

## 플라스틱 적층필름 포장재를 이용한 현미의 저장중 수분흡수 특성 변화

한재경·강길진<sup>†</sup>·김 관·김성곤\*

전남대학교 식품공학과  
\*단국대학교 식품영양학과

### Water Absorption of Stored Brown Rice in Laminated Film Pouch

Jae-Gyoung Han, Kil-Jin Kang<sup>†</sup>, Kwan Kim and Sung-Kon Kim\*

Dept. of Food Science and Technology, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

\*Dept. of Food Science and Nutrition, Dankook University, Seoul 140-714, Korea

#### Abstract

The changes in hydration of brown rice, Chu-chung byeo(Japonica type) were determined during storage at different storage temperatures(4°C, 20°C, 30°C and 40°C) in a 4-layered laminated film pouch(PET 12µm/Al-foil 7µm/o-Nylon 15µm/L-Mix 100µm). At the beginning of storage, the hydration rate of brown rice increased with higher soaking temperature, and the activation energy of hydration was 10.3kcal/mole. Water diffusion coefficient of brown rice due to storage temperature during storage at 30°C of soaking temperature was decreased by the elapse of storage periods and increment of storage temperature(below 30°C).

**Key words:** brown rice, storage, laminated film pouch, hydration

#### 서 론

쌀을 이용하여 취반 또는 기타의 가공을 하게 될 경우에 수분은 호화에 있어서 가장 필수적인 것으로서 쌀의 수분흡수 특성을 정확히 파악하는 것은 매우 중요한 의미를 지닌다. 이러한 수분흡수는 품종, 재배 조건, 저장 조건 및 시간에 따라서 달리 나타난다(1). 수화 온도 및 시간은 쌀 내부의 수용성 기질, 색상, 냄새와 맛에 중요한 영향을 미치며, 수화에 사용되어지는 물 속의 무기성분이나 기타의 다른 물질들은 가공 후 최종 제품의 맛과 냄새 등에 심각한 영향을 미치게 된다.

저장 중 수분흡수 특성에 대하여 Kunze와 Choudhury(2)는 현미 보다 백미가 일정한 상대 습도에서 초기 수분 흡수력이 2배 이상이 되었다고 하였으며, 송 등(3)은 30°C에서 현미와 백미의 수분흡수 속도를 비교한 결과, 수분 확산 계수는 다수계 품종이 일반계 품종 보다 크다고 하였다. 조와 김(4)은 현미를 4°C와 25°C에서 5개월 저장 중 수분 흡수상수값은 저장 시간에 따라 직선적으로 감소하였고, 평형 수분 함량은 저장 온도와 저장 기간에는 영향을 받지 않으나 평형 수분 함

량에 도달하는 시간은 저장 기간의 경과와 함께 늦어진다고 보고하였다. 그러나 아직까지 투습, 투기성이 없는 포장재를 이용하여 현미를 저장하면서 수분흡수 특성의 변화에 대하여 연구한 결과는 거의 없다.

따라서 본 연구는 현미를 플라스틱 4겹 적층필름 포장재를 이용하여 각 온도에서 저장하면서 수분흡수 특성 변화를 조사하였다.

#### 재료 및 방법

##### 재료

충청남도 금산군 금양리에서 1990년산 일반계 벼(추청벼)를 수확 직후 구입하여 cyclone형 Torses현미기(Tokyo Testing Machine Co., Japan)로 왕겨를 제거하여 현미를 얻었고, 청미, 쌀래기 및 표면의 이물질들을 제거한 다음, 20°C의 송풍 항온기내에서 3일간 수분 평형 시킨 후 -25°C에 보관하면서 시료로 사용하였다. 시료의 일반성분은 수분 12.3%, 조단백질 8.4%, 조지방질 2.9%, 회분 1.6%이었다.

