

## 침지중 콩의 흡수 및 부피변화의 속도론적 연구

김 동 희 · 염 초 애 · 김 우 정\*

숙명여자대학교 식품영양학과, \*세종대학교 식품과학과

초록 : 우리나라에서 생산되는 장러품종 중 팔달, 단엽, 장백, 백운, 장엽콩과 재래종 중 검정콩(Local 1), 갈색아주까리콩(Local 2) 등 7품종을 대상으로 수분흡수특성 및 부피변화에 대하여 조사하였다. 수분흡수의 특성에서 시료 품종 모두 40°C 이상으로 온도가 증가하면서 평형에 도달한 무게증가율은 낮아졌으며 초기흡수속도에서는 60°C까지 증가하다가 그 이상의 온도에서는 큰 차이가 없었다. 수분흡수속도상수는 4~60°C의 범위에서 검정콩이 다른 품종들보다 높았으며 갈색아주까리콩은 가장 낮았다. 수분흡수의 활성화에너지는 3,246 cal/mole에서 4,694 cal/mole의 범위였다. 부피증가속도는 장백과 검정콩이 빠른 경향이었고 팔달이 느린 경향을 보였으며 부피증가의 활성화에너지는 3,310 cal/mole에서 4,190 cal/mole의 범위였고 수화도의 온도 의존성( $z$  값)은 무게증가로 계산한 것보다 부피증가로 계산한 값이 다소 높았다(1989년 11월 24일 접수, 1990년 2월 22일 수리).

콩의 흡수특성은 가공 및 조리에 관련된 중요한 물리적 성질이다. 콩의 침지중 일어나는 주요 변화는 흡수로 인한 무게 및 부피의 증가와 수용성 물질의 손실이다. 침지시 콩의 수화속도는 표피 조직의 세공(細孔)<sup>1)</sup>, 표면적, 침지온도<sup>2-5)</sup>, 침지수의 염류와 농도<sup>6, 7)</sup>, 콩의 성분 조성<sup>8)</sup> 등에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

Yaklich 등<sup>1)</sup>은 등숙후기(登熟後期)에 형성되는 표피세공의 밀도가 수분 침투성과 관계가 크다고 하였으며, 김 등<sup>2)</sup>은 검정콩의 온도별 흡수속도와 활성화에너지를 계산한 바 있다. 수분흡수 및 조리속도의 향상을 위한 방법으로 Silva 등<sup>6, 7)</sup>은 침지수에 sodium chloride나 sodium bicarbonate를 첨가시켰으며, 당이나 염을 첨가하였을 때는 오히려 흡수를 저해시킨다는 보고<sup>2, 4)</sup>가 있다. 콩껍질에 칼슘과 조지방의 함량이 높으면 흡수속도가 감소하게 되지만<sup>9)</sup> 콩표피 제거 여부가 흡수속도에 큰 영향을 준다는 견해<sup>9, 10)</sup>와 영향이 적다는 보고<sup>11)</sup>의 상반된 발표가 있다. 콩을 알콜로 전처리하면 흡수속도가 증가하는데<sup>4, 12)</sup>, 이는 알콜에 의한 콩껍질의 연화현상에 기인되는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>.

콩의 크기와 세공의 밀도는 콩의 흡수량 및 흡수속도와 상관관계가 있으나, 단백질 함량은 상관관계가 없다는 보고가 있다<sup>4)</sup>. Quast와 da Silva<sup>13)</sup>는 콩의 흡수속도와 침지온도와의 관계를  $z$  값으로, 김 등<sup>2)</sup> 및 Leopold<sup>14)</sup>는 흡수초기의 수분함량의 증가를 Arrhenius 식으로, 그리고 Hsu 등<sup>4)</sup>은 수분의 확산계수를 온도와의 관계로 설명하였다. 김 등<sup>3, 15)</sup>은 한국 재래종 콩 3품종 등에 대한 흡

수특성을 무게변화 및 부피변화에 대하여  $z$  값 및 활성화에너지로 비교한 바 있다.

