

## 농도와 온도에 따른 흰죽의 리올로지 특성 변화

이창호·한 억  
한국식품개발연구원 쌀이용연구센터

### Changes in the Rheological Characteristics by Various Concentrations and Temperatures of Korean white Gruel

Chang-Ho Lee and Ouk Han  
Rice Utilization Research Center, Korea Food Research Institute

#### Abstract

The rheological properties of Korean white gruel at various concentrations (4-7%) and temperatures (30-60°C) were investigated. The rheological behavior of Korean white gruel was evaluated by Herschel-Bulkley equation and showed typical Bingham pseudoplastic behavior with yield stress. Flow behavior index was increased at over 5% of rice content. Consistency index was increased by the increase of concentration of rice. But, measuring temperature was not effected in the flow behavior index and consistency index. Yield stress was increased by the increase of concentration of rice and the decrease of measuring temperature. The activation energy of flow of Korean gruel increased from 7.646 to  $32.949 \times 10^6$  J/Kg·mole by increasing concentration from 4% to 7%. As the temperature increased from 30°C to 60°C, B-value decreased from 1.214 to 0.947. Flow behavior index and consistency index was reduced during storage.

#### I. 서 론

죽은 한민족이 오랜 옛날부터 즐겨 먹어온 음식으로 첨가되는 재료나 조리방법에 따라서 매우 다양하다. 죽의 기원은 토기 출현 및 원시농경이 시작된 신석기 시대까지 거슬러가며 청동기 시대에 들어서 본격적으로 먹기 시작하였을 것으로 추정된다. 실제 BC 1000년경 중국의 「周書」의 기록에 의하면 황제가 처음 곡물을 삶아 죽을 만들었다는 기록이 전해진다. 한반도에서 죽이 널리 보급된 시기는 쇠가마솥이 발달한 삼국시대로 여겨지며 이 때에는 죽에다 고기, 조개, 채소 등을 넣어 다양하게 즐겼을 것으로 판단된다. 문헌에 나타난 죽류의 예를 보면 「林圀十六志」에는 아침건강식으로의 우수성을 나타내었으며 「國朝五禮儀」에는 喪禮 때에 죽을 먹도록 권고하고 있으며 「英祖實錄」에는 죽이 救療食으로 이용되었음을 나타내고 있다. 그외에도 곡물에다 여러 가지 채소나 산채를 섞어서 약효를 기대하기도 하였으며, 동짓날의 팥죽은 시절음식으로 삼으며 제사 음식이나 잡귀를 쫓는 민속음식의 차원에까지 이용되었고, 궁중이나 상류층에서는 우유죽 등을 쑤어 보양 효과나 더 나아가 풍류가 곁들인 죽까지도 즐겼던 것이다. 이처럼 죽은 대용주

식, 노인식, 유아식, 음료, 치료식, 보양식, 구제식, 환자식, 민속식, 구황식, 약식, 풍류식, 별미식으로서 무척 다양한 용도와 의미를 지니면서 먹어 왔다<sup>1)</sup>.

죽의 기본 재료는 곡물이지만 여기에 여러 가지 다른 식품소재를 써서 그 영양학적 가치를 높여 왔다. 죽은 실제 열량면에서 100 g당 30-50 kcal 정도에 불과한데<sup>2)</sup> 이는 쌀밥이나 보리밥의 1/3-1/4에 해당하는 수준이다. 그러나 먹기에 부담이 없고 소화가 용이하므로 주식의 개념보다는 보양 건강식으로, 현대에 와서는 건강 기능식으로 적극 권장되고 개발되어야 할 우리의 대표적인 전통식품으로서 의의가 크다고 하겠다.

최근 죽류의 편의 식품화가 활발한 시점에서 전통 식품의 전승 및 보존과 더불어 현대적 감각에 맞는 식품으로 발전시키기 위해서는 이에 대한 체계적인 연구가 이루어져야 하나 일부 전분호화액의 유동특성 연구<sup>3,4)</sup>를 제외하고는 연구 실적이 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 모든 죽류의 기본이 되는 흰죽을 바탕으로 하여 가수량 및 온도별 죽류의 물성학적 특성을 파악하여 전통 죽류의 과학적 해석 및 산업화에 기여하고자 하였다.

