

도토리묵의 텍스처 특성  
—관통시험, 역압출시험, 노화특성시험—

김 영 아

인하대학교 식품영양학과

Texture Properties of Acorn Starch Gels  
—Puncture test, Back extrusion test and Retrogradation test—

Young-A Kim

Dept. of Food and Nutrition, Inha University, Incheon 402-751, Korea

Abstract

The rheological properties of acorn crude starch gel and refined starch gel were investigated by puncture test, back-extrusion test and retrogradation test. Puncture test was a useful method to compare the different gel type and concentration, and to calculate the compression and shear coefficient. Maximum extrusion force and adhesiveness were also examined by performing back-extrusion test. The retrogradation rate was analysed by Avrami equation in retrogradation test.

Key words : acorn starch gel, puncture test, back-extrusion test, texture

서 론

최근 우리나라의 고유식품에 대한 관심이 고조되고, 식품의 품질에 있어서 구성성분에 의한 이화학적 특성뿐 아니라 물성(rheological properties)의 중요성이 인식되어짐에 따라, 텍스처가 중요한 품질 특성인 묵에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>1-3)</sup>. 식품의 texture 연구에 쓰이는 대표적인 방법들은 compression test, puncture test, shear test, torsion test, bending test, extrusion test, stress relaxation test, creep test 등이 있는데, 이들 여러 방법중 creep test와 torsion test를 제외한 거의 모든 검사를 시행할 수 있는 기기가 바로 Instron Universal Testing

Machine이다. 도토리묵의 텍스처에 대한 연구의 일환으로서, Instron Universal Testing Machine을 사용하여, 도토리 조건분별과 정제조건분별을 대비시켜 compression test(압착시험) 및 stress relaxation test(응력완화시험)를 시행한 결과를 전보<sup>4)</sup>에서 보고한 바 있다. 본 연구에서는 앞서의 특성 시험들에 이어, 동일한 시료를 사용하여 관통시험(puncture test) 및 역압출시험(back extrusion test), Avrami 방정식에 의한 노화특성시험등을 실시함으로써, 도토리묵의 텍스처 특성에 대한 보다 구체적인 자료를 제시하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 재 료

본 연구에 사용한 도토리 조전분(crude starch)은 경기도산 도토리(*Quercus acutissima carruthers*)를 방<sup>1)</sup>의 목가루 제조방법에 준하여 제조하였다. 도토리 정제전분(refined starch)은 알카리침지법<sup>2)</sup>을 사용하여 제조하였다. 시료는 60mesh로 분쇄하여 냉동보관하면서 사용하였다. 얻어진 조전분과 정제전분의 수분함량은 각각 13.07%와 14.13%, 조회분은 0.71%와 0.16%, 조지방은 0.54%와 0.28%, 조단백은 0.65%와 0.16%이었다.

### 전분겔의 제조

도토리 조전분겔 및 정제전분겔은 일정 농도(6%, 8%, 10%)로 조제한 현탁액을 95℃ 항온수조에서 계속 저어주면서 10분간 가열한 후 일정규격의 용기에 유입하여 20℃, 70% RH의 항온항습실(Korea Manhattan, KG-8509)에서 2시간 성형시킨 것을 시료로 사용하였다.

### 관통시험

전분겔의 관통시험 Instron Universal Testing Machine(model 1140)을 사용하여 fixture, puncture probes(flat-circular); crosshead drive speed, 100mm/min; chart speed, 100mm/min; force range, 0.5kg full scale; sample size, 23×23×23.5mm<sup>3</sup>의 조건으로 실시하였다. 사용한 탐침의 크기는 Table 1과 같았다.

