

시설재배 참외 수확 로봇용 엔드이펙터의 설계 요인 분석

하유신¹ · 김태욱^{2*}

¹경북대학교 생물산업기계공학과, ²경북대학교 정밀기계공학과

Design Factor Analysis of End-Effector for Oriental Melon Harvesting Robot in Greenhouse Cultivation

Yu Shin Ha¹ and Tae Wook Kim^{2*}

¹Department of Bio Industrial Machinery Engineering, College of Agriculture and Life Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²Department of Precision Mechanical Engineering, College of Science and Technology, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Korea

Abstract. This study analyzed the geometric, compressive, cutting and friction properties of oriental melons in order to design a gripper capable of soft handling and a cutter for cutting oriental melon vine among the end effector of oriental melon as a preliminary step for developing the end effector of the robot capable of harvesting oriental melons in protected cultivation. As a result, the average length, diameter at the midpoint, weight, volume and roundness of the oriental melons were 108 mm, 70 mm, 188 g, 333 mL and 3.8 mm. Nonlinear regression analysis was performed on the equation $W = L^a \times D_2^b$ with variation of the length (L) and diameter (D₂) of the weight (W) of the oriental melons. As a result, it was shown that there was a correlation between a of 2.0279 and b of -0.9998 as a constant value. The average diameter of the oriental melon vine was 3.8 mm, and most vines were distributed within a radius of 5 mm from the center. The average yield value, compressive strength and hardness of the oriental melons were 36.5 N/cm², 185.7 N/cm² and 636.7 N/cm², respectively. The average cutting force and shear strength of the oriental melon vines were 2.87×10^{-2} N and 5.60 N/cm², respectively. The maximum friction coefficient of the oriental melons was rubber of 0.609, followed by aluminium of 0.393, stainless steel of 0.177 and teflon of 0.079. It was considered possible to apply it to the size of the gripper and cutter, turning radius, dynamics of drive motor and selection of materials and their quality in light of the position error and safety factor according to the movement when designing end effector based on the analyzed data.

Additional key words : geometric property, soft handling, compressive stress, cutting stress, friction coefficient

서 론

참외는 아시아에서 대부분 재배되고 있으며, 국내의 경우 재배면적은 평년 기준으로 6,431ha이고 이중 시설 재배가 97.3%를 차지하고 있다(MIFAFF, 2012). 재배시설은 비닐하우스 내 양쪽으로 2개의 터널이 설치되어 있으며, 이 터널 사이를 작업공간으로 이용하여 인력으로 수확작업을 실시하고 있다.

참외 수확작업은 전체 노동시간의 약 36%로 가장 많으며, 수확작업시 고온다습하고 폐쇄된 작업환경, 불편한 자세의 장기간 노동 및 더운 환경 노출되어 있기 때문에 하

우증후군이 많이 발생하며 근골격계 위험도 및 우선적으로 개선이 필요한 고위험작업으로 나타났다(Bae 등, 2005). 이러한 고위험작업에도 불구하고 참외 수확작업의 경우 타 작물에 비해 농작업의 기계화가 거의 이루어져 있지 않다. 따라서 중노동과 작업의 위험도가 높고, 작업시간이 많아서 수확작업의 기계화 및 무인화가 우선적으로 필요하며, 로봇을 이용한 수확기 개발이 필요한 실정이다.

시설재배에서 농업용 수확 로봇은 주로 오이, 딸기, 토마토 등 과채류에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며, 농업용 로봇에서 식물체는 경도가 낮기 때문에 소프트 핸들링이 가능한 엔드이펙터 개발이 중요한 요소이다. 엔드이펙터는 수확물을 잡기 위한 그립장치와 줄기를 절단하는 커터장치 등으로 구분된다. 농업용 수확로봇 엔드이펙터의 연구를 살펴보면 과수의 경우 포도를 수확하기 위하여 원형칼날을 이용하거나(Lee 등, 2000), 사과를

*Corresponding author: kimtw@knu.ac.kr

Received August 21, 2013; Revised September 10, 2013;