본 연구에서는 콩 품종 개량에 도움이 되고자 우리나라에서 생산되는 장러품종 5품종과 재래종 2품종에 대하여 수분흡수 특성 및 부피변화를 속도론적으로 비교하였다.

### 재료 및 방법

#### 재 료

1987년도에 농촌진흥청의 시험포장에서 생산한 장러품종중 팔달, 단엽, 장백, 백운, 장엽콩과 재래종중 검정콩(Local 1), 갈색아주까리콩(Local 2) 등 7품종을 농촌진흥청 전작 1과에서 제공받아 4°C에 보관하고 이를 시료로 사용하였다.

#### 수분흡수속도의 측정

시료콩 10g 정도를 정확히 칭량하여, 4~98°C 범위의 증류수에 넣고 12시간 동안 침지시키면서 매시간 콩을 꺼내어 표면수를 제거한 다음 무게와 부피의 변화를 측정하였다. 증가된 수분함량은 시료 1g(건량기준)당 침지전과  $t$ 시간 침지후의 무게 차이로 계산하였다<sup>2)</sup>. 콩의 부피는 50 ml의 증류수가 담긴 100 ml 눈금 실린더에 일정량의 시료를 넣고 부피를 측정한 뒤, 침지전과 침지후의 부피 차이에서 부피 증가율(%)을 계산하였다. 또한, 평형무게증가율, 초기수분흡수속도, 수분흡수속도상수<sup>9)</sup>는

아래식에 의하여 계산하였으며 모든 실험은 4회 반복으로 수행하였다.

$$\text{평형무게증가율(\%)} = \frac{\text{평형상태에서 증가된 콩의 무게(g)}}{\text{침지전 콩의 무게(g)}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{초기수분흡수속도(gH}_2\text{O/Hr)} = \frac{\text{1시간 침지후 시료콩 1g의 증가된 무게(g)}}{\text{1}} \quad (2)$$

$$\text{수분흡수속도상수(gH}_2\text{O}/\sqrt{\text{min}}) = \frac{\text{t시간 침지후 증가된 콩의 무게(g)}}{\sqrt{\text{침지시간(min)}}} \quad (3)$$

**수분흡수속도의 온도 의존성**

품종별로 계산한 침지 초기의 흡수속도 및 부피의 증가속도와 침지온도의 관계에서 직선관계를 확인한 뒤 활성화에너지(Ea)를 다음 Arrhenius식으로 계산하였다.

$$\ln K = \frac{Ea}{RT} + \ln A \quad (4)$$

여기서 K는 수분흡수속도상수(gH<sub>2</sub>O/min<sup>1/2</sup>), Ea는 활성화에너지(cal/mole), R은 기체상수, T는 침지온도(K)이다.

**수화도의 온도 의존성**

콩의 수화도(degree of hydration)의 온도 의존성은 어떤 수분함량에 도달하는 시간과 온도와의 관계로서 다음 식<sup>13)</sup>에 의하여 계산하였다.

$$z = \frac{T_1 - T_2}{\log(t_2/t_1)} \quad (5)$$

여기서 z 값은 어떤 수분함량에 도달하는 시간을 1/10로 감소시키는데 필요한 온도의 증가를 의미하며, t<sub>1</sub>은 침지온도 T<sub>1</sub>에서 일정한 수분함량에 도달하는 시간(hour), t<sub>2</sub>는 침지온도 T<sub>2</sub>에서 일정한 수분함량에 도달하는 시간(hour)이다.