### 역압출시험

역압출시험은 annular gap이 4mm가 되고 내경(inner diameter)이 100mm인 back extrusion cell과

Table 1. Details of probe dimensions

Probe number	Diameter (mm)	Perimeter (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
2	11.31	35.53	100.5
3	8.05	25.29	50.9
4	7.95	24.98	49.6
5	6.37	20.01	31.9
6	4.80	15.08	18.1
7	3.15	9.90	7.8

plunger를 사용하여 Instron Universal Testing Machine에 의해 실시하였다. 측정조건은 fixture, back-extrusion cell; crosshead drive speed, 100mm/min; chart speed 200mm/min; force range, 50kg full scale; clearance, 3mm; 10 cycles이었다. 시료는 앞서의 전분겔 제조법에 의해 제조한 8%, 200ml, 현탁액을 extrusion cell에 유입하여 성형시킨 것을 사용하였다.

### 노화특성시험

조전분겔 및 정제전분겔을 20℃, 70% RH의 항온항습실(KG-8509)에서 저장하면서 그 견고성을 Instron Universal Testing Machine을 사용하여 fixture, compression anvil; crosshead drive speed, 50mm/min; chart speed, 200mm/min; force range, 5kg full scale; % deformation, 75의 조건으로 측정하였다. 저장기간이 1일, 2일, 3일인 각 시료의 견고성을 측정한 결과로부터, Avrami방정식에 의하여 시간상수(time constant, 1/k)를 계산하였다. 이때 limiting modulus는 4℃에서 7일간 저장한 겔로부터 구하였다. 저장중 시료의 수분손실을 방지하기 위하여는, 원래의 유입용기에 담은 채로 샐아래에 넣고 polyethylene film으로 막을 한 후 다시 샐아래로 덮어서 보관하였고, 측정은 각각 5회 반복하여 그 평균치를 분석을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 관통시험

도토리 조전분겔 및 정제전분겔에 대하여 각기 직경이 다른 원형의 탐침을 사용하여 관통시험을 실시한 결과를 Table 2에 나타내었다. 조전분겔과 정제전분겔 모두 농도가 증가할수록 항복력(yield point force)이 뚜렷한 증가를 나타내었고, 탐침의 직경이 커질수록 항복력이 증가하는 경향도 동일하였다. 그러나 동일 농도, 동일 탐침을 사용한 경우, 6% 시료의 경우에만은 조전분겔과 정제전분겔의 항복력이 거의 유사하였지만, 8% 시료와 10%시료의 경우에는 정제전분겔의 항복력이 조전분겔보다 훨씬 높은 값을 나타내었다. 따라서 관통시험은 시료의 농도만 아니라 시료의 종류(조전분겔/정제전분겔)에 따른 차이도 잘 감지해 낼 수 있는 검사법이라고 생각되어진

**Table 2. Yield-point force of acorn starch gels in puncture tests**

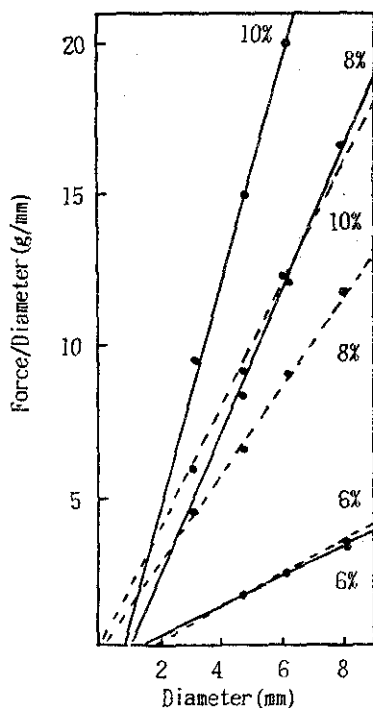
	Crude starch gel			Refined starch gel		
	6%	8%	10%	6%	8%	10%
Probe 2	48.0	214.0	352.0	51.3	280.5	454.2
3	28.7	94.5	127.3	28.3	135.0	219.5
4				26.2	127.2	205.0
5	15.7	58.7	76.8	15.0	78.3	129.5
6	8.5	31.5	44.0	—	39.7	72.0
7	—	14.0	19.7	—	18.7	30.0

Note; yield-point force unit : g  
 — : too low to measure

**Table 3. Numerical values of coefficients for acorn starch gels of various concentrations**

sample	coefficient	6%	8%	10%
Crude starch gel	kc' (g/cm <sup>2</sup> )	55.5	150.9	194.1
	ks' (g/cm)	-9.56	-4.49	-0.34
	r	0.993	0.999	0.998
Refined starch gel	kc' (g/cm <sup>2</sup> )	45.9	236.5	374.9
	ks' (g/cm)	-4.07	-24.0	-30.0
	r	0.987	0.996	0.998

kc' = compression coefficient, ks' = shear coefficient  
 r = correlation coefficient,



**Fig. 1. Force-diameter relationship in puncture tests of acorn crude(-) and refined(...) starch gels.**

다.

