최 종
연구보고서

감수확기 개발

Development of Persimmon Harvesting System

주관연구기관

전북대학교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “감수확기 개발” 과제 (세부과제 “감수확용 차량 개발”, 세부과제 “감수확용 머니퓰레이터 개발”)의 최종보고서로 제출합니다.

1999. 10. 31

주관연구기관명: 전북대학교
총괄연구책임자: 이 종 호
연 구 원: 박 승 제
연 구 원: 김 철 수
연 구 원: 김 명 호
연 구 원: 김 성 민

요 약 문

I. 제 목

감수확기 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 목적

제 1 세부과제: 감수확용 차량 개발

단감 주산단지에서 이용 가능하도록 경사 15도 정도를 자동으로 수평 제어하고 1m 정도의 고도를 조절할 수 있는 감수확용 차량 개발

제 2 세부과제: 감수확용 머니퓰레이터 개발

작업자의 손이 미치지 않는 감을 채과하기 위한 수확용 보조기구인 머니퓰레이터 개발

2. 연구개발의 중요성

감은 아열대와 온대에 걸쳐 자생되거나 재배되는 다년생 식물의 열매로서 남한의 전역에서 생산되고 있다. 감은 수확 당시 과육이 단단하고 당도가 높은

단감과 맛이 떫어 직접 먹을 수 없는 떫은감으로 구분된다. 감은 인력 수확에 의존하고 있으나 감나무의 70% 이상이 산간지에 식재되어 있어 수확작업을 하기에 어렵다. 또한 감나무는 다른 과수와 달리 가지가 약하여 쉽게 꺾이기 때문에 나무에 올라갈 수 없고, 밤과 대추와 같이 흔들거나 장대 등으로 쉽게 떨어뜨릴 수도 없으며 특히 감꼭지의 길이가 매우 짧아 가위로 수확하는데도 여간 힘드는 것이 아니어서 인력작업시 작업능율이 매우 낮다. 또한 높은 위치에 있는 감을 사다리와 같은 불안정한 장치를 이용하여 수확하기 때문에 낙상의 우려가 있고 작업자세도 매우 나쁘다.

우리 나라에서 감은 재배면적으로 볼 때 두 번째로서 주요 과수의 하나로 확실히 자리잡고 있다. 감은 주로 경사지에 재배되며 농작업의 대부분이 인력에 의존하거나 부분적으로 동력을 이용하는 수준에 머물러 있다. 단감은 주로 과수 전업농에 의해 재배되고 있으며 고소득원으로서 대부분 수출용으로 재배되고 있다. 단감 품종이나 재배 기술이 가장 발달한 나라는 일본이며 다른 농산물과 유사하게 일본으로부터 기술 수입이 많은 과일이다. 최근에 단감의 재배 면적이 급증하고 수출이 상대적으로 줄어들면서 단감의 가격이 급락하는 상황이 전개되고 있다. 이것은 다른 농작물이나 마찬가지로 단감도 농산물 수입 개방의 영향을 받고 있으며, 감 재배면적이 크게 증가한데 비하여 농촌노임이 비싸기 때문에 현재와 같은 재배기술과 기계화 수준으로는 앞으로 국제 경쟁력은 더욱 떨어질 수밖에 없다는 것을 나타내는 것이다. 국제적인 경쟁에서 살아 남는 길은 단감의 고품질화와 함께 생산비를 줄일 수 있는 기계화를 이루어야만 가능할 수 있다.

감 재배가 기계화되지 못한 주된 이유는 우리 나라의 농업기계화가 수도작 위주로 진행되어 왔다는 점이다. 또한 감 과수원은 주로 경사지에 조성되어 있기 때문에 경사지용 기계개발이 기술적으로 어려운 것도 기계화가 미진한 중

요한 이유중의 하나이다. 단감 재배에서 노동력이 가장 많이 드는 작업은 수확 작업으로서 20% 정도를 차지하며 다음이 10% 정도인 선별 포장 작업이다. 특히 수확의 기계화는 모든 과수에서와 마찬가지로 매우 어려우며 단감은 작업자가 손으로 수확하기도 어려운 경우도 많이 있다. 단감은 매우 밀집하여 결과를 형성하는데 이로 인하여 지나친 경우에는 가지가 과일의 무게를 이기지 못하고 부러지는 일도 흔히 있다. 이렇게 밀집하여 매달려 있는 단감은 채과하기도 매우 어려운데 더욱이 단감의 꼭지는 매우 짧아 채과용 가위를 조심스럽게 다루지 않으면 과일에 상처를 주게 된다. 이러한 상황에서 단감을 수확하는 기계를 개발 한다는 것은 매우 어렵다. 여기에 더하여 단감은 수세가 강하여 과수의 높이도 높으며 따라서 결과의 높이도 높다. 그래서 높은 위치에 있어 채과를 포기하는 량이 전체의 10% 정도로 추산되고 있다.

따라서 단감의 수확을 위해서는 단감 과수원이 주로 경사지에 조성되어 있기 때문에 경사지 적응성이 좋고 위험하게 나무에 오르지 않고도 전량을 수확할 수 있는 감수확용 차량 및 머니퓰레이터 개발이 필요하다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구과제의 연차별 연구개발 내용과 범위를 분야별로 요약하면 다음과 같다.

1. 제 1 세부과제 : 감수확용 차량 개발

<u>1차년도</u>

◎ 감수확용 차량 개념설계

· 인력수확의 작업능율 분석과 문제점 도출

· 감나무 수형 물리적 성질 측정, 식재실태 조사

· 수확용 차량의 개발방향 설정

◎ 작업위치 제어부의 개발과 시험운전

2차년도

◎ 작업위치 제어부의 개선

◎ 1차 시작기의 제작과 포장 실험

3차년도

◎ 감수확용 차량의 경량화와 경사지 적응성 개선

· 감수확용 차량의 강도 및 안정도해석

· 감수확용 차량의 재설계 및 개발

◎ 2차 시작기의 제작과 포장 실험

◎ 최종 성능실험 및 평가

· 감수확용 차량의 최종 성능평가

· 감수확용 차량 설계 제작도 완성

2. 제 2 세부과제 : 감수확용 머니퓰레이터 개발

1차년도

◎ 감나무와 감에 대한 물성조사

· 감과 감이 달린 가지의 강도, 경도, 크기 등에 대한 기초조사

· 수확작업시 감의 손상 원인 구명

◎ 과일 수확방식의 비교와 감수확에 적용성 평가

◎ 감수확용 머니퓰레이터의 1차 시작품 개발 및 평가

· 매니퓰레이터용 경량 동력전달 방식 개발

2차년도

◎ 감에 대한 물성조사

· 충격에 의한 감 손상 특성

· 감의 탈리층 형성 특성

◎ 감수확용 머니퓰레이터의 2차 시작품 개발 및 평가

· 매니퓰레이터용 경량 동력전달 방식 개선

· 2차 시작품의 설계 개발

· 감수확용 매니퓰레이터의 포장 실증실험

3차년도

◎ 감수확용 머니퓰레이터의 3차 시작품 개발 및 평가

· 3차 시작품의 설계 개발

· 감수확용 매니퓰레이터의 포장 실증실험

· 머니퓰레이터를 이용한 수확 작업 방법의 작업능율 분석

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

수행한 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

제 1 세부과제: 감수확용 차량 개발

1. 단감의 평균 수고는 장성지역이 452 cm, 진영지역이 438 cm, 수관장경은 각각 473 cm, 475 cm, 그리고 수관단경은 각각 373 cm, 382 cm로 조사되었다.
2. 평균 주간거리는 장성지역이 322cm, 진영지역이 354cm, 조간거리는 각각 535cm, 561 cm로서 단감연구소에서 제시하는 360cm, 600cm보다는 작았다. 기계의 통로가 될 수 있는 조간거리는 권장치수보다 작았다.
3. 설계 제작된 2차 시작기를 이용하여 실시된 성능실험에서 얻어진 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.
   1) 차량의 중량은 927 kg, 차량의 무게중심은 차량의 우차륜 중심으로부터 좌차륜 쪽으로 427 mm, 전륜 구동축으로부터 후륜 구동축 쪽으로 607 mm 그리고 궤도의 지상 접촉부로부터 위로 562 mm에 있는 것으로 측정되었다.
   2) 차량의 정적 전도각은 수평제어를 아니할 때 전방향으로 60도, 후방향으로 54도, 좌방향으로 46도 그리고 우방향으로 46도였다. 자동 수평제어 모드 운전시에는 전방향으로 61도, 후방향으로 55도, 좌방향으로 49도 그리고 우방향으로 50도였으며 자동 수평제어 모드로 운전할 때 전도각이 약간 증가하였다.
   3) 차량의 동적 전도는 차량이 아래 방향으로 이동할 때 차량 정지시 발생하는 것으로 가정하여 계산하였다. 동적 전도각은 차량 정지시간이 0.1초일 때 14도 그리고 정지시간이 0.2초 이상일 때 30도 이상으로 분석되었다.
   4) 차량의 등판 각도는 구름저항을 무시하였을 때 36도로 분석되었다.
   5) 차량의 수평제어 각도 범위는 전후 14.5도~16.5도, 좌우 15.5도 이며 작업

대의 경사가 최대 4도 기울어졌을 때 수평유지 센서가 작동하였다. 실제 차량의 작업대가 자동 수평 제어될 때는 경사각도 4도 범위 내에서 수평 제어가 연속으로 이루어지기 때문에 저속일 때 약 1초, 고속일 때는 0.5 초 이내에 작업대의 수평이 이루어졌다.

6) 아스팔트 평지에서의 최대 주행속도는 2.83 km/h이고 최저 주행속도는 1.35 km/h이며 평균 경사도가 6.33 ° 인 등판 길에서의 최대 등판속도는 2.14 km/h 였다.

7) 평균 경사도가 7.8도인 포장에서 실시된 주행실험에서 적정한 포장주행 속도는 1.87 km/h였다.

8) 감수확 실증 실험에서 감수확용 차량을 이용하여 수작업으로 수확을 한 결과 92%의 수확율을 보였으며 머니퓰레이터를 이용하면 7%의 과일을 더 수확할 수 있어 수확용 차량과 머니퓰레이터를 이용하면 총 수확율은 99%에 이르러 미채과율은 1% 정도였다. 이는 관행의 인력 수확에서의 미채과율 10%와 비교할 때 9%의 수확 증대 효과가 있는 것으로 판단된다. 수확 능률은 관행 방법보다 약 20% 향상되는 것으로 분석되었다.

4. 1차, 2차 시작기의 성능 실험 결과를 토대로 설계한 감수확용 차량 시제품의 설계도를 그림 I, 그림 II 그리고 그림 III에 나타내었다. 표 I은 감수확용 차량 시제품의 주요 사양을 나타낸 표이다.

표 I 감수확용 차량의 시제품 주요 사양

차 체		전장	2160 mm	전폭	1140 mm
		전고	최대 : 2700 mm, 최저 : 1600 mm		
주행장치	엔 진	16 ps, 개솔린			
	기어전동장치	엔진속도: 주행펌프 1.25 수평제어펌프 2.0			
	무한궤도	재질 : 고무궤도, 폭 : 240 mm, 축간거리 : 1120 mm			
	주행펌프	248 kg_f/cm^2, 6.10 cc/rev			
	주행모터	160 kg_f/cm^2, 562 cm^3/rev, 1117.2 N・m			
수평제어시스템	전기 제어시스템과 유압 제어시스템으로 구성				
	작동 모드	수동, 자동			
	수평제어펌프	248 kg_f/cm^2, 2.00 cc/rev			
	수평제어센서	4개의 근접센서를 이용			
	좌우수평제어각도	좌 : 15。, 우 : 15。			
	전후수평제어각도	전 : 15。, 후 : 15。			
작업대고도제어		최고높이 : 2000 mm, 최저높이 : 900 mm			
등판능력/적재량		최대 36°/ 최대 200 kg			
최대속도		2.36 km/h			

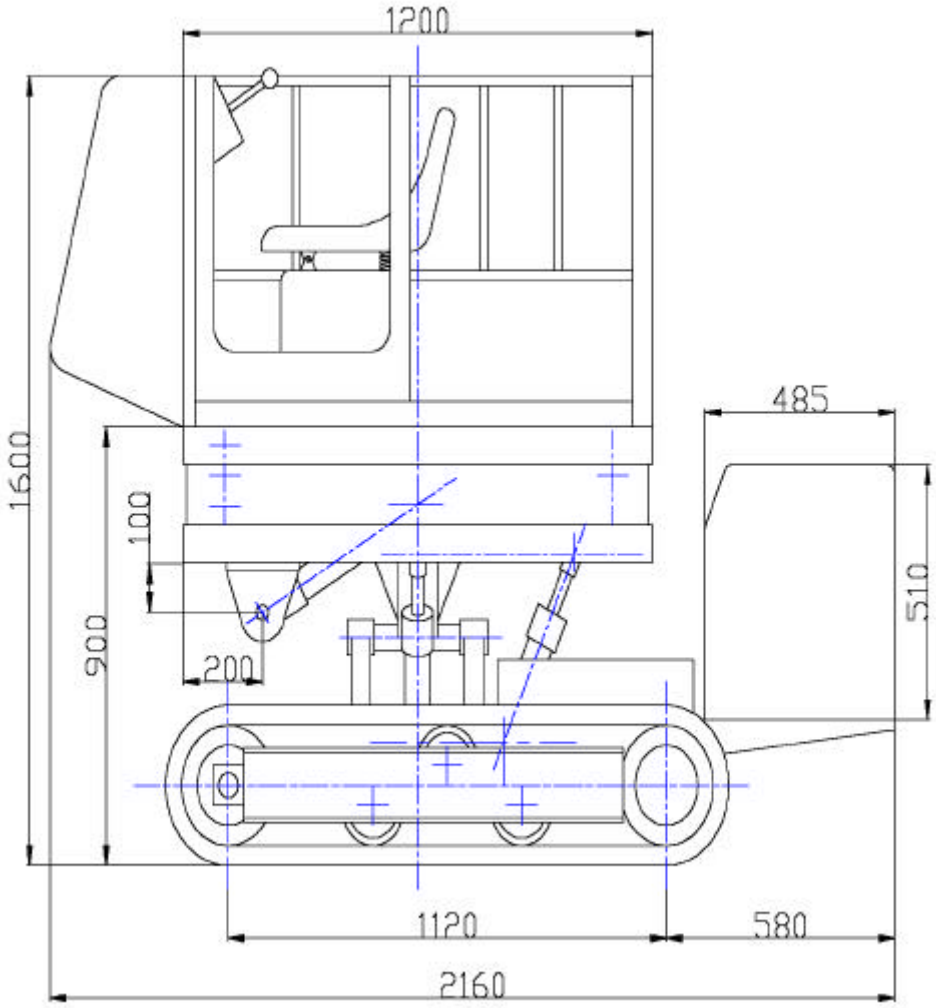


그림 I. 시제품 설계도 (측면도)

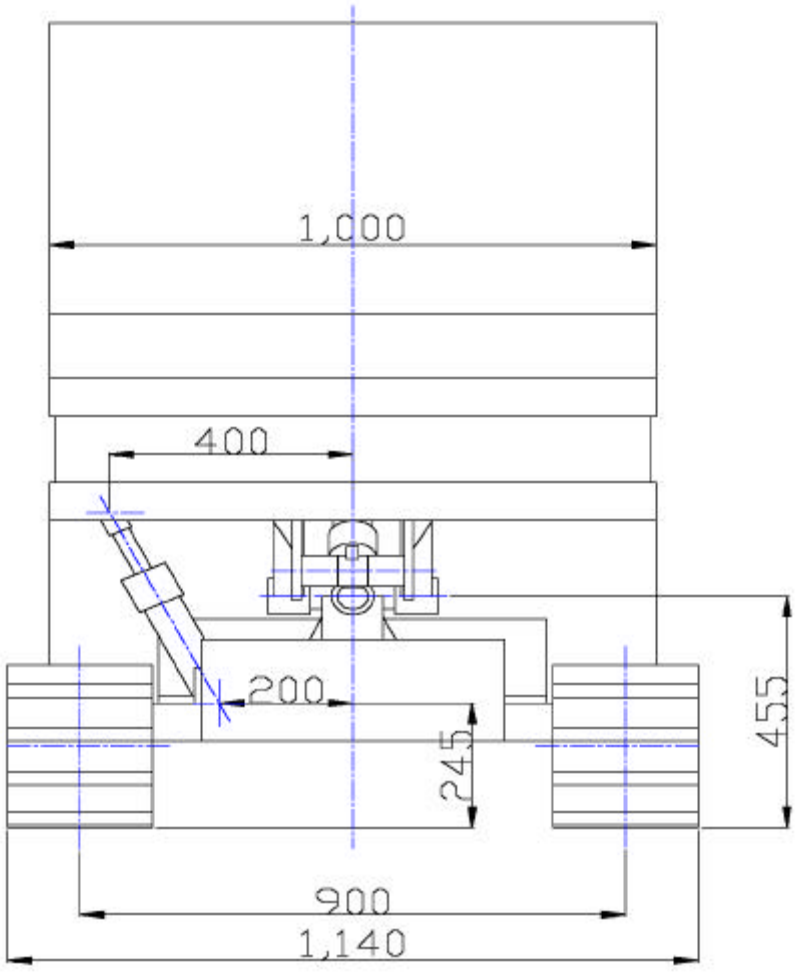


그림 II. 시제품 설계도 (정면도)

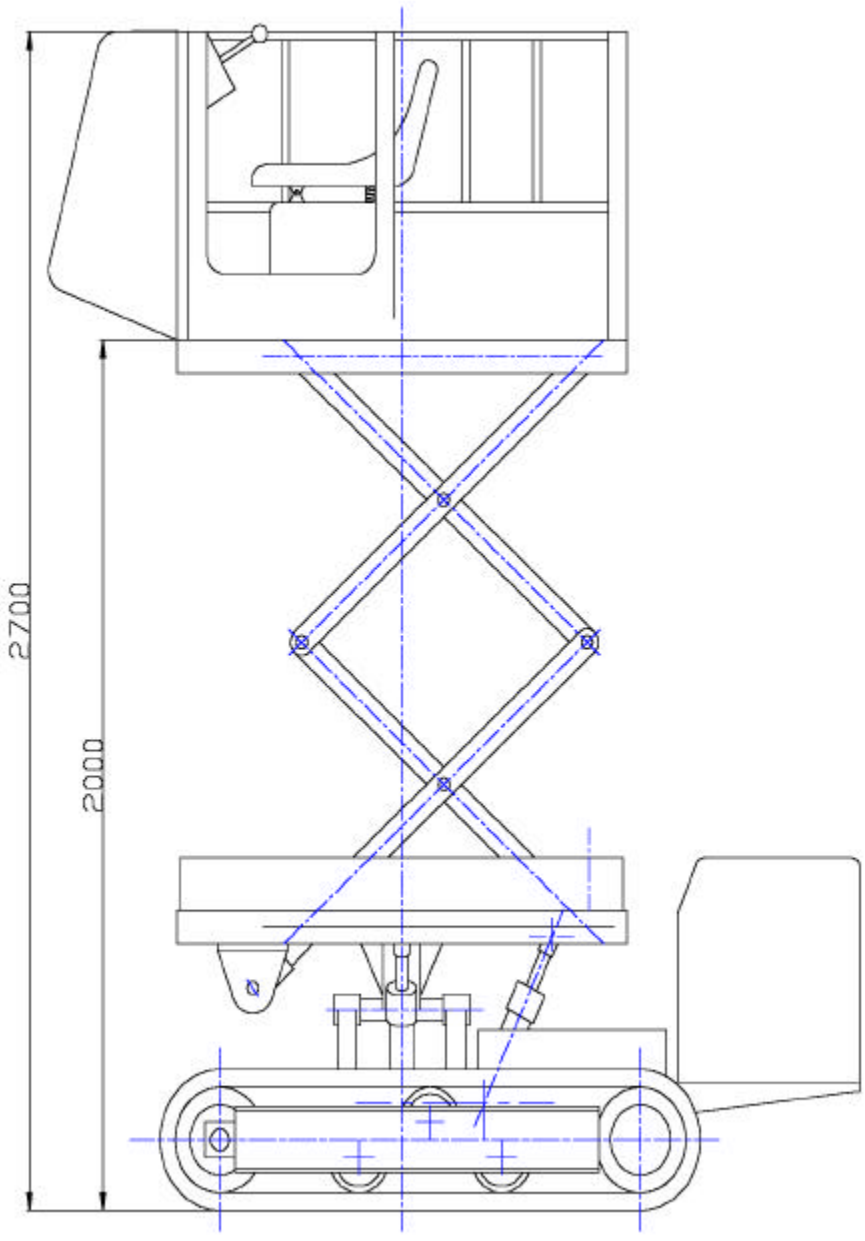


그림 III. 작업부 상승시의 작업기 측면도

제 2 세부과제: 감수확용 머니퓰레이터 개발

1. 감의 물리적 특성 측정 실험 결과 부유의 직경은 평균 7.9 cm, 감꼭지의 직경은 0.62 cm 그리고 감꼭지의 길이는 0.82 cm로 측정되었다.
2. 감꼭지와 감가지의 전단응력 특성 실험 결과 감꼭지의 직경이나 전단응력은 수령에 따라 별 차이를 보이지 않았으나 감가지의 직경은 수령이 증가함에 따라 조금씩 증가하였다. 그렇지만 전단응력은 수령에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 직경은 커지지만 전단강도는 동일한 것으로 판단된다.
3. 물리적 충격에 의한 감의 손상 특성 실험 결과 과피의 명도는 0℃에 저장한 과실보다 20℃에 저장한 과실의 경우에 더욱 크게 낮아졌으며 과피의 적색도 변화의 경우에서와 유사하게 물리적 충격에 의한 과피 명도의 감소폭이 더욱 뚜렷해졌다. 과피 및 과육의 경도도 물리적 충격을 가하지 않고 0℃에 저장한 경우만 제외하고는 급격히 감소하였다. 이러한 과실의 경도 감소는 과피에서보다 과육에서 더욱 뚜렷하였는데 과피의 색깔 변화의 경우에서와는 달리 저장 온도보다 물리적 충격이 과실의 경도 감소의 주된 원인인 것으로 생각되었다.
4. 감의 탈리층 형성 특성과 전단응력 특성 실험 결과 수확기에 인장력 측정기기를 이용하여 결과지와 과실사이의 인장력을 측정한 결과 일차적으로 떨어지는 부분은 대부분 결과지와 과경사이였다. 결과지가 굵고 긴 경우는 과경이 연결되는 부위만 떨어졌으며 결과지가 짧은 경우는 결과지가 굵은 쪽으로 이탈되었다. 결과지 길이에 따른 결과지에서의 인장력은 결과지가 길고 굵을수록 큰 경향을 나타냈으며, 과중이나 과경의 길이와 굵기에는 영향을 받지 않았다. 꼭지에서의 인장력은 과중, 과경의 길이와 굵기, 결과지의 길이와 굵기 등 어느 변량과도 상관이 없었다.
5. 감의 기초 특성을 이용하여 3차년도에 걸쳐 실시된 실험 결과 최종적으로

회전력을 이용한 머니퓰레이터가 설계, 제작되었다. 이 머니퓰레이터는 총 길이가 1.39 m이며 무게는 975 g 이었다. 기어가 달린 12V용 모터를 이용하여 회전 동력을 발생하고 또 다른 기어를 이용하여 감속을 하여 토크를 증대시켰다. 그리퍼는 플라스틱과 고무판을 이용하여 마찰력이 증대되도록 하였다. 그림 IV는 개발된 머니퓰레이터의 머리부를 나타낸 설계도이다. 머니퓰레이터를 이용하여 포장에서 성공적으로 수확작업을 할 수 있었으며 머니퓰레이터를 이용하였을 때 나무에 오르지 않고 지상에서 안전하게 작업하여도 미채과율이 10% 정도로서 나무에 오르면서 위험하게 수확하는 관행의 인력수확방법의 수확율과 유사한 수준이며 수확능률은 관행 방법보다 약간 높은 것으로 분석되었다.

2. 결과 활용에 대한 건의

제 1 세부과제: 감수확용 차량 개발

본 연구에서 개발한 경사지용 감수확용 차량은 본 연구에서 목표로 한 경사도 10도보다 훨씬 큰 15도까지 제어가 가능한 구조로 개발되었으므로 모든 과수에 적용될 수 있고 경사지 전작용 원동기로 이용될 수 있으며 다양한 과수 관리 작업을 수행할 수 있는 원동기로 활용될 수 있는 가능성을 가지고 있다. 세부적인 보완이 이루어지는 데로 업체에 기술을 이전하여 시제품을 제작할 예정이며 현재 이 감수확용 차량의 특허가 공개되어 있다.

본 연구에서 개발된 감수확용 차량의 실용화를 위해서는 감 주산지 농가에 기계 성능을 홍보하여 실용화 보급되도록 노력함과 동시에 농기계 생산업체가 생산 의욕을 가질 수 있도록 정부의 지원책이 마련되는 것이 바람직하다. 또한

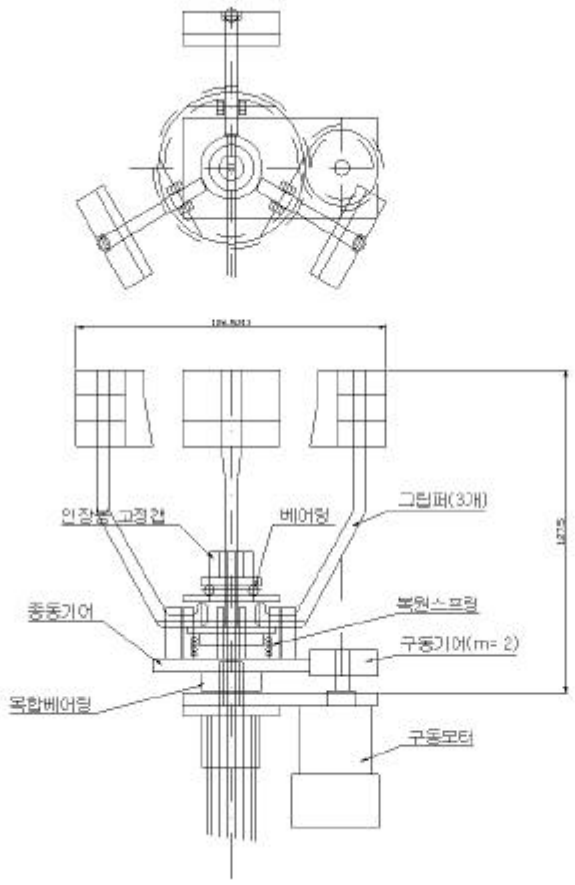


그림 IV. 12V용 머니퓰레이터 머리부의 정면도 및 평면도

기타 산업계 (원예, 화훼 등)의 전시회에 적극 참가하여 감수확용 차량을 적극적으로 홍보하는 것이 바람직하다.

현재 단감 과수원의 단감 나무는 밀식되어 있어 작업기의 이용이 불가능한 실정이다(일부 SS기를 사용하는 과수원도 있슴). 그러나 미구에는 노동력의 부족으로 기계 이용이 불가피해질 것이며 그에 대비하여 단감 식재 양식을 좀 더 기계화에 적합하게 변화시킬 필요가 있다.

제 2 세부과제: 감수확용 머니퓰레이터 개발

본 연구에서 개발된 감 수확용 머니퓰레이터는 소형의 이동식 수확용 보조 기구이기 때문에 머니퓰레이터 보급만으로도 감 수확량을 크게 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 작업의 안전성면에서도 크게 기여할 것이다. 또한 다른 과수의 수확작업에도 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 이 머니퓰레이터 또한 세부적인 보완이 되는대로 바로 업체에 기술을 이전하여 시제품을 제작할 예정이며 현재 이 작업기의 특허를 출원 준비중에 있다.

본 연구에서 개발된 감수확용 머니퓰레이터의 실용화를 위해서는 산업계(원예, 화훼 등)의 전시회에 적극 참가하여 홍보하여야한다.

S U M M A R Y

I. TITLE

Development of a persimmon harvesting system

II. OBJECTIVES AND NECESSITY OF THE STUDY

1. Objectives

The First Section: Development of main body and accessories of a persimmon harvesting vehicle

Development of main body and accessories of a vehicle for harvesting persimmon. The vehicle can be operated and keep balanced position in an inclined region.

The Second Section: Development of a manipulator for harvesting persimmon

Development of a potable manipulator for harvesting persimmon located in a hard to reach area

2. Necessity

Persimmon is a fruit of a perennial arbor whose habitat is temperate

and sub-tropical zones. It is produced in the southern part of a Korean peninsular. There are two types of persimmon, sweet persimmon that has high sugar content and firm flesh and bitter persimmon that is inedible due to its bitterness right after they are harvested. Persimmon is usually harvested by hands. However, harvesting is very difficult because over 70 % of persimmon trees are planted in hill sides. Also, the branches of persimmon trees are very weak, which make it difficult to hand-pick the persimmons located in the higher portions of trees. So persimmons in a hard-to-reach area are harvested using a ladder which requires a very dangerous and hard.

The persimmon is the second largest among all the fruits produced in Korea in terms of growing areas. Its production mainly relies on human labor and partially relies on power units. Sweet persimmons are usually grown by full-time farmers and guarantee high income. The most advanced nation in developing sweet persimmon varieties and production skill in the world is Japan. Like other agricultural products, Korean sweet persimmon growers are highly dependent on Japan. Recently the market price of persimmon decreased because its domestic production increased and its export is relatively reduced. Its price competitiveness in an international market is decreased because persimmon market has been opened like other agricultural products and production labor cost is high. Its price competitiveness will be decreased more if the current practice in production and use of power units is not changed. Production of high quality products and mechanization to reduce production cost are the only

ways for the Korean persimmon growers to survive in a current situation.

One of the main reasons for little-mechanization in persimmon production lies in the fact that most persimmon orchards are located in hill sides. Also national policy in agricultural mechanization as a whole has been focused on rice production up to now. Most labor intensive job in persimmon production is harvesting, followed by sorting and packaging. Usually the persimmon trees are planted in a dense form which makes it more difficult to harvest fruits by hands. In addition the trees are quite high. So usually 10 % of total persimmon fruits are abandoned because of these difficulties.

Therefore, development of a persimmon harvesting vehicle that can be operated in hilly areas and a manipulator that can be used to harvest persimmons located in remote positions in the trees is needed to harvest persimmons mechanically without climbing up the trees.

III. SCOPE OF THE STUDY

1. The First Section: Development of a persimmon harvesting vehicle

<u>The First Year</u>

◎ Establishment of design concept for a persimmon harvesting vehicle

· Analysis of manual harvesting practice and extracting current problems

· Survey on characteristics of persimmon trees and orchard, and

measurement of physical properties of persimmon

・ Establishment of concept for persimmon harvesting vehicle

◎ Development and test of automatic slope control system

The Second Year

◎ Improvement of automatic slope control system

◎ Development and field test of the second prototype vehicle

The Third Year

◎ Lightening of vehicle and improvement of slope adaptability

・ Analysis of durability and stability of the vehicle

・ Redesign and development of the second prototype

◎ Development of accessories of the vehicle

◎ Final test and evaluation of the vehicle

・ Final test and evaluation of the vehicle

・ Drawing of detailed draft of the vehicle

2. The Second Section: Development of a manipulator for harvesting persimmon

The First Year

◎ Measurement of physical properties of persimmon trees and fruits

・ Basic research on strength, toughness and size of persimmon

・ Study on damage of persimmon during harvesting

◎ Evaluation of applicability of persimmon harvesting methods

◎ Development and evaluation of the first prototype of manipulator

· Study on power transferring methods of the manipulator

The Second Year

◎ Study on physical properties of persimmon

· Study on the damage characteristics of persimmon due to physical impact

· Study on abscission layer developing characteristics of persimmon

◎ Development and evaluation of the second prototype of manipulator

· Study on power transferring methods for the portable manipulator

· Design and development of the second prototype manipulator

· Field test of the prototype manipulator

The Third Year

◎ Development and evaluation of the third prototype manipulator

· Design and development of the third prototype manipulator

· Field test of the prototype manipulator

· Analysis of efficiency of persimmon harvesting with the manipulator

IV. RESULTS OF THE STUDY AND OPINION OF UTILIZING THE RESULTS

1. Results of the study

The First Section: Development of a persimmon harvesting vehicle

1. The average height, average maximum tree canopy diameter, and average minimum tree canopy diameter of sweet persimmon tree in Jan-Seong were 452 cm, 473 cm, and 373 cm, respectively and those in Jin-Young were 438 cm, 475 cm, and 382 cm, respectively.
2. The average distance between planted persimmon trees, and average distance between rows of planted trees in Jan-Seong were 322 cm, and 535 cm, respectively and those in Jin-Young were 354 cm, and 561 cm, respectively. These values were small compared to the values recommended by a sweet persimmon research center. The average distance between rows of planted trees was a main obstacle for mechanization.
3. Two prototype persimmon harvesting vehicles were developed in this study. The second prototype that was enhanced version of the first prototype was tested and the results could be summarized as follows.
    1) The weight of the vehicle was 927 kg and the center of gravity was located at 427 mm to the inner side from the center of right driving caterpillar, 607 mm to the rear axle from the center of front axle, and 562 mm to upward from ground.
    2) The static tipping angle of the vehicle was 60 degrees to forward, 54 degrees to backward, 46 degrees to left side, and 46 degrees to right side in a manual mode. In an automatic mode, the static tipping angle of the vehicle was 61 degrees to forward, 55 degrees to backward, 49 degrees to left side, and 50 degrees to right side. The tipping angle was increased generally in an automatic driving

mode.

3) The dynamic tipping angle toward front when the vehicle is moving downward was calculated at 14 degrees for 0.1s of stopping time and over 30 degrees for more than 0.2s of stopping time.

4) The climbing angle of the vehicle was 22.6 degrees assuming there was no sliding resistance.

5) The automatic level control sensor was activated within 14.5 ~ 16.5 degrees of slope variation. The working plate was automatically leveled in 1 sec at a low rpm (1130 rpm) and in 0.5 sec at a high rpm (3216 rpm).

6) The maximum driving speed of the vehicle was 2.83 km/h and the minimum driving speed was 1.35 km/h on a plain road. The maximum speed on an inclined road whose average slope was 6.33 degrees was 2.14 km/h.

7) The normal driving speed was found 1.87 km/h from a field test which was performed on an inclined road whose average slope was 7.8 degrees.

8) In persimmon harvesting tests 24.9% yield increase was possible by hand picking with the vehicle and additional 7% yield were increased with the manipulator. Therefore, 99% of total yield is achievable when the vehicle and the manipulator are both used in the present persimmon harvesting.

4. The final version of the persimmon harvesting vehicle was redesigned

considering the field test results. The specification of the redesigned vehicle can be summarized as follows.

1) The weight of the vehicle is 900 kg. The total length, width, maximum height, and normal height is 2160 mm, 1140 mm, 2700 mm, and 1600 mm respectively.
2) The vehicle has a 16 ps gasoline engine and uses rubber caterpillar. Driving hydrolic motor with 160 kg_f/cm^2 of rated pressure, 882 N·m of torque and 30 rpm, and driving pump with 248 kg_f/cm^2 of pressure and 6.10 cc/rev of displacement are used.
3) Electronic level control system combined with hydraulic control system is used to control the position of vehicle within 15 degrees of slope variation. A pump with 248 kg_f/cm^2 of pressure and 2.0 cc/rev of displacement is used to control the level of working plate of the vehicle.
4) The elevation control of the working plate is performed only when the vehicle is stopped and the total moving distance of the working plate is 1 m and maximum height is 2 m.
5) It is estimated the vehicle can be driven on inclined slope of approximately 30 degree and can carry 200 kg of load.

<u>The Second Section: Development of a manipulator for harvesting persimmon</u>

1. The average diameter of "Fuyu" persimmon was 7.9 cm, the average stalk diameter was 0.62 cm and average stalk length was 0.82 cm.

2. The diameter and shearing stress of stalk were little changed with ages of trees. However, diameters of branches were increased with ages but shearing stresses of branches were barely changed.
3. The brightness of surface color of impact damaged persimmons stored at 0。 C changed less than that of those stored at 20。 C. The firmness of impact damaged fruits was reduced rapidly even stored in 0。 C chamber. Impact damage was more influential to the change of firmness than storage temperature.
4. The abscission layer which consist of 10 cell layer was observed between fruit stalk-end and calyx. The side between calyx and fruit stalk apparently seemed to stick together, but in fact, that was separated. The abscission layer between the fruit stalk and the branch wasn't detected. The horizontal section of fruit stalk was similar to a branch. In FRF measurement of detaching fruits from the branch, first separation zone was mostly between the fruit stalk and the branch. For a thick and long branch, the separation zone was between the fruit stalk and the branch. However, for a short branch, the fruit was detached with branch from the direction of thick branch.
5. Final prototype manipulator was designed and developed. The total length of the manipulator was 1.39 m and weight is 975 g. It was powered by a 12 V geared motor to detach persimmon fruits with a rotational force. The gripper was made of plastic and rubber to increase the frictional force. Increase in 22.5 % of total yield was achieved with this manipulator only.

2. Opinion on utilizing the results

The First Section: Development of a persimmon harvesting vehicle

The vehicle developed could be used in harvesting other fruits growing both in inclined and in plain regions. Also the vehicle could be used as a power unit which supplies power to other field machinery. The vehicle will be commercialized in conjunction with a private company fabricating the final version of the vehicle. Currently a patent for the vehicle is in progress. To enhance the practicability of the persimmon harvesting vehicle developed in this study, various efforts including a demo exhibition to the growers and governmental subsidiary to the manufacturer should be provided.

The Second Section: Development of a manipulator for harvesting persimmon

The developed manipulator for harvesting persimmons is small, light, and portable that can be used to increase the harvesting yield. Also the manipulator can be used to harvest other fruits. The manipulator refined with some modifications will be commercialized in conjunction with a private company. Currently a patent application for the manipulator is in progress as well. To enhance the practicability of the persimmon harvesting vehicle developed in this study, various efforts including a demo exhibition to the growers and governmental subsidiary to the manufacturer should be provided.

CONTENTS

Paragraph 7. Conclusions

References

목 차

제 1 장　　서　　론

제 1 절　연구 개발의 목적

감은 아열대와 온대에 걸쳐 자생하거나 재배되는 다년생 식물의 열매로서 남한의 전역에서 생산되고 있다. 감은 포도당과 과당이 14% 정도 포함되어 맛이 달고 비타민 A, 비타민 C가 풍부하다. 감은 수확 당시 과육이 단단하고 당도가 높은 단감과 맛이 떫어 바로 먹을 수 없는 떫은 감으로 구분된다. 우리 나라의 남부지역에서는 단감이, 중북부에서는 떫은 감이 재배되고 있다. 식물분류학적으로 보면 감은 단일종이나 변이의 폭이 심하여 우리 나라에 자생하는 감의 원생종 수만 하더라도 200 여가지가 넘으며 과실의 형태와 크기, 맛에 있어서 매우 다양하다.

단감은 가격이 높기 때문에 시설재배나 밭에서 재배되기도 하지만 연시나 곶감으로 소비되는 대부분의 떫은 감은 산비탈이나 마을 내에서 재배되며 수확만 하면 여러 형태로 소비할 수 있다. 단감은 생과로 직접 소비되지만 떫은 감은 떫은 맛을 제거한 후 연시로 소비되거나 껍질을 제거하여 장기 보관이 가능한 곶감으로 소비되는 것이 일반적이었다. 최근에는 감을 발효시켜 감식초를 생산하는 기술이 개발되어 감식초가 조미료로서 이용되거나 하고 건강음료나 건강식품으로 소비되고 있다. 감은 전북의 완주군이나 순창군, 충북 영동, 경북 상주군, 경남 함안군이나 산청군과 같은 집산지를 중심으로 곶감이나 감식초로 조제되어 농가의 소득원으로서 한 몫을 하고 있다.

곶감이나 홍시, 감식초의 원료로 이용되는 떫은 감은 수세가 강하고 병해충도 적어 다른 과일과 달리 특별한 농작업이 필요 없이 수확하여 소비되는 과일로서 농약이나 비료를 거의 투입하지 않기 때문에 무공해 식품으로서 인기가 높다. 재배에 비용이나 노력이 들지 않고 단지 수확만 하면 여러 형태로 소비될 수 있는 소중한 자원이지만 농촌 노동력의 노령화와 양적인 감소는 감을

수확하지 못하고 그대로 방치하는 경우가 많은 실정이다.

감은 인력 수확에 의존하고 있으나 감나무의 70% 이상이 산간지에 식재되어 있어 수확하기가 매우 어렵다. 또한 감나무는 다른 과수와 달리 가지가 약하여 쉽게 꺾이기 때문에 나무에 올라갈 수 없고, 밤과 대추와 같이 흔들거나 장대 등으로 쉽게 떨어뜨릴 수도 없으며 특히 감꼭지의 길이가 매우 짧아 가위로 수확하기도 어렵기 때문에 인력작업시 작업능율이 매우 낮다. 또한 높은 위치에 있는 감을 사다리나 불안정한 장치를 이용하여 수확하기 때문에 낙상의 우려가 있을 뿐만 아니라 작업자세도 매우 나쁜 경우가 많다.

우리 나라에서 감은 재배면적으로 볼 때 두 번째이며 주요 과수의 하나로 확실히 자리잡고 있다. 감은 주로 경사지에 재배되며 진영을 중심으로한 우리나라 남부지역에서는 단감이, 중부 지방에서는 떫은 감이 재배되고 있는데 대부분의 전작과 과수재배와 마찬가지로 농작업의 대부분은 인력에 의존하거나 부분적으로 동력을 이용하는 수준에 머물러 있다.

단감은 주로 단감 과수 전업농에 의해 재배되고 있으며 가격이 비싸기 때문에 그 동안 수출 비율이 높은 과수였다. 단감의 육종과 재배 기술이 가장 발달한 나라는 일본이기 때문에 일본으로부터의 기술 도입이 많은 실정이다. 최근에 단감의 재배 면적이 급증하고 수출이 상대적으로 줄어들면서 단감의 가격이 급락하는 상황이 전개되고 있다. 이것은 다른 농작물과 마찬가지로 단감도 농산물 수입 개방의 영향을 받고 있을 뿐만 아니라, 감 재배면적이 크게 증가한데 비하여 농촌노임이 비싸기 때문에 현재와 같은 재배기술과 기계화 수준으로는 앞으로 국제 경쟁력은 더욱 떨어질 수밖에 없다는 것을 나타내는 것이다. 국제적인 경쟁에서 살아 남기 위해서는 단감의 고품질화와 함께 생산비를 줄일 수 있는 기계화를 이루어야할 것이다.

감 재배가 기계화되지 못하는 주된 이유는 우리 나라의 농업기계화가 수도작 위주로 진행되어 왔기 때문이다. 한편 주로 경사지에 조성되어 있는 단감 과수원에서 사용할 수 있는 경사지용 기계개발이 기술적으로 어려운 것도 중

요한 이유중의 하나이다. 단감 재배에서 노동력이 가장 많이 드는 작업은 수확 작업으로서 전체 소요 노동력의 20% 정도를 차지하며 다음이 10% 정도인 선별 포장 작업이다. 현재 선별 기계는 많이 보급된 편이나 포장과 수확작업은 완전 인력에 의존하고 있다. 특히 수확의 기계화는 모든 과수에서와 마찬가지로 기술적으로 매우 어렵다. 특히 단감은 작업자가 손으로 수확하기도 어려운 실정이다. 단감은 매우 밀집하여 결과를 형성하는데 이로 인하여 지나친 경우에는 가지가 과일의 무게를 이기지 못하고 부러지는 일도 흔히 있다. 이렇게 밀집하여 매달려 있는 단감은 채과하기도 매우 어렵다. 더욱이 단감의 꼭지는 매우 짧기 때문에 채과용 가위를 조심스럽게 다루지 않으면 과일에 상처를 주게 된다. 아울러 단감은 수고가 높고 결과의 위치도 높다. 따라서 높은 위치에 있는 과일의 채과를 포기하는 량이 전체의 10% 정도로 추산되고 있다.

따라서 단감의 수확을 위해서는 위험하게 나무에 오르지 않고 전량 수확할 수 있도록 기계화의 방향을 설정해야 한다. 또 단감 과수원이 주로 경사지에 조성되어 있기 때문에 개발될 기께는 경사지 적응이 좋아야 한다.

본 연구는 단감 주산단지에서 이용 가능하도록 경사 15도 정도를 자동 수평조정하고 고도를 조절할 수 있는 감수확용 차량과 작업자의 손이 미치지 않는 감을 채과하기 위한 부속기계를 개발하는 것을 목표로 하였다. 이러한 차량과 부속기계가 개발되면 수확작업 뿐만 아니라 전정작업 등에도 활용될 수 있을 것이다. 또한 수확용 차량은 과수원내에서의 운반 작업에도 활용될 수 있을 것이다.

제 2 절 연구사

1. 감의 특징

감은 진과로서 외과피가 최외층으로부터 각피-표피세포-아표피세포-석세포로 이루어져 있고, 중과피는 과육부분으로 유조직으로 되어 있으며 떫은 맛을

내는 탄닌세포가 산재되어 있다 (그림 1-1 참조). 내과피는 종자를 감싸고 있는 반투명한 조직으로서 심실벽이 된다. 과심에는 많은 유관속과 탄닌세포가 발달되어 있으며 이를 중심으로 8개의 심실(씨방)이 있다. 무핵품종을 제외하고 일반적으로 씨가 없거나 적은 과일은 낙과가 심하고 과실의 배꼽부위(果頂部)가 오목하게 들어가며 과실크기도 작고 과형이 한쪽으로 이그러진다. 또한 서촌조생과 같은 불완전단감은 4개 이상의 종자가 고루 있지 않으면 탈삽이 불완전하다 (김용석외, 1990).

