

염 절임동안에 일어나는 무조직의 유변학적인 변화

김병용 · 조재선

경희대학교 식품가공학과

초록: 무의 염절임 과정에서 일어나는 염의 침투와 관련하여 무의 응력완화 변화를 측정하고 점탄성의 변화를 제시하였다. 침지 염용액의 농도와 침지온도가 증가할수록 염의 확산은 더 잘 일어났으나 염용액의 온도에 따른 염의 침투 정도는 낮은 염용액의 농도에 의해서 더 많은 영향을 미쳤다. 염장하지 않은 무의 높은 조직의 강도와 점탄성은 염용액의 온도를 증가시키기에 따라 초기 응력에 대한 조직의 강도약화를 보여 주었으며 응력완화의 정도도 빨라졌고 평형상태에서 잔여응력 양도 감소하였다. 또한 염용액의 농도가 증가할수록 무 조직의 응력완화정도와 잔존응력양의 변화가 거의 일치함을 보였다. 염용액의 온도와 농도를 증가시키기에 따라 염절인 무조직의 점탄성 성분들도 낮아졌는데, 온도에 따른 무의 점탄성의 낮아지는 정도는 염침투나 초기응력과 마찬가지로 낮은 염용액의 농도에서 더 많은 영향을 받았다(1992년 8월 27일 접수, 1992년 9월 30일 수리).

무김치와 같은 야채발효식품에서 소금의 침가는 필수 불가결한 요소로써 절이는 소금 농도에 따라 미생물 생성, 발효의 정도 그리고 맛 등에 영향을 준다.¹⁻⁵⁾ 또한 소금은 발효기간에도 영향을 미치며, 발효중 생성되는 유기산의 양상에도 상당한 영향을 미친다.⁶⁾ 또한, 절이는 염농도가 증가함에 따라 염의 흡수속도가 일반적으로는 빨라지며,⁵⁾ 같은 염농도에서도 작은 크기와 큰 오이의 염확산이 틀린 것으로 보고되었다.⁷⁾

이와같이 야채 식물에 대한 염확산 및 염농도에 관한 다양한 연구가 이루어지고 있으나, 염 처리시의 조건에 따른 물성학적인 측면, 즉 조직감변화에 연구는 대체로 미비한 실정이라 하겠다. 유 등⁸⁾은 염농도에 따른 조직 변화를 펙틴의 변화량으로 설명하였으며, 조직구조를 파악할 수 있는 모델을 제시하였다. 일반적으로 야채조직의 물성에 영향을 미치는 요소는 조직내의 수분함량 및 조직 세포내의 용질의 양이다.⁹⁾ 즉, 펙틴은 야채조직의 중요한 구성성분이며 그것이 관여하는 세포벽의 탄성이 김치류의 조직에 크게 영향을 미친다. 또한, 세포막을 통과하는 소금용액이나 물의 교환에 의한 감성변화도 조직 변화의 중요한 요소로서 작용하므로, 탄성과 점성 변화의 추적은 염절인 후의 조직변화를 예견할 수 있는 척도가 되겠다.

이에 본 연구에서는 염농도나 염장온도에 따라 무 조직 내에 침투하는 염의 확산정도에 대해 살펴보고, 그와같은

염장조건에서 염절인 후의 무조직들의 응력완화현상을 측정하여 염장조건에 따른 조직의 점탄성적인 변화를 구하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에서 사용한 일본무는 수원외의 채소시장에서 구입하여 사용하였다. 시료 및 부위간의 유의차를 줄이기 위해 가을철에 나온 동일 품종을 사용하였으며 무의 중간부분을 일정한 크기(4×4×10 cm)로 잘라 사용하였다.

염절임 및 식염함량의 측정

무의 한 면(4×4 cm) 만을 남겨 두고 나머지 다섯면을 염용액이 침투하지 못하도록 paraffin으로 씌운 다음 일정 염농도(1~4 M)와 일정온도(15~30 °C)에서 1시간 동안 침지시켜 염용액이 무 내로 확산되도록 하였다. 이와같이 염절인 무를 2 cm 간격으로 잘라 염용액이 직접 닿는 처음면을 1번, 가장 안쪽면을 5번으로 하였다.

각각 2 cm 간격으로 만든 무들을 마쇄, 여과한 여액을 받아 conductivity meter(Model; CM-40S)를 사용하여 전도도를 측정하고 NaCl 표준용액의 표준직선을 이용하여 시료의 농도를 계산하였다(Fig. 1).

