

동결건조 즉석미반의 리올로지적 성질

김관유 · 이신영* · 주현규**

국방품질관리소, *강원대학교 발효공학과, **건국대학교 농화학과

Rheological Properties of Rehydrated Freeze Dried Instant Rice

Kwan-Yu Kim, Shin-Young Lee* and Hyun-Kyu Joo**

Defense Quality Assurance Agency

*Department of Fermentation Engineering, Kangweon National University, Chuncheon
200-701, Korea

**Department of Agricultural Chemistry, Konkuk University, Seoul 133-701, Korea

Abstract

Rheological properties of rehydrated freeze dried instant rice were investigated in comparison with that of cooked rice. The time changes in reciprocal hardness of instant rice grains at various rehydration temperatures(60~90°C) could be expressed by the first order reaction rate equation regardless of rehydration temperature and reaction rate constant increased as the rehydration temperature increased. Activation energy for rehydrating instant rice was 6.1 kcal/g-mol. Analysis of compressive stress relaxation test showed that the viscoelastic properties of both rehydrated instant rice and cooked rice grains could be expressed by 6-elements generalized Maxwell model. Rehydrated instant rice revealed higher relaxation decay than that of cooked rice and showed the elastic property increased by increasing the rehydration temperature.

서 론

미반 품질의 가장 중요한 요소는 식미로 이 식미는 화학적 성분, 품종, 산지, 저장 및 가공 방법에 따라 영향을 받으며, 특히 아밀로오스 함량은 가장 중요한 인자로 보고되었다¹⁻³⁾. 그러나 미반의 맛은 지미, 감미, 향 등의 화학적 요인 이외에도 점성, 온도 및 혀나 치아와의 접촉 또는 반응 등과 같은 각종 물리적 요인이 복잡하게 작용하여 형성되므로 최근에 와서 미반의 조직감이나 리올로지 특성등 미반 고유의 역학적 미각에 관한 각종 연구가 보고되고 있다^{4,5)}.

Kato⁶⁻⁹⁾는 Tensiron UTM II형 장치를 사용하여 압축, 인장 및 penetration 시험 등을 행하

고 미반의 역학적 특성이 미각특성과 밀접하게 관련됨을 밝혔다. 또 미반의 조직은 미각을 좌우하는 가장 큰 요소로써, 고유의 점탄성적 촉감은 미각의 70~80%나 점유한다고 하였으며, 저작(chewing) 또는 턱 운동시 미반의 리올로지적 거동은 미반 고유의 맛에 대한 기반이 된다고 하였다. 한편, Tsuji¹⁰⁾도 미반의 역학적 특성은 노화와 밀접한 관련을 가져서 tensipresser를 사용한 미립의 2회 반복압축 및 biting시험 결과 노화에 동반하는 식감의 변화는 adhesiveness/hardness로 나타낼 수 있으며, 미반의 식미는 fracturability/hardness와 상관성이 있다고 하였다. 또한, Tsuji¹¹⁾는 multibiting 시험에 의하여 찹쌀 및 멬쌀의 식감차와 노화에 따른 변화를 fracturability로 나타낼 수 있다고 보고하였다. 한편, 조직 또는 리올로지적 특성은 미반의 취반특성 연구에도 유용한 것

1989년 8월 11일 수리

Corresponding author: K.Y. Kim

으로 밝혀졌다. Suzuki들¹²⁾과 Cheigh들¹³⁾도 각각 parallel plate plastometer 및 texturometer에 의하여 취반 중 쌀의 경도변화에 의해 취반정도를 판단할 수 있음을 보고하였다. 또, Cho들¹⁴⁾과 Kim들¹⁵⁾은 texturometer 또는 Instron UTM을 사용하여 품종차이를 이해하는 관점에서 각각 백미 및 현미에 대한 취반특성과 수화특성을 조사하였다. 최근에는 압력변환기를 삽입한 의치(擬齒)를 사용하여 구강내 chewing 압력의 양상을 해석함으로써 역학적 특성을 인간의 생리적 측면에서 조사하려는 연구도 Takahashi와 Nakajawa¹⁶⁾에 의하여 시도되었다. 그러나 이상의 미반에 대한 리올로지 또는 조직감의 연구는 거의 취반한 미반을 대상으로 하였다.

