

수분함량별 밥의 노화속도

김성곤 · 이애랑* · 이상규** · 김광중** · 천기철**

단국대학교 식품영양학과, *숭의여자전문대학 식품영양과, **국방과학연구소

Firming Rates of Cooked Rice Differing in Moisture Contents

Sung-Kon Kim, Ae-Rang Lee*, Sang-Kyu Lee**, Kwang-Joong Kim** and Ki-Cheol Cheon**

Department of Food Science and Nutrition, Dankook University

*Department of Food and Nutrition, Soongui Woman's Junior College

**Agency for Defense Development

Abstract

The firming rate of cooked rice stored at 4°, 20° and 30°C were analyzed. The initial and limiting firmness of cooked rice were decreased as the moisture content increased from 57.5 to 69.5%. The firming rate was inversely related to the storage temperature, but was fairly constant at moisture content between 60.5~65.9%. The activation energy and Q_{10} value for firming of cooked rice was -4.07×10^3 cal/mole and 1.26, respectively. No significant difference in firming rate was observed among rice cultivars.

Key words: rice, cooked rice, firming rate, activation energy

서 론

밥의 노화속도는 품종 뿐만 아니라 취반온도⁽¹⁾, 밥의 저장 온도⁽²⁾, 인산염^(3,5) 등에 영향을 받는다. 밥의 노화 중 일어나는 현상 중 특징적인 것은 경도의 증가이다. 전분질 식품의 경우 노화속도는 수분 함량에 크게 영향을 받는다⁽⁶⁾. 그러나 우리나라 쌀에 대한 밥의 수분 함량에 따른 노화에 대한 연구는 김⁽⁷⁾의 연구가 있을 뿐이다. 김 등⁽⁸⁾은 우리나라 쌀 10품종을 대상으로 수분 함량별 밥의 관능적 특성을 연구한 결과 최적 가수량으로 취반한 밥의 식미는 품종간에 유의적인 차이가 없음을 밝혔다. 또한 김 등⁽⁹⁾은 쌀 전분질을 대상으로 수분함량(60~65%)과 저장온도(-18~37°C)가 노화에 미치는 영향을 연구한 결과 수분 60%에서 노화가 가장 빨랐고, 4°C 이상에서 온도 상승에 따른 노화도는 품종 간에 차이가 있었다고 보고하였다.

본 연구에서는 수분 함량을 달리하여 취반한 밥의 저장온도에 따른 노화속도를 분석하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 쌀은 진미벼(조생종), 일품벼(중생종)와 동진벼(중만생종)로서 농촌진흥청에서 분양받았다. 벼는 농촌진흥청의 기준에 따라 백미로 도정하고 -20°C에 저장하면서 사용하였다. 시료의 특징은 전보⁽⁸⁾와 같다.

취반

취반은 전보⁽⁸⁾에서와 같이 쌀 400 g을 증류수(20°C)로 5초간 3회 씻은 다음 30분간 침지, 1분간 탈수시켰다. 침지전 쌀 무게를 기준으로 60~70%가 되도록 물을 가한 다음 전기 밥솥(10인용, 모델 JC-181R, 삼성전자 주식회사)으로 110볼트에서 취반하고 취반등이 꺼진 다음 15분간 뜸을 들였다. 밥의 수분함량은 전보⁽⁸⁾에서와 같이 2단계법으로 구하였다.

밥의 저장

밥은 1회용 페트리디쉬에 20 g씩 담고 밀봉한 다음 실온에서 30분간 방치하고 각 저장온도 4°, 20°와 30°C에서 30분간 경과한 시료를 저장시간 0으로 하였다.

Corresponding author: Sung-Kon Kim, Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, San 8, Hannam-dogn, Yongsan-ku, Seoul 140-714, Korea

경도의 측정

저장기간(0, 1, 2, 3일) 중 밥알 하나의 경도는 레오메터(일본 Sun Scientific Co.)를 사용하여 최대 힘 10 kg, 선반속도 60 mm/분, clearance 0.1 mm의 조건으로 압착하여 구하였다. 경도는 밥알 10~15개를 측정하고 평균값으로 표시하였다.

노화속도의 분석

경도는 아브라미 식을 이용하여 분석하였다⁽¹⁰⁾.

$$\log\left(-\ln \frac{E_L - E_t}{E_L - E_0}\right) = \log k + n \log t \quad (1)$$

여기서 θ 는 어느시간 t 에서 결정화되지 않은 확분, E_0 는 초기 경도, E_t 는 t 시간후의 경도, E_L 은 최대 경도이다. 본 실험에서 E_L 값은 4°C에서 14일동안 저장한 시료로부터 구하였다. 노화속도 상수(k)의 역수는 시간 상수로 정의된다.

