

## 몇가지 채소류의 펀치특성

민용규 · 정헌상\*  
충북대학교 식품공학과  
\*작물시험장 품질이용과

## Punch Properties of Some Vegetables

Young-Kyoo Min and Heon-Sang Jeong\*

Department of Food Science & Technology, Chungbuk National University  
\*Crop Quality and Utilization Division, National Crop Experiment Station  
Rural Development Administration

### Abstracts

In order to investigate the punch properties of some vegetables-cucumber, radish, garlic, ginger and potato-force, distance, and time were measured with a texturometer, and the correlations between compositions and cell characteristics of samples were characterized. Many reflection and rupture points on the force-distance and distance-time curve were observed, and these points appeared when the cells of sample were resisted and yielded against the applied force. They were big and clear at the slow crosshead speed. The regression analysis for force-time and distance-time to the rupture point showed  $R^2 > 0.95$ . The rupture time and rupture force were 5.63 sec, 4.88 N in ginger and 4.15 sec, 2.00 N in cucumber. The rupture forces become large values at the fast crosshead speed. As cell sizes were increased, the moisture content and rupture distance were increased, while the viscosity of juice, density, regularity of cell, and slope of force-time were decreased. Rupture force, time and distance were decreased at the large specific gravity of samples. The slopes of distance-time curve were inversely proportional to slope of force-time curve.

Key words: vegetables, punch properties, force-time curve, distance-time curve, rupture point, sample compositions, cell characteristics

### 서 론

식품은 가공, 저장 및 유통과정 중에 충격, 마찰, 무게 등의 힘을 받게되며 이 힘에 의해 식품은 응력(stress), 변형(deformation), 파괴(rupture) 등의 거동(behavior)을 한다. 물리적인 힘에 대한 식품의 거동은 그 식품의 종류에 따라 독특한 양상을 보이며, 이러한 양상은 힘-거리, 힘-시간, 거리-시간 등의 곡선으로부터 측정된다. 이러한 성질은 그 식품을 다루는 기초자료로도 이용되고 그 식품의 품질을 평가하는 지표로도 사용된다.

식품에 힘을 가할때 발생하는 거동에 대한 연구로 Bourne<sup>(1)</sup>은 식품의 힘-거리 곡선을 세가지 형태로 분류하였으며, Mohsenin 등<sup>(2)</sup>은 힘을 가할 때와 제거 할

때 힘-변형-시간의 관계로 부터 과일과 채소의 조직감을 연구하였으며, Peleg<sup>(3,4)</sup>는 압축파괴시 힘-변형의 관계는 과일과 채소류의 성숙도에 따라 변하며, 응력-변형 곡선의 형태는 시료의 길이에 의존한다고 하였다. Calzada와 Peleg<sup>(5)</sup>는 응력-변형 곡선은 시료의 기계적 강도를 감소시키려는 내부 파괴와 그것을 증가시키려는 구조적 압축을 함께 포함한다고 하였다. 그 밖에 오이의 중과피와 외과피에 대한 펀치시험<sup>(6)</sup>, 사과와 물리적 성질<sup>(7,8)</sup>, 하중의 증가속도에 따른 포피 파괴힘의 측정<sup>(1)</sup>, 세포파괴시 조직의 강도, 파괴힘, 변형에 대하여 세포의 팽압성과 하중 증가율이 미치는 영향<sup>(12)</sup>, 직경이 작은 plunger를 이용한 압축시험<sup>(13)</sup>, 농산물의 점탄성 계수를 구하기 위한 연구<sup>(14)</sup>, 과일과 채소에 대한 펀치시험시 탐침의 크기<sup>(15)</sup>, 탐침속도<sup>(16)</sup>, 탐침방법<sup>(17)</sup> 등에 대한 연구가 진행되었다.

본 연구에서는 우리 식품에 중요한 위치를 차지하는 채소류 중에서 우리가 흔히 먹고 손쉽게 구할 수

Corresponding author: Young-Kyoo Min, Department of Food Science & Technology, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea

있으며, 물리적 성질이 두드러지게 다른 채소를 시료로 하여 펀치시험을 실시하고 그때 얻어지는 힘-거리 및 거리-시간 사이의 관계를 살펴보고 시료의 성분함량 및 세포특성과의 상관관계를 살펴보았다.

