

가열 및 알칼리 호화에 의한 찹쌀 전분의 리올로지 특성

박양균 · 김성곤* · 이신영** · 김 관***

목포대학교 식품공학과 *단국대학교 식품영양학과
강원대학교 발효공학과 *전남대학교 식품공학과

초록 : 신선찰벼(일반계)와 한강찰벼(다수계) 전분의 특성을 이해하기 위하여 4~8% 전분 현탁액의 가열 및 알칼리 호화에 의한 리올로지 특성을 회전점도계로 비교 검토하였다. 한강찰벼 전분의 전단응력 값이 가열 및 알칼리 호화액에서 모두 컸으며, 시료간의 차이는 알칼리 호화액에서 더 컸다. 가열 및 알칼리 호화액에서 점조도지수 및 항복응력값은 한강찰벼 전분이 컸으며, 시료간의 차이는 알칼리 호화액에서 더 컸다. 또 가열 호화액보다 알칼리 호화액이 항복응력의 농도의존성과 항복응력을 나타내기 시작하는 농도가 높았다(1991년 10월 24일 접수, 1991년 12월 21일 수리).

멥쌀의 식미 평가방법은 취반특성, 밥의 텍스처 및 쌀 또는 전분의 이화학적 성질 등의 세가지 방법으로 분류¹⁾ 되는데 이중 취반특성 및 식미는 주로 전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴의 함량에 크게 영향을 받으나^{1,2)} 찹쌀 전분은 거의 아밀로펙틴만으로 구성³⁾ 되어 있으므로 조리하면 끈기가 있는 텍스처 특성을 나타내어 멥쌀 전분과는 물리적 특성이 다른 것으로 보고⁴⁾ 되어 있다.

우리나라 찹쌀의 품질에 관한 연구중 찹쌀의 물리화학적 특성 비교,⁴⁾ 찹쌀 전분의 점성특성⁵⁾에 관한 연구 등이 있으나 가열 방법에 따른 리올로지 특성 연구는 없는 실정이다. 멥쌀 전분 가열 호화액의 리올로지 특성값은 품종간의 차이가 크지 않았으나 알칼리 호화액의 리올로지 특성값은 뚜렷한 차이를 나타내어⁶⁾ 호화방법에 따른 리올로지 특성 연구가 본 연구에서는 찹쌀 전분의 가열 및 알칼리호화에 의한 리올로지 특성값을 측정하여 찹쌀품종간에 전분의 품질특성을 비교 검토하였다.

재료 및 방법

재료

신선찰벼(일반계)와 한강찰벼(다수계)를 전라남도 농촌진흥원 평동시험포장에서 구입하여 알칼리 침지법⁷⁾으로 전분을 분리하여 사용하였다.

전분 호화액의 제조

가열 호화액은 전분에 증류수를 가하고 95°C에서 30

분간 가열하여 4~8% 전분 호화액을 만든 후 30, 50, 60 및 70°C로 냉각시켜 사용하였으며, 알칼리 호화액은 전분 현탁액을 0.17, 0.18 및 0.19 N NaOH의 입계농도에서 30분간 호화시켜 각각 4, 6 및 8%의 전분 호화액을 만들어 리올로지 측정 시료액으로 사용하였다.

리올로지 특성의 측정

회전점도계(Viscotron, Brabender Co., U.S.A.)를 사용하여 회전속도 2~130 rpm의 연속적 변화에 따른 토오크의 변화를 자동기록하여 측정하고, Herschel-Bulkeley 식⁸⁾과 Casson 식⁹⁾으로부터 특성값을 구하였다.

결과 및 고찰

신선찰벼와 한강찰벼 전분 가열 호화액의 전단속도에 대한 전단응력의 관계는 Fig. 1과 같다. 신선찰벼와 한강찰벼 전분은 모두 전분 농도에 관계없이 전단속도의 증가에 따라 전단응력이 비직선적으로 증가하여 비뉴우톤 유체의 거동을 나타내었다. 비직선적인 경향은 전분 농도의 증가에 따라 강해졌고, 각 전단속도에 대응하는 전단응력의 값은 한강찰벼 전분이 높았으며 전분 농도 증가에 따라 그 차이가 커졌다.