아브라미 지수(n)는 식(1)의 기울기로부터 구하였다. 아브라미 지수가 1일 때 노화속도 상수 값은 $\ln(E_L - E_0)$ 와 시간과의 그림으로부터 구할 수 있다⁽¹¹⁾.

노화속도의 온도 의존성 분석

저장온도에 따른 밥의 노화속도의 온도 의존성은 아레니우스 식으로 분석하였으며 노화의 Q_{10} 값은 다음 식으로 구하였다⁽¹²⁾.

$$\log Q_{10} = \frac{2.19E_a}{(T)(T+10)} \quad (2)$$

여기에서 E_a 는 활성화에너지(cal/mole), T 는 절대온도(K)이다.

결과 및 고찰

경도의 변화

일품벼의 수분함량에 따른 밥알의 경도를 보면 Fig. 1과 같다. 밥알의 초기 온도에 관계없이 밥의 수분함량이 높아질수록 경도는 급격히 작아졌다. 일정한 수분 함량에서의 경도는 온도가 높을수록 작았으나 온도별 경도의 차이는 4°C와 20°C에서 큰 차이를 보였고, 20°C와 30°C는 그 차이가 저온에서 보다는 작았으며 다른 품종도 같은 경향을 보였다.

밥의 저장기간에 따른 일품벼의 경도 변화를 보면 Fig. 2와 같다. 수분 함량이 높을수록 저장 기간에 따른 경도 증가가 작았는데 이러한 경향은 다른 품종에

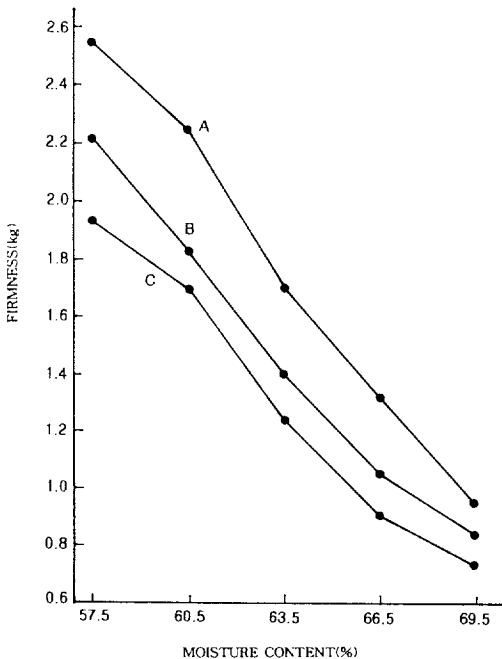


Fig. 1. Changes in initial firmness of cooked rices at 4° (A), 20° (B) and 30°C(C) as a function of moisture content (Ilpoombyeo)

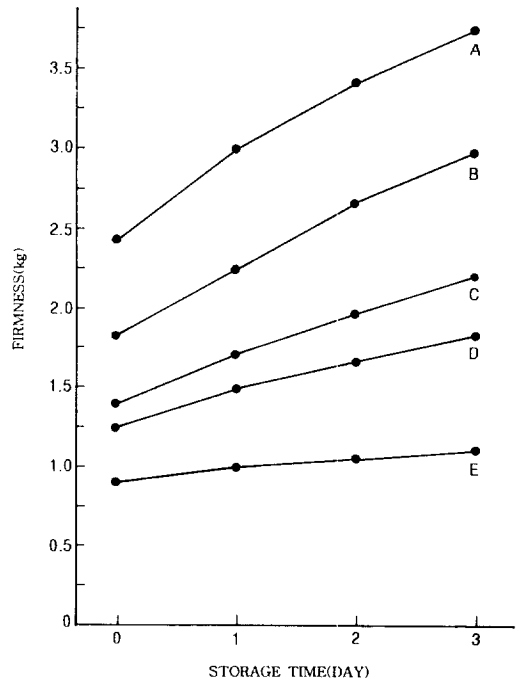


Fig. 2. Aging of cooked rices with different moisture contents at 20°C (Ilpoombyeo) Moisture content of A= 57.5%, B=60.5%, C=63.5%, D=66.5%, E=69.5%

서도 같은 결과이었다.

밥의 수분 함량에 따른 최대 경도를 보면 수분 함량이 증가하면 낮아졌으나 품종간에는 차이를 보이지 않았다(Table 1). 수분함량 57.5%에서의 경도 값을 1.0으로 하였을 때 수분 함량 60.5%에서는 0.84, 63.5%에서는 0.62, 66.5%에서는 0.48, 69.5%에서는 0.27이었다.

