

## 보리 $\beta$ -Glucan [mixed-linked (1-3),(1-4)- $\beta$ -D-Glucan]의 리올로지 특성

김미옥 · 차희숙 · 구성자

정희대학교 식품영양학과

### Studies on Rheological Characterization of Barley $\beta$ -Glucan [mixed-linked (1-3),(1-4)- $\beta$ -D-Glucan]

Mi-Ok Kim, Hee-Sook Cha and Sung-Ja Koo

Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University

#### Abstract

Crude  $\beta$ -glucan extracted from Barley was purified by stepwise enzyme treatment (Thermostable  $\alpha$ -amylase, amyloglucosidase, protease). The Intrinsic Viscosity [ $\eta$ ] of the purified  $\beta$ -glucan was determined by Cannon Fenske Capillary Viscometer (size 50, Cannon Instruments, State, College pa.) at different pH (2,4,7,9,11) and various salt concentration (0.01 M, 0.03 M, 0.05 M, 0.07 M, 0.1 M and 0.2 M). The [ $\eta$ ] of purified  $\beta$ -glucan was ranged from 0.997~2.290 dl/g. The [ $\eta$ ] of purified  $\beta$ -glucan at both alkali, acid condition were lower than those at pH 7. However, the alkali condition of purified  $\beta$ -glucan solution showed less [ $\eta$ ] than the acid condition of this solution. From 0 M to 0.2 M salt concentration, the [ $\eta$ ] of purified  $\beta$ -glucan solution was decreased to 0.03 M then increased to 0.05 M NaCl and remained constant to 0.2 M NaCl. The chain stiffness parameter of purified  $\beta$ -glucan was not affected by temperature from 15°C to 65°C. The shear rates of various  $\beta$ -glucan conditions were determined by Bohlin Rheometer (Lund, Sweden). The  $\beta$ -glucan concentration of 1.0 g/dl and 2.0 g/dl behaved as Newtonian fluid. However, above the concentration of 3.0 g/dl  $\beta$ -glucan solution, it showed thixotropic and pseudoplastic characteristics. Barley  $\beta$ -glucan appears a damping at 0.5 frequency for the 4.0 g/dl solution. Below 0.5 frequency, it appears a viscous behavior property and above 0.5 frequency, it appears a elastic behavior property.

Key words: barley  $\beta$ -glucan, rheological, dynamic properties

#### 서 론

천연물질로부터 얻은 다당류는 polymer 시장에서 중요한 품목으로 점차 그 산업적 이용범위가 넓혀지고 있다. 식품산업쪽의 관심은 다당류의 gel 형성능력과 관계되는 cross-linking 영역들의 구조로써, 농후한 용액의 전단의존성(shear dependence)과 dynamic 성질들을 측정함으로써, 그 다당류들이 갖는 기능특성을 알 수 있으며, 그러한 기능특성에 따라 그들의 응용이 결정되는데, 식품산업에 이용되는 다당류들은 식물, 세균, 곰팡이, 효모 등에 의한 생합성으로 공급되고 있으며, 이들 중 식물다당류가 가장 다방면으로 이용되고는 있지만, 그 중요성에 비해 깊이 연구된 것이 많지 않다. 이용빈도가 높은 식물다당류로서는 전분, glycogen, dextrin,

$\beta$ -glucan, fructan, galactomannose와 같은 저장다당류나 cellulose, hemicellulose, pectin 등과 같은 구조다당류를 들 수 있는데, 근래에 와서  $\beta$ -glucan이나 cellulose와 같은 fiber에 관한 연구들이 보고되고 있다<sup>(1~8)</sup>.

Rees나 Scott<sup>(3)</sup>에 의하면, 보리의  $\beta$ -D-glucan은 (1-4)- $\beta$ -D-glucan이 리본과 같은 모양의 분자(ribbon-like molecule)로 연결되어, 직쇄상의 사슬을 이루며, (1-3)- $\beta$ -D-glucan은 “폭이 큰(large amplitude)” helix의 구조를 형성한다고 보고하였고, Anderson과 Story 등<sup>(4)</sup>은 mixed linked (1-3),(1-4)- $\beta$ -D-glucan의 구조를 갖는다고 보고하였다.