**결과 및 고찰**

**수분흡수정도**

콩을 물에 침지시켰을 때 수분의 흡수로 인한 콩무게의 증가 변화는 팥달의 경우 Fig. 1과 같다. 12시간 침지하는 동안 4°C에서는 평형상태에 도달하지 않았으나 20°C에서는 12시간, 40°C에서는 10시간에 평형상태에 도달하였으며 60~98°C에서는 3~4시간 만에 평형상태에 도달하였다. 이러한 결과는 다른 6가지 품종에서도 유사하였다. Wang등<sup>16)</sup>과 이등<sup>17)</sup>도 유사한 실험에서 본 결과와 같은 경향을 보고한 바 있다. 침지 중 평형에 도달

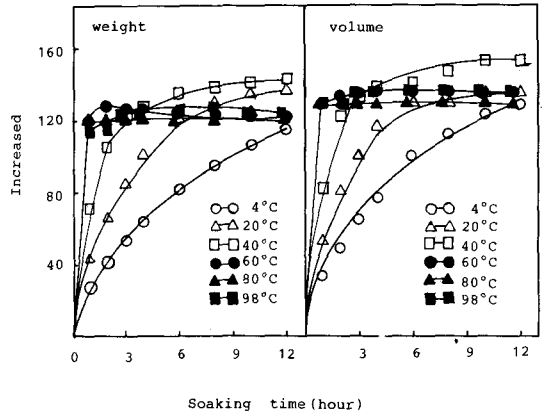


Fig. 1. Changes in weight and volume of Paldal during soaking at various temperatures

하였을 때의 무게증가율은 Table 1과 같이 침지온도 60°C 이상에서는 20°C나 40°C의 것보다 낮게 나타났는데, 이는 고온에서 평형수분함량이 낮은 온도에서의 평형수분함량보다 낮거나, 용출된 수용성 고형물의 손실이 높은 온도에서 더 많았기 때문으로 추측할 수 있다. 그리고 장백, 장엽, Local 2의 경우는 40°C가 20°C보다 평형무게증가율이 낮게 나타났는데 이것은 3품종의 경우 40°C에서부터 수용성 고형물의 손실이 생긴것으로 사료된다. 김등<sup>2, 15)</sup>, Quast와 da Silva<sup>13)</sup>, Wang등<sup>16)</sup>은 높은 온도에서의 평형무게 감소는 주로 수용성 물질의 손실에 의한다고 보고한 바 있다. 이등<sup>17)</sup>도 50°C에서 침지할 경우 40°C보다 평형 상태의 무게가 약 25% 적다고 하면서, 침지온도가 증가될수록 고형물의 용출량이 더 많다고 하였다. 4°C의 경우는 침지시간 동안 평형에 도달하지 않아 비교할 수 없었으나 그외의 온도에서 품종별 비교는 40°C의 경우 Local 1이 가장 많이 증가하였고 백운과 단엽이 가장 낮았다.

**수분흡수속도**

침지중 콩의 초기흡수속도(Table 1)는 온도가 높을수록 빨랐으나 60°C 이상에서는 큰 차이가 없었다. 품종간 차이는 20°C의 경우 Local 2가 가장 빨랐고 Local 1이 낮았으며, 온도가 높아지면서 흡수속도의 증가는 품종간에 많은 차이가 있어 80°C의 경우 Local 1이 가장 빠르게 나타났다.

Fig. 2는 침지중 흡수로 인한 콩의 수분증가량(gH<sub>2</sub>O/g)과 침지시간(√min)과의 관계를 대표적으로 팥달에 대하여 도시한 것으로 다른 품종들도 이와같은 직선의 관계를 보여 주었다. 침지온도 4°C에서 60°C까지는

Table 1. Average values of water uptake rate constant of soybeans and weight increase ratio

