

활성 글루텐 및 검질 첨가에 따른 발아 현미 첨가 우리밀 식빵의 노화 특성

김선경¹ · 이승주² · 윤장호¹ · 이승주^{1*}

¹동국대학교 식품공학과, ²한국식품연구원 전통식품연구단

The Effect of Vital Gluten and Gum on the Retrogradation of Breads Made with Korean Wheat Flour and Sprouted Brown Rice

Sun-Kyung Kim¹, Seung-Joo Lee², Jang-Ho Yoon¹ and Seung Ju Lee^{1*}

¹Dept. of Food Science and Technology, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

²Traditional Foods Research Group, Korea Food Research Institute, Gyeonggi 463-746, Korea

Abstract

This study examined the effects of sprouted brown rice (SR), gluten (G), and hydroxypropyl-methyl-cellulose (H) on the suppression of retrogradation in breads made with Korean wheat flour. An amylograph was used to determine the pasting properties of dough samples made with Korean wheat flour and additions of SR, SR+G, SR+H, and SR+G+H, respectively. In addition, a texture analyzer was employed to measure the hardness changes of bread samples left at room temperature for 72 hours. Finally, the type of retrogradation was calculated by the Avrami equation. The results showed that the addition of SR significantly decreased dough viscosity. However, the dough samples containing SR, G, and H all displayed reduced cold paste viscosity and setback, indicating a suppression of staling. The bread samples containing SR added to Korean wheat flour had increased hardness, but the addition of gluten (SR+G) reduced hardness. Upon examining the bread samples stored at room temperature for 24 hours, it was shown that the addition of G and H with SR (SR+G+H) suppressed retrogradation. Finally, the Avrami model data indicated that the type of retrogradation varied according to the addition of SR, G, and H. The breads made with hard wheat flour (HWF), WM, and WM+SR+H had similar Avrami exponents (1.20~1.28), while those for WM+SR, WM+SR+G, and WM+SR+G+H ranged from 2.7 to 3.3. Overall, the combined addition of SR and H was considered effective for preventing retrogradation in bread made with Korean wheat flour.

Key words : Sprouted brown rice, gums, retrogradation, gluten.

서 론

식생활의 변화로 쌀 소비량은 점차 감소하고 밀가루의 섭취가 증가하는 가운데 식생활이 서구화되면서 빵의 소비가 날로 증가하고 있다. 또한, 생활수준이 향상되어 건강에 대한 관심이 높아지면서 빵에서도 웰빙 추세에 맞춰 단순히 밀로만 만든 빵이 아닌 여러 기능성 성분을 추가한 건강빵이 출시되고 있다. 최근에는 농약을 처리하지 않고 일체의 화학 첨가물을 함유하지 않는 우리밀을 사용한 빵 제품에 대한 관심이 증가하고 있으며, 여러 가지 기능성 혼합 재료를 첨가한 밀 혼합분에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Kim & Ryu 1997, Boycioglu & D'Appolonea 1994, Kim, et al 2000). 그 중 발아 현미는 현미를 싹 틔운 것으로 백미에 비해 지방, 단백질, 미네랄, 아미노산이 풍부하며, 칼슘과 비타민 B₁, B₂,

B₆, 니코틴산, 펜토텐산, 엽산, 비타민 E의 함유량이 현미보다 높다(Kim & Cheigh 1979, Lee et al 1988). 또, 자정작용이 커서 건강뿐 아니라 체질 개선에도 좋은 효과를 낳는다. 발아 중 단단한 껍질로 싸여 있던 현미는 싹을 틔우기 위해 조직이 연해지고 새싹의 성장에 에너지를 소비했기 때문에 현미보다 칼로리가 약 10~15% 낮은 저칼로리 식품이다(Choi JH 2001). 그 밖에 다른 발아 식품에서처럼(Kim, et al 1988) 발아 과정에서 전에는 없었던 새로운 성분이 생겨나는데 탄수화물, 단백질, 지방 등의 영양소는 줄고 비타민, 효소, 무기질 등 특수한 성분이 생기게 되어 성인병 예방에 도움을 준다(Kayahara & Sugiura 2001). 또한, 발아 현미 첨가시의 제빵 적성 향상에 대한 연구도 보고된 바 있다(Kang et al 1997).

