

## 알칼리 내성 *Bacillus* sp.에 의한 생물 고분자의 희석 용액 특성

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

이 신 영\*, 김 진 영\*\*  
Lee, Shin-Young, Kim, Jin-Young

#### Abstract

Highly viscous biopolymer from alkali-tolerant *Bacillus* sp. was purified and its solution properties were investigated. The intrinsic viscosities for crude biopolymer and biopolymers purified by dialysis or CPC(cetylpyridinium chloride) treatment were 58.24, 73.60 and 42.18 dL/g, respectively. The intrinsic viscosity of biopolymer showed the maximum value at the neutral pH but it was decreased remarkably at the alkaline or acidic pH. Biopolymer exhibited the property of polyelectrolyte, showing the sharp decrease of intrinsic viscosity by the addition of NaCl. Intrinsic viscosity of dilute solution at the low NaCl concentration was exponentially dependent on temperature and its temperature dependency was increased with NaCl concentrations. The chain stiffness, coil overlap parameter, and critical concentration were 0.09, 5.25 and 0.07g/dL, respectively. Temperature dependency on intrinsic viscosity of biopolymer solution was different each other at 45°C. Flow activation energies at temperatures above 45°C were constant, while those at temperatures below 45°C increased with increase of added NaCl concentration.

키워드 : 생물 고분자, 알칼리 내성 *Bacillus* sp., 용액 특성  
Keywords : biopolymer, alkali-tolerant *Bacillus* sp., solution property

#### 1. 서론

그동안 미생물이 생산하는 생물 고분자(biopolymer)에 관한 관심의 고조로 이에 대한 각종의 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그러나 새로운 생물 고분자의 탐색이나 용도 개발과 밀접한 관련을 가져서 산업적 응용의 중요 지표가 되고 있는 물성 기능성의 탐색을 위한 적극적인 연구는 아직도 매우 미흡한 실정이다. 생물 고분자의 대부분 물성 기능성은 수용액의 리올로지적 성질을 변화시키는

성질에 기인하는데, 이러한 리올로지적 성질은 성분의 변화나 구조와 밀접한 관련을 가지므로 리올로지 특성의 연구는 물성 기능성의 탐색을 위한 기초 연구로서 매우 유효하다(1-3). 특히, 묽은 용액의 점도 특성은 생물 고분자 사슬의 고차구조와 관계되는 분자량, 분자 사슬 형태, 고분자와 용매의 상호작용 및 coil overlap parameter 등에 대한 유용한 정보를 제공하므로 다당이나 당단백질의 용액특성을 판단하는 매우 간편한 수단으로 널리 알려져 왔다(4).

그동안 이 등(5,6)은 새로운 생물 고분자의 생산과 이의 기능성 탐색 및 용도 개발을 목표로 한 일련의 연구로서 알칼리 내성 *Bacillus* sp.로부터

\* 강원대학교 환경·생물공학부 교수, 공학박사  
\*\* (주) 김정문 알로에, 연구원

고점성의 생물 고분자를 생산하고, 이의 생산 조건에 대한 최적화를 수행하였다. 아울러 이 *Bacillus* sp.가 생산하는 생물 고분자를 분리 경제하여 점성의 요인 성분을 탐색하였으며, 이의 화학적 및 구조적 특성을 조사하였다(7). 이 생물 고분자는 산성의 생물 고분자로 당단백질인 것으로 추정되었는데, *Bacillus* sp.의 생물 고분자 생산에 대한 일반적인 최적 pH 범위인 6.0~7.5와는 달리, pH 10.0의 알칼리 발효에 의하여 얻어짐으로써 이미 알려진 다른 *Bacillus* 속 균주가 생성하는 생물 고분자는 다른 특성을 나타낼 것으로 생각되었다.

본 연구에서는 이의 용액특성을 검토함으로써 이로부터 이 생물 고분자 사슬의 고차구조와 관련되는 각종 기초 자료를 마련하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 균주 및 배양

본 연구에 사용한 생물 고분자의 생산 균주는 토양에서 분리하였던 알칼리 내성의 *Bacillus* sp.이다<sup>5)</sup>. 호알카리성 미생물 분리용의 한천 사면배지(5,8)에서 30°C로 12시간 배양한 후 4°C에서 보존하였으며, 4주마다 계대배양하면서 실험에 사용하였다. 종균 배양 및 생산용 배지는 이 등(6)이 생물 고분자의 최적 배지로 보고한 배지이며, 본 배양은 jar fermenter(Marubishi MD-250)를 사용하여 작업 용량 1.5L에 전배양액을 3%(v/v) 접종한 다음, 온도, pH 10, 통기속도 2vvm 및 교반속도 120rpm으로 36시간 동안 회분배양하였다.

