

밤전분 호화액의 유동특성

박영희 · 김성곤 · 이신영* · 김주봉**

단국대학교 식품영양학과 · *강원대학교 발효공학과 · **연세대학교 식품공학과

Rheological Properties of Gelatinized Chestnut Starch Solution

Young Hee Park, Sung-Kon Kim, Shin Young Lee* and Ju Bong Kim**

Department of Food and Nutrition, Dankook University, Seoul;

*Department of Fermentation Engineering,
Kangweon National University, Chunchun;

**Department of Food Engineering, Yonsei University, Seoul

Abstract

Rheological properties of gelatinized chestnut starch solution were investigated with a narrow gap rotational viscometer. The starch solutions at 1.2–1.8% concentration showed pseudoplastic behaviour with yield stress. At higher concentrations (1.65 and 1.8%), the starch solution showed more pseudoplastic tendency and time-dependent characteristics. Values of yield stress were small and independent of concentrations 1.2, 1.35 and 1.5%. Significant increase of yield stress was observed at 1.65% concentration. Consistency index was exponentially dependent on concentration and temperature. The activation energy for 1.65% starch solution was about 5 Kcal/g.mol.

서 론

밤나무는 다른 과수에 비하여 재배관리에 노력이 적게 들고, 경사가 급한 지형에서도 비교적 쉽게 재배할 수 있는 장점이 있어, 정부에서는 70년대부터 밤나무의 재배를 적극 권장하게 되었다. 이에 따라 밤의 생산량은 해마다 크게 증가되어 왔으나, 이의 소비량은 1인당 약 1g/day (가식부분 기준) 정도에 불과한 형편이다.¹⁾ 밤의 대량소비를 위한 시도로서 밤을 통조림하거나 분말을 이용하려는 연구^(2~4)가 일부 이루어졌으나 큰 효과를 거두지 못하고 있다.

밤의 일반성분은 수분 61~65%, 단백질 2.5~3.8%, 조지방 0.4~0.8%, 회분 0.9~1.3%, 섬유 0.8~1.1%, 당질(또는 전분) 26~34%이다.^(2~4,7~9) 밤의 주성분은 전분으로 되어있으나, 이의 활용방안에 대한 연구는 거의 없는 형편이며, 밤전분의 성질에 대하여도 일부 연구가 있을 뿐이다.^(1,2,4,10)

박동⁽¹⁾은 밤전분 5% 및 6%의 아밀로그람의 최고

점도는 각각 340 및 730 B. U. 로서 높은 점도를 보이며, 밤전분의 swollen granule은 열 및 전단응력에 대하여 안정한 paste를 보인다고 보고하였다. 이러한 사실은 밤전분이 식품가공에 있어서 점증제로서의 이용가능성이 있음을 가르킨다. 각종 식품가공과 관련하여 전분의 점증제로서의 작용과 같은 가능성을 이용하는 경우 전분 수용액계의 리올로지 특성이 중요하다. 이는 전분이 다양한 식품가공 조작중 호화 또는 노화현상을 수반하고 액상의 유동성이 있는 졸과 고상의 탄성을 나타내는 겔의 중간적인 역학물성을 나타내고 전분특유의 리올로지적 거동을 보이기 때문이다.

전분호화액의 리올로지 거동에 대한 기초적인 자료는 희석전분현탁액의 점성특성과 그의 해석으로부터 얻을 수 있다. 본 연구에서는 밤전분의 식품가공에서의 이용가능성을 위한 기초자료를 얻기 위하여 전분 호화액의 유동특성을 조사하고자 하였다. 즉 밤전분 희석호화액의 점성거동을 온도, 농도 및 시간을 실험변수로 하여 검토하였고, 호화액의 리올로지 거동을 물성론적 측면

에서 검토하였다.

재료 및 방법

실험재료

1982년도에 생산된 단과 품종의 밤을 구입하여 사용하였다.

전분의 분리

밤전분의 박동⁽¹⁾의 방법에 의하여 분리하였다. 밤의 껍질을 제거하고 잘게 썰은 후 증류수를 가하여 와링 블렌더에서 낮은 속도로 5분간 혼합한 다음, 250 및 400mesh체로 계속적으로 걸러 찌꺼기를 제거하였다. 이 액을 4℃에서 하룻밤 방치하여 전분을 정제하고, 2일간 실온에서 말린 다음 60mesh체로 쳐서 전분시료로 하였다.

