

도토리묵의 물리적 특성
—Puncture test와 Back Extrusion test—

김영아·이혜수

서울대학교 식품영양학과

Rheological Properties of Acorn Flour Gels
— Puncture Test and Back Extrusion Test —

Young-A Kim and Heisoo Rhee

Department of Food and Nutrition, Seoul National University, Seoul

Abstract

The typical force-distance curves by puncture test and Back Extrusion test of acorn flour gels were investigated. K_c' and K_s' were calculated to estimate the compression and shear components of a puncture force. In this study, compression effect played a major role. The more concentration of acorn flour gel and diameter of probe increased, the more compression force contributed to the puncture force. In the Back Extrusion test, the effect of increasing the sample size was to extend the length of the plateau without affecting the maximum force. However, as the concentration of acorn flour gel increased, maximum Extrusion force became larger.

서 론

도토리묵의 텍스처에 관한 연구의 일환으로 compression test, relaxation test에 이어 본 실험에서는 puncture test(관통검사)와 Back Extrusion test를 Instron Universal Testing Machine을 사용하여 실시하였다.

도토리묵의 텍스처 측정

도토리묵의 텍스처는 Instron Universal Testing Machine(model 1140)을 사용하여 관통검사(puncture test)와 extrusion test를 실시하였다. 관통검사는 6 가지의 탐침(probe)을 사용하여(Table 1) 두 단계로 나누어 실험하였다.

첫 단계에서는(성형온도: 20°C) 탐침 1과 탐침 2를

재료 및 방법

실험 재료

실험에 사용한 도토리 묵가루(acorn flour)는 1984년도에 수확한 경기도산 도토리를 묵가루 제조방법⁽¹⁾에 준하여 제조하였다. 도토리묵은 6%, 8%, 10% (% w/v)의 세가지 농도로 95°C 항온수조에서 10분간 가열하였다. 관통검사(puncture test)는 23×23×23.5mm³의 용기에, Back Extrusion test는 Back Extrusion Cell에 유입한 후 2시간 성형시킨 것을 시료로 사용하였다.

Table 1. Details of probe dimensions

Probe no.	Face	Perimeter (cm)	area (cm ²)
1	5-point star	4.550	0.241
2	flat, circular	3.553	1.005
3	"	2.529	0.509
4	"	2.001	0.319
5	"	1.508	0.181
6	"	0.990	0.078

사용하여, 탐침의 모양에 따른 force-distance curve의 차이를 살펴보았고 두번째 단계에서는 탐침 3, 4, 5, 6을 사용하여(성형온도: 25°C) 탐침의 직경 및 면적등에 따른 차이를 비교하였다. 측정조건은 drive speed 100mm/min, chart speed 100mm/min, force range 500gm full scale이었다.

Back Extrusion test는 annular gap이 4mm가 되는 Back Extrusion Cell과 plunger를 사용하여 drive speed 80mm/min, chart speed 100mm/min, force range 5kg full scale의 조건에서 실시하였다.

결과 및 고찰

관통검사의 force-distance curve 및 특성치

토도리묵의 관통검사에 의한 force-distance curve는 사용한 탐침의 모양 및 크기에 따라서 Fig. 1과 같은 양상의 차이를 보였고, 같은 탐침을 사용한 경우에는 curve의 양상은 유사하나 도토리묵의 농도에 따라서 Fig. 2와 같은 peak의 높이 차를 보였다.

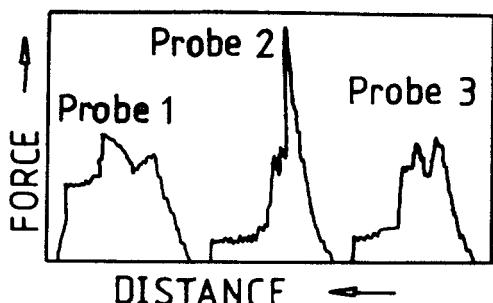


Fig. 1. Types of force-distance curves obtained in puncture tests of acorn flour gels with probe 1, 2 and 3