### 2.2. 생물 고분자의 분리 및 정제

배양액을 9,000xg의 원심력으로 60분간 원심분리하여 균체를 제거하였다. 상정액에 동량 부피의 acetone을 첨가하여 교반봉으로 휘저으면서 교반봉에 감아서 고점성의 섬유상 접합체를 얻었다. 이를 중류수에 녹여 동결시킨 다음, 0.05torr에서 24시간 동결 조건하고 crude biopolymer로 하였으며, 이를 투석 또는 CPC(cetylpyridinium chloride) 침전처리하여 정제시료로 하였다. 투석은 crude biopolymer 농도가 0.2%(w/v)가 되도록 중류수에 녹인 다음, 이 시료 용액을 dialysis tube(Sigma Co. MWCO<1200)에 넣어 하룻밤 유수 투석하였고, CPC 침전은 시료 용액을 80°C에서 30분간 가열한 다음, 9,000xg에서 30분간 원심분리하고 불용성 물질을 제거시켰다. 이 용액에 대하여 최종 농도가 0.4%(w/v)가 되도록 CPC를 첨가하고 충분히 complex가 생성될 수 있도록 30°C에서 30분간 방치한 다음, 원심분리하여 침전물과 상정액으로 분리하였다. 침전물은 여러번 중류수로 수세하여 1M CaCl<sub>2</sub> 또는 1M NaCl로 용해하고, acetone으로 재침전시켰다. 이를 다시 중류수에 녹여서 dialysis한

후 동결하고, 0.05torr에서 24시간 동결건조하여 CPC 정제 고분자로 하였으며, 고유점도 측정의 시료로 사용하였다.

### 2.3. 용액특성의 측정 및 특성값 산출

시료 고분자에 중류수를 가하여 0.025~0.3g/L의 농도 범위로 균일하게 용해시키고, pH(2~12) 및 NaCl농도(0~1.0M NaCl)를 일정 간격으로 조절하여 시료액으로 하였다. 이때 pH는 1N NaOH 또는 1N HCl로 조절하였고, NaCl의 첨가 시료액은 미리 농도별로 NaCl 용액을 조제한 다음, 여기에 시료 고분자를 가한 후 용해시켜 조제하였다. 시료액의 용액 특성은 20~80°C로 유지한 점도 측정용 항온조에서 모세관 점도계(Cannon-Fenske size 200~350, Cannon Instrument Co.)로 점도를 측정하여 구하였다. 즉 일정량(10mL)의 시료액을 점도계에 넣고 20분간 열평형시킨 다음, 시료액이 유하하는 시간을 측정하여 상대점도( $\eta_{rel}$ )를 구하였다. 이때 점도 계산에 필요한 시료 용액의 밀도는 비중계로 비중을 측정하여 구하였다(9). 이와 같이 구한 시료 용액의 상대점도로부터 비점도( $\eta_{sp} = \eta_{rel}^{-1}$ )와 환원점도( $\eta_{red} = \eta_{sp}C$ )를 구하였으며, 고유점도[ $\eta$ ]를 다음 식 (1)의 Huggins 식(10)에 의하여 산출하였다.

$$\eta_{sp}/C = [\eta] + K'[\eta]^2C \quad \text{---(1)}$$

여기서 [ $\eta$ ]는 시료의 고유 점도(dL/g)이고 K'는 Huggins 상수이다. 시료 농도에 대한 환원점도를 도시하여 얻어지는 직선의 절편 및 기울기값으로부터 각각 [ $\eta$ ]와 K'[ $\eta$ ]<sup>2</sup>를 구하였으며, 이로부터 고유점도[ $\eta$ ]와 Huggins 상수(K')값을 산출하였다.