## 재료 및 방법

### 재료 및 세포특성

실험에 사용된 시료는 1993년에 재배된 오이, 무우, 마늘, 생강, 감자를 시중에서 구입하여 사용하였으며, 이들의 수분함량, 섬유소 함량, 비중 및 압착액의 점도를 AOAC<sup>(1)</sup>법에 준하여 측정하고 세포특성은 현미경을 이용하여 세포의 크기와 형태는 장축과 단축의 크기로, 조밀도는 1 mm<sup>2</sup> 당 세포수로, 둥글기는 세포의 가장 큰 내접원과 가장 작은 외접원과의 비로 측정하였다.

### 시료처리

펀치시험을 위해 시료의 가식부분을 cork borer로 직경 5 mm, 높이 5 mm의 원통형으로 만들어 실험에 사용하였다.

### 측정방법

실험에 사용된 기기는 texturometer (Struct-O-Graph, Model No. 603, Brabender)이었으며, 시료를 측정기기의 plate에 올려놓고 일정한 속도로 crosshead를 이동시키면서 펀치시험을 하였다. 사용된 탐침은 cone type probe (30°)였고 crosshead speed는 60 및 120 mm/min, chart speed는 390 mm/min이었으며, cali-

bration spring은 20 N을 사용하였다.

### 힘-이동거리-시간 관계

시료에 힘을 가할때 가해진 힘 및 탐침의 이동거리를 시간에 따라 측정하고 힘-거리 곡선 및 거리-시간 곡선으로 표현하였으며, 시료가 파괴되기 전까지 비례관계가 성립되는 부분의 데이터를 시간에 대하여 회귀분석하고 그 상수값을 비교하였다.

### 파괴점

힘-거리의 관계에서 힘이 급격히 감소하고 이동거리가 급격하게 증가하는 파괴점에서의 힘, 거리 및 시간을 구하였다.

### 상관관계

힘-시간, 거리-시간 곡선의 기울기, 파괴점에서의 힘, 거리, 시간과 성분함량 및 세포특성 간의 상관관계를 통계프로그램(SAS, Statistical Analysis System)으로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 시료특성

실험에 사용된 시료의 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 수분함량은 오이가 95.6%로 가장 많았으며, 마늘이 62.8%로 작았다. 시료 즙액의 점도는 마늘이 25.6 cP로 가장 컸으며, 그밖의 시료는 유사하였다. 세포의 장축의 길이는 오이가 299  $\mu$ m로 컸으며, 세포의 면적은 오이, 무우, 감자가 컸다. 세포의 둥근정도를 나타내

Table 1. Characteristics of samples and sample cells

Common Name	Cucumber	Radish	Garlic	Ginger	Potato
Scientific Name	<i>Cucumis sativus</i> L.	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Allium sativum</i> L.	<i>Zingiber officinale</i> R.	<i>Raphanus sativus</i> L.
Moisture (%)	95.6	93.7	62.8	75.6	84.8
Fiber (%)	0.5	1.0	0.8	1.9	0.4
Viscosity (centipoise)	10.4	8.0	25.6	7.6	8.8
Specific Gravity	0.97	1.00	1.02	1.03	1.09
Cell length ( $\mu$ m)	299	256	149	184	250
Cell width ( $\mu$ m)	209	206	100	142	215
Cell area <sup>1)</sup>	0.064	0.056	0.016	0.027	0.055
Cell roundness (Ap/Ac) <sup>2)</sup>	0.465	0.607	0.426	0.745	0.648
Cell density <sup>3)</sup>	20-24	32-36	76-80	60-64	40-44
Cell regularity <sup>4)</sup>	0.007	0.008	0.033	0.018	0.027

<sup>1)</sup>Length width.

<sup>2)</sup>A<sub>p</sub>: area of largest inscribing circle, A<sub>c</sub>: area of smallest circumscribing circle.

<sup>3)</sup>A number of cell per 1 mm.

<sup>4)</sup>Standard deviation of size.

는 roundness는 생강과 감자가 각각 0.745 및 0.648로 컷으며, 세포의 조밀도 즉 단위면적당 세포수는 세포의 장축과 단축이 작은 마늘이 76~80개로 가장 많았다.

