

최 종
연구보고서

식용 들깨잎 수확 자동화 시스템 개발

Development of Automated Harvesting
System for Edible Perilla Leaves

연 구 기 관

충 남 대 학 교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “식용 들깨잎 수확 자동화 시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004 년 8 월 18 일

주관연구기관명 : 충남대학교
총괄연구책임자 : 장 동 일
세부연구책임자 : 장 동 일
연 구 원 : 정 쌍 양
연 구 원 : 이 승 주
연 구 원 : 조 한 성
연 구 원 : 임 송 수
연 구 원 : 이 치 호
연 구 원 : 이 상 호
연 구 원 : 심 정 훈
연 구 원 : 임 재 중
연 구 원 : 최 효 근
연 구 원 : 조 형 만
연 구 원 : 이 인 현
연 구 원 : 박 상 철
연 구 원 : 박 서 향

요 약 문

I. 제 목

식용 들깨잎 수확 자동화 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

수작업으로 이루어지는 수확작업으로부터 해방되고, 인건비의 절감에서 오는 농가의 소득증대와 농산물 시장에서의 경쟁력 강화를 달성하고자 식용 들깨잎 수확 자동화 시스템을 개발한다.

2. 연구개발의 필요성

들깨는 한국, 일본, 중국 등에서 식용계란, 돼지고기, 양식어류 등의 생산을 위한 기능성 사료와 한방에서는 만성위염, 기침, 위산과다 등의 약용으로도 쓰이고 있다. 또한 들깨잎은 특유의 향취로 인해 육류나 생선회 등의 비린내를 제거하기 위하여 음식점에서 상추와 함께 대량소비가 되고 있다.

이렇듯 다양한 쓰임새를 갖고 있는 들깨는 안전농산물에 대한 소비자의 관심증가로 수요량이 점점 증가하고 있으며, 들깨잎 또한 식생활의 변화로 인한 육류와 더불어 수요량이 급격히 증가하여 기계화에 의한 대량생산은 충분히 경쟁력을 갖춘 농업으로 발전할 수 있다.

현재 들깨잎 파종작업은 점파종기의 개발로 기계화가 가능하게 되었으나 수확작업에 있어서는 모두 인력에 의존하고 있다. 현재 들깨잎의 재배농가에서 조수입의 약 37%가 수확에 관련된 인건비로 지출되고 있다.

농촌진흥청(2002)에 따르면 2001년 시설 들깨잎의 경우 10a, 1기작의 경우 연간 조

수입이 약 1,290만원 중 경영비용이 약 480만원이고 수확작업에 관련된 고용인건비가 약 213만원(563시간)정도로 생산비용의 약 44%정도를 차지하고 있다. 또 고용인건비 외에 자가 인건비가 약 432만원(918시간)정도로 조수입의 약34%가 잎의 수확과 포장작업에서 지출되고 있다. 따라서 실제 농가의 순수 수입은 조수입의 약 30%정도 밖에 되지 않는다. 들깨잎은 현재 국내수요 및 수출량이 점점 증가하고 있는 실정으로 일본의 자소의 대체식물이 된다면 수출은 더욱 증가할 것이다. 생산비의 절감으로 단가를 하락시킨다면 잎채소 및 새로운 식품으로서 수요가 크게 증가할 것으로 전망된다. 따라서 수확기를 개발하여 이를 활용하면 수확시 인건비를 80%이상 줄일 수 있고 들깨잎 농가의 소득율이 30%이상 향상될 것으로 전망된다.

또한 수출의 경우 92년에는 40,949kg에서 96년에는 65,558kg으로 점점 늘어가고 있는 추세이다(농수축산신문, 1999). 여기서 생산비의 절감에 의한 단가를 하락시킨다면 이는 우리나라 농산물 수출 경쟁력을 향상시킬 수 있는 좋은 기회가 될 것이다.

들깨잎은 이와 같이 매우 고부가가치 농업으로서 농가경제에 큰 이득을 줄 수 있지만 인력부족, 인건비의 문제 등에 의해 전국적으로 널리 재배되고 있지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 노동력의 문제만 해결된다면 전국 어디서나 들깨잎을 생산할 수 있고 소규모의 시설 또는 노지의 들깨잎 농사가 가능하여지며, 또한 농가경제에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

그러나 현재 국내는 물론 해외에서도 들깨잎과 유사한 채소의 잎을 기계로 수확하는 방법에 대한 개발 및 연구가 아주 미비한 상황이다. 따라서 본 연구는 들깨잎과 같은 잎채소를 수확할 수 있는 새로운 방법을 개발하고자 수행하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구의 개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

1. 1차년도 연구개발 내용 및 범위

▷ 실험용 들깨 포트 재배

- 포트에 들깨를 재배하면서 문헌연구를 통한 들깨의 특성을 확인하고 기초실험과

- 채취용 그리퍼의 성능 시험에 재배된 들깨를 사용한다.
- ▷ 줄기상의 들깨잎 부착위치 및 개수 결정 센서의 H/W와 S/W 개발
 - 제어장치(H/W)와 제어프로그램(S/W)을 통해 센서를 이용한 들깨잎의 위치와 개수를 파악할 수 있도록 한다.
- ▷ 채취용 그리퍼의 작동 메커니즘 설계
 - 그리퍼를 이용하여 들깨잎 채취를 위한 최적의 작동 메커니즘을 설계한다.
- ▷ 채취된 잎을 저장소로 이동할 수 있는 이송시스템 설계
 - 채취된 들깨잎을 저장소로 신속하고 안전하게 이송시킬 수 있는 이송시스템을 설계한다.

2. 2차년도 연구개발 내용 및 범위

- ▷ 들깨잎 채취 작업 제어용 센서 개발
 - 들깨잎 채취 그리퍼를 제어하기 위한 센서를 개발한다.
- ▷ 채취용 그리퍼 설계
 - 개발된 채취용 그리퍼의 작동 메커니즘의 예비실험결과를 활용한다.
 - 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 채취장치의 실용성을 측정한 후 채취작업 제어용 S/W를 개발한다.
 - 개발된 채취용 그리퍼의 예비실험결과를 바탕으로 문제점의 보완 및 수정하여 채취작업용 시작기를 제작한다.
- ▷ 채취된 잎의 이동 및 수집장치 설계
 - 채취된 잎이 안전하게 이송될 수 있는 이송장치를 제작하고 들깨잎의 수집을 위한 장치를 설계, 제작한다.
 - 이송 도중에 수확물의 손상을 줄이기 위하여 연성의 재질을 이용하여 이송장치를 개발한다.
 - 임시저장공간 내에서의 신선도 유지를 위하여 들깨잎의 물성을 연구하고 이를 바탕으로 신선도를 유지할 수 있는 장치를 설계한다.
- ▷ 구동 메커니즘 개발
 - 시작기의 주행이 가능하도록 구동 메커니즘 및 알고리즘을 개발한다.
 - 구동 시스템을 설계, 제작한다.

- ▷ 수확 기계장치 시스템 조합 및 성능 분석
 - 개발되어진 수확 기계장치의 시스템을 조합하고 성능분석을 실시한다.
- ▷ 시작기 제작 및 성능시험
 - 들깨의 생장을 연구하여, 생장에 따라 계속 채취작업을 수행할 수 있는 외형을 설계한다.
 - 작물에 영향을 주지 않는 주행장치의 미캐니즘을 설계하고 기구학적 분석을 통해 안전성 및 성능을 분석한다.
 - 개발된 장치를 조합하여 시작기를 제작하며, 충남대학교 부속농장에서의 예비시험을 통해 안전성, 실용성, 작업성 등을 종합 평가한다.
 - 시작기의 예비시험의 데이터를 분석하여 문제점 및 미비점을 수정, 보완작업을 통해 최적의 시스템을 개발한다.
 - 문제점 및 미비점을 수정, 보완하여 pilot급 시작기를 설계하여 3차년도의 실증 실험을 준비한다.

3. 3차년도 연구개발 내용 및 범위

- ▷ 들깨밭 농장에서 채취작업 실시 및 시작기의 작업 성능 분석
 - 제작되어진 시작기를 가지고 들깨밭 농장에서 채취작업을 실시하고 시작기의 작업 성능을 분석하여 문제점과 개선점을 찾는다.
- ▷ 시스템의 미비점/문제점 보완설계
 - 앞서 밝혀진 문제점을 보완 설계하여 들깨밭 수확 시스템을 제작한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 계획 및 건의

1. 연구 개발 결과

가. 들깨밭 수확기 설계를 위한 기초자료 조사

- 1) 들깨의 재배학적 특성

현재 들깨의 재배 조건은 전체적으로 비슷한 상황이다. 두둑 및 고랑의 형상을 살펴보면 두둑의 폭이 1500mm, 높이가 100~200mm이며 고랑의 간격 300~400mm, 깊이 100~150mm이고 형상은 마름모꼴에 가깝다. 들깨의 주간격은 100~150mm이며 두둑의 한 폭에 10~15주의 들깨가 재배되어진다. 최근에는 하우스(시설)재배로 4계절 수확이 이루어지고 있다.

2) 들깨의 생태학적 특성

들깨잎의 크기는 길이 7~12cm, 나비 5~8cm에서 수확을 실시한다. 1회 수확시 보통 주당 1~2장(1마디)의 잎을 수확하며 수확시에 곁가지를 제거해준다. 들깨잎의 수확은 반축성 재배시 40~50일 뒤부터 수확하게 되며 봄가을에는 10일, 여름에는 5~7일 간격으로 수확한다. 들깨잎의 수확기간은 만생종은 150일, 조생종은 110일 정도이다. 수확과정에서 들깨잎이나 줄기에 가벼운 상처나 손상은 상품가치와 직결되므로 조심한다.

3) 들깨잎자루의 역학적 특성

잎자루의 직경은 2.05mm ~ 3.65mm이내에 모두 분포하였으며, 평균 직경은 2.78mm이었다. 또한 들깨잎줄기의 전단력은 7.13N ~ 17.42N이내에서 나타났으며, 평균 전단력은 12.13N으로 나타났다. 함수율은 평균 84.53%로 나타났다.

4) 들깨줄기의 기하학적 특성

공시재료를 대상으로 조사한 결과 들깨잎자루의 끝은 정도에 따라 전체 들깨잎 중에서 끝은 형상은 76%, 흰 형상은 13%, 처진 형상은 11%의 분포를 보였다. 들깨잎자루와 들깨줄기가 이루는 각도에 따른 분류에서 들깨잎은 40°~ 90°사이에서 모두 분포하였으며, 60°~ 70°사이에서 가장 많이 분포하였으며, 80°이상의 경우는 잎들의 형상이 온전하지 못한 것들이 대부분으로 생육부진 또는 병충해로 인한 것으로 사료된다. 들깨잎자루와 그리퍼 압과의 각도에 따른 분류에서 공시재료는 -90°~ +90°사이에서 거의 균등하게 분포되어 있었다.

나. 들깨잎 수확 시작기 개발

1) 수확장치

작물의 특성을 고려하여 설계조건을 설정하고 하드웨어를 구성한 후 그리퍼의 미케니즘과 구동 알고리즘을 토대로 구동 소프트웨어를 개발하였다. 수확장치의 성능시

험 결과 들깨잎 자루의 끈은 정도에 따라 74.3%의 성공률을 보였고 들깨잎 자루와 들깨줄기가 이루는 각도에 따른 시험에서는 전체성공률이 75%로 나타났다. 들깨잎자루와 그리퍼 압과의 각도에 따른 결과는 전체성공률이 79.5%이고 공시재료의 재배기간에 따른 성능차이는 큰 차이가 없었다.

2) 프레임 및 구동장치

작업공간의 폭과 높이는 1500mm×1200mm이며 이 프레임에 폭190mm(양쪽), 높이 400mm의 크기로 보강을 대어 프레임의 휨을 방지하였다. 프레임은 강도와 비용을 고려하여 25×25×1.6t의 구조용각형각관을 사용하였다. 동력은 양쪽에 모터를 두고 무한궤도의 원리를 적용하였고 50~60Hz의 속도가 적합한 것으로 나타났다.

3) 이송장치

들깨의 특성상 수확물을 보호하며 수확장치와 같이 사용하기에 적합한 컨베이어 벨트를 선택하였으며 시작기의 요구조건에 적합한 Cleat 타입 벨트를 적용했다. 이송장치의 모터의 속도는 16m/min에 기울기는 40~50°가 가장 적당한 것으로 사료되었다.

4) 제어장치

수확기를 제어하기 위하여 수확기의 상단에 제어장치를 구성하고 프로그램을 이용하여 소프트웨어를 개발하였다.

다. 1차 시작기의 설계 및 제작

1) 수확기의 설계 방향과 조건을 설정하고 그에 맞추어 수확장치, 프레임 및 구동장치, 이송장치, 제어장치로 구성된 시작기를 제작하였다.

2) 실험실 앞 도로에서 30주를 가지고 3회 성능시험을 실시한 결과 평균 작업능률은 15.99m²/h, 수확손실률은 53.33%, 손상률은 11%로 나타나 수확손실률이 다소 높게 나타났다.

3) 포장에서 30주를 2회 반복 시험한 결과 평균 작업능률은 16.73m²/h, 수확손실률은 56.67%, 손상률은 11.67%로 나타났다.

4) 성능 시험 결과 1차 시작기의 문제점을 발견하고 해결 방안을 모색하여 재설계를 실시하였다.

라. 2차 시작기의 설계 및 제작

1) 1차 시작기와 같은 설계전제를 가지고 성능 시험 결과 드러난 문제점의 보완 설계대로 2차 시작기를 제작한다.

2) 들깨잎 농사를 짓는 농가의 비닐하우스에서 300주를 2회 반복 시험한 결과 평균 작업능률은 14.36m²/h, 수확손실률은 28.5%, 손상률은 18%로 나타났다.

4) 성능 시험 결과 2차 시작기의 문제점을 발견하고 해결 방안을 모색하였다.

2. 활용에 대한 건의

가. 연구개발결과의 활용을 위한 건의

본 연구에서 개발한 들깨잎 수확 자동화 시스템의 주요 장치들과 작동원리를 활용하여 들깨잎과 생태학적으로 비슷한 잎채소나 다른 작물의 연구를 계속 실시하고 특허 및 실용신안을 출원하고 들깨잎 수확기에 관심을 표명하는 업체와 지속적인 연구와 기술개발로 문제점을 해결하여 실용화 단계까지 계속 연구할 것을 건의함.

SUMMARY

I. Title

Development of Automated Harvesting System for Edible Perilla Leaves

II. Objectives and Necessity of Research

1. Objective of Research

Cultivating and packing processes of edible perilla leaves are carried out by hand. The objective of this study is to develop an automated harvest machine to increase income for agricultural households and competitiveness in the market by reducing labor costs.

2. Necessity of Research

Perilla leaves are used for functional animal feeds for eggs, pork, and fish in Korea, Japan, and China. They are also used for medicinal herbs for chronic gastritis, cough, or hyperacidity. Due to their unique smell, they are consumed a lot with lettuces in restaurants to remove bad taste for meats or raw fish.

With the increase of consumers' interest in healthy and safe produce and the increased consumption of meat in diet, demand of perilla leaves is increasing steadily. If they are mass-produced with automated system, they can be developed into crops with competing power.

At present, seeding process for perilla leaves is done with automated machine. However, harvesting is done manually. Thirty seven percent of the annual income per household is spent for labor costs.

According to Rural Development Administration, annual gross income is about 12.9 million Wons for perilla leaves per 10a. Out of 12.9 million Wons, 4.8 million Wons are spent for management, and harvest-related labor costs to employ other people are 2.13 million Wons (563 hours) which are approximately 44 percent of manufacturing costs. Self-labor costs are 4.32 million Wons (918 hours) which are approximately 34 percent of gross income for harvesting and packing processes. Therefore, pure income per household is only about 30 percent of income. Now the domestic and export demand of perilla leaves are increasing steadily. If they can replace Japanese beefsteak mints, export will increase more. If manufacturing cost is lowered, unit cost is lowered. Then it is expected that the demand of perilla leaves as leaf vegetable and new food will increase more. Therefore, if we develop and use harvest machines, we reduce labor cost more than 80 percent. Also income rate per perilla-growing-household will increase more than 30 percent.

The export of perilla leaves is on the steady increase from 40,949 kg to 65,558 kg (The Agriculture, Fisheries & Livestock News, 1999). If the unit cost is lowered based on the reduction of the production cost, it will be a good opportunity to increase the competitiveness of produce export in Korea.

As high value-added produce, perilla leaves are profitable for agricultural economy. Nevertheless, they are not widely cultivated nationwide due to lack of man power and high labor cost. If problems with labor are solved, the production of perilla leaves is possible anywhere in the country. In small-sized facilities and fields, it is possible to cultivate them. In consequence, cultivating them can be helpful for the economy of the agricultural household.

At present, there has been few research on automated harvest system of perilla leaves and similar leaf vegetables not only in Korea but also abroad. Therefore, this research is to develop and produce a new harvesting method of leaf vegetables such as perilla leaves.

III. The Content and Range of Research

The content and range of this research are as follows.

1. The Contents and Scope of R&D in the First Year

- ▷ Cultivating perilla leaves in pots for experiments
 - While perilla leaves are cultivated in pots, their characteristics based on the literature review are identified. Then they are used for basic test and the performance test of a harvest gripper.
- ▷ Developing H/W and S/W of sensor which can detect the location and numbers of perilla leaves on the stems.
 - Controlling system (H/W) and controlling program (S/W) can detect the location and numbers of perilla leaves through sensors.
- ▷ Designing controlling mechanism of harvest grippers
 - Optimal controlling mechanism is designed to harvest perilla leaves using grippers.
- ▷ Designing conveying system to move harvested leaves in storing places
 - Conveying system is designed to move harvested perilla leaves to storing places promptly and safely.

2. The Contents and Range of R&D in the Second Year

- ▷ Developing controlling sensor to harvest perilla leaves
 - The sensor is developed to control gripper for harvesting perilla leaves.
- ▷ Designing harvest gripper
 - The pilot-test result for controlling mechanism of developed harvest gripper is applied.
 - Practicality of harvesting system is tested by computer simulation, and S/W controlling harvest system is developed.

- Based on the result of pilot test for developed harvest gripper, the problems are analyzed. With some modifications, prototype harvester is made.
- ▷ Designing conveying and leaf picking systems for harvested leaves
 - Conveying system is developed to move harvested leaves safely, and leaf picking system for perilla leaves is designed and made.
 - To reduce the damage of harvested crops during the conveying process, ductile material is used for conveying system.
 - To keep freshness in temporary storing places, the properties of perilla leaves are studied. Based on the result, freshness-keeping mechanism is designed.
- ▷ Developing traveling mechanism
 - Traveling mechanism and algorithm are developed to move prototype harvester.
 - Traveling system is designed and made.
- ▷ System composition of harvesting machine and performance analysis
 - Systems of harvesting machine are assembled, and its performance is analyzed.
- ▷ Production of prototype machine and performance test
 - After the growth of perilla leaves is studied, external appearance of the harvester is designed so that harvesting job is done according to their growth.
 - Traveling mechanism is designed not to affect crops, and safety and performance are analyzed through structural analysis.
 - The prototype harvester is made by assembling developed systems. Through pilot test at the school farm of Chungnam National University, safety, practicality, and workability are evaluated.
 - The data of pilot test are analyzed, problems and defects are corrected, and finally optimal system is developed.
 - The prototype harvester for a pilot test is designed again by correcting problems and defects. It is used for the third-year experiment.

3. The Contents and Scope of R&D in the Third Year

- ▷ Leaf picking works at the farm of perilla leaves and performance analysis of harvester
 - Leaf picking works are done with developed prototype harvester, and problems and improvements are detected by analyzing its performance.
- ▷ Redesigning by correcting defects and problems of the system
 - Redesigned harvester system is made with some modifications.

IV. Results and Discussions for Application

1. Results of the study

A. Research on the Basic Materials for Designing an Automated Harvesting System

1) Cultivating factors of perilla leaves

Now cultivating conditions of perilla are similar in general. Regarding ridges and furrows, ridges are 1500mm wide and 100 to 200 mm high. Furrows are 300 to 400 mm wide and 100 to 150 mm high, and their shapes are like diamonds. Perillas are from 100 to 150 mm apart. 10-15 week-old perillas were cultivated on ridges. Nowadays perilla leaves are harvested all the year round because of green houses.

2) Biological factors of perilla leaves

Perilla leaves are harvested when they are 7-12cm high and 5-8cm wide. For one-time picking, 1-2 leaves (a node) per one root are harvested in general. When they are harvested, their side branches are removed. For semi-growth-quickenning cultivation, perilla leaves are harvested after 40-50 days. In Spring and Fall, they are harvested at the interval of 10 days. In Summer, they are done at the interval of 5-7 days. Harvesting periods of a serotinous species are 150 days. Those of a

precocious species are 110 days. Because slight damages on the leaves or on the stems can affect commercial values, precaution has to be made.

3) Mechanical factors of perilla leafstalks

The diameters of leafstalks are 2.05mm ~ 3.65mm, and the average diameter is 2.78mm. The shear forces of stems are 7.13N ~ 17.42N, and the average shear force is 12.13N. The average moisture content is 84.53%.

4) Geometrical factors of perilla stems

The materials for the experiment are studied. According to the straightness of perilla leafstalks, 76% out of all perilla leaves show straight appearance, 13 show bent appearance, and 11 show drooping appearance. Regarding the classification of the angle between perilla leafstalks and stems, all perilla leaves are distributed in $40^{\circ} \sim 90^{\circ}$. Most of them are distributed in $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$. For 80° or above, most leaves are impaired because of growth deficiency or because of damages of harmful insects. The materials for the experiment are almost evenly distributed in $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ according to the classification of angle between perilla leafstalks and gripper arms.

B. Developing Prototype Harvester of Perilla Leaves

1) Leaf picking system

After the characteristics of the crop are considered, designing conditions are decided. Hardware system is composed. Based on gripper mechanism and controlling algorithm, controlling software is developed. Performance test of the harvester shows 74.3% success rate depending on the straightness of perilla leafstalks and 75% overall success rate depending on the angle between leafstalks and stems. The overall success rate of angle between leafstalks and gripper arm shows 79.5%. There is no meaningful difference of performance depending on cultivating periods of the experiment.

2) Frame and traveling mechanism

The width and height of work space are 1500 mm and 1200 mm respectively. This frame is reinforced with bars which are 190 mm on both sides and 400 mm high to prevent the frame from being bent. Considering intensity and expense, we used square-shaped bars which are 25×25×1.6t for structural use. For power generation, there are motors on both sides using caterpillar system. Suitable speed is shown 50~60Hz.

3) Conveying system

Being compatible with harvester system, belt conveyor is chosen to protect crops. Cleat type belt is applied for requirements of the harvester. The optimal motor speed of conveying system is 16m/min, and the optimal deflection degree is 40~50°.

4) Harvest controlling system

Controlling system is located on the top part of the harvester to control the harvester, and software is developed using program.

C. Designing and Making the First Prototype Harvester

1) After principles and requirements for designing harvesting mechanism are considered, frame and travelling mechanism, conveying mechanism, and controlling mechanism are made.

2) Using 30 roots of perilla, performance was tested three times on the road in front of the lab. As a result of performance test, average working rate was 15.99 m²/h, rate of harvesting loss was 53.33%, and damaged rate was 11%. Rate of harvesting loss was relatively high.

3) 30 roots were tested twice on the paved road. As a result of performance test, average working efficiency was 16.73 m²/h, rate of harvesting loss was 56.67%, and damaged rates of harvested leaves and stems of plant were 11.67%.

4) As a result of performance test, problems of the first prototype harvester were detected. The harvester is redesigned with some modifications made.

D. Designing and Making the Second Prototype Harvester

1) The requirements for designing the second harvester are the same with those of the first one. The second harvester is made with some modifications made after the performance of the first harvester is tested.

2) 300 roots were tested twice in green house at a farm of perilla leaves. As a result of performance test, average working efficiency was 14.36 m²/h, rate of harvesting loss was 28.5%, and damaged rates of harvested leaves and stems of plant were 18%.

2. Suggestions of Application

A. Discussions for Application of the Study Results

Main mechanism and operating principles developed in this study can be applied to leaf vegetables similar to perilla leaves and other crops. Patent and utility model can be applied for. Research and development with companies showing interests in the perilla harvester are proposed. Continuous study is strongly recommended until the harvester is practically used in the field.

