

## 응력완화 검사(stress relaxation test)에 의한 도토리묵의 물리적 특성

김 영 아·이 혜 수

서울대 식품영양학과

### Rheological Properties of Acorn Flour Gels by Stress Relaxation Test

Young A Kim, and Hei Soo Rhee

Dept. of Food & Nutrition, Seoul National University

#### Abstract

The rheological models of acorn flour gels with different concentrations were investigated by stress relaxation test. The analysis of relaxation curves by successive residual method revealed that the rheological behavior of acorn flour gels could be expressed by the 7-element, generalized Maxwell model. The equilibrium modulus and modulus of elasticity increased by the increment of acorn flour concentration.

#### 서 론

근래에 식품의 물성(rheological property)에 관한 관심이 고조되고 있다. 식품의 텍스처(texture)를 측정하는 기계적 방법에는 압착검사(compression test), 관통검사(puncture test), creep test와 응력완화검사(stress relaxation test)등이 있는데, 압착검사<sup>1~3)</sup>, 관통검사<sup>4)</sup>, creep test<sup>5)</sup>의 방법을 사용한 연구들이 일부 보고되어 있다. 특히 우리나라 고유의 식품인 도토리묵에 대한 연구로는 압착검사<sup>6)</sup> 및 creep test<sup>7)</sup>에 의한 일부 보고가 있을 뿐 응력완화검사에 의한 연구가 전무한 형편이다.

본 연구에서는 응력완화검사에 의한 도토리묵의 농도에 따른 응력완화곡선(stress relaxation curve)을 구하고, 그로부터 도토리묵의 물리적 모형(rheological model)을 규명해 보고자 하였다.

#### 재료 및 방법

##### 1. 실험 재료

도토리묵가루(acorn flour)는 1984년도에 수확한 경기도산 도토리를 사용하여 묵가루 제조방법<sup>8)</sup>에 준하여 제조하였다. 도토리묵은 6%, 8%, 10%의 세가지 농도(w/v)로 조제한 묵가루 현탁액 300 ml를 95°C 항온수조에서 계속 저어주면서 10분간 가열한 후 23×23×23.5 mm의 냉각용기에 유입하여 20°C에서 3시간냉각한 후 용기에서 꺼내어 15분 방치 후에 시료로 사용하였다.

##### 2. 응력완화검사(stress relaxation test)

도토리묵의 응력완화검사는 Instron Universal Testing Machine(Model 1140)을 사용하여 fixture,

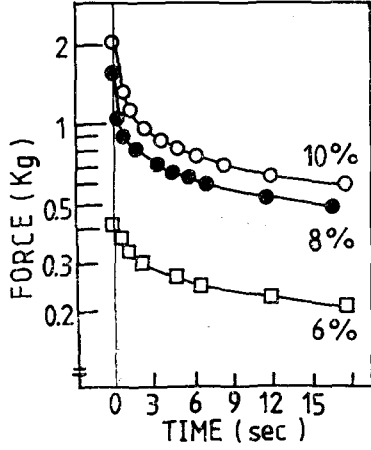


Fig. 1. Relaxation curves for acorn flour gels with different concentrations.

Table 1. Stress vs. time data of acorn flour gels

Time (sec)	Stress(10 <sup>4</sup> dyn cm <sup>-2</sup> )		
	6%	8%	10%
0	7.55	30.09	38.24
0.6	6.82	18.50	24.80
1.2	6.15	15.94	21.10
1.8	5.75	14.22	19.34
2.4	5.51	13.48	17.76
3.6	5.28	12.36	15.85
4.8	5.06	11.59	14.74
6.0	4.78	11.09	13.77
9.0	4.54	10.14	12.42
12	4.32	9.64	11.59
18	4.02	8.84	10.66
24	3.76	8.34	9.92
36	3.52	7.79	9.14
60	3.10	7.10	8.43
120	2.78	6.17	7.42
180	2.78	5.65	6.49
240	—	5.52	6.36
300	—	5.38	6.30
360	—	5.38	6.30

compression anvil(D=57.35 mm); force range, 5 kg full scale; chart drive speed, 1,000 mm/min의 조건으로 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 농도에 따른 응력완화곡선의 변화

각 농도별 도토리묵의 응력완화곡선의 양상은 Fig. 1과 같았다. 시간 경과에 따른 응력의 변화를 Table 1에 나타내었다.

