

현미 및 발효 현미의 수화 속도에 관한 비교 연구

이신영 · 변광우 · 박영준
강원대학교 바이오산업공학부

Comparative Studies on Hydration Kinetics of Raw and Fermented Brown Rices

Shin-Young Lee, Kwang-Woo Pyun, and Young-Jun Park

School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Abstract

Attempts for evaluating the modification effect of brown rice with solid state fermentation of mushrooms, *Phelinus linteus* and *Cordyceps militaris* were made by analyzing the hydration kinetics as a function of temperature and time. The water absorption by raw and fermented brown rices was directly proportional to the square root of hydration time and could be described by the simplified solution of Fick's diffusion equation. Water uptake rates and diffusion coefficients in fermented brown rices at lower temperatures than gelatinization point were about 2~4 and 2~7 times higher than that for raw brown rice, respectively. Considering the bran layer of brown rice was significantly correlated with the water uptake rates and diffusion coefficients in raw and fermented brown rices at the initial stage of hydration, these results suggested that the bran layer of brown rice was modified by the solid state fermentation of mushrooms. This modification effect of bran layer was also observed by the change of surface structure using the scanning electron microscopy.

Key words: brown rice, solid state fermentation, mushroom, hydration kinetics

서 론

현미는 벼에서 왕겨를 제거한 영과(caryopsis)로서 과피와 종피로 둘러 쌓여 있어 백미에 비해 밥맛이 뒤지고 소화성이 낮은 단점을 갖는다(Roberts *et al.*, 1980).

따라서 현미보다는 이의 쌀겨 및 배아를 제거한 백미상태로 주로 식용되고 있는데, 현미의 쌀겨 및 배아에는 항산화, 콜레스테롤저하, 항암 등 생리활성 성분이 풍부하게 함유되어 있어 점차 기능성 식품 등으로 관심이 높아지고 있다(Kahlon *et al.*, 1996; Nesaretnam *et al.*, 1998; Kahlon and Cow, 2000; Lloyd *et al.*, 2000).

이에 최근에는 발아 현미나 담자균류에 의한 발효 현미 등이 개발, 시판되고 있는데, 특히 발효 현미는 현미의 단점을 극복하였으며, 항암 효과 등 생리활성을 갖는 것으로 알려지고 있다. 그러나 이에 대한 과학적 근거는 미미하며 충분한 검토의 필요성이 매우 높다.

일반적으로 현미를 물에 침지시키면 과피를 통하여 물이 흡수되는데, 과피와 호분층의 세포벽은 단백질, 헤미셀룰로오스, 셀룰로오스에 대하여 정색반응을 나타내며, 물 흡수의 장벽으로 작용한다(Little and Dawson, 1960; Lee and Kim, 1994). 그 동안 쌀의 수분 흡수에 대한 일부 연구에 의하면, 현미는 치밀한 쌀겨 층으로 쌓여 있으므로 물에 침지하였을 때 수분 흡수속도가 매우 느리고 또 백미와는 그 특성 자체도 다른 것으로 알려지고 있는데(Steffe and Sinh, 1980; Kim *et al.*, 1984; Song *et al.*, 1988; Kim and Sohn, 1990), 현미의 수분흡수는 기본적으로 수분의 확산현상으로 설명된다(Becker,

Corresponding author: Shin-Young Lee, School of Biotechnology Bioengineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea
Phone: +82-33-250-6273, Fax: +82-33-243-6350
E-mail: sylee@kangwon.ac.kr

1959). 따라서 현미의 쌀겨 층을 통한 수화에 대한 속도론적 연구는 현미의 가공 및 품질을 판단하는 기초자료로서 매우 중요한 의미를 갖는다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 현미는 침지 초기에 수분흡수에 따른 확산계수가 거층에 의하여 지배받게 되므로 만약 담자균류의 발효에 의하여 현미 거층 구조의 수식효과가 나타난다면 현미의 쌀겨 층을 통한 수화에 대한 속도론적 차이가 나타날 것이다. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 담자균류에 의한 현미의 발효에 대한 수식 효과 규명 연구의 일환으로, 2종 담자균류(상항, 동충하초)에 의해 배양한 발효 현미에 대해서 시간과 온도의 함수로서 수분 흡수량의 변화를 측정하였다. 아울러, 이를 속도론적으로 해석하였으며, 원료 현미와의 차이를 비교 검토하여 발효 수식효과를 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용한 현미는 충남 서산 산의 2000년도에 수확된 추청 참쌀로 현지 구입하여 시료로 사용하였다.