<sup>†</sup>To whom all correspondence should be addressed

저장조건

시료 약 200g씩을 Table 1과 같은 물성치를 지닌 플라스틱 4겹 적층 기밀포장 용기(16cm×15cm)에 넣고 입구를 열봉합기로 밀봉한 후 4°C, 20°C, 30°C 및 40°C에서 6개월간 저장하면서 1개월 간격으로 꺼내어 실험에 사용하였다.

수분흡수 특성의 분석

시료 약 1g을 30°C로 조절한 수조에 침지시키면서 일정한 시간 간격으로 꺼내어 흡수지로 표면수를 제거하고 평량하여 무게 증가량으로부터 시료 1g(건량기준)당 수분 함량을 계산하였다(3).

시료의 수분흡수 속도는 Becker의 수분 확산 방정식(5)을 이용하여 계산하였다.

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

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

윗식에서 D는 확산계수(cm<sup>2</sup>/min), m<sub>0</sub>는 시료의 초기 수분 함량(g H<sub>2</sub>O/g 건물량), m는 일정시간 침지시킨 후의 수분 함량(g H<sub>2</sub>O/g 건물량), m<sub>s</sub>는 침지 시간 0분 이상에서 쌀 표면위의 유효 수분 함량(g H<sub>2</sub>O/g 건물량), S는 현미의 표면적(cm<sup>2</sup>), t는 침지 시간(min), V는 현미의 부피(cm<sup>3</sup>)이다.

시료의 표면적(S)과 부피(V)는 타원체로 가정하고 각각 다음 식으로 계산하였다.

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

여기에서

$$e = \sqrt{a^2 - b^2}/a$$

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

Table 1. Physical properties of packaging material

Physical properties	Value
Construction:	PET 12μm/Al-foil 7μm/o-Nylon 15μm/L-Mix 100μm
Tensile strength(kg/15mm):	cross direction, 11.3 : mechanical direction, 11.6
Elongation(%):	cross direction, 105.0 : mechanical direction, 88.4
Pin hole resistance(kg):	2.15
Heat seal strength(kg/15mm):	7.96
O <sub>2</sub> transmission rate(ml/m <sup>2</sup> . 24hr. atm):	0.0
CO <sub>2</sub> transmission rate(ml/m <sup>2</sup> . 24hr. atm):	0.0
Water vapour transmission rate(ml/m <sup>2</sup> . 24hr):	0.0

윗식에서 a는 시료의 장반경(cm), b는 시료의 단반경(cm)으로 시료 현미의 평균 길이는 5.07mm, 폭은 2.84mm, 두께는 2.06mm, 부피는 0.0214cm<sup>3</sup>, 표면적은 0.3938cm<sup>2</sup>이었다.

현미의 유효 수분 함량은 상대습도를 다르게 조절 한 여러 가지 포화염용액 데시케이터에 시료를 방치시켜 평형 수분 함량에 도달하게 한 다음 30°C에서 15분간 침지한 후 수분 증가량으로부터 유효 수분 함량을 구하였다(6).

결과 및 고찰

저장전 수분흡수 특성

저장 전 초기 현미의 침지 온도별, 침지 시간에 따른 초기 수분흡수 정도는 Fig. 1과 같다. 현미의 수분 함량은 침지 전에 12.7%였는데, 30°C에서 180분 침지 후에 39.8%, 40°C에서 180분 침지 후에 40.4%, 50°C에서 150분 침지 후에 41.2%에 이르렀다. 30°C와 40°C 침지는 수침 10시간 이후에 최종 평형수분 함량인 41.2%에 도달하였다. 50°C에 침지하였을 때에 수분 증가폭이 가장 크게 나타나 침지 온도가 높을수록 수분흡수가 빨라지며, 수분흡수는 수침 온도에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 현미의 수침 중 내부로의 수분의 이