2. 연속잔차법(successive residual method)에 의한 물리적 모형(rheological model)의 해석

응력완화곡선의 해석에는 generalized Maxwell model (Fig. 2)이 주로 사용되고 있는데 그 방정식은 다음과 같다<sup>9)</sup>.

$$\sigma(t) = \sum_{i=1}^n \sigma_i + \sigma_e = \sum_{i=1}^n \sigma_{di} \cdot e^{-t/T_i} + \sigma_e$$

이때  $\sigma(t)$ 는 시간에서의 응력(stress),  $\sigma_d$ 는 decay stress,  $\sigma_e$ 는 평형상태에서의 응력, T는 완화시간(relaxation time)을 나타낸다.

연속잔차법을 사용하여 10% 도토리묵의 완화곡선을 분석하는 과정을 Fig. 3에 나타내었다.

i)  $\sigma_e = \epsilon_0 \cdot E_e = 350$  gm, 이때  $\epsilon_0$ 는 변형도(strain), E는 탄성율(modulus of elasticity)이다.

ii) 첫번째 잔차(1st residual)에서 직선적인 부분에 대해 단순회귀분석(simple regression analysis)<sup>10)</sup>을 실시하여 회귀직선(regression line:  $y = a + bx$ )을 구하면 slope and intercept method에 의하여

$$a = \sigma_{d1} = 351 \text{ gm}$$

$$b = -\frac{1}{T_1} = 0.01918$$

$$\therefore T_1 = 52.14 \text{ sec}$$

따라서  $\sigma_1 = 351 \cdot e^{-t/52.14}$

iii) 같은 방식으로 두번째 잔차(2nd residual)의 직선부분에 대한 회귀분석에 의해서

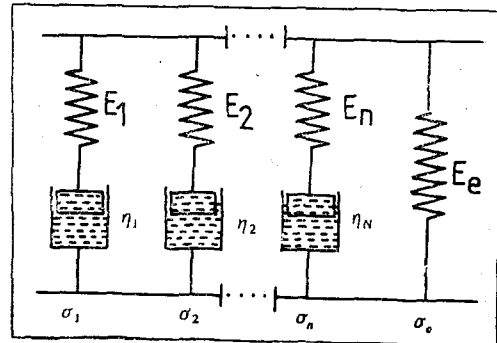


Fig. 2. Generalized Maxwell model representation.

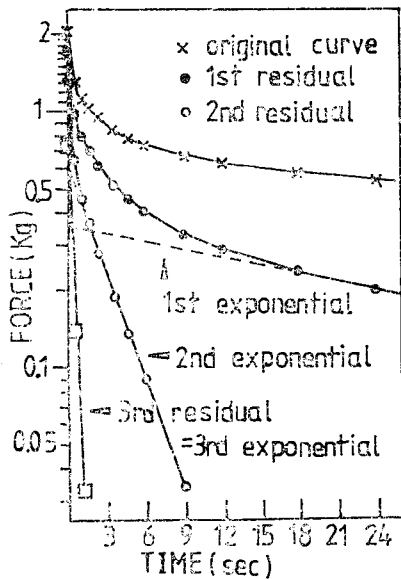


Fig. 3. Analysis of relaxation curve for 10% acorn flour gel by successive residual method.

$$\sigma_2 = 623 \cdot e^{-t/3.09}$$

iv) 세번째 잔차(3rd residual)는 직선형으로 나타나므로

$$\sigma_3 = 721 \cdot e^{-t/0.4}$$

v) 따라서 10% 도토리묵의 물리적 모형의 방정식은 다음과 같다.

$$\sigma(t) = 351 \cdot e^{-t/52.1} + 623 \cdot e^{-t/3.1} + 721 \cdot e^{-t/0.4} + 350$$

그러므로 10% 도토리묵은 generalized Maxwell 모형중, spring 하나에 Maxwell 모형이 세개인 7-element model임을 알 수 있었다.