전분호화액의 조제

전분에 증류수를 가하여 1.2~1.8% 현탁액을 만들고 5분간 잘 혼합한 다음, 자석식 교반기를 사용하여 일정한 속도로 교반하면서 액의 온도에 90℃에 도달할 때까지 가열하여 호화시켰다. 호화시키는데 요하는 시간은 약 40분이었다. 호화액은 얼음물 속에서 3분 이내

에 측정온도로 냉각시킨 다음 리올로지 특성의 측정시료로 하였다

리올로지 특성의 측정

밤전분 호화액의 리올로지 특성의 측정은 회전점도계 (Brookfield model LVT)를 이용하여 행하였고, 측정시 UL adaptor (D₁=2.5cm, D₂=2.755cm, L=9.07cm)를 연결하여 사용하였다. 밤전분 호화액 시료 16ml를 점도계의 시료용기에 담고 항온수조를 사용하여 30~70℃를 유지하면서 회전속도를 0.3~12rpm으로 변화시키면서 일정시간 유지시킨 후 측정된 회전우력으로부터 전단응력은 식(1)에 따라 구하였고, 전단속도는 식(2)로 계산하였다.⁽¹⁾

$$\tau = A/2\pi R_o^2 L \dots\dots\dots (1)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{R_o N}{R_i - R_o} / C_o \dots\dots\dots (2)$$

여기서, τ 는 전단응력 (dyn/cm²), A는 회전우력 (dyn cm), $\dot{\gamma}$ 는 전단속도 (s⁻¹), N은 회전속도 (rps)이며, R_a는 내통과 외통의 반경인 R_i 및 R_o의 평균값, C_o는 비뉴턴체 경우의 전단속도 보정계수이다.

한편, 밤전분 호화액의 리올로지 특성값은 유동거동지수 및 항복응력을 고려한 Herschel-Bulkley 방정식⁽²⁾을 적용하여 계산하였다.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n + \tau_y \dots\dots\dots (3)$$

여기에서, K는 유체의 점도도지수 (dyn · sⁿ/cm²), n은 유동거동지수이며, τ_y 는 항복응력 (dyn/cm²)이다.

결과 및 고찰

전단시간에 따른 전단응력의 변화

여러 밤전분 농도 (1.2~1.8%)의 호화액에 대하여 전단속도를 변화시키면서 전단시간에 따른 전단응력의 변화를 30℃에서 측정하였다. 그림 1은 대표적으로 3rpm에서 측정된 결과를 도시한 것인데 그림에서 1.2%, 1.35% 및 1.5%인 경우에는 전단시간에 따라 전단응력은 거의 일정한 값을 보였으나, 1.65% 및 1.8% 호화액은 전단시간에 따라 전단응력이 감소하여 시간의 존성을 나타내었다. 그림 2는 1.6% 호화액의 시간의존성을 나타낸 것으로, 전단응력은 전단시간 초기에 급격히 감소하여 약 40분 후에는 평형치에 도달하였다. 따라서 40분 후의 전단응력을 평형전단응력으로 간주하였다. 쌀전분 호화액 (8%)의 경우 평형전단응력에 도달하는 시간은 약 60분으로 보고되어 있다.⁽³⁾ 그림으로 나타내지는 않았지만 1.8%에서도 그림 2와 같은 경향을 나타내었다

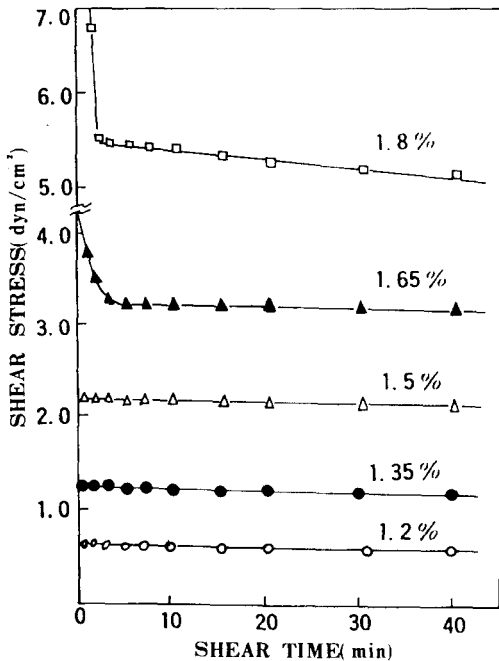


Fig. 1. Change of shear stress as a function of shear time for 1.2~1.8% gelatinized chestnut starch solutions at 3rpm

