

오이 로봇 수확기의 엔드이펙터

The End-effector of a Cucumber Robot

민병로 이대원
정회원 정회원

B. R. Min D. W. Lee

ABSTRACT

The end-effector is the one of the important factors on development of the cucumber robot to harvest a cucumber. Three end-effectors were designed the single blade end-effector with one blade, the double blade end-effector with two blades and the triple blade end-effector with three blades. Performance tests of the end-effector, the fully integrated system, were conducted to determine the cutting rate by using two different kinds of cucumber.

The success rates of cucumber cutting ratio of single end-effector, double end-effector and triple end-effector in laboratory were 61.7%, 95%, 86.7%, respectively. The cutting rate of single blade or double blade was a little difference with respect to the different diameters of cucumber stem. However, the success cutting rate of the end-effector with triple blade was 61.7% under 29mm diameter of a grabbing stem section. The triple end-effector was not suitable for harvesting a cucumber, but was considered to be suitable for harvesting a grape, an apple and a tomato. The success rate of cucumber cutting ratio of triple end-effectors in greenhouse was 84%. The failure cutting rate was 16% which are due to abnormal shape of cucumber fruit.

Keywords : End-effector, Important factors, Cucumber, Cucumber robot, Cutting rate.

1. 서 론

농업용 로봇의 엔드이펙터는 가위, 절단기, 전정기, 바늘 형태 등이 쓰인다. 농산물을 잡기 위한 파지장치의 개발도 연구가 활발히 진행 중이다. 현재 가장 많이 연구되고 있는 농업용 엔드이펙터는 모종을 이식하기 위한 연구와 농산물 수확을 위한 연구이다.

오이 수확작업의 자동화를 이루기 위해서 필요한 기술적 방법은 다른 작물에 비하여 어렵다(Lee 등, 1998). 왜냐하면 첫째 오이는 한번 심은 줄기로부터 계속해서 오이가 열리고 연속적으로 관찰하여 수확하여야 하고, 둘째 넝쿨식물로서 줄기는 가늘고 잎은 크다는 특징이 있기 때문이다. 즉 오이 수확 작업시 오이 줄기의 손상은 수확량의 감소로 이어지고, 잎이 크기 때문에 수확하려는 오이를 쉽게 구별해 내기가 어렵다.

엔드이펙터의 연구는 양털을 깎기 위하여 가위를 사용하였고(Key, 1985), 돼지고기를 자르는데 절단 장치를 개발하였으며(Clarke, 1985), 접목을 하기 위해 대목과

접수를 수직으로 절단하였고(Han 등, 2001), 포도덩굴을 전정하기 위한 도구를 개발하였다(Sevila, 1985). 또한 감자를 잡기 위하여 압력 센서를 가진 엔드이펙터(Hoy과 Michael, 1986), 젖소의 유방에 접근하기 위한 엔드이펙터를 개발하였다(Frost 등, 1993; Kim 등, 2003). Lee 등(2000)은 포도를 수확하기 위하여 원형의 칼날을 이용하였고, 오이 수확을 위하여 칼날의 형태에 의한 성능을 분석하였다(Min 등, 2002). 엔드이펙터 재질은 감 수확기의 경우 플라스틱을 이용하였으며(Lee, 2000), 오이의 재배 환경을 고려하여 습기에 강한 듀랄루민(duralumin)을 이용하였다(Lee과 Min, 1999).

현재 우리나라의 오이 수확은 인력을 이용한 작업을 하고 있다. 농촌의 자동화는 부족한 노동력 절감을 해소하고, 경쟁력 있는 작물을 수확할 수 있다. 엔드이펙터에 대한 연구는 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있으나, 오이의 경우 재배 방식에 대한 연구만을 하고 있는 실정이다.

본 연구의 목적은 날의 수에 따른 3가지의 엔드이펙터

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center(ARPC). The article was submitted for publication in March 2004; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2004.

The authors are Byeong Ro Min, Research Assistant and Dea Weon Lee, Associate Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon, Korea. The corresponding author is D. W. Lee, Associate Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea. Fax: +82-31-290-7886. E-mail : < deaweon@yurim.skku.ac.kr >.