Woodward 등<sup>(5)</sup>은 보리  $\beta$ -glucan이 (1-3)- $\beta$ -D-glucan과 (1-4)- $\beta$ -D-glucan이 두개의 결합들이 혼합된 상태로 벌레와 같은 구조(worm-like-structure)로서, 수용액상에서  $\beta$ -glucan의 (1-3)-linkage가 불규칙한 간격으로 들어가서, 불규칙한 형태로 되어 광범위한 intermolecular 회합을 방해한다고 밝혔다.

보리  $\beta$ -glucan은 양조산업과 그 유사산업에서 많은

Corresponding author: Mi-Ok Kim, Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, 1.Hoiki-Dong, Dongdaemoon-Ku, Seoul 130-701, Korea

연구가 이루어졌고 구조연구로는 대부분 주된 사슬에 관해서만 밝혀져 있을 뿐, 그에 따른 겉가지 사슬에 관한 연구와 리올로지 특성에 대해서는 별로 연구된 바 없다. 따라서 본 연구에서는  $\beta$ -glucan이 식이섬유로 임상적으로는 고혈압, 당뇨병, 대장암 등과 같은 성인병의 예방 효과, 저혈당 tolerance을 가진 환자의 치료식이와 비만을 예방하기 위한 저칼로리 식품으로 개발하고자 하며, 또한 식품산업 분야로 thickening, water holding, emulsify, structure forming과 같은 신소재 기능물질로 개발하는데 목적을 두고 보리에서  $\beta$ -glucan을 제조하는 기술개발과 rheological properties-structure-functional properties의 관계를 밝히고자 한다. 그 기초적 연구로서 보리로부터 여러 단계 효소처리 과정을 거쳐  $\beta$ -glucan을 추출하여 정제한 다음, 순수한  $\beta$ -glucan을 얻었으며, 둑은 용액에서 고유점도(pH 및 염농도의존성, chain stiffness, zero shear rate viscosity)와 농후한 용액에서 steady shear viscosity(온도의존성, 시료농도의존성)와 dynamic 특성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에서 사용된 보리는 농촌진흥연구소에서 제공 받은 늘보리(*Hordeum Vulgare L.*)를 사용하였다.

### 시료의 전처리

시료의 전처리 과정으로서, Peraman<sup>(9)</sup> 등의 분석방법

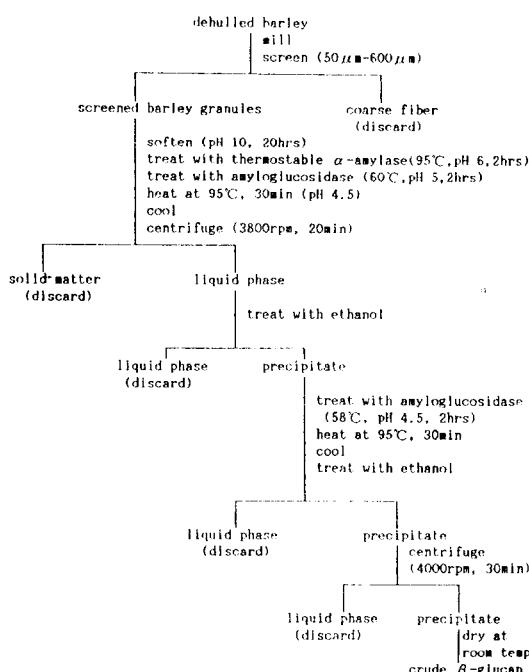


Fig. 1. Preparation of Barley  $\beta$ -Glucan

을 변형한 것으로 M.I.T. Lab에서 사용한 방법을 이용하여 순수한  $\beta$ -glucan만을 얻었다(Fig. 1, 2).

### 시료용액의 조제

보리  $\beta$ -glucan은 1 g/dl의 stock solution을 만들어 사용하였다. 즉, 시료를 deionized water에 2분간 혼탁시켜서 magnetic stirrer hot plate에서 2~3°C/min의 속도로 가열하여 70°C에서 15분간 가열하면서 증발된 수분을 보충한 후 냉각시켜 실온에서 30분간 방치한 후에 시료용액으로 사용하였다. steady shear viscosity 측정은 pH 7의 0.4 g/dl 농도로 만들었다.