발효 현미의 제조

발효 현미는 원료 현미를 70% 수분함량으로 조절한 다음, 버섯 액체 종균(상항: *Phelinus linteus*, 동충하초: *Cordyceps militaris*) 5%를 접종하고 25°C에서 6주간 배양한 후 풍건하여 제조하였다. 건조 후 현미의 수분함량은 12% 내외이었다.

현미 입자의 형태분석 및 표면구조 관찰

쌀알의 형태는 image capturing board를 사용하여 PC에 연결한 image analysis system (Optimas Co., U.S.A)으로 분석하였다. 장치는 CCD camera (Panasonic, wv-CP410), PCI video frame grabber (Flashpoint Ver. 3.11, Integral Tech, Inc) 및 PC로 구성되었으며, image software (Optimas 6.1, Optimas Co.)를 사용하여 면적, 길이, 직경 등 각종 형태변수를 구하였고, fractal 차원 D는 면적 및 길이 둘레값으로부터 다음 식을 이용하여 계산하였다 (Aratani *et al.*, 1988). 즉, $\log S_n$ 과 $\log X_n$ 을 도시하여 얻어지는 직선의 기울기(2/D)로부터 D값을 구하였다.

$$S_n^{1/2} \propto X_n^{1/D}$$

여기서 S_n 은 면적(mm²), X_n 은 둘레(mm), D는 fractal 차원(-)이다.

분석시 CCD camera의 화상은 640×640 pixels 및 256 grey level의 해상도로 촬영하였으며, 오차를 최소화하기 위하여 400×400 pixels로 수정하였다.

한편, 표면구조는 주사형 전자현미경(JSM5410, Jeol Ltd. Co., Japan)을 사용하여 관찰하였다. 건조 시료를 ion coater에서 금으로 진공증착(100 Å)시킨 다음, 전압 20 kV, 시료 경사 30°의 조건에서 5,000 배로 촬영하였다.

수화 속도의 측정 및 유효 수분함량의 결정

Kim 등(1980)의 방법에 따라 현미 약 1g을 30-70°C의 일정온도에서 일정 시간(~4시간) 동안 수분을 흡수시킨 다음 여과지로 표면수를 제거하고 무게 증가량을 측정하였다. 무게의 증가량으로부터 시료 1g(건량 기준)당 수분함량을 계산하여 수화속도를 구하였다.

한편, 유효 수분함량의 결정은 Becker의 방법(1960)에 따라 다음과 같이 결정하였다. 즉 농도를 달리한 황산용액으로 습도를 일정하게 조절한 데시케이터 속에 현미를 방치, 평형에 도달하게 하여 초기 수분함량을 조절하였다. 초기 수분함량이 다른 시료 1g을 22°C에서 15분간 물에 침지하여 수분 증가량을 측정하고 이로부터 쌀 입자 표면의 유효 수분함량을 계산하였다.

분석

수화속도는 Becker (1959)의 확산 방정식을 이용하여 다음 식에 따라 계산하였다.

$$m - m_0 = k_0 (\sqrt{t}) \quad (1)$$

$$k_0 = (2/\sqrt{\pi})(m_s - m_0)(S/V)\sqrt{D} \quad (2)$$

여기서 D는 확산계수(cm²/s), m_0 는 시료의 초기 수분함량(g water / g dry matter), m은 일정시간 침지시킨 후의 수분함량(g water / g dry matter), m_s 는 침지시간 0분 이상에서 쌀 표면위의 유효수분함량(g water / g dry matter), S는 쌀알의 표면적(cm²), t는 침지시간(s), V는 쌀알의 부피(cm³)이다.

이 때, 현미의 표면적과 부피는 현미입자를 타원체로 가정하고 다음 식에 의하여 계산하였다(Beyer, 1978).

$$S = 2\pi b^2 + 2\pi(ab/e) \sin^{-1} e \quad (3)$$

$$V=(4/3)\pi ab^2 \quad (4)$$

여기서 a는 시료의 장반경(cm), b는 시료의 단반경(cm), c는 $\sqrt{a^2-b^2}$ 이다.

