

## 알카리 내성 *Bacillus* sp.가 생산하는 생물 고분자의 리올로지적 성질

이신영 · 김진영\* · 심창섭\*

강원대학교 환경 · 생물공학부

\*(주) 김정분 알로에 연구소, 연세대학교 생물산업소재연구센터

### Rheological Properties of Biopolymer Produced by Alkali-Tolerant *Bacillus* sp.

Shin-Young Lee, Jin-Young Kim\* and Chang-Sub Shim\*

Division of Environmental and Biological Engineering, Kangwon National University

\*R & D center, Kim Jeong Moon Aloe Co., Ltd., Bioproducts Research Center, Yonsei University

#### Abstract

A highly viscous biopolymer from alkali-tolerant *Bacillus* sp. was purified and its rheological properties were studied. 1% (w/v) solution of purified biopolymer showed pseudoplastic fluid behavior with the yield stress similar to those of xanthan and guar gum, and its consistency index was exponentially dependent on concentration and temperature. The concentration dependency of consistency index exhibited two rectilinear plots with different slopes at 1% concentration and pseudoplastic property increased with the increase of biopolymer concentration. The biopolymer solution exhibited a low temperature dependency and the activation energy of flow was 1.16 kcal/g · mol. The apparent viscosity was very dependent on the change of pH and the addition of salts. However, no organic solvent effects were observed and effects of viscosity synergism with the addition of viscosifier were not observed.

Key words: alkali-tolerant *Bacillus* sp., biopolymer, rheological property

#### 서 론

생물 고분자(biopolymer)의 점증능, 안정화능 및 겔화능 등과 같은 대부분의 기능성은 수용액의 리올로지적 성질을 변화시키는 성질에 기인하며, 또한 이들 리올로지적 성질은 성분 변화나 분자구조와 밀접한 관련을 갖는다<sup>(1,5)</sup>. 따라서 새로운 생물 고분자의 탐색이나 용도개발의 관련 자료를 얻기 위하여는 생물 고분자에 대한 리올로지적 성질의 규명이 필요하다.

그동안 이 등<sup>(6,7)</sup>은 미생물에 의한 유용 생물 고분자의 생산 및 이의 용도개발 연구의 일환으로 토양으로부터 고점성의 생물 고분자를 생산하는 알카리 내성의 *Bacillus* sp.를 분리동정하였으며, 알카리성에서 발효할 때 얻어지는 고점성 생물 고분자의 생산조건을 최적화하였다. 이 생물 고분자는 amino sugar를 함유

하며, uronic acid는 함유하지 않는 산성의 생물 고분자인 것으로 추정되었는데, 통상 *Bacillus*속 균주의 생물고분자 생산에 대한 일반적인 최적 pH 범위인 6.0-7.5와는 달리 pH 10.0의 알카리 발효에 의해 얻어짐으로써 이미 알려진 *Bacillus*속 균주가 생성하는 생물 고분자와는 다른 특성을 나타낼 것으로 생각되었다.

본 연구에서는 이 *Bacillus* sp.가 생산하는 생물 고분자의 리올로지 특성을 다른 미생물 다당류 및 식물 다당류와 비교 검토함으로써 이의 용도적성을 판단하고 산업적 응용의 기초자료를 마련하고자 하였다.

#### 재료 및 방법

##### 균주 및 배양

본 연구에 사용한 생물 고분자의 생산 균주는 토양에서 분리한 알카리 내성의 *Bacillus* sp.이다<sup>(6)</sup>. 호알카리성 미생물 분리용의 한천 사면배지에서 30°C로 12시간 배양한 후 4°C에서 보존하였으며, 4주마다 계대배양하면서 실험에 사용하였다. 종균 및 생산용 배

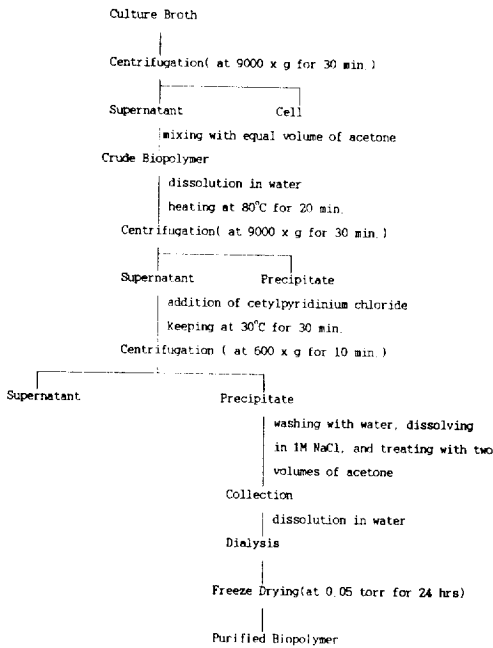


Fig. 1. Isolation and purification of biopolymer from culture broth of *Bacillus* sp.

