

오이 수확용 엔드이펙터 개발

Development of the End-effector of a Cucumber Harvester

민병로* 김 옹* 김동우* 김용석* 서광욱* 김현태* 이대원*
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
B.R.Min W.Kim D.W.Kim Y.S.Kim K.W.Seo H.T.Kim D.W.Lee

1. 서론

농업에서 소요되는 노동력 중에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것이 수확작업이다. 수확작업은 어렵고 힘든 지루한 작업이 반복적으로 수행되는 작업이다. 지상(地上) 1m내외에서 결과(結果)하는 과채류의 경우 수확 중 많은 노동력을 필요로 한다. 특히 과채류 수확은 연속된 단순 반복 작업으로 작업인의 피로도가 더욱 심화되는 실정으로 재배에 많은 어려움을 낳고 있다. 또한 농산물 수입개방으로 값싼 외국산농산물이 대량 유입되고 있는 실정으로 농산물의 생산비 절감을 통한 대외 경쟁력을 갖추기 위해서는 과채류 수확에 있어서 로봇의 엔드이펙터를 이용하여 수확하는 것이 필요한 실정이다. 그러므로 로봇 수확기의 개발에 있어서 중요한 요소중 하나인 엔드이펙터 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 세 가지 형태의 엔드이펙터를 설계 제작하여 실험을 통하여 비교 분석 후 최적의 엔드이펙터를 개발하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

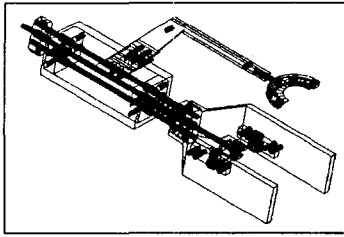
(1) 엔드이펙터 개발

수확작업을 수행하는데는 엔드이펙터의 성능이 매우 중요하므로 다음과 같은 설계기준을 두고 개발하였다. 첫째, 작업공간상에서 원활하게 움직이며 부피를 줄이기 위해 엔드이펙터가 경량이어야 하고, 둘째, 오이의 파지 및 과정의 절단시 작업 대상에 상해를 주지 않아야 한다. 셋째, 하우스 상에서의 작업은 습도가 높으므로 내부식성의 재료를 사용해야하고, 넷째, 고장으로 인한 수리 및 청소를 위해 구조가 간단하고, 작업중 변형이 없어야한다는 기준을 두고 개발하였다.

설계는 3차원설계 프로그램(3dsmax)을 이용하여 외날 엔드이펙터, 쌍날 엔드이펙터, 세 날 엔드이펙터를 개발하였다. 3가지 형태는 최적의 엔드이펙터를 개발하기 위하여 엔드이펙터의 날의 수를 기준으로하여 설계하였고, CNC를 이용하여 제작하였다. Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3은 최적의 엔드이펙터를 개발하기 위해 설계 제작된 엔드이펙터를 나타내며, Fig. 4는 날의

* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과

수에 따른 실험을 통하여 최적의 엔드이펙터를 개발한 것이다. (a)는 설계도이며 (b)는 개발된 엔드이펙터의 사진이다.

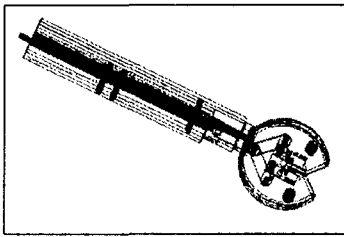


(a)



(b)

Fig. 1 외날 엔드이펙터

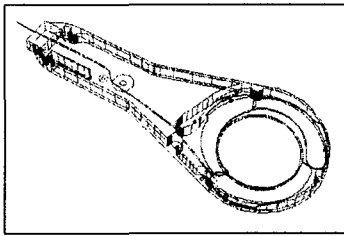


(a)



(b)