확산계수와 침지 온도와의 관계는 다음의 Arrhenius 식으로부터 계산하였다.

$$D=D_0 \exp(-E_a/RT) \quad (5)$$

여기서 D_0 는 상수, D는 확산계수(cm^2/s), E_a 는 활성화 에너지($cal/gmol$), R은 기체상수($cal/gmol \cdot K$), T는 절대온도(K)이다.

결과 및 고찰

현미의 입자 특성

발효처리하지 않은 원료 현미 및 발효 처리한 현미의 입자의 형태를 살펴본 결과는 Fig. 1과 같다. 원료 현미에 비해 발효현미는 입자 표면에 버섯의 균사 활착 등이 관찰되었으나 전반적인 형태상의 차이는 보이지 않았다. 또 일반적으로 부정형 형태의 정량화 지표 차원인 fractal dimension을 계산한 결과, 세 시료의 값은 1.12-1.17 범위의 서로 비슷한 값을 보여 시료간의 형태 차이는 없는 것으로

볼 수 있었다.

한편, 길이, 폭 등 형태적 특성을 화상분석하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다. 원료 현미의 길이와 폭은 각각 5.21 ± 0.60 및 2.95 ± 0.30 mm이었으며, 발효 현미도 이와 비슷한 값 범위로 발효에 의한 차이를 보이지 않았다. 또 길이와 두께 비도 1.73-1.87 범위로 시료간의 큰 차이를 보이지 않았으며, 백미에 대해 보고된 값과 비슷하였다(Kim *et al.*, 1985). Kim 등(1985)에 의하면 일반적으로 일반계 백미의 길이와 두께 비는 1.62-1.91(평균 1.73), 다수계 백미는 1.97-2.61(평균 2.25) 범위이다.

한편, 시료의 부피는 $20.81-26.47$ mm³로 일반계 백미 $17.4-22.1$ mm³ 및 다수계 백미 $15.9-25.7$ mm³의 보고된 값보다는 다소 높았다. 이는 현미의 길이와 두께의 비 및 부피에서 모두 백미의 경우와 비슷한 경향을 보인다고 보고한 Kim 등(1984)의 결과와 비교적 잘 일치한다. 부피에 대한 면적의 비(S/V)는 원료 현미, 동충하초 버섯 발효 현미 및 상항버섯 발효 현미가 각각 1.77, 1.70 및 1.87 cm⁻¹로 역시 큰 차이는 없었다.

수화 양상

침지 온도 30-90°C에서 원료 현미 및 2종 발효 현미의 수화양상을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다.