이밖에도 가열시간 및 저장기간 등이 죽류의 물성에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

**II. 재료 및 방법**

**1. 재료**

본 실험에서 죽 제조를 위하여 사용한 쌀은 94년도 산 추청을 사용하였다.

**2. 모델 흰죽 제조**

본 실험에서는 밥알의 모양이 유지되는 응근죽 형태의 흰죽을 모델로 제조하였다. 죽 25°C에서 30분간 침지시킨 원료쌀의 물기를 제거한 다음 계량한 후 건 물기준으로 원료쌀에 대해서 배합수를 가하고 불꽃의 강도가 약한 불에서 교반 가열하였다. 가열조건에서 불의 상태가 중요하데 약한 불에서 가열해야만 겔화가 서서히 진행되면서 쌀의 전분 입자들이 호화 팽윤에 의하여 분자간 안정한 결합구조를 형성하여 먹기에 알맞은 점조도 범위의 죽 물성이 형성되기 때문이다. 죽의 가열 온도는 상압에서 95°C 이상 오르지 않으므로 이점을 최종 가열온도로 하여 30분간 가열한 다음 20분간 정치한 후 밥알 부분을 체로 제거시키고 30°C로 냉각하여 리올로지 측정에 사용하였다.

**3. 리올로지 특성 및 계산**

흰죽의 리올로지 특성은 Haake Rotovisco Viscometer (Model RV20, Germany)를 사용하여 측정하였다. 실험에 사용한 cup은 MVP, rotor는 MV1P를 각각 사용하였으며 시료의 부피는 40 ml 였다. 측정시에는 흰죽을 제조한 후 40 g을 cup에 넣고 전단속도(shear rate)를 0-500(1/s)까지 증가시키면서 전단응력(shear stress)을 측정하였다. 본 실험에서 사용한 흰죽의 농도는 무게비(W/W)로 각각 4%, 5%, 6%, 7%이며, 측정 온도는 30°C, 40°C, 50°C, 60°C에서 각각 측정하였다. 리올로지 특성값의 계산은 식 (1)의 Herschel-Bulkley식을 이용하여 계산하였으며 항복치는 식 (2)의 Casson 식에 적용하여 계산하였다.

$$\tau = K\gamma^n + C \tag{1}$$

$$\sqrt{\tau} = K_1 \sqrt{\lambda} + \sqrt{C} \tag{2}$$

$\tau$  : 전단응력(shear stress, Pa)

$\gamma$  : 전단속도(shear rate, 1/s)

$K, K_1$  : 점조도 지수(consistency index, Pa.s<sup>n</sup>)

$n$  : 유동지수(flow behavior index)

$C$  : 항복응력(yield stress, Pa)

흰죽의 점도에 대한 온도의존성은 식 (3)으로 해석하였다.

$$\eta_{app} = \eta_{\infty} \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \tag{3}$$

$\eta_{\infty}$  : 무한겔보기 점도(infinite apparent viscosity, Pa.s)

$\eta_{app}$  : 겔보기 점도(apparent viscosity, Pa.s)

$E_a$  : 유동활성화 에너지(activation energy of flow, J/Kg·mole)

$R$  : 기체상수(J/Kg·mole·K)

$T$  : 절대온도(absolute temperature, K)

**III. 결과 및 고찰**

**1. 흰죽의 리올로지 특성**

죽의 일반적인 리올로지 특성을 파악하기 위하여 흰죽의 농도별, 온도별 리올로지 특성값을 측정된 결과 및 전단속도 대 전단응력을 도시한 결과는 Table 1, Fig. 1과 같다.