전분의 호화액은 일반적으로 비뉴우튼 유체의 거동을 나타내나, 전분의 종류 및 계(system)의 상태에 의하여 팽윤된 입자들이 자유롭게 분산되어 있는 상태이므로 이때의 점성거동은 겔 입자들 사이의 흐름에 의하여 결정된다. 따라서 후자의 경우에는 전사와는 달리 겔 입자사이의 상호작용으로 인한 점탄성효과가 커지게 되고 시간의존성을 나타내게 된다. 한편, $Tiu^{(1)}$ 는 마요네이즈의 경우 초기의 급격한 전단응력의 감소는 내부구조의 파괴가 2차 반응속도에 의한다고 보고하였으며, 김⁽²⁾은 쌀전분호화액(8%)이 텍스트로픽 유체의 성질을 보이며, 전단시간 약 20분 까지의 전단응력의 감소는 Tiu 의 모형에 잘 적용됨을 보고하였다.

유동형태

평형전단응력값을 이용한 밤전분 전단응력과 전단속도의 관계는 그림 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 유동곡선은 농도에 상관없이 원점을 지나지 않는 비직선 관계, 즉 비뉴우튼 유체의 특성을 보였다. 따라서 그림 3의 결과는 밤전분 호화액이 전단속도가 증가함에 따라 전단응력이 증가하나 그의 증가율은 감소하므로서, 전단속도의 증가에 따라 내부구조의 파괴를 동반하는 구조점성거동, 즉 항복응력을 갖는 의가소성 유체의 거동을 나타냄을 가르킨다.

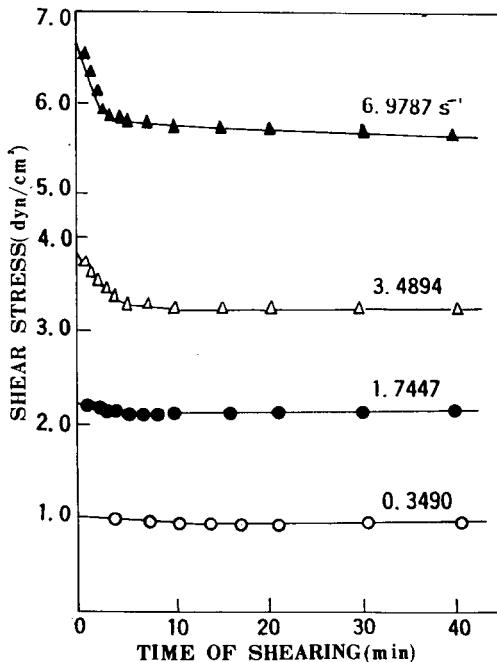


Fig. 2. Change of shear stress as a function of shear time for 1.65% gelatinized chestnut starch solution

밤전분호화액 시료의 전단응력값에서 항복응력값을 뺀 차이값에 대한 전단속도의 관계를 양대수좌표에 표시한 결과는 그림 4와 같다. 이 그림에서 명백히 볼 수 있는 바와 같이 농도에 관계없이 직선관계를 보이고 있으므로 밤전분 호화액의 리올로지적 거동은 Herschel-Bulkley 방정식에 따르는 것을 확인할 수 있었다.

그림 3 및 4로부터 리올로지 특성값인 n, K 및 τ_0 값을 구한 결과는 표 1과 같다. 유동거동지수는 농도범위 1.2~1.8%에서 모두 1보다 작았으며, 농도가 증가할수록 감소하였다. 그러나 점소도지수 및 항복응력 값은 농도의 증가에 따라 증가하였다. 따라서 그림 2 및 3과 표 1의 결과를 종합해보면 밤전분 호화액은 농도

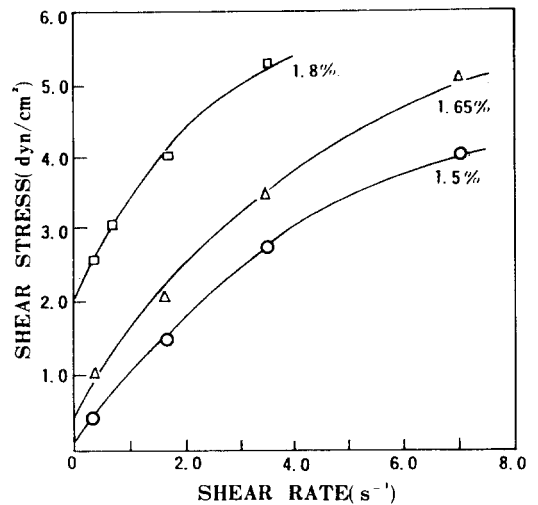


Fig. 3. Plot of shear stress against shear rate for gelatinized chestnut starch solution

