

응력완화시험에 의한 도토리 전분겔의 물성론적 모형 분석

김 영 아 · 이 혜 수*

인하대학교 식품영양학과 · *서울대학교 식품영양학과

Rheological Model Analysis of Acorn Starch Gels by Stress Relaxation Test

Young-A Kim, Heisoo Rhee*

Department of Food and Nutrition, Inha University, Inchon

*Department of Food and Nutrition, Seoul National University, Seoul

Abstract

Stress relaxation tests with different percent deformation were performed for crude and refined starch gels of acorn. With no relation to percent deformation, refined starch gel had higher initial stress (σ_0) and lower equilibrium stress (σ_e) than crude starch gel. But the ratio of equilibrium stress to initial stress (σ_e/σ_0) was minimum at 60 percent deformation. The analysis of relaxation curves by successive residual method revealed that the rheological behavior of acorn starch gels could be expressed by generalized Maxwell model. The element numbers of models for crude and refined starch gel were 7-element and 5-element at 60 percent deformation, and 5-element and 3-element at 45 percent deformation, respectively.

Key Words: stress relaxation test, acorn starch gel

I. 서 론

식품의 맛에 대해 언급할 때에 향미나 색보다 텍스처가 훨씬 더 자주 논의된다는 Szczesniak 등¹⁾의 소비자 조사결과가 보고된 이래, 점차로 식품의 물성에 관한 관심이 고조되고 있다. 특히 도토리묵은 우리나라 고유의 식품으로서, 텍스처가 가장 중요한 품질특성을 이루고

있다.

식품의 텍스처를 측정하는 여러가지 기계적 방법중 응력완화시험(stress relaxation test)은 시료에 급격하게 일정한 strain을 주고, 그 strain을 일정하게 유지시키는데 필요한 stress를 시간의 함수로 측정하는 검사법이다²⁾.

응력완화시험에 의한 식품의 물성론적 모형 분석은 국내에서는 양갱을 시료로 한 변동³⁾의 연구, 황⁴⁾의 치즈를

시료로 한 연구가 있을 뿐이고, 특히 도토리묵에 대한 연구로는 도토리 조전분겔의 농도에 따른 모형 분석이 보고된 바 있으나⁵⁾, 이와 관련한 보다 세밀한 연구가 필요하다 하겠다.

따라서, 본 연구에서는 앞서의 연구⁵⁾를 기초로 하여, 시료와 변형의 정도(% deformation)를 달리한 도토리 묵의 물성론적 모형 분석을 실시하였다. 즉 재래식 묵가루 제조방법에 의해 제조한 도토리 조전분과 알카리 침지법으로 제조한 도토리 정제전분을 시료로 하여, 도토리 조전분겔과 정제전분겔의 특성 차이를 변형도를 달리 한 응력완화시험에 의하여 비교 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

본 연구에 사용한 도토리 조전분(crude starch)은 1984년도에 수확한 경기도산 도토리(*Quercus acutissima Carruthers*)를 방⁶⁾의 묵가루 제조방법에 준하여 제조하였고, 시료는 냉동보관하면서 사용하였다.

도토리 정제전분(refined starch)은 알카리 침지법⁷⁾을 사용하여 제조하였다. 제조된 전분은 60 mesh 체로 쳐서 시료로 사용하였다. 얻어진 조전분과 정제전분의 수분함량은 각각 13.07%와 14.13%, 조화분은 0.708%와 0.160%, 조지방은 0.541%와 0.276%, 조단백은 0.651%와 0.157%이었다⁸⁾.

2. 전분겔의 제조

도토리 조전분겔 및 정제전분겔은 8% 농도로 조제한 혼탁액 450 ml를 95°C 항온 수조에서 계속 저어주면서 15분간 가열하였다. 이것을 23×23×23.5 mm³의 용기 에 유입하여 20°C의 항온 항습실(growth chamber, Korean Manhattan, KG-8509)에서 3시간 성형시킨 것을 시료로 사용하였다.