따라서 이상의 결과는 밥의 수분 함량에 따라 밥알의 초기 경도, 저장 중 경도의 증가 정도, 그리고 최대 경도가 크게 영향을 받음을 가리킨다.

노화 속도

밥의 저장 중 경도의 변화를 아브라미식으로 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 그림의 기울기로부터 구한 아브라미 지수 값은 모두 1.0에 가까운 값을 보였다(Table 2). 이러한 결과는 밥의 노화에 대한 여러 연구⁽¹⁻⁵⁾와 잘 일치하였다. 쌀 전분 겔의 경우에도 아브라미 지수 값은 1.0으로 보고^(13,14)되어 있다. 전분의 노화에서 아브라미 지수 1.0은 전분의 결정화 메카니즘이 순간적인 핵 형성 이후 막대기 모양으로 결정이 성장

함을 가리킨다⁽¹⁵⁾. 따라서 Table 2의 결과는 밥의 기본적인 노화 메카니즘은 전분의 결정화에 의함을 가리킨다.

아브라미 지수 값이 1.0일 때 최선의 노화속도 상수 값은 $\ln(E_t - E_0)$ 와 시간의 관계로부터 구할 수 있으므로 이들 관계를 보면 Fig 4와 같이 저장 온도에 관계없이

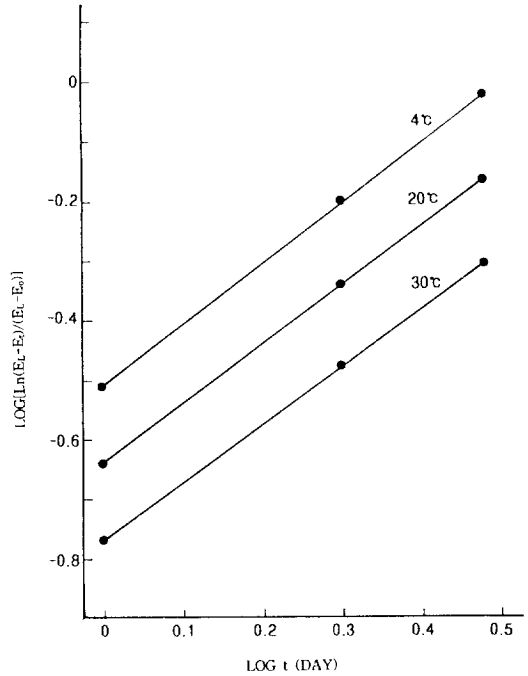


Fig. 3. Plot of $\log[-\ln(E_t - E_0) / (E_t - E_0)]$ against log time of cooked rice at 4°, 20° and 30°C (moisture content of 66.5%, Ilpoombyeo)

Table 1. Limiting firmness of cooked rice with different moisture contents

Moisture contents (%)	Limiting firmness (kg) ¹⁾		
	Jinmibyeo	Ilpoombyeo	Dongjinbyeo
57.5	4.93	4.88	4.19
60.5	4.14	4.13	4.14
63.5	3.04	3.02	3.04
66.5	2.40	2.38	2.40
69.5	1.33	1.33	1.33

¹⁾Limiting firmness was determined after storage at 4°C for 14 days

Table 2. Avrami exponents (n) and time constants (1/k, days) of cooked rice with different moisture contents stored

	Storage temperature (°C)	Moisture content(%)									
		57.5		60.5		63.5		66.5		69.5	
		n	1/k	n	1/k	n	1/k	n	1/k	n	1/k
Jinmibyeo	4	1.02	2.71	1.05	3.16	0.99	3.12	1.02	3.13	0.98	3.16
	20	1.12	4.07	1.09	4.35	1.01	4.44	1.00	4.38	1.02	4.64
	30	1.02	5.20	1.04	5.89	1.02	5.83	1.01	5.87	1.01	5.88
Ilpoombyeo	4	1.00	2.72	1.03	3.15	0.98	3.22	1.02	3.13	0.97	3.14
	20	0.98	3.92	1.09	4.35	1.09	4.40	1.01	4.33	0.95	4.47
	30	0.95	5.24	1.00	6.05	0.96	6.11	0.96	6.11	0.97	6.13
Dongjinbyeo	4	1.03	2.75	0.98	3.13	0.98	3.17	1.05	3.19	1.05	3.15
	20	1.10	4.05	1.09	4.35	1.02	4.40	0.96	4.44	0.96	4.47
	30	0.99	5.21	1.01	5.89	1.02	5.94	1.00	5.93	1.01	5.97