빵은 시간이 경과함에 따라 품질 저하 현상이 일어나는데, 이러한 현상을 빵의 노화(staling)라 한다. 빵의 노화는 미생물의 작용에 의한 변화와 빵 내부에서 일어나는 물리적, 화학적 변화 및 수분의 이동으로 일어난다(D'Appolonia & Mo-

* Corresponding author : Seung Ju Lee, Tel : +82-2-2260-3372, Fax: 82-2-2260-3372, E-mail: lseungju@dongguk.edu

rad 1981). 빵 내부의 노화는 상당히 복잡한 과정을 수반하며 내부 경도의 증가 현상, 맛, 향, 텍스처 및 수분 손실이 일어나는데, 노화에 중요한 역할을 담당하는 것이 식품의 전분이다. 노화를 물리적 측면에서 보면 전분의 호화 상태가 저장 기간 중 자유 에너지가 낮은 상태로 돌아가 전분 분자 간에 수소 결합이 형성되어 결정화 상태로 변화하면서 전분 젤이 단단하게 되고 전분 분자 사이의 일부 물 분자가 빠져나가 이상 분리가 나타나는 현상으로 저장 안정성을 상실하게 되고 조직감이 단단해져 전분질 식품의 품질 저하를 가져온다 (Chung *et al* 2003). 이로 인해 소비자의 기호도가 떨어지고 상품의 가치에 큰 훼손을 주게 된다. 따라서 식이섬유나 검류 등의 첨가를 통해 빵의 노화를 지연시키기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다(Kang *et al* 1997a,b, Kang *et al* 2000). 또한, 현미와 발아 현미를 첨가한 식빵에서 발아 현미의 노화 지연 효과가 보고된 바 있다(Michiyo *et al* 2004).

본 연구에서는 건강빵의 개념으로 발아 현미를 첨가한 우리밀 식빵에 노화 지연을 위한 검류와 글루텐을 첨가하여 제조하여 노화 유형과 속도를 분석하였다. 노화 억제제로는 Gum 류 중 쌀빵에서 노화 지연에 가장 효과적인 결과를 보여준 hydroxypropyl-methyl-cellulose(HPMC)를 사용하였고, 다른 복합분에서와 같이 발아 현미 첨가로 인한 부피감 감소 및 작은 부피에서의 경도 증가(Kang *et al* 1997a)를 보완하기 위해 글루텐을 사용하여 식빵을 제조하였다. 아밀로그래프를 이용하여 첨가물에 따른 식빵의 호화 특성을 분석하고 Texture Analyzer를 이용하여 저장 기간에 따른 경도를 측정하여 Avrami 식으로 분석하여 첨가물에 따른 노화 정도를 비교하였다.

재료 및 방법

1. 원료

제빵 재료로는 밀가루(Sanyang Co., Ulsan, Korea), 우리밀(Hamyang Agricultural Cooperative, Hamyang, Korea), 발아 현미(Jayunnara, Gongju, Korea), 효모(Bruggeman Co., Ghent, Belgium), 천일염(CJ Co., Seoul, Korea), 정백당(CJ Co., Seoul, Korea), 탈지분유(Seoul Milk, Seoul, Korea), 비유화성 쇼트닝(Ottogi Co., Anyang, Korea)을 사용하였고, 활성건조글루텐(Roquette Feres, Lestrem, France)과 검류인 hydroxypropyl-methyl-cellulose(HPMC, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, USA)를 사용하였다.

2. 제빵 방법

우리밀에 발아 현미를 대체한 복합분을 사용하여 AACC 법(1983)에 준하여 직접 반죽법(straight-dough method)를 이용하여 소맥분 100 g용 pan에 open-top 형태의 식빵을 제조하였다. 발아 현미의 사용량은 Michiyo *et al*(2004)과 Choi JH (2001)의 연구 결과를 바탕으로 20%로 하였다. 제빵에 사용된 기본적인 원료의 시료별 배합 비율은 Table 1과 같다. 소맥분을 100% 기준으로 하는 bakers %의 배합률을 사용하였으며, 사용 중량은 반죽기의 bowl 용량 12 quart에 맞춰 소맥분 500 g을 사용하였다. 반죽기는 bench type의 수직형 반죽기(Model A-200T, Hobart Corporation, Troy, USA)로서 12 quart 용량의 스테인레스 보울에 dough arm(hook)을 장착하여 사용하였다. 소량 재료들의 용해 및 분산을 위하여 반죽

Table 1. Formulation of bread samples

(Unit:% flour basis)

Ingredients	Samples ¹⁾					
	HWF	WM	WM+SR	WM+SR+G	WM+SR+H	WM+SR+G+H
Hard wheat flour	100	-	-	-	-	-
Korean wheat flour	-	100	80	80	80	80
Sugar	4	4	4	4	4	4
Shortening	4	4	4	4	4	4
Salt	1	1	1	1	1	1
Yeast	1	1	1	1	1	1
Milk solid nonfat	4	4	4	4	4	4
Sprouted brown rice flour	-	-	20	20	20	20
Gluten	-	-	-	3	-	3
Hydroxy propyl methyl cellulose	-	-	-	-	3	3

¹⁾ Bread samples made with following ingredients: HWF(hard wheat flour), WM(Korean wheat flour), SR(sprouted brown rice flour), G(gluten), H(hydroxy propyl methyl cellulose).