지는 이 등<sup>(7)</sup>이 생물 고분자의 최적 배지로 보고한 배지이며, 본 배양은 배지 50 ml를 함유한 250 ml의 삼각 flask에 중균 배양액을 3%(v/v) 접종한 다음, 30°C에서 120 rpm으로 36시간 진탕하여 수행하였다.

생물 고분자의 분리 및 정제

배양액을 9,000×g의 원심력으로 60분간 원심분리하여 균체를 제거하였다. 상등액에 동량 부피의 acetone을 첨가하여 교반봉으로 휘저으면서 고점성의 섬유상 집합체를 얻었다. 이를 증류수에 녹여 동결시킨 다음, 0.05 torr에서 24시간 동결 건조하여 조생물 고분자(crude biopolymer)로 하였다.

조생물고분자는 다음과 같이 CPC (cetylpyridinium chloride)로 침전처리하여 정제시료로 하였다. 즉 crude biopolymer를 0.2%(w/v)가 되도록 증류수에 녹여 80°C에서 20분간 가열한 다음, 9,000×g에서 30분간 원심분리하고 불용성 물질을 제거시켰다. 이 용액의 최종 농도가 0.4%(w/v)가 되도록 CPC를 첨가하고 충분히 complex가 일어날 수 있도록 30°C에서 30분간 방치시킨 다음, 원심분리하여 침전물과 상정액으로 분리하였다. 침전물은 여러번 증류수로 수세하여 1 M NaCl로 용해하고 acetone으로 재침전시켰다. 이를 다시 증류수에 녹여서 dialysis한 후 동결하고, 0.05

torr에서 24시간 동결 건조하여 시료로 하였다(Fig. 1).

시료액의 조제

각종 시료 고분자에 증류수를 가하여 0.5-2.5%농도 범위의 현탁액을 만들었으며, 이를 균질기로 120 rpm에서 1 hr 용해시킨 후 1 N NaOH 또는 1 N HCl로 pH를 조절하여 시료액으로 하였다. 한편, 유기용매 및 염류를 첨가할 경우는 유기용매로서 acetone과 methanol, 염류로서 NaCl, KCl 및 CaCl<sub>2</sub>와 urea를 미리 각 농도(0.1-25%)별로 조절한 다음, 여기에 시료 고분자를 첨가하여 조제하였다.

리올로지 특성의 측정 및 특성값의 산출

시료액의 리올로지 특성은 회전점도계(Brabender Viscotron)를 사용하여 다음과 같이 측정하였다. 즉, 시료액 8 ml를 측정용 컵에 넣고 측정온도를 20-80°C 범위에서 일정온도로 유지한 온도 조절용 용기에서 각각 10분간 열평형시킨 후, 0-130 rpm의 회전속도 변화에 따른 토오크(torque)의 변화를 x-y기록계로 자동기록하였다.

한편, 리올로지 특성값은 Herschel-Bulkley식<sup>(8)</sup>을 사용하여 산출하였으며, 이때 항복응력 τ<sub>0</sub>값은 Casson식<sup>(9)</sup>에 의하여 구하였다. 또 겔보기점도 η<sub>a</sub>(Pa·s)는 다음 식으로 구하였다.

$$\eta_a = K D^{n-1}$$

결과 및 고찰

유동거동

1%의 시료 고분자, sodium alginate, xanthan gum 및 guar gum 용액의 유동특성을 살펴보기 위하여 전단속도(0-182 sec<sup>-1</sup>)에 따른 전단응력의 변화를 30°C에서 측정된 결과는 Fig. 2와 같다.

본 시료는 guar gum 및 xanthan gum과 마찬가지로 전단속도의 증가에 따라 전단응력이 비직선적으로 증가하여 비뉴우튼 유체의 거동을 나타내었으며, 일반적으로 점질 다당류의 경우 분자사슬간의 결합에 기인한 상호작용으로 1%이하의 저농도에서도 비뉴우튼 유동을 나타낸다고 한 보고<sup>(10)</sup>와 잘 일치하였다. 그러나 sodium alginate는 원점을 지나는 직선에 가까운 관계를 나타내어 거의 뉴우튼 유체로서 거동하였는데, 이는 주쇄인 β-1,4 결합 이외의 당잔기가 결합되어 있는 경우는 비뉴우튼 유체의 거동을 보이며, 당잔기가 없이 선형구조로 이루어진 경우는 뉴우튼 유체의 거동을 보인다고 한 보고 사실과 잘 일치한다<sup>(11)</sup>. 그러므