일반적으로 전분 호화액의 유동 특성은 전단속도(shear rate)가 증가함에 따라서 전단응력(shear stress)의 증가폭이 감소하는 의가소성 유체의 특성에 항복치(yield stress)를 가지는 비뉴우턴 유체의 특성을 나타내며 이는 Herschel-Bulkley식으로 표현될 수 있으므로 이 식에 적용하여 유동 특성치를 구할 수 있다. 본 실험에서 사용한 흰죽은 전분 호화액의 전형적인 유동특성인 항복응력(yield stress)을 가지는 의가소성(Bingham pseudoplastic) 유체의 특성을 나타내고 있다. 유체의 유동 특성을 설명해주는 유동 지수(n)는 4%(W/W) 농도에서 0.54-0.63, 5-7% 농도에서 0.71-0.96의 값을 나타내어 5% 이상의 농도에서 크게 증가하는 경향을 나타내었으며 전체적으로 온도에 의한 차이는 나타나지 않았다. 점조도지수는 4% 농도에서는 온도에 따라서 각각 0.067-0.07, 7%에서는 0.34-0.94의 값을 나타내어 농도증가에 비례하여 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었으나 온도에 의한 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 항복치는 농도가 증가할수록, 측정온도가 낮을수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 7% 농도에서 30-60°C 측정시 12.500-1.984Pa의 높은 값을 나타내었다. 특히 죽농도 6% 이상에서는 온도가 증가할수록 항복치가 감소하는 경향을 나타내었으며 7% 농도에서는 그 경향이 매우 크게 나타났다.

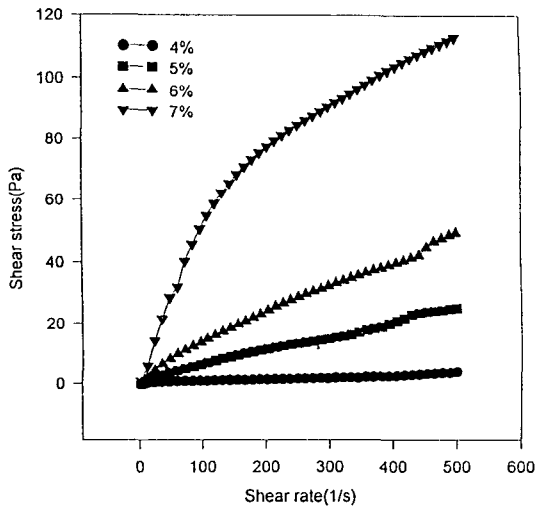
**2. 흰죽 겔보기 점도의 온도의존성**

흰죽의 겔보기 점도에 대한 온도의 영향을 알아보기 위하여 전단 속도 300(1/s)에서  $\log\eta_{app}$ 와 1/T를 도시한 결과 및 식 (3)으로부터 계산한  $\eta_{\infty}$ 값과  $E_a$ 값은

**Table 1. Changes in the rheological properties of Korean white gruel with various concentrations and temperatures**

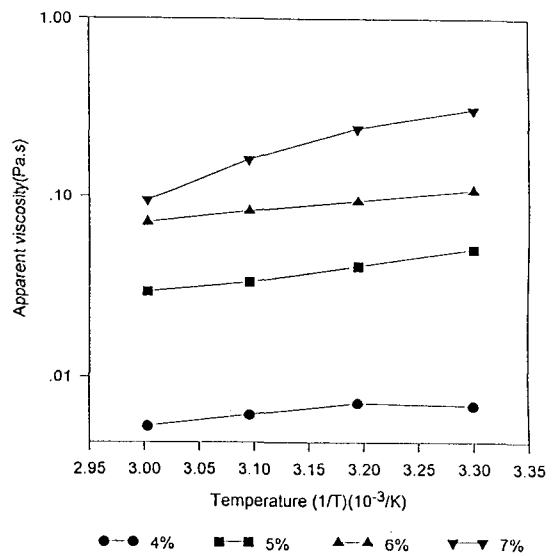
Concentration (%)	Temperature (°C)	Consistency index (Pa·s <sup>n</sup> )	Flow behavior index (n)	Yield stress (Pa)	Correlation coefficient
4	30	0.0668	0.594	0.185	0.94***
	40	0.0519	0.634	0.278	0.99***
	50	0.0520	0.605	0.264	0.98***
	60	0.0708	0.541	0.202	0.89**
5	30	0.1495	0.820	0.529	0.99***
	40	0.1153	0.817	0.774	0.98***
	50	0.0838	0.835	0.764	0.97***
	60	0.1417	0.714	0.743	1.00***
6	30	0.2015	0.892	1.754	0.96***
	40	0.1143	0.964	1.581	0.92***
	50	0.2162	0.836	1.324	0.98***
	60	0.3165	0.728	1.662	1.00***
7	30	0.7502	0.824	12.500	0.90**
	40	0.9421	0.739	8.065	0.98***
	50	0.7343	0.717	4.418	1.00***
	60	0.3413	0.781	1.984	0.97**