또 chain stiffness는 다음과 같이 식 (2)의 Smidsord와 Haug 식(11)에 의하여 계산하였다.

$$[\eta] = A_1 + B[\eta]^{1.3} Cs^{-1/2} \quad \text{---(2)}$$

여기서 A<sub>1</sub>은 상수, B는 chain stiffness, [ $\eta$ ]<sub>0.1</sub>은 이온 강도 0.1M NaCl 용액에서의 고유점도, Cs는 NaCl 농도이다. 각 NaCl의 농도별로 고유점도를 측정하여 NaCl 농도 제곱근의 역수에 대한 고유점도값을 도시한 다음, 직선의 기울기값(B[ $\eta$ ]<sub>0.1</sub><sup>1.3</sup>)을 최소 자승법에 의하여 계산하고 이로부터 chain stiffness B값을 산출하였다.

한편, coil overlap parameter C\*[ $\eta$ ]는 Morris와 Ross-Murphy의 방법(4)에 따라  $\log \eta_{sp,0}$ 와  $\log [\eta]$  관계의 기울기가 서로 달라지는 두 직선의 변곡점에 일치하는  $\log C^*[\eta]$ 값으로부터 산출하였으며, 이에 해당되는 농도를 dilute zone과 semidilute zone을 구분짓는 임계농도(C\*)로 산출하였다. 여기서  $\eta_{sp,0}$ 는 zero shear rate specific viscosity로 Newton 거동의 점도로부터 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 고유점도

Crude biopolymer, 투석 및 CPC로 정제한 고분자의 농도에 따른 환원 점도의 변화를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다.

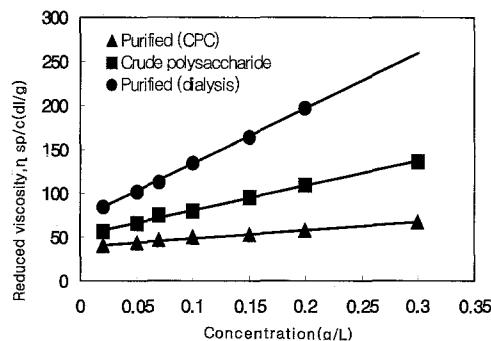


Fig. 1. Plot of reduced viscosity vs. concentration of biopolymer produced by *Bacillus* sp.

세 시료 모두 농도 증가에 따라 환원 점도는 완만한 직선적인 증가를 보여서 이들 관계는 Huggins 식에 잘 따랐다. 절편값으로 부터 산출한 고유점도값은 crude biopolymer에서는 58.24dL/g인 반면, 투석에 의해 정제한 생물 고분자는 73.6dL/g, 그리고 CPC 침전에 의해 정제한 생물고분자는 42.18dL/g으로 정제도나 정제 방법에 따라 큰 차이를 보였다. 이러한 차이는 일반적으로 산성 고분자에서 나타나는 염에 의한 점도저하 현상이나 산성 고분자와 저분자 물질의 상호 작용에 따른 점도 상승효과와 관계되는 것으로 생각되었다(12,13).

한편, 이들 값은 Xanthan gum(50~70dL/g)과는 비슷하였으나 sodium alginate (31dL/g), Gellan (39.4dL/g) 및 Welan(37.4dL/g)보다는 비교적 높았으며, Rhamsan gum(88.5 dL/g)보다는 비교적 낮았다(12,14).

### 3.2. 고유점도의 pH 의존성

산업적 응용에서는 고유점도가 높은 것이 유리하므로 투석하여 정제한 고분자의 pH에 따른 고유점도의 변화를 살펴보았으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다.

고유점도는 중성 pH 부근(pH 6~8)에서 가장 높았으며, 산성 및 알칼리성 부근에서는 급격한 감소를 보여 대부분 산성 고분자의 경향과 비슷한 결과를 보였다(15). 특히, pH 2에서는 random 구조를 갖는 다른 산성 고분자와 마찬가지로 가장 낮은 값을 보여서 본 고분자는 강산성 용액에서는 random구조를 가질 것으로 추측되었다. 대표적 산성 고분자인 xanthan gum의 경우는 사슬을 이루

고 있는 구성당 잔기의 pyruvic acid가 결합되어 있는데, 이 pyruvic acid의 pK값 ( $pK=3$ )보다 낮은 pH에서는 이온화가 일어나지 않은 상태이기 때문에 고유점도값이 급격히 감소하는 것으로 보고되었다(12,13).