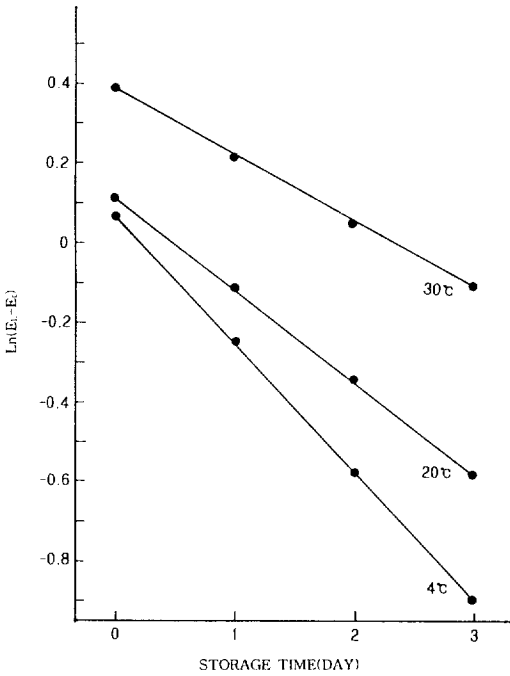


Fig. 4. Plot of $-\ln(E_L - E_t)$ against time of cooked rice at 4°, 20° and 30°C (moisture content of 66.5%, Ilpoombyeo)

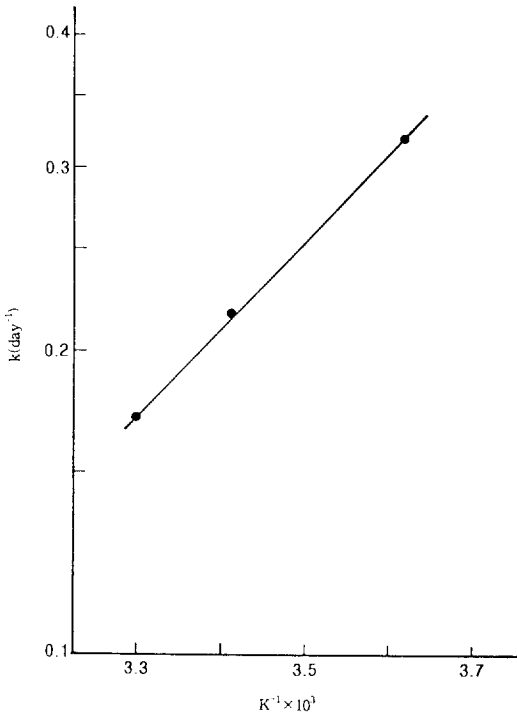


Fig. 5. An Arrhenius plot for cooked rice from Avrami analysis (moisture content of 66.5%, Ilpoombyeo)

Table 3. Activation energy (E_a) and Q_{10} for firming of cooked rices with different moisture contents

	Moisture content (%)	E_a (cal/mole)	Q_{10}
Jimmiby eo	57.5	-4.18×10^3	1.27
	60.5	-4.02×10^3	1.26
	63.5	-4.03×10^3	1.26
	66.5	-4.07×10^3	1.26
	69.5	-4.04×10^3	1.26
Ilpoomby eo	57.5	-4.21×10^3	1.27
	60.5	-4.07×10^3	1.26
	63.5	-4.04×10^3	1.26
	66.5	-4.00×10^3	1.26
	69.5	-4.07×10^3	1.26
Dongjinby eo	57.5	-4.17×10^3	1.27
	60.5	-4.05×10^3	1.26
	63.5	-4.01×10^3	1.26
	66.5	-4.00×10^3	1.26
	69.5	-4.07×10^3	1.26

직선적인 관계를 보였다.

그림의 기울기로부터 구한 노화속도 상수의 역수 즉 시간 상수(1/k) 값을 보면 Table 2와 같다. 시간 상수 값은 수분함량에 관계없이 저장 온도가 높아질수록 증가하였고, 일정한 온도에서는 수분 함량 57.5%인 밥이 가장 작은 값을 보였으며 수분 함량 60.5~69.5%에서의 시간 상수값은 차이가 없었다. 이러한 결과는 품종에 관계없이 수분함량 60.5~69.5% 범위에서 밥의 노화속도는 비슷하며, 저장 온도가 높아질수록 노화 속도는 늦어짐을 가리킨다. 저장 온도 4°C에서의 시간 상수 값을 1.0으로 하였을 때 20°와 30°에서의 시간 상수 값은 각각 약 1.41과 약 1.90이었다. 따라서 밥의 노화는 4°에서 보다 20°와 30°에서 각각 약 1.41배와 약 1.90배 늦었다. k_m 은 가수량을 달리한 밥의 효소법에 의한 노화도는 가수량 1.4배에서 가수량 1.2배 또는 가수량 1.6배 보다 약간 빠르다고 하였으나 유의적인 차이는 아니었다.