Key words : Radish, salt diffusion, stress relaxation, viscoelastic constant
Corresponding author : B. Y. Kim

응력완화 현상의 측정 및 점탄성값의 계산

염절인 무조직의 응력완화는 rheometer(Model; Sun Sci. Co.)를 이용하여 측정하였다. 일정한 크기의 모든 1번 부위시료(1×2×2 cm)들은 축방향의 압축응력에 의해 분당 300 mm의 속도로 일정 strain(5%)까지 압축후 그 상태를 유지하고 응력감소를 측정하였다. 순간응력 (instantaneous stress)과 시간에 따른 응력감소는 chart speed 300 mm/min에서 30분간 기록되었으며 모든 측정은 실온에서 하였다. 응력완화 측정에서 얻어진 결과를 이용하여 spring(탄성성분)과 dashpot(점성성분)의 조합형인 3성분 모델에 적용하여 탄성성분과 점성성분의 변화량을 다음식을 이용하여 계산하였다.¹⁰⁾

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{E_1 + E_2} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_2}{E_1 + E_2} \frac{\sigma - \epsilon E_1}{\eta} \quad (1)$$

σ: stress, ε: strain

E₁: series elastic element constnat

E₂: parallel elastic element constant

η: viscous element constant

Viscous element(η)와 elastic element(E₁, E₂) 성분은 다음과 같이 구하였다. Spring E₁에 의해 초기 변형이 일어날 때 식 (2)가 성립되었다.

$$\frac{\sigma_0}{\epsilon_c} = E_1 \quad (2)$$

Series로 나타난 두 spring에 의해 응력완화가 평형에 도달한다고 가정하며 식 (3)에 의해 E₂를 구하였다.

$$\frac{\sigma_e}{\epsilon_c} = \frac{E_1 \times E_2}{E_1 + E_2} \quad (3)$$

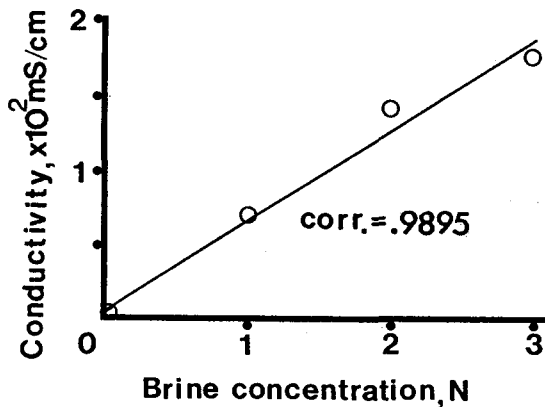


Fig. 1. The linear relationship between conductivity and salt concentration (Corr.=0.9895).

여기서

ε_c: 일정 strain(5%)

응력완화시간은 전체응력의 1/2.72까지 stress가 소멸하는데 걸리는 시간으로써 응력완화 curve로부터 구해지며 viscous constant(η)는 식 (4)에 의해 구하였다.

$$\text{응력완화시간} = \frac{\eta}{E_1 + E_2}$$

결과 및 고찰

무조직 내의 염농도 변화

염용액의 농도를 1 M로 고정하고 염용액의 온도를 변화시켜 무를 1시간 동안 침지시켰을 때 부위별 염농도의 변화의 결과는 Table 1과 같다. 1 M의 염용액과 15 °C의 침지온도의 경우 1번 부위의 침투 염농도는 0.265, 2번 부위는 0.207, 3번 부위는 0.194, 4번 부위는 0.180, 5번 부위는 0.139 M로써 침지 거리에 따라서 침투 염농도가 감소하였다. 또한, 침지 염용액의 온도가 15

Table 1. Changes in salt concentration in radish after soaking for 1 hr in 1 M salt concentration at various temperatures

Salting Conc. (M)	Salting Temp. (°C)	Portion				
		1	2	3	4	5
1	15	0.265 ^{a)}	0.207	0.194	0.180	0.139
1	20	0.420	0.261	0.203	0.188	0.152
1	25	0.538	0.296	0.229	0.199	0.156
1	30	0.819	0.507	0.458	0.345	0.255

^{a)} Each number represents a mean value of 3 measurements.

Table 2. Changes in salt concentration in radish after soaking for 1 hr in various concentration of salt solutions at different temperature

Salting conc. (M)	Salting temperature (°C)			
	15	20	25	30
2	0.422 ^{a)}	0.538	0.607	0.819
3	0.838	0.893	0.912	1.231
4	1.188	1.204	1.196	1.299

Salt content in the first portion of salted radish was measured.