Accepted September 13, 2013

3개의 핑거를 이용하여 그림한 후 회전시켜 꼭지부를 분리하는 형태(Jang 등, 1997)가 있다. 재배환경이 수직 또는 경사로 재배되는 작물을 수확하는 경우에는 오이 수확 로봇(Min과 Lee, 2004; Van Henten 등, 2002), 딸기 수확 로봇(Kim 등, 2007; Yamamoto 등, 2008), 토마토 수확 로봇(Kondo 등, 1995; Monta 등, 2000; Son 등, 2000) 등이 있는데, 엔드이펙터는 주로 줄기를 그림하거나 과육을 그림 할 경우 하단에서 떠받치는 구조이며, 대부분 2~3개의 핑거로 된 형태이다. 또한 수박 수확 로봇의 엔드이펙터는 무거운 중량으로 인해 그림퍼를 진공흡착식 패드를 사용한 것이 차이점이다(Hwang 등, 2003).

그러나 참외 재배환경은 토양에서 재배된 것을 수확하여야 하며, 수확 시 주위에 잎이 크고 줄기방향이 일정하지 않으며, 참외가 잎에 가려 있는 경우가 많기 때문에 타 농산물 수확 로봇과는 상이한 구조로 설계되어야 한다.

따라서 본 연구는 참외의 재배환경과 수확 동작의 변수들을 적용하여 참외의 엔드이펙트 중에서 소프트 핸드링이 가능한 그림퍼와 참외 줄기를 절단하는 커터를 설계하기 위한 기초 요인을 분석하였다.

재료 및 방법

참외 수확로봇이 수확 동작을 행하는 과정에서 먼저 참외를 그림하고 꼭지부위의 줄기를 절단하는 절차를 수행하기 때문에 참외를 잡는 그림퍼의 압축력, 줄기를 절단하는 커터의 형상 등이 설계의 중요한 인자이다. 따라서 참외의 기하학적 측정, 압축, 절단, 마찰 시험 등을 통해 엔드이펙터의 설계에 필요한 기초 요인을 분석하였다.

1. 공시재료

공시재료는 품종이 부자꿀인 성주군에서 재배된 참외

를 이용하였다. 참외는 수확 직전의 참외를 수확하여 사용하였으며, 참외 줄기는 수확 시에 꼭지부에서부터 약 5cm 여유가 있도록 샘플링하였다. 참외의 기하학적 측정에서는 상품화가 가능한 참외 50개를 이용하여 측정하였고, 압축시험에서는 수확 직전의 노란색 참외와 덜 익은 푸른색의 참외로 구분하여 측정하였다.

2. 참외 및 줄기의 기하학적 측정

참외의 기하학적 측정은 그림퍼의 핑거부분을 설계하기 위한 것으로, Fig. 1(a)에 3D스캐너(LPX-60, Roland, Japan)를 이용하여 측정된 참외의 기하학적 형상을 모델링한 후 참외의 길이(L), 직경(D), 부피(V) 등을 각각 산출하였다. 특히 직경은 Fig. 1(b)와 같이 길이방향으로 꼭지부에서 30%되는 지점(D1)과, 중간 지점(D2), 끝단부에서 30% 되는 지점(D3)도 각각 측정하였다. 중량(W)은 저울(FX-2000, AND, Japan)을 이용하여 측정하였다. 또한 커터를 설계하기 위하여 참외 줄기의 중심 위치와 줄기의 직경도 측정하였다.

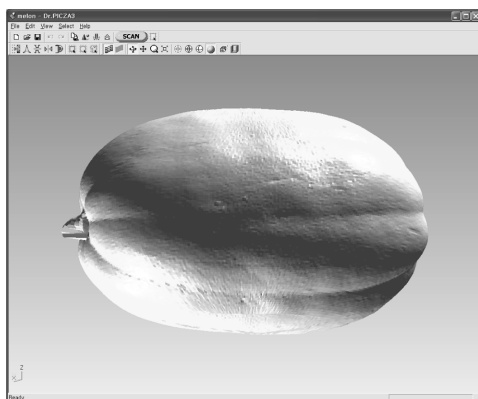
참외의 중심으로부터 참외의 표면까지 형상의 불균일한 정도는 그림을 할 때 그림퍼의 핑거 형상과 구조 설계에 있어서 중요하다. 3D 모델링 된 참외의 형상을 이용하여 참외의 직경에 대해서 불균일한 정도를 진원도로 판단하였다. 참외의 진원도는 식(1)과 같이 원형 형체를 2개의 동심인 기하학적 원 사이에 넣었을 때 동심인 2개 원의 간격이 최소가 되는 경우에 외접원의 내접원의 반지름의 차로 구하였다.

