

## 고구마 조직의 가열변화에 대한 반응속도론적 상수 결정

이정주 · 임종환  
목포대학교 식품공학과

### Determination of Kinetic Parameters for Texture Changes of Sweet Potatoes during Heating

Jung Ju Lee and Jong Whan Rhim  
Department of Food Engineering, Mokpo National University

Kinetic parameters for the texture degradation of three varieties of sweet potato during heating were determined using two alternative methods, the biphasic model and the fractional conversion method. The texture degradation of sweet potatoes during heating could be expressed by two simultaneous first order reactions using the biphasic method, whose activation energies were ranged 71.0~75.1 kJ/mol and 48.4~59.6 kJ/mol for the initial fast texture degradation reaction and the slow texture degradation reaction at a prolonged heating period, respectively. However, the whole texture degradation phenomena of sweet potatoes during heating could also be explained by a single first order reaction using the fractional conversion method. The activation energies were 67.5~75.3 kJ/mol, which were comparable with those of the first phase reaction for the texture degradation determined by the biphasic model. A kinetic compensation effect shown between the kinetic parameters determined by both methods indicates that both methods can be conveniently used to determine kinetic parameters for the texture degradation of sweet potatoes by heating.

**Key words :** sweet potato, texture degradation kinetics, the biphasic model, the fractional conversion method

### 서 론

식품가공의 한 방법으로서 또는 식품의 저장성을 연장시키기 위한 수단으로 열처리 방법이 널리 사용되고 있다. 식품은 가열에 의해 미생물이나 효소를 파괴하여 저장성을 연장시킬 수 있으나 동시에 식품의 영양성분이나, 조직감, 색깔 및 풍미 등이 파괴되어 식품의 품질 저하를 초래할 수 있다. 따라서 최적의 품질을 갖는 식품을 생산하기 위해서는 가열공정의 최적화가 이루어져야 하는데, 이를 위해서는 이들 식품의 품질인자들이 가열온도나 시간에 대해 어떻게 영향을 받는지 알아야 한다<sup>(1-3)</sup>. 가열에 의한 미생물의 사멸이나 영양성분의 파괴 등에 대한 반응속도론적연구는 많이 이루어졌으나 식품 품질의 주요지표 중의 하나인 조직감에 대해서는 상대적으로 적은 수의 연구가 이루어졌다<sup>(4,5)</sup>. 특히 과일이나 채소의 경우는 조직감의 저하가 가열가공 시의 주요한 품질저하의 요인으로 지적되고 있어 최적의 가공조건을

결정하기 위해서는 가열 중 조직변화에 대한 반응속도론적인 연구가 필수적이다. 그런데 대부분의 식품은 다양한 성분으로 구성되어 있어 가열에 의해 발생하는 모든 변화를 정량적으로 측정하거나 이를 사용하여 조직감의 변화를 설명하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 식품조직의 변화는 Texturometer나 Instron, Rheometer 등의 기계를 이용하여 shear test나 puncture test 또는 compression test와 같은 물리적인 방법<sup>(6,9)</sup>을 사용하거나 관능검사<sup>(9-11)</sup>를 이용하여 조사하고 있다. 식품의 조직변화는 복잡한 화학반응에 기인하며, 그 원인에 대해서는 아직 확실히 밝혀져 있지 않을 뿐만 아니라 이들 화학변화를 물리적인 방법으로 측정한 값들과 관련하여 정량적으로 표시하는 것도 거의 불가능하다. 그럼에도 불구하고 가열 중 식품의 조직변화를 물리적인 방법으로 측정된 데이터는 일반적인 chemical kinetics의 model을 사용하여 해석이 가능하므로 겉보기반응속도상수(apparent reaction rate constant)를 사용하여 분석하는 것이 일반적이다<sup>(12)</sup>.

