

## 대두의 침지중 고형물의 용출속도에 미치는 침지온도의 영향

이영현 · 이종욱 · 조상준\*

전남대학교 농과대학 식품공학과, \*조선대학교 병설 공업전문대학

# Temperature Dependence of Leaching Rate of Soluble Solids during Soaking of Soybeans

Yung-Heon Lee, Chong-Ouk Rhee and Sang-June Joe\*

Department of Food Science and Technology, Chon-nam National University, Kwang-ju

\* Technical Junior College of Chosun University, Kwang-ju

### Abstract

Soaking of soybeans is usually considered necessary as a part of further processing. However the soaking process causes the loss of soluble solids from soybean. The temperature effect on the leaching rate of soluble solids during soaking of soybeans were determined at temperatures ranging from 10°-50°C. Soaking temperature and time were found to greatly influence the content of soluble solids. Solid leaching rate constant was increased with temperature ranging from 10 - 33 mg/min. Overall mass transfer coefficient of 66.7 mg/m<sup>2</sup>·h at 20°C for Saeal variety was higher as compared with other variety (Kwanggyo, Tanyob), and activation energy was found to be 4026 cal/mole. Z-values to reach different degree of leaching showed the descending tendency with increase of solid leaching.

### 서 론

대두는 중요한 단백질원으로서 우리 나라에서는 옛 부터 대두의 조리 및 가공 기술이 발달되어 대두식품 을 애용하여 왔으며 수확 후 건조된 상태로 저장하였 다가 침지 및 가열과정을 거쳐 가공하는 것이 일반적 이다. 장류(간장, 된장, 고추장)는 6~12시간, 템페 (temph)는 3시간, 낫또(natto)는 12시간, 두부는 4~13시간 정도 침지하는 것이 보통이다.<sup>(1)</sup> 위와 같은 침지는 조직을 연하게 하여, 조리시간을 단축시키는 효과<sup>(2,3)</sup>가 있으나 수용성 영양소의 손실이 따르는 문제 가 있다.

대두의 침지과정중 성분변화에 관해서 Wang 등<sup>(4)</sup>은 대두 100g 를 20°C 에서 24시간 침지시 약 5g 의 고형물 이 용출된다고 하였으며, Akpapunam<sup>(5)</sup>는 lima 콩을 28°C 에서 12시간 침지시 HCN 는 약 70%가 감소한다 하였으며, Hugo<sup>6</sup> 등은 실온에서 12시간 침지후 당이 약 50%정도 감소한다 하였고, Kon 등<sup>(7)</sup>은 총고형물이 추출되는 정도에 따라서 총당, N-Compound, P, Ca, Mg 등은 고형물 중에 증가한다는 보고가 있다. Omosaiye<sup>(8)</sup> 등은 침지전 열처리 한후 고형물 용출에 대 해서, Wu 등<sup>(9)</sup>은 고형물 용출에 있어서 두류와 침지액

의 비율에 대해서, 김<sup>(10)</sup>, Hsu<sup>(11)</sup>, Williams<sup>(12)</sup> 등은 두류 의 흡수속도에 미치는 영향인자에 대하여, 기<sup>(13)</sup>, Rockland<sup>(14)</sup> 등은 두류의 quick cooking 방법에 대해 서, Quast<sup>(15)</sup> 등은 흡수속도와 침지온도와의 관계를 Z 값으로, Leopold<sup>16</sup>는 흡수초기의 수분함량의 증가를 Arrhenius plot로, Hsu<sup>(17)</sup>는 대두의 침지중 수분의 확 산계수를 온도와의 관계로 설명하였다.

최근 새로운 대두품종이 육종보급되고 있으나 침지 과정에 관한 기초자료가 거의 없어 전남지역의 장려품 종인 새알과 지금까지 널리 재배 되어온 광고와 단엽 을 실험재료로 하여 그들의 침지과정중 고형물의 용출 에 따르는 침지온도의 영향을 서로 비교 검토하였다.

### 재료 및 방법

#### 실험재료

본 실험에 사용한 시료는 1985년도에 수확한 대두품 종인 새알(장려품종), 광고 그리고 단엽이며, 전라남 도 농촌진흥청 평동시험포장에서 분양받았다. 손상된 대두와 찢질이 이상이 있는 것은 골라 내고 5°C 이하 에서 저장하여 시료로 사용하였다.