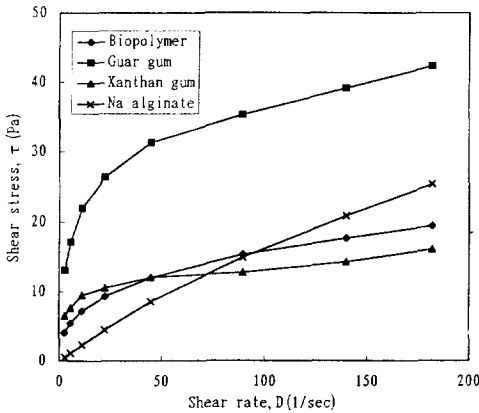


Fig. 2. Flow curves for 1% solutions of biopolymer by *Bacillus* sp. and other polysaccharides

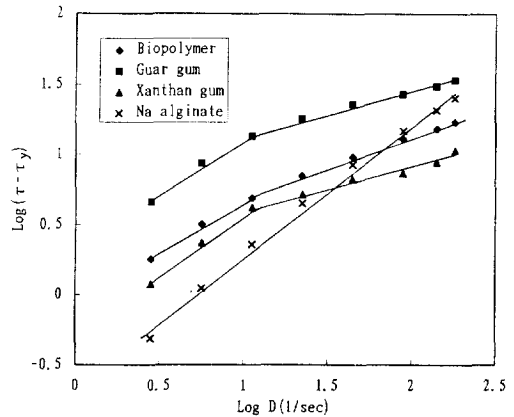


Fig. 3. Plot of  $\log (\tau-\tau_0)$  vs.  $\log D$  for 1% solutions of biopolymer by *Bacillus* sp. and other polysaccharides

로 본 생물 고분자는 xanthan gum이나 guar gum과 마찬가지로 당간기가 존재할 것으로 생각되었다.

한편, Casson식으로 항복응력( $\tau_0$ )을 구한 다음, 시료의 각 전단응력값에서 항복응력을 뺀 차이값에 대한 전단속도의 관계를 대수값으로 도시한 결과는 Fig. 3과 같다.

모든 시료액은 단일 또는 기울기가 서로 다른 두개의 직선관계를 나타냈으며, 따라서 시료액의 유동거동은 Herschel-Bulkley식에 잘 따름을 알 수 있었다. 선형 최소사승법에 따라 직선의 기울기 및  $\log D = 0$ 일 때의 절편값으로부터 각각 유동지수( $n$ )값과 점조도 지수( $K$ )값을 구하였으며, 그 결과를 Casson식으로 구한 항복응력값( $\tau_0$ )과 함께 Table 1에 나타내었다.

Sodium alginate를 제외한 모든 시료액은 유동지수  $n$ 값이 1보다 작고  $\tau_0$ 값은 0보다 커서 항복응력을 갖는 의가소성 유체로 거동하였다. 그러나, 본 고분자와 guar gum 및 xanthan gum의 유동거동은 전단속도  $11.26 \text{ sec}^{-1}$  및  $2.8 \text{ sec}^{-1}$ 을 기준으로 모두 기울기가 서로 다른 2개의 직선관계를 보여  $n$ 값의 전단속도 의존성을 보였다.

본 고분자의 경우  $n$ 값은 굴절점 전에서는 0.75, 굴절점 후에는 0.41이었으며, guar gum 및 xanthan gum도 이와 비슷한 값 범위이었다. 이는 0.5 및 0.75% guar gum의 경우, 전단속도  $20 \text{ sec}^{-1}$ 을 기준으로 굴절점을 보였고, 굴절점의 전과 후의  $n$ 값이 각각 0.769 및 0.454-0.333이었으며, 반면 1% xanthan gum의 경우에는 전단속도  $2.0 \text{ sec}^{-1}$ 에서 굴절점이 나타났고,  $n$ 값은 굴절점 전에서는 0.625, 굴절점 후에는 0.44이었다고 보고한 Tako 등<sup>(11)</sup>의 결과와 비슷하였다. 이와같은 기울기의 변화는 전단속도 증가에 따른 응집 구조

Table 1. Calculated rheological parameters for 1% solutions of biopolymer and other polysaccharides at 30°C

Materials	Rheological parameters			Yield stress, $\tau_0$ (Pa)
	Consistency index, $K$ ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ )	Flow index, $n$ (-)		
Biopolymer	0.87	0.75 <sup>1)</sup>	0.41 <sup>2)</sup>	2.28
Guar gum	2.12	0.78 <sup>1)</sup>	0.32 <sup>2)</sup>	8.43
Xanthan gum	0.69	0.65 <sup>3)</sup>	0.51 <sup>4)</sup>	5.32
Na-alginate	0.21	0.98		0.00

