

탐침의 형태에 따른 배추잎의 힘-거리 곡선의 변화와 조직감과의 상관관계

윤의정 · 이철호

고려대학교 식품공학과
(1990년 1월 22일 접수)

Changes in the force-distance curve of Chinese cabbage leaf-stalk by the type of puncture and cutting probes and their relations to the textural parameters

Ewi Jung Yoon and Cheri Ho Lee

Department of Food Technology Korea University

(Received January 22, 1990)

요 약

배추의 조직감 특성을 기계적으로 측정하는 방법을 수립하기 위하여 여러 가지 형태의 탐침에 의한 침투 및 절단시험에서 나타나는 힘-거리 곡선을 비교분석하였으며 그 결과를 배추잎의 미세구조와 관능적 특성과 연관하여 해석하였다. 배추잎의 침투시험에서 탐침의 선단각, 선단면적 및 둘레에 따라 힘-거리 곡선의 형태는 크게 달라지며 선단면적과 둘레가 커질수록 파열력이 크게 증대되었다. 절단시험에서는 표피와 내부유관속 조직을 절단하는 세 개의 특징적인 피크를 나타내었다. 배추잎의 염장에 의하여 침투시험의 최대 변형력은 크게 감소된 반면 파열력은 크게 증대되어 최대 변형력에 대한 파열력의 비(a/c)는 증가되었으며 이것은 탐침의 선단면적과 둘레가 큰 경우에 더욱 두드러지게 나타났다. 염장에 의하여 탄성한계까지의 변형거리가 커졌으며 최초 변형에서의 탄성치(a/l)는 감소하는 경향을 나타내었다. 절단시험에서는 염장에 의하여 외피의 절단력이 상대적으로 증가하였다. 배추 및 절인배추의 아삭아삭한 정도는 침투시험의 최대 변형력과 a/l 의 변화와 밀접한 관계가 있으며, 질긴 정도는 침투시험의 파열력과 a/c , 절단시험의 절단력과 관계가 있으며, 아삭아삭한 정도는 침투시험의 a/c 와 관계가 있는 것으로 판단되었다.

Abstract—The force-distance curves of Chinese cabbage leaf-stalk obtained from puncture and cutting tests using different types of probe were compared and the results were analyzed in relation to the microstructure and sensory characteristics.

The force-distance curve varied with the tip angle, tip area and perimeter of the probe of puncture test. The breaking force increased as the tip area and perimeter increased. In cutting test typical three peaks were obtained indicating the cutting forces for the surface epidermal layers and inner vascular system.

By salting of cabbage leaf, the maximum force of puncture test decreased while the breaking force increased, resulting in a remarkable increase in the ratio of breaking force to the maximum force (a/c), particularly with the probes having large tip area and perimeter. The length to the elastic limit increased, and consequently the elasticity(a/l) at the initial deformation increased by salting.

In cutting test, the cutting force increased by salting of cabbage leaf. The sensory crispness was related to the changes of maximum force and a/l, toughness to the changes of breaking force and a/c in puncture test and cutting force in cutting test, and the juicy-crunchiness to the a/c of puncture test.

Keywords: Chinese cabbage, Textural parameters, Force-distance curves, Microstructure, Puncture Probes.

1. 서 론

생물조직에 대한 유체변형학적 연구는 점탄성모델에 의한 수리적 해석이 불가능하거나 현실적 의미를 찾기 어려운 경우가 많다. 그것은 세포조직이 탄성을 주로 내는 세포벽과 점성을 주로 갖는 세포원형질 및 세포간질의 복잡한 구성으로 되어 있으며 부위에 따라 그 구성비와 미세구조가 달라지므로 균일한 시료의 채취가 어렵다[1]. 또한 생물체가 식품이나 다른 공업재료로 사용될 때 일어나는 변형은 비례한계를 훨씬 능가하는 것으로 미소변형에서 관찰되는 선형 점탄성모델에 의한 해석은 의미가 없는 것을 흔히 관찰하게 된다[2-4].