Casson 식⁹⁾에 의하여 항복응력을 구한 후 Herschel-Bulkeley 식⁸⁾으로부터 비선형 최소자승법(non-linear least square method)을 사용하여 리올로지 특성값인 유동거동지수 및 점조도지수 값을 구하여 항복응력값과 함께

Table 1에 나타내었다. 신선찰벼와 한강찰벼 전분 모두 농도에 관계없이 유동거동지수가 1보다 작아 항복응력을 갖는 의가소성 유체 즉, 병행 의가소성 유체의 특성을 나타내었는데 이것은 찹쌀 전분에 관한 여러 보고^{4,5)}와 일치하는 경향이였다.

점조도지수의 농도의존성을 알아보기 위하여 점조도지수의 대수값을 여러 전분농도에 대하여 도시한 결과는 Fig. 2와 같다. Ln K와 전분농도와 관계는 시료 모두가 직선관계를 나타내어 다음의 지수함수식¹⁰⁾으로 표현할 수 있었다.

$$K = K_0 \exp(B \cdot C) \quad (1)$$

여기서 K_0 및 B는 무한희석 용액에서의 점조도지수 및 이의 농도의존성의 정도를 나타내는 지표값이다. Ln K와 전분농도의 관계는 두 시료 모두 6%농도 부근에서 기울기가 서로 다른 직선관계를 보였다. 이는 다른 전분에서도 나타나는 현상으로 쌀 전분은 6~8%,^{6,11,12)} 옥수수 전분은 6~7%,¹³⁾ 및 보리 전분은 5%¹⁴⁾에서 기울기 값이 서로 달라진다고 보고된 것과 유사하였으며, 김 등¹³⁾은 이 농도 부근에서 미셀의 형성, 겔의 형성 및 packing density 등과 밀접한 관련을 갖는다고 하였다.

Fig. 2의 직선으로부터 식 (1)을 적용하여 절편과 기울기로부터 구한 K_0 및 B값은 각각 4~6%에서 신선찰벼 전분은 $0.2851 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-n}$ 및 0.3530, 한강찰벼 전분은

$0.3301 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-n}$ 및 0.3408이었으며, 6~8%에서 신선찰벼는 $0.9811 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-n}$ 및 0.1470, 한강찰벼는 $0.5748 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-n}$ 및 0.2483이었다.

한편 $\sqrt{\tau_y}$ 와 전분농도와 관계 나타낸 Fig. 3에서는 두 시료 모두 농도의 증가에 따라 $\sqrt{\tau_y}$ 값이 증가하였으며 전분농도 6%를 기준으로 각각 다른 기울기를 나타내었다.

Evans와 Haisman¹⁵⁾은 전분 호화액의 항복응력과 전분농도는 다음식으로 표시될 수 있다고 하였다.

$$\sqrt{\tau_y} = K_y(C - C_0) \quad (2)$$

여기서 C_0 는 팽윤된 입자의 hydrodynamic volume이

Table 1. Rheological parameters of gelatinized waxy-rice starches at 95°C

| Starch | Concentration (%) | Yield stress (Pa) | Consistency index ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$) | Flow behavior index |
|-----------------|-------------------|-------------------|--|---------------------|
| Shinsunchalbyeo | 4 | 4.11 | 1.17 | 0.63 |
| | 6 | 5.06 | 2.37 | 0.66 |
| | 8 | 6.76 | 3.18 | 0.70 |
| Hangangchalbyeo | 4 | 4.72 | 1.29 | 0.62 |
| | 6 | 7.16 | 2.55 | 0.68 |
| | 8 | 12.32 | 4.19 | 0.66 |

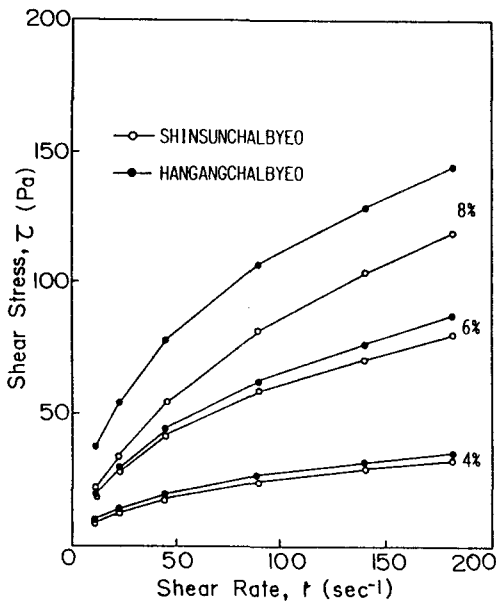


Fig. 1. Relationship of shear stress against shear rate of 4, 6 and 8% waxy-rice starch solutions gelatinized at 95°C and measured at 30°C.

