

## 쌀보리 전분 호화액의 리올로지 특성

박양균·노일환·김 관·김성곤\*·이신영\*\*

전남대학교 식품가공학과·\*단국대학교 식품영양학과·\*\*강원대학교 발효공학과

# Rheological Properties of Naked Barley Starches

Yang-Kyun Park, Il-Hwan Lho, Kwan Kim, Sung-Kon Kim\* and Shin-Young Lee\*\*

Department of Food Science and Technology, Chonnam National University, Kwangju

\*Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, Seoul

\*\*Department of Fermentation Engineering, Kangweon National University, Chuncheon

### Abstract

Rheological properties of naked barley (Songhak and Youngsan) starches were compared. The gelatinized starches at 3~9% concentration showed a Bingham pseudoplastic behavior. Songhak starch had higher values of consistency index and yield stress than those of Youngsan starch. The dependence of consistency index on concentration was more pronounced in Songhak starch. Consistency index of both starches was exponentially dependent on concentration, but the slopes at 3~5% and 5~9% starch concentration were different. The activation energies of 7% for Songhak and Youngsan starches were 4.10 and 3.71 Kcal/mole, respectively.

### 서 론

쌀보리 전분의 특성을 이해하기 위한 기초연구의 일환으로 전보<sup>(1)</sup>에서 쌀보리 전분의 화학적 호화특성을 보고하였다. 전분의 가공적성과 밀접한 관계가 있는 리올로지 특성에 대한 연구로는 모세관 점도계를 이용한 겔보리 및 쌀보리의 리올로지 연구<sup>(2)</sup>가 있을 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 전보<sup>(1)</sup>에 이어 쌀보리 전분의 특성을 이해하기 위하여 가열호화액에 대한 리올로지 성질을 비교 검토하고자 하였다.

### 재료 및 방법

#### 재료

본 실험에 사용한 쌀보리 품종은 1984년도에 수확된 송학과 영산으로서 전보<sup>(1)</sup>와 동일한 품종을 사용하였다.

전분도 전보<sup>(1)</sup>에서와 같이 분리하였다.

#### 시료액의 조제

전분에 증류수를 가하여 3, 5, 7 및 9% 현탁액을 만들고 5분간 잘 혼합한 다음 항온수조에서 일정한 속도로 교반하면서 액의 온도가 95°C에 달한때부터 30분간 가열시킨 호화액을 얼음물 속에서 3분 이내에 측정

하고자 하는 온도 즉, 3, 5 및 9%는 30°C, 7%는 30, 50, 60 및 70°C로 냉각시킨 다음 리올로지 특성의 측정시료액으로 하였다.

#### 리올로지 특성의 측정

시료액의 리올로지 특성 측정은 회전점도계인 Brabender viscometer(model VISCOTRON)를 사용하여 다음과 같이 행하였다. 즉, out-side cylinder의 내반경 21.7mm, inside cylinder의 외반경 20.0mm의 measuring system(E17)에 시료용액 8ml를 넣고 측정하고자 하는 온도를 유지하면서 회전속도 10~130rpm의 연속적 변화에 따른 토오크(torque)의 변화를 자동 기록하여 행하였다.

#### 리올로지 특성값의 산출

리올로지 특성값은 Herschel-Bulkley 식<sup>(3)</sup>을 적용하여 산출하였다.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n + \tau_y \dots \dots (1)$$

여기서 K는 점도지수(Pa·S<sup>-n</sup>), n은 유동거동지수(-), τ<sub>y</sub>는 항복응력(Pa)이다.

전단응력(shear stress)τ와 전단속도(shear rate)γ̇는 실험으로 부터 구한 회전속도에 따른 토오크로부터 각각 다음 관계식에 의하여 구하였다.