따라서 대부분의 생물체 조직이나 이로부터 만들어진 식품의 유체변형성은 경험적 비교치의 측정에 중점을 두게 되며 이러한 목적으로 가장 널리 쓰여지는 것이 일정변형에 나타나는 힘-거리 곡선의 특징적 패턴을 분석비교하는 방법이다. 식품의 힘-거리 곡선의 형태와 관능적 조직감 특징 사이의 상관관계에 대한 연구는 Szczesniak[5, 6], Bourne[7] 등 많은 연구자들에 의해 이루어져 있다. 힘-거리곡선에 의한 식품의 조직감 측정은 변형속도, 변형방향, 변형형태 등 여러 가지 실험조건에 의해 크게 영향을 받는다[8]. 이 중에서도 특히 변형의 형태를 결정하는 탐침의 구조에 따라 힘-거리 곡선의 모양은 크게 달라지며 식품의 종류에 따라 각각의 탐침구조가 어떠한 조직감 특성을 나타내주는가를 아는 것이 무엇보다 중요하다.

배추의 조직감 측정에 관한 연구는 최 등[9]의 puncture test, 이 등[10]과 우 등[11]의 절단시험, 이 등[12]의 압착시험 등이 보고되고 있으나 탐침의 형태에 따른 힘-거리 곡선의 해석이 이루어지지 않은 상태에서 기계적 측정치만으로 결론을 내림으로 인해 타당성과 객관성에 문제가 제기되었다. 본 연구에서는 김치의 주재료로 쓰이는 배추줄기의 조직감 측정에 있어서 탐침의 형태에 따른 힘-거리 곡선의 형태변화를 관찰하였다. 또한 힘-거리 곡선에서 얻은 여러가지 지표들의 측정 재현성과 관능적 조직감 특성에 대한 상관성을 생배추 및 절인배추의 구조적 특징과 관련하여 비교 해석하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 실험에 사용된 배추는 김치제조에 널리 사용되는 결구포합형 배추로 경동시장에서 구입하여 사용하였다. 배추잎의 밑동 폭이 3.5cm 가 될 때까지 차례로 뜯어내어 가장 안쪽의 잎을 1번으로 하였을 때 11-25번 잎의 상부에서 4-7cm 사이의 줄기부분을 가로, 세로 3cm 크기로 잘라내어 시료로 하였고 염장은 정제염을 사용한 20% (w/v) 식염용액에 담궈 실시하였다.

2.2. 기계적 측정

배추잎의 침투관통시험 및 절단시험은 Rheometer (R-UDJ-DM, Japan)를 이용하여 실시하였다. Rheometer의 조작조건은 최대하중 2kg 중, 변형속도 (table speed)는 1mm/s, 기록계의 속도는 2mm/s 였다.

3×3cm 크기로 준비된 생배추와 염장한 배추에 대하여 침투용 탐침 또는 절단용 탐침에 의한 기계적 측정 실험을 행하여 힘-거리 곡선을 얻었다.

탐침은 현재까지의 조직감 측정에 많이 사용되어 왔던 것을 포함하여 6가지 탐침을 사용하였는데 그 형태에 따라 각각 다음과 같이 명명하였다.

- ① Needle 형 : tip angle 6°
- ② Awl 형 : tip angle 12°
- ③ Rod 형 : tip area 4.15mm², perimeter 7.22 mm
- ④ Driver 형 : tip angle 14°, perimeter 2.4 mm
- ⑤ Spatular 형 : tip area 1.8mm², perimeter 12.6 mm

시료는 배추잎의 안쪽이 위로 향하여 탐침과 접촉하도록 하였으며 칼날형 탐침을 제외하고는 탐침이 관다발을 피하여 관통하도록 하였다.

2.3. 미세구조의 관찰

배추잎 단면의 미세구조를 주사식현미경(SEM, JSM-200, JEOL)으로 관찰하였다. SEM 관찰을 위한 시료는 배추잎의 줄기부분을 조직이 상하지 않게 (5×5×5) mm³ 크기로 잘라 -50°C에서 동결건조시킨 후

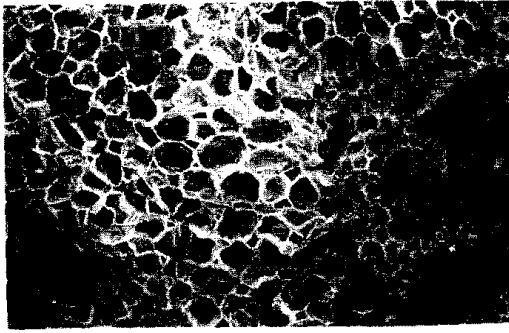


Fig. 1. Scanning Electron Microscopic picture of fresh Chinese cabbage leaf-stalk (50X).

