

아끼바레와 밀양 23호 현미의 수화속도

김광중 · 변유량 · 조은경 · 이상규* · 김성곤**

연세대학교 식품공학과 · 대전기계창* · 단국대학교 식품영양학과**

Kinetic Studies on Hydration of Akibare and Milyang 23 Brown Rice

Kwang-Joong Kim, Yu-Ryang Pyun, Eun-Kyung Cho, Sang-Kyu Lee* and Sung-Kon Kim**

Department of Food Engineering, Yonsei University, Seoul

*Taejon Machine Depot, Taejon

**Department of Food and Nutrition, Dankook University, Seoul

Abstract

Kinetics of water diffusion during soaking of two brown rice varieties, Akibare (traditional rice) and Milyang 23 (high-yielding rice), were studied. Brown rice reached at the equilibrium moisture content after 18 hours. The absorption of liquid water by brown rice grain was directly proportional to the square root of hydration time and could be described by the simplified solution of Fick's diffusion equation. The diffusion coefficient was given by the Arrhenius relation: $D = 2.738 \times 10^{-1} \exp(-9,300/RT)$ for Akibare and $D = 4.302 \times 10^{-1} \exp(-9,500/RT)$ for Milyang 23. Hydration rate calculated from hardness change followed the equation of a first order reaction. Hydration mechanism of brown rice was changed at the gelatinization temperature of rice starch.

서 론

현미는 벼에서 겉겨만을 제거한 것으로 백미에 비해 밥맛이 떨어지고 소화성이 낮은 단점이 있어 현미 상태로는 거의 식용되지 않고 도정에 의하여 쌀겨를 제거한 백미 상태로 식용되고 있다. 그러나 쌀겨 및 배아에는 영양성분이 많이 함유되어 있어 최근에는 건강식품등으로 관심이 높아지고 있다.¹⁾ 현미는 치밀한 쌀겨층으로 쌓여있어 물에 침지하였을 때 수분 흡수 속도가 매우 느리고 또한 백미와는 그 특성 자체도 다를 것으로 예상된다. 따라서 현미의 쌀겨층을 통한 수화에 대한 속도론적 연구는 현미의 가공 및 품질을 판단하는 기초 자료로서 매우 중요한 의미를 가진다.

곡류의 수화에 관한 연구는 Becker⁽²⁾의 밀에 대한 연구를 비롯하여 여러 연구자들에 의해 보고⁽³⁻⁷⁾된 바 있다. 조등⁽⁴⁾은 일반계 및 다수확 계통의 아끼바레와 밀양 23호 백미의 수화 및 취반특성 연구에서 두 품종

간의 수화 양상을 속도론적으로 비교 분석하였다. 그러나 현미에 관해서는 기초적인 연구조차 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 현미에 관한 연구의 기본적인 단계로서 일반계의 아끼바레와 다수확 계통의 밀양 23호 현미에 대해 시간과 온도에 따른 수분 흡수량 및 수화중의 경도 변화를 측정하여 속도론적으로 해석하고 백미 및 기타 곡류와 비교 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

1983년에 수확된 아끼바레와 밀양23호 현미를 충청남도 농촌진흥원에서 분양받아 시료로 사용하였다.

수화속도의 측정

현미 약 1g을 일정온도에서 일정시간 동안 수분을

흡수시킨 다음 여과지로 표면수를 제거하고 무게 증가량을 측정하였다. 무게의 증가량으로부터 시료 1g(건량기준)당 수분함량을 계산하였다.

유효수분함량

농도를 달리한 황산용액^(*)으로 습도를 일정하게 조절 한 대시케이터속에 현미를 방치, 평형에 도달하게 하여 초기 수분함량을 조절하였다. 초기 수분함량이 다른 시료 1g을 22°C에서 15분간 물에 침지하여 수분 증가량을 측정하고, 이로부터 쌀 입자표면의 유효 수분함량^(*)을 계산하였다.

분석

수화속도는 Becker⁽²⁾의 확산방정식을 이용하여 다음식에 의하여 분석하였다.

$$\bar{m} - m_0 = k_0 \sqrt{t} \tag{1}$$

$$k_0 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (m_s - m_0) \left(\frac{S}{V}\right) \sqrt{D} \tag{2}$$

여기에서 D는 확산계수(cm²/s), m₀는 시료의 초기 수분함량(g water/g dry matter), \bar{m} 는 일정시간 침지시킨후의 수분함량(g water/g dry matter), m_s는 침지시간 0분 이상에서 쌀 표면위의 유효수분함량(g/water/g dry matter), S는 쌀알의 표면적(cm²), t는 침지시간(s), V는 쌀알의 부피(cm³)이다.