### 고유점도 측정

고유점도 측정을 위해 Calibrated Cannon Fenske Capillary Viscometer(size 50)를 사용하였으며 circulating heater를 항온수조에 부착시켜 25°C로 유지하여 실험하려는 시료를 넣고 20분간 방치한 후에 고유점도를 측정하였다.

pH 의존성을 측정하기 위해 pH 2~11 범위에서 고유점도를 측정하였으며, 염농도의존성을 평가하기 위해 0~0.2 M NaCl 농도범위에서 측정하였으며 용매 의존성은 deionized water(D.I.W.), 10% glycerol 및 8 M urea 용액과 urea를 제거한 용액의 고유점도를 측정하였다.

본 실험에서 사용된  $\beta$ -glucan 농도는 상대점도(relative viscosity)가 1.1~1.5 범위인 0.3~0.05 g/dl 농도의 flo-

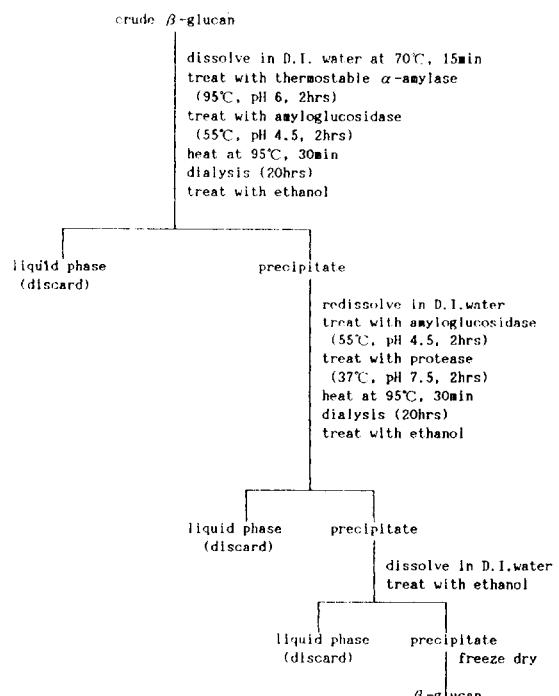


Fig. 2. Purification Procedure of Barley  $\beta$ -Glucan

wing time은 38~25 sec<sup>-1</sup> 범위에서 측정되었다. 10% glycerol 및 8 M urea 용액에서 상대점도의 1.1~1.5 범위인 0.2~0.03 g/dl 농도에서 flowing time은 54~34 sec<sup>-1</sup> 범위에서 측정하였으며; 8 M urea 용액의 고유점도를 측정한 후, 72시간 투석하여 urea를 완전 제거한 다음 견조시킨 시료를 D.I.W.에서 상대점도의 1.1~1.5 범위의 0.2~0.04 g/dl 농도에서 flowing time은 36~24 sec<sup>-1</sup> 범위에서 측정되었다.

고유점도는 Huggins<sup>(10)</sup> 방정식의 의삽법에 의해 산출되었다.

즉,  $\eta_{sp}$  = specific viscosity

$$= \frac{\text{용액의 점성도}}{\text{용매의 점성도}} - 1$$

C = β-glucan의 농도

[η] = 고유점성도

K' = 상수

#### Chain Stiffness 측정

Chain stiffness는 Smidsrod와 Haug 방정식<sup>(11)</sup>에 의해 계산되었다.

$$[\eta] = A_1 + B[\eta]_0^{1.3} C_s^{-1/2}$$

여기서, A<sub>1</sub> = 상수

B = Chain Stiffness

$$[\eta]_0 = 0.1 \text{ M-NaCl에서 고유점도}$$

C<sub>s</sub> = 염농도

#### Steady Shear Viscosity 측정

온도의존성은 Brookfield Viscometer(3.0° Cone Spindle, Cone # Cp 52)를 사용하여 측정하였으며 시료는 pH 7의 4.0 g/dl 농도를 사용하였다. 온도범위를 15~65 °C로 하여 등간을 10°C로 하였으며 shear rate 범위는 100 sec<sup>-1</sup>에서 걸보기점도를 측정하였다.

Steady shear viscosity에 대한 시료농도 의존성을 측정하기 위하여 pH 7의 시료농도를 각각 1.0~5.0 g/dl로 만들어 Bohlin Rheometer(Lund, Sweden)를 사용하여 걸보기점도를 측정하였으며, 이때 온도는 25°C였고 shear rate 범위는  $1.85 \times 10^2$  ~  $4.63 \times 10^2$  sec<sup>-1</sup>로 하였다.

