

## 식용 들깻잎 수확 자동화 시스템의 그립퍼 및 절단 커터 개발

### Development of a Gripper and a Cutter for the Automatic Harvest of Green Perilla Leaves

송영호      장동일      방승훈      조한성  
정회원      정회원      정회원      정회원  
Y. H. Song D. I. Chang S. H. Bahng H. S. Cho

#### ABSTRACT

The objectives of this study were to develop a harvesting gripper for perilla leaves and test its performance, which was a partial work of the automated perilla leaves harvesting system development. The results of this study could be summarized as the followings:

The shear forces for harvesting the perilla were measured. The measured results showed that the average shear force required was 12.13N for cutting the petioles attached to the perilla stalks, and the maximum of 17.42N. The inner diameter of air cylinder used was 6mm and the air pressure was maintained as 0.7Mpa during the tests. The time required for cutting perilla leaves could be adjusted by the control program and cutting operation could be done within 1 - 10 seconds. The performance tests were conducted to harvest the perilla leaves by the gripper developed. The average success rates of cutting were 72.2% for the first test, 78.5% for the second, and 74.2% for the last. The perilla leaves were not damaged by the gripper. The whole system operation could be finished within three seconds except the delay time for dropping harvested leaves.

**Keywords :** Green perilla leaf, Gripper, Cutter, Harvesting System.

#### 1. 서 론

들깻이는 한국, 일본, 중국 등에서 신선엽채소, 절임, 약재, 공업용 등 다양한 쓰임새를 갖고 있을 뿐 아니라 안전농산물에 대한 소비자의 관심증가로 수요량이 점점 증가하고 있으며, 들깻잎 또한 식생활의 변화로 인한 육류와 더불어 수요량이 급격히 증가하여 기계화에 의한 대량생산은 충분히 경쟁력을 갖춘 작목으로 발전할 수 있다고 사료된다.

들깻잎 수확 작업 및 포장 작업은 모두 수작업으로 이루어지며, 현재 기계화 작업은 없는 실정이다. 농촌진흥청(2002)에 따르면 2001년 시설 들깻잎의 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 약 34%가 들깻잎 수확과 포장작업에서 지출되고 있다. 따라서 실제 농가의 순수 수입은 조수입의 약 30%정도 밖에 되지 않는다. 들깻잎은 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 들깻잎 농가의 소득율이 30%이상 향상될 것으로 전망된다. 이러한 수확기에서 가장 중요한 부분이 그립퍼 시

---

This study was supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea and the article was submitted for publication in February 2003, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2003.

The authors are Young Hoo Song, Research Associate, Dong Il Chang, Professor, Seung Hoon Bahng, Research Associate, and Han Sung Cho, Research Associate, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University. The corresponding author is D. I. Chang, Professor, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University, Deajeon 305-764, Korea. E-mail : <dichang@cuvic.cnu.ac.kr>

스템이다. 대상 작물인 들깨와 직접적으로 닿고 작업하는 부분이기 때문에 적절한 그리퍼를 설계하여야 한다. 유사한 그리퍼에 관한 연구로서 국내의 경우 류 등(1997)은 다수의 그리퍼를 이용하여 모종을 이식할 수 있게 제작하였고 구조가 비교적 간단하며 다습한 환경에서 사용하도록 내부식성을 갖도록 하였다. 그리퍼의 이송을 위해 스테핑 모터와 공압을 사용하였으며, 제어는 컴퓨터를 이용하였다. 또한 이 등(1998)은 대상작물에 손상을 주지 않기 위해 작물의 물성을 연구하여 그리퍼를 설계 하였으며 조 등(2000)은 광센서와 기계시각, 공압을 이용하는 그리퍼로 컷팅과 이송을 하도록 제작한 바 있다. 외국의 경우 Hiroaki 등(1990)은 DC서보모터로 구동하는 펀셋타입의 그리퍼 평거를 개발하였다.