CONTENTS

Chapter 1. Summary of research and development	23
Section 1. Necessity of research and development	23
Section 2. Objectives of research and development	26
Section 3. Contents of research and development	27
Chapter 2. Current status of technical development in nation and foreign countries	30
Chapter 3. Contents and results of research and development achievement	31
Section 1. Cultivating and biological factors of perilla leaves	31
1. Cultivating factors of perilla leaves	31
2. Biological factors of perilla leaves	32
Section 2. Mechanical and geometrical factors of perilla leaves	33
1. Mechanical factors of perilla leafstalks	33
2. Geometrical factors of perilla stems	40
Section 3. Leaf picking system of perilla leaves	42
1. Basal study of leaf picking system	42
2. Design and construction of leaf picking system	44
3. Performance test of leaf picking system	55

Section 4. Frame and traveling mechanism of harvester	61
1. Design and construction	61
2. Performance test of traveling mechanism	64
Section 5. Conveying system of perilla leaves	65
2. Design and construction conveying system	65
3. Performance test of conveying system	67
Section 6. Harvest controlling system	68
1. Composition of controlling system and Development of software	68
Section 7. Designing and making the first prototype harvester	70
1. Design and construction of prototype harvester	70
2. Performance test of prototype harvester	73
3. Required improvement	77
Section 8. Designing and making the second prototype harvester	79
1. Design and construction of prototype harvester	79
2. Performance test of prototype harvester	84
3. Required improvement	86
Section 9. Abstract	88
1. Factors of perilla leaves	88
2. First prototype harvester	89
3. Second prototype harvester	91
 Chapter 4. Achievement of objectives and contribution to associated area	 93

Section 1. Achievement of objectives of research and development	93
Section 2. Contribution to associated area	94
Chapter 5. Plan of application of research and development results	95
Chapter 6. Collected foreign science and technology information during research and development	96
Chapter 7. References	97
Appendices	102

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	23
제1절	연구개발의 필요성	23
제2절	연구개발의 목적	26
제3절	연구개발의 범위	27
제 2 장	국내외 기술개발 현황	30
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	31
제1절	잎 채취 들깨의 재배학적 및 생태학적 특성	31
1.	들깨의 재배학적 특성	31
2.	들깨의 생태학적 특성	32
제2절	들깨잎자루와 들깨줄기의 역학적 및 기하학적 특성	33
1.	들깨잎자루의 역학적 특성	33
2.	들깨줄기의 기하학적 특성	40
제3절	들깨잎 수확장치	42
1.	수확장치의 기초연구	42
2.	수확장치의 설계 및 제작	44
3.	수확장치의 성능 시험	55
제4절	수확시스템의 프레임 및 구동장치	61
1.	프레임 및 구동장치의 설계 및 제작	61

2. 구동장치의 성능시험	64
제5절 들깨잎 이송장치	65
2. 이송장치의 설계 및 제작	65
3. 이송장치의 성능 시험	67
제6절 수확시스템의 제어장치	68
1. 제어장치의 구성 및 소프트웨어 개발	68
제7절 1차 시작기 설계 및 제작	70
1. 시작기 설계 및 제작	70
2. 시작기 성능 시험	73
3. 개선점	77
제8절 2차 시작기 설계 및 제작	79
1. 시작기 설계 및 제작	79
2. 시작기 성능 시험	84
3. 개선점	86
제9절 적요	88
1. 들깨의 특성	88
2. 제 1차 시작기	89
3. 제 2차 시작기	91
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	93
제1절 연구개발목표의 달성도	93
제2절 관련분야의 기술발전예의 기여도	94

제 5 장	연구개발결과의 활용계획	95
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	96
제 7 장	참고문헌	97
부	록	102

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 개발 기술의 개요

들깨는 한국, 일본, 중국 등에서 식용계란, 돼지고기, 양식어류 등의 생산을 위한 기능성 사료와 한방에서는 만성위염, 기침, 위산과다 등의 약용으로도 쓰이고 있다. 또한 들깨잎은 특유의 향취로 인해 육류나 생선회 등의 비린내를 제거하기 위하여 음식점에서 상추와 함께 대량소비가 되고 있다.

이렇듯 다양한 쓰임새를 갖고 있는 들깨는 안전농산물에 대한 소비자의 관심증가로 수요량이 점점 증가하고 있으며, 들깨잎 또한 식생활의 변화로 인한 육류와 더불어 수요량이 급격히 증가하여 기계화에 의한 대량생산은 충분히 경쟁력을 갖춘 농업으로 발전할 수 있다.

들깨잎의 수확은 파종 후 40~50일 뒤부터 수확하게 되며 봄, 가을에는 10일, 여름에는 5~7일 간격으로 수확한다. 들깨잎의 수확기간은 만생종은 150일, 조생종은 110일 정도이다. 1회 수확 시 보통 주당 1~2장(1마디)의 잎을 수확한다. 이 수확 작업 및 포장 작업은 모두 수작업으로 이루어지며, 현재 기계화 작업은 없는 실정이다.

현재 들깨잎 파종작업은 점과종기의 개발로 기계화가 가능하게 되었으나 수확작업에 있어서는 모두 인력에 의존하고 있다. 현재 들깨잎의 재배농가에서 조수입의 약 37%가 수확에 관련된 인건비로 지출되고 있다.

농촌진흥청(2002)에 따르면 2001년 시설 들깨잎의 경우 10a, 1기작의 경우 연간 조수입이 약 1,290만원 중 경영비용이 약 480만원이고 수확작업에 관련된 고용인건비가 약 213만원(563시간)정도로 생산비용의 약 44%정도를 차지하고 있다. 또 고용인건비 외에 자가 인건비가 약 432만원(918시간)정도로 조수입의 약34%가 잎의 수확과 포장작업에서 지출되고 있다. 따라서 실제 농가의 순수 수입은 조수입의 약 30%정도 밖에 되지 않는다. 들깨잎은 현재 국내수요 및 수출량이 점점 증가하고 있는 실정으로 일본의 자소의 대체식물이 된다면 수출은 더욱 증가할 것이다. 생산비의 절감으로 단가를 하락시킨다면 잎채소 및 새로운 식품으로서 수요가 크게 증가할 것으로 전망된다. 따라서

수확기를 개발하여 이를 활용하면 수확시 인건비를 80%이상 줄일 수 있고 들깨잎 농가의 소득율이 30%이상 향상될 것으로 전망된다.

또한 수출의 경우 92년에는 40,949kg에서 96년에는 65,558kg으로 점점 늘어가고 있는 추세이다(농수축산신문, 1999). 여기서 생산비의 절감에 의한 단가를 하락시킨다면 이는 우리나라 농산물 수출 경쟁력을 향상시킬 수 있는 좋은 기회가 될 것이다.

들깨잎은 이와 같이 매우 고부가가치 농업으로서 농가경제에 큰 이득을 줄 수 있지만 인력부족, 인건비의 문제 등에 의해 전국적으로 널리 재배되고 있지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 노동력의 문제만 해결된다면 전국 어디서나 들깨잎을 생산할 수 있고 소규모의 시설 또는 노지의 들깨잎 농사가 가능하여지며, 또한 농가경제에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

그러나 현재 국내는 물론 해외에서도 들깨잎과 유사한 채소의 잎을 기계로 수확하는 방법에 대한 개발 및 연구가 아주 미비한 상황이다. 따라서 본 연구는 들깨잎과 같은 잎채소를 수확할 수 있는 새로운 방법을 개발하고자 수행하였다.

2. 기술개발의 효과

가. 기술적 측면의 기대효과

- 1) 새로운 채소 수확기의 자동화 기술 개발에 기초를 마련할 수 있다.
- 2) 노동력 부족으로 인해 제한된 농장규모를 기계화에 의해 대폭 증가시킬 수 있다.
- 3) 다른 시설재배작물의 수확기에도 응용될 수 있으므로 큰 파급효과가 있다.

나. 경제·산업적 측면의 기대효과

- 1) 들깨잎의 생산비중 약 70%를 차지하는 채취 및 포장작업에 사용되는 인건비를 기계가 대신할 경우 현 인건비의 80%이상 줄일 수 있기 때문에 농가소득증대에 큰 효과를 줄 수 있다.

- 2) 생산단가의 하락으로 현재 통조림 등으로 가공되고 있는 들깨잎 중 중국산이 차지하는 비중을 줄일 수 있으며, 해외 경쟁력을 향상시켜 농산물시장 개방에 대처할 수 있다.
- 3) 현재 들깨가 재배되는 농지에서 모두 수작업을 행하고 있다. 따라서 수확기가 개발되면 노동력 대체 수요가 매우 클 것이다.
- 4) 노동력의 해결로 인해 4계절 모두 들깨잎을 균형적으로 생산할 수 있어 가격을 안정시킬 수 있고 이에 따라 수요량도 늘어날 것이다.

제 2 절 연구개발의 목적

수확기 개발에 관한 기초 연구로 들깨의 재배학적 및 생태학적 특성을 파악한다. 또한 들깨잎자루의 역학적 특성과 들깨줄기의 기하학적 특성을 파악하여 수확기능, 이송기능, 구동기능, 제어기능을 갖춘 수확기계를 개발함으로써 수작업으로 이루어지는 수확작업으로부터 해방되고, 인건비의 절감에서 오는 농가의 소득증대와 농산물 시장에서의 경쟁력 강화를 달성하고자 하며, 이를 위한 최종연구목표는 다음과 같다.

1. 최종목표

식용 들깨잎 수확 자동화 시스템 개발

제 3 절 연구개발의 범위

1. 연구개발의 목표와 내용

구 분	연 구 개 발 목 표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2001년)	<ul style="list-style-type: none"> - 들깨잎 채취작업 제어용 센서 설계 - 채취용 그리퍼 설계 - 이송시스템 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 실험용 들깨 포트 재배 - 줄기상의 들깨잎 부착위치 및 개수 결정 센서의 H/W와 S/W 개발 - 채취용 그리퍼의 작동 미캐니즘 설계 - 채취된 잎을 저장소로 이동할수 있는 이송시스템 설계
2차년도 (2002년)	<ul style="list-style-type: none"> - 채취작업용 시작기 제작 - 수확장치 구동시스템 개발 - 시작기 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 들깨잎 채취작업 제어용 센서 개발 - 채취용 그리퍼 설계 - 채취된 잎의 이동 및 수집장치 설계 - 구동 미캐니즘 개발 - 수확 기계장치 시스템 조합 및 성능분석 - 시작기 제작 및 성능시험
3차년도 (2003년)	<ul style="list-style-type: none"> - 채취 기계장치 시스템 성능 분석 - 들깨잎 수확 시스템 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 들깨잎 농장에서 채취작업 실시 및 시작기의 작업 성능 분석 - 시스템의 미비점/문제점 보완설계

2. 개발내용 및 개발범위

가. 1차년도 연구개발 내용 및 범위

- ▷ 실험용 들깨 포트 재배
 - 포트에 들깨를 재배하면서 문헌연구를 통한 들깨의 특성을 확인하고 기초실험과 채취용 그리퍼의 성능 시험에 재배된 들깨를 사용한다.
- ▷ 줄기상의 들깨잎 부착위치 및 개수 결정 센서의 H/W와 S/W 개발
 - 제어장치(H/W)와 제어프로그램(S/W)을 통해 센서를 이용한 들깨잎의 위치와 개수를 파악할 수 있도록 한다.
- ▷ 채취용 그리퍼의 작동 미캐니즘 설계
 - 그리퍼를 이용하여 들깨잎 채취를 위한 최적의 작동 미캐니즘을 설계한다.
- ▷ 채취된 잎을 저장소로 이동할 수 있는 이송시스템 설계
 - 채취된 들깨잎을 저장소로 신속하고 안전하게 이송시킬 수 있는 이송시스템을 설계한다.

나. 2차년도 연구개발 내용 및 범위

- ▷ 들깨잎 채취 작업 제어용 센서 개발
 - 들깨잎 채취 그리퍼를 제어하기 위한 센서를 개발한다.
- ▷ 채취용 그리퍼 설계
 - 개발된 채취용 그리퍼의 작동 미캐니즘의 예비실험결과를 활용한다.
 - 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 채취장치의 실용성을 측정한 후 채취작업 제어용 S/W를 개발한다.
 - 개발된 채취용 그리퍼의 예비실험결과를 바탕으로 문제점의 보완 및 수정하여 채취작업용 시작기를 제작한다.
- ▷ 채취된 잎의 이동 및 수집장치 설계
 - 채취된 잎이 안전하게 이송될 수 있는 이송장치를 제작하고 들깨잎의 수집을 위한 장치를 설계, 제작한다.
 - 이송 도중에 수확물의 손상을 줄이기 위하여 연성의 재질을 이용하여 이송장치를 개발한다.
 - 임시저장공간 내에서의 신선도 유지를 위하여 들깨잎의 물성을 연구하고 이를

바탕으로 신선도를 유지할 수 있는 장치를 설계한다.

▷ 구동 메카니즘 개발

- 시작기의 주행이 가능하도록 구동 메카니즘 및 알고리즘을 개발한다.
- 구동 시스템을 설계, 제작한다.

▷ 수확 기계장치 시스템 조합 및 성능 분석

- 개발되어진 수확 기계장치의 시스템을 조합하고 성능분석을 실시한다.

▷ 시작기 제작 및 성능시험

- 들깨의 생장을 연구하여, 생장에 따라 계속 채취작업을 수행할 수 있는 외형을 설계한다.
- 작물에 영향을 주지 않는 주행장치의 메카니즘을 설계하고 기구학적 분석을 통해 안전성 및 성능을 분석한다.
- 개발된 장치를 조합하여 시작기를 제작하며, 충남대학교 부속농장에서의 예비시험을 통해 안전성, 실용성, 작업성 등을 종합 평가한다.
- 시작기의 예비시험의 데이터를 분석하여 문제점 및 미비점을 수정, 보완작업을 통해 최적의 시스템을 개발한다.
- 문제점 및 미비점을 수정, 보완하여 pilot급 시작기를 설계하여 3차년도의 실증 실험을 준비한다.

다. 3차년도 연구개발 내용 및 범위

▷ 들깨밭 농장에서 채취작업 실시 및 시작기의 작업 성능 분석

- 제작되어진 시작기를 가지고 들깨밭 농장에서 채취작업을 실시하고 시작기의 작업 성능을 분석하여 문제점과 개선점을 찾는다.

▷ 시스템의 미비점/문제점 보완설계

- 앞서 밝혀진 문제점을 보완 설계하여 들깨밭 수확 시스템을 제작한다.

제 2 장 국내 외 기술개발 현황

들깨잎은 최근 식생활의 변화와 개선으로 인해 그 수요가 크게 증가하고 있으나, 들깨잎에 관한 연구 특히 들깨잎의 수확에 관한 연구는 없는 실정이다. 최근 과일 및 야채 등 몇가지 품목을 기계적 혹은 자동으로 수확하기 위한 수확작업의 기계화에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있어 밭작물 및 임산작물에 대한 기계화 수확작업이 부분적으로 실현 될 수 있을 것으로 전망된다.

구미 여러 나라에서는 1960년대부터 노동 생산성 향상을 위한 곡물, 과일 및 야채 등의 기계적 수확을 위한 연구 활동이 매우 활발하게 진행되어 왔으며(Markwardt et al., 1964; Monroe and Levin, 1966; Nyborg and Coulthard, 1969; Soule, 1969; Rehkugler et al., 1969; Ruff and Holmes, 1976; Parsons and Rehkugler, 1966; Coppock et al., 1969; Barnes, 1969; Nyborg and Courtyard, 1969; Tennes et al, 1969; Stafford and Diener, 1973; Pellerin et al., 1979; Studer, 1981; Ruff et al., 1980) 이러한 노력의 결과로 많은 종류의 기계들이 실용화되어 농가에 보급되어 왔다. 또한 작업 기계 혹은 자동수확기 개발에 필수적인 곡물, 야채, 과일 등에 대한 물리적 혹은 역학적 특성에 관한 연구가 선행되어 이를 토대로 밀, 옥수수 등의 곡물과 사과, 체리, 포도, 베리 등의 과일과 토마토, 양배추 등의 채소류에 대한 수확작업의 기계화가 이루어져 있으며 최근에는 로봇을 이용한 과일이나 채소류의 수확장치 연구가 진행 되어졌다(Edan and Miles, 1996).

국내에서도 최근에 와서 배추, 감자, 사과 등을 기계적 방법 혹은 자동으로 수확하기 위한 수확작업의 기계화에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있어 밭작물의 기계화 작업이 부분적으로 실현 될 수 있을 것으로 전망된다(윤진하, 1996). 한편, 들깨잎 수확 자동화 시스템 개발을 위한 연구는 국내·외적으로 전무한 실정이며 기계적 수확기 개발을 위한 들깨줄기와 들깨잎자루에 대한 기하학적 혹은 역학적 특성에 관한 연구도 아직까지 수행되지 않았다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 잎 채취 들깨의 재배학적 및 생태학적 특성

1. 들깨의 재배학적 특성

들깨(*Perilla frutescens* var. *japonica*)는 꿀풀과(Labiatae)에 속하는 1년생 초로써 키는 60~90cm 정도이며, 줄기는 네모지고 곧게 서며 긴 털이 있다. 잎은 마주나고 달걀모양원형으로 뾰족하며 밑부분은 둥글다. 잎은 길이 7~12cm, 나비 5~8cm로 톱니가 있고 앞면은 녹색이지만 뒷면에는 자줏빛이 돈다.

들깨는 동부아시아 지역이 원산지이며 우리나라를 비롯하여 인도, 일본, 중국 등지에서 예로부터 재배 되어온 기름작물로서 용도가 다양하여 종실은 강정, 차, 건강식, 제과용 등으로 기름은 조미, 튀김, 샐러드용으로 많이 이용되고, 공업적으로는 기름종이, 페인트, 인쇄용 잉크, 칠감, 가루비누, 방수용구 등에 활용된다. 또한 기름을 짜고 난 깻묵은 단백질이 풍부하여 가축사료와 유기질 비료로 이용가치가 높다.

잎은 신선 잎채소, 염장엽, 통조림, 절임용으로 쓰여 들깨의 이용가치는 매우 높다.

들깨잎에는 비타민의 함량이 많으며, 페릴라 알데히드, 리모넨, 페릴라케톤 등의 방향성 정유성분이 들어있어 육류의 느끼한 맛이나 비린내를 없애주고 그 독특한 향은 입맛을 돋우어 신선 잎채소로도 많이 이용되고 있다.

들깨는 전형적인 단일성작물로 자연일장이 12시간 43분되는 9월초에 개화가 유도되며 개화한계 일장은 14시간이내로서 일장이 15시간 이상일 경우 꽃눈 분화가 억제되어 영양 생장만 계속된다.

품종군 분류는 줄기 착생정도에 따라 적경종과 청경종으로 대별하며 개화기를 기준으로 하여 8월 20일전을 조생종, 8월 21일 ~ 9월 10일을 중생종, 9월 11일 이후를 만생종으로 구분하고 초형은 다간다분지형, 중간형, 장간다분지형으로 분류하고 있다. 국내에서 재배되고 있는 재래종의 분포를 보면 조생종 4%, 중생종 64%, 만생종 32%이며 종피색에 따라서 암갈색종 12%, 갈색종 72%, 회색종 16%를 차지하고 있다. 들깨는 다른 기름작물에 비하여 품종개량 연구기간이 짧아 육성품종이 적은 편이다. 품종육성 방향은 1989년 이전에는 종실용 위주에 국한되었으나 들깨의 수요증가와 함께 용도별 품종

개발의 중요성이 대두되어 '90년대 들어서는 순계분리 육종과 함께 교잡육종, 돌연변이 육종법에 의한 다용도성 품종개발에 주력하여 현재 8가지 품종이 육성되어 농가에 보급되고 있다(박충범, 2000).

현재 들깨의 재배 조건은 전체적으로 비슷한 상황이다. 두둑 및 고랑의 형상을 살펴보면 두둑의 폭이 1500mm, 높이가 100~200mm이며 고랑의 간격 300~400mm, 깊이 100~150mm이고 형상은 마름모꼴에 가깝다. 들깨의 주간격은 100~150mm이며 두둑의 한 폭에 10~15주의 들깨가 재배되어진다. 최근에는 하우스(시설)재배로 4계절 수확이 이루어지고 있다.

2. 들깨의 생태학적 특성

수확시기를 전후하여 들깨잎을 중심으로 기계 수확시에 고려할 생태학적 특성을 열거하면 다음과 같았다.

가. 들깨잎의 크기는 길이 7~12cm, 나비 5~8cm에서 수확을 실시한다.

나. 1회 수확시 보통 주당 1~2장(1마디)의 잎을 수확한다.

다. 수확시에 걸가지를 제거해준다.

라. 들깨잎의 수확은 반축성 재배시 40~50일 뒤부터 수확하게 되며 봄가을에는 10일, 여름에는 5~7일 간격으로 수확한다. 들깨잎의 수확기간은 만생종은 150일, 조생종은 110일 정도이다.

마. 수확과정에서 들깨잎이나 줄기에 가벼운 상처나 손상은 상품가치와 직결되므로 조심한다.

제 2 절 들깨잎 자루와 들깨줄기의 역학적 및 기하학적 특성

1. 들깨잎자루의 역학적 특성

본 연구에 사용된 공시재료는 ‘잎들깨 1호’로 현재 잎들깨 생산 농가에서 가장 많이 재배되고 있는 품종이며, 잎 채취 전용 작물이다.

가. 들깨잎자루의 전단력 측정

들깨잎자루의 전단력 측정실험에서 쓰인 재료는 충남 금산군 추부면에서 생산된 ‘잎들깨 1호’ 품종의 작물을 대상으로 하였다.

본 연구에서는 전단에 소요되는 동력을 결정하기 위하여 전단력 측정 실험을 위하여 2000년 ASAE Standard의 S459 Shear and Bending Test 규정을 참고하였다. 본 규정에서는 동물의 뼈 등 농산가공물을 대상으로 전단력과 휨응력을 측정하는 방법에 대하여 서술되고 있으며, 여기서 사용되는 방법은 띠모양과凸모양의 지그를 사용하여 대상물을 압축해가며 측정하는 방법이다. 본 지그의 특성상 양측에서 전단이 일어나기 때문에 전단력의 두배가 측정된다. 또한 본 실험시 압축속도는 5mm/min으로 규정하고 있다.

김 등(1999)은 콤바인 벼수확시 벼줄기에 작용하는 굽힘특성을 구명하기 위해, 벼줄기의 굽힘강성(EI) 및 굽힘에 관해서 고찰한바, 다음과 같은 결과를 얻었다. 피아노선을 이용해서, 하중, 높이, 굽힘양, 굽힘강성(EI)의 관계를 재료의 크기와 큰 굽힘식의 계산치, 작은 굽힘식의 계산치와 비교하여, 새로 도입한 큰 굽힘식의 타당성을 검증·확인했다. 벼줄기의 굽힘 실험을 실시하고, 실측치와 계산치를 비교한 결과, 투입식 콤바인 수확작업시 릴 작용에 의한 벼줄기의 굽힘특성 추정에 새로 도입한 큰 굽힘식이 적용 가능하다는 것이 검증되었다. 벼줄기에 하중이 작용하는 높이방향의 굽힘강성(EI)을 희귀식에 의해 검토한 결과, 굽힘강성(EI)은 벼줄기의 뿌리부분에서 선단을 향해서 저하하는 1차관수로 표현 가능한 것이 검증되어, 이 식이 벼줄기 임의점의 굽힘강성(EI)을 추정하는데 유효하다는 것이 확인되었다.

그리퍼 설계시 소요되는 동력을 결정하기 위하여 들깨잎자루의 전단력 측정 실험을 수행하였다. 본 실험은 2000년 ASAE Standard의 S459를 참고하여 UTM용 지그를 설계 및 제작하였다. 본 실험에서는 들깨잎 끝단에서 5mm와 15mm 되는 두 지점의 전단력을 측정하여 그리퍼 내에서 컷터의 소요전단력을 설계하고, 들깨잎의 함수율을 측정하여 연구의 기초자료로 사용하였다.

본 시스템은 그림 1과 같이 볼스크류와 서보모터를 구동장치로 하여 하단 로드셀에서 응력을 계측하는 장치이다. 본 시스템에 대한 사항은 표 1과 같으며 설계, 제작한 지그의 도면은 그림 2와 같다.



Fig. 1 The picture of shear-force measurement jig installed to UTM.

Table 1 Specifications of UTM

Item	Model	Contents	
U.T.M.	PPAPL-2002	Rated output	0.4 kW
		Torque	Rated : 1.3 N·m Max. : 3.8 N·m
		Revolution	Rated : 3,000 rpm Max. : 5,000rpm
		Stroke	200 mm

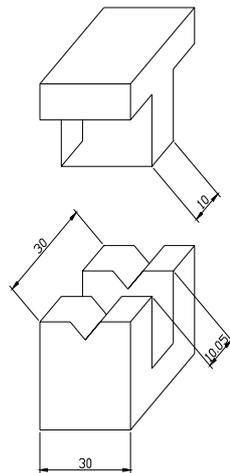


Fig. 2 Drawing of UTM jig for shear force test.