일반적으로 즉석미는 통상적인 방법으로 취반한 미반에 비해 접착성이 저하되고 착색 및 이취가 발생하여 문제시되고 있다¹⁰⁾.

따라서 복원한 즉석미의 리올로지적 거동에 대한 정량적 파악은 즉석미의 건조, 가공, 품질판단 및 조리과학적 특성이나 식미특성의 규명을 위한 기초자료로서 매우 중요하다고 볼 수 있다. 그러나 즉석미와 관련한 리올로지 연구는 Arai들¹⁷⁾이 참쌀과 멥쌀의 즉석미에 대한 조직 및 정적 점탄성을 측정하고, 품종 및 식미특성에서 차이가 있음을 보고하였을 뿐 매우 미미한 실정이다. 특히, 국내의 경우는 즉석미의 제조에 관한 일부 연구^{18,19)}가 있을 뿐 이와 관련된 연구는 전혀 보고된 바 없다. 그러므로 본 연구에서는 동결건조 즉석미를 제조하여 이의 복원중 경도 변화를 미립수준에서 조사하고, 아울러 복원한 미반의 응력완화특성을 통상의 방법으로 취반한 미반과 비교, 검토 하므로써 동결건조 즉석미의 품질관리 또는 품질향상을 위한 리올로지적 기초자료를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 사용한 백미는 1985년도에 수확한 경기도 안성산의 밀양 23호이며, 전립 그대로 4°C의 저온실에서 저장하면서 사용하였다.

즉석미의 제조

시료 백미를 세척하고 상온수에서 12시간 침지한 후 100°C에서 수증기로 25분간 증자한 다음 날

알을 분리할 목적으로 상온수에서 7~10초간 담근 후 배수하고 증자미로 하였다. 이 증자미를 -40°C에서 24시간 동결시킨 다음 실험실용 냉동건조기(일본 동양기계 TFD-ILF 5)에서 Fig. 1의 조건으로 13시간 건조하여 동결건조 즉석미로 하였다.

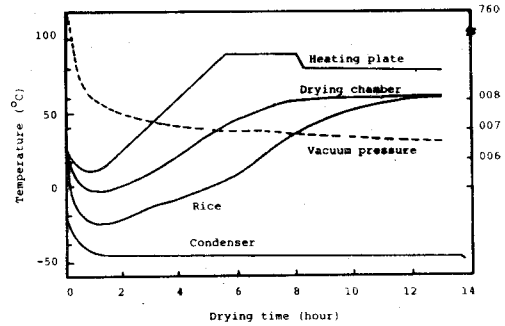


Fig. 1. Conditions of freeze drying for preparation of instant rice

취반미의 제조

조들¹⁴⁾의 방법에 따라 25g의 정백미를 35ml의 물과 함께 솟쇠제 용기(안지름 12mm×높이 28mm)에 넣고 상온에서 20분간 침지한 다음 100°C의 oil bath에서 50분간 취반하고 얼음물 수조에서 1분간 냉각시켜 취반미로 하였다.

일반성분의 분석 및 α-화도의 측정

원료 정백미 및 즉석미의 수분, 조단백질, 조지방 및 회분은 상법²⁰⁾에 따라 분석하였고, α-화도는 外山들²¹⁾의 glucoamylase (Amano Pharmaceutical Co., Glucozyme 6000)법으로 측정하였다. 이때 효소에 의해 생성된 포도당의 정량은 Somogyi-Nelson법²¹⁾에 따랐으며 α-화도(%)의 계산은 다음식에 의하여졌다.

$$\alpha\text{-화도}(\%) = \frac{(\text{피검액의 흡광도})}{(\text{완전 } \alpha\text{-화 검액의 흡광도})} \times 100$$

피검액은 시료 50mg(dry basis)에 0.4M acetic acid buffer(pH 4.8) 8ml를 넣어 균일하게 분산시킨 후 이의 4ml를 취하여 얻었고, 완전 α-화검액은 시료 25mg(dry basis)을 10ml 시험관에 취해 물 1ml에 현탁시키고 10N NaOH 0.1ml를 첨가하여 호화시킨 다음, 여기에 1M acetic acid(pH4.8) 1.6ml와 증류수를 넣어 총 4ml로 하여 얻었다.

