

감자의 蒸煮中 텍스처의 變化

이 동선·변 유량*·권 윤중**·신 동화
농어촌개발공사 식품연구소, *연세대학교 식품공학과
**충주공업전문대학 식품공학과
(1981년 9월 4일 수리)

Changes in Texture during the Boiling Process of Potatoes

Dong Sun Lee, Yu Ryang Pyun, Yun Jung Kwon and Dong Hwa Shin
Food Research Institute/AFDC, *Department of Food Engineering, Yonsei University
(Received September 4, 1981)

Abstract

The texture changes of potato of the variety "Namjack" were determined as a function of temperature and boiling time by a puncture test with Universal Testing Machine. Apart from texture measurement, heat penetration test and sensory evaluation were carried out. Textural softening during cooking could be expressed by the puncture work and was followed first order kinetics. The Z-value for texture changes was 19.9°C. The cook value in equivalent minutes at 100°C to get a boiled potatoes was 7 min. Mechanically the boiled product could be regarded as cooked when the final puncture work reduced to the equilibrium value, approximately 6/100 of the initial value.

서 론

감자를 증자하는 동안에 전분의 호화, 단백질의 변성, 펙틴의 용해, 셀룰로오스의 연화 등의 변화가 일어나지만 증자한 감자의 품질을 결정하는 가장 중요한 인자는 텍스처이다. 따라서 효율적인 품질관리나 증자 장치의 설계를 위해서는 감자를 증자하는 동안 텍스처의 변화와 증자속도를 객관적으로 定量化할 필요가 있다.

Kubota 등⁽¹⁾은 감자박편에 대해 sigmoid형태의 증자속도식을 발표하였으며, Mitchell⁽²⁾은 냉동용 감자의 미치기(blanching)의 適定化를 위한 열처리조건에 대해 연구한 바 있다. 또한 Dagerskog 등⁽³⁾은 감자의 熱湯 증자시 텍스처의 변화를 penetration test로 검토하였으며, Collison 등⁽⁴⁾은 compression test에 의하여 감자 조리시 텍스처의 변화를 측정하여 조리방법의 영향을 보고하였다.

본 연구에서는 감자를 熱湯 증자하는 동안에 텍스처

의 변화를 puncture test에 의하여 측정하고 아울러 열침투속도 및 전분의 호화도의 측정과 관능검사를 실시하여 이들 사이의 상관성을 究明함으로써 증자속도와 감자가 익었다는 개념을 數量化하고자 하였다.

재료 및 방법

재 료

35~210g의 남작 품종의 감자를 시장에서 구입하여 박피한 후에 시료로 사용하거나 또는 3.8±1g의 소형의 球形으로 整形하여 사용하였다.

증자방법

소형으로 整形한 감자는 스테인레스강網으로 된 바구니에 담아 80~100°C의 恒溫熱湯중에 담구어 각 시간별로 증자하였다. 증자하는 동안 나무주걱으로 서서히 저어 주었으며 일정한 시간이 경과한 후 건져내어 즉시 흐르는 수도물로 냉각시켜 텍스처의 측정 및 관능검사의 시료로 사용하였다.

박피한 온감자는 전기밥솥(대원전기, Model No.

DW 365)을 사용하여 끓는 물 또는 대기압의 수증기로 증자하였다.

온도변화의 측정

Wadsworth 등⁽⁵⁾이 사용한 방법을 약간 변형하여 측정하였다. 즉 길이 50 mm, 지름 1 mm의 구리-콘스탄틴 열전대를 감자 중심부에 꽂고 열매체에 노출된 부분은 코르크로 단열시킨 다음 熱湯중에 매달아 중심부의 온도변화를 온도기록계 (Ellab Co., Type Z9CTF)로 기록하였다.

기록지에 그려진 곡선으로부터 시간에 대한 온도를 읽고 log(열탕온도-감자 중심온도)를 시간에 대하여 작도하여 열침투곡선을 그렸다. 이렇게 하여 얻은 열침투곡선의 직선부분의 기울기의 逆數 f_h 를 線形最少自乘法로 구하였으며 직선을 외삽하여 절편으로부터 가열지연계수 j_h 를 구하였다.

Puncture test

각 열탕온도에서 증자시간을 달리하여 증자한 감자를 半割하여 Instron Testing Machine(Table Model 1140)을 사용하여 puncture test하였다. 이때 조작조건은 cross head speed 100 mm/min, 기록지 이동속도 200 mm/min로 하였으며 probe로는 지름 1.5~4.7 mm의 원통형을 사용하였다. 모형감자를 측정할 때는 clearance를 0.635 mm로 하였으며 온감자는 0.81 mm로 하였고 측정은 10회 반복하였다. 증자중 텍스처의 변화는 힘-거리곡선의 아래 면적 즉 측정하는 동안 행한 일(work)로 나타내었다.