$$\Delta z = R_{\max} - R_{\min} \quad (1)$$

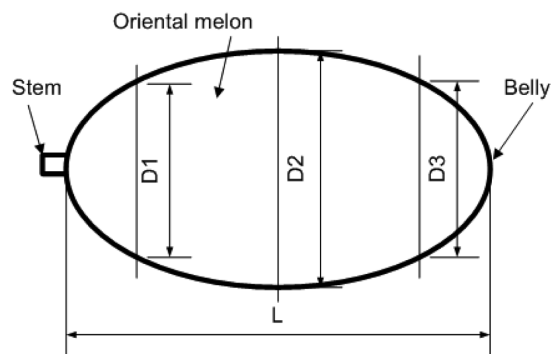
여기서,

Δz : 참외 진원도, mm

R_{\max} : 참외 외접원의 반지름, mm



(a) 3D-modeling of melon



(b) Measurement of dimension

Fig. 1. Geometric test of the melon using the 3D-scanner.

R_{min} : 참외 내접원의 반지름, mm

또한, 참외의 중량(W)에 대하여 길이(L)와 직경(D2)을 변수로 하는 지수함수인 식(2)로 나타내었으며, 이를 비선형회귀분석(NLIN)을 통하여 상관관계가 있는지 분석하였다(SAS, 2011).

$$W = L^a \times D_2^b \quad (2)$$

여기서,

W: 참외의 중량, g

L: 참외의 길이, mm

D2: 참외의 중간부 직경, mm

a, b: 회귀상수

3. 참외의 압축 시험

참외의 압축 시험은 그립퍼의 설계에 적용하기 위한 것으로, 물성측정기(Compac-100 II, Sun Scientific Co., Japan)를 이용하여 측정하였다. 참외의 압축 시험은 Fig. 2와 같이 $\phi 5$ 크기의 어댑터를 물성측정기에 장착하여 측정하였다. 사용된 참외의 시편은 Fig. 2와 같으며, 가로 × 세로 크기는 약 20×20 mm, 두께는 약 8mm로 하

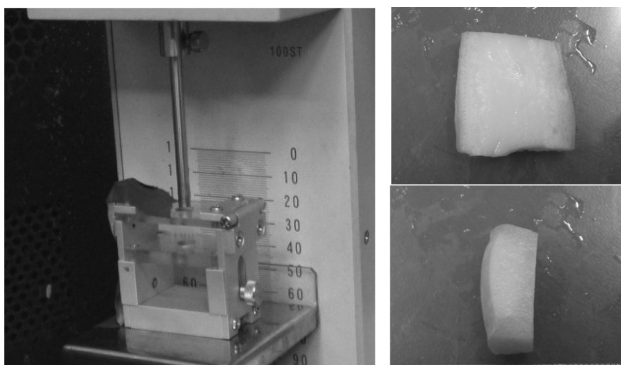


Fig. 2. Compression test of the melon.

였다. 압축력 측정에서는 시편의 종류를 수확 직전의 노란색 참외와 덜 익은 푸른색의 참외로 나누었으며, 꼭지부와 중간지점, 배꼽부의 3지점으로 각각 실험하여 최대 응력, 압축강도, 경도를 측정하였다.

4. 참외 줄기의 절단 시험

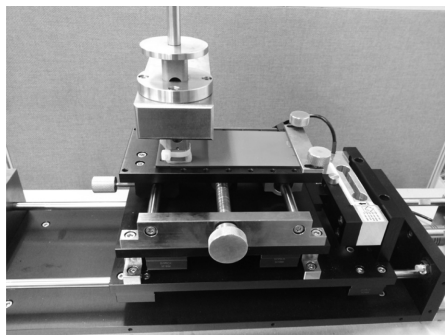
참외 줄기의 절단 시험은 커터의 절단력을 설계에 적용하기 위한 것으로, Fig. 3과 같이 면도날 어댑터를 물성측정기에 장착하였고, 줄기의 시편은 참외의 꼭지부에서 길이를 약 30mm로 절단한 후 어댑터에 고정시킨 후 절단하였다. 시험 항목은 최대응력, 절단강도, 절단력을 측정하였다.