식물조직의 가열변화에 대한 반응속도론적 상수들을 결정하기 위하여 여러 가지 방법이 개발되어 사용되고 있다. 일부 연구자들<sup>(4,7,13-15)</sup>은 가열 중 식물조직의 연화현상을 설명하기 위하여 단순한 일차반응식을 사용하였다. Huang과 Bourne<sup>(5)</sup>은 과채류의 가열 중의 조직변화는 초기에는 단순 일차반응식을 따라 진행되다가 어느 시간 이상 가열하게 되면 초기의 변화

Corresponding author : Jong Whan Rhim, Department of Food Engineering, Mokpo National University, 61 Dorimri, Chungkye, Muan, Chonnam 534-729, Korea  
Tel : 82-61-450-2423  
Fax : 82-61-454-1521  
E-mail : jwrhim@chungkye.mokpo.ac.kr

속도와는 다른 속도로 조직의 변화가 진행되는 biphasic kinetic model을 제안하였다. 이들에 의하면 가열 중 식물조직의 변화는 두 개의 일차반응이 차례로 일어나는데, 첫 번째 반응은 빠르게 진행하여 대부분의 조직변화를 초래하고, 두 번째 반응은 속도도 느리며 상대적으로 적은 조직의 변화를 초래한다. 이러한 원인에 대해서는 아직 밝혀진 바 없으나 가열에 의한 식물조직의 변화를 설명하는데 널리 사용되고 있다<sup>(6,8,9)</sup>. 최근에 Rizvi와 Tong<sup>(16)</sup>은 화학공학분야에서 널리 사용되고 있는 fractional conversion method를 사용하여 채소조직의 가열 변화에 대한 kinetic parameters를 단 하나의 일차반응식을 사용하여 보다 정확하게 결정할 수 있음을 보였다.

반면에 고구마는 품종에 따라 독특한 특성을 가지며 일반적으로 가열후의 조직특성에 따라 분질고구마와 점질고구마로 나누어진다<sup>(17,18)</sup>. 현재 국내에서 재배되고 있는 분질고구마의 품종으로는 울미, 건미 등이 있고, 점질고구마의 품종으로는 진미, 황미 등이 있다. 이외에 특이한 고구마의 품종으로서 최근에 개발된 자미가 있는데, 이는 표피뿐만 아니라 육질까지 짙은 자색을 띠고 있는 anthocyanin계의 천연식용색소원으로 이용가능성이 높은 품종이다<sup>(19,20)</sup>. 이들 고구마의 품종에 따른 가공적성 및 최적조건을 결정하기 위해서는 가열에 의한 조직변화의 kinetic parameters를 결정하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 고구마의 품종에 따른 고구마조직의 가열에 의한 변화를 비교하기 위하여 분질고구마인 건미와 점질고구마인 진미 및 유색고구마인 자미를 사용하여 고구마의 가열에 따른 경도 변화를 조사하고, 이로부터 가열에 의한 고구마 조직변화의 반응속도론적상수를 결정하기 위하여 biphasic kinetic model과 fractional conversion method를 사용하여 가열에 의한 고구마의 조직변화에 대한 반응속도론적 상수(활성화에너지 및 지수값인자)를 결정하여 비교 검토하였다.

### 재료 및 방법

#### 재료

시료 고구마는 전남 무안 지역에서 1999년에 생산된 분질고구마인 건미와 점질고구마인 진미 및 유색고구마인 자미의 3품종을 사용하였다.

#### 고구마의 일반성분

고구마 시료의 수분, 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분 등의 일반성분을 A.O.A.C.법<sup>(21)</sup>에 따라 조사하였다.

#### 시료준비

무게를 측정하여 100-150 g의 크기가 비슷한 고구마를 선정하여 사용하였는데, 고구마의 중심부분에서 내경이 2 cm인

cork borer를 사용하여 가로방향으로 원통형태의 시료를 채취하고 길이가 1.5 cm가 되도록 양끝을 절단하여 원통형태의 시료를 마련하였다<sup>(22)</sup>.

#### 가열처리

시료를 stainless steel제 금속망에 넣어 silicone oil(KFC-96, Shin-Etsu Chem. Co., Ltd., Japan)을 사용하여 일정한 온도로 조질된 oil bath(HB-206, Hanback, Korea) 내에서 일정시간 가열하였다. 본 연구에서 사용한 가열방법은 시료인 고구마와 가열매체인 oil이 직접 접촉하기는 하나 silicone oil은 고구마에 흡수되지 않으므로 frying 현상은 일어나지 않고 가열만 이루어진다. 가열처리온도는 80, 90, 100 및 110°C를 사용하였으며, 처리시간은 각각의 온도에서 광범위한 조직의 변화를 관찰할 수 있도록 조절하였다. 즉, 80°C에서는 0~90분, 90°C에서는 0~60분, 100°C에서는 0~40분, 그리고 110°C에서는 0~30분 범위로 가열하였다. 가열이 끝난 후에는 즉시 흐르는 물로 냉각한 후 여과지를 사용하여 표면수를 제거한 다음 압축강도 측정용 시료로 사용하였다.

