

오이 로봇 수확용 엔드이펙터 개발

민병로 · 문정환 · 이대원*
성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

Development of an End-Effector for Cucumber Robotic Harvester¹⁾

Min, Byeong-Ro, Joung-Hwan Mun, and Dae-Weon Lee*
Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University

Abstract. Cucumber fruits requires a lot of labor to harvest in time in Korea, since the fruits are cut and grabbed by hand. In this study, we developed an end-effector for robotic harvester of cucumber fruits. Its development involved the integration of an end-effector system with a PC compatible, DC motors, and a motor controller board. Software, written in Pic-basic, combined the functions of motor control with various circumstances. Cucumber's properties were measured and analyzed for precision of the end-effector. The results were similar to those of other vegetables. Properties including hardness of cucumber fruits were used as basic data for development of a harvester.

Key words : end-effector, cucumber, robotic harvester

*Corresponding author

1) 본 논문은 2000년 농림기술개발과제의 일부로 수행되었음.

서 언

현재 농가에서 오이 수확은 대부분 많은 노동력이 소요되는 작업이다. 인력을 이용한 오이 수확은 한 손으로 오이를 잡고, 과병의 절단 위치를 눈으로 보거나, 감지하여 다른 한 손으로 도구를 이용하여 절단한다. 이처럼 시설원예에서 소요되는 노동력 중에서 많은 부분을 차지하는 부분 중에 하나가 바로 수확 작업이다.

오이를 잡고 오이 과병을 자르는 것을 연속적으로 수행하기 위하여 자동화 기술이 요구된다. 오이 수확을 자동적으로 계속 수행하기 위해서는 오이 수확용 엔드이펙터 개발이 필요하다. 오이 수확용 로봇 엔드이펙터는 다른 작물 수확용 엔드이펙터 보다 연구 개발하기가 쉽지 않다. 왜냐하면 첫째, 오이는 한번 심은 줄기로부터 위쪽으로 계속해서 과실이 열리므로 연속적으로 관찰하여 수확하여야 한다. 둘째, 오이 주위에는 가는 줄기와 넓은 잎이 있어 이들을 피하면서 단지 과실만을 수확하여야 하기 때문이다.

농업용 로봇의 엔드이펙터의 연구는 동물과 식물에 대해서 나눌 수 있었다. 동물에 대한 엔드이펙터는 양

털을 깎기 위하여 가위를 사용하였고(Key, 1985), 돼지고기를 자르는데 절단장치를 개발하였으며(Clarke, 1985), 짓소의 유방에 접근하기 위한 착용용 엔드이펙터를 개발하였다(Frost 등, 1993; Kim 등, 2003).

식물에 대한 엔드이펙터는 접목을 하기 위해 대목과 접수를 수직으로 절단하였고(Han 등, 2001), 모판에서 모종을 이동하였으며(Lee, 1990), 포도덩굴을 전정하였다(Sevila, 1985). 또한 감자(Hoy, 1986), 포도(Lee 등, 2000), 오이(Min 등, 2002; Lee과 Min, 1999), 그리고 감(Lee 등, 2000)을 수확하기 위한 엔드이펙터 연구를 수행하였다.

본 연구는 오이 수확작업에 적합한 오이 수확용 로봇 엔드이펙터 개발을 연구하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 실험장치

매니퓰레이터 끝단인 엔드이펙터 설계에 있어, 중요한 고려사항은 작업성능으로 말 할 수 있다. 엔드이펙터가 매니퓰레이터에서의 견고성과 간단한 구조로써 작

물의 수확에 초점을 맞추었고, 그 중 시설재배가 많이 이루어진 작물인 오이로 택했다. 먼저 엔드이펙터에 들어가는 재료는 칼날부위를 중심으로 하여, 지름 4.5 cm의 칼날로 절단하였다. 칼날을 구동시키는 모터는 24 V 110 rpm의 회전 속도로서 빠르지 않아 안전하였고, 속도를 보완하기 위해 1:3 비율의 기어를 사용하여, 가능한 확실한 동력을 전달하도록 하였다. 모터는 제어장치를 이용하여 칼날속도의 rpm을 66-330 까지 5단계로 나누었다. 또 각 구조물은 듀랄루민으로 제작하였다.

1.1. 엔드이펙터의 설계 및 제작

수확작업에 있어서 엔드이펙터는 가능한 오이에게 손상을 입히지 않도록 해야한다. 또한 경량이어야 하고,

고속작업에 고장이 없어야 하며, 내구성 및 온실의 상태를 고려하여 고온다습의 환경에서 부식되지 않는 재질을 이용해야 할 것이다.

엔드이펙터는 3D-MAX를 이용하여, 캐드캠으로 CNC를 구동하여, 듀랄루민을 가공하였다. 칼날은 고온다습한 곳에서 부식이 되지 않도록 스텐레스를 이용하였다.

