

식용 들깨잎 수확 자동화 시스템 개발(I)

- 그리퍼 및 절단 컷터 개발

Development of Automatic Harvesting Systems for the Green Perilla Leaves

- Development of a Gripper and Cutter -

송 영 호* 장 동 일* 방 승 훈* 정 쌍 양* 한 원 석*
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
Y. H. Song D. I. Chang S. H. Bahng S. Y. Zheng W. S. Han

1. 서 론

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

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. 97년 시설 들깨잎의 경우 10a, 1기작의 경우 연간 조수입이 약 1,070만원중 인건비를 제외한 생산비용이 약 208만원이고 수확작업에 관련된 고용인건비가 82만원(252.4시간)정도로 생산비용의 약 30%정도를 차지하고 있다. 또 고용인건비 외에 자가인건비가 400만원(1,007시간)정도로 조수입의 약37%가 잎의 수확과 포장작업에서 지출되고 있다. 따라서 실제 농가의 순수 수입은 조수입의 약 40% 정도 밖에 되지 않는다(농촌진흥청, 1999).

들깨잎은 현재 국내수요 및 수출량이 점점 증가하고 있는 실정으로 육류 소비와 더불어 수요가 증가 될 것으로 전망된다. 또한 일본의 자소의 대체식물이 된다면 수출은 더욱 증가할 것이다. 생산비의 절감으로 단가를 하락시킨다면 잎채소 및 새로운 식품으로서 수요가 크게 증가할 것으로 전망된다.

본 연구는 식용 들깨잎 채취를 위한 그리퍼 시스템을 개발하는 것을 주목적으로 하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

- 1) 들깨잎 채취장치 설계를 위한 들깨잎자루의 전단력을 측정한다.
- 2) 들깨잎 채취 작업을 수행할 수 있는 그리퍼 시스템을 개발한다.
- 3) 개발된 그리퍼 시스템의 성능을 평가한다.

* 충남대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에 사용된 공시재료는 '잎들깨 1호'로 현재 잎들깨 생산 농가에서 가장 많이 재배되고 있는 품종으로 잎 채취 전용 작물이다. 생장기간이 45일 들깨와 60일 된 들깨를 대상으로 하였으며, 그 작물의 크기는 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Features of the tested green perilla

Growth period [days]	45	60
Species	Ibdeulkke 1-ho	Ibdeulkke 1-ho
Average height [mm]	416	584
Average width [mm]	189	212
Average numbers of leaves	9.2	11.3

본 연구에서 사용된 공시재료는 포트에 심어 온실에서 재배한 것이며, 실험을 위하여 사전에 결가지를 모두 제거하여 실제 농장에서 재배되는 환경의 작물과 비슷한 조건으로 재배된 것이다.

나. 그리퍼 설계

그리퍼는 대상작물인 들깨 줄기와 잎에 직접 접촉하는 중요한 장치로서 채취작업의 성공을 좌우하는 매우 중요한 부분이다. 본 연구에서는 그리퍼에 의한 작물의 손상을 최소화 하고 센싱과 채취작업을 위하여 다음과 같이 그리퍼를 설계하였다(Fig. 1, 2).

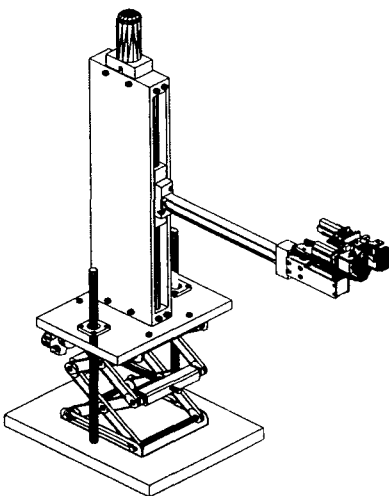


Fig. 1 Drawing of gripper device.

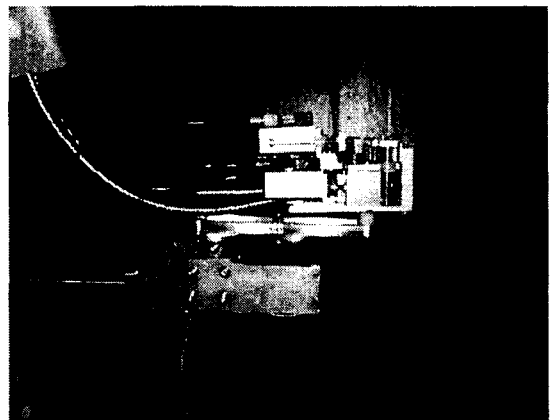


Fig. 2 The figure of gripper body developed.