오이 로봇 수확기의 엔드이펙터

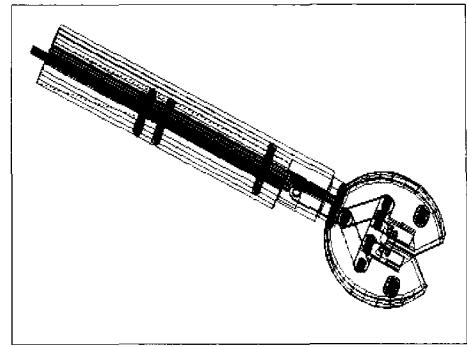
를 개발하여 절단율이 높은 엔드이펙터를 찾고, 보완하여 현장실험을 하는 것이다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

수확작업을 수행하는대는 엔드이펙터의 성능이 매우 중요하므로 다음과 같은 설계기준을 두고 설계하였다. 첫째, 공간상에서 원활하게 움직이며 작업을 하기 위해 엔드이펙터가 경량이어야 하고 둘째, 오이의 파지 및 과병의 절단시 작업 대상에 상해를 주지 않아야 한다. 셋째, 하우스 상에서 작업을 하므로 습기에 대한 내부식성이어야 하고 넷째, 고장으로 인한 수리 및 청소를 위해 구조가 간단하고, 작업 중 변형이 없어야 한다.

설계는 3차원설계 프로그램인 3D-MAX를 이용하였고, CAM과 CNC를 이용하여 제작하였다. 그림 1, 2, 3은 설계 제작된 엔드이펙터를 나타내며, (a)는 설계도, (b)는 제작된 엔드이펙터의 사진이다. 그림 1은 오이를 잡아서 당기면 고정되어 있는 하나의 칼날에 의하여 절단되도록 하였으며, 그림 2는 과병이 90°의 투입구로 들어오면 두

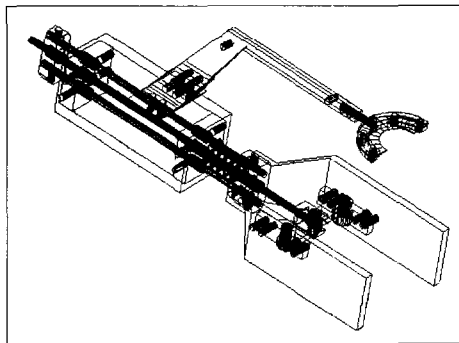


(a) Drawing

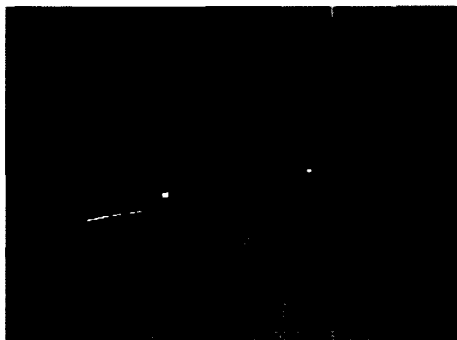


(b) Picture

Fig. 2 Double blade end-effector.

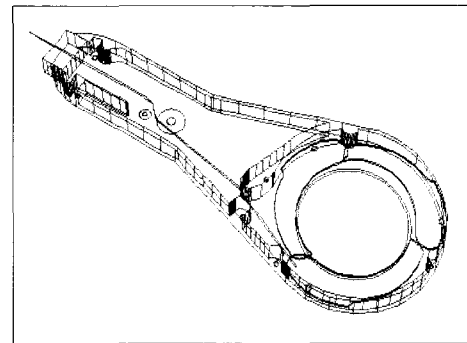


(a) Drawing

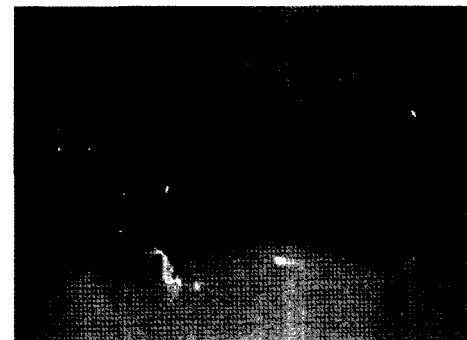


(b) Picture

Fig. 1 Single blade end-effector.