현미의 표면적과 부피는 현미입자를 타원체로 가정하고 다음식에 의하여 계산하였다.

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

$$V = (4/3) \pi ab^2 \tag{4}$$

여기에서 a는 시료의 장반경(cm), b는 시료의 단반경(cm), e는 $\sqrt{a^2 - b^2}/a$ 이다. 확산계수(D)와 침지온도(T)와의 관계는 다음의 Arrhenius관계식으로 부터 계산하였다.

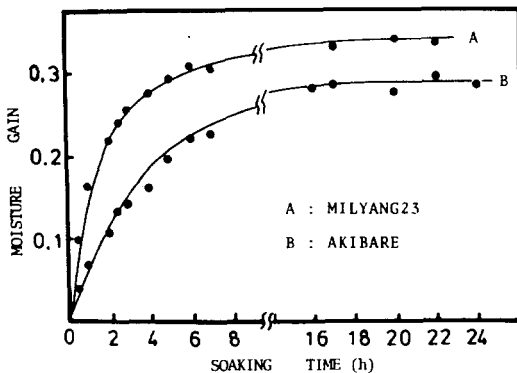


Fig. 1. Water absorption during hydration of brown rice at 20°C

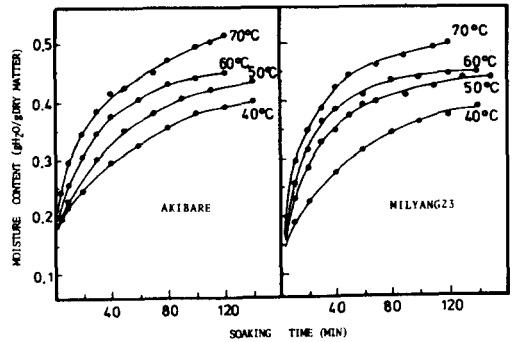


Fig. 2. Water absorption during hydration of brown rice at various temperatures

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \tag{5}$$

여기에서 D₀는 확산상수(cm²/s), E_a는 활성화에너지(cal/mol), R은 기체상수(cal/mol · K), T는 절대온도(K)이다.

수화중 경도변화

현미를 일정온도에서 일정시간 물에 침지시킨 후 꺼내어 Instron-UTM(TM-1140, Instron Co., England)을 사용하여 plunger, 10cm² compression anvil; cross head speed, 10cm/min; chart speed, 20cm/min; clearance, 0.02mm의 조건으로 경도(hardness) 변화를 측정하였다.

결과 및 고찰

수화양상

아끼바레 및 밀양 23호 현미의 수화양상은 Fig. 1과 같다. 밀양 23호가 아끼바레보다 높은 수분흡수율을 보였으며 약 18시간 후에 평형 수분함량에 도달하였다. 이 결과는 Kawashima⁽¹⁾의 보고와 비슷한 경향이었다.

고온(40~70°C)에서의 침지시간에 따른 아끼바레 및 밀양 23호의 초기 수화양상은 Fig. 2와 같다. 밀양 23호는 아끼바레에 비하여 40~50°C에서 수화의 증가폭이 큰 현상을 보였으며, 밀양 23호는 아끼바레에 비하여 전 온도에서 흡수속도가 빨랐으나 온도가 높아질수록 두 품종간의 흡수속도의 차이는 작아졌다.

수화속도

현미를 물에 침지한 경우 내부로의 수분이동이 Fick의 확산법칙에 따른다면 현미의 초기 수분증가는 식(1)에 의하여 침지시간의 평방근에 비례하게 된다. Fig. 3은 침지시간의 평방근에 대한 현미의 수분 흡수량을 나타낸 것으로서 침지시간이 짧은 범위에서의 흡수량은 침지시간의 평방근에 비례함을 나타내고 있다.

