 저항성 등을 표 5와 같은 방법으로 조사하였다.

Table 5 Cultural practice experiment conditions of Cheongyang native and Cheongyang gugija varieties for an adaptation of the mechanical harvesting.

Variety	Cutting time	Planting distance (cm)	Fertilization(kg/10a)				Remarks
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Compost	
Cheongyang native	'98. 3. 26	120×40	40	30	30	4,000	Top dressing : 3 times Plot : randomized block design (3 replication)
Cheongyang gugija	'98.3. 24	150×50	40	30	30	4,000	Conventional planting distance ; 120×40 Plot : randomized block design (3 replication)

본 실험에 대한 결과는 표 6과 7에 표기한 바와 같이 외대 재배법 적심높이 90cm와 120cm에서 관행재배법보다 개화 시기가 청양재래와 청양구기자에서 각각 15일과 20일 이상씩 빨랐고, 수확노동력이 절감되었다. 주간 높이에 따른 수확 작업의 능률은 주간높이 120cm에서는 수고가 높아져 수확작업이 불편한 반면, 주간높이 90cm에서는 작업의 능률이 양호하였으며, 열매의 수량(건중량 및 생산량)도 90cm 주간재배에서 양호하였다. 단위면적당 건중량, 생산량도 관행 재배법보다 많았다. 한편, 흰가루병 발생율은 관행재배법보다 청양재래나 청양구기자에서 외대 혹은 두 대 재배법이 많이 발생하였다. 또한 관행 재배방법인 주간 및 조간 재식거리 120×40cm에서는 수목형 재배시 2년차부터 수간이 복잡하게

생육하여 기계화작업 능률이 저하하였다. 표 7에서 나타난 바와 같이 개화기는 관행에 비하여 60, 90cm 적심이 19일 가량 빨랐고, 진동형 기계수확시 수확능력도 절감 되었으나 수확물 수집방법도 함께 고려되어야 할 것으로 판단되었다. 한편, 수량성은 관행이 60cm, 90cm 적심재배에 비하여 높았으나 적정 적심방법의 확립으로 수량은 높일 수 있을 것으로 판단되었으며 또한, 이에 대한 계속적인 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

Table 6 Results of the cultural practice experiment for an adaptation of mechanical harvesting corresponding to conditions in Table 4.

Treatment	Flowering time	Powdery mildew (0~9)	Berry			Dried mass (kg/10a)	Remarks
			Length (mm)	Dia. (mm)	100 fruit mass (g)		
Conventional	7. 16	3	-	-	-	-	
90cm decapitation, single stem	6. 29	7	14.4	8.2	13.2	1.7	harvesting ; once
120cm decapitation, single stem	6. 28	7	15.2	8.9	17.5	4.6	

Table 7 Results of the cultural practice experiment for an adaptation of mechanical harvesting corresponding to conditions in Table 5 with various tree shapes.

Treatment	Flowering time	Powdery mildew (0~9)	Berry			Yield (kg/10a)		Remarks
			Length (mm)	Dia. (mm)	100 fruit mass (g)	Dried mass (kg/10a)	Percentage (%)	
Conventional	7. 5	3	16.8	8.1	14.3	1.4	100	
60cm decapitation, single stem	6. 12	6	16.2	8.1	14.2	8.2	585	Harvesting; once
60cm decapitation, V type	6. 12	6	17.1	8.6	14.5	9.4	671	
90cm decapitation, ^ type	6. 12	6	16.3	7.9	13.0	4.1	293	

“기계화 수확 작업 편리형 재배법”은 수확기의 이동, 운전 및 수확작업 등이 쉬워야 하는 점과 수량성을 고려할 때 본 조사 결과 외대 혹은 두대 재배법이 관행 재배법보다 수량성도 좋고 초형(수형)도 외대나 두 대 재배법이 관행 재배법보다 분지간 중첩 혹은 엉킴이 훨씬 적어 수확기계를 사용함에 있어 편리 할 것으로 판단되었다. 재래 거리는 120×40 cm으로 하는 것이 수량도 많았고, 통풍 및 통광이 좋아서 병해충의 발생을 억제하여 생육이 좋을 뿐만 아니라 공간이 넓어서 적심, 관리 및 수확작업이 편리한 것으로 나타났다.

2. 수확작업의 기계화에 적합한 수형의 유인법

구기자는 소관목에 속하기 때문에 새순이 크면 굽어지고 단단해지며, 적심을 하고 나면 분지가 생장하면서 땅을 향하게 되어 지주를 세워주고 유인줄로 유인을 해 주어야 하고, 유인을 해주지 않으면 분지가 땅에 닿아 뿌리가 내릴 뿐 아니라 관리 및 수확 작업이 어렵다. 지주 세우기는 1차 적심 후 두둑 양면에 약 5 m 간격으로 2개씩 지주를 세우고 줄을 매어서 늘어짐을 방지하고, 위에서 설명한 바와 같이 “수확작업의 기계화에 편리한 재배법”인 외대 혹은 두대 재배법에서 분지를 V형태로 유인하는 것이 수량이 많을 뿐만 아니라 기계화 수확 작업에 편리한 것으로 나타났다(표 7 참조).

3. 결론 및 요약

본 구기자의 기계화 적응 재배법에 관한 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 구기자 품종 중 유성2호와 청양구기자가 병해충 저항성, 수량성, 착과수 등을 고려할 때 가장 양호한 품종으로 나타났다.

나. 기계화 수확작업에 편리한 재배법은 주지를 외대 혹은 두대로 하여 재배하는 것이 개화시기나 단위면적당 건조량 생산량이 양호하였고, 분지간 중첩

혹은 얼힘이 훨씬 적고, 공간이 넓어서 수확기계의 사용이 편리한 것으로 나타났다.

다. 기계수확 작업에 편리한 구기자의 재식거리는 120×40cm로 하는 것이 양호한 것으로 나타났다.

라. 기계 수확에 적합한 수형의 유인방법으로는 외대 혹은 두대로 재배하여 V형으로 유인하는 방법이 양호한 것으로 나타났다.

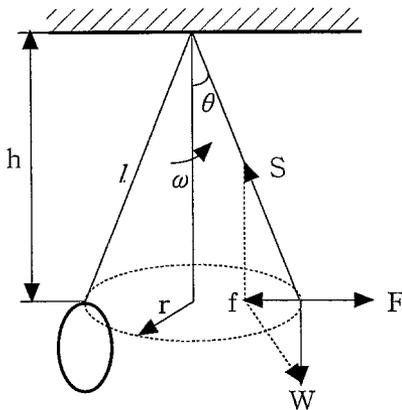
마. 기계화 적응형 품종으로는 청양 3호, 청양 4호, 청양 5호가 적합한 것으로 나타났다.

제 3 장 구기자의 열매, 잎, 줄기의 역학적 특성

제 1 절 구기자 탈과 메카니즘 이론 분석

진동특성의 2개요소인 진폭과 진동수가 탈과 과정에 중요한 역할을 한다. 진폭이 과병(果柄)의 길이보다 작을 때는 열매가 유영운동(遊泳運動)을 하게 되어 열매가 과병에 매달리는 진자 운동의 현상이 된다. 이 진자 운동에서 열매의 중량으로 유발되는 하중과 과병의 내력이 상충작용을 일으켜 열매가 꽃받이에서 탈과 된다. 또한 진폭이 과병길이보다 클 때에는 열매의 운동범위가 과병의 길이보다 확대되면서 열매의 중량과 열매의 운동 속도가 관성력을 유발시키고, 이 관성력이 과병 또는 꽃받이에 전단력 내지 곡모멘트로 작용되어 과병이 전단되거나 열매가 꽃받이에서 탈과되기도 하고, 열매가 나뭇가지에 휘감기거나 열매끼리 충돌되어 탈과된다.

1. 원추진자 : 진폭 < 과경



$$f = F = \overline{S} + \overline{W}$$

$$= m r \omega^2 = \frac{W}{g} r \omega^2 \quad \text{①}$$

where, $W = S \cos \theta \quad \text{②}$

$$r = l \sin \theta \quad \text{③}$$

$$h = l \cos \theta \quad \text{④}$$

Fig. 1 Schematic diagram of a circular pendulum motion.

①식을 변경하면

$$\omega = \sqrt{\frac{S \sin \theta \cdot g}{W \cdot r}} = \sqrt{\frac{S \sin \theta \cdot g}{S \cos \theta \cdot l \sin \theta}} = \sqrt{\frac{g}{l \cos \theta}} = \sqrt{\frac{g}{h}}$$

(F = S sin θ)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \times \frac{1}{\sqrt{\frac{g}{h}}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{h}{g}}$$

양변을 자승하면

$$\left(\frac{2\pi}{\omega}\right)^2 = (2\pi)^2 \frac{h}{g}, \quad h = \frac{g}{\omega^2} = \left(\frac{60}{2\pi N}\right)^2 g = \left(\frac{30}{\pi N}\right)^2 g$$

①식과 ②식에서

$$F = \frac{W}{g} r \omega^2 = S \sin \theta,$$

$$S = \frac{W r \omega^2}{g \sin \theta} = \frac{W}{g} \omega^2 l = \frac{\omega l}{g} \left(\frac{\pi N}{30}\right)^2,$$

$$\frac{\pi N}{30} = \sqrt{\frac{g S}{W l}}$$

$$\therefore N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g S}{W l}}$$

여기서, N = 탈과를 위한 크랭크 회전수(rpm)

g = 중력가속도

r = 크랭크의 길이(반경)

S = 인장력(열매)

ω = 각속도(rad/s)

W = 열매의 무게

l = 과병의 길이

또한 열매가 과병에 매달려 완전한 원운동을 할 때는 원심력 F 는 열매의 탈과력 S 와 같게 된다.

$$F = \frac{W}{g} l \omega^2 = \frac{W}{g} l \left(\frac{2\pi N}{60} \right)^2 = S$$

$$N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot S}{Wl}}$$

2. 외팔보 : 진폭>과병

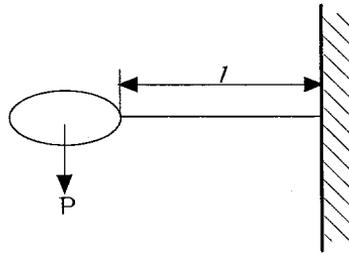


Fig. 2 Schematic diagram of a cantilever beam.

외팔보에 저장된 에너지(u)는

$$u = \int_0^l \frac{P^2 x^2}{2EI} dx = \frac{P^2}{2EI} \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^l = \frac{P^2 l^3}{6EI}$$

모멘트 $M_x = Px$

여기서, 열매의 무게 W 가 진동운동으로 작용하고 있으므로 하중 P 은 가속력

이 된다.

$$P = m \cdot a = \frac{W}{g}(r\omega^2 \sin \omega t)$$

$$\text{따라서, } u = \frac{l^3}{6EI} \left\{ \frac{W}{g}(r\omega^2 \sin \omega t) \right\}^2 \text{ -----①}$$

한편 열때는 진동운동중이므로 운동에너지 E_k 로 표현할 수 있다.

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \frac{W}{g} (r\omega \cos \omega t)^2 \text{ -----②}$$

탈과되는 조건은 $E_k \geq u$

$$\frac{1}{2} \frac{W}{g} (r\omega \cos \omega t)^2 \geq \frac{l^3}{6EI} \left\{ \frac{W}{g}(r\omega^2 \sin \omega t) \right\}^2$$

$$\cos^2 \omega t = \frac{l^3}{3EI} \frac{W}{g} \omega^2 \sin^2 \omega t$$

$$\omega^2 = \frac{3gEI}{Wl^3} \left(\frac{\cos \omega t}{\sin \omega t} \right)^2$$

$$\omega = \sqrt{\frac{3gEI}{Wl^3}} \cdot \frac{1}{\tan \omega t} = \frac{2\pi N}{60}$$

$$N = \frac{30}{N} \sqrt{\frac{3gEI}{Wl^3}} \cdot \frac{1}{\tan \omega t}$$

여기서, E = 과병의 탄성계수

I = 과병의 단면 2차 모멘트

위 식에서 $\tan \omega t = 1$ 일 때 탈과를 위한 크랭크 회전수 N은 최소가 된다

$$N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{3gEI}{Wl^3}}$$

제 2 절 열매의 탈과력

1. 서 론

과일을 기계적인 진동이나 다른 방법들을 이용하여 나무를 충분히 흔들어서 수확하는 데는 과일을 과병으로부터 이탈시키기 위한 힘과 시간, 과일의 무게 및 나무의 모양 등이 결정적인 요인이며, 여러 구기자 기계수확방법 중 진동을 이용한 수확방법이 가장 용이한 방법으로 판단되었다(Alper and Foux, 1976).

진동을 이용한 과일의 기계적 수확방법에서 과일을 가지로부터 탈과시키기 위해서는 과일 및 가지에 적용되는 진동수와 진폭이 중요한 요인들이다. 진동을 발생시키는 힘의 방향, 크기 및 작용점은 과일과 줄기 연결부의 물성 및 역학적 특성에 의하여 결정되며, 진동장치(Shaker)를 이용한 수확 방법에서 과일의 탈과에 영향을 미치는 여러 요인들 중에서 탈과력 혹은 힘-무게 비 (Force-to-weight ratio)는 중요한 요인들이며, 또한 이 값들이 적을수록 탈과가 용이(Easy-of-detachment)하게 이루어진다. 따라서 본 연구에서는 재하각도 (Pulling angle)의 변화와 수확시기의 변화가 구기자의 탈과력에 미치는 영향을 분석하였고, 작용력의 방향, 크기 및 힘-무게 비 등 구기자와 과병의 접합부에 대한 강도특성을 구명하였다.

2. 재료 및 방법

가. 구기자 품종별 숙과 및 미숙과의 탈과력 분석

구기자의 품종별 숙과 및 미숙과의 탈과력(N) 측정은 청양구기자시험장 포장에서 품종별로 30개의 열매를 무작위로 선택해서 실시하였으며, 숙과와 미숙과의 구별은 육안으로 숙과는 진홍색(orange-red), 미숙과는 녹색(Green)으로 구분하였고, 공시 품종별 숙과와 미숙과의 탈과력의 유의성을 분석하고자 다중범위테스트(Duncan)(steel and Torri, 1980)을 실시하였다.

나. 재하각도 및 수확시기별 탈과력 분석

본 연구에 사용한 공시 재료는 청양구기자시험장에서 재배하고 있는 품종 중 재래 품종인 청양재래, 신품종인 청양구기자 및 신품종으로 개발중인 청

양2호로 선택하였다. 실험 기간은 1999년 8~11월 초순까지이며 수확 적기에 구기자의 과병이 달린 속과 및 미숙과를 포장에서 품종별로 무작위로 채취하였다. 구기자의 속과 및 미숙과의 구분은 현재 농가에서 사용하는 방법과 마찬가지로 육안으로 판단하여 구기자의 색이 진한 선홍색을 띠면 속과로 분홍색 혹은 녹색을 띠면 미숙과로 구분하여 시료를 채취하였다. 실험은 시료를 채취한 후 바로 청양구기자시험장의 실험실에서 실시하였다.

다. 실험장치

구기자의 탈과력 및 구기자 잎과 꽃의 탈리력을 측정 분석하고자 그림 3과 같은 하중지시기(Mecmesin, Model AFG50N)를 이용한 인장력 및 압축력을 측정 할 수 있도록 측정장치(Universal Testing Machine)를 설계 제작하였다. 이 장치는 저속 구동 모터에 의해 하중센서(load cell) 및 마이크로 프로세서가 내장된 계측기(force gage)가 안내 봉을 따라 상하 이동하고, 감지된 하중은 LCD에 최대값 또는 변화 값을 선택하여 나타낼 수 있고, 또는 PC에 입력하여 하중 변형 곡선으로도 나타낼 수 있다. 감지부는 안내 봉에 설정한 상하 임계 센서에 의하여 상하 운동이 자동으로 정지되도록 설계되어 있다.

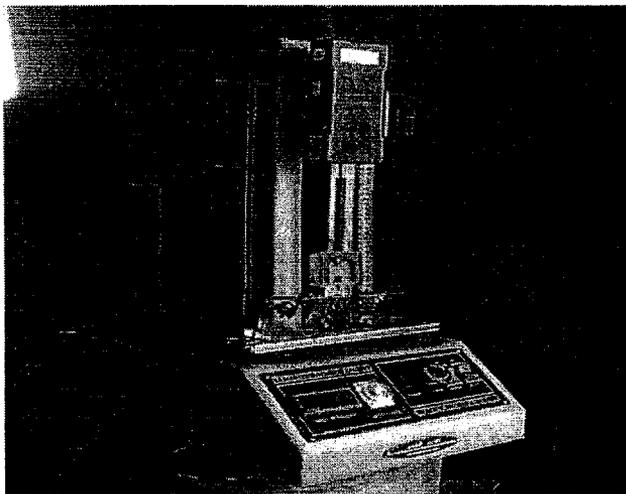


Fig. 3 Universal testing machine used for the detachment force measurement of the boxthorn berries.

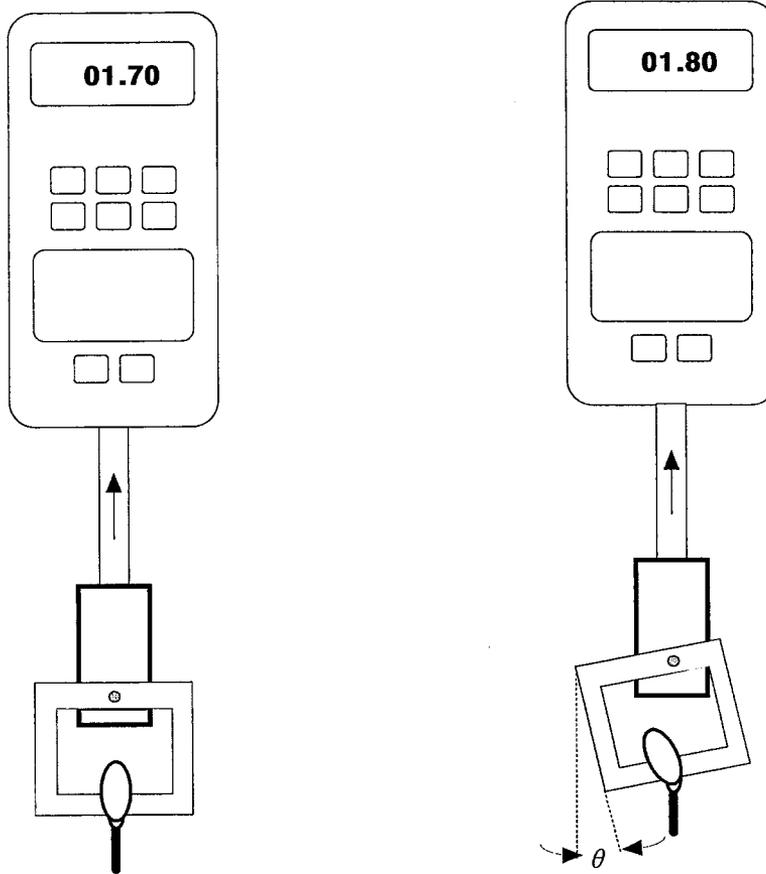


Fig. 4 Schematic diagram of the straight and the angle pull test of the boxthorn berries.

라. 측정방법

힘의 작용방향(재하각도)의 변화에 따른 속과 및 미속과의 탈과력을 분석하기 위하여 구기자가 가지에 일직선으로 매달린 방향으로 힘을 가하여 탈과 시키는 경우를 재하각도 0° (straight-pull)로 하고 구기자가 매달린 방향과 지그(jig)의 각도를 15° , 30° , 45° 및 60° 로 변화(angle-pull)를 주면서 탈과력을 측정하였다. 그림 4는 재하각도 변화에 따르는 탈과력 측정 장치의 하중 지시기와 지그의 개략도이다. 이 때의 재하속도는 일반적으로 손으로 구기자를 수확할 때와 같은 속도로 실험을 실시하였다. 이 실

협의 공시 품종은 청양구기자를 9월 말 15개의 시료를 무작위로 채취하여 사용하였으며 탈과력은 평균값으로 산출하였다.

품종별 재하각도 변화에 따른 숙과의 탈과력 실험은 위의 3가지 공시 품종을 10월 중순에 청양구기자시험장에서 10개의 시료를 무작위로 채취하여 사용하였다. 품종에 따른 탈과력 차이의 분석은 평균값을 이용하여 실시하였다.

수확 시기별 탈과력 변화의 분석은 재하각도를 0° 로 하여 8월말, 9월말, 10월 중순 및 11월 초순에 각 시기별로 청양구기자시험장에서 15개의 시료를 무작위로 채취하여 실시하였으며 탈과력은 평균값으로 산출하였다. 재하각도별, 수확 시기별 및 품종간 탈과력의 유의성 검증은 스틸(Steel)과 토리(Torrie)(1980)를 기초로 SAS(SAS Institute Inc., 1992)를 이용하여 분산 분석 및 다중 범위 테스트를 하였다.

3. 결과 및 고찰

표 8은 품종별 숙과와 미숙과의 평균 탈과력을 나타낸 것이다. 숙과와 미숙과의 구별은 열매의 색을 기준으로, 선홍색은 성숙과로 분홍색 및 녹색과는 미숙과로 구분하였다. 숙과와 미숙과의 평균 탈과력은 각각 1.00N과 2.70N으로서 미숙과의 탈과력이 숙과보다 2.7배 높았다. 품종별로 성숙과의 경우 탈과력이 가장 높은 것은 유성1호로 1.37N이며 가장 작게 나타난 것은 중국1호로 0.67N이었다. 미숙과의 탈과력은 청양구기자가 3.02N으로 가장 컸으며, 영하가 2.06N으로 가장 작은 것으로 나타났다.

외대 재배한 청양1호의 탈과력은 표 9에 나타난 바와 같이 9월과 11월에 측정된 숙과의 평균 탈과력은 각각 1.054N 및 1.047N으로 조사되었으며, 미숙과의 평균 탈과력은 각각 2.461N 과 2.299N으로 나타났다. 이는 미숙과의 탈과력이 성숙과 보다 두 실험 시기에서 약 2.2배 많은 것으로서 숙과와 미숙과의 탈과력에 있어서 현격한 차이를 보였다. 또한, 구기자 열매의 탈과력은 숙과와 미숙과 모두 일평균기온이 다소 떨어진 11월에 실험 조사한 값이 9월에 실험한 값보다

조금 낮게 나타났다.

Table 8 Fruit detachment force of the boxthorn in each variety.

	Detachment force(N)					
	Mature			Immature		
	Average	Min	Max	Average	Min	Max
Cheongyang native	1.019	0.686	1.568	2.842	1.960	3.332
Jinbu native	1.274	0.686	1.960	2.979	2.156	3.626
Jindo native	1.1662	0.784	1.568	2.323	1.470	3.430
Keumsan native	1.117	0.686	1.666	2.871	1.960	3.724
Hanam native	0.843	0.490	1.176	2.489	1.470	3.626
Youseong #1	1.372	1.078	2.058	2.901	2.450	3.626
Youseong #2	1.019	0.588	1.470	2.871	1.960	3.626
Joonggug #1	0.666	0.392	1.078	2.421	1.470	3.626
Joonggug #2	1.000	0.490	1.764	2.568	2.058	3.626
Youngha	0.676	0.392	0.980	2.058	1.274	2.940
Ilbonlho	0.882	0.490	1.274	2.695	2.156	3.136
Cheongyang gugija	1.000	0.686	1.176	3.018	2.058	3.724
Mean	1.0025	0.6206	1.4781	2.6696	1.8701	3.5035

Table 9 Detachment force of the Cheongyang #1 variety in different harvesting season.

	Detachment force (N)					
	September			November		
	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.
Mature	1.054	1.274	0.784	1.047	1.666	0.686
Immature	2.461	3.528	1.764	2.299	3.087	1.372

구기자의 속과가 진동형 수확기로 탈과되어 일정한 높이에서 구기자 발의 지면으로 낙하되는 경우에 열매의 파괴정도를 구명하기 위한 실험을 실시하였다.