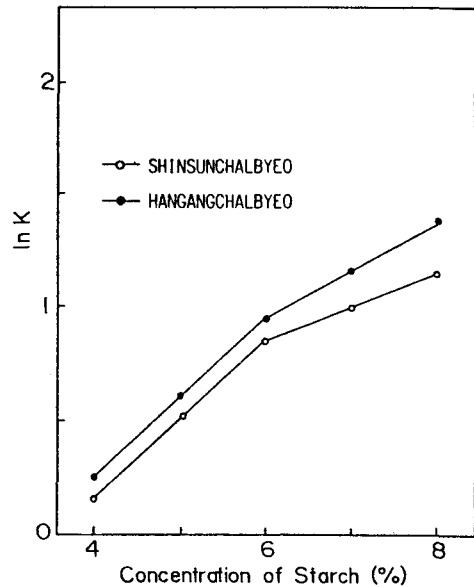


Fig. 2. Effect of starch concentrations on the consistency index of waxy-rice starch solutions gelatinized at 95°C.

시료 전체 부피와 같아지는 농도(packing density=1) 또는 전분 호화액이 항복응력을 갖기 시작하여 순수한 유체에서 soft solid로서 거동하기 시작하는 농도이며, K_y 는 항복응력의 농도의존성을 나타내는 상수이다.

Fig. 3의 직선관계로부터 식 (2)을 적용하여 구한 K_y 및 C_0 값은 각각 신선찰벼 전분이 0.1111 및 -14.2557%, 한강찰벼 전분이 0.2516 및 -4.6351%로 항복응력의 농도의존성과 항복응력이 나타나기 시작하는 농도는 신선찰벼 전분이 한강찰벼 전분보다 낮았다.

전분 호화액(6%)의 측정온도에 따른 리올로지 특성값

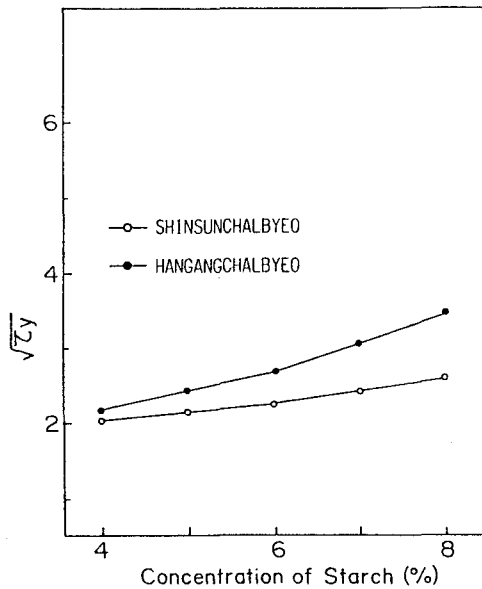


Fig. 3. Effect of starch concentrations on the yield stress of waxy-rice starch solutions gelatinized at 95 °C.

Table 2. Rheological parameters of gelatinized waxy-rice starches solutions at various measuring temperatures

| Starch | Concentration (%) | Yield stress (Pa) | Consistency index (Pa·s ⁿ) | Flow behavior index |
|-----------------|-------------------|-------------------|--|---------------------|
| Shinsunchalbyeo | 30 | 5.06 | 2.53 | 0.66 |
| | 50 | 6.98 | 2.38 | 0.65 |
| | 60 | 8.24 | 2.31 | 0.63 |
| | 70 | 8.41 | 2.26 | 0.63 |
| Hangangchalbyeo | 30 | 7.16 | 2.55 | 0.68 |
| | 50 | 7.15 | 2.42 | 0.65 |
| | 60 | 9.40 | 2.40 | 0.63 |
| | 70 | 9.53 | 2.26 | 0.63 |

은 Table 2와 같이 측정온도가 증가함에 따라 두 시료 전분의 점조도지수와 유동거동지수 값은 감소하였으나 항복응력값은 증가하였다.