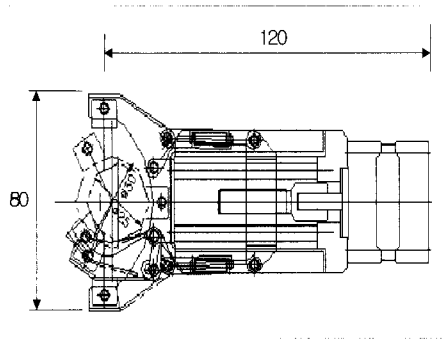


(a) Drawing

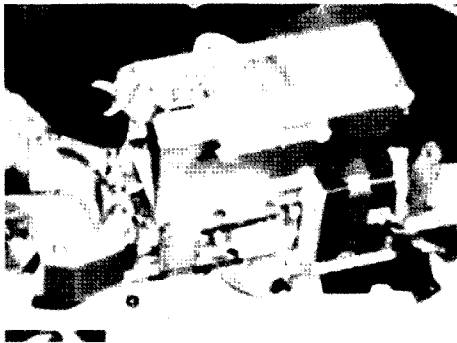


(b) Picture

Fig. 3 Triple blade end-effector.



(a) Drawing



(b) Picture

Fig. 4 End-effector by air compressor.

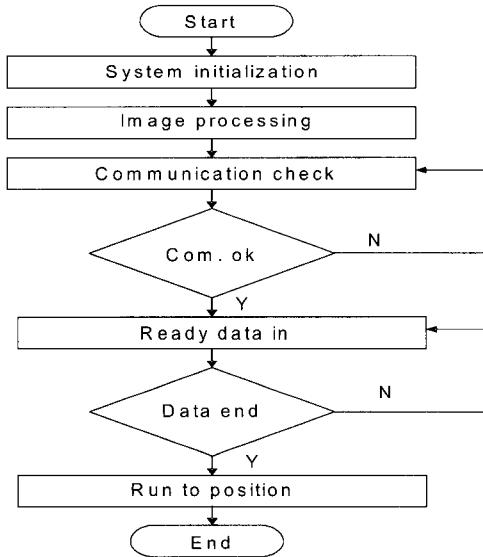


Fig. 5 Flowchart of end-effector.

개의 칼날이 교차하면서 절단되도록 하였다. 그림 3은 밑에서 오이 과병 쪽으로 접근하여 세 개의 칼날이 모여면서 절단되도록 하였다.

엔드이펙터 날의 수를 기준으로 한 실험 결과를 이용하여 그림 4와 같은 엔드이펙터를 설계 제작하였다. (a)는 설계도, (b)는 제작된 엔드이펙터의 사진이다. 엔드이펙터는 스텝모터를 이용하여 오이를 파지하도록 하였으며, 200lb/in인 공기압축기를 이용하여 오이 과병을 절단하도록 하였다. 엔드이펙터의 작동 방법은 초기 위치로 이동한 후 통신상태를 확인하고, 영상처리시스템을 이용하여 작동 위치를 전송받아 스텝모터가 작동된다. 그림 5는 엔드이펙터의 제어 흐름도를 나타낸 것이다.

나. 실험재료

과채류 과병의 절단정도를 알기 위하여 오이를 실험 재료로 사용하였다. 본 실험에 사용된 오이는 시장에서 판매하는 은성백다다기(a, b, c)와 청장계오이(d, e, f)의 두 품종을 사용하였다. 그림 6은 두 품종의 과병지름을 기준으로 실험에 사용된 오이(a: 5.5mm이상, b: 4.5~5.5mm, c: 4.5mm이하, d: 5.5mm이상, e: 4.5~5.5mm, f: 4.5mm이하)의 모습이다.

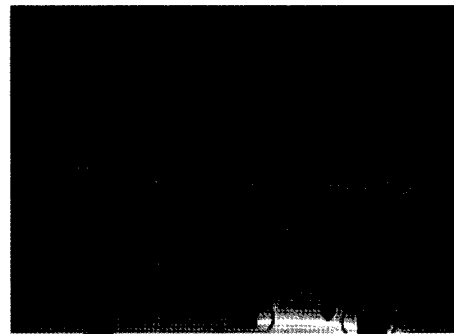


Fig. 6 Two kinds of cucumber.