Fig. 2 쌍날 엔드이펙터

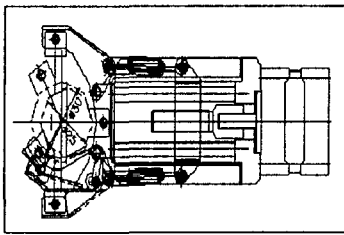


(a)

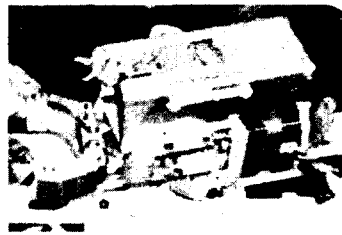


(b)

Fig. 3 세날 엔드이펙터



(a)



(b)

Fig. 4 최적의 엔드이펙터

(2) 실험재료 및 장치

과채류 수확기 개발에 있어서 과경의 절단을 통한 수확은 수확기 개발에 있어서 필수요 소라 할 수 있다. 본 실험에 사용된 오이는 Fig. 5에서와 같이 시장에서 판매하는 은성백다 다기(가, 나, 다)와 청장계오이(라, 마, 바)의 두 품종을 사용하였다. 두 품종의 과경지름을 기준으로 실험에 사용된 오이(가: 5.5mm이상, 나: 4.5~5.5mm, 다: 4.5mm이하, 라:5.5mm이 상, 마: 4.5~5.5mm, 바: 4.5mm이하)의 모습을 나타냈다. Fig. 6은 최적의 엔드이펙터를 개 발하기 위하여 날의 수에 따른 3가지 엔드이펙터의 성능 평가를 위해 제작된 실험장치이다. 실험장치는 오이를 매단 후 오이를 절단하기 위하여 가로 세로가 20×20mm인 프로파일을 이용하여 장축 1100mm, 단축 420mm, 밀판 장축 800mm, 단축 600mm이며, 오이 과경의 결 속을 위하여 장축의 끝에 클립을 장착하여 실험하였다.

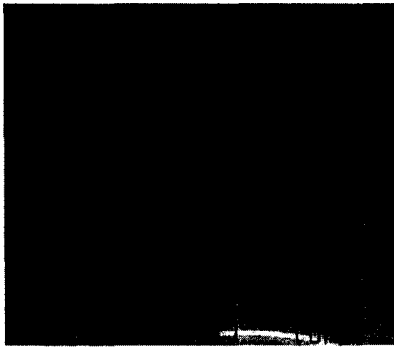


Fig. 5 실험에 사용된 오이

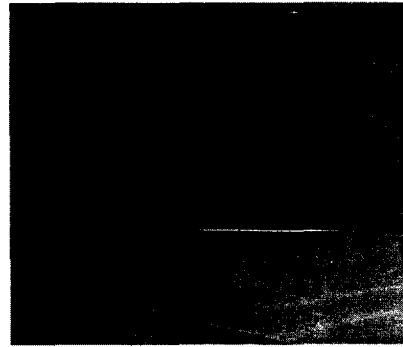


Fig. 6 실험장치

나. 실험방법

(1) 실내실험

과경의 지름을 측정한 결과는 은성백다다기와 청장계 품종의 경우 평균지름이 각각 4.54mm와 5.51mm로 나타났다. Table. 1은 최적의 엔드이펙터를 개발하기 위하여 은성백다 다기와 청장계오이의 2가지 품종에 대해서 날의 수에 따라 3가지 형태의 엔드이펙터를 이용 하여 3가지 수준 (과경의 지름이 4.5~5.5mm, 5.5mm이상, 4.5mm이하)에 대해서 실험하였 다.