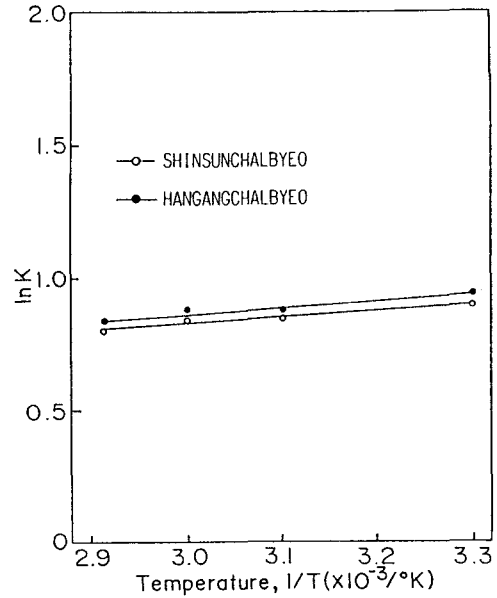


Fig. 4. Arrhenius plots of 6% waxy-rice starch solutions gelatinized at 95°C.

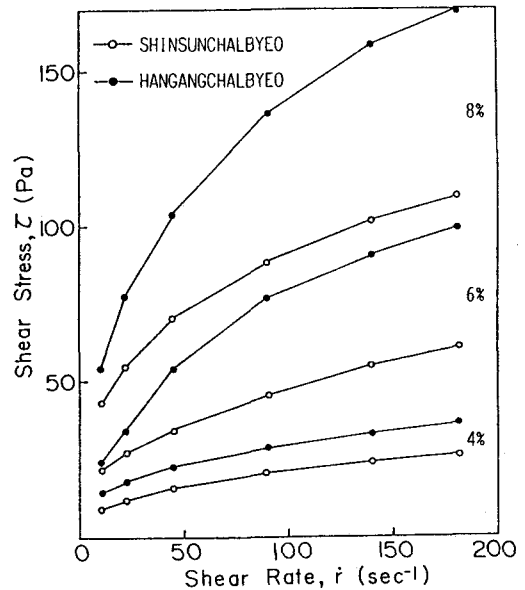


Fig. 5. Relationships of shear stress against shear rate of 4, 6 and 8% waxy-rice starch solutions gelatinized with sodium hydroxide and measured at 30 °C.

점조도지수 값의 온도의존성은 Fig. 4에서와 같이 직선관계를 보여서 다음의 Arrhenius 식¹⁶⁾으로 설명할 수 있었다.

$$K = A \exp(-E_a/RT) \dots\dots\dots (3)$$

여기서 E_a 는 활성화에너지, R 은 기체상수, A 는 빈도인자 및 T 는 절대온도이다.

Fig. 4의 직선관계로부터 식 (3)을 적용하여 기울기에서 구한 활성화 에너지값은 신선찰벼와 한강찰벼 전분이 각각 588.9 및 568.3 cal/mol으로서 신선찰벼 전분이 다소 높았다.

신선찰벼와 한강찰벼 전분 알칼리 호화액의 전단속도에 대한 전단응력의 관계는 Fig. 5와 같다. 신선찰벼와 한강찰벼 전분 모두 전분농도에 관계없이 가열 호화액의 경우와 마찬가지로 비뉴우턴 유체의 거동을 나타내었다. 그러나 전단속도 182 sec^{-1} 에서의 전단응력 값이 신선찰벼의 경우는 가열 호화액(Fig. 1)보다 알칼리 호화액이 다소 낮았으나 한강찰벼의 경우는 알칼리 호화액이 높은 값을 나타내어서 가열 호화액(Fig. 1)보다는 알칼리 호화액에서 시료간의 차이가 뚜렷하였다. 이는 알칼리 호화액이 가열 호화액과는 유동의 구조적 특성이 서로 다른 것을 의미하며 시료간의 차이는 알칼리에 대한 안정성에 기인하는 것으로 보인다.⁶⁾