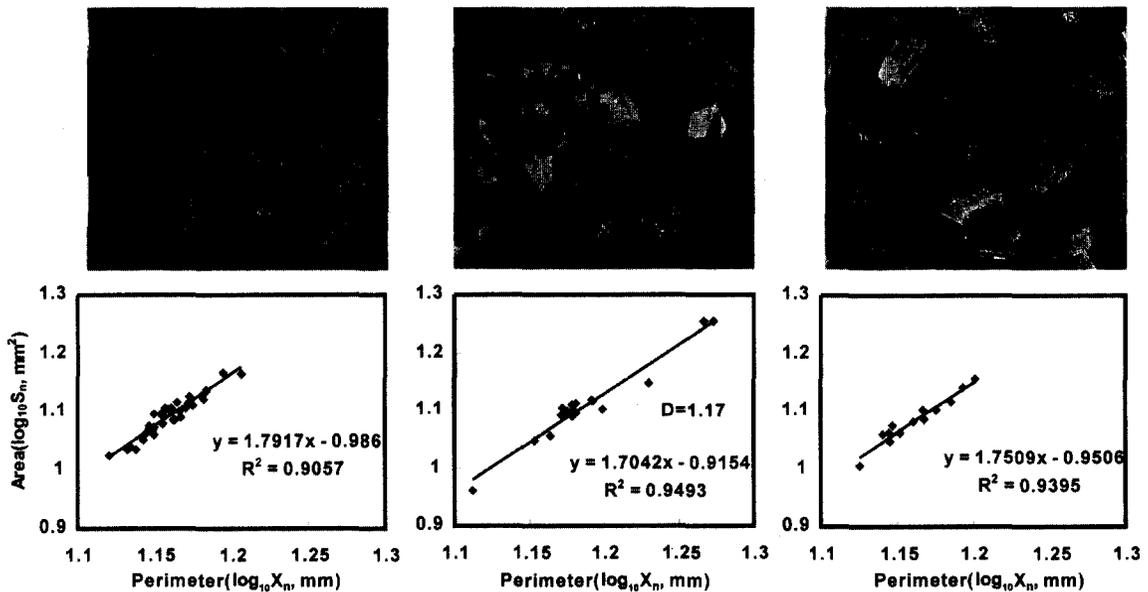


Fig. 1. Calculation of fractal dimension for projected morphologies of raw and fermented waxy brown rices. For illustration of symbols, see Table 1.

Table 1. Geometric characteristics of raw and fermented waxy brown rices

	Raw brown rice	Fermented brown rice	
	R(Raw)	C (<i>C. militaris</i>)	P (<i>P. linteus</i>)
Major axis length (mm), ^{2a}	5.21 ± 0.599	5.33 ± 0.727	5.18 ± 0.891
Minor axis length (mm), ^{2b}	2.95 ± 0.297	3.08 ± 0.35	2.77 ± 0.689
a/b	1.76 ± 0.266	1.73 ± 0.302	1.87 ± 0.562
Surface area (mm ²), S	42.2 ± 6.38	45.1 ± 7.87	38.4 ± 11.5
Volume (mm ³), V	23.9 ± 3.61	26.4 ± 4.60	20.6 ± 6.19
S/V	1.76 ± 0.370	1.70 ± 0.418	1.86 ± 0.788

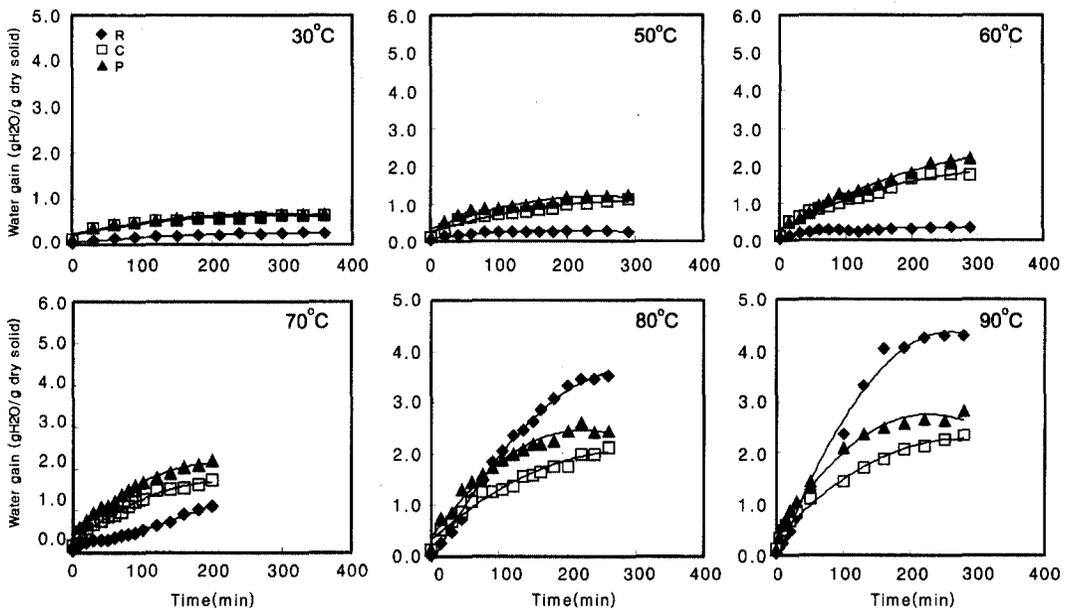


Fig. 2. Water gain during the hydration of raw and fermented brown rice at different temperature. For illustration of symbols, see Table 1.