본 실험장치는 농산물의 여러 응력을 측정하기 위하여 충남대학교에서 제작한 시스템으로 본체에는 Pentium-III 500MHz의 CPU가 내장되어 있으며, 운영체제는 MS사의 Windows 98을 사용하였고, 구동 프로그램으로는 Visual Basic을 사용하고 있다.

식용 들깨잎에 대한 전단력 측정 실험은 ASAE Standard를 참고하여 제작한 지그(jig)와 UTM을 사용하여 측정하였다. 본 실험결과 잎자루의 두께가 두꺼울수록 전단력이 증가하는 추세를 보였다. 실험은 현재 유통되고 있는 들깨잎의 사이즈인 9cm ~

15cm 사이의 ‘잎들깨 1호’ 품종을 대상으로 무작위 5반복 실험을 실시하였다. 실험결과 잎자루의 직경은 2.05mm ~ 3.65mm이내에 모두 분포하였으며, 평균 직경은 2.78mm 이었다. 또한 들깨잎줄기의 전단력은 7.13N ~ 17.42N이내에서 나타났으며, 평균 전단력은 12.13N으로 나타났다.

본 실험결과는 다음 표 2와 그림 3, 4, 5, 6, 7과 같으며, 그림 8은 본 실험에 쓰인 실험장치의 사진이다.

Table 2 Results of shear force test on the petiole of the green perilla

Times	Item	Ave. of diameter (mm)	Min. of shear force (N)	Max. of shear force (N)	Ave. of shear force (N)
1		2.88	7.81	15.06	10.74
2		2.82	8.35	14.98	12.34
3		2.73	7.13	16.81	12.36
4		2.57	8.96	15.67	12.24
5		2.88	9.10	17.42	13.02

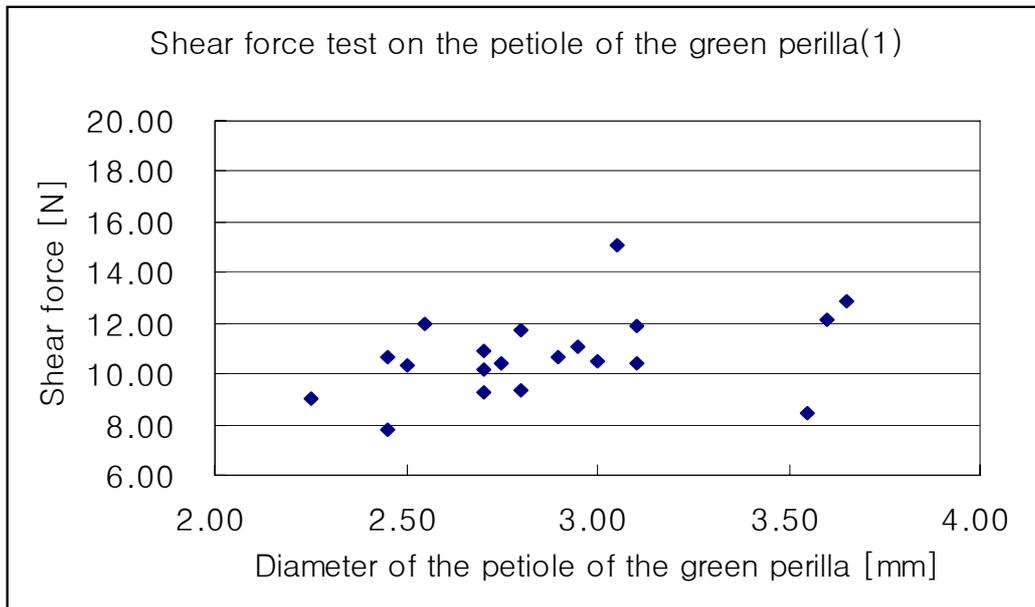


Fig. 3 Test results of shear force on the petiole of the green perilla(1).

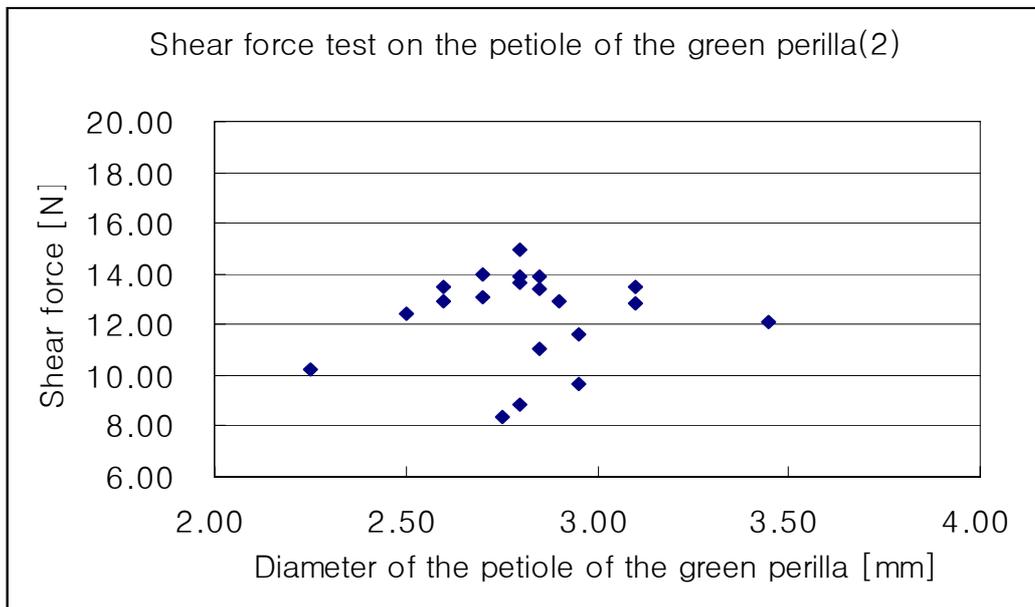


Fig. 4 Test results of shear force on the petiole of the green perilla(2).

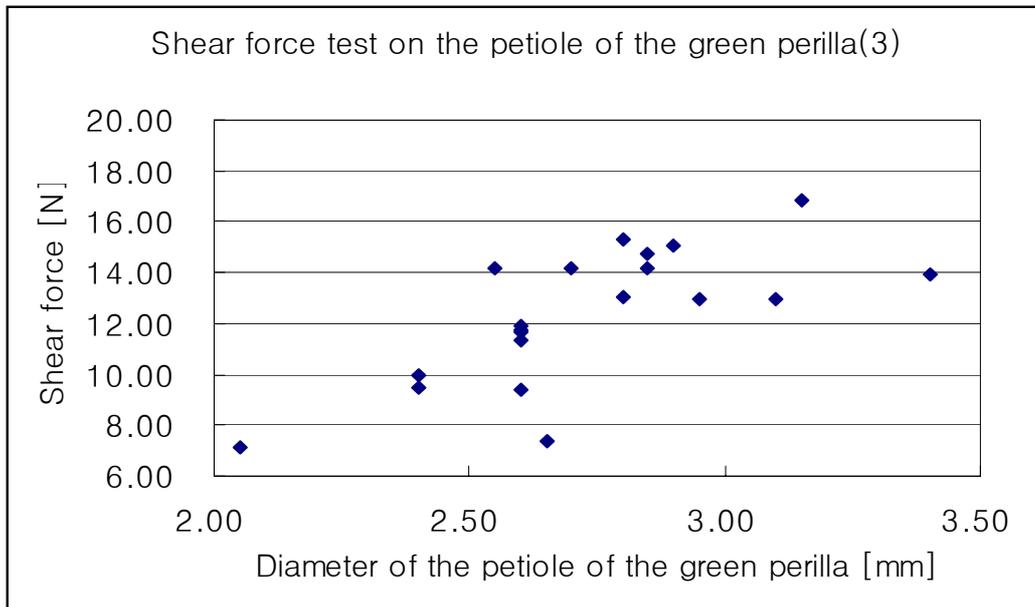


Fig. 5 Test results of shear force on the petiole of the green perilla(3).

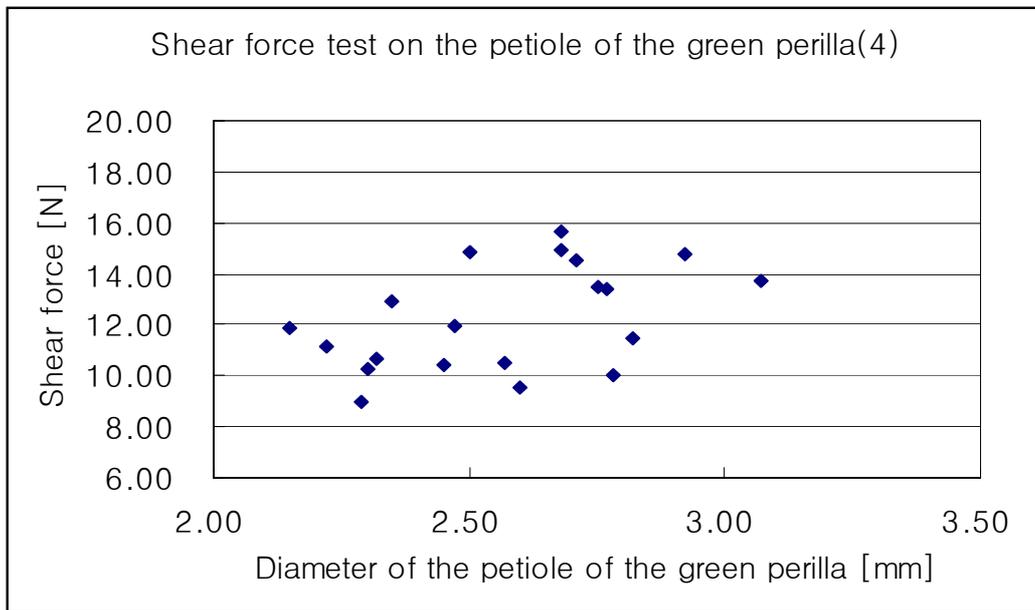


Fig. 6 Test results of shear force on the petiole of the green perilla(4).

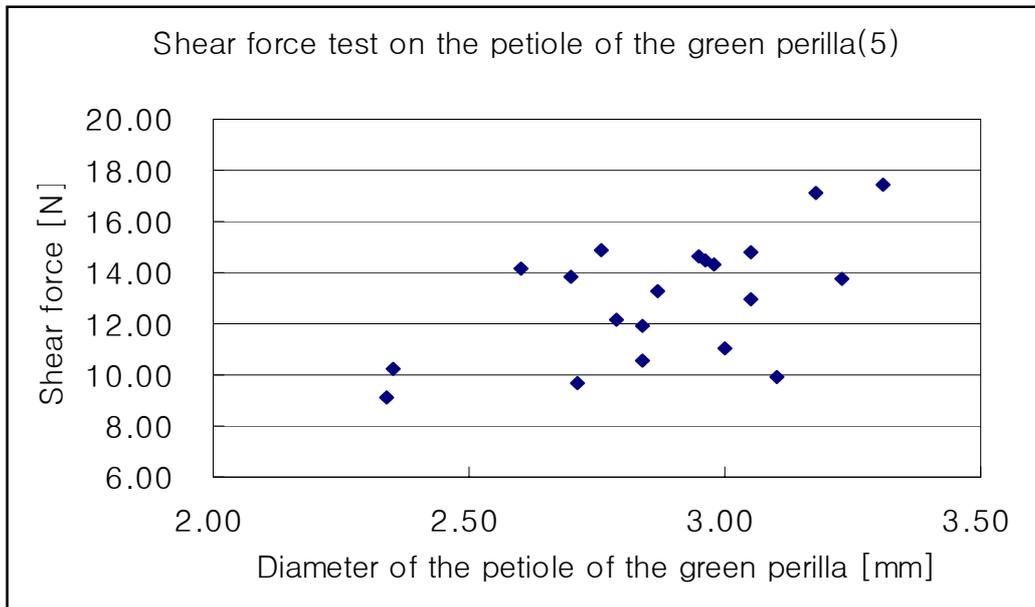


Fig. 7 Test results of shear force on the petiole of the green perilla(5).

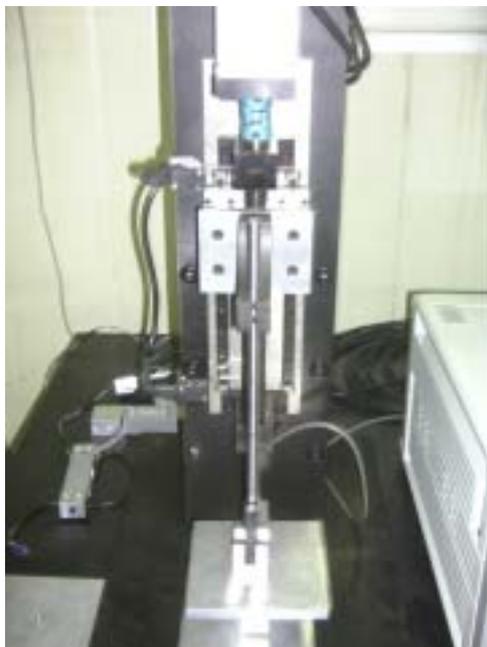


Fig. 8 Device of shear force measurement system.

본 실험결과 그리퍼의 컷터부의 동력은 최대 20[N]까지 필요한 것으로 나타났다.

함수율 측정은 10장의 들깨잎을 무작위로 3반복 채취하여 sample로 선정하고 전자저울(오차 : $\pm 0.5\%$ 이내, 측정범위 : 2000~0.001g)과 드라이 오븐을 사용하여 계측하였다. 함수율 측정결과는 다음 표 3과 같다.

Table 3 Results of moisture content test on green perilla leaves

Item Times	Weight of leaves (g)	Dry weight (g)	Moisture weight (g)	Moisture content (%)
1	19.14	2.81	16.33	85.32
2	14.62	2.18	12.44	85.09
3	15.87	2.67	13.20	83.18

2. 들깨줄기의 기하학적 특성

들깨 줄기의 기하학적 특성은 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

첫째, 들깨잎자루의 끝은 정도에 따른 분류는 그림 9에서 보는 바와 같이 들깨잎자루의 길이 a 와 들깨잎자루가 흰 높이 b 를 측정하여 그 비율을 기준으로 분류하였다.

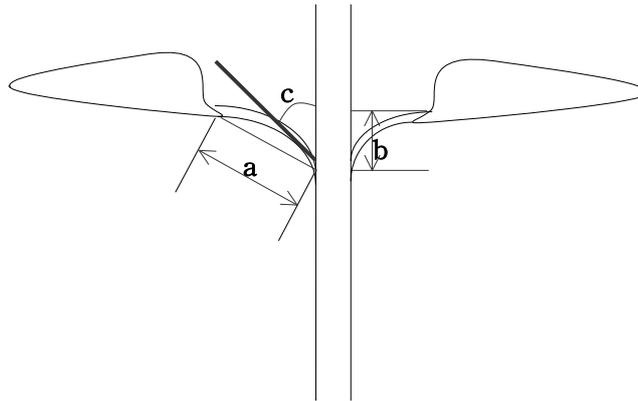


Fig. 9 Geometric factors to analyze the attachment shape of petioles.

$\frac{\text{높이}}{\text{길이}} = \frac{b}{a}$ 를 기준으로 0.2 이하인 것을 곧은 형상, 0.2 ~ 0.5인 것을 휨 형상, 0.5 이상인 것을 처진 형상으로 분류하였다. 공시재료를 대상으로 조사한 결과 전체 들깨잎 중에서 곧은 형상은 76%, 휨 형상은 13%, 처진 형상은 11%의 분포를 보였다.

둘째, 들깨잎자루와 들깨줄기가 이루는 각도에 따른 분류는 그림 9와 같이 잎자루와 줄기 사이의 각도 c 를 각도기로 측정하여 이를 반올림하여 10°간격으로 분류하였다. 들깨잎은 40°~ 90°사이에서 모두 분포하였으며, 60°~ 70°사이에서 가장 많이 분포하였으며, 80°이상의 경우는 잎들의 형상이 온전하지 못한 것들이 대부분으로 생육부진 또는 병충해로 인한 것으로 사료된다.

셋째, 들깨잎자루와 그리퍼 암과의 각도에 따른 분류는 현재 개발된 시스템이 회전식이어서 들깨잎자루의 방향 계측성공률과 컷팅성공율을 측정하기 위하여 분류하였다. 그림 10에서 보는바와 같이 각도 d 를 측정하여 -90°~ +90°까지로 10등분하여 18°씩 분류하였다.

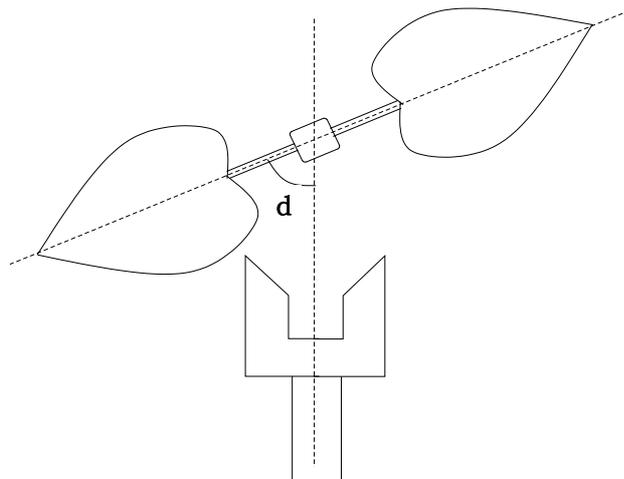


Fig. 10 Angle between petioles and the gripper arm.

-90°를 시작으로 하여 18°간격으로 배치되어 있는 광센서를 이용하여 센서의 감지값을 기준으로 계측하였다. 본 계측값은 프로그램의 메인화면에 표시 되도록 하였다. -90°와 +90°는 같은 값으로 처리하였다. 공시재료는 -90°~ +90°사이에서 거의 균등하게 분포되어 있었다.

제 3 절 들깨잎 수확장치

1. 수확장치의 기초연구

현재 그리퍼는 작물을 이식하거나 제거하는 방법으로 많이 쓰이고 있다. 이것의 구동을 위해서는 모터와 전기를 사용하는 것이 주를 이루고 공기압을 사용하는 경우도 있다.

본 시스템에서의 그리퍼는 들깨 줄기를 따라 이동하며 들깨잎자루를 감지하여 컷팅하고 이를 잡아주는 시스템이다. 그리퍼를 이송하기 위한 시스템들은 이미 많은 연구가 되고 개발되었다.

Hiroaki 등(1990)은 핀셋타입의 그리퍼 핑거에 스트레인 게이지를 부착하여 40gf 정도의 식물 파지력으로 배양묘를 핸들링 하였다. 이 그리퍼는 핑거부에 붙인 스트레인 게이지의 정보를 피드백하여 그리퍼를 개폐하는 방식을 이용하였다. 또한 그리퍼부를 되도록 작게 하기 위하여 구동부와 본체부를 나뉘었으며, 동력을 와이어 로프를 통해 구동하는 방법을 택하였다. 그리퍼 구동은 DC 서보모터를 사용하였다.

Simonton(1990)은 온실에서 식물을 컷팅하여 옮길 때 식물에 가해지는 손상을 줄이는 실험을 하였다. 식물에 가해지는 힘, 충격속도, 짧은 싸이클 타임 등으로 식물의 손상을 최소화 하였다. 그리퍼로 식물을 집을 때 피드백되는 정보를 통하여 식물을 최소한의 힘으로 집을 방법을 연구하였다.

류 등(1997)은 공정육묘의 자동화 이식기를 개발하는 것을 목적으로 하여 로봇이식기의 시작기를 제작하고, 여러 가지 핑거의 형상에 대해 작물 이식시험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 이식 방법을 위에서 모종을 뽑아내는 방식 대신 push-out rod를 이용하여 모종을 밀어내는 방식으로 로봇이식기를 제작하였다. 다수의 그리퍼를 이용하여 모종을 이식할 수 있도록 그리퍼를 제작하였으며, 트레이 이동장치는 공압시스템을 이용하여 제작하였다. 여러 가지 핑거에 대하여 이식 실험을 수행하였으며, 이식 실험결과 94.6%의 이식 성공률을 보였다. 작업 대상물에 상해를 입히지 않고, 이식 작업시 모종의 뿌리 보호를 위해 상토의 원형 유지와 이식모를 플러그 묘판으로부터 분리시켰다. 또한 구조가 비교적 간단하며 작업시 변형이 없어야 하고 매니플레이터가 이동하는 동안 집어든 모종을 떨어뜨리지 않도록 설계하였다. 다습한 환경에서 사용하므로 내부식성을 갖도록 하였다. 그리퍼의 이송을 위해서 스테핑모터와 공압을 사용하

였으며, 이를 제어하기 위해 컴퓨터를 사용하였다.

이 등(1998)은 인공씨감자 등의 조직배양체를 대상으로 한 이식용 소프트 그리퍼를 개발하였다. 조직이 매우 연약하므로 손상을 주지 않고 이식할 수 있는 그리퍼 설계가 중요한 요인으로 작용하고 있다. 대상 작물에 손상을 주지 않기 위하여 작물의 물성을 연구하였으며, 그리퍼에 스트레인 게이지를 부착하여 작물에 가하는 힘을 일정하게 유지하도록 하였다.

조 등(2000)은 시설원예용 상추를 수확하기 위한 로봇 시스템을 개발하였다. 그리퍼는 컷팅을 위하여 작물을 고정시키고 컷팅된 작물을 이송하는 역할을 하였다. 그리퍼는 광센서를 이용하여 작물의 높이정보를 받아들이고 기계시각을 이용하여 작물의 형상 및 잎면적을 추출하여 이를 기반으로 작동되도록 하였다. 또한 그리퍼에 의한 작물의 손상을 방지하기 위하여 공압을 이용하여 작물을 위로 띄운 상태에서 컷팅하였다.

Kondo 등(1996)은 방울토마토의 수확을 위한 시스템을 개발하였다. 방울토마토의 위치정보를 얻기 위하여 칼라 CCD 카메라를 사용하였으며, 좌우 양측에 한 대씩 카메라를 설치하여 영상을 감지한 후 RGB값을 이용하여 대상물을 파악하고, 삼각측량법을 이용하여 위치정보를 습득하였다. 영상처리값에 의하여 성공률은 30 ~ 80% 사이로 나타났다.

기계 시스템에서 위치를 인식하는 방법에는 여러 가지가 있으나 가장 대표적인 비접촉 방식이 기계시각, 즉 영상처리를 사용하는 방법이다. 또 다른 방법으로는 광센서와 초음파센서 등을 이용하고 있다. 접촉식 방법으로는 스트레인게이지나 기계적 스위치를 사용하는 방법 등이 있다.

조 등(2000)은 트랙터의 자율주행을 위한 기계시각 시스템을 개발하였다. 조향 제어를 위한 퍼지제어기는 기계시각에서의 영상처리 결과인 조향각과 지자기센서의 방향각(heading)의 평균을 취하여 트랙터의 방향각으로 결정하여 하나의 입력으로 받고 영상처리 결과 도출되는 오프셋을 또 다른 입력으로 받았다. 이것은 퍼지추론 이후 조향각을 결과로 가진다. 영상처리를 위해서는 한 대의 color CCD 카메라와 color frame grabber를 사용하였다. 또한 처리시간을 단축하기 위해 영상 압축을 하였다. 압축된 영상으로부터 히스토그램을 구성한 후 이치화를 위한 경계값을 반복적인 선택법으로 결정하였다. 결정된 경계값으로부터 이치화를 수행하고 sobel operator를 사용하여 경운영역과 비경운영역의 작업선 경계 검출을 하였다. 그리고 검출된 작업선 경계의 정보를 알아내기 위해 hough transform을 이용하여 방향각과 오프셋을 구하였다. 트랙터의

자율주행을 입증하기 위하여 포장에서의 실제 실험결과 영상처리를 이용하여 자율주행이 가능함을 증명하였다.

이 등(1999)은 포토센서를 이용한 박피 마늘 선별에 관한 연구에서 교류전원을 사용하는 조명장치에서의 포토센서를 이용하기 위한 방법을 찾았으며, 획득한 신호로부터 변환식을 적용하여 12가지의 인자를 추출하였고, 이중 유의 선별인자를 선정하기 위해 변수선택법을 수행하였다. 선정된 선별인자를 기초로 선별정도를 높이기 위해 선별인자의 조합을 사용하여 선별 가능성을 구명하였다.

조 등(2000)은 시설원예용 상추를 수확 시스템에서 광센서를 사용하여 상추의 기하학적 형상중 높이 정보를 추출하였다. 광센서 6개를 3cm 간격으로 설치하여 상추의 높이 정보를 추출하였다. 직접 반사형 광센서를 사용하였고 제어출력은 npn open collector 출력이었다. 추출된 상추의 높이 정보는 퍼지 제어기의 입력 변수로 사용되었다.

2. 수확장치의 설계 및 제작

가. 수확장치의 설계 조건

본 시스템은 잎채취 전용 들깨를 대상으로 하였으며, 작물의 특성을 고려하여 다음과 같은 설계 조건을 설정하였다.