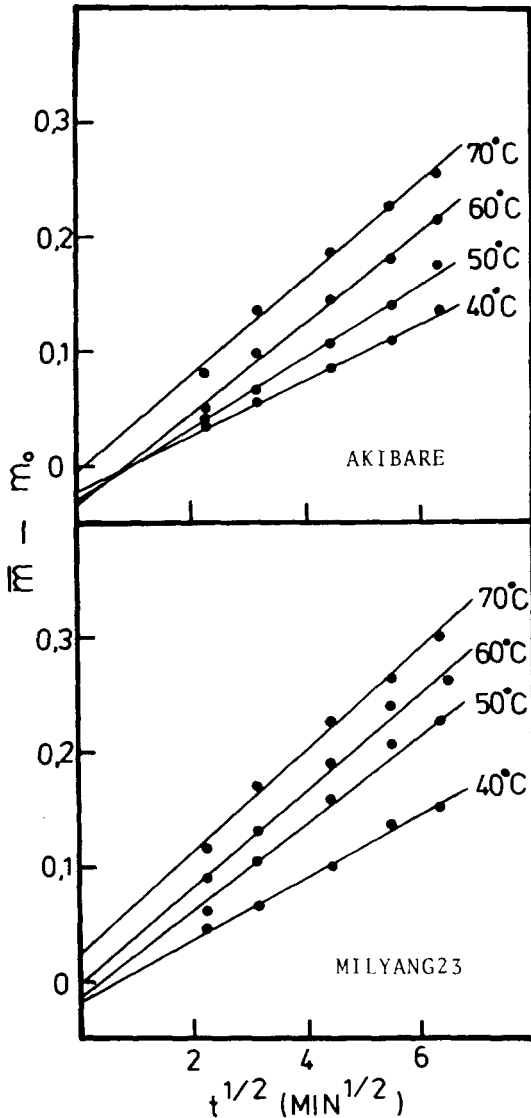


Fig. 3. Relation between the moisture gain of brown rice and the square root of the absorption time

따라서 각 직선의 기울기로부터 초기 흡수단계에서의 K_0 를 구하여 Table 1에 나타내었다. 밀양 23호 현미는 아끼바레 현미에 비하여 높은 수화속도를 보였다. 조 등(4)은 백미의 경우 밀양23호가 아끼바레보다 높은 수화속도를 보인다고 보고하였다.

아끼바레 및 밀양 23호 현미의 m_s 값은 Fig. 4와 같다. m_s 값은 아끼바레가 0.625, 밀양 23호가 0.635g/g 으로서, 이 결과는 아끼바레 백미의 0.273(4,11) 및 밀양23호 백미의 0.330g/g(4)보다 약 2배정도 높은 값이었다. 밀 및 보리의 m_s 값은 0.75g/g으로 보고되어 있다.(1,11,12) 또한 식(3) 및 (4)로부터 계산한 용적 및 부피의비

Table 1. The calculated values of the soaking rate parameters of brown rice at various soaking temperatures

Soaking temp. (°C)	$K_0 \times 10^2$ (min ^{-1/2})		$D \times 10^7$ (cm ² /s)	
	Akibare	Milyang 23	Akibare	Milyang 23
40	2.314	2.869	0.855	1.019
50	2.996	3.556	1.432	1.566
60	3.672	4.505	2.152	2.513
70	3.974	4.964	2.520	3.052

(S/V)는 아끼바레와 밀양 23호 현미가 각각 18.5207 및 20.1205cm⁻¹였다. 여러 침지온도에서의 현미의 확산계수(D)는 S/V, K_0 및 m_s 값을 사용하여 식(2)로부터 구하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다. 조 등(4)은 백미의 경우 확산계수는 40°C에서 아끼바레 및 밀양23호가 각각 4.71 및 6.00×10⁻⁶cm²/s로 보고하였다.

확산계수와 침지의 절대온도의 역수와의 관계는 Fig. 5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 침지온도 60°C까지는 직선적인 관계를 보였으나, 70°C의 경우에는 약간 벗어나는 현상을 보였다. 따라서 Fig. 5의 40~60°C 사이의 기울기로부터 활성화에너지를 구하였으며 아끼바레 및 밀양 23호 현미가 각각 9,300 및 9,500 cal/mol으로 거의 차이가 없었다. 아끼바레 및 밀양 23호 백미의 활성화에너지는 각각 4,000~5,000(4,11) 및 5,700 cal/mol(4)으로 보고되어 있다. 밀 및 보리의 경우 11,600~12,500 cal/mol로서 현미보다 높은 값을 보인다. 확산상수(D₀)값은 식(5)로부터 구하였으며, 현미 두뿔중