$$\tau = B \cdot S \cdot Y \dots \dots (2)$$

$$\dot{\gamma} = N \cdot X \dots \dots (3)$$

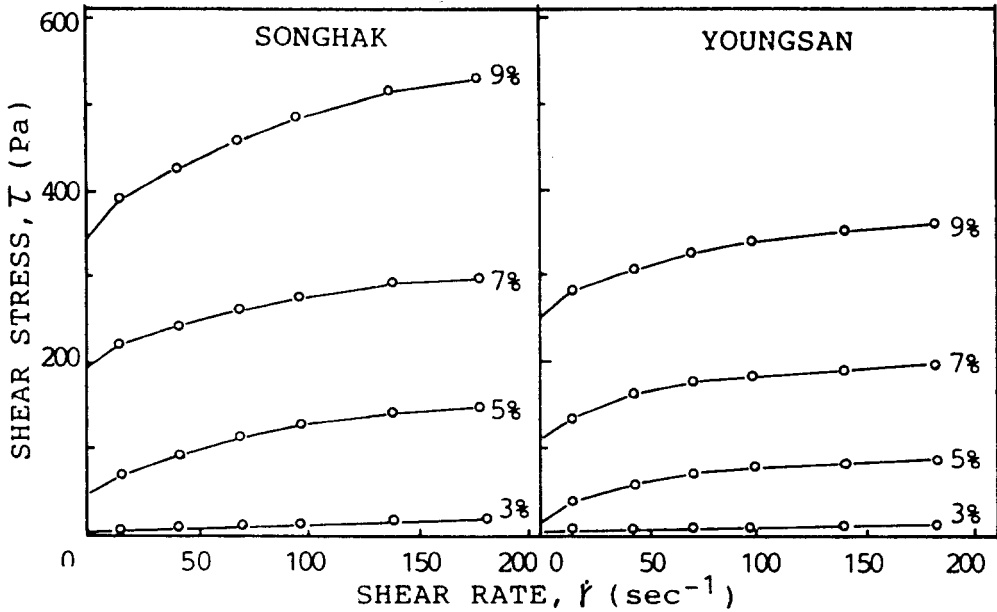


Fig. 1. Plot of shear stress against shear rate at various concentrations of barley starch

여기서 S는 토오크값, N은 회전속도(*rpm*)이며; B, X 및 Y는 제조회사의 manual에 표시된 보정계수로 각각 토오크 측정용 spring에 의존하는 scale factor, shear rate factor 및 shear stress factor이다.

한편 n 및 K값은  $\log(\tau - \tau_y)$ 와  $\log \dot{\gamma}$  관계의 기울기 및  $\log \dot{\gamma} = 0$  일때의 절편값으로부터 각각 구했으며, <sup>(4)</sup>  $\tau_y$  값은 다음의 Casson 식<sup>(5)</sup>으로 구했다.

$$\tau = Kc \dot{\gamma}^n + \tau_y \dots (4)$$

모든 계산은 AppleII 컴퓨터를 사용하여 산출하였다.

결과 및 고찰

95°C에서 호화한 3, 5, 7 및 9% 농도범위의 송학과 영산 전분 호화액에 대한 전단응력과 전단속도의 관계를 30°C에서 측정된 결과는 그림1과 같다. 송학과 영산 전분 호화액은 모두 항복응력이 존재하였으며 측정

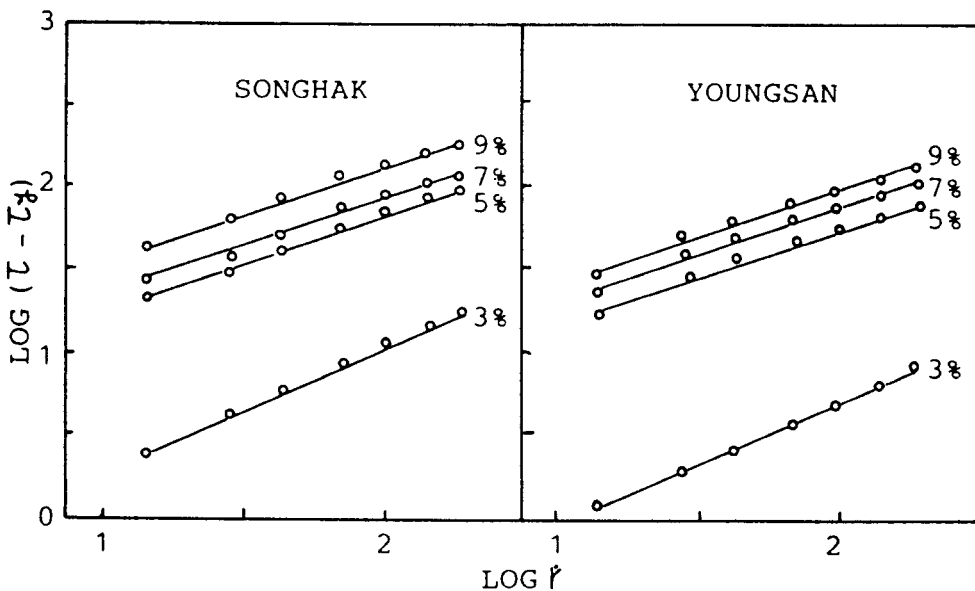


Fig. 2. Plot of  $\log(\tau - \tau_y)$  against  $\log \dot{\gamma}$  at various concentrations of barley starch

Table 1. Rheological parameters of gelatinized barley starch

Rheological parameter	Songhak starch				Youngsan starch			
	3%	5%	7%	9%	3%	5%	7%	9%
K	0.34	3.79	5.52	10.37	0.14	2.97	4.86	7.14
$\tau_y$	1.10	50.56	194.95	345.11	0.24	21.69	110.92	251.05
n	0.76	0.64	0.58	0.56	0.77	0.65	0.60	0.53

K : Consistency index ( $Pa \cdot s^{-n}$ )       $\tau_y$  : Yield stress ( $Pa$ )      n : Flow behavior index (-)

농도범위에서 모두 전단속도의 증가에 따라 전단응력이 비직선적으로 증가하는 비뉴우튼 유체의 거동을 나타냈다. 비직선적인 경향은 농도의 증가에 따라 증가하였으며 전단속도에 대응하는 전단응력의 값은 송학전분의 경우에서 더 높은 경향이였다.

리올로지 특성을 보다 명확히 알아보기 위하여 전단응력에서 항복응력을 뺀 차이값을 전단속도에 대하여 양 대수조표에 도시하였으며 그 결과는 그림2와 같다. 시료 모두 직선적인 관계를 보였으므로 보리 전분 호화액의 리올로지적거동은 Herschel-Bulkley 식에 잘 적용되며 전분의 전형적인 경향과도 잘 일치함을 알 수 있다.

직선의 기울기와  $\log \dot{\gamma} = 0$ 의 절편값으로부터 비선형 최소자승법(nonlinear least square method)<sup>(6,7)</sup>을 사용하여 리올로지 특성값인 유동거동지수 n 및 점조도지수 K 값을 구하였으며, 그 결과를 항복응력  $\tau_y$  값과 함께 표1에 나타내었다. n 값은 시료차이없이 비슷한 값을 나타냈으며 농도 증가에 따라 비슷한 감소 경향을보여서 의가소성(pseudoplastic)의 성질이 강해졌다.

또 K와  $\tau_y$ 의 값은 농도의 증가에 따라 현저히 증가하였으며 시료간에도 차이를 보여 송학은 영산보다 훨씬 큰 K 및  $\tau_y$  값을 나타냈으며 농도의존성도 더욱 뚜렷하였다. 이는 보리전분의 리올로지적 거동은 농도의존성이 매우 높다는 것을 의미한다. 특히 시료간의 차이는 가공적성을 이해하는 중요한 지표가 될 수 있을 것으로 판단된다.

농도의존성을 좀더 상세히 살펴보기 위하여 농도 증가에 따른 리올로지 특성값의 변화를 그림3과 4에 나타내었다. 먼저 그림3은  $\ln K$ 와 농도 C와의 관계를 나타낸 것으로 이들 관계는 다음의 지수함수식<sup>(8)</sup>으로 표현되었다.

$$K = Kc \exp(B \cdot C)$$

여기서 Kc 및 B는 무한희석용액에서의 점조도지수 및 이의 농도의존성의 정도를 나타내는 지표값이다.  $\ln K$ 와 C의 관계는 두 시료 모두 5% 농도 부근에서 기울기가 서로 다른 직선관계를 보였다. 이는 다른 전분에

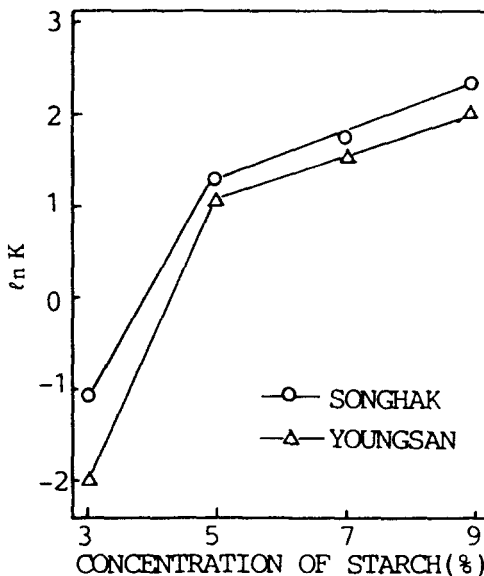


Fig. 3. Dependence of consistency index on concentration of barley starch

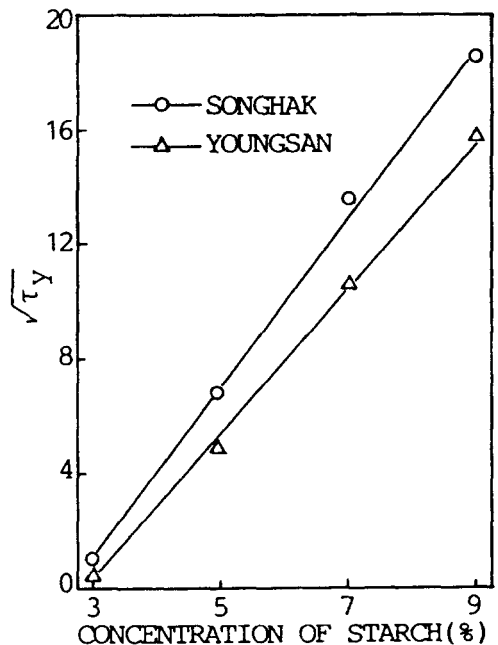


Fig. 4. Plot of  $\sqrt{\tau_y}$  against concentration of barley starch

서도 나타나는 현상이며 쌀 전분은 7~8%,<sup>(9-11)</sup>옥수수 전분은 6~7%<sup>(12)</sup>, 밤 전분은 1.6% 부근<sup>(13)</sup>에서 기울기 값이 서로 달라진다. 이등<sup>(10)</sup>은 이 농도 부근에서 전분 호화액의 구조적 특성이 달라지기 때문이라고 하였다. 일반적으로 리올로지 특성값이 크게 달라지는 농도는 micell의 형성, 젤(gel)의 형성 및 packing density 등과 밀접한 관련을 갖는다. Kc 및 B 값은 각각 5%이하에서 송학 전분은  $0.0093 Pa \cdot S^{2-n}$  및 1.200이었고 영산 전분은  $0.0013 Pa \cdot S^{2-n}$  및 1.545이었다. 5%이상에서는 송학  $1.2905 Pa \cdot S^{2-n}$  및 0.005이었고 영산은  $1.2461 Pa \cdot S^{2-n}$  및 0.006이었다. Kc 값은 송학이 크고 B 값은 영산이 커서 영산 전분의 농도의존성이 높았다. 이등<sup>(2)</sup>은 1~3% 쌀보리 전분의 Kc 및 B 값은  $0.017 Pa \cdot S^{2-n}$  및 0.547이라고 하였는데 본 실험의 Kc 값은 이보다 작았고 B 값은 이보다 커서 K 값의 농도의존성이 큰 경향이였다.

$\sqrt{\tau_y}$ 와 농도 C와의 관계를 나타낸 그림4에서는 두 시료 모두 농도의 증가에 따라  $\sqrt{\tau_y}$  값이 직선적으로 증가하였다. Evans<sup>(14)</sup>은 전분의  $\sqrt{\tau_y}$ 와 C는 다음 식과 같은 관계를 갖는다고 하였다.

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

여기서  $C_0$ 는 팽윤된 입자의 hydrodynamic volume 이 시료 전체 부피와 같아지는 농도(packing density=1) 또는 전분 호화액이 항복응력을 갖기 시작하여 순수한 유체에서 soft solid로서 거동하기 시작하는 농도이며,  $K_y$ 는 그 값이 클수록 항복응력의 농도의존성이 큼을 나타내는 상수이다. 위식을 적용하여 그림4의 기울기와 절편값으로부터  $K_y$  및  $C_0$  값을 구하였으며 그 값은 각각 송학 전분에서 2.97 및 2.58%, 영산 전분에서 2.60 및 2.96%이었다.  $C_0$  값은 30~60°C 범위에서 측정된 옥수수 전분과 비슷하였다(2.68~2.78%).<sup>(12)</sup> 그러나  $K_y$  값은 옥수수 전분(1.31~1.1)보다 상당히 커서 항복응력의 종도의존성이 매우 높은 결과를 보였다. 항복응력의 높은 농도의존성은 gum 류등의 hydrocolloid에서 현저하며 점증체로서의 용도에서 중요한 성질이다.