관능검사

10명의 식물연구소 관능검사원에 의하여 80~100°C의 열탕에서 각 시간별로 증자한 감자에 대해 증자와 원료점을 관능적으로 평가하게 하였다.

호화도의 측정⁽⁶⁾

100°C의 열탕에서 각 시간별로 증자한 감자의 중심부를 즉시 도려낸 후에 증자를 빨리 중지시키기 위해 이를 곧 냉수에 투입하였다. 냉각된 중심부를 1~2 mm의 정육면체의 박편으로 절편하고 그 층에서 2.5 g을 칭량하여 100 ml 삼각플라스크에 넣고 증류수 25 ml를 가하여 40°C의 진탕항온기에서 120rpm으로 2시간 진탕시켰다. 다음 진탕액을 거름종이 (Toyo No. 5C)로 여과하여 여과액 10 ml를 100 ml 베스플라스크에 취한후 0.1N I₂용액 0.5 ml를 가하고 증류수로 100 ml로 채웠다. 5분 후에 630 nm에서 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

열침투 특성

고체 식품을 열탕 또는 수증기 중에서 증자할 때 이

들 가열매체의 열전달능력은 매우 크기 때문에 표면온도는 즉시 증자온도에 도달하지만 중심부의 온도상승은 식품의 크기, 열전도도 등에 의존되며 또한 증자속도는 중심부로의 열전달속도에 좌우된다. 따라서 식품의 열전달 특성을 먼저 측정할 필요가 있다.

감자의 열침투특성을 알기 위하여 무게가 다른 감자를 100°C의 열탕 중에서 가열하면서 중심부의 온도변화를 측정하여 얻은 열침투곡선으로부터 f_h 와 j_h 값을 구한 결과 Table 1과 같다. f_h 와 감자의 무게 $w(g)$ 사이에는 相關계수 $r=0.99$ 로 직선관계가 성립되었으며 회귀 방정식은 다음 식과 같이 나타낼 수 있었다.

$$f_h = 7.051 + 0.128w \quad (1)$$

j_h 값은 감자의 무게와 상관없이 거의 일정하였으며 그 평균값은 1.66이었다. Mitchell⁽²⁾이 냉동용 감자의 데치기의 적정화를 위한 열침투실험에서 보고한 f_h 값과 본 실험에서의 값은 약간 차이가 있었으나 j_h 값은 거의 동일하였다. 이는 감자품종과 모양의 차이 때문인 것으로 생각된다.

시료 감자의 모양을 球形으로 가정하고 Olson⁽⁷⁾의 근사식으로 열확산도를 추산한 결과 평균 $1.52 \times 10^{-7} m^2/s$ 로서 Dagerskog⁽⁸⁾, Kubota⁽⁹⁾ 및 Yamada⁽¹⁰⁾ 등이 발표한 값과 비슷하였으며, 수분함량 75~80%인 대부분의 채소 및 육류의 열확산도로 $1.55 \times 10^{-7} m^2/s$ 를 적용할 수 있는 것으로 보고되고 있다⁽⁸⁾.

Puncture test

Puncture test에 대한 감자의 거동을 알기 위하여 지름 1.5~4.7 mm의 원주형 probe를 사용하여 球形으로 整形한 생감자와 완전히 증자된 감자에 대해 puncture

Table 1. Constants for heating curves of irish cobbler potato

Weight of potato(g)	f_h (min)	j_h
37.4	10.5	1.62
59.0	14.8	1.62
73.4	16.3	1.74
74.5	16.8	1.55
80.1	17.3	1.51
88.0	18.6	1.76
102.9	21.5	1.62
123.9	22.5	1.76
150.2	27.2	1.64
168.7	28.0	1.80
191.4	31.0	1.73
208.1	33.4	1.62
Average		1.66

Table 2. Textural parameters of puncture test of uncooked and cooked potato

	$K_c(kg/cm^2)$	$K_p(kg/cm)$	$C(kg)$
Uncooked potato	14.98	0.53	0.04
	10.79*	0.52*	0.60*
Cooked potato	1.05	0.06	0.02

* Bourne's data

test를 하였다. Bourne⁽¹¹⁾는 puncture force는 punch의 단면적과 perimeter에 비례한다는 가정에서 다음 식을 제안하였다.