#### 압축강도 측정

가열 처리된 고구마 시료의 압축강도를 Instron Universal Testing Machine(Model 4465, Instron Corp., Canton, USA)을 사용하여 측정하였다. 압축강도의 측정을 위해 500 N의 load cell을 사용하였고, cross-head의 속도는 50 mm/min로 하여 원래 시료 길이의 25% 까지 압축하였다<sup>(8)</sup>. 시료가 완전히 파괴될 때 나타내는 최대압축강도를 각 시료의 조직강도(hardness)로 나타내고, 각 처리구별로 10개의 시료를 사용하여 그 평균값을 사용하였다.

### 결과 및 고찰

#### 품종별 고구마의 일반성분

고구마의 품종별 일반성분은 Table 1과 같았다. 수분함량은 자색고구마인 자미가 80.95%로 가장 높았으며, 점질고구마인 진미는 77.37%, 분질고구마인 건미는 68.79%이었다. 점질고구마가 분질고구마보다 수분함량이 높았으며, 이는 신과 안<sup>(18)</sup>의 연구에서도 밝혀진 바와 같다. 조단백질 함량과 조지방 함량은 자미가 건미나 진미에 비해 다소 높은 값을 나타냈다. 조섬유 함량은 점질고구마인 진미가 2.93%로서 다른 품종에 비해서 높았으며, 조회분 함량은 진미와 자미가 각각 0.60%, 0.79%이고, 진미는 0.10%로서 점질고구마가 다른 품종의 고구마에 비해 낮았다.

#### 가열에 의한 경도의 변화

건미, 진미, 자미의 세 품종의 고구마를 80, 90, 100, 110°C

Table 1. Proximate analysis of sweet potatoes

Sweet Potatoes	Moisture(%)	Crude Protein(%)	Crude Lipid(%)	Ash(%)	Carbohydrate <sup>1)</sup> (%)
Gunmi	68.79	2.02	0.16	0.10	28.93
Jinmi	77.37	1.74	0.13	0.60	20.16
Jami	80.95	1.95	0.46	0.79	15.85

<sup>1)</sup>By subtracting moisture, protein, lipid and ash contents from the total.

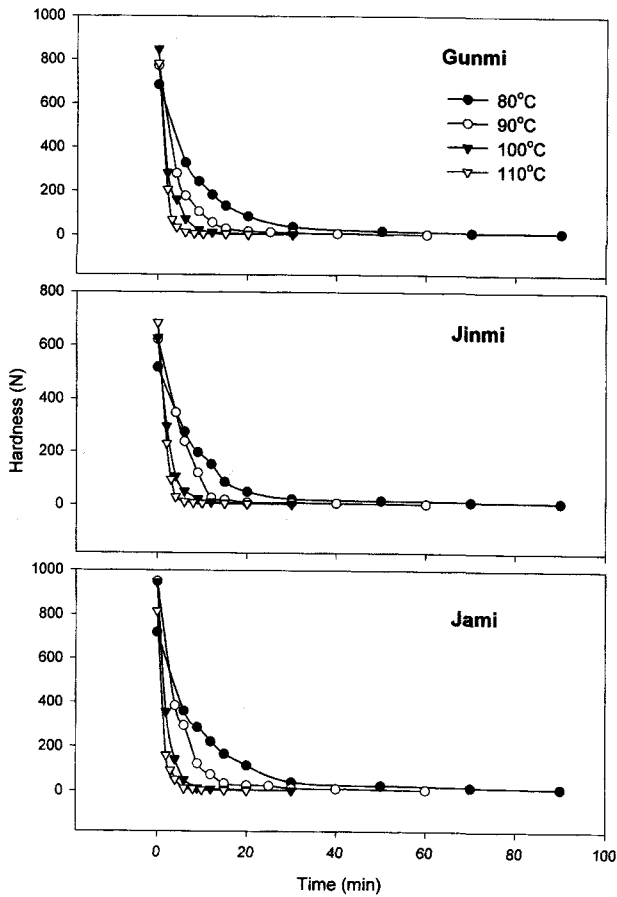


Fig. 1. Changes in hardness of sweet potatoes during cooking at different temperatures