**힘-거리 곡선**

식품의 단단한 정도를 측정하는데 사용되는 가장 보편적인 방법중의 하나인 펀치시험은 탐침이 식품을 뚫고 들어가는데 필요한 힘과 탐침의 이동거리를 측정함으로써 시료의 단단한 정도를 표현하게 되며<sup>(10)</sup>, 힘-거리 곡선은 세포의 팽압, 세포 구성물질 및 탐침속도에 따라 다르게 된다<sup>(11)</sup>. 탐침이 식품과 접촉하게 되면 우선 탐침과 접하는 표피구조의 파괴가 일어나고 그 다음 내부 조직의 파괴 그리고 탐침이 뚫고 나가는 쪽의 표피의 파괴가 나타나게 되지만<sup>(11)</sup> 본 실험에서의 힘-거리 곡선은 Fig. 1과 2에서 보는 바와 같이 시료의 표피를 제거한 후 가식부분만을 시료로 사용하였기 때문에 표피의 파괴점은 나타나지 않았다. 힘-거리 곡선상에는 힘이 순간적으로 급격히 증가한 부분(A)과 완만하게 증가한 부분(B), 그리고 탐침이 시료를 관통하는 파괴점(C)이 관찰되었다. 또한 힘-거리 곡선의 형태는 Bourne<sup>(12)</sup>가 제시한 형태중 첫번째 형태로서 생물 항복점을 지나서 계속적으로 항복과 저항을 나타내면서 파괴점까지 힘과 거리가 증가하는 형태이었다.

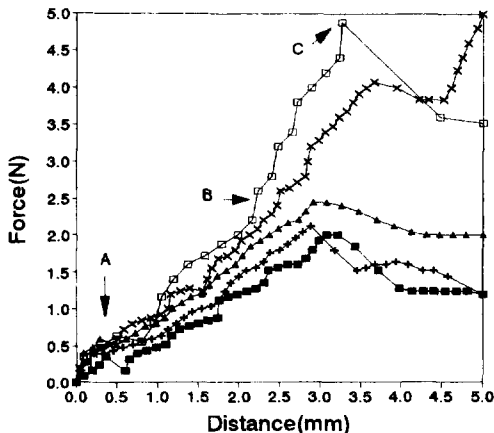
시료내 유조직세포 간의 결합부위나 또는 세포자체를 탐침이 통과하려면 저항을 받게되고 그 저항은 탐침의 면적에 작용하는 압착력과 탐침의 둘레에 비례하는 전단력의 합으로 표현된다<sup>(13)</sup>. 그 저항은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 거리의 변화는 작지만 힘이 급격하

게 증가하는 부분과 이와는 반대로 힘이 급격히 감소하거나 거리의 변화가 큰 부분과 같은 변곡점들로 나타났다. 이러한 부분들은 펀치시험 전기간에 걸쳐 관찰되었는데 이것은 시료가 생물체이므로 구성세포를 탐침이 뚫고 들어갈 때 나타나는 현상이라 생각된다. 또한 최대 강도를 나타내는 파괴점은 탐침에 의하여 시료가 균열을 일으키는 점이다. 모든 시료는 이와 같은 파괴점을 보였으며, 탐침속도가 느릴 수록 크고 분명하였다<sup>(14)</sup>.

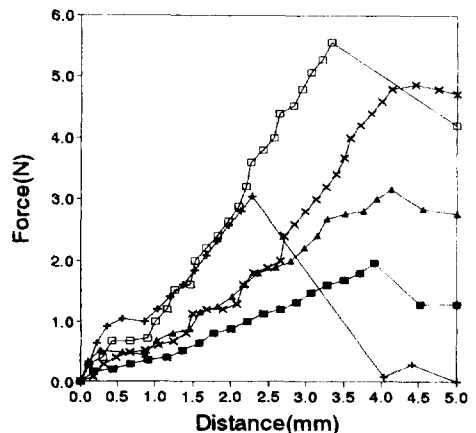
**거리-시간 곡선**

거리-시간 곡선은 Fig. 3과 4에서 보는 바와 같이 이동거리가 순간적으로 급격히 증가한 부분(A)과 완만하게 증가한 부분(B)이 관찰되었다. A점은 시료의 조직이 탐침에 의하여 관통될 때이며, B점은 조직이 관통되기 전에 가한 힘에 견디는 때이다.