기 보울에 물을 먼저 넣어 water-base mixing 방법을 사용하였고 시료와 소맥분이 골고루 섞이게 채로 5회 반복하여 쳐서 사용하였다. 원료를 반죽기를 사용하여 반죽한 후 온도 27°C, 상대 습도 75%에서 2시간 발효시켰다. 1차 발효 후 반죽을 169 g씩 분할하고, 둥글리기 하여 20분간 중간 발효 한 다음 정형하여 팬에 넣어 60분 동안 2차 발효(온도 35°C, 상대 습도 85%)하였다. 굽기는 200°C로 예열되어 있는 오븐(Dae-Young Machinery Co., Ltd, Incheon, Korea)에 2차 발효가 완료된 반죽 pan을 평철판과 함께 흔들리지 않게 넣고 20분 동안 굽기를 하였다. 냉각은 굽기가 완료된 빵을 pan에서 조심스럽게 꺼내어 냉각 선반에 놓고 1개의 빵에 온도계를 꽂아 35°C가 될 때까지 실온에서 냉각하였다.

3. 아밀로그래프 측정

식빵 시료의 아밀로그래프 특성은 Amylograph(Model 8001, Brabender Co., Detmold, Germany)를 사용하여 측정하였으며, 각 시료 65 g을 450 mL의 증류수에 넣어 현탁액을 제조하였다. 작동 조건으로 회전 속도는 75 rpm으로 측정하였고 개시 온도는 1분에 1.5°C씩 일정한 속도로 최고 온도 95°C까지 상승시켰다. 측정 온도가 95°C에 이르면 95°C인 상태로 15분간 유지하고 다시 50°C까지 1분에 1.5°C씩 냉각하였다. Amylogram 변수로서 호화 개시 온도, 최고 점도, 최종 점도, 강하점도, 치반 점도를 계산, 비교하였다.

4. 텍스처 측정

식빵의 경도(hardness)는 Texture Analyzer(model TA-XT2, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England)를 이용하여 측정하였다. 시료를 제조 후 1일 간격으로 4일간 실온(20±2°C)에서 밀봉하여 보관하면서 각 시료의 경도 변화를 다음과 같이 측정하였다(AACC 1983). 먼저 빵의 중앙을 상하로 정확히 25 mm 두께로 절단하여 받침대에 올려놓았다. 36 mm 직경의 원통형 탐침(plunger)을 100 mm/min의 속도로 빵의 중앙 부위를 시료 두께 25 mm에서 15 min까지 40% 압축하였다. 식빵의 노화도는 식빵의 저장 중 경도 변화의 원리를 적용하여 제빵 후 1시간 경과 시의 경도에 대한 24시간 경과 후 식빵 시료의 경도 변화의 비로 산출하였다. 제조된 식빵의 기타 텍스처 특성(찰기, 탄성, 응집성, 씹힘성)도 위와 동일한 방식으로 Texture Analyzer(model TA-XT2, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England)를 이용하여 측정하였다.

5. Avrami 모형

식빵 시료의 제조 후 4일간의 저장 중의 경도 변화를 측정 후 Avrami 모형에 적용하여 노화 속도를 계산하였다(Avrami 1939, Chung *et al* 2003). Avrami 식은 다음과 같이 계산하였다(1).

$$\Theta = (T_{\infty} - T_t) / (T_{\infty} - T_0) = \exp(-kt^n) \quad (1)$$

$$T_{\infty} - T_t = (T_{\infty} - T_0) \exp(-kt^n)$$

$$T_t = (T_{\infty} - T_0) \exp(-kt^n) \quad (2)$$

여기에서 Θ 는 일정 시간(t) 후 남아있는 비결정 부분을 의미하며, k 는 속도 상수, n 는 Avrami 지수, T_0 는 초기상태의 온도, T_{∞} 는 이론적으로 무한대의 시간 후의 온도, T_t 는 일정 시간의 지난 후의 온도를 나타낸다.

6. 통계 처리

평균값의 비교는 분산분석을 실시하고 유의성이 있는 경우 Duncan 법의 다중비교(multiple comparison)에 의하여 유의적인 차이를 검정하였다. Avrami 모형 적용의 k , n , T_{∞} 값을 구하기 위하여 식 (1)을 식 (2)로 변환하여 t 를 독립 변수, T_t 를 종속 변수, T_0 를 상수값으로 하여 비선형 회귀분석을 하였다. 통계 처리에는 SAS프로그램(SAS Institute Inc., Cary, USA, ver. 8.0)을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 호화 특성