	Soaking Temp.(°C)	Paldal	Danyeob	Jangbaek	Baegun	Jangyeob	Local 1	Local 2
Weight increase ratio(%)	20	137.2	129.5	145.3	131.2	140.3	143.8	156.3
	40	141.2	136.0	142.6	134.5	137.2	152.5	144.9
	60	125.9	119.6	125.8	119.9	121.0	136.5	133.6
	80	121.2	116.4	124.8	109.1	118.5	127.1	128.1
	98	119.9	114.4	122.3	108.5	118.1	124.0	124.4
Initial water uptake rate (gH <sub>2</sub> O/Hr)	4	0.278	0.275	0.318	0.273	0.318	0.285	0.383
	20	0.434	0.410	0.435	0.429	0.443	0.375	0.544
	40	0.709	0.668	0.752	0.663	0.675	0.651	0.877
	60	1.199	1.239	1.250	1.203	1.197	1.280	1.196
	80	1.222	1.188	1.244	1.070	1.140	1.226	1.205
Water uptake rate constant (gH <sub>2</sub> O/√min)	98	1.139	1.094	1.188	1.037	1.063	1.091	1.105
	4	0.048	0.046	0.053	0.047	0.047	0.056	0.052
	20	0.074	0.073	0.082	0.069	0.073	0.078	0.081
	40	0.090	0.094	0.101	0.091	0.093	0.109	0.068
	60	0.144	0.194	0.169	0.191	0.148	0.215	0.139
Volume increase rate constant (ml/√min)	4	0.057	0.055	0.065	0.057	0.056	0.062	0.056
	20	0.076	0.084	0.098	0.078	0.092	0.081	0.085
	40	0.091	0.091	0.095	0.095	0.095	0.119	0.094
60	0.156	0.197	0.206	0.197	0.156	0.196	0.194	

√침지시간과 직선적인 관계를 보였으며 온도가 상승되면서 기율이 높아짐을 알 수 있었다. 따라서, Fig. 2의 결과는 다음 식<sup>3)</sup>으로 표시할 수 있다.

$$\bar{m} - m_0 = K_0 \sqrt{t} \quad (6)$$

여기서  $\bar{m}$ 는 일정시간 침지후의 수분함량(gH<sub>2</sub>O/g),  $m_0$ 는 시료의 초기수분함량(gH<sub>2</sub>O/g),  $K_0$ 는 수분흡수속도상수(gH<sub>2</sub>O/√min),  $t$ 는 침지시간(min)이다.

각 품종별 수분흡수와 √침지시간과의 직선관계에서

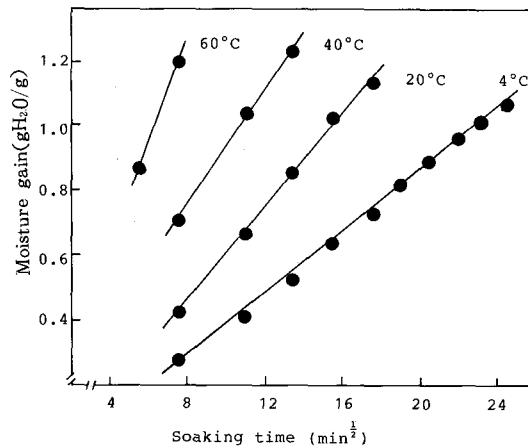


Fig. 2. Relationship between the moisture gain and the square root of the soaking time of Paldal

기율( $K_0$ )를 구한 결과(Table 1), Local 1은 침지온도 4° ~ 60°C의 범위에서 수분흡수속도상수가 다른 품종들보다 높았으며, Local 2는 40~60°C의 범위에서 가장 낮아 흡수속도가 낮음을 알 수 있었다. 그외의 품종중에서는 침지온도에 따라 차이는 있으나 높은 온도에서는 장백이 비교적 빨랐다. Hsu등<sup>4)</sup>은 콩의 흡수속도가 품종에 따라 큰 차이가 있으나 단백질 함량이나 밀도와는 상관관계가 거의 없었다고 하였고, 김등<sup>18)</sup>은 콩 3품종의 수화속도를 비교한 바 크기가 작은 품종의 흡수속도가 더 빠르다고 하였다. 그러나, 본 실험의 결과에서는 콩입자의 크기가 가장 큰 갈색아주까리콩(Local 2)이 수분흡수속도가 가장 느린 것은 이들 결과와 유사하나 그외의 품종중에서 콩입자가 비교적 큰 검정콩이 흡수속도가 빠른 것은, 수분흡수속도가 콩입자의 크기보다도 콩의 다른 물리화학적 성질에 의하여 영향을 받는다고 믿어진다.