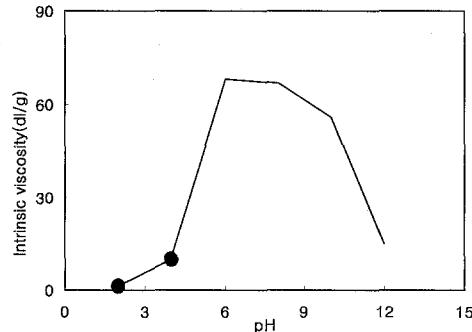


Fig. 2. Effect of pH on the intrinsic viscosity of biopolymer purified by dialysis in aqueous solutions.

그러나 일반적으로 pH 4이상에서는 고분자의 charge group들이 이온화되어 서로 정전기적 반발(electrostatic repulsion)이 일어나서 다소 사슬의 신장을 일으키기 때문에 고유점도가 커지게 된다. 따라서 본 고분자의 경우도 중성 pH 부분에서 가장 높은 점도 값을 보인 것은 본 고분자가 산성 고분자임을 입증하는 사실이라 볼 수 있다.

### 3.3. 고유점도의 NaCl 의존성

고유 점도에 대한 NaCl 농도의 영향을 살펴본 결과는 Fig. 3과 같다.

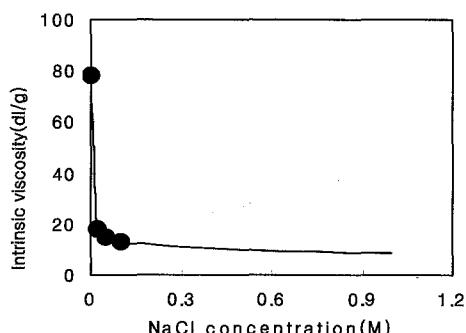


Fig. 3. Influence of NaCl concentration on the intrinsic viscosity of biopolymer purified by dialysis.

0.025M의 NaCl 첨가로도 급격히 고유 점도값이 저하하여 대부분의 음전하를 띠는 전해질 고분자와 비슷한 양상을 보였다(12,13). 그러나 NaCl

농도의 증가에 따라 감소폭은 완만하였으며, 1M NaCl 농도 이상부터는 고유점도값이 3.75dL/g의 일정한 값을 보였다. Tako 등(15)도 xanthan gum 용액이 중성인 경우 0.001N NaCl을 첨가했을 때 급격히 감소하고, 0.1-1N로 농도를 증가시키면 고유 점도는 서서히 감소한다고 보고하였다. 이와 같은 염의 영향에 대해 Muller 등(16)은 poly-electrolyte에 대한 차폐(shielding) 현상에 기인한다고 하였다.

한편, NaCl 농도와 pH를 동시에 변화시킨 경우 고유점도의 변화를 살펴본 결과는 Fig. 4와 같다.

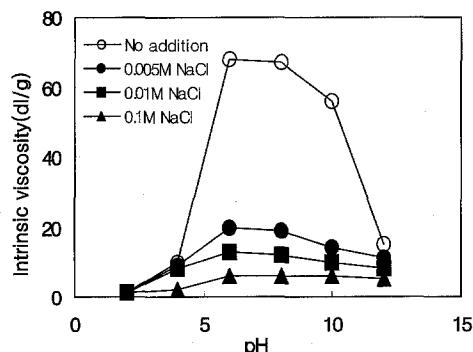


Fig. 4. pH dependence of intrinsic viscosity for biopolymer solution at different NaCl concentrations.

본 고분자의 고유점도는 pH2에서는 NaCl의 첨가 유무나 농도에 관계없이 0.5dL/g으로 일정하였다. 그러나 이 이상의 pH에서는 NaCl을 첨가하지 않은 경우와 마찬가지로 중성 pH에서 높고, 강산 및 강알칼리 pH에서 낮아지는 경향을 보였으며, 무첨가시의 고유점도보다는 훨씬 낮은 값을 나타내었다. 또 NaCl 농도의 증가로 감소하는 경향을 보였으나 NaCl의 농도 0.1M 이상에서는 모두 일정하게 나타났다. 이와 같이, 본 고분자의 고유점도가 pH 4-12 범위에서 NaCl 농도가 증가함에 따라 감소되는 이유는 염의 존재시 counter ion들이 charge group을 차폐시켜 정전기적 반발이 감소되기 때문인 것으로 생각된다. Nakamura 등(17)도 다가 고분자 전해질은 charge ion들 사이에 정전기적 반발이 존재하므로 비이온성 고분자보다 더 팽창된 구조를 가지며, 이러한 특성은 용액의 이온강도가 증가함에 따라 감소한다고 하였다.