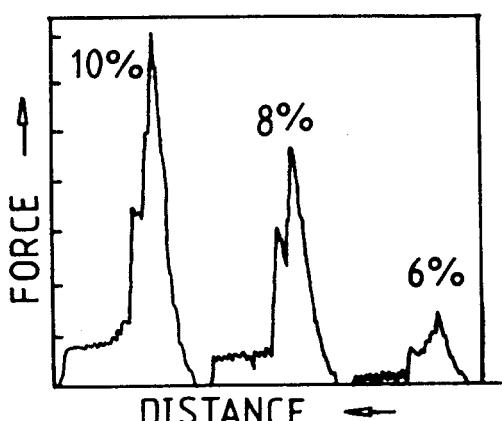


Fig. 2. Effect of concentration on puncture test with probe 2

탐침 1(별 모양)과 탐침 2(원형)에 의한 관통검사의 결과 얻어진 yield point force(YP)와 maximum puncture force(MT)는 Table 2와 같았다.

또한 모양은 같은 원형으로, 직경이 다른 4 가지 탐침을 사용한 관통검사 결과는 Table 3에 나타내었다.

도토리묵의 관통에 기여하는 두가지 인자

관통검사에 의해 얻어지는 yield point force(YP)는 두가지 인자의 합이다.^{(3), (4)} 즉 탐침의 면적에 비례하는 compression force와 탐침의 원주위에 비례하는 shear force의 두가지 힘이 함께 작용한다(Fig. 3)⁽⁴⁾

만약 YP가 compression force에만 의한다면 두가지 탐침에 의해 얻어지는 YP는 두 탐침의 면적에 비례할 것이고, shear force에만 의한다면 두 탐침의 원주위에 비례할 것이다.⁽⁶⁾

탐침 1과 탐침 2를 사용한 관통검사의 결과 얻어진 YP의 빈율은 6% 뮤는 2.23, 8% 뮤는 3.69, 10% 뮤는 3.35이었고 탐침 1과 탐침 2의 면적비는 4.13, 둘레의 비는 0.78이었다. 즉 도토리묵의 YP의 비율이 둘레의 비율보다는 면적비에 더 가까운 값을 나타내었다.

Bourne⁽⁴⁾은 이 두가지 인자와 YP의 관계를 다음식으로 표시하였다.

$$F = K_c \cdot A + K_s \cdot P + C$$

이때 F는 yield point force, K_c 는 compression coefficient, K_s 는 shear coefficient, A는 탐침의 면적, P는 탐침의 주위, C는 상수이다. 그런데 탐침이 원형인 경우에는 위의 식을 다음과 같이 바꿀 수 있었다.

$$F = K_c \cdot D^2 + K_s \cdot D + C$$

이때 K_c 은 $\frac{\pi}{4} K_c$, K_s 은 $\pi \cdot K_s$, D는 탐침의 지름이다. 또한 C를 무시할 수 있다고 가정하면 다시 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

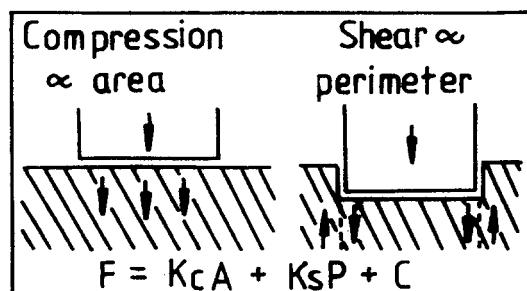


Fig. 3. Schematic representation of a puncture test

Table 2. Texture parameters of acorn flour gels by puncture tests with probe 1 and 2

Conc. of gels	No. of tests	Probe 1		Probe 2
		YP(gm)	M T(gm)	YP=MT(gm)
6%	10	21.5 ± 5.0	26.0 ± 2.9	48.0 ± 11.7
8%	10	58.3 ± 3.3	69.0 ± 3.2	214 ± 18.8
10%	9	105 ± 6.1	124 ± 6.7	352 ± 21.7

Table 3. Yield-point force of acorn flour gels by puncture tests with probe 3, 4, 5, 6