감의 외부형태의 특징으로는 꽃받침이 특이하게 발달되어 있으며 이 꽃받침은 과실의 결실·비대·저장 등에 중요한 영향을 미친다. 감의 꽃받침은 4개로 이루어지고 어린 과실을 보호하며 과실의 호흡과 증산을 대행하고, 과실에 양분을 공급하여 과실을 비대하게 한다. 감은 꽃받침이 다른 과일에 비해 발달되었고 꽃받침 자루 또한 매우 튼튼하기 때문에 감의 수확방법에 있어서 여러 가지 특징을 갖는다.

감나무의 형태는 품종의 특성에 따라 이상적인 수형이 정해지나 일반적으로 말하면 그림 1-2와 같이 4개의 형태로 구분할 수 있다. 그 특징을 살펴보면 개심자연형(open center natural form)은 배상형의 단점을 개선한 것으로 개장성 과수에 적합한 형태이다. 원줄기에 2-4개의 원가지를 배치하되 가지간에 15cm 정도의 간격을 두어 바퀴살가지가 되는 것을 피하고 원가지를 곧게 비스듬하게 키워 배상형 보다 입체적으로 키운다.

배상형(개심형, vase form)은 짧은 원줄기에 3-4개의 원가지를 거의 동일한 위치에서 발생시켜잔 모양으로 만든 것으로 수관내부에 광투과가 좋고, 수고가 낮아 관리가 편리하지만 바퀴살가지가 되므로 찢어지기 쉽고 결과부위가 평면적으로 되어 수량이 적고 기계화에 불리하다.

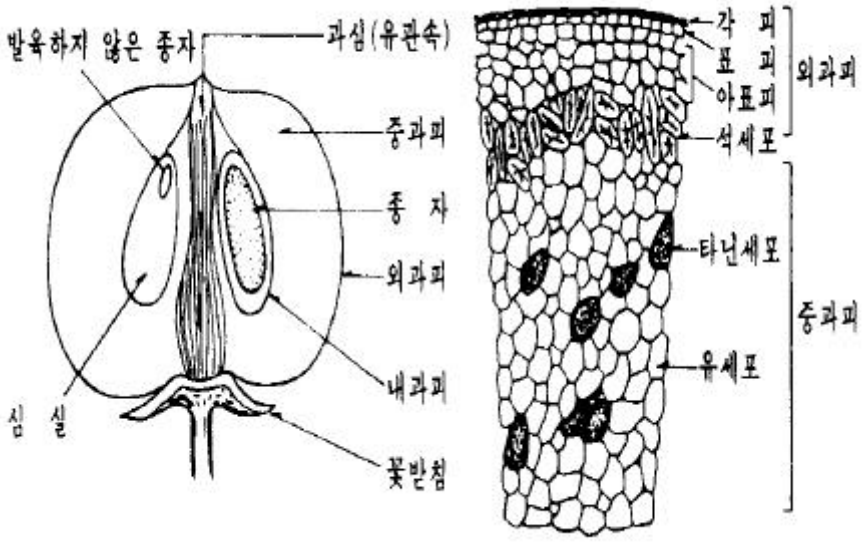
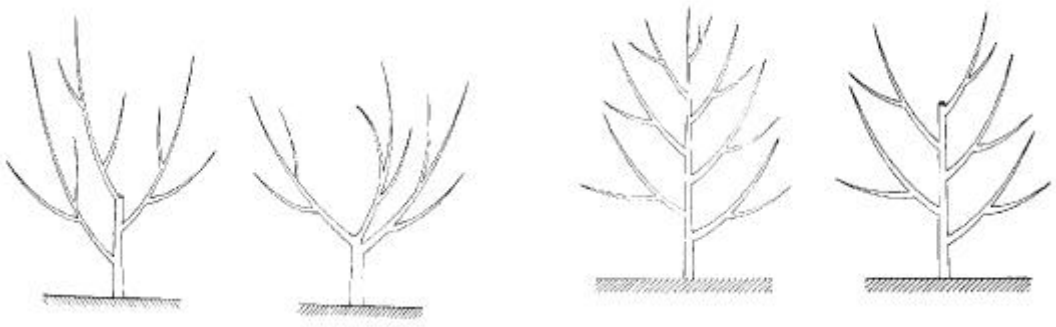


그림 1-5. 감 열매의 구조

주간형(원추형, central leader type)은 과수를 방임하여 키울 때의 형태로서 원추형태가 된다. 초기에 수관확대가 빨라 수량이 많지만 수령이 증가함에 따라 윗쪽 세력이 강해지고 아랫쪽이 광투과가 불량하여 과실이 불량하게 열린다. 왜성 과수에서만 이용되며 일부 변형된 형태(방추형, 세장방추형, 주간피라밋형)이 있다.

변칙주간형(modified leader type)은 주간형의 단점인 높은 수고와 수관내부의 광부족을 시정한 것으로 수관의 머리부를 제거하여 수고가 낮아지고 수관내부에 햇볕의 투과를 좋게하며 상부와 하부의 세력균형을 이루게 하는 것으로 초기에는 주간형으로 줄기를 연장시키다가 적당한 수의 원가지가 형성되었을 때, 원줄기를 억제하고 원가지의 발달을 촉진하여 수폭을 넓히고 원가지가 완성되면 주간을 제거하여 수형을 완성시킨다.



(a) 개심자연형 (b) 배상형(개심형) (c)주간형(원추형) (d) 변칙주간형

그림 1-2. 감나무의 재배 형태

2. 국내 기술현황

농업기계화연구소 (1995)에서는 진동을 이용하여 대추나 밤을 수확할 수 있는 기계를 개발하였으며 현재 보급중이나 이러한 수확방법은 감에 심각한 손상을 주기 때문에 수확된 감의 품질저하는 물론 저장 중의 품질 손상 등을 초래하므로 감 수확에의 적용은 불가능할 것으로 판단된다.

장 등(1995)은 로봇 팔을 개발하여 사과를 수확할 수 있음을 실증하였다. 이 기계에는 컴퓨터 시각장치가 부착되어 숙과를 선별하여 잡아당기는 방식에 의하여 사과를 수확하였음. 이 방식은 감에 적용될 수 있지만 감나무는 일반적으로 사과에 비해 수고가 높고, 과수원처럼 집중재배되지 않는다는 점 등이 적용을 어렵게 하고 있으며 사과수확기도 실용화단계가 아닌 개발초기 단계이므로 이를 원용하기 힘들고 개당 가치로 보면 사과에 비해 감이 값싸기 때문에 고성능 로봇의 적용은 현실적으로 어려움이 있다. 강 등(1994)은 인력에 완전히 의존하고 있는 잣 수확의 기계화를 위하여 잣나무의 가지를 전단가위를 이용, 잘라내는 기계수확 방법을 선정하고, 그러한 기계의 개발을 위한 기초자료로서, 잣나무 가지의 기초 물성 등을 측정하였음. 후속 연구결과의 미발표로 미

루어 실제 수확기계의 제작은 현재까지 이루어지지 않은 것으로 추정된다. 이종호, 윤진하, 이중용(1992)는 우리 나라의 고추재배 기술과 고추재배지의 특성을 밝히고 기계화에 있어서 필요한 전제조건과 고추기계수확의 타당성을 조사, 발표하였다. 이종호, 박승제, 김철수, 이중용, 김용현(1993)은 우리나라에서 재배되는 고추와 고추열매의 물리적 성질과 특성을 조사하고, 이중 나선원통을 기본으로 하는 고추 탈실장치의 크기설정과 적정회전속도, 고추대의 이송속도 등에 관한 기초실험을 수행하였다. 이중용(1993)은 미국의 고추수확기 관련 기술과 고추관련사업의 현황을 조사하여 보고하였다. 이종호, 이중용(1994)은 국내의 원예작물 수확기의 생산, 연구현황을 소개하고, 외국에서 개발된 예와 배경에 대하여 분석하였다. 우 등 (1994)은 감을 이용한 다양한 제품의 개발 가능성을 조사하기 위해 곶감주의 제조에 대한 연구를 수행하였음. 곶감주의 개발 가능성을 검토하기 위해 효모를 이용하여 곶감 현탁액의 발효과정 중 당 함량의 변화, 유기산 함량의 변화 및 알코올류 들의 생성변화가 관찰되어 곶감주 개발을 위한 기초자료로 제시되었다. 김 등 (1995)은 곶감 가공용으로 부적합한 떫은 감들의 활용을 위하여 이들을 원료로 하는 감장아찌의 최적 제조조건에 대해 연구하였음. 제조된 감장아찌의 품질을 판정하기 위해 색도, 경도는 객관적으로 측정되었으며, 기호도, 색깔, 질감, 향미 및 짠맛에 대한 판정은 검사원에 의한 관능검사를 이용, 실시되었다.

제 3 절 연구 개발의 내용 및 범위

구 분	연 구 개 발 목 표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (1996)	◆ 감수확용 차량 개념설계 ◆ 감수확용 차량의 작업위치제어부 개발	▶ 인력수확의 작업능율 분석과 문제점 도출 ▶ 감나무 수형 물리적 성질 측정, 식재실태 조사 ▶ 수확기계의 개발방향 설정 ▶ 작업위치제어부의 개발과 시험운전
	◆ 감나무와 감에 대한 물성조사 ◆ 감수확방식의 조사 및 비교 ◆ 감수확용 매니풀레이터의 시작기 개발 및 평가	▶ 감과 결과지의 강도, 경도, 크기 등에 대한 기초조사 ▶ 수확작업시 감의 손상 원인 구명 ▶ 과일 수확방식의 비교와 감수확에 적용성 평가 ▶ 머니퓰레이터 개발방향 설정 및 1차 시작기 개발 평가
2차 년도 (1997)	◆ 작업위치제어부의 개선 ◆ 수확된 감을 전달하는 장치 개발 ◆ 1차 시작기의 포장 실험 및 평가	▶ 1차년 개발품의 평가 결과를 반영하여 위치제어의 범위 및 속도, 안전장치의 보강 ▶ 감을 전달하는 방식 비교 및 개발 ▶ 1차 시작기의 제작과 포장 실험
	◆ 감에 대한 물성조사 ◆ 감수확용 매니풀레이터의 시작기 개발 및 평가	▶ 감의 물리적 손상의 문턱치 설정 ▶ 감수확용 매니퓰레이터의 2차 시작품 ▶ 감수확용 매니퓰레이터의 포장 실험
3차 년도 (1998)	◆ 감 수확기계의 경량화와 경사지 적응성 개선 ◆ 감 수확용 차량 2차 시작품 개발 및 최종 성능평가 ◆ 감 수확기계의 최종 시제품 설계	▶ 감 수확용 차량의 강도 및 안정도 해석 후 재설계 ▶ 감 수확용 차량 2차 시작품 개발 ▶ 최종 성능실험 및 평가 ▶ 감 수확기계 설계 제작도 완성
	◆ 기계 수확 감의 작업능율 및 경제성 분석 ◆ 머니퓰레이터 3차 시작품 개발 및 성능평가	▶ 기계수확 작업 방법의 확립 및 작업능율, 경제성 분석 ▶ 3차 시작품의 설계, 성능 평가

제 2 장 단감 재배 기계화를 위한 자료 분석

제 1 절 감 재배 기계화의 방향

감 재배용 기계를 이용하기 위해서는 적절한 작업로를 확보하여야 한다. 또한 기계가 선회하기에 적당한 범위내의 경사도를 가져야 한다. 그림 2-1은 경사지에서 작업로를 확보하는 방안을 경사도 별로 표시한 것이다.

감재배에 있어 가지치기는 노동력을 많이 필요로 하는 한편 작물재배에 대한 많은 지식을 요구하기 때문에 기계화된 작업을 수행하기 힘들다. 많은 노동력이 필요하고 높은 기술수준을 요구하지 않는 작업은 수확작업이다. 일반적으로 과일 수확은 과일의 관성량을 이용하여 진동으로 떨어뜨리는 방법(진동식, shaker)과 꼭지(열매자루)를 절단하는 방법, 과일을 받쳐들고 위로 젖혀 따는 방법 등이 있다.

Ryall 과 Liption(1974)은 과일 수확이 기계화되지 못한 이유는 1) 열매의 물리적 손상, 2) 열매의 숙도, 크기 및 색택에 의한 선별적 수확, 3) 식물체로부터 열매의 분리, 4) 식물체를 흔들기, 두드리기, 강한 바람(air-blast)으로부터 보호, 5) 나뭇잎이나 잔가지와 같은 불순물의 분리, 6) 미숙과의 수확, 7) 수확산물을 가공 또는 포장하는 곳까지 운반 등의 어려움을 들었다. 이러한 많은 제약으로 인하여 가공용 사과나 체리수확에 기계가 이용될 뿐 대부분의 경우에는 실용화되지 못하고 있다.

현재 개발되어 있는 과일수확기는 다관절 로봇 팔 외에, shake-and-catch unit, high-velocity air stream unit, shake or knock unit 등이 있으며 과일을 충격없이 받아 모으는 장치로는 flat roll-out canva, inflatable air bag, sloping frames, catch frames with deceleration strip 등이 있다.

수확보조기구(harvest aids)에는 긴 장대에 망태를 단 것에서부터, 여러 명이 여러 층에서 작업할 수 있도록 여러 층의 작업대를 갖춘 바퀴형에서부터 크레인처럼 수평과 수직 위치로 자유롭게 이동할 수 있는 장치, 유압에 의한 장치

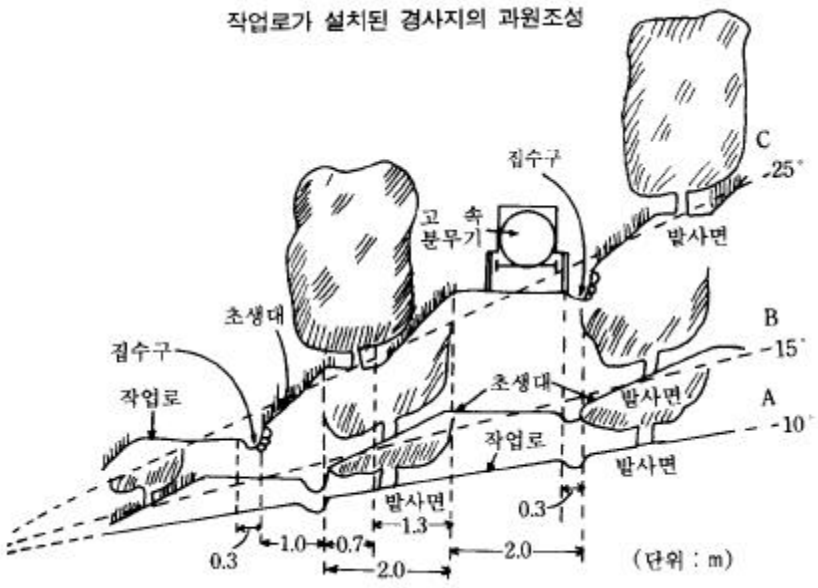


그림 2-1. 경사지에서 과수원의 조성

등 다양하나 고정비가 비싸고 능률이 기계의 가격만큼 향상되는지는 불명하다. 가장 효율적인 것은 고소작업차에 conveyer를 장착하여 pallet bin까지 과일이 운반되도록 한 것으로 작업속도를 30-50% 빠르게 한다. 한편 과일 수확기계 개발에는 농공학자 뿐만 아니라 원예학자, 육종가, 생물생리학자 등의 참여가 필요하다.

감을 기계 수확하는 방법을 찾기 위하여 문헌에서 인력으로 감 수확하는 요령을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 과실은 저온기인 아침부터 오전 10시 또는 저녁 무렵에 수확해야 품온이 오르지 않으므로 저장에 유리하다. 하루 종일 저온인 시기는 아무 때나 좋다. 더운 시간에 수확한 과일은 반드시 예냉 후에 저장해야 한다 (김정호 외, 1987).
2. 과실의 손상을 방지하기 위하여 하나씩 딴다 (김정호 외, 1987).
3. 과실 꼭지가 빠지지 않도록 과실을 비틀면서 위로 올려 당겨 딴다 (김정호

외, 1987).

4. 연한 과일은 손가락 자국이 나지 않도록 잡는 면적을 최대로 하고 부드럽게 쥐고 딴다(김정호 외, 1987).
5. 과실은 절대로 떨어뜨리거나 충격을 가해서는 안 된다. 연한 과일은 타박상을 입고 단단한 과일(감, 배) 등은 과피에 금이 가서 흑변된다 (김정호 외, 1987).
6. 과실의 꼭지가 단단한 경우 과실이 꼭지에 손상을 입지 않도록 과일 꼭지를 짧게 절단해 수확해야 한다 (김용석 외, 1990).
7. 과일은 같은 나무에서도 수관에서의 위치에 따라 숙도가 다르므로 2-3회 나누어 수확하며 조생종은 여러 차례로 나누어 수확하는 것이 좋다 (류진춘외, 1996)
8. 수확시기를 잘 지켜야 한다. 단감은 일찍 수확하면 색택이 나쁘고 단맛이 떨어지며 늦게 수확하면 흑변오염이나 연숙과 발생의 우려가 있다. 떫은감은 소비형태에 따라서 탈삽방법에 따라서 수확시기를 달리 해야 한다. 이산화탄소 탈삽은 70%착색상태에서 수확하나 알콜 탈삽은 충분히 착색되도록 기다려도 되며 곶감은 조기수확한 것은 단맛이 떨어지고 육질이 나쁘며 과숙한 것은 연화되어 주름이 많아져 상품성이 떨어진다 (안창영 외, 1991).
9. 감 수확시는 쾌청한 날 오전이나 늦은 오후에 실시하는 것이 좋으며 반드시 과피가 건조한 상태에서 수확해야 한다. (과분이 떨어지면 신선도와 저장에 지장을 초래하고 과피가 젖은 경우에는 흑변하기 쉽다) 오후에는 석양 빛의 영향으로 과실의 색을 정확히 판단하기 어렵다 (안창영 외, 1991).
10. 생과용 감을 수확할 때는 반드시 장갑을 착용하고 과피에 손상이 생기지 않도록 둥근 수확가위를 사용하여 과경을 짧게 자른다. 곶감용 감은 가공시 편의를 위해 꼭지를 길게 남기고 다소 거칠게 다루어도 좋다 (안창영 외, 1991).
11. 수확시 상자의 안쪽에는 종이를 대서 과피에 손상이 생기지 않도록 하고

들어낼 때에는 반드시 손으로 하나씩 들어낸다 (안창영 외, 1991).

13. 충실한 단감가지는 이듬해 결과모지가 되므로 적과가위를 이용하여 과실을 하나씩 따는 것이 바람직하다 (김용석외, 1990).

제 2 절 감 재배의 기계화 현황과 전망

이승규외 14인(1996)은 작목별 작업단계별 기계화 요구도 순위를 조사하였는데 과수와 채소류에서 대개의 경우 수확이 요구도가 가장 높았으며 부가가치가 높은 화훼나 시설원예류에서는 포장과 선별 작업의 기계화 요구도가 높았다. 그 다음으로는 병해충방제가 제시되고 있다. 그가 제시한 기계화 요구도 순위를 주요작목에 한하여 요약하면 표 2-1과 같다.

표 2-1 작목별 작업단계별 기계화 요구도의 순위

작 목	총노동력 투하시간 (hr/ha)	기계화 요구도 순위				
		1	2	3	4	5
장 미	13,097	수확	선별,포장	병해충방제	-	-
시설토마토	7,323	수확	선별,포장	-	-	-
시설상추	4,859	수확	선별,포장	정식	-	-
노지고추	2,487	수확	육묘	정식	피복복토	-
양파	1,777	정식	수확	중경제초	선별,포장	피복복토
사과	3,401	수확	적과	전정전지	병해충방제	-
감귤	2,117	수확	병해충방제	-	-	-
배	3,798	수확	봉지씌우기	전정전지	적과	선별포장
단감	2,067	수확	전정전지	-	-	-

자료: 이승규 외 14인. 1996. p.211

이승규 외 14인(1996)은 과수 중에서 사과, 배, 귤, 단감 등에 대한 과수 기계

화 모형으로 표 2-2와 같은 기계화 체계를 제시하였다. 이들은 로봇의 실용화를 앞으로 10여년 후로 내다보고 있으며 로봇의 효율이 매우 높으나 가격은 고가로 가정하고 있다. 한편 고소작업차의 실용화를 함께 제시하고 있는데 현재 우리 나라에는 적합한 고소작업차가 없기 때문에 단기적 즉 2,000년 이내에 개발해야 할 기종으로 제시하였다(이승규외 14인, 1996. p. 240). 로봇이 작업하지 않는한 수확작업은 도구를 이용한 인력수확 작업 방식이 활용될 것으로 전망하고 있다. 이승규외 14인(1996)은 일본에서 개발 중인 고소작업차의 사진(그림2-2 참조)을 보고하였는데 사진에 나타난 구조를 보면 주행부와 엔진이 지면에 있고 고소작업틀에 운전자 좌석과 조향 및 기타 조작 장치가 설치되어 있으며 작업틀은 측면으로 연장가능하여 과수에 접근하도록 되어 있다. 작업틀을 승강시키는 부분은 핀을 이용한 X형 프레임에 유압실린더가 부착된 평행정규 mechanism 으로 되어 있다. 바퀴는 전륜은 단륜으로 되어 있으나 후륜은 복륜으로 되어 있으며 타이어 크기는 50cm 정도로 경운기 바퀴정도로 판단된다. 엔진은 3-5 마력 급으로 추정되며 경사지 주행을 위한 배려는 발견할 수 없다. 또한 작업틀에서 연장되어 나온 작업대를 조절하는 특별한 제어장치는 눈에 띄지 않는다. 고소작업차라고 하지만 최대 작업틀 높이는 2.5m 정도인 것으로 알려져 있다.

일본에서는 과수생산시스템을 과수원 특성에 따라 ①급경사지용 monorail system ②급경사지용 aerial carrier system ③완경사지용 무한궤도 소형작업차 system ④평탄지용 시설형 system ⑤robot system ⑥사과과수원용 차륜식 소형 작업차 시스템 ⑦straddle 작업차 system으로 구분하여 문제 해결에 접근하고 있다. 그림 2-3은 다양한 과수원용 작업차량의 예를 보여준다.

일본(일본농업기계학회, 1993)의 경우 경사도에 따른 과수원 경영특성을 요약하면 표2-3과 같다. 일본과 우리 나라의 지형과 지세가 유사하다고 가정하면 우리 나라에서도 획일적인 기계화 시스템보다는 과수원의 특성에 따른 다

표 2-2 과수원예(사과, 배, 귤, 단감)의 기계화 모형

작업명	작업수단			노동투하시간(ha/hr)		
	모형 I [1]	모형 II [2]	모형 III [3]	모형 I	모형 II	모형 III
굴착	관리기+구굴기	트랙터+구굴기	트랙터+구굴기	5.0	3.0	3.0
경운제초	관리기+중경제초기	트랙터+중경제초기	트랙터+중경제초기	2.8	1.5	1.5
식재	인력	트랙터+혈공기	트랙터+식재기	10.0	5.0	2.0
전정	인력가위	고소작업차+인력가위	고소작업차+동력가위	27.2	20.0	10.0
병해충 방제	동력분무기	스피드스프레이어	무인 방제기	41.0	6.6	1.0
관수	양수기	스프링클러	점적관수시설	3.0	0.5	0
적과	인력	인력	농용로봇	53.8	53.8	4.0
봉지씌우기	인력	인력	농용로봇	29.8	29.8	29.8
수확	인력	고소작업차+인력	농용로봇	61.9	40.0	10.0
운반	경운기+트레일러	트랙터+트레일러	트랙터+트레일러	10.3	1.5	0.5
선별	중량선별기	색채선별기	색채선별기	15.0	5.0	5.0
합계	-	-	-	259.8	166.7	66.8

자료: 이승규 외 14인. 1996. p.211

1) 중소규모 농가의 2000년 전후 기계화 모형

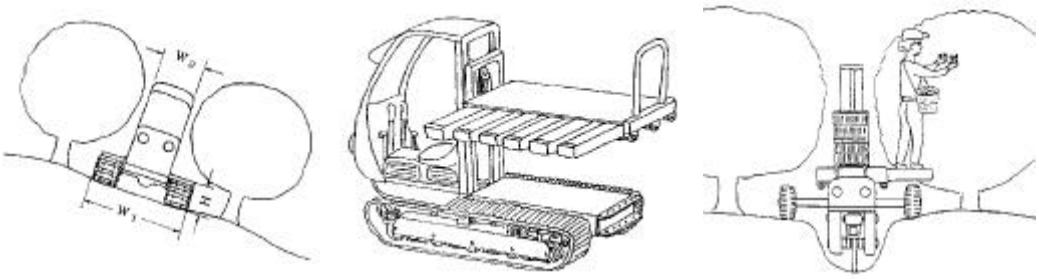
2) 대규모 농가의 2000년 전후 기계화 모형

3) 대규모 농가 또는 공동이용조직의 2010년 전후 선진기계화 모형

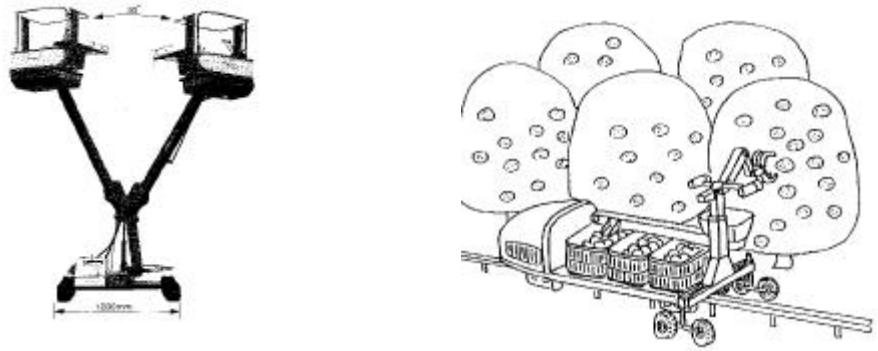
(a) 작업광경

(b) 다른 모습

그림 2-2. 일본 농업기계연구소의 시작기



(a) 과수원용 무한궤도차 (b) 무한궤도형 고소작업차 (c) straddle vehicle



(d) 고소작업차 (e) 로봇 수확기

그림 2-3. 과수원용 작업차량의 예

양한 시스템이 필요하며 기계화가 용이한 형태부터 우선 순위를 부여하여 기계를 개발하고 문제점을 보완하는 방식으로 접근해야 할 것이다. 표에서 보듯이 평탄지에 비해 경사지가 불리하다는 사실이 노동시간에서 잘 드러나고 있다. 그러나 생산량으로 보면 오히려 경사지가 평탄지에 비해 유리하게 나타나는데 이러한 점은 우리 나라에서도 파악해 볼 필요가 있다. 한편 현재 선진국이나 우리 나라에서 사용되고 있는 과수원용 수공구는 큰 차이가 없으며 우리 나라에서는 대부분 선진국의 제품을 수입하여 사용하거나 일부 국산화

표 2-3 경사도별 10a당 감귤생산의 노동시간(일본)

구분	농가수(호)	생산량(kg)	노동시간(hr)	동력시간(hr)
급경사	23	2,769	282	27
완경사	17	2,350	236	23
평탄	6	1,975	151	20
혼합	12	2,627	296	29
평균	58	2,534	258	25

자료: 일본농업기계학회. 1993. 혁신기술에 의한 농업기계화 시스템

그림 2-4. 과수원용 수공구의 예

되어 있는 실정이다. 대표적인 과수원용 수공구를 그림2-4에 나타내었다. 이 중에서 가위류는 인력용과 동력용이 있는데 전기, 공기압, 엔진 등을 이용하며 경량재로 만들지만 길이가 길기 때문에 작업이 힘들다. 적과 가위나 채과 가위는 전정가위와 달리 칼날이 직선으로 되어 있고 악력으로 누르며 가위에 부착된 스프링에 의해 펴지는 형태로 되어 있다 (그림 2-5 참조).

그림 2-5. 적과 가위와 채과 가위

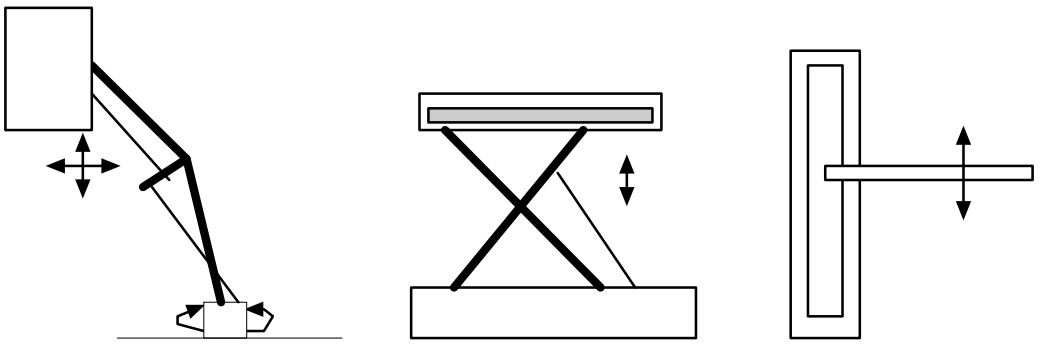
제 3 절 감수확용 경사지 주행 고가작업차의 개발방향과 전략

감 재배에 있어 가지치기와 수확작업은 사다리나 고가작업차 없이는 불가능하다. 가장 필요한 기계로는 경사지를 안전하게 주행할 수 있는 기계와 수확을 보조할 수 있는 기계나 장치인 것으로 파악되었다. 단감 품종의 약 80%를 차지하는 부유는 결과특성상 가지절단 방식의 기계수확은 어렵기 때문에 가지절단 방식이 아닌 다른 방식을 모색해 볼 필요가 있다. 감 수확기는 본체부와 수확용 도구로 구분하여 개발한다. 기존의 수확용 도구는 전정가위에 모터나 압축공기를 이용하도록 되어 있으며 수확물을 잡을 수 있는 장치도 있다. 수확용 도구를 이용한 수확작업을 생력화하려면 수확과정과 수확원리에 대한 보다 상세한 연구가 필요하다. 경사지용 기계의 본체부는 여러 개의 유압실린더를 이용한 다관절-다차원-고소작업차이거나 유압실린더가 필요없는 단순한 승강방식, 또는 하나의 유압실린더를 이용하는 방식 등을 고려할 수 있다. 본체부에

대해 고려되어야할 점은 경사지 적응성과 작업대의 측면 이동량 조절 가능성 등이다.

1. 고소작업차 승강장치

그림 2-6은 고소작업차의 승강부 형식과 특징을 설명한 그림이다. 고소작업차의 승강부 형식을 살펴보면 아래와 같이 요약된다. 다음의 3가지 방식 모두 적용이 가능하지만 기계의 가격은 (a) > (b) > (c)순이 될 것으로 판단되며 기계의 성능과 조작



선회가능
기체안정도 낮음
수직이동가능
유압실린더 2개, 모터1개
유압에 의한 수평위치조정
본체 운전자 별도 필요
(a)

선회불가
기체 안정도 높음
수직이동가능
유압실린더 1개
수평위치 변화 자유로움
본체 운전자 불필요
(b)

선회불가
기체안정도 높음
수직이동가능
체인-스프로켓
수평위치 자유로움
본체운전자 별도 필요
(c)

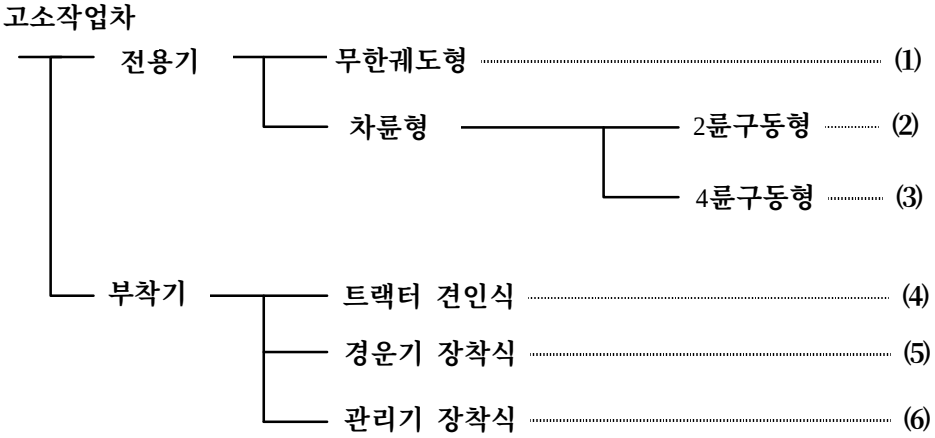
그림 2-6. 고소작업차의 승강부 형식 비교

의 간편성은 (a)=(b) > (c)이 될 것으로 판단된다. (a)는 정확한 위치선정은 가능하나 작업자의 수평방향 이동이 제한되는 단점이 있으며 구조상 강도가 큰

프레임이 필요할 것으로 판단된다. (b)의 경우 운전석을 상부에 있는 작업틀에 장착시킬 경우에 본체운전자가 필요 없게 되며 작업틀에 적절한 보조장치만 붙인다면 작업틀을 쉽게 연장시킬 수 있는 장점이 있다.

2. 고소작업차의 주행방식

고소작업차의 주행부로서는 여러 가지를 설정할 수 있다. 첫째는 전용기이고 둘째는 부착기 형태이다. 과수원의 과수간 거리는 상당하지만 가지가 무성하여 실제로는 주행공간 확보가 여의치 못한 실정이다. 또한 주행방식은 무한궤도형과 차륜형을 설정할 수 있으며 구동방식은 2륜 구동형과 4륜 구동형을 설정할 수 있다.



고소작업차의 주행방식을 비교하면 (4)의 트랙터 견인식은 트레일러에 승강부를 설치한 것으로 원동기가 존재하기 때문에 길이가 길고 폭이 대체로 넓게 된다.

따라서 과수원에서 주농로에서 작업은 용이하지만 과수사이에서 선회나 수확작업을 수행하기에는 부적합하다. (5)경운기 장착식은 보조륜을 이용하여 별도의 차대를 부착해야 하며, 트레일러를 이용하는 경우에도 승강부의

안전성을 위해서는 기존의 너클 핀에 의한 연결보다는 강체로 연결시킬 필요가 있고 이런 경우에 후륜구동을 시키지 않는다면 차량의 주행성이 크게 떨어질 것이다. (6)관리기 장착식은 경운기와 마찬가지로 강체로 연결된 별도의 차대가 필요하다. 그러나 주행성은 (5)에 비해 양호할 것으로 보인다. 이에 비하여 전용기를 개발하는 경우에 차륜형은 기동성이 양호하나 궤도형은 기동성이 다소 떨어진다. 그러나 (1)의 궤도형은 좁은 공간에서 선회가 가능하기 때문에 차륜형에 비해 과수원 공간에 적응성이 높다. (2)의 2륜구동형은 경사지 주행성이 떨어지고 주행성확보에 필요한 차륜의 직경 때문에 차고가 높아질 우려가 있다. (3)의 4륜구동형은 2가지로 구분할 수 있는데 좌우회전방향 가변형 즉 skidder 구동방식과 일반 4륜구동방식으로 구분되며 모두가 주행성 확보에 유리하지만 기동성에서는 skidder 방식이 가장 유리하다. 고소작업기의 가격을 고려하지 않는다면 (1)과 (3)이 가장 유리하며 부착기 방식으로 개발한다면 핸들의 위치를 바꿀 수 있는 관리기 장착식이 가장 유리할 것이다.

3. 고소작업차의 안정성 확보방안

한편 과수원에서 사용되는 고소작업차는 기체의 안정성이 중요하다. 특히 승강부의 최고 높이를 높이기 위해서는 더욱 그러하다. 기체의 안정성을 확보하는 방안은 대체로 4가지를 들 수 있다. 그림 2-7은 기체의 안정성을 확보하는 4가지 형태의 방법을 나타내고 있다.

(1) 크랭크 형태의 차축과 콘트롤러 : 보행용 이식기에 사용되는 형태로서 차축이 크랭크 축처럼 되어 있어 좌우측 차륜장착부가 상대적인 높이차이를 가질 수 있도록 하고 토오크는 전달할 수 없다. 이 방식에서는 차축의 강도를 보강해야 하고, 차축의 차체에 대한 각변위 변화에 무관하게 동력을 전달할 수 있는 방안이 있어야 한다. 또한 별도의 자동제어 장치가 없다면 인력에 의해 수평을 맞추는 작업이 수행되어야 하는 불편함이 있다. 차륜의 위치

가 경사도에 따라 달라지므로 특정방향으로의 선회는 힘들고 4륜을 채택할 경우 특별한 differential gear가 있어 그 축에서 바퀴로 동력을 전달하거나 skidder 구동방식이 채택되어야만 조향이 가능하다.

(2) 차체와 작업틀이 분리되어 작업틀을 항상 수평으로 유지하는 방식 : 실용화된 경우를 제시할 수는 없으나 근본적인 개념은 차체에 대하여 작업틀이 point 또는 pin 으로 연결되고 2개 또는 4개의 유압실린더에 의해 작업틀의

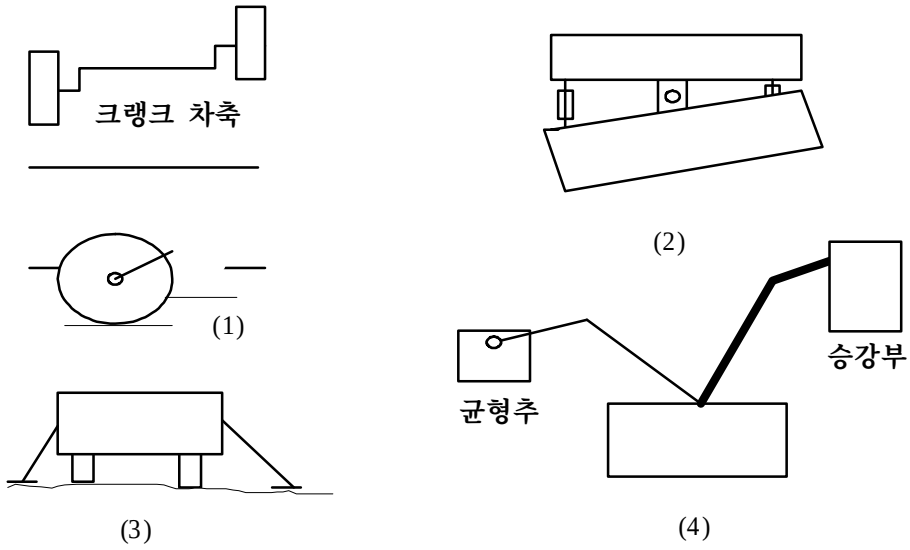


그림 2-7. 경사지용 기계의 원리

수평을 유지하는 방식이다. 기계구조가 복잡해지는 단점이 있으나 경사지 적응성에서는 가장 유리할 것으로 판단된다.

(3) 지지틀 장착 : 차체에 특별한 장치없이 정지하여 고소작업을 수행할 때, 횡전도 방지를 위한 지지틀을 부착한 방식으로 작업중 횡전도 방지는 최소화할 수 있으나 이동중 승강부를 낮추거나 안정에 이상이 없는 위치로 이동해야하는 번거로움이 예상되며 구조 또는 가격면에서는 가장 유리하다.

(4) 균형추방식 : 고소작업부의 위치에 따라 균형추의 위치를 바꾸는 방식으

로 고소작업부의 위치와 지면의 경사도에 연동하여 균형추를 설치해야 한다. 문제는 작업부에 몇 사람이 탑승하느냐에 따라 균형추의 무게가 바뀌거나 균형추의 위치 변화량에 변화를 줄 수 있어야 한다. 완경사지에서는 적용성이 높다고 판단되나 경사도가 심할 경우에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 지면의 경사도에 연동시키는 것은 센서개발과 interfacing에 어려움이 있을 것으로 예상된다.

4. 수확가위와 수확공정의 개선

현재 인력용 수확가위로 감을 수확할 경우에는 아래와 같은 작업공정도에 따라 수확작업이 수행된다. 그림 2-8은 인력 수확시 작업 공정을 나타낸다. 현재 수확작업에서 발생하는 문제점은 1) 과일을 잡고 꼭지를 잘라야 하므로 작업시 몸을 의지하기 힘들다. 특히 먼 곳이나 좌우로 떨어진 곳을 수확할 때에는 자세가 불안정하게 된다. 2) 수확용 과일의 꼭지의 굵기는 4-6mm 이내이다.

그러나 사용하는 가위는 범용가위이므로 필요없이 무겁거나 과일에 상처를 내고 작업자를 쉽게 피로하게 한다. 3) 과일을 따면 임시저장 자루나 상자에 담아야 하며 상자의 크기가 제한되므로 사다리를 오르내려야 한다. 사다리를 오르내리는 것은 작업능률을 낮추는 요인이 된다. 4) 사다리에서 작업하는 것은 몸에 비정상적인 긴장을 일으키므로 쉽게 피로하게 한다.

작업능률 측면에서 보면 수확한 과일을 상자에 담기 위한 팔의 동선이 길기 때문에 어깨를 피곤하게 하여 작업속도를 낮추고 실제로 과일을 옮기는 시간이 길어지게 된다.

구체적인 개선방안은 첫째로, 감의 경우 과중이 300g미만이므로 자르면서 가위에 보지장치가 붙어 있다면 다른 한 손은 가지를 잡을 수 있으므로 작업이 보다 경쾌해질 수 있다. 또한 수확가위의 날 곡선과 날의 굵기 등을 최적화 시킨다면 무게를 줄이고 손목의 피로도를 크게 낮출 수 있을 것이다

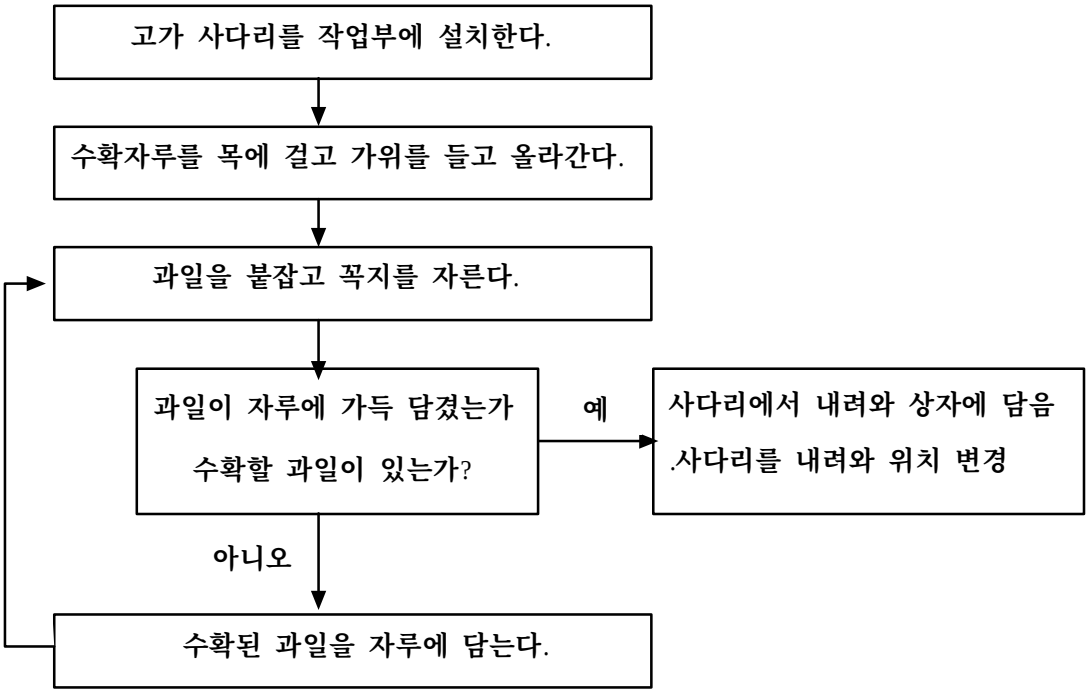


그림 2-8. 인력 수확시 작업공정

제 4 절 결 론

이상에서 우리 나라 감재배의 현황, 농가규모, 경영성, 기계화 요구도, 노동력 투입 등을 통하여 기계화 방향을 검토하였다. 기계를 개발한다는 것은 기존 또는 새롭게 제시될 재배방법과 조화를 이룰 수 있어야 하며, 기계를 제작해서 판매할 의사를 가진 업체가 있어야만 진행될 수 있는 사항이므로 단정적인 결론을 내리기는 힘들지만 우리 나라 감재배에서 가장 필요한 기계는 감 수확과 가지치기에 이용될 수 있는 경사지 주행능력을 갖춘 고가작업차라고 판단된다. 또한 감수확시 작업자의 손이 미치지 않는 위치의 단감 수확 작업효율을 제고할 수 있는 채과용 기계의 개발도 시급하다고 판단된다.