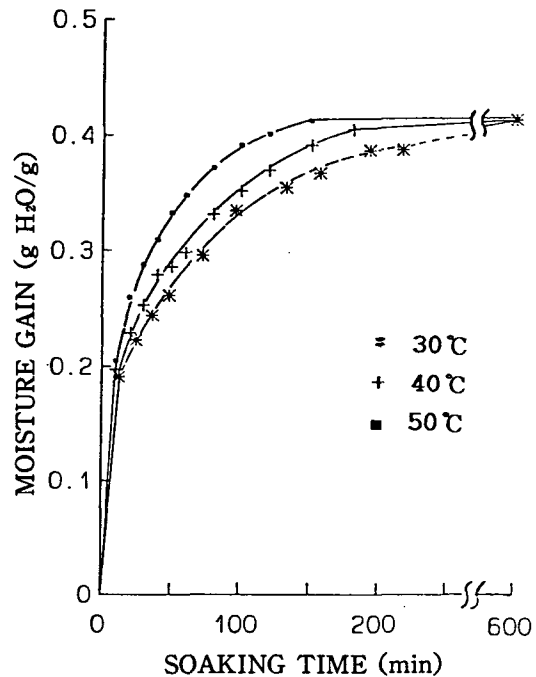


Fig. 1. Water absorption during hydration of brown rice at various soaking temperatures.

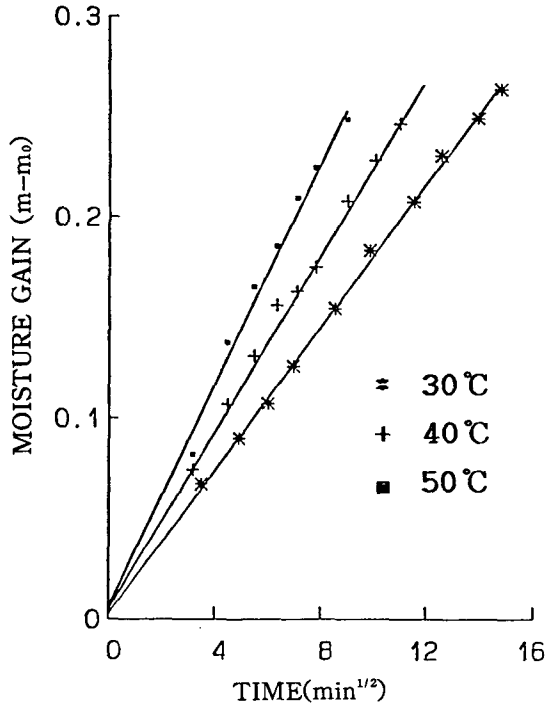


Fig. 2. Relation between the moisture gain and the square root of the absorption time for brown rice.  
 (30°C ;  $y=0.01783x+0.00189$  ;  $r=0.99$ )  
 (40°C ;  $y=0.02375x+0.00465$  ;  $r=0.98$ )  
 (50°C ;  $y=0.03029x+0.00277$  ;  $r=0.98$ )

동이 Fick의 확산 법칙에 따른다면 시료의 초기 수분 증가는 수침 시간의 평방근에 비례하게 되는데 Fig. 2와 같이 시료의 수분 증가량과 침지시간의 평방근과의 관계는 직선적인 관계를 보여 시료의 초기 수분량은 침지시간의 평방근에 비례함을 알 수 있었다. 이러한 관계는 다른 보고(3,4,7-9)에서도 나타나고 있는데, Fig. 2의 결과를 보면 침지시간 0일 때의 수분 증가량은 이론적인 값 0과 일치하지 않고 있다. 이러한 현상은 쌀의 경우 뿐만 아니라 여러 곡류에서도 일어나는 것으로 알려져 있다(3-5). 이와 김(8)에 의하면 곡류의 외부층은 다공질로 되어있어 모세관 흡수에 의하여 쉽게 포화되므로서 초기의 수분흡수가 빨리 일어난다고 하였다. 이러한 0이 아닌 절편값은 곡물 과피의 다공질들을 수분으로 포화시키는데 소요되는 수분 함량의 척도가 된다고 한다(3).