#### 침지액중의 고형물함량 정량

대두 20g 을 증류수로 씻어내고 비이커에 넣은 다음 증류수 100ml 을 가한후 10°C 와 50°C 의 범위에서 24시간 동안 침지하였다. 침지하는 동안 일정 시간 간격으로 침지한 대두를 꺼내고 침지액 중의 용출된 수용성 고형물은 105°C 에서 건조하여 정량하였다.

고형물 용출속도의 분석

비이커속의 증류수(용매, V ml)에 대두가 잃은 고형물(dM)은 침지액에 용출된 양(dC)과 같다. 즉,

$$dM = V \cdot dC \dots\dots\dots(1)$$

한편, 물질이동속도( $\frac{dM}{d\theta}$ )는 고-액간에 농도차가 크면 커지고, 액체와 접촉하는 표면적(A)에 비례하며 침지액과 대두표면사이에 가상적인 경막의 두께(b)에 반비례하는 등의 용출에 영향을 줄 수 있는 요인이 있다. 이상의 사실을 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{dM}{d\theta} = \frac{K' A (C_s - C)}{b} \dots\dots\dots(2)$$

식(2)에서 K'는 가용성 고형물의 확산계수, C는 대두 침지액 중의 고형물의 농도, C<sub>s</sub>는 대두의 가용성 고형물이 침지액에 최대한으로 용출될 수 있는 포화농도이다.

대두의 표면적(A)는 다음 식과 같이 계산된다. 즉, 대두입자를 타원체로 가정하고, 그의 장반경을 X, 단반경을 Y 라 하면 표면적은 식(3)으로 표시된다.<sup>(18)</sup>

$$A = 2\pi Y^2 + 2\pi(XY/e) \sin^{-1} \dots\dots\dots(3)$$

(여기서  $e = \sqrt{\frac{X^2 - Y^2}{X}}$ )

식(1)과 (2)로부터, 회분식 추출에서 이용되는 추출방정식은 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{dC}{d\theta} = \frac{K' A}{Vb} (C_s - C) \dots\dots\dots(4)$$

순수한 증류수를 사용한 경우는

$$C = C_s [1 - e^{-(K' A/Vb)\theta}] \dots\dots\dots(5)$$

위 식은 회분식 고-액추출 과정에서 입자의 크기, 침지액의 양 등을 알때 침지시간  $\theta$ 가 경과했을 때의 용출액의 농도를 산출하는데 이용할 수 있다. 또한 반대수지(semi-log)에 도시하면 직선을 나타내며 그 기울기로 부터 K'를 구할 수 있는데 실제로 b를 측정하기 곤란하므로 K'를 아는 것은 간단치 않다. 따라서  $K'/b = K_L$  이라고 놓으면 b를 몰라도 기울기로 부터 총괄물질이동계수(K<sub>L</sub>, 단위, mg/m<sup>2</sup>·h)를 구할 수 있다.<sup>(19)</sup>

고형물 용출의 온도의존성

고형물 용출은 침지온도에 영향을 받게 되므로 용출 속도상수와 침지온도의 관계는 Arrhenius 식으로 계산할 수 있다.

$$\ln K = -\frac{E_a}{RT} + \ln A \dots\dots\dots(6)$$

여기서 K는 고형물용출속도상수(mg/min), E<sub>a</sub>는 활성화에너지(cal/mole), R은 기체상수(1,987cal/k.mole), T는 침지온도(K), A는 상수이다. 한편, 일정량의 고형물이 용출될 때까지의 침지온도 의존성은 다음 식으로 계산된다.

$$Z = \frac{T_2 - T_1}{\log(t_2/t_1)} \dots\dots\dots(7)$$

여기서 t<sub>1</sub>은 침지온도 T<sub>1</sub>에서 일정량의 고형물 용출에 도달하는 시간, t<sub>2</sub>는 침지온도 T<sub>2</sub>에서 일정량의 고형물 용출에 도달하는 시간이다.