Fig. 1에서는 실제 3D-MAX를 통해 설계된 엔드이펙터의 모습이다. Pic-Basic 통한 모터제어 부위에서 동력을 주어 DC24V, 110 rpm의 모터에서 수평 동력을 주었다. 이 동력은 축을 따라 베벨기어에 전달된 후 rpm증가를 위해 1:3 비율인 작은 베벨기어에 최고 330 rpm 까지 전달하게 된다. 최종적으로 두 베벨기어를 통해 수평 동력이 수직 동력으로 전

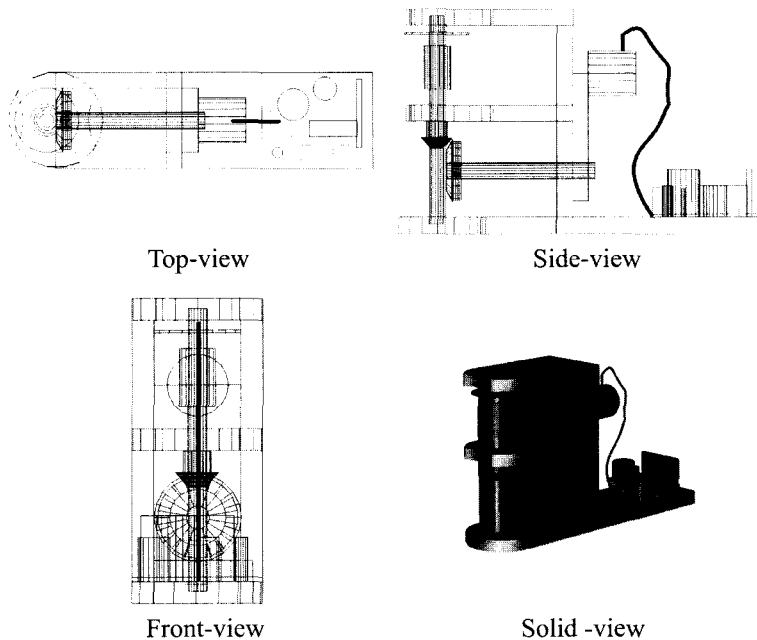


Fig. 1. Perspective view of the end effector.

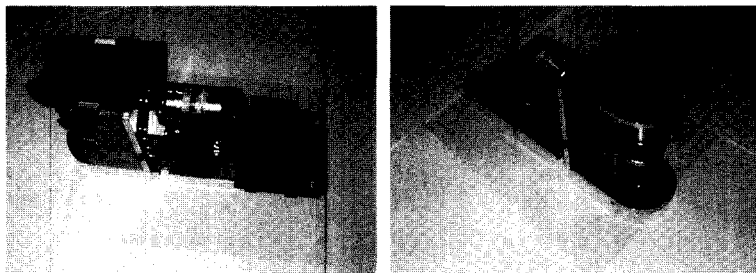


Fig. 2. Real end effector.

Table 3. Petiole group2 (3.5 mm~).

Angle	Condition (rpm)				
	78	132	198	264	330
Down to 15°	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4
Right angel	0/4	1/4	3/4	2/4	3/4
Up to 15°	0/4	1/4	3/4	3/4	3/4
Up to 30°	1/4	2/4	4/4	4/4	4/4
Up to 45°	1/4	1/4	4/4	3/4	3/4

적합성을 알아보았다. 과병의 지름이 3.5 mm 이하인 경우는 Table 2와 같이 나타났다.

위의 결과를 보면 엔드이펙터 특성상, 하향 15°에서는 절단이 없었다. 그러나 수평상태에서 칼날의 회전속도가 증가할수록 오이줄기 절단율이 높았다. 수평에서 위로 30°와 198 rpm의 조건을 충족시키면 100%로 절단이 가능하였다. 78 rpm은 저속인 관계로 자르는데 시간이 1초 이상 소요되었다.

일반적으로 절단하는데 있어서 오이의 구부러진 특성 때문에 축의 회전에 방해를 받았으나, 일반적으로 오이가 반원형 안에 감싸듯이 들어와 절단되었다. 위의 결과에서 칼날의 회전수가 높다고 절단율이 향상되는 것은 아니었으며, 수평에서 위로 30° 이상의 각도에서는 오이의 원줄기에 의한 장애를 받을 수 있다. 따라서 전체적인 상황을 고려해 보면 오이의 과병 절단에 있어서 적절한 조건은 198 rpm과 수평에서 위로 30°였다.

실험 결과를 보면 수평에서 위로 30°의 상태는 칼날의 회전속도에 따라, 오이 줄기의 절단 성공률이 높은 최적화 상황을 이루는 것을 알 수 있다. 그러나 198 rpm 이상 올라가거나 각도가 30° 이상 커지면, 절단율의 변화에 변동이 있었다. 엔드이펙터는 불필요한 동력소모 및 작물의 안정성을 볼 때, 회전속도 198 rpm과 수평에서 위로 30°가 가장 적절한 상황으로 판단되었다. 또한 상황이 설정되면 협소한 공간에서 엔드이펙터의 조건에 의해 매니플레이터의 불안정한 작동을 초래할 것으로 보일 것 같았다. 결국 온실에서는 각도 30°에 회전속도가 198 rpm이 가장 적합하다고 생각되었다.