한편 시료의 초기 수분 함량을 변화시켜 일정 시간 수침한 후의 수분 증가와 초기 수분과의 관계로부터 Fig. 3에서 현미 곡립 위의 유효 수분 함량( $m_s$ )을 구하였는데 0.6884g H<sub>2</sub>O/g였다. 이 값은 송 등(3)의 0.66~

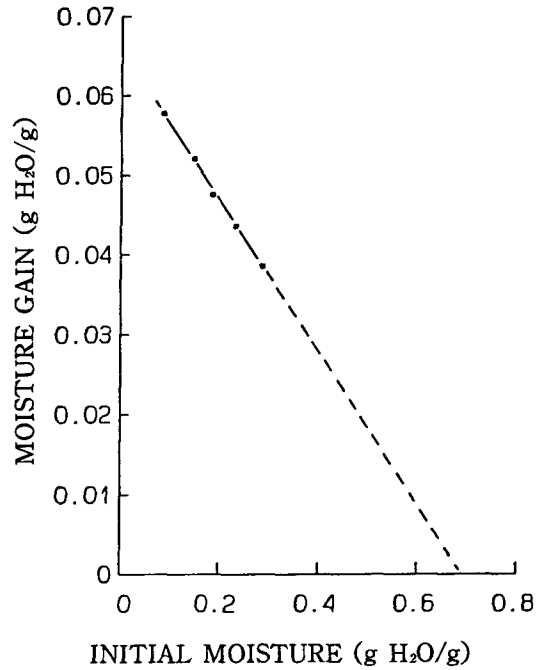


Fig. 3. Relation between the moisture gain and the initial moisture content.  
 ( $y=-0.09565x+0.06584$  ;  $r=0.99$ )

0.75g H<sub>2</sub>O/g의 값과 비슷하였으며, 김 등(10)은 아끼바레의 유효 수분 함량이 0.625g H<sub>2</sub>O/g이었다고 하였는데 본 결과와 대등한 값을 보이고 있으며, 이 등(6)과 조 등(9)의 아끼바레 백미의 0.273 보다는 큰 값이었다.

이상의 시험 결과를 이용하여 각각의 수침온도에서 시료의 수분 증가량과 침지시간의 평방근과의 관계 직선의 기울기로부터 침지온도별 초기 수분흡수 단계에서의  $k_0$ 를 구하였고, 저장 전 초기 현미의 수분확산 계수(D)는 S/V,  $k_0$  및  $m_s$  값을 식(2)에 대입시켜 구하였으며  $k_0$  값과 D값은 Table 2와 같다. Table 2에서 나타난 바와 같이 30°C와 50°C에 수침하였을 때 수분확산 계수는 각각  $2.306 \times 10^{-6}(\text{cm}^2/\text{min})$ ,  $6.654 \times 10^{-6}(\text{cm}^2/\text{min})$ 으로서 50°C의 경우는 30°C의 경우 보다 약 2.9배 정도로 높게 나타나 이 값으로부터 수침온도가 높아질

Table 2. The calculated values of the hydration rate parameter of brown rice at various soaking temperatures

Soaking temperature(°C)	$k_0 \times 10^2$ (cm/min)	$D \times 10^6$ (cm <sup>2</sup> /min)	Ea (kcal/mole)
30	1.783	2.306	
40	2.375	4.091	10.3
50	3.029	6.654	