5. 참외 표면의 마찰 시험

참외 표면의 마찰시험은 그립퍼의 핑거 설계에 적용하



Fig. 3. Cutting test of the melon stem.



(a) Contact friction materials



(b) Melon sample and adapter

Fig. 4. Friction test of the melon using the friction coefficient tester.

기 위한 것으로, Fig. 4와 같이 마찰계수측정기(FCMS170, Neoplus, Korea)를 이용하여 시험하였다. 피마찰재 시편의 크기는 70×150×3mm로 제작하였고, 피마찰재는 고무, 스테인레스, 알루미늄, 테프론을 이용하였다. Fig. 4(b)에서 참외 시편은 표면으로부터 두께 약 2mm로 박편하여 참외 표면이 피마찰재와 접촉되도록 어댑터에 고정하였다. 시험 하중은 3N, 시험 속도는 100mm/min, 시험 시간은 60sec로 설정하였으며, 피마찰재별로 3회 반복하여 마찰력을 측정하였다. 참외 표면의 마찰계수는 식(3)과 같이 시험 하중과 측정된 마찰력을 나누어 마찰계수를 산출하였다.

$$\mu = \frac{f}{L} \quad (3)$$

여기서,

μ : 참외 표면의 마찰계수, dec

f: 마찰 하중, N

L: 시험 하중, N

결과 및 고찰

1. 참외의 기하학적 특성

참외를 대표적인 크기별로 분류하고 길이, 직경, 중량 및 부피를 각각 측정하여 Table 1에 나타내었다.

길이(L)는 95~119mm의 범위로 평균 108mm, 직경은 길이방향으로 꼭지부에 30%되는 부위(D1)에서 50~68mm의 범위로 평균 60mm, 중간부(D2)에서 60~79mm의 범위로 평균 70mm, 배꼽부(D3)에서 30%되는 부위에서는 56~76mm의 범위로 평균 69mm로 측정되었다. 중량은 138~254g의 범위로 평균 188g, 부피는 200~460mL이며, 평균 333mL로 측정되었다. 측정된 최대길이와 직경은 119mm와 79mm를 나타내었는데, 문헌에 의하면 참외 품종별로 길이는 102~123mm, 직경은 70~85mm 범위로 조사되어(Shin 등, 2006) 유사한 경향을 나타내었다.

이를 고려하여 그림퍼의 핑거 크기와 선회반경, 설치위치 등의 설계에 적용할 수 있다. 만약 3개의 핑거로 설계한다면 중심부와 꼭지부 30%, 배꼽부의 30% 되는 부위

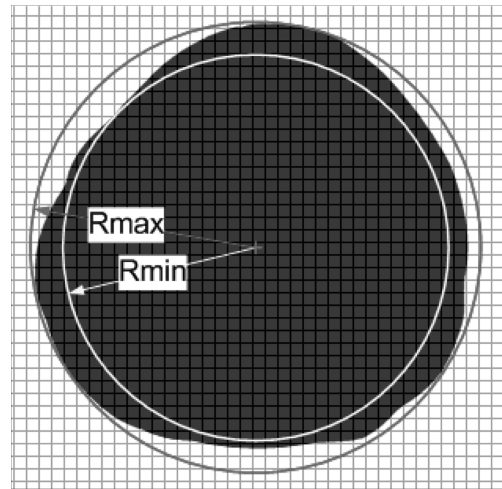


Fig. 5. Roundness of melon.

에 위치되도록 설계할 수 있고, 4개의 핑거로 설계시에는 2개의 핑거가 마주보며 동시에 구동할 수 있도록 꼭지부 30%와 배꼽부의 30%되는 부위에 위치되도록 설계할 수 있다. 참외의 직경을 고려하면 핑거의 선회반경은 최소한 50~80mm 이상으로 설계되는 것이 바람직할 것이다.