<sup>1)</sup> values calculated at the shear rate range of  $0.25-11.26 \text{ s}^{-1}$   
<sup>2)</sup> values calculated at the shear rate range of  $11.26-182 \text{ s}^{-1}$   
<sup>3)</sup> values calculated at the shear rate range of  $0.25-2.8 \text{ s}^{-1}$   
<sup>4)</sup> values calculated at the shear rate range of  $2.8-182 \text{ s}^{-1}$

의 점차적인 파괴로 인한 shear thinning때문으로 보고<sup>(11)</sup>되고 있는데, 이러한 shear thinning현상은 비대칭 분자들의 배향성 증가나 flexible한 분자들의 형태변화 및 분자간 인력 등의 요소들에 기인하여 나타난다고 한다<sup>(11,12)</sup>.

한편, 항복응력값( $\tau_0$ )은 guar gum > xanthan gum > 본 고분자의 순으로 큰 값을 보였다. 이들 항복응력값은 일반적으로 입자간 2차결합력 등의 구조형성의 능력과 밀접한 관련을 갖는 값이므로 본 고분자의 경우 입자간 2차결합력은 guar gum 및 xanthan gum에 비해 작은 것을 알 수 있다. 그러나 점조도지수( $K$ ) 값은 guar gum > 본 고분자 > xanthan gum의 순으로 나타나서 본 고분자의 점성은 guar gum보다는 낮지만 xanthan gum보다는 높음을 보였다.

농도 의존성

서로 다른 농도(0.5-2.5%)의 본 시료 고분자에 대한

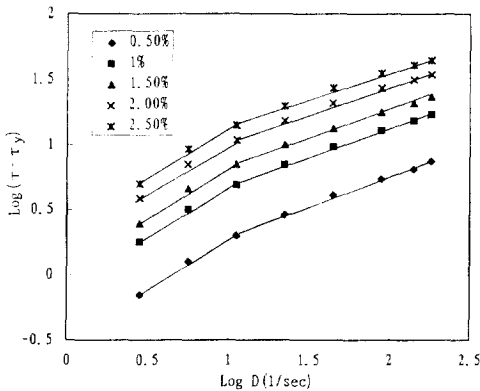


Fig. 4. Plot of  $\log(\tau - \tau_y)$  vs.  $\log D$  for biopolymer solutions at various concentrations

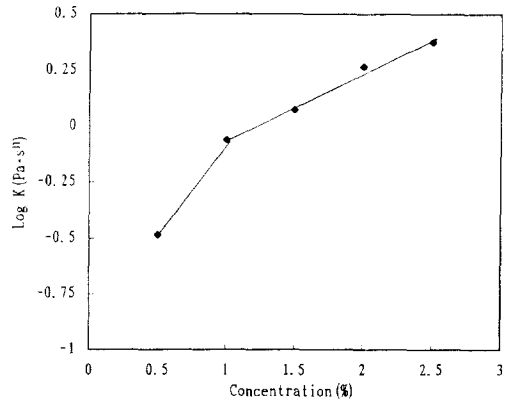


Fig. 5. Effect of concentration on the consistency index of biopolymer solution at 30°C

Table 2. Calculated rheological parameters for biopolymer solutions of various concentrations at 30°C

Concentrations (g/dL)	Rheological parameters			
	Consistency index, K (Pa·s <sup>n</sup> )	Flow index, n (-)		Yield stress, τ <sub>y</sub> (Pa)
0.5	0.33	0.76 <sup>1)</sup>	0.44 <sup>2)</sup>	0.68
1.0	0.87	0.75	0.41	2.28
1.5	1.18	0.75	0.40	3.24
2.0	1.84	0.75	0.39	5.47
2.5	2.38	0.73	0.35	7.33

<sup>1)</sup>values calculated at the shear rate range of 0.25-11.26 s<sup>-1</sup>

<sup>2)</sup>values calculated at the shear rate range of 11.26-182 s<sup>-1</sup>

전단응력-전단속도 관계를 대수값으로 도시한 결과는 Fig. 4와 같다.