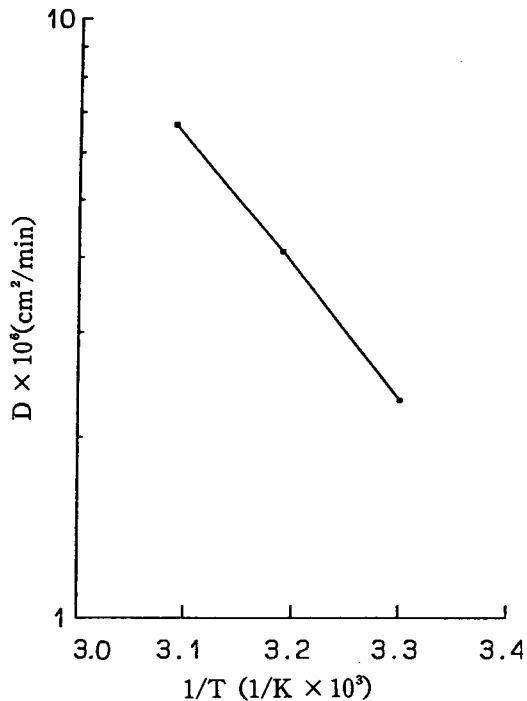


Fig. 4. Diffusion coefficient as a function of the reciprocal absolute temperature.

수록 수분확산이 빠름을 알 수 있다.

한편 확산계수와 침지온도의 역수와의 관계는 Fig. 4와 같이 직선적으로 나타나 이 기울기 값으로부터 활성화에너지를 구하였는바 10.3kcal/mole로 나타났다. 김 등(10)의 연구에서 침지 온도 40°C에서 60°C까지에서의 아끼바레의 활성화에너지는 9,300cal/mole로, 본 연구 결과와 유사한 값을 보였다. 현미의 수침에 따른 확산계수의 차이는 배유부 보다는 겨층의 차이에 기인하는 것으로서(3) 이러한 겨층 구조는 동일 품종 간에서도 재배 지역간, 생육 조건 등에 따라서 달라지기 때문으로 생각된다.

#### 저장중 수분흡수 특성

프라스틱 4겹 적층필름으로 현미를 포장한 다음 일정한 온도(4°C, 20°C, 30°C, 40°C)에서 저장하면서 저장기간별로 꺼내어 30°C에서 침지하면서 수분흡수 특성을 조사하였는데, 30°C 저장구에 대한 저장 중 경시적 수분흡수 변화를 본 결과를 Fig. 5에, 수분 증가량과 침지 시간의 평방근과의 관계를 Fig. 6에 나타내었다.

각 온도별로 저장한 시료를 30°C에서 수침하였을 때 수분확산 계수는 시료의 s/v,  $m_s$  값 및  $k_0$ 를 이용하여 계산하고 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

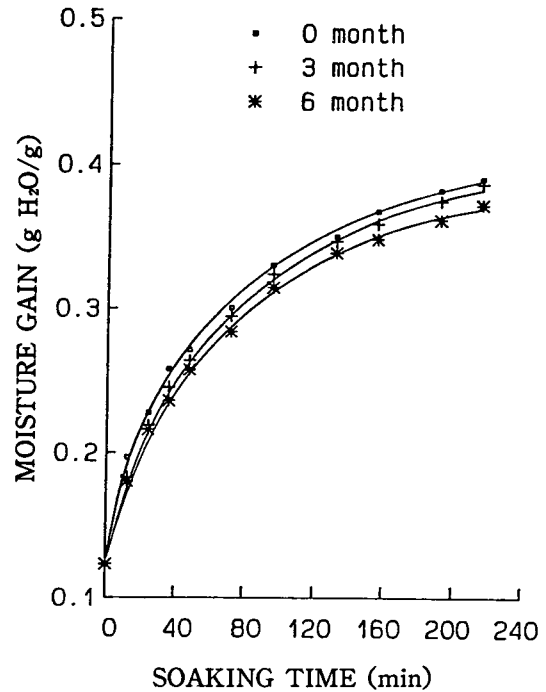


Fig. 5. Water absorption during hydration of brown rice stored at 30°C for 6 months(soaking temperature : 30°C).