Fig. 5는 3D 모델링 한 참외의 진원도를 측정된 결과를 나타낸 것으로, 외접원(R_{max})과 내접원(R_{min})의 반지름의 차(Δz)로 구한 참외의 진원도는 평균 $3.8 \pm 1.2\text{mm}$ 로 측정되었다. 진원이 아니기 때문에 4개의 핑거가 동시에 파지되지 않고, 1개의 핑거부터 파지 후 나머지 핑거가 파지되기 때문에 먼저 파지된 참외 표면에 손상을 줄 우려가 크다. 따라서 핑거 부위에 약 5mm의 쿠션이 좋은 재질의 패드를 장착하는 것이 안정된 그림을 하는데 좋을 것으로 판단되었다.

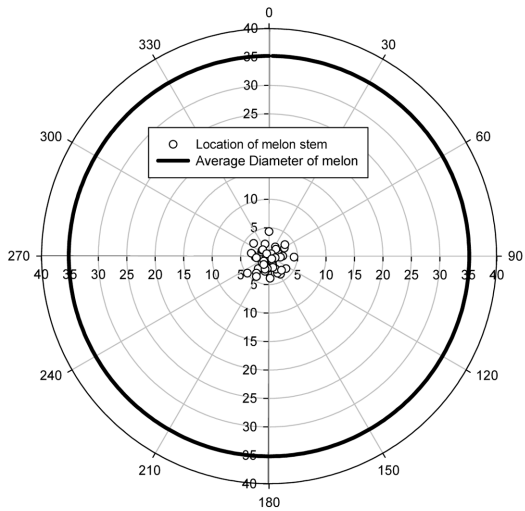
참외의 중량(W)에 대하여 길이(L)와 직경(D2)을 변수로 하는 지수함수인 식(2)로부터 비선형회귀분석을 실시한 결과 a는 2.0279, b는 -0.9998의 상수값을 가지는 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 참외의 길이와 직경의 판독만으로 참외의 중량을 예측이 가능하며, 참외를 그림하여 운반할 때 엔드이펙터의 구동력 산출에 이용할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 1. Geometric characteristics of melon.

Item	Length (mm)	Diameter(mm)			Weight (g)	Volume (mL)
		Stem	Middle	Belly		
	L	D1	D2	D3	W	V
Maximum	119.2	68.1	79.1	76.8	254.5	460.7
Minimum	95.3	50.7	60.6	56.1	138.2	200.8
Mean ²	108.6 ± 10.2	60.4 ± 7.1	70.3 ± 6.5	69.3 ± 7.0	188.2 ± 41.3	333.3 ± 91.4

²Mean \pm S.D.

Polar Plot



Polar Plot

Fig. 6. Distribution of melon stem (Unit: mm, deg).

2. 참외 줄기의 기하학적 특성

참외 줄기의 지름은 3.4~4.3mm의 범위로 평균 3.8 ± 0.3mm로 나타났다. 앞서 진원도 측정시 참외의 중심으로부터 참외 줄기부의 위치 분포도를 Fig. 6에 나타내었다. 참외 줄기는 5mm 범위 내에서 중심부에 위치하기 때문에 줄기의 지름을 감안하면 커터의 선회반경은 최소한 8mm 이상으로 설계가 필요하다. 참외 위치와 그림퍼 동작에 따른 위치오차의 발생이 있고, 수확 전 참외의 꼭지부가 수평으로 놓여 있지 않고 아래쪽이나 위쪽을 향한 경우가 있기 때문에 커터의 길이는 최소한으로 중심부보다 아래쪽으로 더 길게 위치하도록 설계가 필요할 것이다. 또한, 앞서 참외의 기하학적 특성으로부터 꼭지부가 배꼽부보다 직경이 작은 경향을 나타내어 꼭지부의 줄기를 절단할 때 줄기 위치를 검출하는 하나의 인자로 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

3. 참외의 압축 특성

참외의 압축 특성을 Table 2에 나타내었다. 노란색 참

Table 2. Compressive properties of melons.

Item		Yield strength (N/cm ²)	Strength (N/cm ²)	Hardness (N/cm ²)
Yellow color	Stem part	38.6 ± 5.7 ^z	196.2 ± 28.8	668.1 ± 55.5
	Middle part	35.9 ± 2.8	183.4 ± 14.8	632.7 ± 26.3
	Belly part	34.9 ± 4.7	177.6 ± 24.1	609.2 ± 18.1
Green color	Stem part	50.1 ± 2.1	255.1 ± 10.7	782.8 ± 50.2
	Middle part	45.1 ± 3.5	229.6 ± 17.4	723.0 ± 11.3
	Belly part	49.8 ± 4.2	254.1 ± 21.4	775.0 ± 42.0

^zMean ± S.D.

