

오이 收穫用 로봇 엔드이펙터의 開發

Development of a End-Effector for Cucumber Harvester

이대원 · 김현태 · 민병로* · 김웅 · 김동우
성균관대학교 바이오메카트로닉스학과
Lee, D.W. · Kim, H.T. · Min, B.R* · Kim, W. · Kim, D.W.
Dept. of Bio-Mech. Eng., Sung Kyun Kwan Univ.

서 론

현재 대부분의 작물수확에 있어, 노지 재배를 탈피하여 시설재배면적이 증가하고 있다. 현재 원예산업에서 전체 농가 생산액 대비를 보면 95년 기준으로 38.9%를 점하고 있다. 이는 80년대 이후 해마다 증가하였고, WTO시대에 도래하여 세계 속에서 우리 농산물은 경쟁을 해야 할 때다. 원예산업 비중에서, 채소가 25.2%, 과수가 11.2%, 화훼가 2%를 차지하고 있다. 이중 시설채소 재배도 8.5%의 비중을 차지하고 있고, 통계청 자료에 의하면 오이의 재배면적이 97년에 268ha에서 98년에 420ha로 증가하였다.

우리의 상황은 기술과 농업의 접목으로, 농산물의 수확에 있어 적기수확과 상품성에 기울일수 있는 방법을 생각해야 할 것으로 본다. 최근 농업인구의 추이와 노동력을 감안한다면 이는 쉬운 일도 아니거니와, 시급히 해결해야 할 문제임을 알 수 있다. 그러나 우리나라는 농촌의 투자가 부족하고, 시설재배는 선진국에 비교하여 열악하며 단위생산량도 떨어진다. 농촌의 자동화는 무엇보다도 농촌의 부족한 노동력 절감을 해소하는 방향이며, 또한 경쟁력 있는 작물을 수확하는데 목적이 있다. 여기에 맞추어 작물의 특성을 고려하여 제작하고 보편적인 일관성을 갖추도록 한다면, 농가의 비용절감이 가능하다.

오이의 특성상 줄기의 손상은 곧바로 생산량감소로 이어진다. 오이 줄기가 기계에 의해 손상이 없어진다면, 오이재배의 자동화로 협소한 공간에서의 노동력을 절감 할 수 있고, 이는 생산비 감소로 이루어져 농민의 수익을 올릴 수 있고, 또한 단위 면적 당 보다 높은 생산량을 이룰 수 있다. 기계와 생물의 적절한 조화를 이룬다면 이상적이 수확작업이 이루어 질 수 있다.

재료 및 방법

(1) 실험재료

실험 장소는 서울특별시 강동구 하일동에 소재한 2000평 규모로 재배하고 있는 백다다기 품종으로 하였다. Fig. 1은 오이가 재배되고 있는 환경을 나타낸 사진이다. 고랑사이의 간격이 60cm내외로 매우 협소하다. 이러한 작업공간에서 작업을 원활하게 수행하기 위해서 작고 유연한 재료를 이용한 엔드이펙터가 설계되어야만 한다.

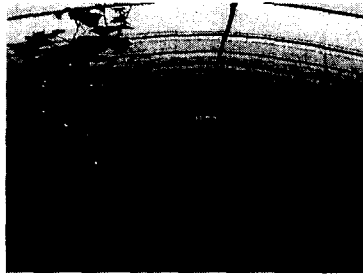


Fig. 1. Cucumber in the greenhouse.

(2) 엔드이펙터의 설계기준

수확작업에 있어서 매니퓰레이터는 가능한 오이에겐 손상을 주지 않고 엔드이펙터를 오이에 근접시켜야 할 것이다. 또한 경량이어야 하고 고속작업에 고장이 없어야 하며, 단순 반복작업에 있어서 내구성이 있어야 하며, 온실의 상태를 고려하여 고온 다습의 환경에서 부식되지 않는 재질을 이용해야 할 것이다.

(3) 실험장치

엔드이펙터는 3D-MAX를 이용하여 설계하였고, 드랄니늄을 이용하여 제작하였다. 또한 1 : 1의 정밀도로써, 각 구조물을 제작하였다. 간단하고 견고하도록 제작하였으며, 칼날은 고온·다습한 곳에서 부식이 되지 않도록 하였다

픽 베이스 통한 모터제어 부위에서 동력을 주어 DC 24V, 110rpm의 모터에서 수평동력이 발생하게 된다. 이 동력은 축을 따라 베벨기어에 전달된 후 rpm증가를 위해 1 : 3 비율인 베벨기어를 최고 330rpm까지 전달하게 된다. 최종적으로 두 베벨기어를 통해 수평 동력이 수직 동력으로 전달되면 칼날에 의해 오이 과경이 절단되는 것이다.