### 3.4. 고유 점도의 온도 의존성

서로 다른 NaCl 농도하에서  $\log[\eta]$ 와  $1/T$ 의 관계를 나타낸 결과는 Fig. 5와 같다.

NaCl 농도에 따라 다양한 형태를 보였으나 모두 직선관계를 보여서 Arrhenius 식에 잘 따랐으므로, 최소자승법에 의하여 직선의 기울기로부터

활성화 에너지를 구하였다.

0.0025M의 NaCl 용액을 함유한 시료 고분자 용액 이외의 모든 용액의 직선관계는 약 45°C에서 변곡점을 보였으며, 이 온도를 전후로 고온에서의 활성화 에너지는 NaCl 농도에 관계없이 11.4 kcal/g·mol로 일정하였다. 그러나 저온에서의 활성화 에너지는 NaCl 농도의 증가에 따라 4.8kcal/g·mol에서부터 29.06kcal/g·mol까지 약간씩 증가하여서 NaCl의 증가로 온도 의존성이 매우 커지는 특징을 보였다.

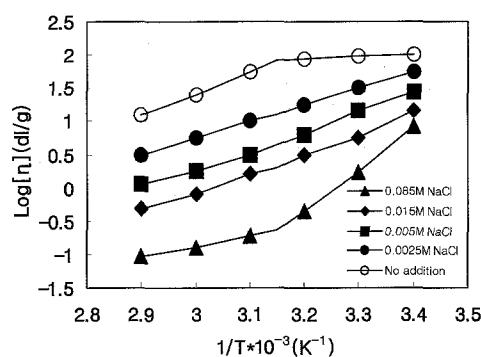


Fig. 5. Arrhenius plot for  $[\eta]$  of biopolymer solution at various concentrations of NaCl.

온도에 따른 서로 다른 활성화 에너지는 온도 변화에 따라 유동기구와 분자사슬의 입체구조가 달라짐을 의미한다(18). 따라서 본 고분자의 경우 45°C(320°K)를 전후로 이러한 변화가 일어남을 알 수 있었으며, 이 온도는 Tako 등(19)이 고농도의 몇몇 다당에 대해서 보고한 결과와 잘 일치하였다.

### 3.5. Chain stiffness/coil overlap parameter

시료 고분자의 NaCl 농도( $C^{-1/2}$ )에 따른 고유점도의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 6과 같다.

직선의 기울기로 부터 chain stiffness B를 구하였으며, 그 값은 0.09이었다. 이는 Nakamura 등(17)이 보고한 xanthan gum의 chain stiffness 0.05보다는 크고 dextran sulfate의 0.23보다는 작았으나 chitosan의 0.10과는 비슷하였다. 다가 전해질 다당의 chain stiffness 특성값은 0.05-0.23 범위라고 알려져 있는데, 이 값이 작을수록 rigid rod한 형태를 갖고, 클수록 flexible하다(20). 그러므로 본 고분자의 사슬형태는 xanthan gum(0.05)에는 미치지 못하지만 chitosan(0.10)과 비슷한 정도의 비교적 rigid한 형태임을 알 수 있다.

한편, 시료 고분자에 대한  $\log \eta_{sp}$ 와  $\log C[\eta]$ 의 관계는 Fig. 7에서와 같이, 다른 고분자 용액에서와 마찬가지로 기울기가 서로 다른 두개의 직선

관계를 나타내었다.

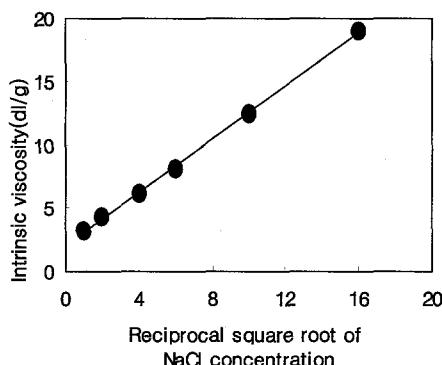


Fig. 6. Dependence of ionic strength of intrinsic viscosity for biopolymer purified by dialysis in aqueous solution.