컨트롤로 사용된 일반밀(HWF), 우리밀(WM), 우리밀(WM)에 발아 현미(SR)를 20% 첨가한 것, 이에 활성 글루텐(G), 검질(H)을 첨가한 복합물의 아밀로그래프 특성은 Table 2와 같다. WM의 호화 개시 온도(Initial pasting temperature)는 71.3°C로 반 소맥분(HWF)의 66.4°C보다 높았으며, SR를 첨가하면 72.4°C로 더 높아지는 경향을 보였다. 또한, WM+SR에 글루텐(G)과 검류(H)를 각각 첨가하였을 때는 호화 개시 온도가 감소하였으나, 함께 넣었을 경우 오히려 76.1°C로 가장 높게 나타났다. 이러한 현상은 검류와 우유 단백질 등을 첨가한 식빵의 제조에서도 보고된 바 있는데(Yun *et al* 2006), 전분 입자가 호화되는데 필요한 수분을 검류와 단백질이 흡수하여 전분 입자의 수분 결핍이 발생됨으로써 전분 입자의 호화가 지연되는 것으로 여겨진다. 최고 점도(peak viscosity)는 SR을 넣었을 경우 현저히 감소하였다. 이는 SR이 밀에 함유되어 있는 gliadin이나 glutenin 등의 prolamins류의 단백질 함량은 적고 glutelin류의 단백질이 주종을 이루고 있어서 밀 글루텐과 같이 반죽의 망상 구조를 형성하지 못하기 때문이다(Kang *et al* 1997a). 검류인 HPMC(H)를 넣은 경우에 최고 점도가 높게 나타났는데, 이는 검질의 속성인 점증 효과에 따라 호화액의 점도가 증가하기 때문으로 여겨진다. 발아 현미 복합물에 글루텐(G)과 검류(H)를 첨가한 경우 약간의 점도 증가 효과가 나타났다. 전분의 노화 정도를 반영하는 50°C 냉각 점도(cold paste viscosity)와 치반 점도(setback)은 SR을 첨가하자 현저하게 낮아져 노화 지연 효과가 일부 확인되었다.

Table 2. Pasting properties of bread samples by amylograph

Variables	Samples ¹⁾					
	HWF	WM	WM+SR	WM+SR+G	WM+SR+H	WM+SR+G+H
Initial pasting temperature(°C)	66.4	71.3	72.4	70.1	71.6	76.1
Final viscosity(B.U)	726.0	497.0	82.0	82.0	83.0	84.0
Hot paste viscosity (B.U)	525.0	338.0	67.0	69.0	69.0	71.0
Cold paste viscosity (B.U)	615.0	378.0	76.0	79.0	76.0	78.0
Peak viscosity(B.U)	940.0	677.0	71.0	75.0	76.0	78.0
Setback viscosity ²⁾ (B.U)	201.0	159.0	15.0	13.0	14.0	13.0
Breakdown viscosity ³⁾ (B.U)	415.0	399.0	4.0	6.0	7.0	7.0

¹⁾ Bread samples made with following ingredients: HWF(hard wheat flour), WM(Korean wheat flour), SR(sprouted brown rice flour), G(gluten), H(hydroxy propyl methyl cellulose).

²⁾ Final viscosity-hot viscosity.

³⁾ Peak viscosity-hot viscosity.

2. 텍스처 특성

컨트롤로 사용된 일반밀(HWF), 우리밀(WM), 우리밀(WM)에 발아 현미(SR)를 20% 첨가한 것, 이에 활성 글루텐(G), 검질(H)을 첨가하여 제조한 식빵의 물리적 특성(탄성, 응집성, 씹힘성, 검성, 경도)을 측정하였다(Table 3). 모든 항목에서 시료간의 유의적 차이가 나타났다. 탄성(Springness)과 응집성(Cohesiveness)의 경우 일반 소맥분을 사용한 식빵(HWF)이 가장 높게 나타났고, 우리밀과 발아 현미 사용에 따라 낮아지는 경향을 나타냈다. 탄성의 경우 글루텐(G)이나 검류(H)의 사용에 따른 개선 효과가 높지 않았으나 응집성의 경우 글루텐의 첨가시 응집성이 증가하였다. 씹힘성(chewiness), 검성(gumminess)과 경도(hardness) 항목에서는 일반밀을 사용한 식빵에 비해 우리밀과 발아 현미 복합분을 사용한 시료가 전반적으로 높은 값을 나타냈다. 우리밀만으로 제조한 식빵(WM)에 비해 발아 현미(SR)와 글루텐(G)을 첨가한 식빵

의 경우 경도, 검성, 씹힘성이 모두 낮아졌으나, 검류(H)를 첨가한 경우에는 오히려 증가하였다.