시료 용액은 농도에 관계없이 각 농도에서 모두 기울기가 서로 다른 두개의 직선관계를 보여 Herschel-Bulkley식을 적용할 수 있었다. 이로부터 구한 리올로지 특성값은 Table 2와 같다.

n값은 농도증가에 따라 굴절점 전에서는 0.76-0.73이었고, 굴절점 이후에서는 0.44-0.35로 점차 감소하여서 농도 및 전단속도가 높을수록 의가소성이 강해지는 경향을 보였다. 이와같이 농도가 증가할수록 n값이 감소하는 것은 고농도일수록 응집구조의 전단속도 의존성이 커서 응집구조의 강도가 약해짐을 의미하는 것으로 볼 수 있다. 또 항복응력(τ<sub>y</sub>)값은 농도증가에 따라 증가하는 현상을 보여서 고농도일수록 입자간 결합력 등 구조형성의 정도가 커짐을 보였다. 한편, 점조도지수 (K)값의 농도 의존성은 Fig. 5에서와 같이 농도에 대한 log K 값으로 도시한 결과, 두개의 직선관계를 나타내어 지수함수의 관계가 있음을 보였다. 기울기가 달라질 경우는 굴절점 농도에서 분자간 인력 등에 기인하여 구조적 특성이 변하는 것으로 알

려지고 있는데<sup>(13)</sup>, guar gum 및 xanthan gum 등과 같은 수용성 고분자 화합물에서 주로 관찰되었다. 이러한 결과는 수용액내에서 고분자 분자들이 entanglement에 의한 network를 형성하기 때문이라고 보고되었다<sup>(13)</sup>. 따라서 본 고분자의 경우도 1%농도 이상에서 이러한 entanglement로 인한 구조적 변화가 일어날 것으로 생각되었다.

### 온도 의존성

1% 시료 고분자 용액의 온도 의존성을 살펴보기 위하여 여러 측정 온도(20-80°C)에서 리올로지 특성값을 조사하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

온도 변화에 관계없이 모두 항복응력이 존재하였으며, 유동지수(n)값이 1보다 작아서 항복응력을 갖는 의가소성 유체의 특성을 나타내었다. 온도 증가에 따라 유동지수(n)값은 거의 일정하게 나타나서 응집구조의 변화가 일어나지 않았음을 알 수 있었다. 또한 모든 측정온도에서 전단속도 11.26 sec<sup>-1</sup>을 기준으로 굴절점을 보여서 온도변화에 관계없이 n값의 전단속도 의존성은 일정함을 알 수 있었다. 그러나 항복응력(τ<sub>y</sub>)값은 온도가 증가함에 따라 약간씩 감소하는 경향을 나타냈으므로 온도증가에 따라 입자간 결합력 등 구조형성의 정도가 작아짐을 보였다.

한편, log K와 1/T의 관계를 도시한 결과는 Fig. 6과 같다.

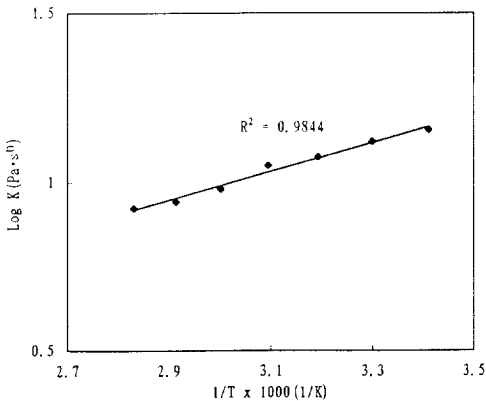
그림에서 보는 바와 같이 단일의 직선 관계가 성립되어 Arrhenius식에 잘 따랐으며, 직선의 기울기로부터 구한 활성화 에너지 Ea값은 1.16 kcal/g·mol이었다. 이 값은 Tako 등<sup>(14)</sup>이 sodium alginate (5.0 kcal/g·mol) 및 locust bean gum (6.87 kcal/g·mol)에 대해 보

**Table 3. Effect of temperature on rheological parameters of 1% biopolymer solution**

Temperature (°C)	Rheological parameters			
	Consistency index, K (Pa·s <sup>n</sup> )	Flow index, n (-)		Yield stress, τ, (Pa)
20	0.90	0.75 <sup>1)</sup>	0.41 <sup>2)</sup>	2.50
30	0.87	0.75	0.41	2.28
40	0.83	0.76	0.41	1.81
50	0.80	0.76	0.41	1.66
60	0.74	0.77	0.42	1.54
70	0.69	0.77	0.42	1.18
80	0.67	0.77	0.42	1.01

<sup>1)</sup>values calculated at the shear rate range of 0.25-11.26 s<sup>-1</sup>

<sup>2)</sup>values calculated at the shear rate range of 11.26-182 s<sup>-1</sup>