본 연구는 식용 들깻잎 수확시스템 개발을 위한 연구의 일부로 그리퍼 시스템을 개발하는 것을 주목적으로 하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

- 1) 들깻잎 수확장치 설계를 위한 들깻잎자루의 전 단력을 측정한다.
- 2) 들깻잎 수확작업을 수행할 수 있는 그리퍼 시스템을 개발한다.
- 3) 개발된 그리퍼 시스템의 성능을 평가한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

본 연구에 사용된 공시재료는 현재 잎들깨 생산농가에서 가장 많이 재배되는 '잎들깨 1호' 품종으로서 잎 수확 전용 작물이다. 생장기간이 45일 들깨와 60일 된 들깨를 대상으로 하였으며, 그 작물의 크기는 Table 1과 같다.

공시재료는 Fig. 1과 같이 포트에 심어 온실에서 재배한 것이며, 실험을 위하여 사전에 결가지를 모두 제거하여 실제 농장에서 재배되는 환경의 작물과 비슷한 조건으로 재배된 것이다.

Table 1 Features of the tested green perilla

Growth period [days]	45	60
Species	Ibdeulkke 1-ho	Ibdeulkke 1-ho
Ave. height [mm]	416	584
Ave. width [mm]	189	212
Ave. num. of leaves	9	11



Fig. 1 The green perilla.

들깻잎 수확 시스템의 성능평기를 위하여 들깻잎의 부착형상과 같이 측정되어야 할 항목을 크게 3가지로 분류하였다.

- 1) 들깻잎자루의 곧은 정도에 따른 분류
- 2) 들깻잎자루와 들깨줄기가 이루는 각도에 따른 분류
- 3) 들깻잎자루와 그리퍼 암과의 각도에 따른 분류

첫째, 들깻잎자루의 곧은 정도에 따른 분류는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 들깻잎자루의 길이 a와 들깻잎자루가 훈 높이 b를 측정하여 그 비율을 기준으로 분류하였다.

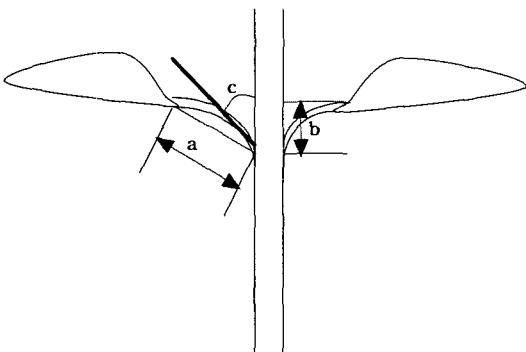


Fig. 2 Geometric factors to analyze the attachment shape of petioles.

높이(b)/길이(a) 비율을 기준으로 0.2 이하인 것을 곧은 형상, 0.2 ~ 0.5인 것을 훈 형상, 0.5이상인 것을 처진 형상으로 분류 정의하였다. 공시재료를 대상으로 조사한 결과 전체 들깻잎 중에서 곧은 형상은 76%, 훈 형상은 13%, 처진 형상은 11%의 분포를 보였다.

둘째, 들깻잎자루와 들깨줄기가 이루는 각도에 따른 분류는 Fig. 2와 같이 잎자루와 줄기 사이의 각도  $c$ 를 각도기로 측정하여 이를 반올림하여  $10^\circ$  간격으로 분류하였다.

들깻잎은  $40^\circ \sim 90^\circ$  사이에 모두 분포하였으며,  $60^\circ \sim 70^\circ$  사이에 가장 많이 분포하였으며,  $80^\circ$  이상의 경우는 잎들의 형상이 온전하지 못한 것들이 대부분으로 생육부진 또는 병충해로 인한 것으로 사료된다.

셋째, 들깻잎자루와 그리퍼 암과의 각도에 따른 분류는 현재 개발된 시스템이 회전식이어서 들깻잎자루의 방향 계측성공률과 컷팅성공율을 측정하기 위하여 분류하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 각도  $d$ 를 측정하여  $-90^\circ \sim +90^\circ$  까지로 10등분하여  $18^\circ$ 씩 분류하였다.