	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6
6%	28.7 ± 1.15	15.7 ± 0.58	8.5 ± 1.32	too low
8%	94.5 ± 4.82	58.7 ± 6.81	31.5 ± 1.32	14.0 ± 0.00
10%	127.3 ± 15.0	76.8 ± 6.53	44.0 ± 2.00	19.7 ± 2.52

$$F/D = K_C \cdot D + K_S$$

만약 어떤 임의의 서로에 대해 F/D 와 D 사이에 직선적인 관계가 성립하는 것이 밝혀진다면 상수 C 를 무시한 가정이 옳았다고 말할 수 있을 것이다.⁽⁶⁾

탐침 3, 4, 5, 6을 사용한 관통검사의 결과를 F/D 와 D 의 관계로 Fig. 4에 표시하였다. 그림에서 보여지듯이 F/D 와 D 사이에는 직선관계가 성립하고 따라서 상수 C 를 0이라고 가정한 것이 옳았다고 볼 수 있었다. 각각의 농도별로 회귀분석을 실시하여 각각의 K_C 와 K_S , 상관계수를 구한 것을 Table 4에 나타내었다.

관통검사시에 두 인자중 어느 것이 주된 작용을 하는가를 살펴보기위하여 각각의 두 종류의 탐침에 의한 YP 의 비율과 면적비, 원주비를 계산하여 Table 5에 나타내었다.⁽⁷⁾ 그 결과 YP 의 비율은 탐침의 원주위의 비율보다는 면적비와 훨씬 더 유사하였다. 따라서 탐침의 주된 효과는 compression임을 알 수 있었다.

Peleg 등⁽⁸⁾은 식품의 물성을 YP 의 크기 뿐 아니라 compression-shear ratio의 차이로도 표시할 수 있다고 하였다. 전체 YP 에 대한 compression force 와 shear force의 기여도를 도토리묵의 농도 및 원형 탐침의 크기별로 계산하여 Table 6에 나타내었다.

도토리묵의 농도가 클수록, 탐침의 지름이 클수록 compression force의 기여도는 더 커졌으며 shear force의 효과는 감소하였다.

Back Extrusion test

Back Extrusion test의 결과에 영향을 미치는 요인들로서는 annular gap의 크기,⁽⁹⁾ plunger의 속도,⁽¹⁰⁾ 시료량(sample size),⁽¹¹⁾ 구성성분의 농도⁽¹²⁾ 등이 있는데,

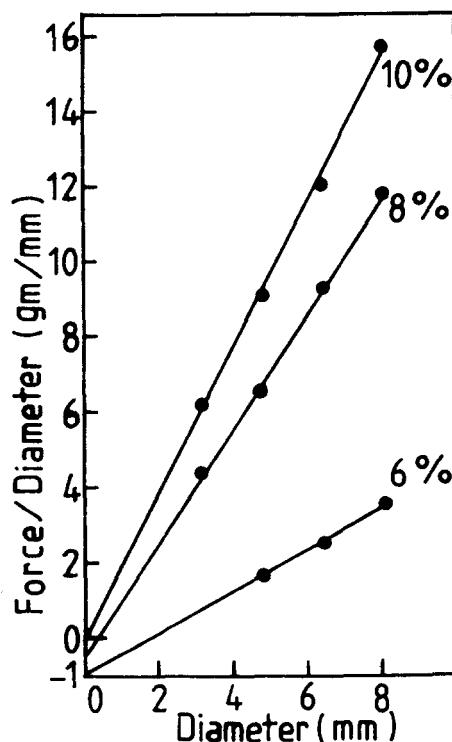


Fig. 4. Force-diameter relationship in puncture tests of acorn flour gels with circular probe 3, 4, 5 and 6

Table 4. Numerical values of coefficients for various concentrations of acorn flour gels

	6%	8%	10%
compression coefficient, K_c' (gm/cm^2)	0.555	1.509	1.941
shear coefficient, K_s' (gm/cm)	-0.956	-0.449	-0.034
correlation coefficient, r	0.993	0.999	0.998

Table 5. Ratios between yield forces obtained by puncture tests of acorn flour gels with different probes

Probes	3-4	4-5	5-6	3-5	3-6	4-6
Perimeters ratio	1.26	1.33	1.52	1.68	2.55	2.02
Area ratio	1.60	1.76	2.32	2.81	6.53	4.09
Yield forces ratio	6%	1.83	1.85	—	3.38	—
	8%	1.61	1.86	2.25	3.00	6.75
	10%	1.66	1.75	2.23	2.89	4.19

본 실험에서는 annular gap은 4mm로, plunger 속도는 80mm/min으로 고정시켜 기계적인 조건은 동일한 상태에서 도토리묵의 농도와 시료량에 따른 차이를 살펴보았다.