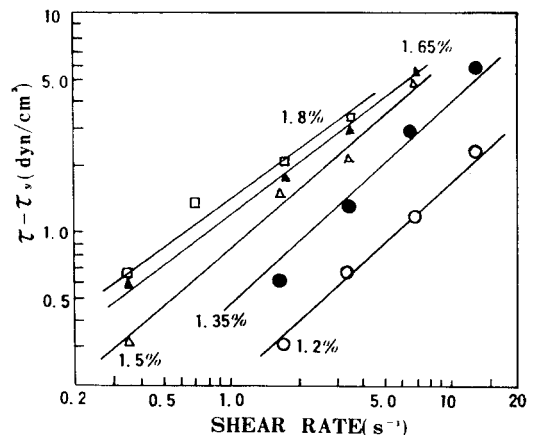


Fig. 4. Plot of $\log(\tau - \tau_0)$ against \log shear rate at various concentrations for gelatinized chestnut starch solution

Table 1. Rheological parameters for gelatinized chestnut starch solution

Concn. (%)	n	K	τ_y
1.2	0.9440	0.2008	0.0057
1.35	0.9048	0.470	0.0062
1.5	0.8919	0.8030	0.0562
1.65	0.7301	1.2642	0.3763
1.8	0.6952	1.5220	1.9562

n = Flow behaviour index (-)
 K = Consistency index ($\text{dyn s}^n/\text{cm}^2$)
 τ_y = Yield stress (dyn/cm^2)

1.2~1.8%에서 항복응력을 갖는 의가소성 유체이며, 농도 1.65% 이상에서는 전단속도의 증가에 따라 시간 의존성을 나타내는 틱소트로픽 유체임을 알 수 있다.

농도에 따른 리올로지 특성값의 변화

농도 변화에 따른 밤전분 호화액의 리올로지 특성값의 변화를 보기 위하여 표 1의 결과들 그림으로 표시하면 그림 5와 같다. 농도 증가에 대한 점조도지수값의 변화는 직선적인 관계를 보였으며, 직선의 기울기는 1.5% 이하에서와 1.65% 이상에서 서로 다른 경향을 보였다. 그림 5의 결과로부터 K와 농도 C의 관계는 다음의 지수함수식으로 나타낼 수 있다

$$K = K_c \exp(B \cdot C) \dots\dots\dots(4)$$

여기에서 K_c 는 부한 희석용액에서의 전단도지수값으로 $\log K$ 와 C 그래프의 직선의 절편으로부터 구하며, B는 점조도 지수값의 농도의존성의 정도를 나타내는 값으로 직선의 기울기로부터 구할 수 있다. 선형 최소 사승법

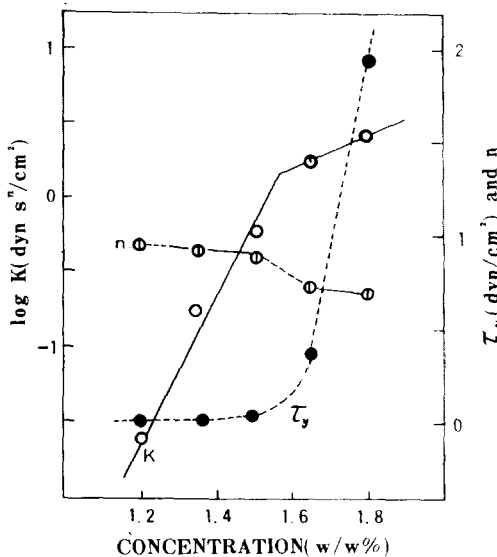


Fig. 5. Dependence of $\ln K, n$ and τ_y on chestnut starch concentrations

으로 구한 K_c 와 B값은 1.5%이하와 1.65%이상의 호화액에서 각각 K_c 값이 0.0008 및 0.1641, B값이 4.62 및 1.24이었다

K와 C의 관계가 1.6%근처에서 꺾이는 현상은 이 농도 부근에서 선분호화액의 구조적 특성이 달라지게되며, 이에 따라 다른 유동거동을 보이게되는 것으로 생각된다. 이¹³⁾는 3~9%의 쌀전분 호화액에서 $\log K$ 와 C의 관계가 선분농도 7% 부근에서 서로 다른 기울기값의 직선관계를 보였음을 보고하였다. 그러나 김¹⁴⁾은 쌀전분의 겔보기 점도와 전분농도의 직선관계는 8% 농도에서 변한다고 보고하였다.