엔드이펙터의 성능을 분석하기 위해 품종이 은성백다다기인 오이 5개에 대하여 물성을 측정하였다. 물성측정에 사용된 5개 오이의 평균 무게는 170.64 g이며, 길이는 21.9cm, 단면적은 812.31mm²으로 나타났다. 경도

Table 1 The physical properties of cucumber

Physical Property	Weight (g)	Length (cm)	Cross section (mm ²)	Cucumber moisture content (% w.b)	Calyx moisture content (% w.b)	Fracturability (g)	Hardness (g)	Springness	Gumminess (g)
Value	170.64	21.9	812.31	96.76	93.2	2302.36	549.31	0.98	190.89

오이 로봇 수확기의 엔드이펙터

는 파지부 설계의 기초 자료로 사용하였다. 또한 함수율은 75°C에서 1주일 동안 건조 오븐(dry-oven)에서 건조하여 건조전의 무게와 비교하여 측정하였다. 엔드이펙터와 직접관련이 있는 과병의 함수율은 오이 자체의 함수율보다는 낮지만 비교적 높은 함수율을 나타내고 있다. 따라서 표 1의 물성값을 기초로 엔드이펙터 성능분석을 위한 기초연구자료로 사용하였다.

다. 실내실험

과병의 지름을 측정한 결과는 은성백다다기와 청장계 품종의 경우 평균지름이 각각 4.54mm와 5.51mm로 나타났다. 표 2는 2가지 품종에 대해서 3가지 형태의 엔드이펙터를 이용하여 3가지 수준(과병의 지름이 4.5~5.5mm, 5.5mm이상, 4.5mm이하)에 대해서 실험하였다.

작업성능은 2종류의 오이에 대해 과병지름을 기준으로 3수준(5.5mm이상, 4.5~5.5mm, 4.5mm이하)으로 구분하여 3가지 형태의 엔드이펙터로 각 실험구마다 10개 총 180개의 오이를 사용하여 절단율을 측정하였다.

라. 현장실험

그림 7은 오이가 시설 재배되고 있는 환경을 나타낸 사진이다. 골사이의 간격이 60cm 내외로 매우 협소한 작업공간에서 작업을 원활하게 수행하기 위해서 작고 유연한 재료를 이용한 엔드이펙터가 설계되어야만 한다.

엔드이펙터의 성능은 3차원 공간에서 재배되고 있는 오이의 좌표를 영상처리에 의해 인식하고 엔드이펙터가 수확 가능한 위치로 이동하여 수확하는 것이다. 실험은 온실에서 재배되고 있는 50개의 오이를 대상으로 하였다.

오이의 형상 및 위치를 검출하기 위한 영상처리시스템

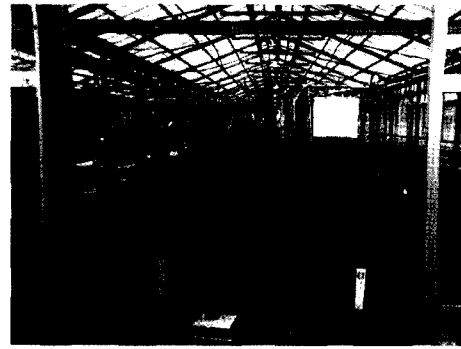


Fig. 7 A cucumber attached to the stem around the leaves.

랩은 위치가 다른 2대의 카메라로부터 영상을 입력받아야 한다. 장치의 구성은 스텝모터, 스텝모터 구동 드라이버, 카메라 두 대, 원칩 마이컴 및 PC와 RS232 통신이 가능하도록 하는 통신포트 등으로 구성되어 있다. 그림 8은 원칩 마이컴(ATMEL사)의 89C52칩을 이용하였고, PC와의 통신이 가능한 시리얼 포트가 있어 데이터의 전송을 할 수 있게 하였다.

그림 9는 영상처리를 통한 오이의 위치 파악을 위해 구축한 전체 프로그램의 본 화면을 나타내었다. 2개의 카메라를 통하여 입력된 오이 과병 좌표로 엔

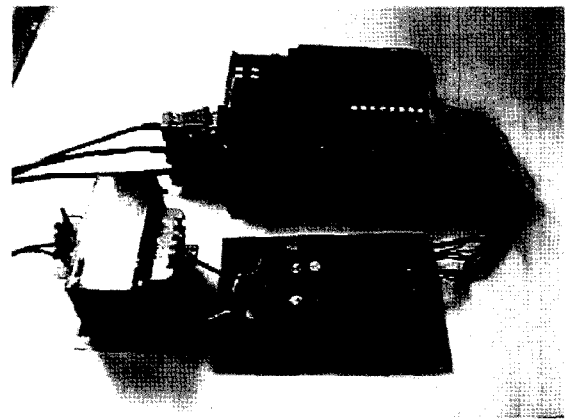


Fig. 8 Control board for stepping motors.