시료 및 침지 온도에 상관없이 모두 hyperbolic한 수화 양상을 보였고, 침지 온도의 증가에 따라 수화의 증가폭이 커지는 경향을 보여 다른 연구자들의 보고와 잘 일치하였다. 그러나 발효 현미는 원료 현미보다 훨씬 더 높은 수분흡수(2~4배)를 보였으며 침지 온도가 높아질수록 원료 현미와 발효 현미간의 수분 흡수의 차이는 더욱 커졌다. 2종 발효 현미사이에서도 30-50°C일 때는 시료간의 수분흡수 차이가 없었으나 고온(60-90°C)에서는 침지 시간에 따른 수분 흡수의 차이가 나타나 상항버섯의 발효 현미가 동충하초 버섯의 발효 현미에 비하여 수분 흡수가 컸으며, 온도가 높아질수록 각 시료간 수분

흡수의 차이는 커졌다. 그러나 80°C이상의 고온에서 시간이 경과함에 따라 원료 현미의 수화는 발효 현미보다 높아져 발효 현미와는 다른 수화 경향을 보였다. 이는 원료미가 고온에서 발효현미보다 수화 및 팽윤이 크게 증가되는 것에 기인하는 것으로 생각된다. 이는 100°C이상의 고온에서 현미의 수화 속도가 매우 커진다는 Kim과 Sur (1990)의 보고와 잘 일치하며, 결국 이러한 수분 흡수의 차이는 각 시료간의 차이를 설명할 수 있는 양호한 지표가 될 수 있을 것으로 판단하였다. 그러나 고온에서는 시간이 길어질수록 호화가 일어나므로 이에의한 영향도 있을 것으로 보인다.

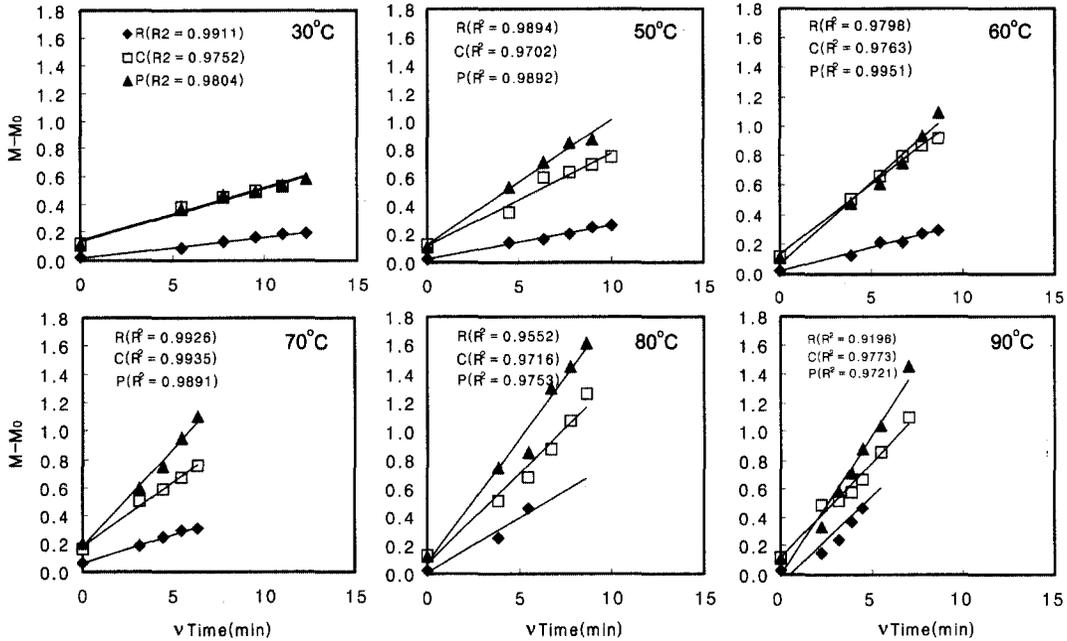


Fig. 3. Relation between the moisture gain of raw and fermented brown rices and square root of the absorption time. For illustration of symbols, see Table 1.

Table 2. Calculated hydration rate constant of raw and fermented waxy brown rices

Temperature (°C)	Hydration rate constant (min ⁻¹)		
	R	C	P
30	0.015	0.038	0.038
40	0.022	0.042	0.050
50	0.024	0.065	0.089
60	0.032	0.092	0.117
70	0.041	0.094	0.140
80	0.098	0.128	0.173
90	0.193	0.134	0.195

For illustration of symbols, see Table 1.