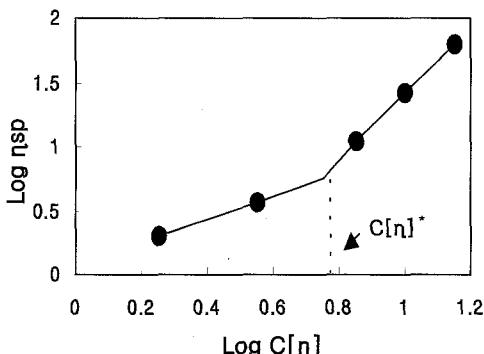


Fig. 7. Log-Log relation ships between specific viscosity and  $C[\eta]$  characterized by the coil overlap parameters.

두 직선의 교차점에 해당되는  $C[\eta]$ 값인 coil overlap parameter  $C^*[\eta]$ 값은 5.18이었으며, 이로부터 구한 본 시료 고분자의 임계농도( $C^*$ )는 0.070 g/dL이었다.

Morris 등(21)은 hyaluronate와 같이 단단하고 신장된 사슬의 coil overlap parameter 값  $C^*[\eta]$ 는 1.5이나 일반적인 값은 분자의 수축 또는 압축으로 2.5-4.0이라고 보고하였는데, 본 실험의 결과는 이보다 높아서 overlapping시 분자 수축현상이 매우 큰 것으로 생각되었다. 그러나 본 고분자의  $C^*$ 값 (0.07g/dL)은 박 등(22)이 보고한 welan gum의  $C^*$ 값인 0.056g/dL 및 xanthan gum의 0.024g/dL, 그리고 rhamsan gum의 0.025g/dL 보다는 큰 값을 보여서 분자 개개의 물리적 접촉으로 일어나는 entanglement가 이들보다 약간 높은 농도에서 시작됨을 알 수 있었다.

한편, 임계농도를 중심으로 저농도에서의 직선의 기울기는 1.22, 고농도에서는 1.53으로, 이 값은 Vreeman 등(23)이 rhamsan gum의  $c>c^*$ 에서의 기울기에 대하여 보고한 값과 비슷하였다. 그러나 Morris와 Ross-Murphy 등(4)이 보고한 대부분의 수용성 다당류에서 나타나는 값인 저농도에서의 1.4 및 고농도에서의 3.5와 비교하면 고농도에서 농도 증가시 entanglement 작용에 의한 급격한 점도상승은 없음을 보였다.

#### 4. 결론

미생물에 의한 생물 고분자의 기능성 탐색 및 용도 개발 연구의 일환으로 *Bacillus* sp.의 알칼리 발효에 의하여 생합성된 고점성의 생물 고분자에 대한 용액 특성을 조사하였다. Crude biopolymer 및 투석 또는 CPC 처리로 정제한 고분자의 고유 점도는 각각 58.24, 73.60 및 42.18dL/g이었다. 투석하여 정제한 고분자의 pH와 염에 따른 고유점도는 중성 pH 영역에서 가장 높았고, 산성 및 알칼리성 영역에서 급격한 감소를 보였다. 또 저 농도의 염첨가로 고유점도는 급격히 감소하였으며, 용액의 이온강도가 높을수록 감소 경향은 더욱 커졌다. 투석하여 정제한 고분자의 chain stiffness는 0.09이었고, coil overlap parameter  $C^*[\eta]$ 와 임계농도  $C^*$ 는 각각 5.25 및 0.07g/dL이었으며, 염 농도에 따른 고유점도( $C[\eta]$ ) 값은 지수함수 식에 따르는 온도의 존성을 나타내었다. 시료 용액 고유점도의 온도의존성은 45°C에서 변곡점을 보였으며, 이를 전후로 고온에서의 활성화 에너지는 일정하였으나, 저온에서는 염 농도의 증가에 따라 온도의존성이 매우 커지는 경향을 보였다.

#### 참고문헌

- [1] Morris,E.M.: Molecular origin of hydrocolloid functionality. In "Gums and Stabilizers for the Food Industry 3", ed. by Phillips, G.O., Wedrock, D.J. and Williams, P.A., p. 3-16, Elsevier Applied Science Pub., London, 1986
- [2] Szczesniak,A.S.: Rheological basis for selecting hydrocolloids for specific applications. In "Gums and Stabilizers for the Food Industry 3", ed. by Phillips, G.O., Wedrock, D.J. and Williams, P.A., p.311-324, Elsevier Applied Science Pub., London, 1986
- [3] Tadaya, K., Toshihiro, O., Tadashi, T., and Akira, T.: Solution properties and chain flexibility of pullulan in aqueous solution. *Biopolymers*, 21, 1623-1633, 1982
- [4] Morris, E.M., and Ross-Murphy, S.B.: Chain