이러한 A점까지 걸리는 시간 및 B점 부터 견디는 시간은 시료의 종류에 따라 달라지며 시료의 경도 및 파괴시의 변형 등에 대한 정보를 갖고있다<sup>(14)</sup>. 탐침속도가 빠르면 A점은 잘 나타나지만 B점은 잘 나타나지 않게 되며, 탐침속도에 관계 없이 파괴점 C는 분명하게 나타났다. 탐침이 시료를 완전히 깨뜯는데 걸리는 시간은 탐침속도 60과 120 mm/min에서 각각 오이는 5.49, 2.68, 무우는 5.09, 3.08, 마늘은 5.36, 2.28, 생강은 6.03, 3.48, 감자는 6.97, 4.15초 이었다. 탐침속도를 60 mm/min로 하면 시료의 두께 5 mm를 관통하는데에는 5초가 걸려야 한다. 그러나 실제 시험에서는 감자가 6.97초로 가장 많이, 무우는 5.09초로 거의 탐침의 이동속도와 비슷하였다. 이러한 현상은 시료에



**Fig. 1. Force-distance curves at the crosshead speed of 60 mm/min.** A: decrease or constant of force, B: increase of force, C: rupture point, ■—■: cucumber, ▲—▲: radish, +—+: garlic, □—□: ginger, ×—×: potato.



**Fig. 2. Force-distance curves at the crosshead speed of 120 mm/min.** ■—■: cucumber, ▲—▲: radish, +—+: garlic, □—□: ginger, ×—×: potato.

가해진 힘에 대한 저항력이 생강과 감자는 크지만 무우는 작기 때문이라 생각된다. 또한 120 mm/min의 탐침속도에서는 마늘을 제외하고는 2.5초 이상의 시간이 소요되었으며, 감자가 가장 많이, 그리고 오이가 가장 작았다. 마늘은 2.28초로 탐침의 이동속도 보다 작게 나타났는데 이것은 일정수준의 힘을 받은 다음 갑자기 파괴되기 때문에 나타난 현상이라 생각된다.

**힘의 증가속도 및 탐침의 이동속도**

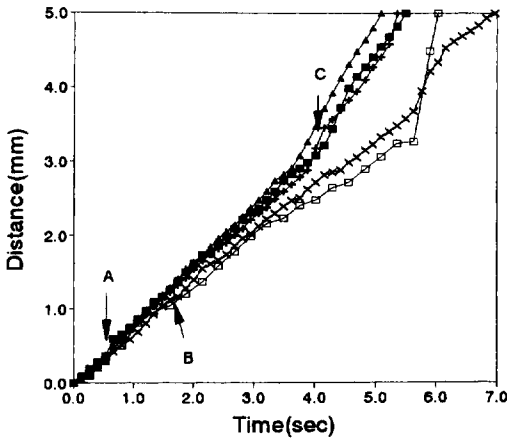
파괴점까지의 데이터로 부터 힘의 증가속도와 탐침의 이동속도에 대한 회귀식을 구하였으며, 그 식의 기울기는 Table 2와 같다. 모든 회귀식의 상관계수는

0.95이상으로 선형관계가 있었다. 탐침속도 60 mm/min에서 힘의 증가속도는 생강 및 감자가 각각 0.839, 0.714 N/s로 컸으며, 오이는 0.488 N/s로 작았다. 탐침속도 120 mm/min에서는 마늘과 생강이 각각 1.771 및 1.541 N/s로 컸지만 오이는 0.806으로 작았다. 이러한 현상은 힘의 증가속도 차이는 시료의 단단함을 나타내 준다는 Burkner와 Kinch<sup>(2)</sup>의 연구결과를 생각해 볼때 오이의 조직이 다른 시료에 비하여 약하기 때문이라 생각된다.