들깨잎의 채취를 위하여 그리퍼 내에 공기압으로 작동되는 컷터를 부착하여 들깨잎을 잡거나 자를 수 있게 설계하였으며, 이 컷터는 이 등(1998)과 류 등(1997)의 연구에 의한 핑거를 응용 설계하여 제작하였다. 그리퍼는 알루미늄과 스테인레스로 제작되었으며, 그리퍼가 들깨잎의 위치와 방향을 판단할 수 있도록 Fiber-opto sensor를 장착할 수 있게 설계하였다. 들깨잎의 절단과 절단된 잎의 고정을 위하여 컷터를 설치하였다. 이 컷터는 그리퍼의 움직임에 방해되거나 작물에 손상을 가하지 않게 하기 위하여 평상시에는 바닥 면에 내려가 있다가 절단 시에만 올라오도록 설계하였다. 그리퍼의 아랫부분에 소형 servo moter를 장착하여 들깨잎의 방향에 맞추어 회전시킬 수 있도록 설계하였다. 그리퍼는 좌우로 각각 85°씩 회전이 가능하도록 설계하였다.

다. 그리퍼 성능실험장치 구성

본 연구에 의해 설계된 그리퍼 및 컷터의 성능을 실험하기 위하여 그리퍼 상하방향의 운동을 위하여 볼스크류(D.AS-DC-G24-2, Festo)와 DC Gear-Motor (D.ER-KSP-250, Festo)를 이용하였다. 그리퍼의 작동을 위하여 Air compressor(UD20-30, United), Filter regulator (SAW2000, KSA, press), 공압실린더(NDA6X15, Koganei), Fiber-opto sensor(FD-320-05, Autonics) 등을 사용하였다. 본 실험에서 Filter regulator, 공압실린더, Fiber-opto sensor, 모터 등을 제어하기 위하여 컴퓨터(Intel 686 800MHz)와 A/D보드(PCI9112, Adlink), 전원공급을 위한 DC power supply (GP-305, LG)를 사용하였다.

라. 실험방법

그리퍼의 작동 성능 평가를 위하여 다음 4가지 조건으로 분류하여 실험하고 성능을 평가하였다.

- 1) 들깨 줄기에 부착된 잎자루의 형상에 따른 차이
- 2) 들깨잎의 잎자루와 그리퍼와의 접선각도에 따른 차이
- 3) 들깨잎의 잎자루와 들깨 줄기와의 각도에 따른 차이
- 4) 두 가지 들깨잎의 재배기간(45일생과 60일생)의 차이

그리퍼의 들깨잎 채취 성능실험을 위하여 들깨를 파종한 후 재배기간이 45일 된 들깨와 60일 된 들깨를 준비하였으며, 본 실험은 실증실험에 앞서 그리퍼의 성능평가를 위한 것으로 실험실에서 실시하였다. 작물의 함수율을 동일시키기 위하여 실험 2일전까지만 물을 공급하였다. 공시재료는 모두 포트에 심었으며 실험의 신빙성을 위하여 실제 재배되고 있는 들깨와 같은 조건으로 재배되었다.

실험시 실제 수확과 같은 환경을 만들기 위하여 떡잎은 모두 제거하고 가장 아래마디의 잎과 두 번째 마디의 잎을 각각 두장씩 컷팅하여 1주(株)당 총 4개의 잎을 수확하였다. 실험은 컷팅의 정확성과 들깨 줄기의 상처 유무를 중심으로 조사하였으며 두장의 잎이 모두 안전하게 절단된 경우만을 성공률에 포함하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 전단력 측정실험

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 기초 자료로 사용하였다. 실험결과는 다음 Table 2와 같으며, 잎자루의 평균 직경은 2.78mm이고, 평균 전단력은 24.26N으로 나타났다.

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

Item Times	Avg. of diameter [mm]	Min. of shear force [N]	Max. of shear force [N]	Avg. 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

나. 그리퍼 설계

전단력 측정실험결과 최대 20N의 힘이 필요하였고, 내경이 6mm인 실린더의 내부의 단면적을 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.

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 보조 장치로 스탠드의 높이를 0~250mm가 조정 가능하도록 설계하였다.

다. 그리퍼의 작동 성능 평가

그리퍼의 작동순서는 그리퍼 상승, 들깨잎자루 감지, 그리퍼 회전, 컷터 상승, 컷팅, 그리퍼 원위치 복귀, 수확물 drop의 순으로 진행되며, 제어를 위하여 Lab/Windows CVI 5.5를 사용하여 프로그래밍하였다.