#### Dynamic 성질 측정

사용된 시료는 pH 7의 시료농도 3.0 g/dl와 4.0 g/dl로 만들어, frequency의 범위 0.01~20 Hz에 대한 modulus (storage modulus: G', loss modulus: G'', damping: tan δ = G'/G'')을 Bohlin Rheometer로 측정하였으며 이때의 온도는 25°C였다.

#### 결과 및 고찰

#### 고유점도

Cannon Fenske Capillary Viscometer(size 50)을 25

Table 1. Intrinsic viscosity of barley-β-glucan in aqueous solution

| pH | [η] (dl/g) |
|----|------------|
| 2  | 1.694      |
| 4  | 1.420      |
| 7  | 2.290      |
| 9  | 1.744      |
| 11 | 0.997      |

| M-NaCl | [η] (dl/g) |
|--------|------------|
| 0.00   | 2.290      |
| 0.01   | 1.650      |
| 0.03   | 0.947      |
| 0.05   | 1.371      |
| 0.07   | 1.393      |
| 0.10   | 1.390      |
| 0.20   | 1.368      |

| M-Urea       | [η] (dl/g) |
|--------------|------------|
| 8            | 4.114      |
| remove urea  | 1.686      |
| 10% glycerol | 1.306      |

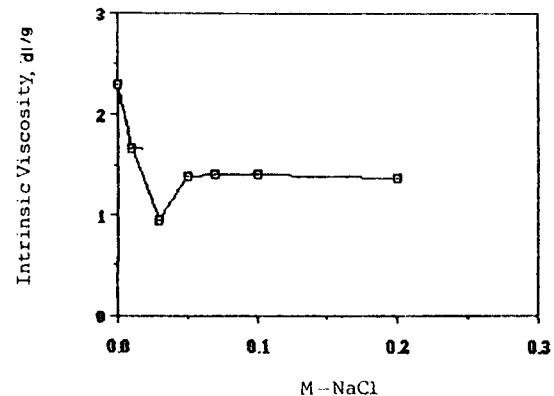


Fig. 3. Salt Dependence of Intrinsic Viscosity of Barley β-Glucan at 25°C, pH 7

으로 유지시키면서 pH 범위 2~11과 염농도 0.0~0.2 M NaCl, 10% glycerol 및 8 M urea 용액과 urea를 제거한 보리 β-glucan의 고유점도는 Huggins 방정식<sup>(10)</sup>에 의해 산출되었으며 그 값은 Table 1에 나타내었다.

#### 고유점도의 pH의존성

pH 2~11의 범위에서 보리 β-glucan의 고유점도를 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. pH 7일 때, 고유점도가 최대값을 나타냈고 산성과 알칼리성이 강할수록 낮은 값을 나타내었는데 산성보다도 알칼리성에서 더욱 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

Saito<sup>(12)</sup> 등과 Hiura<sup>(13)</sup> 등의 연구에 의하면, 일반적으로 pH 7 일 때의 gel 상태에서 β-D-(1-3)-linkage의 주된

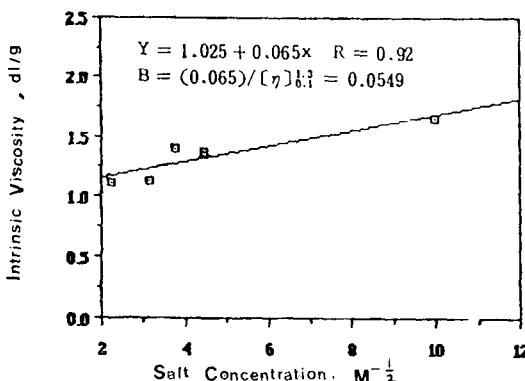


Fig. 4. Dependence of Intrinsic Viscosity on Salt Dependence

사슬과 결사슬의 질서정연한 구조형태로 single helix를 형성하여 이 single helix가 gel junction zone으로서 multiple helix를 형성하므로 pH 7에서 고유점도가 높게 나타난다고 하였는데 본 연구결과는 이들의 보고와 일치된 결과를 나타냈다.