지표면이 건조하게 보일 정도의 구기자 발의 사양토에서 꽃받이가 붙은 완숙과는 자연 낙하 높이 $h = 1.6m$, 꽃받이가 빠진 완숙과는 $h = 1.1m$ 의 한계 높이에서 파괴되었다(표 10). 열매가 이 자유 낙하높이에서 지면에 닿을 때의 이론

속도는 각각 $v = 5.6\text{m/s}$, $v = 4.64\text{m/s}$ 이었다. 구기자의 탈과는 대부분 꽃받이와 열매 사이에서 이루어지고 있었다. 구기자 초장 1m 내외는 꽃받이가 빠진 완숙과가 구기자나무에서 지표면에 닿을 때의 이론적인 한계높이 $h = 1.1\text{m}$ 이 내에 속하여 자유 낙하시에 문제가 없지만 탈과시에 어느 하중(진동)을 받아 초기속도가 유발되면 구기자 열매가 지표면에 닿을 때의 충돌속도가 $v = 4.64\text{m/s}$ 이상으로 될 수 있으므로 구기자 열매의 손상을 예방하는 완충장치가 반드시 필요하다고 생각되었다.

Table 10 Mature boxthorn berries damage by the height of free fall.

Height (m)	Damaged : × Undamaged : ○		Remarks
	Fruit with receptacle	Fruit without receptacle	
2.0	×	×	※ Experimentation : sandy loam soil $h = 1.6\text{m} : v = 5.6\text{m/s}$ $h = 1.1\text{m} : v = 4.64\text{m/s}$
1.9	×	×	
1.8	×	×	
1.7	×	×	
1.6	○	×	
1.5	○	×	
1.4	○	×	
1.3	○	×	
1.2	○	×	
1.1	○	○	
1.0	○	○	
0.9	○	○	

가. 재하각도에 의한 탈과력 변화

그림 5는 청양구기자의 숙과 및 미숙과의 재하각도와 탈과력의 관계를 나타내고 있다. 숙과의 탈과력은 미숙과보다 전반적으로 0.7~1.3N 정도 작았다. 재하각도의 변화에 따른 청양구기자의 숙과의 탈과력은 각도가 증가함에 따라 약간씩 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 재하각도가 작을 때는 주로 인장 파괴에 의해 탈과 현상이 나타나고 재하각도가 증가하면서 인장(tension), 굽힘(bending) 및 전단(shear) 등이 구기자 열매와 과병 접합부

에 복합적으로 작용하여 탈과력이 감소하는 것으로 판단되었다. 또한, 최종적인 탈과 현상은 위 세 가지 응력의 합이 최대일 때 나타나는 것으로 판단되었다(Alper and Foux, 1976).

미숙과는 재하각도가 30° 일 때까지 탈과력이 감소하다가 재하각도가 증가하면서 탈과력도 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 재하각도가 증가하면서 인장, 굽힘 및 전단 응력이 복합적으로 작용하여 탈과력이 감소하는 현상을 보이다가 재하각도가 30° 이상 증가하면서 굽힘에 의한 과병의 세포 조직에 내부 마찰력이 증가하고 꽃받침과 구기자 사이에 세포 조직적인 분리가 덜 되어서 전단 응력이 증가하여 탈과력이 증가하는 현상으로 판단되었다.

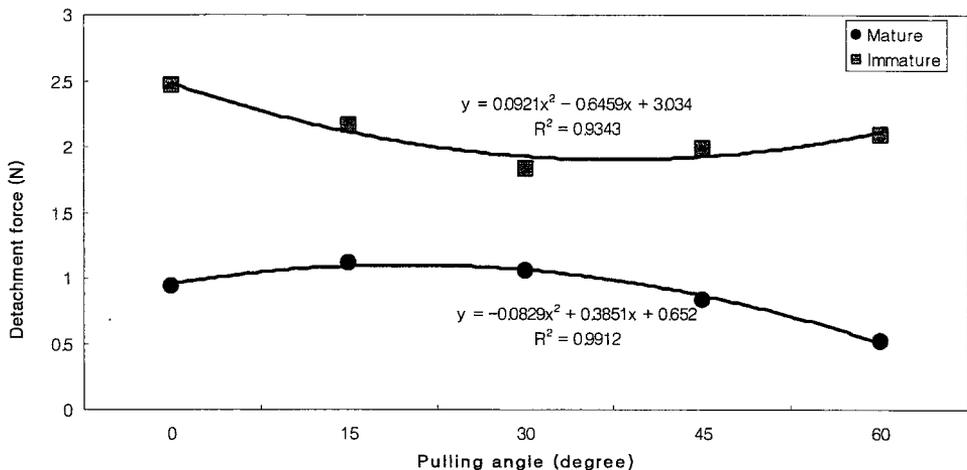


Fig. 5 Detachment force of the mature and the immature boxthorn (Chongyang gugija) berries at various pulling angles.

재하각도가 증가하면서 숙과의 탈과력이 감소하는 경향은 현재 농가에서 구기자를 손으로 딸 때 각도를 주면서 구기자를 따는 방법과 같고, 이는 수확을 하는데 노력을 절감하고 또한 구기자를 수확할 때 과병과 구기자 접합부에 상처를 줄이는 효과가 있을 것으로 판단되었다. 또한, 진동식 혹은 다른 기계적인 수확 방법을 이용하여 구기자 수확기를 개발할 때 이러한 점을

고려하여 설계하면 탈과에 필요한 소요동력이 감소하고, 동시에 기계적인 운동 등을 경제적이고 효과적으로 선정할 수 있을 것으로 판단되었다. 표 11은 재하각도별 속과 및 미숙과의 탈과력에 대한 유의성 검증(Duncan, $\alpha = 5\%$)의 결과를 나타내고 있다.

Table 11 Results of the Duncan's multiple range test ($\alpha = 5\%$) for the detachment force (N) of mature and immature berries of Cheongyang gugija variety

Pulling angle (degree)	Mature		Immature	
	Mean detachment force (N)	Duncan grouping*	Mean detachment force (N)	Duncan grouping*
0	0.9420	a b	2.4740	a
15	1.1220	a	2.1653	a b
30	1.0613	a b	1.8493	b
45	0.8467	b	1.9940	b
60	0.5253	c	2.0927	a b

* Means with the same letter are not significantly different.

품종별 및 재하각도 변화에 따른 구기자 속과의 평균 탈과력을 그림 6에 나타냈으며, 표 12는 품종별 재하각도에 따른 평균 탈과력 및 그의 표준편차를 나타내고 있다. 탈과력은 세 품종 모두 재하각도가 증가하면서 전반적으로 약간씩 감소하는 경향(그림 6)을 나타냈고 청양재래에서 재하각도에 따른 탈과력의 감소가 가장 크게 나타났다. 한편, 재하각도에 관계없이 세 공시 품종간 탈과력은 청양구기자(1.17 N)와 청양2호(1.07 N)가 비슷하고 청양재래(0.91 N)가 위 두 품종보다 낮게 나타나 청양구기자의 탈과력이 세 공시 품종 중 가장 작게 나타났다. 재하각도가 0° ~ 30° 혹은 15° ~ 45° 간에 있어서는 차이가 작았으며 탈과력이 가장 낮은 60° 에서는 위 재하각도 범위와 현저히 차이가 있는 것으로 나타났다.

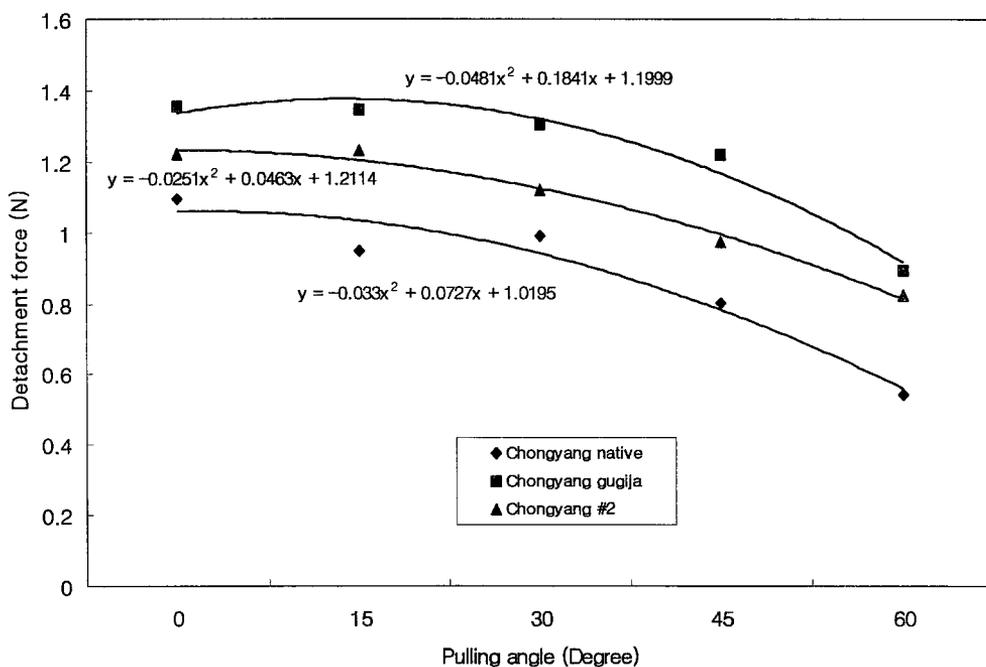


Fig. 6 Detachment force of three varieties of the mature boxthorn (*Lycium chinense* Mill) berries with various pulling angles.

Table 12 Average detachment force (N) of three varieties of mature boxthorn berries at different pulling angles

Pulling angle (degree)	Cheongyang native		Cheongyang gugija		Cheongyang #2	
	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
0	1.09	0.284	1.35	0.259	1.22	0.339
15	0.95	0.359	1.35	0.199	1.23	0.202
30	0.99	0.375	1.30	0.361	1.12	0.376
45	0.80	0.258	1.22	0.246	0.97	0.337
60	0.54	0.175	0.89	0.356	0.83	0.321

나. 수확 시기별 탈과력

표 13은 재하각도가 0° 일 때 수확 시기(1999년 8월 26일, 9월 29일, 10월 14일, 11월 5일)에 따른 청양구기자 숙과의 탈과력의 변화를 나타내고 있다. 수확 시기에 따른 숙과의 탈과력은 수확 계절이 진행되면서 10월, 8월, 9월, 11월 순서로 점점 작아지는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 Alper와 Foux(1976)가 지적한 바와 같이 수확 시기가 진행되면서 대체적으로 과일의 탈과력이 감소하는 것이 일반적인 현상이나 본 실험에서는 표 13에 나타난바와 같이 10월에 시료로 사용한 숙과의 탈과력이 가장 크게 나타났는데, 이는 10월에 사용한 시료가 다른 실험 시기에 사용한 시료보다 덜 익은 과일이 많아 탈과력이 크게 나타난 것으로 판단된다.

Table 13 Average detachment force of the mature boxthorn berries (Chongyang gugija) as harvesting season advanced

Harvest season (Date)	Mean Detachment force(N)	Standard deviation	HSD* Grouping**
Aug. 26, 1999	1.29	0.38	a
Sept. 29, 1999	0.94	0.31	b
Oct. 14, 1999	1.30	0.24	a
Nov. 5, 1999	0.72	0.12	b

* Tukey's Studentized Range test.

** Means with the same letter are not significantly different.

따라서, 구기자 숙과의 탈과력은 가지에 매달린 숙과의 익은 정도(성숙도)에 따라 탈과력이 차이가 있는 것으로 판단됨에 따라 일시에 익은 것만을 선택적으로 기계적인 방법에 의해 수확하는 방법은 기존의 구기자 익은 정도를 육안으로 판단해 손으로 익은 과일만을 수확하는 방법과는 달리 과일의 익은 정도와 수확 시기에 따라 수확 시기를 적절히 선택할 수 있는 기본적인 기술이나 방법에 대한 지식이 필요할 것으로 판단되었다. 한편, 다

중범위테스트(Tukey's studentized range test)(Steel and Torrie, 1980)를 이용한 수확 시기별 탈과력의 다중 범위 시험 결과는 표 13에 나타낸 바와 같다.

4. 결론 및 요약

구기자와 과병의 접합부에 대한 강도 특성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 재하각도의 변화에 따른 속과와 미속과의 탈과력은 공시 재료 중 청양구기자에서 속과의 경우 재하각도가 증가함에 따라 조금씩 감소하였고, 미속과의 경우는 재하각도가 증가하면서 감소하다 반전되어 증가하는 것으로 나타났다.

나. 공시 품종 모두 공히 재하각도가 증가하면서 속과의 탈과력은 감소하는 경향을 나타냈다.

다. 재하각도에 관계없이 세 공시 품종간 탈과력은 청양구기자(1.17 N)와 청양 2호(1.07 N)가 비슷하고 청양재래(0.91 N)가 위 두 품종보다 낮게 나타났고 재하각도가 0° ~ 30° 혹은 15° ~ 45° 간에 있어서는 차이가 작았으며 탈과력이 가장 낮은 60° 에서는 위 재하각도 범위와 현저히 차이가 있는 것으로 나타났다.

라. 수확 시기별 탈과력은 청양구기자 품종에서 재하각도를 0° 로 하였을 때 10월중에 가장 높게 1.30 N으로 나타났고 11월중에 0.72 N으로 가장 낮게 나타났다.

제 3 절 열매의 탈과력-중량(F/W)비

1. 서 론

진동을 이용한 기계적 수확방법에서 과립을 가지로부터 이탈시키는데 영향을 미치는 요인중의 하나가 관성이며, 관성의 크기는 힘-무게 비(Force-to-weight ratio)에 의존한다(Wang, 1965). 따라서 열매의 무게나 탈과력은 수확장치의 성능에 영향을 미치는 중요한 특성이다(Markwardt et al., 1964).

2. 재료 및 방법

제 2절에서 사용한 모든 공시 품종들을 본 실험의 공시재료로 사용하였으며, 힘-무게 비의 계산에 있어서 시료의 무게는 10개의 시료 무게를 디지털 저울로 잰 후 이들의 평균값을 이용하였으며 탈과력은 제 2절의 품종별 탈과력을 사용하였다. 또한, 제 2절에서 서술한 재하각도별 탈과력에 대한 힘-무게비를 청양 재래, 청양구기자, 및 청양2호를 공시 품종으로 선택하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 7은 품종별 속과와 미속과의 F/W의 분포를 나타내고 있다. 공시한 모든 품종에 있어서 속과와 미속과의 평균 F/W는 각각 365.43과 962.04로 미속과가 속과에 비해 약 2.6배 높은 것으로 나타났으며, 전반적인 속과와 미속과의 F/W비의 범위는 각각 103.09 ~ 634.92와 526.32 ~ 1770.34이었다. 그림 7에서 진도재래를 제외한 모든 품종에서 미속과와 성속과의 F/W비는 현격한 차이를 보이고 있으며, 이는 기계식 수확기를 개발하는데 미속과와 성속과를 구분하여 수확하는데 중요한 자료가 될 것으로 판단된다.

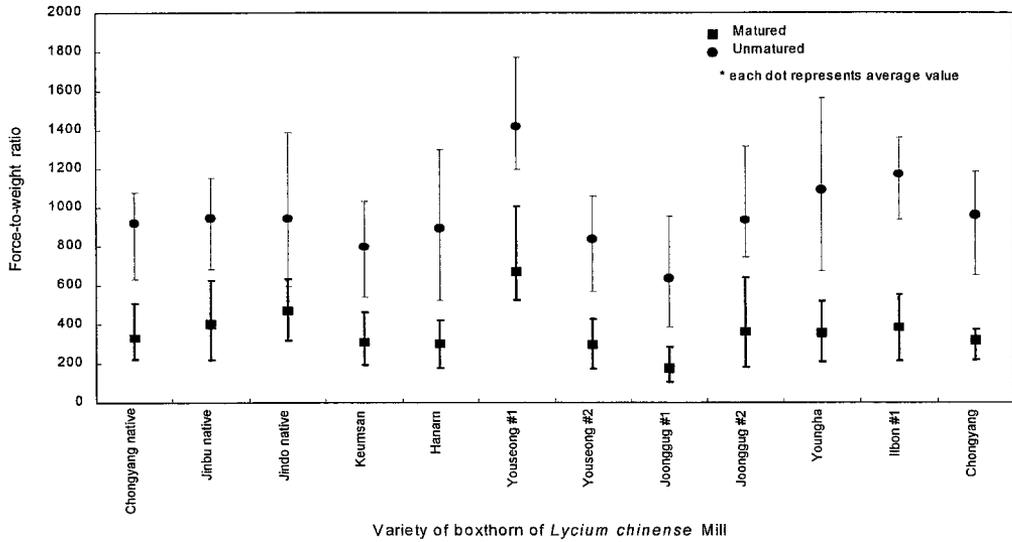


Fig. 7 Force-weight ratio distribution of each variety of boxthorn berries.

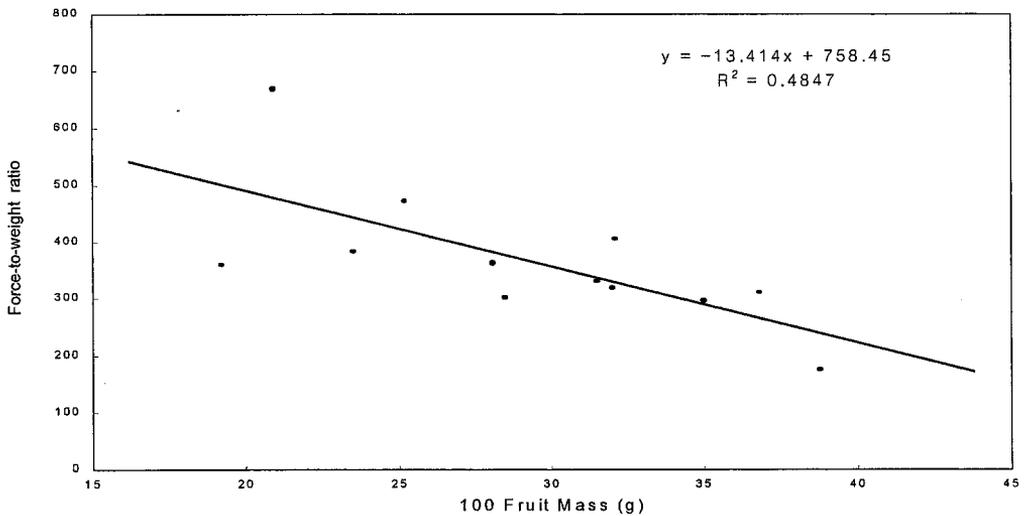


Fig. 8 Relationship between 100 berries mass and force-to-weight ratio.

그림 8은 구기자의 품종에 관계없이 100과중과 F/W의 관계를 나타낸 것으로 과중이 많을수록 F/W비가 감소하는 경향을 나타내었다.

힘-무게 비는 재하각도가 증가하면서 변화의 폭이 크게 나타났으며, 특히 청양재래의 힘-무게 비는 다른 두 품종과는 달리 재하각도 0° 에서 최대(236.67)로 나타났다. 시료의 생물학적 특성 및 무게가 각 실험 조건에서 동질성(homogeneity)이 아닌 점을 고려할 때 힘-무게 비는 대체적으로 재하각도가 15 ~ 45° 에서 높게 나타났고 60° 에서 가장 낮게 나타났다(그림 9).

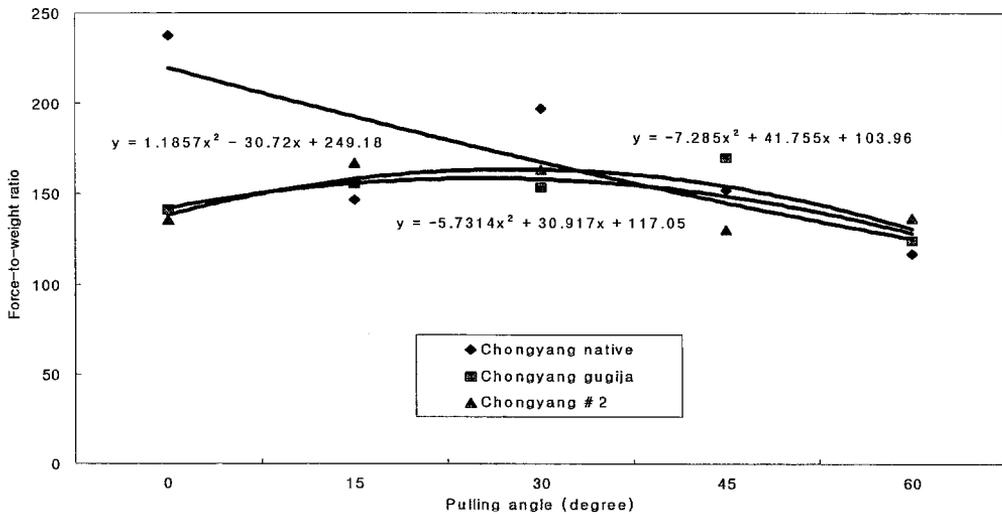


Fig. 9 Force-to-weight ratio of three varieties of the mature boxthorn (*Lycium chinense* Mill) berries at various pulling angles.

공시 품종 및 재하각도 변화에 따른 속과의 힘-무게 비의 분산 분석 결과는 품종 및 재하각도에 따른 평균 힘-무게 비의 차이가 있는 것으로 나타났으며, 그에 따른 품종별 평균 힘-무게 비에 대한 다중범위테스트(Duncan test) 결과 청양구기자와 청양2호는 차이가 없는 것으로 나타났고 청양재래와 위의 두 품종간에는 차이가 있는 것으로 나타났다(표 14). 이는 재하각도에 관계 없이 품종간 전체적인 평균 힘-무게 비의 유의성 검증의 결과로서 세 가지 품종 중 청양2호를 수확할 때 가장 적은 동력을 필요로 하는 것을 의미하며 또한, 장차 구기자의 기계적 수확방법을 고려하여 수확이 용이한 재배 품종을 선택하는데 있어서 참고자료로 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 14 Results of the Duncan's multiple range test ($\alpha=5\%$) for the force-to-weight ratio of the three varieties of mature boxthorn berries

Varieties	Mean force-to-weight ratio	No. of samples	Duncan Grouping*
Chongyang native	170.07	50	a
Chongyang gugija	149.09	50	b
Chongyang #2	146.75	50	b

* Means with the same letter are not significantly different.

표 15는 품종에 관계없이 재하각도에 따른 힘-무게 비의 유의성 검증의 Duncan test 결과를 나타내고 있다. 전반적으로 재하각도가 0~45° 와 45~60° 에서는 힘-무게 비의 차이가 각각 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 15 Results of the Duncan's multiple range test ($\alpha=5\%$) for force-to-weight ratio of the mature boxthorn berries at various pulling angles

Pulling angle (degree)	Mean force-to-weight ratio	No. of sample	Duncan Grouping*
0	171.58	30	a
15	156.52	30	a
30	171.54	30	a
45	150.85	30	a b
60	126.03	30	b

* Means with the same letter are not significantly different.

품종별 탈과력 및 힘-무게 비의 차이는 진동을 가해 구기자의 숙과만을 선택적으로 수확하는데 있어서 적절한 동력 및 진동 특성(진폭, 진동수) 등을 고려하여 적용할 수 있고, 품종별 재하각도에 따른 탈과력 및 힘-무게 비의 차이는 가진 메카니즘 및 방향을 설정하는데 필요한 자료로 판단되었다.

4. 결 론

가. 전체 구기자 품종에서 일반적으로 미숙과와 숙과의 F/W는 미숙과가 숙과에

비하여 2.6배 높은 것으로 현저한 차이가 나타났다.

나. 재하각도가 증가하면서 F/W도 증가하다 반전하여 재하각도가 30° 이상에서 부터는 감소하는 경향을 나타냈다.

다. 청양재래, 청양구기자, 청양2호 세품종을 공시재료로 하여 재하각도에 따른 F/W의 유의성 검증 결과 재하각도 0° ~ 45° 와 45° ~ 60° 에서는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

제 4 절 꽃 및 잎의 탈리력

1. 서 론

구기자의 속과만을 선택적으로 수확하는데 있어서 미숙과가 탈과되는 것을 방지하여야 할 뿐만 아니라 구기자의 꽃 및 잎 역시 탈리되는 것을 방지하여야 구기자가 수확기 내내 건강하고 열매의 착과과 양호하다. 따라서 본 실험에서는 구기자 열매와 꽃 및 잎의 탈과력 혹은 탈리력의 차이에 대한 자료를 얻고자 구기자의 꽃 및 잎의 탈리력을 측정 분석하였다.

2. 재료 및 방법

구기자 열매의 탈과력과 구기자 꽃 및 잎의 탈리력을 비교 분석하고자 청양구기자 품종의 꽃 및 잎 10개를 무작위로 포장에서 채취하여 탈리력과 F/W를 측정 및 분석하였다.