\*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.001.



**Fig. 1. Flow-behavior curves of Korean white gruel at 30°C.**

Fig. 2 및 Table 2와 같다. 흰죽의 농도가 4%에서 7%로 증가할수록 유동활성화에너지값이  $7.65 \times 10^6$  J/Kg·mole -  $32.95 \times 10^6$  J/Kg·mole로 증가하는 경향을 나타내었으며  $\eta_{\infty}$ 값은 죽 농도에 따른 경향은 보이지 않았다. 이것은 고농도의 고분자 용액상태에서는 유체자체의 유동 활성화에너지 이외에 이웃한 고분자들 사이의 결합 등을 절단하는데 구조 활성화에너지가 소요됨을 의미하는 것으로 이 등<sup>3)</sup>의 연구결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 용액의 점도는 용질 상호간의 결합력의 함수이므로 온도에 의해 영향을 받는다. 즉,



**Fig. 2. Arrhenius plots of Korean white gruel at 300(1/s).**

온도 증가에 따른 용액의 열적 팽창으로 인해 분자 상호간의 거리가 멀어져 점도가 감소하게 된다. 일반적으로 점도도 지수와 온도와의 관계는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다<sup>9)</sup>.

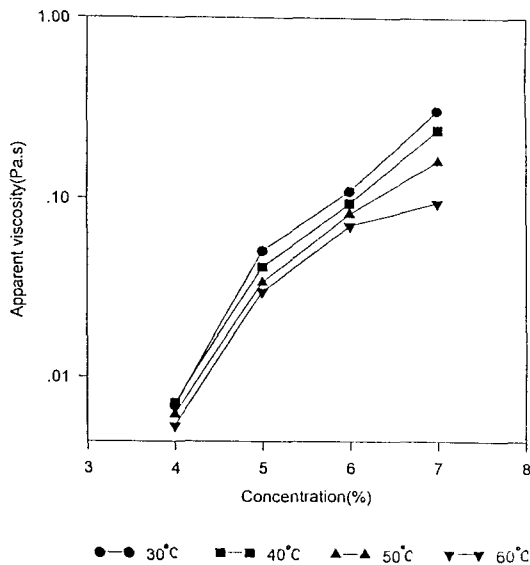
$$K = A \exp\left(\frac{B}{T^m}\right) \tag{4}$$

K : 점도도 지수  
A, B : 상수

**Table 2. Values of  $\eta_{\infty}$  and  $E_a$  of Korean white gruel with various concentrations at 300(1/s)**

Concentration (%)	$\eta_{\infty}$ (Pa·s)	$E_a$ ( $\times 10^6$ J/kg·mole)	Correlation coefficient
4	0.000354	7.646	0.796 <sup>a</sup>
5	0.000129	15.054	0.993 <sup>b</sup>
6	0.000934	12.012	0.999 <sup>b</sup>
7	0.000007	32.949	0.967 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>p < 0.01, <sup>b</sup>p < 0.001.