#### 고유점도의 염농도 및 용매 의존성

NaCl을 사용하여 염농도를 0.0~0.2 M의 범위로 변화시켜 염농도 의존성을 살펴본 결과를 Fig. 3에 나타냈다. 보리  $\beta$ -glucan 고유점도는 염을 사하지 않은 상태 즉 D.I.W.에서는 2.290 dl/g로 가장 높은 값을 나타냈으며, 염농도를 증가시킴에 따라 0.03 M NaCl까지 급격히 감소하였으나 0.05 M에서는 다시 약간 증가하여 그 이상의 염농도에서는 변화가 없었다. 이러한 결과는 보리  $\beta$ -glucan의 구조가 아직 밝혀지지 않았지만 아마도 side chain에 negative charge group이 결합되어 있어서 염존재하에서는 counter-ion들이 보호(shield)되어 charge group간의 정전기적 반발이 감소되므로 고유점도가 낮게 나타난 것으로 추측되지만 보리  $\beta$ -glucan의 구조가 더 연구되어져야만 밝힐 수 있을 것으로 사료된다. 또한 용매가 바뀌면 용매와 다당류의 상호작용으로 인해 다당류의 크기와 형태의 변화가 일어나서 hydrodynamic volume에 영향을 미치게 되는데 D.I.W.에서 보리  $\beta$ -glucan의 고유점도는 2.290 dl/g이었고, 10% glycerol 용액에서는 1.306 dl/g로 보리  $\beta$ -glucan의 고유점도가 훨씬 감소되었다.

8 M urea 용액에서는 고유점도가 4.114 dl/g로 높게 나타났다. 이는 8 M urea가 보리  $\beta$ -(1-3)-linkage의 intra-chain과  $\beta$ -(1-3),(1-4) interchain의 수소결합을 잘라주므로 신장(extended)된 상태가 되어 고유점도 값이 크게 나타났으며 urea를 제거했을 때의 고유점도를 측정한 값은 1.686 dl/g로 이는 D.I.W.에서의 고유점도 2.290 dl/g보다 작은 것으로 urea를 제거하면, 수소결합이 다시 형성되어 원상태보다 더욱 조밀한 구조를 갖기 때문인

Table 2. Comparison of chain stiffness parameter B, barley  $\beta$ -glucan to the published other polymers

| polymer                | B     | reference  |
|------------------------|-------|------------|
| Xanthan                | 0.005 | 17         |
| Wellan                 | 0.010 | 18         |
| Rhamsan                | 0.016 | 19         |
| Zooglan                | 0.025 | 20         |
| Gellan                 | 0.033 | 21         |
| Alginate               | 0.040 | 16         |
| Sodium Pectinate       | 0.040 | 16         |
| Carboxymethylcellulose | 0.050 | 20         |
| Barley $\beta$ -Glucan | 0.050 | this study |
| Hyaluronic acid        | 0.070 | 13         |
| Chitosan               | 0.100 | 22         |
| Carboxymethylamylose   | 0.200 | 20         |

것으로 사려된다.

#### Chain stiffness 측정

다당류의 chain stiffness는 고유점도로부터 계산될 수 있으며 Smidsrod와 Haug 방정식<sup>(16)</sup>에 의하여 구한  $\beta$ -glucan의 chain stiffness 특성치는 0.05이었다(Fig. 4). 보고된 생물고분자들의 chain stiffness parameter, B를 Table 2에 나타내었다.

본 연구에서 보리  $\beta$ -glucan의 chain stiffness parameter, B는 0.05값으로 carboxymethylcellulose와 같은 값을 얻었는데, carboxymethylcellulose는  $\beta$ -(1-3)-linkage만으로 구성되어 구조상의 차이점은 있으나 단단함이 비슷함을 나타내었으며, 이제까지 알려진 다당류 가운데 분자들 사이의 회합으로 가장 단단한 막대모양을 지니며 고유점도가 가장 큰 xanthan gum( $B=0.005$ )과 carbomethylamylose( $B=0.200$ )의 중간정도의 단단한 구조를 가진 것으로 예상된다.

#### Zero Shear Rate Viscosity

묽은 용액과 농후한 용액을 구분짓는 임계농도( $C^*$ )는 reduced concentration( $C \cdot [\eta]$ )에 대한 specific viscosity( $\eta_{sp}$ )를 log-log형태로 plot시킬 때 나타나는 굴곡점을 말한다(Fig. 5). 일반적으로 실제의 농도가 임계농도보다 클 때는 농후한 용액으로 간주되어 viscoelastic과 non-newtonian behavior 성질을 나타낸다<sup>(19)</sup>. 임계농도 이상에서는  $\beta$ -glucan 분자가 overlap되고, entanglement가 일어나며 chain 분리작용이 일어난다. 이때 농도는 절도를 결정하는데 중요한 역할을 하며, 이는 시료자체의 입자 모양이나 정전기적인 인력과도 관계된다<sup>(19)</sup>.