결과 및 고찰

침지액 중의 고형물 용출양상

대두종자인 새알, 광교, 단엽의 침지중 시간에 따른 고형물 용출량은 Fig. 1, 2, 3과 같다. 새알과 광교는 거의 비슷한 양상을 보이나 단엽은 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 침지시간이 길어지고 온도가 높아질

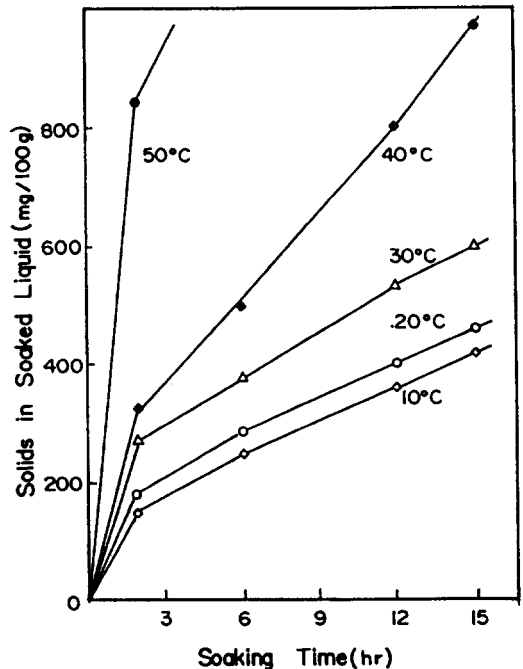


Fig. 1. Changes of solids in soaked liquid during soaking of Saenal at various temperatures

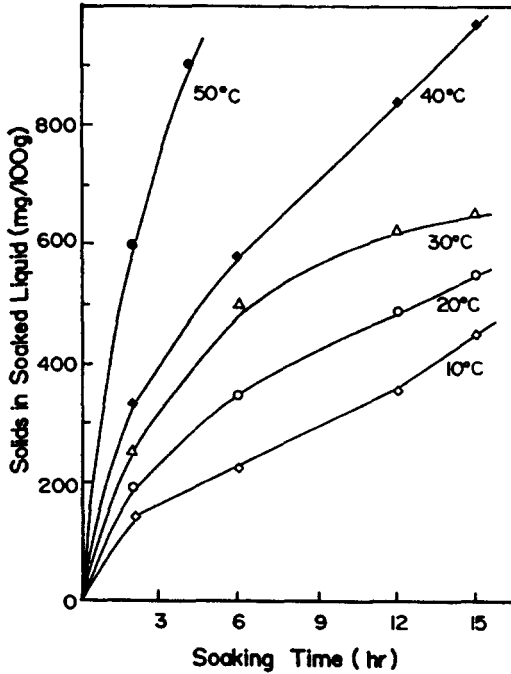


Fig. 2. Changes of solids in soaked liquid during soaking of Kwanggyo at various temperatures

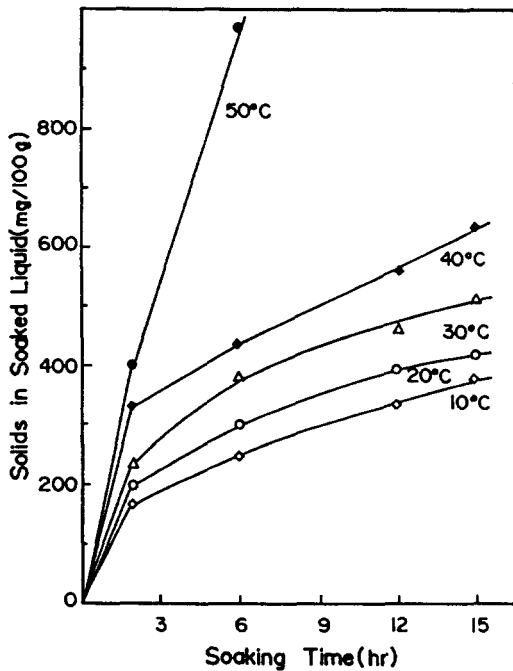


Fig. 3. Changes of solids in soaked liquid during soaking of Tanyob at various temperatures

수록 고형물 용출량은 많아지는 경향이어서 온도와 침지시간에 높은 의존성을 나타내었다.