Casson 식¹⁷⁾으로 구한 항복응력 값과 Herschel-Bulkley 식¹⁸⁾으로 구한 유동거동지수 및 점조도지수 값을 Table 3에 나타내었다. 신선찰벼와 한강찰벼 전분 모두 유동거동지수 값은 시료농도에 관계없이 1보다 작아 병행의가소성 유체의 특성을 나타내었으나 가열 호화액보다는 다소 의가소성이 강함을 보였다. 또 알칼리 호화액의 항복응력값과 점조도지수 값도 농도가 증가함에 따라 가열 호화액과 마찬가지로 증가(Table 3)하였다. 그러나 이들의 값은 가열 호화액보다 알칼리 호화액에서 높은

Table 3. Rheological parameters of gelatinized waxy-rice starches solution gelatinized with sodium hydroxide and measured at 30°C

| Starch | Concentration (%) | Yield stress (Pa) | Consistency index (Pa·s ⁿ) | Flow behavior index |
|-----------------|-------------------|-------------------|--|---------------------|
| Shinsunchalbyeo | 4 | 5.18 | 0.99 | 0.59 |
| | 6 | 16.59 | 2.77 | 0.57 |
| | 8 | 26.67 | 4.60 | 0.57 |
| Hangangchalbyeo | 4 | 9.10 | 1.35 | 0.58 |
| | 6 | 21.23 | 3.87 | 0.59 |
| | 8 | 28.25 | 6.91 | 0.60 |

경향이였으며 시료간에는 한강찰벼 전분이 높았다.

점조도지수의 대수값과 전분농도의 관계는 Fig. 6과 같으며 가열 호화액의 경우(Fig. 2)와 마찬가지로 두 시료

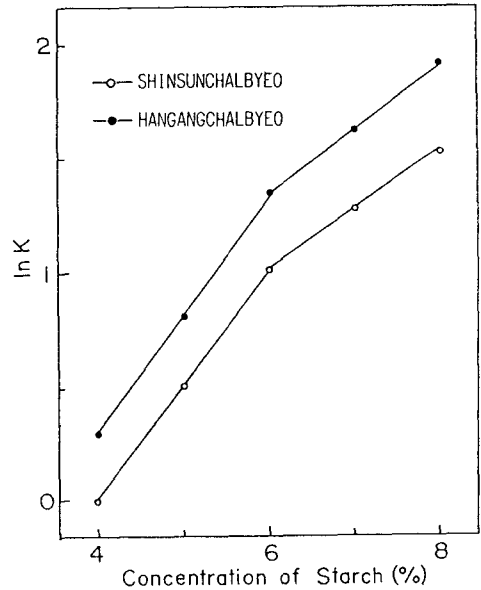


Fig. 6. Effect of starch concentrations on the consistency index of waxy-rice starch solutions gelatinized with sodium hydroxide.

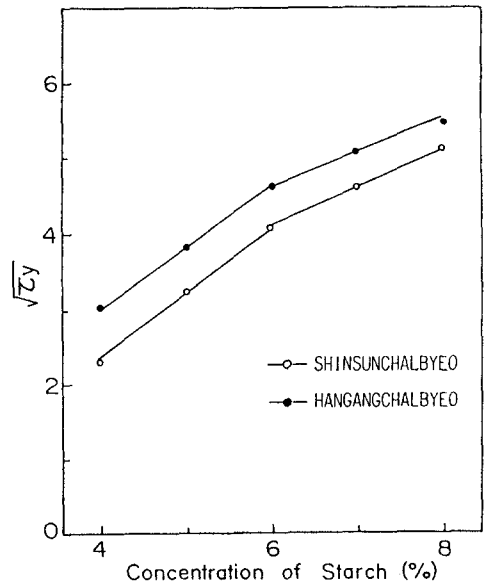


Fig. 7. Effect of starch concentrations on the yield stress of waxy-rice starch solutions gelatinized with sodium hydroxide.

모두 6% 농도 부근에서 기울기가 서로 다른 직선관계를 보였다. Fig. 6의 직선관계로부터 식 (1)을 적용하여 구한 K_x 및 B 값은 각각 4~6%에서 신선찰벼 전분은 $0.1768 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-n}$ 및 0.3984 , 한강찰벼 전분은 $0.2731 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-n}$ 및 0.3762 이었으며, 6~8%에서 신선찰벼 전분은 $0.3932 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-n}$ 및 0.2652 , 한강찰벼는 $0.4443 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-n}$ 및 0.2951 이었다. 그러므로 알칼리 호화액은 가열 호화액보다 점조도지수의 농도의존성은 다소 높았으나 무한회석 용액에서의 점조도지수 값은 낮았다.