^{a)} Each number represents a mean value of 3 measurements.

℃에서 30℃로 증가할수록 시료의 각 부위별 침투 염 농도가 증가하여, 온도증가에 따라 염의 침투도 증가하는 결과를 보였다.

염용액의 농도를 달리하여 무를 침지시킨 후 염용액의 온도에 따른 1번 부위의 염 침투농도를 측정한 결과는 Table 2와 같다. 염용액의 농도가 2 M에서 4 M으로 증가할수록 무에 대한 침투 염농도가 증가하였으며 또한, 염용액의 온도가 높을수록 증가하였다. 그러나 온도증가에 따른 염 침투농도의 증가정도는 낮은 염용액의 농도에서 더 컸다. 이러한 결과는 배추나 올리브 등과 같은 야채류의 실험에서도 유사한 것으로 나타났다.^{11,12)}

절입 무 조직의 물성변화

1 M의 일정 염용액에 일정크기(1cm×2cm×2cm, 1번 부위)의 무를 서로 다른 염용액 온도에서 1시간 동안

침지시킨 후 조직의 변화에 따른 응력완화 현상을 보았다 (Fig. 2). 15℃에 침지시켰을 경우 460 KPa의 초기순간 응력을 나타냈으며 온도가 20℃에서 30℃로 올라감에 따라 402에서 226 KPa로 낮아져 염용액의 온도가 높아짐에 따라 초기 응력에 대한 조직 강도의 약화를 보여 준다. 이는 무를 염절입할 때 Na⁺ 이온이 펙틴과 셀룰로오스 사이의 수소결합을 해체하여 셀룰로오스를 지지하는 힘을 약화시키고 결과적으로 펙틴 사슬간의 지지력을 약화시켜 turgor pressure의 손실, 탈수효과 증대 및 조직의 견고성을 감소시킨 것으로 보고되었다.¹³⁾ 또한 일정량 strain을 유지하며 응력완화를 30분간 측정시 염용액의 온도가 증가할수록 응력이 완화되는 정도는 빨라졌으며 30분 후의 잔여응력(elastic solid) 양도 감소하였다.

각각의 일정한 염용액 농도(2~4 M)에서 염용액의 온도를 변화시켜 무를 침지시킨 후 같은 조건하에서 조직의

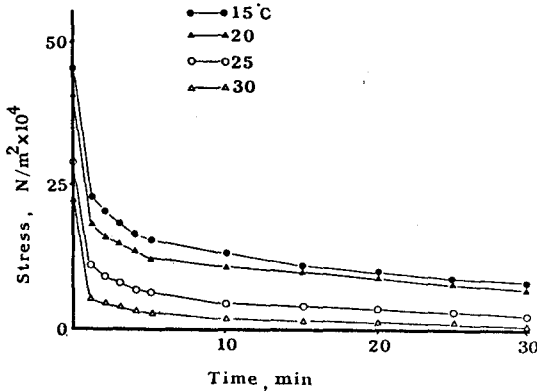


Fig. 2. Stress relaxations curve of radish after soaking in 1 M NaCl solution for 1 hr at various temperatures.

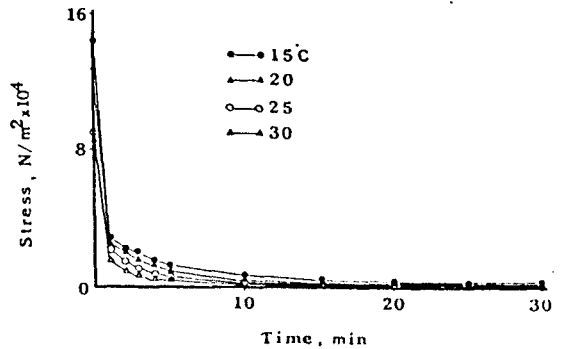


Fig. 4. Stress relaxation curve of radish after soaking in 3 M NaCl solution for 1 hr at various temperatures.