$$F = K_c A + K_p P + C \quad (1)$$

여기서 F는 항복점(yield point)에서의 puncture force이며 A와 P는 각각 probe의 단면적 및 perimeter이다. K_c 는 압축계수(compression coefficient), K_p 는 전단계수(shear coefficient)이며, C는 상수이다. Bourne⁽¹²⁾의 방법에 의하여 생감자와 완전히 증자된 감자의 K_c , K_p 및 C를 구한 결과 Table 2와 같다. K_c 와 K_p 는 재료의 고유한 값이며 대부분의 경우 C는 무시될 정도로 작은 것으로 보고되고 있다⁽³⁾. Bourne⁽¹¹⁾가 보고한 감자의 K_c 및 K_p 값과 비교하여 볼 때 본 연구에서의 K_c 값은 크나 K_p 값은 비슷하였다.

완전히 증자된 감자의 항복점에서의 puncture force는 초기 생감자 값의 7/100~9/100, puncture work은 6/100으로 감소하였다.

증자중 텍스처의 변화와 온도-시간과의 관계

감자나 고구마 등을 증자할 때 익었는지의 여부를 판단하기 위하여 젓가락과 같은 막대기로 찢어보고 판단하는 경우가 많다. 이는 건분의 호화와 감자조직의 연화가 외부에서 중심부까지 진행되었는지의 여부를 막대기로 찢을 때 소요되는 힘으로 간접적으로 판단하는 것으로 이와 유사한 기계적인 측정방법이 puncture test이다. 따라서 puncture test에 의하여 증자 중의 감자 텍스처의 변화를 측정하므로써 증자속도를 객관적으로 측정할 수 있을 것으로 생각되었다.

소형의 모형 감자를 각 온도에서 증자하면서 각 시간별로 지름 2.9 mm의 probe로 puncture test하였다. 증자중 텍스처의 변화는 texture profile곡선의 아래 면적 즉 측정하는 동안 행한 일로서 나타내었으며 이를 증자시간에 대하여 작도하면 Fig. 1과 같다. Fig. 1을 보면 각 온도에서 증자 중 텍스처의 변화는 1차반응을 나타낸다는 것을 알 수 있으며 수학적으로 다음 식으로 표현할 수 있을 것이다.

$$\frac{E - E_t}{E_0 - E_t} = K_0 \exp(-kt) \quad (2)$$

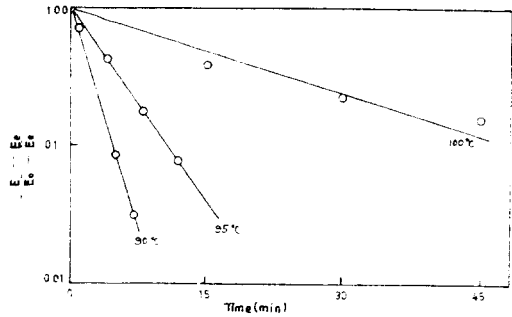


Fig. 1. Effect of temperature and time on the puncture work during heating of potato sphere (3.8 g) in water

여기서 E_0 , E_t 및 E 는 각각 초기, 평형점 및 임의의 시간에서의 puncture work이고, K_0 는 감자품종에 따른 상수값이며 k는 겔보기연화속도상수이다. 과실 및 채소류의 텍스처의 열에 의한 변화를 기계적으로 측정하였을 때 총체적인 속도는 1차 속도를 나타내는 것으로 여러 연구자들에 의해 보고되고 있다^(13~15).

텍스처 변화의 온도의존성은 Fig. 2에 나타내었으며 Z값은 19.9°C였다. Dagerskog⁽⁵⁾는 소형 실린더형 감자의 증자실험에서 텍스처 변화에 대한 Z값은 16.9~18.2°C로서 감자 품종에 따라 약간의 차이가 있는 것으로 보고하였으며 Mansfield⁽¹⁶⁾는 23.3°C로 보고하였다.