또 $\sqrt{\tau_y}$ 와 전분농도와의 관계도 Fig. 7과 같이 두 시료 모두 전분 농도의 증가에 따라 $\sqrt{\tau_y}$ 값이 증가하였으며 전분농도 6%를 기준으로 각각 다른 기울기를 나타내었다. 이 직선의 기울기와 절편값을 식 (2)로부터 구한 K_y

및 C_0 값은 각각 신선찰벼 전분이 0.8986 및 1.4671%, 한강찰벼 전분이 0.7955 및 0.2079%로서 신선찰벼 전분이 항복응력의 농도의존성과 항복응력이 나타나기 시작하는 농도가 한강찰벼 전분보다 높았다. 또한 알칼리 호화액은 가열 호화액보다 항복응력의 농도의존성과 항복응력을 나타내기 시작하는 농도가 높은 결과를 보였다.

사 사

본 연구는 1991년도 한국과학재단의 연구비 지원(과제번호 913-1508-010-2)에 의하여 수행된 연구결과의 일부로 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Juliano, B. O. : International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Phillippines, p. 69(1979)
2. Juliano, B. O., Onarte, L. U. and del Mundo, A. M. : Food Technol., 19 : 1006(1965)
3. Juliano, B. O. : In "Rice : Chemistry and Technology", Juliano, B. O.(ed), 2nd Ed., Chap. 3, AACC, U.S.A.(1985)
4. 장명숙 : 단국대학교 대학원 박사학위 청구 논문 (1987)
5. 송범호, 김성곤, 이규환, 변유량, 이신영 : 한국식품과학회지, 17 : 107(1985)
6. 박양균, 김성곤, 이신영, 김 관 : 한국식품과학회지, 23 : 57(1991)
7. Yamamoto, K., Sawada, S. and Onogaki, T. : Denpun Kagaku, 20 : 99(1973)
8. Sherman, P. : Industrial rheology. Academic Press, New York(1970).
9. Casson, N. : In "Rheology of disperes systems", Mill, C. C.(ed), Pergamon Press, New York(1959)
10. Rao, M.A. : J. Texture Studies, 8 : 135(1977)
11. 이신영, 조형용, 김성곤, 이상규, 변유량 : 한국식품과학회지, 16 : 273(1984)
12. 김주봉, 김영숙, 이신영, 변유량 : 한국식품과학회지, 16 : 1(1984)
13. 김성곤, 이신영, 김주봉 : 단국대학교 부설 식량개발연구소, p. 53(1983)
14. 박양균, 노일환, 김 관, 김성곤 : 한국식품과학회지, 18 : 278(1986)
15. Evans, L. D. and Haisman, D. R. : J. Texture Studies, 10 : 347(1979)
16. Sawayama, S., Kawabata, A., Okabe, M. and Sugi, J. : Nippon Nogekagaku Kaishi, 52 : 409(1978)

Rheological properties of waxy-rice starches gelatinized with thermal or alkali solutions

Yang-Kyun Park, Sung-Kon Kim*, Shin-Young Lee** and Kwan Kim***(Department of Food Engineering, Mokpo National University, Mokpo 530-830, Korea, *Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, Seoul 140-210, Korea, **Department of Fermentation Engineering, Kwangwoon National University, Chuncheon 200-701, Korea, ***Department of Food Science and Technology, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)

Abstract : Rheological properties of Shinsunchalbyeo(Japonica) and Hangangchalbyeo(J×Indica) waxy-rice starches gelatinized with thermal or alkali solutions were investigated with rotational viscometer(Brabender Viscotron). The two starches showed Bingham pseudoplastics behavior in 4~8% thermal or alkali gelatinized starch solutions. The shear stress of Hangangchalbyeo starch solution gelatinized with thermal or alkali showed higher values than that of Shinsunchalbyeo starch and the difference of the two varieties gelatinized with alkali showed higher values than that gelatinized with thermal. Consistency index and yield stress values of Hangangchalbyeo starch showed higher than that of Shinsunchalbyeo starch in the two gelatinized methods and the difference of the two varieties gelatinized with alkali showed higher values. And it was higher that the dependence of consistency index on starch concentration and initial starch concentration of yield stress in the alkali gelatinized samples than those of in the thermal gelatinized ones.