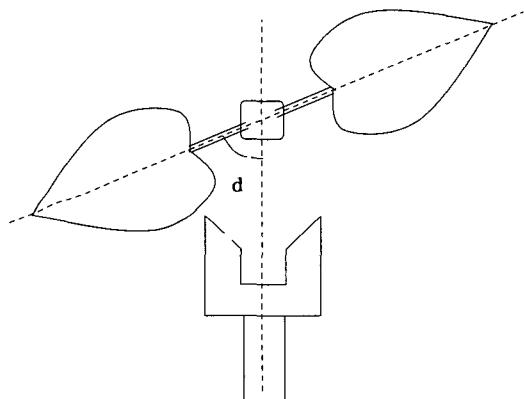


Fig. 3 Angle between petioles and the gripper arm.

$-90^\circ$ 를 시작으로 하여  $18^\circ$  간격으로 배치되어 있는 광센서를 이용하여 센서의 감지값을 기준으로 계측하였다. 본 계측값은 프로그램의 메인화면에 표시되도록 하였다.  $-90^\circ$ 와  $+90^\circ$ 는 같은 값으로 처리하였다. 공시재료는  $-90^\circ \sim +90^\circ$  사이에서 거의 균등하게 분포되어 있었다.

#### 나. 들깻잎자루 전단력 측정장치

측정장치는 2000년 ASAE Standard의 S549를 참고하여 UTM용 지그를 설계 및 제작하였다. 본 시스템은 Fig. 4와 같이 블스크류와 서보모터를 구동장치로 하여 하단 로드셀에서 응력을 계측하는 장치이며, 그의 사양은 Table 2와 같다. 제작한 지그의 도면은 Fig. 5와 같다.

Table 2 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. : 5,000 rpm
		Stroke	200 mm
		Speed	5 mm/min

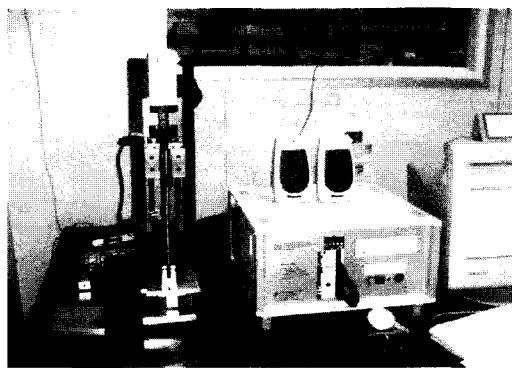


Fig. 4 The picture of shear-force measurement jig installed to UTM.

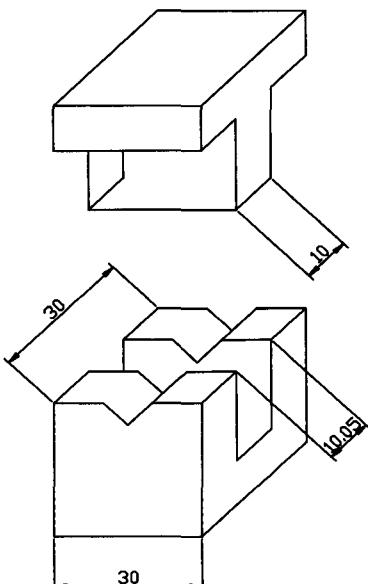


Fig. 5 Drawing of UTM jig for shear force test.

#### 다. 그리퍼 성능실험장치 구성

식용 들깻잎 수확 시스템의 하드웨어는 Fig. 6과 같이 구성되었으며, 시스템은 그리퍼 및 구동장치, 제어상자(Control Box), 제어용 PC 등 크게 세 부분으로 나눌 수 있다.



Fig. 6 The picture of an experimental system of gripper device.

직접 들깻잎을 채취하는 그리퍼 부분은 그리퍼 내의 커터(Cutter)를 장착하였으며, 커터의 구동을 위하여 공압실린더(NDA6X15, Koganei)를 사용하였다. 공압실린더는 공기압축기(UD20-30, United)와 솔레노이드 밸브에 의하여 구동되도록 하였다. 솔레노이드 밸브는 제어상자에 장착되어 있으며, 공기압축기는 부피가 큰 관계로 장치의 외부에 따로 설치하였다. 또한 들깻잎자루의 위치와 방향을 감지하기 위하여 광학섬유센서(FD-320-05, Autonics)를 사용하였으며, 그리퍼의 상단부위에 광학섬유의 감지부를 부착하였다. 그리퍼 상하방향의 운동을 위하여 볼스크류(D.AS-DC-G24-2, Festo)와 DC감속모터(D.ER-KSP-250, Festo)를 이용하였다. Fig. 7은 그리퍼 장치의 3차원 설계도면이다.