제 3 장　감재배 실태 및 감의 물성 특성

제 1 절　서　언

우리 나라에서 감은 재배면적으로 볼 때 두 번째로서 주요 과수의 하나로 확실히 자리잡고 있다. 감은 주로 경사지에 재배되며 농작업의 대부분이 인력에 의존하거나 부분적으로 동력을 이용하는 수준에 머물러 있다. 단감은 주로 과수 전업농에 의해 재배되고 있으며 고소득원으로서 대부분 수출용으로 재배되고 있다. 단감 품종이나 재배 기술이 가장 발달한 나라는 일본이며 다른 농산물과 유사하게 일본으로부터 기술 수입이 많은 과일이다. 최근에 단감의 재배 면적이 급증하고 수출이 상대적으로 줄어들면서 단감의 가격이 급락하는 상황이 전개되고 있다. 이것은 다른 농작물이나 마찬가지로 단감도 농산물 수입 개방의 영향을 받고 있으며, 감 재배면적이 크게 증가한데 비하여 농촌노임이 비싸기 때문에 현재와 같은 재배기술과 기계화 수준으로는 앞으로 국제 경쟁력은 더욱 떨어질 수밖에 없다는 것을 나타내는 것이다. 국제적인 경쟁에서 살아 남는 길은 단감의 고품질화와 함께 생산비를 줄일 수 있는 기계화를 이루어야만 가능할 수 있다.

본 장에서는 감수확 기계화와 관련이 있는 감재배 실태 및 감의 물성 특성을 구명하고자 한다.

제 2 절　감 과수원의 현황

1. 감의 재배 현황

표 3-1은 사과, 배, 복숭아, 포도, 감귤, 감, 자두 등의 과수별 재배 면적, 생산량, 단당수량, 성과비율, 그리고 면적비율을 나타낸 표이다. 감은 80년대 후반부터는 사과-감귤-포도-복숭아에 이어 5대과수로 인정되다가 이후에도 새로운 유망수종으로 부상되어, 표 3-1에서 보는 바와 같이 1994년부터 재배면적으로 보면 사과 다음으로 2위를 차지하고 있다.

표 3-1 과수별 재배면적, 생산량, 단당수량의 비교 (1994년)

(단위: ha, M/T, kg/10a, %)

	총계	사과	배	복숭아	포도	감귤	감	자두	기타
면적	161,517	52,098	12,649	10,166	19,773	22,233	22,440	2,670	19,488
생산량	1,929,610	616,505	163,729	114,837	211,930	548,961	167,471	20,764	85,413
단당수량	-	1,183	1,294	1,130	1,072	2,469	746	778	510
성과비율	-	59.0	56.5	78.5	60.8	80.7	46.5	81.4	42.3
면적비율	100.1	32.3	7.8	6.3	12.2	13.8	13.9	1.7	12.1

자료: 1995. 농수산통계연보. p.96-99, 114-117.

표 3-2는 최근 감의 연도별 재배면적, 생산량, 그리고 단당수량의 변화를 나타낸 표이다. 표 3-1과 3-2를 종합하여 볼 때 감의 재배면적이 넓으면서도 실제 생산량이 적고 감의 단당수량이 특히 낮은 이유는 단당수량은 전체재배면적을 생산량으로 나누어 구하기 때문이며 재배면적이 급격히 늘고 있는 감의 경우, 성과(fruiting tree)의 비율이 46.5%에 불과하므로 실제 단당수량은 위 표에서 제시한 746kg 보다 높은 1600kg 정도이다. 물론 다른 과수의 경우에도 성과 재배면적 비율을 고려하면 단당수량이 더욱 크게 나타날 것이나 감처럼 큰 차이가 발생하지는 않을 것으로 판단된다. 성과 재배면적을 기준으로 하여 계산한 사과의 단당수량은 2,005, 배는 2,290, 복숭아는 1,439, 포도는 1,763 kg 이다.

표 3-2 감의 연도별 재배면적, 생산량, 단당수량의 변화

(단위: ha, M/T, kg/10a)

	1975	1980	1982	1985	1989	1990	1991	1992	1993	1994
면적	1,300	2,700	5,900	8,300	12,396	13,581	15,076	17,584	19,719	22,440
생산량	5,700	6,000	42,200	63,500	113,403	95,758	109,722	155,111	116,070	167,471
단당수량	438	222	715	765	917	705	728	882	589	746

자료: 농수산통계연보 해당연도

이상에서 살펴본 통계자료에는 단감과 떫은감의 구분이 되어 있지 않으므로 단감과 떫은감의 재배면적을 직접 비교할 수 없다. 단감재배면적만 조사된 1990년 농업총조사를 이용하여 단감과 떫은감의 재배면적을 비교해보면 (표 3-3 참고) 떫은감 재배면적을 1로 하였을 때, 단감 재배면적은 약 1.7로 단감이 주류를 이루고 있음을 알 수 있다.

감의 주산단지를 보면 단감은 경남-전남-경북-전북 순이며 떫은감은 경북-전남-전북-경남의 순으로 나타났다. 감의 주산단지는 기후와 토양 등에 의해서 조성된 것으로서 특히 경남, 전남, 경북이 전국의 70% 이상을 차지한다.

한편 다른 통계자료에 의하면 단감의 재배면적은 다소 다르게 나타나는데 이 자료와 농림수산통계연보를 비교하여 단감과 떫은감의 비중을 살펴보면 표 3-4와 같다. 표에서 보듯이 감 재배면적 증가분은 대부분 단감에 의한 것으로 단감의 비중은 80%에 육박하며 감의 재배면적이 늘어난다면 단감의 비중은 더욱 높아질 것으로 판단된다. 떫은감의 면적을 두 자료에 의해 추정하면 계속 증가하고 있으나 그 증가폭은 작다.

표 3-5는 단감 재배면적 규모별 농가분포를 나타낸 표이다. 단감의 재배면적 규모별 농가분포를 살펴보면 0.1ha 미만의 농가가 매우 많은 것을 알 수 있다. 이는 감이 전문적인 상업생산 목적으로 재배되는 것이 아니라 소규모로 자급

표 3-3 감의 지역별 재배면적 비교

구 분		경남	전남	경북	전북	광주	충남	전국
감[1]	전체	9,503	6,440	4,025	893	515	406	22,440
	전국대비비율	42.3	28.7	17.9	4.0	2.3	1.8	100
	성과비율(%)	52.1	47.5	35.9	33.2	38.4	53.4	46.5
단 감[2]	전체	5,327	1,830	351	131	137	33	7,940
	전국대비비율	67.1	23.0	4.4	1.6	1.7	0.4	100
떫은감[3] (추정)	전체	230	1,936	2003	391	164	204	5,641
	전국대비비율	4.1	34.3	35.5	6.9	2.9	3.6	100

1) 자료: 1995. 농수산통계연보
2) 자료: 1990. 농업총조사
3) 추정방법 : 전국적인 재배면적분포가 1994년이나 1990년이나 같다고 가정하여 1990년의 지역적인 감재배면적을 구한 후에 1990년 자료인 단감재배면적을 빼서 떫은 감 재배면적 분포를 비교함. 따라서 표는 1990년도를 기준으로 한 추정치임.

표 3-4 감 재배 면적중 연도별 단감의 비중 변화

	1990	1991	1992	1993	1994
감재배면적(A)[1]	13,581	15,076	17,584	19,719	22,440
단감재배면적(B)[2]	9,900	11,300	13,500	15,300	17,800
떫은감(A-B)	3,681	3776	4,084	4,419	4,640
B/A (%)	72.9	75.0	76.8	77.6	79.3
단감생산량(천 M/T)	65.7	82.3	118.6	83.5	137.0

1) 자료: 농림수산통계연보 각 연도
2) 노지재배 단감을 말함. 자료: 농촌진흥청. 1995. 주요 작목 영농순기표 p.153

용 수준으로 재배되는 것으로 추정된다. 한편 대규모 재배농가는 경남, 전남에 주로 분포하고 있는데 이 지역에서는 단감을 상업적으로 생산하는 농가가 많다는 것을 의미한다.

단감은 노지재배만이 아니라 시설재배에서도 재배면적이 확대되고 있으나 그 크기는 미미하여 1991년에 1.4ha에서 1994년에 2.4ha로 증가하였으며 생산량도 각각 10.2톤에서 18.5톤으로 전체 단감의 약 0.14% 정도이다.

표 3-5 단감 재배면적 규모별 농가분포

	총농가수	재배면적별 농가수									재배면적 (ha)
		0.1ha 이하	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-3.0	3ha 이상	
경남	15,394	4,127	6,385	2,522	819	700	368	214	140	119	5,327
전남	9,415	4,482	3,419	863	241	176	84	42	20	16	1,830
경북	1,743	645	804	199	46	26	11	6	5	1	351
광주	427	124	193	50	21	15	7	10	5	2	137
전북	487	203	161	69	25	15	8	2	1	3	131
제주	107	11	15	30	15	16	8	7	4	1	75
전국	27,990	9,778	11,187	3,794	1,176	962	493	283	175	142	7,940

자료: 1990 농업총조사

과수의 종류별, 재배규모별 농가분포를 살펴보면 사과, 배, 감귤, 단감은 대규모 과수원에서 재배되고 있음을 알 수 있다. 이 자료는 1990년도 조사로서 1990년과 1994년 사이에만 감의 재배면적이 65%나 증가하였으며, 이러한 증가가 단감을 위주로 이루어졌다는 사실로 미루어 볼 때 소규모 과수원보다는 대규모 과수원이 증가하였기 때문인 것으로 추정할 수 있다.

2. 감나무의 식재 상황 및 수형 특성

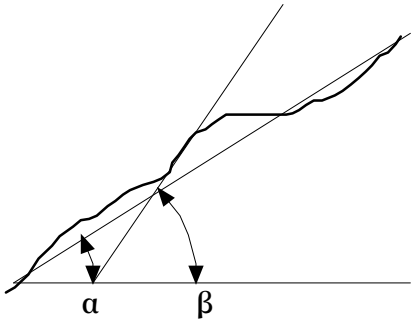
그림 3-1은 과수원의 조성과 수형 특정에 관한 변수들을 도식적으로 나타낸 그림이다. 감나무 과수원의 식재상황으로 기계화에 관련된 사항은 과수원의 경사도와 작업로의 개설여부, 작업로의 폭, 감나무의 조간과 주간거리였다. 과수

원의 평균경사도는 최대 경사각이 나오는 방향에서 각도센서를 이용하여 경사 방향으로 50m 떨어진 곳에 지상 0.5m 높이에 설치된 물체를 관찰할 경우 측정되는 경사각을 말하며 최대 경사각은 부분적인 경사각의 변화를 관찰하여 가장 심한 곳을 측정한 것으로 진영과 장성지방에서 측정한 결과를 종합하여 표로 나타내면 다음 표 3-6과 같다. 표에서 볼 수 있듯이 평지에 조성된 감과수원도 있으나 대부분이 경사지에 조성되어 있었으며 10 15°의 중간정도 경사지에서도 최대 경사각은 부분적으로 30°에 이르는 경우도 있었다.

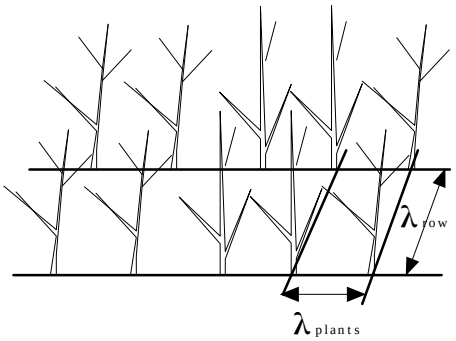
최대경사각이 큰 것은 적당한 주변정리를 통해서 크게 완화될 수 있으며 기계가 보급된다면 최대경사각을 평균경사각에 접근시키려는 농민들의 노력이 있을 것으로 판단되나 현재 상태라면 중간정도 경사지에서도 부분적으로는 기계의 횡전도가 발생할 수 있는 여지가 높다.

여기서 유의할 것은 대체적으로 과수원의 경사도는 10-15도, 최대경사각은 20-25도 정도임을 알 수 있으며 전수조사가 아니기 때문에 이것을 전국적인 평균치로 간주할 수는 없다. 조사된 두 지역간의 과수원 경사도를 비교할 때 진영지역의 경사도가 더욱 심하였다.

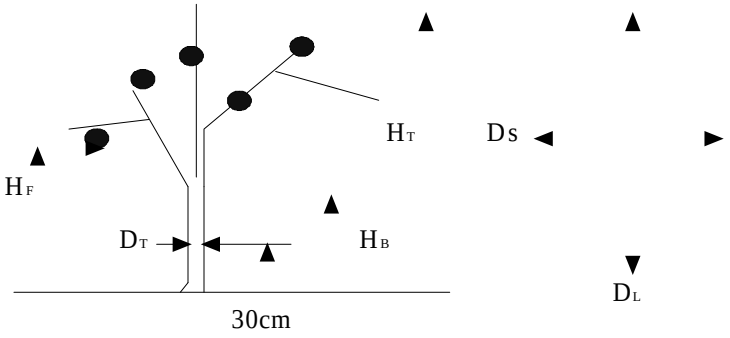
또한 감나무의 수형에 관련된 수관의 높이, 수관의 직경(장경과 단경), 1차 분지고, 열매가 열리는 최저높이, 나무의 직경 등을 조사하였다. 감나무 수형 제원 조사를 일차적으로 전라남도 장성군에 위치하는 대규모 단감 농장에서 실시하였다. 이는 경남 진영군과 조금 차이가 있었으며 특히 전남 지역의 단감 재배 기술은 진영에 비하여 낙후되어 있었다. 특히 진영 지역의 품종은 거의 대부분이 부유인데 반하여 장성 지역의 경우에는 부유는 근년에 재배되기 시작하여 성목이 드물었다. 조사 결과를 표 3-7에서 부터 표 3-10까지에 나타내었다.



평균 경사도(α)와 최대경사도(β)



주간거리(λ_{row})와 조간거리(λ_{plants})



H_F : **최저과실 높이** H_B : **분지 높이** H_T : **수고**(canopy height)

D_T : **주경**(trunk dia.) D_L : **수관의 장경** D_S : **수관**(canopy)**의 단경**

그림 3-1. **과수원의 조성과 수형에 대한 측정 변수들**

표 3-6 **감나무 과수원의 경사도 조사**

구분 / 지역	평균경사각(deg)					최대경사각(deg)					
	0 5	5 10	10 15	15 20	20 25	0 5	5 10	10 15	15 20	20 25	25 이상
장성	1	3	8	2	1	1	1	1	2	8	2
진영	2	2	4	5	2	2	1	1	3	4	4
소계 (비중,%)	3(10)	5(17)	12(40)	7(23)	3(10)	3(10)	2(7)	2(7)	5(17)	12(40)	6(20)

참고 : **그림** 3-1.

표 3-7 **품종**: **오변**, **평균 주간거리**: 330 cm, **평균 조간거리**: 570 cm, **단위**: cm

구 분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평 균
주경직경	12	15.5	15.5	9	10	8.5	16	13.5	15	9	12.4
최저과실 높이	40	20	28	58	39	108	40	75	10	22	44.0
수고	530	470	350	370	450	420	510	510	440	450	450.0
분지고	60	70	26	47	89	84	53	80	50	88	64.7
주간 수관직경	440	340	400	330	370	290	410	410	350	340	368.0
조간 수관직경	350	390	430	370	430	370	490	460	340	440	407.0
수 령	10	10	9	8	8	8	10	10	8	8	8.9

표 3-8 **품종**: **오변**, **평균 주간거리**: 330 cm, **평균 조간거리**: 550 cm, **단위**: cm

구 분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평 균
주경직경	11	12	14	14	14	14	18	13	14	15	13.9
최저과실 높이	24	34	88	67	107	65	65	100	76	37	66.3
수고	460	430	450	430	440	450	460	500	500	440	456.0
분지고	45	55	60	45	35	20	25	40	55	45	42.5
주간 수관직경	380	330	320	410	410	320	370	360	350	360	361.0
조간 수관직경	520	390	500	370	510	480	520	460	500	430	468.0
수 령	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

표 3-9 **품종**: **오변**, **평균 주간거리**: 300 cm, **평균 조간거리**: 580 cm, **단위**: cm

구 분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	평 균
주경직경	13	14	18	13	13	12	14	11	13.5	13.5
최저과실 높이	100	80	70	65	85	50	40	50	60	66.7
수고	450	470	430	390	360	430	440	380	500	427.8
분지고	50	55	20	60	105	65	65	70	85	63.9
주간 수관직경	420	390	370	370	320	390	430	350	460	388.9
조간 수관직경	500	480	470	450	410	520	380	390	430	447.8
수 령	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

표 3-10 **품종**: **부유**, **평균주간거리**: 300 cm, **평균 조간거리**: 320 cm, **단위**: cm

구 분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평 균
주경직경	6	6	6	6.5	7	4.5	5.5	5.5	5.5	5	5.8
최저과실 높이	60	46	50	60	70	35	50	85	55	60	57.1
수 고	270	280	290	290	260	250	280	280	220	260	268.0
분지고	40	20	16	28	30	25	25	35	18	30	26.7
주간 수관직경	250	240	210	200	210	160	210	160	200	210	205.0
조간 수관직경	260	200	210	220	210	140	190	160	210	180	198.0
수 령	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

조사한 결과 감나무의 연령과 재배방법에 따라 수형 관련 측정치의 차이가 크기 때문에 실제 방문한 농가 중에서 묘목을 이식한지 10년이 되어 한창 과일을 수확하고 있는 13개 농가에서 조사된 감나무의 수형 관련 측정치와 과수원의 조성에 관련된 측정치를 표 3-11과 표 3-12에 요약하였다. 표 3-11의 자료는 10년생 부유 품종에 대하여 13개 농가에서 총 260개의 나무를 조사한 것이다.

감 과수원을 기계화하는데 필수적인 농작업로의 존재 유무 및 폭과 조간에

표 3-11 감나무의 수형과 수형을 나타내는 변수의 측정치 단위: cm

구분 / 측정항목	장성			진영		
	평균	범위	표준편차	평균	범위	표준편차
주경의 직경	14.1	9.0 18.2	1.31	14.9	9.5 19.2	1.35
최저결과높이	47.3	20 107	16.4	43.2	21 97	15.8
수고	452	350 540	32.8	438	355 520	28.9
분지고	48.9	20 89	10.8	40.8	20 78	9.2
수관 장경	473	370 520	18.7	475	370 550	19.2
수관 단경	373	320 410	10.3	382	330 420	11.4

표 3-12 단감 과수원의 조성에 관련된 변수의 측정치 단위: cm

구분 / 측정항목	장성			진영		
	평균	범위	표준편차	평균	범위	표준편차
농작업로의 폭	143	9.0 18.2	1.31	151	9.5 19.2	1.37
간이 작업로의 폭	72	50 107	6.5	82	52 105	8.6
주간 거리	322	300 360	3.6	354	300 360	2.3
조간 거리	535	480 580	9.5	561	210 600	12.4

참고: 농작업로의 폭 = 작업로 좌우의 감나무간 거리 - 주간거리

개설된 간이 작업로의 폭, 주간과 조간거리를 조사한 결과 지역별 차이보다는 경사도별 차이가 심했으며 조사농가 숫자가 많지 않기 때문에 경사도별로 조사된 것에도 일관성은 없었다. 조사된 30농가의 평균치와 분포를 나타내 보면 표 3-11과 같다. 농작업로가 없는 경우는 평균을 구할 때는 제외하였다.

조사된 결과에 의하면 평균 주간거리는 장성지역이 322 cm, 진영지역이 354 cm, 조간거리는 각각 535cm, 561 cm로서 단감연구소에서 제시하는 360 cm, 600 cm보다는 작았다. 문제가 되는 것은 기계의 통로가 될 수 있는 조간거리가 권장치수보다 작다는 것이다. 그 이유는 현재의 재배방식이 기계화되지 않았기 때문에 굳이 통로를 넓게 개설할 필요가 없고 가급적 많은 나무를 심기 위해 조간거리를 작게 하고 있었다. 주간거리가 210 cm 되는 농가도 있는데 그 이유는 수령이 더 증가하면 간벌을 통하여 공간을 확보하기 위한 계획 때문이다. 따라서 간벌하기에 이른 10년생 과수의 평균치는 다소 작게 평가되었다고 볼 수 있다.

그러나 단감연구소에서 제시하는 주간과 조간도 기계화하기에 충분하지 못한데 그 이유는 표 3-11과 표 3-12에서 보듯이 수관 장경이 거의 조간에 일치하고 있고 단경은 주간거리보다 커져서 가지가 상호 교차하여 얽히는 현상이 있다. 따라서 기계가 다닐 공간이 충분하지 못하다. 또한 경사지에서는 경사면과 수평에 가까운 작업로로 구분되어 있어 기계의 통로가 더욱 좁아지며, 평지라 하더라도 분지고가 불과 50 cm에도 이르지 못하기 때문에 과수의 주경 가까이 에서는 고소작업차의 접근이 어려운 실정이다.

3. 감 수확작업 방법에 대한 조사

실제로 농가조사에서 확인한 바에 의하면 감을 수확하는 요령은 대부분 지켜지고 있었으며 현재 감을 수확하는 대표적인 방법을 나열하면 다음과 같다.

a. 지상에서 잠자리채를 이용하여 감을 수확하는 방법 (소규모 재배농가),

b. 장대를 이용하거나 가지를 쥘 수 있는 수공구를 이용하여 가지를 끊어 여러 개의 감을 동시에 수확하는 방법 (떫은 감 수확시 이용),

c. 사다리를 이용하여 감을 하나씩 채과가위로 수확하는 방법 (단감 수확시),

d. 사다리를 이용하여 엄지로 꼭지를 밀어 수확하는 방법 (단감 수확시).

과일 하나씩 수확하는데 많은 정성을 기울이는 단감이나 전문적으로 떫은 감을 재배·수확하는 경우에는 수고를 작게 유지하고 있었으며 전문적인 과수원의 경우 감나무의 키가 6 m 이상인 경우는 거의 없었다.

한편 현재 선진국이나 우리 나라에서 사용되고 있는 과수원용 수공구의 종류나 형태는 큰 차이가 없으며 우리 나라의 경우에는 대부분 수입된 선진국의 제품이 사용되고 있다. 일부 제품만 국산화되어 있는 실정이다. 대표적인 과수원용 수공구를 그림으로 나타내었다. 이 중에서 가위류는 인력용과 동력용이 있으며 동력원으로는 전기, 공기압, 엔진 등이 이용되고 있으며 무게를 줄이기 위해 경량재로 만들어지지만 길이가 길기 때문에 수확작업이 용이하지 않다.

현재 인력용 수확가위로 감을 수확할 경우에는 아래와 같은 작업공정도에 따라 수확작업이 수행된다. 현재 수확작업시의 문제점은

a. 과일을 잡고 꼭지를 잘라야 하므로 작업시 몸을 의지하기 힘들다. 특히 먼 곳이나 좌우로 떨어진 곳을 수확할 때에는 자세가 불안정하게 된다.

b. 수확용 과일의 절단부 꼭지의 굵기는 4-7 mm 이내이다. 그러나 사용하는 채과 가위는 감나무처럼 감꼭지를 짧게 잘라야 하는 경우에 가깝게 위치한 것은 쉽게 자를 수 있지만 멀리 있는 경우에는 정확히 자르기가 어렵다.

c. 과일을 따면 임시저장 자루나 상자에 담아야 하며 임시 저장용 상자의 크기가 제한되므로 사다리를 자주 오르내려야 한다. 사다리를 오르내리는 것은 작업능율을 낮추는 요인이 된다.

d. 사다리에서 작업하는 것은 몸에 비정상적인 긴장을 일으키므로 작업자를 쉽게 피로하게 만든다. 작업능률 측면에서 보면 수확한 과일을 상자에 담기 위한 팔의 동선이 길기 때문에 어깨를 피곤하게 하여 작업속도가 낮아지며 실제로 과일을 옮기는 시간이 길어지게 된다.

인력 수확시 단감에 적용되는 수확공정을 그림 3-2에 나타내었다. 감을 수확하는데 있어서 고소작업차는 현재 이용하는 사다리를 효율적으로 대신하는 효과가 있으나 궁극적으로 감수확 방식을 개선하기 위해서는 감을 임시로 저장할 수 있는 장치가 필요하다. 또한 두 손을 이용하는 방법을 개선하고 손보다 멀리 미칠 수 있고 악력에만 의존치 않고 긴 장대를 어깨 힘이 아닌 기계적 장치로 조절 할 수 있는 장치가 필요할 것으로 판단된다.

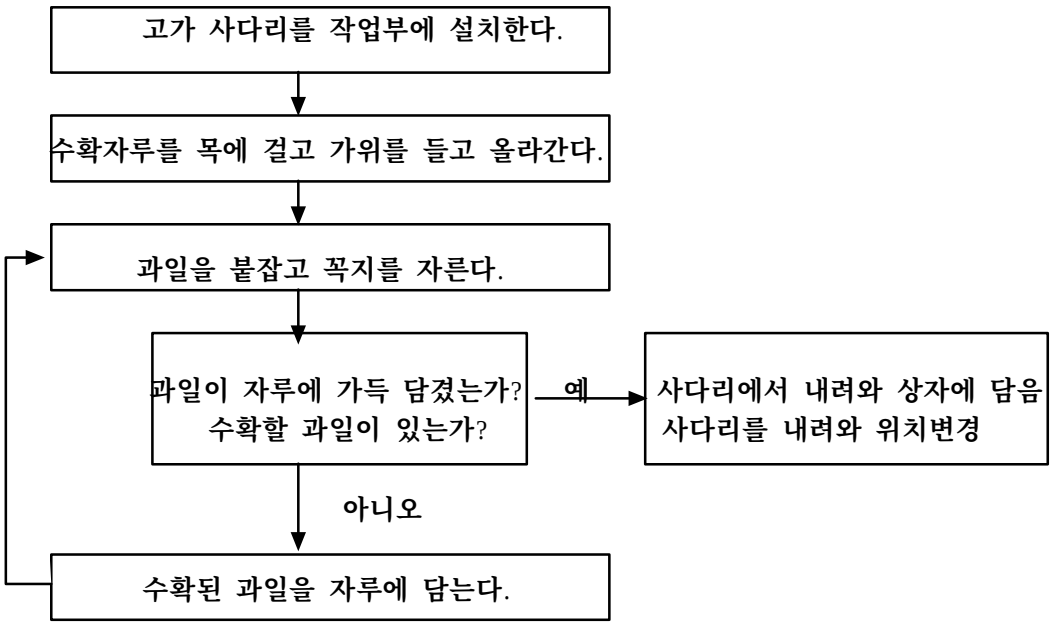


그림 3-2. 인력 수확시 작업공정

제 3 절　감재배 노동력 소요 현황

표 3-13는 감재배의 영농순기표를 나타낸 것이다. 감의 재배작업은 다른 과수와 마찬가지로 전정, 눈따기(적아), 적과, 수확작업과 같은 과수관리 작업과, 토양을 유지관리하기 위한 제초, 시비, 관배수, 경운작업, 병해충방제를 포함하는 과수보호작업, 및 수확후 저장·가공 등과 같은 3가지로 대별된다.

표 3-14은 단감의 작업 단계별 노동력 투하시간을 나타낸다. 단감재배에 있어 작업단계별 투입노동력을 살펴보면 아래 표와 같이 3개 작업부문이 비슷한 비중을 차지하지만 경운, 방제, 운반을 제외한 나머지 작업은 거의 동력화되어 있지 않다. 또한 적과, 밑거름, 수확, 선별 작업의 경우에는 자가노력비율이 낮게 나타나 이들 작업에는 고용인력이 주로 이용되는 것으로 나타났다.

단감재배에 소요되는 노동력의 월별순별 분포를 조사한 결과는 표 3-15과 같으며 그림 3-3은 월별 소요 동력과 노동력을 나타낸 그림이다. 이에 의하면 단감재배는 2월 상순에서 3월 상순까지 과수원 준비 단계와 장마직전, 10월 중순에서 11월 중순까지 수확 및 저장단계에서 노동력 피크가 발생함을 볼 수 있다. 수확기의 노동력 소요 강도는 가을철이 봄철이나 장마직전에 비해 2배 이상인 점을 고려할 때, 수확 및 수확후 가공 단계의 기계화가 절실함을 보여준다. 특히 감의 경우 일반적으로 저장성이 나쁘고 고품질과실을 얻기 위하여 기상 여건과 출하시기가 허락하는 범위에서는 가급적 수확을 늦추기 때문에 수확적기는 그만큼 짧아진다.

표 3-13 감재배의 영농순기표

	1			2			3			4			5			6			7			8			9			10			11			12		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
생육과정										발아			신초생장			개화			과실비대기						성숙기												
제초							제초												제초																	
주요농작업				전정						묘목심기			관 배 수												개원준비						묘목					
비 료							기비				눈따기			추비					적과 전정			추비						수확			탈삽, 곶감, 제조 낙엽처리			심경		
농약살포							깍지벌레 (월동병해충) 방제						검은별 무늬병 방제						탄저병, 꼭지벌레, 낙엽병 방제												가을거름					

자료

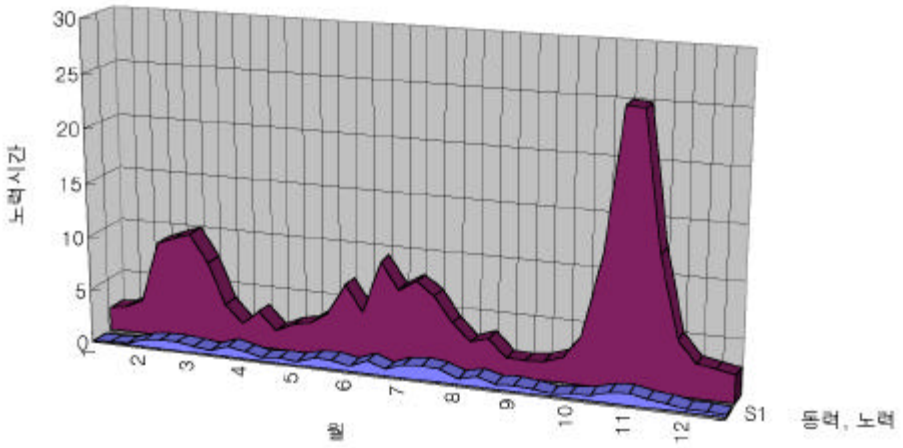


표 3-14 단감의 작업단계별 노동력 투하시간 (기준: 년 1회 생산/10a)

	과수 관리					과수 보호						수확 및 가공				계
	동계 과수 관리	전정	적아	적과	신초 유인	시비	경운	정지	밑거름	병해충 방제	제초	수확	운반 저장	선별 포장	기타	
자가노력(A)	10.4	16.0	2.8	14.2	2.0	14.0	4.2	6.4	11.3	27.7	11.8	28.4	7.0	15.8	3.7	175.8
고용노력(B)	0.3	2.4	0.4	5.0	-	1.7	0.5	0.4	4.9	0.8	0.7	16.5	1.2	6.7	0.6	42.2
노력합계 (C=A+B)	10.7	18.4	3.2	19.2	2.0	15.7	4.7	6.8	16.1	28.5	12.5	44.9	8.2	22.5	4.3	218.0 (F)
동력이용(D)	0.2	0.1	-	-	-	1.5	1.9	0.3	2.5	9.8	2.9	0.5	2.2	0.2	0.4	22.6
자가노력비율(A/C)	97.2	87.0	87.5	74.0	100	89.2	89.4	94.1	70.2	97.2	94.4	63.3	85.4	70.2	86.0	80.6
전체노력중 비율	4.9	8.4	1.5	8.8	0.9	7.2	2.2	3.1	7.4	13.1	5.7	20.6	3.8	10.3	2.0	100
부분별 노력 및 비율	53.5 (24.5)					84.3 (38.7)						79.9 (36.7)				-
동력화비율 (D/C)	1.8	0.5	-	-	-	9.6	40.4	7.4	15.5	34.4	23.2	1.1	26.8	0.9	9.3	10.4

자료: 농촌진흥청. 1996. 작목별 작업단계별 노동력 투하시간

표 3-15 단감의 월별순별 투입노동력

	1			2			3			4			5			6		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
노력	2.2	2.5	3.2	8.9	9.5	10.1	7.5	3.8	2.1	3.5	1.8	2.5	2.9	4.0	6.9	4.5	9.3	6.9
동력	0	0	0.1	0.6	0.8	0.8	0.6	0.4	1.0	0.7	0.3	0.5	0.4	0.9	0.9	0.5	1.2	0.6
	7			8			9			10			11			12		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
노력	7.9	6.7	4.4	2.8	3.4	1.8	1.7	1.8	2.5	4.5	12.0	25.1	24.9	12.5	5.2	3.2	2.9	2.6
동력	1.2	1.3	1.2	0.6	1.0	0.5	0.6	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	1.1	0.8	0.6	0.3	0.3	0.2

자료: 농촌진흥청. 1996. 작목별 작업단계별 노동력 투하시간

제 4 절 감의 물리적 특성

감은 종류에 따라서 다양한 크기를 가지며 물성도 다르다. 연구에 필요한 물성은 취급시 손상과 그로 인한 저장성에 관련된 물성과 감의 크기에 대한 물성이 있다. 또한 감꼭지와 감가지의 전단응력 특성이 있다. 물리적 충격에 의한 감의 손상 특성 실험이 수행되었으며 단감의 탈리층 형성 특성 실험이 수행되었다.

1. 감의 물리적 특성 조사

측정된 자료로는 감 열매의 기하학적 특성으로 감의 두께, 직경, 감꼭지의 직경 등은 품종별로 조사하였다. 표 3-16은 단감의 품종별 물리 기하학적 특성변수와 측정치를 조사하여 기록한 표이다. 조사된 품종은 부유와 차랑으로 단감의 일종이며 조사한 농가 중에서 수확작업이 수행되는 곳에서 각각 100개와 50개를 선택하여 평균치를 구하였다. 부유의 경우 감의 직경은 평균 7.9 cm, 감꼭지의 직경은 0.62 cm 그리고 감꼭지의 길이는 0.82 cm로 측정되었다. 차랑의 경우 감의 직경은 평균 5.7 cm, 감꼭지의 직경은 0.61 cm 그리고 감꼭지의 길이는 0.78 cm로 측정되었다. 감은 재배기술과 기상에 따라서 그 크기가 달라지기 때문에 조사된 샘플의 대표성은 부족하지만 범위는 머니퓰레이터 설계에 직접적으로 관계가 된다.

표 3-16 단감의 품종별 기하학적 특성변수와 측정치 단위: cm

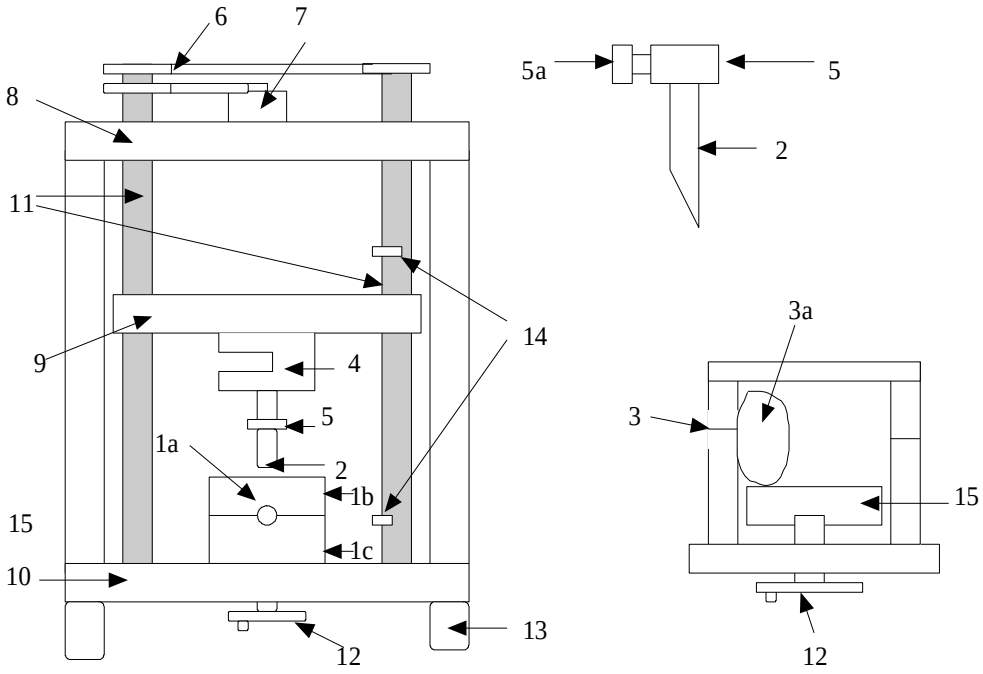
구분 / 측정항목	부 유			차 랑		
	평균	범위	표준편차	평균	범위	표준편차
감의 두께	7.2	5.9 8.9	0.32	5.7	5.3 6.5	0.25
감의 직경	7.9	6.3 9.3	0.41	8.2	6.5 9.8	0.42
감꼭지의 직경	0.62	0.5. 0.67	0.013	0.61	0.52 0.65	0.011
감꼭지의 길이	0.82	0.74 1.12	0.016	0.78	0.72 1.05	0.012

2. 감꼭지와 감가지의 전단응력 특성

감의 물성을 측정하기 위하여 그림 3-4와 같은 장치를 개발하여 감 열매의 꼭지의 전단저항과 감가지의 전단저항을 측정하였다. 이 장치는 순수전단이 아닌 압축전단 현상에만 적용한 것이므로 감을 수확하는 방법 즉 감을 꼭지에서 수확하는 방법과 가지에 달린 채 가지를 꺾는 방법에 모두 적용할 수 있도록 설계하였다.

그림 3-4에서 1번은 감이나 감가지를 위치시키는 틀이며 2번은 부착한 칼날, 3번은 절단부위(감꼭지) 와 고정부, 4번은 전단하중을 측정하는 부분이며 구동하는 모터에 하중이 작용하는 순간부터 시간별로 절단저항을 측정하도록 하였다. 변위는 시간과 이동 틀의 이동속도로 환산이 가능하다.

감 열매의 경도는 단면지름이 $10mm^2$인 원형 실린더를 이용하여 1mm/s의 속도로 관입시키는데 필요한 저항으로 정의하여 측정하였다. 관입저항은 관입할 물체의 형상에 따라서 달라지나 감수확의 경우 문제가 되는 것은 감을 상자에 담을 때, 잘려진 감꼭지의 그루터기에 의해 상호 상처를 받기 때문에 원통형 물체에 의한 관입이 가장 적합하다고 판단되었기 때문이다. 관입각도는 면에 직각인 방향으로만 측정하였다. 감꼭지의 결합력(꼭지를 떼어내는데 필요한 힘)은 그림 3-4의 장치에서 누름장치를 당김장치로 바꾸고 감꼭지 표면을



1a) 고정틀 구멍 1b) 고정틀 상부 1c) 고정틀 하부 2) 전단 칼날
3) 고정부 쿠션 3a) 감(감가지) 4) 하중계 5) 칼날 고정부
5a) 칼날고정나사 6) 나사축회전장치 7) 직류감속기어 8) 상부틀
9) 이동틀 10) 하부틀 11) 나사축 조절핸들
12) 고정아랫판조 13) 받침 14) 리미트스위치 15) 고정아랫판

그림 3-4. 감가지와 감의 물성 측정장치

plastic bond로 인장부와 접착시켜 측정하였다.

감의 저장성과 관련된 물리적 특성으로 낙하높이에 따른 상처의 종류와 상처가 저장성에 미치는 영향에 관한 실험을 수행하였다. 낙하높이는 0, 5, 10, 20, 40, 80cm로 정하여 자유낙하 시켰으며 낙하시 바닥면은 철판, 베니어판, 5mm 및 10mm두께의 스티로폼(styrofoam)에서 충격을 가한 후 1차 조사와 함께 외관조사를 하고 5℃ 저온저장고와 음지에서의 상온 저장으로 나누어 1주

일과 1개월 이후의 외관검사후 과피를 제거하여 상처부위의 변색 및 무름 정도를 조사한다. 감은 종류에 따라 빨리 물러지는 성질이 있으므로 이 때 무름 정도는 절대적인 것보다는 충격을 받지 않은 부위와 상대적인 무름 정도를 조사한다. 무름정도는 단면지름 20㎜²인 원형 실린더를 사용한다.

머니퓰레이터의 개발 기초자료로서 감꼭지와 감가지의 전단응력을 그림 3-5와 같은 장치를 사용하여 측정하였다. 감나무의 품종은 부유이며 진영의 규모 농장에서 1997년 11월 초순에 공시재료로서 채취하였다. 측정장치는 인스트론을 사용하였으며 결과는 표 3-17과 그림 3-6에 나타내었다.

감꼭지의 직경이나 전단응력은 수령에 별 차이를 보이지 않는다. 그러나 감가지의 직경은 수령이 많아짐에 따라 조금씩 증가한다. 그렇지만 전단응력은 수령에 차이를 보이지 않는 것 같다. 직경은 커지지만 전단강도는 동일한 것으로 판단하여도 좋을 것이다. 가지의 직경이 커지면 절단하는데 소요되는 힘은 증가하지만 단면적이 증가하기 때문에 전단강도는 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

표 3-17 감꼭지와 감가지의 전단응력

15년생				25년생			
꼭지직경 (mm)	전단응력 (kPa)	줄기직경 (mm)	전단응력 (kPa)	꼭지직경 (mm)	전단응력 (kPa)	줄기직경 (mm)	전단응력 (kPa)
5.2	256	6.5	524	4.6	363	6.3	620
4.1	399	5.3	529	4.7	393	6.2	526
3.9	377	4.8	503	4.2	447	7.0	605
4.2	410	6.0	453	4.2	436	7.8	479
4.8	408	7.0	429	4.6	393	5.1	596
3.9	398	5.1	369	3.8	509	6.8	649
4.1	364	6.1	503	4.2	411	7.8	510
5.2	410	5.8	640	4.5	366	7.0	906
5.8	212	4.3	491	3.8	525	4.2	548
6.0	233	5.0	476	4.8	295	5.1	527
4.5	424	6.0	532	4.8	344	5.8	583
6.0	259	5.7	549	4.5	391	7.5	561
4.5	533	4.1	593	4.3	430	6.0	544
4.9	302	4.3	518	5.2	233	5.0	719
4.2	519	7.0	415	5.6	312	5.8	567
4.5	432	6.0	577	4.5	431	6.0	542
5.6	364	6.5	558	4.8	462	6.0	776
4.8	420	5.5	638	5.1	377	5.5	495
평균: 4.8	373.3	5.6	516.5	4.6	395.4	6.2	597.4

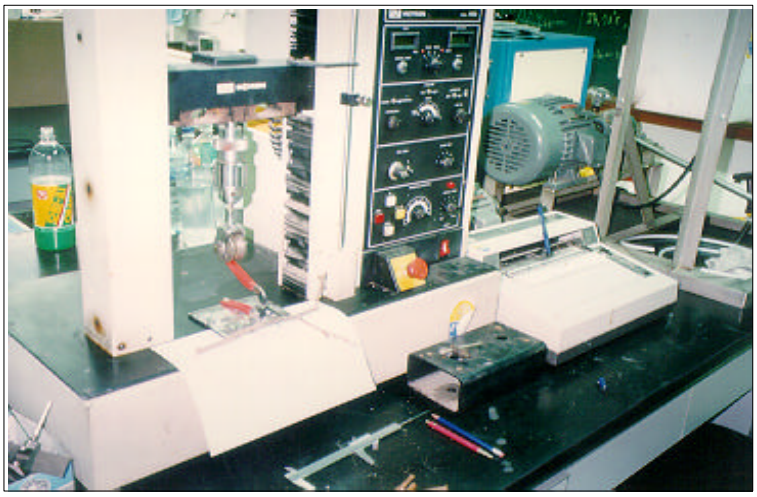


그림 3-5. 감꼭지와 감가지의 전단응력 측정 장치 사진

15년생 20년생

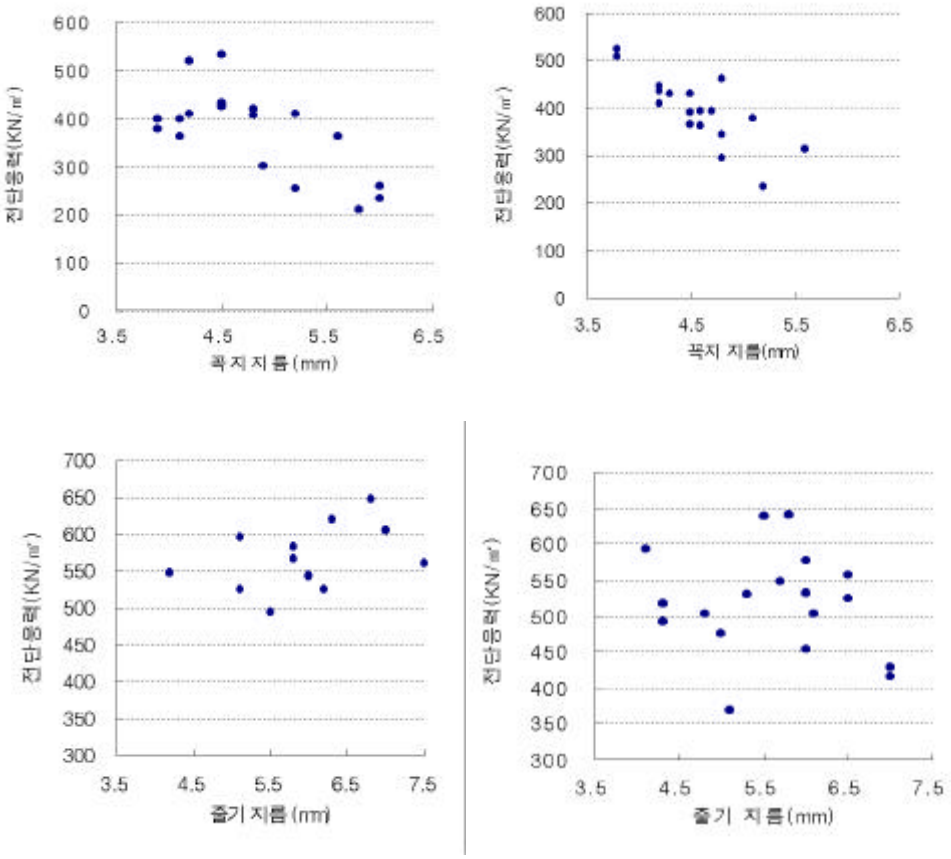


그림 3-6. 감꼭지와 감가지의 전단응력 비교

제 5 절 물리적 충격에 의한 감의 손상 특성

1. 서 언

과실의 수확 및 포장 과정이 점차 기계화됨에 따라 물리적 충격(멍듬, 눌림, 깍임 등)에 의한 과실의 손상이 크게 문제시되고 있다 (Brusewitz와 Bartsch, 1989; Marshall 등, 1972). 이러한 물리적 충격은 과실의 수확 및 포장 과정중에 과실을 단단한 곳에 떨어뜨리거나 큰 힘으로 누르게 되는 경우에 발생하게 되는데 이 때 과실에 나타나는 손상은 과피 색깔의 변화와 과육의 갈변 및 연화이며 궁극적으로는 과실의 부패가 일어나게 된다(Klein, 1987). 이와 같은 과실의 손상은 과실의 세포막이 깨져 구획되어져 있던 기질이 누출되어 세포질에 있는 효소와 작용하기 때문인 것으로 생각되며 주된 원인은 페놀류의 산화에 의한 것으로 알려져 있다 (Macheix 등, 1990; Shewfelt, 1993).