Table. 1 실험설계

품종 형태	과경지름	은성백다다기 : 1			청장계 : 2		
		5.5mm이상: 1	4.5~5.5mm: 2	4.5mm이하: 3	5.5mm이상: 1	4.5~5.5mm: 2	4.5mm이하: 3
외날 엔드이펙터 : A		1-1-A	1-2-A	1-3-A	2-1-A	2-2-A	2-3-A
쌍날 엔드이펙터 : B		1-1-B	1-2-B	1-3-B	2-1-B	2-2-B	2-3-B
세날 엔드이펙터 : C		1-1-C	1-2-C	1-3-C	2-1-C	2-2-C	2-3-C

작업성능은 2종류의 오이에 대해 과경지름을 기준으로 3종류(5.5mm이상, 4.5~5.5mm, 4.5mm이하)로 구분하여 3가지 형태의 엔드이펙터로 각 실험구마다 10개 총 180개의 오이에 대하여 실내 실험을 하였다.

(2) 현장실험

엔드이펙터의 날의 수를 기준으로 Table. 2의 실험 결과를 이용하여 Fig. 4와 같은 엔드이펙터를 설계 제작하였다. 엔드이펙터는 스템핑 모터를 이용하여 오이를 과지하도록 하였으며, 200lb/in 컴프레서를 이용하여 오이 과경을 절단하도록 하였다. 엔드이펙터의 현장실험은 원예연구소를 방문하여 작업성능실험을 수행하였다. 엔드이펙터의 성능은 3차원 공간에서 재배되고 있는 오이의 좌표를 영상처리에 의해 인식하고 엔드이펙터가 수확 가능한 위치로 이동하여 수확하는 것이다. 실험은 온실에서 재배되고 50개의 오이를 대상으로 하였다.

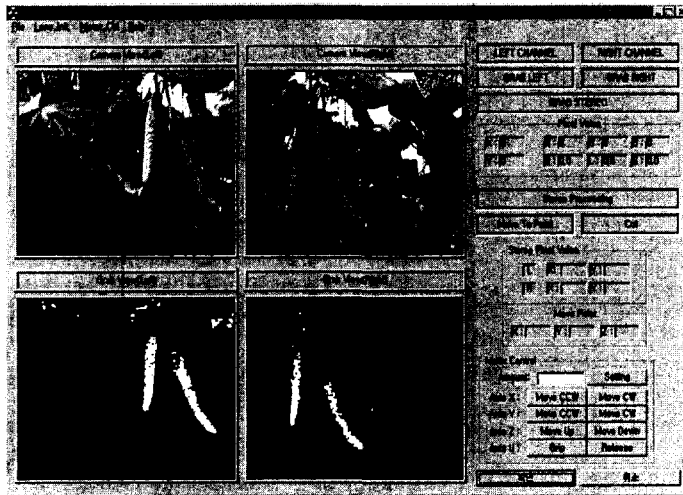


그림 7. 영상장치 프로그램

그림 7은 영상처리를 통한 오이의 위치 결정을 위해 구축한 전체 프로그램의 본 화면을 나타내었다. 2개의 카메라를 통하여 입력된 오이 과경 좌표로 엔드이펙터가 이동하여 절단하는 것을 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 엔드이펙터의 성능분석

오이수확기 개발을 위한 본 실험에서는 과경의 지름에 따른 엔드이펙터의 날의 수에 따라 은성백다다기와 청장계의 2품종에 대하여 3가지 과경의 지름에 대해 실험을 하였다. 은

성백다다기와 청장계 오이의 경우 80%, 82.2%의 평균 절단율이 나타났으며, 각 종류에 따라 결과는 Table. 2와 같다.

Table. 2 엔드이팩터의 오이 과경 절단율 (unit : %)

형태	품종 과경지름	은성백다다기 :1			청장계 :2		
		5.5mm 이상:1	4.5~5.5m m:2	4.5mm 이하:3	5.5mm 이상:1	4.5~5.5m m:2	4.5mm 이하:3
외날 엔드이팩터 :A		70	70	50	70	60	50
쌍날 엔드이팩터 :B		90	100	90	100	90	100
세날 엔드이팩터 :C		80	90	80	100	90	80

Fig. 8에서 B와 C는 오이과경의 지름에 관계없이 일정한 절단율을 보인 반면 A의 경우 오이 과지부의 지름에 영향을 받는 것으로 나타났다. 은성백다다기와 청장계의 평균 지름은 33.3mm, 33.2mm로 나타났으며 Table. 1의 실험설계에서 1-1, 1-2, 1-3, 2-1, 2-2, 2-3의 경우 평균 36.6mm, 33.4mm, 29.9mm, 35.6mm, 33.4mm, 30.5mm로 측정되었다.