잎채취 전용 들깨는 5일에서 10일 간격으로 지속적인 수확을 행한다. 따라서, 수확시 작물에 손상을 입히면, 작물의 생육에 지장을 초래하여 다음 수확시 수확량 감소 또는 품질의 저하를 불러올 수 있다. 그러므로 채취 시스템은 작물에 손상을 입히지 않고 정확한 수확을 할 수 있어야 한다.

현재 잎전용 들깨의 경우 가장 많이 경작되고 있는 재식간격이 100~150mm이다. 따라서 현재 재배되고 있는 들깨에 적용하기 위하여 그리퍼는 100~150mm이내에서 작동을 행할 수 있도록 시스템 크기를 최소화 할 필요가 있다.

잎들깨 수확의 경우 수확시마다 작물의 크기가 달라진다. 따라서 작물의 크기가 변하여도 수확을 행할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 이를 평가하기 위하여 재배기간이 45일인 들깨와 60일인 들깨로 두 가지의 공시재료를 정하였으며, 크기가 다른 두 공시 재료를 모두 수확할 수 있어야 한다.

수확할 들깨잎의 위치와 방향은 작물에 따라 모두 다르다. 따라서 수확할 들깨잎의 위치와 방향을 판별할 수 있어야 한다. 또한, 수확물은 집하를 위하여 그리퍼에 부착되어 있어야 한다.

나. 수확장치의 구성 하드웨어

식용 들깨잎 수확 시스템의 하드웨어는 그림 11과 같이 구성되었으며, 시스템은 크게 그리퍼 및 구동장치, 제어상자(Control Box), 제어용 PC로 세 부분으로 나눌 수 있다.

직접 들깨잎을 채취하는 그리퍼 부분은 그리퍼 내의 컷터(Cutter)를 장착하였으며, 컷터의 구동을 위하여 공압실린더를 사용하였다. 공압실린더는 공기압축기(Compressor)와 솔레노이드 밸브에 의하여 구동되도록 하였다. 솔레노이드 밸브는 제어상자에 장착되어 있으며, 공기압축기는 부피가 큰 관계로 장치의 외부에 따로 설치하였다. 공기압축기와 공압실린더의 사양은 각각 표 4, 5와 같다. 또한 들깨잎자루의 위치와 방향을 감지하기 위하여 광학섬유(Fiber optics)센서를 사용하였으며, 그리퍼의 상단부위에 광학섬유의 감지부를 부착하였다. 본 장치에 사용된 광학섬유센서의 사양은 표 6과 같다. 그림 12은 그리퍼 장치의 3차원 설계도면이다.

그리퍼의 제어를 위하여 Pentium-III 600MHz의 CPU를 장착한 데스크탑 컴퓨터와 A/D 보드인 ADLINK사의 PCI-9112를 사용하였다. A/D보드의 사양은 표 7과 같다.



Fig. 11 The picture of an experimental system of gripper device.

Table 4 Specifications of compressor

Item	Model	Contents	
Air compressor	UD20-30	Pressure	8 kg/cm ³ (max. 10 kg/cm ³)
		Power	2 HP
		Capacity	130 ℓ/min
		Tank capacity	30 ℓ

Table 5 Specifications of air pressure cylinder

Item	Model	Contents	
Air pressure cylinder	NDA6X15	Bore size	6mm
		Operation type	Double acting type
		Media	Air
		Operating pressure range	0.15 ~ 0.75 MPa
		Proof pressure	1.03 MPa
		Cushion	Rubber bumper

Table 6 Specifications of fiber optics sensor

Item	Model	Contents	
Fiber optics sensor	BF4R	Input voltage	DC 12 ~ 24V±10%
		Output	100mA, DC 30V(max.)
		Light source	Red LED
		Response time	0.5ms(max.)
		Inside diameter	0.5mm

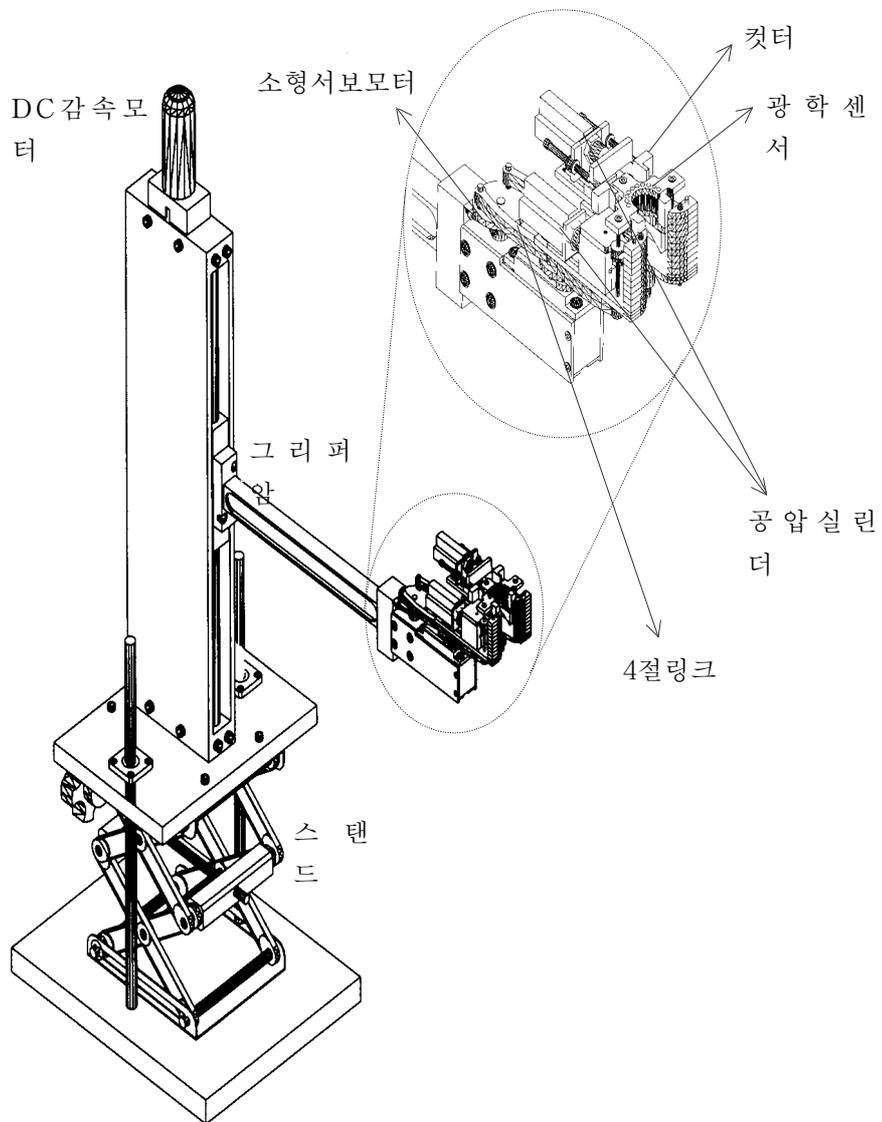


Fig. 12 Drawing of gripper device.

Table 7 Specifications of A/D board

Item	Model	Contents		
A/D board	PCI-9112	Analog input	Range	$\pm 0.625V \sim \pm 10V$
			Impedence	10M Ω
			Accuracy	0.01% of FSR ± 1 LSB
		Digital input	Channels	16 TTL
			Voltage	Low : Min. 0V; Max. 0.8V High : Min. +2.0V
			Load	Low : +0.5V at -0.2mA max. High : +2.7V at +20mA max.
		Digital output	Channels	16 TTL
			Voltage	Low : Min. 0V; Max. 0.4V High : Min. +2.4V
			Driving capacity	Low : max. +0.5V at 8.0mA(sink) High : min. +2.7V at 0.4mA(source)
		General	Operating temperature	0 $^{\circ}C \sim 60^{\circ}C$
			Humidity	5 \sim 95, non-condensing

또한 컴퓨터와 그리퍼 사이에서 통신과 제어를 위하여 제어상자(Control Box)를 제작하였다. 제어상자 내에는 공압실린더의 제어를 위한 솔레노이드 밸브, 광학섬유센서의 제어부와 터미널보드, 그리고 이들의 구동을 위한 전력공급 장치가 장착되었다. 그림 13과 그림 14는 각각 그리퍼와 제어상자의 모습이다.

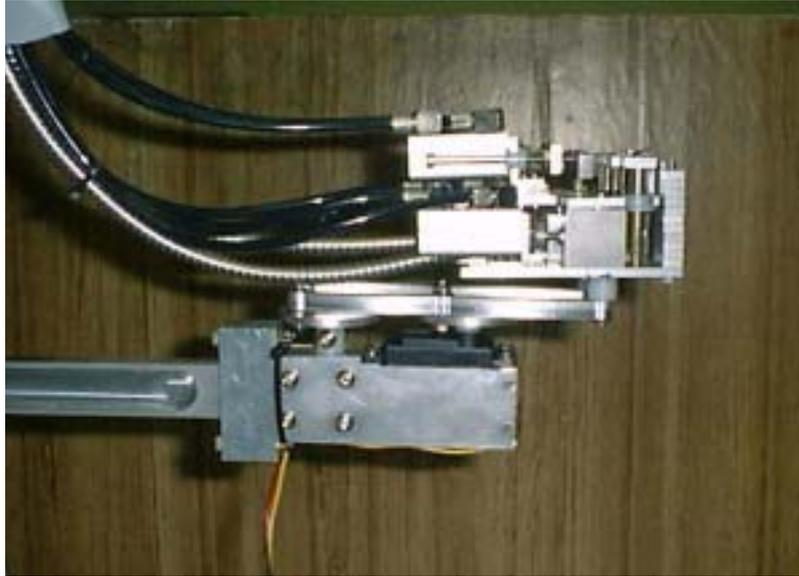


Fig. 13 The figure of gripper body developed.

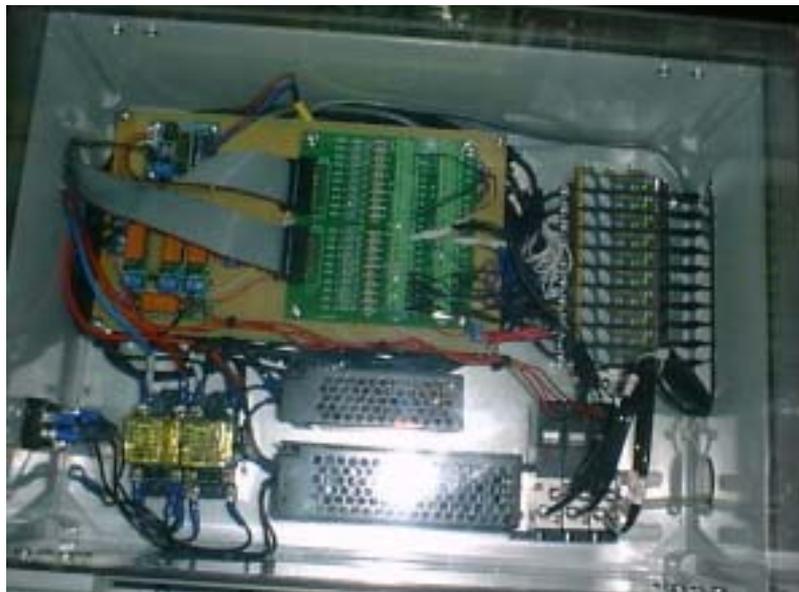


Fig. 14 Control box for data communication between control computer and gripper.

다. 그리퍼의 메커니즘

그리퍼는 공압실린더에 의하여 작동된다. 공압실린더는 총 세 개가 사용되었으며, 이중 두 개의 실린더는 그리퍼 내의 컷터를 상하 위치를 조절하기 위하여 사용되었고, 나머지 한 개는 컷터의 구동을 위하여 사용되었다.

그리퍼는 총 3장의 알루미늄 판으로 제작되었으며, 가장 윗판은 그리퍼가 들쭉이의 위치와 방향을 판단할 수 있도록 Fiber optics sensor를 장착할 수 있게 설계하였다.

두 번째 가운데판은 들쭉이의 절단과 절단된 잎의 고정을 위하여 컷터를 설치하였다. 이 판은 그리퍼의 움직임에 방해되거나 작물에 손상을 가하지 않게 하기 위하여 평상시에는 바닥 면에 내려가 있다가 절단 시에만 올라오도록 설계하였다.

컷터를 상승시키기 위하여 사용된 두 개의 실린더는 구동방향과 종동방향을 직각으로 변환시키기 위하여 끝부분에 30°각도의 슬라이드 경사판을 사용하였다. 그림 15는 슬라이드 경사판의 기본 설계도이다.

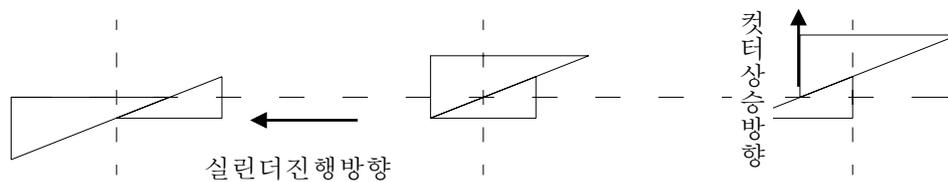


Fig. 15 Drawing of slide plate for gripper cutter.

여기서, 슬라이드 판의 직진 거리를 a , 종동부의 상승 높이를 b 라 할 때, 삼각함수에 의하여 b 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tan 30^\circ = \frac{b}{a} \quad (\text{여기서, } \tan 30^\circ \cong 0.5773)$$

$$\therefore b = 0.5773 a$$

따라서 공압실린더가 15mm 전진하는 동안 컷터는 8.6mm를 상승한다.

가장 밑판인 세 번째 판에는 위의 두 판을 고정시키고 그리퍼를 들쭉이의 방향에 맞추어 회전시킬 수 있도록 소형 서보 모터를 장착하였다. 그리퍼는 좌우로 각각 85°씩 회전이 가능하도록 설계하였다. 이 때, 들쭉이 때문에 그리퍼에 직접 모터를 장치하는 것이 매우 어려워서 4-bar linkage를 응용하여 제작하였다.

라. 구동 알고리즘

들쭉이 채취 시스템을 구동하기 위하여 다음과 같은 알고리즘을 개발하였다. 본 시스템은 크게 감지, 수확, 복귀 단계로 구성되어 있다.

감지단계에서는 감지가 실패하여도 시스템의 무한작동을 방지하기 위하여 프로그램 내에 최대 상승 높이를 지정하였으며, 수확 단계에서는 그리퍼의 회전과 컷터의 움직임을 제어하도록 하였다.

또한 복귀 단계에서는 수확물의 절단 유무를 정확히 알아볼 수 있도록 그리퍼가 일정시간동안 수확물을 부착하고 하강하도록 개발하였다.

구동알고리즘의 세부적인 내용은 그림 16과 같다.

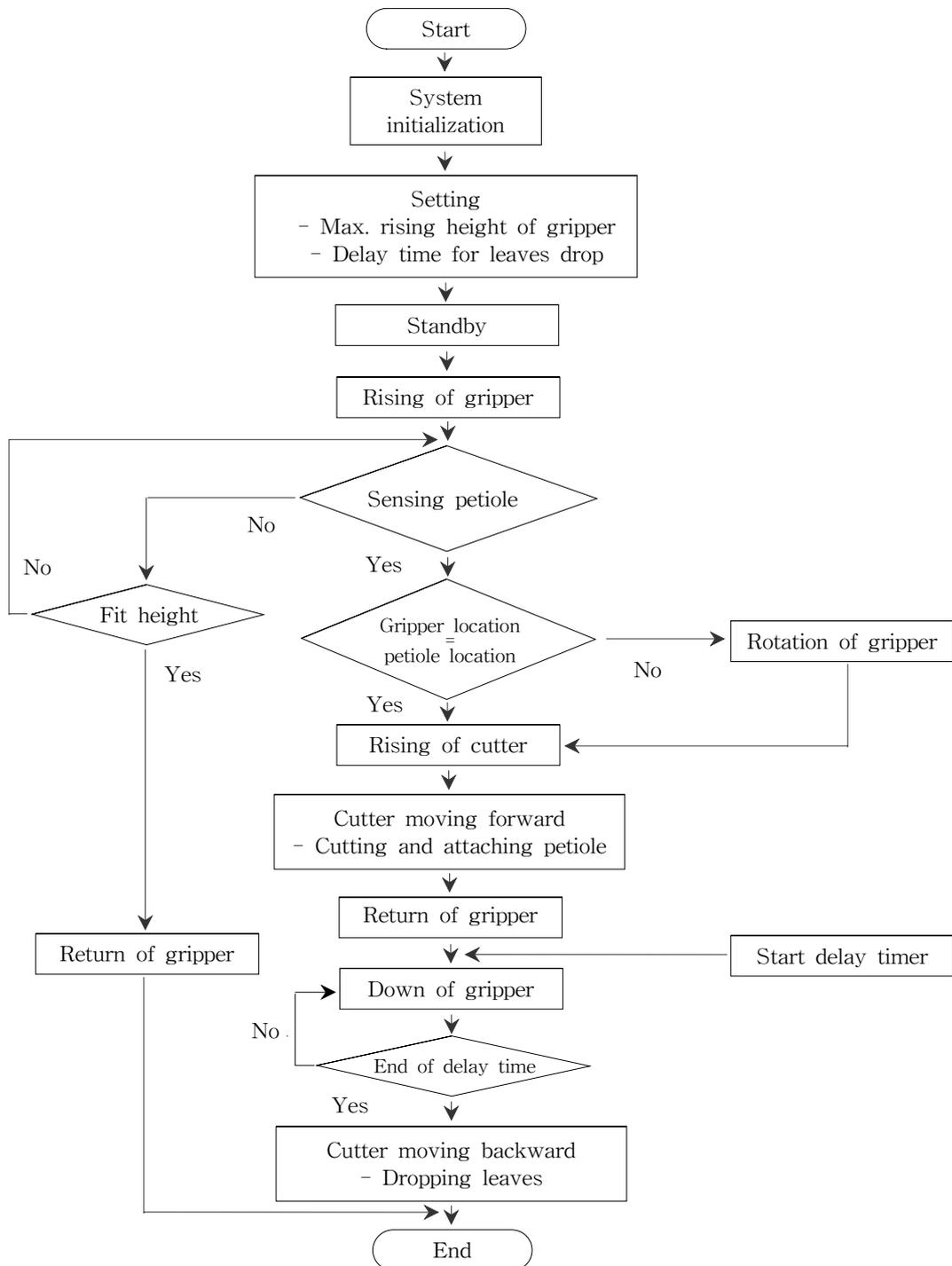


Fig. 16 Flow chart of harvesting systems for the green perilla leaves.

마. 구동 소프트웨어

들꺀잇 채취 시스템을 위한 프로그램은 National Instrument사의 LabWindow/CVI 5.5 언어로 개발되었으며, 프로그램의 주 화면은 그림 17과 같다.

채취시스템의 모든 구동장치는 개발된 프로그램에 의하여 제어되며, 모든 작동은 수동 또는 자동으로 제어할 수 있도록 프로그래밍 하였다. 시스템과 PC와의 송수신은 A/D보드를 사용하여 RS232C 인터페이스 방법을 이용하였다. 프로그램 작동시 그리퍼의 작동상태를 램프의 점등으로 표시하여 사용자가 이를 쉽게 알아볼 수 있도록 하였다. 또한 들꺀잇의 감지된 위치를 주 화면에 표시하고, 그리퍼의 회전각도를 계산하여 표시하도록 프로그래밍 하였다.

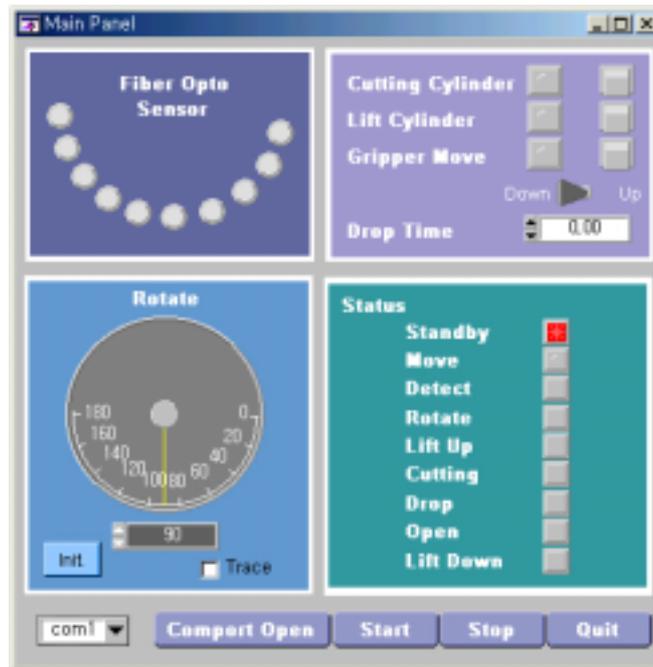


Fig. 17 Main display of controlling program of gripper.

바. 시스템 설계 조건 결정 및 고찰

본 연구의 특성상 그리퍼의 크기를 최소화 할 필요가 있었다. 그리퍼의 주 구동 장치인 공압실린더의 가장 작은 사이즈를 검색한 결과 내경이 6mm인 것으로 조사되었다. 본 실린더로 그리퍼의 컷터를 구동하여 들깨잎의 잎자루를 전단하기 위해서는 최대 20N의 힘을 출력할 수 있어야 한다.

$$\text{압력} = \frac{\text{힘}}{\text{단위면적}} \text{이다.}$$

여기서 힘은 최대 20N이고 실린더의 내부의 단위면적을 계산하면 28.27mm²이다. 그러므로 공기압은 최대 0.7 Mpa이 필요하였다. 따라서 본 그리퍼 시스템에서는 0.8 MPa의 Air compressor를 사용하고 레귤레이터(Regulator)를 이용하여 압력을 0.70 Mpa로 고정하였다. 내경이 6mm인 공압실린더 역시 허용압력이 1 Mpa로 장치를 설계하는데 문제는 없었다.

그리퍼의 크기는 가로, 세로, 높이가 100mm×50mm×50mm로 현재 재식간격인 100mm를 고려할 때 다소 큰 편이나 향후 지속적인 연구로 크기를 더욱 축소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

연구에서 사용될 공시재료를 분석한 결과 60일생의 들깨 평균 신장은 584mm로 채취할 잎의 분포는 포트의 최하점에서 300~550mm 범위 내에 모두 분포하고 있었다. 따라서 그리퍼의 이동범위는 500mm로 하고 포트의 높이에 따라 축의 높이를 조정하기 위하여 보조 장치로 스탠드의 높이를 0~300mm가 조정 가능하도록 설계하였다(그림 18). 실험결과 두 공시재료 모두 수확이 가능하였다.

광학섬유센서를 사용한 결과 들깨잎의 위치와 방향을 탐지하는데 95%이상의 높은 성능을 보였다. 광학섬유센서에서 탐지 에러의 경우는 손상된 작물이나 들깨잎자루가 센서 범위 밖에 위치하였을 때 발생하였다. 이것은 향후 센서의 교체나 추가로 해결될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 그리퍼와 센서에 의한 손상은 전혀 없었으며, 컷터 역시 그리퍼 내부에 위치하여 작물에는 전혀 손상을 주지 않았다.



Fig. 18 Gripper manufactured for performance test.

3. 수확장치의 성능 시험

가. 들깨잎 채취 시스템 성능실험 결과

그리퍼의 작동순서는 그리퍼 상승, 들깨잎자루 감지, 그리퍼 회전, 컷터 상승, 컷팅, 그리퍼 원위치 복귀, 수확물 drop의 순으로 진행(그림 19)되며, 제어를 위하여 Lab/Windows CVI 5.5를 사용하여 프로그래밍 하였으며 자동과 수동 조작 모두 가능하도록 하였다.

그림 19는 그리퍼 시스템을 한 동작씩 수동으로 조작하며, 시스템의 작동상태를 사진으로 나타낸 것이다.

식용 들깨잎 채취 시스템의 성능 평가를 위해서 위에서 분류한 들깨잎의 기하학적인 분류와 공시재료의 성장기간이 45일된 것과 60일간의 차이를 대상으로 그 성능평가를 실시하였다.

본 연구에서의 성공률은 들깨잎자루의 감지에서 절단, 그리고 복귀, 수확물 낙하까지 전과정 모두 성공한 경우만을 반영하였다.

1) 들깨잎자루의 곧은 정도에 따른 성능실험 결과

들깨잎의 잎자루가 줄기에 부착된 형상은 곧게 뻗은 형상, 휘 형상, 처진 형상으로 크게 세가지로 구분하였으며, 표 8에서 보는바와 같이 모양에 따라 컷팅의 결과는 곧게 뻗은 모양이 73.9%로 나타났고, 휘 모양과 처진 모양은 각각 68.3%, 65.4%로 나타났다.