엔드이펙터에 들어가는 재료는 칼날부위를 중심으로 하여, 지름 4.5cm의 칼날로 절단하였다. 엔드이펙터는 전체적으로, 간단한 구조로써 견고함을 유지하였고, 축과 베어링을 이용하여 전체적으로 회전 할 수 있도록 하였다. 모터는 제어장치를 이용하여 칼날속도를 66~330rpm까지 5단계로 나누었다.

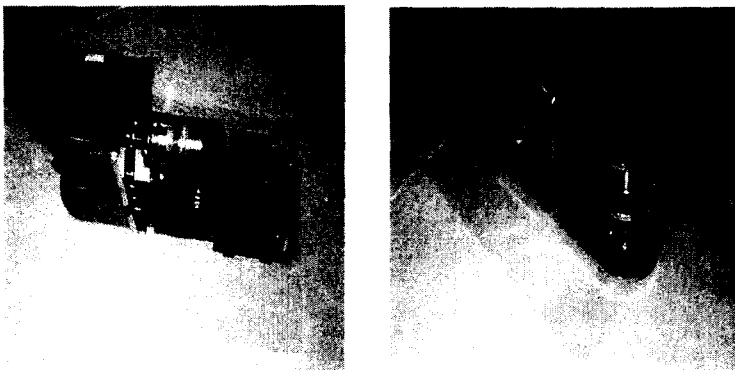


Fig. 2. The end effector.

Fig. 2는 실제 제작된 엔드이펙터의 모습을 보여주고 있다. 엔드이펙터는 견고성을 고려하여 드랄니늄으로 제작하였고, 판의 연결은 3Ø탭을 내어 볼트로 체결하였다. 내부의 동력 전달에 있어서 타임벨트나 V벨트를 이용할 수도 있었으나, 보다 정확한 동력 전달을 위해 1 : 3 비율의 베벨기어를 선택하였다.

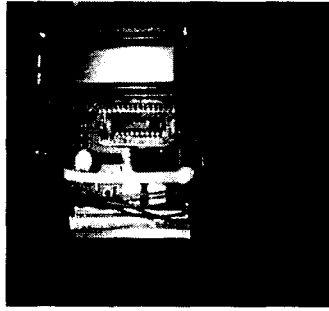


Fig. 3. Motor controller

Fig. 3은 7805 원칩 마이크로 프로세서를 장착한 기판이다. 모터를 구동시키는데 DC 24V 전원을 필요로 하고, 기판 자체 전원으로 DC 5V를 사용하여 rpm을 증가·감속시키는 장치이다.

(4) 실험 설계

본 연구의 기계적인 변수로 엔드이펙터의 칼날 회전속도와 각도, 오이의 변수인 과경직경과 오이무게를 변수로 설정했다. 그리고 이런 상황에서 1초라는 시간을 기준으로 시간내에 오이줄기를 절단하면 성공 그렇지 않으면 실패로 간주하였다. 여기서 1초는 오이의 절단에 있어 충분한 시간이라고 보고 1초를 선정했다.

Table 1. Experimental design.

내용 변수	기 호 (rpm)	상 황	기 호	상 황
작업기 변 수	1 단계	78/min	각도1	아래 15°
	2 단계	132/min	각도2	직각
	3 단계	198/min	각도3	위로 15°
	4 단계	264/min	각도4	위로 30°
	5 단계	330/min	각도5	위로 15°
오이의 변 수	과경직경Group1	~3.5mm	오이무게Group1	~150g
	과경직경Group2	3.5mm~	오이무게Group2	150g~
시 간	1초내 절단		성공	○
	1초 지연		실패	×

(5) 실험방법

먼저 오이를 따기 전에 오이 줄기를 버니어캘리퍼스로 측정하고, 엔드이펙터를 하향 15°~상향 45°로 움직이면서 rpm에 따라서 오이의 샘플을 4개씩 선정한 후 오이의 무게

를 측정했다.

엔드이펙터의 성능을 보기 위한 방법은 절단에 대하여 상관관계가 있는지를 판단하기 위해서였다.

결과 및 고찰

(1) 과정 지름에 따른 분류

오이의 수확작업을 하면서 과정과 오이무게의 상관성이 있는 것을 보았다. 그래서 오이 과정을 두 개의 Group으로 나누어 절단에 있어서 적합성을 찾기로 했다.