구기자의 꽃 및 잎의 탈리력 측정은 제 2절에서 설명한 측정장치를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

표 16은 청양구기자의 꽃 및 잎의 탈리력과 F/W비를 나타낸 것으로 꽃의 평균 탈리력과 F/W는 각각 약 1.69 N과 약 4034로 나타났다. 한편, 잎의 평균 탈리력과 F/W는 각각 4.07 N과 2412로 나타났다. 꽃 및 잎의 탈리력 및 F/W가 속과보다 월등히 크게 나타나 구기자 속과를 선택적으로 탈과할 수 있고 건강한 꽃과 잎의 탈리는 방지 할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 16 Detachment force (N) and force-to-weight ratio of flowers and leaves of Cheongyang gugija variety

No.	Flower		Leave		
	Force(N)	F/W	Force(N)	Weight	F/W
1	1.55	3700.282	6.25	0.3341	1906.929
2	1.19	2840.862	5.17	0.3104	1697.852
3	1.63	3891.264	3.91	0.1737	2294.605
4	2.29	5466.868	5.99	0.2866	2130.5004
5	1.54	3676.409	4.1	0.231	1809.2679
6	1.87	4464.211	3.22	0.1595	2057.909
7	1.56	3724.155	3.24	0.1072	3080.9256
8	1.71	4082.247	3.72	0.1213	3126.1739
9	2	4774.557	2.82	0.1039	2766.7158
10	1.56	3724.155	2.3	0.072	3256.3144
Total weight		0.427 g			
Average	1.69	4034.501	4.072	0.18997	2412.7193

4. 결 론

꽃의 탈리력 및 F/W, 잎의 탈리력 및 F/W가 구기자 속과의 탈과력(1.0N) 및 F/W(365.43)보다 월등히 높은 것으로 나타났다.

제 5 절 가지의 진동 특성

1. 서 론

과일을 진동을 이용한 기계적 수확기로 수확할 때 이에 필요한 강제 진동수는 일반적으로 가지의 자유진동수 범위에서 선정하여 진동을 주었을 때 탈과 효율이 가장 높다고 여러 문헌 등에 보고된 바 있다(Wang, 1965; Ghate and Rohrbach, 1975; Alper et al, 1976; Fridley and Yung, 1975). 본 실험에서는 진동을 이용한 수확작업의 기계화에 관련한 설계 요인에 매우 중요한 강제 진동의 진동수를 분석하고자 구기자 가지의 자유 진동수에 영향을 미치는 구기자의 품종별 가지의 물리적 및 기계적 특성들을 분석하였으며, 기본적인 공식들을 이용하여 구기자 가지의 자유진동수를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 재료

본 실험에 사용한 공시재료는 2000년도에 충남 청양구기자시험장에서 재배되었던 청양재래, 청양구기자 및 청양2호 세 가지 품종을 사용하였다. 시료는 8월 중순의 수확시기에 열매가 매달린 줄기(주지, 1차지, 및 2차지)를 포장에서 무작위로 10개씩 채취한 후 실험실로 옮겨와 사용하였다. 채취한 시료는 약 18~20 cm로 절단한 후 가지에 매달린 열매나 잎을 제거하였다. 모든 실험은 시료를 채취한 후 하루 내지 이틀에 걸쳐 실시하였으며 시료의 수분 발산을 최소화하기 위해 폴리에틸렌 주머니(Polyethylene bag)에 넣어 냉장고에 보관하면서 사용하였다. 본 실험은 탄성 계수, 비틀림 강성 계수, 감쇠계수, 자유 진동수, 비중, 함수율 측정순으로 실시하였다.

나. 측정장치 및 방법

1) 탄성 계수

구기자 가지의 탄성계수를 측정하기 위하여 그림 10와 같이 UTM, 노트북 컴퓨터(notebook computer), 계측기(force gauge) 및 지그로 구성되어있는 시스템을 설계 제작하여 가지의 굽힘 실험을 실시한 후 식 (1)을 이용하여 구기자 가지의 탄성계수를 계산하였다(Ghate and Rohrbanch, 1975).

$$E = \frac{PL^3}{48Y_c I} \quad (1)$$

여기서 E = 탄성계수 (N/m²)

P = 시료 중앙에 작용하는 하중 (N)

L = 시료 길이 (m)

Y_c = 휨 량 (m)

I = (π/64)d⁴ : 시료의 단면 2차 모멘트 (m⁴)

d = 시료의 평균 직경 (m)

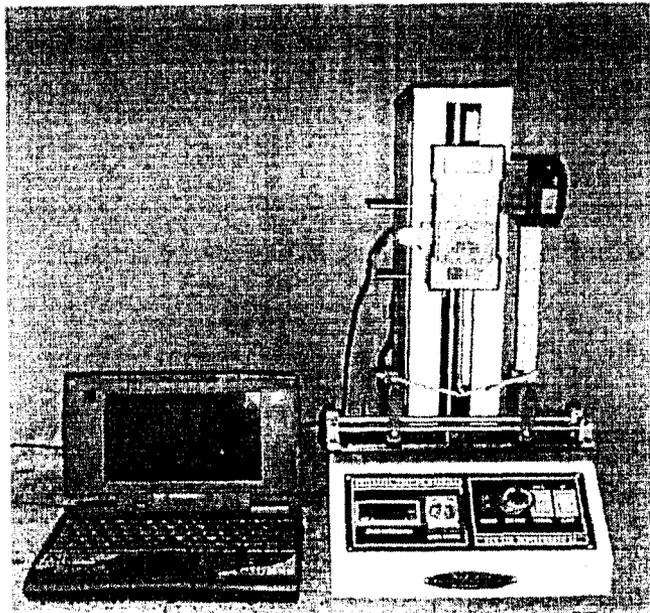


Fig. 10 Photograph of the bending test apparatus for boxthorn branch

2) 강성계수

구기자 가지의 비틀림 강성(torsional rigidity)은 그림 11과 같이 최대허용직경이 10mm인 두 개의 척(chuck)이 부착된 지그(jig)를 제작하여 비틀림을 시험 한 후 식 (2)을 이용하여 구기자 가지의 강성계수를 계산하였다.

$$G = \frac{TL}{\phi J} \quad (2)$$

여기서 G = 강성계수 (N/m^2)

T = 토크 ($N \cdot m$)

L = 시료의 길이 (m)

ϕ = 비틀림 각 (radian)

$J = \pi d^4/32$: 극 2차 모멘트 (m^4)

d = 시료의 직경 (m)

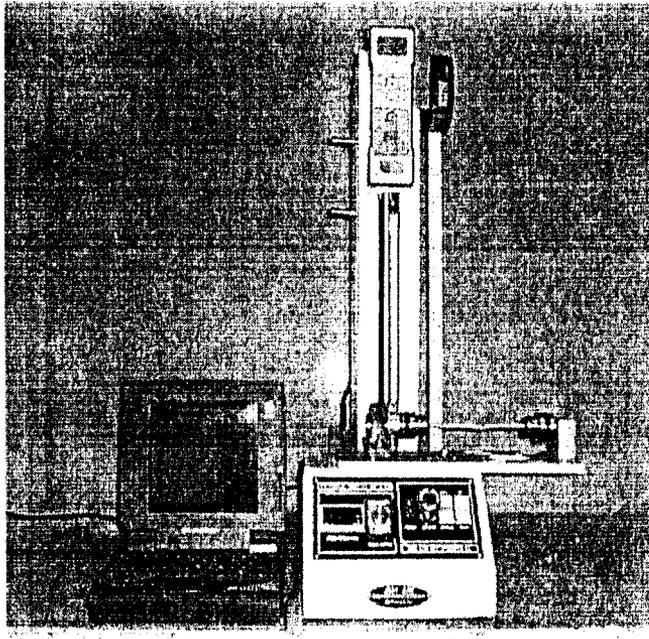


Fig. 11 Photograph of the torsional rigidity test apparatus for the boxthorn branch

본 실험에 사용한 지그는 10mm 두께의 직사각형 알루미늄 판 위에 두 개의 척, 풀리, 베어링 및 축을 설치하여 제작하였으며 UTM본체에 고정되어있다. 그림 11에서 지그의 오른쪽은 한 개의 척이 고정되어 있고, 왼쪽은 직경이 20mm인 알루미늄 축에 베어링, 풀리 및 척을 고정시켜 축이 회전하면서 풀리 및 척이 동시에 회전 되도록 하였다. 또한, 풀리와 계기의 연결 고리 사이에 케이블을 연결하여 UTM의 크로스 헤드(Cross head)가 위쪽으로 수직 이동하면서 시료에 비틀림을 가하도록 하였으며, 이 때의 인장력을 측정하여 토크를 계산하였다.

비틀림 각은 계기의 이동거리를 변위 측정기(그림 11의 계기 우측)를 이용하여 변위를 측정된 후 변위에 해당하는 각도를 레디안(radian)으로 환산한 후 비틀림 강성을 식 (2)를 이용하여 계산하였다. 시료를 양쪽 두 개의 척에 고정시킬 때 풀리와 계기 사이에 연결되어 있는 케이블은 하중을 받지 않은 상태에서 팽팽하도록 유지하면서 고정 시켰으며, 비틀림 각은 풀리의 직경(48mm)과 변위의 관계를 이용하여 계산하였다. 척과 척 사이의 간격은 170mm이지만 시료의 길이(L)는 두 개의 척의 물림장치 사이의 길이를 측정된 후 그 길이를 식 (2)의 L로 사용하였다.

시료를 척에 고정시켰을 때 풀리의 위치는 풀리에 고정되어 있는 케이블 연결고리와 풀리 센터의 연장선이 지그의 바닥 면과 수평을 이루면서 케이블 연결고리가 앞에서 보았을 때 정면을 향하도록 하였으며, 계기의 연결 고리 및 풀리와 케이블이 이루는 접선은 수직으로 하였다.

3) 감쇠 계수

감쇠비 측정을 위한 장치는 그림 12와 같이 시료물림지지대, 1차원 가속도계(Accelerometer)(Charge capacity = 1.93 pC/G) (Model VP-02S, IMV Corporation), 차지증폭기(Charge amplifier)(Radebeul, Model M67-1), A/D변환기(Converter)(PCLD, Model PCLD - 780) 및 PC(Pentium III 350MHz, Ram 120MHz)로 구성되어있다. 구기자 가지의 감쇠비(ζ)는 위 장치를 이용하여 가지의 가속 진폭의 시간에 따른 변위를

구한 후 대수감소(logarithmic decrement)관계를 아래 식 (3)을 이용하여 (그림 13 참조) 계산하였다 (Doebelin, 1990).

$$\zeta \approx \frac{\delta}{2\pi n} \quad (3)$$

여기서 ζ = 감쇠비 (dimensionless)

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{x_1}{x_n} \left(= \frac{1}{n} \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \right)$$

x_1 = 초기의 진폭 (m)

x_n = n 주기의 진폭 (m)

n = 주기의 수

식 (3)은 $(1 - \zeta^2)^{1/2} \approx 1.0$ 로 가정한 것이며 특히, $\zeta < 0.1$ 일 때 매우 정확한 값을 갖는다(Doebelin, 1990).

감쇠비의 결정은 변위 ($X = A_0 e^{i\omega t} + A_n e^{-i\omega t}$) 진폭의 비를 이

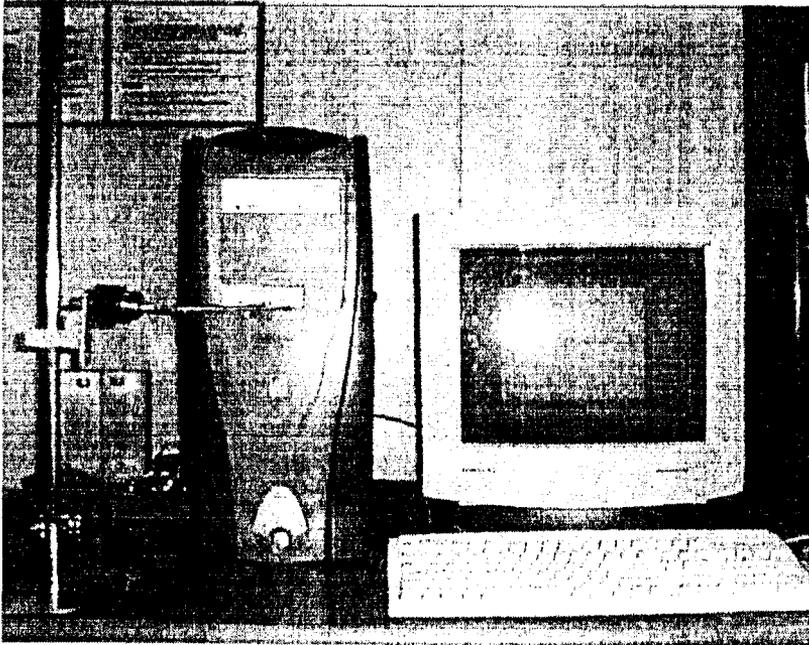


Fig 12. Photograph of the apparatus for the damping ratio test for the boxthorn branch

용하여 구하였다. 식 (3)에서 자유 진동을 하는 물체의 가속을 알고 처음과 마지막의 가속 진폭을 각각 $A_0 e^{i\omega t}$ 및 $A_0 e^{-i\omega t}$ 라 가정한 후 이들을 두 번 미분하면 처음과 마지막의 변위 진폭은 각각 $A_0 \omega^2 e^{i\omega t}$ 및 $A_n \omega^2 e^{i\omega t}$ 와 같이 가속도로 되고 처음과 마지막 가속 진폭의 비는 변위 진폭의 비와 같다. 따라서, 감쇠비의 결정은 가속 변위의 진폭 비를 이용하여 구하였다.

감쇠 계수를 결정하기 위한 실험순서는 우선 시료를 지지대의 봉에 장착된 척을 이용하여 시료의 한 끝을 고정하여 시료가 바닥 면과 수평을 이루도록 하였으며, 시료의 다른 한 끝에는 테이프를 이용하여 가속도계(Accelerometer)를 고정시킨 후 인위적으로 시료의 끝을 수직방향의 아래로 당긴 후 놓아 자연적으로 진동이 발생하도록 하였고, 같은 순간 PC가 작동하며 시료의 가속 진폭을 감지하도록 하였으며 감지된 진폭은 PC에 기록과 동시에 저장되도록 하였다.

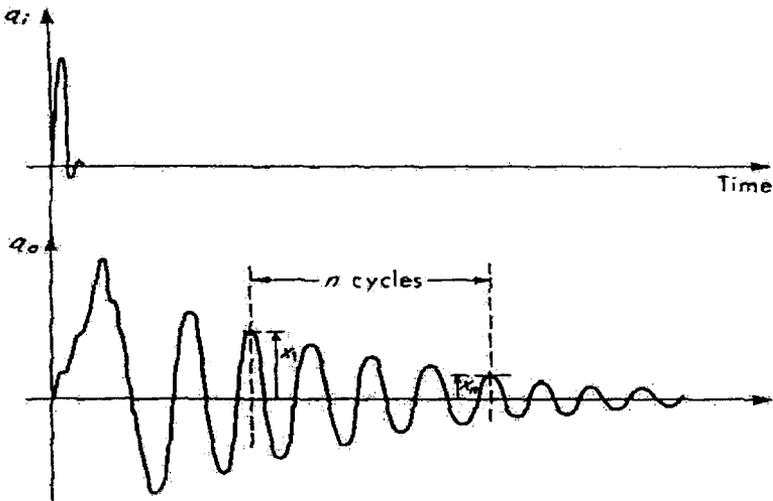


Fig. 13 Graphical illustration used for the calculation of damping ratio of the boxthorn branch (Equation(3)).

3. 결과 및 고찰

가. 탄성계수

그림 14은 청양2호의 주지에 대한 재하시간과 굽힘 하중과의 관계의 한 예를 보여주고 있으며 본 실험에서의 탄성계수는 그림 14에 나타난 굽힘 응력의 최대값을 이용하여 위에서 설명한 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

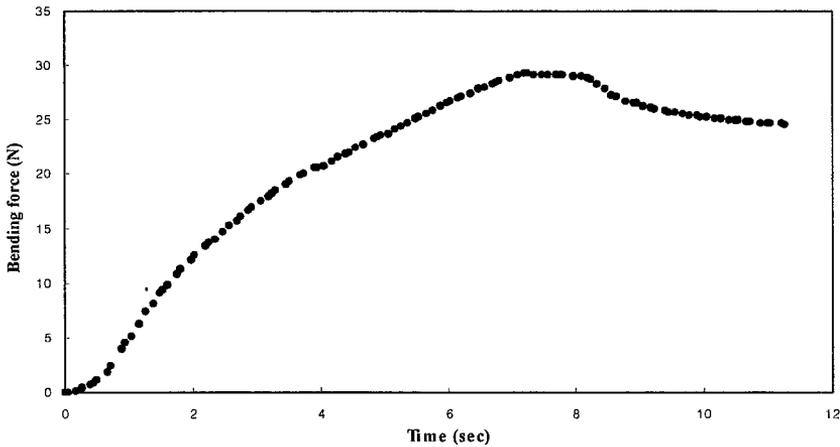


Fig. 14 An example of the relationship between bending force and time of a primary stem of Cheongyang #2.

각 공시 품종이 가지의 굽기가 증가하면서 탄성계수는 감소하는 경향을 나타냈으며 청양2호, 청양구기자, 청양재래의 상관계수는 각각 0.64, -0.72, -0.95으로서 비교적 높은 의존도를 나타내고 있다. 또한, 품종이나 가지의 종류를 구분하지 않고 전체 시료의 가지의 굽기와 탄성계수의 상관계수는 0.81로서 서로 높은 의존도를 나타내고 있다. 또한, SNK(Student Newman-Keuls)를 이용하여 다중 범위 평균 테스트를 한 결과 품종간 평균 탄성계수의 차이가 있는 것으로 나타났으며, 청양2호 가장 높고 청양구기자와 청양재래는 차이가 없는 것으로 나타났다.

그림 15, 16 및 17은 각각 청양2호, 청양구기자, 청양재래의 품종별 탄

성 계수와 가지 굵기의 관계를 나타내고 있으며, 그림 18은 품종의 구분 없이 공시 재료 전체의 탄성 계수와 가지의 굵기 관계를 나타내고 있다. 한편, 표 17은 품종별 및 공시 재료 전체의 탄성계수와 가지 굵기 사이의 회귀분석 결과를 요약한 것이다.

본 실험에서 계산된 구기자 가지의 탄성계수는 Ghate 와 Rohrbach (1975)가 분석한 블루베리 가지의 탄성계수 범위보다 비교적 작은 값($6.7 \times 10^9 \text{ N/m}^2$)을 나타내고 있으며, 참고로 공식적인 합판의 탄성계수는 $5.4 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 로 나타나 있다(Inman, 1996).

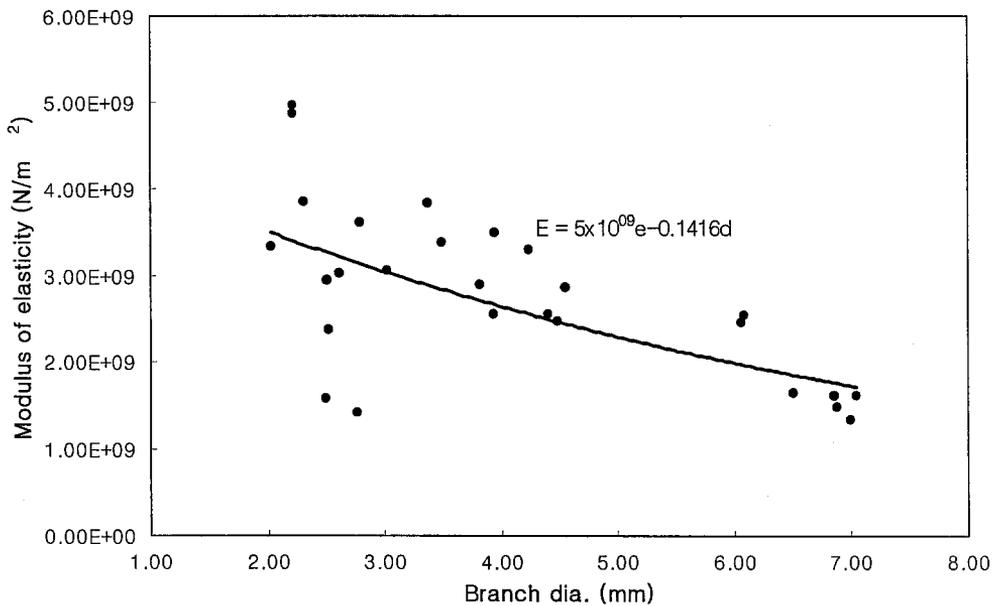


Fig. 15 Experimentally determined elastic modulus of Cheongyang #2 variety as a function of the branch diameter.

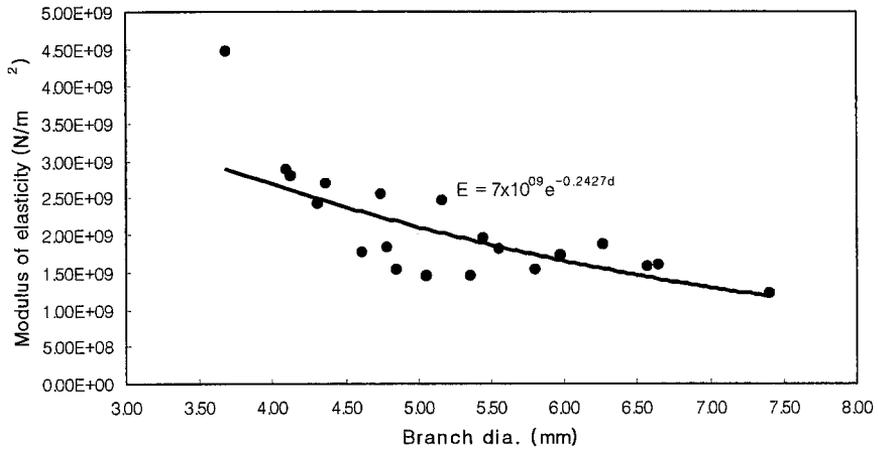


Fig. 16 Experimentally determined elastic modulus of Cheongyang gugija variety as a function of branch diameter.

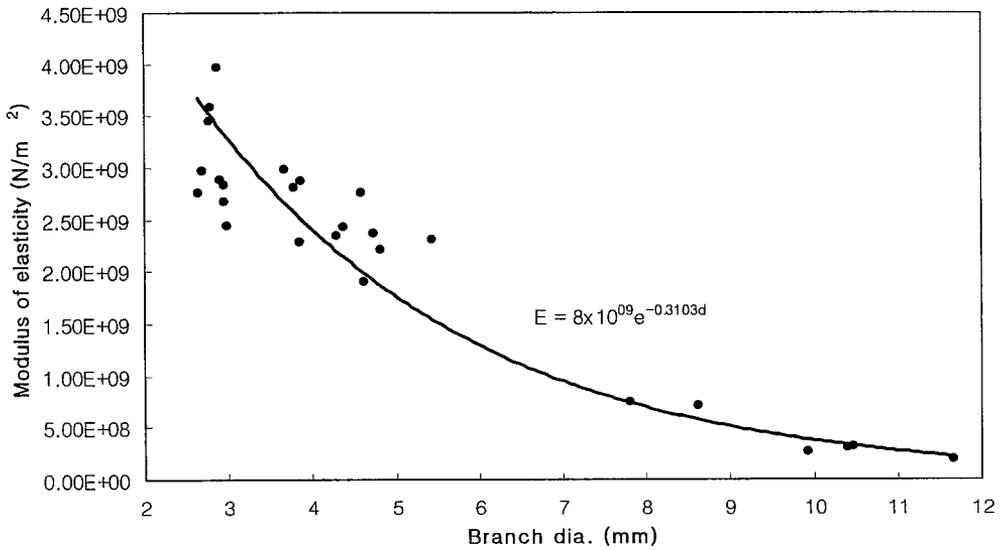


Fig. 17 Experimentally determined elastic modulus of Cheongyang native variety as a function of branch diameter.