75%이상의 들깨잎자루가 곧은 모양으로 이를 대상으로 설계한 본 시스템은 휘모양과 처진 모양에서는 다소 성공률이 저조해 보이는 경향이 있으나 전체적인 실험결과는 성공률 74.3%로 나타나 성능에는 큰 차이가 없었다.

2) 들깨잎자루와 들깨줄기가 이루는 각도에 따른 성능실험 결과

들깨잎의 잎자루와 들깨 줄기와의 각도는 각도기를 이용하여 측정하였으며, 그 크기는 줄기 상단방향과 잎자루와의 각도는 40~90°까지 분포하였다. 분석은 편의상 10°간격으로 반올림하여 행하였으며, 그 결과는 표 9와 같다.

실험결과 60 ~ 70°사이의 것이 가장 많았으며, 성공률은 60 ~ 80°사이가 가장 많았다. 40 ~ 80°사이의 작물에서는 성공률이 70%이상으로 나타났다. 본 공시재료에서 잎자루의 각도가 80°이상의 작물은 원래의 모습이 많이 훼손된 것들이었으며, 감지와 절단에서 예러가 발생되어 성공률이 저조하였다.

성공률은 60.0 ~ 80.0% 까지 나타났으며, 전체 성공률은 75%로 나타났다.

Table 8 Picking test results and success rates by shapes which petioles are attached to stalk

Shapes of leaves	No. of tested (%)	No. of succeeded	No. of failed	Success rate (%)
Straight	375(76.5)	287	88	76.5
Curved	63(12.9)	43	20	68.3
Dropped	52(10.6)	34	18	65.4
Total	490(100)	364	136	74.3

Table 9 Picking test results and success rates by angles between petioles of leaves and stalks of the green perilla

Angle	No. of tested	No. of succeeded	No. of failed	Success rate (%)
40°	17	12	5	70.6
50°	20	14	6	70.0
60°	34	27	7	79.4
70°	36	27	9	75.0
80°	20	16	4	80.0
90°	5	3	2	60.0
Total	132	99	33	75.0

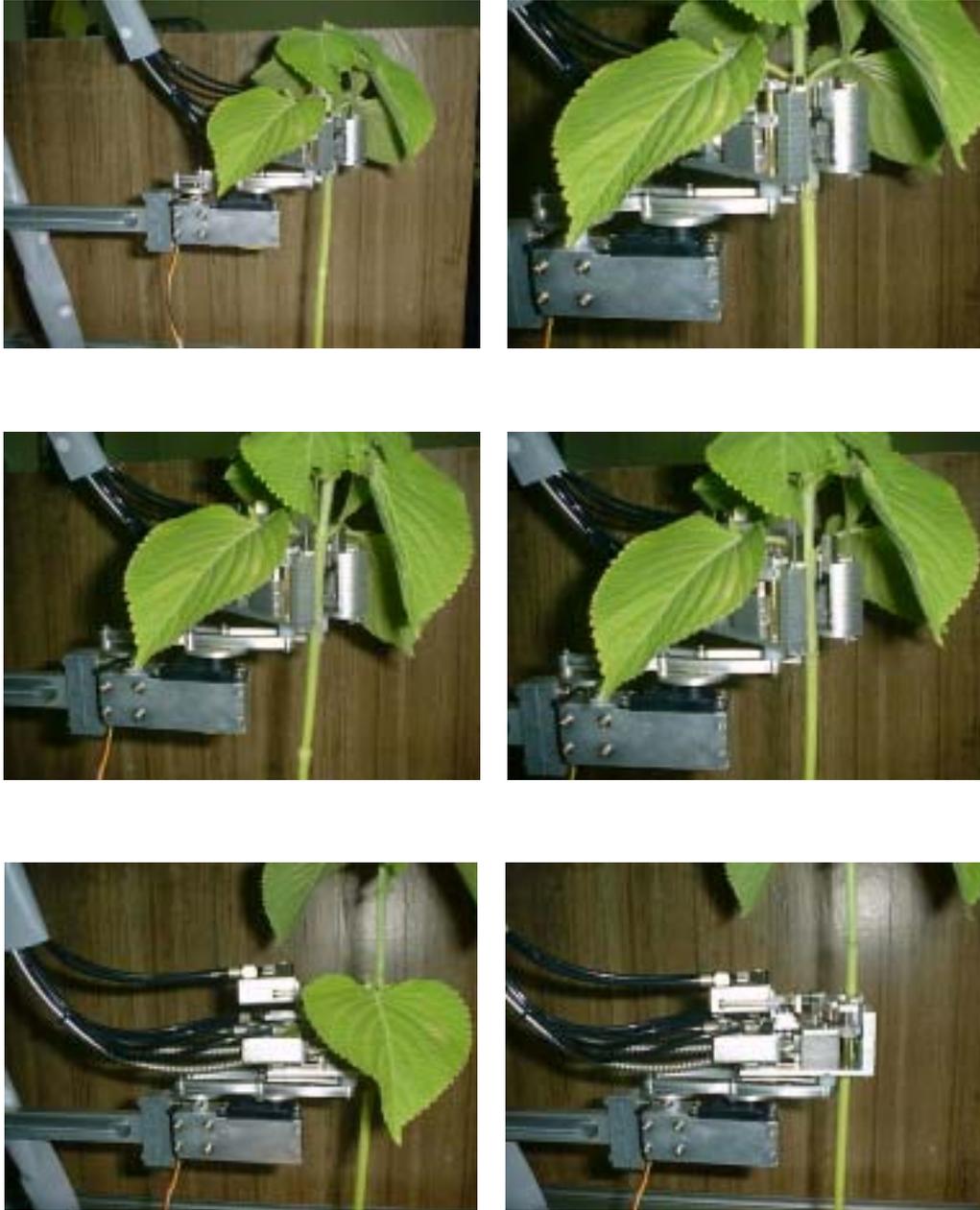


Fig. 19 Operating procedures of gripper manufactured for performance test.

3) 들깨잎자루와 그리퍼 암과의 각도에 따른 성능실험 결과

들깨잎과 그리퍼 암과의 각도를 계측하기 위해서 앞의 그림 17에 나타난 프로그램의 메인화면에 Lamp의 점멸을 표시할 수 있도록 하였다.

본 시스템에서는 10개의 광센서를 사용하였으며 이중 감지된 곳을 사용자가 인식할 수 있도록 표시하였다. $-90 \sim +90^\circ$ 까지 10개의 센서를 18° 간격으로 배치하여 측정하였고, 그 결과는 다음 표 10과 같다.

실험결과 0° 부분에서의 성공률이 가장 낮게 나타났다. 이는 그리퍼가 컷팅을 위하여 90° 의 회전을 하는 부분이다. 이 부분에서는 그리퍼의 설계시 회전각도를 $-85 \sim +85^\circ$ 까지로 설정하였기 때문에 완전한 회전이 되지 않은 경우로 사료되었다. 성공률은 $72.7 \sim 89.5\%$ 까지 나타났으며, 전체성공률은 79.5% 로 나타났다.

4) 공시재료의 재배기간에 따른 성능 차이

본 실험은 제작된 그리퍼 시스템의 사용범위를 파악하기 위하여 실시하였다. 설계된 시작기가 재배기간이 45일인 들깨잎과 60일인 들깨잎 사이의 절단능력차이를 알아보기 위하여 실험을 실시하였다. 실험은 1차, 2차, 3차 실험에서 각각 50%씩의 성장기간이 45일인 들깨과 60일인 들깨를 섞어 실험하고 이를 분석하여 결과를 얻었다. 그 결과는 표 11과 같다.

표 11에서 보는 바와 같이 실험결과는 성장기간이 45일인 들깨의 경우 성공률은 각각 71.2% , 76.5% , 79.2% 로 나타났으며, 성장기간이 60일인 들깨의 경우 성공률은 각각 73.3% , 75.0% , 79.8% 로 나타났다. 전체성공률은 성장기간이 45일인 들깨가 74.0% 로 나타났으며, 성장기간이 60일인 들깨는 75.2% 로 나타났다.

본 실험결과 성장기간에 따라 성공률에 큰 차이가 없는 것으로 보여 성장기간이 공시재료와 다른 재료에도 사용가능한 것으로 사료된다.

Table 10 Picking test results and success rates by contact angles between petiole and gripper

Angle	No. of tested	No. of succeeded	No. of failed	Success rate (%)
-90°	17	13	4	76.5
-72°	23	18	5	78.3
-54°	19	17	2	89.5
-36°	19	15	4	78.9
-18°	25	19	6	76.0
0°	22	16	6	72.7
18°	16	13	3	81.3
36°	23	18	5	78.3
54°	22	18	4	81.8
72°	19	16	3	84.2
Total	205	163	42	79.5

Table 11 Test result and success rates of harvesting the green perilla leaves whose growth periods are different

Times	Growth (day)	No. of tested	No. of succeeded	No. of failed	Success rate (%)
1	45	243	173	70	71.2
	60	247	181	66	73.3
2	45	68	52	16	76.5
	60	64	48	14	75.0
3	45	101	80	21	79.2
	60	104	83	21	79.8
Total	45	412	305	107	74.0
	60	415	312	101	75.2

제 4 절 수확장치의 프레임 및 구동장치

1. 프레임 및 구동장치의 설계 및 제작

들깨는 수확을 약 2달에 걸쳐서 실시하기 때문에 수확시 들깨대에 손상을 입히지 않아야 한다. 기존의 개발된 수확기를 조사한 결과 이 등(2002)이 개발한 구기자 수확기가 같은 조건으로 프레임을 설계하여 본 수확기에 적용하였다. 들깨잎이 수확기와 마찰을 적게 하기 위해 강관이 아닌 각관을 사용하였다. 그림 20은 프레임의 설계도면으로서 작업공간의 폭과 높이는 1500mm×1200mm이며 이 프레임에 폭190mm(양쪽), 높이가 400mm의 크기로 보강을 대어 프레임의 휨을 방지하였다. 프레임은 강도와 비용을 고려하여 25×25×1.6t의 구조용각형각관을 사용하였다.

들깨의 주간격이 100~150mm이므로 주행거리가 매우 짧게 진행되며 미세조정이 필요하고 계속되는 들깨잎의 재배와 대부분이 하우스 재배이기 때문에 매연과 오염물질이 적은 동력원을 사용하여야 한다. 이에 이 등(2002)처럼 제어 및 조작성 용이하며 오염물질의 배출이 적은 전기 모터를 사용하고 들깨의 손상을 방지하기 위해 축을 이용한 동력 전달은 피해야 하므로 양쪽에 모터(Load 1/2hp(370W), Gear Ratio 1:1003)를 두었다. 직진성과 회전 등 조향을 위해 무한궤도를 적용했으나 제작비용과 발고랑에 비해 많은 공간과 무게를 차지하여 바퀴를 이용한 무한궤도의 원리를 적용하였다. 제어는 인버터(Source Power: ϕ 1 220ACV, Load:400W, Frequency Type:0~60Hz)를 사용하였다.

그림 21은 제작된 프레임과 구동장치이며 그림 22는 제어를 위한 컨트롤 박스이다.

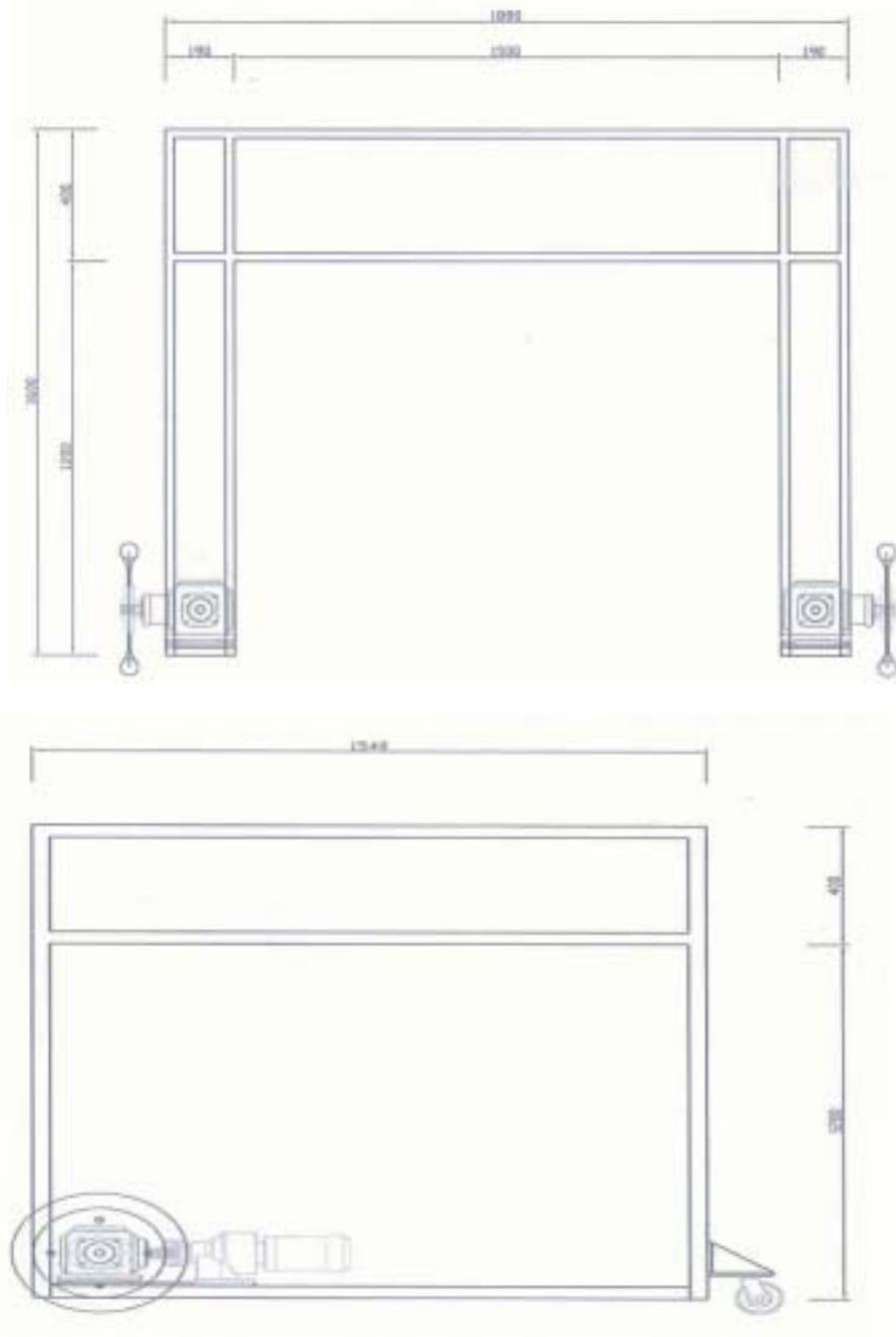


Fig. 20 Drawing of frame of harvest systems.



Fig. 21 Photograph of frame and traveling mechanism.



Fig. 22 Photograph of control box.

2. 구동장치의 성능 시험

제작된 프레임 및 구동장치를 가지고 포장에서 성능 실험을 실시하였다. 실험은 충남대학교 농업생명과학대학의 비닐하우스에서 실시되었으며 실험 전 밭의 두둑(폭 1500mm×길이10000mm×높이150mm)과 고랑(폭300mm×깊이100mm)을 들깨의 재배환경과 동일하게 준비하였다. 토양함수율측정기를 이용하여 바퀴가 지나가는 양고랑에 2.5m 간격으로 총 8군데의 함수율을 측정한 결과 표 12와 같이 나타났다. 고랑의 평균 함수율이 7.56%로 건조하였다.

Table 12 Rate of soil moisture content

Furrow	Distance	1.25m	3.75m	6.25m	8.75m	Ave.	Total
	Furrow A(%)		7.29	7.25	7.21	6.97	7.18
Furrow B(%)		7.34	8.33	9.12	7.03	7.95	

인버터의 범위 0~60Hz를 6단계로 나누어 직진성과 제어성능을 실험하였다. 각 단계에서 직진성과 제어성능은 큰 차이를 보이지 않았으나 시간에서 5,6단계가 시작기에 적합할 것으로 사료되었다. 두둑의 평탄화가 고르지 못하여 종종 프레임이 두둑과 마찰을 일으켰으나 이는 구동바퀴의 사이즈를 키우면 해결될 것으로 사료되었다.

제 5 절 들깨잎 이송장치

1. 이송장치의 설계 및 제작

가. 이송장치 설계

그러므로 채취된 잎을 수집장치까지 안전하게 이동시키는 이송장치를 설계하기 위해 앞선 연구에서 들깨잎의 물성을 연구하여 컨베이어 벨트를 언급한바있다. 수확된 들깨잎을 저장장치까지 운반하는 역할을 담당한 이송장치는 수확물에 손상을 입히지 않아야 한다. E. G. Humphries(2001), E. Palan(1997), 정 등(2003)은 채소와 과일 같은 수확물을 빠르고 안전하게 이송하는 장치로 컨베이어 벨트를 사용하였다. 본 수확기에도 들깨의 특성상 수확물을 보호하며 수확장치와 같이 사용하기에 적합한 컨베이어 벨트를 선택하였다. 시작기에 장착할 컨베이어 벨트의 요구조건은 다음과 같다.

- 들깨는 생장을 하면서 계속 채취작업을 해야 하는 식물로써 컨베이어 벨트는 이러한 들깨의 재식 간격인 10cm사이를 지나갈 수 있는 폭을 가져야 한다.
- 컨베이어 벨트의 기울기에 관계없이 수확물을 손실과 손상 없이 수집장치까지 안전하게 이동시켜야 한다.
- 들깨 사이를 지나가야 하므로 여러 대의 컨베이어 벨트가 하나의 축이 아닌 각각의 축으로 고정되어야 한다.
- 들깨와 직접적으로 마찰을 가지므로 연성의 재질로 제작되어야 한다.

조건에 적합한 컨베이어 벨트를 찾던 중 그림 23과 같은 Cleat 타입 벨트를 적용키로 했다. 표 13에서 보는바와 같이 벨트의 최소 폭이 10cm로 들깨의 재식 간격과 맞아 깃대 사이를 지나갈 수 있으며 벨트에 2cm의 가이드가 부착되어 있어 어떠한 기울기가 되더라도 수확물의 미끄럼을 방지해준다. 또한 모터구동부만 축으로 연결하면 반대편은 축으로 연결을 하지 않고 벨트별로 바퀴 등으로 지지를 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 여기에 프레임 부분에 연성의 고무로 된 가이드를 부착하여 옆으로 수확물이 떨어지는 것을 방지하고 식물의 손상을 줄일 수 있을 것이다.



Fig. 23 Photograph of conveying equipment designed.

Table 13 Cleat type conveyor belt

Divide		Content
Belt width		MIN.100 ~ MAX.600mm
Length		MIN.1,000 ~ MAX.3,000mm
Speed	Fixed speed	MIN.3.0 ~ MAX.19.0m/min
	Change speed	MIN.0.9 ~ 2.9m/min
		MAX.5.9 ~ 17.6m/min
Convey ability		MAX 10kg/m
Frame		SUS304(height 40mm)
Standard belt		resin cleat belt(2PLY)
Drive mode		Head drive mode
Motor output		60W, 90W
Power source		AC110V(single phase), AC220V(single phase), AC220V(three phase)

나. 이송장치의 제작

벨트의 폭은 들깨의 재식간격인 100mm~150mm사이 안으로 통과할 수 있도록 120mm로 설계하였고 들깨잎이 미끄러지는 것을 막기 위해 Cleat Type을 적용하였으며 칸막이의 높이는 20mm로 설계하였다. 컨베이어 벨트의 길이는 프레임에 벨트를 고정하였을 때에 1000~2000mm가 되므로 평균 1500mm로 설계하였다. Head drive mode이며 60W의 모터(Source Power: ϕ1 220ACV)와 SUS304(height 40mm) 프레임을 사용하였다.

2. 이송장치의 성능 시험

수확기에 장착시 최적의 기울기와 속도를 분석하기 위해 제작된 컨베이어 벨트로 들깨잎의 이송 성능을 시험하였다. 모터의 속도는 1m/min~19m/min로 총 6단계로 나누어 시험하였고 기울기는 채취장치와의 조화와 들깨잎의 수확높이를 고려하여 40~60°를 범위로 3단계로 나누었다. 한번의 시험에 30장씩 총540장의 들깨잎을 사용하였고 그 결과는 표 14와 같다.

Table 14 Performance results of conveying equipment

Division		Motor speed(m/min)					
		4	7	10	13	16	19
No. of the samples		30	30	30	30	30	30
1st exp. (40°)	Success	30	30	30	30	30	28
	Probability of success(%)	100	100	100	100	100	93
2nd exp. (50°)	Success	30	30	30	30	29	25
	Probability of success(%)	100	100	100	100	96	83
3rd exp. (60°)	Success	30	30	30	30	28	23
	Probability of success(%)	100	100	100	100	93	76

표 14에서 나타난 결과와 작업시간을 고려해볼 때에 수확기의 이송장치 모터의 속도는 16m/min에 장착 기울기는 40~50°가 가장 적당한 것으로 사료되었다.

제 6 절 수확시스템의 제어장치

1. 제어장치의 구성 및 소프트웨어 개발

가. 제어장치의 구성

수확기를 자동 제어하기 위하여 그림 24와 같이 수확기의 상단에 제어장치를 부착하였다. 구성은 컴퓨터(펜티엄 4 2.6GHz, A/D Board PCI9112-Adlink), 모니터, 키보드, 마우스, 구동장치 컨트롤 박스, 수확장치 컨트롤 박스, 에어 컴프레셔(UD20-30, United)로 구성하였다. 수확기의 전원은 이 등(2002)은 발전기를 달아서 사용하였지만 진동에 의한 영향을 고려하여 단상 220V의 전원 선을 연결하여 공급하였다.



Fig. 24 The picture of control system of the harvester developed.

나. 소프트웨어 개발

제어프로그램은 Lab/Windows CVI 5.5를 사용하여 프로그래밍 하였고 메인화면은 그림 25와 같다. 화면의 왼쪽은 수확장치인 그리퍼를 제어하는 부분으로 프로그램의 설명은 송 등(2003)에 설명되어 있고 오른쪽 부분은 구동장치의 제어 부분으로 전·후진과 제동, 방향, 속도를 제어한다.



Fig. 25 The main display of the control program for harvester.

제 7 절 1차 시작기 설계 및 제작

1. 시작기 설계 및 제작

가. 설계전제 및 조건

현재 들깨의 재배 조건은 전체적으로 비슷한 상황이다. 두둑 및 고랑의 형상을 살펴보면 두둑의 폭이 1500mm, 높이가 100~200mm이며 고랑의 간격 300~400mm, 깊이 100~150mm이고 형상은 마름모꼴에 가깝다. 들깨의 주간격은 100~150mm이며 두둑의 한 폭에 10~15주의 들깨가 재배되어진다. 이러한 재배법을 벗어나지 않는 범위에서 들깨의 형상 및 크기, 잎의 수량과 물성 등 생물학적 요인과 두둑 및 고랑의 형상과 크기 등의 재배학적 요인 그리고 토양의 상태 등 환경적 요인 등을 고려하여 수확장치의 설계방향 및 조건을 설정하였다.

1) 설계 전제

- ① 들깨의 재배 조건은 현 농가의 재배 조건을 기준으로 한다.
- ② 재배되는 들깨의 폭과 높이 및 수확 범위는 일정한 수준으로 조정한다.
- ③ 밭고랑의 토양은 수확시에 바퀴가 구르는데 지장이 없도록 단단한 장애물이 없어야 하며, 건조되어야한다.

2) 설계 조건 및 내용

- ① 수확 범위는 두둑 1개와 양쪽 고랑으로 한다.
- ② 수확 손실을 최소화한다.
- ③ 수확시에 들깨잎과 들깨대의 손상이 없어야 한다.
- ④ 수확작업이 진행되는 동안 이송과 저장 기능도 유지되어야 한다.
- ⑤ 1조식 수확장치를 설계 제작하여 성능 분석 후 문제점을 보완 재설계한다.

나. 시작기 제작

앞에서 설계한 장치들을 가지고 그림 26과 같이 수확기를 제작하였다. 프레임에 이송장치인 컨베이어 벨트를 부착하였다. 상단부에 매달린 형식으로 부착하였으며 프레임의 휨을 방지하기 위하여 보강재를 대었다. 또한 이송장치의 위치를 변경하고 수리

가 용이하도록 탈·부착이 가능하도록 하였고 각도를 달리하기 위한 장치를 제작하여 컨베이어벨트와 프레임의 연결부에 부착하였다. 이송장치와 프레임의 연결부는 그림 27과 같다.



Fig. 26 Front display of a harvester.