같은 방법으로 각 농도별로 분석한 결과 6% 도토리묵의 모형방정식은

$$\sigma(t) = 121 \cdot e^{-t/30.8} + 79 \cdot e^{-t/3.1} + 61 \cdot e^{-t/0.8} + 150$$

8% 도토리묵의 모형방정식은

$$\sigma(t) = 237 \cdot e^{-t/68.7} + 350 \cdot e^{-t/4.5} + 674 \cdot e^{-t/0.5} + 290$$

으로 분석되었다. 따라서 6%, 8%, 10% 도토리묵은 모두 7-element, generalized Maxwell model임을 확인할 수 있었다.

연속잔차법에 의해서 구한  $\sigma_d$ 와 완화시간(T)을 사용하여 다음 식에 의해,

$$E = \sigma/\epsilon_0$$

$$\eta = T \cdot E$$

탄성율 E(modulus of elasticity)와 점성율  $\eta$ (visco-

Table 2. The rheological model parameters of acorn flour gels with different concentrations

	Concentration		
	6%	8%	10%
$\sigma_e$	2.78	5.38	6.49
$\sigma_{d1}$	2.24	4.39	6.51
$\sigma_{d2}$	1.46	6.49	11.55
$\sigma_{d3}$	1.13	12.49	13.37
$T_1$	30.85	68.73	52.14
$T_2$	3.11	4.50	3.09
$T_3$	0.81	0.50	0.38
$E_e$	3.71	7.17	8.65
$E_1$	2.99	5.86	8.68
$E_2$	1.95	8.65	15.40
$E_3$	1.51	16.66	17.82
$\eta_1$	9.23	40.26	45.24
$\eta_2$	0.61	3.89	4.76
$\eta_3$	0.12	0.83	0.68

$\sigma$ : stress ( $10^4 \text{ dyn cm}^{-2}$ )

T: relaxation time(sec)

E: modulus of elasticity ( $10^4 \text{ dyn cm}^{-2}$ )

$\eta$ : viscosity coefficient ( $10^5 \text{ poise}$ )

sity coefficient)를 구한 결과를 Table 2에 나타내었다. 도토리묵가루의 농도가 커질수록 도토리묵의 평형탄성율( $E_e$ ; equilibrium modulus)과 탄성율( $E_1, E_2, E_3$ )이 증가하였다.

### 요 약

6%, 8%, 10%의 도토리묵에 대하여 응력완화검사(stress relaxation test)를 실시하여 전형적인 응력완화곡선(stress relaxation curve)을 구하였다.

연속잔차법(successive residual method)을 사용하여 완화곡선을 분석한 결과, 도토리묵은 spring 하나에 Maxwell 모형이 세개인 7-element, generalized Maxwell model로 해석할 수 있었다. 또한 도토리묵가루의 농도가 커질수록 도토리묵의 평형탄성율( $E_e$ )과 탄성율( $E_1, E_2, E_3$ )이 증가하였다.

## 참 고 문 헌

1. 문수재 · 손경희 · 박혜원 : 목의 식품 과학적 연구, 대한, 가정학회지, **15**(4), 31-43, 1977.
2. 문수재 · 손경희 : Gel 상 식품에 관한 실험조리적 검토, 연세논총, 191-204, 1977.
3. 배광순 · 손경희 · 문수재 : 목의 구조와 텍스처, 한국식품과학회지, **16**(2), 185-191, 1984.
4. 변유량 · 유명식 · 이윤형 : 휴잉점의 텍스처, 한국식품과학회지, **16**(3), 303-308, 1984.
5. 권오훈 · 이철호 : 전분 · 식염 및 알커리 첨가제가 냉면의 기계적 성질에 미치는 영향, 한국식품과학회지, **16**(2), 175-178, 1984.
6. 구성자 · 장정옥 · Nobuko Nakahama, Michiko Kobayash : 도토리 전분 목의 rheology 특성과 tannin 성분의 영향에 대하여, 대한가정학회지, **23**(1), 33-47, 1985.
7. 구성자 : 도토리목의 rheological properites 에 관한 연구, 대한가정학회지, **22**(1), 99-106, 1984.
8. 방신영 : 조선음식 만드는 법, 대양공사출판부, 329, 1946.
9. Mohsenin, N.N.: Physical properties of plant and animal materials, vol. 1, Gordon & Breach Science Publishers, New York, 131, 1970.
10. Steel, R.G.M. and Torrie, J.H.: Principles and procedures of statistics, McGraw-Hill, New York, 161, 1960.