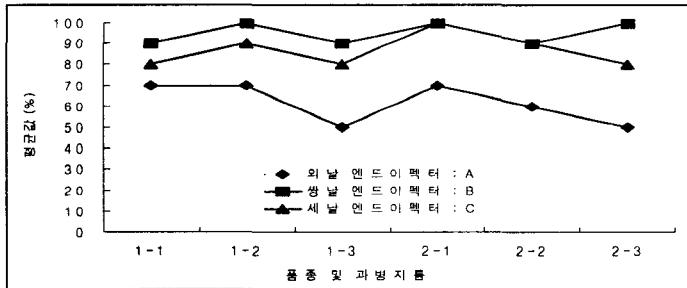


Fig. 8 오이 과경 절단특성

나. 엔드이팩터의 성능 비교

절단율은 Fig. 9의 1-1, 1-2, 1-3, 2-1, 2-2, 2-3에서 각각 80%, 86.7%, 73.3%, 90%, 80%, 76.7%로 나타났다. 1-3과 2-3의 경우 절단율이 낮게 나타난 이유는 A의 경우 과경의 지름이 29mm이하에서는 절단율이 낮게 측정되었다. Fig. 10에서 A,B,C의 경우에는 61.7%, 95%, 86.7%로 나타났으며, A의 경우 절단시 엔드이팩터에 과경이 미끄러져서 절단율이 낮게 측정되었다.

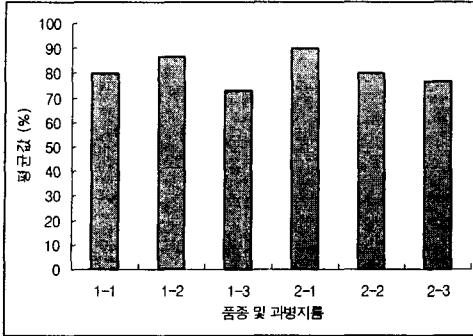


Fig. 9 품종 및 과경지름에 따른 절단을

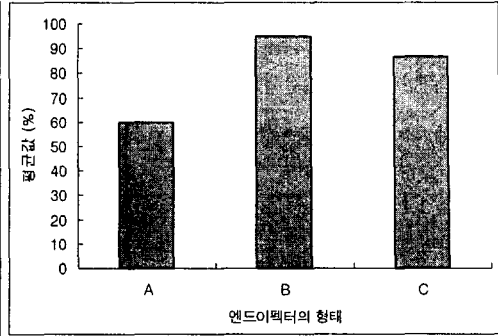


Fig. 10 엔드이펙터의 형태에 따른 절단을

다. 현장실험

본 연구는 Fig. 10의 실험 결과를 이용하여 과경을 절단하는데 날이 2개인 경우 가장 높은 절단율을 나타낸 것을 보고, Fig. 4와 같은 엔드이펙터를 개발했다. 그림 11은 온실에서 엔드이펙터의 작업을 나타낸 사진이다. 3차원에 존재하는 오이 영상 정보를 카메라로 인식한 후 엔드이펙터를 오이에 접근시켜 파지 후 절단시키는 모습이다.