3. 응력완화 시험

전분겔의 응력완화시험은 Instron Universal Testing Machine (MODEL 1140)을 사용하여 fixture, compression anvil (D=57.35 mm); force range, 5 kg full scale; Crosshead drive speed, 500 mm/min; Chart speed, 1,000 mm/min의 조건으로 3회 반복 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 변형의 정도에 따른 영향

식품의 물성론적 연구에 있어서 특히 문제가 되는 것은 여러가지 측정 조건 및 시료의 조건에 따라 그 결과가 매우 현저한 차이를 나타낸다는 점이다. 따라서 텍스쳐 특성치에 대한 재현성 및 객관성이 부여되기 위해서는, 해당 시료의 텍스쳐 측정에 가장 효과적인 기기적 측정 조건을 확립하는 것이 바람직하다 하겠다.

Peleg 등⁹⁾은 물성론적 모형의 요소(element)수 및 residual force는 변형의 정도와 그 적용속도(cross-head speed)에 따라 달라진다고 하였다. 따라서 본 실험에서는 조전분겔과 정제전분겔의 비교에 앞서서, 조전분겔을 시료로 하여 그 농도 및 변형의 정도가 residual force에 미치는 영향을 조사하였다(Table 1).

그 결과, 각 농도에서 모두 공통적으로 60% 변형의 경우에 residual force의 절대치가 가장 크게 나타났을 뿐 아니라, 초기 응력(σ_0)에 대한 평형응력(σ_e)의 비(σ_e/σ_0)도 가장 작은 값을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 residual force를 가장 적게 남기는 60%변형과, 시료의 변형을 좀 더 적게 유발하는 45%변형의 두가지 조건에서, 두 종류의 전분겔의 응력완화시험을 실시하였다.

Table 1. Relationships between residual force and percent deformation of stress relaxation test for crude starch gels of acorn

| % deformation | Residual force (gm) | | |
|---------------|---------------------|------------|------------|
| | 6% | 8% | 10% |
| 45 | 150 (65.2)* | 410 (71.6) | 550 (77.5) |
| 60 | 90 (17.0) | 125 (5.7) | 150 (9.5) |
| 75 | 150 (36.9) | 290 (17.9) | 350 (16.9) |

* : Values in parenthesis are the ratio of equilibrium stress to initial stress (σ_e/σ_0)

2. 응력완화곡선의 양상

도토리 조전분겔 및 정제전분겔의 시간 경과에 따른 응력의 변화를 살펴보면(Table 2), 60%변형의 경우 처음에는 정제전분겔이 조전분겔보다 더 큰 응력을 나타내지만, 시간이 경과할수록 정제전분겔의 응력이 오히려

Table 2. Results of stress relaxation test for crude and refined starch gels of acorn

| Time (sec) | Stress (10^4 dyn cm^{-2}) | | | |
|------------|---------------------------------------|-------|-----------------|-------|
| | 45% deformation | | 60% deformation | |
| | CSG | RSG | CSG | RSG |
| 0 | 12.42 | 17.43 | 39.12 | 42.36 |
| 0.6 | 12.33 | 17.06 | 26.69 | 19.56 |
| 1.2 | 12.14 | 16.31 | 19.28 | 9.79 |
| 1.8 | 11.96 | 15.57 | 15.76 | 7.19 |
| 2.4 | 11.77 | 15.20 | 13.90 | 5.90 |
| 3.6 | 11.49 | 14.83 | 8.16 | 5.10 |
| 4.8 | 11.40 | 14.65 | 5.93 | 4.73 |
| 6.0 | 11.22 | 14.27 | 5.38 | 4.36 |
| 9.0 | 10.94 | 13.90 | 5.01 | 3.86 |
| 12 | 10.66 | 13.53 | 4.45 | 3.52 |
| 18 | 10.57 | 13.16 | 3.89 | 3.15 |
| 24 | 10.29 | 12.98 | 3.52 | 2.97 |
| 36 | 9.92 | 12.79 | 3.15 | 2.65 |
| 60 | 9.64 | 12.24 | 3.06 | 2.32 |
| 120 | 9.27 | 10.01 | 2.87 | 2.09 |
| 180 | 9.18 | 9.08 | 2.60 | 1.85 |
| 240 | 8.99 | 8.71 | 2.50 | 1.72 |
| 300 | 8.90 | 8.34 | 2.22 | 1.63 |
| 360 | 8.90 | 8.34 | 2.22 | 1.63 |