Table 3. Cutting properties of melon's stems.

Item	Cutting force (N)	Cutting strength (N/cm ²)
Maximum	4.19 × 10 ⁻²	7.21
Minimum	1.74 × 10 ⁻²	4.56
Mean ^z	2.87 ± 0.94 × 10 ⁻²	5.60 ± 1.08

^zMean ± S.D.

외는 항복치, 압축강도, 경도의 평균값이 각각 36.5N/cm², 185.7N/cm², 636.7N/cm²이며, 푸른색 참외는 48.4N/cm², 246.2N/cm², 760.3N/cm²로 측정되었다. 이는 참외 종류와 수확 시기에 따라 압축강도의 편차가 크기 때문에 서보모터를 이용하여 파지력을 제어할 수 있도록 구성하여야 하며, 항복치가 가장 낮은 배꼽부를 기준으로 설계하여야 할 것이다.

참외는 수확특성상 참외의 손상을 줄이기 위해 그림퍼 파지상태를 유지하기 위한 최소의 파지력으로 그림퍼 수확하는 것이 바람직하며, 참외가 파손이나 영구변형이 일어나기 전 표피와 과육이 손상되지 않고 상품성을 유지하기 위해서는 핑거부분의 접촉면적을 크게 하여 힘의 분포를 분산시키고, 쿠션이 좋은 재질을 핑거에 부착하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

4. 참외 줄기의 절단 특성

참외 줄기의 절단 특성을 Table 3에 나타내었다. 그 결과 참외 줄기의 절단력과 절단강도는 각각 2.87 ± 0.94 × 10⁻²N과 5.60 ± 1.08N/cm²로 나타났다. 참외 줄기의 절단력은 최대값인 7.21N보다 큰 값을 이용하여 커터를 설계하여야 할 것이다.

5. 참외의 마찰 특성

3N의 하중과 100mm/min의 이송속도로 참외 표면을 피마찰재인 고무, 스테인레스, 알루미늄, 테프론에 접촉시켜 60초 동안 마찰계수 데이터를 평균한 결과를 Table 4에 나타내었다. 고무의 마찰계수가 0.609로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 알루미늄이 0.393, 스테인레스 강이 0.177, 테프론이 0.079로 나타났다.

Table 4. Friction properties of melon.

Material	Rubber	Aluminum	Stainless steel	Teflon
Maximum	0.605	0.414	0.190	0.081
Minimum	0.586	0.383	0.156	0.076
Friction coefficient ² (dec)	0.609 ± 0.025	0.393 ± 0.018	0.177 ± 0.018	0.079 ± 0.003

²Mean ± S.D.

따라서, 참외의 그립퍼의 핑거 부분에 마찰계수가 높은 고무 등의 재료를 이용한다면 알루미늄 보다 약 2배 정도의 파지력을 가질 수 있기 때문에, 핑거 부위에 쿠션이 좋 으면서 마찰계수가 높은 재질의 패드를 장착하는 것이 안 정된 그립을 하는데 좋을 것으로 판단되었다.

적 요

본 연구는 시설재배에서 참외를 수확할 수 있는 로봇 의 엔드이펙터를 개발하기 위한 전단계로서, 참외의 엔 드이펙트 중에서 소프트 핸드링이 가능한 그립퍼와 참외 줄기를 절단하는 커터를 설계하기 위해 참외의 기하학, 압축, 절단, 마찰 특성 등을 분석하였다. 그 결과 참외의 길이는 평균 108mm, 직경은 중간지점에서 평균 70mm, 중량은 평균 188g, 부피는 평균 333mL, 진원도는 평균 3.8mm로 나타났다. 참외의 중량(W)에 대하여 길이(L)와 직경(D2)을 변수로 하는 식 $W = L^a \times D_2^b$ 로부터 비선형 회귀분석을 실시한 결과 a는 2.0279, b는 -0.9998의 상 수값을 가지는 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 참외 줄기의 지름은 평균 3.8mm이며, 참외 줄기는 중심으로 부터 반경 5mm 범위 내에서 대부분 분포하였다. 참외의 항복치와 압축강도, 경도의 평균값은 각각 36.5N/cm², 185.7N/cm², 636.7N/cm²이며, 참외 줄기의 절단력과 절 단강도는 각각 2.87×10^{-2} N와 5.60N/cm²로 나타났다. 참외의 마찰계수는 고무가 0.609로 가장 높게 나타났 고, 그 다음으로 알루미늄이 0.393, 스테인레스강이 0.177, 테프론이 0.079로 나타났다. 분석된 자료를 토대로 엔드 이펙터 설계시 동작에 따른 위치 오차와 안전율을 감안 하여, 그립퍼의 및 커터의 크기, 선회반경, 설치위치, 구 동모터의 동력, 재료 및 재질의 선정 등에 적용할 수 있 을 것으로 판단되었다.