수확장치인 그리퍼는 상·하 운동과 전·후 운동은 자동제어가 되며 수동으로 수확장치의 위치를 변경할 수 있도록 탈·착 식으로 프레임과 연결하였다. 수확기가 들개 사이에서 들개대에 손상을 주지 않고 이동하기 위하여 수확장치는 이송장치와 동일 선상에 위치하며 수확을 용이하게 하기 위하여 이송장치의 고정선상에서 반시계방향으로 35°의 각도로 고정하였다. 그림 28은 이송장치와 수확장치의 장착 모습이다.



Fig. 27 The connected part of frame and conveying equipment.



Fig. 28 Display of conveying and harvesting equipments attached.

2. 시작기 성능 시험

가. 실험실 앞 도로에서의 성능 시험

먼저 제작된 수확기를 가지고 그림 29와 같이 실험실 앞 도로에서 성능 시험을 실시하였다. 성능 시험 방법은 농촌진흥청 농업공학연구소의 엽채류 수확기 성능 시험 방법을 따랐다. 시험이 실시된 도로는 경사도가 없으며 포트에 재배된 들깨를 가지고 두둑과 같은 높이를 만들어서 시험을 실시하였다. 수확기가 1조식이므로 한번의 시험에 들깨 10주를 사용하였으며 간격을 8, 10, 12cm로 각 1회씩 총 3회 30주를 시험하였다. 시험결과는 표 15와 같다.



Fig. 29 Performance test of the harvester in lab.

Table 15 Performance test results of the harvester in laboratory

No. of exp. (space)	Working area (m ²)	Working time (min)	Power consumption (kW)	Harvested amount (leaves)	Lost amount (leaves)	Damaged amount (leaves)
1st (8cm)	1.155	4.16	0.04	8/20	12	0
2nd (10cm)	1.425	5.33	0.05	11/20	9	1
3rd (12cm)	1.695	6.66	0.05	9/20	11	3
Ave	1.425	5.38	0.046	9.33	10.66	1.33

표 15에서 보면 작업시간의 증가는 이동거리가 길수록 증가하며 수확하는 시간은 거의 비슷하였고 소비전력은 많은 양이 필요하지 않으며 작업시간에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 수확량은 평균 약 50%를 나타냈는데 원인을 보면 휘어진 들깨대의 경우 거의 수확을 하지 못하였으며 바람이 불거나 주간격이 좁을수록 앞뒤의 들깨잎에 의해 센서가 영향을 받아 수확량이 줄어들었다.

위의 시험결과를 가지고 작업능력, 수확손실률, 손상률을 아래의 식으로 계산하여 표 16에 나타내었다.

$$D = \frac{A}{T} \times 60 \quad (1)$$

여기서, D = 작업능력(m²/h)

A = 작업면적(m²)

T = 작업시간(min)

$$Lh = \frac{Gh}{Gc + Gh} \times 100 \quad (2)$$

여기서, Lh = 수확손실률(%)

Gc = 측정구간의 작물수확량(장)

Gh = 손실작물량(장)

$$D = \frac{Gd}{Gc + Gd} \times 100 \quad (3)$$

여기서, D = 손상률(%)

Gd = 손상작물량(장)

Gc = 측정구간의 작물수확량(장)

Table 16 Analysis and evaluation of performance test results of the harvester in laboratory

No. of exp.	Work efficiency (m ² /h)	Rate of harvesting loss(%)	Damaged rate (%)
1st	16.66	60	0
2nd	16.04	45	8
3rd	15.27	55	25
Ave	15.99	53.33	11

성능 시험 결과 평균 작업능률은 15.99m²/h, 수확손실률은 53.33%, 손상률은 11%로 나타나 수확손실률이 다소 높게 나타났다.

나. 포장에서의 성능 시험

들깨의 재배조건으로 만든 비닐하우스에서 그림 30과 같이 성능 시험을 실시하였다. 시험방법은 실험실에서의 시험과 동일하게 실시하였으며 주간격은 8, 10, 12cm로 한 줄에 10주씩 30주를 총 2회 반복 시험을 실시하였다. 표 17과 표 18은 성능 시험 결과이다.



Fig. 30 Performance test on field.

Table 17 Performance test results of the harvester on field

No. of exp.	Working area(m ²)	Working time(min)	Power consumption(kW)	Harvested amount (leaves)	Loss amount (leaves)	Amount of damaged crops (leaves)
1st (8cm)	1.155	3.87	0.05	7/20	13	2
2nd (10cm)	1.425	5.13	0.05	9/20	11	1
3rd (12cm)	1.695	6.30	0.05	9/20	11	1
4th (8cm)	1.155	4.00	0.05	8/20	12	1
5th (10cm)	1.425	5.16	0.05	10/20	10	2
6th (12cm)	1.695	6.45	0.05	9/20	11	0
Ave	1.425	5.15	0.05	8.67	11.3	1.17

표 17에서 보면 작업시간이 실험실 앞 도로에서의 시험 때보다 줄어들었는데 이는 들깨대의 크기가 포장시험에서 작았기 때문에 수확에 걸리는 시간이 단축되어서이다.

소비전력은 변화가 없었으며 수확량이 적은 이유는 들깨대의 크기가 작고 프레임이 두둑과 마찰을 일으키며 직진성이 떨어졌기 때문이다. 손상 작물은 수확기가 옆으로 틀어질 경우 들깨대가 이송장치 사이로 인도되지 못하여 발생하였다. 두 번째 반복 시험에서 작업시간과 수확량의 증가는 들깨대가 자라서 수확시간이 증가하고 수확장치인 그리퍼가 첫 시험 때보다 나은 성능을 보였기 때문으로 사료된다. 성능 시험 결과 평균 작업능률은 16.73m²/h, 수확손실률은 56.67%, 손상률은 11.67%로 나타났으며 포장이 고르지 못하고 수확기의 지상고가 낮아 수확기의 직진성이 떨어졌으며 햇볕으로 인하여 광센서의 성능이 떨어졌다. 또한 들깨대의 키가 낮아 수확손실률이 높게 나타났으며 작업능률은 실험실에서의 성능 시험보다 높게 나타났다.

Table 18 Analysis and evaluation of performance test results of the harvester on field

No. of exp.	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	Ave
Work efficiency (m ² /h)	17.90	16.67	16.14	17.33	16.57	15.77	16.73
Rate of harvested loss(%)	65	55	55	60	50	55	56.67
Damaged rate(%)	22	10	10	11	17	0	11.67

3. 개선점

수확기의 시험결과 몇 가지 문제점이 도출되었으며 그 해결 방안을 모색하여 재설계가 요구된다. 표 19는 각 장치별 문제점과 해결방안을 정리한 것이다. 시험 결과 드러

난 문제점을 해결하기 위하여 제어장치와 광센서를 보호하기 위한 차광막을 설치하고 프레임과 두둑이 종종 마찰을 하는 것은 바퀴의 직경을 증가시켜서 지상고를 높임으로 해결한다. 또한 프레임의 양 옆에 센서를 부착하여 수확기가 한쪽으로 치우치지 않고 직진성을 갖도록 설계가 필요하며, 컨베이어벨트의 끝과 양옆에 가이드를 부착하여 수확물의 손실을 방지하고, 들깨대를 이송장치 사이로 인도하는 역할을 하게 한다. 또한 리미트센서를 부착하여 들깨대를 감지하여 수확기가 멈출 수 있도록 설계하고, 모든 작업이 자동제어가 될 수 있도록 프로그램 한다.

Table 19 Problems and solutions of the harvester

Equipments of the harvester	Problems	Solutions
Frame and travelling mechanism	-Low height	-Diameter of wheels was increased
Conveying equipment	-Low width and low conveying rate of harvested crops -Detection of bent perilla stems needed and delivery to the leaf picking equipment needed -High loss of crops dropped down from picking equipment	-Made again with optimal width and length and conveying rate was increased with Cleat heightened -With limitsensor attached to the end of conveying equipment, detection of perilla stems and delivery of them to leaf picking equipment were possible -Guides attached to the end and both sides of conveying equipment to prevent loss
Leaf picking equipment	-The performance of photosensor was lowered due to sunlight -Low perillas impossible to be harvested	-Shading installed to frame -Harvesting equipment designed low
Controlling equipment	-Manual operation -Vibration of compressor	-All works automated with program adjustment -Small compressor provided with cord outside if problems happen again

제 8 절 2차 시작기 설계 및 제작

1. 시작기 설계 및 제작

가. 설계전제 및 조건

2차 시작기의 설계전제는 1차 시작기와 같으며 1차 시작기의 성능 시험에서 드러난 문제점을 보완 설계하여 2차 시작기를 제작하고 성능 시험을 통해 문제점과 해결방안을 찾는다.

나. 시작기 제작

1) 수확장치

1차 수확기의 성능 시험 후 나타난 문제점을 보완하여 그림 31, 32와 같이 수확장치를 제작하였다.



Fig. 31 The figure of gripper.



Fig. 32 Display of harvesting equipments.

그림에서 보는바와 같이 3조식으로 그리퍼 3개를 부착하였으며 1차 시작기에서 드러난 문제점인 낮은 키의 수확을 가능하게 하고 그리퍼의 회전을 원활하게 하기 위하여 그리퍼를 부착한 스크류를 랙잭스크류로 교환하였다. 또한 그리퍼의 흔들림과 크기를 최소화하기 위하여 그리퍼를 스크류 하단에 고정하였고 그리퍼의 전진을 돕는 실린더를 뒤쪽에 부착하였다.

2) 프레임 및 구동장치

2차 시작기의 프레임은 기존의 프레임과 동일한 규격을 유지하며 다만 이송장치, 수확장치, 제어장치의 부착을 위해 상단부의 프레임과 보강재를 수정하여 제작하였다. 또한 상단부에 부착하려 했던 차광막은 하우스 진입에 문제가 되어 설계를 배제하였고 실제 농가의 들깨 재배 하우스에는 차광막에 설치되어 있어 수확기 자체의 차광막은 불필요 하다.

구동장치의 문제점으로 나타났던 낮은 지상고를 해결하기 위하여 그림 33과 같이 바퀴의 직경을 높여 제작하였다.



Fig. 33 Display of front wheel.

바퀴의 직경을 500mm로 하여 지상고를 기존보다 100mm 높여 두둑과의 마찰로 인한 직진성의 저하를 향상시켰으며 젖은 땅에서 바퀴의 슬립현상을 막기 위하여 산업용 바퀴에서 농업용 파종기 바퀴로 교체하였다.

3) 이송장치

기존의 폭이 넓은 컨베이어 벨트에서 폭을 대폭 축소시켜 벨트의 폭을 80mm로 하였고 3조식에 맞게 벨트 4개를 부착하였다. 그림 34에서 보는 바와 같이 벨트의 폭이 작아 각각의 벨트에 구동모터를 부착하는 것이 어려워 모터 한개를 연결하여 4개의 벨트를 구동하였으며 저장장치의 부착으로 지상고가 낮아져 벨트의 길이를 길게 하여 문제점을 해결하였다.

그림 35에서 보는 바와 같이 벨트의 앞부분에 삼각형 모양의 가이드를 부착하여 들깨대를 벨트 사이로 인도할 수 있도록 하였고 벨트와 벨트사이의 간격이 좁기 때문에 옆 가이드가 없이도 수확물의 이송에는 문제가 없었다.



Fig. 34 Display of conveying and collecting equipments attached.



Fig. 35 Display of conveying equipments.

4) 제어장치

1차 시작기에서 나타난 문제점을 해결하기 위하여 컴프레셔를 수확기에서 내려 외부에 두고 에어를 공급받았으며 제어장치의 간소화와 자동제어를 위해 기존의 제어용 컴퓨터를 내리고 그림 36과 같이 기판으로 제작하였다. 10조식의 수확기를 컴퓨터로 제어할 경우 A/D보드가 다량 필요하여 제작비가 상승하고 하우스 안의 먼지와 습도로 인한 고장을 줄일 수 있다. 그리고 수확기에 장착하지 않고 외부에 컴퓨터를 놓고 수확기와 연결하여 수확 상황을 디스플레이 해서 확인할 수 있다.



Fig. 36 Display of controlling equipments.



Fig. 37 Display of handling control box.

수확기의 문제 발생시 자동에서 수동으로 전환하여 제어할 수 있도록 그림 37과 같이 제어상자를 만들어 부착하였다.

5) 시작기의 제작

앞에서 설명한 각 장치들을 부착하여 그림 38과 같이 2차 시작기를 제작하였다. 1차 시작기와 마찬가지로 위치변화와 수리를 위하여 탈·부착식으로 하였다.



Fig. 38 Front display of a harvester.

2. 시작기 성능 시험

가. 포장에서의 성능 시험

제작된 2차 시작기를 가지고 들깨잎 농사를 짓는 농가의 비닐하우스에서 그림 39와 같이 성능 시험을 실시하였다. 한번 시험에 300대의 들깨대를 수확하였고 2반복 시험하였다. 표 20과 표 21은 성능 시험 결과이다.



Fig. 39 Performance test on field.

Table 20 Performance test results of the harvester on field

No. of exp.	Working area (m ²)	Working time (min)	Power consumption (kW)	Harvested amount (leaves)	Loss amount (leaves)	Amount of damaged crops (leaves)
1st	46.5	200	0.38	384/600	216	128
2nd	46.5	189	0.36	372/472	100	46
Ave	46.5	194.5	0.37	378/536	158	87

표 20에서 보면 수확량이 1차와 2차에서 차이가 발생하였는데 이는 성능 시험을 실시한 하우스의 들깨 파종을 파종기가 아닌 손으로 파종을 하여 들깨 간격이 일정하게 고르지 않아 1차 시험에서 들깨대가 부러져 2차 시험에서는 적은 들깨대를 수확하였다. 1차 시험에서 손실량과 손상량이 많은 이유도 위와 같은 이유 때문이다. 성능 시험 결과 평균 작업능률은 14.36m²/h, 수확손실률은 28.5%, 손상률은 18%로 나타났으며 1

차 시작기 보다 평균 작업능률이 낮아진 이유는 들깨의 재식 간격이 고르지 않고 들깨 대의 크기가 커서 수확시간이 오래 걸렸기 때문이다. 수확손실률은 현저히 떨어져 1차 시작기의 문제점이 상당부분 보완되었음을 나타내었다. 손상률은 재식간격이 고르지 않아 다소 높게 나타났으나 기계식 파종을 실시하면 낮아질 것으로 사료된다.

Table 21 Analysis and evaluation of performance test results of the harvester on field

No. of exp.	Work efficiency (m ² /h)	Rate of harvested loss (%)	Damaged rate (%)
1st	13.95	36	25
2nd	14.76	21	11
Ave	14.36	28.5	18

3. 개선점

수확기의 시험결과 몇 가지 문제점이 도출되었으며 그 해결 방안을 모색하여 재설계가 요구된다. 표 22는 각 장치별 문제점과 해결방안을 정리한 것이다. 시험 결과 드러난 문제점을 해결하기 위하여 이송장치에 부착된 클리트의 높이를 높여 수확물의 손실을 방지하고 수확장치의 그리퍼가 회전시 다른 그리퍼와의 간격이 좁아 서로 부딪히는 문제가 발생하였다. 이는 그리퍼의 위치를 바꾸어 해결하고 광센서가 다른 들깨잎에 의해 오작동 되는 사례가 있어 광센서를 보호하는 가이드의 부착이 필요하다. 수확하는 동안 저장장치에 있는 들깨잎이 마르는데 이는 저장장치에 차광막을 설치하여 건조를 막으면 될 것으로 사료된다.

Table 22 Problems and solutions of the harvester

Equipments of the harvester	Problems	Solutions
Conveying equipment	-Low height of Cleat	-Height of Cleat was increased
Leaf picking equipment	-The performance of photosensor was decreased due to other leaves -Potential interruption between gripper movement	-With guide attached to the gripper -Position change of gripper
Collecting equipment	-Dry of perilla leaves	-Shading installed to collecting system

제 9 절 적요

1. 들깨의 특성

가. 들깨의 재배학적 특성

들깨(*Perilla frutescens* var. *japonica*)는 꿀풀과(Labiatae)에 속하는 1년생 초로써 키는 60~90cm 정도이며, 줄기는 네모지고 곧게 서며 긴 털이 있다. 잎은 마주나고 달걀 모양원형으로 뾰족하며 밑부분은 둥글다. 잎은 길이 7~12cm, 나비 5~8cm로 톱니가 있고 앞면은 녹색이지만 뒷면에는 자줏빛이 돈다. 들깨는 전형적인 단일성작물로 자연일장이 12시간 43분되는 9월초에 개화가 유도되며 개화한계 일장은 14시간이내로서 일장이 15시간 이상일 경우 꽃눈 분화가 억제되어 영양 성장만 계속된다.

현재 들깨의 재배 조건은 전체적으로 비슷한 상황이다. 두둑 및 고랑의 형상을 살펴보면 두둑의 폭이 1500mm, 높이가 100~200mm이며 고랑의 간격 300~400mm, 깊이 100~150mm이고 형상은 마름모꼴에 가깝다. 들깨의 주간격은 100~150mm이며 두둑의 한 폭에 10~15주의 들깨가 재배되어진다. 최근에는 하우스(시설)재배로 4계절 수확이 이루어지고 있다.

나. 들깨의 생태학적 특징

들깨잎의 크기는 길이 7~12cm, 나비 5~8cm에서 수확을 실시한다. 1회 수확시 보통 주당 1~2장(1마디)의 잎을 수확하며 수확시에 곁가지를 제거해준다. 들깨잎의 수확은 반촉성 재배시 40~50일 뒤부터 수확하게 되며 봄가을에는 10일, 여름에는 5~7일 간격으로 수확한다. 들깨잎의 수확기간은 만생종은 150일, 조생종은 110일 정도이다. 수확과정에서 들깨잎이나 줄기에 가벼운 상처나 손상은 상품가치와 직결되므로 조심한다.

다. 들깨의 역학적 특징

식용 들깨잎에 대한 전단력 측정 실험은 ASAE Standard를 참고하여 제작한 지

그(jig)와 UTM을 사용하여 측정하였다. 본 실험결과 잎자루의 두께가 두꺼울수록 전단력이 증가하는 추세를 보였다. 실험은 현재 유통되고 있는 들깨잎의 사이즈인 9cm ~ 15cm 사이의 '잎들깨 1호' 품종을 대상으로 무작위 5반복 실험을 실시하였다. 실험결과 잎자루의 직경은 2.05mm ~ 3.65mm이내에 모두 분포하였으며, 평균 직경은 2.78mm이었다. 또한 들깨잎줄기의 전단력은 7.13N ~ 17.42N이내에서 나타났으며, 평균 전단력은 12.13N으로 나타났다. 본 실험결과 그리퍼의 컷터부의 동력은 최대 20[N]까지 필요한 것으로 나타났다.

함수율 측정은 10장의 들깨잎을 무작위로 3반복 채취하여 sample로 선정하고 전자저울(오차 : $\pm 0.5\%$ 이내, 측정범위 : 2000~0.001g)과 드라이 오븐을 사용하여 계측하였다. 함수율 측정결과 평균 84.53%로 나타났다.

라. 들깨의 기하학적 특징

공시재료를 대상으로 조사한 결과 들깨잎자루의 끝은 정도에 따라 전체 들깨잎 중에서 끝은 형상은 76%, 흰 형상은 13%, 처진 형상은 11%의 분포를 보였다. 들깨잎자루와 들깨줄기가 이루는 각도에 따른 분류에서 들깨잎은 40° ~ 90°사이에서 모두 분포하였으며, 60° ~ 70°사이에서 가장 많이 분포하였으며, 80°이상의 경우는 잎들의 형상이 온전하지 못한 것들이 대부분으로 생육부진 또는 병충해로 인한 것으로 사료된다. 들깨잎자루와 그리퍼 암과의 각도에 따른 분류에서 공시재료를 -90° ~ +90°까지로 10등분하여 18°씩 분류하였다. -90°를 시작으로 하여 18°간격으로 배치되어 있는 광센서를 이용하여 센서의 감지값을 기준으로 계측하였다. 본 계측값은 프로그램의 메인화면에 표시 되도록 하였다. -90°와 +90°는 같은 값으로 처리하였다. 공시재료는 -90° ~ +90°사이에서 거의 균등하게 분포되어 있었다.

2. 1차 시작기

가. 1차 시작기 설계 및 제작

1) 수확장치

작물의 특성을 고려하여 설계조건을 설정하고 하드웨어를 구성한 후 그리퍼의 미케니즘과 구동 알고리즘을 토대로 구동 소프트웨어를 개발하였다. 수확장치의 성능시

험 결과 들깨잎 자루의 끈은 정도에 따라 74.3%의 성공률을 보였고 들깨잎 자루와 들깨줄기가 이루는 각도에 따른 시험에서는 전체성공률이 75%로 나타났다. 들깨잎자루와 그리퍼 압과의 각도에 따른 결과는 전체성공률이 79.5%이고 공시재료의 재배기간에 따른 성능차이는 큰 차이가 없었다.

2) 프레임 및 구동장치

작업공간의 폭과 높이는 1500mm×1200mm이며 이 프레임에 폭190mm(양쪽), 높이 400mm의 크기로 보강을 대어 프레임의 휨을 방지하였다. 프레임은 강도와 비용을 고려하여 25×25×1.6t의 구조용각형각관을 사용하였다. 동력은 양쪽에 모터를 두고 무한궤도의 원리를 적용하였고 50~60Hz의 속도가 적합한 것으로 나타났다.

3) 이송장치

들깨의 특성상 수확물을 보호하며 수확장치와 같이 사용하기에 적합한 컨베이어 벨트를 선택하였으며 시작기의 요구조건에 적합한 Cleat 타입 벨트를 적용했다. 이송장치의 모터의 속도는 16m/min에 기울기는 40~50°가 가장 적당한 것으로 사료되었다.

4) 제어장치

수확기를 제어하기 위하여 수확기의 상단에 제어장치를 구성하고 프로그램을 이용하여 소프트웨어를 개발하였다.

5) 앞에서 설계한 장치들을 가지고 수확기를 제작하였다. 프레임에 이송장치인 컨베이어 벨트를 부착하였다. 상단부에 매달린 형식으로 부착하였으며 프레임의 휨을 방지하기 위하여 보강재를 대었다. 또한 이송장치의 위치를 변경하고 수리가 용이하도록 탈·부착이 가능하도록 하였고 각도를 달리하기 위한 장치를 제작하여 컨베이어벨트와 프레임의 연결부에 부착하였다. 수확장치인 그리퍼는 상·하 운동과 전·후 운동은 자동제어가 되며 수동으로 수확장치의 위치를 변경할 수 있도록 탈·착 식으로 프레임과 연결하였다. 수확기가 들깨 사이에서 들깨대에 손상을 주지 않고 이동하기 위하여 수확장치는 이송장치와 동일 선상에 위치하며 수확을 용이하게 하기 위하여 이송장치의 고정선상에서 반시계방향으로 35°의 각도로 고정하였다.

6) 실험실 앞 도로에서 간격을 8, 10, 12cm로 각 1회씩 30주를 가지고 총 3회 성능 시험을 실시한 결과 평균 작업능률은 15.99m²/h, 수확손실률은 53.33%, 손상률은 11%로 나타나 수확손실률이 다소 높게 나타났다. 포장에서 주간격은 8, 10, 12cm로 30주를 2회 반복 시험한 결과 평균 작업능률은 16.73m²/h, 수확손실률은 56.67%, 손상률은 11.67%로 나타났다.

4) 시험 결과 드러난 문제점을 해결하기 위하여 제어장치와 광센서를 보호하기 위한 차광막을 설치하고 프레임과 두둑이 종종 마찰을 하는 것은 바퀴의 직경을 증가시켜서 지상고를 높임으로 해결한다. 또한 프레임의 양 옆에 센서를 부착하여 수확기 한쪽으로 치우치지 않고 직진성을 갖도록 설계가 필요하며, 컨베이어벨트의 끝과 양옆에 가이드를 부착하여 수확물의 손실을 방지하고, 들깨대를 이송장치 사이로 인도하는 역할을 하게 한다. 또한 리미트센서를 부착하여 들깨대를 감지하여 수확기가 멈출 수 있도록 설계하고, 모든 작업이 자동제어가 될 수 있도록 프로그램 한다.

3. 2차 시작기

가. 2차 시작기 설계 및 제작

1) 수확장치

1차 수확기의 성능 시험 후 나타난 문제점을 보완하여 수확장치를 제작하였다. 3조식으로 그리퍼 3개를 부착하였으며 1차 시작기에서 드러난 문제점인 낮은 키의 수확을 가능하게 하고 그리퍼의 회전을 원활하게 하기 위하여 그리퍼를 부착한 스크류를 랙잭스크류로 교환하였다. 또한 그리퍼의 흔들림과 크기를 최소화하기 위하여 그리퍼를 스크류 하단에 고정하였고 그리퍼의 전진을 돕는 실린더를 뒤쪽에 부착하였다.