보리  $\beta$ -glucan은  $C \cdot [\eta]=0.57$  이상일 때 직선의 기울기는 1.128이었고, specific viscosity는 0.33이었으며  $C \cdot [\eta]<0.57$ 에서는 기울기가 0.85이었다. 보리  $\beta$ -glucan은 0.57 g/dl 농도 이상에서는 entanglement가 일어남을 알 수 있었다.

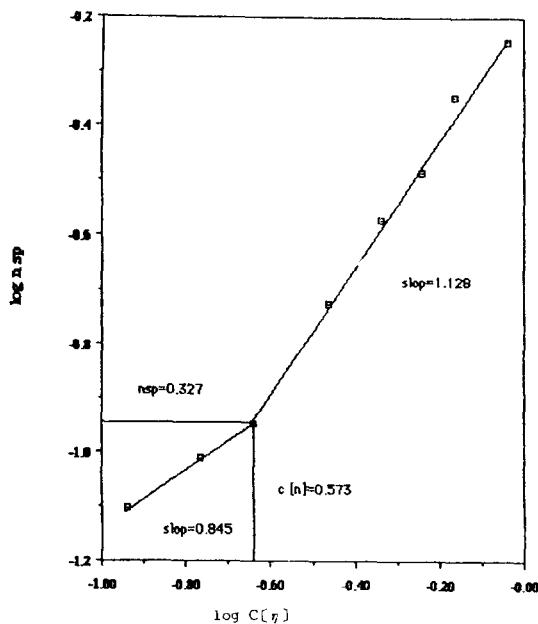


Fig. 5. Zero-Shear rate Viscosity versus Concentration of Barley  $\beta$ -Glucan at 25°C, pH 7

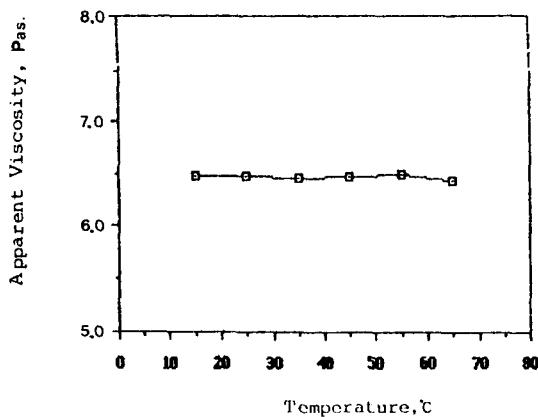


Fig. 6. Temperature Dependence of  $\beta$ -Glucan, 0.4 g/dl, pH 7

#### 온도의존성

측정온도를 15°C에서 65°C까지 변화시키면서 shear rate 100 sec<sup>-1</sup>에서  $\beta$ -glucan의 절보기점도를 측정한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 일반적으로 생물다당류는 온도가 높을수록 절보기점도가 감소되는 경향이지만, 보리  $\beta$ -glucan은 온도가 변화함에 따라 절보기점도는 변화가 없으므로 온도에 대해 매우 안정된 물질임을 알 수 있다. 보리  $\beta$ -glucan이 열에 대해 매우 안정하다는 것은 그만큼 이용범위를 넓혀줄 수 있다는 점을 예시해 준다.

#### 시료 농도의존성

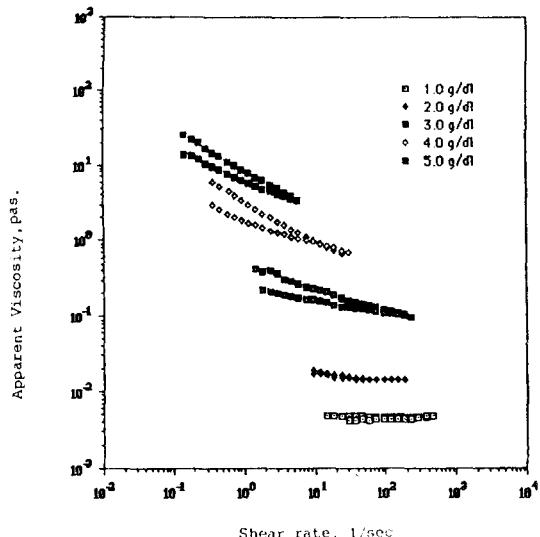


Fig. 7. Dependence of Apparent Viscosity (pH 7, salt concentration 0 M-NaCl and 25°C) shear rate and Barley  $\beta$ -Glucan Concentration