항복응력값과 농도와의 관계도 전분농도 1.6% 이상에서 급격히 증가하였다(그림 5). 밤전분 호화액의 항복응력값의 농도의존성은 guar gum 및 carboxymethyl cellulose에서의 경향¹⁵⁾과 비슷하였다.

유동거동지수와 농도와의 관계는 농도의 증가에 따라 의가소성의 정도가 커지는 경향을 보였다(그림 5). 일; 반적으로 n값의 농도의존성은 크지 않은 것으로 알려져 있으나^{12,16)}, 밤전분의 경우는 전분농도 1.5% 이하에서는 n값이 평균 약0.91, 1.65% 이상에서는 약0.71로서(표 1), 농도의 변화에 따라 n값이 급격히 감소하는 특징을 보였다.

온도에 따른 점조도지수의 변화

리올로지 특성값 중 특히 K는 농도 및 측정온도에 크게 영향을 받게 된다^{17,18)}. 밤전분 호화액(1.65%)의 점조도지수값을 30~70°C에서 검토한 결과 그림6과 같다. 일반적으로 K의 온도의존성은 다음의 아레니우스 식으로 표시된다¹⁹⁾

$$K = A_0 \exp(-E_a/RT) \dots\dots\dots(5)$$

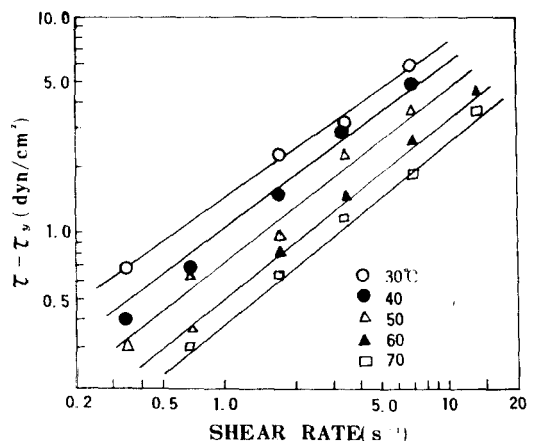


Fig. 6. Plot of $\log(\tau - Z_y)$ against log shear rate at various measuring temperatures for 1.65% chestnut starch solution

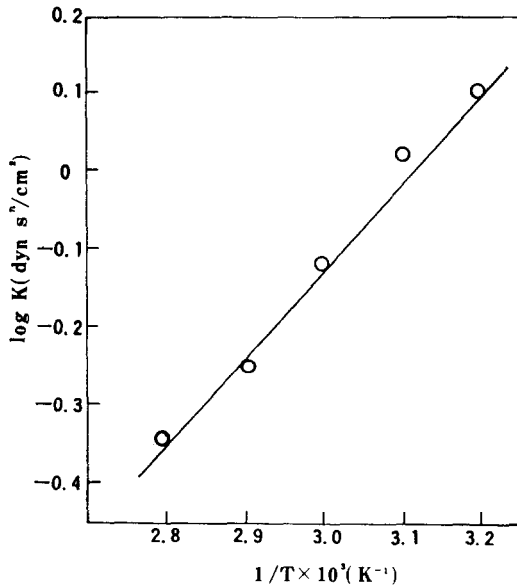


Fig. 7. Effect of temperature on log K of 1.65% gelatinized chestnut starch solution

여기서 A_0 는 빈도인자($\text{dyn} \cdot \text{s}^n / \text{cm}^2$), E_a 는 활성화에너지($\text{cal/g} \cdot \text{mol}$), R 은 기체상수($1.987 \text{ g} \cdot \text{mol} / \text{cal} \cdot \text{K}$)이다. 이 식에서 A_0 와 E_a 는 $\log K$ 와 $1/T$ 의 그림의 절편 및 기울기로부터 구할 수 있다. 그림 6의 자료를 이용하여 구한 K 값의 온도의존성은 그림 7과 같다. 빈도인자는 $3.2 \times 10^{-4} \text{ dyn} \cdot \text{s}^n / \text{cm}^2 \cdot \text{s}^n$ 이었으며, 활성화에너지는 $5.15 \text{ kcal/g} \cdot \text{mol}$ 이었다. 일반참쌀 호화액(0.8%)의 경우 E_a 는 $3.67 \text{ kcal/g} \cdot \text{mol}$ 이다. 멥쌀 호화액(8%)의 경우 E_a 는 $6.79 \text{ kcal/g} \cdot \text{mol}$ 로 알려져 있다.¹²⁾