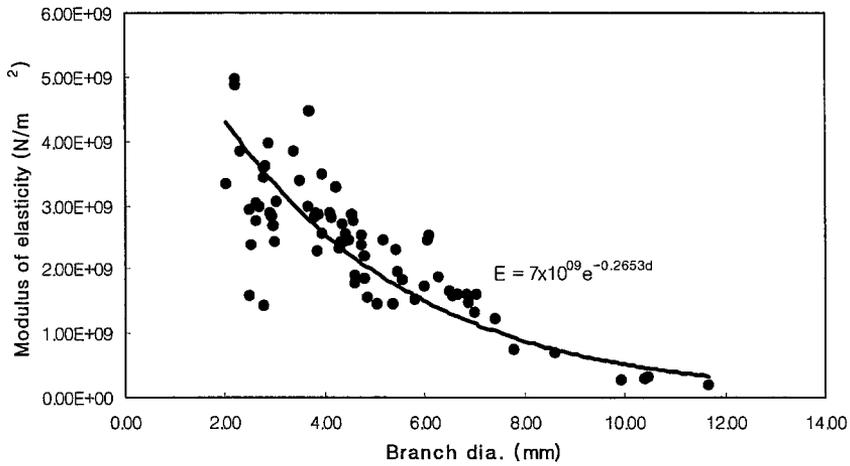


Fig. 18 Experimentally determined elastic modulus of all varieties combined as a function of branch diameter.

Table 17. Regression equation for the modulus of elasticity as a function of branch diameter

Variety	No. of samples	Coefficient of correlation	Equation of regression line
Cheongyang #2	27	-0.64	$E = 5 \times 10^9 e^{-0.141d}$
Cheongyang gugija	20	-0.72	$E = 7 \times 10^9 e^{-0.243d}$
Cheongyang native	26	-0.95	$E = 8 \times 10^9 e^{-0.310d}$
Combined	73	-0.81	$E = 5 \times 10^9 e^{-0.265d}$

* E = elasticity(N/m²). d = diameter of branch(m).

나. 강성계수 (Modulus of rigidity)

품종별 구기자 가지의 비틀림 강성과 가지의 굵기 사이의 상관계수는 청

양2호, 청양구기자, 청양재래의 각각 0.66, -0.01, -0.95로 나타나, 청양구기자의 경우 가지의 굵기와 강성사이에는 전혀 상관이 없는 것으로 나타났다. 한편, 전체 품종에 있어서 구기자 가지의 비틀림 강성은 그림 19와 같이 가지의 구분 없이 대략적으로 가지의 굵기가 증가하면서 강성이 감소하는 경향(상관계수, -0.63)을 나타내고 있지만 데이터가 넓게 분포하고 있다. 그림 20은 청양구기자의 강성과 가지의 굵기와의 관계의 예를 보여주고 있으며, 표 18은 품종별 강성계수 및 다중범위분석(Duncan) 결과를 나타내고 있으며 청양2호와 청양재래 사이에는 차이가 있는 것으로 나타났다.

구기자가지의 강성계수를 다른 작물과 비교해 볼 때 Ghate와 Rohrbach(1975)가 분석한 블루베리 가지의 강성계수와 비슷한 값($4.047 \times 10^8 \text{ N/m}^2$)을 나타내고 있다.

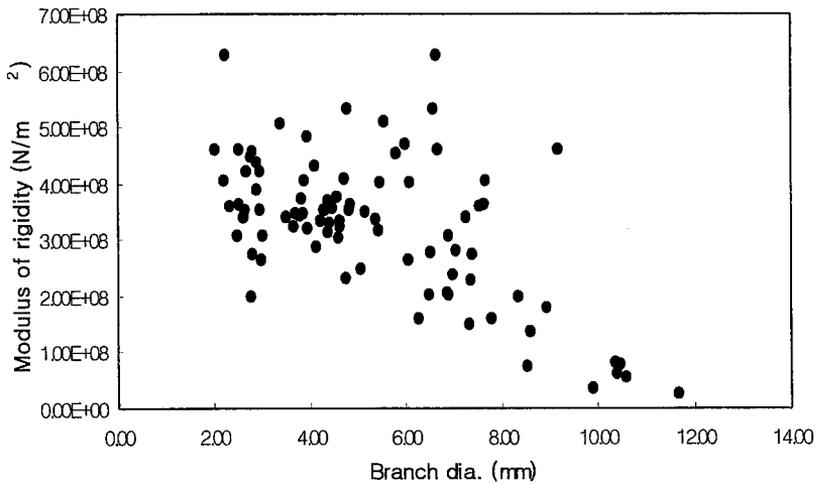


Fig. 19 Experimentally determined modulus of rigidity of all varieties of boxthorn combined as a function of branch diameter.

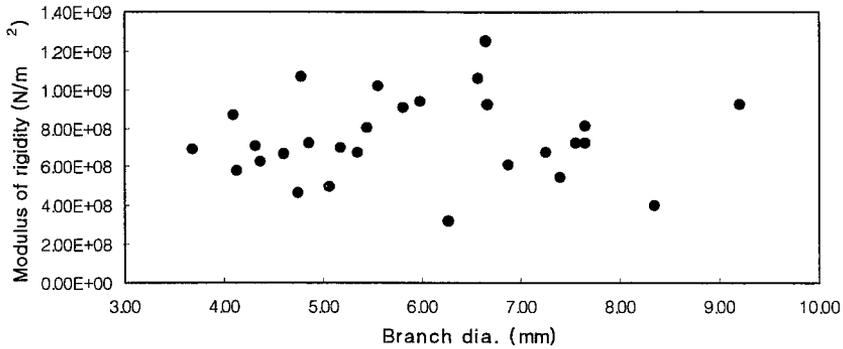


Fig. 20 Experimentally determined modulus of rigidity of Cheongyang gugija variety as a function of branch diameter harvested at Aug 18, 2000.

Table 18 Mean and standard deviation of the modulus of rigidity of the boxthorn branch.

Variety	No. of samples	Mean(N/m ²)	Standard deviation (N/m ²)	Duncan grouping *
Cheongyang #2	30	3.33×10 ⁸	1.06×10 ⁸	A
Cheongyang gugija	28	3.74×10 ⁸	1.08×10 ⁸	A B
Cheongyang native	30	2.76×10 ⁸	1.44×10 ⁸	B
All combined	88	3.27×10 ⁸	1.26×10 ⁸	

* Means with the same letter are not significantly different

다. 감쇠비 (Damping ratio)

그림 21은 구기자가지의 감쇠계수를 측정하기 위한 구기자 가지의 진동 실험 결과를 컴퓨터 모니터 상에 나타낸 한 예를 보여주고 있고, 그림 22는 공시재료 전체의 감쇠계수와 가지의 굵기 사이의 관계를 나타내고 있다.

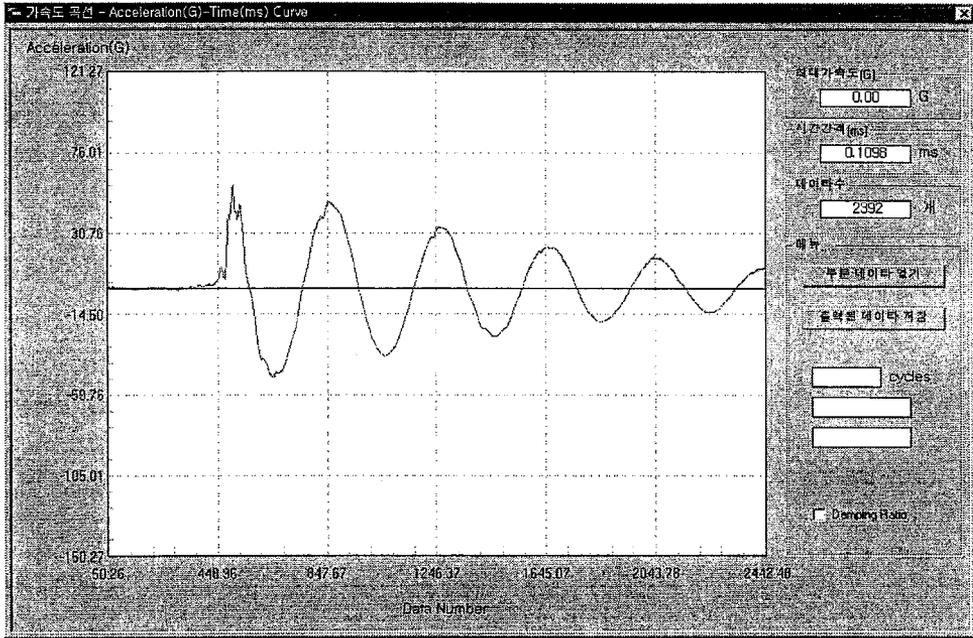


Fig. 21 An example of history of the acceleration of the boxthorn branch displayed on the PC monitor.

본 실험에서 사용한 공시재료의 품종 및 가지의 종류별 각각에 대한 구기자 가지의 굵기와 감쇠비 사이의 상관계수는 거의 없는 것으로 나타났다 (상관계수 = -0.12). 전체 89개 시료의 평균 감쇠비는 0.035이고 표준편차는 0.016으로서 넓게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 감쇠비의 최대값과 최소값은 각각 0.087과 0.014로 나타났으며 감쇠비의 범위가 0.01~0.02에는 약 10%, 0.02~0.03에는 약 34%, 0.03~0.04에는 31%, 0.04~0.05에는 10%, 0.05이상에는 15%가 나타났다. 따라서 구기자 열매와 잎을 제거한 구기자 가지 자체에는 아주 작은 감쇠효과가 있는 것으로 나타났으며, 구기자 가지의 감쇠 혹은 비감쇠 자유 진동수는 크게 차이가 없는 것으로 판단되었다. 구기자 가지의 감쇠비의 변화가 매우 심하게 나타났는데 이는 구기자 가지의 세포조직이나 가지의 모양의 변화가 다양하여 나타나는 현상

으로 판단되었다.

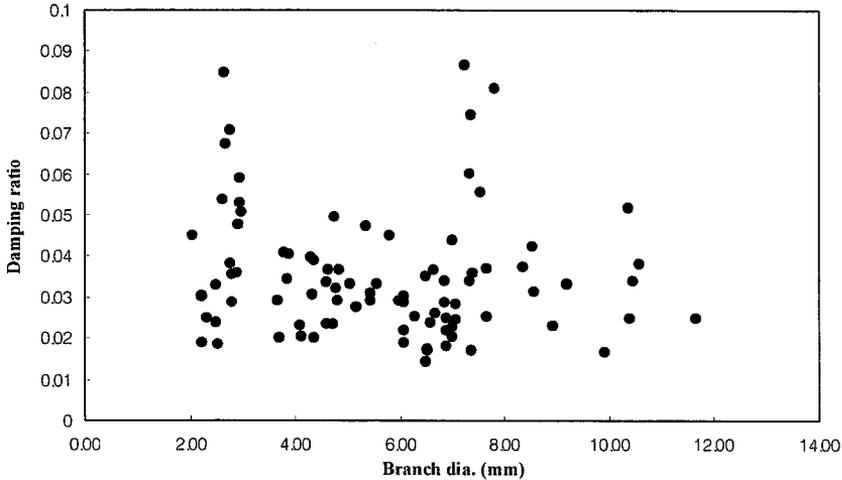


Fig. 22 Damping ratio of all varieties combined as a function of branch diameter.

라. 자유진동수 (Natural Frequency)

구기자 가지의 굵기와 자유진동수의 관계는 세 품종 모두 일반적으로 1차지와 2차지는 가지의 굵기가 굵어지면서 자유진동수가 증가하는 현상을 나타냈다. 각 품종에서 주지의 자유진동수는 가지의 굵기와 거의 상관관계가 없이 수평적으로 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 또한, 10개의 주지, 1차지 및 2차지의 평균 자유진동수는 표 19에 나타난 바와 같이 각 품종에서 자유진동수가 주지, 1차지, 2차지 순으로 작은 값을 나타냈다.

그림 23은 품종이나 가지의 부분을 고려하지 않은 전체 구기자 가지의 자유진동수와 가지 굵기의 관계를 나타내고 있으며(상관관계 = 0.82), 일반적으로 가지의 굵기가 굵어지면서 자유진동수 역시 증가하는 현상을 나타냈다. 또한, 품종별 구기자 가지의 자유진동수는 다중 범위 테스트(SNK, $\alpha = 5\%$) 결과 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 19. Experimentally determined average natural frequency of the boxthorn branch.

Variety	Branch	Avg. dia. (mm)	Std.	Natural freq. (rad/s)	Std
Cheongyang #2	Primary	6.76	0.465	360.77	78.320
	First	3.76	0.511	217.72	47.066
	Second	2.45	0.249	89.41	22.006
Cheongyang gugija	Primary	7.68	0.806	363.59	76.818
	First	5.92	0.839	264.24	40.321
	Second	4.56	0.539	233.84	32.243
Cheongyang Native	Primary	9.73	1.199	349.56	69.897
	First	4.43	0.514	217.98	60.109
	Second	2.92	0.287	123.28	24.388

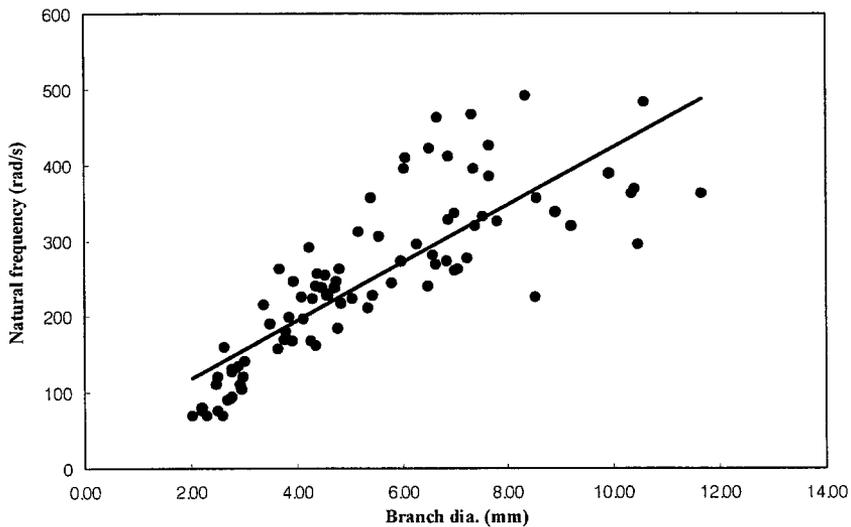


Fig. 23 Experimentally determined natural frequency of all boxthorn varieties combined as the function of boxthorn branch diameter.

마. 비중량 (Specific weight)

구기자 가지의 품종별 30개 가지의 평균 비중량과 표준편차를 표 20에 나타내었다. 비중의 범위는 청양2호, 청양구기자, 청양재래 각각 9272.1~13221.0, 9264.1~2290.6, 3764.7~12729.0 N/m³로 나타났으며, 분산 분석 결과 품종간에 비중의 차이가 있는 것으로 나타났고 청양구기자의 비중이 가장 크고 청양재래가 가장 낮은 것으로 나타났다.

Table 20. Statistics of the specific weight (N/m³) of the boxthorn branch.

Variety	No. of sample	Min	Max	Mean	STD	Duncan grouping
Cheongyang #2	30	9272.1	13221.0	11067.8	1191.4	B
Cheongyang gugija	30	9264.1	2290.6	13177.9	3552.2	A
Cheongyang native	30	3764.7	12729.0	9206.4	2428.7	C

* Means with the same letter are not significantly different

바. 함수율(Moisture content)

구기자 가지의 품종별 함수율은 청양구기자, 청양2호 및 청양재래가 각각 45%, 47% 및 43%로 나타났다.

4. 결론 및 요약

본 연구에서는 구기자가지의 진동에 영향을 미치는 물리적 특성 즉, 탄성계수, 비틀림 강성계수, 감쇠비 등에 대하여 청양구기자시험장에서 재배되고 있는 청양 2호, 청양구기자 및 청양재래를 공시품종으로 선택하여 분석하였다. 본 연구에서의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 가. 구기자가지의 탄성계수는 품종 및 가지 종류에 구분 없이 가지의 굵기가 클수록 탄성계수는 감소하였고, 가지의 굵기가 2.03~11.66mm일 때 탄성계수는 $2.01 \times 10^9 \sim 4.97 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 이었고, 전체 시료의 평균 탄성계수는 시료의 평균 직경이 4.76mm일 때 $2.39 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 로 나타났다.
- 나. 구기자가지의 비틀림 강성은 일반적으로 가지의 굵기별로는 큰 차이가 없었으며 전체 공시재료 구기자 가지의 평균 강성계수는 $6.53 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 이었다.
- 다. 구기자가지의 감쇠비의 범위는 0.014~0.087로 구기자 가지의 감쇠효과는 매우 작은 것으로 나타났으나, 그 변화의 폭이 상당히 심하게 나타났다.
- 라. 구기자가지의 자유진동수는 가지의 굵기가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 상관계수는 0.82로 나타났다. 구기자 가지의 자유진동수의 범위는 품종 및 가지의 종류의 구분 없이 약 89~363rad/s으로 나타났다.
- 마. 구기자가지의 탄성계수와 비틀림 강성은 가지 굵기에 따라 가지의 껍질(bark)이나 가지의 심(pitch)의 크기에는 변화가 없는 반면 가지의 굵기가 커지면서 껍질과 심 사이에 있는 목질부도 증가하여 탄성계수는 증가하는 반면 비틀림 강성에는 영향을 주지 않는 목질부의 목리(木理, grain) 차이에 의하여 나타나는 현상으로 판단되었다.

제 4 장 구기자 탈과장치의 기초 연구

현재 인력에 의한 수작업의 관행수확방법과 간단한 도구의 가능성을 검토하기 위한 캔-빗살 혼합형, 장갑-칼때기 혼합형, 멍석형, 그리고 기계화에 이용될 수 있는 흡입형과 진동형 등 모두 6가지 수확방법에 대한 실험결과는 아래와 같다.

1. **관행.** 현재 재배농가에서 실시되는 관행 수확 작업 방법으로 여러 노동자가 각 고랑에 앉아 직접 속과와 미숙과를 육안으로 구분하여 손으로 직접 수확하여 용기에 담는 방법이다. 이 관행 수확 작업의 결과는 본 연구에서 각기 수확기구 및 수확기계의 실험 분석 결과를 비교 분석하는 기준으로 사용하였다.
2. **캔-빗살 혼합형.** 빗살은 플라스틱 제품으로 일직선의 빗을 타원형으로 구부린 것에다 용기를 매달아 작업을 하면서 수확된 열매가 용기 내에 떨어지도록 고안한 것이다. 이는 빗살을 가지와 직각이 되도록 한 후 가지 끝 방향으로 진행을 하면서 열매가 빗살 사이에 걸려 떨어지게 한 형태이다.
3. **장갑-칼때기 혼합형.** 얇은 면장갑에 콘형 칼때기와 작은 망사 주머니를 이어서 부착시킨 형태의 것으로 수확한 열매를 용기에 담는 과정이 생략되는 방법이다.
4. **멍석형.** 고랑과 구기자나무 밑에 포장을 깔아놓고 손으로 수확한 구기자를 용기에 담지 않고 포장으로 떨어뜨려 놓고 수확 후 포장을 걷어가면서 용기에 담는 수확 형태이다.
5. **흡입형.** 흡입유속의 크기에 따른 탈과 성능을 검토하기 위하여 Motor로 작동되는 4개 Fan이 내장된 대형 진공 흡입기(FA540CSA, FLOOR)를 사용하였고 이 흡입기에 장착할 흡입노즐의 단면적을 950, 750, 380, 280mm²로 변화하면

서, 흡입유속의 크기에 따른 탈과 특성을 실험하였다. 수확실험 초기에는 750mm²의 단면적 흡입노즐의 장착시부터 탈과가 이루어졌지만 진공흡입기의 유로를 흡입 물질들이 부분적으로 막으면서 탈과 성능이 저하되어 탈과율이 크게 떨어졌다. 유속을 증대하고자 380mm²의 흡입노즐로 교체하여 탈과 실험을 수행한 결과에서는 일정한 시간동안 탈과 작업에 큰 문제점이 없었고, 이어서 280mm²로 교체 실험한 경우에는 흡입속도가 과대하여 속과와 미속과가 모두 탈과하는 현상이 발생되었다. 흡입형 탈과 실험은 상술한 장비 380mm²의 흡입 노즐을 부착하여 수행하였다.

6. 진동형. 진동이 탈과 성능에 미치는 특성을 구명하기 위하여 진동발생장치로는 진동수를 가변할 수 있는 Jig saw(KS632E, Black & Decker)를 이용하였고 Jig saw의 진동을 구기자 가지에 전달하는 진동자는 그림 24과 같이 설계 제작하여 사용하였다. 진동자의 후크사이에 구기자의 가지를 끼울 때 밀착이 되어야 하고 가지에 손상이 발생하지 않도록 고무로 피복하였다. 진폭(Stroke)은 Jig saw의 구조상 2.5cm로 고정되어 있어서 그대로 사용하였고 진동수는 최대치에 가까운 1600 rpm까지 변화시키면서 탈과성능을 실험하였다. 실험한 결과는 Jig saw의 최대치에 가까운 1600rpm에서 탈과성능이 양호하게 나타나서 진동형 탈과실험을 상술한 조건에서 수행하였다.

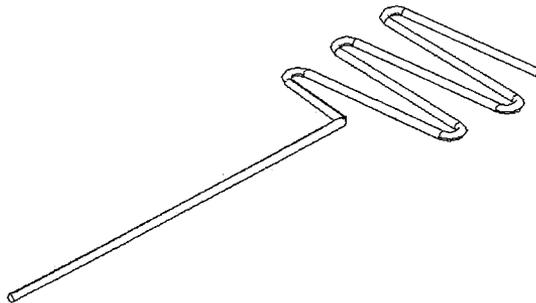


Fig. 24 Vibration hook.

표 21은 관행 및 각 수확 기구 및 기계들의 수확능률(%)을 나타낸 것으로 관행(수작업) 수확능률을 100% 기준으로 각 수확 기구 및 기계들의 수확능률을 표기하였다. 진동형 및 흡입형의 수확능률은 관행보다 각각 3.8배 및 1.4배의 수확능률을 나타내었으며, 또한 다른 간단한 도구를 사용한 수확능력보다 높게 나타났다. 한편, 전체 수확량 중 이물질(구기엽, 부러진 잔가지, 마른 잔가지 등) 포함량은 진동형에서 30%로써 가장 많이 나타났으나 미숙과는 전혀 포함하고 있지 않았다. 이는 구기자 진동 탈과시 진동자의 횡방향 이동에 의한 충격으로 구기엽과 잔가지가 굴절되어 탈락하는데 원인이 있는 것으로 판단된다. 흡입형은 전체 수확량 중 미숙과 및 이물질을 각각 4.5% 및 26.6%씩 포함하고 있었다. 열매 수확량 가운데 4.5%의 미숙과가 포함되어 있는 것은 흡입력이 완숙과의 탈과력의 범위를 넘어 미숙과의 탈과력에 접근할 정도로 크기 때문이었다. 이와 같이 큰 흡입력을 채택한 이유는 흡입형 수확시에 흡입물질이 공기유로를 부분적으로 막아서 흐름을 방해함으로써 흡입력의 약화가 탈과성능을 저하하기 때문이었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 숙과와 미숙과를 선별해서 흡입할 수 있는 일정한 흡입력 발생장치가 선결되어야 한다. 또한 흡입형은 탈과과정에서 꽃을 흡입 탈과시키는 현상이 부분적으로 발생되기도 하였고 열매 수집과정에서 흡입력에 의한 탈과 열매의 흡입속도(이론속도 6974m/s)가 매우 크기 때문에 흡입 호스(이론속도 700m/s) 내에서의 충돌과 수집 탱크(이론속도 9.4m/s) 내에서의 충격으로 인하여 수집량 가운데 많은 양의 열매가 파열되는 문제점이 발생되었다. 한편 수확 기구(캔-빗살형, 장갑-깎때기형)들의 수확 능률은 관행 수확작업에 비해 낮은 것으로 나타났는데 이는 구기자나무에 성숙과, 미숙과, 구기엽 및 잔가지가 마디마다 혼합되어 있어 갈퀴작용에 의한 수확 작업을 방해하며, 분지가 밀집된 상태에서 내부 및 하부의 수확을 위한 수확기구의 원활한 출입이 어려운데 원인이 있는 것으로 생각된다.

표 22는 재배면적 10a당 구기자 수확 시 산출한 소요시간, 소요인원, 인건비 등을 관행과 진동형 수확 방법을 분석 비교 한 것이다. 재배면적 10a당 작업 소요시간을 비교하였을 때 진동형은 관행보다 약 3.8배의 증대효과로 나타났다. 이는 진동형이 관행과 비교하여 하루인건비를 3만원(97년도)으로 했을 때

연간 240만원의 인건비를 절약할 수 있는 것으로 산출되었다.