**Fig. 6. Arrhenius plot for the consistency index of 1% biopolymer solution**

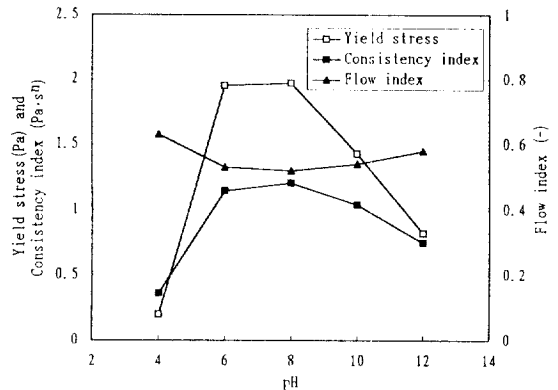
고한 값 보다는 매우 작은 값으로 극히 낮은 온도의 존성을 갖는 특징을 보였다.

log K와 1/T의 관계에서 기울기가 서로 다른 직선 관계는 guar gum 및 xanthan gum에서도 보고되었는데, 이는 굴절점에서 다당 분자사슬의 입체구조가 변화하고 따라서 유동기구가 이 점을 나타내는 온도에서 변화하기 때문이라고 하였다<sup>(11)</sup>. 본 고분자의 경우 guar gum이나 xanthan gum과는 달리 온도에 따른 입체구조 및 유동기구가 변하지 않으므로 이들과는 분자 구조적인 차이가 존재할 것으로 생각되었다.

**pH의 영향**

1%시료 고분자 용액의 리올로지 특성값에 대한 pH의 영향을 pH 2-12에서 조사한 결과는 Fig. 7과 같다.

중성 부분(pH 6-8)에서 가장 높은 항복응력 및 점조도 지수값을 나타내었고, 알칼리성 부근(pH 10-12)에서는 약간의 감소현상을 보였으며, 산성 부근(pH 2-4)



**Fig. 7. Effect of pH on the rheological parameters of 1% biopolymer solution at 30°C**

에서는 급격한 감소현상을 나타내었다. 아울러 유동 지수값은 중성 pH에서 가장 낮아서 중성에서 의가소성이 강해짐을 보였다. 중성 pH 부근에서 겔보기 점도 값이 가장 높은 현상은 용액의 pH가 다당 분자중 음전하 group의 pKa값보다 낮을 때 이온화가 억제되어 분자간 상호작용이 감소하기 때문에 나타난다<sup>(14)</sup>. 따라서 본 고분자의 경우도 산성부근에서의 급격한 점조도 지수값의 저하 현상은 전해질 다당의 특징인 이온화의 억제로 분자간 상호작용이 감소하였기 때문인 것으로 생각되었다.

**염류 및 유기용매의 영향**

1% 시료 고분자 용액의 겔보기 점도에 미치는 각종 염류, 유기용매 및 urea 첨가의 영향을 살펴본 결과는 Fig. 8과 같다.

무첨가시의 겔보기 점도는 1.89 Pa·s인데 비해 0.1% NaCl 및 KCl의 첨가시에는 약간 감소하여 1.5 및 1.43 Pa·s이었다. 2가염인 CaCl<sub>2</sub>의 0.1% 첨가시에는 더욱 급격히 감소하여 겔보기 점도값이 무첨가시의 절반이하로 나타났다. 염의 첨가로 나타나는 점도 저하는 CMC, sodium alginate 등에서도 보여지는데, 이는 과잉의 ion존재로 전기적 차폐현상이 나타나서 고정 ion간의 상호작용이 약하게 되기 때문이다<sup>(15)</sup>.

또한, 1가 염보다 2가 염의 첨가시 더욱 급격히 감소하는 것은 대응하는 농도에서 전리된 ion수의 증가로 전기적 차폐현상이 증가되었기 때문이라 생각된다<sup>(15)</sup>. 반면, xanthan gum 및 guar gum의 경우는 염의 존재시 예외적으로 점도의 증가현상이 나타난다고 보고되었 으며<sup>(16)</sup>, 이는 이들 구성당 잔기의 glucuronic acid 및 pyruvic acid의 COO와 Na<sup>+</sup> 등과 같은 금속 ion간의 결합으로 chain entanglement를 증가시키거나 사슬들 사

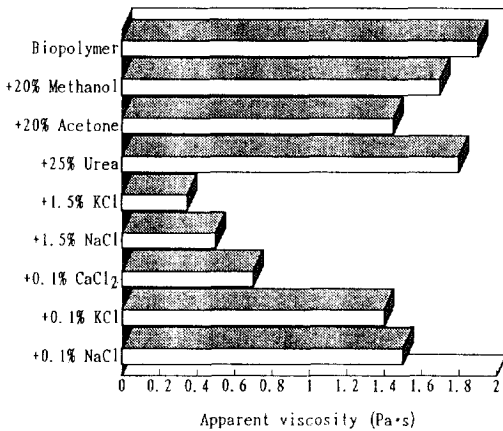


Fig. 8. Effect of salt and organic solvents on the apparent viscosity of 1% biopolymer solutions (apparent viscosity was measured at temperature of 30°C and shear rate of 44.8 sec<sup>-1</sup>)