시료량에 따른 force-distance curve의 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

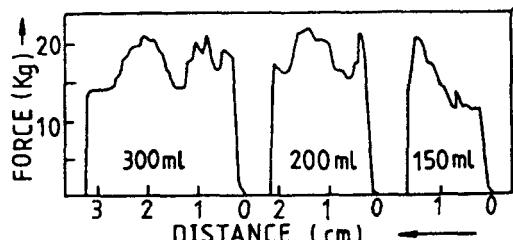


Fig. 5. Effect of sample size on Back Extrusion test (8% acorn flour gels)
sample sizes; 150ml, 200ml, 300ml

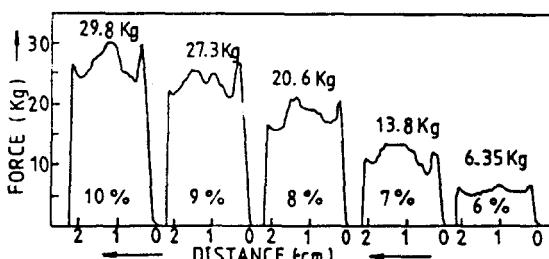


Fig. 6. Effect of gel concentration on Back Extrusion test. Concentrations; 6%, 7%, 8%, 9%, 10%. 4mm annulus.

Bourne⁽⁶⁾ 등은 시료량의 증가는 maximum extrusion force에는 변화없이 plateau의 길이만 연장시킨다 하였는데 본 실험의 결과 역시 curve의 형태에는 다소 변화가 보였으나 maximum extrusion force는 거의 유사한 것으로 나타났다.

한편 농도는 maximum extrusion force에 명백한 영향을 주어, Fig. 6에서 보여지듯이 농도가 증가할수록 그 값이 크게 나타남을 알 수 있었다.

Table 6. Estimated contribution of the puncture force components of acorn flour gels

Conc.	Probe	Contribution (%)	
		Comp.	Shear
6%	3	82.4	17.6
	4	78.7	21.3
	5	73.6	26.4
	3	96.4	3.6
	4	95.5	4.5
	5	94.2	5.8
8%	6	91.4	8.6
	3	99.8	0.2
	4	99.7	0.3
	5	99.6	0.4
	6	99.4	0.6

요 약

도토리묵의 관통검사와 Back Extrusion test를 실시하여 각각의 특징적인 force-distance curve를 구하였다. 관통검사시에 관여하는 compression force와 shear force의 기여도를 알기 위하여 K_c 와 K_s 를 계산하였다. 도토리묵의 관통에는 compression force가 월씬 더 크게 기여하고, 도토리묵의 농도가 클수록 탐침의 지름이 커질수록 그 기여도가 더 증가하였다.

Back Extrusion test에 의해 얻어지는 maximum Extrusion force는 시료량의 증감에는 변화가 없었지만, 도토리묵의 농도가 증가함에 따라서는 그 값이 증가하였다.

문 헌

1. 방신영 : 조선음식만드는법, 대양공사출판부, 서울, p. 327 (1946)

2. Bourne, M.C.: in *Food Texture and Rheology*, Sherman P. (ed), Academic Press, London, p. 100 (1979)
3. Bourne, M.C.: *Food Texture and Viscosity*, Academic Press, London, p. 53, p. 124 (1982)
4. Bourne, M.C.: *J. Food Sci.*, 31, 282 (1966)
5. Bourne, M.C.: *Food Technol.*, 19 (3), 113 (1965)
6. Peleg, M. and Gomezbrito, L.: *J. Food Sci.*, 40, 1030 (1975)
7. Peleg, M.: *J. Food Sci.*, 39, 156 (1974)
8. Bourne, M.C. and Moyer, J.C.: *Food Technol.*, 22, 1013 (1968)
9. Kramer, A. and Hawbecker, J.V.: *Food Technol.*, 20 (2), 111 (1966)

(1985년 9월 19일 접수)