수분흡수속도 및 수화도의 온도 의존성 비교

침지중 콩의 무게 변화에서 산출한 초기흡수속도의 결과를 1/절대온도과의 관계로 반대수좌표에 도시하였을 때 침지온도 4~60°C의 범위에서 직선 관계가 있었다. 그리하여 이 관계에서 수분흡수를 위한 활성화에너지를 계산한 결과는 Table 2와 같다. 계산된 활성화에너지의 범위는 3,246~4,694 cal/mole 이었으며, 단엽이 가장

Table 2. Activation energy of water uptake of soybeans calculated from weight gain and volume increase

	Paldal	Danyeob	Jangbaek	Baegun	Jangyeob	Local 1	Local 2
Ea* (cal/mole)	3,585	4,694	3,784	4,592	3,753	4,416	3,246
Ea** (cal/mole)	3,310	4,190	3,767	4,054	3,334	3,777	4,073

\*Calculated from initial water uptake rate

\*\*Calculated from volume change rate

높은 값을 보였고 Local 2가 가장 낮은 값을 보였다. Leopold<sup>14)</sup>는 콩의 경우 20~40°C에서의 흡수의 활성화에너지는 5,800 cal/mole이라고 하여 본 실험의 결과보다 높게 보고한 바 있다.

한편 침지과정 중 일정한 수분함량에(%)에 도달한 침지시간과 침지온도와의 관계는 Fig. 3과 같이 60°C에서 변곡점을 갖는 두개의 직선관계를 보였다. 일반적으로 60°C 이상에서는 매우 완만한 기울기를 나타내었으나 60°C 이하에서는 높은 기울기를 보여, 일정 수분 함량에 도달하는 시간이 침지온도에 의하여 높은 영향을 받음을 알 수 있다. 이러한 관계를 Quast와 da Silva<sup>13)</sup>가 제시한 관계식(5)으로 z 값을 계산한 결과는 Table 3과 같다. z 값은 30%와 50%의 수화도(%)에서 30%의 경우가 전반적으로 50%보다 낮았으며 이러한 경향은 침지중 무게의 증가나 부피의 증가, 모두 같은 경향이였다.

품종별로는 Local 2의 z 값이 가장 높았고 단엽, 백운, 팔달이 낮아 수화속도가 침지온도에 의하여 영향받는

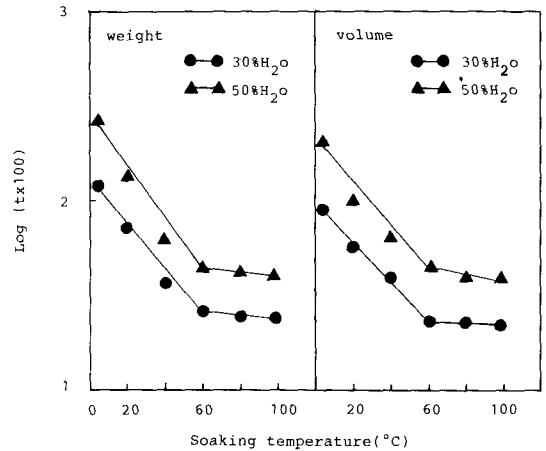


Fig. 3. Time to reach different degrees of hydration as a function of temperature for Paldal

정도에 많은 차이가 있었다. 조리에 적당하다고 생각되는 수분함량 50%에 도달하는<sup>13)</sup> z 값은 팔달, 단엽, 백운,

Table 3. Z-values of soybeans to reach different degrees of hydration calculated from weight gain and volume increase during soaking at 4-98°C