3. 노화 특성

1) 저장 기간에 따른 식빵의 경도 변화

제조된 식빵 시료의 제조 후와 4일간의 경과 시의 경도 변화를 Texture analyzer를 이용하여 측정된 결과는 Table 4와 같다. 측정 결과, 일반밀(HWF)을 사용한 경우 경도가 가장 낮았으며, 시간이 경과함에 따라 모든 시료에서 경도의 증가를 나타내었으나 증가의 폭은 다르게 나타났다. 우리밀(WM)을 사용하였을 경우에는 일반밀(HWF)보다 경도가 다소 증가하였고, 동일하게 시간이 경과할수록 증가하는 경향을 보였다. 여기에 발아 현미(SR)를 첨가한 경우 경도가 증가하였다. 그러나 글루텐(G)을 첨가한 경우에는 SR을 첨가했다더라도 WM

Table 3. Texture profile parameters of bread samples by TPA¹⁾

Samples ²⁾	Springiness	Cohesiveness	Chewiness	Gumminess	Hardness
HWF	0.93 ^a	0.82 ^a	357.3 ^c	385.3 ^c	477.0 ^e
WM	0.89 ^b	0.66 ^b	901.2 ^c	1004.9 ^c	1540.1 ^{cd}
WM+SR	0.86 ^c	0.40 ^c	739.1 ^{cd}	617.2 ^{de}	1837.9 ^c
WM+SR+G	0.85 ^c	0.60 ^b	576.0 ^d	679.4 ^d	1174.8 ^d
WM+SR+H	0.84 ^{cd}	0.45 ^c	1133.2 ^b	1337.4 ^b	3008.4 ^b
WM+SR+G+H	0.83 ^d	0.45 ^c	1335.1 ^a	1608.8 ^a	3508.9 ^a

¹⁾ Means within a column not sharing a superscript letter are significantly different($p < 0.05$, Duncan's multiple range test).

²⁾ Bread samples made with following ingredients: HWF(hard wheat flour), WM(Korean wheat flour), SR(sprouted brown rice flour), G(gluten), H(hydroxy propyl methyl cellulose).

Table 4. Changes in hardness of bread samples stored at 25°C during 4 days

Samples ¹⁾	Storage time(days)			
	1	2	3	4
HWF	274.1± 25.5	618.9± 73.7	878.7±110.3	930.5±107.4
WM	1092.7±230.6	1935.8±449.7	2482.3±740.3	2592.6±735.9
WM+SR	1700.9± 92.0	2846.0±402.6	3654.3±496.9	4274.4±677.3
WM+SR+G	1288.9±364.8	1786.6±386.3	2325.9±651.1	2527.4±587.3
WM+SR+H	2650.8±313.2	4841.2±398.8	5741.1±431.4	6350.1±680.1
WM+SR+G+H	2807.6±227.2	4403.4±315.5	5931.1±572.3	6620.3±431.7

¹⁾ Bread samples made with following ingredients: HWF(hard wheat flour), WM(Korean wheat flour), SR(sprouted brown rice flour), G(gluten), H(hydroxy propyl methyl cellulose).

만으로 식빵을 제조했을 때의 경도와 동일한 수준으로 나타났고 시간에 따른 경도의 증가폭도 유사하였다. 반면, 검류인 HPMC(H)를 첨가한 경우에는 오히려 경도가 증가하였다. 이는 일반적으로 검류가 글루텐보다 수분을 흡수하는 시간이 상대적으로 길어 반죽동안 글루텐을 충분히 생성하지 못해 부피가 작고 이로 인해 경도도 증가하는 것으로 여겨진다.

호화된 전분질 식품의 노화는 전분 분자의 재결정화 과정의 반영으로서 제품의 품질을 저하시키는 중요한 요인이다. 전분의 종류, 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비율, 전분 입자의 크기, 저장 온도, 수분 함량 및 첨가되는 물질의 종류에 영향을 받는다(Chung *et al* 2003). 이러한 전분의 노화도를 측정하는 데는 여러 가지 방법이 있지만 본 연구에서는 제조 직후 실온에서 35°C까지 냉각시킨 식빵의 경도를 기준으로 실온(20±2°C)에 24시간 보관 후의 경도 변화로부터 노화도를 산출하였다(Table 5). 이 경우 처음 경도가 높은 수치를 나타내는 제품의 경우에는 노화도가 낮게 산출될 수도 있다는 문제점이 있으나 제조 후부터 저장 24시간까지의 경도 변화가 가장 현저하게 나타나므로 노화의 척도로 삼았다. 본 실험에서는 WM+SR+G+H가 제조 직후 경도가 3508.9로 가장 높았으나 24시간 후의 경도는 WM+SR+H가 가장 높게 나타났다. 그러나 노화도는 WM+SR+G가 '0.97'로 가장 높게 나타났고, SR을 첨가한 경우 노화도가 높게 나타났으며 검류를 첨가한 경우 노화도의 개선 효과가 나타났다.