들깨잎의 잎자루가 줄기에 부착된 형상은 곧게 뻗은 형상, 휘 형상, 처진 형상으로 크게 나눌 수 있다. Table 3에서 보는바와 같이 모양에 따라 컷팅의 결과는 곧게 뻗은 모양이

73.9%로 나타났고, 흰 모양과 처진 모양은 각각 68.3%, 65.4%로 나타났다.

들깨잎과 그리퍼와의 접선각도는 10개의 fiber-opto sensor를 18°간격으로 배열하여 센싱 결과에 의하여 계측하였고, 그 결과는 다음 Table 4와 같다.

들깨잎의 잎자루와 들깨 줄기와의 각도는 각도기를 이용하여 계측하였으며, 그 크기는 줄기 상단방향과 잎자루와의 각도는 40~90°까지 분포하였다. 분석은 편의상 10°간격으로 반올림하여 행하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. 실험결과 60~70°사이의 것이 가장 많았으며, 성공률은 60~80°사이가 가장 많았다. 80°이상의 작물은 원래의 모습이 많이 훼손된 것들이었으며, 절단과 계측 모두 오차가 발생하였다.

Table 3 Picking test results and success rates by shapes which petioles are attached to stalk

Shapes of leaves	Straight	Curved	Dropped	Total
No. of test(%)	375(76.5)	63(12.9)	52(10.6)	490(100)
No. of the succeeded	277	43	34	354
No. of the failed	98	20	18	136
Success rate [%]	73.9	68.3	65.4	72.2

Table 4 Picking test results and success rates by contact angles between petiole and gripper

Angle(°)	0	18	36	54	72	90	108	126	144	162	Ave.
No. of test	17	23	19	19	25	22	16	23	22	19	205
No. of the succeeded	13	18	17	15	19	16	13	18	18	16	163
No. of the failed	4	5	2	4	6	6	3	5	4	3	42
Success rate [%]	76.5	78.3	89.5	78.9	76.0	72.7	81.3	78.3	81.8	84.2	79.5

Table 5 Picking test results and success rates by angles between petioles of leaves and stalks of the green perilla

Angle(°)	40	50	60	70	80	90	Total
No. of test	17	20	34	36	20	5	132
No. of the succeeded	12	14	27	27	16	2	98
No. of the failed	5	6	7	9	4	3	34
Success rate [%]	70.6	70.0	79.4	75.0	80.0	40.0	74.2

제작된 그리퍼 시스템은 재배기간이 45일인 들깨잎과 60일인 들깨잎 사이의 절단능력차이를 알아보기 위하여 실험을 실시하였다. 그래서 1차 실험인 들깨잎 줄기 모양에 따른 실험 시 각각 50%씩 실험하여 결과를 얻었으며, 그 결과는 Table 6과 같다.

Table 6 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

Table 6에서 보는 바와 같이 들깻잎의 재배기간 간에는 채취성능의 차이는 거의 없는 것으로 본 시작기는 더욱 큰 범위에서 사용이 가능 할 것으로 판단된다

제작된 들깻잎 채취용 그리퍼 시스템은 위와 같이 3번의 실험결과 모두 70%이상의 성공률을 보였다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 들깻잎 채취용 그리퍼를 개발하고 그 성능을 평가하기 위한 목적으로 수행되었으며, 그 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) 들깻잎의 채취를 위하여 전단력 측정을 한 결과 들깨의 줄기에 부착된 잎자루를 절단하기 위하여서는 평균 12.14N의 힘이 필요하며, 최대값은 17.42N으로 측정되었다. 본 연구에서 사용된 공압실린더는 내경 6mm이며, 공기압은 0.7Mpa로 고정하였다.

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

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

4) 재배기간이 45일된 들깨와 60일된 들깨에 대한 그리퍼의 들깻잎 채취 작업의 성공률 간에 유의차가 나타나지 않은 것으로 보아 본 연구에서 개발된 그리퍼 시작기는 60일생 이상의 시료에 사용하여도 채취작업이 가능할 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

1. 농촌진흥청. 1999. 농업경영개선을 위한 98년 농축산물 소득자료집. 농촌진흥청.
2. 류관희, 김기영, 이희환, 박정인. 1997. 육묘용 로봇 이식기 개발(II) - 이식 그리퍼 - 한국농업기계학회지 22(3):325~332.
3. 류관희, 김기영, 한재성, 류찬석. 1999. 다수의 그리퍼를 이용한 육묘용 로봇이식기 개발. 한국농업기계학회 1999년 동계학술대회 논문집 4(1):308~314.
4. 이현동, 김기대, 김찬수. 1998. 조직배양체 이식로봇 시스템의 개발(I) - 소프트 그리퍼 - 한국농업기계학회지 23(5):491~498.