금을 입혀 관찰하였다[13].

2.4. 관능검사

관능검사는 원료배추와 2시간 및 4시간 동안 염장을 한 배추에 대하여 고려대학교 대학원생 8명을 대상으로 실시하였다. 질긴 정도(toughness), 아삭아삭한 정도(crispness), 아삭아삭한 정도(juicy-crunchiness)의 네 항목에 대한 조직감 특성을 이점비교법에 의해 평가하였다[14].

조직감 측정치는 생배추를 기준점수 5점으로 하고 각각 가장 정도가 강한 측정치를 9점, 가장 정도가 약한 측정치를 1점으로 하여 평가하도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 배추잎의 미세구조

Fig.1은 배추잎 줄기부분의 절단면의 구조를 보여주는 SEM 사진이다. 표피 내부에서부터 관다발 부분 사이에는 비교적 큰 유조직 세포가 차 있었다. 관다발 부위의 유관속계 주변에는 이 등[10]이 관찰한 바와 같이 파괴된 사부요소가 뚜렷이 관찰되었다.

Fig.2는 배추잎 줄기의 외피부분을 확대한 SEM 사진이다. 표피의 세포들이 변형되어 두꺼운 층을 이루고 있었다. 염장에 의하여 표피층에 인접한 유조직 세포벽이 변형되어 쭈글거림을 볼 수 있으며 SEM specimen 제조를 위한 건조에 의하여 식염결정이 조직 사이사이에 석출되어 있었다.

염장에 의해 배추잎의 탈수 및 탈기현상이 일어나 20% 식염에 2시간 염장함으로써 30%의 부피감소가 일어났으며 platform 비증계[1]로 측정된 비증은 7.4% 증가하였다.

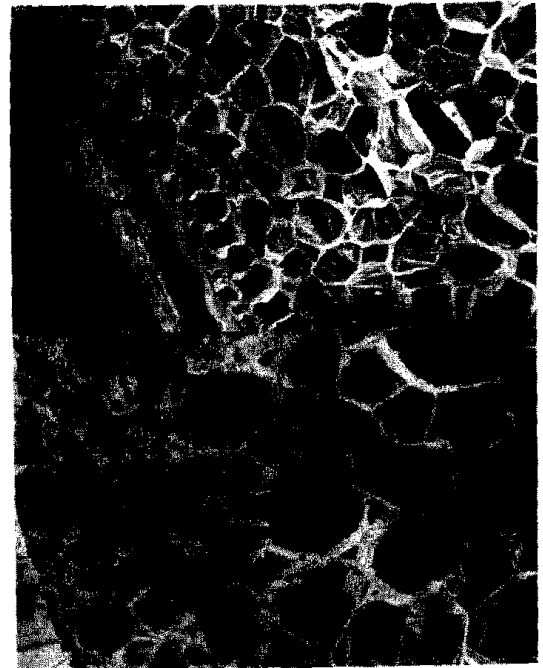


Fig. 2. Changes in the microstructure of Chinese cabbage leaf-stalk by salting as shown by SEM. A: Fresh cabbage (100X), B: Salted in 20% brine for 2hrs (150X).

3.2. 신선한 배추의 힘-거리 곡선

Fig.3은 다섯 가지 침투용 탐침과 한 가지 절단용 칼날에 의한 신선한 배추의 침투 및 절단시험에서 얻어진 힘-거리 곡선들이다.

DeMan[15]은 치즈나 젤라틴 겔과 같이 치밀하게 결합된 조직에서의 침투변형은 층밀림(shear)과 흐름이 동시에 일어나는 변형형태로 해석하고 있다. Kramel과 Deman[16]은 젤라틴 겔의 침투변형력의 크기는 탐침의 선단면적과 둘레의 길이(perimeter)에 영향을 받을 뿐만 아니라 선단각에 의하여도 달라짐을 시사한 바 있다. 본 실험에서도 탐침의 선단각이 클수록, 선단면적과 둘레의 길이가 클수록 침투변형력이 커짐을 나타내고 있다. 특히 선단면적과 선단둘레가 큰 탐침에서 뚜렷한 파열점이 관찰되고 있다. Rod형과 같이 선단면적이 큰 경우에는 표피를 뚫고 들어가는 파열력(a)이 최대변형력(c)과 비슷한 수준으로 높게 나타났다. 유관속계를 피하여 주로 유조직을 관통하도록 한 침투시험과는 대조적으로 절단시험에서는 내부 유관속계가 절단되는데 필요한 힘(b')이 뚜렷하게 나타나고 있다. 신선한 배추에서는 최초 변형에서의 탄성치를 나타내는 a/1이 비교적 크며 직선을 나타낸다. 이것은 탄성한계까지의 변형거리(l)가 짧은 것에 주로 기인하고 있다.