GSG : crude starch gel, RSG : refined starch gel

Table 3. The generalized Maxwell model parameters for crude and refined starch gels of acorn

| | 45% deformation | | 60% deformation | |
|----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | CSG | RSG | CSG | RSG |
| σ_e | 8.90 | 8.34 | 2.22 | 1.63 |
| σ_{d_1} | 1.90 | 7.08 | 1.48 | 2.37 |
| σ_{d_2} | 1.66 | | 3.99 | 33.23 |
| σ_{d_3} | | | 26.19 | |
| T_1 | 81.50 | 80.99 | 137.55 | 72.37 |
| T_2 | 5.39 | | 8.03 | 0.80 |
| T_3 | | | 1.47 | |
| E_e | 19.78 | 18.53 | 3.71 | 2.72 |
| E_1 | 4.22 | 15.73 | 2.47 | 3.96 |
| E_2 | 3.69 | | 6.65 | 55.39 |
| E_3 | | | 43.66 | |
| η_1 | 34.39 | 127.40 | 33.97 | 28.66 |
| η_2 | 1.99 | | 5.34 | 4.43 |
| η_3 | | | 6.42 | |
| | 5-element | 3-element | 7-element | 5-element |

 σ : stress (10^4 dyn cm^{-2}) T : relaxation time (sec) E : modulus of elasticity (10^4 dyn cm^{-2}) η : viscosity coefficient (10^5 poise)

GSG : crude starch gel, RSG : refined starch gel

낮아지는 경향을 보였다. 한편 45%변형의 경우에는, 상당한 응력완화가 일어날 때까지(120초) 정제전분겔이 조전분겔보다 더 큰 응력을 계속해서 나타내었다. 그러나 이러한 중간단계의 양상의 차이에도 불구하고, 궁극적으로는 변형의 정도에 무관하게 초기응력(σ_e)은 항상 정제전분겔이, 평형응력(σ_e)은 조전분겔이 큰 값을 나타내었다.

3. 축차잔차법에 의한 물성론적 모형분석

점탄성을 나타내는 물질의 현상을 설명하기 위하여 여러 가지 model system이 제안되었는데¹⁰⁾, 그 중 응력완화시험의 분석에 주로 사용되는 것은 generalized Maxwell model이다¹¹⁾. 그 방정식은 다음과 같다.

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

이때 $\sigma(t)$ 는 시간 t에서의 stress, σ_d 는 decay stress,

σ_e 는 equilibrium stress, T는 완화시간을 나타낸다. 응력완화곡선의 분석은 축차잔차법(successive residual method)²⁾에 따라 실시하였다⁵⁾. 축차잔차법에 의해서 구한 봉괴응력과 완화시간을 사용하여 탄성율(E)과 점성율(η)을 구한 결과를 Table 3에 정리하였다.

Finney¹¹⁾, Leung 등¹²⁾은 탄성율이 견고성(hardness)과 높은 상관관계를 가지고 있다고 하였는데, 본 실험에서도 조전분겔보다 큰 견고성을 가지고 있는 정제전분겔의 탄성율이 더 큰 값을 나타내었다. 이는 같은 조전분겔의 경우, 농도가 6%, 8%, 10%로 증가함에 따라 압착시험시의 견고성¹³⁾, 관통시험시의 항복력(yield point force)¹⁴⁾, 그리고 응력완화시험시의 탄성율⁵⁾이 증가하는 양상과도 일치하는 결과이었다.

한편 물성론적 모형의 분석 결과, 60%변형의 경우에는 조전분겔은 7-element generalized Maxwell model, 정제전분겔은 5-element model로 분석되었고, 45

%변형의 경우에는 조전분겔은 5-element, 정제전분겔은 3-element generalized Maxwell model로 분석되었다. 이는 전보⁵⁾에서 동일한 조전분겔의 경우, 농도에 무관하게 모두 동일한 7-element model로 분석된 것과 좋은 대조를 보여주었다. 즉 변형정도에 따라 각기 element 수가 달라지기는 하였으나, 조전분겔에 비해 정제전분겔이 보다 더 단순한 모형으로 표현될 수 있었다. 이는 그 구성성분에 있어서 정제전분겔의 경우가 좀 더 타 성분들이 제거된 순수한 전분으로 이루어진 젤임에 기인하는 것으로 추측된다.