수화 속도

현미를 물에 침지한 경우 내부로의 수분이동은 Fick의 확산 법칙에 따른다면 현미의 수분 증가는 식 (1)에 의하여 침지 시간의 평방근에 비례하게 된다. 이를 알아보기 위해 침지 시간의 평방근에 대한 각 시료의 수분 흡수량을 계산하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이, 침지 시간이 짧은 범위에서의 흡수량과 침지시간의 평방근은 직선관계를 보여 정비례 관계를 나타내었다. 따라서 각 직선의 기울기로부터 초

기 흡수 단계에서의 k₀를 구하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 발효 현미는 원료 현미에 비하여 높은 수화속도를 보였으며, 발효 현미간에서는 상 황벼섯의 발효 현미가 동충하초 벼섯의 발효 현미 보다 더 높은 수화속도를 보였다. 침지 온도가 증가할수록 시료간의 수화 속도차이는 더욱 커졌다.

한편, 모든 실험 온도(30-90°C) 범위에서 침지 시간 0일 때의 초기 수분 증가는 이론 값 0과 일치 하지 않고 0.0097에서 0.1774 범위의 절편 값을 보였다. Song 등(1988)도 이러한 현상을 보고한 바 있으며, 이와 같이 수분 증가와 침지 시간의 평방근의 관계로부터 절편 값이 0이 아닌 결과를 나타내는 현상은 다른 곡류에서도 알려져 있다고 하였다. 이것은 외부층이 다공 조직을 이루고 있어 초기에 모세관 흡수로 쉽게 포화되는 것에 기인한다(Hsu et al., 1983). 따라서 침지 시간 0에서의 절편 값은 과 피를 포화시키는데 필요한 수분함량의 척도로서 초기 수분 흡수가 빨리 일어나는 사실을 의미한다. 특히, 발효처리하지 않은 원료 현미에 비해 침지 시간 0에서의 발효 현미의 절편 값은 더욱 컸는데, 이는 초기 수분 흡수가 더 빨리 일어나는 사실을 의미하므로 발효에 의해 현미 외부층의 연화 또는 단백질, 헤미셀룰로오스, 셀룰로오스 등이 일부 분해되어 다 공성이 증가한 것에 기인하는 것으로 생각된다.



Fig. 4. Surface structure of raw and fermented rices by scanning electron microscopy.

Fig. 4는 주사형 전자현미경에 의해 촬영한 각 시료의 표면구조이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 대조구는 입자형태를 보이고 bran 층에서 볼 수 있는 두껍고, 딱딱한 표면구조를 보였다. 반면, 발효 처리구는 모두 입자 형태를 보이지 않았으며, primary cell wall 구조의 가늘고 부드러운 표면구조를 보였다. 이는 발효 처리로 껍질 층의 연화 또는 수식이 일어났음을 보여주는 것으로 상황 및 동충하초 발효쌀이 무발효의 원료 쌀보다 흡수율이 큰 현상을 뒷받침하는 자료라 할 수 있다.

한편, 질편 값의 온도의존성을 살펴보면 30°C에서 70°C까지는 온도 증가에 따라 질편 값도 증가하였으나 오히려 이 이상의 온도에서는 다시 낮아져 매우 적은 수분 증가를 보였다. 이는 콩의 침지 중 수분흡수에 대한 Hsu 등(1983)의 보고와 잘 일치한다. 즉, 콩의 경우 침지 중 수분흡수는 온도가 낮을 때(20°C)는 표면에서의 모세관 흡수에 의하여 쉽게 포화되므로 초기 흡수가 빨리 일어난다. 하지만 높은 침지 온도(30-50°C)에서는 확산속도의 증가로 이 현상이 뚜렷하지 않다고 하였다.

확산 계수

여러 침지 온도에서의 확산계수를 S/V (Table 1), k_0 및 m_0 값을 사용하여 식 (2)로부터 구하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

30-90°C에서 원료 현미의 확산계수는 $4-181 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 으로, Kim 등(1984)의 보고와 잘 일치하였다. Kim 등(1984)은 아끼바레 및 밀양 23호 현미의 확산계수는 각각 $2.78 \times 10^{-1} \exp(-9.300/RT)$ 및 $4.032 \times 10^{-1} \exp(-9.500/RT)$ 로 40-70°C에서 0.855-2.252 및 1.019-3.052 cm^2/s 범위라고 하였다. 또 Steffe와 Singh (1980)도 현미 및 백미를 구형으로 가정하고 배유부 및 겨층의 수분확산을 조사하여

겨층의 확산계수는 $D(\text{m}^2/\text{h})=1.82 \exp(-5,400/T)$ 로 보고하였다. 이로부터 구한 50°C에서의 확산계수는 $2.78 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ 로서 본 실험결과(Table 1)보다 약간 큰 값을 보였다. 하지만 동충하초 버섯 및 상황버섯 발효현미는 각각 $32-398 \times 10^{-6}$ 및 $26-697 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 로, 원료현미보다 확산계수값이 약 2-7배 더 컸으며, 특히 저온(30-50°C)에서의 확산이 크게 촉진됨을 보였다.