본 연구는 '부유' 감을 대상으로 물리적 충격에 의해 일어나는 과실의 손상을 저온 및 상온 저장 과정 중에 과피의 색깔, 과피 및 과육의 경도, 지질과산화, 페놀산화효소의 활성 등의 변화를 조사하여 감 수확기계 개발의 참고자료를 얻고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

경남 진영지역에서 수확한 흠집이 없는 '부유' 감을 50cm의 높이에서 5mm 두께의 철판에 자유 낙하시켜 과실에 물리적 충격을 가하였으며 물리적 충격을 가하지 않은 과실과 함께 0℃ 또는 20℃의 항온 chamber에 저장하고 매주 과실의 손상 정도를 조사하였다.

과피의 색깔 변화는 chromameter를 이용하여 측정한 L^*(명도)와 a^*(적색도)의 증감으로 표시하였으며 과피 및 과육의 경도는 8mm tip이 장착된

rheometer를 이용하여 측정하였다. 지질과산화반응은 thiobarbituric acid 방법(Du와 Bramlage, 1992; Lee 등, 1998)으로 조사하여 malondialdehyde의 생성량으로 나타내었다. 또한 페놀산화효소의 추출 및 활성 측정은 각각 Valero 등(1988)과 Coseteng과 Lee(1989)의 방법에 준하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

과실에 물리적 충격을 가한 직후에는 육안으로 구별할 수 있는 손상이 뚜렷이 나타나지 않았으나 저장 과정중에 과실의 손상이 급격히 이루어짐을 관찰할 수 있었다. 즉, 20℃에 저장한 과실의 과피 색깔은 저장 기간이 진전됨에 따라 더 붉게 변하였는데 물리적 충격을 가한 과실의 경우에는 이러한 경향이 더욱 뚜렷하였다(그림 3-7 참조). 그러나 0℃에 저장한 과실에서는 과피의 적색도 변화(Δa^*)가 나타나지 않아 저장 기간중 과피의 적색도 증가는 물리적 충격보다 저장 온도에 의해 더 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 과피의 명도는 0℃에 저장한 과실보다 20℃에 저장한 과실의 경우에 더욱 크게 낮아졌으며 과피의 적색도 변화의 경우에서와 유사하게 물리적 충격에 의해 과피 명도의 감소폭이 더욱 뚜렷해졌다(그림 3-8 참조).

과피 및 과육의 경도도 물리적 충격을 가하지 않고 0℃에 저장한 경우만 제외하고는 급격히 감소하였다(그림 3-9, 그림 3-10 참조). 이러한 과실의 경도 감소는 과피에서보다 과육에서 더욱 뚜렷하였는데 과피의 색깔 변화의 경우에서와는 달리 저장 온도보다 물리적 충격이 과실의 경도 감소의 주된 원인인 것으로 생각되었다.

한편 과육의 지질과산화 정도는 물리적 충격 여부 또는 저장 온도에 따라 유의한 차이가 나타나지 않아 물리적 충격 또는 상온 저장시 이루어지는 과실의 손상이 지질과산화작용에 의한 것이 아님을 알 수 있었다.

페놀산화효소의 활성은 과실의 저장기간 동안 증가하는 양상을 나타내었는데 물리적 충격을 가하지 않고 0℃에 저장한 과실의 경우에도 페놀산화효소의 활성이 어느 정도 증가하였으며 20℃에 저장한 과실의 경우에는 이 효소의 활성이 더욱 증가하였다(그림 3-11 참조). 그러나 물리적 충격을 가한 과실의 경우에는 이러한 페놀산화효소의 활성 증대가 매우 급격히 이루어져 페놀산화효소의 활성 증대는 저장 온도보다는 물리적 충격의 여부에 따라 크게 좌우되었다(그림 3-11 참조). 물리적 충격에 의해 이루어지는 페놀산화효소의 활성 증대는 과피의 적색도 증가 및 명도 감소와 유의한 상관을 나타내었으나 과실 경도의 감소와는 정확하게 일치하지 않는 경향이었다. 따라서 페놀산화효소의 활성 증대 이외의 다른 요인들도 물리적 충격에 의해 이루어지는 과실의 손상에 관여하고 있을 것으로 추정되어 추후 세포벽 가수분해효소의 관련 여부를 검토해야 할 것으로 생각된다.

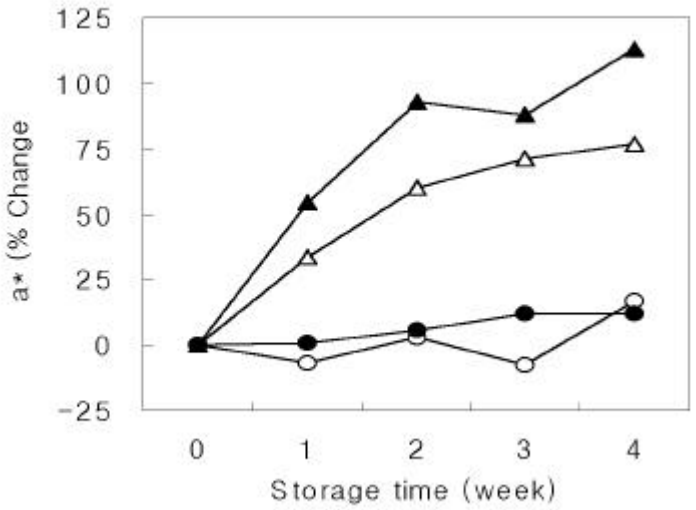


Figure 3-7. Changes in a* values of non-bruised and bruised persimmon fruits stored at 0℃ or 20℃. Symbols of circle and triangle represent storage temperatures of 0℃ and 20℃, respectively, and unfilled and filled symbols represent non-bruised and bruised fruits, respectively.

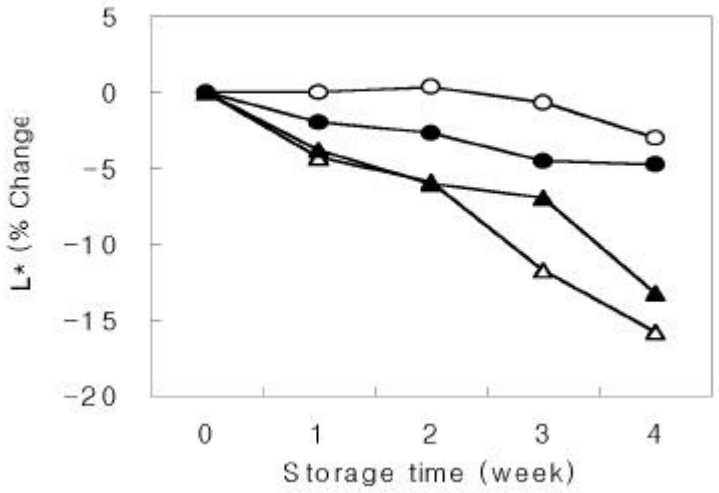


Figure 3-8. Changes in L^* values of non-bruised and bruised persimmon fruits stored at 0℃ or 20℃. Symbols of circle and triangle represent storage temperatures of 0℃ and 20℃, respectively, and unfilled and filled symbols represent non-bruised and bruised fruits, respectively.

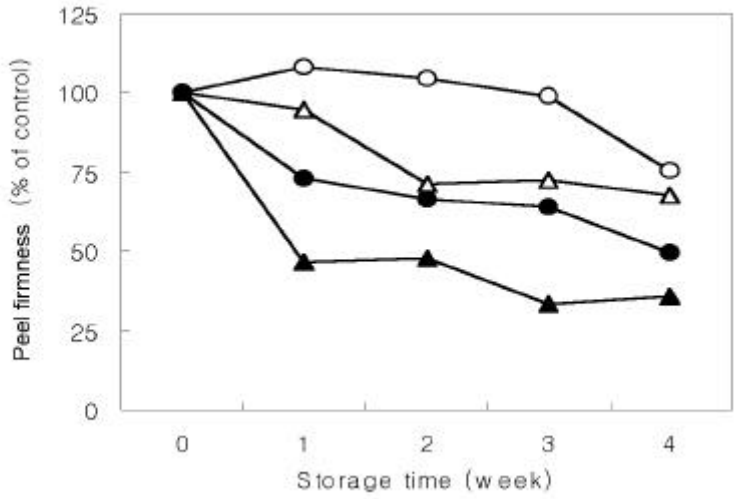


Figure 3-9. Changes in peel firmness of non-bruised and bruised persimmon fruits stored at 0℃ or 20℃. Symbols of circle and triangle represent storage temperatures of 0℃ and 20℃, respectively, and unfilled and filled symbols represent non-bruised and bruised fruits, respectively.

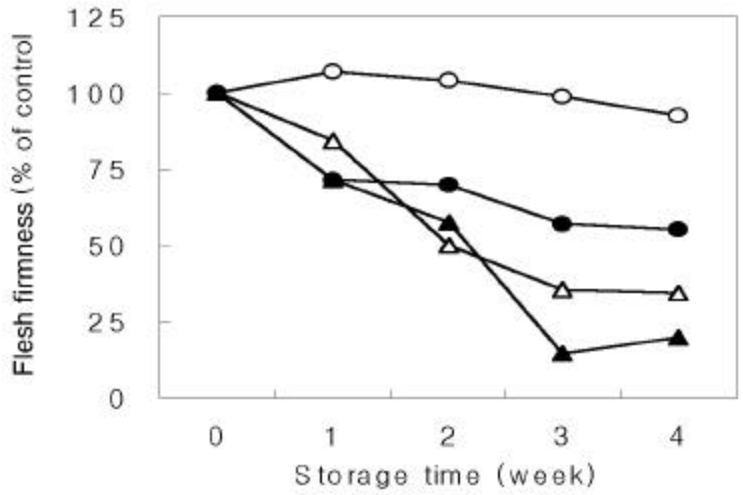


Figure 3-10. Changes in flesh firmness of non-bruised and bruised persimmon fruits stored at 0℃ or 20℃. Symbols of circle and triangle represent storage temperatures of 0℃ and 20℃, respectively, and unfilled and filled symbols represent non-bruised and bruised fruits, respectively.

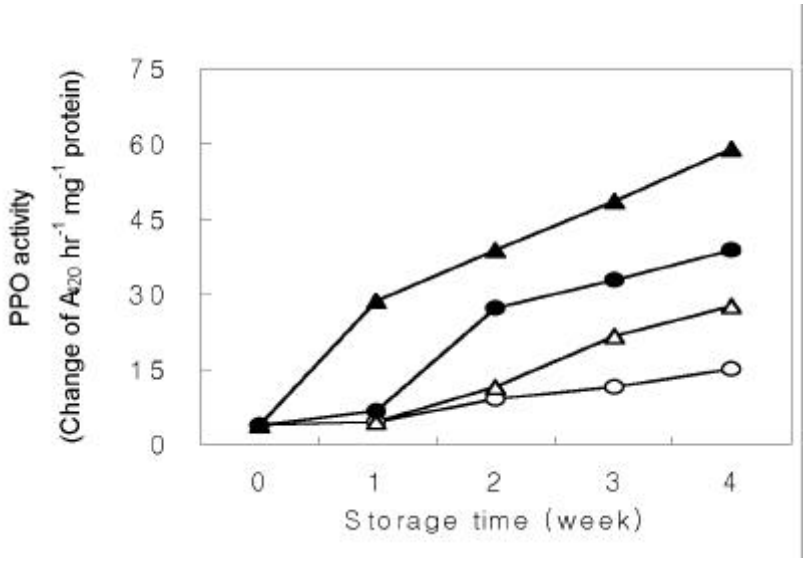


Figure 3-11. Changes in polyphenol oxidase (PPO) activity of non-bruised and bruised persimmon fruits stored at 0℃ or 20℃. Symbols of circle and triangle represent storage temperatures of 0℃ and 20℃, respectively, and unfilled and filled symbols represent non-bruised and bruised fruits, respectively.

제 6 절 단감의 탈리층 형성 특성

1. 서 언

감나무는 편의상 감귤류과 함께 準仁果類로 분류하였으나,(金鐘天,1996) 식물분류학 상 漿果類에 속하는 과수로 이에 속하는 감귤류 및 포도와 과실 생장특성이 유사한 점이 많다 (Westwood,1993).

離層은 10-20개의 세포층으로 이루어 졌으며, 크기와 모양이 주변 세포와 구별된다. 특히 離脫이 일어나는 과정 중에 이들 세포 중 1내지 2개 층의 세포에 다당류의 염색이 많아진다 (Scott 등, 1948 ; Wilson and Henderschott, 1968). 脫離가 시작되기 전에 세포 내에 suberin과 lignin 함량이 증가하며, 澱粉粒이 축적되고(Scott, 1948), calcium-oxalate crystals이 증가하는 등의 세포벽이 두꺼워지는 경향이 있다 (Goldschmidt, 1971).

감나무는 果梗이 짧기 때문에 과실이 가지에 밀착되어 있어 인력 및 기계수확 시 어려움이 많다. 따라서 수확 노동력이 많이 소요되거나, 수확 시 부주의로 結果枝가 부러지는 등의 훼손이 많이 발생된다. 반면에 감귤류는 과실이 가지에 밀착되어 있어 수확에 어려움이 있으나 성숙이 될수록 과경과 가지사이의 탈리층 인장력이 감소하며 또한 호르몬처리에 의해서 인장력을 감소시킬 수 있어 쉽게 기계수확 및 인력수확을 할 수 있다 (Goren, 1993).

따라서 감 수확 시 비용절감을 위하여 효율적인 收穫器機의 개발이 필요하며, 이와 관련된 감 과실의 離層 형성과정을 정밀하게 밝혀 둘 필요가 있다. 감의 脫離層은 꼭지와 과경 사이에서 발달하며, 개화 10일 전에 이층형성이 시작되어, 18일 후에 완료된다(傍島, 1968)는 보고가 있으나 개화 2주 후 경의 초기 낙과는 과경과 꼭지 접합부에서 이탈하며, 개화 2주 이후는 과실과 꼭지 접합부에서 낙과하다가, 남은 꼭지도 이내 떨어지고, 후기낙과는 감꼭지와 과경 사

이에서 떨어지지만 과실과 꼭지 사이에는 탈리층이 없는 등 불확실한 점이 있다.

따라서 본 연구는 효과적인 기계수확으로 감 수확시 노동력과 비용절감을 위한 기초 자료로 이용하고자 첫째, 수확 시 분리가 일어나는 과경과 결과지 사이에 또 다른 탈리층이 존재하는 지를 형태·해부학적으로 조사하며, 둘째로 수확기 전후의 탈리층 발달 정도에 따른 인장력을 측정하였다.

2. 재료 및 방법

(1) 감 과실 탈리층 관찰

감 과실의 탈리층을 관찰하기 위하여 전북 익산시 삼기면에서 재배된 부유 20년생을 공시재료로 하여 5월 6일부터 6월 17일까지 7일 간격으로 시료를 7회 채취하여 실험에 이용하였다. 시료를 꼭지와 과경사이, 과경조직, 과경과 결과지사이의 세 부분으로 나누어 100% ethanol에 고정시킨 후 ethanol series로 탈수과정을 거쳤다(그림 3-12 참고). 포매(embedding)는 glycol metacrylate(GMA) procedure를 이용하여 12시간씩 3번을 교환하였고 최종적으로 캡슐에 순수한 GMA를 넣고 60℃ 오븐에서 48 60 시간 동안 구웠다(Feder and O'Brien, 1968). 구워진 블럭을 3 5 ㎛두께로 ultramicrotome으로 절단하여 탈리층 부위라 추측되는 꼭지부분과 과경과 결과지 사이를 관찰하였다.

(2) 수확기 전후 탈리층 발달 정도에 따른 인장력 측정

수확기 감의 인장력을 측정하기 위하여 10월 14일에 결과지 길이를 대, 중, 소로 구분하여 결과지 채로 채취한 후 그림 3-13과 같이 결과지를 과실이 달려 있는 부위를 중심으로 10 cm정도 남기고 절단하였다. 인위적으로 탈리층의 분해를 촉진시키기 위해 과실 꼭지 두 곳에 직경 3 mm 드릴로 깊이 3 cm 정

도의 상처를 준 후 10월 16일부터 2일 간격으로 인장력을 측정하였다. 인장력 측정은 Materials Testing Machine (Zwick 1435)을 이용하여 결과지와 과실을 고정한 후 과경과 결과지 사이와 과경과 꼭지사이의 두 부위에서 조사하였다.

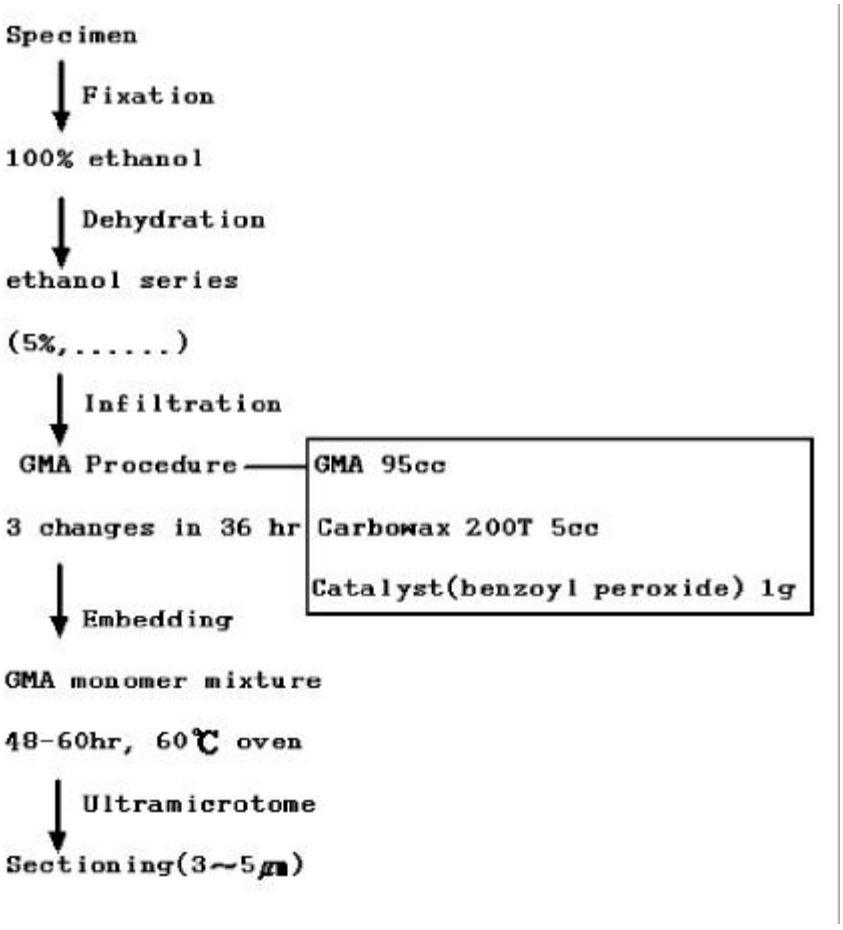


Figure 3-12. Procedure of GMA plastic embedding method

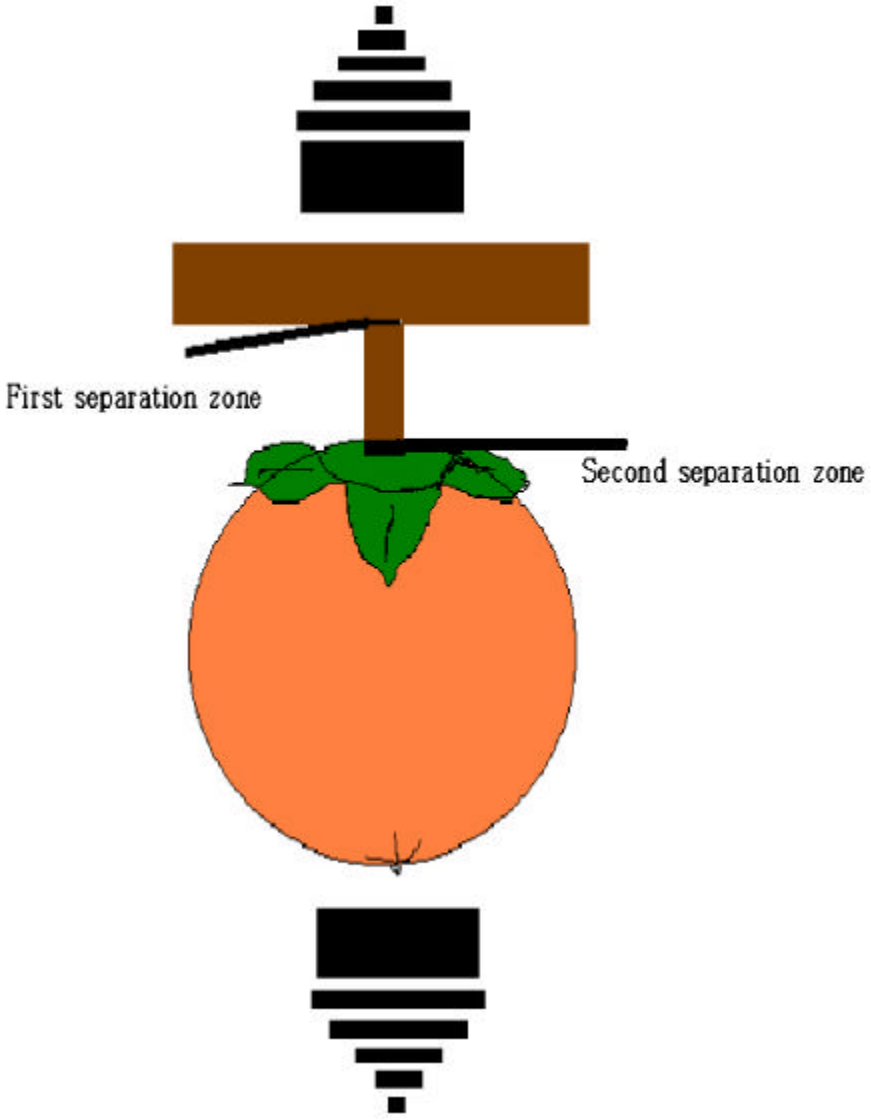


Figure 3-13. Method of FRF detaching by Materials Testing Machine (Zwick 1435)

3. 결과 및 고찰

(1) 감의 생리적 낙과 시기 및 탈리 위치

익산 지역에서 재배되고 있는 '부유' 품종의 생육 특성을 조사한 결과는 표 3-18과 같다. 발아기와 전엽기는 4월 10일과 4월 17일로 평년과 비슷하였으며, 개화기는 4월 27일경으로 평년에 비해 다소 빠른 경향이었다. 생리적 낙과가 시작되는 일차 낙과기가 6월 10일경이었고 감꼭지와 과경 사이에서 떨어졌다. 수확전 낙과는 9월 상·중순에 있었고, 생리적 낙과와 마찬가지로 감꼭지와 과경사이에서 떨어졌다. '부유' 품종은 후기낙과가 적은 품종으로 보고되고 있는데, 수확전 낙과가 발생하는 것은 꼭지나방, 탄저병 등의 병충해 방제를 철저히 실시하지 않았기 때문으로 생각되었다.

감의 탈리층은 일반적으로 개화 10일전에 생성이 시작되어 개화 18일 후면 완료된다(傍島, 1968). 또한 개화 2주 후의 초기 낙과는 과경과 꼭지 접합부에서 이탈하며, 개화 2주 이후는 과실과 꼭지 접합부에서 낙과하다가, 남은 꼭지도 이내 떨어진다. 후기낙과도 마찬가지로 감꼭지와 과경 사이에서 떨어진다

Table 3-18 Growth stage of persimmon (*Dispyros kaki* cv.'Fuyu') in Iksan, 1998

Growth stage	Date
Bud burst	April 10
Leafing	April 17
Flowering	May 27
1st fruit drop	June 10
Preharvest fruit drop[z]	Sept. 11

[z]Preharvest fruit drop was due to persimmon fruit worm (*Kakivoria flavofasciata* Nagano).

(그림 3-14 참고). 따라서 감의 일차 낙과는 감의 탈리층의 발달이 완료된 후에 배발육의 중지, 수분의 과부족과 질소와 탄수화물의 과부족 등의 원인(Kadiura, 1943)에 의하여 탈리층에서 분리가 되어 일어난다는 것을 알 수 있다. 낙과된 과실은 과육과 꼭지가 쉽게 분리되는데 이는 꼭지가 급격히 마르면서 과육으로부터 꼭지가 분리되는 현상으로 설명하고 있다.

(A) (B)

Figure 3-14. Shape of dropped fruit at abscission layer (A) and detached calyx (B) after dropping

(2) 탈리층 형태

감꼭지 부위를 조직학적으로 관찰한 결과(그림 3-15 참조), 꼭지와 과경사이에서 탈리층을 관찰할 수 있었다. 감꼭지와 과경은 특이한 형태로 부착되어 있었다. 두꺼운 꼭지와 과경의 측면은 외관상으로는 부착이 되어 있는 것처럼 보이지만 그림 3-15 (A)와 같이 조직검사 결과 떨어져 있는 것을 알 수 있었다. 이 부위는 과실을 수확 한 후 꼭지가 마르면 이탈된 상태를 더 쉽게 관찰할 수 있게 된다.

탈리층은 그림 3-15 (B)와 같이 꼭지 안쪽에서 형성되었다. 탈리층은 10-20개의 세포층으로 이루어 졌다는 보고와 같이 (Scott 등, 1948; Wilson과 Henderschott, 1968), 조직관찰 결과 탈리층은 10개의 세포층으로 이루어졌으며, 생리낙과나 후기낙과와 같은 어떤 요인에 의해 낙과가 될 때 이 부위에서 떨어지게 된다.

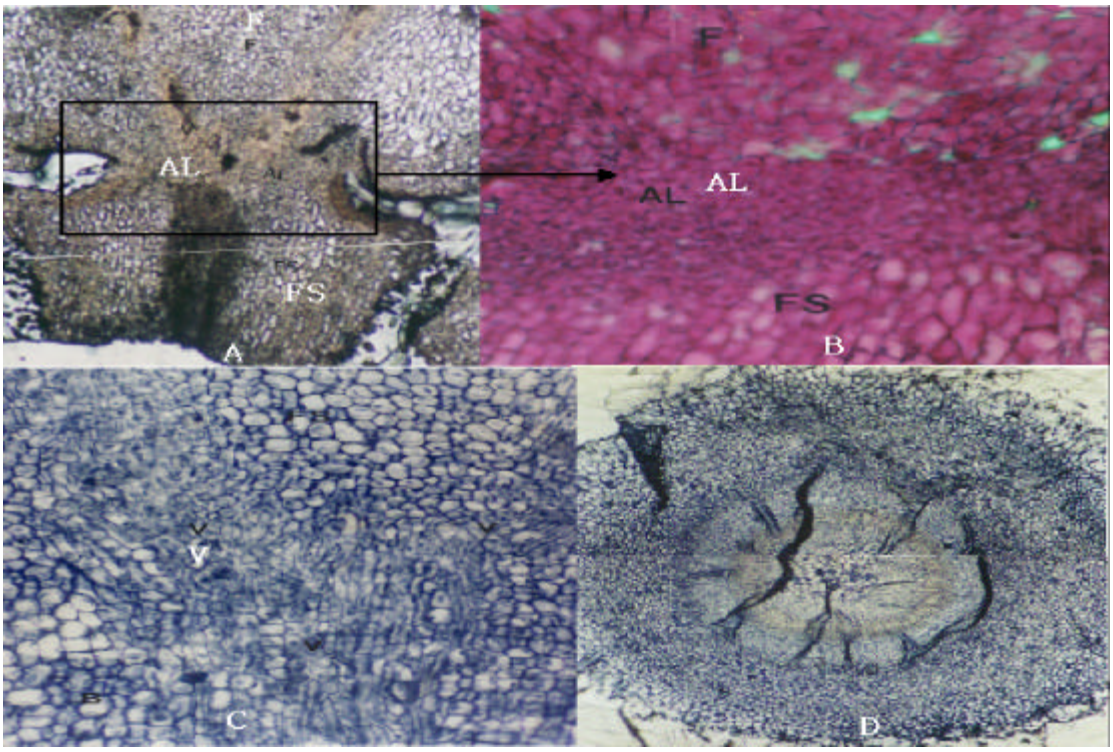


Figure 3-15. Anatomical shape of fruit abscission layer, fruit stalk and between fruit stalk and branch.

A: Longitudinal section between the calyx and the fruit stalk(×50).

B: Abcsission layer in a calyx(×100).

C: Longitudinal section between the fruit stalk and the branch.

D: Horizontal section of fruit stalk.

AL: abscission layer, V: vascular bundle, F: fruit flesh, FS: fruit stalk.

감귤류의 경우 성숙하지 않은 과실의 탈리층에서는 starch가 관찰되지 않는다는 보고와 같이 (Wilson과 Henderschott, 1968), 본 실험은 유과기 과실의 조직을 관찰하였기 때문에 starch가 발견되지 않은 것으로 생각되었다.

결과지와 과경 사이(그림 3-15 (C) 참조)에서는 어떠한 탈리층 조직도 관찰할 수 없었으며 일반적인 분지 현상과 같이 결과지에서의 유관속이 과경쪽으로 두 갈래 진 것이 관찰되었다. 과경을 횡단하여 관찰한 결과 (그림 3-15 (D) 참조) 가지조직과의 차이점을 발견할 수 없었다.

감귤류에서는 탈리층이 가지와 과실자루사이, 꽃받침과 과실사이, 과실과 화주 사이 등 세 부분에 위치하며 (Goren, 1977), 사과와 배에서는 열매자루와 결과지사이로 보고되고 있지만, 감의 경우 꼭지와 과경사이에서 관찰되어 일반적으로 결과지와 과경사이에 탈리층이 있을 것이라는 생각과는 차이가 있었다.

따라서 앞으로 감나무 꼭지에 대한 해부학적 관찰을 하여 식물학적으로 비후화된 꼭지 조직에 대한 정밀한 검토가 요망된다.

(3) 수확기 전후 인장력 측정

수확기에 인장력 측정기기 (Zwick 1435)를 이용하여 결과지와 과실사이의 인장력을 측정한 결과(그림 3-16 참고), 일차적으로 떨어지는 부위는 대부분 결과지와 과경사이였다. 결과지에서 과경이 이탈되는 부위를 보면, 결과지가 굵고 긴 경우(그림 3-16 (A) 참고) 과경이 연결되는 부위만 떨어져 결과지의 손상이 적었다. 결과지가 짧은 경우(그림 3-16 (B) 참고) 는 결과지가 굵은쪽으로 찢어지며 이탈되었다. 일부 과실에서는 감꼭지와 과경사이에서 떨어졌는데 (그림 3-16 (C) 참고), 이 경우는 과실이 외부환경의 자극에 의해 탈리층의 분해가 진전되었기 때문으로 생각된다.

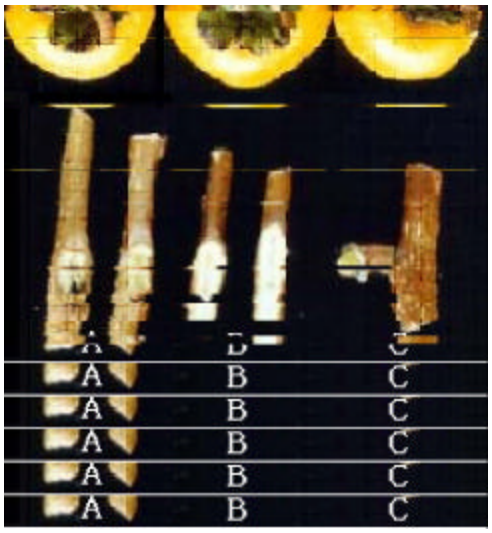


Figure 3-16. Persimmon detachment shape by the Material Testing Machine (Zwick 1435)

결과지 길이에 따른 인장력을 측정한 결과(표 3-19 참조) 결과지 부위에서의 인장력은 가지 길이가 길수록 증가하는 경향이 있지만 꼭지에서의 인장력은 결과지 길이에 따른 차이가 없었다. 길이가 짧은 결과지(9.2±2.3 cm)에서의 인장력은 결과지 부위에서 3.6 kg, 꼭지부위에서는 11.0 kg으로 그 차이가 크게 나타났으며, 따라서 분리 형태도 결과지와 과경의 접합부에서 떨어지는 것이 아니라 그림 3-16 (A)처럼 결과지가 찢어지는 것이 많았다. 결과모지로 이용하기 적합한 길이의 결과지(42.2±6.8 cm)에서의 인장력은 결과지 부위에서 10.1 kg, 꼭지 부위에서 11.5 kg으로 그 차이는 적었지만 대부분 그림 3-16 (B)의 형태로 결과지와 과경의 접합부에서 떨어졌다.

도장성이 있는 길이가 긴 결과지(77.4±17.0 cm)에서의 인장력은 결과지 부위에서 13.4 kg, 꼭지부위에서 12.0 kg으로 오히려 꼭지부위의 인장력이 작게 나타났다. 결과지가 긴 것은 인장력 측정시 꼭지부위에서 먼저 떨어지는 것이

많았으며, 꼭지와 과실사이에서 떨어지는 것도 있었다.

따라서 수확용 가위를 사용하지 않고 손이나 기계수확을 실시할 때에는 결과지 길이가 너무 짧거나 도장적으로 긴 것은 적합하지 않을 것으로 생각된다.

Table 3-19 Comparison of fruit removal force (FRF) of detaching fruit from calyx and branch by the branch size on October 14.

Branch	Size (cm)	FRF	
		Branch	Calyx
Short	9.2±2.3 [z]	3.6 c [y]	11.0 a
Middle	42.2±6.8	10.1 b	11.5 a
Long	77.4±17.0	13.4 a	12.0 a

[z] Mean±S.E.

[y] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, P=0.05

결과지와 꼭지에서의 인장력과 결과지 길이와 굵기, 과경의 길이와 굵기 및 과중과의 상관관계를 조사한 결과는 표 3-20과 같다. 결과지에서의 인장력은 결과지가 길고 굵을수록 큰 경향이었으며 과중이나 과경의 길이와 굵기에는 영향을 받지 않았다. 꼭지에서의 인장력은 과중, 과경의 길이와 굵기, 결과지의 길이와 굵기 등 어느 변량과도 상관이 없었다.

꼭지에서의 인장력은 결과지나 과경의 영향보다는 병충해 발생과실이나 꼭지들림 등의 생리장해가 발생한 과실에서 탈리층이 용해된 후에만 낮아진다. 감귤류에서 수확전에 인위적으로 ethephon을 처리하여 탈리층의 PG의 활성을 높여 인장력을 낮추어 수확 시 노동력 절감에 이용하고 있다.

Table 3-20 Correlation coefficients matrix of fruit stalk, branch, fruit weight and FRF in 'Fuyu' persimmon

	Fruit weight	Fruit stalk diameter	Fruit stalk length	Branch diameter	Branch length	FRF from calyx
FRF from branch	0.163	0.119	-0.299	0.827**	0.845**	0.057
FRF from calyx	-0.033	0.348	-0.051	0.051	-0.035	
Branch length	-0.083	-0.088	-0.375	0.965**		
Branch diameter	-0.057	0.044	-0.368			
Fruit stalk length	0.190	-0.148				
Fruit stalk diameter	0.194					

** Significant at $P \leq 0.01$, respectively

결과지 부위에서의 인장력과 상관계수가 높은 결과지 길이와의 회귀분석을 한 결과(그림 3-17 참고), 회귀식이 Y=3.093+0.134X로 나타났다. 표 2에서와 같이 꼭지부위에서의 인장력이 결과지 길이에 관계없이 11.0 12.0 kg정도였기 때문에 기계 수확에는 결과지 부위에서의 인장력이 11 kg이하가 적합하다고 생각한다. 결과지 부위의 인장력이 11 kg일 때의 결과지 길이를 회귀식에 의해 계산하면 59 cm이다. 따라서 결과지 길이가 60 cm이상으로 길면 기계 수확 시 꼭지부위에서 이탈되는 과실이 증가될 것으로 사료된다.

(4) 수확 후 인장력 변화

길이 20.4±6.5 cm인 결과지를 절단 후 실온에 보관하여 1일 간격으로 결과지 부위와 꼭지부위의 인장력 변화를 측정한 결과는 그림 3-18과 같다. 결과지에서의 인장력 변화는 회귀식 Y=6.49-0.59X였으며, 꼭지부위에서의 인장력 변

화는 회귀식 Y=11.39-0.11X였다. 꼭지부위에서의 인장력은 결과지를 절단 한 후에는 거의 변화가 없었지만, 결과지 부위의 인장력은 회귀계수 b=-0.59로 인장력 값이 1일에 0.59 kg씩 감소하는 경향이었다.

길이가 21.0±6.1 cm인 결과지를 절단한 후 과실 꼭지 부위에 직경 3 mm 드릴로 깊이 3cm정도의 상처를 두 군데 준 후 인장력 변화를 측정한 결과는 그림 3-19와 같다. 꼭지에 인위적으로 상처를 가했을 때 결과지에서의 인장력 변화는 회귀식 Y =8.82 - 0.41X였으며 꼭지 부위에서의 인장력 변화는 회귀식 Y =15.05 - 1.045X였다. 꼭지 부위에서의 인장력은 상처를 주지 않았을 때에는 회귀계수 b = -0.11로 작았으나 상처를 주었을 때에는 회귀계수 b = -1.045로

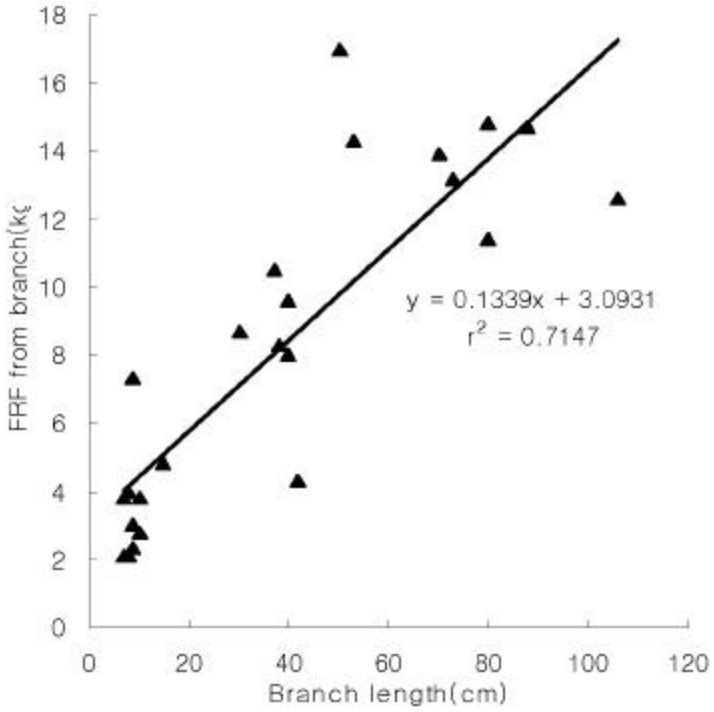


Figure 3-17. Relation of branch length(▲)andFRF from branch on Oct. 14

나타나 급격히 감소하였다.

잎으로부터 옥신의 공급이 감소되면 탈리층 세포는 에틸렌에 민감하게 된다. 이 때 과실에 인위적으로 물리적인 스트레스를 주면 과실 체내에 에틸렌이 다량 생성되고, 에틸렌이 PG(polygalacturonase)의 활성을 유도하여 세포간의 접착력을 약화시킴으로 인장력이 감소된다 (Rasmussen, 1975). 결과지를 잘라 수분이 공급되게 하지 않고 옥신의 공급을 잎으로부터 차단하였을 때는 탈리층의 인장력 감소가 일어나지 않았지만(그림 3-18 참고). 감 꼭지 부분에 물리적인 상처를 주면 과실 내에 에틸렌이 발생되어 탈리층의 세포벽이 급격히 분해되면서 인장력이 감소하는 것으로 생각된다(그림 3-19 참고). 따라서 감귤류와 마찬가지로 감에서도 에틸렌 등의 생장조절제를 처리하여 탈리층의 분해를 유도하면 기계 및 인력 수확이 더 수월해질 것으로 생각된다.

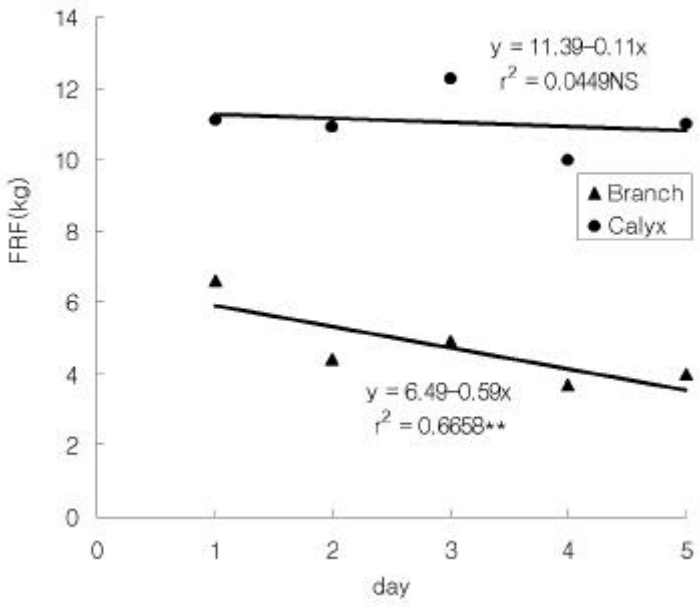


Figure 3-18. Relation of FRF from branch (▲) and calyx (●) of harvested fruit with branch in 'Fuyu' persimmon on October 6(n=5). Branch length was 20.4± 6.5 cm

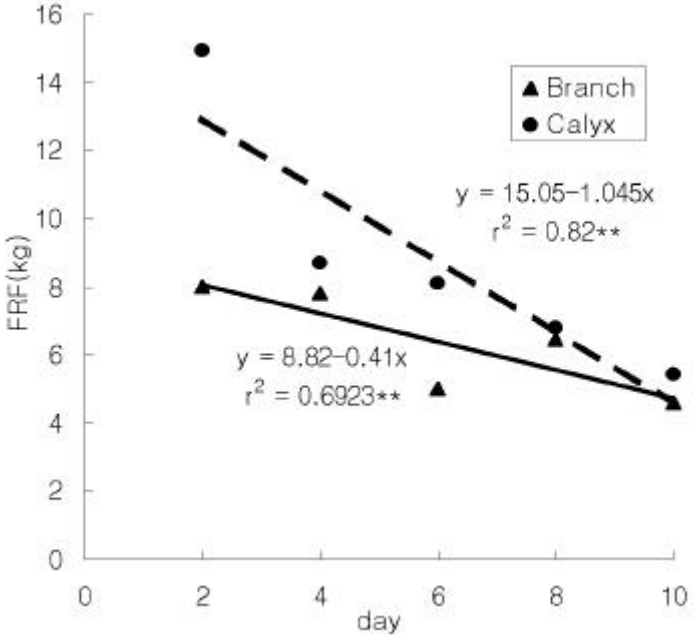


Figure 3-19. Relation of FRF from branch (▲) and calyx (●) of damaged fruit on the calyx by the 3 mm(ψ) drill on October 16(n=5). Branch length was 21.0±6.1 cm

4. 결 론

본 실험은 감 '부유' 품종의 과실 탈리층 조직을 관찰하고 과실에 대한 인장력을 측정하기 위하여 수행하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. **감 꼭지부위를 조직학적으로 관찰한 결과, 탈리층은 꼭지 안쪽에서 관찰되었으며 10개의 세포층으로 이루어져 있었다. 두꺼운 꼭지와 과경의 측면은 외관상으로는 부착이 되어 있는 것처럼 보이지만 조직검사 결과 떨어져 있는 것을 알 수 있었다.**
2. **결과지와 과경 사이에는 탈리층 조직을 관찰할 수 없었으며 과경을 횡단하여 관찰한 결과 가지조직과 차이점을 발견할 수 없었다.**

3. 수확기에 인장력 측정기기를 이용하여 결과지와 과실사이의 인장력을 측정한 결과 일차적으로 떨어지는 부분은 대부분 결과지와 과경 사이였다. 결과지가 굵고 긴 경우는 과경이 연결되는 부위만 떨어졌으며 결과지가 짧은 경우는 결과지가 굵은 쪽으로 이탈되었다.
4. 결과지 길이에 따른 결과지에서의 인장력은 결과지가 길고 굵을수록 큰 경향이었으며, 과중이나 과경의 길이와 굵기에는 영향을 받지 않았다. 꼭지에서의 인장력은 과중, 과경의 길이와 굵기, 결과지의 길이와 굵기 등 어느 변량과도 상관이 없었다.
5. 결과지 부위에서의 인장력과 결과지 길이와의 회귀분석을 한 결과 회귀식이 $Y = 3.093 + 0.134X$로 나타났다.
6. 결과지를 절단한 후의 꼭지 부위에서의 인장력은 거의 변화가 없었지만 결과지 부위의 인장력은 회귀계수 $b = -0.59$로 점차 감소하였다. 반면에 꼭지에 인위적으로 상처를 가했을 때 꼭지 부위에서의 인장력 변화는 회귀계수 $b = -1.045$로 급격히 감소하였다.