**Fig. 3. Effect of concentrations of Korean white gruel on apparent viscosity at 300(1/s).**

T : 절대온도

식 (4)는 액체 식품에 잘 적용이 되며 특히 m=1인 경우 Andrade식이라고 한다.

**3. 흰죽의 농도 의존성**

흰죽의 걸보기 점도에 대한 농도의 영향을 알아보기 위하여 전단속도 300(1/s)에서의  $\log\eta_{app}$ 와 농도(B)를 도시한 결과는 Fig. 3과 같다. 농도 증가에 따라 걸보기 점도가 직선적으로 증가하는 경향을 나타내므로 식 (5)와 같은 지수함수식으로 나타낼 수 있다.

$$\eta_{app} = \eta_{\infty} \exp(BA) \tag{5}$$

$\eta_{\infty}$  : 무한걸보기 점도(infinite apparent viscosity, Pa.s)

$\eta_{app}$  : 걸보기 점도(apparent viscosity, Pa.s)

B : 농도의존성 상수

A : 농도(%)

식 (4)에 의해 계산된  $\eta_{\infty}$ 와 B값을 나타낸 결과는

**Table 3. Values of  $\eta_{\infty}$  and B of Korean white gruel with various temperatures at 300(1/s)**

Temperature (°C)	$\eta_{\infty}$ (Pa·s)	B	Correlation coefficient
30	0.000075	1.214	0.955 <sup>b</sup>
40	0.000100	1.134	0.967 <sup>b</sup>
50	0.000118	1.064	0.952 <sup>b</sup>
60	0.000177	0.947	0.896 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>p < 0.01, <sup>b</sup>p < 0.001.

**Table 4. Changes in the rheological properties of Korean white gruel during storage at 30°C**

Storage time (hrs)	Consistency index (Pa·s <sup>m</sup> )	Flow behavior index (n)	Yield stress (Pa)	Correlation coefficient
0	0.203	0.69	1.76	0.98 <sup>b</sup>
12	0.088	0.80	1.04	0.90 <sup>a</sup>
24	0.062	0.81	0.90	0.89 <sup>a</sup>
36	0.092	0.72	0.83	0.99 <sup>b</sup>
60	0.021	0.89	0.40	0.97 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>p < 0.01, <sup>b</sup>p < 0.001.

Table 3과 같다. 측정온도가 30°C에서 60°C로 증가함에 따라서  $\eta_{\infty}$ 값이 0.000075-0.000177로 직선적으로 증가하였으며 농도의존성상수(B)값은 1.214에서 0.947로 감소하여 온도가 증가함에 따라서 농도에 대한 의존성은 감소하는 것으로 판단할 수 있었다.

Fig. 3에서 5% 농도를 기준으로 직선의 기울기가 다르게 나타난 것은 이 등의 쌀전분 호화액의 측정에서 나타난 현상과 같은 경향으로 이 농도부근에서 흰죽의 호화전분의 구조적 특성이 달라지기 때문인 것으로 판단되었다<sup>10)</sup>.

**4. 흰죽의 저장기간별 리올로지 특성**

저장기간에 따른 흰죽의 리올로지 특성 변화를 알아보기 위하여 30°C 항온기에 저장하면서 물성을 측정하였으며 그 결과는 Table 4 및 Fig. 4와 같다. 저장기간이 증가할수록 죽의 점조도 지수는 제조 직후 0.203 Pa·s<sup>m</sup>에서 저장 60시간 후에는 0.021 Pa·s<sup>m</sup>으로 감소하여 전분호화현탁액의 일반적인 유동 특성인 시간 경과에 따른 점도의 감소 현상을 나타내었다. 항복치의 경우에도 저장 초기 1.76 Pa에서 저장 60시간 후에는 0.4 Pa로 감소하였다. 항복치는 외부응력에 대하여 불규칙하게 배열해 있는 분자들이 초기에 재배열하는데 일부에너지가 소모되어 나타나는 현상으로 시간이 경과함에 따라서 내부분자들이 점차 규칙적으로 재배열하게 되어 죽의 저장시간 경과함에 따라서 항복치가