한편, 확산계수와 침지의 절대온도의 역수와의 관계는 Fig. 5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이, 원료 현미는 침지 온도 60°C까지는 직선적인 관계를 보였으나 70°C에서는 약간 벗어나는 현상을 보였다. Bandyopadhyay와 Roy (1978)에 의하면 벼의 parboiling 시 수분 확산은 전분의 호화온도를 전후로 서로 다른 양상을 보인다고 하였다. 아끼바레 및 밀양 23호의 호화온도는 60-65°C로 알려져 있으므로(Kim *et al.*, 1984) Fig. 4의 결과는 현미의 호화 온도 이상(70°C)에서는 전분의 부분적 호화에 의해 호화온도 이전과 다른 온도 의존성을 나타낸 것으로 볼 수 있다. Fig. 4의 30-70°C 및 70-90°C 사이의 각 기울기로부터 활성화 에너지를 구하였으며, 그 결과, 원료 현미의 저온(30-70°C)에서의 활성화 에너지는 10.10 kcal/mol로 아끼바레 및 밀양 23호 현미의 9,300 및 9,500 cal/mol과 거의 비슷하였다(Kim *et al.*, 1984). 그러나 고온(70-90°C)에서는 20.6 kcal/mol로 저온영역에서의 활성화 에너지값보다 2배가 높고 온도 의존성이 큰 현상을 보여 전분 호화에 의한 영향을 보였다. 반면, 발효 현미의 활성화 에너지는 10.0-12.4 kcal/mol로 침지 온도에 따른 활성화 에너지값의 변화를 보이지 않고, 저온에서의 원료 현미 활성화 에너지 값과 비슷하였다. 이 값은 밀 및 보리 경우의 11,600-12,500 cal/mol과 비슷하였고(Park *et al.*, 1988), 아끼바레 및 밀양 23호

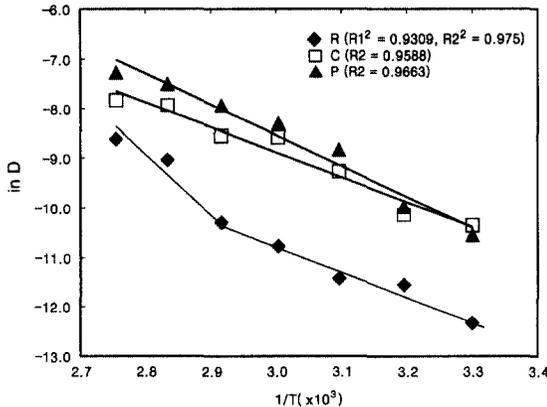


Fig. 5. Arrhenius plot of raw and fermented waxy brown rices. For illustration of symbols, see Table 1.

백미의 활성화 에너지인 4,000-5,000 및 5,700 cal/mol보다는 2배 높았다(Kim *et al.*, 1984). 그러므로 발효에 의해 현미의 거층 구조가 수식된 것으로 생각되었으며, 간단히 현미의 수분 흡수속도를 측정하여 비교함으로써 발효 효과를 알 수 있을 것으로 판단하였다.