그런데 관통시험에 의해서 얻어지는 항복력은 탐침의 면적에 비례하는 압착력 (compression force) 과 탐침의 둘레에 비례하는 전단력 (shear force) 의 두가지 힘이 함께 작용한다<sup>8,9)</sup>. Bourne은 이 두가지 인자와 항복력의 관계를 다음 식으로 표시하였다<sup>10)</sup>.

$$F = Kc A + Ks P + C$$

이때 F는 yield-point force, Kc는 compression coefficient, Ks는 shear coefficient, A는 탐침의 면적, P는 탐침의 둘레, C는 상수이다. 그런데 원형탐침의 경우에는 탐침의 지름 D를 사용하여 위의 식을 다음과 같이 변환시킬 수 있다.

$$F = Kc' D^2 + Kc' D + C$$

$$F/D = Kc' D + Ks$$

조건분젤과 정제전분젤의 관통시험 결과로부터, 탐침의 지름(D)과 항복력을 탐침의 지름으로 나눈 값(F/D)과의 관계를 Fig. 1에 표시하였다. 그림에서 보여지듯이 각 농도의 조건분젤과 정제전분젤은 모두 F/D와 D사이에서 직선관계가 성립함을 확인할 수 있었다.

조건분젤과 정제전분젤 각각에 대해서 농도별로 회귀분석을 실시하여 Bourne의 식에 의한 압착계수(Kc')와 전단계수(Ks') 및 상관계수(r)를 구한 것을 Table 3에 나타내었다. 이들 압착계수와 전단계수는 물성 연구의 지표로 사용될 수 있는 계수들로서, 조건분젤은 농도가 높아질수록 압착계수는 점점 커지고 전단계수는 그 절대값이 점점 감소하였다. 반면에 정제전분젤은 농도가 커질수록 압착계수도 점점 커지고, 전단계수의 절대값도 점차 증가하는 양상의 차이를 나타내었다.

Table 4. Back extrusion test parameters of acorn starch gels

Cycle	Crude starch gel				Cycle	Refined starch gel			
	MP	NP	A <sup>+</sup>	A		MP	NP	A <sup>+</sup>	A
1	20.56	2.05	5.54	0.63	1	27.85	2.45	6.73	1.22
2	10.05	1.15	0.31	0.54	2	10.40	1.30	0.95	0.53
3	8.70	0.95	0.24	0.49	3	8.35	0.95	0.53	0.57
4	7.50	0.65	0.16	0.46	4	7.55	1.00	0.51	0.58
5	6.65	0.75	0.16	0.35	5	7.45	1.05	0.51	0.56
6	6.60	0.65	0.18	0.33	6	7.05	1.00	0.48	0.53
7	6.20	0.70	0.19	0.35	7	6.55	1.00	0.44	0.48
8	6.10	0.75	0.22	0.35	8	6.40	1.25	0.44	0.40
9	6.10	0.85	0.20	0.40	9	6.20	1.20	0.49	0.33
10	6.15	0.90	0.22	0.30	10	6.10	1.15	0.47	0.34

MP : the height of extrusion curve (kg) = maximum extrusion force

NP : the height of descent curve (kg) = adhesiveness

A<sup>+</sup> : the area of extrusion curve (joule) = extrusion energy value

A : the area of descent curve (joule)

한편, Peleg등<sup>11)</sup>은 식품의 물성을 항복력의 크기뿐 아니라 압착력과 전단력의 비율 (compression-shear ratio)로도 표시할 수 있다고 제안하였다. 전체 항복력에 대한 compression force의 기여도를  $[Kc'D / (Kc'D + Ks')] \times 100$ 의 식<sup>12)</sup>으로 계산한 결과, 전체 항복력에 대한 압착력의 기여도가 조전분겔은 평균 90.7%, 정제전분겔은 평균 88.0%로써 두 종류의 전분겔 모두 압착력의 기여도가 전단력에 비해 월등히 큰 것으로 분석되었고, 분산분석 결과 전분겔의 종류에 따른 유의적인 차이는 인정되지 않았다.