2) Avrami 식에 의한 노화 유형

식빵의 초기 노화 속도는 초기 경도 변화에 의거하여 산출하였으나(Table 5), 식빵 시료의 최종 경도 값은 Avrami 식을 적용하여 비선형 회귀 분석을 통해 속도 상수(k)와 Avrami exponent(n) 값을 산출하였고(Table 6), 이를 실제 경도 측정치와 비교한 모형은 Fig. 1과 같다. Armeo & Collar(1988)에 의하면 속도 상수(k)는 노화 속도를 나타내고, Avrami expo-

Table 5. Hardness and degree of retrogradation of bread samples

Samples ¹⁾	Hardness (g) ²⁾		Degree of retrogradation	
	after 1hr (A)	after 24 hrs(B)	B-A	(B-A)/A
HWF	477.0 ^c	900.1 ^d	423.1	0.88
WM	1540.1 ^{cd}	1916.6 ^c	376.5	0.24
WM+SR	1837.9 ^c	3055.8 ^b	1217.9	0.66
WM+SR+G	1174.8 ^d	2318.6 ^{bc}	1143.8	0.97
WM+SR+H	3008.4 ^b	4951.1 ^a	1942.7	0.64
WM+SR+G+H	3508.9 ^a	4551.1 ^a	1042.8	0.30

¹⁾ Bread samples made with following ingredients: HWF(hard wheat flour), WM(Korean wheat flour), SR(sprouted brown rice flour), G(gluten), H(hydroxy propyl methyl cellulose).

²⁾ Means within a column not sharing a superscript letter are significantly different $p < 0.05$, Duncan's multiple range test.

nent(n)은 결정핵 형성 시간 및 결정체 형성 속도 상수에 의존하는 복합된 값을 나타낸다. 일반적으로 Avrami 지수의 값이 작을수록 핵형성이 지연되어 경화하지 않고 유연한 상태를 유지한다는 의미로 사용할 수 있다(Kang *et al* 2006). n 값은 WM, WM+SR+H 값이 1.20~1.28 수준으로 대조구(HWF)의 1.2와 유사한 수준으로 나타났고, WM+SR, WM+SR+G, KW+SR+G+H은 2.7~3.3 수준으로 높게 나타났다. 따라서 우리밀 식빵에 발아 현미 첨가를 통한 노화 개선 효과는 없었으나 검류의 첨가를 통한 노화 억제 효과는 확인할 수 있었다. 본 연구 결과 Avrami 지수는 기타 식빵 및 쌀빵류의 분석 결과와 유사한 수준으로 나타났다(Kim & Chung 2007, Kang *et al* 2006). 노화의 속도를 나타내는 속도 상수(k)는 Avrami 지

수와 유사한 결과를 나타내었다. 속도 상수값이 높을수록 노화가 빨라지는 것을 의미한다. 따라서, n 값이 작고 k 값이 작은 대조구나 WM, WM+SR+H가 WM+SR, WM+SR+G, WM+

SR+G+H에 비해 노화가 지연된다고 추측할 수 있다. 그러나 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 Avrami 모형에 의한 노화 평형에 도달한 시간은 WM+SR+H가 가장 빠른 3일로 나타났고 WM+SR이 7일, WM+SR+G가 5일, WM+SR+G+H가 5일로 나타났으며, WM과 KW+SR+H는 대조구와 같은 3일로 나타났다. 따라서 SR의 첨가로 인해 대조구(HWF)나 WM에 비해 노화가 빠르게 일어나지만 H의 첨가로 노화가 지연됨을 확인할 수 있었다. H를 첨가한 경우, 검류의 수분 보유력으로 인해 노화를 지연하는 것으로 여겨지고, 검류를 사용한 노화 지연 연구에서도 유사한 효과를 확인할 수 있었다(Yun *et al* 2006, Kang *et al* 2006).

Table 6. Avrami parameters of equation for crumb firming kinetic of bread samples from nonlinear regression

Samples	$T_0^{1)}$	$T_\infty^{2)}$	$n^{3)}$	$k^{4)}$	$R^2^{5)}$
HWF	274.1	904.6	1.200	0.018	0.96
WM	1092.7	2537.5	1.286	0.011	0.96
WM+SR	1700.9	4347.7	2.728	0.073	0.97
WM+SR+G	1288.9	2527.8	3.378	0.046	0.96
WM+SR+H	2650.8	6045.6	1.257	0.014	0.95
WM+SR+G+H	2807.6	6632.0	3.172	0.054	0.97

- 1) T_0 : Crumble firmness of fresh bread.
- 2) T_∞ : Final crumb firmness.
- 3) n : Avrami exponent.
- 4) k : Rate constant.
- 5) R^2 : Coefficient of determination.