Table 2 Experimental design of the three different end-effectors

Features	Variety	Eunsung-bacgdadaki (1)			Chungjangkye (2)		
	Diameter	Over 5.5mm (1)	4.5~5.5mm (2)	Under 4.5mm (3)	Over 5.5mm (1)	4.5~5.5mm (2)	Under 4.5mm (3)
Single blade end-effector(A)		1-1-A	1-2-A	1-3-A	2-1-A	2-2-A	2-3-A
Double blade end-effector(B)		1-1-B	1-2-B	1-3-B	2-1-B	2-2-B	2-3-B
Triple blade end-effector(C)		1-1-C	1-2-C	1-3-C	2-1-C	2-2-C	2-3-C

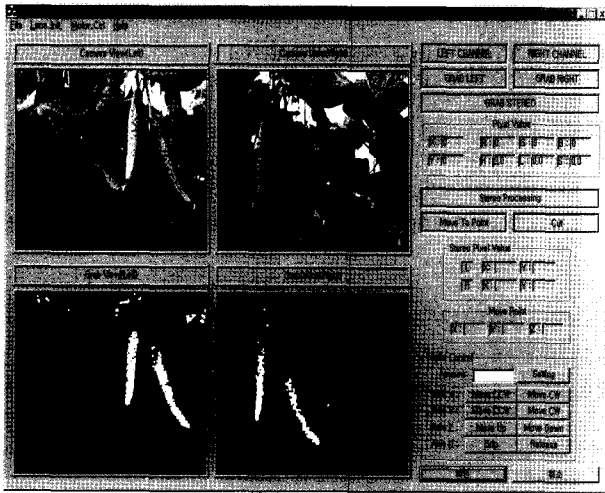


Fig. 9 Monitor screen for an image processing.

드이펙터가 이동하여 절단하는 것을 실험하였다. 엔드이펙터의 현장실험은 원예연구소 포장에서 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 날의 수에 따른 성능 분석

오이 수확기의 엔드이펙터 개발을 위한 실험에서는 엔드이펙터의 날의 수에 따라 은성백다다기와 청장계의 2품종에 대하여 과병지름의 3수준에 대하여 실험을 하였다. 표 3과 같이 은성백다다기와 청장계 오이의 평균 절단율은 각각 80.0%, 82.2%로 나타났다.

표 3에서 B와 C는 오이 과병의 지름에 관계없이 높은 절단율을 보인 반면, A는 절단율이 낮게 나타났다. 은성백다다기와 청장계 오이의 평균 지름은 33.3mm, 33.2mm로 나타났으며, 표 3의 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.

나. 보완된 엔드이펙터의 현장실험

본 연구는 날이 2개인 경우 가장 높은 절단율을 나타낸 것을 이용하여 그림 4와 같이 공압을 이용한 엔드이펙터를 개발했다. 그림 10은 온실에서 엔드이펙터의 작업을 나타낸 사진이다. 3차원에 존재하는 오이 영상 정보를 카메라로 인식한 후 엔드이펙터를 오이에 접근시켜 파지 및 절단시키는 모습이다. 오이 과병의 파지 및 절단에 걸리는 시간은 약 1초 정도 소요되었다.

그림 10에서와 같이 총 50개의 오이에 대하여 수확 실험을 한 결과 42개, 84%의 절단율을 보였다. 오차는 그림 11과 같은 기형과(6개)와 영상정보의 잘못된 입력(2개)

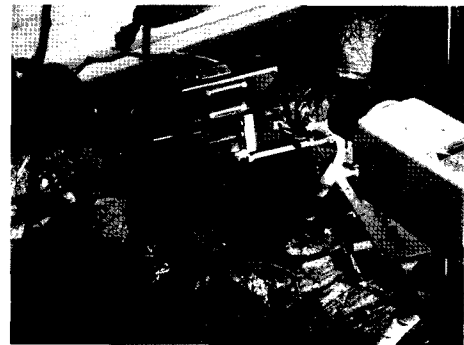


Fig. 10 Picture of performance test in greenhouse.