#### 역압출시험

조전분겔과 정제전분겔의 역압출시험 결과를 Table 4에 정리하였다. 이때 시료의 견고성은 plunger가 내려갈때 그려지는 상승곡선 (extrusion curve)의 높이 (maximum extrusion force, 최대압출력), 부착성은 하강곡선 (descent curve)의 높이로 조사하였다<sup>13)</sup>. Voisey등<sup>14)</sup>은 케이크용 당의를 시료로 한 실험에서 처음 2~3회의 압출이 시료를 깨뜨리는데 주된 물리적 효과를 미친다고 보고하였다. 이와 비교해 볼 때, 도토리 전분겔에서는 첫번째 압출에 의해 가장 크게 압출력이 감소하고, 그 후 2, 3, 4회에서도 압출력이 크게 감소하는데 비해 5회 이후부터는 점차 감소하는 경향을 보이기는 하나 그 차이가 크지 않았다. 한편 Cagampang등은 시료의 견고성을 역압출에너지가 (back extrusion energy value, kg cm), 즉 extrusion curve의 면적으로 분석하고 있는데<sup>15)</sup>, 본 실험에서

계산된 압출에너지 역시 1회에 가장 큰 변화를 보이고 2, 3회에서도 크게 감소하다가, 4회 이후에는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 조전분겔과 정제전분겔의 비교시에도 1회에서만 정제전분겔의 압출력 및 압출에너지가 조전분겔의 값보다 훨씬 높게 나타나 차이를 보일 뿐이고, 2회 이후에는 두 종류의 겔 사이에 유의적인 차이는 살피볼 수 없었다.

도토리 전분겔의 부착성은 압착시험에 의한 TPA분석에서는 나타나지 않을 정도로 그 값이 적은 것으로 추정된다<sup>16)</sup>. 그런데 역압출시험에서는 위와 그 시료의 크기가 큼으로 해서, 그 값이 작기는 하나 (압출력의 1/10정도) 분석이 가능하였다. 즉 하강곡선의 높이로 분석한 결과는 조전분겔이 2.05kg, 정제전분겔이 2.45kg으로 정제전분겔의 부착성이 다소 높았고, 곡선의 면적으로 계산한 결과는 조전분겔이 0.63J, 정제전분겔이 1.22J로서 정제전분겔의 부착성이 조전분겔의 2배에 가까운 값이었다. 2회 이후에도 전반적으로 정제전분겔의 부착성이 조전분겔보다 큰 편이었으나 다소의 변동이 있어 횡수에 따른 어떤 특징적인 변화 양상은 볼 수 없었다. 그러나 전체적으로 정제전분겔의 부착성이 다소 높다는 것을 알 수 있었다.

Bourne등<sup>16)</sup>은 역압출시험에서 견고성 분석을 위한 방법으로, 면적 측정은 시간소모가 많은 데 비해, 곡선의 높이를 측정하는 것 보다 크게 나올 것이 없다고 보고한 바 있다. 본 실험에서 높이와 면적 사이의 상관관계를 분석한 결과, 상승곡선의 높이와 면적간에는 0.973, 하강곡선의 높이와 면적간에는 0.802정