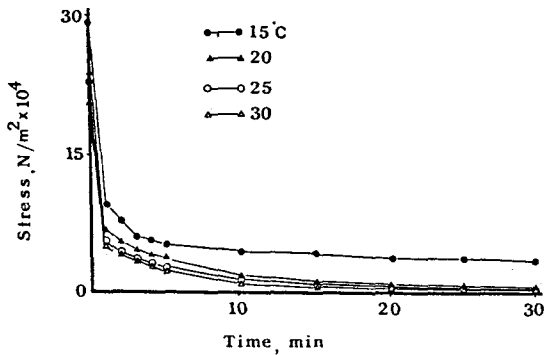


Fig. 3. Stress relaxation curve of radish after soaking in 2 M NaCl solution for 1 hr at various temperatures.

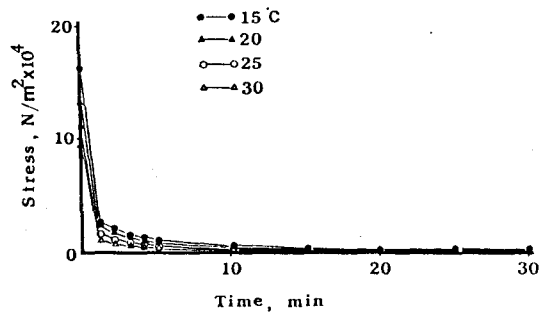


Fig. 5. Stress relaxation curve of radish after soaking in 4 M NaCl solution for 1 hr at various temperatures.

응력완화 현상을 측정된 결과는 Fig. 3~5와 같다. 15℃ 1 M의 염용액에서 460 KPa인 초기응력은 염용액의 농도가 2 M로 증가할 때(Fig. 3) 초기응력의 감소가 두드러졌으며(290 KPa), 3 M와 4 M로 더욱 증가했을 경우

계속 두드러진 감소를 나타냈다(167과 142 KPa). 또한 염용액의 농도가 증가함에 따라 응력완화 정도가 거의 일치하는 경향을 보였으며 30분 후에 남아있는 잔여응력의 양도 감소하여 염용액의 농도가 3 M이나 4 M를 사용시에는 온도에 상관없이 비슷한 응력완화시간의 변화와 잔존응력 양을 보여주었다(Fig. 4, 5). 초기응력에 대한 염장온도와 염장농도의 효과는 낮은 염용액의 농도에서 염장온도가 높을수록 초기응력의 감소정도가 훨씬 두드러지게 나타났다(Fig. 6).

염용액의 농도에 따른(Fig. 2~5) 여러 응력완화 곡선을 가지고 초기응력(한 spring, E_2)과 한 쌍의 kelvin model(한 spring과 한 dashpot, η)의 부분으로 구성되어 있는 3 element model에 적용하여 일치됨을 보이고 이 model에 의한 점탄성의 변화량을 알아보았다(Fig. 7, 8). 염장시키지 않은 무의 높은 점탄성 값들은 염장시켰을 때 모든 값들이 낮아지고, 염용액의 온도에 따라 직선적으로 감소하였다. 즉, 염용액의 온도가 증가할수록 염의 침투가 더 잘 일어나서 조직의 점탄성의 값이 낮아졌으며, 그 값들의 낮아지는 정도는 염침투나 초기응력변화와 마찬가지로 염용액의 농도가 낮을수록 더 심하였다. 전체적으로 볼 때 염용액의 농도 및 온도가 증가할수록 탄성값(E)이 저하되었고 이 탄성값의 저하정도는 낮은 염용액에서 더 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 점성값(η)도 탄성값과 마찬가지로 농도와 온도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며 염용액의 농도나 온도에 의한 탄성성분의 변화와 유사한 차이를 나타내었다.

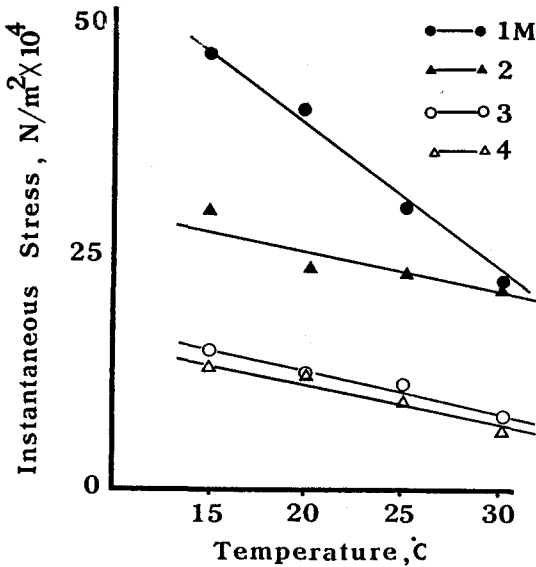


Fig. 6. Changes in instantaneous stress in various concentrations of salt solution at different temperatures.