- flexibility of polysaccharides and glycoproteins from viscosity measurements. In "Techniques in Life Sciences", ed. by Kornberg, H.L. et al, B310/1-46, Elsevier, New York, 1981
- [5] 이신영, 이범수, 신원철, 권의부, 유주현: 생물 고분자 생산 알칼리 내성 균주의 분리 및 특성. 한국식품과학회지, 23, 161-166, 1991
- [6] 이신영, 이범수, 이근역: 알칼리 내성 *Bacillus* sp.의 생물 고분자 생산조건의 최적화. 한국 식품과학회지, 23, 167-174, 1991
- [7] 이신영, 원숙, 김진영, 유주현: 알칼리 내성 *Bacillus* sp.가 생산하는 생물 고분자의 분리 경제 및 이화학적 특성. 식품과학과 산업, 24, 145-145, 1991
- [8] Horikoshi, K., and Akiba, T.: *Alkalophilic Microorganisms: A New Microbial World.* Japan Scientific Co. Press, Tokyo, p.1, 1982
- [9] 한국규격협회: 액체 비중 측정방법, KS A 0601, 1972
- [10] Huggins, M.L.: The viscosity of dilute solutions of long chain molecules: IV. Dependence on concentration. *J. Am. Chem. Soc.*, 64, 2716-2718, 1942
- [11] Smidsord, O., and Haug,H.: Estimation of the relative stiffness of the molecular chain in polyelectrolytes from measurements of viscosity at different ionic strengths. *Biopolymers*, 10, 1213- 1227, 1971
- [12] Rinaudo, M. and Milas, M.: Polyelectrolyte behavior of a bacterial polysaccharide from *Xanthomonas campestris*: comparison with carboxymethyl cellulose, *Biopolymers*, 17, 2663-2678, 1978
- [13] Rochefort, W.E. and Stanley, M.: Rheology of xanthan gum: Salt, temperature and strain effects in oscillatory and steady shear experiments. *J. Rheology*, 31, 337-369, 1987
- [14] Kwon, B.D., Foss, P.A., Rha, C.K.: Rheological characterization of high viscosity polysaccharides. In *Industrial Polysaccharide*, 3, Yalpani, M.(ed.), Elsevier Pub., Amsterdam, p.253-266, 1987
- [15] Tako, M., Asato, A., and Nakamura, S.: Rheological aspects of the intermediate interaction between xanthan and locust bean gum. *Agric. Biol. Chem.*, 48, 2995-3000, 1984
- [16] Muller, G., Anhorache, M., Lecourtier, J., and Chauveteau, G.: *Agric. Biol. Chem.*, 48, 2987, 1984
- [17] Nakamura, T., Koo, S.J., Pradipasena, P., Rha, C.K., and Sinskey, A.J.: In "Flocculation in Biotechnology and Separation Systems". ed. by Attia, Y.A., Elsevier Science Pub. B.V., Amsterdam, 1987
- [18] 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, 397-403, 1977
- [19] Tako, M., Nagahama, T., and Nomura, D.: Non Newtonian flow and dynamic viscoelasticity of xanthan gum. *Japanese J. Agric. Chem.*, 51, 513-518, 1977
- [20] Lanay, B., Doublier, J.L., and Cuvelier, G.: Flow properties of aqueous solutions and dispersions of polysaccharides, In "Functional Properties of Food Macromolecules", ed. by Mitchell, J.R. and Ledward, D.A., p.1-78, Elsevier Applied Science Pub., London, 1986
- [21] Morris, E.R., Rees, D.A. and Welsh, E.J.: Conformation and dynamic interactions in hyaluronate solutions. *J.Mol.Biol.*, 138, 383-400, 1980
- [22] 박혜정: *Alcaligenes*에 의해 생산되는 새로운 Hetero 다당류인 Welan과 Xanthan gum의 Rheology 특성에 관한 비교연구, 경희대학교 대학원 석사 학위 논문, 1988
- [23] Vreeman, H.J., Snoeren,T.H.M., and Payens, T.A.J.: Physicochemical investigation of  $\kappa$ -carragenan in the random state. *Biopolymers*, 19, 1357-1374, 1980