Table 2. Petiole group1 (~3.5mm)

rpm 각도	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	대상오이	성공율
하향15°	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4	0/20	0%
직 각	0/4	1/4	2/4	2/4	3/4	8/20	40%
상향15°	0/4	1/4	3/4	3/4	3/4	10/20	50%
상향30°	1/4	2/4	4/4	4/4	3/4	14/20	70%
상향45°	1/4	1/4	3/4	3/4	3/4	11/20	55%
대상오이	2/20	5/20	12/20	12/20	12/20	43/100	43%
성공율	10%	25%	60%	60%	60%		

Table 2의 결과를 통하여 작업기 특성상, 하향 15°에서는 수확작업을 할 수 없었다. 그러나 직각상태에서 칼날의 회전속도가 증가할수록 오이줄기 절단율이 높았지만, rpm 3단계 이상에서는 rpm에 의해 절단율이 좌우되지 않는 않았다. Table 3에서 보는 것과 같이 상향 30°와 rpm 3단계 이상의 조건을 충족시키면 100%로 절단이 가능했다. 1단계 rpm은 절단하는데 있어 저속의 회전에 의해 많은 시간이 소요되었으며 rpm 5단계에서는 빠른 회전속도에 오이 과정이 축에 걸리기도 하고, 오이 과실의 굵은 정도에 영향을 받아 칼날이 헛도는 경우가 있었다.

Table 3. Petiole group2 (3.5mm~)

rpm 각도	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	대상오이	성공율
하향 15°	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4	0/20	0%
직 각	0/4	1/4	3/4	2/4	3/4	9/20	45%
상향15°	0/4	1/4	3/4	3/4	3/4	10/20	50%
상향30°	1/4	2/4	4/4	4/4	4/4	15/20	75%
상향45°	1/4	1/4	4/4	3/4	3/4	12/20	60%
대상오이	2/20	5/20	14/20	12/20	13/20	47/100	47%
성공율	10%	25%	70%	60%	65%		

Table 3의 결과를 보면 위에서 아래로 내린 30°의 상태는 칼날의 회전속도에 따라, 오이 줄기의 절단 성공률이 높게 나타났다. 그러나 3단계 이상 올라가거나 각도가 30°이상

커지면 절단율이 변하였고, 불필요한 동력소모 및 작물의 안정성을 볼 때 회전속도 3단계 200rpm에서 각도가 30°일 경우에 가장 적절한 상황으로 판단되었다. 결국 실험에서는 각도 30°에 회전속도 3단계가 오이 수확작업에 가장 적합하였다.

(2) 엔드이펙터를 이용한 수확의 적합성

백다다기 오이는 과경 직경이 3.0mm~4.1mm 였다. 또 상품가치를 갖는 무게는 140g~170g이었다. 엔드이펙터는 위로 30° 각도로 칼날의 회전속도가 200rpm에서 적정수준이었다.

간단한 구조와 견고하게 제작하였으므로 온실의 습기와 온도에 영향을 받지 않았으며, 오이 과경의 절단에 있어서도 날의 예리함과 회전속도에 의해 시간이 지연될 뿐 모든 대상 오이의 과경이 절단되었다.

요약 및 결론

실험실에서 엔드이펙터 설계 제작한 후 실증 실험을 위하여 백다다기 품종에 대하여 현장에서 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 동력전달은 베벨기어를 사용하였으며 이때, 모터에서 칼날까지 동력전달이 잘 되었다.
2. 오이의 절단작업은 오이 과경의 범선 방향 30°각도에서 절단율이 높게 나타났다.
3. 모터의 회전 속도가 200rpm에서 가장 효율적으로 절단되었다.

참고문헌

1. 류관희, 김기영, 이회환, 황호준, 육묘용 로봇 이식기의 개발(I), 한국농업기계학회지 제22권 제3호. pp. 317~324, 1997
2. 이대원 외7인. 1998. 오이수확기 개발을 위한 잎제거가 생육 및 수량에 미치는 영향, 한국생물 생산시설환경학회 7(1):45-53.
3. 이종호, 박승제, 이중용, 고추수확기의 탈실장치 개발(I), 한국농업기계학회지 제22권 제2호. pp. 177~188, 1997
4. 장익주, 김태한, 권기영, 사과 수확 로봇의 핸드 개발(I), 한국농업기계학회지 제22권 제4호. pp. 411~420, 1997
5. Lee, Dae-Weon. 1990. A Robotic and Vision System for Locating and Transferring Container Grown Tobacco Seedling, Ph. D Thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC.