

침 전분 호화액의 리올로지적 성질

김 관·윤한교*·김성곤**·이신영***

전남대학교 식품 공학과, *충남대학교 식품가공학과
단국대학교 식품영양학과, *강원대학교 발효공학과

Rheological Properties of Gelatinized Arrowroot Starch Solution

Kwan Kim, Han-Kyo Yoon,* Sung-Kon Kim ** and Shin-Young Lee***

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

*Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon

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

***Department of Fermentation Technology, Kangyeon National University, Chooncheon

Abstract

The rheological properties of gelatinized arrowroot starch solution (4~7%) followed the power law and showed a pseudoplastic behavior at the temperature range of 30~66°C. The flow behavior index was essentially remained constant at all temperatures, but decreased as starch concentration increased. The consistency index was exponentially increased with the increase of starch concentration. The activation energy of flow of gelatinized starch solution was 4.068~4.542 kcal/mole.

서 론

전보⁽¹⁾에서 저자들은 침 전분 현탁액의 리올로지적 성질을 모세관 점도계를 사용하여 조사하고 전분의 농도 및 가열온도가 호화에 미치는 영향을 검토 보고하였다. 점조도 지수값은 지수함수식에 따르는 농도 및 온도 의존성을 보였으며 특히 온도 60~65°C의 경우 유동활성에너지는 농도 2~6%에서 약 28~60kcal/mole로 30~60°C 침 전분 현탁액의 0.307~0.399kcal/mole보다 훨씬 높은 값을 보였다. 이는 60°C 이상에서는 전분의 호화가 일부 진행되므로 전분입자 내부의 결합상태가 변하여 나타난 현상으로 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이와 같이 온도변화에 따른 리올로지적 성질의 변화를 보다 정량적으로 관찰하기 위하여 전분 호화액의 리올로지 측정엔 적합한 회전점도계를 사용하여 침 전분 호화액의 리올로지적 성질은 농도 및 측정온도를 변수로하여 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

침 전분은 전보⁽¹⁾에서와 같은 시료를 사용하였다. 전분의 일반성분은 수분 12.3%, 조단백질 0.72%, 조회분 0.11% 및 조지방 0.11%이었다.

호화액의 조제

전분을 10ml의 증류수에 현탁시켜 상온에서 30분간 교반한 후, 90°C의 증류수로 4~7% (w/v, 건량 기준) 침 전분 현탁액으로 만든 다음 60°C의 항온조에서 서서히 교반하면서 약 10분간 가열하였다.

이를 90°C의 항온조에서 45분간 가열호화시킨 후 얼음물에서 5분 이내에 측정온도(30~66°C)로 냉각시켜 측정시료로 하였다.

리올로지 특성의 측정

호화액의 리올로지 특성은 Haake Rotovisco Viscometer (Model R-12)로 MVcup(I.D=4, 201cm)과 MV-1 bob(O.D=4.08cm, L=6.0cm)을 사용하여 측정하였다. 즉 측정온도로 냉각시킨 시료액 40ml를 전우력의 변화를 기록계 (Model7015 Bx-y-t Recorder)로 자동기록하였다.

리올로지 특성값의 계산^(2,3,4)

전단속도의 계산은 Bob의 회전속도로부터 제조회사의 manual에 표시된 보정계수를 곱해서 구하였으며, 이때 bob의 회전속도로부터 제조회사의 manual에 표시된 보정계수를 곱해서 구하였으며, 이때 bob과 cup의 간격이 매우 작기 때문에 ($R_2/R_1=1.05$) 비뉴턴 유체에 대한 전단속도의 보정은 하지 않았다.

또 전단응력 (τ)은 점도계의 회전우력에 장치의 보정계수(3.22 Pa/scale, grad)를 사용하였으며 겔보기 점도 η_{app} 는 다음식에 의하여 계산하였다.

$$\eta_{app} = \tau / \dot{\gamma} \dots\dots\dots(1)$$

한편 점조도 지수K 및 겔보기 점도의 온도의존성은 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$K(\text{or } \eta_{app}) = A_e - E_a/RT \dots\dots\dots(2)$$

여기서 E_a 는 활성화에너지, A는 빈도인자 R은 기체상수이다.

결과 및 고찰

전분호화액의 유동형태

여러 전분농도(4~7%)에 대하여 30°C에서 전단속도를 달리하면서 전단응력을 측정된 결과는 그림1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 칩 전분 호화액은 전분농도에 관계없이 항복응력값을 나타내지 않았으며, 전단속도가 증가함에 따라 전단응력은 비직선적으로 증가하였다. 그림으로 나타내지는 않았지만 다른 측정 온도에서도 이와 비슷한 경향을 보였다. 따라서 칩 전분 호화액의 점성거동은 의가소성임을 알 수 있었다.

일반적으로 유체식품의 유동형태는 대부분 의가소성 거동을 표시하는데는 다음의 지수법칙이 많이 이용되

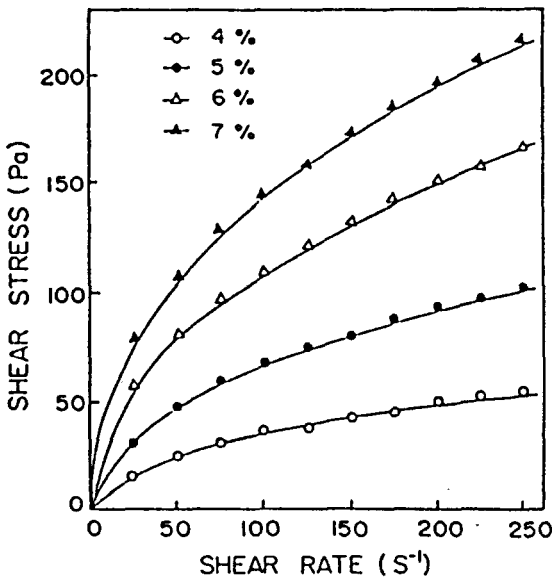


Fig. 1. Flow curves of gelatinized arrowroot starch solutions

고 있다.^(2,3)

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

칩 전분 호화액의 유동거동에 지수법칙을 적용시킬 수 있는가를 보기 위하여 전단속도와 전단응력을 양대수좌표에 도시하였으며, 이를 그림2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 직선 관계를 나타내었으므로 칩 전분 호화액의 유동거동은 지수법칙에 잘 적용됨을 알 수 있으며, 유동특성치를 지수법칙에 따라 분석한 결과는 표1과 같았다.

유동지수에 n 값은 각 농도에서 측정온도에 상관없이 비슷한 값을 보였으나 각 온도에서 농도에 대하여는 4 및 5%에서 각각 0.54~0.56 및 0.48~0.51 그리고 6 및 7%에서는 각각 0.45~0.50 및 0.43~0.45로 다소 감소하여 농도증가에 따라 의가소성의 증가경향을 보였다. 한편 점조도 지수K는 농도 및 측정온도에 모두 영향을 받아 농도가 증가함에 따라 증가하였고 측정온도에 대해서는 반대로 감소경향을 보였다.

점조도 지수는 n값에 크게 영향을 받으므로 농도 및 측정온도 의존성을 정량적으로 관찰하기 위하여 각 전분농도에 따라 유동거동 지수를 평균값으로 고정하고 점조도 지수를 다시 계산하였으며 그 결과는 표2와 같았다.

겔보기 점도의 온도의존성

표2의 결과를 이용하여 100S⁻¹의 전단속도에서 겔보기 점도를 계산한 다음 log η_{app} 와 농도C의 관계를 각

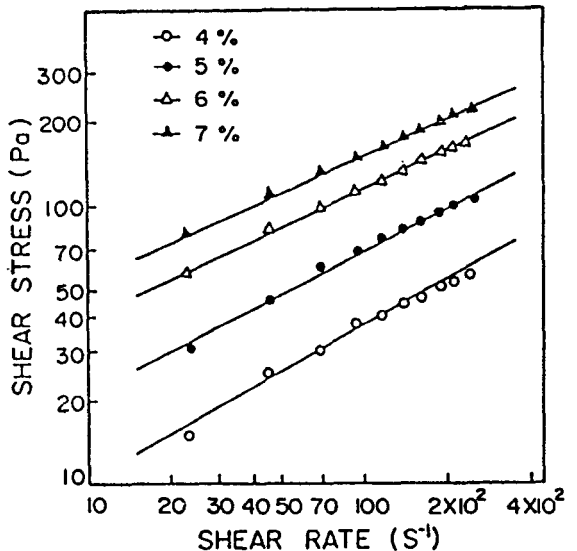


Fig. 2. Relationship between log shear rate and log shear stress of gelatinized arrowroot starch solutions

Table 1. Rheological parameters of gelatinized arrowroot starch solutions

Temp.(°C)	4%		5%		6%		7%	
	n	K	n	K	n	K	n	K
30	0.5453	4.6879	0.4882	7.5654	0.4652	15.1736	0.4350	25.1839
45	0.5480	3.2774	0.4911	5.4662	0.4511	11.4640	0.4477	17.3448
54	0.5571	1.9548	0.5086	3.8818	0.4746	8.6194	0.4629	13.0762
60	0.5540	1.7898	0.5182	3.6345	0.4951	6.8844	0.4527	11.7889
63	0.5682	1.4512	0.5136	3.4156	0.5035	6.1580	0.4675	10.5847
66	0.5691	1.4601	0.5130	3.2278	0.5003	6.0585	0.4531	10.5964

n; Flow behavior index (-), K; Consistency index (Pa.Sⁿ)

Table 2. Calculated consistency index of gelatinized arrowroot starch solutions at fixed values of flow behavior index

Temp.(°C)	4%	5%	6%	7%
	n=0.5583	n=0.5054	n=0.4816	n=0.4532
30	3.3617	7.0309	14.1498	23.3053
45	2.4184	5.1431	10.0671	16.9433
54	2.1082	3.9351	8.3664	13.6276
60	1.9054	3.8380	7.2917	11.7638
63	1.7045	3.5371	6.7598	11.2492
66	1.6070	3.3339	6.5606	10.5919

n; Flow behavior index (-), K; Consistency index (Pa.Sⁿ)

측정온도별로 도식한 결과는 그림3과 같았다. 이들 관계는 측정온도에 관계없이 직선관계를 보여서 겔보기 점도의 농도의존성은 다음 식(4)으로 나타낼 수 있었다.

$$\eta_{app} = \eta_{app, 0} \cdot 10^{BC} \dots \dots \dots (4)$$

여기서 $\eta_{app, 0}$ 는 무한 희석 용액에서의 겔보기 점도지

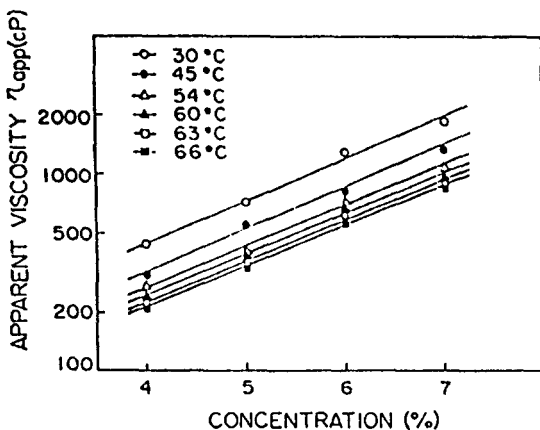


Fig. 3. Effect of concentration on apparent viscosity of gelatinized arrowroot starch solutions

수 (Pa.Sⁿ), B는 농도의존성 정도를 나타내는 상수이다. 그림3의 각 직선들로부터 선형 최소 제곱법으로 B와 $\eta_{app, 0}$ 의 값을 구하여 표3에 나타내었다. 표에서 보면 B값은 0.2120~0.2062의 범위로 측정온도에 관계없이 거의 일정한 값을 보였으나 $\eta_{app, 0}$ 는 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 따라서 측정온도의 증가에 따라 농도 의존성은 낮아짐을 알 수 있었으나 이 농도 범위에서 다른 곡류 전분⁽⁷⁾이나 밤 전분⁽⁸⁾에서 볼 수 있는 직선의 기울기가 달라지는 현상을 나타내지 않았다.

겔보기 점도의 온도의존성

참 전분 화화액의 겔보기 점도에 대한 측정온도의 영향을 보기 위하여 log η_{app} 와 1/T을 도식한 결과는 그림4와 같았다. 전분농도에 관계없이 모두 직선의 관계를 나타내어 다른 전분과 마찬가지로 식(2)을 잘 따름을 보였다.

그림4의 각 직선들로부터 변도인자 A와 활성화에너지 E_a 를 구하여 표 4에 나타내었다. A는 전분농도 4, 5, 6 및 7%에서 각각 5.135×10^{-4} , 6.372×10^{-4} , 7,

Table 3. Viscometric parameters of gelatinized arrowroot starch solutions at various temperatures

	30°C	45°C	54°C	60°C	63°C	66°C
B	0.2108	0.2120	0.2081	0.2065	0.2062	0.2089
η_{APP}	61.7546	44.5118	39.6925	36.5483	33.9353	31.8497
r	0.9963	0.9975	0.9934	0.9969	0.9977	0.9965

r; Correlation coefficient

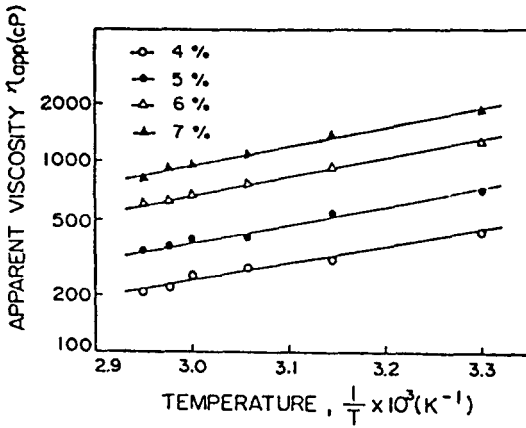


Fig. 4. Dependence of apparent viscosity on temperature of gelatinized arrowroot starch solutions

Table 4. Activation energy of gelatinized arrowroot starch solutions

	4%	5%	6%	7%
E_a	4.0679	4.2317	4.4360	4.5418
A	0.5135	0.6372	0.7930	1.0071
r	0.9956	0.9933	0.9993	0.9988

r; Correlation coefficient

93×10^{-4} 및 $1.007 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{S}^{-1}$ 로 다른 전분⁽⁶⁻⁸⁾과 비슷하였으나, E_a 는 4.07, 4.23, 4.44 및 4.54 kcal/mole로 다른 곡류 전분⁽⁴⁻⁷⁾보다 낮았다.

침전분호화액의 전분농도에 따른 활성화에너지 E_a 와 농도 C, 빈도인자 A와 농도 C를 도시한 결과는 그림 5와 같았다. 활성화에너지 E_a 및 빈도인자 A는 농도에 따라 직선적으로 증가하였다.

이는 쌀, 옥수수 전분^(5,7)에서도 보여지는 현상이다. 그러나 침전분은 대응하는 농도범위에서 농도증가에 따른 활성화에너지 값이 크게 변하지 않는 특징을 나타내어 (4.07~4.54kcal/mole) 호화전분의 내부결합력 즉 유동에 따른 저항이 농도에 크게 의존하지 않음을 보였다.

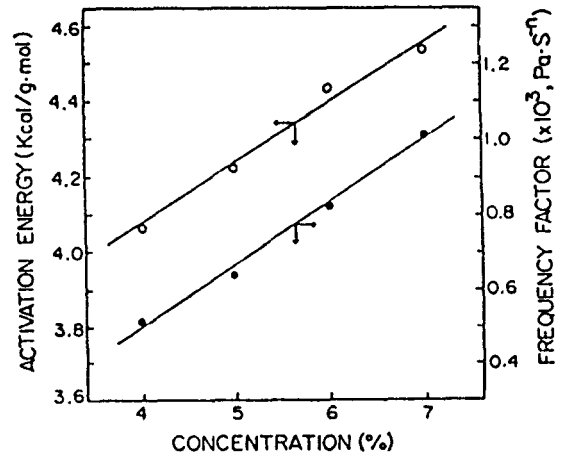


Fig. 5. Relations of activation energy and frequency of factor to the concentration of gelatinized arrowroot starch solutions

요 약

침전분 호화액(4, 5, 6 및 7%)의 리올로지적 성질은 측정온도 30~66°C에서 지수법칙에 따랐으며, 의가소성 유동거동을 보였다. 유동거동 지수는 측정온도에 대하여는 거의 비슷한 값을 보였으나, 농도의 증가에 따라 다소 감소하여 의가소성 경향이 증가하였다. 그러나 점조도 지수는 농도의 증가에 따라 증가하였으며, 측정온도에 대하여는 반대의 경향을 보였다. 침전분 호화액의 겔보기 점도는 농도의 증가에 따라 지수함수적으로 증가하였고, 활성화에너지는 4.068~4.542kcal/mole이었다.

문 헌

1. 김관, 윤한교, 김성관, 이신영 : 한국식품과학회지, 18, 114(1986)
2. Holdsworth, S.D.: *J. Texture Studies*, 2, 393 (1971)
3. Rao, V.N.M., Hamann, D.D. and Humphries, E.G.:

- J. Texture Studies*, **6**, 197 (1975)
4. Van Wazer, J.R., Lyons, J.W., Kim, K.Y. and Colwell, R.E.: *Viscosity and Flow measurements*, Wiley-Interscience, New York (1963)
 5. 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규 : 한국식품과학회지, **16**, 29(1984)
 6. 박양균, 노일환, 김관, 김성곤, 이신영 : 한국식품과학회지, **18**, 278(1986)
 7. 양영국, 이신영, 최국지 : 한국농화학회지, **29**, 339(1986)
 8. 박영희, 김성곤, 이신영, 김주봉 : 한국식품과학회지, **16**, 314(1984)
-
- (1987년 3월 16일 접수)