경도의 측정

즉석미를 일정 온도(60~90°C)의 물에 일정 시간(1~5분) 동안 흡수시킨 후 꺼내어 여지로 표현

수를 제거한 다음 레오메터(Fudoh 2002 J)로 5알의 경도를 하중 2kg, plunger speed 30cm/min., clearance 2mm의 조건으로 측정하였다.

응력완화 특성의 측정 및 특성값의 산출

응력완화는 레오메터(Fudoh 2002 J)를 사용하여 미반립 5알에 대하여 일정 하중(190g) 하에서 기록지 속도 6cm/min.으로 부속 pen recorder(Model RV-12H)로 응력-시간곡선을 자동기록하여 측정하였다. 한편, 응력완화 특성값의 산출 및 해석은 물체가 여러가지의 완화시간을 가진 Maxwell 모델이 병렬로 연결되었다고 보는 다음의 generalized Maxwell 모형^{22,23)}을 적용하여 행하였다.

$$\epsilon(t) = \sum_{i=1}^n \epsilon_i \exp(-t/\tau_i)$$

여기서 $\tau_i (= \eta_i / \epsilon_i)$ 는 응력 완화시간이고, t 는 측정시간, ϵ 은 완화탄성율이다. 실험에 의하여 $\epsilon(t)$ 를 구하고 각 Maxwell 모형의 τ_i 및 ϵ_i 값을 구하였으며, 본 연구에서는 연속잔차법(method of successive residuals)²²⁾에 기초한 Tobolsky와 Mura kami²⁴⁾의 컴퓨터 프로그램을 응용하여 Apple II 컴퓨터로 산출하였다.

결과 및 고찰

일반성분 및 α -화도

정백미 및 즉석미의 일반성분과 α -화도 값은 Table 1과 같다. 즉석미의 일반성분값은 정백미와 비슷한 값으로 본 실험의 동결건조 조건은 성분 조성 변화에 거의 영향을 끼치지 않는 온화한 조건인 것으로 판단하였다. 한편, 즉석미의 α -화도 값은 92.68%로 즉석미의 제품 규격 기준 값²⁵⁾인 90%를 상회하는 범위였다.

Table 1. Proximate compositions and gelatinized degree of polished and instant rice

	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Carbohydrate (%)	Ash (%)	Degree of gelatinization (%)
Polished rice	13.56	6.86	0.52	78.68	0.38	3.43
Instant rice	5.98	8.25	0.25	85.02	0.50	92.68

즉석미의 복원중 미립의 경도변화

즉석미를 여러 온도에서 일정 시간동안 복원시

켜서 경도변화를 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 복원시간에 따른 경도의 역수 즉 연화도의 변화는 복원온도에 상관없이 직선관계를 보였으며, 일정 시간 후에 다소 낮은 기울기로 계속 증가하였다. Cho들¹⁴⁾과 Kim들¹⁵⁾은 취반중 연화도값이 변하는 점이 취반 종료점이라고 보고하였다. 복원과정은 일종의 취반 및 수화과정이라 볼 수 있으므로 연화도 값이 변하는 이 굴곡점의 대응하는 시간은 복원이 종료된 시간이라 볼 수 있으며, 이 시간은 60°C에서는 5분이었으나 온도가 높아질수록 빨라져서 90°C에서는 2.5분이었다. 그러나 복원 종료 이후도 연화도 값은 일정값에 도달하지 않고 계속적인 변화를 보였는데 이는 물의 계속적인 흡수, 팽윤으로 입자가 균열, 붕괴되기 때문이라고 생각된다¹⁵⁾.

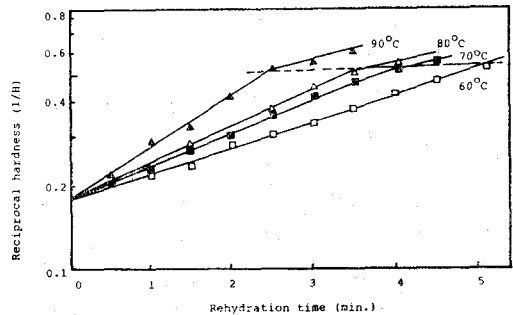


Fig. 2. Relation between reciprocal hardness of instant rice and rehydration time at different rehydration temperatures

한편, 복원 시간에 따른 미립의 경도변화는 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 대수적으로 감소하여서 경도는 1차 반응식에 따라 변함을 보였다. 이는 Cho들¹⁴⁾ 및 Kim들¹⁵⁾의 침지중 백미 또는 현미의 경도변화 결과와 비슷한 경향이어서 이들과 마찬가지로 복원에 따른 미립의 경도감소 속도는 다음과 같이 표현할 수 있었다.

$$dH/dt = -K_a \cdot H \text{ 또는 } \log H/H_0 = -K_a \cdot t$$

여기서 H_0 와 H 는 각각 복원 초기 및 t 분 후의 미립경도이다. Fig. 4의 기울기에서 구한 각 복원 온도 별 경도의 감소 속도상수($-K_a$)값은 복원온도가 증가할수록 높게 나타나서 일반적 경향과 유사하였다. 또, K_a 와 복원온도의 역수와의 관계는 직선관계를 보여서 Arrhenius식에 잘 부합되었다. 직선의 기울기로부터 구한 미립의 경도감소 반응에 대한 활성화 에너지는 6.1kcal/g-mol로 밀양 23호 백미 및 현미에 대한 취반의 활성화 에너지

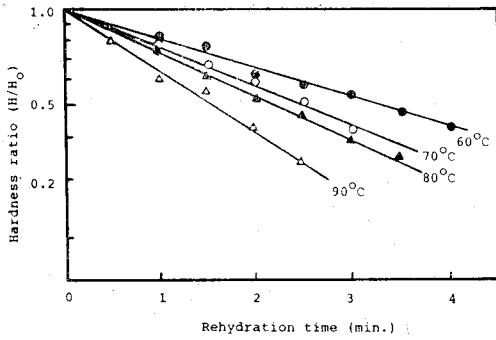


Fig. 3. Relation between the hardness ratio and the rehydration time for instant rice at different rehydrating temperatures

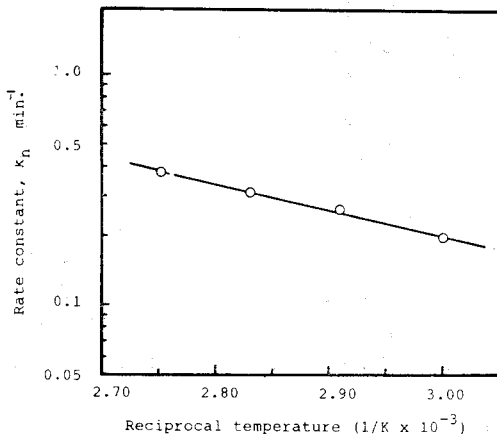


Fig. 4. Arrhenius plot of the reaction rate constant of instant rice during rehydration

값^{14,15)} 보다는 매우 작았다. 그러나 수화의 활성화 에너지 값^{14,15)}과는 비슷하여서 즉석미의 복원 속도는 물의 확산 또는 수화에 의하여 결정된다고 생각되었다.

압축 응력완화 특성

Kato⁴⁾는 미반을 썬을 경우 1 회의 턴운동은 밥 덩어리를 썬어서 치아에 가한 압력이 일정 수준에 도달했을 때 잠시 쉬게 되며 다시 다음 운동으로 옮겨져 목에 넘길 수 있을 정도로 연해질 때까지 썬는 동작이 반복된다고 하였다. 또 이때 생기는 응력완화현상은 밥의 딱딱함 또는 연함 등의 조직감으로서 치근막의 감각수용기에 전달된다고 하였다. 아울러 변형량을 일정하게 유지하는데 요하는 하중은 미반의 내부 유동에 의해 Maxwell 완화식에 따라 점차 감소한다고 하였으며, 썬는 동작의

연속에 따라 계속되는 완화현상과 그 완화시간의 장단은 밥의 경화 혹은 유연한 입맛으로서 민감하게 느껴진다고 하였다. 본 실험에서는 190g의 하중하에 여러 온도(60~90°C)별로 5~2.5분 복원시킨 즉석미립의 완화특성을 통상적인 방법으로 취반한 밥을 대조로 하여 6cm/min.의 plunger 속도로 정속압축시켜 응력완화 곡선을 얻었으며 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