제 4 장 감 수확용 차량 개발

제 1 절 서언

과일재배기계는 과일 수확기계, 시비기계, 농약살포기계 및 기타 포장관리기계 등을 포함한다. 일본에서는 과수생산시스템을 과수원 특성에 따라 ①급경사지용 monorail system ②급경사지용 aerial carrier system ③완경사지용 무한궤도 소형작업차 system ④평탄지용 시설형 system ⑤robot system ⑥사과과수원용 차륜식 소형 작업차 system ⑦straddle 작업차 system으로 구분하여 문제 해결에 접근하고 있다. 우리 나라에서도 과수원용 시비기계, 농약살포기계와 같은 과일생산용 기계를 개발 보급한 바 있으나 과일 수확용 차량에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 단감 주산단지에서 이용 가능하도록 경사 15도 정도를 자동으로 수평 제어하고 1m 정도의 고도를 조절할 수 있는 감수확용 차량을 개발하고자 하였다.

제 2 절 감수확용 차량의 개념 설정

우리 나라 감과수원은 경사도가 크고 포장조건이 매우 열악하다. 감나무의 전지, 감 수확 등 작업은 반드시 고가작업을 해야 하므로 작업기가 전복될 위험성도 크다. 그리고 감 수확 전지 등 작업은 그 작업위치의 높이도 일정하지 않으므로 작업시 작업대의 높이를 수시로 변화하여야 한다. 현재 감나무 포장은 조간거리와 주간거리가 작고 주간 수관직경과 조간 수관직경이 크므로 조

향이 어렵다. 이러한 감나무포장에서 전지, 수확 및 포장에서의 운반 등의 작업에도 적용할 수 있는 수평유지제어가 가능하고 작업대의 고도조절도 가능한 작업차량에 요구되는 부가 기능은 다음과 같다.

a. 차대가 다목적으로 이용할 수 있어야 한다.

b. 주행에서 작업으로 전환이 빨라야 한다.

c. 수직이동 수평면 상에서 이동이 자유로워야 한다.

d. 작업대에서 동력작업을 수행할 수 있어야 한다.

e. 작업자의 안전을 최대로 고려해야 한다.

1. 차체

감나무 식재 및 수형 특성조사에 의하면 감나무 평균조간거리는 505 cm 이고 평균주간거리는 315 cm 이며 평균 조간방향 수관직경은 440 cm 이고 평균 주간방향 수관직경은 372 cm 었다. 이러한 포장에서 작업하는 작업기의 전폭은 약 100 cm, 전장은 200 cm 정도로 선택하였다. 평균수고는 444 cm 인데 수확 머니퓰레이터를 이용하여 수확작업을 할 수 있으므로 작업대의 최고높이는 200 cm로 선택하였다. 그리고 감이 열리는 위치도 그 고도가 일정하지 않으므로 작업대의 고도를 수시로 조절할 수 있어야 한다. 그림 4-1에 보인 것과 같이 작업대의 고도조절장치는 연결조인트, 연결대와 2단 X형 프레임으로 구성되었다. 연결대 위의 2단 X형 프레임에 작업대를 부착하여 작업대의 고도제어가 가능하게 하였다. 연결대와 작업대 사이에 1개의 유압실린더를 설치하여 고도를 제어하였다. 감 수확작업은 경사지에서 고가작업을 수행하므로 작업차가 그 어떤 기계보다 전복될 위험이 크다. 그러므로 작업대의 전복에 대한 저항성을 증대하기 위하여 전진방향과 횡 방향 경사에 대하여 수평유지제어를 적용하였다. 작업대의 수평유지는 연결대를 연결조인트로 하체에 부착하여 연

결대의 수평제어가 원활하게 될 수 있도록 하였다. 연결조인트는 2개의 서로 교차된 축을 각각 주행장치와 연결대에 연결하는 구조인데 2개의 서로 교차된 축을 이용하여 연결대가 전후 좌우로 기울 수 있도록 하는 장치이다. 그림 4-2는 조인트의 구조를 표현하는 그림이다. 수평유지제어 장치로는 2개의 유압실린더를 사용하였다. 작업대에는 운전석과 조작장치를 부착시켜 별도의 운전자가 없이도 주행과 작업을 할 수 있도록 하였다.

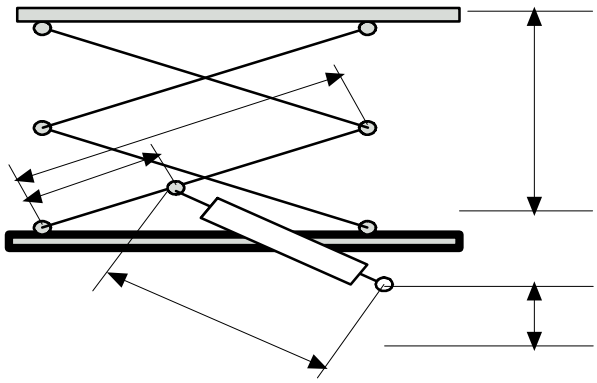


그림 4-1. 작업대 고도 조절 장치 개념도

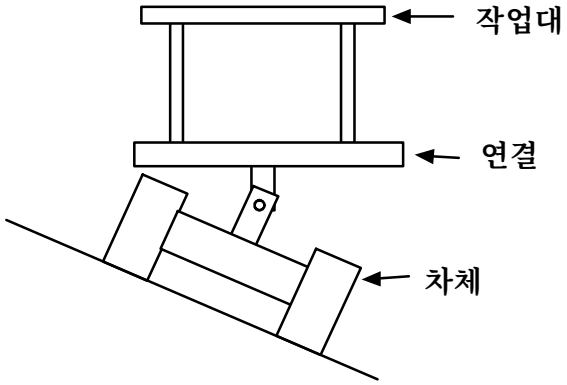


그림 4-2. 경사조절 장치 개념도

2. 주행장치

본 작업차량이 작업하는 감과수원 포장은 경사도가 크고 포장지면이 고르지 않으며 작업기의 작업에 필요한 이동공간이 제한되어 있다. 이러한 포장에서 작업하는 작업기는 주행장치의 추진력이 커야하고 조향 반경이 작아야 한다. 본 연구에서는 주행장치로 고무재질의 무한궤도를 선택하였다. 구동동력 장치는 2개의 유압모터를 사용하였고 조향방식은 1개 구동륜 동력차단 방식과 2개 구동륜을 서로 반대방향으로 구동하는 2가지 방식을 채택하였다. 작업기가 일반주행을 할 때에는 1개 구동륜 동력차단식 조향방식으로 조향할 수 있고 좁은 공간에서 조향할 때와 조향 저항이 큰 지면에서는 2개 구동륜이 서로 반대방향으로 구동하는 방식을 채택하여 최소의 회전반경으로 차체를 360° 회전시킬 수 있다.

3. 동력원

동력원은 필요한 동력을 제공할 수 있는 범위 내에서 기체 크기를 작게 할수록 좋다. 분석한 결과 필요한 소요 동력은 약 12-14 Hp 인데 디젤엔진은 작은 규모에 적합한 것이 없고 또한 크기가 커 동력원으로는 16 Hp 소형 개솔린 엔진을 사용하는 것이 더욱 경제적이라고 판단되었다.

4. 동력전달장치

작업차량은 가능한 소형이어야 하므로 기구가 크고 구조가 복잡한 동력전달장치를 적용하기 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 구조가 간단하고 소요 공간이 작으며 쉽게 동력전달 목적을 실현할 수 있는 유압식 동력전달장치를 적용하였다.

5. 수평제어시스템

수평유지제어 시스템은 유압시스템과 전자시스템을 결합하여 이루었다. 그 원리는 그림 4-3에 나타내었다. 이것은 작업대, 경사감지장치, 전자제어 시스템, 유압제어 시스템, 수평제어 실린더로 구성되어 있다. 경사감지센서를 작업대에 부착하여 작업대의 경사를 감지하도록 하였고 여기서 감지한 정보를 전자제어 시스템에 전달하게 하였다. 전자제어 시스템은 이 신호를 분석 처리한 후 유압제어 시스템의 제어밸브를 작동시킨다. 유압제어 밸브의 제어에 따라 각 수평제어 실린더가 작동하여 작업대의 수평을 유지한다. 이렇게 경사 감지센서, 전자제어 시스템, 유압제어시스템, 수평유지제어 실린더와 작업대가 하나의 사이클을 이루어 수평유지 자동제어가 진행된다.

6. 유압 시스템

그림 4-3은 감수확용 차량의 유압 제어의 개념도이다. 유압시스템은 차량의 구동원으로 쓰일 뿐 아니라 작업대의 수평 경사 유지에도 사용된다.

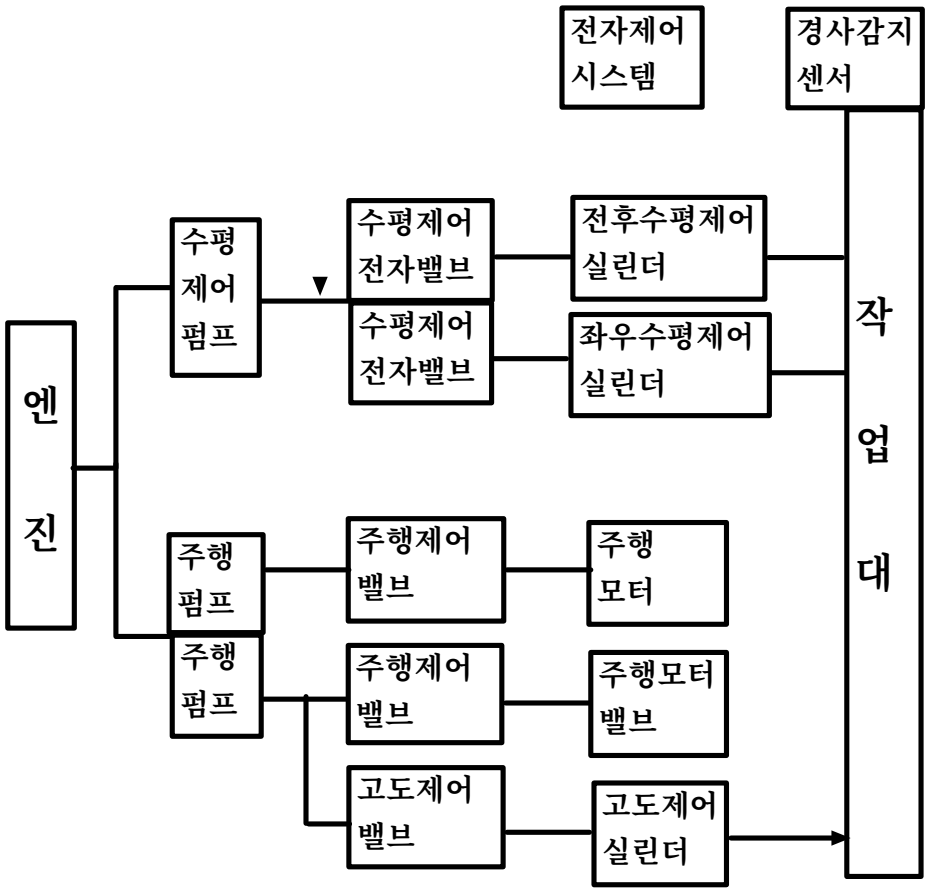


그림 4-3. 감 수확용 차량의 유압제어 개념도

제 3 절 감수확용 차량 1차 시작기의 설계 개발

본 연구에서 개발하고자 하는 고소작업차의 기본 사양은 2인 탑승 (1명 운전 및 수확, 1명은 수확전문)으로 하며 작업대의 폭은 1.2 m, 길이는 2.2 m, 최저 작업대 높이 1.0 m, 최고작업대 높이 2.4 m, 최대 경사도 30°, 상용 경사도 15°, 화물적재방식은 작업대 적재 방식으로 하며 운전자의 위치를 작업대 위로하여 운전자가 수확작업으로 빠르게 전환할 수 있도록 한다.

1. 1차 시작기의 설계 개발

(1) **감수확용 차량의 기본 설계**

단감연구소에서 제시하는 감나무의 재식밀도는 품종에 따라 다르지만 비옥지에는 10a**당** 28-33**주, 척박지나 경사지에서는** 33-40**주를 표준으로 하고 있으며 본 연구에서 제안하는 주간과 조간은** 5 m x 6 m**로서 이대로 할 경우** 10a **당** 33**주가 된다. 일부 진영지역의 조간은 평균적으로** 5.6 m**는 되는 것으로 조사되었으므로 다소 기계가 운행하기에 좁지만 가지와의 간섭을 피할 수 있는 보조장치를 부착한다면 현재의 여건에서도 사용은 가능할 것으로 판단된다.**

본 연구에서 제안하는 이단 X-frame**은 유압장치로 승강할 수 있도록 한 것으로 단동식을 채택하여 승강만을 유압으로 하고 하강은 자중에 의해 이루어진다. 그림** 4-4**는 이단** X-frame**의 구조를 나타낸 것으로 설계변수인** H**와** L**은 상호 밀접한 관계를 가지고 있다. 여기서** L**의 최대 및 최소치는** 992 mm**와** 690 mm**로 실린더의 길이가** 550**인 단동 실린더를 채택하였다. 이에 따른** H**의 최대치는** 1496 mm **이다.**

그림 4-5**는 단동 실린더의 구조를 나타낸 그림이다. 단동 실린더의 직경은 상부 작업대의 동적인 분석으로 결정이 가능하다. 본 시스템에서 상부프레임의 상승속도를 최대** 10cm/s**로 정하였기 때문에 동하중의 크기는 매우 작다. 고정하중을** 400 kg, **동하중을** 150 kg**으로 볼 때 로드에 작용하는 최대하중은 최초 가장 낮은 위치에서 밀어 올리는 경우에 발생하며 그 때 로드에 작용하는 하중의 크기는** 1111.44 kg**이 된다.**

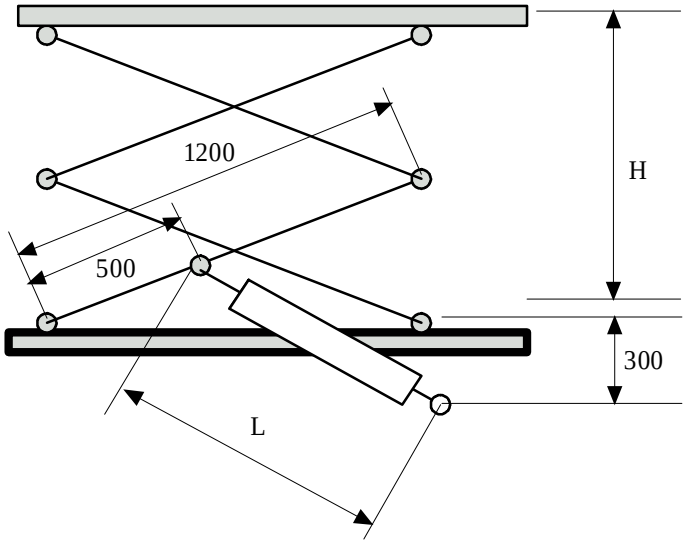


그림 4-4. Double X-frame**의 구조와 설계변수**

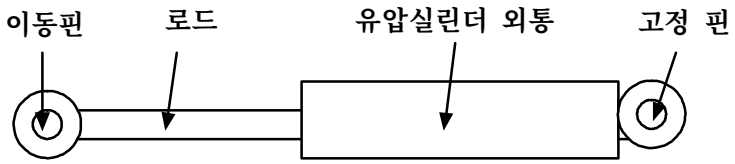


그림 4-5. **단동실린더의 구조**

축의 직경은 위치에 따라 변하지만 가장 작은 로드의 직경을 기준으로 하여 구한다. 세장비(λ)에 따라서 오일러식 또는 랭킨 식을 사용해야 하는데 본 연구에서는 오일러 식을 이용하여 구하였다.

$$\lambda = \frac{l}{K}, \quad K = \frac{d}{4} \text{ (중실축)}$$

오일러 식 $F_E = \frac{n \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi}{64}(d_2^4 - d_1^4)}{l^2} \frac{1}{S}$

여기서 F: 좌굴하중(kg)

E: Young 계수 (kg/mm^2)

d: 로드의 직경(mm)

l: 양단간 거리(mm)

이 식을 이용할 경우 로드의 직경은 중압 유압시스템을 이용할 경우 50mm로 충분하였다.

작업대는 운전석 공간과 작업공간이 있어야 하므로 궤도부보다 더욱 크게 설계되었다. 그림 4-6은 상부 작업대의 설계도이다. 작업대의 크기에 비해 중량을 작게 해야 하므로 3t 듀랄미늄판을 절곡하여 제작하였으며 보강판은 1t 듀랄미늄 판을 이용하였다.

경사조절 장치는 유압에 의해 작동되며 경사각 30도 범위까지 조절가능하도록 설계하였다. 그림 4-7에서 보여주듯이 Double X-frame의 폭은 800mm이므로 30도 각도 조절을 위해서는 400mm(±200) 길이변화를 나타내는 복동실린더가 필요하였다. 복동실린더에 작용하는 최대하중은 780kg으로 실린더 외통의 길이 250mm, 로드의 직경 40mm를 선택하였다. 좌우측 경사조절 장치의 위에 Double X-frame이 부착되고 이 위에 상부작업대가 부착된다.

따라서 두 개의 유압실린더를 제어할 수 있는 유압 시스템이 필요하다. 경사조절 장치의 원리는 본체와 작업대 사이에 전후 좌우 경사를할 수 있는 중간 연결대를 설치하고 차체의 경사를 감지하여 이 작업대를 수평으로 유지시키는 것이다.

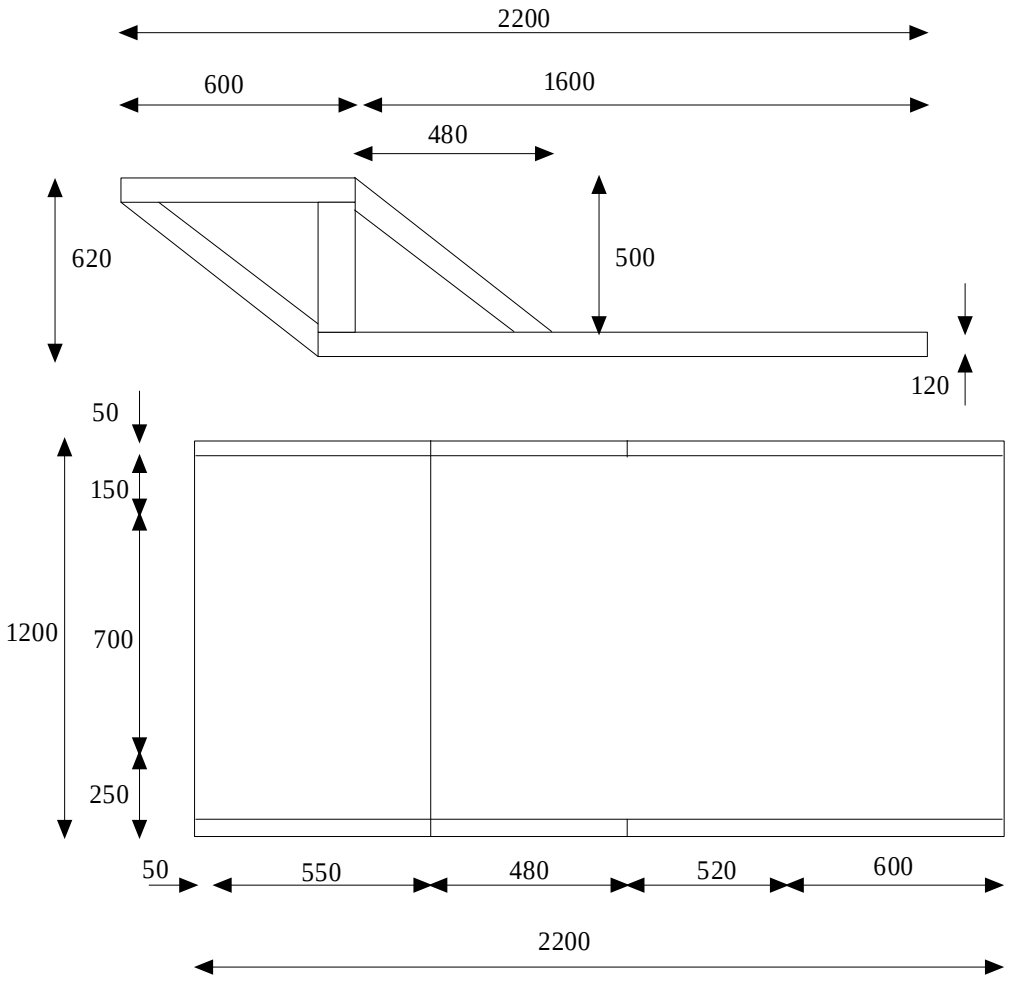


그림 4-6. 상부작업대의 크기

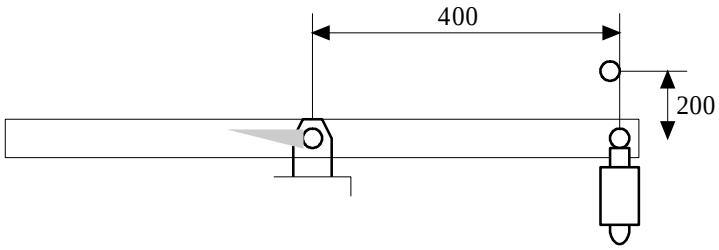


그림 4-7. 좌우측 경사조절 장치의 제원

차체 작업대의 경사를 전후 좌우로 제어하기 위하여 제어부를 고안하였다. 산업용 소형 제어 컴퓨터와 경사각 센서(추를 이용하되 추의 진동을 적절히 감쇠시키는 방법으로 제어부의 안정도를 높임) 및 전자 유압 방향제어밸브로 구성하였다.

경사도 조절을 수동으로 하는 것은 운전에 숙련되지 않는 경우에 위험할 수 밖에 없으므로 경사도 조절은 자동으로 하되 작업대가 상승하는 경우에는 경사도조절이 수동으로 전환되도록 하였다. 단 작업대 상승과 하강은 기계가 진행하는 경우에는 이루어지지 않도록 하였다. 표 4-1은 감수확용 차량의 진행과, 기체평형유지, 작업대 상승과 하강의 조합을 표시한 것이다.

표 4-1 기계의 유압장치의 작동관계

기계의 진행 방향	기체의 평형유지장치		작업대 상승하강	
전진	자동모드		정지	
정지	수동모드	정지	수동모드	작동
	수동모드	작동	수동모드	정지
후진	자동모드		정지	

(2) 평형유지 기구(mechanism) 설계

감수확용 차량은 경사지에서 고가작업을 수행하기 때문에 어떤 기계보다도 전복될 위험성이 크다. 본 연구에서는 전복에 대한 저항성을 증대시키기 위하여 기계의 진행방향과 횡방향 경사에 대하여 기체의 평형을 유지하는 기계본체를 개발하는 것이 가장 중요한 과제로 인식되었다.

본 연구에서 감수확용 차량의 평형을 유지하는 방법은 1개의 유압실린더에

의해 작동하는 경사판 위에 별개의 유압실린더 1개와 또 다른 경사판을 설치하고 그 판에 작업대를 상승시키는 링크구조를 탑재한 것이다. 1차년도의 한방향 경사를 평형시키는 구조로는 두 방향 경사를 갖는 실제의 과수원에서 적응성이 없었기 때문에 구조를 전면적으로 새롭게 설계하였다. 평형을 유지하는 기계기구를 그림 4-8에 도식적으로 표시하였다. 그림에서 피봇A는 기체의 횡방향 경사에 대하여 회전할 수 있는 것으로 주행부 차체에 설치된 것이며, 피봇 B는 피봇A에 부착된 횡방향 경사판에 설치된 것으로 전후방향경사판을 탑재하고 있다. 실린더 A는 주행부 차체와 횡방향 경사판의 거리를 조절하는 것이며, 실린더 B는 횡방향 경사판 위에 설치되어 전후경사판과의 거리를 조절하여 전후 경사판은 주행부 차체가 어느 방향으로 기울어지더라도 절대 평형을 유지할 수 있도록 한 것이다.

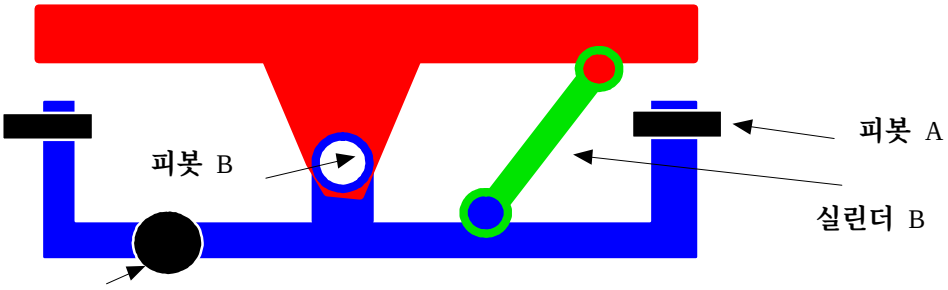


그림 4-8. 평형유지 기구의 설계

그림 4-8에 제시된 구조를 제작하여 시험한 결과 피봇 A와 피봇 B 의 거리가 40cm 정도 되는데 구조가 복잡하여 다음과 같은 개선된 형태를 개발하였다. 그림 4-9의 구조는 본 연구에서 요구하는 특성을 만족하고 있으며 구조가 간단해져서 본래 목표로 한 경사도 10도 보다 더 큰 15도를 얻을 수 있었다.

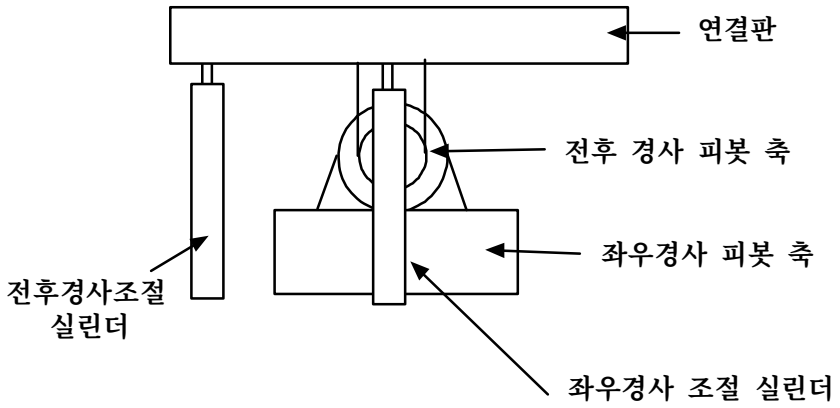


그림 4-9. 개선된 양방향 경사가능형 평형유지 기구

(3) 경사감지 센서의 설계

감지센서로서 로타리엔코더를 사용할 경우에 각도의 크기를 신호로 받을 수 있는 이점이 있기 때문에 이를 이용하여 각도 센서로서의 가능성을 타진하였다. 순간적으로 10도의 경사를 준 경우에 로타리엔코더에 부착된 추는 진동학에서 말하는 감쇠자유진동을 유발하였다. 그림 4-10은 로타리 회전축에 질량관성모멘트 718g-cm^2을 가진 추를 부착하였을 경우에 진동 신호를 나타낸 것이다. 이 그래프는 로타리 엔코더에서 나타나는 신호를 PC로 받아 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 순간적인 각도변화는 추의 진동을 유발하고 추의 진동은 솔레노이드 구동 릴레이의 신호에 잦은 단속을 일으켜 진동을 심화시키는 결과를 초래하였다. 따라서 적절한 감쇠조절 없이 추와 로터리 엔코더를 이용하는 것은 부적합한 것으로 나타났다.

진동을 감쇠진동으로 바꾸기 위하여 추의 형상을 그림4-11과 같이 설계하였다. 이 추의 회전축에 대한 질량관성모멘트는 1250 g-cm^2였다. 앞에서 본 바와 같이 로타리엔코더의 감쇠계수는 매우 작기 때문에 감쇠를 주기 위하여 유압용 기름을 담은 용기 안에서 이 추가 움직이도록 하였으며 감소가 너무 크지

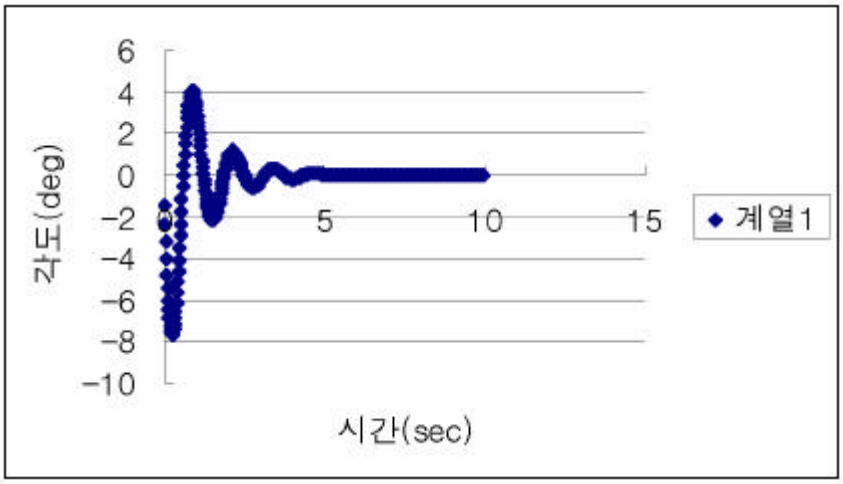


그림 4-10. 경사감지 센서의 진동 특성

않도록 추의 단면에 직경 10mm의 구멍을 만들었다.

제작된 추에 작용하는 감쇠력은 추의 각속도에 비례하는 것과 각속도 제곱에 비례하는 것이 복합된 경우로 볼 수 있으며 이론적으로 다음과 같이 모델링된다.

$$I\ddot{\theta} = (mg - F_B) \cdot r \cdot \sin\theta + \frac{\mu}{h} AL\dot{\theta} + K\dot{\theta}^2$$

이 식에서 우측 첫째 항은 중력에 의한 힘을 뜻하며 둘째 항은 점성감쇠를 셋째 항은 추의 단면에 설계된 구멍과 추의 좌우 측면을 통한 오리피스 손실이다. 유압용 오일의 점도는 다양한 점도와 밀도를 가지므로 오일의 점도와 밀도를 이용하여 추의 운동을 critical damping으로 바꾸기 위하여 시행착오를 겪었다.

본 연구에서는 그림 4-11에 보여준 추를 제작하여 간극을 0.8mm가 되도록 진자박스를 만들고 ASO 50W 오일을 이용하여 critical damping을 구현하였다.

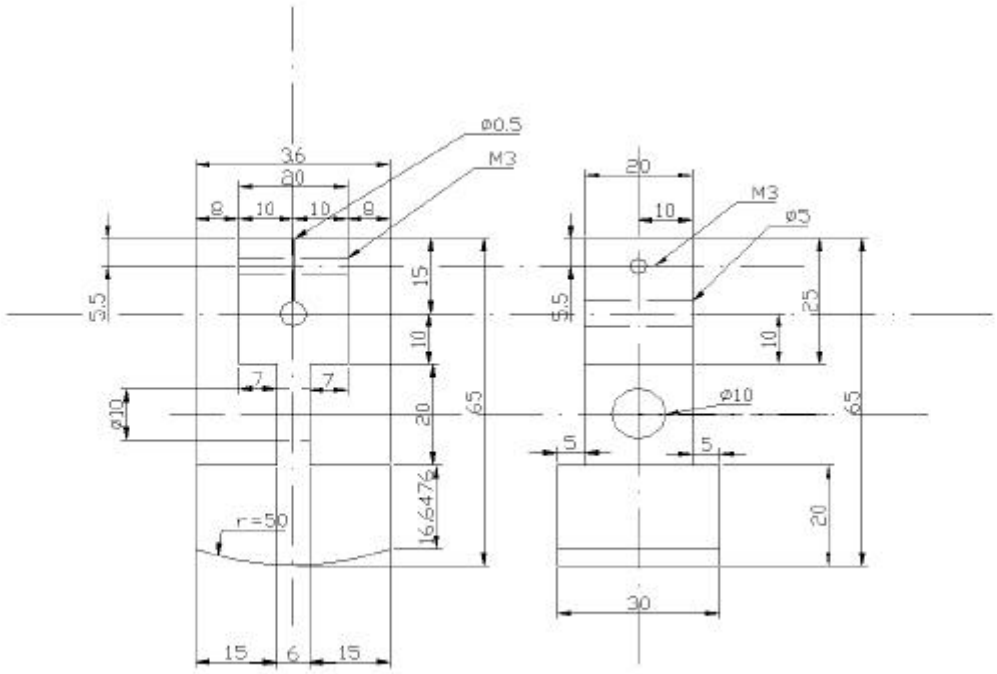
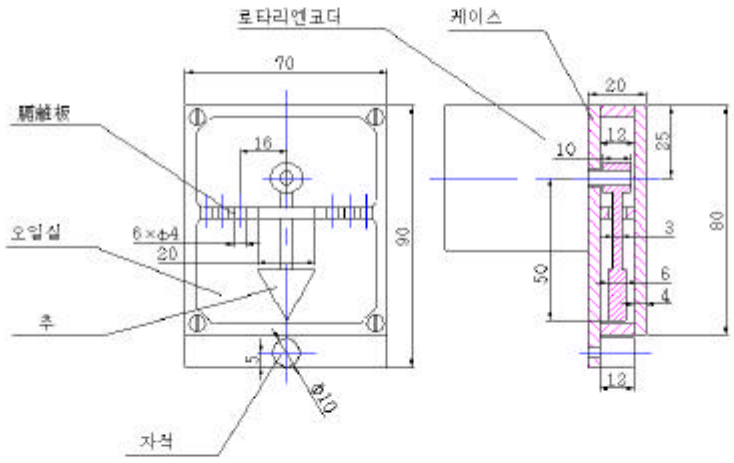


그림 4-11. 경사감지용 감지센서 추의 설계

그림 4-12는 시작기에 장착한 경사도 측정센서 그림이다. 추의 경사를 로타리엔코더가 감지하여 유압실린더를 제어하도록 되어 있으며 추의 진동을 감쇄시키기 위하여 추가 움직이는 공간에 점도가 있는 오일을 담아서 추가 오일 속에서 움직이도록 하였다. 오일의 점도를 적당하게 선택하면 추의 진동을 최소로 낮출 수 있다. 경사감지 센서와 전자제어 시스템은 2차 포장 성능실험에서 문제를 발생시키지는 않았다.

(4) 유압장치의 설계

유압장치에 사용된 펌프와 밸브의 제원은 표 4-2에 나타내었다. 본 기계에



서는 다른 농기계와 달리 유압장치가 많이 요구되기 때문에 별도의 오일탱크와 필터를 갖추고 있다.

본 감수확용 차량은 제자리 회전이 가능하도록 유압모터를 두 개 사용하고 있기 때문에 유압회로가 다소 복잡하다. 그림 4-13은 1차년도에 적용한 감수확용 차량의 유압장치를 설계한 그림이다. 그림 4-13의 유압시스템을 구성하여 감수확용 차량에 설치하여 제어성능을 조사한 결과 솔레노이드 밸브의 유량을 조절함에 따라 다양한 반응속도를 얻을 수 있음이 확인되었다. 그러나 본 회로에는 Unloading 회로가 포함되어 있지 않아 동력의 소모가 많았다. 따라서 제어 장치에 우선권을 부여하면서 필요에 따라서는 개별적으로 작동하고, 동시에 유압력을 집중할 수 있는 회로를 개발하여 제작하였다. 그림 4-14는 2차년도 1차 시작기의 유압장치 회로도이다. 유압장치의 설계시 고려된 중요사항은 무부하시 부하제거밸브가 작동되도록 하였으며 수평제어 실린더 작동의 독립성을 고려하여 각 수평제어 실린더마다 별도의 펌프를 사용하였다. 그리고 수평제어 실린더마다 속도를 제어할 수 있도록 유량조절밸브를 적용하였다. 주행모터와

표 4-2 유압제어회로 구성품의 제원

품 명	개 수	제 원
펌프	1	240 kg_f/cm^2, 3 liter/min, 1800 rpm
릴리프밸브	1	240 kg_f/cm^2, 3 liter/min
유압모터	2	굴삭기용(160 kg_f/cm^2, 291 cm^3/rev, 30 rpm)
3위치밸브	3	가변유량, 작동방식[솔레노이드(4), 매뉴얼(1)]
2위치밸브	5	가변유량, 솔레노이드
유량제어밸브	4	가변유량, 솔레노이드
상승하강실린더	1	내경 50 mm, 단동실린더, 유효행정 450 mm
좌우경사실린더	1	내경 50 mm, 복동실린더, 유효행정 150 mm
전후경사실린더	1	내경 50 mm, 복동실린더, 유효행정 200 mm

상승하강실린더는 주행과 고도제어를 동시에 하지 않으므로 하나의 펌프를 사용하였다. 고도제어는 수동으로 실행하도록 하였다. 3 위치 전기제어형 방향제어밸브는 all-port closed 형으로서 밸브에 2개의 릴레이 신호가 입력되며 2 위치 전기제어형 방향제어밸브는 하나의 릴레이 신호가 입력된다.

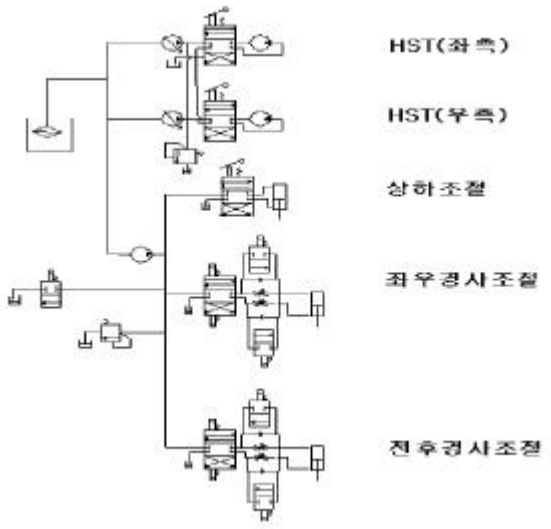


그림 4-13. 감수확용 차량의 시험용 유압회로

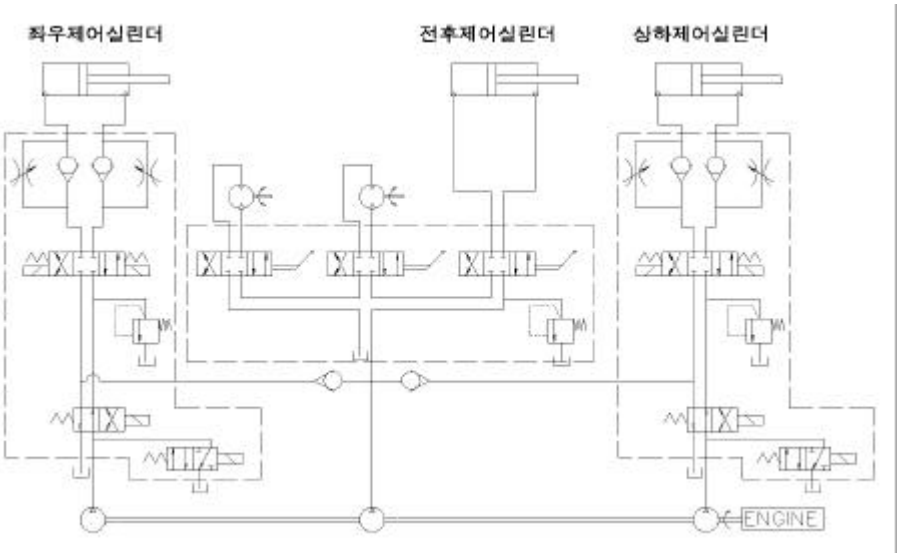


그림 4-14. 1차 시작기의 유압회로도

(5) 전기제어장치의 설계

유압장치를 제어하는 제어부는 산업용 PC를 이용하였다. 이것은 하나의 로타리엔코더 신호를 받아 각도별로 8개의 독립된 제어신호를 발생시키는데 제어신호의 전류가 약하여 직접 솔레노이드 밸브를 제어하지 못하므로 중간에 릴레이를 사용하여 솔레노이드 밸브를 제어하도록 설계되었다. 그림 4-15는 본 전기제어장치의 설계도를 나타낸 것으로 이와 같은 장치가 각각 좌우 전후방향 경사제어에 사용되며 본 장치는 수동과 자동을 겸하고 있어 정지중에는 수동모드로 사용할 수 있게 설계, 제작되었다. 그림 4-16은 제어장치의 외부연결도를 나타낸 것이다. 그림 4-15의 회로는 유압실린더 1개의 제어에 필요한 것으로 평가 결과 성공적이었다. 따라서 두가지 방향을 제어하면서 새롭게 구성된 유압회로를 지원하는 Sequence 제어 회로를 새롭게 구성하였다. 그림 4-17은 새로운 유압회로에 적용되는 솔레노이드 밸브 구동 시퀀스제어 회로도이다.

이 시스템의 성능은 시작기에 부착하여 작동시킨 결과 원만히 작동되는 것이 확인되었다. 그림 4-18은 본 연구에서 각도별로 설정한 제어량별 반응을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 1회전을 256등분하는 8-bit encoder를 사용하였다. 이 encoder는 기체가 수평상태에 있을 경우 128(180o)의 수치를 출력시키고 불감대로는 126-130(177.2o-182.8o)을 정하여 이 정도의 각도에서는 수평을 유지하기 위하여 유압실린더가 작동하지 않도록 하였다. 또한 120-126 (168.8o - 177.2o) , 130-136 (182.8 - 191.3)은 저유량 밸브가 작동하고 100-122 (140.6o - 171.6o), 134-156(188.4o - 219.4o)은 고유량 밸브가 작동하도록 하였다. 정상적인 운전에서는 두가지 밸브가 모두 작동하지 않으나 갑작스런 기체경사의 변화가 있을 때에는 유량의 변화가 3단계로 조절되어 빠르게 부드럽게 기체의 평형을 유지하게 된다.