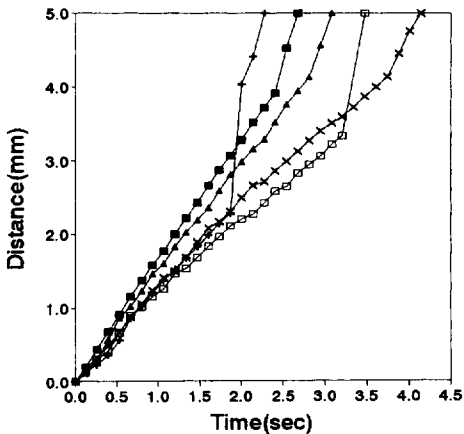
탐침의 이동속도는 60 mm/min의 탐침속도에서 무우가 0.832 mm/sec으로 컸고 생강 및 감자가 각각 0.595 및 0.657 mm/sec로 작았으며, 120 mm/min의 탐침속도에서도 유사한 경향을 나타내었다. 일반적으로 힘의 증가속도는 단단한 시료가 크고 탐침의 이동속도는 힘과는 반대로 단단하지 않은 시료가 컸다. 시료에 가해진 힘이 급격하게 증가하는 것은 시료가 단단하여 이동거리가 작아도 큰 힘에 도달하게 되며, 반대로 힘의 증가가 적은 것은 시료가 계속해서 항복하기 때문에 멀리 이동한 후에야 큰 힘에 도달하게 되기 때문이라 생각된다.

**파괴점**

편치시험시 시료가 파괴 될때 즉 파괴점에서의 힘, 거리 및 시간은 Table 3과 같다. 탐침이 시료속으로 계속해서 들어감에 따라 이동거리는 증가하고 시료는



**Fig. 3. Distance-time curves at the crosshead speed of 60 mm/min.** A : decrease or constant of distance, B : increase of distance, ■—■: cucumber, ▲—▲: radish, +—+: garlic, □—□: ginger, ×—×: potato.



**Fig. 4. Distance-time curves at the crosshead speed of 120 mm/min.** ■—■: cucumber, ▲—▲: radish, +—+: garlic, □—□: ginger, ×—×: potato.

**Table 2. Slopes in regression equations of force and distance as a function of time to reach rupture point**

Sample	Force-Time (N/sec)		Distance-Time (mm/sec)	
	60 <sup>1)</sup>	120 <sup>2)</sup>	60	120
Cucumber	0.488	0.806	0.770	1.626
Radish	0.631	1.114	0.832	1.472
Garlic	0.518	1.541	0.755	1.271
Ginger	0.839	1.771	0.595	1.018
Potato	0.714	1.311	0.657	1.097

<sup>1)</sup>Crosshead speed: 60 mm/min.

<sup>2)</sup>Crosshead speed: 120 mm/min.

**Table 3. Force, distance and time to reach rupture point<sup>1)</sup>**

Samples	Force (N)		Distance (mm)		Time (sec)	
	60 <sup>1)</sup>	120 <sup>2)</sup>	60	120	60	120
Cucumber	2.00	1.96	3.21	3.91	4.15	2.41
Radish	2.44	3.16	3.08	4.13	3.75	2.81
Garlic	2.12	3.04	2.88	2.28	3.89	1.88
Ginger	4.88	5.56	3.27	3.33	5.63	3.23
Potato	4.08	4.88	3.67	4.32	5.63	3.88

<sup>1)</sup>Refer to table 2 for abbreviation.

**Table 4. Correlation coefficients among sample characteristics and punch properties at the crosshead speed of 120 mm/min<sup>1)</sup>**

	CL	CW	AR	CR	DE	RE	MC	FI	VI	SG	GF	GD	RF	RD	RT
CL	1.00	0.94**	0.99**	-0.03	-0.99**	-0.74	0.96**	-0.51	-0.69	0.07	-0.89*	0.63	-0.40	0.85*	0.27
CW		1.00	0.98**	0.21	-0.93**	-0.62	0.93**	-0.46	-0.78	0.11	-0.73	0.38	-0.14	0.97**	0.55
AR			1.00	0.03	-0.98**	-0.69	0.96**	-0.53	-0.70	0.03	-0.86*	0.57	-0.34	0.90**	0.36
CR				1.00	-0.01	-0.11	0.12	0.62	-0.68	0.78	0.47	-0.66	0.87	0.43	0.82*
DE					1.00	0.80*	-0.99**	0.43	0.73	-0.13	0.87*	-0.64	0.40	-0.86*	-0.26
RE						1.00	-0.85*	-0.10	0.71	-0.51	0.64	-0.65	0.37	-0.58	-0.00
MC							1.00	-0.31	-0.79	0.24	-0.81*	0.60	-0.33	0.88*	0.30
FI								1.00	-0.18	0.81	0.69	-0.48	0.56	-0.29	0.07
VI									1.00	-0.70	0.30	-0.03	-0.29	-0.87*	-0.70
SG										1.00	0.28	-0.28	0.51	0.26	0.40
GF											1.00	-0.88*	0.77	-0.56	0.16
GD												1.00	-0.94**	0.19	-0.56
RF													1.00	0.08	0.75
RD														1.00	0.70
RT															1.00