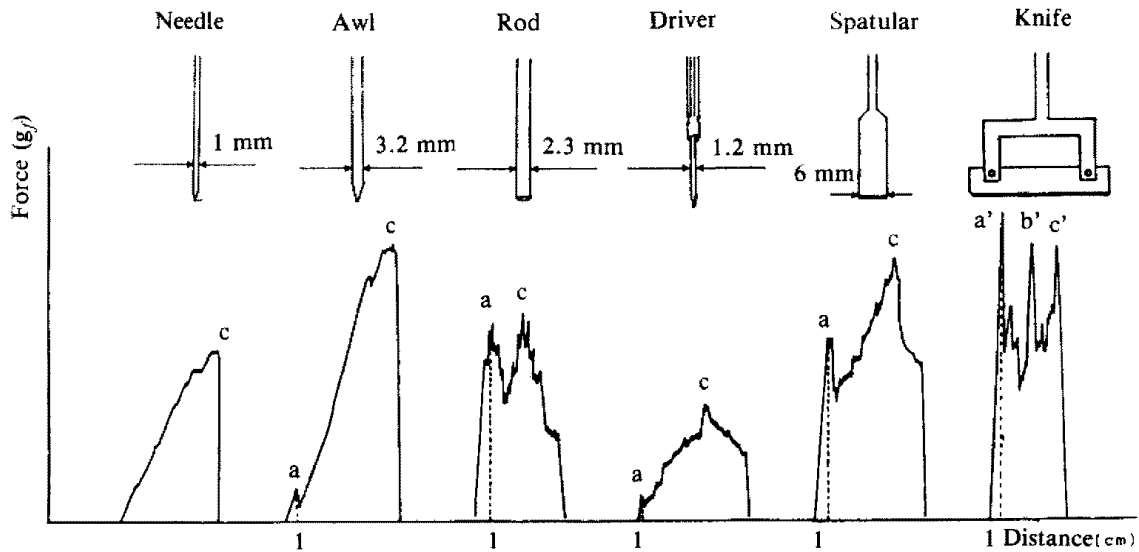


Fig. 3. Typical Force-Distance curves of Chinese cabbage leaf-stalk determined by different types of puncture and cutting probes.

- a: breaking force
- c: puncture force
- l: length to elastic limit
- a': first cutting force
- b': second cutting force
- c': third cutting force

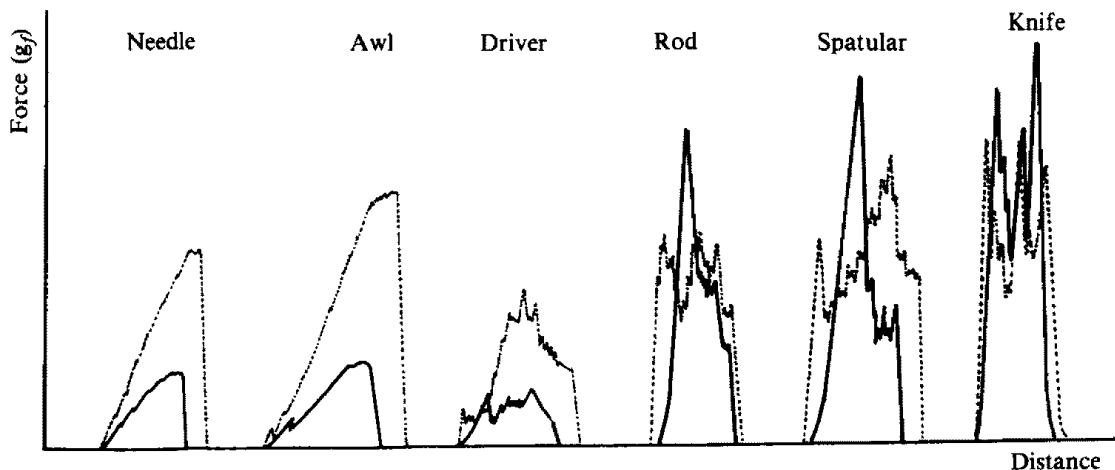


Fig. 4. The changes in force-distance curves of Chinese cabbage leaf-stalk by salting in 20% brine for 4 hrs. ----- fresh cabbage ——— salted cabbage