요 약

밤전분 희석호화액(1.2~1.8)의 유동특성을 Brookfield(LVT) narrow gap 회전점도계를 사용하여 측정하였다. 밤전분 호화액은 전단속도 $0.349 \sim 13.576 \text{ s}^{-1}$ 의 범위에서 의가소성 유체의 거동을 보였으며, 1.65 및 1.8%에서는 틱스토로픽 유체의 거동을 나타내었다. 1.65% 이상에서 전단응력의 시간의존성은 초기 5분 이내에 급격하였으며, 평형에 도달하는 시간은 약 40분이었다. 유동저동지수값은 1.5% 이하에서 평균 약 0.91. 1.65%에서는 약 0.71로 농도의 증가에 따라 의가소성의 정도가 커졌다. 점소도지수값은 농도의 증가에 따라 증가하였으며, 지수함수식으로 표시될 수 있었다. 1.5% 이하에서와 1.65% 이상에서 직선의 기울기가 서로 다른 경향을 보였다. 항복응력값은 1.5% 이하에서 측정 전단응력 범위에서 거의 무시할 수 있는 낮은 값으로서 농

도증가에 따라 차이를 보이지 않았으나, 1.65% 이상에서는 무시할 수 없는 값을 나타내었으며, 농도 증가에 따라 급격히 증가하였다. 점소도 지수와 온도변화의 관계는 아레니우스식의 형태로 표현할 수 있었으며, 밤전분 호화액(1.65%)의 활성화에너지는 $5.15 \text{ kcal/g} \cdot \text{mol}$ 이었다.

문 헌

1. 박인순, 김성곤, 김준수: 한국식품과학회지, 25, 218(1982)
2. 서기봉, 한관주, 이성종: 한국식품과학회지, 6, 98(1974)
3. 이양희: 한국 과학기술연구소 연구보고서, B. S J 39-558-5 (1974)
4. 성락계, 김종규: 신주농대 농업연구소 보고 3, 45(1974)
5. 서기봉, 한관주, 이성종: 농촌진흥청 농공이용연구소 시험보고, 1107(1968)
6. 민병용, 박광훈, 이정수: 농어촌 개발공사 식품연구소 사업보고, 117 (1975)
7. 하석봉, 배명숙, 정태명, 성락주, 송양옥: 한국 식품과학회지, 14, 97(1982)
8. 배광옥, 함승시: 강원대 식자연 논문집, 2, 57 (1975)
9. 이종욱: 서울대학교 박사학위 논문(1982)
10. 함승시, 배광옥: 강원대학교 연구논문집, 10, 117(1976)
11. Saravacos, G. D.: *J. Food Sci.*, 35, 122 (1970)
12. Sherman, P.: *Industrial Rheology*, Academic Press, New York (1970)
13. 김주봉: 연세대학교 석사학위 논문(1983)
14. Tiu, C. and Boger, D. V.: *J. Texture Studies*, 5, 329 (1974)
15. 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규: 한국 식품과학회지, 16, 29 (1984)
16. Balmaceda, E., Rha, C. K. and Hyang, F.: *J. Food Sci.*, 38, 1169 (1973)
17. Harper, J. C. and El Sabirigi, A. F.: *J. Food Sci.*, 30, 470 (1965)
18. Rao, M. A., Palomino, L. N. and Bernhardt, L. N.: *J. Food Sci.*, 39, 160 (1974)
19. Holdsworth, S. D.: *J. Texture Studies*, 2, 393 (1971)
20. Rao, M. A.: *J. Texture Studies*, 8, 135 (1977)
21. Rao, M. A.: *J. Texture Studies*, 8, 257 (1977)
22. Sawayama, S., Kawabata, A., Okabe, M. and Sugi, J.: *Nippon Nogeikaku Kaishi*, 52, 409 (1978)
23. 김영숙, 김주봉, 이신영, 변유량: 한국 식품과학회지, 16, 11 (1984)