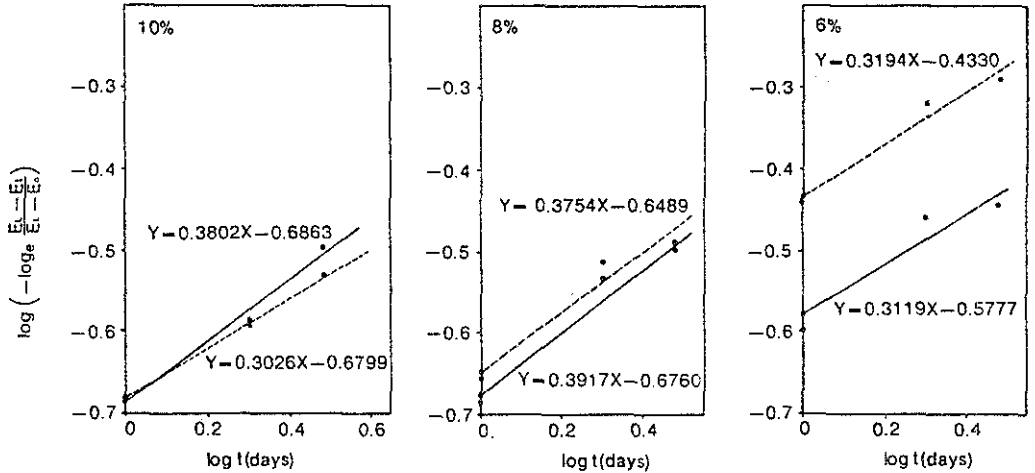


Fig. 2. Regression analysis by Avrami's equation for acorn starch gels of various concentrations :(-crude starch gel, ---refined starch gel).

도의 비교적 높은 상관계수가 존재하는 것으로 보아 측정이 간편한 높이만으로 분석하여도 무관하다고 여겨진다.

노화특성시험

도토리 조전분겔 및 정제전분겔을 20℃에서 저장 하면서 시간경과에 따른 견고성의 변화를 살펴본 결과 농도 및 겔의 종류에 무관하게 견고성의 변화 양상은 매우 유사하였다. 즉 저장 제1일에 가장 크게 견고성이 증가하고, 2일, 3일째에는 견고성이 증가 하기는 하지만 그 정도가 훨씬 감소하였다. 한편 6% 겔은 조전분겔과 정제전분겔의 견고성이 거의 동일하였으며, 8% 시료역시 그 차이가 크지는 않았으나 정제전분겔의 견고성이 조전분겔보다 다소 높은 편이었다. 10% 시료의 경우는 정제전분겔의 견고성이 조전분겔보다 훨씬 높아서 10%조전분겔의 견고성은 8% 정제전분겔과 오히려 더 가까운 값을 나타내었다.

한편 앞서의 견고성들과 4℃에서 7일간 저장한 후의 견고성을 대비시켜 Avrami방정식<sup>17)</sup>에 의하여 노화 경향을 살펴본 결과는 Fig. 2 및 Table 5와 같았다. 이들 회귀식으로부터 노화속도를 알려주는 시간상수 (time constant, 1/k)를 계산할 수 있었는데, 그 결과 조전분겔 6%, 8%, 10% 시료의 시간상수는 각각 3.78, 4.74, 4.86이었고, 정제전분겔 6%, 8%, 10%시료의 시간상수는 각각 2.71, 4.46, 4.79인 것으로 분석되었다. 즉 각 농도별로 정제전분겔 보다 조전분

Table 5. Comparison of the Avrami exponent and time constant of acorn starch gels

	E <sub>0</sub>	E <sub>∞</sub>	n	1/k
10% R	3.10	4.79	0.30	4.79
10% C	2.06	3.81	0.38	4.86
8% R	1.87	3.34	0.38	4.46
8% C	1.73	3.07	0.39	4.74
6% R	0.34	1.39	0.32	2.71
6% C	0.39	1.75	0.31	3.78

E<sub>0</sub> : initial modulus(20℃, 0day), kg

E<sub>∞</sub> : limiting modulus(4℃, 7day),kg

n : Avrami exponent

1/k: overall time constant

R : refined starch gel

C : crude starch gel

겔이 다소 큰 시간상수를 나타내었고, 정제전분겔과 조전분겔 모두 농도가 커짐에 따라 시간상수도 증가하는 경향을 보여, 본 실험의 조건하에서는, 농도가 증가할수록 노화가 더디고 정제전분겔보다는 조전분겔이 노화가 더딴을 알수 있었다.