새알과 광교는 30°C까지는 거의 직선적으로 증가하나 40°C와 50°C에서는 급격한 변화를 보이며 단엽은 40°C까지 직선적으로 증가하나 50°C에서 급격한 변화를 보이고 있다. 이런 현상은 고온에서의 침지중 수용성 물질의 손실이 크기 때문에 기인한 것이다. Wang<sup>(4)</sup> 등은 20°C~37°C에서 100g의 대두를 침지한 결과 고형물의 손실량은 처음 2시간 동안에는 0.7~1.25% 정도이나 24시간 후에는 5~10.4%에 이르러 있는데, 고형물의 용출속도는 침지 12시간까지는 거의 직선적인 관계를 보인다고 하였다. Quast 등<sup>(5)</sup>은 물 100ml에다 두류 20g을 상온에서 15시간정도 침지했을 때 침지액으로 용출되는 고형물 함량은 두류 100g으로 환산했을 때 완두콩은 5.5g, 대두는 4.5g, 검정콩은 4.2g, 갈색콩은 3.1g씩 용출되었다고 보고하였다.

본 실험에서 20°C에서 24시간 침지했을 때 광교는 0.7g, 새알은 0.6g, 단엽은 0.4g이었다. 또한 50°C에서 24시간 침지했을 때 광교는 12.7g, 새알은 15g, 단엽은 10.2g이었다. Quast와 Wang 등의 결과와 비교하면 큰 차이가 있음을 알 수 있는데 이러한 차이는 저장조건<sup>(20)</sup>, 저장기간, 품종간 성분차이, 껍질의 두께차이에 기인된 것이라 생각되며, Jackson<sup>(21)</sup> 등은 저장기간이 긴 두류는 저장기간이 짧은 것보다 고형물이 많이 용출되었다고 보고 하였다. 본 실험에 사용한 대두는 수확한 직후에 건조하여 5°C 이하에서 저장하여 짧은 기간내에 시료로 사용했기 때문에 대체로 고형물 용출량이 적은 것으로 생각된다.

고형물 용출속도

대두(새알)의 침지중 용출된 고형물 증가량과 침지시간과의 관계를 보면 Fig.4와 같이 침지시간의 평방근과 고형물 증가량은 침지온도에 상관없이 직선적인 관계를 보였다. 따라서 Fig.4의 결과는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$C = k \cdot \sqrt{t} \dots\dots\dots(8)$$

여기서 C는 일정시간 침지후 증류수에 용출된 고형물함량, t는 침지시간이다.

대두를 침지하는 동안 고형물의 이동이 Fick의 확산 법칙에 따른다면 대두의 초기 고형물 증가는 식(8)에 의하여 침지시간의 평방근에 비례하게 된다. 따라서 Fig.4의 결과는 대두의 고형물용출의 기본기작은 확산 현상에 의해 설명됨을 가르킨다. 따라서 Fig.4의 각 직

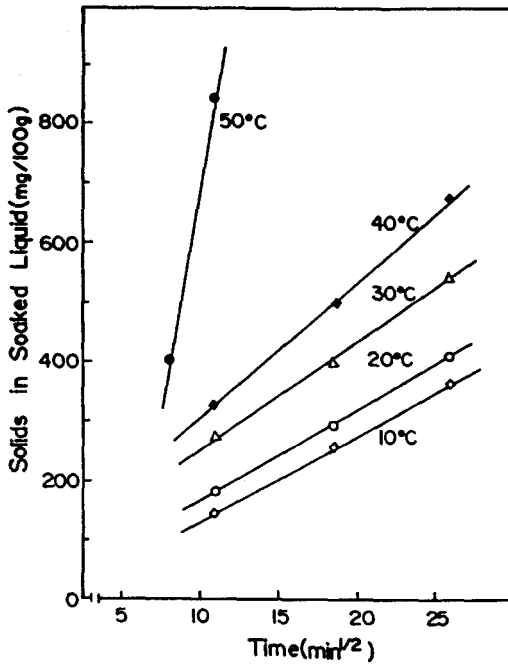


Fig. 4. Relation between solids in soaked liquid and square root of the soaking time of Saeal