Table 21 Harvesting capacity of harvesting equipments and machines of the boxthorn (Cheongyang #1)

Harvesting method	Mature		Immature		Foreign materials		Harvesting capacity (%)
	(g/hr)	(%)	(g/hr)	(%)	(g/hr)	(%)	
Conventional (Manual)	2142	99.7	-	-	6	0.3	100
Can-comb mixed	1218	84.0	102	6.0	156	10.0	57
Glove-funnel mixed	1674	98.6	-	-	24	1.4	78
Mat type	2292	91.0	-	-	228	9.0	107
Pneumatic suction	3042	68.9	198	4.5	1176	26.6	142
Vibration	8184	70.0	-	-	5840	30.0	382

Table 22 Required labor in boxthorn harvesting

	Required time (hr/10a)	Required labor (person/10a)	Labor expense (₩10,000/10a)	Increased profit (₩10,000/10a)
Conventional (manual)	1307	163	326	-
Vibration	344	43	86	240

본 실험에서 실시한 6가지 구기자 수확방법의 결과를 요약한 결론으로는 진동형이 가장 높은 수확능률을 보였으며 이 방법이 기계수확방법으로 가장 적합하리라 판단되었다.

제 5 장 구기자 열매의 탈과율

1. 서 론

진동형 구기자 수확기에서 구기자 열매의 탈과에 영향을 주는 가장 중요한 인자가 진동 즉 진폭과 진동수이다. 진동이 나뭇가지를 통하여 열매에 전달되는 경우에는 진폭의 크기에 따라 탈과 과정에서 열매의 운동형식이 결정되고 이 운동형식이 열매의 구성, 형상, 물성에 효율적으로 작용되어야 탈과가 효율적으로 이루어질 수 있고, 속과의 탈과력에 요구되는 합리적인 진동수를 구명하여야 동력을 효율적으로 이용할 수 있을 뿐만 아니라 미숙과, 꽃, 잎 및 줄기 등에 미치는 역작용을 최소화 할 수 있다.

2. 탈과 시험 장치 및 방법

가. 탈과 실험 장치

1) 설계 요건

구기자 열매의 역학적 특성에 합리적으로 작용될 수 있는 진동특성을 구명하는데 필요한 탈과 실험장치의 설계요건은 다음과 같았다.

가) 진폭은 과병의 길이 2cm을 기준으로 하여 $\pm 2\text{cm}$ 의 범위에서 가변적으로 한다.

나) 진동수는 예비 실험의 1600rpm을 기준으로 하여 $\pm 1000\text{rpm}$ 범위에서 가변적으로 한다.

다) 일정한 탈과 시험시간 동안 크랭크 시스템의 회전수는 일정하게 유지되어야 한다.

라) 진동자는 직선왕복운동으로 한다.

마) 동력원(Motor) 및 클러치 등의 불필요한 진동이 진동자에 전달되지 않도록 차단한다.

바) 진동장치와 나뭇가지 사이의 접촉은 밀착시키되 나뭇가지의 손상이 없도록 부드러운 재료를 사용한다.

2) 주요 구조

주요구조는 ㉠변속모터 ㉡전자 클러치-브레이크 ㉢크랭크 시스템 ㉣제어장치 ㉤클램프 ㉥진동자 등으로 설계도와 같이 구성되어 있다(그림 25, 26).

전체적인 작동순서는 ①메인 스위치를 넣는다. ②VS모터의 스위치를 넣는다. ③모터의 회전수를 조정한다. ④전자 브레이크의 스위치를 켜는다. ⑤모터의 회전 회전수를 확인한 후 전자 클러치의 스위치를 넣어 진동자를 작동시키고 일정한 시간의 탈과 시험 후 전자 클러치-브레이크의 스위치를 끈다. 이때 진동자는 순간적으로 작동이 멈춘다. 작동정지 순서는 위 번호의 역순서이다.

모터와 전자 클러치-브레이크에서 발생하는 진동이 진동자에 전달되는 것을 최소가 되도록 메인 프레임과 모터 및 전자 클러치-브레이크 받침판 사이에 방진재 고무 mount를 설치하였고 또한 진동자의 운동에서 발생하는 진동이 최소화 되도록 진동자의 중량을 경량화 하였다. 또한 동력 전달부의 joint의 상하운동으로 발생하는 진동이 진동자에 전달되는 것을 가능한 차단되도록 가이드를 이중으로 설치하였다.

변속 모터는 을지전기, Model SSH0084, 0.75kW4P, 정격전류 7.4A, VS coupling(세대정밀), 1720 rpm을 사용하였고, 이 모터의 회전수는 모터 풀리와 클러치의 풀리 및 crank system의 풀리로 조정되어 크랭크의 최대회전수 2430 rpm으로 출력되도록 하였다. 전자 클러치-브레이크는 남광전기(주) Model NK SU-1.0로서 모터가 희망하는 일정한 회전수를 유지

하며 작동하는 가운데 크랭크 시스템을 일정한 가진 시간동안 (1~5초) 작동-정지 기능을 하도록 디지털 타이머(남광전기, Modul NK SU-1.0)를 설치하였다.

크랭크 시스템은 제일 먼저 원판형 크랭크 시스템으로 구상하였으나 진폭(stroke)의 조정이 제한적이고 제작 및 작동에 오차의 가능성이 우려되어 설계만 하고 제작은 하지 않았다(그림 27,28).

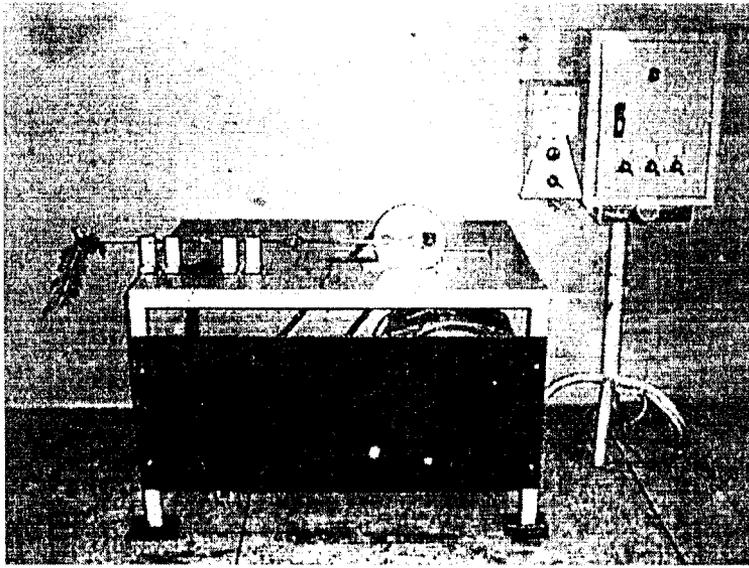


Fig. 25 Photograph of the experimental vibration system for detachment of the boxthorn berries.

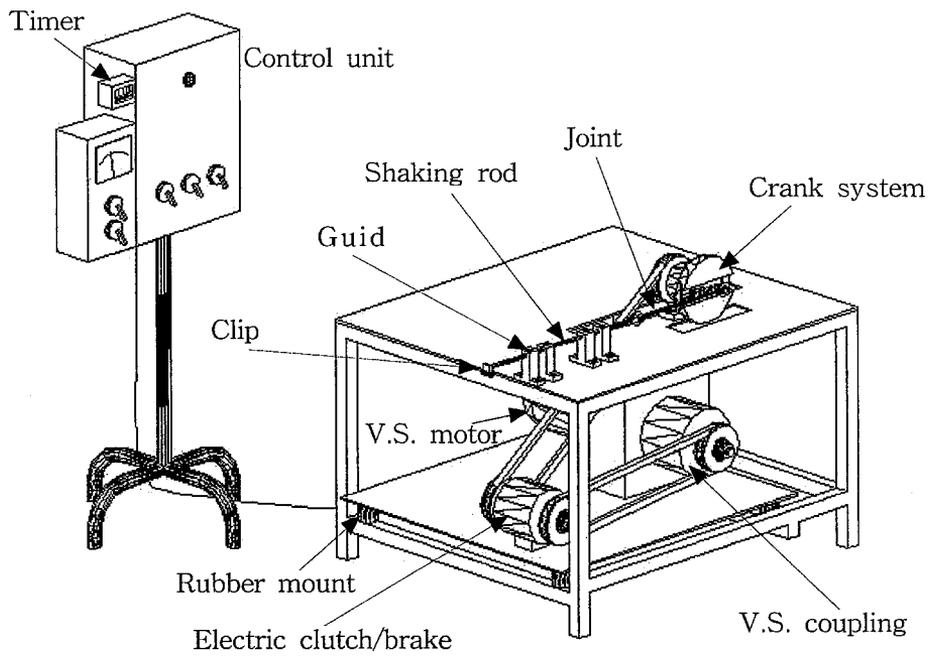


Fig 26 Schematic diagram of a experimental vibration system for the detachment of boxthorn berries

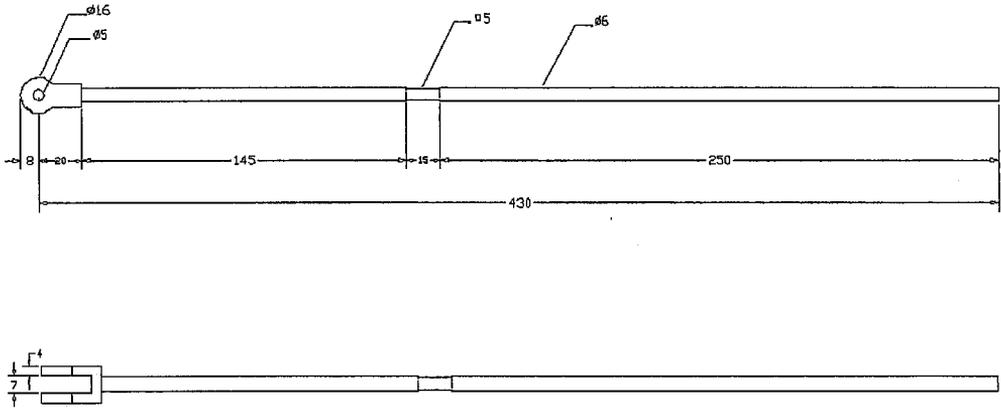


Fig. 26 (continued) Design sheet of vibration system, connecting rod.

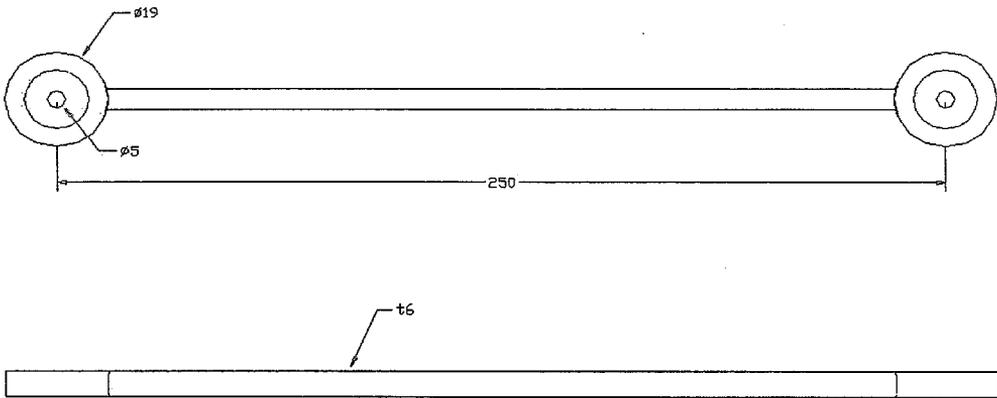


Fig. 26 (continued) Design sheet of vibration system, connecting joint.

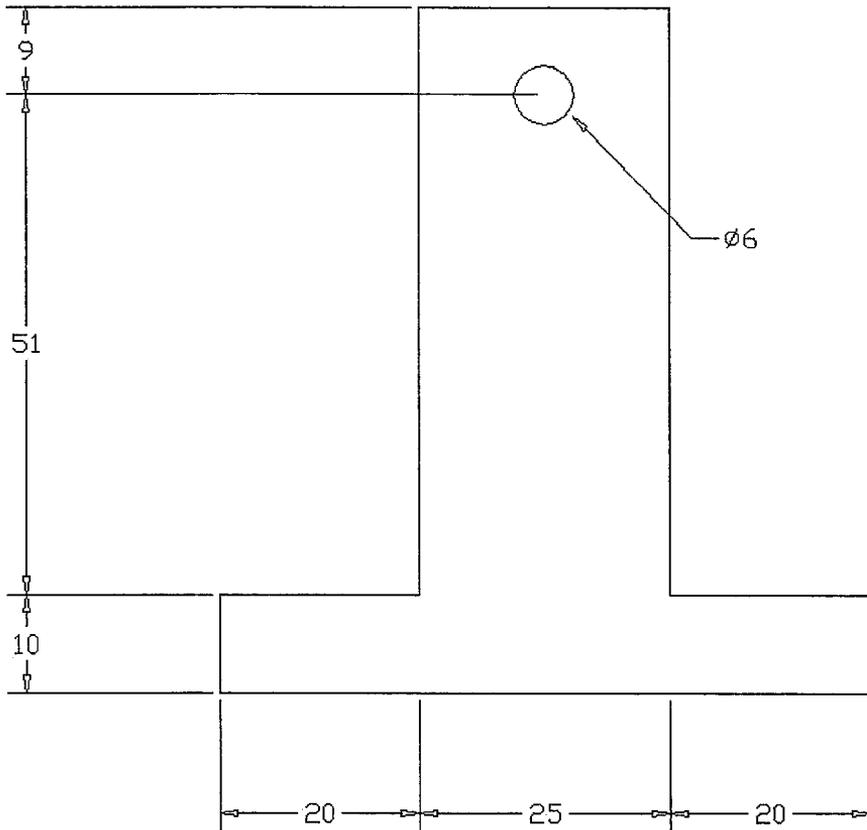
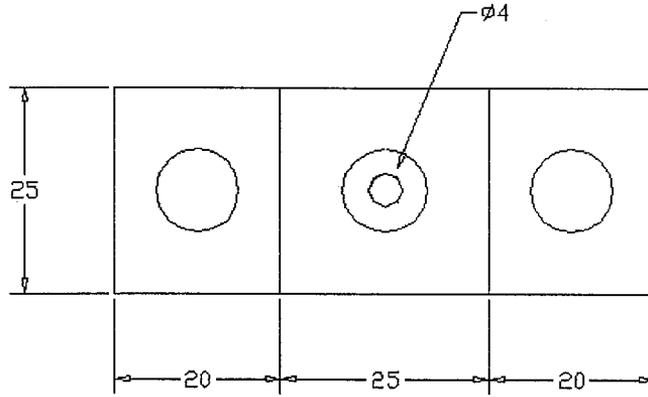


Fig. 26. (continued) Design sheet of vibration system, guide.

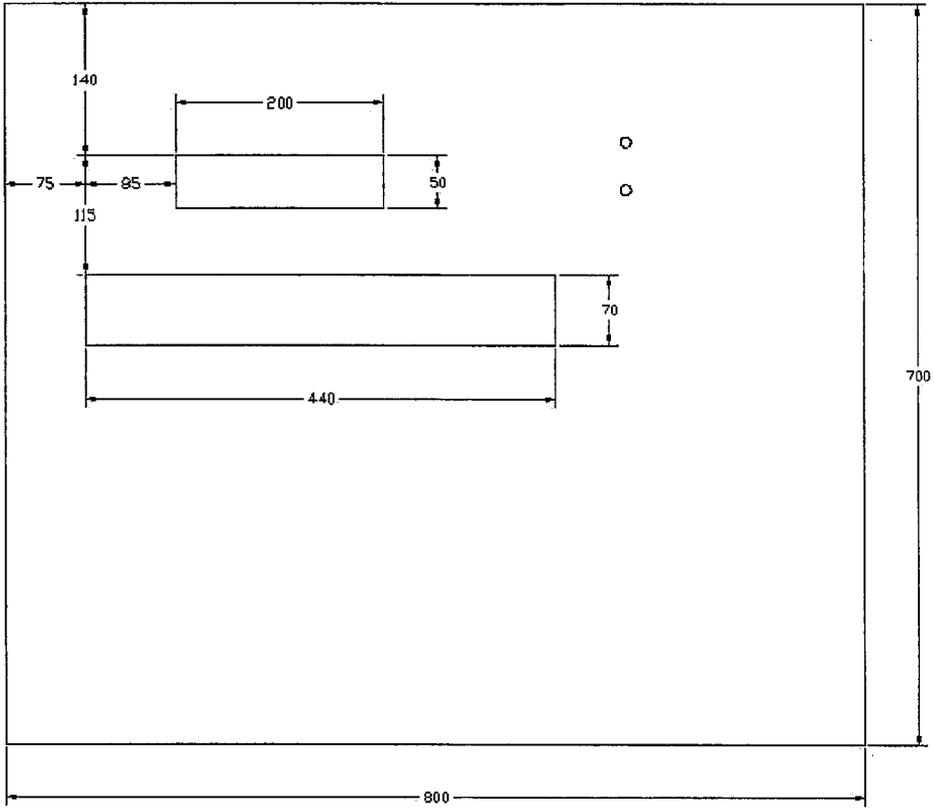


Fig. 26. (continued) Design sheet of vibration system, frame panel.

진폭의 조정 범위를 확대하고 작동의 정밀성을 향상하고자 2차로 편심축 크랭크 시스템으로 설계 제작하였다. 2개의 편심축 중심 사이를 이용하여 나사 조임 방법으로 진폭(0~6 cm)의 크기를 자유롭게 조절할 수 있는 편리한 장점이 있었다, 그러나 편심 하중으로 고속회전시 진동이 크게 발생하여 진동자와 크랭크 시스템 사이에 부착한 Strain gage의 sensing이 불명확하여 실험의 성공률이 불투명하였다(그림 29, 30)

크랭크 시스템의 진동을 더 줄이고 진폭의 조절을 원활하게 되는 슬라이드 크랭크 시스템을 세 번째로 그림 31과 같이 설계 제작하여 이용하였다. 이 시스템의 장점은 슬라이드 식이라 진폭의 조절이 매우 용이하고 편하중으로 발생하는 진동을 줄이고자 균형추를 폴리와 슬라이드 사이에 설치하여 이 균형추를 조절함으로써 편하중으로 발생하는 진동이

최소가 되도록 하였다.

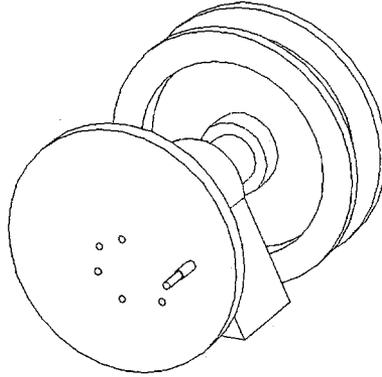


Fig. 27 Disk type crank system for stroke variation (1st trial).

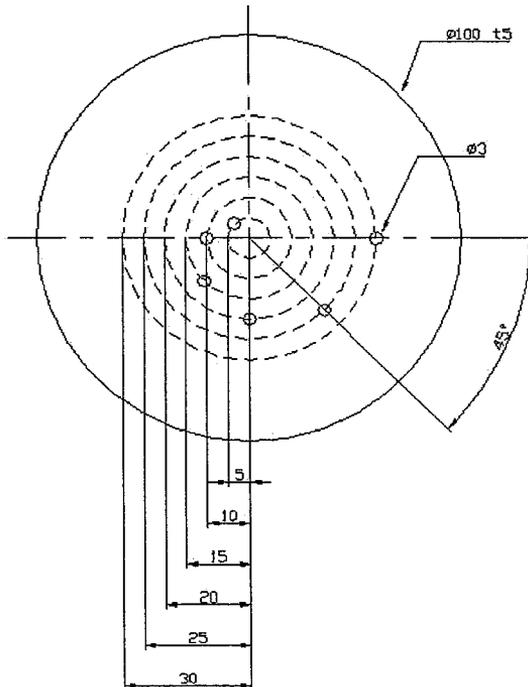


Fig. 28 Design sheet of disk type crank system for stroke variation (1st trial).

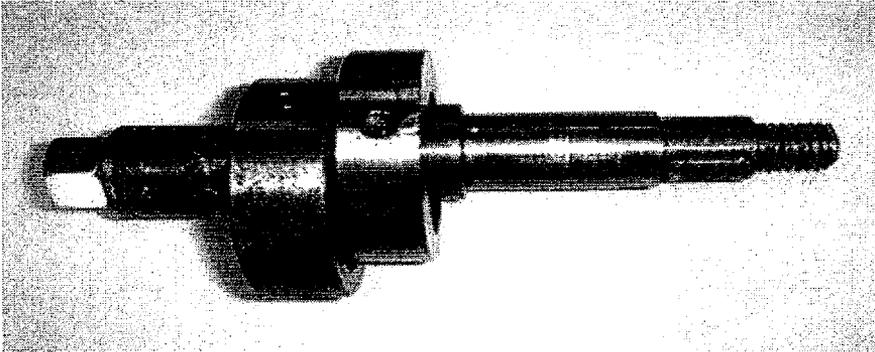


Fig. 29 Photograph of the combination of two eccentric shafts type crank system (2nd trial).

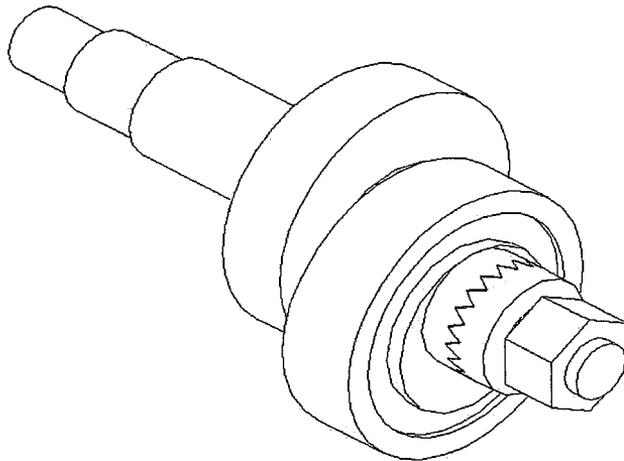


Fig. 30 Combination of two eccentric shafts type crank system (2nd trial)

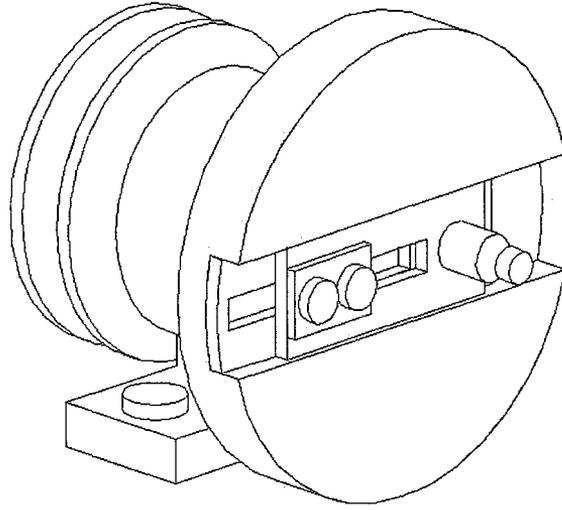


Fig. 31 Slide type of crank system (3rd trial)

나. 탈과 시험 방법

진동 시험장치를 이용한 구기자 속과의 탈과율 실험은 진동자의 진동수 및 진폭, 그리고 가진시간에 변화를 주면서 탈과율에 미치는 영향을 분석하였다. 진동자의 진폭은 5mm 간격으로 15 ~ 40mm까지 6단계로, 회전수의 범위는 600~2000 rpm이었고, 가진 시간은 1, 1.5, 2, 3초로 하였다. 모든 탈과 시험은 미속과의 포함량이 전체 속과 탈과량의 10% 미만에서 진동수, 진폭 그리고 가진 시간을 조절하였다. 속과와 미속과의 구별은 과일의 색을 기준으로 하여 과일 전체가 붉은 선홍색(orange-red)을 띤 것은 성속과 그리고 녹색(Green)이 조금이라도 포함된 것은 미속과로 구분하였다.