에서 가열하면서 조직의 변화를 조사하였으며, 그 결과를 Fig. 1에 표시하였다. 가열에 의한 고구마의 경도변화는 Huang과 Bourne<sup>(5)</sup>이 채소의 가열에 따른 조직변화가 두 단계에 걸쳐 일어난다고 보고한 바와 같이 초기에는 고구마의 경도가 가열에 의해 급격하게 감소하다가 일정시간 후에는 경도의 감소속도가 완만하게 진행되었다. Huang과 Bourne<sup>(5)</sup>은 채소의 조직의 변화가 이와 같이 2 단계로 일어나는 것은 제 1 단계와 제 2단계에서 조직의 변화에 관여하는 기질(substrate)이 서로 다르기 때문으로 해석하였다. 채소의 가열에 의한 조직의 변화와 관련된 화학적 또는 물리적인 기작에 대해서는 아직 충분히 밝혀져 있지 않으나 식물세포의 조직은 세포벽과 middle lamella층에 있는 펙틴물질이 관여하는 것으로 알려져 있다<sup>(23)</sup>. Kasai 등<sup>(24)</sup>은 채소의 가열 중 식물조직 내의 펙틴은 세 가지의 형태 즉, 원래의 펙틴, 경화된 펙틴 및 연화된 펙틴으로 존재하며 이들에 의한 경도의 합이 전체 조직의 경도를 나타낸다는 가정 하에 가열에 의한 채소조직의 변화에 대한 kinetic model을 제시한 바 있다.

가열에 따른 고구마의 경도변화에 대한 걸보기 속도상수를 두 가지 방법 즉, biphasic model과 fractional conversion method를 사용하여 결정하였다. 분석결과는 편의상 90°C에서 측정된 건미의 경도변화 결과를 사용하여, Fig. 2에는 Huang과 Bourne<sup>(5)</sup>이 제안한 biphasic model에 의해 분석한 결과를 표시하였고, Fig. 3에는 Rizvi와 Tong<sup>(16)</sup>이 제안한 fractional

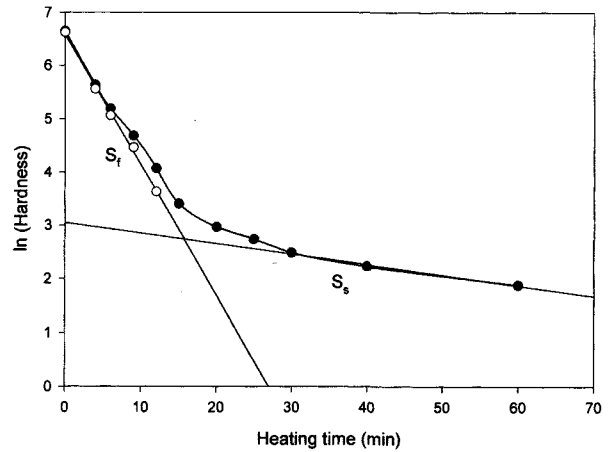


Fig. 2. A typical plot of change in hardness of “Gunmi” variety of sweet potato heated at 90°C analyzed by the biphasic model  
 $S_f$ : substrate that softens rapidly during heating.  
 $S_s$ : substrate that softens slowly during heating.

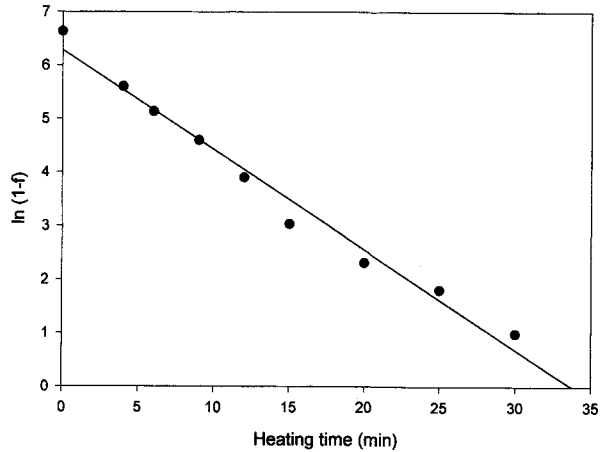


Fig. 3. A typical plot of change in hardness of “Gunmi” variety of sweet potato heated at 90°C analyzed by the fractional conversion method  
 $f: (H_0 - H_t) / (H_0 - H_\infty)$ ,  $H_0$ : Initial hardness at time 0.  $H_t$ : Hardness at time t,  $H_\infty$ : Hardness at prolonged time.