<sup>1)</sup>CL: Cell length, CW: Cell width, AR: Area of cell, CR: Cell roundness, DE: Amount of cell/area, RE: Regularity, MC: Moisture content, FI: Fiber content, VI: Viscosity of juice, SG: Specific gravity, GF: Gradient of time-force curve, GD: Gradient of time-distance curve, RF: Rupture force, RD: Rupture distance, RT: Rupture time. \*: Significant at p<0.10, \*\*: Significant at p<0.01.

결국 파괴된다. 이러한 현상에 대해 Pitt<sup>(12)</sup>는 세포와 세포 사이의 결합이 끊어지거나 세포벽이 파괴되면서 파괴가 발생하며, 이는 세포의 팽압성과 관계가 깊다고 하였다. 파괴가 발생할 때 힘은 그 시료의 강도로서 표현된다<sup>(20)</sup>. 본 실험에 사용된 시료의 강도를 나타내는 파괴점은 우리가 일상적으로 씹었을 때 단단하게 느껴지는 것이 컷다. 파괴점에서의 힘은 탐침속도 120이 60 mm/min보다 대체적으로 더 많이 필요로 하였다. 탐침속도 60과 120 mm/min에서 파괴힘은 생강이 각각 4.88 및 5.56 N, 감자가 각각 4.08 및 4.88 N으로 컷으며, 오이가 각각 12.00 및 1.966 N으로 작았다. 파괴점에 도달할 때의 시간은 탐침속도 60 mm/min에서는 감자와 생강이 모두 5.63초, 120 mm/min에서는 각각 3.23 및 3.88초의 많은 시간이 소요되었다.

**상관관계**

힘-시간 및 거리-시간 간의 기울기 그리고 파괴점에서의 힘, 거리, 시간과 성분함량 및 세포특성 간의 상관관계를 크로스헤드 이동속도 120 mm/min에 대하여 살펴본 결과는 Table 4에서 보는 바와 같이 세포가 클수록 수분함량이 많고 파괴거리가 커지는 관계를 보였으며, 세포의 규칙성, 시료의 즙액, 조밀도와 힘-시간 간의 기울기는 작아지는 관계가 있었다. 세포의 조밀도는 세포크기와는 음의 상관이 있으므로 수분함량과 파괴거리는 작아지는 관계가 있었다. 수분함량이 많을 수록 점도는 작아지며, 힘-시간 간의 기울기는

감소하고, 비중이 클수록 파괴힘, 거리 및 시간은 작아지는 관계를 보였다. 힘-시간 간의 기울기와 거리-시간 간의 기울기는 서로 반비례하는 관계(r=-0.88)가 있었으며, 힘-시간 간의 기울기는 파괴힘과 정의상관(r=0.77)이 있었다.