결론 및 요약

발아 현미(SR)를 첨가한 우리밀(WM) 식빵의 제조에서, 활성 글루텐(G), HPMC(H)의 첨가가 식빵의 노화 지연에 미치는 영향을 파악하기 위해 Amylograph에서 호화 온도, 최고 점도, 치반 점도, 강하 점도에 미치는 영향을 알아보았다. 또한 TPA를 이용하여 경도를 측정하여 노화도를 살펴보고,

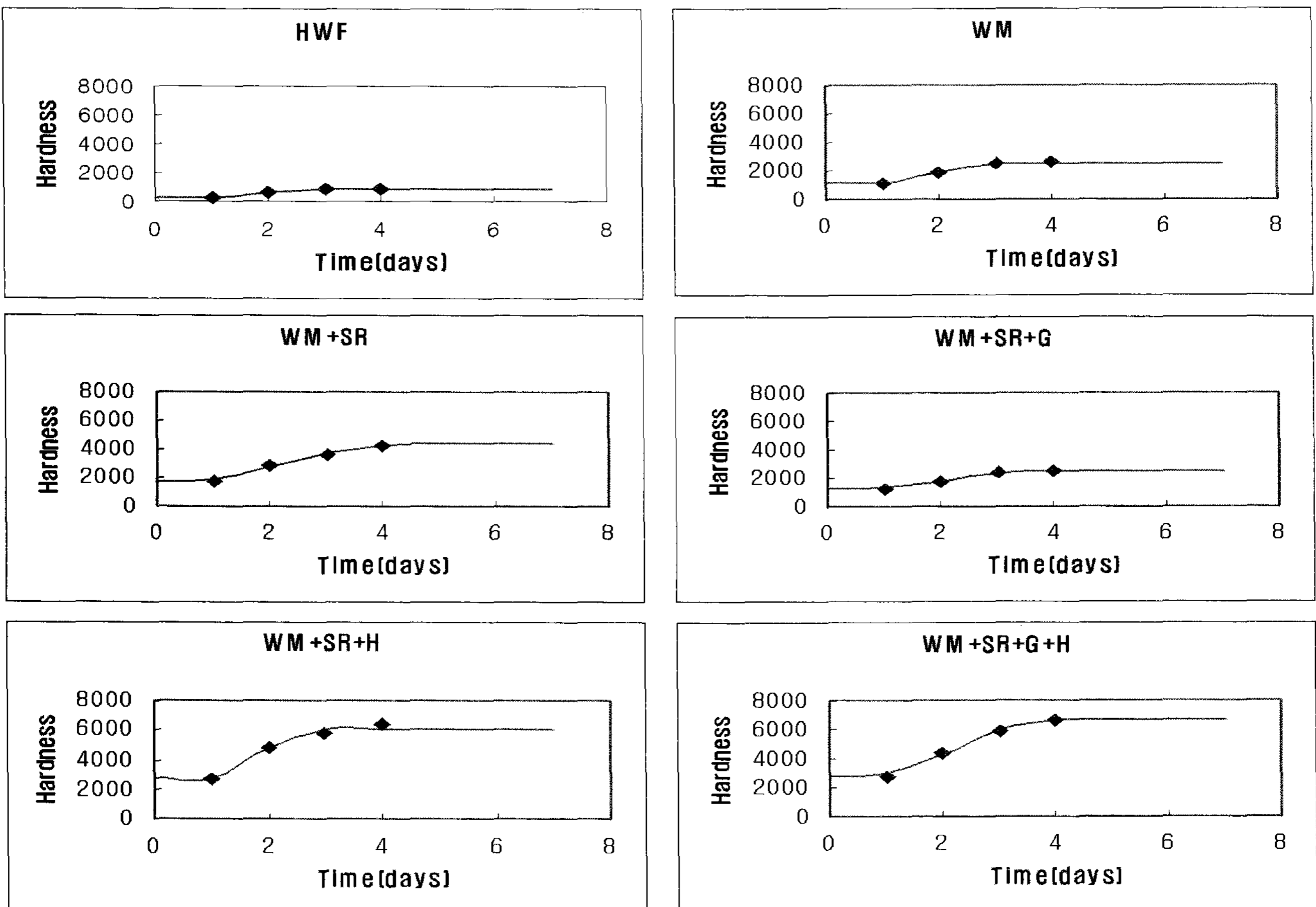


Fig. 1. Hardness of breads with curve of Avrami equation.