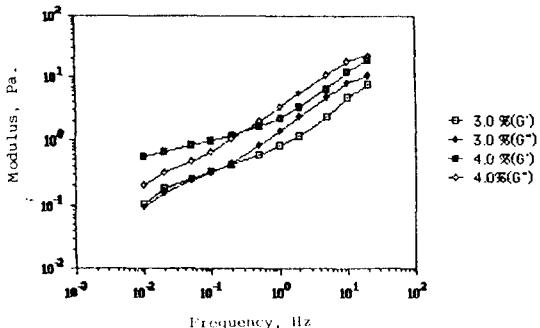


Fig. 8. Dynamic Properties (Barley  $\beta$ -Glucan Concentration 3.0, 4.0 g/dl, pH 7, Salt Concentration 0 M-NaCl and 25°C)

보리  $\beta$ -glucan 농도를 1.0 g/dl~5.0 g/dl로 하여 Bohlin Rheometer를 사용하여 shear rate에 대한 apparent viscosity와의 관계를 log-log 형태를 취해 농도에 대한 의존성을 살펴보았다(Fig. 7). 보리  $\beta$ -glucan은 1.0 g/dl, 2.0 g/dl 농도의 용액에서는 newtonian fluid 성질을 나타냈고, 3.0 g/dl 이상에서는 shear rate가 증가함에 따라 apparent viscosity가 감소하는 pseudoplastic behavior를 보여주는 동시에 thixotropic hysteresis를 일으키는 특성을 보여주었다.

#### Dynamic 성질

Visco-elastic properties를 측정하기 위하여 보리  $\beta$ -glucan의 3.0 g/dl과 4.0 g/dl 농도의 용액으로 oscillation을 측정하여 frequency에 대한 modulus(storage mo-

dulus : G', loss modulus : G'')를 log-log 형태로 plot한 것을 Fig. 8에 나타내었다. 3.0 g/dl, 4.0 g/dl 농도의 용액에서 storage modulus와 loss modulus와의 교차되는 점이 나타나는데, 이것이 damping으로  $\tan \delta = 1$ 이다. 4.0 g/dl 농도 용액에서 damping은 0.5 frequency로 0.5 frequency 이하에서는 viscous behavior를 나타내고, 0.5 frequency 이상일 때는 elastic behavior를 나타냄을 알 수 있었다.

## 요 약

보리를 thermostable  $\alpha$ -amylase와 amyloglucosidase로 처리하여  $\beta$ -glucan을 제조하였으며 이를 정제한 후, 보리  $\beta$ -glucan의 여러가지 리올로지 특성치들을 측정하였다. 본 실험에서 제조한  $\beta$ -glucan의 함량은 64%이었다. crude한 시료를 정제과정을 통해 순수한  $\beta$ -glucan을 얻었으며 순수한  $\beta$ -glucan의 고유점도는 2.290 dL/g이었다. pH 의존성은 pH 7일 때, 고유점도가 2.290 dL/g로 최대 값을 나타냈으며, 산성과 암알리성이 강할수록 낮은 값을 보였다. 산성보다는 암알리성이 pH 의존성이 크게 나타났다. 염농도의 존성에서는 염을 가지지 않았을 때 보리  $\beta$ -glucan의 고유점도는 2.290 dL/g이었으나, 염존재하에서는 고유점도가 급격히 감소하는 염농도의 존성을 나타냈다. 10% glycerol 용액에서 보리  $\beta$ -glucan의 고유점도는 1.360 dL/g이었으며 8 M urea 용액에서 고유점도는 4.114 dL/g로 나타났고, urea 제거 후의 고유점도는 1.686 dL/g로 낮은 수치를 나타냈다. Chain stiffness는 0.05이었으며 온도에 대해서는 매우 안정하였다. Zero shear specific viscosity에서는  $C \cdot [\eta] = 0.573$ 이었으며, specific viscosity는 0.327로서 0.573 g/dL 농도 이상에서 entanglement가 시작되며, 보리  $\beta$ -glucan의 농도의 존성은 1.0 g/dL, 2.0 g/dL 농도 용액에서 newtonian fluid 성질을 나타냈고, 3.0 g/dL 농도 이상일 때는 pseudoplastic behavior를 보여주는 동시에 thixotropic hysteresis가 일어나는 특성을 보였다. Dynamic 성질로서는 4.0 g/dL 용액에서 damping이 0.5 frequency에서 나타나며, 0.5 frequency 이하일 때는 viscous behavior 성질이 있고, 0.5 frequency 이상일 때는 elastic behavior 성질을 나타낸다.