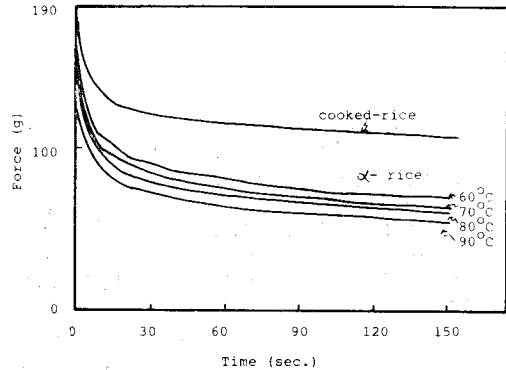


Fig. 5. Relaxation curves for cooked rice and instant rice rehydrated at different temperatures

변형량(10%)을 일정하게 유지하는데 요하는 응력은 시료 모두 초기 10초 내외에서 급격히 완화한 후 완만한 완화율로 계속 완화하였으며 복잡한 점탄성체로서의 거동을 보였다. Generalized Maxwell 모형을 적용하여 각 Maxwell 모형의 완화탄성율과 응력완화시간을 구하였으며, 그 결과는 Table 2와 같이 3개의 Maxwell 모형을 병렬로 연결한 6 요소 역학모형을 나타내었다. 그러나 응력완화 시간 τ_2 와 τ_3 값은 주요 완화과정의 대표값인 최장완화시간(τ_1)에 비하여 매우 작아서 1개의 Maxwell 모형으로도 설명할 수 있음을 보였고, 따라서 미반내 망목구조는 주로 한개의 기작에 기초함을 암시하였다. 또 미반의 τ_1 값은 두 시료 모두 기타 다른 hydro-gel과 마찬가지로 값인 $10^2 \sim 10^3$ 초로 미반내 구조의 완화에 관여하는 결합은 정전기력, 수소결합등의 2차 결합인 것으로 추측되었다²⁶⁻³⁰⁾. 통상, 고분자물질에 대한 응력완화는 응력완화 시간이 $10^{-9} \sim 10^{-3}$ 초인 경우는 자유분자고리의 segment 배향 또는 packing에 기인하며, 실온에서 $10^2 \sim 10^4$ 초의 완화시간을 갖는 경우는 구조내에 포함된 segment의 물리적인 재분배, entanglement 및 slippage에 관계하는 것으로 알려져 있다²⁶⁻³¹⁾. 또, 통상법으로 취반한 τ_1 값은 즉석미반

보다 커서 완화되기 어려움, 즉, 외력에 항복하여 내부유동의 생성이 어려움을 나타내었다. 아울러 건조한 밥일수록 탄성요소가 더 크고 완화에 시간이 걸릴 것이므로 통상적인 방법으로 취반한 미반의 조직이 더 딱딱함을 알 수 있었다. 그러나 즉석미의 경우는 복원온도의 증가에 따라 τ_1 값이 커져서 복원온도가 높을수록 완화가 어려우며 탄성요소가 더 크게 작용하는 경향을 나타내었다. 그러므로 고온에서 복원시킬수록 취반비에 가까워지고 탄력성 있는 미반의 특성을 나타내는 것으로 판단되었다.

Table 2. Values of relaxation parameters for conventional cooked rice and instant rice rehydrated at various temperatures

	$\epsilon_1 \times 10^5$	$\epsilon_2 \times 10^5$	$\epsilon_3 \times 10^5$	τ_1	τ_2	τ_3
Cooked rice	4.6521	0.9634	0.1511	1488	15.18	1.63
Instant rice						
60°C ¹⁾	3.9125	1.4324	1.2141	364	9.23	1.66
70°C ¹⁾	3.6454	1.2295	1.2945	378	10.81	1.85
80°C ¹⁾	3.3510	1.4602	2.2988	461	10.27	1.20
90°C ¹⁾	2.8959	1.2403	2.3759	669	15.55	2.01