탈과실험은 포장에서 채집한 줄기를 화분에 심어져 있는 구기자나무의 한 줄기에 클램프로 고정시킨 후 진동 시험장치의 진동자 끝에 장착되어 있

는 클립에 다시 고정시킨 다음 각 회전수, 진폭, 가진 시간의 조건에서 진동을 가한 후 탈과율 양을 조사하였다. 실험은 각 조건에서 다섯 개의 가지를 이용하여 5회 반복 실시하였으며 탈과율은 평균값으로 산출하였다. 탈과율은 탈과된 속과의 양과 시료의 가지에 매달린 전체 속과의 양의 비로서 나타냈으며, 본 실험에서 탈과율은 탈과된 전체 속과중 미속과의 포함량이 10% 미만 일 때의 탈과율로 나타냈다. 본 연구에서 미속과의 포함량이 탈과된 속과 중 10% 미만으로 정한 것은 구기자 미속과 중에서 열매가 충실하지 못하거나 열매 자루가 약하여 미속과의 탈과력이 평균치보다 현저하게 작은 것이 일부 포함되어 있는 것으로 가정한 것이며, 미속과의 포함량이 속과에 비해 10% 이상이면 추후 구기자나무나 열매에 해가 되고 또한 구기자 수확량에 영향을 미치는 것으로 판단하여 본 실험의 범위에 포함시키지 않았다.

진동시험장치를 이용하여 구기자를 탈과하는데 소요되는 동력은 $P = Fv$ 를 이용하여 산출하였으며, 여기서 $F = ma$ $m = \text{질량 (kg)}$
 $v = r\omega \cos \omega t (m/sec)$, $a = r \omega^2 \cos \omega t (m/sec^2)$ 이다 ($\omega = \text{회전수 (rad/sec)}$ $r = \text{회전반경(m)}$ $t = \text{시간(sec)}$)소요 동력의 산출은 본 실험장치의 편심거리, 회전반경, 및 진동자길이를 고려한 조화운동으로 가정하여 속도와 가속도는 최대값을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 탈과율

그림 32, 33, 34 및 35는 가진시간(1, 1.5, 2, 3 초)별 일정한 진폭(15~40 mm) 및 진동수(600~2000 rpm)의 변화에 따른 구기자 속과의 탈과율을 나타낸 것이다. 그림 34은 2초씩 3번 진동을 주어 연속 탈과 실험한 결과를 나타낸 것이다.

가진 시간이 1초(그림 32)에서는 각 진폭에 있어서 진동수가 증가할수록 탈과율이 증가하는 경향을 나타내고 있으며 진폭이 40 mm이고 회전수가 1200 rpm일 때 최고의 탈과율 84.8%를 나타내고 있다. 가진 시간이 1.5초(그림 33)

에서도 위와 같은 경향을 나타냈으며 이 경우 진폭이 35 mm, 진동수가 1200 rpm일 때 최고 81.4%의 탈과율을 나타냈다. 그림 32의 진폭 20~40mm와 진동수 1300 rpm 이상의 조건 및 그림 33의 25~40 mm와 진동수 1400 rpm이상의 조건에서 탈과율을 도시하지 않은 이유는 미속과의 탈과량이 속과의 탈과량과 비교하여 10% 이상씩 탈과되는 것으로 나타났으며 이러한 진폭과 진동수의 조건에서는 구기자 생육에 저해를 초래하고 수확량에 영향을 줄 것으로 판단되어 탈과율로 취급하지 않았다. 그림 34는 가진시간을 2초로 하여 2초씩 3번 진동을 주어 탈과율을 실험한 결과를 나타낸 것이다. 이 때 진동시험장치의 회전수의 설정은 가진 시간을 1초 및 1.5초로 하여 실험하였을 때와는 달리 본 실험에서 설정한 각 진폭에서 탈과 가능하고 미속과의 탈과량이 10% 내외의 회전수 범위에서 최소 및 최대 회전수를 선정하였다. 최소 및 최대 회전수는 가진시간을 1초 및 1.5초로 하여 실험한 결과를 기초로 하여 선택하였으며, 진폭이 15, 20, 25, 30, 35, 40 mm 일 때 최소 및 최대 회전수(rpm)는 각각 (1800, 1200), (1300, 1600), (1100, 1400), (900, 1200), (800, 1000), (700, 800)으로 선택하였다. 같은 조건에서 가진시간이 길어질수록, 각 진폭에서 회전수가 높을수록 탈과율이 증가하는 경향을 나타냈으며, 가진시간을 2초로 하였을 때 회전수 2000 rpm, 진폭 15 mm에서 최고 73.0%의 탈과율을 나타냈고 이 조건에서 가진시간을 6초로 하였을 때 최고 86.8%의 탈과율을 나타냈다. 그림 35는 가진시간을 3초로 하였을 때의 탈과율을 나타낸 것으로 이 경우 역시 각 진폭에서 회전수가 증가할수록 탈과율이 증가하는 경향을 나타냈으며 회전수 900 rpm, 진폭 35 mm일 때 최고 87.6%의 탈과율을 나타냈다.

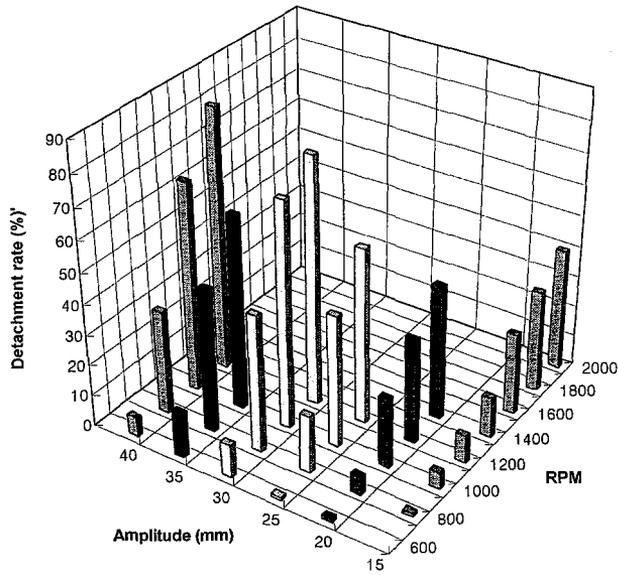


Fig. 32 The detachment rate (%) of the mature berries of Cheongyang gugija variety with vibration time of 1 second at various amplitudes and frequencies.

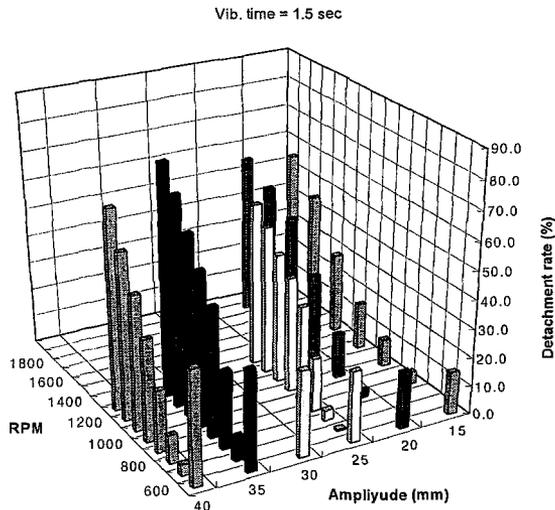


Fig. 33 The detachment rate (%) of the mature berries of Cheongyang gugija variety with vibration time of 1.5 second at various amplitudes and frequencies.

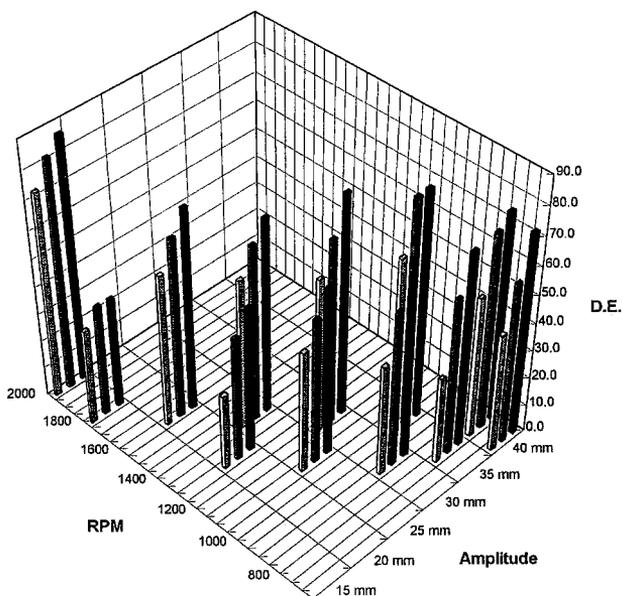


Fig. 34 The detachment rate (%) of the mature berries of Cheongyang gugija variety with vibration time of 2, 2+2, and 2+2+2 seconds at various amplitudes and frequencies.

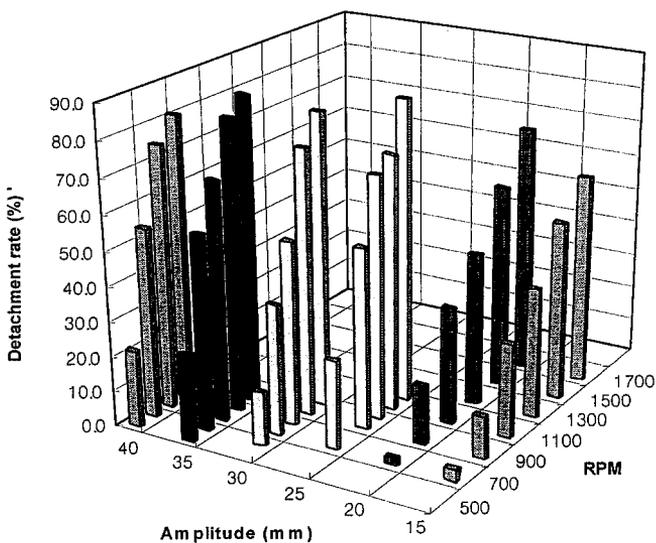


Fig. 35 The detachment rate (%) of the mature berries of Cheongyang gugija variety with vibration time of 3 seconds at various amplitudes and frequencies.

표 23은 위에서 설명한 가진 시간, 진폭, 및 진동수에 따른 진동시험장치의 속과의 탈과율을 나타내고 있다. 표 23의 각 진폭에서 최대 탈과율을 표시한 회전수 이상에서는 미숙과의 탈과량이 속과의 탈과량과 비교하여 10% 이상씩 탈과되는 것으로 나타났으며 이러한 진폭과 진동수의 조건에서는 구기자 생육에 저해를 초래하고 수확량에 영향을 줄 것으로 판단되었다.

본 실험에서 탈과율을 진동자의 진폭, 진동수, 가진시간 등에 의해 분석하였으나 진동을 주는 본 가지에 연결되어 있는 가느다란 곁가지(2차가지 및 3차 가지)에 진동이 제대로 전달되지 않아 곁가지에 매달려 있는 열매는 탈과가 이루어지지 않았다.

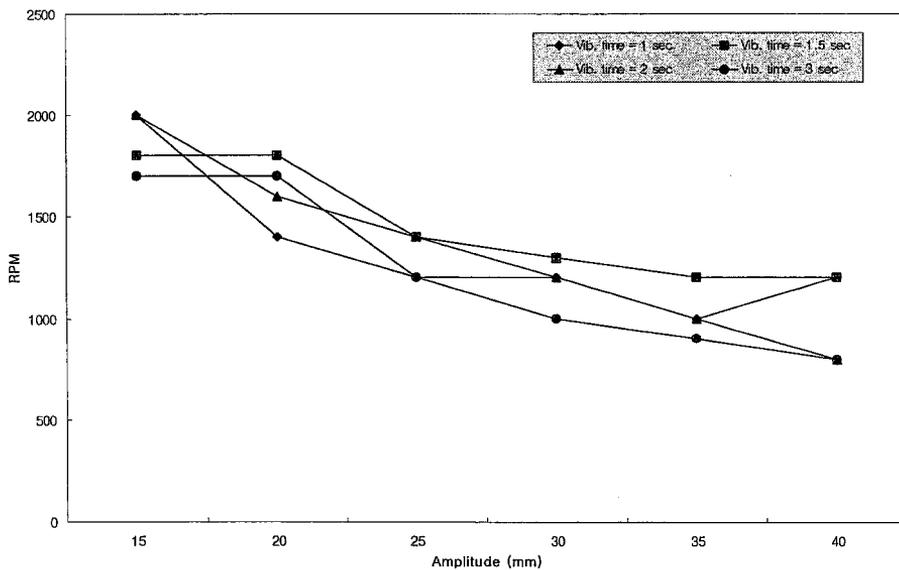


Fig. 36 Proper RPM at each amplitude to detach the mature berries of Cheongyang gugija variety that content less than 10% of immature berries.

Table 23 The maximum detachment rate (%) of the mature berries of Cheongyang gugija variety at various condition of vibration test system (The content of the immature berries was less than 10 %).

Time (sec)	Amp. (mm)	Detachment rate (%)									
		RPM									
		800	900	1000	1200	1300	1400	1600	1700	1800	2000
1	15	1.1		5.5	8.8		13.2	26.4		33.0	39.6
	20	5.8		22.3			43.7				
	25	18.7		43.0	57.0						
	30	44.6		73.3	80.2						
	35	46.9		63.1							
	40	33.8		68.3	84.8						
1.5	15	4.3		9.5	16.4		28.4	44.8		55.2	
	20	2.4		15.9	31.0		46.0	51.6		57.1	
	25	18.7	33.6	40.3	52.2		68.7				
	30					57.5					
	35	45.3	54.0	63.4	81.4						
	40	21.9	35.7	47.1	70.0						
2	15										73.0
	20										
	25							54.9			
	30				55.3			53.9			
	35			63.5							
	40	50.9									
3	15		12.2			37.4			60.0		
	20		16.7			43.8			70.8		
	25		51.7	69.5	86.4						
	30	52.4	75.8	83.9							
	35	83.2	87.6								
	40	81.3									

그림 36은 진폭과 진동수 그리고 가진 시간별 각 조건에서 탈과시험을 한 결과 미숙과의 포함량이 10%미만으로 최대 탈과율을 나타낼 때의 진폭과 진동수를 나타낸 것이다. 그림 36과 표 23에서 가진시간(1, 1.5, 및 3초)별로 약간의 차이가 있으나 탈과율이 가장 양호한 진동수의 범위는 900~1200 rpm 이고 진폭은 35~40 mm 로 나타났다.

나. 소요 동력

표 24은 각 진폭에서 가진시간에 관계없이 구기자 속과를 탈과하는데 적절한 회전수의 범위(그림 36 참조)에 따라 소요동력을 나타낸 것이다. 소요 동력을 계산하는데 있어서 질량은 구기자가지와 진동봉의 무게의 합을 사용하였으며 구기자가지는 시료 중 가장 무거운 114.1g을 사용하였으며 진동자의 무게는 11.1g으로 하였다. 진동실험장치를 이용하여 소요동력을 산출한 결과는 추후 진동식 구기자 수확기를 개발하는데 있어서 동력원을 산출하는 자료로 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 24 Power requirement of the detachment of mature berries of Cheongyang gugija variety using the vibration with the proper range of RPM

Amplitude (mm)	RPM	Power ($\frac{kg \cdot m}{s}$)
15	1700-2000	4.1-6.6
20	1400-1800	4.0-8.6
25	1200-1400	4.0-6.3
30	1000-1300	3.3-7.3
35	900-1200	3.3-7.8
40	800-1200	3.0-10.1

4. 결론 및 요약

본 실험에서 진동실험장치를 이용한 구기자 속과의 탈과율을 실험, 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 속과의 탈과율은 일정한 진폭에서 진동수가 증가할수록 탈과율이 증가하는 경향을 나타냈으며, 일정한 진동수에서는 진폭이 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈다.

- 나. 진폭과 진동수가 일정한 경우에는 가진시간이 증가할수록 속과의 탈과율이 증가하는 경향을 나타냈다.
- 다. 미속과의 탈과는 속과의 탈과가 어느 수준 이상 이루어졌을 때 불규칙적으로 이루어졌으며, 미속과의 탈과가 현저하게 나타나는 진동수 및 진폭, 가진시간의 수치가 탈과 최대 한계치가 되었다.
- 라. 가진시간, 진동수, 진폭의 변화에 따른 탈과율은 진동수 범위가 900~1200rpm, 진폭의 범위가 35~40mm 일 때 가장 양호한 탈과율을 나타냈다.
- 마. 최고 탈과율은 가진시간이 3초, 진동수가 900rpm, 진폭이 35 mm에서 87.6%를 나타냈다.

제 6 장 탈과장치 개발

1. 설계방향 및 조건

탈과장치는 구기자 수확기의 핵심장치로서 매우 중요한 기능을 갖는다. 탈과장치의 개발은 구기자의 생물학적 요인 및 재배학적인 요인과 물리·역학적 요인, 그리고 작업자의 작업환경 요인 등을 고려하여 설계방향을 정립하였다.

가. 설계 방향 설정

- 1) 미숙과, 꽃, 잎, 등과 혼재되어 있는 숙과를 선택적 수확으로 하되 미숙과, 꽃, 잎 등은 보호되어야 한다.
- 2) 작업자의 손에 미치는 하중을 경량화 한다.
- 3) 작업자에 미치는 진동을 최소화한다.
- 4) 탈과장치의 소요동력은 생태적 변화에 대응하도록 여유 마력을 갖도록 한다.
- 5) 일정한 작업 범위의 작업은 일률적으로 이루어져야 한다.

나. 설계 조건 및 내용

설정된 설계 방향에 적합한 설계 조건 및 내용은 다음과 같았다.

- 1) 탈과장치의 진동은 기초연구에서 구명한 진폭 35mm와 진동수 1200rpm으로 한다.
- 2) 탈과장치의 진동 발생장치의 구조는 구조가 간단한 슬라이드 크랭크 시스템을 채택한다.
- 3) 동력원은 장치의 경량화와 취급의 편의성에 충족하도록 모터를 채택한다.
- 4) 탈과장치의 형상과 크기는 손으로 잡고 쉽게 조작할 수 있도록 손안에 들어갈 수 있는 크기며 둥그러운 형상으로 한다.

2. 탈과 시작기 개발

가. 1차 시작기

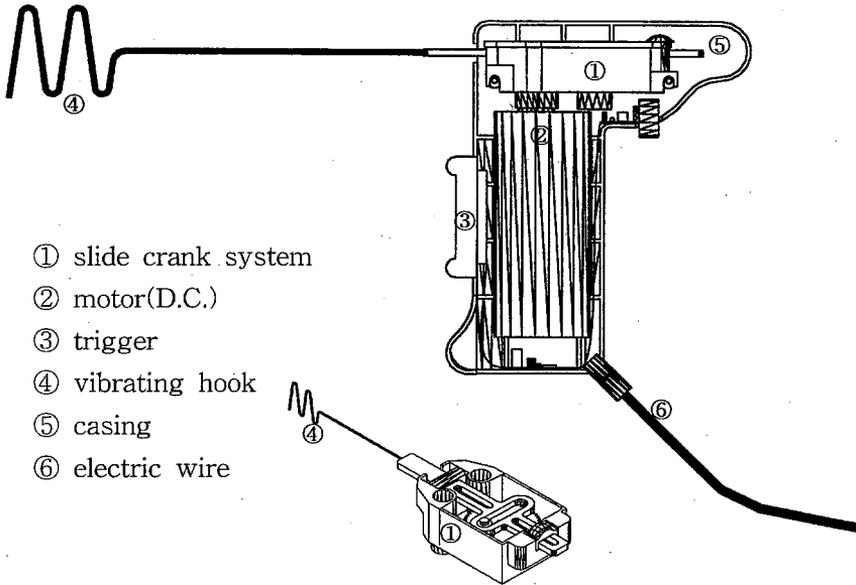


Fig. 37 The first trial prototype of the detachment system.

1차 시작기는 ㉠ 크랭크 시스템 ㉡ 모터 ㉢ 스위치 ㉣ 진동고리 ㉤ 케이스 등으로 구성하였다(그림 37).

1차 시작기의 기능은 본 연구에서 설정한 설계 방향에 대체적으로 잘 부합되었고, 부차적인 기계 장치 없이도 한 손으로 잡고 자유자재로 움직이면서 탈과 작업을 일정한 시간동안 수행 할 수 있었다.

○ 1 차 시작기의 문제점

탈과장치의 경량화와 소형화를 기하기 위하여 직류전동기 300W를 장착하여 사용하는 경우에 배터리 충전기능으로 인하여 장시간 작업이 불

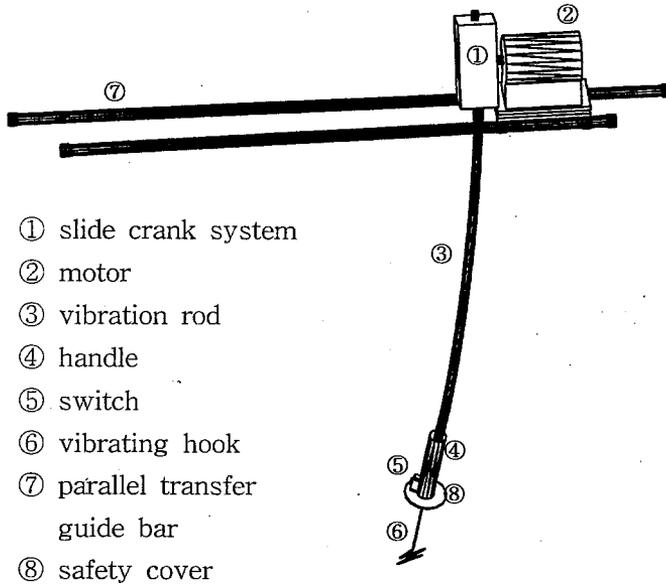
가능하였고, 출력도 부족하여 설정된 진동이 구기자 가지에 전달되지 못하여 탈과 성능이 저하되기도 하였다.

특히 문제점으로 나타난 것은 경량화한 이 장치의 무게가 약 2.4kgf 이나 되었다. 건장한 청년이 2.4kgf의 장치를 한 손에 쥐고 진동을 계속 발생시키면서 작업하는 경우에 1시간 정도 지나면 손이 빠근할 정도의 통증이 감지되었고, 전신에 전달되는 진동은 작업자의 몸에 심한 피곤함을 유발시켰다.

나. 2차 시작기

- 1) 2.4kgf의 무게가 되는 탈과장치를 한 손으로 잡고 장시간 작업을 지속하는 경우에 너무 무겁고,
- 2) 탈과장치에서 발생하는 진동이 작업자의 손과 몸에 직접 전달되어서 작업자의 건강이 우려되었으며,
- 3) 모터 출력이 다소 부족하였다.

상술한 1차 시작기의 문제점들을 해결하고자 그림 38과 같이 크랭크 및 모터의 장착형으로 변경시켜 2차 시작기를 제작하였다.



- ① slide crank system
- ② motor
- ③ vibration rod
- ④ handle
- ⑤ switch
- ⑥ vibrating hook
- ⑦ parallel transfer guide bar
- ⑧ safety cover

Fig. 38 The second trial prototype of the detachment system(over-hang type).

2차 시작기에서 모터가 부착된 크랭크 시스템을 이송 안내봉에 장착시켜 탈과장치의 전 하중을 이송안내봉이 부담하므로써 작업자의 손에는 전혀 하중을 받지 않도록 하였고, 탈과장치의 손잡이를 가볍게 잡고 작업을 수행하므로 손에 미치는 진동이 크게 감소되었다. 크랭크 시스템과 진동고리 사이를 피아노 선으로 연결하여 진동 전달에는 아무 지장이 없었고, 이 피아노 선을 와이어 호스로 두 번 감싸서 안전을 도모하였고, 다시 이 호스 위에 손잡이를 장착하였으며 엄지손가락이 닿는 손잡이의 위치에 스위치를 부착하였고, 손잡이와 진동고리 사이에 안전판을 설치하였다.

수확기 윗 부분에 2개의 이송안내봉을 대각선으로 설치하였고 이 봉 위에 모터가 부착된 크랭크 시스템을 자유롭게 이동시킬 수 있도록 하였다.