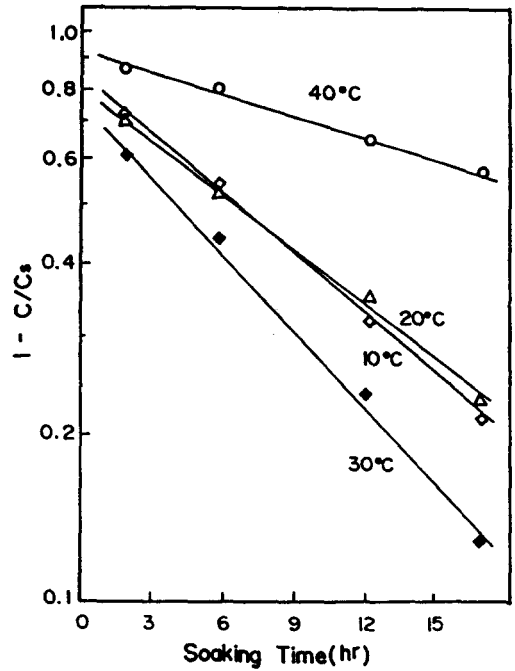


Fig. 5. Relation between the soaking time and the increase of soluble solids in soaked liquid of Saeal at various temperatures

선으로 부터 기울기(고형물용출속도상수)를 구한 결과는 Table 1과 같다. 즉, 20°C에서 고형물용출속도상수는 새알은 15.3, 광교는 19.3, 단엽은 13.3mg/min으로 Fig.1, 2, 3에서 본바와 같이 40°C까지는 고형물용출량이 많은 광교가 역시 고형물용출속도상수가 높았다. 50°C에서는 새알이 140.1, 광교는 84.1, 단엽은 62.3 mg/min으로서 새알이 다른 품종보다 고형물의 용출량이 많다는 것을 알 수 있다.

대두를 침지하는 동안 대두로 부터 침지액으로 용출되는 고형물의 물질이동 현상을 알아보기 위하여 각각의 침지온도에서 1-C/Cs와 침지시간과의 관계를 반대수지(semi-log)에 표시하여 보면 Fig.5로 나타낼 수

있다. 여기서 각 침지온도에서 24시간 후에 용출된 고형물함량을 포화농도(Cs)로 하여 식(5)를 사용하여 K<sub>L</sub>(총괄물질이동계수, mg/m<sup>2</sup>·h) 값을 구한 결과는 Table 2에 있다. 20°C에서 K<sub>L</sub>값은 새알이 67.7, 광교는 63.0, 단엽은 44.9mg/m<sup>2</sup>·h이었으며 40°C에서는 새알이 43.0, 광교는 49.2, 단엽은 30.2mg/m<sup>2</sup>·h이었다. 전체적으로 보면 실온부근(10°~30°C)에서는 크기가 큰 새알의 총괄물질이동계수값이 크기가 작은 품종에 비해 그값이 큼을 알 수 있다.

고형물용출속도상수의 온도의존성

Table 1의 고형물용출속도와 침지온도와의 관계를

Table 1. Average values of solid leaching rate constant of soybeans

Soaking temp. (°C)	Solid leaching rate constant (mg/min)		
	Saeal	Kwanggyo	Tanyob
10	13.9	14.0	10.7
20	15.3	19.3	13.3
30	17.3	24.6	16.5
40	25.7	33.3	17.4
50	140.1	84.1	62.3

Table 2. Average values of overall mass transfer coefficient of soybeans

Soaking temp. (°C)	Overall mass transfer coefficient		
	Saeal	Kwanggyo	Tanyob
10	68.8	64.3	63.0
20	67.7	63.0	44.9
30	65.4	62.5	44.0
40	43.0	49.2	30.2