2) 프레임 및 구동장치

2차 시작기의 프레임은 기존의 프레임과 동일한 규격을 유지하며 다만 이송장치, 수확장치, 제어장치의 부착을 위해 상단부의 프레임과 보강재를 수정하여 제작하였다. 또한 상단부에 부착하려 했던 차광막은 하우스 진입에 문제가 되어 설계를 배제하였고 실제 농가의 들깨 재배 하우스에는 차광막에 설치되어 있어 수확기 자체의 차광막은 불필요 하다.

구동장치의 문제점으로 나타났던 낮은 지상고를 해결하기 위하여 바퀴의 직경을 500mm로 하여 지상고를 기존보다 100mm 높여 두둑과의 마찰로 인한 직진성의 저하를 막았으며 젖은 땅에서 바퀴의 슬립현상을 막기 위하여 산업용 바퀴에서 농업용 파종기 바퀴로 교체하였다.

3) 이송장치

기존의 폭이 넓은 컨베이어 벨트에서 폭을 대폭 축소시켜 벨트의 폭을 80mm로

하였고 3조식에 맞게 벨트 4개를 부착하였다. 벨트의 폭이 작아 각각의 벨트에 구동모터를 부착하는 것이 어려워 모터 한개를 연결하여 4개의 벨트를 구동하였으며 저장장치의 부착으로 지상고가 낮아져 벨트의 길이를 길게 하여 문제점을 해결하였다.

벨트의 앞부분에 삼각형 모양의 가이드를 부착하여 들깨대를 벨트 사이로 인도할 수 있도록 하였고 벨트와 벨트사이의 간격이 좁기 때문에 옆 가이드가 없이도 수확물의 이송에는 문제가 없었다.

4) 제어장치

1차 시작기에서 나타난 문제점을 해결하기 위하여 컴프레서를 수확기에서 내려 외부에 두고 에어를 공급받았으며 제어장치의 간소화와 자동제어를 위해 기존의 제어용 컴퓨터를 내리고 기판으로 제작하였다. 10조식의 수확기를 컴퓨터로 제어할 경우 A/D 보드가 다량 필요하여 제작비가 상승하고 하우스 안의 먼지와 습도로 인한 고장을 줄일 수 있다. 그리고 수확기에 장착하지 않고 외부에 컴퓨터를 놓고 수확기와 연결하여 수확 상황을 디스플레이 해서 확인할 수 있다. 수확기의 문제 발생시 자동에서 수동으로 전환하여 제어할 수 있도록 제어상자를 만들어 부착하였다.

5) 앞에서 설명한 각 장치들을 부착하여 2차 시작기를 제작하였다. 1차 시작기와 마찬가지로 위치변화와 수리를 위하여 탈·부착식으로 하였다.

6) 제작된 2차 시작기를 가지고 들깨잎 농사를 짓는 농가의 비닐하우스에서 성능시험을 실시하였다. 한번 시험에 300대의 들깨대를 수확하였고 2반복 시험하였다. 성능시험 결과 평균 작업능률은 $14.36\text{m}^2/\text{h}$, 수확손실률은 28.5%, 손상률은 18%로 나타났으며 1차 시작기 보다 평균 작업능률이 낮아진 이유는 들깨의 재식 간격이 고르지 않고 들깨대의 크기가 커서 수확시간이 오래 걸렸기 때문이다. 수확손실률은 현저히 떨어져 1차 시작기의 문제점이 상당부분 보완되었음을 나타내었다. 손상률은 재식간격이 고르지 않아 다소 높게 나타났으나 기계식 과중을 실시하면 낮아질 것으로 사료된다.

7) 시험 결과 드러난 문제점을 해결하기 위하여 이송장치에 부착된 클리트의 높이를 높여 수확물의 손실을 방지하고 수확장치의 그리퍼가 회전시 다른 그리퍼와의 간격이 좁아 서로 부딪히는 문제가 발생하였다. 이는 그리퍼의 위치를 바꾸어 해결하고 광센서가 다른 들깨잎에 의해 오작동 되는 사례가 있어 광센서를 보호하는 가이드의 부착이 필요하다. 수확하는 동안 저장장치에 있는 들깨잎이 마르는데 이는 저장장치에 차광막을 설치하여 건조를 막으면 될 것으로 사료된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발목표의 달성도

연구개발목표		달성도(%)
<ul style="list-style-type: none"> - 들깨잎 채취작업 제어용 센서 설계 - 채취용 그리퍼 설계 - 이송시스템 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 실험용 들깨 포트 재배 - 줄기상의 들깨잎 부착위치 및 개수 결정 - 센서의 H/W와 S/W 개발 - 채취용 그리퍼의 작동 메커니즘 설계 - 채취된 잎을 저장소로 이동할수 있는 이송시스템 설계 	100%
<ul style="list-style-type: none"> - 채취작업용 시작기 제작 - 수확장치 구동시스템 개발 - 시작기 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 들깨잎 채취작업 제어용 센서 개발 - 채취용 그리퍼 설계 - 채취된 잎의 이동 및 수집장치 설계 - 구동 메커니즘 개발 - 수확 기계장치 시스템 조합 및 성능분석 - 시작기 제작 및 성능시험 	100%
<ul style="list-style-type: none"> - 채취 기계장치 시스템 성능분석 - 들깨잎 수확 시스템 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 들깨잎 농장에서 채취작업 실시 및 시작기의 작업 성능 분석 - 시스템의 미비점/문제점 보완설계 	100%
합 계		100%

제 2 절 관련분야의 기술발전예의 기여도

- 들깨잎과 생태학적으로 유사한 잎채소를 비롯한 과일 등의 연구에서 본 연구의 연구 방법 및 결과가 크게 활용될 것으로 기대
- 들깨잎 수확 시스템의 연구수행방법 및 과정 그리고 시작기의 주요장치 등의 메커니즘은 다른 많은 종류의 수확기의 연구에 길잡이 역할을 할 것으로 기대
- 본 연구로 인하여 발작물의 자동화 수확기에 관한 관심과 연구가 높아질 것으로 기대

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서 개발한 들깨잎 수확 자동화 시스템의 주요 장치들과 작동원리를 활용하여 들깨잎과 생태학적으로 비슷한 잎채소나 다른 작물의 연구를 계속할 예정이다.

특히 및 실용신안을 출원하고 들깨잎 수확기에 관심을 표명하는 업체와 지속적인 연구와 기술개발로 문제점을 해결하여 실용화 단계까지 계속 연구할 계획이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 연구과제에 의하여 개발된 주요 장치들과 식용 들깨잎 수확 자동화 시스템에 관한 기술은 외국의 기계에서 유사성을 찾을 수 없으므로 해당사항이 없음.

제 7 장 참고문헌

1. 과학원예사. 2000. 과학원예. 과학원예사.
2. 권혁대. 2000. 센서기술. 에드텍.
3. 김상진. 2001. 센서기초와 활용. 연학사.
4. 김영근, 이동현, 박원규, 홍종태. 1999. 콤바인 벼 수확시의 벼줄기 굽힘특성에 관한 연구. 한국농업기계학회 1999년 동계학술대회 논문집 4(1):30-37.
5. 농수축산신문. 1999. 한국농업연감. 농수축산신문.
6. 농촌진흥청. 1999. 농업경영개선을 위한 1998 농축산물소득자료집. 농촌진흥청.
7. 농촌진흥청. 2002. 농업경영개선을 위한 2001 농축산물소득자료집. 농촌진흥청.
8. 류관희, 김기영, 이희환, 황호준. 1997. 육묘용 로봇 이식기 개발(I) - 기계시각 시스템 -. 한국농업기계학회지 22(3):317-324.
9. 류관희, 김기영, 이희환, 박정인. 1997. 육묘용 로봇 이식기 개발(II) - 이식 그리퍼 -. 한국농업기계학회지 22(3):325-332.
10. 류관희, 김기영, 한재성, 류찬석. 1999. 다수의 그리퍼를 이용한 육묘용 로봇이식기 개발. 한국농업기계학회 1999년 동계학술대회 논문집 4(1):308-314.
11. 박찬호 외 1명. 1998. 작물학원론. 선진문화사.
12. 박충범. 2000. 들깨용도별 재배기술. 농촌진흥청.
13. 손홍선. 1998. 한국 농작물 백과도감.
14. 송영호. 2003. 식용 들깨잎 수확을 위한 그리퍼 시스템 개발. 석사학위논문. 충남대학교 대학원.
15. 송영호, 장동일, 방승훈, 조한성. 2003. 식용 들깨잎 수확 자동화 시스템의 그리퍼 및 절단 컷터 개발. 한국농업기계학회지 28(6):497-504.
16. 이규승, 최용 외 9인. 2003. 수집형 감자 수확기 개발. 농림기술개발사업연구보고서. 농림부.
17. 이대원, 성시흥. 2001. 시설재배용 과채류(오이) 수확기 개발. 농림기술개발사업연구보고서. 농림부.
18. 이상엽, 이종환, 배영환, 노상하. 1999. 포토센서를 이용한 박피 마늘 선별에 관한 연구. 한국농업기계학회 1999년 동계학술대회 논문집 4(1):321-326.

19. 이상우, 허윤근, 서정덕, 맹성렬, 민경선. 2003. 대추수확기 개발에 관한 연구. 농림 기술개발사업연구보고서. 농림부.
20. 이상우, 허윤근, 서정덕, 맹성렬, 민경선. 2002. 진동형 구기자 수확기의 집과장치 개발. 한국농업기계학회 2002년 동계학술대회 논문집 7(1):60-66.
21. 이용국, 이대원. 2000. 포도수확기 개발. 농림기술개발사업연구보고서. 농림부.
22. 이종호, 박승제, 김철수, 김명호, 김성민. 1999. 감수확기 개발. 농림기술개발사업연구보고서. 농림부.
23. 이현동. 1998. 조직배양체 이식로봇 시스템의 소프트 그리퍼 개발. 충남대학교 대학원.
24. 이현동, 김기대, 김찬수. 1998. 조직배양체 이식로봇 시스템의 개발(I) - 소프트 그리퍼 -. 한국농업기계학회지 23(5):491-498.
25. 이홍석. 2001. 센서 기술과 인터페이스. 남두도서.
26. 장동일. 2002. 식용 들깨잎 자동화 시스템 개발 진도보고서. 충남대학교.
27. 장동일. 2003. 식용 들깨잎 자동화 시스템 개발 진도보고서. 충남대학교.
28. 정기철. 2002. 센서응용공학. 북두출판사.
29. 정쌍양, 장동일, 방승훈, 이승주, 조한성. 2003. 영상처리를 이용한 식용 들깨잎 등급 자동화시스템 개발. 한국농업기계학회 2003년 하계학술대회 논문집 8(2):303-308.
30. 조성인, 장성주, 류관희, 남기찬. 2000. 2자유도 상추 수확 로봇 시스템 개발. 한국농업기계학회지 25(1):63-70.
31. 조성인, 최낙진, 강인성. 1999. 기계 시각과 퍼지제어를 이용한 트랙터의 자율주행. 한국농업기계학회 1999년 하계 학술대회 논문집 4(2):150-158.
32. 조한성, 장동일, 이승주, 정쌍양. 2004. 식용 들깨잎 수확 자동화 시스템의 설계. 한국농업기계학회 2004년 동계 학술대회 논문집 9(1):270-276.
33. 진경시. 2002. 센서의 기초. 태영문화사.
34. ASAE. 2000. ASAE Standard 2000. ASAE.
35. Arslan, S. and T. S. Colvin. Laboratory performance of a yield monitor. Applied Engineering in Agriculture. 15(3):189-195. 1999.
36. Barnes, K. K. 1969. Detachment characteristics of lemons. Transactions of the ASAE 12(1): 41-45.

37. Benson, E. R., J. F. Reid and Q. Zhang. 2001. Machine vision based steering system for agricultural combines. 2001 ASAE Annual Meeting. Paper Number 011159.
38. Booster, D. E. and R. M. Bullock. 1965. Mechanical harvesting of cane fruits. Transaction of the ASAE 8(2):170-174.
39. Cho, B. K., J. M. K. Irudayaraj and S. Omata. 2001. Acoustic sensor fusion approach for rapid measurement of modulus and hardness of cheddar cheese. Applied Engineering in Agriculture. 17(6):827-832.
40. Coppock, G. E, S. L. Hedden, and D. H. Lenker. 1969. Biophysical properties of citrus fruits related to mechanical harvesting. Transactions of the ASAE 12(4): 561-563.
41. Edan, Y. and G. E. Miles. 1993. Design of an agricultural robot for harvesting melons. Transactions of the ASAE 36(2):593-603.
42. Funk, P.A., M.N.Gillum, S.E.Hughs, M.G.Pelletier. 2000. Mass flow measurement of seed cotton. Transactions of the ASAE. 42(6) : 1401-1407.
43. Hiroaki, W. and A. Kinase. 1990. Robot for plant tissue culture. Robot 64:74-79.
44. H. J. Ciro V. 2001. Coffee Harvesting I: Determination of the natural frequencies of the fruit stem system in coffee trees. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 17(4):475-479.
45. Humphries, E. G. 2001. Vegetable transport operations with horizontal roller conveyors. Applied Engineering in Agriculture. 17(1):5-7.
46. Jimenez, A. R., R. Ceres and J. L. Pons. 2000. A survey of computer vision methods for locating fruit on trees. Transactions of the ASAE. 43(6):1911-1920.
47. Kataoka, T., H. Okamoto and S. Hata. 2001. Automatic detecting system of apple harvest season for robotic apple harvesting. 2001 ASAE Annual Meeting. Paper Number 013132.
48. Kondo, N., Y. Nishitsuji, P. P. Ling and K. C. Ting. 1996. Visual feedback guided robotic cherry tomato harvesting. Transaction of the ASAE 39(6):2331-2338.
49. Lee, S. W., Y. K. Huh, J. D. So and S. R. Maeng. 2001. Vibratory harvesting

- machine of boxthorn (*lycium chinense* mill) berries. 2001 ASAE Annual Meeting. Paper Number 011097.
50. Markwardt, E. D., R. W. Guest, J. C. Cain, and R. L. LaBelle. 1964. Mechanical cherry harvesting. *Transactions of the ASAE* 7(1): 70-74, 84.
 51. Matsuura, K., M. Iida, M. Umeda and K. Ono. 2001. Automatic following vehicle system. 2001 ASAE Annual Meeting. Paper Number 011164.
 52. Monroe G. E. and J. H. Levin. 1966. Mechanical harvesting of cultivated blueberries. *Transactions of the ASAE* 9(1): 4-5.
 53. Nyborg, E. O. and T. L. Courtyard. 1969. Design parameters for mechanical raspberry harvesters. *Transactions of the ASAE* 12(5): 573-576.
 54. Palau, E. and A. Torregrosa 1997. Mechanical harvesting of paprika peppers in Spain. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66(3):195-201.
 55. Parameswarakumar, M. and C. P. Gupta. 1991. Design parameters for vibratory mango harvesting system. *Transaction of the ASAE* 34(1):14-20.
 56. Parsons, S. D. and G. E. Rehkugler. 1966. Physical properties of cabbage plants as related to mechanical harvesting. *Transactions of the ASAE* 9(6): 866-867.
 57. Pellerin, R. A., W. F. Miller, A. N. Lakso, G. E. Rehkugler, and J. A. Throop. 1979. Apple harvesting with an inertia vs. impulse trunk shaker on open-center and central-leader trees, Part II. *Transactions of the ASAE* 22(5): 983-988.
 58. Plant, R. E., D. S. Munk, B. R. Roberts, R. L. Vargas, D. W. Rains, R. L. Travis and R. B. Hutmacher. 2000. Relationships between remotely sensed reflectance data and cotton growth and yield. *Transactions of the ASAE*. 43(3):535-546.
 59. Queiroz, D. M., R. F. Garcia, C. M. A. Souza and R. C. Orlando. 2001. Simulation of the dynamic of a bean harvester. 2001 ASAE Annual Meeting. Paper Number 013148.
 60. Rehkugler, G. E., E. S. Shepardson, and J. G. Pollock. 1969. Development of a cabbage harvester. *Transactions of the ASAE* 12(2): 153-156.
 61. Ruff, J. H. and R. E. Holmes. 1976. Factors affecting selectivity in the air-suspension, stem-vibration strawberry harvest concept. *Transactions of the ASAE* 19(1): 21-26.

62. Ruff, J. H., R. P. Rohrbach, and R. G. Holemes. 1980. Analysis of the air-suspension stem-vibration strawberry harvesting concept. *Transactions of the ASAE* 23(2): 288-297.
63. Schrock, M. D., D. L. Oard, R. K. Taylor, E. L. Eisele, N. Zhang, Suhardjito and J. L. Pringle. 1999. A diaphragm impact sensor for measuring combine grain flow. *Applied Engineering in Agriculture*. 15(6):639-642.
64. Simonton, W. 1990. Automatic geranium stock processing in a robotic workcell. *Transaction of the ASAE* 33(6):2074-2080.
65. Simonton, W. 1991. Robotic end-effector for handling greenhouse plant material. *Transaction of the ASAE* 34(6):2615-2621.
66. Soule, Jr, H. M. 1969. Developing a lowbush blueberry harvester. *Transactions of the ASAE* 12(1):127-129.
67. Stafford. J. R. and R. G. Diener. 1973. Design criteria for minimizing predetachment fruit damage during mechanical shaking. *Transactions of the ASAE* 16(5): 840-843.
68. Studer, H. E. 1981. A rotary shaker for harvesting tomatoes. *Transactions of the ASAE* 24(3): 545-548.
69. Sun, X. S., F. T. Wang, L. Carson and C. Setser. 2001. Electronic sensing system for food texture characterization. *Transactions of the ASAE*. 44(3):623-630.
70. Tennes, B. R., J. H. Revin, and B. A. Stout. 1969. Sweet cherry properties useful in harvesting and handling equipment design. *Transactions of the ASAE* 12(5): 710-714.
71. Whitney, J. D. U. Hartmond, W. J. Kender, J. K. Burns and M. Salyani. 2000. Orange removal with trunk shakers and abscission chemicals. *Applied Engineering in Agriculture*. 16(4):367-371 .
72. Wilkerson, J. B., F. H. Moody, W. E. Hart and P. A. Funk. 2001. Design and evaluation of a cotton flow rate sensor. *Transactions of the ASAE*. 44(6):1415-1420.
73. Yore, M. W., M. D. Summers and B. M. Jenkins. 2001. Development of a

stubble cutting system for a combine harvester. 2001 ASAE Annual Meeting .
Paper Number 011087.

부 록

제어프로그램

1. 그리퍼 제어 프로그램

```
#include <windows.h>
#include <ansi_c.h>
#include <utility.h>
#include <rs232.h>
#include <cvirte.h>
#include <userint.h>
#include "leap.h"
#include "9112.h"

static int pnl;
int comport, port_open;
int dodata;
int disum;
int autost;
int ledA[10]={PNL_led_1, PNL_led_2,PNL_led_3,PNL_led_4,PNL_led_5,
              PNL_led_6,PNL_led_7,PNL_led_8,PNL_led_9,PNL_led_10};

int __stdcall WinMain (HINSTANCE hInstance, HINSTANCE hPrevInstance,
                      LPSTR lpszCmdLine, int nCmdShow)
{
    int badress, irq;
    if (InitCVIRTE (hInstance, 0, 0) == 0)
        return -1; /* out of memory */
    if ((pnl = LoadPanel (0, "leap.uir", PNL)) < 0)
        return -1;
    DisplayPanel (pnl);
    W_9112_Initial (0, &badress, &irq);
    W_9112_AD_Soft_Trig (0);
```

```

W_9112_AD_Set_Mode (0, AD_MODE_0);
W_9112_AD_Set_Range (0, AD_U_10_V);
W_9112_DO(0,0);
dodata=0;
disum=0;
SetCtrlAttribute (pnl, PNL_MTIMER, ATTR_ENABLED, 1);
SetCtrlVal(pnl, PNL_led11,1);
RunUserInterface ();
DiscardPanel (pnl);
return 0;
}

int CVICALLBACK PNLC (int panel, int event, void *callbackData,
    int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_GOT_FOCUS:
            break;
        case EVENT_LOST_FOCUS:
            break;
        case EVENT_CLOSE:
            QuitUserInterface (0);
            break;
    }
    return 0;
}

// Up & Down Control

```

```

int CVICALLBACK bsduc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int dust;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_bsdu, &dust);
            if (dust==1) {
                dodata=dodata|4;
                W_9112_DO(0,dodata); }
            else {
                dodata=dodata&251;
                W_9112_DO (0,dodata); }

            break;
    }
    return 0;
}

```

```

int CVICALLBACK tglgmc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int gmst;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_tglgm, &gmst);
            if (gmst==1) {
                SetCtrlVal(pnl, PNL_ledgm, 1);
            }
    }
}

```

```

        dodata=dodata|8;
        W_9112_DO (0,dodata); }
    else {
        SetCtrlVal(pnl, PNL_ledgm, 0);
        dodata=dodata&247;
        W_9112_DO (0,dodata); }
    break;
}
return 0;
}

int CVICALLBACK tglcc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int lcst;
    switch (event)
    {
    case EVENT_COMMIT:
        GetCtrlVal(pnl, PNL_tglcc, &lcst);
        if (lcst==1) {
            SetCtrlVal(pnl, PNL_leclc, 1);
            dodata=dodata|1;
            W_9112_DO (0,dodata); }
        else {
            SetCtrlVal(pnl, PNL_leclc, 0);
            dodata=dodata&254;
            W_9112_DO (0,dodata); }

        break;
    }
}

```

```

    return 0;
}

int CVICALLBACK tglccc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int lcst, ccst;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_tglcc, &lcst);
            GetCtrlVal(pnl, PNL_tglcc, &ccst);
            if (ccst==1 && lcst==1) {
                SetCtrlVal(pnl, PNL_ledcc, 1);
                dodata=dodata|2;
                W_9112_DO (0,dodata); }
            else {
                SetCtrlVal(pnl, PNL_ledcc, 0);
                dodata=dodata&253;
                W_9112_DO (0,dodata); }
            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK TIMERC (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int gmst;
    switch (event)

```

```

{
case EVENT_TIMER_TICK:

    dodata=dodata&247;
    W_9112_DO (0,dodata);
    Delay (0.5);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led18, 1);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_numG, 90);
    ComWrtByte (comport,255);
    ComWrtByte (comport,0);
    ComWrtByte (comport,90);
    dodata=dodata&253;
    W_9112_DO (0,dodata);
    Delay(.5);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led19, 1);
    dodata=dodata&254;
    W_9112_DO (0,dodata);
    dodata=0;
    W_9112_DO (0,dodata);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led12, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led13, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led14, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led15, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led16, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led17, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led18, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led19, 0);

    SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER, ATTR_ENABLED, 0);
    break;

```

```

    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdStartc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            if (port_open==1) {
                SetCtrlAttribute (pnl, PNL_MTIMER, ATTR_ENABLED, 1);
                dodata=dodata|4;
                W_9112_DO(0,dodata);
                dodata=dodata|8;
                W_9112_DO(0,dodata);
                SetCtrlVal(pnl, PNL_led12, 1);
                SetCtrlVal(pnl, PNL_ledgm, 1);
                autost=1;
            }
            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdStopc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)

```

```

{
case EVENT_COMMIT:
    W_9112_DO(0,0);
    dodata=0;
    disum=0;
    SetCtrlAttribute (pnl, PNL_MTIMER, ATTR_ENABLED, 1);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led12, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led13, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led14, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led15, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led16, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led17, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led18, 0);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led19, 0);
    break;
}
return 0;
}

```

```

int CVICALLBACK cmdQuitc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
    case EVENT_COMMIT:
        W_9112_DO(0,0);
        QuitUserInterface (0);
        break;
    }
    return 0;
}

```

```

}

int CVICALLBACK numGc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int rot;
    switch (event)
    {
        case EVENT_VAL_CHANGED:
            FlushInQ (comport);
            FlushOutQ (comport);

            GetCtrlVal(pnl, PNL_numG, &rot);
            ComWrtByte (comport,255);
            ComWrtByte (comport,0);
            ComWrtByte (comport,rot);
            break;
    }
    return 0;
}

```

```

int CVICALLBACK cmdPortc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(panel, PNL_rngCP,&comport);
            if (comport==1) OpenComConfig

```

```

        (comport, "com1", 4800, 0, 8, 1, 512, 512);
    else if (comport==2) OpenComConfig
        (comport, "com2", 4800, 0, 8, 1, 512, 512);
    else if (comport==3) OpenComConfig
        (comport, "com3", 4800, 0, 8, 1, 512, 512);
    else if (comport==4) OpenComConfig
        (comport, "com4", 4800, 0, 8, 1, 512, 512);

    port_open = 1;
    SetXMode (comport, 0);
    SetCTSMMode (comport, 0);
    SetComTime (comport, 0.01);
    Delay (.5);

    break;
}
return 0;
}

int CVICALLBACK MTIMERc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int trst, di[10], i, did, rot;
    double dtt;
    switch (event)
    {
        case EVENT_TIMER_TICK:
            disum=0;
            for (i=0;i<10;i++) {
                W_9112_DI_Channel(0,i,&did);
            }
        }
}