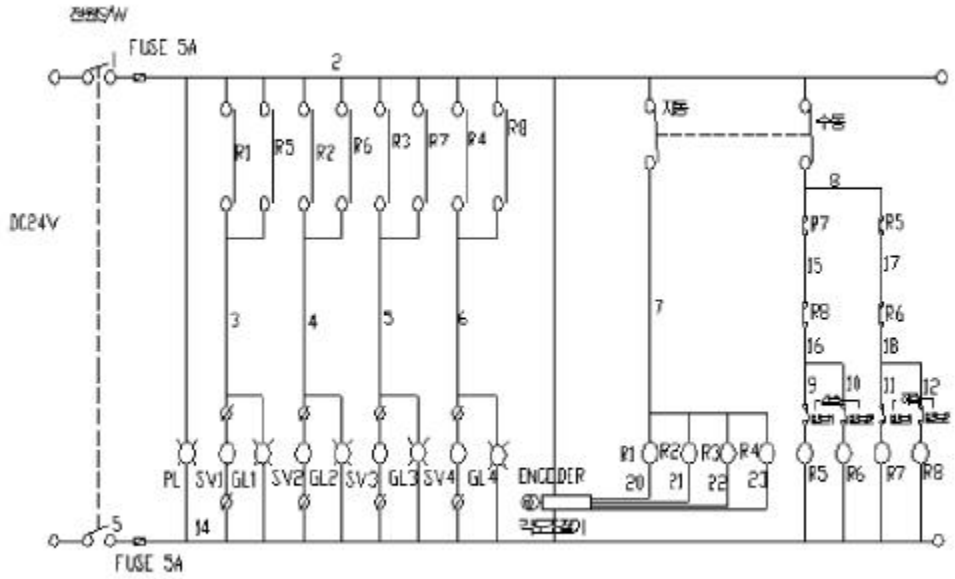
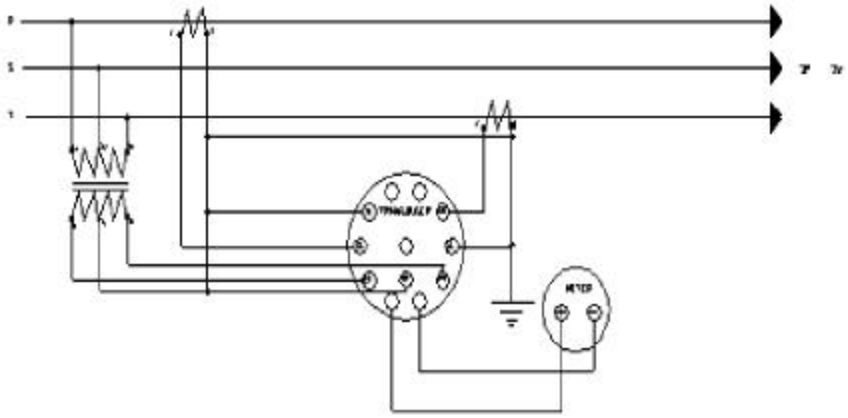
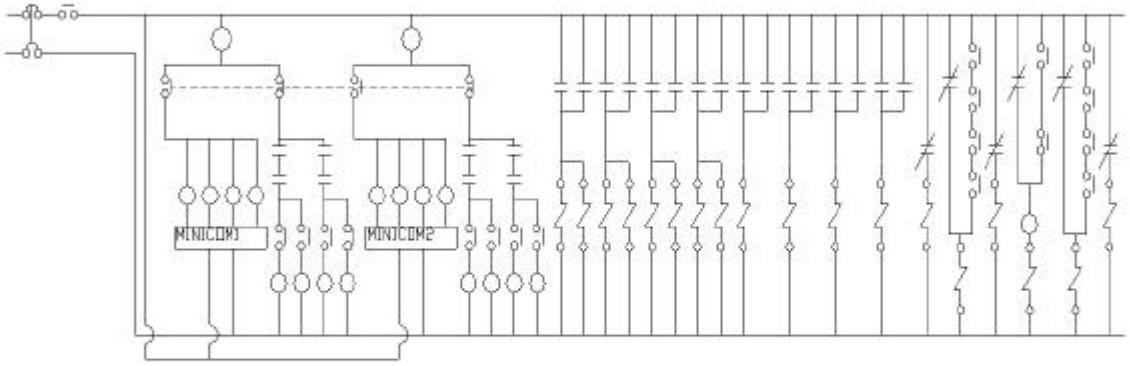


그림 4-15. 한방향 제어용 sequence control circuit

OUTSIDE CONNECTION DIAGRAM (W.VAR/PT)





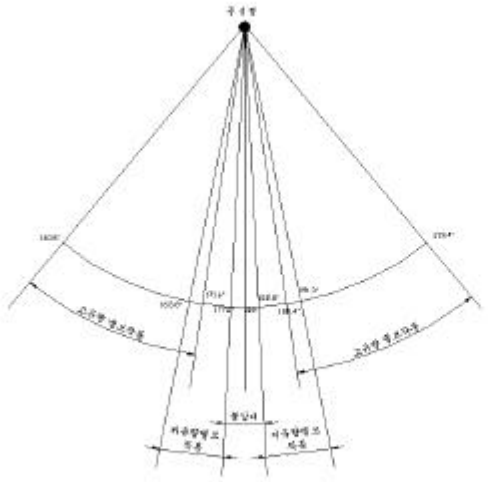


그림 4-18. 경사각도에 따른 유량조절 밸브의 작동

(6) 평형유지성능실험

평형유지 성능을 시험하기 위하여 감수확용 차량의 주행속도를 0.3 m/s로 가정하고, 지면의 경사도변화를 최대 10°로 정하였으며 지면의 경사도변화가 차체에는 순간적으로 발생하므로 순간적인 기계의 가속도는 다음의 식으로 표시된다.

$$M = I \cdot \alpha = m S = m v(t) \Delta t$$

여기서 M은 어느 순간의 회전 모멘트이며, I는 기계 전체의 질량관성모멘트, α는 각가속도, $v(t)$는 기계의 진행속도, Δt는 기체가 회전하기 시작한 시점으로부터의 시간변화량이다. 즉 시간이 지남에 따라 회전모멘트가 커지기 때문에 각가속도가 일정하지 않고 시간에 따라서 변하는 경우에 해당된다.

평형유지 성능을 실험을 하기 위한 장치를 그림 4-19와 같이 구성하였다. 순간적인 각변위를 인위적으로 가한후 복귀하는데 걸리는 시간과 동작의 연속성(smoothness)을 관찰하였다.

시작기가 완성된 후에 경사도 실험은 시작기를 임의로 경사지게 하여 유압을 작동시켜 복원되는 정도와 시작기에 자동제어장치를 작동시키고 순간적인 기체의 경사의 변화를 관찰하였다. 개발된 추와 제어회로 유압회로는 모두 정상적으로 작동하였다.

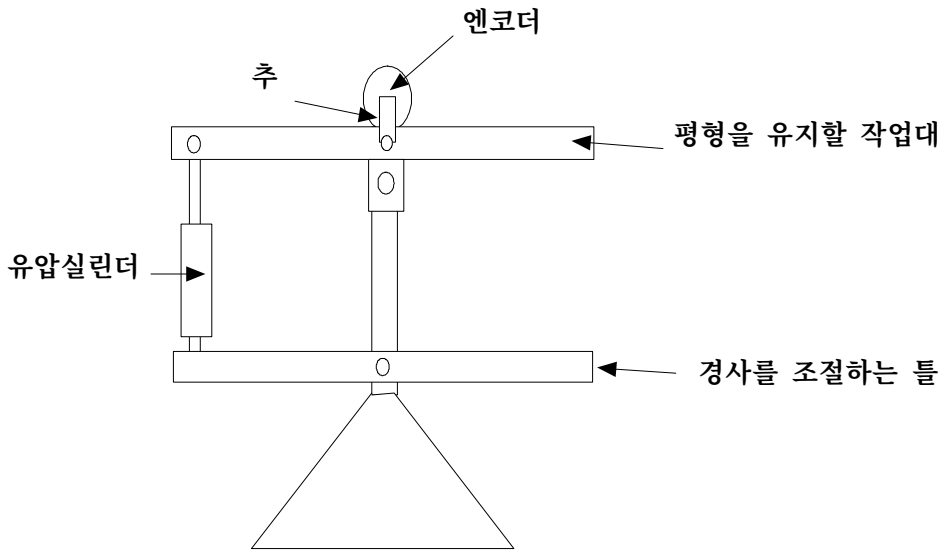


그림 4-19. 평형유지 실험 장치의 구성

(7) 1차 시작기 성능 실증 실험

실증 실험은 1998년 10월 29일에 경남 김해시 한림면 중앙과수원에서 실시하였데 각 실험은 3반복으로 진행하였다. 그림 4-20은 단감 과수원에서 실시한 등판능력, 수평제어 및 산지 주행실험을 수행하고 있는 광경이다.

1) 등판능력실험

등판능력실험은 주행거리가 15 m 이고 경사도가 8 24도 범위인 굽은 산길에서 진행하였는데 주행시간은 40 초, 평균 주행속도는 0.38 m/Sec였다. 시작기의 출발시 차체에 약간의 흔들림과 운전속도가 급속히 변화할 때 작업대에 약간의 진동이 발생한다. 차체의 방향전환과 360도 회전은 원활하였다.

그림 4-20. 1차 시작기 실증 실험 사진

2) 평지주행실험

평지주행실험은 거리가 20 m의 아스팔트 포장도로에서 수행하였는데 주행속도는 0.54 m/sec 로 측정되었다. 주행 및 360도 회전은 원활하게 진행되었다.

3) 수평유지 제어실험

주행시 수평유지 제어실험 결과 주행시 작업대의 수평제어가 정확하게 진행되고 그 반응도 민감하였다. 수평유지제어가 가능한 최대 경사각도는 좌 24 , 우 25 , 전 20 , 후 25 도 였다. 약간씩 차이가 나는 것은 차체의 구조적 차이

로 인하여 발생하는데 특히 앞쪽에는 엔진이 있기 때문에 경사가능 각도가 적었다. 최대 경사각으로부터 수평을 이루는 속도가 너무 빠르면 진동이 발생하였으며 실험에 의하면 최대 경사각을 수평으로 제어하는데 소요되는 시간은 약 5초가 적당한 것으로 판단되었다.

4) 작업대의 상승하강 작동실험

작업대 상하작동은 안전을 위하여 기체의 진행이 정지상태에 있을 때 작동을 시키는 것이 좋으며, 따라서 실험도 기체가 정지사태에 있을 때 수행하였다. 작업대의 상승하강작동은 원활하였으며 상하 작동거리는 0.9 m로서 작업대의 높이는 최저 1 m에서 1.9 m까지 가변될 수 있다. 작동시간은 9 초로서 0.1 m/sec의 작동속도를 가졌는데 이것이 적당한 속도로 판단되었다.

2. 1차 시작기의 설계 결과 요약

그림 4-21은 제작된 1차 감수확용 차량 시작기의 측면도이고 그림 4-22는 작업대를 올린 상태의 각부의 명칭을 표시한 그림이다. 표 4-3은 1차 시작기의 주요사양을 표시한 것이다. 제작된 감 수확용 차량은 19 ps의 디젤 엔진을 탑재하였고 두 개의 유압 모터에 의해 구동이 된다. 경사지 운행시 작업대의 수평제어를 위해 전자 시스템과 유압 시스템이 사용되었다. 작업대의 경사도를 감지하는 센서가 제작되었으며 차량의 구동과 작업대의 수평제어에 사용되는 유압 시스템이 설계, 제작되었다.

표 4-3 1차 시작기 주요사양

구 분	수 량	제 원
기 체	1	전장 2127 mm, 전폭 1340 mm 전고 1900 mm, 최저위치 2800 mm, 최고위치 작업대 높이, 최저위치: 1000 mm 최고위치: 1900 mm
차량 중량		750 kg (실측값이 아니고 추정치임)
엔 진	1	19 ps/ 2800 rpm, 5.4 kg_f·m/1800
주행펌프	1	248 kg_f/cm^2, 9.5 cc's/rev
수평제어펌프	2	248 kg_f/cm^2, 2.7 cc's/rev
유압 모터	2	160 kg_f/cm^2, 291 cm^3/rev, 30 rpm, 598.4 N·m
상승하강제어실린더	2	내경 50 mm, 복동, 사용압력 150 kg_f/cm^2, 유효행정 560 mm
좌우수평제어실린더	1	내경 50 mm, 복동, 사용압력 150 kg_f/cm^2, 유효행정 200 mm
전후수평제어실린더	1	내경 50 mm, 복동, 사용압력 150 kg_f/cm^2, 유효행정 200 mm
수평제어 시스템		전자시스템, 유압시스템

그림 4-21. 감 수확용 차량 1차 시작기의 측면도

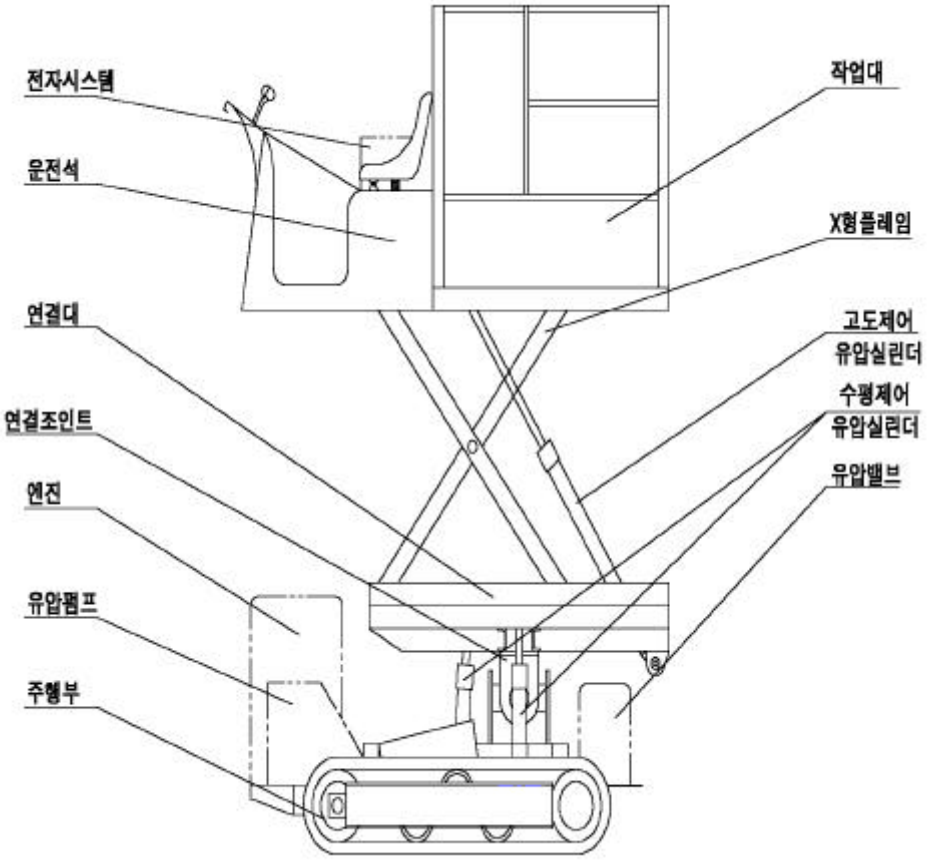


그림 4-22. 1차 시작기 세부 명칭도

제 4 절 감수확용 차량 2차 시작기의 설계 개발

1차 시작품의 포장 성능 실험을 통하여 차체의 폭을 축소하고 유압회로의 간소화와 경사 감지센서의 댐퍼 증가의 필요성이 파악되어 2차 시작품 설계시

에는 상품화할 때의 경제성 등을 고려하여 차체의 축소 및 유압과 전기회로의 간소화에 중점을 두었다. 특히 경사감지센서의 최적의 감지 효과를 거둘 수 있는 방법을 분석 개발하고자 하였다. 1차 시작기와 주요 차이점은 윤거의 감소, 차체 프레임의 크기와 작업대 크기의 감소, 전자 및 유압제어 시스템의 간소화, 엔진 규격 축소 등이다.

1. 2차 시작기의 설계

(1) 차체

그림 4-23은 개선된 감 수확용 2차 시작기의 주요 부위의 명칭을 나타낸 것이다. 그림 4-23에서 보는 바와 같이 작업대의 고도조절 장치는 연결조인트, 연결대와 2단 X형 프레임으로 구성되었다. 연결대 위의 2단 X형 프레임에 작업대를 부착하여 작업대의 고도제어가 가능하게 하였다. 연결대와 작업대 사이에 1개의 유압실린더를 설치하여 고도제어를 하였다. 작업기의 내리막 주행시 갑작스런 정지에 의해 생길 수 있는 작업기의 전도를 방지하고자 작업기의 무게 중심을 후면으로 이동하기 위해 엔진 및 주행 유압 모터를 작업기의 후면에 배치하였다. 작업대의 수평유지는 연결대를 연결조인트로 하체에 부착하여 연결대의 수평제어가 원활하게 될 수 있도록 하였다. 연결조인트는 2개의 서로 교차된 축을 각각 주행장치와 연결대에 연결하는 구조인데 2개의 서로 교차된 축을 이용하여 연결대가 전후 좌우로 기울 수 있도록 하는 장치이다. 이 장치는 구조가 간단하고 그 작용이 정확하다. 그림 4-24는 조인트의 구조를 표현한 그림이다. 수평유지제어 장치로는 2개의 유압실린더를 사용하였다. 작업대에는 운전석과 조작장치를 설치하여 별도의 운전자가 없이도 주행과 수확 작업을 할 수 있도록 하였다.

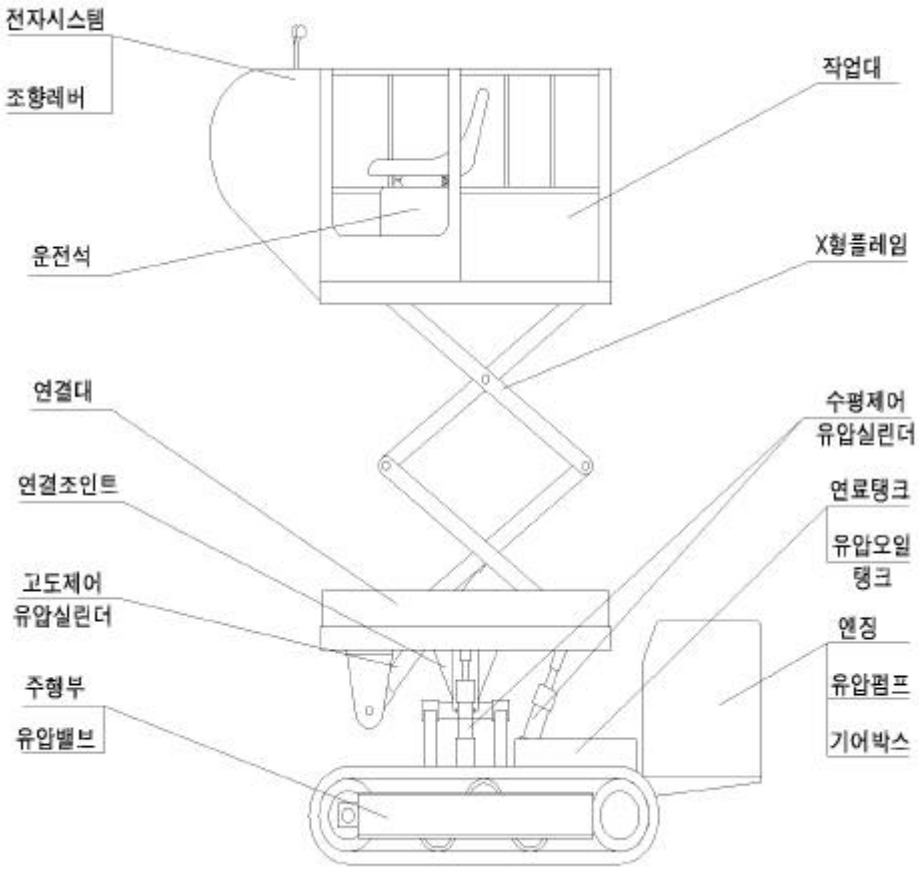


그림 4-23. 2차 시작기 세부 명칭도

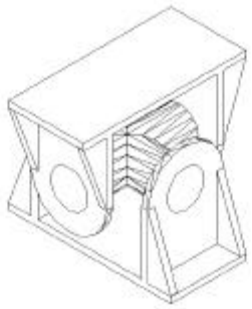


그림 4-24. 연결 조인트

(2) 주행장치

본 작업차량이 작업하는 감과수원 포장은 경사도가 크고 지면이 고르지 않으며 작업기의 작업에 필요한 이동공간이 충분치 않다. 이러한 포장에서 작업하는 작업기는 주행장치의 추진력이 커야하고 선회 반경이 작아야 한다. 본 연구에서는 주행장치로 고무재질의 무한궤도를 선택하였다. 구동동력 장치는 2개의 유압모터를 사용하였고 조향방식은 1개 구동륜 동력차단 방식과 2개 구동륜을 서로 반대방향으로 구동하는 2가지 방식을 채택하였다. 작업기가 일반주행을 할 때에는 1개 구동륜 동력차단식 조향방식으로 조향할 수 있고 좁은 공간에서 조향할 때와 조향 저항이 큰 지면에서는 2개 구동륜 서로 반대방향으로 구동하는 방식으로 최소의 회전반경으로 차체를 360° 회전시킬 수 있다.

(3) 동력원

동력원은 필요한 동력을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 기체의 크기에 미치는 영향이 작을수록 좋다. 소요 동력은 약 12-14 hp으로 분석되었으며 디젤엔진은 이 규모에 적합한 것이 없고 1차 시작기에서 사용한 디젤 19 ps이 약간 크게 판단되었기에 동력원으로는 14 hp 수준의 소형 가솔린 엔진을 사용하는 것이

더욱 경제적이라고 판단되었다.

(4) 동력전달장치

작업차량은 가능한 소형이어야 하므로 기구가 크고 구조가 복잡한 동력전달장치를 적용하기 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 구조가 간단하고 소요 공간이 작으며 쉽게 동력전달 목적을 실현할 수 있는 유압식 동력전달장치를 채택하였다.

(5) 수평제어시스템

수평유지제어 시스템은 유압시스템과 전자시스템을 결합하여 이루었다. 그 원리는 그림 4-25에 나타내었다. 이것은 작업대, 경사감지장치, 전자제어 시스템, 유압제어 시스템, 수평제어 실린더로 구성되어 있다. 경사감지센서를 작업대에 부착하여 작업대의 경사를 감지하도록 하였고 여기서 감지하는 정보를 전자제어 시스템에 전달하게 하였다. 전자제어 시스템은 이 신호를 분석 처리한 후 유압제어 시스템의 제어밸브를 작동시킨다. 유압제어 밸브의 제어에 따라 각 수평제어 실린더가 작동하여 작업대의 수평을 유지한다. 이렇게 경사 감지센서, 전자제어 시스템, 유압제어시스템, 수평유지제어 실린더와 작업대가 하나의 순회를 이루어 수평유지 자동제어가 진행된다.

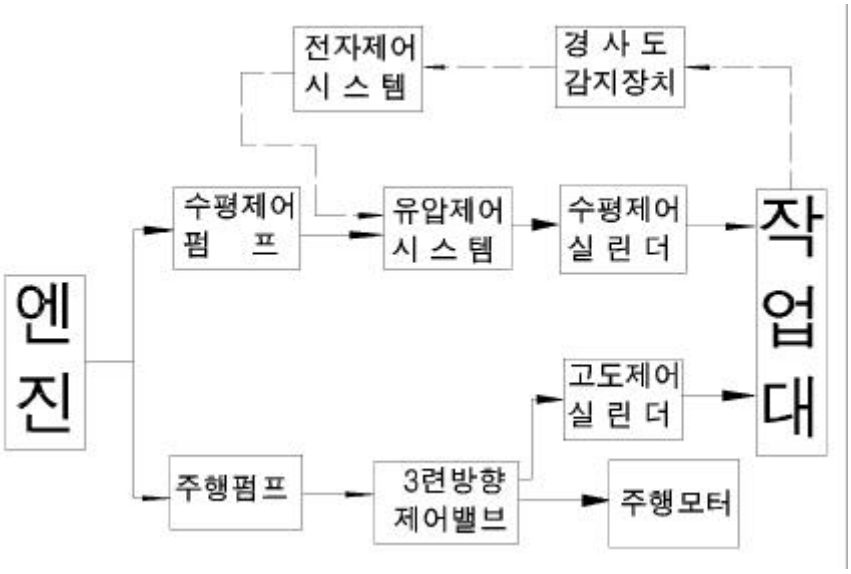


그림 4-25. 2차 시작기 작동 원리

2. 2차 시작기의 세부 설계

(1) 유압 실린더의 선택

작업대 상하제어 실린더의 중요한 부하로는 작업대의 중량이다. 그러므로 실린더의 치수는 작업대의 중량에 의해 선택할 수 있다. 그림 4-26은 실린더에 작용하는 힘을 분석한 약도이다. 그림에서 F은 실린더가 X형 프레임에 작용하는 작용력이고 W은 작업대의 중량이다. δr_1와 δr_2은 두 힘의 작용점의 가상 변위다. 작업대가 평형을 잡을 때 F_1과 F_2은 식 (1)를 만족한다.

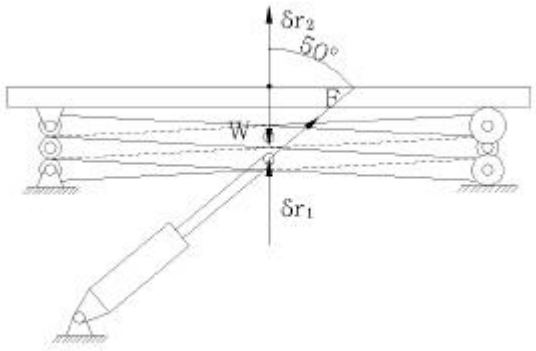


그림 4-26. 실린더 힘 분석 약도

$$\mathbf{F} \bullet \delta \mathbf{r}_1 + \mathbf{W} \bullet \delta \mathbf{r}_2 = 0 \qquad (1)$$

여기에서 $\mathbf{W}$ =1.5 kN, $4\delta \mathbf{r}_1 = \delta \mathbf{r}_2$, F를 식 (1)에 대입하면 다음과 같은 해를 구할 수 있다.

$$\mathbf{F}_1 = 4\mathbf{F}_2 / \cos 50° = 4 \times 1.5 / \cos 50° = 9.33 \text{ kN}$$

유압실린더의 최소 내경 D_{min}는 식 (2)에서 구할 수 있다.

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 F_1 \times 10^3}{\pi P}} \qquad (2)$$

여기서 D_{min} : 실린더 최소 내경, mm P : 실린더 상용압력, MPa

$\mathbf{F}_1$과 P=15 MPa를 식 (2)에 대입하면 D_{min}=28 mm가 된다. 위의 계산에서는 마찰을 고려하지 않았으며 재료의 구입 및 안전율 등을 고려하여 실린더 내경을 50 mm로 택하였다. 실린더의 유효행정은 고도 제어 설정(1 m)에 의해 260

mm로 선택하였다. 수평유지제어 실린더는 부하가 상하 실린더 보다 작지만 역시 위에서 서술한 이유 때문에 그 내경을 50 mm로 선택하였고 유효행정은 수평제어각도(± 15도) 설정에 의하여 120 mm로 선택하였다.

(2) 유압모터의 선택

유압모터의 선택은 시작기의 주행저항, 포장에서의 주행속도 및 추진력의 크기를 고려하여야 한다. 감나무 포장의 토질 조건은 Metamira 고운 사질 양토를 경심은 13 cm로 경운한 것으로 간주하였다.

1) 견인력 및 기타부하의 계산

시작기가 등판시에는 구름저항 외 등판저항도 있다. 이때의 견인력은 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$H = F - R - R_{g\theta} \quad (3)$$

여기서 H : 견인력, kN

F : 추진력, kN

R : 구름저항, kN

$R_{g\theta}$: 등판저항, kN

추진력 F는 식 (4)으로 구한다.

$$F = Ac + W\cos\theta \tan\phi \quad (4)$$

여기서 A : 접지 면적, cm^2

W : 중량, kN

c : 토양의 점착력, kN/cm^2

ϕ : 마찰각, °

θ : 경사도, °

구름 저항은 그 크기가 등판저항보다 미약하고 현재의 계산은 많은 가설치를 사용하였으므로 구름저항을 무시할 수 있다. 즉

$$R = 0$$

$$R_g = W \sin\theta \qquad (5)$$

식 (3),(4),(5)에 $A = 5{,}376\ cm^2$, $W = 7.0\ kN$, $c = 7.2 \times 10^{-4}\ kN/cm^2$, $\phi = 20.5°$, $n = 1.1$, $\theta = 0°, 15°, 20°, 30°$를 대입하면 표 4-4와 같은 결과가 나온다. 표 4-4의 계산결과를 보면 등판능력은 충분하다고 판단된다. 그리고 경사도가 20°,30° 때의 적재중량은 350 kg_f 와 250 kg_f로 판단된다.

표 4-4 경사도별 각 부하와 견인력

경사도(°)	추진력F(kN)	등판저항R_g(kN)	견인력H(kN)
0	6.49	0	6.49
15	6.40	1.81	4.59
20	6.33	2.39	3.94
30	6.14	3.50	2.63

2) 유압모터의 토크 회전속도 및 용량계산

유압모터의 토크 회전속도 및 용량은 수화기의 최대 추진력과 수확차량의 최고 주행속도에서 구할 수 있다. 감 수확시 빠른 이동이 불필요하므로 수확차

량의 주행속도는 적당히 해야 한다. 본 연구에서는 수확차량의 주행속도는 0.5 m/sec (1.8 km/h) 정도로 가정하는 것이 적합하다고 판단하였다.

모터출력 N_1는 식 (6)으로 계산한다.

$$N_1 = \frac{\pi T_1 n_1}{30\eta} \tag{6}$$

여기서 T_1 : 주행모터 출력토크, N・m

n_1 : 주행모터 회전속도, rev/min

η : 주행부 기계효율, 소수

주행모터 출력도크는 식 (7)로 계산할 수 있다.

$$T_1 = \frac{1}{2} F d \tag{7}$$

여기서 T1 : 주행모터 출력토크, N・m

F : 1개 궤도에 작용하는 추진력, N

d : 구동륜 반경. m

최대 추진력 $F_{1max} = \frac{1}{2} F_{max}$ =3.25 kN 과 d=320 mm를 식 (7)에 대입하면 최대출력 토크는 T_{1max} =520 N・m 이다.

또한 모터의 회전속도 n_1은 식 (8)로 계산할 수 있다.

$$n_1 = \frac{60000 V}{\pi d} \tag{8}$$

여기서 V : 수확차량의 주행속도 m/sec

n_1 : **유압모터 회전속도**, rev/min

d : **구동륜 직경**, mm

구동륜 직경 d = 320 mm, **수확차량의 속도** V_{max} = 0.5 m/sec**를 식** (7)**에 대입하면** n_1 = 29.8 rev/min**이 된다**.

모터의 출력토크 T_{1max} = 520 N·m **와 회전속도** n_1 = 29.8 rev/min **및 주행 기계효율** η = 0.75**를 식** (6)**에 대입하면** N_1 = 2.18 kW**이 된다**.

유압모터 용량 Q_1**은 식** (9)**으로 계산할 수 있다**.

$$Q_1 = \frac{10^3 N_1}{p_1} \qquad (9)$$

여기서 p_1 : **사용압력**

상용압력 p_1=160 kg_f/cm^2**과** N_1**을 대입하면** Q_1=7.64 Liters/min**가 된다**.

위의 계산에 근거하여 유압모터 기종을 K-G08 **로 선택하였는데 그 제원은 다음과 같다**.

총 용량: 291 cm^3/rev

정격압력: 15.7 MPa

출력토크: 598 kN·m

정격속도: 30 rpm

(3) **주행 펌프와 수평제어펌프의 선택**

주행 펌프의 선택은 주행모터의 제원에 근거하여 기종 code-051**를 선택하였**

고 수평제어펌프는 기종 code-020를 선택하였다. 제원은 다음과 같다.

code-051 용 량 : 8.78 liters/min
사용압력 : 24.3 MPa
정격속도 : 1725 rpm
수 량 : 2

code-020 용 량 : 3.44 liters/min
사용압력 : 24.3 MPa
정격속도 : 1725 rpm
수 량 : 1

(4) 엔진선택

시작기의 엔진 출력은 유압펌프의 사용압력과 용량을 기초로 하여 계산하였다.

$$N_p = \frac{1}{60} Q_p \cdot P_p \quad (10)$$

$$N_e = \sum N_{p_i} \quad (11)$$

여기서 N_e : 엔진출력, kW
N_p : 펌프공율, kW
Q_p : 펌프용량, liters/min
P_p : 펌프압력, MPa

식 (11),(12)에 $2 \times Q_{p_1}=2 \times 8.78$ liters/min, $Q_{p_1}=3.44$ liters/min, $P_p=24.3$ MPa을 대입하면 $N_e=8.5$ kW이 된다. 이 결과에 근거하여 탑재 엔진은 14 ps 가솔린 엔진을 선택하였다.

(5) **유압 제어시스템**

그림 4-27**은 본 시작기의 유압장치 회로도이다. 유압장치의 설계시에는 무부하시 부하제거 밸브가 작동되도록 하였고** 2**개의 수평제어 실린더를 직렬로** 1**개의 펌프와 연결하였으나 항상 좌우 제어 실린더가 먼저 작동하도록 연결하였다. 주행모터는 각 주행모터마다 별도로 주행펌프를 설치하여 주행성능을 확보하였다. 작업대의 고도는 수확 차량이 정지상황에서 제어되도록** 1**개의 주행펌프에 연결하였다. 수확차량의 주행과 작업대의 고도제어는 수동으로 실행하도록 하였다.** 3**위치 전기제어형 방향제어밸브에는** all-port closed **형으로서 밸브에** 2**개의 릴레이 신호가 입력되며** 2**위치 전기제어형 방향제어밸브에는 하나의 릴레이 신호가 입력된다.**

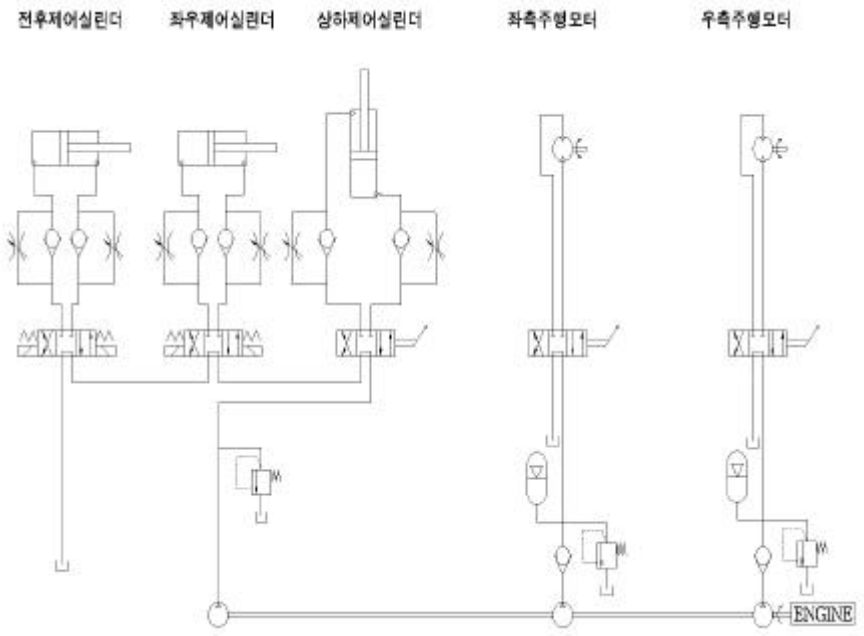


그림 4-27. **유압 회로도**

(6) 전자 제어시스템

1차 시작기에서는 산업용 PC와 각종 릴레이 및 스위치를 이용하여 전자 제어시스템을 구성하였다. 산업용 PC는 로타리엔코더의 신호를 받아 분석과 처리를 한 후 각종 제어신호를 발생하는데 제어 신호의 전류가 약하여 직접 전기제어형 방향제어밸브를 제어하지 못하기 때문에 릴레이를 사용하여 전기제어형 방향제어 밸브를 제어하도록 설계하였다. 전기제어형 방향제어 밸브가 작동하여 수평유지 실린더를 제어하고 작업대의 수평유지 제어를 실행하게 하였다. 이 시스템은 제어 시작각과 제어 종료각을 임의로 조절할 수 있으나 시스템의 가격이 높아 농업용 기계에 적용하기에는 적합하지 않았다. 그리고 시스템의 초기설정이 복잡하여 운전자의 전문지식에 대한 요구도도 높다. 이러한 단점을 해결하고 제어성능도 확보하기 위하여 2차 시작기에서는 새로운 전자제어 시스템을 개발하였다. 그림 4-28은 새로 개발한 전자제어 시스템이다. 이 시스템은 근접센서를 이용한 경사센서를 사용하여 시스템이 작동할 때 자동과 수동이 전원 스위치에 의해 선택되어 수동과 자동이 동시에 작용할 위험이 없으며, 좌-우, 전-후 경사조절이 순간적으로 동시에 작용하지 못하도록 상호 interlocking 되도록 설계되어 있다.

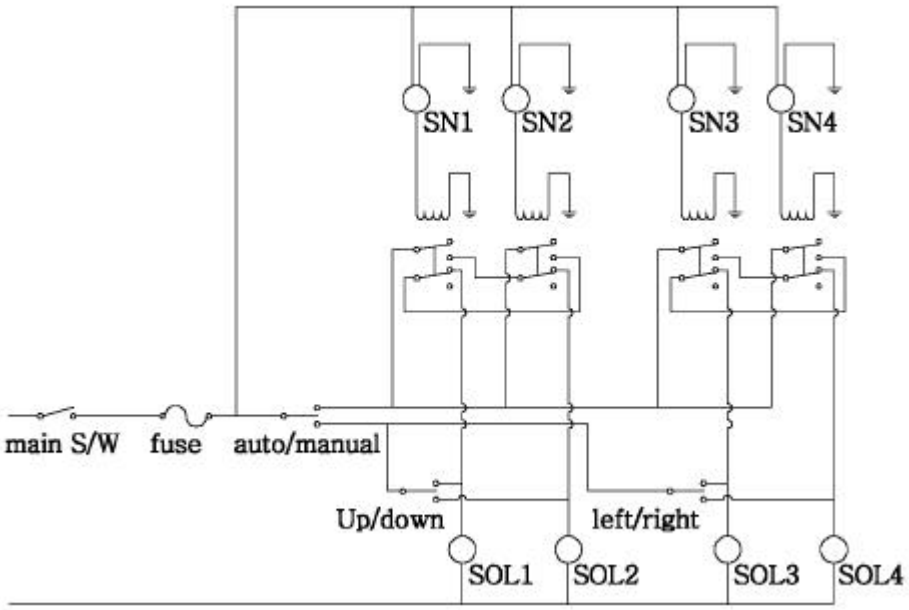


그림 4-28. 전자제어 시스템 회로도

(7) 경사도 감지 센서

경사도 감지 센서는 4개의 근접센서 (모델: PR12-4DN)를 이용하여 제작하였으며 전후경사와 좌우경사를 1개 센서로 감지할 수 있게 하였다. 이 센서는 작업대의 중앙 하단부에 설치하였다. 센서에서 측정된 신호는 유압 제어시스템으로 전달되어 작업대의 경사를 조절하게 된다. 1차 시작기에서 사용되었던 경사감지 센서는 두 개를 설치하였는데 이 센서는 하나에 전, 후, 좌, 우 경사도를 측정할 수 있어 수평유지 제어시스템의 단순화를 이룩하였다. 그림 4-29는 경사감지 센서의 도면이다.

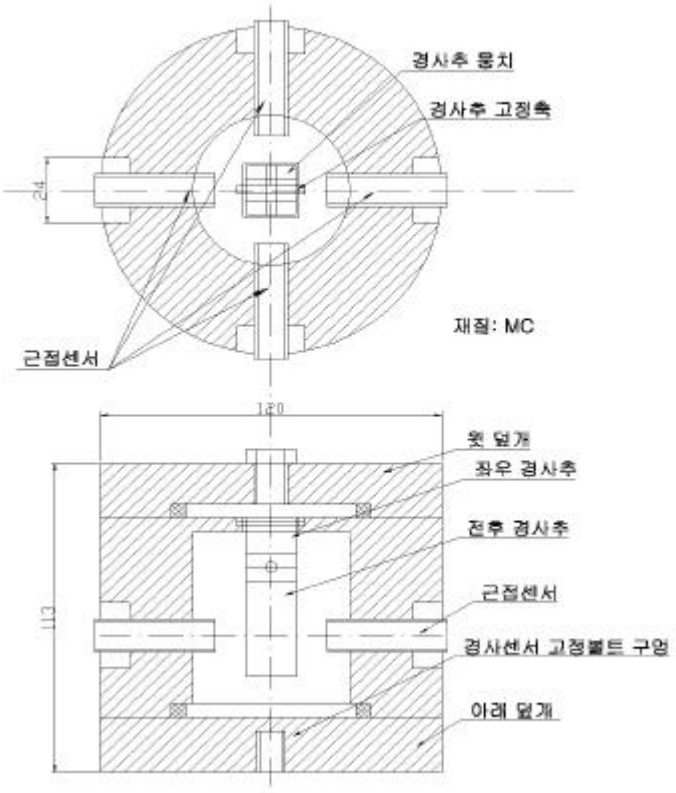


그림 4-29. 경사감지 센서

3. 2차 시작기의 설계 결과 요약

감수확용 차량 2차 시작기 설계 개발 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 기체의 전장은 2275 mm, 전폭은 1140 mm, 전고는 2850 mm, 중량은 927 kg이었다.

2) 동력은 14 마력을 선정하려고 했으나 구입이 여의치 않아서 16 마력 가솔린 엔진을 사용하였고 주행장치는 고무 무한궤도를 사용하였다. 주행모터는 총 용량이 291 cm^3/rev, 정격압력이 160 kg_f/cm^2, 출력토크가 598 N·m, 정격 속도는 30 rpm인 K-G08를 사용하였고 주행펌프로는 용량이 6.10 cc/rev,

사용압력이 248 kg_f/cm^2인 code-061 펌프를 사용하였다.

3) 시작기의 수평유지제어는 전자 제어시스템과 유압제어 시스템을 결합하여 제작하였고 최대 제어각도는 전: 16.5도, 후: 14.5도, 좌,우: 15.5도로 제작되었다. 수평제어펌프는 용량이 2.00 cc/rev, 사용압력이 248 kg_f/cm^2인 code-020을 사용하였다.
4) 적재량을 300kg으로 가정할 때 2차 시작기의 등판능력은 36도로 분석되었다.
5) 작업대의 상승하강 작동 제어는 2단 X형 프레임과 유압실린더를 이용하여 제어하였다. 그 동력으로는 2개의 주행모터를 사용하였다. 작업대의 최고 높이는 2 m, 상승 높이는 1 m로 제작되었다.
6) 전자제어시스템과 유압제어시스템은 1차 시작기보다 더욱 간편하게 설계되었고 매우 만족스러웠다.

그림 4-23에 개선된 2차 시작기의 주요 부분 명칭이 표시되어 있는 그림을 나타내었다. 표 4-5는 2차 시작기의 주요사양이다.

표 4-5 감 수확용 차량 2차 시작기 주요사양

차 체	전장	2275 mm
	전폭	1140 mm
	전고	최대 : 2850 mm, 최저 : 1850 mm
엔 진	16 ps, 개솔린	
기어전동장치	회전속비	주행펌프 ε=1 수평제어펌프 ε=0.5
무한궤도	재질 : 고무궤도, 폭 : 240 mm, 축간거리 : 1120mm	
주행펌프	248 kg_f/cm^2, 6.10 cc's/rev	
수평제어펌프	248 kg_f/cm^2, 2.00 cc's/rev	
주행모터	160 kg_f/cm^2, 291 cm^3/rev, 598.4 N・m	
수평제어시스템	전자제어시스템, 유압제어시스템	
좌우수평제어각도	좌 : 15.5。, 우 : 15.5。	
전후수평제어각도	전 : 16.5。, 후 : 14.5。	
작업대 고도제어	최고높이 : 2000 mm, 최저높이 : 1000 mm	

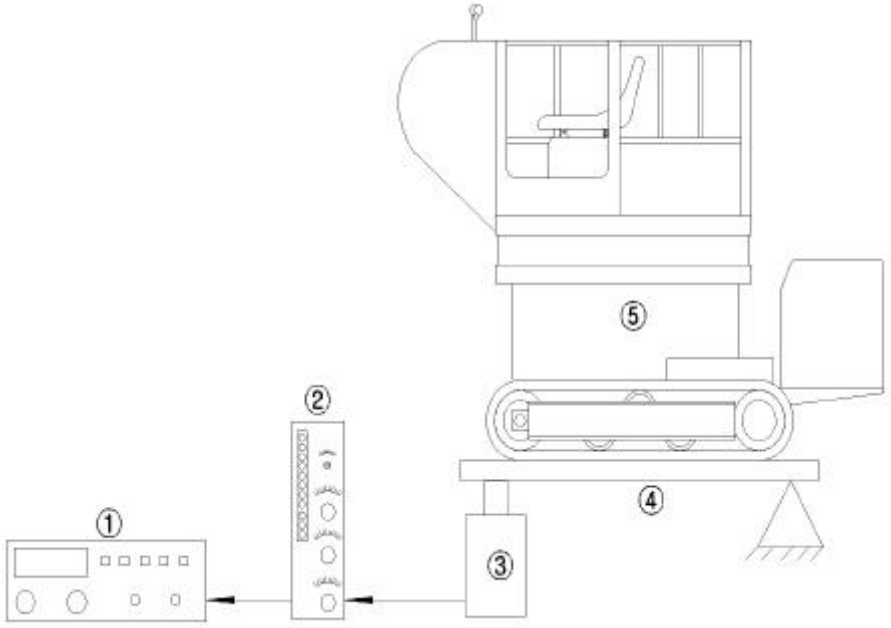
제 5 절 감 수확용 차량 시작기의 최종 성능평가

1차 시작기의 단점을 보완하여 다시 제작된 2차 시작기를 이용하여 감 수확용 차량의 성능평가 실험이 수행되었다. 성능평가 실험은 차량의 중량 및 무게중심 측정 실험, 정적 전도각 측정 실험, 동적 전도각 계산, 수평유지 제어성능 실험, 평지에서의 주행속도 측정 실험, 포장 주행속도 측정 실험, 그리고 감 수확 실험으로 이루어졌다. 포장에서 이루어진 실험은 경남 창원에 위치한 단감 과수원에서 행해졌다.

1. 감 수확용 차량 중량 및 무게중심 측정

(1) **실험장치**

감 수확용 차량의 중량 및 무게 측정 실험에서는 로드셀(load cell), **스트레인미터**(strain meter), **디지털 멀티미터**(digital multimeter), **그리고 대용량 저울**(balance)**이 사용되었다**. **그림** 4-30**은 사용한 주요 실험 장비의 설치를 나타낸 개략도이다**. **주요 장비의 제원을 표** 4-6**에 표시하였으며 로드셀을 보정할 때 사용한 보정추는 임의 중량의 물체를 사용하였으므로 표에 표시하지 않았다**.