진동고리 형상은 V형으로 만들어 가지의 굽기에 관계없이 순간적으로 구기자 가지에 꼭 끼이도록 하였고, 진동고리의 강선은 고무로 코팅시켜 가지의 상처를 예방하였다. 진동고리의 종류는 그림 39 같이 고리의 배열

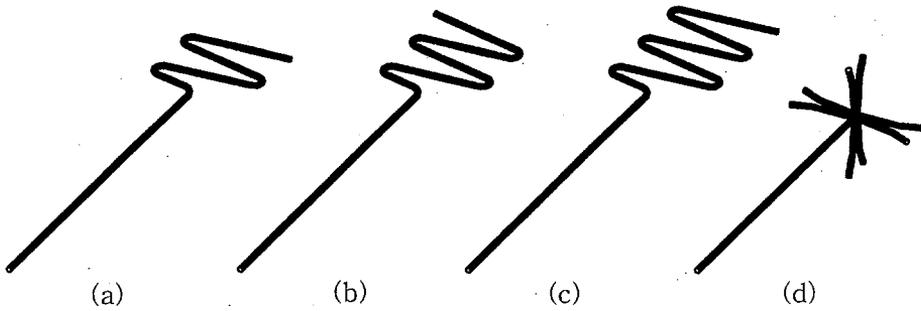


Fig. 39 Vibrating hooks.

에따라 분류 할 수 있으며 그림 39(a)는 구조가 간단하여 분지 속의 입출(入出)이 용이하였고 그림 39(b)(c)는 가지런한 가지의 수형에서 능률적이었고 그림 39(d)는 입출이 불편하지만 방향 전환이 필요 없었고, 진동고리의 착탈방식은 조립식으로 하였다.

○ 2차 시작기의 문제점

이송안내봉에 장착되어 있는 크랭크 시스템의 축에 피아노 선이 연결되어 있고, 다시 피아노 선 끝에 진동고리를 부착하였기 때문에 진동고리의 방향전환이 피아노 선의 비틀림 각 이내에서 허용되므로 매우 제한적이었다.

이 진동고리의 제한적인 방향전환을 다양하고 복잡한 구기자 가지에 순간적으로 진동고리를 끼우는 일은 쉽지 않았다.

다. 3차 시작기

2차 시작기의 진동고리의 제한적인 방향전환을 좌우로 자유롭게 회전 할 수 있도록 커플링을 이용하여 그림 40과 같이 설계 제작하였다.

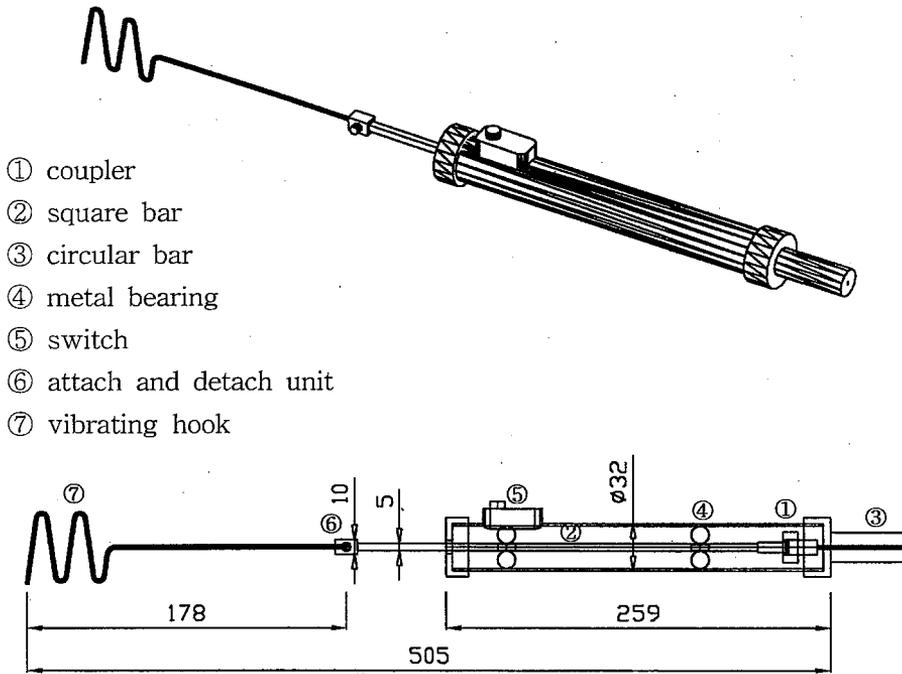


Fig. 40 The third trial prototype of the detachment system.

3차 시작기의 기능은 탈과장치의 기본 설계 방향의 내용을 거의 전부 수용할 수 있었다.

○ 3차 시작기의 개선점

진동고리의 좌우 방향 전환은 자유롭지만, 진동고리 축의 길이가 일정함으로 복잡 다양한 구기자 가지까지의 거리에 맞추어 진동고리를 걸 때 진동 전달축인 피아노 선에 굽힘이 발생하여 불필요한 힘이 들었다. 따라서 탈과장치의 진동전달축(피아노 선)의 구부림 발생을 최소화하기 위하여 진동전달축의 연장선 상단에 크랭크 시스템 및 모터의 설치 위치를 설정하고 설치 방법으로는 연장선 방향으로 탈과장치의 움직임이 제한적으로 변화 할 수 있도록 스프링에 매어 달고, 진동 전달축의 커

버 호스를 가변적인 자브라 호스로 교체하면 휨모멘트를 감소 시킬 수 있다고 사료되었다.

제 7 장 집과장치 개발

1. 설계전제 및 조건

탈과장치에 의하여 탈과된 열매는 낙하하면서 지면으로 흐트러진다. 낙하 범위는 구기자나무가 심어져 있는 두둑을 포함한 양쪽 고랑이 된다. 구기자 포장의 두둑과 고랑은 현재 표준화되어 있지 않지만 청양구기자시험장에서 추천하는 규격이 앞으로 표준화된다는 전제 하에 집과장치를 연구·개발하였다. 이 집과장치의 연구에는 표준화된 두둑과 고랑이 강우 등의 기상에 의하여 어느 정도 변화된다는 예상도 포함시켰다. 또한 한 주당 줄기의 수량, 나무의 수형, 나무의 높이와 폭 등의 재배학적 요인, 나뭇가지 및 숙과의 물리적인 요인, 토양의 상태 등 환경적 요인 등을 고려하여 집과장치의 설계 전제조건과 설계 내용을 정립하였다.

가. 설계전제

- 1) 구기자 재배 두둑과 고랑의 크기와 형상을 표준화하여 규격화한다.
- 2) 표준재배법에 의하여 재배되는 구기자나무의 폭과 높이를 일정한 수준으로 조정한다.
- 3) 표준재배법에 의하여 재배되는 한 주당 줄기의 수량을 일정한 수로 제한하고 나무 줄기 밑 부분은 기계가 접근할 수 있도록 지면과 열매가 매달린 분지 사이에 공간이 마련되어야 한다.
- 4) 밭고랑의 토양은 수확시에 바퀴가 구르는데 지장이 없도록 건조되어야 한다.

나. 설계 조건 및 내용

- 1) 집과 범위는 구기자나무가 심어져 있는 두둑 1개와 양쪽 고랑으로 한다.

- 2) 미집과량을 최소화시킨다.
- 3) 집과시에 열매의 손상이 없어야 한다.
- 4) 집과장치는 변형된 두둑에도 기능이 유지되어야한다.
- 5) 집과 기능은 나무줄기 밑 부분에서도 유지되어야 한다.
- 6) 수확작업이 진행되는 동안 집과 기능은 유지되어야 한다
- 7) 집과 된 열매는 용기에 담아서 운송이 편리해야 한다.

2. 집과장치의 설계

가. 집과장치의 구성 및 집과상자

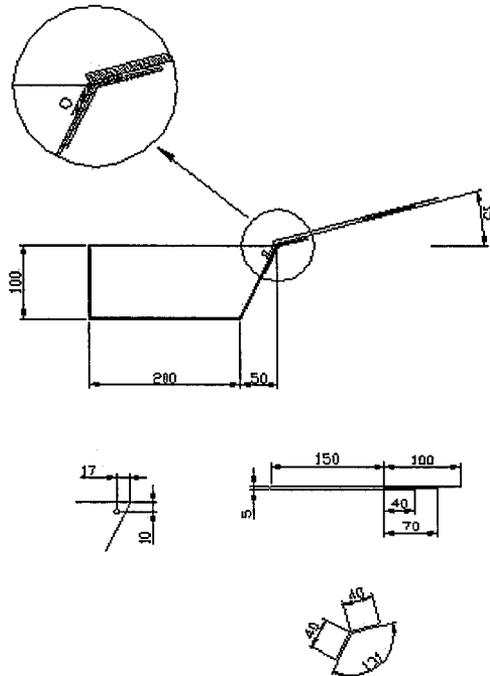


Fig. 41 The collecting system, collecting box and guide brush.

청양구기자시험장에서 권장하는 재배법에 의하여 설계된 수확기의 프레임의 폭 1000mm와 기계의 길이 1200mm가 이루는 공간(1200×1000mm)을 집과 범위로 정하였다. 집과장치는 집과상자와 집과안내장치로 구성하였다. 집과상자는 설계도(그림 41)와 같이 구상하였고, 구기자 나무쪽의 집과상자의 형상을 열매가 굴러서 상자 바닥으로 낙하 할 때 손상을 줄이고 낙하된 열매가 쉽게 구르도록 하기 위하여 경사지게 설계하였고, 상자 윗 부분에 집과 안내 장치를 힌지(hinge)로 부착하여 두둑의 변화된 형상이 집과 안내 장치를 밀어 올리는 경우를 대응하도록 하였다. 그러나 제작하는데 번거로움을 피하기 위하여 상자 단면을 직사각형으로 변경 제작하여 1차 수확 시작기에 장착시켜 포장 성능 실험을 실시하였다.

상자의 높이가 10cm에 불과하여 열매의 낙하로 인한 열매의 손상은 없었으나 나무쪽의 상자 밑부분이 두둑의 변형된 윗 부분에 걸리는 경우가 발생하여 다시 설계도(그림 41) 원형대로 경사된 단면을 갖는 집과상자를 제작하여 2차 수확시작기에 장착 시켜 포장성능 실험을 한 결과 아무런 하자가 없었다.

나. 집과안내장치

1) 1차 집과안내장치

집과안내장치(그림 42)는 집과안내판과 집과안내솔로 구성하였다. 집과안내판은 집과상자의 기계 안쪽 면부터 고랑과 두둑 위로 낙하하는 열매를 집과하고, 집과된 열매가 안내판 위를 굴러서 집과상자 속으로 들어가도록 집과안내판을 경사지게 설치하였다. 집과안내솔은 구기자나무 줄기들의 틈새나 주변에 낙하하는 열매를 집과하도록, 구기자나무 줄기를 중심으로 양면으로부터 1쌍의 안내솔 끝부분이 맞닿도록 설계하였다. 집과안내솔의 끝 부분이 나무 밑부분의 줄기의 방해로 집과안내솔의 벌어진 틈에 의한 손실을 줄이도록, 안내솔의 배열은 윗부분의 솔이 벌어지면 중간솔이, 중간솔이 벌어지면, 맨 밑솔이 뒷받침 할 수 있도록 길이가 다른 3종류의 안내솔로 구성하였다. 또한 열매가 집과안내솔의 벌어진 틈새에 머물지 않고 곧바로 집과안내솔 위로 굴러서 집과안내판으로 안

내 유도되도록 약 15° 정도 경사지게 설치하였다.

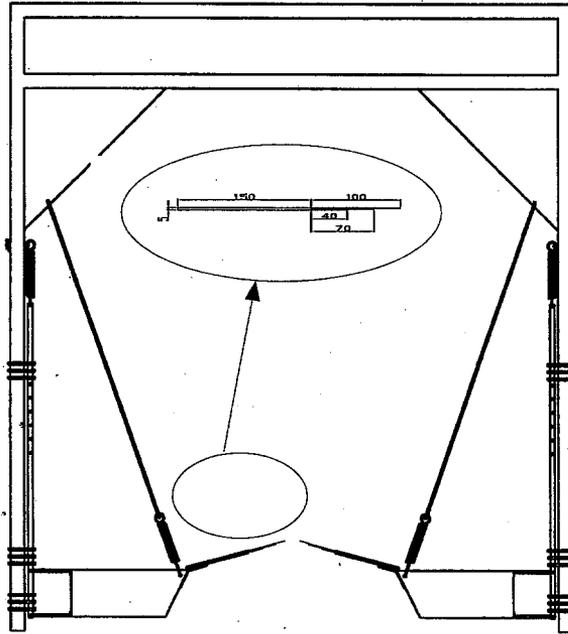
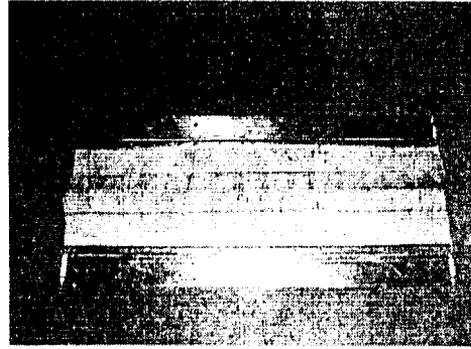


Fig. 42 Overall front view of the main frame and collecting unit.

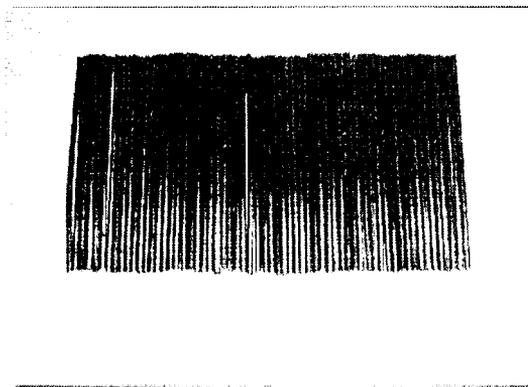
집과안내솔의 기능을 유지함에서 있어 가장 중요한 것은 솔의 탄성이 커서 솔의 원형을 유지하는 일이다. 안내솔의 공시 재료로서 우레탄 1개(그림 43(b))와 P.V.C 2개(그림 43(a)(c))를 선정하여 굽힘에 대한 회복성 및 전단강도를 검토하였다.



(a) P.V.C(I)



(b) Urethane



(c) P.V.C(II)

Fig. 43 Material of guide brush ; Urethane, P.V.C(I), P.V.C(II)

우레탄의 탄성은 약하였고 회복성이 늦어서 장애물과 부딪칠 때 저항성이 약하여 적합하지 못하였고, P.V.C.(1)도 우레탄의 물리적 성질과 유사하였으며, 장애물과 부딪칠 때 파손되기도 하였다. P.V.C.(2)는 앞의 두 재료보다 강도가 크고 회복성이 빨라서 집과 기능은 양호하였으나 재료 끝이 뾰뚱하여 나무 줄기의 표피를 손상할 우려가 있었다.

○ 1차 집과안내장치의 문제점

수확기계가 구기자 포장에서 주행 할 때 1쌍의 집과안내솔 끝이 구기자 밑줄

기를 직각으로 서로 스치면서 밑줄기에 부딪침이 계속 반복됨에 따라 1시간 이상 작업이 진행될 때 솔이 꺾이고 파손되는 경우가 발생하여 솔의 원형유지가 어려웠으며, 솔끝 부분이 구기자 줄기에 걸려 있을 때 틈새가 벌어져 집과 기능이 저하되었다.

2) 2차 집과안내장치

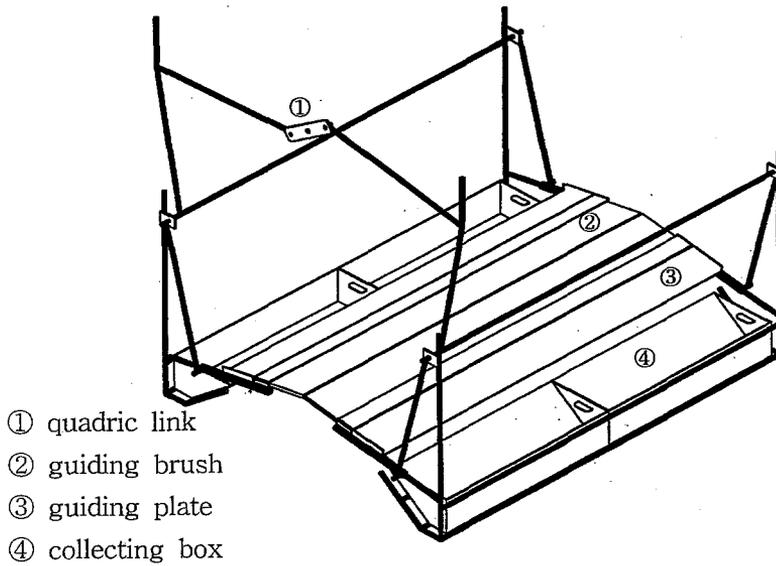


Fig. 44 Collecting system.

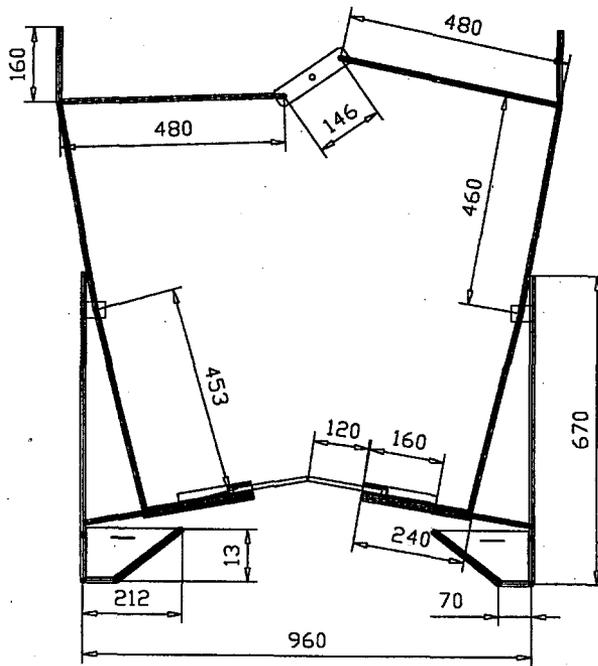


Fig. 45 Collecting system(front view).

수확기계가 주행 할 때 안내솔 끝이 밀줄기와 직각 방향으로 계속 스치면서 부딪침에 견딜 수 있는 안내솔의 재료를 구한다는 것은 현실적으로 어렵고, 특히 안내솔 끝 부분이 밀줄기와 직각 방향으로 움직임에 따른 틈새의 발생을 방지하기 위하여 집과안내장치의 고정식 장착방법을 이동식 장착 방법으로 변경시켰다. 집과안내장치의 이동식 장착(그림 45)은 4절 링크 시스템을 이용하여 개폐식으로 설계 제작하였다. 기계가 주행 할 때에는 1쌍의 집과안내장치를 집과상자 쪽으로 이동 시켜서 집과안내솔을 양편으로 활짝 열어 제쳐서, 수확기의 주행 시에 발생하는 안내솔과 줄기의 부딪침이 없도록 구기자나무를 중심으로 충분한 공간을 마련하였고, 기계가 정지하고 탈과 작업이 진행될 때에는 1쌍의 집과안내장치를 집과상자 쪽에서 기계 중앙의 구기자 나무쪽으로 다시 이동시켜 구기자나무 밀줄기를 1쌍의 안내솔이 양쪽으로 감싸 틈새가 발생되지 않도록 하였다.

하였고, 전후면에는 PVC필름을 늘어진 발로 만들어 설치하였다. 외대 내지 두대 재배에서 수확 기계의 작업 편의성 수형은 두둑의 윗면과 아래쪽의 분지 사이에 공간이 크므로 이 공간을 통한 집과 손실이 발생하였고 이를 막기 위하여 집과 장치의 양 측면에 튀김 방지 날개를 개폐식으로 설치 할 필요가 있었다.

제 8 장 프레임 및 주행 장치 개발

1. 프레임 개발

프레임의 규격은 청양구기자시험장에서 권장하고 있는 구기자 재식거리 및 수고와 작업공간을 고려하여 길이(L)×폭(W)×높이(H) : 1500×1200×1300mm로 설계하였고 주철관으로 제작하였다. 이 기계를 구기자 포장의 좁은 공간에서 인력으로 취급할 때와 선회시킬 때 기계가 너무 커서 힘들고 불편하기 때문에 프레임의 규격을 1200(L)×1000(W)×1300(H)mm로 재조정하였다.

소형화로 재조정된 프레임은 앞의 큰 것 보다 선회시킬 때나 포장에 진입시킬 때에 조작성이 간편하였다. 그러나 4바퀴가 고랑의 최저점에서 두둑 윗쪽으로 약 10cm정도 이동한 경사면을 따라 주행하기 때문에 고랑의 바닥으로 주행하는 것 보다는 직진성능은 떨어졌다.

2. 주행 시스템

구기자 포장이 협소하고 한번 탈과 작업 끝에 다음 탈과 작업을 하기 위하여 1m 안팎으로 기계가 이동하고, 포장의 고랑의 표면이 불규칙하여 주행속도를 10~15cm/s로 설정하였다. 동력원은 탈과장치의 경량화와 동력전달장치의 단순화를 고려하여 엔진부착형 1kW발전기와 모터를 채택하였다.

가. 시작기 개발

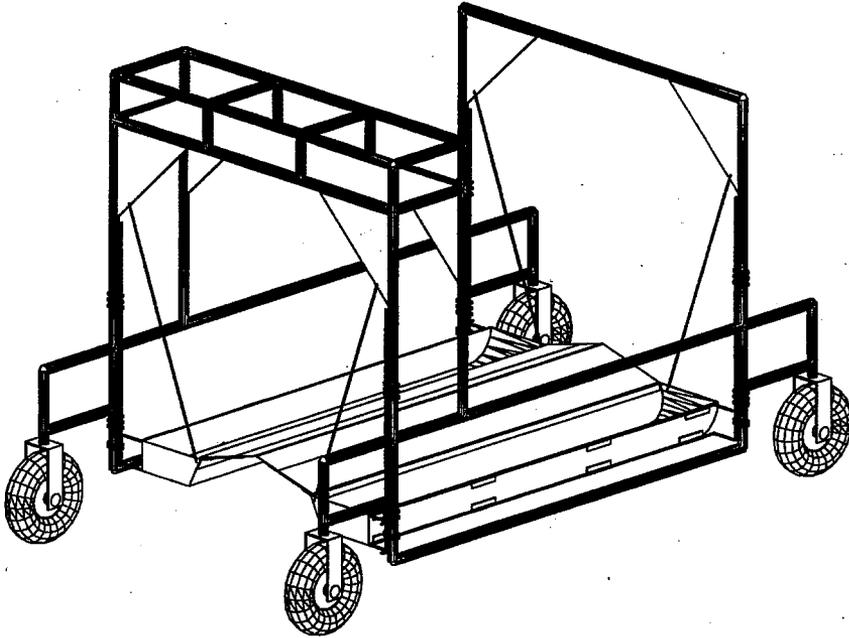


Fig. 47 Sketch of the overall view of the carriage.

시작기의 주행속도가 10~15cm/s로 매우 저속이므로 조향장치 없이 전륜 구동식으로 주행시스템을 설계하였다. 구동륜인 앞바퀴는 $\phi 400\text{mm}$ 의 고무바퀴를 사용하였고 뒷바퀴는 $\phi 380\text{mm}$ 의 자유륜을 사용하여 회전이 용이하도록 하였다. 동력전달 시스템(그림 48)은 발전기, 모터, 감속기, 증양축, 맞물림 클러치, 앞바퀴 순으로 구성하였고, 전달과정에서 모터의 1750rpm을 최종적으로 5rpm정도로 감속하여 앞바퀴를 구동시켰다. 동력전달장치로는 동력전달효율을 높이고자 맞물림 클러치와 체인 시스템을 사용하였다.

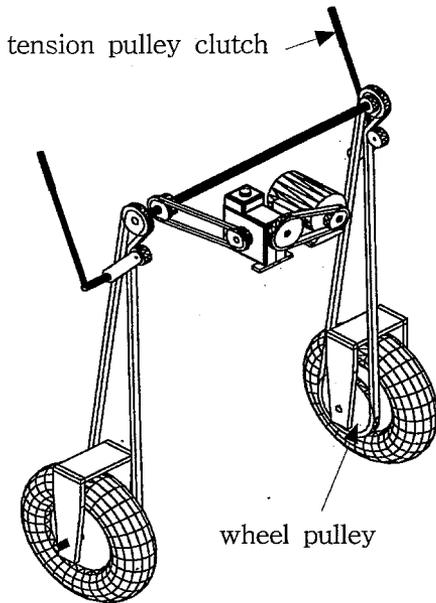


Fig. 48(a) Power transfer system to rear drive wheel.