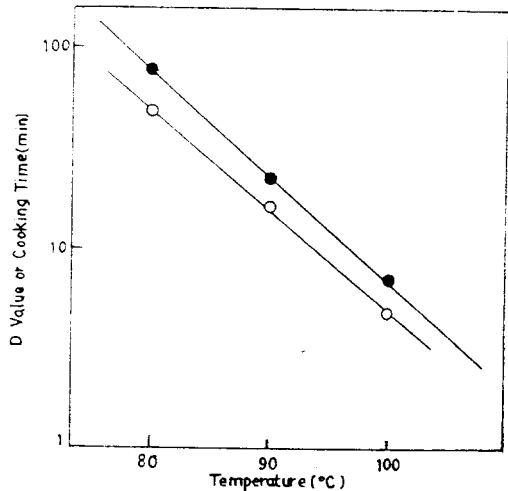


Fig. 2. Calculation of the Z-value for texture change in potatoes by heating potatoe sphere in water

○—○—, D-value for texture change measured by puncture test
●—●—, terminal cooking time evaluated by sensory test

관능적 평가에 의한 증자완료시간

소형으로 整形한 감자를 각 온도에서 시간별로 증자하여 관능검사원으로 하여금 증자완료시간을 평가하게 하고 이렇게 구한 증자완료시간의 온도의존성을 Fig. 2에 함께 나타내었다. 관능적 평가에 의한 증자완료시간의 Z값은 19°C로서 puncture test로 측정된 텍스처 변화의 Z값 19.9°C와 거의 같은 값을 나타내어 텍스처 변화가 관능적으로 증자 여부를 평가하는 주된 인자임을 시사하고 있다.

증자방법이 품질에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 증자온도-시간의 조합이 텍스처 및 관능적 성질에 미치는 영향을 총체적 열처리량으로 비교하여야 한다. 따라서 살균에서의 F값과 유사한 개념으로 C값이 도입되었으며 이는 다음과 같이 정의된다.

$$C = \int_0^t \frac{T - 100}{10^{z_c}} dt \quad (8)$$

여기서 Z_c 는 관능적 성질 또는 화학적 변화속도가 10배 변하는데 소요되는 온도(°C)이다. Dagerskog⁽³⁾는 감자의 Z_c 는 약 17°C인 것으로 보고하였으나 앞에서 언급한 바와 같이 분연구에서는 약 20°C였다.

관능적으로 평가한 증자완료점에서 C값을 $Z_c = 20^\circ\text{C}$ 를 사용하여 구한 결과 평균 7 min 이었다. 즉 온도-시간의 총가열효과가 100°C에서 7분 가열한 것과 동일한 가열량을 얻게 되면 증자가 완료된다는 것을 의미한다.

증자의 최적화

이상의 소형의 球形으로 整形한 모형 감자에서 얻은 결과를 실제 감자 증자에 적용하고자 75g 내외의 온감자를 끓는물 또는 대기압의 수증기로 증자하면서 중심부의 온도, 호화도 및 텍스처의 변화를 측정된 결과는 Fig. 3 및 4와 같다.

감자 중심부의 호화는 온도가 약 80°C에 도달하는 15 min에 완결되었다. 이러한 결과는 분리한 감자 전분은 65.2°C에서 대부분 호화되고 79.7°C에서 완결되며 감자조직 내의 전분은 이보다 3°C높은 온도에서 완결된다는 DTA결과와 거의 일치한다⁽¹⁾.

한편 각 시간별로 증자한 감자를 지름 6.35 mm의 probe로 puncture test하여 구한 puncture work의 변화를 Fig. 4에서 보면 열당 증자에 비해 수증기 증자가 약간 느리기는 하지만 증자가 진행됨에 따라 비슷한 경향으로 감소하였으며 25~30 min 후에 평형상태에 도달하였다.

증자시 무게변화는 열당 및 수증기 증자의 상호간에 큰차이 없이 약간 감소하여 증자시간 25분 후에는 일정하여 졌으며 전체적으로 약 4% 감소하였다.

관능검사에 의한 증자 적정점에서의 열처리량 C=7

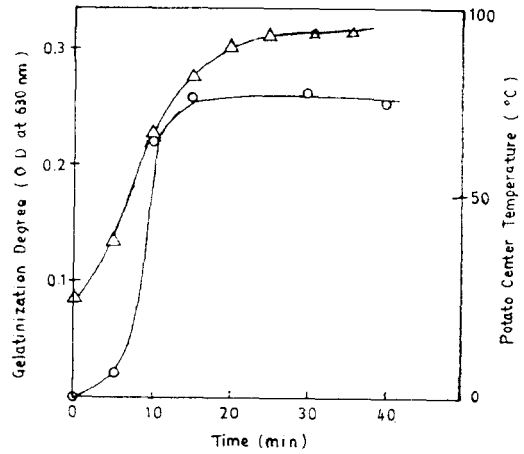


Fig. 3. Temperature and gelatinization degree of center of potato (75 g) during heating in boiling water
 —○—, gelatinization degree; —△—, center temperature