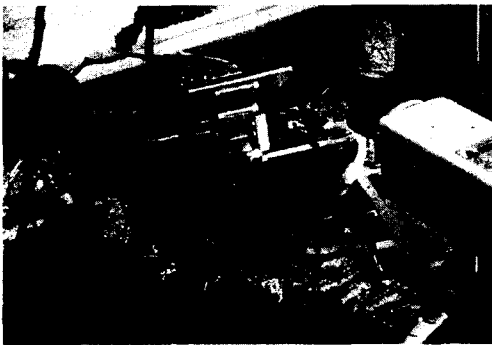


그림 11. 현장 실험



그림 12. 기형과

그림 11에서와 같이 총 50개의 오이에 대하여 수확 실험을 한 결과 42개, 84%의 절단율을 보였다. 오차가 16%로 나타난 것은 그림 12와 같은 기형과의 경우와 영상정보의 잘못된 입력으로 인한 결과로 판단된다. 특히, 원예연구소에서 재배중인 오이의 경우 재배 환경은 좋으나, 수확기간이 끝날 무렵이기 때문에 기형과가 많이 발생하였으며, 오이 과경의 경우도 1cm 이내로 짧고 뭉툭한 경우가 많았다. 오이 과경이 짧기 때문에 영상 정보에서 잘못된 값이 입력되었으며, 과실의 경우도 굵은 경우가 있기 때문에 그리퍼가 오이 과실을 파지할 때 과경이 엔드이펙터의 절단위치가 아닌 다른 위치로 이동되는 경우가 있었다.

4. 요약 및 결론

엔드이펙터는 오이 수확로봇을 개발하는데 있어서 가장 중요한 요소 중에 하나이다. 엔드이펙터의 개발은 3가지 형태를 설계 제작하였고, 성능을 평가하기 위해 실내에서 측정하여 결과를 비교 분석하였다. 실내 실험에서 날의 수가 2개인 경우 절단율이 가장 높게 나타난 점을 이용하여 최적의 엔드이펙터를 개발하여 현장실험을 하였다. 은성백다다기와 청장계 2가지 오이품종에 대해 날의 수가 1~3개의 엔드이펙터의 실내시험 및 최적의 엔드이펙터를 개발하여 현장 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 엔드이펙터의 절단율은 날의 수를 1, 2, 3개로 했을 경우 61.7%, 95%, 86.7%로 나타났다.
2. 엔드이펙터의 날의 수가 2, 3개의 경우에는 오이과경의 지름과는 무관하게 나타났으나, 날의 수가 1개인 경우에는 파지부분의 지름이 29mm이하에서 61.7%로 낮게 나타났다.
3. 엔드이펙터 날의 수가 3개인 경우에는 오이를 수확하는데 시간적인 면에서 적합하지 않지만, 사과, 토마토등 원형의 형태를 가지고 있는 농산물 수확에 적합 할 것으로 판단된다.
4. 50개의 오이에 대하여 현장 실험을 한 결과 42개, 84%의 절단율을 보였다. 오차가 16% 발생한 것은 수확적기가 지나서 오이의 과경이 짧고 뭉툭해서 나타난 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 류관희, 박정인, 류영선, 김기영. 1999. 여유자유도 로봇의 장애물 회피 시뮬레이션(II). 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집 제 4권 1호. pp691-697
2. 이대원, 김현태, 민병로. 2001. 오이수확용 로봇개발을 위한 앞제거가 낙과에 미치는 영향. 성균관대학교 논문집. 제6권 1호. pp23-33.
3. 이대원, 김현태, 민병로, 성시홍, 이원희. 2002. 오이수확용 로봇 매니플레이터개발. 한국농업기계학회지. 제26권6호. pp535-544.
4. Hoy, Roger Michael, A Unique Hollow Finger Gripper Designed for Agricultural Robots, M.S. Thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC. p.12 ~ p.40, 1986
5. Hwang, H., F. E. Sistler. 1985. The implementation of a robotic machine. ASAE and SME, Proceedings of the Agri-Mation I Conference & Exposition. 173~182
6. Lee, Dae-weon. 1990. A robotic and vision system for locating and transferring container grown tobacco seedlings. Ph. D. Thesis, Department biological and agricultural engineering, North Carolina state university, Rleigh, NC.