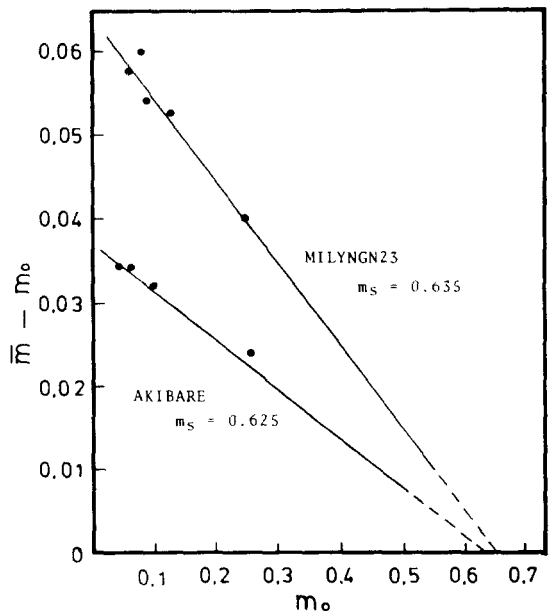


Fig. 4. Relation between the moisture gain of brown rice and the initial moisture content

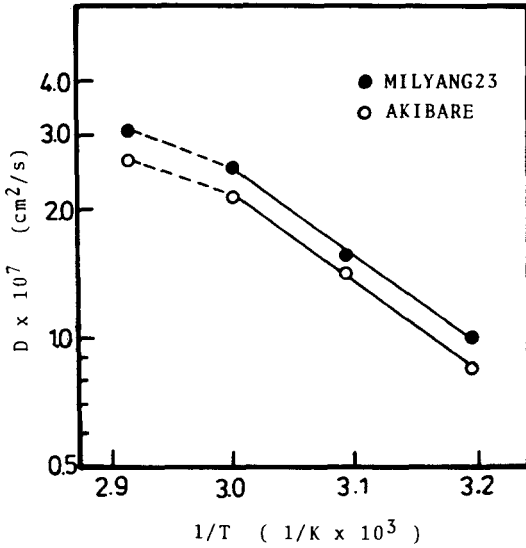


Fig. 5. Diffusion coefficient as a function of the reciprocal absolute temperature

별 확산계수의 온도 의존성은 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

아끼바레 : $D = 2,738 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{9,300}{RT}\right)$

밀양23호 : $D = 4,302 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{9,500}{RT}\right)$

Steffe 및 Singh⁽¹⁴⁾는 현미 및 백미를 구형(sphere)으로 가정하고, 배유부(endosperm) 및 겨층의 수분확산을 조사하여 겨층의 경우 확산계수는 $D(m^2/h) = 1.82 \exp(-5,400/T)$ 로 보고하였다. 이로부터 구한 50°C에서의 확산계수는 $2.78 \times 10^{-7} cm^2/s$ 로서 본 실험결과(Table 1)보다 약간 큰값을 보였다.

침지중 현미의 경도변화

침지에 따른 현미의 경도변화는 Fig. 6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 침지에 따른 현미의 경도감소는 대수적인 관계를 보였으며, 경도의 변화반응은 1 차반응에 속하였다. 이러한 결과는 보리⁽¹⁵⁾에서도 보고되어 있다.

침지시간에 따른 현미의 경도감소속도는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dH}{dt} = -k_n H \text{ 또는 } \ln \frac{H}{H_0} = -k_n t$$

여기에서 H₀와 H는 침지시간 0 및 t분후의 현미의 경도이다. Fig. 6의 기울기(-k_n)로부터 구한 침지온도별 경도감소속도 상수는 Table 2와 같다. 경도감소속도 상수는 침지온도가 증가할수록 높은 값을 보였으며, 밀양 23호가 아끼바레보다 다소 빠른 속도 상수를 보였다. 목동⁽¹⁶⁾은 보리의 경우 k_n는 20°C에서 5.1×10^{-4}