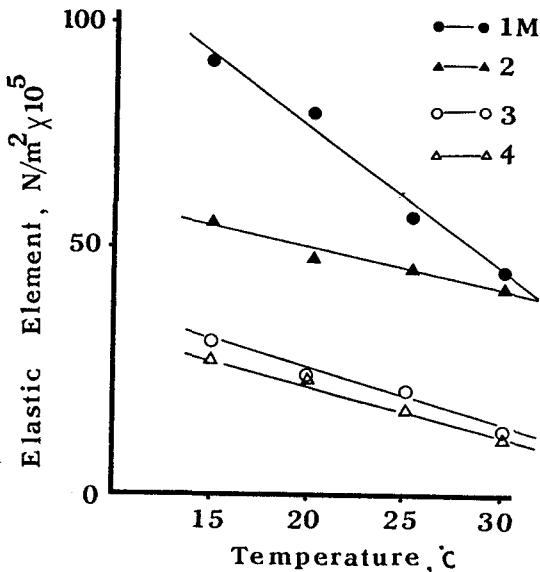


Fig. 7. Changes in elastic element contents in various concentrations of salt solution at different temperatures.

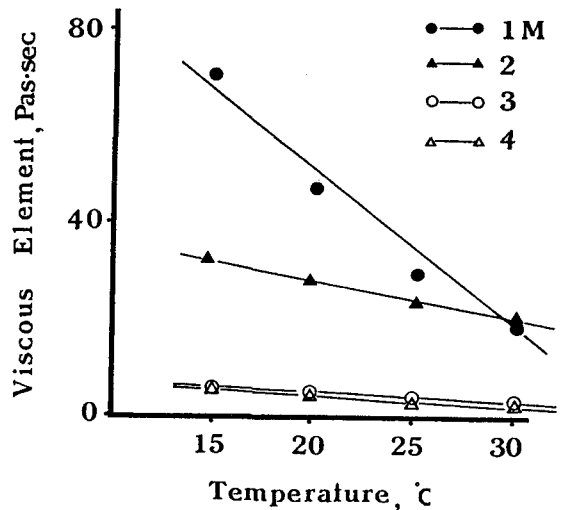


Fig. 8. Changes in viscous element contents in various concentrations of salt solution at different temperatures.

참 고 문 헌

1. 우경자, 고경희: 한국음식문화연구원논문, 제 1집, 163(1988)
2. 김소연, 엄진영, 김광옥: 한국식품과학회지, 23 : 1 (1991)
3. 최희숙, 구경형, 김종균, 김우정: 한국식품과학회지, 22 : 865(1990)
4. 최신양, 김영봉, 유진영, 이인선, 정건섭, 구영조: 한국식품과학회지, 22 : 707(1990)
5. 이희섭, 이철호, 이귀주: 한국조리과학회지, 3 : 64 (1987)
6. 조형용, 김주봉, 변유량: 한국식품과학회지, 20 : 711 (1988)
7. Pflug, I. J., Fellers, P. F. and Gurecitz, D.: J. Food Technol., 21 : 1634(1967)
8. 유명식: 연세대학교 박사학위논문(1990)
9. Pitt, R. E.: Transactions of the ASAE, 25 : 1776 (1982)
10. Mohsenin, N. N.: Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Sci. Pub., 154(1986)
11. Drusas, A., Vagenas, G. K. and Saravacos, G. D.: J. Food Engineering, 7 : 211(1988)
12. 변유량: 한국음식문화연구원논문, 제 1집, 292(1988)
13. 김중만, 김인숙, 양희천: 한국영양식량학회지, 16 : 75 (1987)

Change in rheological properties of radish during salting

Byung-Yong Kim and Jae-Sun Cho (Department of Food Processing, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea)

Abstract : The amounts of salt diffused into radish after immersing in various concentrations of salt solution at different temperatures were measured and the changes of radish texture by the salt diffusion were estimated with the viscoelastic constants of a 3 element solid model determined by a stress relaxation test. While the amount of salt diffused through radish was increased with increasing the salt concentration and soaking temperature, the instantaneous stress, equilibrium elastic solid and viscoelastic constants of radish were decreased. Also the degree of stress relaxation and equilibrium elastic solid approached the same or zero values, as salt concentration was further increased. Viscoelastic constants as well as salt diffusion were more influenced by lower salt concentration with increased temperatures.