추가 주제어 : 기하학적 특성, 소프트 핸드링, 압축강도, 절단강도, 마찰계수

사 사

이 논문은 2009학년도 경북대학교 연구교수 연구비에 의하여 연구되었음.

Literature Cited

Bae, G.J., K.S. Lee, Y.G. Kong, G.J. Oh, and S.J. Lee. 2011. The prevalence of musculoskeletal symptoms and the ergonomic risk factors among oriental melon-growing farmers. The Korean Society of Occupational and Environmental Medicine 23(1):1-8 (In Korean).

Hwang, H., S.C. Kim, and D.Y. Choi. 2003. Facilities for bio-production and environmental engineering: development of multi-functional tele-operative modular robotic system for watermelon cultivation in greenhouse. Journal of Biosystems Engineering 28(6):517-522 (In Korean).

Jang, I.J., T.H. Kim, and K.Y. Kwon. 1997. Development of apple harvesting robot (1) - Development of robot hand for apple harvesting -. Journal of Biosystems Engineering 22(4): 411-420 (In Korean).

Kim, S.C., H. Hwang, Y.B. Lee, S.C. Kim, D.H. Im, and H.G. Choi. 2007. Development of strawberry harvesting robot under bench type cultivation (prototype 2). Journal of Biosystems Engineering 12(1):111-117 (In Korean).

Kondo, N., Y. Shibano, T. Fujiura, K. Mohri, M. Monta, and H. Yamada. 1995. End-effectors for petty-tomato harvesting robot. Acta Horticulturae 399:239-246.

Lee, D.W., H.T. Kim, B.R. Min, W. Kim, and D.W. Kim. 2000. Development of a end-effector for grapes harvester. Proceedings of the Bio-environment Control Conference 9(2):98-103 (In Korean).

MIFAFF. 2012. Status of Vegetable Greenhouse Facilities and Production of vegetables in 2011. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Republic of Korea (In Korean).

Min, B.R. and D.W. Lee. 2004. The end-effector of a cucumber robot. Journal of Biosystems Engineering 29(3):281-286 (In Korean).

Monta, M., N. Kondo, and K.C. Ting. 1998. End-effectors for tomato harvesting robot. Artificial Intelligence Review 12: 11-25.

SAS. 2010. SAS 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc., North Carolina, USA.

Shin, Y.S., I.K. Yeon, Y.J. Seo, H.W. Do, J.E. Lee, C.D. Choi, and S.D. Park. 2006. Selection of oriental melon (*Cucumis melo L. var. makuwa Makino*) cultivars for second cropping in summer season. Journal of Bio-environment Control 15(3):270-276 (In Korean).

Son, J.R., C.H. Kang, K.S. Han, S.L. Chung, and G.Y. Kwon.

2000. Development of tomato harvesting robot - 3-D detection technique for identifying tomatoes -. *Journal of Biosystems Engineering* 25(5):415-420 (In Korean).
- Van Henten, E.J., J. Hemming, B.A.J. van Tuijl, J.G. Kornet, J. Meuleman, J. Bontsema, and E.A. van Os. 2002, An Autonomous Robot for Harvesting Cucumbers in Greenhouses. *Autonomous Robots* 13(3):241-258.
- Yamamoto, S., S. Hayashi, H. Yoshida, K. Kobayashi, and K. Shigematsu. 2008. Development of an end effector for a strawberry-harvesting robot. *Acta Horticulturae* 801(1):565-572.