한편 7% 전분 호화액에 대하여 K 값의 측정온도의존성을 검토하였으며 그 결과를 그림5에 나타내었다.  $\ln K$ 와  $1/T$ 의 관계는 시료에 관계없이 모두 직선관계를 나타내었으며 아레니우스식<sup>(15)</sup>으로 잘 설명할 수 있었다.

$$K = K_0 \exp(-E/RT)$$

여기서 E는 활성화에너지(kcal/mole), R은 기체상수(1.987kcal/mole · K),  $K_0$ 는 빈도인자이다. 온도가 증가할수록 K 값은 감소하고 전형적인 액체의 특성을 나타내었으며, 그림5의 직선관계로부터 기울기에서

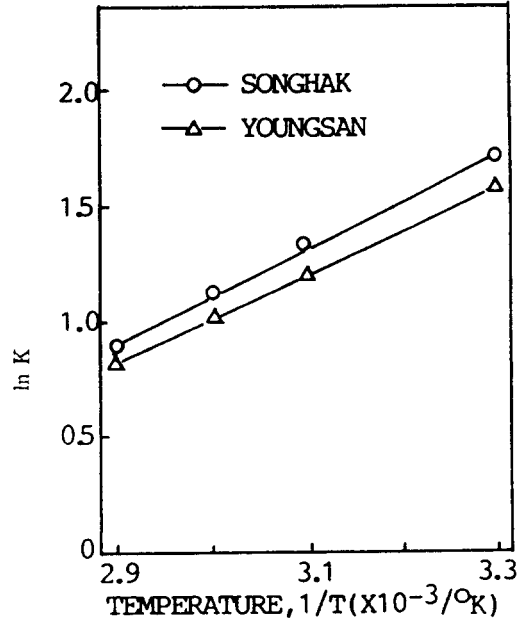


Fig. 5. Effect of temperature on consistency index of 7% barley starch

구한 E 값은 송학과 영산에서 각각 4.098 및 3.710 kcal/mole 이었다. 송학 전분은 영산 전분 보다 높은 온도의존경향을 나타냈으나 다른 전분 보다는 비교적 낮은 범위였다. 이등<sup>(2)</sup>은 3% 쌀보리 및 결보리 전분의 활성화에너지는 7.2 및 6.1kcal/mole 로 다른 전분에 비해 비교적 높다고 하였는데 이는 시료 및 측정농도 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

### 요 약

쌀보리 품종인 송학과 영산 전분의 가열 호화액의 리올로지 특성을 비교하였다. 90°C에서 30분간 호화시킨 3, 5, 7 및 9% 전분 호화액은 모두 의가소성의 거동을 나타냈고, 점조도지수 K 및 항복응력  $\tau_y$  값은 송학이 영산보다 컸으며 더 높은 농도의존성을 나타내었다. 전분농도의 증가에 따라 송학과 영산 모두 점조도지수 K 값이 지수함수적으로 증가하였으며 5%근처에서는 기울기가 서로 다른 2개의 직선관계를 나타냈다. 아레니우스식에 의해 구한 활성화에너지는 7% 송학과 영산 전분용액에서 각각 4.098 및 3.710kcal/mole 이었다.

### 문 헌

1. 박양균, 노일환, 김 관, 김성곤 : 한국식품과학회지, 18, 192 (1986)

2. 이신영, 최준복, 천병익 : 한국식품과학회지, 17, 131(1985)
  3. Sherman, P.: *Industrial Rheology*. Academic Press, New York (1970)
  4. Holdsworth, S.D.: *J. Texture Studies*, 2, 393 (1971)
  5. Casson, N.: In "*Rheology of Disperse Systems*" Mill, C.C. (ed), Pergamon Press, New York (1959)
  6. Kubota, K., Suzuki, K. and Hosaka, H.: *Shokuhin Kogyo*, 20, 60 (1977)
  7. Kubota, K., Hosokawa, Y., Suzuki, K. and Hosaka, H.: *Fac. Anim., Hiroshima Univ.*, 17, 1 (1978)
  8. Rao, M.A.: *J. Texture Studies*, 8, 135 (1977)
  9. 송범호, 김성곤, 이규한, 변유량, 이신영 : 한국식품과학회지, 17, 107(1985)
  10. 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규 : 한국식품과학회지, 16, 29(1984)
  11. 김주봉, 김영숙, 이신영, 변유량 : 한국식품과학회지, 16, 451(1984)
  12. 김성곤, 이신영, 김주봉 : 유채식품의 리올로지, 단국대학교 부설 식량개발연구소(1983)
  13. 박영희, 김성곤, 이신영, 김주봉 : 한국식품과학회지, 16, 314(1984)
  14. Evans, L.A. and Haisman D.R.: *J. Texture Studies*, 10, 347 (1979)
  15. Sawayama, S., Kawabata, A., Okabe, M. and Sugi, J.: *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 52, 409 (1978)
- 
- (1986년 5월 14일 접수)