conversion method에 따라 분석한 결과를 나타냈다. Fig. 2에서는 가열에 의한 고구마의 경도변화가 두 개의 연속적인 일차반응식으로 표시되었으며, 초기의 반응속도는 두 번째 단계의 반응속도보다 12배 이상이 빠르게 진행되었다. Huang과 Bourne<sup>(5)</sup>은 이러한 현상을 가열초기에는 조직의 변화가 가열에 의해 쉽게 변화하는 기질( $S_f$ )에 의하고, 가열 후반부에는 가열에 의해 쉽게 변화하지 않는 기질( $S_s$ )에 의하는 것으로서 이들에 의해 반응속도의 차이가 약 20배 이상 차이가 있다고 하였으나 이러한 반응속도의 차이는 사용하는 과채류의 종류나 처리온도에 따라라도 달라질 수 있다. Radish와 같은 경우는 가열시간이 경과하여도 제 2단계의 반응을 나타내지 않는 경우도 보고된 바 있다<sup>(6)</sup>. 반면에 fractional conversion method를 사용한 경우에는 Fig. 3에서와 같이 전 단계에서 일어나는 경도의 변화를 단 하나의 일차반응식으로 표시할 수 있었다. Fig. 2와 3의 결과에서 보는 바와 같이 모든 경우 직선식에 대한 결정계수(coefficient of determi-

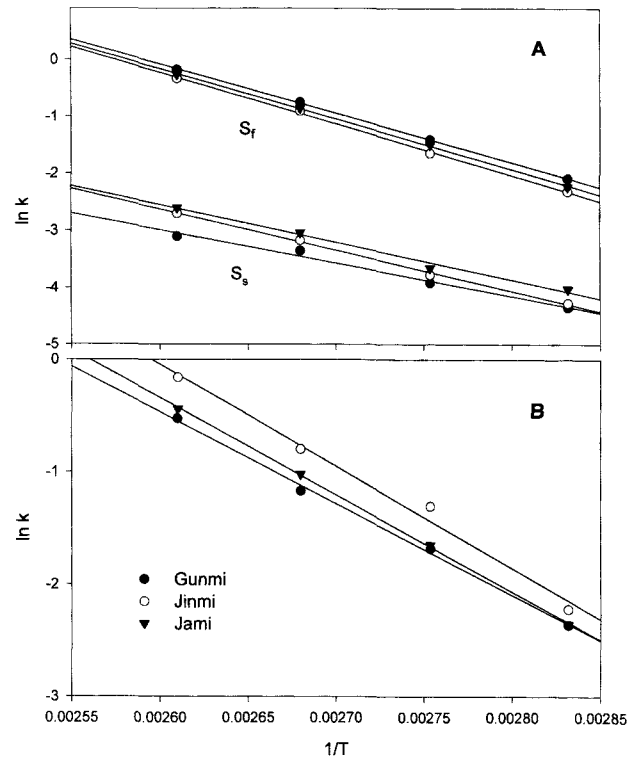
**Table 2. Apparent rate constants for texture degradation of sweet potatoes by heating determined by the biphasic model and the fractional conversion method**

Sweet potatoes	Temp. (°C)	Biphasic model		Fractional conversion method
		Apparent rate constant (min <sup>-1</sup> )		Apparent rate constant (min <sup>-1</sup> )
		S <sub>r</sub> <sup>1)</sup>	S <sub>s</sub> <sup>2)</sup>	
Gunmi	80	0.124	0.013	0.083
	90	0.244	0.020	0.187
	100	0.471	0.039	0.374
	110	0.838	0.045	0.781
Jinmi	80	0.099	0.014	0.109
	90	0.193	0.023	0.294
	100	0.403	0.042	0.401
Jami	80	0.108	0.018	0.095
	90	0.256	0.026	0.193
	100	0.498	0.052	0.401
	110	0.768	0.074	0.590

<sup>1)</sup>S<sub>r</sub> is the substrate that softens rapidly when heated.