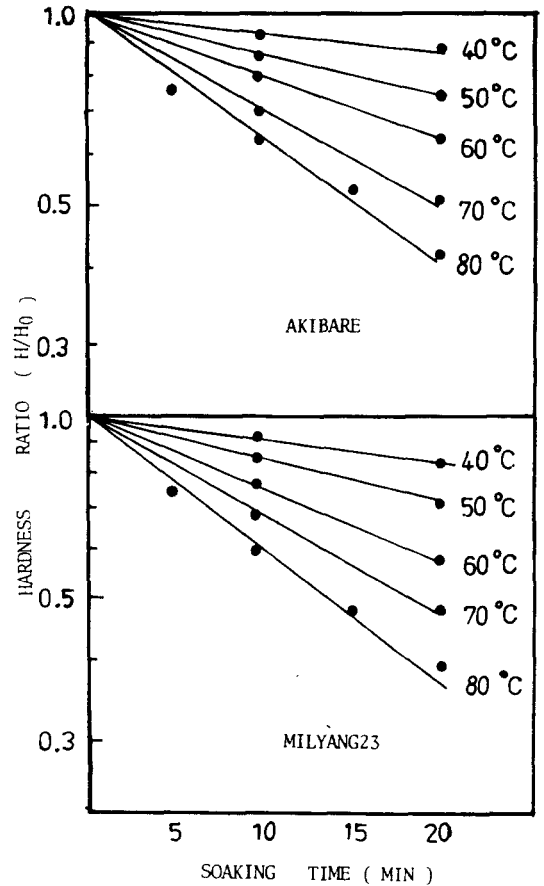


Fig. 6. Relation between the hardness ratio and the soaking time for brown rice at various soaking temperatures

Table 2. Average values of reaction rate constant of brown rice grains from hardness change

Soaking temp. (°C)	Reaction rate constant, K _n × 10 ²	
	Akibare	Milyang 23
20	0.09	0.15
40	0.33	0.37
50	0.63	0.68
60	0.99	1.19
70	1.52	1.65
80	2.00	2.15

40°C에서 29.3×10^{-4} , 60°C에서 79.2×10^{-4} 로 보고하였다. 경도 감소속도상수와 침지온도의역수와의 관계는 Fig. 7과 같으며, 직선의 기울기는 아끼바레 및 밀양 23호 모두 60~65°C 부근에서 변하였다. 직선의 기울기로부터 구한 현미의 경도 감소반응의 활성화에너지는 Table 3에 나타냈으며, 아끼바레의 경우 40~60°C에서 12,000, 70~80°C에서 6,400cal/mol이었고, 밀양 23호의 경우 40~60°C에서 12,100, 70~80°C에서 6,700cal/mol으로

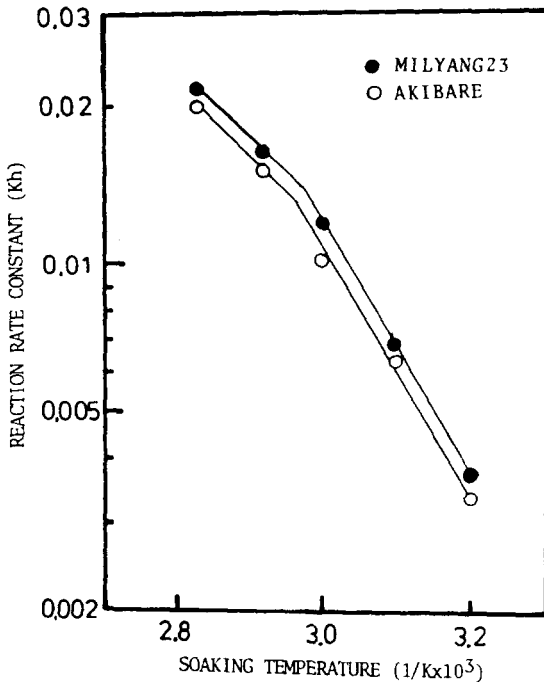


Fig. 7. Arrhenius plots of the reaction rate constant of brown rice during soaking

Table 3. Activation energy during soaking

Variety	Soaking temp. (%)	Activation energy (cal/mol)
Akibare	40~60	12,000
	70~80	6,400
Milyang 23	40~60	12,100
	70~80	6,700

서 품종간에 차이를 보이지 않았다. 70~80°C에서의 활성화에너지는 40~60°C에서 보다 약 2 배정도 높은 값을 보였는데, 이것은 두 온도 범위에서의 경도감소 반응은 다른 메카니즘에 의함을 가리킨다고 볼 수 있다.