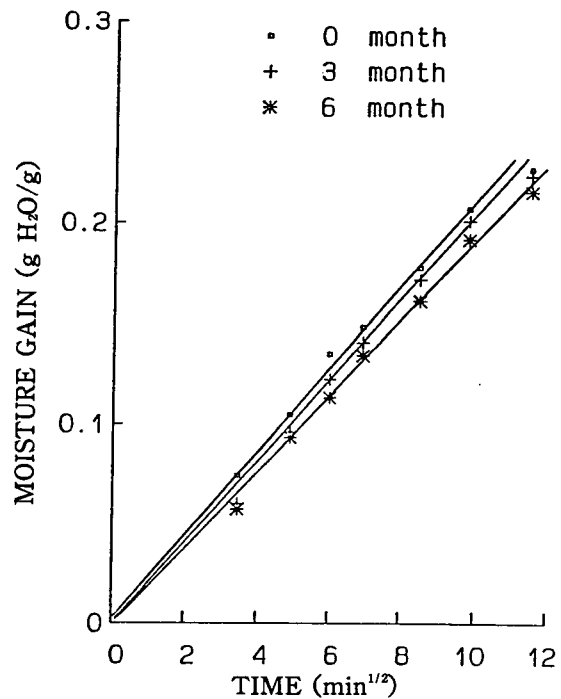


Fig. 6. Relation between the moisture gain and the square root of the absorption time for the brown rice stored at 30°C for 6 months.

Table 3. Changes in hydration rate parameter of stored brown rice at 30°C soaking temperature

Storage temperature(°C)	Storage period(month)	$k_0 \times 10^2$ (cm/min)	$D \times 10^6$ (cm <sup>2</sup> /min)
4	1	1.783	2.303
	2	1.747	2.214
	3	1.725	2.158
	4	1.705	2.108
	5	1.694	2.081
	6	1.690	2.071
20	1	1.637	1.944
	2	1.629	1.925
	3	1.628	1.922
	4	1.627	1.920
	5	1.619	1.901
	6	1.612	1.885
30	1	1.633	1.934
	2	1.633	1.934
	3	1.630	1.927
	4	1.617	1.896
	5	1.615	1.892
	6	1.512	1.659
40	1	2.10	3.198
	2	-	-
	3	-	-
	4	-	-
	5	-	-
	6	-	-

수분 확산계수의 변화는 저장 전  $2.306 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{min}$ 에서 저장 1개월 후에 4°C 저장구의 경우  $2.306 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{min}$ , 20°C 저장구의 경우  $1.944 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{min}$ , 30°C 저장구의 경우  $1.934 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{min}$ 로서 저장온도가 높아질수록 약간씩 감소하였으나, 40°C 저장구의 경우는  $3.198 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{min}$ 로 급격한 증가 현상을 보였다. 저장 6개월 후에는 4°C 저장구의 경우  $2.071 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{min}$ , 20°C 저장구의 경우  $1.885 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{min}$ , 30°C 저장구의 경우  $1.658 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{min}$ 로 감소하였으며, 40°C 저장구에서는 저장 2개월 이후 부터는 곡립의 열 손상으로 인한 균열에 의하여 측정할 수 없었다.

즉, 저장온도 30°C 이하에서 수분확산 계수 값은 저장온도의 상승과 저장기간의 경과에 따라 감소하였으나, 40°C 저장의 경우는 저장 초기(저장 1개월)에 급격히 상승하였다. 이러한 결과는 포장저장시 40°C 이상이 되면 심한 열변성이 일어나는 것으로 볼 수 있는데, 이는 투습, 투기성이 없는 포장으로 인해 통풍이 안됨으로서 더욱 심해진 것으로 보인다.

Inoue와 Suzuki(11)은 고미화가 진행됨에 따라 최대 흡수율은 저하되었다고 보고하였고, 조와 김(4)은

현미를 4°C와 25°C의 저장온도에서 5개월간 저장 중 수분흡수 속도의 변화를 보고하였는데  $k_0$  값이 저장온도와 저장기간이 증가할수록 감소한다고 하였다.