Avrami 지수를 비선형 회귀 분석을 이용하여 노화 정도를 실험값과 비교하였다. Amylograph 특성을 측정한 결과 호화 개시 온도는 대조군에서 WM을 사용하고 SR을 첨가함에 따라 높아지는 경향을 보였다. 또한, G와 H를 각각 따로 넣었을 때는 감소하였으나 함께 넣었을 경우 증가하는 경향을 보였다. 최고 점도는 SR를 넣은 모든 시료에서 현저히 감소하였다. 전분의 노화 정도를 반영하는 냉각 점도와 setback은 발아 현미를 첨가하자 현저하게 낮아졌으며, 최종 점도는 HWF, WM, WM+SR+G+H, WM+SR+H, WM+SR, WM+SR+G 순으로 나타났다. 식빵의 제조 직후와 24시간 후의 경도 변화는 WM+SR+G+H가 제조 직후 가장 높았으나, 24시간 후의 경도는 WM+SR+H가 높게 나타났다. 그러나 노화도는 WM+SR+G+H가 낮고 WM+SR+G가 가장 높게 나타났다. Avrami 모형 분석 결과 노화 속도를 나타내는 Avrami 상수 n 과 k 값은 WM, WM+SR+H 값이 대조군과 유사한 반면 WM+SR, WM+SR+G, WM+SR+G+H 값은 높게 나타났다. n 값과 k 값이 작은 경우 노화가 지연된다고 볼 수 있고 최종평형에 도달한 노화도는 WM+SR+H가 가장 작았다. 이상과 같은 결과에서 우리밀 식빵에 발아 현미를 첨가하였을 때 전반적으로 노화 지연 효과는 없었으나, H와 함께 첨가 시는 노화 지연 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

문헌

- AACC (1983) Approved Method of 44-15A of the AACC. 8th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, U.S.A.
- Armero E, Collar C (1998) Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives. *J Cereal Sci* 28: 165-174.
- Avrami, M (1939) Kinetics of phase change I. *J Chem Phys* 7: 1103-1108.
- Boycioglul MH, D'Appolonea BL (1994) Characterization and utilization of durum wheat for bread making: Comparison of chemical, rheological and baking properties between bread wheat flours and durum wheat flours. *Cereal Chem* 71: 21-28.
- Chung MS, Lee JK, Hur NY, Kim DS, Baik MY (2003) Textural analysis for bread staling. *Food Sci Biotechnol* 12: 727-736.
- Choi JH (2001) Quality characteristics of the bread with sprouted brown rice flour. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 17: 323-328.
- D'Appolonia BL, Morad MM (1981) Bread staling. *Cereal Chem* 58: 186-190.
- Kang BS, Kim DH, Whang HJ, Moon SW (2006) The retrogradation of steamed Korean rice cake (Jeungpyun) with addition of gums. *Korean J Food Sci Technol* 38: 838-842.
- Kang MY, Choi YH, Choi HC (1997a) Effects of gums, fats and gluten adding on processing and quality of milled rice bread. *Korean J Food Sci Technol* 29: 770-704.
- Kang MY, Choi YH, Choi HC (1997b) Interrelation between physico-chemical properties of milled rice and retrogradation of rice bread during cold storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 886-89.
- Kang MY, Choi YH, Choi HC (2000) Comparison of some characteristic relevant to rice bread processing between brown and milled rice. *Korean J Food Sci Technol* 32: 82-89.
- Kayahara H, Sugiura T (2001) Recent studies on biological function of GABA on improvements of hypertension and brain function. *Food Processing* 36: 4-6.
- Kim SY, Ryu CH (1997) Effect of certain additives on bread-making quality of wheat-purple sweet potato flours. *Korean J Food Sci Technol* 13: 492-499.
- Kim BR, Choi YS, Lee SY (2000) Study on bread-making quality with mixture of buckwheat-wheat flour. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 241-247.
- Kim SK, Cheigh HS (1979) Radial distribution of calcium, phosphorus, iron, thiamine and riboflavin in the degermed brown rice kernel. *Korean J Food Sci Technol*. 11: 122-125.
- Kim SS, Chung HY (2007) Effects of carbohydrate materials on retarding retrogradation of a Korean rice cake (Karedduk). *Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1320-1325.
- Kim IS, Kwon TB, Oh SK (1988) Study on the chemical change of general composition, fatty acids and minerals of rapeseed during germination. *Korean J Food Sci Technol* 20: 188-193.
- Lee HJ, Byun SM, Kim HS (1988) Studies on the dietary fiber of brown rice and milled rice. *Korean J Food Sci Technol* 20: 576-584.
- Michiyo W, Tomoko M, Kikuich T, Hiroshi K, Naofumi M (2004) Application of pregerminated brown rice for bread making. *Cereal Chem* 81: 450-455.
- Yun Y, Kim YH, Kim YS, Eun JB (2006) Effects of milk proteins and gums on the dough characteristics and staling of bread made from frozen dough during storage. *Korean J Food Sci Technol* 38: 42-46.

(2008년 3월 17일 접수, 2008년 6월 12일 채택)