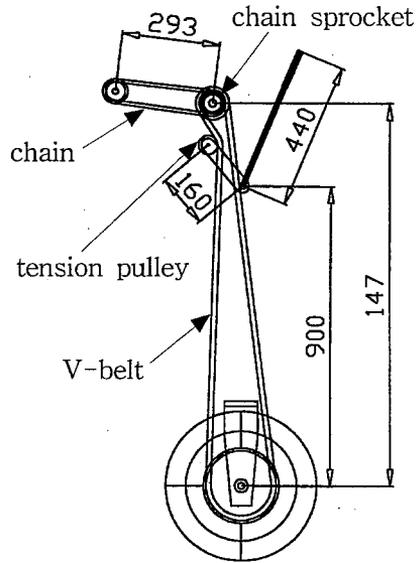


Fig. 48(b) Power transfer system to rear drive wheel(side view).

나. 포장실험 및 보완

맞물림 클러치를 조작할 때 힘을 맞추어 조작하기가 매우 어려워 불편하였고, 클러치에 동력이 전달되는 순간 가속도가 커서 요동이 크고 진동이 큰 상태에서 기계가 출발하였다. 주행성능에서는 기계가 포장 내로 진입할 때 짚이 고랑 위에 깔려 있었고, 짚과 토양이 젖어 있어서 바퀴가 4~5cm 정도 빠지면서 구동륜인 앞바퀴가 심하게 공회전하였으며, 이러한 상태에서는 조향 작동이 인력으로 매우 어려웠다. 기계의 출발을 부드럽게 하고 클러치의 조작을 간편하게 하고자 맞물림 클러치 및 체인 시스템을 텐션 폴리 클러치(그림 48) 및 벨트 폴리 시스템으로 교체하였다. 또한 주행 성능을 향상시키고자 전륜 조향-후륜 구동 시스템으로 주행 시스템을 교체시켰다. 전륜으로는 1차 시작기의 구동륜인 $\phi 400\text{mm}$ 으로 교체시켰고, 조향장치(그림 49)는 링크 시스템을 이용하여 조향레버로 작

등되도록 설계 제작하였고, 간편하게 조작 될 수 있도록 하였다. 전후진 주행은 투웨이 스위치(two-way-switch) 설치로 간편하게 조작될 수 있도록 하였다. 구 동후륜은 구기자 포장의 고랑에 깊이 깔려 있거나 비에 젖어 있을 경우를 고려하여 빠짐을 줄이고 슬립을 줄이기 위하여 러그가 잘 갖추어져 있고, 직경이 1차 시작기의 것 보다 큰 $\phi 500\text{mm}$ 의 채소이식기의 바퀴로 교체시켰고, 동력원인 모터의 용량을 200W에서 400W로 증가시켰다.

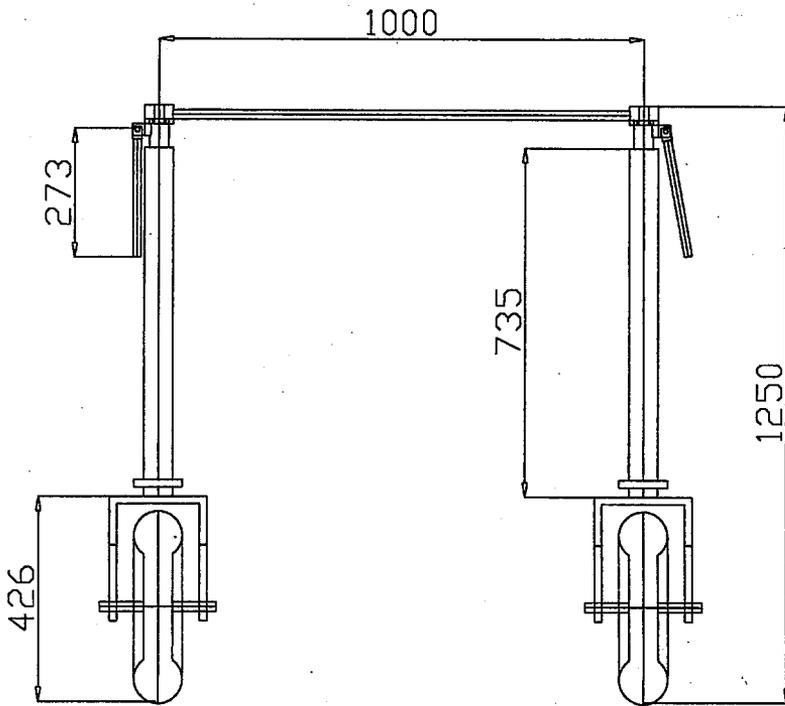


Fig. 49(a) Front wheel steering system(front view).

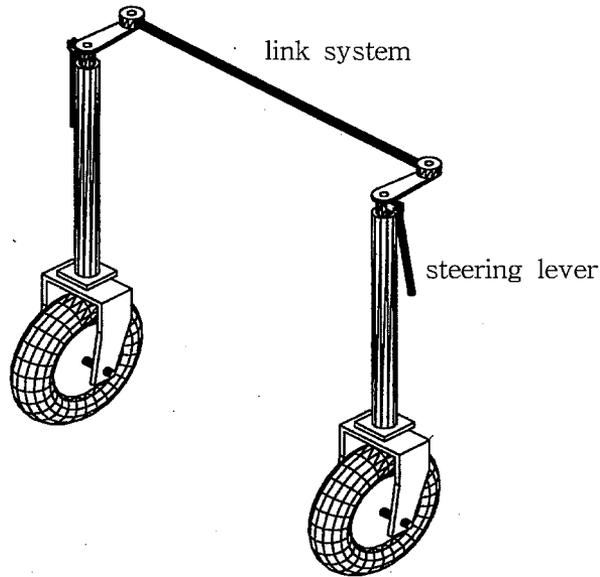


Fig. 49(b) Front wheel steering system.

프레임 본체에 탈과장치, 집과장치, 동력원, 모터, 동력 전달장치 등을 보호하고, 작업자의 작업환경을 개선하기 위하여 기계 윗부분에 캐빈을 추가로 설치하였다.

다. 평 가

클러치의 조작이 단순하고 정확하게 한 동작으로 작동되었고, 기계의 출발도 부드럽게 이루어졌으며, 구동륜인 후륜의 공회전은 없었다. 그러나 동력 전달축인 중앙 축의 풀리와 밀착되어 구동되는 벨트 사이에서 슬립이 발생하여 동력 전달 효율이 저하되었다. 동력 전달축의 슬립의 발생을 줄이기 위하여 풀리 ϕ 80mm을 ϕ 100mm로 교체시켰지만 풀리 교체만으로 슬립을 완전히 해결하지는 못하였다.

제 9 장 시작기 제작 및 포장 실험

1. 1차 시작기 제작 및 포장 실험

가. 1차 시작기 제작

청양구기자시험장에서 권장하고 있는 구기자 재식거리(1200×40cm)와 수고, 그리고 작업공간 등을 기초로 설계 및 제작한 프레임 1500(L)×1200(W)×1300(H)mm에 전륜 $\phi 400\text{mm}$ 와 후륜 $\phi 380\text{mm}$ 등의 4개 바퀴를 부착시켜 포장에서 주행 및 선회 실험을 실시하였다. 구기자 포장 규모가 비교적 작고, 정지 및 주행이 반복되어 1회 작업거리의 주행이 1m 안팎으로 짧기 때문에 기계 제작비의 경감과 구조를 단순화 하고자 조향장치 없이 인력으로 기계를 직진 및 선회 시켰다. 포장 고랑의 표면이 고르지 못하고 포장의 고랑이 좁아서 직진 및 선회 성능이 모두 양호하지 못하였으며 특히 1인이 조작하기에는 너무 힘이 들었다. 따라서 프레임의 크기를 1200(L)×1000(W)×1300(H)mm로 재조정하였다.

재조정하여 제작한 프레임의 전후 하중 분포를 고려하여, 전반부(前半部)에 전륜구동모터와 동력전달장치를 장착하였으며, 후반부(後半部)에 엔진부착형 발전기를 장착하였다.

주행시스템으로는 제 7장에서 설명한 1차 시작기를 사용하였고, 탈과장치로는 제 5장의 2차 시작기를 장착하였으며, 집과장치로는 제 6장의 1차 집과안내장치와 직사각형 집과상자를 장착시켰다. 집과 안내장치의 집과안내솔의 재료의 물성의 적합성을 검토하기 위하여 강도가 다른 3가지의 종류 즉 우레탄(약), PVC(중), PVC(강) 별로 제작하여 각각에 대한 집과 기능을 검증하였다. 시작기의 운동부위인 모터, 감속기, 클러치, 체인 시스템 등을 모두 커버를 씌워서 안전을 도모하였고, 클러치 레버 및 조향 레버 등을 손으로 잡고 조작하기 편리하도록 모두 부드러운 PVC로 씌웠고, 이 레버들을 주행 시에는 시작기의 외부로 노

출되지 않도록 하였으며, 조작 스위치에 퓨즈를 내장시켜 안전을 도모하였다(그림 50).

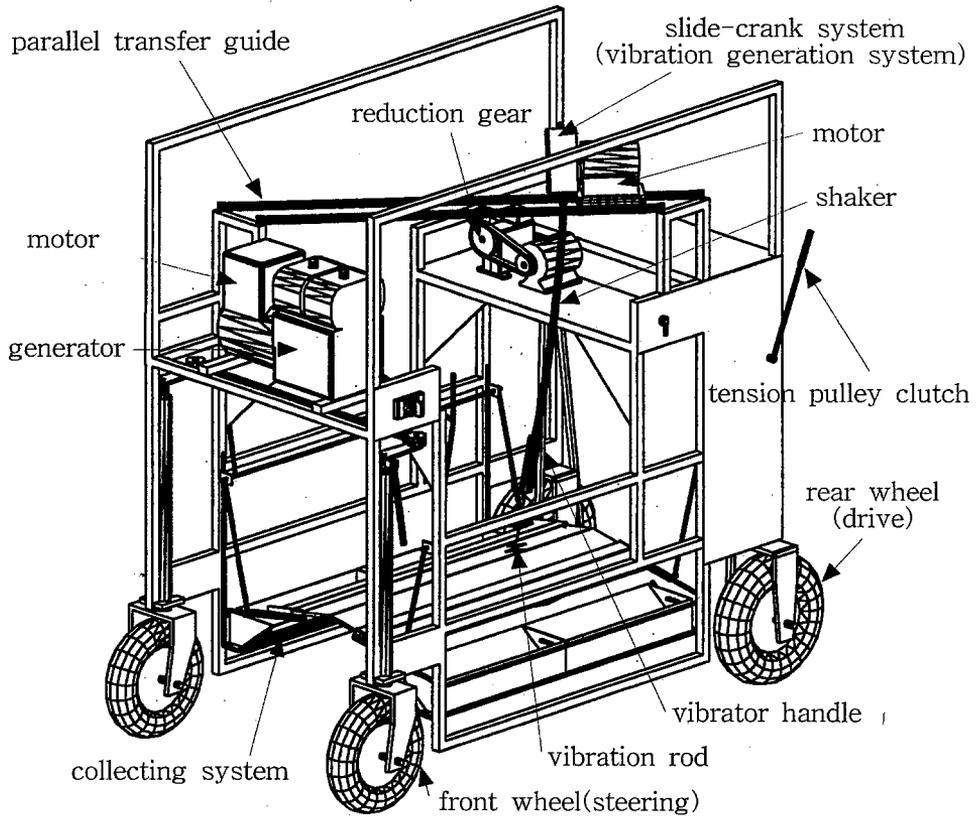


Fig. 50 Overall view of the boxthorn harvester.

나. 포장실험 및 문제점

1) 주행 성능

시작기가 구기자 포장으로 진입할 때 유공철판을 깔고 진입하였다. 콘 크리트로 포장된 농로에서의 직진과 방향전환은 큰 문제점이 없었지만 유

공철편을 통하여 포장 내로 진입할 때, 정확한 방향전환이 한사람의 힘으로는 매우 어려웠다. 고랑의 주행에서는 고랑에 깊이가 깔려 있었고, 길과 토양이 비에 젖어 있었고, 시작기의 중량으로 인하여 구동륜인 앞바퀴가 4~5cm정도 빠지면서 공회전이 심하였고, 이러한 상태에서는 두 사람의 힘으로 조향작동이 매우 어려웠다.

2) 탈과 성능

모터 및 크랭크 시스템 등을 포함한 탈과장치를 이송안내봉에 매어 달아서 작업자의 손에는 탈과장치의 하중이 전혀 미치지 않았고, 탈과 작업을 할 때 한 손으로 손잡이를 가볍게 잡고 진동고리의 조작을 수행하므로 손에 미치는 진동이 크게 감소되었다.

진동고리를 구기자 가지에 순간적으로 걸 때 탈과장치의 방향과 거리를 조정함은 쉽지 않았다. 진동전달축인 피아노 선이 크랭크 시스템과 진동고리를 연결하고 있기 때문에 방향전환은 피아노 선의 비틀림각 이내로 한정적이고, 거리 조정은 피아노 선의 구부림으로 조절되기 때문에 진동고리의 작동이 매우 불편하였다. 진동고리 형상은 1개 고리형보다는 2~3개 고리형이 거리 조정 없이 분지에 걸 수 있는 폭이 큼으로 상대적으로 능률적이었다.

3) 집과 성능

직사각형의 단면으로 제작된 집과상자의 집과 기능은 아무런 하자가 없었으나, 집과상자의 두둑 쪽 밑면이 변형된 두둑 윗면과 부딪치어 주행에 장애를 일으켰다. 집과안내장치의 집과안내판의 집과기능은 정상적으로 작동되었다.

제 6장의 1차 집과안내장치에서 서술한 바와 같이 탄성과 전단강도가 상대적으로 약한 우레탄과 PVC(중)의 솔은 구기자 밑줄기와 연속적인 부딪침에 파손되어서 원형을 유지하기가 어려웠고, 전단 강도가 큰 PVC(강)의 솔은 상대적으로 강도가 크고 회복성이 빨라서 집과기능은 양호하였으

나 재료 끝이 뾰뾰하여 나무 줄기의 표피를 손상할 우려가 있었다.

특히 관행 재배법으로 재배된 시험포장에서는 두둑 윗면과 구기자 하부의 분지 사이의 공간이 좁아서 15° 정도 경사지게 설치한 집과안내솔이 분지 사이로 끼어 들어가서 충돌이 심하였고, 이로 인하여 집과 기능을 정상적으로 발휘하지 못하였다.

2. 2차 시작기 개발 및 기능 평가

2차 시작기의 개발을 1차 시작기의 포장 실험 결과에서 제시된 문제점들을 중심으로 3개 주요 장치 즉 주행 시스템, 탈과장치, 집과장치 등의 각 장치별로 기능의 보완 및 개선의 연구내용은 다음과 같았다.

가) 주행 시스템

동력 전달 시스템에서 클러치 조작을 간편하게 하고 기계의 출발을 부드럽게 하고자 맞물림 클러치 및 체인 시스템을 텐션 폴리 클러치 및 벨트, 폴리 시스템으로 교체하여 클러치 조작과 기계 출발의 문제점을 개선하였다. 또한 주행시스템을 제 7장의 2차 시작기에서 서술한 바와 같이 전륜 조향-후륜 구동 시스템으로 주행시스템을 전환하면서 전륜 조향장치를 추가설치하였고, 4바퀴도 보완하여 공회전을 줄였고, 기계의 전후진의 조작을 투웨이 스위치(twp-way switch)로 간편하게 조작 될 수 있도록 하였으며, 후륜 구동을 위한 모터의 용량도 증가 시켰고, 동력전달 폴리의 직경을 ϕ 80mm에서 ϕ 100mm로 증대 시켰으며, 기계 본체의 장치들을 보호하고 작업환경을 개선하기 위하여 캐빈도 설치하였다.

나) 탈과장치

진동고리의 방향이 고정 설치되어 있는 2차 탈과장치가 다양한 방향으로 뺏어 있는 구기자 분지에 진동고리를 순간적으로 거는 작업이 비능률적인 문제점을 개선하고자, 제 5장의 3차 탈과장치에서 서술한 바와 같이, 커플

링을 이용하여 진동고리를 좌우로 자유롭게 방향전환을 할 수 있는 기능을 추가한 3차 탈과장치를 장착시켰다. 3차 탈과장치의 기능은 탈과장치 기본 설계 방향의 내용을 거의 전부 수용 할 수 있었다. 그러나 3차 탈과장치의 기능 가운데 진동고리의 축의 길이를 자유롭게 조절 할 수 있는 기능이 없었다. 이 개선 방안에 대해서는 제 5장의 3차 시작기의 개선점에서 서술하였다.

다) 집과장치

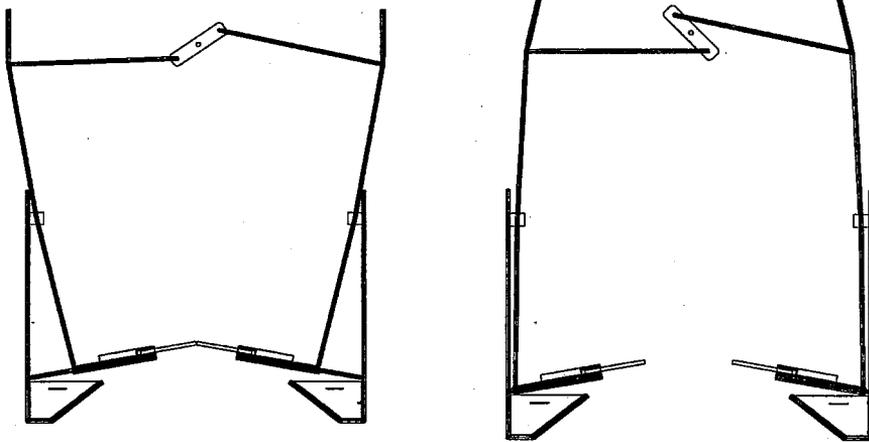


Fig. 51(a) Closed position of collecting guide system.

Fig. 51(b) Open position of collecting guide system.

집과안내장치의 고정식 장착을 이동식 장착으로 변경하여 개폐식으로 설계 제작한 집과안내장치(그림 51)를 장착시켰다. 기계가 주행 할 때에는 1쌍의 집과안내장치를 집과상자 쪽으로 각각 이동 시켜서 충분한 주행공간을 마련하였고, 기계가 정지하고 탈과 작업이 진행되는 동안에는 1쌍의 집과안내장치를 기계 중앙으로 이동시켜 구기자나무 밀줄기를 1쌍의 집과안내술이 양쪽에서 감싸아 틈새가 발생되지 않았다.

개폐식 집과안내장치의 특징으로는 ㉠ 주행성능을 향상시키었고 ㉡ 집과 성능을 크게 향상시키었으며 ㉢ 안내 솔을 장애물로부터 보호 할 수 있었다는 장점을 충분히 발휘하였다. 또한, 집과장치를 중심으로 수확기계의 양측면과 전후면에 열매 비산 방지막을 설치하여 비산으로 인한 손실을 방지 할 수 있었지만, 전후면의 비산 방지막은 구기자나무의 수형, 높이, 폭 등에 따라 가변적 대응이 필요하였다. 집과장치의 장착장치의 기능에서 변형된 두둑과 다양한 구기자 수형에 대응함에 있어서 수칙 방향의 조정기능은 효과적이었다.

제 10 장 최종 시작기의 작업 성능 평가 및 개선점

1. 작업 성능

작업 성능을 평가하는 방법으로는 단위 작업시간당 수확량과 단위 작업시간 당 작업면적으로 평가 할 수 있지만, 구기자나무의 작황 상태에 따라 수확량이 크게 변할 수 있고, 인력 작업인 경우에는 작업면적보다는 수확량으로 산출함이 합리적이라 본 연구에서는 단위 작업시간 당 수확량으로 산출하였다.

Table 25 Harvesting performance of developed boxthorn harvester

날짜	탈과 시간	품종	수집 수과 (g)	수집 미수과 (g)	미수과 수과 (g)	미탈과 (g)	수집율 (%)	탈과율 (%)	작업 성능			100과 건중 (g)	100과 생중 (g)	비고	
									①인력 작업 (g/hr)	②기계 작업 (g/hr)	작업 효율 (②/①)				
2000 10.10	19분 20초	청양 2호 8주	910	45	95		90.55		2824						숙과 불량
2000 10.19	18분 15초	청양 3호 13주	2750	180	180		93.86		9041	4.2					숙과 양호
2000 11.06	19분 40초	청양 2호 12주	1370	145	165	480개 438.72	82.25	77.77			4180				
2000 11.06	26분 23초	청양 2호 8주	2180	105	185	433개 395.76	92.18	85.66	2142	4938		19.1	91.4		숙과 보통
2000 11.06	11분 35초	청양 2호 13주	1020	45	50		95.33				5283				숙과 보통
2000 11.06	20분 45초	청양 3호 13주	1465	15	60		96.07				4236				
2000 11.06	18분 27초	청양 3호 12주	1325	70	105		92.66				4309				
2000 11.06	22분 26초	청양 3호 13주	1195	40	160		88.19				3196				

구기자나무의 숙과 상태에 따라서 작업 성능은 크게 다르게 나타났지만 숙과 상태가 양호한 경우에는 인력에 비하여 4.2배로 컷으며 작황이 보통 내지 미약인 경우에는 다소 떨어졌지만 수확작업의 기술이 일정한 수준 일 때 본 연구에서 개발한 구기자 수확기계의 실용화는 매우 낙관적이라 평가되었다(표25).

숙과의 탈과율은 약 82%로 양호한 편이었고 나머지 18%는 차기 수확 시에 수확 할 수 있다고 예상 할 수 있었으며 미숙과의 탈과율은 약 5%안팎으로 나타났다.

미숙과의 5% 안팎의 탈과율은 손실로 간주 될 수도 있고 또한 이 5%의 미숙과는 불성실한 열매라고 간주 할 수도 있으며, 아울러 이 5%의 탈과로 인하여 나머지 미숙과의 성장에 도움이 되리라고 예상 할 수도 있지만 이 문제는 앞으로 계속 연구 될 과제이다.

집과율은 93% 내외로 나타났고 미집과율이 7%로 크게 나타났지만 이 7%의 미집과 열매는 기계의 전후 방향으로 튀김에 의한 손실이었으므로 비산 방지막의 추가 설치로 충분한 보완이 될 수 있다고 사료되었다.

2. 개선점

- 1) 기계의 제작에서 자중을 감소시킬 수 있는 재료를 선정한다.
- 2) 프레임의 규격은 구기자 재배 표준화의 재식거리에 맞추어 설계 재작함이 주행 성능을 향상시킬 수 있다.
- 3) 탈과장치의 진동고리의 길이를 자유롭게 조절 할 수 있도록 장치의 보완이 필요하다.
- 4) 집과안내술의 장착은 두둑과 분지 사이의 공간을 최대한으로 활용하는 범위 내에서 열매가 구를 수 있도록 경사지게 설치한다.
- 5) 기계의 전후 방향으로 비산하는 열매를 방지하기 위하여서는 다양한 구기자의 수형에 대응 조치 할 수 있도록 개폐식 날개 방지막의 설치가 필요하다.
- 6) 집과안내술의 기능을 보강하기 위하여 안내술의 배열은 2단으로 한다.

참 고 문 헌

1. 송전익, 권영학, 한규홍. 1993. 구기자의 합리적 경영규모에 관한 연구. 충청남도 농촌진흥원, 청양구기자시험장. 청양. 충남.
2. Alper, Y., A.Foux, and J.Linor. 1976. Detachment analysis of oranges in shaking harvesting. Transactions of the ASAE 19(6):1029-1033.
3. Doebelin, E.O.1990. Measurement systems: application and design. McGraw-Hill, Inc, NewYork, NY, USA.
4. Fridley, R.B. and C.Yung.1975. Computer analysis of fruit detachment during tree shaking. Transactions of the ASAE 18(3):409-415.
5. Ghate, S.R. and R.P.Rohrbach.1975. Mechanical properties influencing vibrations in blueberry canes. Transactions of the ASAE 18(5):921-925.
6. Innan, D.J..1996. Engineering vibration. Prentice-Hall, Inc..Upper Saddle River, NJ, USA.
7. Markwardt, E.D., R.W.Guest, J.C.Cain, and R.L.LaBelle. 1964. Mechanical cherry harvesting. Transactions of the ASAE 7(1): 70-74, 84.
8. Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Inc. New york, NY, USA.
9. Wang, J.K..1965. Mechanical coffee harvesting. Transactions of the ASAE 8(3): 400-405.