	Hydration (%H <sub>2</sub> O)	z-value*(°C)		z-value**(°C)	
		1st stage	2nd stage	1st stage	2nd stage
Paldal	30	85.0	1,288.1	94.5	2,910.2
	50	70.2	1,288.8	77.4	2,900.0
Danyeob	30	85.2	678.6	97.3	1,254.1
	50	71.9	677.6	72.6	1,250.0
Jangbaek	30	102.0	1,520.0	100.7	2,021.3
	50	80.6	1,776.0	76.5	2,010.6
Baegun	30	88.4	610.9	94.2	984.5
	50	73.2	611.9	76.8	981.9
Jangyeob	30	108.4	706.3	107.8	2,235.3
	50	79.9	706.3	83.2	2,222.2
Local 1	30	93.1	545.2	97.8	650.7
	50	74.7	544.4	81.0	650.7
Local 2	30	117.5	1,120.9	120.2	2,857.1
	50	89.6	1,013.3	114.1	2,858.1

\*Calculated from weight gain during soaking

\*\*Calculated from volume change during soaking

Local 1은 70.2-74.7°C 범위에 있어 김등<sup>20</sup>이 발표한 61.4°C 보다 본 실험의 결과가 높은 값을 보였다.

침지중 부피의 변화

시료콩의 침지온도, 시간에 따른 부피 증가율을 대표적으로 팥달로 도시하면 Fig. 1과 같다. 부피 증가율에서도 무게증가율과 비슷한 경향으로 60°C 이상에서는 평형에 도달한 부피가 40°C에서 보다 낮게 나타나 김등<sup>15)</sup>의 결과와 일치하였다.

콩의 부피 증가량과 침지시간의 평방근과의 관계는 수분증가량의 경우(Fig. 2)와 같이 직선적인 관계를 보여 다음 식<sup>19)</sup>으로 그 관계를 표시하였다.

V - V<sub>0</sub> = K<sub>v</sub> √t (7)

여기서 V는 일정시간 침지후 콩입자의 부피(ml), V<sub>0</sub>는 콩입자의 초기부피(ml), K<sub>v</sub>는 콩입자의 부피증가속도상수(ml/min<sup>-1/2</sup>), t는 침지시간(min)이다. 위의 식에서 계산한 품종 및 온도별 부피증가속도상수는 Table 1과 같다. 침지중 콩의 부피증가속도는 장백과 Local 1이 높았고, 팥달이 낮은 값을 보여 수분흡수속도의 결과(Table 1)와는 다소 차이가 있었다. 침지온도 4~60°C에서 부피증가속도상수가 수분흡수속도상수보다 다소 높은 값을 보였는데 이것은 김<sup>20)</sup>의 보고와 비슷한 경향이였다.

부피증가속도의 온도 의존성 비교

부피증가속도와 침지온도와의 관계를 반대수지에 표시하면 Fig. 3과 같은 직선 관계를 보였다. 이러한 직선

관계로부터 식 (4)를 이용하여 부피증가의 활성화에너지를 계산한 결과는 Table 2와 같다. 부피증가의 활성화에너지 값은 단엽이 4,190 cal/mole로서 가장 높았으며, 그 다음 Local 2-백운-Local 1-장백-장엽-팥달의 순으로 대체로 수분흡수속도의 활성화에너지와 비슷한 경향을 보여 주어 침지중 콩의 부피증가는 수분흡수와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며, 또한 본 실험에서 수분흡수속도의 활성화에너지가 부피증가의 활성화에너지보다 다소 높은 값을 보였다.