3.3. 염장배추의 힘 - 거리 곡선

Fig. 4는 신선한 배추와 비교한 4시간 염장배추의 힘 - 거리 곡선이다. 탐침의 선단각이 작거나 선단면적, 선단둘레가 작은 needle, awl, driver형 탐침들에서는 염장에 의하여 최대 변형력이 감소되는 경향을 나타내고 있다. 반면 선단면적과 둘레가 큰 rod형과 spatular형에서는 파열력이 크게 증가되어 신선한 배추의 최대 변형력을 증가하고 있음을 알 수 있다.

압착시험에서의 최대 변형력은 일반적으로 식품의 단단한 정도(hardness)을 나타내는 지표로 이해되

고 있는 반면[14,17] 파열력(breaking force)은 brittleness[18] 혹은 crispness[19]로 표현되고 있다. Szczesniak[19]은 딸기의 과숙현상은 압착변형력의 감소현상으로 나타나며 이것은 주로 세포벽의 퇴화 및 붕괴에 기인하며 아삭아삭한 정도(crispness)의 상실과 즙액의 유출을 동반한다고 보고하고 있다. 이 등[20]은 배추잎의 염장과정 중 열수가용성 펙틴 함량은 증가하나 염류가용성 및 염산가용성 펙틴 함량은 감소하며 이것이 염장과정 중의 조직연화와 관계가 있을 것으로 보고한 바 있다.

본 실험에서 사용한 탐침 중에서 선단면적이 작은 needle 형, awl 형, driver 형에서는 최대 변형력이 감소하는 현상을 나타내며 이것은 배추조직의 연화를 의미하는 것으로 판단된다.

그러나 선단면적이 넓은 Rod 형이나 Spatular 형에서는 식염절입에 의하여 크게 증가하는 현상을 나타내는데 이것은 brittleness 혹은 crispness의 증가라기 보다는 섬유소성분의 특징적인 성질로 나타나는 질긴 정도(toughness)의 증가로 보는 것이 타당할 것이다. 절입에 의하여 최초 변형에서의 탄성치(a/l)가 감소하는 것이 위의 사실을 뒷받침하여 주고 있다. 절입배추의 파괴력이 크게 증가하였음에도 불구하고 탄성치가 감소

하는 것은 탄성한계까지의 변형거리(l)가 크게 증가함에 기인한다. 또한 a/l이 직선에서 크게 벗어나고 있는 것도 절입에 의하여 배추잎의 crispness는 감소하여 유연해지는 반면 질겨지는 현상을 나타내는 것으로 판단된다. 절단시험에서는 절입에 의하여 배추잎의 포피 절단력이 상대적으로 증가한 것 이외에는 신선한 배추의 절단변형 패턴과 큰 차를 나타내지 않아 세개의 특징적인 절단피크를 보이고 있다. 절입에 의하여 총 변형거리가 전반적으로 짧아진 것은 앞에서 언급한 바와 같이 식염절입에 의한 배추잎의 용적 감소 특히 두께의 감소를 나타내고 있는 것이다. 탐침의 형태별로 각각의 시료에 대하여 10-15회 반복한 측정치들의 평균값과

Table 1. Mean and standard deviation of each textural parameters of fresh and salted cabbage leaf-stalk determined by different probes of Rheometer.