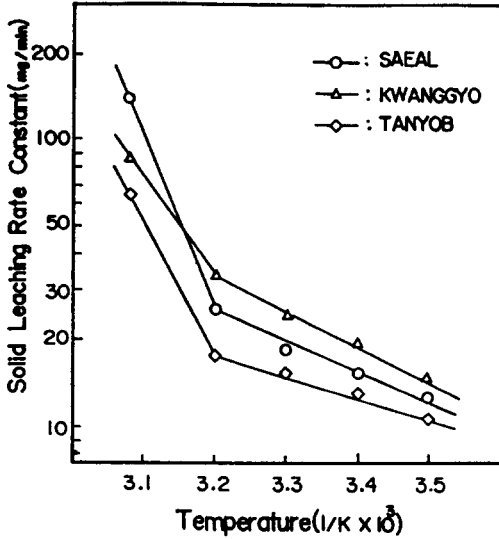


Fig. 6. Arrhenius plots of solid leaching rate constants of soybeans calculated from solid content changes

보면 Fig. 6과 같이 40°C을 전후하여 대체로 기울기가 다른 두개의 직선관계를 보이고 있음을 알 수 있다. Fig. 6의 결과로부터 식 (6)을 이용하여 대두의 침지중 고형물용출의 활성화에너지값을 계산한 결과는 Table 3과 같다. 10° ~ 40°C에서의 활성화에너지 값은 평균이 5647.8 cal/mole로 가장 높은 값을 보이고 있으나 40° ~ 50°C에서는 새알이 26947.5 cal/mole로 가장 높은 값을 나타냈다. 고형물용출량이 가장 적은 단엽은 10° ~ 40°C에서는 3360, 50°C에서는 20189.6 cal/mole을 나타냈다. Leopold<sup>(10)</sup>는 20° ~ 40°C의 수분흡수의 활성화에너지값이 5800 cal/mole이라고 보고했는데 Table 3의 결과와 비교하여 볼 때 흥미롭다.

고형물용출량의 온도의존성

대두의 침지시 일정량만큼의 고형물용출에 도달하는 시간과 침지온도의 관계를 보면 Fig. 7과 같다. 침지 온도 10° ~ 50°C에서 침지시간의 대수값과 침지온도와는 직선적인 관계를 보였다. Fig. 7로부터 식 (7)을 사

Table 3. Activation energy of solid leaching of soybeans

Soybeans	Soaking temp.	
	10° - 40°C	40° - 50°C
Saeal	4026.0 cal/mole	26947.5 cal/mole
Kwanggyo	5647.8 cal/mole	10045.4 cal/mole
Tanyob	3360.0 cal/mole	20189.6 cal/mole

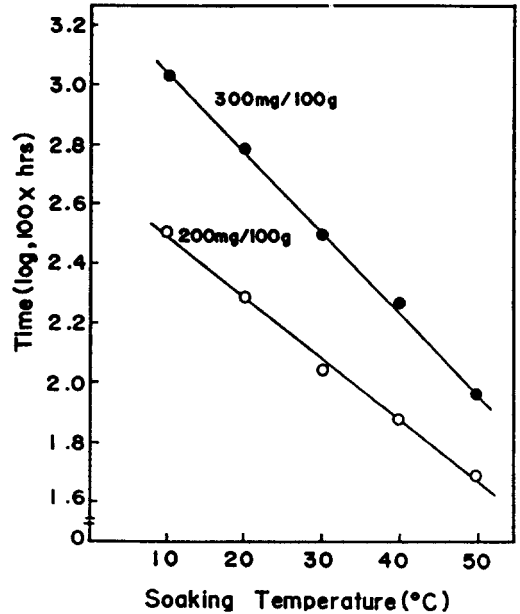


Fig. 7. Time to reach different degrees of solid leaching as a function of temperature for Saeal calculated from solid changes

용하여 Z 값(직선의 기울기)을 구한 결과는 Table 4와 같다. 대두 100g 중 200mg이 용출될 때의 Z 값을 비교하면 평균이 46.5, 새알이 51.3, 단엽은 68.0°C이었으며 300mg일 때는 평균은 39.6, 새알은 37.0, 단엽은 48.7°C로써 용출량이 많아지면서 Z 값은 낮아지는 경향을 보이고 있다.