콩의 침지중 일정 부피의 증가 정도를 수분함량으로 표시하고 이에 도달하는 시간을 침지온도와의 관계로 도시하면 Fig. 3과 같다. 그 결과 부피증가량과 온도 관계는 60°C를 전후하여 두개의 직선 관계를 보였으며 60°C이상에서는 매우 완만한 기울기를 나타내었다. 식 (5)에서 두 기울기의 z 값을 계산한 값은 Table 3과 같고 전반적으로 30% 증가보다는 50% 증가에 도달하는 z 값이 낮았다. 또한 부피의 변화로부터 계산한 z 값이 무게의 변화로부터 계산한 z 값보다 다소 높아 침지하는 과정중 일정한 수화도에 도달하였을 때 부피의 변화가 무게의 변화보다 온도 의존성이 낮음을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 1988년도 농촌진흥청 연구비에 의해 이루어진 결과의 일부로서 심심한 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Yaklich, R. W., Vigil, E. L. and Wergin, W. P. : Crop Sci., 26 : 616(1986)
2. 김우정, 신애숙, 김종군, 양차범 : 한국식품과학회지, 17 : 41(1985)
3. 김종군, 김우정, 김성곤 : 한국식품과학회지, 20 : 256(1988)
4. Hsu, K. H., Kim, C. J. and Wilson, L. A. : Cereal Chem., 60 : 208(1983)
5. Kon, S. : J. Food Sci., 44 : 1329(1979)
6. Silva, C. A. B., Bates, R. P. and Deng, J. C. : J. Food Sci., 46 : 1716(1981)
7. Silva, C. A. B., Bates, R. P. and Deng, J. C. : J. Food Sci., 46 : 1721(1981)
8. Hamad, N. and Powers, J. J. : Food Technol., Apr : 216(1965)
9. Saio, K. : Cereal Foods World, 21 : 168(1976)
10. Smith, A. K., Nash, A. M. and Wilson, L. I. : J. Am. Oil Chem. Soc., 38 : 120(1961)
11. Parrish, D. J. and Leopold, A. C. : Plant Physio., 59 : 1111(1977)
12. Arecharaleta-Medina, F. and Snyder, H. E. : J. Am. Oil Chem. Soc., 58 : 976(1981)
13. Quast, D. G. and da Silva, S. D. : J. Food Sci., 42 : 1299(1977)
14. Leopold, A. C. : Plant Physio., 65 : 1096(1980)
15. 김종군, 김우정, 김성곤 : 한국식품과학회지, 21 : 289(1989)
16. Wang, H. L., Swain, E. W., Hesseltine, C. W. and Heath, H. D. : J. Food Sci., 44 : 1510(1979)
17. 이영현, 정해욱, 이종욱 : 한국식품과학회지, 19 : 492(1987)
18. 김동연, 서인숙, 이종욱 : 한국농화학회지, 31 : 46(1988)
19. 박선희, 조은자, 김성곤 : 한국영양식량학회지, 16 : 69(1987)
20. 김종군 : 우리나라 콩의 영양성분 및 조리특성, 단국대학교 박사학위논문(1986)

**Kinetic Study of Hydrations and Volume Changes of Soybeans during Soaking**

Dong-Hee Kim, Cho-Ae Yum and Woo-Jung Kim\*(Department of Food Science and Nutrition, Sook Myung Women's University, Seoul and \*Department of Food Science, King Sejong University, Seoul)

**Abstract** : Seven varieties of soybeans(Paldal, Danyeob, Jangbaek, Baegun, Jangyeob and 2 cultivars of Local 1 and Local 2) were investigated to compare the water uptake properties and volume changes during soaking in water. The hydration properties showed that the equilibrated weight increase ratio decreased as the soaking temperature raised to higher than 40 °C, while the initial water uptake rate increased upto 80 °C. The increase in hydration showed a linear relationship with the square root of the soaking time at 4°~60 °C. Local 1 was the highest in water uptake rate constant while Local 2 was the lowest. The activation energy calculated was in the range of 3,246~4,694 cal/mole. The Jangbaek and Local 1 were the highest and the Paldal was the lowest in the rate of volume increase. The activation energy for volume increase was in the range of 3,310 ~4,190 cal/mole. The z-values calculated from volume change was a little higher than those obtained from weight change.