	Mean of measurements and % standard deviation			Average of S.D. in % of Mean
	Fresh	Salted (20%, 2hr)	Salted (20%, 4hr)	
Needle Type				
c (gf)	156 (11)	63 (21)	45 (21)	17.7
c/l	2.1 (12)	1.1 (48)	0.7 (19)	26.3
Awl Type				
a	27 (26)	29 (19)	29 (25)	23.3
C	426 (8)	165 (30)	148 (22)	20.0
a/l	2.5 (9)	1.2 (22)	0.9 (17)	16.0
Driver Type				
a (gf)	45 (11)	84 (14)	92 (17)	14.0
c (gf)	221 (13)	128 (15)	88 (22)	16.7
a/c	0.2 (11)	0.7 (14)	1.1 (19)	14.7
a/l	4.5 (11)	2.4 (17)	1.9 (17)	15.0
Rod Type				
a (gf)	349 (19)	601 (14)	532 (17)	16.7
c (gf)	204 (22)	258 (26)	260 (23)	23.7
a/c	1.7 (20)	2.3 (23)	2.0 (21)	21.3
a/l	12.1 (18)	7.6 (15)	5.9 (21)	18.0
Spatular Type				
a (gf)	346 (10)	491 (10)	559 (9)	9.7
c (gf)	504 (7)	354 (13)	277 (16)	12.0
a/c	0.7(8)	1.4 (10)	2.0 (12)	10.0
a/l	28.8 (11)	18.2 (14)	12.7 (11)	12.0
Knife Type				
a'	374 (19)	855 (13)	763 (27)	19.7
b'	457 (24)	755 (27)	640 (26)	25.7
c'	977 (12)	1100 (11)	937 (15)	12.7
a'/l	11.0 (13)	13.0 (10)	10.8 (14)	12.3

(1) () standard deviation, % of mean value.

(2) Definitions of textural parameters are same as in Fig. 3.

a: breaking force, c: maximum puncture force, l: length to elastic limit,

a', b', c': first, 2nd and 3rd cutting force.

Table 2. Sensory scores of fresh and salted cabbage (in 20% NaCl sol.)

Salting time	(toughness)	(crispness)	(Juicy-crunchiness)
0 hr	5.00	5.00	5.00
2 hr	6.68	4.24	6.76
4 hr	7.36	2.37	7.16

표준편차 수준은 Table 1 과 같다. 이들 측정치들의 표준편차는 비교적 커서 평균값의 10-30% 수준에 달하였다. 이것은 시료의 불균일성을 배제하기 위하여 일정 발생순서를 가진 배추잎의 일정부위를 선택하여 시험하였음에도 불구하고 시료간 차이가 대단히 크다는 것을 입증하고 있다. 또한 탐침의 종류에 따라 오차범위가 서로 다르게 나타나는 것도 관찰되고 있다. 가장 낮은 오차범위를 나타낸 탐침은 spatular 형으로 평균값의 10-12%의 표준편차를 기록하였다.

3.4. 관능검사와의 상관관계

Table 2는 신선한 배추와 식염에 절인 배추의 조직감을 관능적으로 평가한 것이다. 염장에 의하여 배추줄기의 질긴 정도는 증가하였으며 아삭아삭한 정도는 감소되는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 이 등[20]의 실험결과와 잘 일치하고 있다.

김치의 특징적인 조직감은 과자나 신선한 과채류에서 느껴지는 아삭아삭한 성질 (brittleness 혹은 crispness)과는 달라서 유연하면서도 물이 차있는 다즙성 (juicy) 세포조직의 입안느낌이라고 생각된다. 즉, Jowitt[21]의 조직감 용어 정의에 의하면 물질의 기계적 성질(stress-strain behavior)과 입속의 감촉 (mouthfeel)의 요소를 동시에 포함하고 있는 사항이다. 이러한 성질을 본 실험에서는 아작아작한 (juicy-crunchiness)이라는 성질로 표현하였다. 관능검사결과 염장에 의하여 아작아작한 성질은 증가하였다. Szczesniak[22]의 조직감 분류에 의하면 brittleness 나 crispness는 응집성의 2차적 감각표현이며 hardness는 견고성을 의미한다. 본 실험에서 나타난 바로는 절임에 의하여 배추잎의 견고성이 상실되면 crispness도 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 배추잎의 절임 정도에 따라 침투시험의 최대 변형력(c)과 최초 탄성치(a/l)가 감소하는 것은 관능검사의 아삭아삭한 정도의 감소현상과 높은 상관관계(p<0.01)를 보였다. 또한 침투시험에서의 파열력과 최대 변형력의 비(a/c)의 변화는 관능검사의 질긴 정도의 변화와 밀접한 관계가 있는

것으로 판단된다(p<0.01). 즉, 절임에 의하여 배추잎의 질긴 성질이 증가되는 것은 구조적인 측면에서 저부 (10%)의 수분과 높은 고분자량의 폴리 설페이트의 침투에 의하여 나타나는 현상으로 판단되며 이것은 침투시험에서 a/c의 증가, 탄성한계까지의 변형거리(l)의 증가 및 절단시험에서 절단력의 증가현상으로 측정될 수 있다.