이러한 결과로 볼 때, 투습, 투기성이 없는 포장재로 포장하여 저장할 때에도 현미의 수분흡수 속도(수침 온도 30°C)는 저장온도(30°C 까지)가 높아짐에 따라서 그리고 저장기간의 경과함에 따라서 감소함을 알 수 있었다. 그러나 40°C 이상에서 포장 저장시는 심한 열변성이 일어남을 알 수 있었다. 따라서 투습, 투기성이 없는 포장은 저장중에 수분흡수 특성에 큰 영향을 미치지 못하고 비포장(투습, 투기성이 있는 포장) 저장시와 비슷한 결과였다. 오히려 포장저장시 40°C의 저장의 경우 열변성이 더욱 심하였다.

### 요 약

현미를 투습, 투기성이 없는 플라스틱 적층 필름 4겹 포장재에 넣고 저장온도와 기간을 달리하면서 수분흡수 특성 변화를 조사하였다. 저장 전 현미의 수분흡수 특성에서, 수분 확산계수는 30°C, 40°C, 50°C에서 수침하였을 때 각각  $2.306 \times 10^{-6} (\text{cm}^2/\text{min})$ ,  $4.091 \times 10^{-6} (\text{cm}^2/\text{min})$ ,  $6.654 \times 10^{-6} (\text{cm}^2/\text{min})$ 이었으며, 그에 대한 활성화에너지는 10.3kcal/mole이었다. 저장 중 현미의 수분 확산 계수 값의 변화는 저장온도 30°C 이하에서 저장온도의 상승과 저장기간의 경과에 따라 감소하였으나, 40°C 저장의 경우는 저장 초기(저장 1개월)에 급격히 상승하였다. 이러한 결과로 볼 때, 투습, 투기성이 없는 포장재로 포장하여 저장할 때에도 현미의 수분흡수 속도(수침 온도 30°C)는 저장온도(30°C 까지)가 높아짐에 따라서 그리고 저장기간의 경과함에 따라서 감소함을 알 수 있었다. 그리고 40°C 이상에서 포장 저장시는 심한 열변성이 일어남을 알 수 있었다.

### 문 헌

1. Gariboldi, F. : Parboiled rice. In "Rice" Chemistry and Technology, Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, Mtl., p.353(1972)
2. Kunze, O. R. and Choudhury, M. S. U. : Moisture absorption related to the tensile strength of rice. *Cereal Chem.*, **49**, 684(1972)
3. 송보현, 김동연, 김성곤 : 현미 및 백미의 수분 흡수 속도와 취반속도의 비교. *한국농화학회지*, **31**, 211(1988)
4. 조은자, 김성곤 : 쌀의 저장중 이화학적 성질변화. *한국농화학회지*, **33**, 24(1990)
5. Becker, H. A. : On the absorption of liquid water by the wheat kernel. *Cereal Chem.*, **37**, 309(1960)
6. 이순옥, 김성곤, 이상규 : 일반 쌀 및 다수확 쌀의 수화

- 속도. 한국농화학회지, **26**, 1(1982)
7. Roberts, E. H. : Predicting the storage life of seeds. *Seed Sci. Technol.*, **1**, 499(1973)
8. 이종숙, 김성곤 : 결보리 및 쌀보리의 수화속도. 한국식품과학회지, **15**, 220(1983)
9. 조은경, 변유량, 김성곤, 유주현 : 쌀의 수화 및 취반 특성에 관한 속도론적 연구. 한국식품과학회지, **12**, 285(1980)
10. 김광중, 변유량, 조은경, 이상규, 김성곤 : 아끼바레와 밀양23호 현미의 수화 속도. 한국식품과학회지, **16**, 297(1984)
11. Inoue, T. and Suzuki, H. : Effects of storage period, milling degree of stored brown rice grains and soaking of milled rice grains on the properties of cooked rice grains. *Science of Cookery(Japan)*, **19**, 313(1986)

(1996년 4월 19일 접수)