위의 결과로써 Z 값은 일정한 고형물용출에 도달하는 침지시간을 1/10로 단축시키는데 요하는 온도를 나타내므로 침지온도를 0°C에서 40° ~ 50°C로 증가시키면 300mg의 고형물용출에 도달하는 시간이 1/10로 감소됨을 알 수 있다. 한편, Quast 등<sup>(15)</sup>은 검정콩과 갈색콩을 시료로 하여 수확속도를 Z 값으로 나타내었을 때 그 값은 대체로 50°C라고 보고하였는데 본 실험의 용출 속도의 Z 값과 거의 일치하였다.

Table 4. Z-values of soybeans to reach different degrees of leaching during soaking at 10° - 50°C

Soybeans	Degree of leaching	
	200 mg/100g	300mg/100g
Saeal	51.3°C	37.0°C
Kwanggyo	46.5°C	39.6°C
Tanyob	68.0°C	48.7°C

## 요 약

새알, 광고, 단엽의 3가지 대두품종을 시료로 하여 그들의 침지과정중 고형물의 용출에 따르는 침지온도의 영향을 비교 검토하였다. 고형물용출량은 침지온도와 침지시간에 높은 의존성을 나타내었으며  $C=k \cdot \sqrt{t}$ 의 관계식으로 부터 고형물용출속도상수값을 구한 결과 10~33mg/min의 범위에서 대체로 온도가 높아지면 용출속도가 커짐을 알 수 있었다. 이 때의 총괄물질이동계수값은 새알의 경우 실온에서 67.7mg/m<sup>2</sup>·h으로 다른 품종에 비해 그 값이 높았으며 활성화에너지는 4026cal/mole이었다. 일정량의 고형물이 용출될 때까지의 Z 값을 비교해 보면 용출량이 많아지면서 Z 값은 낮아지는 경향을 보이고 있다.

## 문 헌

1. 김길환 : 콩, 두부와 콩나물의 과학, 한국과학기술원, p. 18(1982)
2. Sefa-Dedeh, S., Stanley, D.W. and Voisey, P.W.: *J. Food Sci.*, **43**, 1832 (1978)
3. Silva, C.A.B., Bates, R.P. and Deng, J.C.: *J. Food Sci.*, **46**, 716 (1981)
4. Wang, H.L., Swain, E.W., Hessltine, C.W. and Heath, H.D.: *J. Food Sci.*, **44**, 1510 (1979)
5. Akapapunam, M.A.: *J. Food Sci.*, **50**, 1191 (1985)
6. Hugo, C.S. and Gilberto, L.B.: *J. Food Sci.*, **47**, 792 (1983)
7. Kon, S.: *J. Food Sci.*, **44**, 1329 (1979)
8. Omosaiye, O., Cheryam, M. and Matta, M.E.: *J. Food Sci.*, **43**, 354 (1978)
9. Wu, L.C. and Bates, R.P.: *J. Food Sci.*, **37**, 40 (1972)
10. 김우정, 신애숙, 김종근, 양차범 : 한국식품과학회지, **17**, 41(1985)
11. Hsu, K.H., Kim, C.J. and Wilson, L.A.: *Cereal Chem.*, **60**, 208 (1983)
12. Williams, P.C., Nakoul, H. and Singh, K.B.: *J. Sci. Food Agric.*, **24**, 492 (1983)
13. 이영춘, 신동빈, 신동화 : 한국식품과학회지, **15**, 41 (1983)
14. Rockland, L.B., Zaragosa, E.M. and Oracca-Tetteh, R.: *J. Food Sci.*, **44**, 1004 (1979)
15. Quast, D.C. and da Silva, S.D.: *J. Food Sci.*, **42**, 1299 (1977)
16. Leopold, A.C.: *Plant Physiol.*, **65**, 1096 (1980)
17. Hsu, K.H.: *J. Food Sci.*, **48**, 1364 (1983)
18. Beyer, W.H.: CRS Standard Mathematical Table, CRS press, West Palm Beach (1978)
19. 전재근 : 식품공학, p. 186-199, 개문사(1985) (1985)
20. Burr, H.K., Kon, S. and Morris, H.J.: *J. Food Sci. & Tech.*, **22**, 336 (1968)
21. Jackson, G.M. and Varriano-Marston, E.: *J. Food Sci.*, **46**, 799 (1981)

(1986년 9월 20일 접수)