```

```

    di[i]=abs(did-1);
    SetCtrlVal(pnl, ledA[i], di[i]);
    disum=disum+di[i];}
GetCtrlVal(pnl,PNL_cbxTR, &trst);
if (autost==1 && disum>=1) {
    SetCtrlAttribute (pnl, PNL_MTIMER, ATTR_ENABLED, 0);
    dodata=dodata&247;
    W_9112_DO(0,dodata);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led13, 1);
}
if ((disum>=1)&&(trst==1 || autost==1)) {
    if (autost==1) SetCtrlVal(pnl, PNL_led14, 1);
    SetCtrlVal(pnl,PNL_cbxTR, 0);
    for (i=0;i<10;i++) {
        if (di[i]==1) {
            if (i<5) {
                rot=93-i*18;
                FlushInQ (comport);
                FlushOutQ (comport);

                SetCtrlVal(pnl, PNL_numG, rot);
                ComWrtByte (comport,255);
                ComWrtByte (comport,0);
                ComWrtByte (comport,rot);}
            else if (i==5) {
                FlushInQ (comport);
                FlushOutQ (comport);

                rot=175;
                SetCtrlVal(pnl, PNL_numG, rot);

```

```

        ComWrtByte (comport,255);
        ComWrtByte (comport,0);
        ComWrtByte (comport,rot);}
else if (i>5) {
    FlushInQ (comport);
    FlushOutQ (comport);
    rot=90+(10-i)*18;
    SetCtrlVal(pnl, PNL_numG, rot);
    ComWrtByte (comport,255);
    ComWrtByte (comport,0);
    ComWrtByte (comport,rot);}
    }
}
}
if (disum>=1 && autost==1) {
    Delay (.5);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led15, 1);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_leclc, 1);
    dodata=dodata|1;
    W_9112_DO (0,dodata);
    Delay (.5);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led16, 1);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_ledcc, 1);
    dodata=dodata|2;
    W_9112_DO (0,dodata);
    Delay (.5);
    dodata=dodata&251;
    W_9112_DO (0,dodata);

    dodata=dodata|8;

```

```

        W_9112_DO (0,dodata);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led17, 1);
        GetCtrlVal(pnl, PNL_numdt, &dt);
        SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER, ATTR_INTERVAL, dt);
        SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER, ATTR_ENABLED, 1);
    }

        break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdinitc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            SetCtrlVal(pnl, PNL_numG, 90);
            SetCtrlVal(pnl,PNL_cbxTR, 1);
            ComWrtByte (comport,255);
            ComWrtByte (comport,0);
            ComWrtByte (comport,90);
            break;
    }
    return 0;
}

```

2. 시작기 제어 프로그램

```
#include <windows.h>
#include <ansi_c.h>
#include <utility.h>
#include <rs232.h>
#include <cvirte.h>
#include <userint.h>
#include "leap.h"
#include "Dask.h"

static int pnl;
int comport, port_open;
int dodata;
int disum;
int autost;
int ledA[10]={PNL_led_1, PNL_led_2,PNL_led_3,PNL_led_4,PNL_led_5,
              PNL_led_6,PNL_led_7,PNL_led_8,PNL_led_9,PNL_led_10};
int cardID;
float oldss;

/////////DO #0 Lift Cylinder up(1), Down(0)
//#1 Cutting Cylinder on(1), off(0)
//#2 Up & Down up(1), Down(0)
//#3 Gripper Move Up(1), Down(0)
//#4 Gripper Rod on (1), off (0)
//#5 Drive on(1), off(0)
//#6 Direction forward(0), rear(1)
//#7 spare
//#8 Break On(0), Break off(1)
```

```

int __stdcall WinMain (HINSTANCE hInstance, HINSTANCE hPrevInstance,
LPSTR lpszCmdLine, int nCmdShow)
{
    int badress, irq;
    if (InitCVIRTE (hInstance, 0, 0) == 0)
        return -1;    /* out of memory */
    if ((pnl = LoadPanel (0, "leap.uir", PNL)) < 0)
        return -1;
    DisplayPanel (pnl);

    cardID = Register_Card(PCI_9112, 0);
    DO_WritePort(cardID, 0, 0);
    //AO_9112_Config(cardID, 0, 5.0);
    dodata=0;
    disum=0;
    SetCtrlAttribute (pnl, PNL_MTIMER, ATTR_ENABLED, 1);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led11,1);
    RunUserInterface ();
    DiscardPanel (pnl);
    return 0;
}

```

```

int CVICALLBACK PNLC (int panel, int event, void *callbackData,
int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_GOT_FOCUS:
            break;
    }
}

```

```

        case EVENT_LOST_FOCUS:
            break;
        case EVENT_CLOSE:
            Release_Card(cardID);
            QuitUserInterface (0);
            break;
    }
    return 0;
}

// Up & Down Control
int CVICALLBACK bsduc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int dust;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_bsdu, &dust);
            if (dust==1) {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 2, 1);
                //dodata=dodata|4;
                //W_9112_DO(0,dodata); }
            }
            else {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 2, 0);
            }
            // dodata=dodata&251;
            // W_9112_DO (0,dodata); }

```

```

                break;
            }
        return 0;
    }

int CVICALLBACK tglgmc (int panel, int control, int event,
                        void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int gmst;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_tglgm, &gmst);
            if (gmst==1) {
                SetCtrlVal(pnl, PNL_ledgm, 1);
                DO_WriteLine(cardID, 0, 3, 1);
            }
            //      dodata=dodata|8;
            //      W_9112_DO (0,dodata); }
            else {
                SetCtrlVal(pnl, PNL_ledgm, 0);
                DO_WriteLine(cardID, 0, 3, 0);
            }
            //      dodata=dodata&247;
            //      W_9112_DO (0,dodata); }
            break;
    }
    return 0;
}

```

```

int CVICALLBACK tglcc (int panel, int control, int event,
                      void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int lcst;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_tglcc, &lcst);
            if (lcst==1) {
                SetCtrlVal(pnl, PNL_leclc, 1);
                DO_WriteLine(cardID, 0, 0, 1);
            }
            // dodata=dodata|1;
            // W_9112_DO (0,dodata); }
            else {
                SetCtrlVal(pnl, PNL_leclc, 0);
                DO_WriteLine(cardID, 0, 0, 0);
            }
            // dodata=dodata&254;
            // W_9112_DO (0,dodata); }

            break;
    }
    return 0;
}

```

```

int CVICALLBACK tglccc (int panel, int control, int event,
                      void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{

```

```

int lcst, ccst;
switch (event)
{
    case EVENT_COMMIT:
        GetCtrlVal(pnl, PNL_tgllc, &lcst);
        GetCtrlVal(pnl, PNL_tglcc, &ccst);
        if (ccst==1 && lcst==1) {
            SetCtrlVal(pnl, PNL_ledcc, 1);
            DO_WriteLine(cardID, 0, 1, 1);
        }
        //    dodata=dodata|2;
        //    W_9112_DO (0,dodata); }
        else {
            SetCtrlVal(pnl, PNL_ledcc, 0);
            DO_WriteLine(cardID, 0, 1, 0);
        }
        //    dodata=dodata&253;
        //    W_9112_DO (0,dodata); }
        break;
    }
return 0;
}

```

```

int CVICALLBACK TIMERc (int panel, int control, int event,
                        void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int gmst;
    switch (event)
    {
        case EVENT_TIMER_TICK:

```

```

//dodata=dodata&247;
DO_WriteLine(cardID, 0, 3, 0);
//W_9112_DO (0,dodata);
Delay (0.5);
SetCtrlVal(pnl, PNL_led18, 1);
SetCtrlVal(pnl, PNL_numG, 135);
ComWrtByte (comport,255);
ComWrtByte (comport,0);
ComWrtByte (comport,135);
//dodata=dodata&253;
Delay(1.);
DO_WriteLine(cardID, 0, 1, 0);
//W_9112_DO (0,dodata);
Delay(1.);
SetCtrlVal(pnl, PNL_led19, 1);
//dodata=dodata&254;

DO_WriteLine(cardID, 0, 0, 0);

Delay (1.);
SetCtrlVal(pnl, PNL_led18, 1);
SetCtrlVal(pnl, PNL_numG, 90);
ComWrtByte (comport,255);
ComWrtByte (comport,0);
ComWrtByte (comport,90);

Delay(1.);
DO_WriteLine(cardID, 0, 4, 0);
SetCtrlVal(pnl, PNL_led21, 0);
//W_9112_DO (0,dodata);

```

```

        //dodata=0;
        DO_WritePort(cardID, 0, 0);
        //W_9112_DO (0,dodata);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led12, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led13, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led14, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led15, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led16, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led17, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led18, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led19, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led21, 0);

        SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER, ATTR_ENABLED, 0);
        break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdStartc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            if (port_open==1) {
                SetCtrlAttribute (pnl, PNL_MTIMER,
ATTR_ENABLED, 1);
                DO_WriteLine(cardID, 0, 4, 1);
            }
    }
}

```

```

        SetCtrlVal(pnl, PNL_led21, 1);

        DO_WriteLine(cardID, 0, 2, 1);
        DO_WriteLine(cardID, 0, 3, 1);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led12, 1);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_ledgm, 1);
        autost=1;
        oldss=0.;
    }
    break;
}
return 0;
}

int CVICALLBACK cmdStopc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            //W_9112_DO(0,0);
            DO_WritePort(cardID, 0, 0);
            dodata=0;
            disum=0;
            SetCtrlAttribute (pnl, PNL_MTIMER, ATTR_ENABLED,
1);

            SetCtrlVal(pnl, PNL_led12, 0);
            SetCtrlVal(pnl, PNL_led13, 0);
            SetCtrlVal(pnl, PNL_led14, 0);
            SetCtrlVal(pnl, PNL_led15, 0);

```

```

        SetCtrlVal(pnl, PNL_led16, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led17, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led18, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led19, 0);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led21, 0);
        break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdQuitc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            DO_WritePort(cardID, 0, 0);
            //W_9112_DO(0,0);
            Release_Card(cardID);
            QuitUserInterface (0);
            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK numGc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int rot;
    switch (event)

```

```

        {
        case EVENT_VAL_CHANGED:
            FlushInQ (comport);
            FlushOutQ (comport);

            GetCtrlVal(pnl, PNL_numG, &rot);
            ComWrtByte (comport,255);
            ComWrtByte (comport,0);
            ComWrtByte (comport,rot);
            break;
        }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdPortc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(panel, PNL_rngCP,&comport);
            if (comport==1) OpenComConfig (comport, "com1", 4800, 0,
8, 1, 512, 512);

            else if (comport==2) OpenComConfig (comport, "com2",
4800, 0, 8, 1, 512, 512);

            else if (comport==3) OpenComConfig (comport, "com3",
4800, 0, 8, 1, 512, 512);

            else if (comport==4) OpenComConfig (comport, "com4",
4800, 0, 8, 1, 512, 512);
    }
}

```

```

port_open = 1;
SetXMode (comport, 0);
SetCTSMMode (comport, 0);
                SetComTime (comport, 0.01);
                Delay (.5);

                break;
        }
    return 0;
}

int CVICALLBACK MTIMERc (int panel, int control, int event,
                        void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int trst, di[10], i, rot;
    double dtt;
    U32 did;
    int err;
    switch (event)
    {
        case EVENT_TIMER_TICK:
            disum=0;
            //for (i=0;i<10;i++) {
                DI_ReadPort(cardID, 0, &did);
                di[0]=(did&1) ? 0:1;
                di[1]=(did&2) ? 0:1;
                di[2]=(did&4) ? 0:1;
                di[3]=(did&8) ? 0:1;
                di[4]=(did&16) ? 0:1;
            }
    }
}

```

```

        di[5]=(did&32) ? 0:1;
        di[6]=(did&64) ? 0:1;
        di[7]=(did&128) ? 0:1;
        di[8]=(did&256) ? 0:1;
        di[9]=(did&512) ? 0:1;
//      di[0]=abs((did>>0)&1-1);
//      di[1]=abs((did>>1)&1-1);
//      di[2]=abs((did>>2)&1-1);
//      di[3]=abs((did>>3)&1-1);
//      di[4]=abs((did>>4)&1-1);
//      di[5]=abs((did>>5)&1-1);
//      di[6]=abs((did>>6)&1-1);
//      di[7]=abs((did>>7)&1-1);
//      di[8]=abs((did>>8)&1-1);
//      di[9]=abs((did>>9)&1-1);
//      err=DI_ReadLine(cardID, 0, i, &did);
//      W_9112_DI_Channel(0,i,&did);
//      di[i]=(did==1)? 0:1;
//      //di[i]=abs(did-1);
oldss=oldss+0.1;
for (i=0;i<10;i++) {
        SetCtrlVal(pnl, ledA[i], di[i]);
        disum=disum+di[i];
}
GetCtrlVal(pnl,PNL_cbxTR, &trst);
if (autost==1 && disum>=1) {
        SetCtrlAttribute (pnl, PNL_MTIMER,
ATTR_ENABLED, 0);

        //dodata=dodata&247;
        DO_WriteLine(cardID, 0, 3, 0);

```

```

//W_9112_DO(0,dodata);
SetCtrlVal(pnl, PNL_led13, 1);
}
if ((disum>=1)&&(trst==1 || autost==1)) {
    if (autost==1) SetCtrlVal(pnl, PNL_led14, 1);
    SetCtrlVal(pnl,PNL_cbxTR, 0);
    for (i=0;i<10;i++) {
        if (di[i]==1) {
            if (i<5) {
                rot=93-i*18;
                FlushInQ (comport);
                FlushOutQ (comport);

                SetCtrlVal(pnl,
PNL_numG, rot);

                ComWrtByte
(comport,255);

                ComWrtByte (comport,0);
                ComWrtByte
(comport,rot);}

            else if (i==5) {
                FlushInQ (comport);
                FlushOutQ (comport);

                rot=175;
                SetCtrlVal(pnl,
PNL_numG, rot);

                ComWrtByte
(comport,255);

                ComWrtByte (comport,0);

```

```

ComWrtByte
(comport,rot);}

else if (i>5) {
    FlushInQ (comport);
    FlushOutQ (comport);
    rot=90+(10-i)*18;
    SetCtrlVal(pnl,

PNL_numG, rot);

ComWrtByte

(comport,255);

ComWrtByte (comport,0);
ComWrtByte

(comport,rot);}

    }
}

if (disum>=1 && autost==1) {
    Delay (.5);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led15, 1);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_leclc, 1);
    //dodata=dodata|1;
    DO_WriteLine(cardID, 0, 0, 1);
    //W_9112_DO (0,dodata);
    Delay (.5);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_led16, 1);
    SetCtrlVal(pnl, PNL_ledcc, 1);
    //dodata=dodata|2;
    DO_WriteLine(cardID, 0, 1, 1);
    //W_9112_DO (0,dodata);
    Delay (.5);

```

```

        //dodata=dodata&251;
        DO_WriteLine(cardID, 0, 2, 0);
        //W_9112_DO (0,dodata);
        //dodata=dodata|8;
        DO_WriteLine(cardID, 0, 3, 1);
        //W_9112_DO (0,dodata);
        SetCtrlVal(pnl, PNL_led17, 1);

        //DO_WriteLine(cardID, 0, 4, 0);
        //SetCtrlVal(pnl, PNL_led21, 0);
        GetCtrlVal(pnl, PNL_numdt, &dt);
        //SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER,
ATTR_INTERVAL, dt);
        SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER,
ATTR_INTERVAL, oldss);
        SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER,
ATTR_ENABLED, 1);
    }

        break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdinitc (int panel, int control, int event,
        void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)

```

```

    {
    case EVENT_COMMIT:
        SetCtrlVal(pnl, PNL_numG, 90);
        SetCtrlVal(pnl,PNL_cbxTR, 1);
        ComWrtByte (comport,255);
        ComWrtByte (comport,0);
        ComWrtByte (comport,90);
        break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK bswBc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int bb;
    switch (event)
    {
    case EVENT_COMMIT:
        GetCtrlVal(pnl, PNL_bswB, &bb);
        if (bb==1) {
            DO_WriteLine(cardID, 0, 8, 0);
        }
        else {
            DO_WriteLine(cardID, 0, 8, 1);
        }
        break;
    }
    return 0;
}

```

```

int CVICALLBACK bswDc (int panel, int control, int event,
                      void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int dd;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_bswD, &dd);
            if (dd==1) {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 5, 1);
            }
            else {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 5, 0);
            }
            break;
    }
    return 0;
}

```

```

int CVICALLBACK bswDRc (int panel, int control, int event,
                      void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int dr;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_bswDR, &dr);
            if (dr==1) {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 6, 0);
            }
    }
}

```

```

        }
        else {
            DO_WriteLine(cardID, 0, 6, 1);
        }
        break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK nnbHc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    float nnbh, las, ras;
    F64 lasv, rasv;
    switch (event)
    {
        case EVENT_VAL_CHANGED:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_nnbH, &nnbh);
            GetCtrlVal(pnl, PNL_nsILAS, &las);
            GetCtrlVal(pnl, PNL_nsIRAS, &ras);

            if (nnbh<0) {
                las=las/100.*(100.+nnbh);
                //SetCtrlVal(pnl, PNL_nsILAS,&las);
            }
            else if (nnbh>0) {
                ras=ras/100.*(100.-nnbh);
                //SetCtrlVal(pnl, PNL_nsIRAS,&ras);
            }
            lasv=5./60.*las;

```

```

        rasv=5./60.*ras;

        AO_VWriteChannel(cardID, 0, lasv);
        AO_VWriteChannel(cardID, 1, rasv);

        break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK LASC (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_VAL_CHANGED:
            nmbHc (pnl, PNL_nmbH, EVENT_VAL_CHANGED,0,0,0);

            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK RASC (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_VAL_CHANGED:

```

```

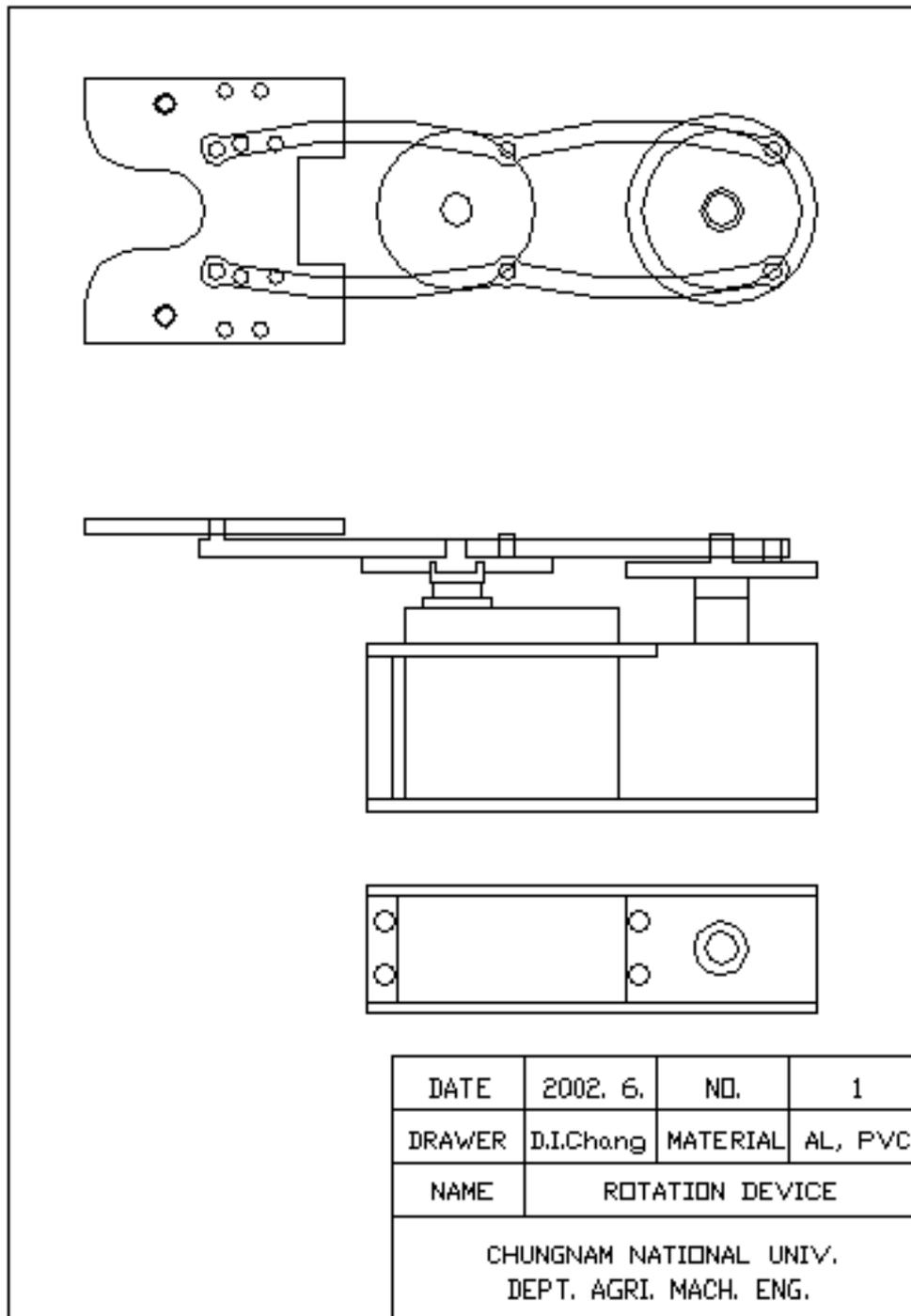
        nnbHc (pnl, PNL_nnbH, EVENT_VAL_CHANGED,0,0,0);

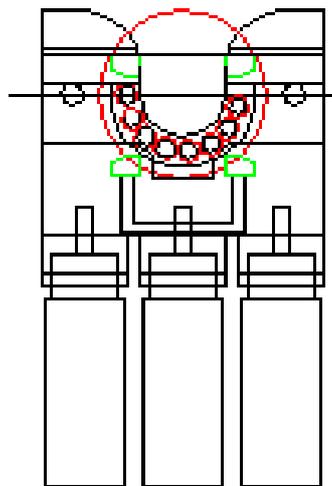
        break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK ggrc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int dr;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_ggr, &dr);
            SetCtrlVal(pnl, PNL_ledggr, dr);
            if (dr==1) {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 4, 1);
            }
            else {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 4, 0);
            }
            break;
    }
    return 0;
}

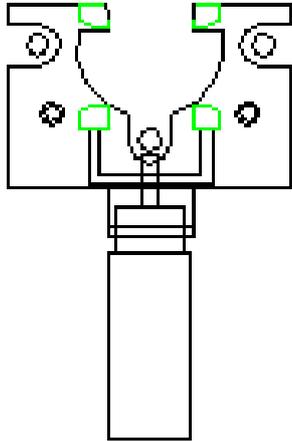
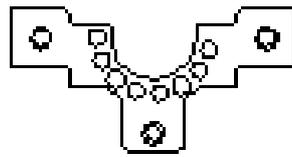
```

3. 그리퍼 시스템 도면

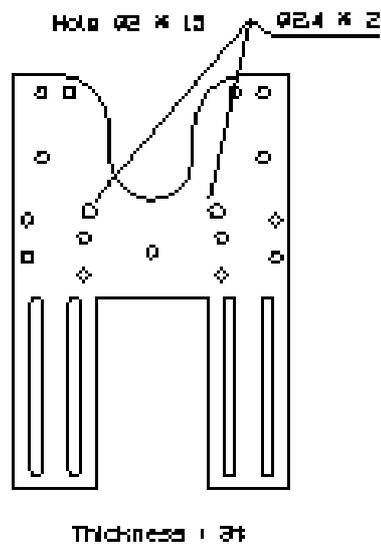




DATE	2002. 6.	NO.	2
DRAWER	DIChang	MATERIAL	AL
NAME	PLANE FIGURE		
CHUNGNAH NATIONAL UNIV. DEPT. AGRI. MACH. ENG.			



DATE	2002. 6.	NO.	3
DRAWER	Li.Chang	MATERIAL	AL
NAME	SENSOR AND CUTTER PLANE		
CHUNGHAN NATIONAL UNIV. DEPT. AGRI. MACH. ENG.			



DATE	2002. 6.	NO.	4
DRAWER	D.J.Chang	MATERIAL	AL
NAME	MAIN PLANE		
CHUNGNAN NATIONAL UNIV. DEPT. AGRI. MACH. ENG.			

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.