1) Rehydration temperature

요 약

재수화한 동결건조 즉석미반의 리올로지 성질을 통상법으로 취반한 미반과 비교하면서 조사하였다. 온도(60°C~90°C)를 달리한 복원시간에 따른 미립경도의 역수(연화도)는 복원온도에 상관없이 1차 반응 속도식에 따라 감소하였고, 경도반응의 속도상수 값은 온도에 따라 증가하였으며, 이의 활성화 에너지는 6.1kcal/g-mol이었다. 여러 온도(60°C~90°C)에서 복원시킨 즉석미반의 압축응력 완화 곡선은 통상법으로 취반한 미반과 마찬가지로 일반화된 Maxwell의 6 요소 역학모형으로 설명되었고, 즉석미반은 취반미보다 완화되기 쉬우나 복원온도가 높을수록 탄력성이 높아지는 특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 이춘영, 김성곤 : 한국식품연구문헌 총람(2), 한국식품과학회, p.16(1977)

2. Juliano, B.O., Onate, L.U. and del Mundo, A.M.: Food Technol., 19 : 1006(1965)

3. Juliano, B.O.: In "Proceedings of the Workshop on Chemical Abstracts of Rice Grain Quality," Int. Rice Research Institute, Los Banos, Phillippins(1979)

4. Kato, S.: J. Home Economics of Japan, 30 : 121(1979)

5. Matsunaga, A., Lshida, N. and Kainuma, K.: Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 32 : 797(1985)

6. Kato, S.: J. Home Economics of Japan, 13 : 57(1962)

7. Kato, S.: J. Home Economics of Japan, 15 : 183(1964)

8. Kato, S.: J. Home Economics of Japan, 20 : 228(1969)

9. Kato, S.: J. Home Economics of Japan, 24 : 89(1973)

10. Tsuji, S.: Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 28 : 278(1981)

11. Suzuki, K., Kubota, K., Omichi, M. and Hosaka, H.: J. Food Sci., 41 : 1180(1970)

13. Cheigh, H.S., Kim, S.K., Pyun, Y.R. and Kwon, T.W.: Korean J. Food Sci. Technol., 10 : 52(1978)

14. Cho, E.K., Pyun, Y.R., Kim, S.K. and Yu, J.H.: Korean J. Food Sci. Technol., 12 : 285(1980)

15. Kim, K.J., Pyun, Y.R., Choi, H.T., Lee, S.K. and Kim, S.K.: Korean J. Food Sci. Technol., 16 : 457(1984)

16. Takahashi, J. and Nakazawa, F.: J. Home Economics of Japan, 28 : 107(1987)

17. Arai, T., Sawayama, S., Kawabata, A., Tanimura, W. and Obara, T.: Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 28 : 444(1981)

18. 박태원 : 과연취보, 2 : 76(1957)

19. 변재형, 최영락, 최춘연 : 국방과학연구, 5 : 1(1966)

20. Association of Official Analytical Chemists : Official Methods of Analysis, 13th Ed., Washington, D.C. (1980)

21. 外山忠南, 檜作進, 二國二郎 : 澱粉工誌, 13 : 69(1966)

22. Moheesenin, N.N.: Physical Properties of Plant and Animal Materials, Vol. 1, Gordon and Breach Sci. Pub., p.111, New York (1970)
23. 宇佐見忠南 : 食品工業, 5 下 : 64(1966)
24. Matsuoka, S.: In "Computer Programs for Plastic Engineers", I. Klein and K. I. Marshall(ed), p.176, Reinhold Book Co.(1978)
25. 陶山侑太郎 : 食品工業, 4 下 : 29(1971)
26. Kondo, A., Azechi, Y. and Kimura, H.: Agric. Biol. Chem., 43 : 101(1979)
27. Watase, M. and Arakawa, K.: Bull. Chem. Soc. Japan, 41 : 1830(1968)
28. 荒川泓, 竹中信夫 : 日本化學雜誌, 83 : 1065 (1962)
29. Arakawa, K.: Bull. Chem. Soc. Japan, 34 : 1233(1961)
30. Bartenev, G.M. and Zelenew, Yu. V.: Polymer Mechanics, 11 : 94(1975)
31. Sanchez, D.R. and Rha, C.K.: J. Food Technol., 16 : 469(1981)