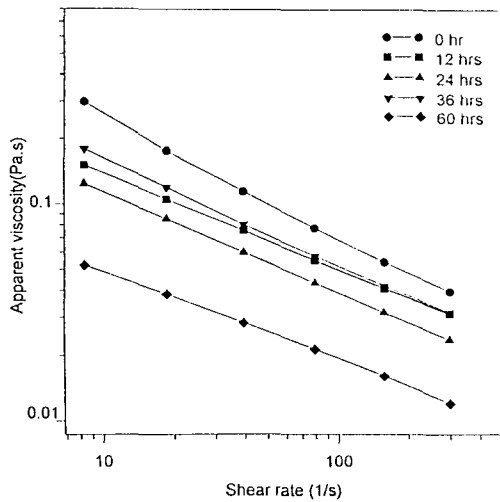


Fig. 4. Changes in the apparent viscosity of Korean white gruel during storage.

감소하는 것으로 판단할 수 있었다.

#### IV. 결론 및 제언

흰죽의 품질특성 시험의 일환으로 죽의 농도 및 측정온도별로 리올로지 특성을 측정하였다. 본 실험을 통하여 흰죽은 유동지수( $n$ ) 및 항복치가 죽농도 및 측정온도별로 각각 0.54-0.96 및 0.185 Pa-12.500 Pa의 범위를 가지는 의가소성(Bingham pseudoplastic) 유체의 특성을 나타내었다. 유동지수( $n$ )는 죽 농도 5%에서 크게 증가하였으며 점조도지수는 죽 농도에 비례하여 직선적으로 증가하였다. 유동지수( $n$ ) 및 점조도지수 모두 온도에 따른 변화는 나타나지 않았다. 항복치는 농도가 증가할수록, 온도가 낮을수록 증가하는 경향을 나타내었다. 죽의 농도가 증가할수록 유동활성화에너지

는 증가하였으며 측정온도가 30°C에서 60°C로 증가함에 따라 농도의존성지수( $B$ )은 1.214에서 0.947로 감소하였다. 죽의 저장 기간이 증가할수록 점조도 지수 및 항복치는 감소하는 경향을 나타내었다. 본 실험의 결과에 따라 온도가 증가할수록, 농도가 감소할수록 점조도 지수는 감소하는 경향을 나타내었으며 따라서 온도 및 농도는 죽류 제품의 물성에 크게 영향을 줄 수 있음을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 한억, 이창호, 정강현: 죽류제품개발연구. 한국식품개발연구원 보고서(I1155-0472). 7: (1994).
2. 농촌영양개선연수원. 식품성분표 제 3개정판, (1986).
3. 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규: 쌀전분의 현탁액과 호화액의 유동거동. 한국식품과학회지, **16**(1): 29 (1984).
4. 이신영, 조형용, 김성곤, 이상규, 변유량: 쌀전분 호화액의 리올로지 특성. 한국식품과학회지, **16**(3): 273 (1984).
5. 김영숙, 김주봉, 이신영, 변유량: 쌀전분 회석호화액의 유동학적 특성. 한국식품과학회지, **16**(1): 11 (1984).
6. 김주봉, 이신영, 김성곤: 옥수수 전분 호화액의 리올로지 특성. 한국식품과학회지, **24**(1): 54 (1992).
7. 김주봉, 김영숙, 이신영, 변유량: 쌀전분 호화액의 텍스토프릭 성질. 한국식품과학회지, **16**(4): 451 (1984).
8. 이부용, 이영철, 김홍만, 김철진, 박무현: 마 전분 호화액의 리올로지 특성. 한국식품과학회지, **24**(6): 619 (1992).
9. 송재철, 박현정: 식품물성학, 울산대학교 출판부, (1995).
10. Tako, M., Nagahama, T. and Nomura, D. Flow properties of the viscous polysaccharide produced coryneform bacteria strain C-8. *Japanese J. Agri. Chem.*, **51**: 397 (1977).