<sup>2)</sup>S<sub>s</sub> is the substrate that softens slowly when heated.

nation, r<sup>2</sup>값이 0.99 이상을 나타내어 가열에 의한 고구마 경도의 변화를 biphasic model이나 fractional conversion method를 사용하여 일차반응식으로 해석할 수 있음을 나타낸다. 이는 가열에 의한 과채류의 조직변화가 일차반응속도식을 적용하여 반응속도상수를 결정할 수 있음을 의미하는 것으로 이렇게 결정된 반응속도상수를 겔보기 속도상수라고 한다<sup>(13)</sup>. 다른 처리온도와 고구마 품종에 대해서도 같은 방법으로 분석하여 그 결과를 Table 2에 표시하였다. Biphasic model을 적용했을 때 S<sub>r</sub>에 대한 변화속도의 S<sub>s</sub>에 대한 변화속도의 비는 고구마의 품종과 처리온도에 따라 6.0~18.6의 값을 나타냈는데, 진미나 자미에 비해 건미에서 더 큰 값을 나타냈다. 이는 S<sub>s</sub>에 대한 변화속도가 품종에 따라 큰 차이가 없는데 비해 S<sub>r</sub>에 대한 변화속도는 큰데 기인하는 것으로 이 결과는 분질고구마인 건미가 다른 품종에 비해 가열에 의한 경도의 변화가 더 빠르게 진행함을 의미한다. 반면에 fractional conversion method에 의해 결정된 겔보기 속도상수는 biphasic model의 S<sub>s</sub>보다는 S<sub>r</sub>에 대한 속도상수에 가까운 값을 나타냈는데, 이는 고구마의 가열에 의한 경도변화가 주로 S<sub>r</sub>의 변화에 의해 이루어지기 때문이다. Biphasic model은 고구마의 가열에 의한 조직변화를 S<sub>r</sub> 및 S<sub>s</sub>의 변화에 의한 두 단계의 변화에 기인하는 것으로 간주하여 이들 각각에 대한 반응속도상수를 결정하는데 비해, fractional conversion method는 고구마의 조직변화에 대하여 S<sub>r</sub> 및 S<sub>s</sub>의 변화를 함께 사용하여 단 하나의 반응속도상수로 표현하였다. 그런데 S<sub>r</sub>와 S<sub>s</sub>는 가열에 의해 두 단계에 걸쳐 일어나는 조직변화 현상을 설명하기 위해 Huang과 Bourne<sup>(5)</sup>이 가정한 것으로 그 실체가 확인되지 않았을 뿐만 아니라 과채류 중에는 radish와 같이 S<sub>s</sub>부분이 관찰되지 않는 것도 있어<sup>(6)</sup> 과채류의 가열에 의한 조직변화의 반응속도상수를 결정하기 위해서는



**Fig. 4. Temperature dependency of the apparent reaction rate constant for texture degradation of sweet potatoes determined by (A)the biphasic model and (B)the fractional conversion method**

fractional conversion method를 사용하는 것이 Rizvi와 Tong<sup>(16)</sup>이 제안한 바와 같이 보다 편리한 방법으로 생각된다.

**온도 의존성**

품종별 고구마의 가열에 의한 조직변화에 대한 온도의존성을 조사하기 위하여 Table 2에 표시된 겔보기 속도상수값을 사용하여 Arrhenius plot을 하여 Fig. 4와 같은 결과를 얻었다. Biphasic model과 fractional conversion method를 사용하여 결정된 속도상수값 모두 Arrhenius plot에 의하여 직선적으로 표시되었으며, 이로부터 고구마 조직의 가열변화에 대한 활성화에너지와 지수항 인자를 결정하여 Table 3에 나타냈다. 활성화 에너지는 분석 방법에 따라 48.3~75.3 kJ/mol의 값을 나타내어 Lund<sup>(29)</sup>가 식품의 조직변화나 색깔의 변화 및 향미의 변화에 대해 제안한 값(42.84~125.52 kJ/mol)과 잘 일치하였다. 분석방법에 관계없이 진미의 활성화 에너지가 가장 높았으며 다음에 자미와 건미 순으로 나타났다. 이는 점질고구마인 진미가 다른 고구마에 비해 가열에 의한 경도변화의 온도의존성이 더 큰 것을 의미하며, 이는 가열온도가 증가할수록 진미의 경도변화가 다른 고구마에 비해 더 빠르게 진행함을 의미한다. 세 품종의 고구마 모두 S<sub>s</sub>의 변화에 대한 활성화 에너지 값이 S<sub>r</sub>의 변화에 대한 값에 비해 작았으며, fractional conversion method에 의해 결정된 활성화 에너지 값은 S<sub>r</sub>의 변화에 대한 값과 비슷한 값을 나타냈다. 이는 고구마 조직의 가열에 의한 경도변화가 주로 초기의 S<sub>r</sub>의 변화에 의해 일어남을 의미한다.