목 등⁽¹⁵⁾은 보리의 경우 20~60°C에서의 경도변화에 따른 활성화에너지 값은 13,300 cal/mol로서 도정한 보리(6,000~7,000 cal/mol)보다 큰값을 보였다고 보고하였다. 이러한 결과는 보리의 과피 및 종피의 침지에 의한 물성변화에 기인하는 것으로 알려져 있다^(15,16). 즉 보리의 종피는 초기 물의 침투를 방해하며 일종의 반투막으로 작용하므로 물의 침투속도는 과피와 종피의 투과성에 의하여 결정된다.

아끼바레 및 밀양 23호 전분의 호화온도는 60~65°C로 알려져 있다.⁽¹⁷⁾ Bandyopadhyay 등⁽¹⁸⁾은 벼의 parboiling 시 수분확산은 전분의 호화온도를 전후로 서로 다른 양상을 보인다고 보고하였다. 따라서 Fig. 7의 결과

는 현미의 호화온도 이전(40~60°C)에서는 흡수에 의한 팽윤에 따른 물성변화에 의하여, 호화온도 이상(70~80°C)에서는 전분의 부분적 호화에 따라 현미의 경도가 변화됨을 가리킨다고 볼 수 있다.

요 약

일반계 아끼바레와 다수확계 밀양 23호 현미의 수화과정에서의 특성을 속도론적으로 분석하였다. 현미의 수화는 약 18시간 후에 평형에 도달하였다. 현미의 초기 수화속도식은 Fick의 단순확산 확산 방정식으로 해석할 수 있었으며 두 품종의 확산 계수는 다음식으로 나타낼 수 있었다. 아끼바레: $D = 2.738 \times 10^{-7} \exp(-9,300/RT)$, 밀양 23호: $D = 4.302 \times 10^{-7} \exp(-9,500/RT)$. 초기 수화과정중 수화에 따른 경도변화는 1차 반응식으로 나타낼 수 있었으며 밀양 23호가 아끼바레보다 약간 빨랐다. 또한 호화온도인 60~65°C를 전후로 수화에 카니즘에 차이를 나타내었다.

문 헌

1. Inter. Union of Food Sci. Technol. :Rice Report (1976)
2. 五來長利: 玄米食 健康法, 実業之日本社, p. 37 (1974)
3. Becker, H. A. : *Cereal Chem.*, **37**, 309 (1960)
4. Brookes, D. B., Bakker - Arkema, F. W. and Wall, C. W. : *Drying Cereal Grains*, The AVI Publishing Co., p. 76 (1974)
5. Bandyopadhyay, S. and Roy, N. C. : *J. Food Technol.*, **13**, 91 (1978)
6. Udani, K. H., Neison, A. I. and Steinberg, M. P. : *Food Technol.*, **22**, 1561 (1968)
7. Suzuki, K., Kubota, K., Omichi, M. and Hosaka, H. : *J. Food Sci.*, **41**, 1180 (1970)
8. Cho, E. K., Pyun, Y. R., Kim, S. K. and Yu, J. H. : *Korean J. Food Sci. Technol.*, **12**, 285 (1980)
9. American Association of Cereal Chemists: Approved Methods of the AACC, The Association, St. Paul, MN (1969)
10. 川島四郎: 炊飯の 科学, 光生館, p. 37 (1974)
11. Lee, S. O., Kim, S. K. and Lee, S. K. : *J. Korean Agr. Chem. Soc.*, **26**, 1 (1983)
12. Mok, C. K., Lee, H. Y., Nam, Y. J. and Min, B. Y. :

- Korean J. Food Sci. Technol.*, 15, 136 (1983)
13. Lee, J. S. and Kim, S. K. : *Korean J. Food Sci. Technol.*, 15, 220 (1983)
14. Steffe, J. F. and Singh, R. P. : *J. Food Sci.*, 45, 356 (1980)
15. Mok, C. K. and Nam, Y. J. : *J. Korean Agr. Chem. Soc.*, 25, 67 (1982)
16. Brookes, P. A. and Lovette, D. A. : *J. Inst. Brew.*, 82, 14 (1976)
17. Chung, H. M., Ahn, S. Y. and Kim, S. K. : *J. Korean Agr. Chem. Soc.*, 25, 67 (1982)
-
- (1984년 5월 20일 접수)