**요 약**

몇가지 채소류(오이, 무우, 마늘, 생강 및 감자)의 펀치특성을 살펴보기 위하여 식품물성 측정기로 일정하게 힘을 가하면서 힘-거리-시간 간의 관계를 살펴보고 성분함량 및 세포특성과의 관계를 살펴본 결과는 다음과 같다. 힘-거리 및 거리-시간 곡선상에는 많은 변곡점 및 파괴점이 관찰되었으며, 이는 시료의 구성세포가 가해진 힘에 대해 저항 또는 항복할때 나타나는 현상으로 탐침속도가 느릴때 크고 분명하였다. 파괴점까지 힘-시간 및 거리-시간에 대한 회귀분석 결과 상관계수는 0.95이상이었다. 탐침이 시료를 관통하는 시간과 그때의 힘은 생강이 5.63초 및 4.88 N으로 컷고 오이가 4.15초 및 2.00 N으로 작았으며, 탐침속도가 빠를 수록 더 많은 파괴힘을 필요로 하였다. 상관관계 분석결과 세포가 클수록 수분함량이 많고 파괴거리가 커지며, 세포의 규칙성, 시료의 즙액, 조밀도와 힘-시간 간의 기울기는 작아지는 관계를 보였다. 비중이 클수록 파괴힘, 거리 및 시간은 작아졌으며, 거리-시간곡선의 기울기는 힘-시간곡선의 기울기와 반비례 관계가 있었다.

## 문헌

1. Bourne, M.C.: Studies on punch testing of apples. *Food Technol.*, **19**, 113 (1965)
2. Mohsenin, N., Cooper, H.E. and Tukey, L.D.: Engineering approach to evaluating textural factors in fruits and vegetables. *Transactions of the ASAE*, **6**, 85 (1963)
3. Peleg, M. and Calzada, J.F.: Stress relaxation of fruits and vegetables. *J. Food Sci.*, **41**, 1325 (1976)
4. Peleg, M.: The role of the specimen dimensions in uniaxial compression of food materials. *J. Food Sci.*, **42**, 649 (1977)
5. Calzada, J.F. and Peleg, M.: Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationships of solid foods. *J. Food Sci.*, **43**, 1087 (1978)
6. Thompson, R.L., Fleming, H.P. and Hamann, D.D.: Delineation of puncher force for exocarp and mesocarp tissues in cucumber fruit. *J. Tex. Stud.*, **23**, 169 (1992)
7. Chappell, T.W. and Hamann, D.D.: Poisson's ratio and Young's modulus for apple flesh under compressive loading. *Transactions of the ASAE*, **11**, 608 (1968)
8. Clevenger, J.T.Jr. and Hamann, D.D.: The behavior of apple skin under tensile loading. *Transactions of the ASAE*, **11**, 34 (1968)
9. Khan, A.A. and Julian, F.V.V.: Bruising and splitting of apple fruit under uni-axial compression and the role of skin in preventing damage. *J. Tex. Stud.*, **22**, 251 (1991)
10. Peleg, K.: Comparison of non-destructive and destructive measurement of apple firmness. *J. Agric. Eng.*, **55**, 227 (1993)
11. Fletcher III, S.W., Mohsenin, N.N., Hammrle, J.R. and Tukey, L.D.: Mechanical behavior of selected fruits and vegetables under fast rates of loading. *Transactions of the ASAE*, **8**, 324 (1965)
12. Pitt, R.E.: Models for the rheology and statistical strength of uniformly stressed vegetative tissue. *Transactions of the ASAE*, **25**(6), 1776 (1984)
13. Timbers, G.E., Staley, L.M. and Watson, E.L.: Determining modulus of elasticity in agricultural products by loaded plungers. *Agric. Eng.*, **45**, 274 (1965)
14. Pictiaw, C. and Fridley, R.B.: Analytical method for determining viscoelastic constants of agricultural materials. *Transactions of the ASAE*, **15**, 1103 (1972)
15. Peleg, M.: Determination of fresh papaya's texture by penetration tests. *J. Food Sci.*, **39**, 156 (1974)
16. Bourne, M.C., Moyer, J.C. and Hand, D.B.: Measurement of food texture by a universal testing machine. *Food Technol.* **20**, 170 (1966)
17. Bourne, M.C.: Two kinds of firmness in apple. *Food Technol.*, **23**, 333 (1969)
18. A.O.A.C.: *Official Methods of Analysis*. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., (1990)
19. Bourne, M.C.: Practice of Objective Texture Measurement, In *Food Texture and Viscosity*. Academic Press, New York, p.118 (1982)
20. Mohsenin, N.: Some basic concepts of rheology. In *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publ., New York, p.128 (1986)
21. Burkner, P.F. and Kinch, D.M.: Force-deformation ratio as an index of papaya maturation. *Transactions of the ASAE*, **11**, 437 (1968)

---

(1996년 11월 7일 접수)