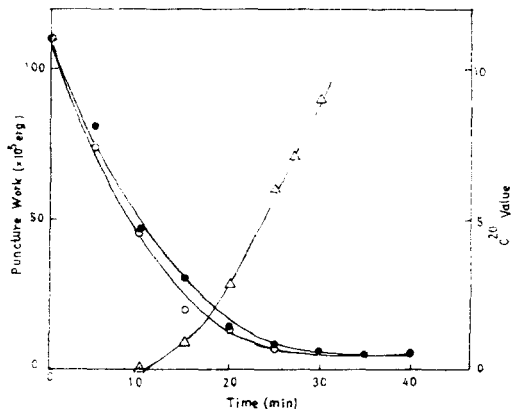


Fig. 4. Puncture work decrease and C-value during heating of potatoes
 —○—, heating in boiling water; —●—, heating in atmospheric pressure steam;
 —△—, C-value during heating in boiling water

min이었으므로 75g 감자의 경우 C=7 min에 도달하는 시간을 Fig. 4에서 구하면 27~29 min이다. 즉 관능적으로 평가한 증자적정점에서 열처리량과 텍스처의 변화가 평형에 도달하는 점이 잘 일치되고 있으며 이점은 또한 puncture work이 초기값의 6/100으로 감소하는 점이기도 하다. Fig. 3의 전분의 호화는 15 min에 완결된다는 사실과 비교하여 볼 때 관능적으로 증자가 완결되었는지의 여부는 전분의 호화보다는 조직의 연화와 같은 텍스처의 변화로 평가되어야 한다는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로 미루어 열처리량의 계산과 기계적인 텍스처의 측정으로서 감자증자의 적정화가 가능할 것이다

요 약

남작 품종의 감자를 열탕 중에서 증자하면서 열침투 특성과 텍스처의 변화를 증자온도 및 시간의 함수로 측정하였다. 열침투 특성값 f_b 는 무게(w)에 대하여 $f_b = 7.051 + 0.128w(g)$ 의 관계가 성립되었으며 $j_b = 1.66$ 이었다. 증자에 의한 감자텍스처의 변화는 1차 속도식을 나타내었으며 텍스처 변화의 Z값은 약 20°C였다. 관능적으로 평가한 증자완료점에서의 C값은 7 min 이었으며 이점은 텍스처의 변화가 평형에 도달하는 점과 거의 일치하였다.

문 헌

1. Kubota, K., Oshita, K., Hosokawa, R., Suzuki, K. and Hasaka, H.: *J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ.*, **17**, 97 (1978)
2. Mitchell, R. S. and Rutledge, P. J.: *J. Fd Technol.*, **8**, 89(1973)
3. Dagerskog, M. and Österström, L.: *SIK Service-Series Nr 584* (1978)
4. Collison, R., Johnson, K., Olufolakime, O., Okikiolu, O. and West, A.: *J. Fd Technol.*, **15**, 1 (1980)
5. Wadsworth, J. E. and Spadaro, J. J.: *Food Technol.*, **23**(2), 219 (1969)
6. 皇甫丁淑, 李寬寧, 鄭東孝, 李瑞來: *식품과학회지*, **7**, 212 (1975)
7. Olson, F. C. W. and Jackson, I. M.: *Ind. Eng. Chem.*, **34**, 337 (1942)
8. Dagerskog, M.: In "*Physical, Chemical and Biological Changes Caused by Thermal Processing*" ed by Hoyen, T. and Kvåle O., Applied Science, London, p.78 (1977)
9. Kubota, K., Fujimoto, M., Suruki, K., Takasaki, K. and Hosaka, H.: *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **28**, 68 (1981)
10. 山田豊一: *農化(日本)*, **44**, 587 (1970)
11. Bourne, M. C.: *J. Fd Sci.*, **31**, 282 (1966)
12. Bourne, M. C.: *J. Texture Studies*, **5**, 459 (1975)
13. Bourne, M. C.: In "*Rheology and Texture in Food Quality*," ed. DeMan, J. M. et al., Ch. 7. AVI Publishing, Westport Conn. (1976)
14. Dedeh, S. S., Stanley, D. W. and Voisey, P. W.: *J. Food Sci.*, **43**, 1832 (1978)
15. Paulus, R. and Saguy, I.: *J. Food Sci.*, **45**, 239 (1980)
16. Karel, M., Fennema, O. R. and Lund, D. B.: *Principle of Food Science*, Marcell Dekker, Inc., New York, Part II p.56 (1975)
- 17) Wada, K., Takahashi, K., Shirai, K. and Kawamura, A.: *J. Food Sci.*, **44**, 1366 (1979)