결 론

2종 버섯(*Phelinus linteus*와 *Cordyceps militaris*)의 고체배양에 의한 현미의 수식효과를 온도 및 시간을 함수로 한 수분흡수의 속도론적 방법으로 분석하였다. 원료 현미 및 발효 현미의 수분흡수는 모두 수화시간의 평방근에 비례하였고, Fick 확산법칙의 단순해로 설명할 수 있었다. 이러한 수화의 속도론적 방법으로 구한 버섯 발효현미의 수분흡수속도 및 확산계수는 호화온도이하에서 각각 원료 현미보다 2~4 및 2~7배나 높았다. 이는 수화 초기단계에서 미강층이 현미 시료의 수분 흡수속도와 확산계수와 밀접한 관계를 가짐을 고려할 때, 버섯의 고체배양에 의해 현미의 미강층 수식효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또 이러한 미강층의 수식효과는 주사형 전자현미경에 의한 표면구조의 변화에 의해서도 관찰되었다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 강원대학교 연구년 교수 연구비 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

문 헌

- Aratani, T., T. Fujii, T. Morigawa, and K. Miyanani. 1988. Evaluation of floc form by fractal dimension. *J. Chem. Eng.* **14**(3): 395-400
- Becker, H.A. 1959. A study of diffusion in solids of arbitrary shape with application to the drying of the wheat kernel. *J. Appl. Polymer Sci.* **1**(2): 212-226
- Becker, H.A. 1960. On the absorption of liquid water by the wheat kernel. *Cereal Chem.* **37**: 309
- Beyer, W.H. 1978. CRC standard mathematical tables. CRC press, West Palm Beach
- Blanyopadhyay, S. and N.C. Roy. 1978. A semi-empirical correlation for prediction of hydration characteristics of paddy during parboiling. *J. Food Technol.* **13**: 91-98
- Hsu, K.H., C.J. Kim, and L.A. Wilson. 1983. Factors affecting water uptake of soybeans during soaking. *Cereal Chem.* **60**(3): 208-211
- Kahlon, T.S. and F.I. Chow. 2000. Lipidemic response of hamsters to rice bran, uncooked or processed white and brown rice, and processed corn starch. *Cereal Chemistry* **77**(5): 673-678
- Kahlon, T.S., F.I. Chow, M.M. Chiu, C.A. Hudson, and N. Sayre. 1996. Cholesterol-lowering by rice bran and rice bran oil unsaponifiable matter in hamsters. *Cereal Chemistry* **73**(1): 69-74
- Kim, S.K., K.Y. Han, H.H., Park, J.C. Chae, and J.H. Ree. 1985. Hydration rate of milled rice. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* **28**(2): 292-297
- Kim, K.J., Y.R. Pyun, E.K. Cho, and S.K. Kim. 1984. Kinetic studies on hydration of Akibare and Mylyang 23 brown rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* **16**(3): 208-213
- Kim, S.K. and J.W. Sohn. 1990. Bran structure and some properties of waxy rice starches. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* **33**(2): 105-108
- Kim, S.K. and C.S. Suh. 1990. Water uptake rate of brown rice at 100°C. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* **33**(3): 261-263
- Lee, S.J. and S.K. Kim. 1994. Bran structure and water uptake rate of Japonica and Tongil-type brown rices. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* **37**(2): 94-99
- Little, R.R. and E.H. Dawson. 1960. Histology and histochemistry of raw and cooked rice kernel. *Food Res.* **25**: 611-612
- Lloyd, B.J., T.J. Siebenmorgen, and K.W. Beers. 2000. Effects of commercial processing on antioxidants in rice bran. *Cereal Chemistry* **77**(5): 551-555
- Nesaretnam, K., R. Stephen, R. Dils, and P. Darbre. 1998. Tocotrienols inhibit the growth of human breast cancer cells irrespective of estrogen receptor status. *Lipids* **33**: 461-469
- Park, S.H., K. Kim, and S.K. Kim. 1988. Water absorption of naked barley kernels differing in pearling degrees.

- Korean J. Food Sci. Technol.* **21**(5): 601-605
- Roberts, R.L., R.A. Carlson, and D.F. Farkas. 1980. Preparation of a quick-cooking brown rice product using a centrifugal fluidized bed dryer. *J. Food Sci.* **45**: 1080-1081
- Shibuya, N., R. Nakane, A. Yadui, K. Tanaka, and T. Iwasaki. 1985. Comparative studies on cell wall preparations from rice bran, germ, and endosperm. *Cereal Chemistry* **62**(4): 252-258
- Song, B.H., D.Y. Kim, and S.K. Kim. 1988. Comparison of hydration and cooking rates of brown and milled rices. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* **31**(2): 211-216
- Steffe, J.F. and R.P. Singh. 1980. Diffusivity of starchy endosperm and bran of fresh and rewetted rice. *J. Food Sci.* **45**: 356-361