이에 비공유결합을 형성하기 때문인 것으로 알려지고 있다. 본 고분자의 염에 의한 점도 저하는 CMC 및 sodium alginate 등의 결과와 잘 일치하였다. 그러나 일반적으로 다당류 구조간의 수소결합 저해제인 urea의 첨가시에는 거의 점도변화가 일어나지 않았으므로 수소결합은 존재하지 않는 것으로 생각되었다<sup>(17)</sup>.

한편, 20%의 acetone 및 methanol의 첨가시에도 각각 1.45 및 1.70 Pa·s<sup>o</sup>의 점도값을 보여 다소의 점도저하현상은 있었으나 gel 및 침전현상은 나타나지 않았다. Xanthan gum의 경우는 대체로 유기용매에는 불용성이지만 50-60% 농도까지의 유기용매와 상용성이 있으며, 유기용매의 양이 높아지면 gel 형성 및 침전이 생성된다고 보고되었다<sup>(18)</sup>. Sodium alginate의 경우에도 20%의 methanol 및 ethanol과 10% acetone에서 상용성이 있으며, 이 이상의 유기용매 농도에서는 침전현상이 일어난다고 보고되었다<sup>(19)</sup>. 본 고분자의 경우는 20% methanol 및 acetone에서 상용성이 있는 것으로 판단되었다.

점증제 첨가의 영향

시료 고분자에 다른 점증제를 첨가할 경우의 점도의 상승효과를 살펴본 결과는 Fig. 9와 같다.

본 고분자와 다른 다당과의 1:1 혼합 시료액(1%, w/v)의 점도값은 본 고분자 및 다른 다당만의 각 시료액보다 낮은 점도값을 보였으므로 점도 상승효과는 전혀 보이지 않았다. 또, 점증제와의 gel형성 역시 관찰되지 않았다. 일반적으로 점도의 상승효과는 두 다당사이의 특정 친화성기에 의한 가교결합 형성에 기

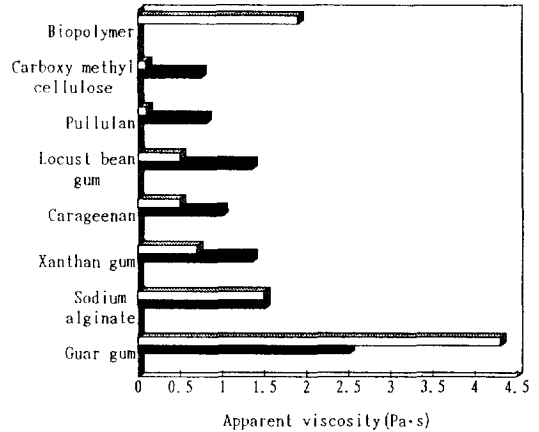


Fig. 9. Effect of viscosity synergism with the addition of viscosifiers to biopolymer (concentration of solution was 1%(w/v) and apparent viscosity was measured at temperature of 30°C and shear rate of 44.8 sec<sup>-1</sup>) □ : Biopolymer or viscosifier alone, ■ : Biopolymer/viscosifier blends

인하므로<sup>(20)</sup> 본 고분자는 사용한 점증제와 가교결합을 형성하지 않음을 알 수 있었다.

요 약

미생물이 생산하는 생물 고분자의 기능성 탐색 및 용도 개발 연구의 일환으로, Bacillus sp.의 알칼리 발효에 의해 생합성된 고점성의 생물 고분자의 리올로지 특성을 다른 미생물 다당 및 식물 다당류와 비교하면서 검토하였다. 1% 정제 고분자 용액은 xanthan gum 및 guar gum과 마찬가지로 항복응력을 갖는 의가소성 유체의 거동을 보였다. 유동지수(n)값은 0.41-0.75로 전단속도 의존성을 보였으며, 점조도지수(K)값은 0.87 Pa·s<sup>o</sup>로 guar gum보다는 작고, xanthan gum 보다는 컸다. 그러나 항복응력(τ<sub>o</sub>)값은 2.28 Pa로 xanthan gum이나 guar gum보다 크게 낮았다. 또 정제 고분자의 점조도지수(K)값은 지수 함수식에 따르는 농도 및 온도 의존성을 나타내었다. 농도 의존성은 기울기가 서로 달라지는 두개의 직선관계를 나타냈으며, 농도증가에 따라 의가소성은 강해졌다. 시료 용액은 온도 의존성이 매우 낮은 특징을 나타내었고, 유동의 활성화에너지는 1.16 kcal/g·mol이었다. 겔보기 점도는 pH와 염의 변화에 매우 불안정함을 나타내었으나 유기용매에 대하여는 어느 정도 안정함을 보였고, 점증제를 첨가하였을 때 겔보기 점도의 상승효과는 관찰되지 않았다.