노화속도의 온도 의존성

밥의 노화 속도 상수와 저장 온도의 역수와의 관계는 Fig. 5와 같이 직선을 보여 아레니우스 식에 잘 적용되었으며 Fig. 5의 기울기로부터 구한 활성화 에너지 값은 Table 3과 같다. 활성화 에너지는 평균 -4.07×10^3 cal/mole로서 품종과 수분함량에 따른 차이가 없었다. 한편 식(2)로 구한 Q_{10} 값은 1.26으로 일정한 값을 보였다.

빵 노화의 경우 활성화 에너지 값은 -8.84×10^3 cal/

mole, Q_{10} 값은 0.60으로 보고⁽¹²⁾되어 있어 밥의 노화의 활성화에너지 값과 Q_{10} 값은 빵보다 약 2배 큰 값을 보였다.

요 약

쌀(조생종, 중생종과 중만생종 각 1품종)의 수분 함량을 달리하여(57.5~69.5%) 취반한 밥을 4°, 20°와 30°C에 저장했을 때 노화속도를 분석하였다. 밥의 초기 경도와 최대 경도는 품종에 관계없이 수분 함량이 높을수록 작아졌으며, 노화 속도는 수분 함량에 관계없이 4°C에서 보다 20°C와 30°C에서 각각 약 1.41배와 약 1.90배 늦었다. 노화의 활성화에너지 값은 -4.07×10^3 cal/mole, Q_{10} 값은 1.26으로 품종과 수분함량에 영향을 받지 않았다.

문 헌

- 박선희, 조은자, 김성곤, 황성연 : 취반온도가 밥의 노화 속도에 미치는 영향. 한국식품과학회지, **19**, 451 (1987)
- 김성곤, 변유량 : 실온 및 고온 처리시 쌀밥의 노화 속도. 한국식품과학회지, **14**, 80 (1982)
- Kim, I. H. and Kim, S. K.: Effects of phosphates on firming rate of cooked rice. *J. Food Sci.*, **49**, 660 (1984)
- Kim, I. H. and Kim, S. K.: Effects of phosphates differing in P_2O_5 contents on firming rate of cooked rice. *Cereal Chem.*, **61**, 91 (1984)
- 김일환, 이규한, 김성곤 : 축합인산염이 밥의 노화 속도에 미치는 영향. 한국식품과학회지, **17**, 245 (1985)
- Eliasson, A.-C. and Larsson, K.: *Cereals in Bread-making*. Marcel Dekker, Inc., New York, U. S. A., Chap. 7 (1993)
- 김수경 : 취반 조건이 밥의 노화에 미치는 영향. 전남대학교 박사학위 논문(1994)
- 김우정, 정남용, 김성곤, 이애랑, 이상규, 하연철, 백무열 : 수분함량별 밥의 관능적 특성. 한국식품과학회지, **27**, 885 (1995)
- 김정옥, 김차란, 신말식, 김성곤, 이상규, 김왕수 : 쌀 전분겔의 노화에 수분함량과 저장온도가 미치는 영향. 한국식품과학회지, **28**, 552 (1996)
- Colwell, K. H., Axford, D. W. E., Chamberlain, N. and Elton, G. A. H.: Effect of storage temperature on the aging of concentrated wheat starch gels. *J. Sci. Food Agric.*, **20**, 550 (1969)
- McIver, R. G., Axford, D. W. E., Colwell, K. H. and Elton, G. A. H.: Kinetic study of the retrogradation of gelatinized starch. *J. Sci. Food Agric.*, **19**, 560 (1968)
- Labuza, T. P.: *Shelf-life Dating of Foods*. Food & Nutr. Press, Inc., Westport, CN, U. S. A., Chap. 12 (1982)
- 정혜민, 안승요, 김성곤 : 아끼바레 및 밀양 23호 쌀 전분의 이화학적 성질 비교. 한국농화학회지, **25**, 67 (1982)
- 김성곤, 한태룡, 이양희, 비 엘 다포르니아 : 통일 및 팔달 쌀 전분의 이화학적 성질에 관한 연구. 한국식품과학회지, **10**, 157 (1987)
- Sharples, A.: *Introduction to Polymer Crystallization*. Edward Arnold Ltd., London p.50 (1966)

(1996년 3월 29일 접수)