요 약

도토리 전분겔의 텍스처에 관한 연구의 일환으로, 조전분겔과 정제전분겔을 대비시켜 관통시험 및 역압출시험, 노화특성시험등을 실시하였다. 관통시험 결과 얻어지는 항복력은 농도가 증가할수록, 탐침의 크기가 커질수록 증가하였고, 정제전분겔의 항복력이 조전분겔보다 훨씬 높은 값을 나타내었다.

회귀분석에 의해서 물성연구의 지표로 여겨지는 압착 계수 및 전단계수를 구하였고, 관통시의 항복력에 대한 기여도는 전단력보다는 압착력이 월등함을 알 수 있었다. 역압출시험 결과 견고성 및 부착성 모두 정제전분겔이 조전분겔보다 큰 편임이 분석되었다. 한편, Avrami 방정식에 의한 노화특성시험 결과로는 농도가 증가할수록 노화가 더디고, 정제전분겔보다는 조전분겔이 노화가 더뎠음을 알 수 있었다.

## 문 헌

1. 문수재, 손경희, 박혜원 : 목의 식품과학적 연구, 제 1보, 목 재료의 물리화학적 성질을 중심으로. 대한가정학회지, 15(4), 31(1977)
2. Lee, C. S. : Studies on the cooking quality of mung bean starch (part 2). *Science of Cookery*, 14(2), 56(1984)
3. 구성자, 장정옥, Nakahama, N., Kobayash, M. : 도토리 전분목의 rheology특성과 tannin성분의 영향에 대하여. 대한가정학회지, 23(1), 33(1985)
4. 김영아 : 압착시험에 의한 도토리 전분겔의 물성 연구. 인하대학교 기초과학연구소 논문집, 10, 239(1989)
5. 김영아, 이혜수 : 응력완화시험에 의한 도토리 전분겔의 물성론적 모형 분석. 한국조리과학회지, 5(1), 49(1989)
6. 망신영 : 조선평식 만드는 법. 대양공사출판부, 서울, p.329(1946)
7. Wilson, L. A., Birmingham, V. A., Moon, D. P. and Snyder, H. E. : Isolation and characterization of starch from mature soybeans. *Cereal Chem.*, 55(5), 661(1978)
8. Bourne, M. C. : Theory and application of the puncture test in food texture measurement. In "*Food Texture and Rheology*", Sherman, P. (ed), Academic Press, London, p.95(1979)
9. Bourne, M. C. : Practice of objective texture measurement. In "*Food texture and viscosity*" Academic Press, New York, p.118(1982)
10. Bourne, M. C. : Measure of shear and compression components of puncture tests. *J. Food Sci.*, 31, 282(1966)
11. Peleg, M. : Determination of fresh papaya's texture by penetration tests. *J. Food Sci.*, 39, 156(1974)
12. Peleg, M. and Brito, L. G. : Estimation of the components of a penetration force of some tropical fruits. *J. Food Sci.*, 40, 1030(1975)
13. Kramer, A. and Hawbecker, J. V. : Measuring and recording rheological properties of gels. *Food Tech.*, 20, 209(1966)
14. Voisey, P. W., Kloek, M., Summers, K. and Gillette, M. : A method for testing the ease of extrusion of icing marketed in plastic tubes. *J. Texture Stud.*, 10, 435(1979)
15. Cagampang, G. B. Kirleis, A. W. and Marks, J. S. : Application of small sample back extrusion test for measuring texture of cooked sorghum grain. *J. Food Sci.*, 49, 278(1984)
16. Bourne, M. C. and Moyer, J. C. : The extrusion principle in texture measurement of fresh peas. *Food Tech.*, 22, 1013(1968)
17. Kim, S. K. and D'apponia, B. L. : Effect of pentosans on the retrogradation of wheat starch gels. *Cereal Chem.*, 54(1), 150(1977)

(1990년 12월 28일 접수)