## 문헌

1. Dea, I.C.M.: The role of structural modification in controlling polysaccharide functionality. In *Industrial Polysaccharide*, **3**, Yalpani, M. (Ed.), Elsevier Pub., Amsterdam, p.207 (1987)
2. Rinaudo, R. and Milas, M.: On the properties of polysaccharides. Relation between chemical structure and properties. In *Industrial Polysaccharide*, **3**, Yalpani, M. (Ed.), Elsevier Pub., Amsterdam, p.217 (1987)
3. Taday, K., Toshihiro, O., Tadashi, T. and Akira, T.: Solution properties and chain flexibility of pullulan in aqueous solution. *Biopolymers*, **21**, 1623 (1982)
4. Pace, G.W. and Righelato, R.C.: Production of extracellular microbial polysaccharides. In *Advances in Biochemical Engineering*, **15**, Fiechter, A. (Ed.), Springer-Verlag, New York, p.41 (1980)
5. Elizabeth, F. and Glicksman, M.: Hydrocolloid rheology in formulation of convenience foods. *Food Technology*, **21**, 535 (1967)
6. 이신영, 이범수, 신원철, 권익부, 유주현 : 생물 고분자 생산 알카리 내성 균주의 분리 및 특성. 한국식품과학회지, **23**, 161 (1991)
7. 이신영, 이범수, 이근역 : 알카리 내성 *Bacillus* sp.의 생물 고분자 생산 조건의 최적화. 한국식품과학회지, **23**, 167 (1991)
8. Holdsworth, S.D.: Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. *J. Texture Studies*, **2**, 393 (1971)
9. Casson, N.: A flow equation for pigment oil suspensions of the printing ink type. In *Rheology of Disperse System*, Mill, C.C. (Ed.), Pergamon Press, New York, p.84 (1959)
10. Kwon, B.D., Foss, P.A. and Rha, C.K.: Rheological characterization of high viscosity polysaccharides. In *Industrial Polysaccharide*, **3**, Yalpani, M. (Ed.), Elsevier Pub., Amsterdam, p.253 (1987)
11. Tako, M., Nagahama, T. and Nomura, D.: Flow properties of the viscous polysaccharide produced by Coryneform bacteria strain C-8. *Japanese J. Agric. Chem.*, **51**, 397 (1977)
12. Tako, M., Nagahama, T. and Nomura, D.: Non Newtonian flow and dynamic viscoelasticity of xanthan gum. *Japanese J. Agric. Chem.*, **51**, 513 (1977)
13. Krupal, K.L. and Sorkar, N.: Flow properties of gums useful to the food industry. *Food Technology*, **29**, 36 (1975)
14. Rochefort, W.E. and Stanley, M.: Rheology of xanthan gum: salt, temperature and strain effects in oscillatory and steady shear experiments. *J. Rheology*, **31**, 337 (1987)
15. Kang, K.S., Veeder, G.K. and Cottrell, I.W.: Some novel polysaccharides of recent development. In *Progress in Industrial Microbiology*, **18**, 231 (1983)
16. Vreeman, H.J., Snoeren, T.H.M. and Payens, T.A.J.: Physicochemical investigation of  $\kappa$ -carragenan in the random state. *Biopolymers*, **19**, 1357 (1980)
17. 이신영, 김광중, 이상규 : 보리전분젤의 역학적 성질. 한국식품과학회지, **18**, 215 (1986)
18. Cottrell, I.W., Kang, K.S. and Kovacs, P.: Xanthan gum. In *Handbook of Water-Soluble Gums and Resins*, Davidson, R.L. (Ed.), McGraw-Hill, New York, pp.24-9 (1982)
19. Cottrell, I.W. and Kovacs, P.: Alginates. In *Handbook of Water-Soluble Gums and Resins*, Davidson, R.L. (Ed.), McGraw-Hill, New York, pp.2-5 (1982)
20. Tako, M., Asato, A. and Nakamura, S.: Rheological aspects of the intermediate interaction between xanthan and locust bean gum. *Agric. Biol. Chem.*, **48**, 2995 (1984)

---

(1996년 2월 22일 접수)