① 멀티미터 ②스트레인미터 ③로드셀 ④ 평판 ⑤ 차량

그림 4-30. **실험 장치의 설치 개념도**

표 4-6 주요 실험장비의 제원

실험장비	LOAD CELL		AUTOMATIC DYNAMIC STRAIN METER		DIGITAL MULTIMETER	
제조회사	CAS		Tokyo Sokki Kenkyujo		HUNG CHANG	
Model	CT-1		DA-12		8902A	
주요사항	Rated Load	1000 kg	Sensitivity	Voltage 1V to 5kΩ load Current 5mA to 30Ω load at 50×10^{-6} input	Range	2 mV
	Rated Output	2.9989 mV/V	Output	Voltage ±10V to 5kΩ load Current ±50mA to 5kΩ load	Resolution	100 uV
	Zero Balance	0.0050 mV/V	Maximum Range	$50k\times10^{-6}$ strain at 10V output	Error	±(0.5% rdg+2d)
	Combined error	< 0.050 %R.O.	Frequency Response	DC - 2500 Hz±1dB	Max Input	1000 V DC
	Operating Temp. Range	-30° 40°C	S/N Ratio	50 dB at maximum sensitivity and output	Input Impedance	10M&0Ω
	Max Excitation	15V DC or AC	Environment	-10 to 50° C <85% RH (no dew)	S/N	100dB, 50Hz or 60Hz

(2) Load Cell 인장력 보정

로드셀의 인장력 보정은 로드셀에 보정추를 단계별로 증가하고 감소하면서 로드셀의 출력신호를 스트레인미터를 이용하여 증폭하여 디지털 멀티미터로 그 전압을 측정하였다. 측정 결과에 의해 중량과 출력 전압 관계식을 구하였다.

표 4-7과 표 4-8은 각각 로드셀의 인장과 압축 보정에 사용된 자료이고

표 4-7 로드셀 인장력 보정표 **전압단위**: V

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	중량,kg	0.0000	37.75	109.70	179.15	246.20	310.00	365.65	427.05	494.9	575.5
1차	**전압(상)**	0.0006	0.0725	0.2385	0.3883	0.5333	0.6717	0.7924	0.9252	1.0720	1.2470
	전압(하)	- 0.0038	0.0688	0.2360	0.3870	0.5332	0.6716	0.7922	0.9256	1.0730	1.2470
2차	**전압(상)**	- 0.0038	0.0684	0.2361	0.3874	0.5328	0.6706	0.7915	0.9246	1.0712	1.2460
	전압(하)	- 0.0046	0.0687	0.2360	0.3861	0.5320	0.6700	0.7903	0.9233	1.0713	1.2460
3차	**전압(상)**	- 0.0028	0.0682	0.2350	0.3840	0.5285	0.6658	0.7864	0.9194	1.0678	1.2422
	전압(하)	- 0.0117	0.0617	0.2287	0.3796	0.5250	0.6639	0.7848	0.9180	1.0669	1.2422
평균	**전압**	- 0.0044	0.0681	0.2351	0.3854	0.5308	0.6689	0.7896	0.9227	1.0704	1.2451

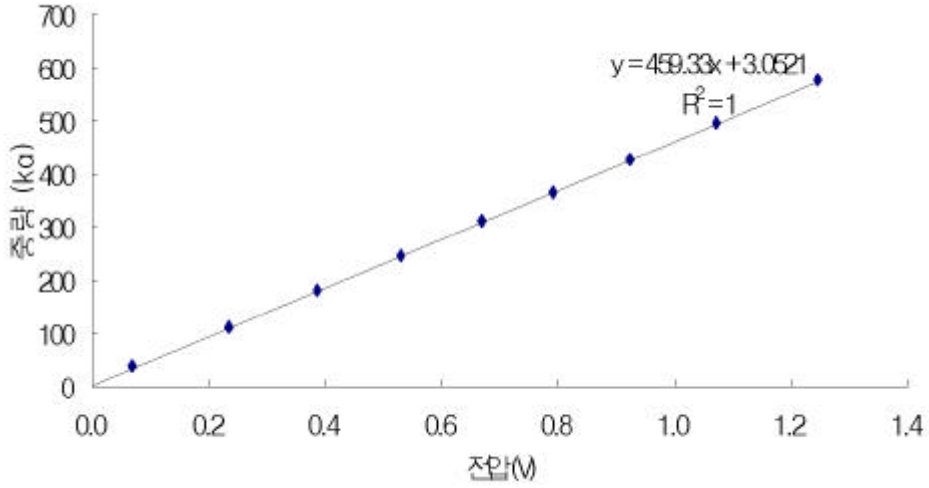


그림 4-31. 로드셀 인장력 보정 그래프

표 4-8 로드셀 압축력 보정표 **단위**: V

	1	2	3	4	5	6	7
중량, kg	0	34.55	68.95	103.85	180.8	212.75	294.65
전압 (Up load)	0.0020	0.0802	0.1584	0.2364	0.4109	0.4829	0.6715
전압 (Down load)	-0.0021	0.0767	0.1556	0.2357	0.4113	0.4809	0.6715
평균	0.0000	0.07845	0.1570	0.23605	0.4111	0.4819	0.6715

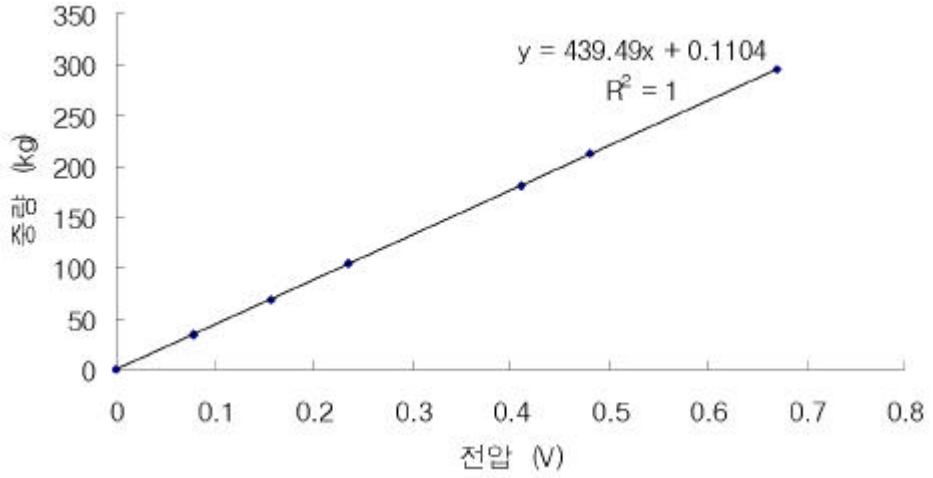


그림 4-32. 로드셀 압축보정 그래프

그림 4-31와 그림 4-32는 그 결과를 표시한 인장과 압축 보정 그래프이다. 이 실험 결과 하중이 500 kg 내에서 하중과 센서출력은 선형관계가 명확하므로 (R^2=1) 그 출력에 신뢰성이 있다. 중량 측정시 압축 방법을 사용하였으므로 다음 식을 이용하여 하중을 계산하였다.

$$Y = 439.49X + 0.1104$$

(3) 차량 무게중심 측정

감수확용 차량의 무게중심을 측정하기 위해 측정 대상에서 동일한 수평위치에 있는 전, 후와 좌, 우 방향에서 각각 2개의 기준점을 선택하고 기준점에서 받는 하중을 로드셀을 이용하여 측정하였다. 전, 후, 좌, 우 기준점의 하중을 합하고 2로 나누면 차량의 중량을 얻을 수 있다. 그림 4-33은 차량 중량 측정 실험을 하기 위해 차량이 측정 장치 위에 놓여진 그림이다.

그림 4-33. 차량중량 측정실험

1) 감 수확용 차량의 중량 측정

차량의 중량 측정 결과는 표 4-9와 표 4-10에 표시하였다. 표 4-9의 하중에는 평판의 중량이 포함되어 있으므로 순차량중량은 하중에서 평판 중량을 뺀 값이다. 이 실험으로부터 차량의 중량은 927 kg으로 계산되었다.

표 4-9 평판중량 측정

	전압 (v)				하중 kg	평판중량(kg)
	1	2	3	평균		
전 기준 점	0.1804	0.1906	0.1907	0.1872	82	163
후 기준 점	0.1884	0.1882	0.187	0.1879	83	
좌 기준 점	0.1809	0.1845	0.1825	0.1826	80	
우 기준 점	0.186	0.1856	0.1815	0.1844	81	

표 4-10 감 수확용 차량 중량 측정

	전압 (v)				하중 kg	차량중량(kg)
	1	2	3	평균		
전 기준 점	1.168	1.1699	1.1728	1.1702	514.42	927
후 기준 점	1.3058	1.3048	1.3215	1.3107	576.15	
좌 기준 점	1.2923	1.2907	1.2907	1.2912	567.59	
우 기준 점	1.1787	1.1918	1.1909	1.1871	521.84	

2) 감수확용 차량 무게중심 계산

무게중심은 한 기준점에 대한 모멘트 방정식에 의해 계산되었다. 감 수확용 차량의 중심을 알려면 차량 중량을 측정할 때 사용한 평판의 무게중심을 알아야한다.

① 평판의 무게중심 계산

그림 4-34와 그림 4-35는 평판의 무게중심을 계산하기 위한 개략도이다. 그림 4-34에서 평판의 무게는 163 kg이고 우 기준점의 부하는 81 kg이다. 좌, 우

기준점 사이의 거리는 986 mm이고 좌변과 좌 기준점사이 거리는 140 mm이다. 평판 무게중심과 평판 좌변 사이 거리를 X라 하고 좌 기준점에 대하여 모멘트방정식을 세우면 다음과 같다.

$$81 \times 986 - 163 \times (X - 140) = 0$$

위 식을 계산하면 평판 무게중심과 좌변 사이의 거리 X는 630 mm이다.

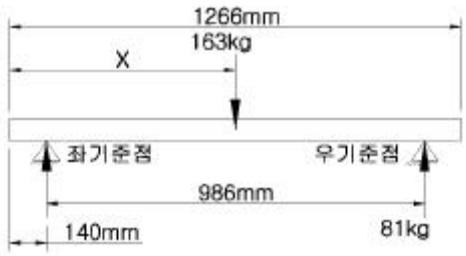


그림 4-34. 평판 무게중심 계산 그림 I

그림 4-35에서 평판의 무게는 163 kg이며 후 기준점의 부하는 83 kg이다. 전후 기준점 사의 거리는 1409 mm이고 전 기준점과 평판 저변 사이 거리는 137 mm이다. 평판 무게중심과 평판 전변 사이 거리를 Y로 하고 후 기준점에 대하여 모멘트방정식을 세우면 다음과 같다.

$$83 \times 1409 - 163 \times (Y - 137) = 0$$

위 식을 계산하면 평판 무게중심과 편판 전변 사이 거리 Y는 849 mm이다.

그림 4-35. 평판 무게중심 계산 그림 II

② 차량의 무게중심 계산

그림 4-36, 그림 4-37와 그림 4-38은 차량 무게중심 계산을 위한 각 부분의 수치가 표시된 개략도이다. 그림 4-36에서 평판의 무게는 163 kg이고 차량의 무게는 927 kg이며 우 기준점의 부하는 522 kg이다. 평판 무게중심과 평판 좌변 사이 거리는 630 mm, 좌우 기준점 사이 거리는 986 mm, 좌 기준점과 평판 좌변 사이 거리는 140 mm이며 좌륜 중심과 평판 좌변 사이 거리는 172 mm이다. 차량 무게중심과 좌륜 중심사이 거리를 X로 하고 좌 기준점에 대하여 모멘트방정식을 세우면 다음과 같다.

$$522\times 986-163\times(630-140)-923\times(X+172-140)=0$$

위 식으로부터 계산된 차량 무게중심과 좌륜중심 사이 거리 X는 427 mm이다.

그림 4-37에서 평판의 무게는 163 kg, 차량의 무게는 927 kg이며 후 기준점의 부하는 576 kg이다. 평판 무게중심과 평판 전변 사이 거리는 849 mm, 전후 기준점 사이 거리는 1409 mm, 전 기준점과 평판 전변 사이 거리는 137 mm이며 전축과 평판 전변 사이 거리는 280 mm이다. 차량 무게중심과 전축사이 거

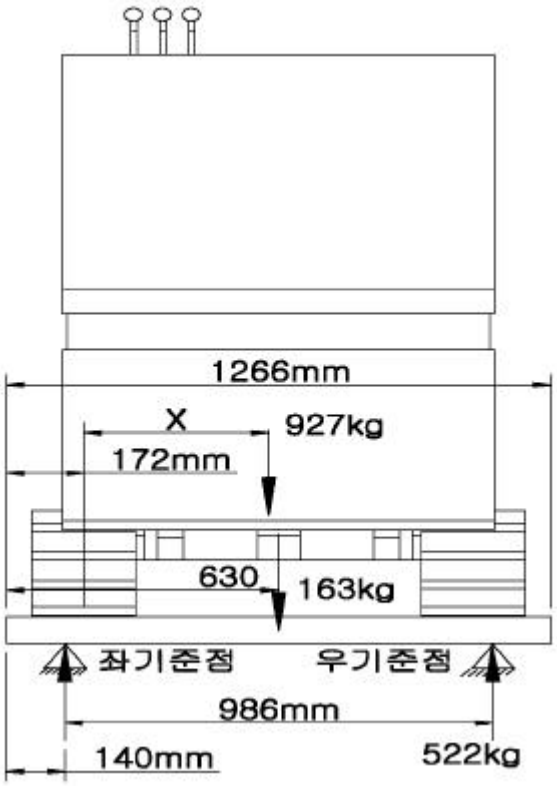


그림 4-36. 차량 무게 중심 계산 그림 I

리를 Y로 하고 전 기준점에 대하여 모멘트방정식을 세우면 다음과 같다.

$$576 \times 1409 - 163 \times (849 - 137) - 927 \times (Y + 280 - 137) = 0$$

위 식으로부터 계산된 차량 무게중심과 전축 중심 사이 거리 Y는 607 mm이다.

표 4-11은 차체가 기울었을 때 전기준점의 하중 측정 결과이다. 이 측정 결과를 이용하여 차량의 무게중심 높이를 계산하였다.

표 4-11 차체 기울었을 때 전기준점의 하중

	1	2	3	평균	하중
전기준점	0.8842	0.8867	0.8866	0.8858	389

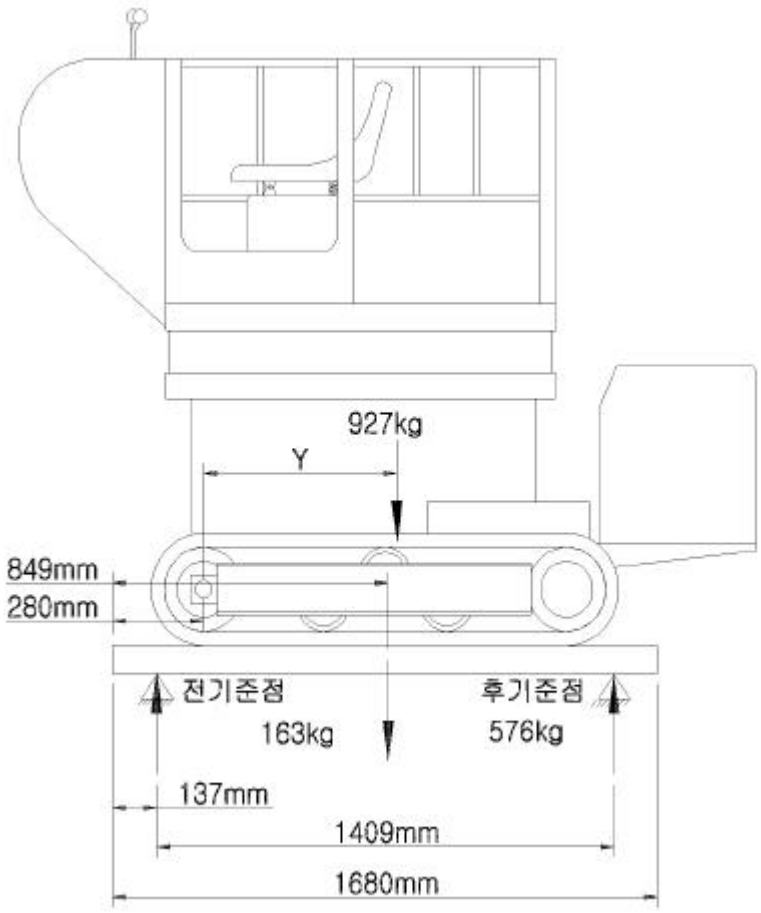


그림 4-37. 차량 무게 중심 계산 그림 II

그림 4-38에서 평판 평면에서의 차량 무게중심과 뒷축 사이 거리는 502 mm, 평판 평면에서의 후 축과 후 기준점 사이 거리는 302 mm, 평판 평면에서의 평판 무게중심과 후 기준점 사이 거리는 831 mm, 평판 평면에서의 전후 기준점 사이 거리는 630 mm, 평판 무게중심높이는 240 mm이며 평판 위면 높이는 280 mm이다. 평판 평면 수직방향에서의 전 기준점의 부하는 389 kg, 평판 무게는 163 kg이며 차량 무게은 927 kg이다. 또한 평판의 경사도는 15 도이다. 차량의 무게중심 높이를 Z라 하고 후 기준점에 대하여 모멘트방정식을 세우면 다음과 같다.

그림 4-38. 차량 무게 중심 높이 계산 그림

$$163\times(831\times\cos 15^\circ - 240\times\sin 15^\circ) -$$
$$-927\times(804\times\cos 15^\circ - (Z+280)\times\sin 15^\circ) - 389\times 1630 = 0$$

위 식으로부터 계산된 차량의 무게중심 높이 Z는 562 ㎜ 이다.

2. 정적 전도각 측정

감수확용 차량 전도각 측정 실험은 차량 작업대와 차체가 평행일 때 (수평자동제어 모드를 사용하지 않은 경우) 전도각과 작업대가 기울었을 때 (수평자동제어 모드를 사용한 경우)의 전도각을 측정한다. 전도각 측정은 차체를 수평위치로부터 점차 기울여 주면서 차체가 저절로 기울기 시작할 때의 각도를 측정한다. 그림 4-39는 전도각을 측정하는 광경이다. 표 4-12는 작업대와 차체가 평행일 때의 전도각이고 표 4-13은 작업대가 기울었을 때의 전도각이다. 실험결과에서 보면 차량의 정적 전도각은 좌우 50° 인데 전 방향의 전도각이 다른 세 방향보다 현저히 크다. 그리고 작업대가 기울었을 때 전도각은 2° 3° 증가하였다. 이 실험 결과 일반적인 감재배 지역의 경사도가 25도 이하인 점을 고려할 때 차량의 정적인 전도는 발생하지 않고 안정적이라고 할 수 있다.

표 4-12 작업대와 차체가 평행일 때 전도각도 측정

		전방향	후방향	좌방향	우방향
전도각 (degree)	1	59.0	53.5	46.0	46.5
	2	60.0	54.0	46.0	46.0
	3	60.0	53.5	46.5	46.5
	평균	59.7	53.7	46.2	46.3

표 4-13 작업대가 기울었을 때 전도각도 측정

		전방향	후방향	좌방향	우방향
전도각 (degree)	1	60.0	55.5	49.0	49.0
	2	61.0	55.0	48.5	50.0
	3	62.0	55.5	49.0	49.5
	평균	61.0	55.3	48.8	49.5

그림 4-39. 전도각도 측정 실험 광경

3. 동적 전도각 계산

감 수확용 차량은 주행도중 갑자기 정지할 때 관성으로 인하여 전륜 접지점을 중심으로 반전할 위험이 있다. 특히 경사진 길을 내려올 때 더욱 위험하다. 이때의 전도각도는 차량의 주행속도, 정지 시간과 차량의 중량 등에 관련있다. 그림 4-40은 동적 전도각을 계산하기 위해 각 변수들을 나타낸 개략도이다. 여기서 F는 가속도에 의해 생기는 힘이고, C는 차량의 무게 중심, W 는 차

량의 무게이다.

감 수확용 차량 최대주행속도는 v= 0.78 m/sec로 가정하였고 차량 무게는 W = 926 kgf, 무게중심 높이는 0.56 m, 차량 중심과 전축 사이 수평거리는 0.6 m 로 하였다. 정지에 소요되는 시간을 t로하고 차량이 정지시 가속도를 a=v/t로 하며 역 유효 힘을 $F = \frac{W}{g} a$라고 하면 전륜 접지점 A 에 대하여 다음과 같은 모멘트방정식을 세울 수 있다.

$$F \quad 0.56 - W \quad (0.61 \quad \cos\alpha - 0.56 \quad \sin\alpha) = 0$$

위 식을 이용하여 임의의 정지 시간 t에 따른 전도 경사각 α를 구하면 표 4-14와 같은 결과를 얻을 수 있다. 이 결과를 살펴보면 정지 시간이 0.1초일 때는 전도각이 14도로 상대적으로 적은 각도에서도 전도가 일어남을 알 수 있었다. 정지 시간이 0.2초 이상일 때는 전도각도가 30도 이상으로 상당한 경사에서도 전도가 일어나지 않음을 알 수 있다. 일반적으로 감 재배 지역의 경사도가 25도 이하인 점을 고려하면 정지 시간을 0.2초로 하면 동적인 전방 전도는 일어나지 않을 것으로 판단되었다.

표 4-14 동적 전도각도 계산 결과

t	a	F	α
0.1	7.8	7223	14
0.2	3.9	3611	31
0.3	2.6	2408	37
0.4	1.95	1806	39
0.5	1.56	1445	41

그림 4-40. 동적 전도각도 계산 그림

4. 등판 능력 계산

이론적으로 2차 시작기의 등판 각도를 계산하였다. 그림 4-41은 2차 시작기의 이론적인 등판 각도를 계산하기 위한 변수가 표시된 개략도이다. 차량의 중량 W 1=927 kg, 운전자의 체중 W 2=65 kg, 적재하중 W 3 = 300 kg, 주행 유압모터 토크 T =61 kg m, 차륜반경 R =0.16 m 일 때 다음과 같은 식으로 계산된 차량의 등판각도 α =36 였다. 여기서 구름저항은 등판저항에 비해 매우 작으므로 무시하였다.

$$\frac{2T}{R} - (W_1 + W_2 + W_3)\sin\alpha = 0$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left[\frac{2T}{R(W_1 + W_2 + W_3)}\right]$$

그림 4-41. 차량의 등판시의 작용 외력 개념도

5. 수평유지 제어성능 실험

수평유지 제어성능실험에서는 수평유지 제어각도범위, 제어시작각도, 제어종료각도를 3반복으로 측정하였다. 제어범위와 제어시작각도 및 제어종료각도는 표 4-15에서 표시한 것과 같다. 제어범위는 14.5° ~ 16.5°이고 자동제어는 4°내에서 시작하여 -2.5°내에서 종료되었다. 표 4-15에서 보면 전, 후, 좌, 우 방향에서의 제어 시작각도와 제어 종료각도가 약간의 차이를 보이는데 경사도 감지센서를 조절하여 2° ~ -2° 범위 내에서 자동제어가 시작되고 종료되도록 할 수 있다. 작업대의 제어 범위인 전후 16.5° ~ -14.5°, 좌우 15.5° ~ -15.5°

총 31도를 움직이는데 소요되는 평균 시간은 엔진 회전속도가 저속인 1130 rpm 일 때 8초, 고속인 3216 rpm 일 때 4 초로 측정되었다. 그러므로 실제 차량의 작업대가 자동 수평 제어될 때는 경사각도 4도 범위 내에서 수평제어가 연속으로 이루어지기 때문에 저속일 때 약 1초, 고속일 때는 0.5 초 이내에 작업대의 수평이 이루어진다. 따라서 수평제어 범위내의 경사지에서 작업할 때에는 작업대는 항상 수평을 이루게 된다. 수평제어 범위보다 큰 경사지에서는 수평제어 범위 각도만큼 감소된 경사로 작업대는 유지되게 된다.

표 4-15 수평제어실험 결과

제어 방향	제어 범위(도)	제어 시작각도(도)	제어 종료각도(도)
전	16.5	1.67	-2.50
후	14.5	2.83	-1.00
좌	15.5	2.17	1.50
우	15.5	3.83	0.83

6. 주행속도 측정

아스팔트 포장도로에서 일정한 거리의 주행시간을 측정하여 속도를 계산하였다. 실험은 6회 반복되었다. 주행거리 20 m 인 평지에서의 최고, 최저 주행속도 측정한 결과를 표 4-16과 표 4-17에 표시하였다. 여기서 최저 주행속도는 가속 페달을 밟지 않은 상태에서 운전한 것이고 최고 주행속도는 가속 페달을 최고로 밟은 상태로 할 때 얻은 속도이다. 표 4-18에는 거리가 25m 인 경사길의 경사도를 5m 간격으로 표시하여 평균 경사도를 구한 표이다. 측정 결과 평균 경사도는 6.33도였다. 주행거리가 25 m 이고 평균 경사도가 6.33도인 아스팔트 경사길에서의 최대 주행속도를 표 4-19에 표시하였다. 표4-16, 표 4-17 그리고 표 4-18에서 측정 결과를 보면 아스팔트 평지에서의 최대 주행속도는 2.83 km/h였으며 최저 주행속도는 1.35 km/h였다. 또한 평균 경사도가 6.33°

인 등판 길에서의 최대 등판속도는 2.14 ㎞/h였다.

표 4-16 평 길에서의 최고 주행속도 측정 결과 주행거리: 20m

실험번호	1	2	3	4	5	6	평균	주행속도(㎞/h)
주행시간 sec	25.28	25.83	25.24	25.72	25.26	25.54	25.48	2.83

표 4-17 평 길에서의 최저 주행속도 측정 결과 주행거리: 20m

실험번호	1	2	3	4	5	6	평균	주행속도(㎞/h)
주행시간 sec	52.45	52.54	53.44	53.6	53.14	54.36	53.26	1.35

표 4-18 25m 거리의 경사도 측정 결과

거리 m	0	5	10	15	20	25	평균
경사도 (도)	3	8	7	7	6	7	6.33

표 4-19 등판시 주행속도 측정 결과 주행거리: 25m

실험번호	1	2	3	4	5	6	평균	주행속도(㎞/h)
주행시간 sec	33.45	36.13	33.1	33.45	33.1	32.91	33.69	2.14

7. 포장 주행속도 측정

포장 실험은 경상남도 진영군 한림면 장방리 소재 중앙과수원에서 이루어졌

다. 감나무 포장길 주행속도는 평균 경사도 7.8도, 최대 경사도 16.5도, 주행거리 510m 인 굴곡이 있는 경사길에 적합한 주행속도를 측정하였다. 경사도는 포장에서 5 m 간격으로 측정한 경사도를 평균하여 구하였다. 그림 4-42는 실험포장의 경사도 및 주행거리를 측정하는 광경이다.

표 4-20 감나무 포장 주행속도 측정 결과

실험번호	1	2	3	평균	주행속도(km/h)
주행시간(min)	18	16.25	14.93	16.39	1.87

그림 4-42. 감나무포장 경사도 및 주행거리 측정

그림 4-43. 감나무 포장에서의 주행 실험 광경 (차량의 전면에서 본 사진)

그림 4-44. 감나무 포장에서의 주행 실험 광경 (차량의 후면에서 본 사진)

그림 4-43과 그림 4-44는 2차 시작기를 이용한 포장 주행 실험 광경이다. 사진에서 포장의 상태를 알 수 있다. 1차 시작기의 단점을 보완한 2차 시작기는 경운기가 다닐 정도의 경사진 좁은 포장에서도 주행이 가능하였다. 표 4-20은 감나무 과수원에서 안전하고 적당한 속도로 주행하였을 때 주행속도를 측정한 결과이다. 감나무 과수원에서의 적정 주행속도는 1.87 ㎞/h로 측정되었다.

8. 감수확 실증 실험

감 수확기의 효과를 분석하기 위하여 경남 진영에 위치한 18,000 평 단감 과수원에서 실증 실험을 수행하였다. 실증 실험은 신장 170 ㎝의 건장한 청년이 나무에 오르지 않고 지상에서 두 손으로 채과하는 수작업 수확(지상 2 ㎜까지 수확 가능)방법과 지상에서 2 ㎜-3 ㎜ 사이의 손이 미치지 않는 위치에 있는 감을 머니퓰레이터를 이용하여 지상에서 수확하는 방법, 지상에서 2-4 ㎜ 높이 범위에 위치한 감을 수확용 차량의 작업대 위에서 두 손으로 수확하는 수확용 차량을 이용한 수작업 수확 방법, 차량의 작업대 위에서도 손이 미치지 않는 위치의 감(대부분 과수 캐노피의 중심 쪽에 위치한 감)을 작업대 위에서 머니퓰레이터를 이용하여 수확하는 방법으로 실험을 수행하였다 (그림 4-45와 4-46 참조). 이 실험에서 각 방법별 수확 소요 시간과 채과한 과일 수를 실측하여 수확 방법별 수확 능율을 계산하였다. 표 4-21은 과수 나무를 대중소 2 그루 씩 총 6 그루를 선택하여 측정 분석한 수확방법별 수확 능률을 나타낸 것이다. 관행의 수확 방법은 지상에서 손이 미치는 곳은 지상에서 수작업으로, 손이 미치지 않는 위치의 감은 나무에 올라가 수작업으로 수확을 하는 방법으로서 전체적인 평균치로서 약 분당 3개로 조사되었다. 머니퓰레이터로로 수확하는 방법이 능률면에서 매우 낮게 나타났는데 이는 단감의 결과가 매우 조밀하게 이루어졌기 때문이며 또한 작업자의 피로도도 매우 컸기 때문이다. 이러

한 이유로 수작업 수확이 가능한 많게 이루어지도록 차량의 작업대 승강 장치가 필요한 것이다.

차량의 작업대 위에서 수작업으로 수확할 때의 능률은 지상에서 수작업할 때에 비하여 80% 수준인데 이는 차량이동이 지상에서 사람이 이동할 때에 비하여 느리기 때문이다. 머니퓰레이터로 수확할 때에는 지상에서 수확할 경우와 차량의 작업대 위에서 수확할 경우가 능률이 거의 같았다. 이는 작업차량의 이동 시간은 약간 많으나 작업대 위에서 거의 수평 상태를 유지하면서 머니퓰레이터를 사용하기 때문에 피로도가 오히려 지상 작업 때보다 낮았기 때문으로 분석되었다.

그림 4-45. 차량의 작업대이용 수작업수확

그림 4-46. 차량의 작업대이용 머니퓰레이터 수확

표 4-21 각 작업별 수확 능률 측정

수확 방법 / 항 목	지상에서 수작업 수확	차량 이용 수작업 수확	머니퓰레이터 이용 수확
수확능률(개/분)	9.2	7.4	1.8
상대적 비율	1.0	0.8	0.2

단감 과수 나무 10 그루를 임의 선정하여, 수확 차량을 이용하지 않고 지상에서 수확작업을 할 경우와 수확 차량을 이용하여 수확할 경우에 대하여 수확 방법별 수확량을 조사 분석한 결과를 표 4-22와 표 4-23에 나타내었다. 표에서 지상 수작업 수확은 전술한 바와 같이 지상 2m 높이 이내에 있는 단감을 두 손으로 채과하는 것이다. 표 4-22에서 채과 불가능(지상 3 m 이상 위치한 과일)한 비율은 약 10.4 % 로서 현재 관행의 인력 수확에서 채과 불가능한 비율

약 10% 와 비슷하였다. 이것은 머니퓰레이터라는 보조 수확기구만으로 나무에 오르지 않고 지상에서만 수확하여도 관행의 수확량만큼 수확할 수 있다는 것을 의미하는 것이다 표 4-23에서 보면 감 수확량 차량을 이용하게 되면 수작업의 수확비율이 에 달하는 것으로 분석되었는데 이는 감수확 차량을 이용하면 수작업만으로도(머니퓰레이터를 이용하지 않고) 관행의 수확량보다 많다는 것을 의미하는 것이다. 더욱이 머니퓰레이터를 이용하게 되면 채과 불가능 비율이 약 1%로서 관행의 인력 수확방법보다 9% 정도 더 수확할 수 있게 된다.

표 4-21의 수확능률과 표 4-22와 표 4-23의 수확량 비율을 이용하여 머니퓰레이터만 이용하여 지상에서만 수확하는 방법과 감수확용 차량을 이용하여 수확하는 방법에 대하여 수확능률을 아래 식으로서 분석하여 나타낸 것이 표 4-24이다.

$$\frac{(A \times \alpha + B \times \beta + C \times \gamma)}{(\alpha + \beta + \gamma)}$$

여기서, A , B , C : 수확 작업별 수확능률(개/분)

α, β, γ : 수확 작업별 수확비율(소수)이다.

표 4-24에서 보면 머니퓰레이터만 이용하여 나무에 오르지 않고 지상에서 안전하게 수확하여도 관행 인력 수확시 만큼의 효과를 얻을 수 있으며, 수확용 차량을 이용하면 관행 인력 수확시 보다 20% 정도 더 빠르고 9% 정도 더 많이 수확할 수 있는 것으로 판단된다.

실제 과수원에서 이루어지는 관행 인력 수확 작업시 수확능률은 분당 3 개로, 미채과율은 10% 정도로 조사되었다. 이것은 작업자의 휴식 등으로 소비되

는 시간과 채과한 후 꼭지 절단 작업이 추가로 이루어지기 때문이다. 과수 나무가 크고 과수원이 대규모로 커질수록 수확기계의 효과는 더욱 증가할 것으로 판단된다. 현재 SS기를 이용하여 약제를 살포하는 단감 과수원에서는 수확용 차량의 보급을 매우 갈망하는 실정에 있는데 이것은 수확용 차량의 통로가 마련되어 있기 때문이다. 수확용 차량의 통로가 없는 과수원에서는 머니퓰레이터의 보급을 바라고 있는데 이것은 안전과 더 많은 수확량을 기대하기 때문이다.

수확작업시 외에도 머니퓰레이터는 단감의 결과수를 조정하기 위하여 (결과수가 너무 많으면 크고 품질 좋은 과일수가 감소됨) 솎음 채과에도 이용이 가능하고 수확용 차량은 전지시, 운반시, 약제 살포시에도 이용이 가능하다.

표 4-22 지상에서 수확할 때 수확량 비율조사

항 목	과일 수 (개)	비율 (%)
지상 수작업 수확	1477	67.1
머니퓰레이터를 이용한 수확	494	22.5
채과 불가능	229	10.4
합 계	2200	100.0

표 4-23 감 수확용 차량을 이용하였을 때 수확량 비율조사

항 목	과일 수 (개)	비율 (%)
지상 수작업 수확	1477	67.1
차량 이용 수작업 수확	547	24.9
머니퓰레이터를 이용한 수확	153	7.0
채과 불가능	23	1.0
합 계	2200	100.0

표 4-24 수확 방법별 수확능률

수확 방법	수확능률 (개/분)	미채과 비율 (%)	비 고
지상에서만 수확	7.3	10.4	머니퓰레이터 이용
감수확 차량을 이용한 수확	8.7	8.0	머니퓰레이터를 이용 않는 경우
	8.1	1.0	머니퓰레이터를 이용하는 경우
관행 인력 수확	7.1	10.0	나무에 올라감

제 6 절 감수확용 차량의 최종 시제품 설계

2차 시작기의 성능 및 실증 실험을 통하여 다음과 같은 몇 가지 문제점을 도출하였다.

1. 감 수확용 차량의 무게 중심 높이가 조금 높다.

   감 수확용 차량의 무게 중심 측정 실험에서 보면 차량의 무게 중심 높이는 560 mm이고 차량 작업대의 최저높이는 1000 mm이다. 2차 시작기의 구조를 분석하면 차량의 작업대의 높이를 1000 mm에서 900 mm로 약 100 mm 정도 더 낮출 수 있다.

2. 감 수확용 차량의 주행속도가 조금 빠르다.

   감 수확용 차량의 주행실험에서 차량의 최대 주행속도는 2.83 km/h 였으며 감나무 포장에서의 주행할 수 있는 적정 주행속도는 1.87 km/h로 분석되었기 때문에 최대 주행속도를 약간 감소시킬 필요성이 있었다.

3. 감 수확용 차량의 운전레버와 운전석과의 거리가 멀다.

감 수확용 차량의 운전레버와 운전석과의 거리가 너무 멀어 차량운전이 편하지 않고 운전자가 쉽게 피로하게 되었다.

위에서 도출된 문제점들을 고려하여 최종 시제품의 설계를 다음과 같이 수정하였다.

1. 감 수확용 차량의 작업대의 최저높이를 1000 mm에서 900 mm로 낮추었다.
2. 주행모터 기어전동장치의 회전 속도비를 1.25로 하여 주행속도를 조금 낮추었다.
3. 차량의 운전레버의 위치를 변경하고 전체적으로 차량의 모양이 미려하도록 한다.

제 7 절 결 론

현재 우리 나라 감나무 포장은 경사도가 크고 조간거리와 주간거리가 작으며 수관직경이 크다. 그리고 과일수확작업과 가지치기작업의 특성으로 하여 가지치기작업과 감 수확작업을 사다리를 이용하여 작업하므로 노동효율이 낮고 작업자의 안전도 확보하기 어렵다. 본 연구는 이러한 문제점들을 해결하고 우리 나라 감나무 포장에 적합한 가지치기, 감 수확 및 포장운반 등 작업을 할 수 있으며 자동 경사 조절과 고도 조절장치를 갖춘 감 수확차량 개발에 있다.

2차 시작기를 이용하여 실시된 성능 및 실증 실험에서 얻어진 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 차량의 중량은 927 kg, 차량의 무게중심은 차량의 우차륜 중심으로부터 좌차륜 쪽으로 427 mm, 전륜 구동축으로부터 후륜 구동축 쪽으로 607 mm 그리고 궤도의 지상 접촉부로부터 위로 562 mm에 있는 것으로 측

정되었다.

2) 차량의 정적 전도각은 수평제어를 아니할 때 전방향으로 60도, 후방향으로 54도, 좌방향으로 46도 그리고 우방향으로 46도였다. 자동 수평제어 모드 운전시에는 전방향으로 61도, 후방향으로 55도, 좌방향으로 49도 그리고 우방향으로 50도였으며 자동 수평제어 모드로 운전할 때 전도각이 약간 증가하였다.

3) 차량의 동적 전도는 차량이 아래 방향으로 이동할 때 차량 정지시 발생하는 것으로 가정하였을 때 동적 전도각은 차량 정지시간이 0.1초이면 14도 그리고 정지시간이 0.2초이면 30도 이상인 것으로 분석되었다.

4) 차량의 등판 각도는 구름저항을 무시하였을 때 36도로 분석되었다.

5) 차량의 수평제어 각도 범위는 전후 14.5도~16.5도, 좌우 15.5도 이며 작업대의 경사가 최대 4도 기울어졌을 때 수평유지 센서가 작동하였다. 실제 차량의 작업대가 자동 수평 제어될 때는 경사각도 4도 범위 내에서 수평제어가 연속으로 이루어지기 때문에 저속일 때 약 1초, 고속일 때는 0.5초 이내에 작업대의 수평이 이루어졌다.

6) 아스팔트 평지에서의 최대 주행속도는 2.83 km/h였으며 최저 주행속도는 1.35 km/h였다. 또한 평균 경사도가 6.33 ° 인 등판 길에서의 최대 등판속도는 2.14 km/h였다.

7) 평균 경사도가 7.8도인 포장에서 실시된 주행실험에서 적정한 포장주행속도는 1.87 km/h임을 알 수 있었다.

8) 감수확 실증 실험 결과에서 감수확용 차량을 이용하여 수작업으로 수확을 한 결과 92%의 수확율을 보였으며 머니퓰레이터를 이용하면 7%의 과일을 더 수확할 수 있어 수확용 차량과 머니퓰레이터를 이용하면 총 수확율은 99%에 이르러 미채과율은 1% 정도였다. 이는 관행의 인력 수확

에서의 미채과율 10%와 비교할 때 9%의 수확 증대 효과가 있는 것으로 판단된다. 수확 능률은 관행 방법보다 약 20% 향상되는 것으로 분석되었다.

9) 1차, 2차 시작기의 성능 실험 결과를 토대로 설계한 감수확용 차량 시제품의 설계도를 그림 4-47, 그림 4-48 그리고 그림 4-49에 나타내었다. 표 4-25는 감수확용 차량 시제품의 주요 사양을 나타낸 표이다.

표 4-25 감수확용 차량의 시제품 주요 사양

차 체		전장	2160 mm	전폭	1140 mm
		전고	최대 : 2700 mm, 최저 : 1600 mm		
주행장치	엔 진	16 ps, 개솔린			
	기어전동장치	엔진속도: 주행펌프 1.25 수평제어펌프 2.0			
	무한궤도	재질 : 고무궤도, 폭 : 240 mm, 축간거리 : 1120 mm			
	주행펌프	248 kg_f/cm^2, 6.10 cc/rev			
	주행모터	160 kg_f/cm^2, 291 cm^3/rev, 598.4 N • m			
수평제어시스템	전기 제어시스템과 유압 제어시스템으로 구성				
	작동 모드	수동, 자동			
	수평제어펌프	248 kg_f/cm^2, 2.00 cc/rev			
	수평제어센서	4개의 근접센서를 이용			
	좌우수평제어각도	좌 : 15。, 우 : 15。			
	전후수평제어각도	전 : 15。, 후 : 15。			
작업대고도제어		최고높이 : 2000 mm, 최저높이 : 900 mm			
등판능력/적재량		최대 36 °/ 최대 300 kg			
최대속도		2.36 km/h			

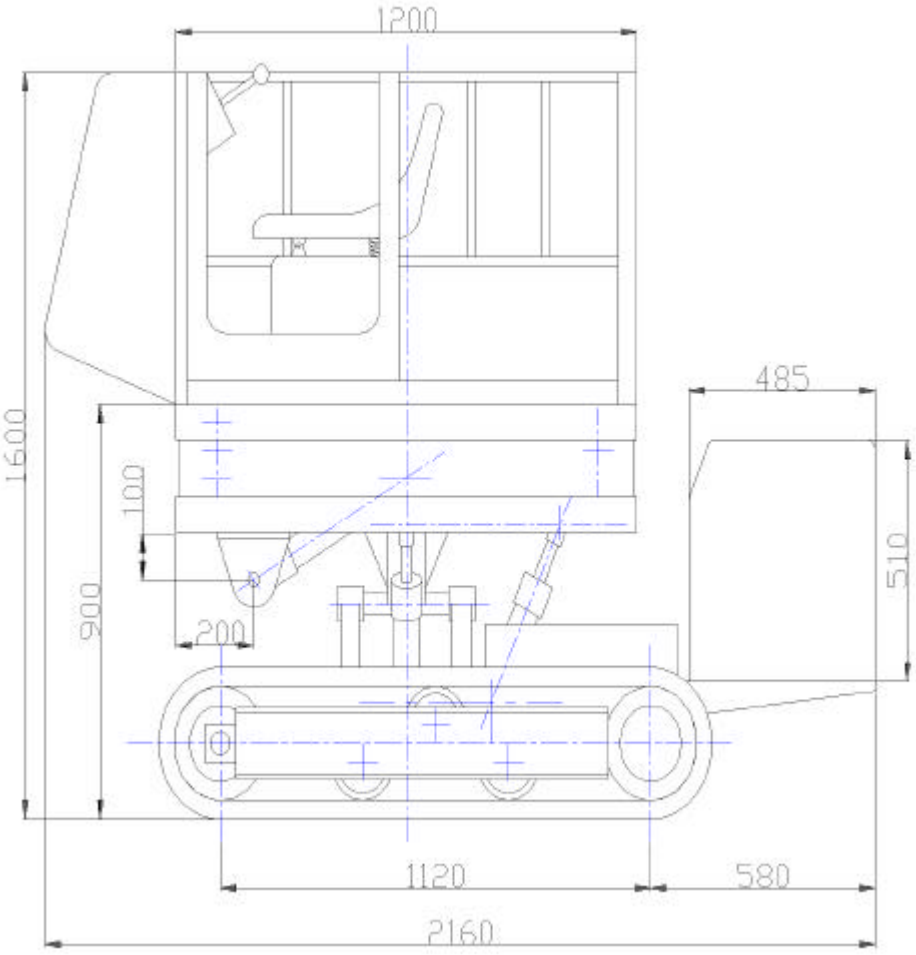


그림 4-47. 시제품 설계도 (측면도)

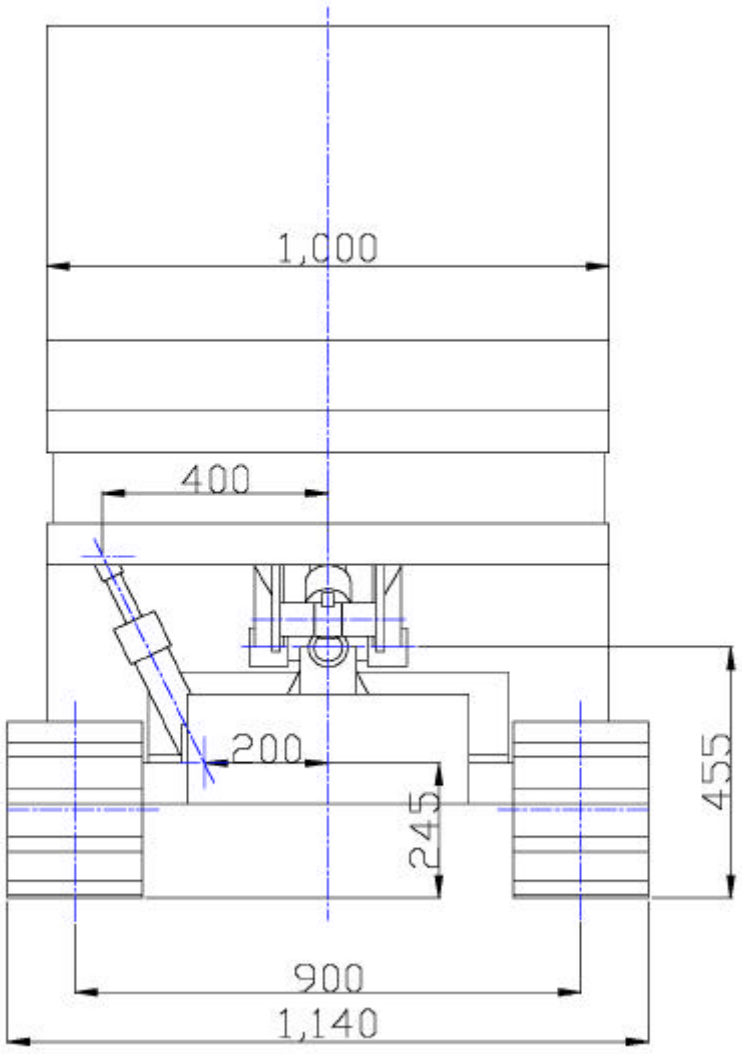


그림 4-48. **시제품 설계도 (정면도)**

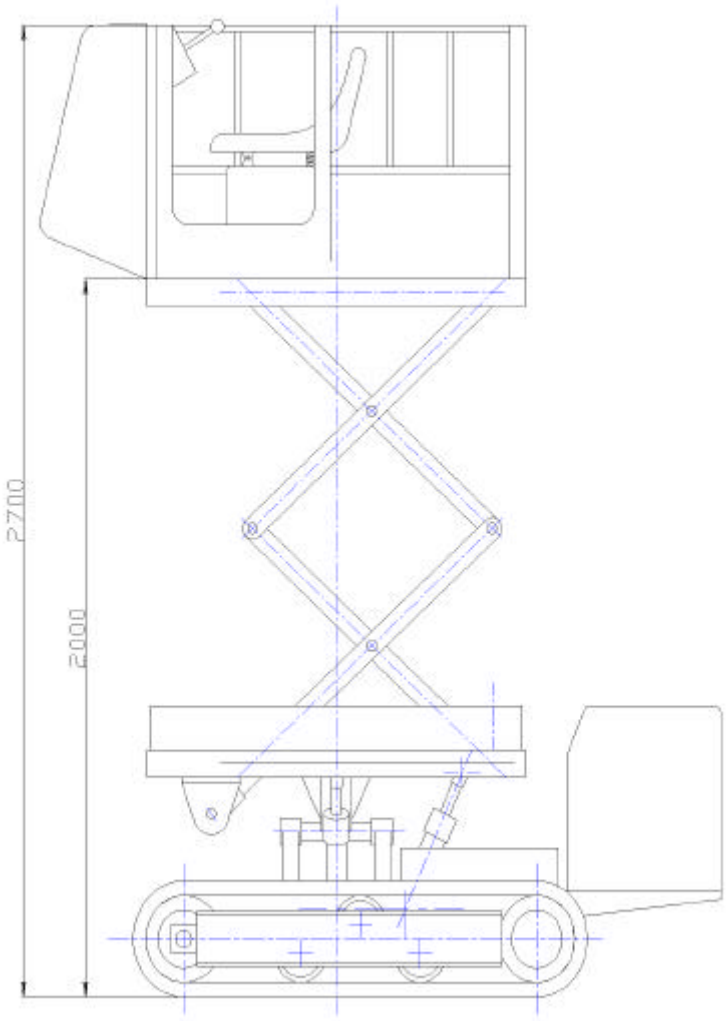


그림 4-49. 작업부 상승시의 작업기 측면도

제 5 장 감수확용 머니퓰레이터 개발

제 1 절 서 언

단감 재배에서 노동력이 가장 많이 드는 작업은 수확작업으로서 전체 노동력 소요의 20% 정도를 차지하며 다음이 10% 정도인 선별 포장 작업이다. 현재 선별 기계는 많이 보급된 편이나 포장과 수확작업은 완전 인력에 의존하고 있다. 특히 수확의 기계화는 모든 과수에서 마찬가지로 매우 어려운데 단감은 작업자가 손으로 수확하기도 어려운 실정이다. 단감은 매우 밀집하여 결과를 형성하는데 이로 인하여 지나친 경우에는 가지가 과일의 무게를 이기지 못하고 부러지는 일도 흔하다. 이렇게 밀집하여 매달려 있는 단감은 채과하기도 매우 어려운데 더욱이 단감의 꼭지는 매우 짧아 채과용 가위를 조심스럽게 다루지 않으면 과일에 상처를 주게 된다. 이러한 상황에서 단감을 수확하는 기계를 개발한다는 것은 매우 어렵다. 여기에 더하여 단감은 수세가 강하여 과수의 높이도 높고 따라서 결과의 높이도 높다. 그래서 높은 위치에 있어 채과를 포기하는 량이 전체의 10% 정도로 추산되고 있다.