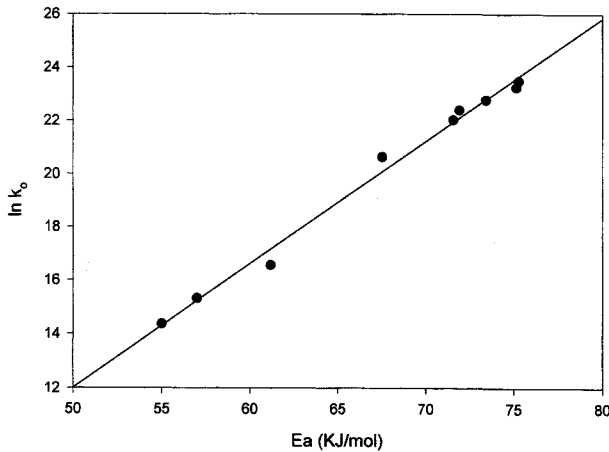
Table 3에 나타난 고구마 조직의 가열변화에 대한 kinetic

**Table 3. Kinetic parameters for texture degradation of sweet potatoes by heating determined by the biphasic model and the fractional conversion method**

Sweet potatoes	Biphasic model				Fractional conversion method	
	$S_f^{1)}$		$S_s^{2)}$		$k_0$ (min <sup>-1</sup> )	$E_a$ (kJ/mol)
	$k_0$ (min <sup>-1</sup> )	$E_a$ (kJ/mol)	$k_0$ (min <sup>-1</sup> )	$E_a$ (kJ/mol)		
Gunmi	$5.40 \times 10^9$	71.9	$1.82 \times 10^5$	48.3	$9.29 \times 10^8$	67.5
Jinmi	$1.27 \times 10^{10}$	75.1	$8.99 \times 10^6$	59.6	$1.60 \times 10^{10}$	75.3
Jami	$7.92 \times 10^9$	73.4	$2.00 \times 10^6$	54.5	$3.72 \times 10^9$	71.6

<sup>1)</sup> $S_f$  is the substrate that softens rapidly when heated.

<sup>2)</sup> $S_s$  is the substrate that softens slowly when heated.

**Fig. 5. Kinetic compensation effect of texture degradation of sweet potatoes**

parameter들은 고구마의 품종이 다르고 데이터의 분석방법이 달랐지만 모두 같은 현상을 설명하는 것으로 같은 기작에 의해 변화하는 현상에 대해 조사한 결과이다. 따라서 이들 사이에는 일정한 관계가 있을 것을 예측할 수 있다. 이들 활성화 에너지와 지수상 인자들은 Fig. 5에 표시한 바와 같이 활성화 에너지와  $\ln(k_0)$  사이에 직선적인 관계가 있음을 알 수 있었으며, 이들 사이의 관계는  $\ln k_0 = 0.44E_a - 9.20$  ( $r^2 = 0.99$ )로 표시되었다. 이러한 현상을 kinetic compensation 효과라고 하는데<sup>(19)</sup>, 이는 같은 계열의 반응에서 간혹 발견되는 현상이다. 결과적으로 고구마 조직의 가열변화에 대한 반응속도론적 상수를 결정하기 위하여 biphasic model과 fractional conversion method를 모두 적용할 수 있으나, 두 단계에 걸쳐 반응속도상수를 결정하는 biphasic model보다는 단 한 번에 반응속도상수를 결정할 수 있는 fractional conversion method가 보다 편리하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

가열에 의한 품종별 고구마 조직의 변화에 대한 반응속도론적 상수를 biphasic model과 fractional conversion method를 사용하여 결정하였다. Biphasic model에 따라 고구마의 가열에 의한 조직의 변화는 2단계의 연속적인 1차 반응식으로 표시할 수 있었으며, 활성화에너지는 고구마의 품종에 따라 71.0~75.1 kJ/mol 및 48.4~59.6 kJ/mol이었다. 또한 고구마의 가열에 의한 조직변화를 fractional conversion method를 사용

하여 1개의 1차 반응식으로 표시할 수 있었는데, 이 때의 활성화에너지는 67.5~75.3 kJ/mol로서 biphasic model에 의한 제 1단계의 반응에 대한 값과 유사한 값을 나타냈다. 이들 방법으로 결정된 반응속도론적 상수들 사이에는 kinetic compensation 효과가 있었으며, 두 방법 모두 고구마의 가열에 의한 조직변화에 대한 반응속도론적 상수들을 결정하는데 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