2. 엔드이펙터를 이용한 수확의 적합성

본 실험은 전체 오이품종에 대해서 보편화 될 수 없으며, 은성백다다기 오이를 기준으로 일반적으로 과병 직경은 3.0 mm~4.1 mm였다. 또 상품가치를 갖는 무게

는 140 g~170 g이었다. 엔드이펙터는 수평에서 위로 30°에서 칼날의 회전속도가 198 rpm이면 적정수준이라고 결론을 내린 후 오이 100개에 대하여 검증실험을 하였다. 검증결과 100개의 오이에 대하여 모두 절단하였다.

오이를 재배하는 일정 공간에서 초당 1개씩 절단하는 것이 빠른 속도는 아니지만, 매니플레이터에 장착된 작업공간에서의 이동시간을 고려하면, 1초는 오이의 절단에 부족 할 수도 있다고 보인다. 그러나 모든 시스템이 신속히 작동된다면, 엔드이펙터의 시간 또한 단축시켜야 한다고 보고 결과적으로 빠른 수확과 상품성의 가치를 보존 할 수 있는 기기가 필요하다.

엔드이펙터는 간단한 구조로 설계되었기에 온실 작업장에서 습기와 온도에 영향을 받는 상황에서 사용 중 부식이나 고장이 발생하지 않았다. 또한, 오이 과병의 절단에 있어서도 날의 예리함과 회전속도에 의해, 오이 과병의 직경이 커도 시간이 지연될 뿐 모든 오이 과병이 절단되었다.

적 요

본 실험은 오이수확기의 매니플레이터에 장착하는 엔드이펙터를 생각한 것이다. 모터는 DC모터로 기어를 이용하여 작동되며, 동력전달에 있어 균형적인 배분을 이루었고, 따라서 부드러운 작동이 가능하였다. 또한 축을 이용한 베벨기어의 동력 전달로 모터에서 나온 회전력을 기어로 확실히 전달하였고, 결과적으로 오이 과병 절단 rpm에 있어서는 정확한 측정이 가능했다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모터는 칼날을 회전시키는데 있어 제어가 쉽고, 정확한 동력전달로서의 베벨기어는 비교적 정확한 결과를 제시했다.
2. 실험에서의 반복적인 오이 절단작업에 제시된 결과는, 모든 작물에 적용될 수는 없지만, 오이 과병의 절단은 적정 rpm과 각도를 구하여 기계적 최적상황을 찾았다. 수평에서 위로 30° 각도와 198 rpm에서 효율적인 절단작업이 이루어 졌다.
3. 엔드이펙터의 구조는 간단하면서도 고장 없이 제작되어야 하고 또한 경량이며 수분에 부식되지 않는 재료를 사용하여 설계하였다.

주제어 : 엔드이펙터, 오이수확, 로봇수확기

인 용 문 헌

1. Clarke, P.T. 1985. Automatic break up of pork carcasses. ASAE and SMS, Proceedings of the Agri-Mation. I. Conference & Exposition. p. 173-182.
2. Frost, A.R., T.T. Mottram, M.J. Street, R.C. Hall, D.S. Spencer and C.J. Allen. 1993. A field of a teatcup attachment robot for an automatic milking system. *J. Agric. Engng Res.* 55:325-334.
3. Han, K.S., C.H. Kang, C.H. Kang, J.H. Yun and Y.K. Lee. 2001. Development of grafting system for tomato. Proceedings of the KSAM 2001 Summer Conference 6(2):153-158.
4. Hoy, R.M. 1986. 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. 12-40.
5. Key, S.J. 1985. Productivity modeling and forecasting for automated shearing machinery. ASAE and SME, Proceedings of the Agri-Mation. I. Conference & Exposition. p. 200-209.
6. Kim, W., B.R. Min, D.W. Kim, S.W. Seo, C.W. Lee, D.J. Kwon and D.W. Lee. 2003. Teat-cup attachment system for robot milking system. Proceedings of the KSAM 2003 8(1):151-157.
7. Lee, D.W. 1990. A robotic and vision system for locating and transferring container grown tobacco seedling. PhD Thesis. North Carolina State Univ. p. 1-265.
8. Lee, D.W., H.T. Kim, B.R. Min, W. Kim and D.W. Kim. 2000. Development of an end-effector for cucumber harvester. Proceeding of Bio-Environment Control 9(2):31-35.
9. Lee, D.W. and B.R. Min. 1999. Development of an end-effector for fruit-vegetables harvest. Proceeding of Bio-Environment Control 8(1):30-34.
10. Lee, J.H., S.J. Park, C.S. Kim, M.H. Kim and S.M. Kim. 2000. Development of a vehicle and a manipulator for persimmons harvesting (II). Proceedings of the KSAM 2000 5(1):580-586.
11. Min, B.R., W. Kim, D.W. Kim, Y.S. Kim, K.W. Seo, H.T. Kim and D.W. Lee. 2002. Development of the end-effector of a cucumber harvester. Proceedings of the KSAM 2002 7(2):279-285.
12. Sevilla, F. 1985. A robot to prune the grapevine. ASAE and SME, Proceedings of the Agri-Mation. I. Conference & Exposition. p. 190-199.