그리퍼의 제어를 위하여 Pentium-III 600MHz의 CPU를 장착한 데스크탑 컴퓨터와 A/D 보드인 ADLINK사의 PCI-9112를 사용하였다. 또한 컴퓨터와 그리퍼 사이에서 통신과 제어를 위하여 제어상자를 제작하였다. 제어상자 내에는 공압실린더의 제어를 위한 솔레노이드 밸브, 광학섬유센서의 제어부와 터미널보드, 그리고 이들의 구동을 위한 전력공급장치(GP-305, LG)가 장착되었다. Fig. 8은 제어상자의 모습이다.

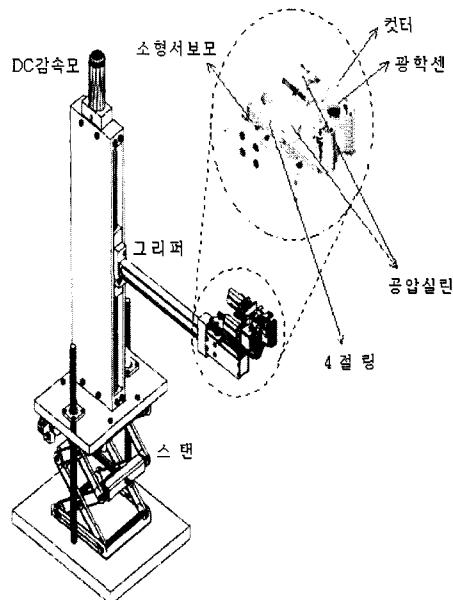


Fig. 7 Drawing of gripper device.

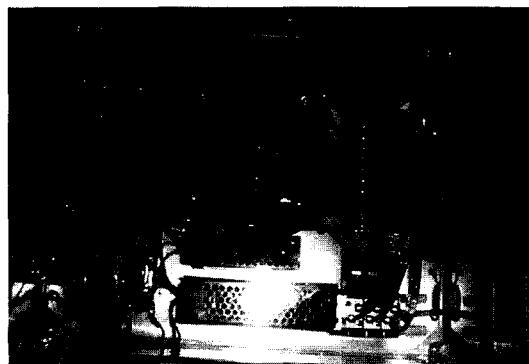


Fig. 8 Control box for data communication between control computer and gripper.

#### 라. 그리퍼의 미캐니즘

그리퍼는 류 등(1999)이 연구한 그리퍼를 응용한 것으로 공압실린더에 의하여 작동된다. 공압실린더는 총 세 개가 사용되었으며, 이 중 두 개의 실린더는 그리퍼 내의 커터를 상하 위치를 조절하기 위하여 사용되었으며, 나머지 한 개는 커터의 구동을 위하여 사용되었다.

그리퍼는 총 3장의 알루미늄 판으로 제작되었으며, 가장 윗판은 그리퍼가 들깻잎의 위치와 방향을 판단할 수 있도록 광학섬유센서(Fiber optic sensor)를 장착할 수 있게 설계하였다.

두 번째 가운데판은 들깻잎의 절단과 절단된 잎의 고정을 위하여 커터를 설치하였다. 이 판은 그리퍼의 움직임에 방해되거나 작품에 손상을 가하지 않게 하기 위하여 평상시에는 바닥 면에 내려가 있다가 절단 시에만 올라오도록 설계하였다. 커터를 상승시키기 위하여 사용된 두 개의 실린더는 구동방향과 종동방향을 직각으로 변환시키기 위하여 끝부분에 30° 각도의 슬라이드 경사판을 사용하였다. Fig. 9는 제작된 그리퍼의 모습이다.

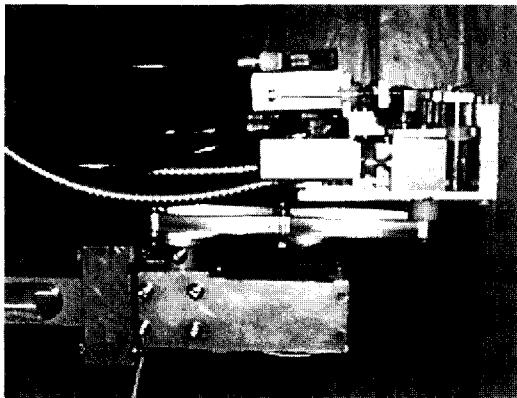


Fig. 9 The figure of gripper body developed.

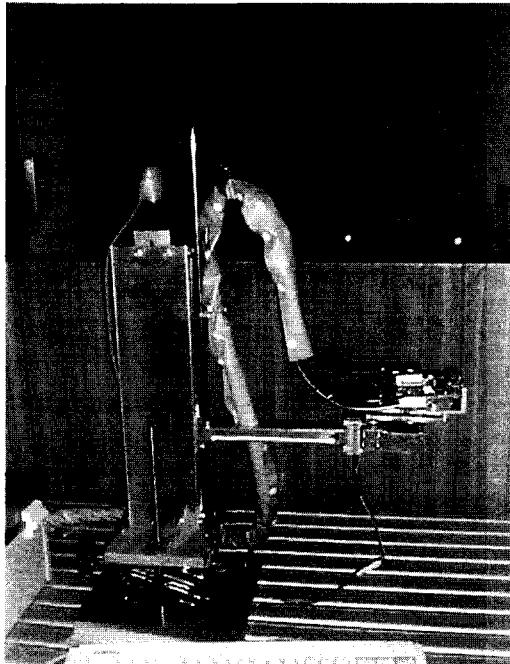


Fig. 10 Gripper manufactured for performance test.

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

Fig. 10은 그리퍼를 부착한 수확 시스템으로서 그리퍼의 크기는 가로, 세로, 높이가 100mm×50mm×50mm이고 그리퍼 암의 길이는 100mm이다. 공시재료를 분석한 결과 60일생의 들깨 평균 신장은 584mm로 채취할 잎의 분포는 포트의 최하점에서 300~550mm 범위 내에 모두 분포하고 있었다. 따라서 그리퍼의 이동범위는 상하 500mm로 하고 포트의 높이에 따라 축의 높이를 조정하기 위하여 보조 장치로 스텐드의 높이를 0~300mm가 조정 가능하도록 설계하였다.

#### 마. 그리퍼 시스템 구동 알고리즘 및 소프트웨어

들깻잎 수확 시스템을 구동하기 위하여 Fig. 12와 같은 알고리즘을 개발하였다. 본 시스템은 크게 감지, 수확, 복귀로 구성하였고, 감지단계에서는 감지가 실패하여도 시스템의 무한 작동을 방지하기 위하여 프로그램 내에 최대 상승 높이를 지정하였으며, 수확 단계에서는 그리퍼의 회전과 커터의 움직임을 제어하도록 하였다. 또한 복귀 단계에서는 수확물의 절단 유무를 정확히 알아볼 수 있도록 그리퍼가 일정시간 동안 수확물을 부착하고 하강하도록 개발하였다.

들깻잎 수확 시스템을 위한 프로그램은 National Instrument사의 LabWindow/CVI 5.5 언어로 개발하였으며, 프로그램의 주 화면은 Fig. 11과 같다. 수확시

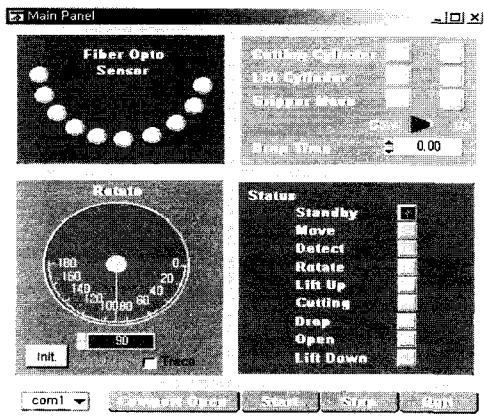


Fig. 11 Main display of controlling program.

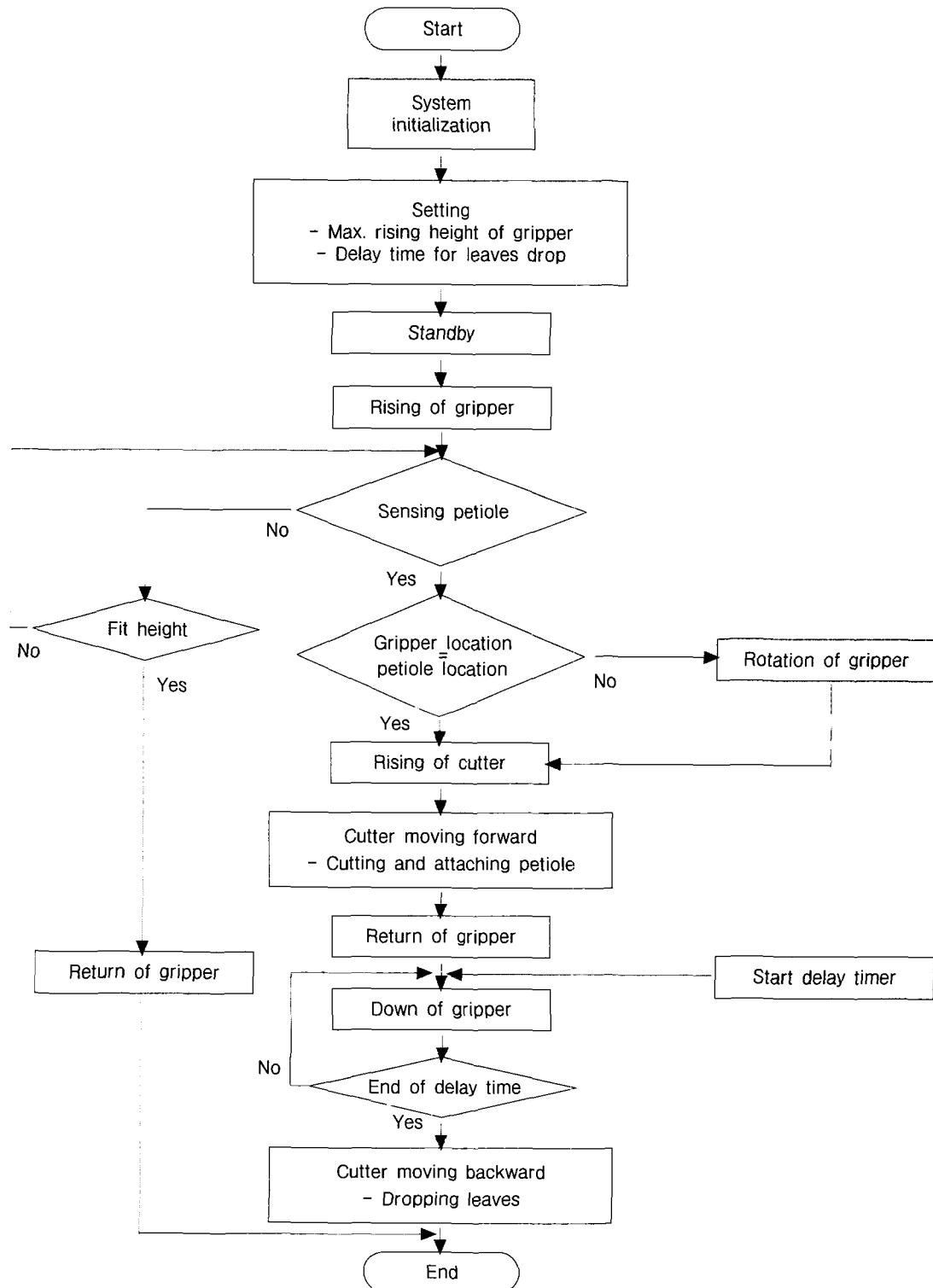


Fig. 12 Flow chart of harvesting systems for the green perilla leaves.

스템의 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 들깻잎의 감지된 위치를 주 화면에 표시하고, 그리퍼의 회전 각도를 계산하여 표시하도록 프로그래밍 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 전단력 측정실험

본 실험에서는 앞서 소개한 장치를 가지고 들깻잎 끝단에서 5mm와 15mm 되는 두 지점의 전단력을 측정하여 그리퍼 내에서 커터의 소요전단력을 계산하였고, 1회당 20장의 잎을 가지고 총 5회에 걸쳐 실험하였다.

실험결과는 다음 Table 3과 같으며, 잎자루의 직경은 2.05mm ~ 3.65mm이내에 모두 분포하였으며, 평균 직경은 2.78mm이었다. 또한 들깻잎 줄기의 전단력은 7.13N ~ 17.42N 이내에서 나타났으며, 평균 전단력은 12.13N으로 나타났다.

#### 나. 그리퍼 설계

전단력 측정실험결과 본 실린더로 그리퍼의 커터를 구동하여 들깻잎의 잎자루를 전단하기 위해서는

Table 3 Results of shear force test on the petiole of the green perilla

Item Times	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

최대 20N의 힘을 필요로 하였으며, 실린더 내부의 내경이 6mm이므로 공기압은 최대 0.7 MPa이 필요하였다. 이에 본 그리퍼 시스템에서는 0.8 MPa의 Air compressor와 레귤레이터(Regulator)를 이용하여 압력을 0.70 MPa로 고정하였다.

연구에서 사용된 공시재료를 분석한 결과 60일생의 들깨 평균 신장은 584mm로 채취할 잎의 분포는 들깨의 최하점에서 200 ~ 450mm 범위 내에 모두 분포하고 있었다. 따라서 그리퍼의 이동범위는 300mm로 하고 포트의 높이에 따라 축의 높이를 조정하기 위하여 보조장치로 스탠드의 높이를 0 ~ 250mm로 조정 가능하도록 설계하였다.

#### 다. 그리퍼의 작동 성능 평가

그리퍼의 작동순서는 1.그리퍼 상승 및 들깻잎자루 감지, 2.들깻잎자루와 커터 날이 수직이 되도록 그리퍼 회전, 3.커터 상승, 4.컷팅, 5.그리퍼 원위치 복귀, 6.수확물 나하의 순으로 진행되었다. 성능실험 모습은 Fig. 13과 같다. 실험시 실제 수확과 같은 환경을 만들기 위하여 떡잎은 모두 제거하고 가장 아랫마디

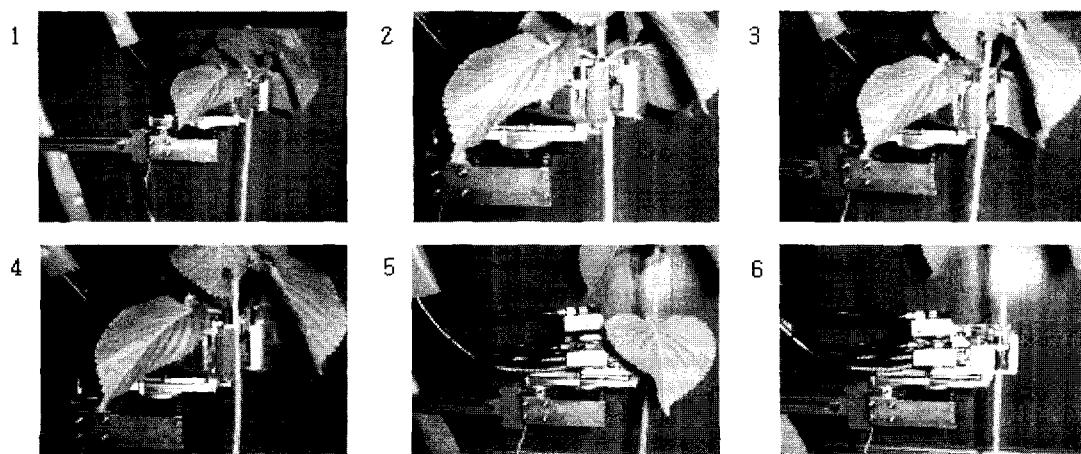


Fig. 13 Operating procedures of gripper manufactured for performance test.

의 잎과 두 번째 마디의 잎을 각각 두 장씩 절단하여 1주(株)당 총 4개의 잎을 수확하였다. 실험은 절단의 정확성과 들깨 줄기의 상처 유무를 중심으로 조사하였으며, 두 장의 잎이 모두 안전하게 절단된 경우만을 성공률에 포함하였다.