## 문 헌

- Lund, D.B. Effects of heat processing on nutrients. pp. 205-240 In: Nutritional Evaluation of Food Processing, Harris R.S. and Karmas, E. (ed.) AVI Publishing, Westport, CT. (1975)
- Lund, D.B. Maximizing nutrient retention. Food Technol. 31: 71-78 (1977)
- Lund, D.B. Quantifying reactions influencing quality of foods: Texture, flavour and appearance. J. Food Proc. Preserv. 6: 133-153 (1982)
- Bourne, M.C. Texture of fruits and vegetables. pp. 275-307 In: Rheology and Texture in Food Quality. deMan J.M., Voisey P.W., Rasper V.F. and Stanley D.W., (ed.), AVI Publishing Co., Westport, CT. (1976)
- Huang, Y.T. and Bourne, M.C. Kinetics of thermal softening of vegetables. J. Texture Stud. 14: 1-9 (1983)
- Bourne, M.C. Effect of Blanch temperature on kinetics of thermal softening of carrots and green beans. J. Food Sci. 52: 667-668, 690 (1987)
- Quast, D.C. and daSilva, S.D. Temperature dependence of the cooking rate of dry legumes. J. Food Sci. 42: 370-374 (1977)
- Remesh, M.N., Sathyanarayana, K. and Girish, A.B. Biphasic model for the kinetics of vegetable cooking at 100°C. J. Food Eng. 35: 127-133 (1998)
- Van Loey, A., Fransis, A., Hendrickx, M., Maesmans, G. and Tobback, P. Kinetics of thermal softening of white beans evaluated by a sensory panel and the FMC tenderometer. J. Food Proc. Perserv. 18: 407-420 (1994)
- Van Loey, A., Fransis, A., Hendrickx, M., Maesmans, G. and Tobback, P. Kinetics of quality changes of green peas and white beans during thermal processing. J. Food Eng. 24: 361-377 (1995)
- Ohlsson, T. Temperature dependence of sensory quality changes during thermal processing. J. Food Sci. 45: 836-839, 847 (1980)
- Rao, M.A. and Lund, D.B. Kinetics of thermal softening of foods-a review. J. Food Proc. Preserv. 10: 311 (1986)
- Sefa-Dedeh, S., Stanley, D.W. and Voisey, P.W. Effects of soaking time and cooking conditions on texture and microstructure of cowpeas (*Vigna unguiculata*). J. Food Sci. 43: 1832-1838 (1978)
- Paulus, K. and Saguy, I. Effect of heat treatment on the quality of cooked carrots. J. Food Sci. 45: 239-241 (1980)
- Suzui, k., Kubota, K., Omichi, M. and Hosaka, H. Kinetic studies on cooking rice. J. Food Sci. 41: 1180-1183 (1976)

16. Rizvi, A.F. and Tong, C.H. Fractional conversion for determining texture degradation kinetics of vegetables. *J. Food Sci.* 62: 1-7 (1997)
17. Walter, W.M. Jr., Purcell, A.E. and Nelson, A.M. Effects of amylolytic enzymes on "moistness" and carbohydrate changes of baked sweet potato cultivars. *J. Food Sci.* 40: 793-796 (1975)
18. Shin, M.S. and Ahn, S.Y. Characteristics of dry and moist type sweet potato starches. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 20: 412-418 (1988)
19. Rhim, J.W., Jones, V.A. and Swartzel, K.R. Kinetic compensation effect in the heat denaturation of whey protein. *J. Food Sci.* 55: 589-590, 592 (1990)
20. Lee, L.S., Rhim, J.W., Kim, S.J. and Chung, B.C. Study on the stability of anthocyanin pigment extracted from purple sweet potato. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 28: 352-359 (1996)
21. AOAC: Official Methods of Analysis. 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA (1984)
22. Leung, K.H., Barron, F.H. and Davis, D.C. Textural and rheological properties of cooked potatoes. *J. Food Sci.* 48: 1470-1496 (1983)
23. Van Buren, J.P. The chemistry of texture in fruits and vegetables. *J. Texture Stud.* 10: 1-23 (1979)
24. Kasai, M., Hatae, K., Shimada, A. and Ibuchi, S. A kinetic study of hardening and softening processes in vegetables during cooking. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 41: 933-941 (1994)
25. Lund, D.B., Bruin, S. Jr. and Lazar, E. Internal temperature distribution during individual quick blanching. *J. Food Sci.* 37: 167-170 (1972)

---

(2000년 8월 31일 접수)