절임에 의한 배추잎의 견고성 변화는 기계적 측정에서는 최대 변형력의 감소현상으로 뚜렷이 나타나지만 관능적으로는 오류를 범하기 쉽다. 배추잎의 관능검사 실험에서 견고성은 흔히 질긴 성질(toughness) 및 아작아작한 성질과 혼동되는 경우가 많다. 염장에 의한 밀도의 증가는 조직내 수분의 유출보다는 공기의 구축이 상대적으로 크다는 것을 의미하며 이로부터 오는 다즙성 팽윤감은 질긴성질과 어울려 견고성으로 혼동될 수 있다. 절임에 의하여 배추잎의 다즙성(juicy-crunchiness)이 증가하는 것은 침투시험의 a/c의 증가와 연관지을 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Mohsenin, N.N., "Physical properties of plant and animal materials," Gordon and Breach Sci. Pub., New York, 1970, p.309.
2. Lee, C.H. and C.W. Kim., Studis on the rheological properties on Korean noodles. I. Viscoelastic behavior of wheat flour noodle and wheat-sweet potato starch noodle. *Korean J. Food Sci. and Technol.*, **15**(2): 183 (1983).
3. 이철호, 김철원, 한국재래식 국수의 유체변형성에 관한 연구, 제 2보, 삶은 시간과 저장기간에 따른 기계적모델 상수들의 변화, *한국식품과학회지*, **15**(3), 295(1983).
4. 이철호, 김철원, 한국재래식 국수의 유체변형성에 관한 연구, 제 3보, 기계적 모델파라미터와 관능적 품질평가와의 상관관계, *한국식품과학회지*, **15**(3), 302(1983).
5. Szczesniak, A.K., Objective measurement of food texture, *J. Food Sci.*, **28**:410 (1963).
6. Szczesniak, A.K., Texture measurement, *Food Technol.*, **20**: 1292 (1966).
7. Bourne, M.C., J.C. Moyer and D.B. Hand, Measurement of food texture by a univereal testing machine, *Food Technol.*, **20**: 1 (1966).
8. Lee, C.H., M.E. Imoto and C.K. Rha, Evaluation of cheese texture, *J. Food Sci.*, **43**(5): 1600 (1978).
9. 최동원, 김주봉, 유명식, 변유량, 배추조직의 가열연화의 속도론적 연구, *한국식품과학회지*, **19**(6), 515 (1989).
10. 이철호, 황인주, 김정교, 김치제조용 배추의 구조와 조

- 직감 측정에 관한 연구, 한국식품과학회지, **20**(6), 742 (1988).
11. 우성자, 고성희, 절임 정도에 따른 배추조직의 질감과 맛에 관한 연구, 한국조리과학회지, **5**(1), 31(1989).
 12. 이철호, 황인주, 절단시험과 압착시험에 의한 배추잎의 조직감 측정비교, 한국식품과학회지, **20**(6), 749 (1988).
 13. Reberds, A.W., "Electron Microscopy and cytochemistry of plant cells," ed. by J.L. Hall, North-Holland Biomedical Press, Sydney, 1978, p.344
 14. 이철호, 이진근, 채수규, 박봉상, "식품공업품질관리론", 유림문화사, 1982, p.98.
 15. DeMan, J.M., Food texture measurements with the penetration method, *J. Textutre Studies*, : 114 (1969).
 16. Kamel, B.S. and J.M. deMan, Evaluation of gelatin gel texture by penetration tests. *Lebensm. Wiss. U. Technol.*, **8**: 123 (1975).
 17. Breene, W.M., Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation, *J. Texture studies*, **6**: 53 (1975).
 18. Bourne, M.C., Texture profile of ripening pears, *J.Food Sci.*, **33**: 223 (1968).
 19. Szczesniak, A.S., and B.J. Smith. Observations on strawberry texture a three-pronged approach, *J. Texture studies*, **1**: 65 (1969).
 20. 이희섭, 이철호, 이귀주, 배추의 염장과정 중 성분변화와 조직감의 변화, 한국조리과학회지, **3**(1), 64(1987).
 21. Jowitt, R., The terminology of food texture, *J. Texture Studis*, **5**: 351 (1974).
 22. Szczesniak, A.S., Classification of texture characteristic, *J. Food Sci.*, **28**: 385 (1963).