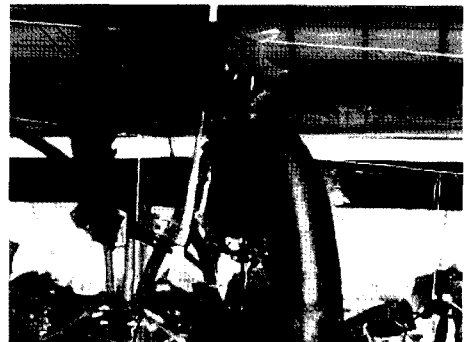


Fig. 11 Malformation fruit of a cucumber.

Table 3 Success cutting rate of end-effector

(unit : %)

Features	Variety Diameter	Eunsung-baegdadaki (1)			Chungjangkye (2)		
		Over 5.5mm (1)	4.5~5.5mm (2)	Under 4.5mm (3)	Over 5.5mm (1)	4.5~5.5mm (2)	Under 4.5mm (3)
Single blade end-effectro(A)		70	70	50	70	60	50
Double blade end-effectro(B)		90	100	90	100	90	100
Triple blade end-effectro(C)		80	90	80	100	90	80

으로 16%로 나타났다. 특히, 원예연구소에서 재배중인 오이의 경우 재배 환경은 좋으나, 수확기간이 끝날 무렵이기 때문에 기형과가 많이 발생하였으며, 오이 과병의 경우도 1cm 이내로 짧고 뭉툭한 경우가 많았다.

4. 요약 및 결론

엔드이펙터는 오이 수확로봇을 개발하는데 있어서 가장 중요한 요소 중에 하나이다. 엔드이펙터는 3가지 형태를 설계 제작하였고, 성능을 평가하기 위해 실내실험에서 절단율을 측정하여 결과를 비교 분석하였다. 은성 백다다기와 청장계의 2가지 오이품종에 대해 엔드이펙터를 개발하여 비교 실험한 결과는 다음과 같다.

엔드이펙터의 절단율은 낱의 수를 1, 2, 3개로 했을 경우 61.7%, 95.0%, 86.7%로 나타났다. 낱의 수가 2, 3개의 경우에는 오이과병의 지름과는 무관하게 나타났으나, 낱의 수가 1개인 경우에는 과지부분의 지름이 29mm이하에서 61.7%로 낮게 나타났다. 엔드이펙터 낱의 수가 3개인 경우에는 오이를 수확하는데 시간적인 면에서 적합하지 않지만 포도, 사과, 토마토 등의 환형 형태를 가지고 있는 농산물 수확에 적합할 것으로 판단된다.

낱의 수에 따른 성능 분석을 통해 개발한 엔드이펙터를 50개의 오이에 대하여 현장 실험을 한 결과 42개, 84%의 절단율을 보였다. 오차가 16% 발생한 것은 기형과의 영향으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Clarke, P. T. 1985. Automatic break up of pork carcasses. ASAE and SMS, Proceedings of the Agri-Mation I Conference & Exposition. 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.(In Korean)
4. Hoy and R. Michael. 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. 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. 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.(In Korean)
7. Lee, D. W., B. R. Min, H. T. Kim, K. T. Lim, W. Kim, Y. S. Kwon, Y. L. Nam, J. W. Choi and S. H. Sung. 1998. Effects of cultivation method on the growth and yield of a robotic harvester. Bio-Environment Control 7(3):228-236.(In Korean)
8. Lee, D. W., H. T. Kim, B. R. Min, W. Kim and D.W. Kim. 2000. Development of a end-effector for grapes harvester. Proceeding of Bio-Environment Control 9(2):98-103.(In Korean)
9. Lee, D. W. and B. R. Min. 1999. Development of an end-effector for fruit-vegetables harvest. Bio-Environment Control 8(1):30-34.(In Korean)
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 persimmon Harvesting(Ⅱ). Proceedings of the KSAM 2000 5(1):580-586.(In Korean)
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.(In Korean)
12. Sevilla, F. 1985. A robot to prune the grapevine. ASAE and SME, Proceedings of the Agri-Mation I Conference & Exposition. 190-199.