그런데 이러한 물성론적 모형의 분석에 있어서, 개개의 모형의 요소가 어떤 이화학적인 특성과 연결지어져 있는지를 알 수 있다면 그 품질관리 및 개선에 큰 의의가 있을 것으로 생각되어진다.

Sherman¹⁵⁾은 아이스크림의 텍스처를 연구하여 각 요소들이 어떤 구성성분을 표현하는가에 대해 보고한 바 있다. 그런데 아이스크림은 임의로 그 구성성분의 함량을 변화시킬 수 있는 식품계이다. 그에 비해 도토리묵은 도토리 전분 자체에 구성성분들이 함께 내재하는 상태이므로 각 성분별 구성인자의 표현방식을 규명하기가 매우 어려운 상태이다. 앞으로 이의 규명을 위한 보다 많은 연구가 필요하다고 생각되어진다.

IV. 요 약

도토리 조전분겔과 정제전분겔에 대하여, 변형의 정도를 달리한 응력완화시험을 실시하였다. 그 결과 초기응력(σ_0)은 변형정도에 무관하게 항상 정제전분겔이 큰 값을 나타내었고, 평형응력(σ_e)은 조전분겔이 더 큰 값을 보여주었다. 그러나 초기응력에 대한 평형응력의 비(σ_e/σ_0)는 60%변형의 경우에 최소값을 나타내었다.

응력완화곡선의 물성론적 모형 분석은 축차잔차법을 사용하였다. 60%변형의 경우, 조전분겔은 7-element, 정제전분겔은 5-element generalized Maxwell model로 분석되었고, 45%변형의 경우에는 조전분겔은 5-element, 정제전분겔은 3-element model로 표현할 수 있었다. 즉 조전분겔에 비해 타 성분들이 좀 더 제거된 정제전분겔이 보다 더 단순한 모형으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- 1) Szczesniak, A.S., Kleyn, D.H.: Consumer awareness of texture and other food attributes. *Food Tech.*, **17**, 74 (1963)
- 2) Mohsenin, N.N.: *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, Gorden and Breach Science Publishers, New York, Vol. 1, p. 104, p. 131, p. 309 (1970)
- 3) 변유량, 유주현, 전인선 : 양갱의 물성에 관한 연구 : 제 1 보, 양갱의 점탄성, 한국식품과학회지, **10**(3), 344 (1978)
- 4) 황인경 : 식품의 Texture에 대한 연구, 서울대학교 가정대학 논문집, **9**, 93 (1984)
- 5) 김영아, 이혜수 : 응력완화검사에 의한 도토리묵의 물리적 특성, 한국조리과학회지, **1**(1), 53 (1985)
- 6) 방신영 : 조선음식만드는법, 대양공사출판부, 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) 김영아, 이혜수 : 도토리 조전분 및 정제전분의 이화학적 특성, 한국조리과학회지, **3**(1), 14 (1987)
- 9) Peleg, M. and Calzada, J.F.: Stress relaxation of deformed fruits and vegetables. *J. Food Sci.*, **41**, 1325 (1976)
- 10) Szczesniak, A.S.: Physical properties of foods: What they are and their relation to other food properties. In *Physical Properties of Foods*, Peleg, M. and Bagley, E.B. (ed), AVI Publishing Company, Westport, p. 1 (1983)
- 11) Finney, E.E. Jr.: Elementary concepts of rheology relevant to food texture studies. *Food Tech.*, **26**, 68 (1972)
- 12) Leung, H.K., Barron, F.H. and Davis, D.C.: Textural and rheological properties of cooked potatoes. *J. Food Sci.*, **48**, 1470 (1983)
- 13) 김영아, 이혜수 : 도토리묵의 물리적 특성, 한국식품과학회지, **17**(5), 345 (1985)
- 14) 김영아, 이혜수 : 도토리묵의 물리적 특성—관통검사와 back extrusion test—, 한국식품과학회지, **17**(6), 469 (1985)
- 15) Sherman, P.: Structure and textural properties of Foods. In *Texture Measurements of Foods*, Kramer, A. and Szczesniak, A.S. (ed), D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, p. 52 (1973)