제작된 그리퍼 시스템은 재배기간이 45일인 들깻잎과 60일인 들깻잎을 가지고 성능 실험을 실시하였으며, 그 결과는 다음의 Table 4와 같다.

**Table 4 First test result and success rates of harvesting the green perilla leaves whose growth periods are different**

Growth [day]	45	60
No. of test	243	247
No. of the succeeded	173	181
No. of the failed	70	66
Success rate [%]	71.2	73.3

제작된 들깻잎 수확용 그리퍼 시스템은 위와 같이 실험결과 모두 70% 이상의 성공률을 보였고 평균 72.2%의 성공률을 보였다. 후의 2차 실험시 평균 79.5%, 3차 실험시 평균 74.2%로 나타났다. 잎자루와 들깨대에 그리퍼 및 악지압력으로 인한 손상은 없었고 시스템의 작동시간은 수확물 낙하를 위한 지연 시간을 제외하고 모두 3초 이내에서 작업이 완료되었다.

또한 수확을 위한 최적 상승위치는 광학섬유센서와 잎자루의 거리가 5mm일 때이며, 잎자루와 그리퍼가 직각이 되도록 회전하였을 때 최적의 수확 위치가 되었다. 광학섬유센서를 사용한 결과 들깻잎의 위치와 방향을 탐지하는데 95% 이상의 높은 성능을 보였다. 센서의 탐지 에러의 경우는 손상된 작물이나 들깻잎자루가 센서 범위 밖에 위치하였을 때 발생하였다. 이것은 향후 센서의 교체나 추가로 해결될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 들깻잎 수확 자동화시스템 개발 연구의 일부로서 들깻잎 수확용 그리퍼를 개발하고 그

성능을 평가하기 위한 목적으로 수행되었으며, 그 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) 들깻잎의 수확을 위하여 전단력 측정을 한 결과 들깨의 줄기에 부착된 잎자루를 절단하기 위하여서는 평균 12.13N의 힘이 필요하며, 최대값은 17.42N으로 측정되었다. 본 연구에서 사용된 공압 실린더는 내경 6mm이며, 공기압은 0.7Mpa로 고정하였다.

2) 수확작업에 소요되는 시간은 그리퍼 제어 프로그램에 의해 조절할 수 있으며, 그 수확작업은 1~10초 사이에서 이루어질 수 있었다.

3) 개발된 그리퍼에 의하여 들깻잎 수확 실험을 한 결과 채취 평균성공률이 1차 실험시 72.2%, 2차 실험시 79.5%, 3차 실험시 74.2%로 나타났다.

4) 잎자루와 들깨대에 그리퍼 및 악지압력으로 인한 손상은 없었고 시스템의 작동시간은 수확물 낙하를 위한 지연 시간을 제외하고 모두 3초 이내에서 작업이 완료되었다.

#### 참 고 문 헌

- Cho S. I., S. J. Chang, K. H. Ryu and K. C. Nam. 2000. Development of a 2-DOF Robot System for Harvesting a Lettuce. Journal of the KSAM 25(1): 63-70. (In Korean)
- Hiroaki, W. and A. Kinase 1990. Robot for plant tissue culture. Robot 64:74-79. (In Japanese)
- Lee H. D., K. D. Kim and C. S. Kim. 1998. Development of a Transplanting Robot System for Tissue Culture Plants(I) - Soft Gripper -. Journal of the KS AM 23(5):491-498. (In Korean)
- Ryu K. H., G. Y. Kim, H. H. Lee and J. I. Park. 1997. Development of a Robotic Transplanter for Bedding Plants(II) - Transplanting Gripper -. Journal of the KSAM 22(3):325-332. (In Korean)
- Ryu K. H., G. Y. Kim, J. S. Han and C. S. Ryu. 1999. Development of a Robotic Transplanter for Bedding Plants Using Multiple Grippers. Proceedings of the KSAM 1999 Winter Conference 4(1):308-314. (In Korean)
- 농촌진흥청. 2002. 농업 경영개선을 위한 2001 농축산물소득자료집. 농촌진흥청.