따라서 단감의 수확을 위해서는 위험하게 나무에 오르지 않고 전량 수확할 수 있도록 기계화의 방향을 설정해야 한다.

본 연구에서는 수확 작업자의 손이 미치지 않는 위치의 감을 안전하게 채과하기 위하여 그리퍼(gripper)와 절단장치를 갖춘 감수확용 보조기구인 머니퓰레이터를 개발하고자 하였다.

제 2 절 감 수확용 머니퓰레이터 개념 설정

표 5-1은 경남 진영 지역의 단감 과수원에서 수령 26년의 단감 과수 10 그루를 표본 조사하여 분석한 수형과 결과 특성을 나타낸 표이다. 표에서 보면 제일 높은 위치에 있는 단감 과일은 평균 지상에서 약 3 - 3.7 m 높이에 있다. 이것과 수확 작업자의 평균 신장을 고려하면 개략적으로 머니퓰레이터의 길이는 약 1.5 - 2.0 m 가 적당할 것으로 판단된다. 너무 길면 무겁고 조정이 불편할 것이다. 가벼운 재질과 가능한 간단한 기구학적 기능을 가지면서 필요한 강도와 기능을 가지게 하여야 한다. 필요한 기능은 편리하게 과일을 파지하고 결과지로부터 과일을 분리시킬 수 있어야 한다. 본 연구에서 고려한 머니퓰레이터의 수확원리는 감을 파지하면서 수확하는 것으로 세부적으로는 3가지 방식을 검토하였다. 첫째는 꼭지를 절단하는 방법이며, 둘째는 과일을 회전시켜 꼭지를 가지로부터 분리시키는 방법, 셋째는 과일을 잡아 당겨서 인장에 의한 힘으로 꼭지를 가지로부터 분리시키는 방법이다. 1차, 2차, 3차 시작품을 설계 제작하고 실증 실험을 통하여 문제점을 도출하고 개선하였다.

표 5-1 단감 과수의 수형 및 결과 특성

항 목	수 고	수관직경	최저 분지고	최저 과일 높이	최고 과일 높이
평균(m)	4.15	5.3	0.39	0.37	3.35
표준편차	0.45	0.73	0.13	0.21	0.25

제 3 절 1차 시작품의 설계 개발

머니퓰레이터의 구체적인 방안은 첫째로, 감의 경우 과일의 중량이 300 g미만이므로 자르면서 가위에 과일을 잡는 장치가 붙어 있다면 다른 한 손은 가지를 잡을 수 있으므로 작업이 보다 경쾌해질 수 있다. 또한 수확가위의 날 곡선과 날의 굵기 등을 최적화 시킨다면 무게를 줄이고 손목의 피로도를 크게 낮출 수 있을 것이다.

머니퓰레이터를 설계하기 위하여 스프링을 이용하여 악력을 측정한 결과 남자의 경우 8 kg정도의 힘이, 여자의 경우 5 kg정도의 힘이 측정되었다. 머니퓰레이터의 궁극적인 목표는 동력화이지만 1차년도에는 수공구로 제작이 되므로 여자를 기준으로 하고 피로를 고려하여 3 kg의 악력으로 정하였다.

절단날의 벌어지는 정도는 과실의 직경보다 충분히 커야만 멀리 위치한 감을 손쉽게 수확할 수 있으므로 절단날의 최대 벌임 간격을 12 cm로 정하였다. 보통 수공구의 경우 악력으로 손쉽게 조절가능한 거리는 30 mm로서 피봇지점에서 악력이 작용하는 작용점의 거리가 멀수록 절단날의 변동각이 작아진다.

피봇지점에서 악력이 작용하는 점을 85 mm로 정하면 변동각은 21도가 되므로 절단날과 피복간의 거리는 최대벌임을 12 cm로 하기 위해서는 329 mm나 되므로 피봇에 두 개의 링크를 연결한 단순한 가위로는 그 크기가 너무 커서 곤란하여 4개의 링크와 4개의 피봇점을 갖는 머니퓰레이터를 설계하였다. 그림 5-1은 머니퓰레이터의 링크 구조를 나타낸 것이다.

수확가위는 절단하면서 과실 꼭지가 밀려나지 않으면서 깨끗한 단면으로 절단해야 한다. 수확가위의 경우 절단면이 쐐기 형상으로 이루어지므로 밀려날 수 있는 가능성이 있다. 가위의 경우에 절단특성을 설명하기 위한 용어는 그림 5-2에 표시되었다. 이 중에서 칼날의 접촉각과 접근각은 칼날의 곡면에 따라서

달라지며 물체의 굵기에 따라서 달라지며 접근각은 절단이 이루어지면서 작아지고 접촉각은 절단이 진행되면서 점차 커지게 된다. 절단각은 칼날의 두께(t)와 관련되어 있다. 조사된 바에 의하면 절단각은 20°가 일반적인데 더 작게 하자면 절단은 쉽게 되겠지만 개발된 머니퓰레이터의 경우 절단날이 이루는 링크의 두께가 얇아지기 때문에 절단각은 20°로 정하였다. 재질은 스프링강으로 사용하였다. 파지 스포크는 손가락 형태를 가지는데 양손으로 단감을 감싸면서 절단날이 꼭지를 절단하게 되어 있다. 단감 꼭지의 길이는 평균 8 mm 정도로서 매우 짧기 때문에 칼날이 매우 얇으면서 정밀하게 작동하여야 한다. 본 시작기의 성능 시험 결과 칼날의 강도와 정밀성에서 문제가 발생하였다. 벌어지는 각도가 크면서 정밀하게 작동시키는 것이 어려울 뿐만 아니라 얇으면서 강도가 큰 재질 선택 문제도 발생하였다. 실증 시험 결과 시작품 1개당 단감 수확을 10개 이상 할 수가 없었다. 모두 칼날의 망실과 칼날 파괴가 발생하였다.

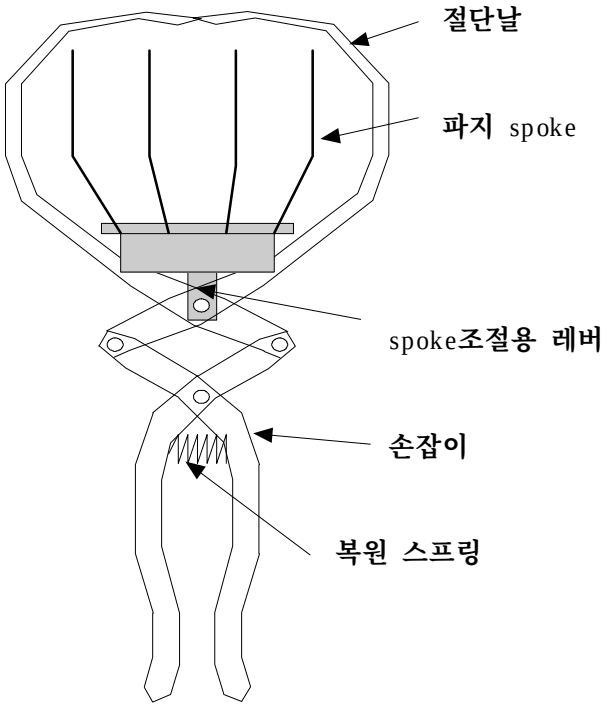


그림 5-1 개발된 머니퓰레이터의 구조

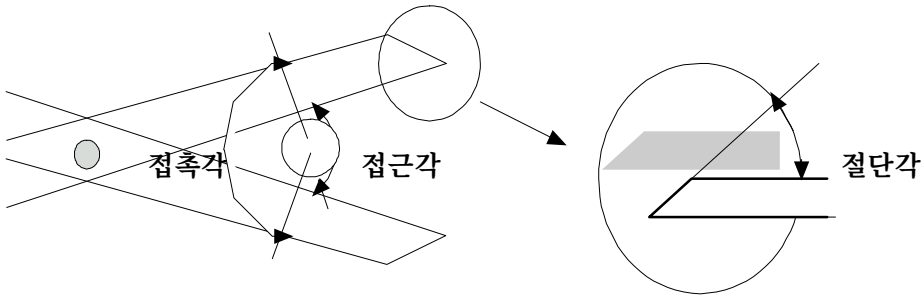


그림 5-2. 절단가위의 절단특성과 관련된 용어

제 4 절 2차 시작품의 설계 개발

감수확용 머니퓰레이터는 1차년도 연구결과 여러 제약 요인에 의해 여러 방식을 비교, 검토할 필요가 있었다. 2차년도에는 기존의 방식에서 발상의 전환을 하여 감꼭지에서 탈리층이 형성되는 것을 이용하여 감을 고속 회전하여 수확하는 방식과 순간적인 인장력으로 수확하는 방식을 시도하게 되었다. 그러나 이런 방식은 감꼭지의 잘린 부분이 절단에 비해 깨끗하지 않다. 그러나 실제 단감 과수원에서 관행 인력 수확 작업시에도 채과 작업 후에 꼭지 절단 마무리 작업을 수행하고 있으며 수확 능률을 증가시키기 위하여 종종 채과 가위를 사용하지 않고 손으로 과일을 잡고 적절한 방향으로 당겨서 수확을 하고 있다.

1. 감수확용 머니퓰레이터의 그리퍼 및 절단장치의 설계

2차년도에는 머니퓰레이터의 동력으로 공압 및 전기모터를 이용하는 방법을 모색하고 구조를 설계, 제작하여 성능을 평가하였다.

그림 5-3은 꼭지를 절단하는 수확용 머니퓰레이터의 구조를 나타낸 그림이다. 이것은 1차년에 시도된 방법의 연장으로서 동력원을 인력에서 공압으로 바꾸고 절단이 진행되면서 칼날이 서로 상하거나 칼날이 휘는 현상을 개선시킨 것이다.

그림 5-4는 과일을 파지한 채 회전시켜 수확하는 머니퓰레이터의 구조를 나타낸 그림이다. 과일을 파지하는 힘이 크면 회전시키기에 유리하지만 압박에 의한 과일 손상을 줄 수 있기 때문에 과일을 파지하는 힘을 일정하게 하는 것이 중요한 과제였다.

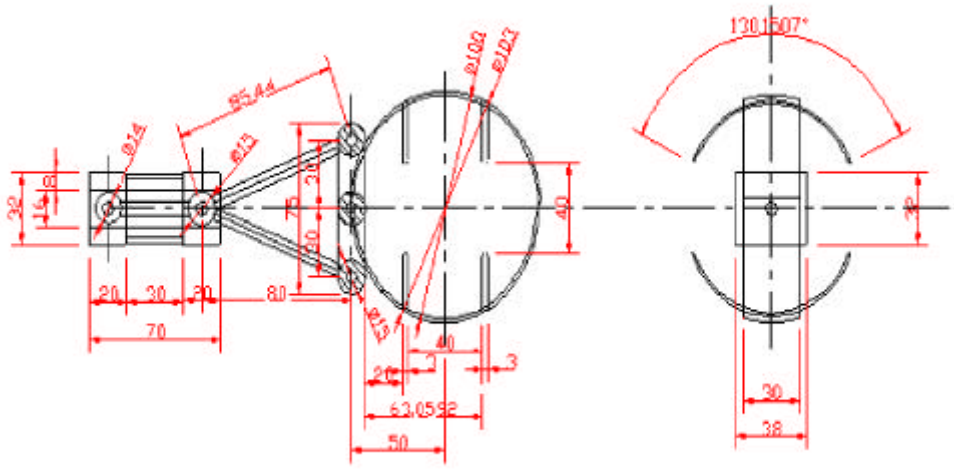


그림 5-3. 절단에 의한 수확용 머니퓰레이터의 구조

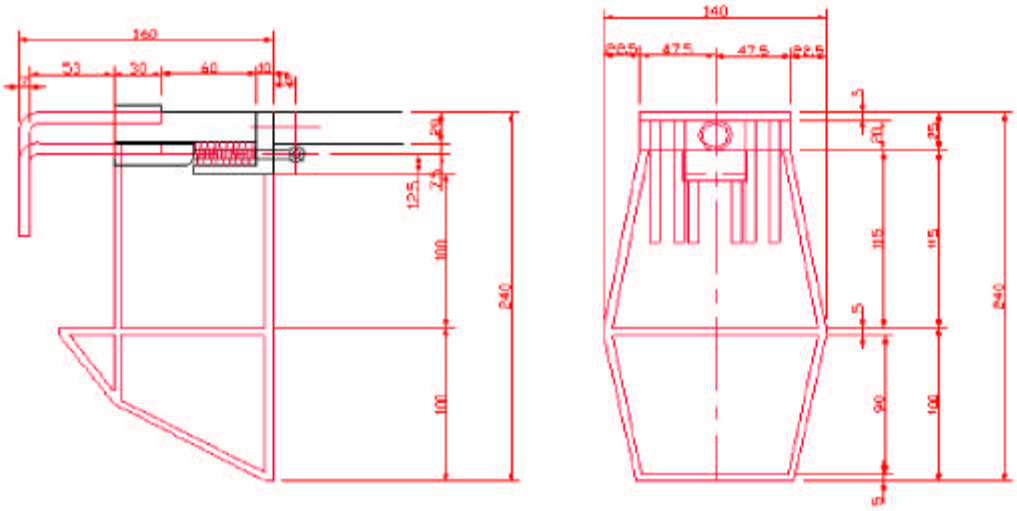


그림 5-4. 회전에 의한 수확용 머니퓰레이터의 구조

그림 5-5에 인장에 의한 수확용 머니퓰레이터의 구조를 나타내었다. 단감은 꼭지의 길이가 작기 때문에(8mm 정도) 결과지 과일 사이에 들어갈 수 있는 직경 5-7mm 정도의 스테인리스봉을 이용하여 4개는 가지를 밀고 2개는 감 열매를 당겨 꼭지를 줄기로부터 이탈시켜 수확하는 것이다. 인장력은 동력에 의해 제공되지만 복원력은 스프링에 의해 발생되기 때문에 스프링의 설계와 함께 감가지에 손상을 주지 않는 방법도 검토되었다.

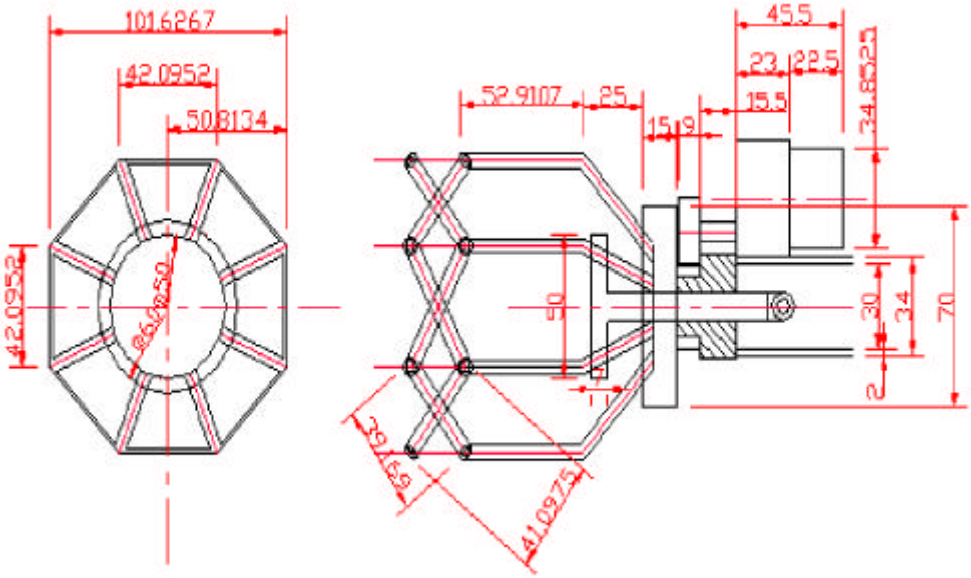


그림 5-5. 인장에 의한 수확용 머니퓰레이터의 구조

2. 감수확용 머니퓰레이터 2차 시작기의 제작

전술한 3가지 방법 중에서 1차 시작기를 개선한 방법은 소형 공압모터 선정이 어려웠고 공기 압축기를 별도로 가져야 하는 문제가 있어 제작에 실패하였다. 세 번째 방법인 인장력으로 감을 수확하는 방식은 감꼭지의 길이가 매우 짧아 특수강을 이용한 얇은 봉을 사용하여 제작하고 감수확 실험을 한 결과 5개도 수확하지 못하고 봉이 절단되었다. 개선하여 세 번 시도하였으나 모두 똑같은 이유로 실패하였다. 성공한 것은 두 번째 방법인 회전력을 이용한 방법이었다.

그림 5-6과 같이 4개의 스포크를 가진 그리퍼를 설계하고 이를 모터의 동력으로 회전시키는 구조의 머니퓰레이터를 개발하였다. 그리퍼의 작동에서 감을 파지하는 기능은 인력으로 수행되고 회전 기능은 모터 동력으로 수행된다. 모터의 회전은 손잡이에 설치된 limit switch에 의해 자동적으로 작동되게 하였다 (그림 5-7 참고). 이 장치는 길이가 1.8 m이고 머리부의 무게가 1.2 kg정도로 무거웠으며 전체의 무게는 1.7 kg에 달하였다. 모터는 1 W용으로 소형의 24V 전지에 의해 구동이 되고 감속기가 장착되었다.

2차 시작기를 이용하여 실증 실험을 수행한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- 감수확용 머니퓰레이터의 길이 1.8 m는 너무 길다.
- 모터의 회전 속도는 30-120 rpm 정도의 범위가 적당하며 토크도 충분하나 동력의 약간 부족하다.
- 장치의 무게가 무거워 조작이 어렵기 때문에 경량화가 필요하다.
- 그립퍼의 작동이 원활하지 못하는 경우가 자주 발생하여 보완이 요망된다.
- 감이 결과지로부터 분리된 후에도 그리퍼가 계속 회전하기 때문에 전력

그림 5-6. 2차 시작기인 머니퓰레이터의 머리부 사진

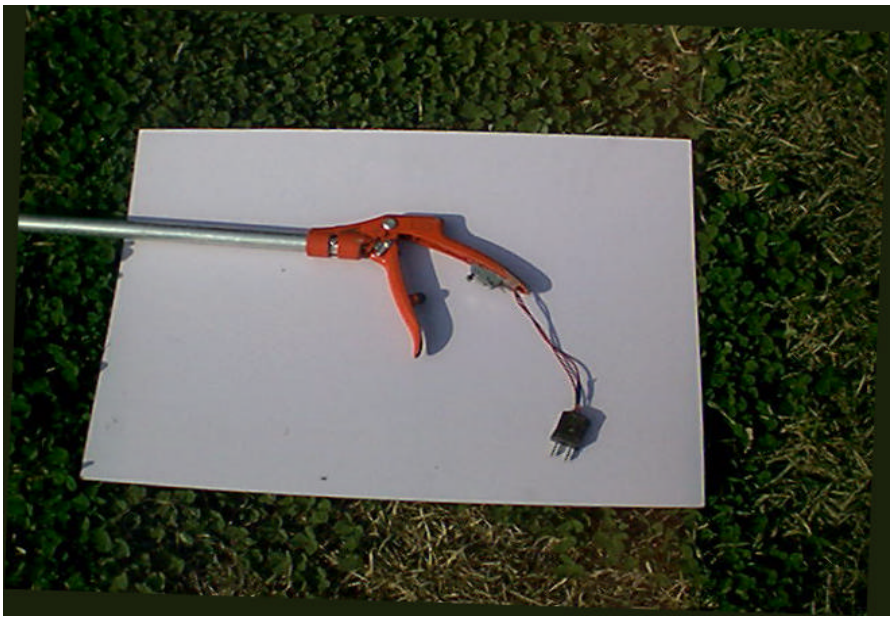


그림 5-7. 2차 시작기인 머니퓰레이터의 손잡이와 스위치 사진

손실이 크고 오히려 불편하여 스위치부의 개선이 필요하다.

- 단감이 밀집되어 있는 경우에는 스포크의 수가 많아 오히려 작업하기에 오히려 불편하다.

제 5 절 3차 시작품의 설계 개발

1. 감수확용 머니퓰레이터의 설계 변경

(1) 구조개선

- 머니퓰레이터의 작동을 수동 그리핑(감을 파지하는 기능)과 모터의 구동을 분리시켰다. 모터 구동은 핸들에 부착된 스위치의 ON/OFF로 작동되어 작업자가 필요한 경우에만 작동되도록 하였다.
- 2차 시작품에는 두 개의 스프링을 이용하여 하나는 감의 파지력을 제어하는 기능을 가지며, 다른 하나는 그리퍼가 이완되었을 때 원래 위치로 되돌리는 기능을 갖도록 하였으나 파지력을 제어하는 고 탄성계수의 스프링을 제거하고 파지력은 인력에 의해 조정되도록 하였다. 필요한 파지력은 감을 회전시킬 때 미끄럼이 일어나지 않을 정도가 적당하다.
- 2차 시작품에는 현장상황에 맞게 그리퍼의 벌림각을 조절하기 위한 그리퍼 조절 나사봉(좌나사와 우나사를 양단에 갖춘 암나사봉)이 설치되어 있었고, 모터의 회전에 의하여 이 그리퍼의 조절나사가 풀려서 그리퍼의 작동이 원활하지 못한 경우가 있었다. 3차 시작품에서는 그리퍼 조절 나사봉을 없애고 대신 감의 크기에 적합한 그리퍼를 제작하였다.
- 길이는 1.4 m 정도로 변경한다.

(2) 모터 부착 프레임의 강도 강화

2차 시작품으로 제작된 머니퓰레이터는 부하가 증가하면서 종동기어가 회전하는 힘이 스프링 압축용 축의 길이를 변화시켜 모터를 감싼 얇은 철판으로 제작된 모터 부착프레임의 변형을 가져와 결국 치면의 접촉을 불량하게 하여, 모터가 더 이상 회전하지 못하는 결과를 초래하였다. 따라서 3차 시작품에서는 프레임의 강도를 크게 증가시켜 모터부하가 증가해도 치면의 접촉이 계속 유지되도록 하였다.

(3) 무게 감소

- 무게를 감소하기 위하여 모든 재료를 알루미늄으로 대체하였다. 연결봉의 감량을 위하여 carbon fiber로 제작을 검토하였으나 강성에 있어서 변형이 많이 발생하는 문제가 있어 박판 알미늄 봉을 사용하였다.
- 기어의 치폭을 최소화하고 기어의 크기를 작게 하였다.
- 불필요한 베어링 덮개, 스프링 등을 제거하였다.

(4) 작동 속도와 토오크의 확보

- 회전속도 범위가 60 120 rpm인 모터를 사용하였다.
- 프로니 브레이크를 사용하여 모터의 토오크를 측정한 결과 23 N·cm의 토오크를 10% slip 이내에서 얻을 수 있었다.
- 모터의 작동전류는 기동시 순간최대전류가 0.021 A, 무부하시 0.007 A, 최대부하시에 0.051 A (slip 1005) 였다. 따라서 작동 동력은 1 Watt 정도이며 이 정도의 부하를 불연속으로 작동한다면 하루 8시간 작업한다고 가정하고 약 3,000개를 수확한다고 하면 실제 소비전력은 0.008 kWh로 밧데리의 용량에 전혀 부담을 주지 않는다. 또한 10Ah 정도의 소형 밧데리로도 3일정도는 연속사용이 가능하다.

- 2차 시작품에 비하여 회전 속도를 줄이고 두 배의 토크를 확보하였다.

(5) 감 파지용 손잡이 개수의 변경

감을 파지하는 스포크를 4개에서 3개로 줄여, 감이 밀집되어도 파지하기 쉽게 하였다.

2. 감수확용 머니퓰레이터 3차 시작기의 제작

그림 5-8은 3년차에 제작한 3차 시작기의 머니퓰레이터의 근접모습으로 24V용 모터를 부착한 것이다. 머니퓰레이터는 파지용 손잡이가 3개이며 사진에서 명확하지 않지만 파지손잡이 복원 스프링과 파지력 스프링, 파지력 조절나사 등이 있어 구조적으로 2차 시작기보다 단순하고 튼튼하다. 그림에서 보듯이 모터 부착프레임과 구동기어, 파지손잡이의 개수 등이 다르다는 것을 알 수 있다. 그리퍼는 플라스틱과 고무판을 이용하여 마찰력이 증대되도록 하였다. 그림 5-9는 제작된 머니퓰레이터를 이용하여 공을 파지하여 돌리는 모습을 나타낸 것이다.

그림 5-10은 12V용 모터를 이용하여 제작한 머니퓰레이터이다. 이 머니퓰레이터의 총 길이는 1.39 m이고 무게는 975 g였다. 이것은 3차 시작기의 실증 실험결과 그리퍼의 스포크 길이가 너무 긴 단점이 발견되어 스포크의 길이를 약간 짧게 만든 것이다. 또한 12V 모터를 사용할 경우의 장점은 별도의 배터리를 필요로 하지 않으며 감 수확용 차량에서 사용되는 배터리로부터 전원을 얻을 수 있는 장점이 있다. 기어비의 변경으로 12V용 모터를 이용하여도 감을 수확하는데 필요한 충분한 회전력을 얻을 수 있었다. 그림 5-11은 이 머니퓰레이터를 이용하여 감나무 포장에서 감을 수확하는 장면이며 그림 5-12는 머니퓰레

이터 머리 부분을 확대한 그림이다.

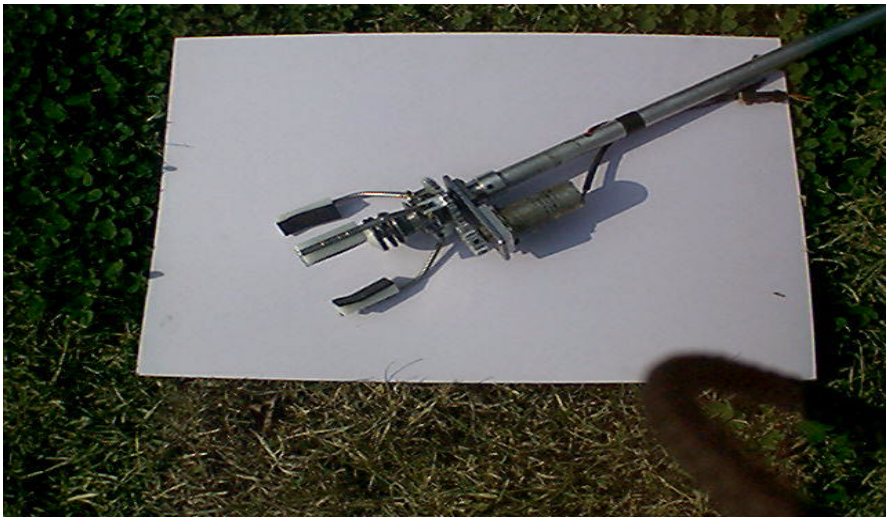


그림 5-8. 3차 시작기인 머니퓰레이터의 머리부

그림 5-9. 감수확용 머니퓰레이터의 작동 모습

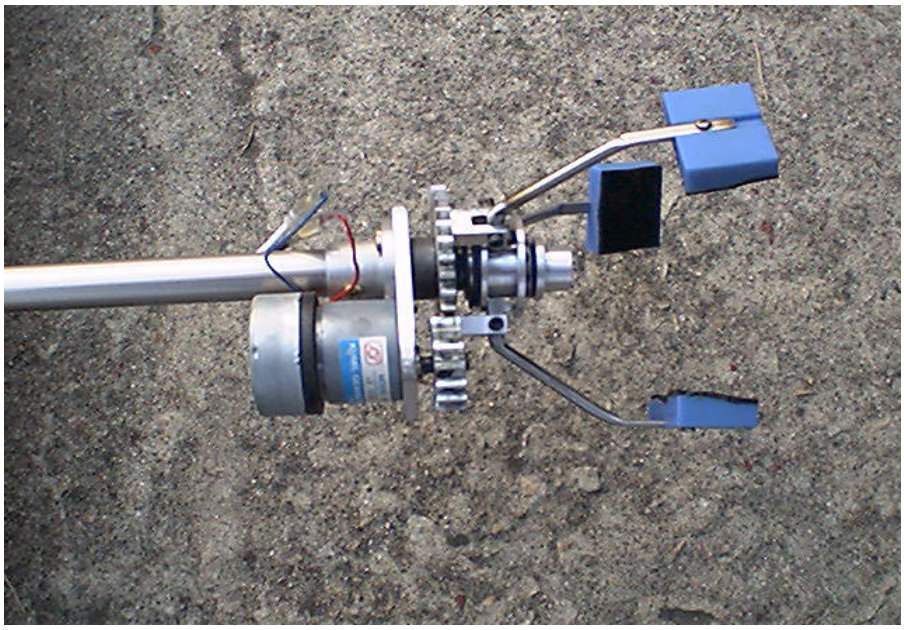


그림 5-10. 머니퓰레이터의 최종적인 모습

그림 5-11. 머니퓰레이터를 이용한 감수확 장면

그림 5-12. 머니퓰레이터 부분을 확대한 사진

제 6 절 감 수확용 머니퓰레이터의 최종 성능평가

표5-2는 감수확용 차량을 이용하지 않고 수작업과 머니퓰레이터만을 이용한 수확 작업별 수확량 비율 조사표이다. 여기서 수작업은 보통 성인 남자 가지상에서 손으로 수확하는 것을 말한다(지상에서 높이 2 m 이내). 수작업만으로는 전체 수확 가능한 과일 중 67.1 %를 수확할 수 있었다. 한편 머니퓰레이터를 이용하면 22.5 %를 더 수확할 수 있었기 때문에 결국 수작업과 머니퓰레이터를 이용하면 총 수확 가능한 과일의 89.6 %를 수확할 수 있었다. 표에서 채과 불가능(지상 3 m 이상 위치한 과일)한 비율은 약 10.4 %로서 현재 관행의 인력 수확에서 채과 불가능한 비율 약 10%와 비슷하였다. 이것은 머니퓰레이터라는 보조 수확기구만으로 나무에 오르지 않고 지상에서만 수확하여도 관행의 수확량만큼 수확할 수 있다는 것을 의미하는 것이다. 수확용 차량을 이용

하면서 머니퓰레이터를 사용하여 수확하게 되면 관행 인력 수확시보다 20% 정도 더 빠르고 9% 정도 더 많이 수확할 수 있는 것으로 분석되었다.

수확용 차량의 통로가 없는 과수원에서는 머니퓰레이터의 보급을 바라고 있는데 이것은 안전과 더 많은 수확량을 기대하기 때문이다. 수확작업시 외에도 머니퓰레이터는 단감의 결과수를 조정하기 위한 (결과수가 너무 많으면 크고 품질 좋은 과일수가 감소됨) 솎음 채과에도 이용이 가능하다.

표 5-2 지상에서 수확할 때 수확량 비율조사

항 목	과일 수 (개)	비율 (%)
지상 수작업 수확	1477	67.1
머니퓰레이터를 이용한 수확	494	22.5
채과 불가능	229	10.4
합 계	2200	100.0

제 7 절 결 론

3차년도에 걸쳐 실시된 실험 결과 최종적으로 회전력을 이용한 감수확용 머니퓰레이터가 설계, 제작되었다. 그림 5-13은 이 머니퓰레이터의 머리부 설계도를 보여주고 있다. 이 머니퓰레이터는 기어가 달린 12V용 모터의 회전 동력을 기어 감속을 추가하여 토크를 증대 시켰다. 그리퍼는 플라스틱과 고무판을 이용하여 마찰력이 증대되도록 하였다.

머니퓰레이터를 이용하여 포장에서 성공적으로 수확작업을 수행하였고 머니퓰레이터라는 보조 수확기구만으로 나무에 오르지 않고 지상에서만 수확하

여도 관행의 수확량만큼 수확할 수 있었다. 수확용 차량을 이용하면서 머니퓰레이터를 사용하여 수확하게 되면 관행 인력 수확시보다 20% 정도 더 빠르고 수확율은 9% 정도 더 많은 것으로 분석되었다.

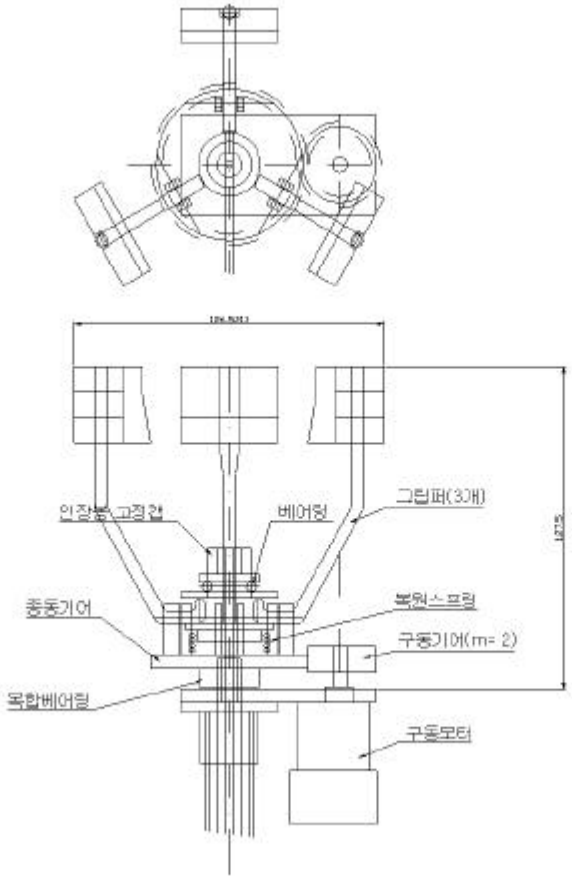


그림 5-13. 12V용 머니퓰레이터 머리부의 정면도 및 평면도

참 고 문 헌

1. 강화석, 김상헌, 이재선. 1994. 잣수확의 기계화 연구(I), 한국농업기계학회지 19(1): 9-16.
2. 강화석, 김상헌, 이재선. 1994. 잣수확의 기계화 연구(II), 한국농업기계학회지 19(1): 17-21.
3. 노치웅. 1998. 단감재배의 발전과 발전방안. 한구감연수 제1권 제1호 p.3
4. 농업기계화연구소. 1994. 농업기계화연구소 연구보고서.
5. 박종률, 최승묵, 조남홍, 정선근, 박경규. 1999. 단감 비닐포장기 개발. 한국농업기계학회 1999년 동계 학술대회 논문집 제4권 1호 p.187.
6. 윤진하. 1997. 원예재배의 기계화 현황과 발전방향. “원예농업의 기계화기술 과제와 발전방향” ‘97심포지엄. 농촌진흥청 농업기계화연구소.
7. 이종호, 윤진하, 이중용. 1992. 고추재배 - 수확의 생력화방안., “한국고추산업의 경쟁력 강화 방안”에 관한 심포지엄 (1992.5.9), 한국고추연구회.
8. 이종호, 박승제, 김철수, 이중용, 김용현. 1993. 고추수확기 개발을 위한 기초연구. 한국농업기계학회지 18(2): 110 121.
9. 이종호, 박승제, 이중용. 1998. 우리 나라 감재배의 기계화 방향. 한국감연구 제1권 제1호 p.51.
10. 정창주 역. 1968. 트랙터 조작법. 대한교과서주식회사.
11. 정창주. 농업기계학. 향문사. p.104 105.
12. 정창주 외 11인. 1992. 과수작업의 기계화 기술개발에 관한 연구. 과학기술처 연구보고서
13. 한국농업기계학회/한국농기구공업협동조합. 1995. 농업기계연감.
14. 한동철, 이현우 공역. 1993. 정역학. 희중당. p.353 361.

15. **川村登 외 5인. 昭和55年. 農業動力學. 文永堂株式會社** p.126 149.

16. **傍島善次**. 1966. **カキの早期生理的落果の原因とその防除對策. 農業および園藝** 41(3):462-466.

17. Abeles, F. B. 1968. Abscission: Role of cellulase. Plant Physiol. 43:447-454.

18. Arnold. 1964. Experiments weith Rasp Bar Threshing Drums, I. J. agric. Engr. Res. 9(2):99 131.

19. Antipin, V. G. and V. M. Korobitsyn. 1979. About movement of threshed Crop on the Concave, Mekhaniz, Elektrif, 37(8) : 7 9.

20. Athanasios Papoulis. 1984. Probability, Random Variables, and Stochastic Process. 2nd ed. McGrw-Hill Book Company.

21. Brown, H. S. and F. T. Addicott. 1950. The anatomy of experimental leaflet abscission in Phaseolus vulgaris. Amer. J. Bot. 37:650-659.

22. Coseteng, M. Y. and C. Y. Lee. 1987. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentration in relation to degree of browning. J. Food Sci. 52: 985-989.

23. Curry, E. A. and D. W Greene. 1993. CPPU influence fruit quality, frult set, rectum bloom, and Preharvest drop of apples. Hortscience 28(2):115-119.

24. Deneke, C. F., K. B. Evensen, and R. Craig. 1990. Regulation of petal abscission in Pelargonium*domesticum. HortScience 25(8):937-940.

25. Du, Z. and W. J. Bramlage. 1992. Modified thiobarbituric acid assay for measuring lipid peroxidation in sugar-rich plant tissue extracts. J. Agric. Food Chem. 40: 1566-1570.

26. Feder, N., and T.P. O'Brien. 1968. Plant microtechnique: Some principle and new methods. Amer. J. Bot. 55:123-142.

27. Fulliolove, H. M. and J. G. Futral. 1972. A mechamical harvester for Pimiento peppers. ASAE Paper No. 72-148.

28. Goldschmidt, E. E. and B. Leshen. 1971. Style abscission in the citron and other citrus species : Morphological, physiological and chemical control with picloram. Amer. J. Bot. 58:14-23.

29. Goren, R. 1993. Anatomical, physiological, and hormonal aspects of abscission in citrus. Horticultural Reviews: 145-182.

30. Goren, R., M. Huberman, and M. J. Jaffe. 1977. Abscission in citrus: hormonal, anatomical and enzyme aspects. Proc. Inter. Soc. Citriculture. 2:677-683.

31. Huberman, M., R. Goren, and E. Zamski. 1983. Anatomical aspects of hormonal regulation of abscission in Citrus. The shoot-peduncle abscission zone in the non-abscising stage. Plant Physiol. 59:445-454..

32. Itoo, S. 1986. Persimmon. In CRC handbook of fruit set and development. S. P. Monselise(Ed), p.355-370. CRC Press, Boca Raton, FL.

33. Kadiura. M. 1943. The physiological dropping of fruits in the Japanese persimmon. J. of Japan. Soc. Hort. Sci. 14(1):1-6.

34. Kanafojski, Cz. 1972. Theory of Threshing, In Agricultural Machines, Theory and Construction. Vol. 2. p.255 299, Warszawa, Poland: PWRil.

35. Klein, J. D. 1987. Relationship of harvest date, storage conditions, and fruit characteristics to bruise susceptibility of apple. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 113-118.

36. Kon, M. and R. Shimba. 1987. Changes of carotenoids in Japanese persimmon during maturation, storage and drying process, Nippon

Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 29(12): 720-723.

37. Lee, H. J., G. J. Choi, and K. Y. Cho. 1998. Correlation of lipid peroxidation in *Botrytis cinerea* caused by dicarboximide fungicides with their fungicidal activity. J. Agric. Food Chem. 46: 737-741.

38. Macheix, J. J., A. Fleuriet, and J. Billot. 1990. Fruit phenolics. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

39. Marshall, D. E. 1983. Machanized pepper harvesting and trash removal. Proceedings of the International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Harvesting Mechanization, The Volcani Center, Bet Dagan, Israel.

40. Nakabayashi, T. K. Abe and K. Ina. 1971. On the foul smell of Kaki-Shibu, Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 18(1): 20-23.

41. Nu, N. 1976. Seasonal changes of fruit growth in Japanese persimmon, Dispyros kaki cv. Fuyu, in relation to vascular tissue development in the fruit stalk. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 47(2):171-179.

42. Rasmussen, G. K. 1975. Cellulase activity, endogenous abscisic acid, and ethylene in four *Citrus* cultivars during maturation. Plant Physiol. 56:765-767.

43. Scott, F.M. 1948. Development, cell shape, suberization of internal surface and abscission in the leaf of the Valencia orange, *Citrus sinensis*. Bot. Gaz. 109:381-411.

44. Shewfelt, R. L. 1993. Stress physiology: A cellular approach to quality, pp. 257-276. In: R. L. Shewfelt and S. E. Prussia (eds.). Postharvest handling: A system approach. Academic, San Diego, CA, USA.

45. Somajiba, Y. 1968. Source of physiological drop in persimmon. J, Japan.

Soc.Hort.sci. 41(2):163-168.

46. Valero, E., R. Varon, and F. Garcia-Carmona. 1988. Characterization of polyphenol oxidase from Arien grapes. J. Food Sci. 53: 1482-1484.

47. Westwood, M. L. 1993. Temperate zone pomology(3rd). W. H .Freeman and Co. p.67-114.

48. Wilson, W. C., C. H. Henderschott. 1968. Anatomical and histochemical studies of abscission of oranges. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 92:203-210.

49. Wurzburer, J. and R. Goren. 1978. Abscission of Citrus leaf explants. Plant Physiol. 62:295-298.

50. Yager, R. E. 1960. Possible role of pectic enzymes in abscission. Plant Physiol. 35:157-162.