## 감사의 글

이 논문은 1991년도 교육부 지원 학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비로 수행한 연구결과의 일부로서 연구를 지원해 준 학술진흥재단에 감사드립니다.

## 문 헌

1. Bioinformation Associates: Impact of biotechnology on the production and applications of biopolymer. M.I.T.,

2. Hill, R.D. and Munk, L.: New approaches to research on cereal carbohydrates. Elsevier, Amsterdam(1985)
3. Ree, D.A. and Scott, W.E.: Polysaccharide conformation part vi. computer model-building for linear and branched pyranoglycan. *J. Chem. Soc. (B)*, 469(1971)
4. Anderson, J.W., Story, L., Sieling, B., Wen-Ju, L.C., Petro, M.S. and Story, J.: Hypocholesterolemic effects of oat-bran or bean intake for hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutri.*, 40, 1146(1984)
5. Woodward, J.R., Fincher, G.B. and Stone, B.A.: Water-Soluble (1-3)(1-4)- $\beta$ -D-Glucans from Barley(*Hordeum Vulgare*) Endosperm. II. Fine Structure. *Carbohydrate Polymers*, 3, 207(1983)
6. Kirby, R.W., Anderson, J.W., Sieling, B., Ress, E.D., Wen-Ju, L.C., Miller, R.E. and Kay, R.M.: Oat-bran intake selectively lowers serum low-density lipoprotein cholesterol concentrations of hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutri.*, 34, 824(1981)
7. David, J.A., Thomas, M.S., Taylor, R.H., Barker, H., Baldwin, J.M., Newman, H.C., Jenkins, A.L. and Goff, D.V.: Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrates exchange. *Am. J. Clin. Nutri.*, 43, 362(1981)
8. Wood, P.J.: Physicochemical properties and technological and nutritional significance of cereal  $\beta$ -glucans. In Cereal Polysaccharides in Technology and Nutrition. ed Rasper F. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minn, p.35(1984)
9. Peraman and Hadden, G.: Analysis of insoluble mixed-linked (1-3),(1-4)- $\beta$ -D-Glucans in barley and oats. *J. Agric. Food Chem.*, 35, 704(1987)
10. Flory, P.J.: Principles of polymer chemistry. In chapter 9, Cornell University Press, Ithaca, NY, p.310(1953)
11. Bamforth, C.W.: Biochemical approaches to beer quality. *J. Inst. Brew.*, 91, 154(1985)
12. Saito, H., Ohki, T. and Sasaki, T.:  $\alpha$ -<sup>13</sup>C-nuclear magnetic resonance study of polysaccharide gels. molecular architecture in the gels consisting of fungal Branched (1-3)- $\beta$ -D-glucans as manifested by conformational changes induced by sodium hydroxide. *Carbohydrate Research*, 74, 227-240(1979)
13. Hiura, N., Hiura, M., Nakajima, T., Kato, K. and Matsuda, Y.K.: Alkali extraction of  $\beta$ -D-glucans from the Sclerotia of *Corticium rollei*. *Agri. Biol. Chem.*, 48, 541 (1984)
14. Macleary, B.V. and Glennie-Holmes, M.: Enzymatic quantification of (1-3),(1-4)- $\beta$ -D-glucan in barley and malt. *J. Inst. Brew.*, 91, 285(1985)
15. Kirgham, W.R. and Flory, P.J.: Molecular weight dependence of the viscosity of polymer solutions. *J. Polymer Sci.*, 11, 37(1953)
16. Smidsrod, O. and Haug, A.: Estimation of the relative stiffness of the molecular chain in polyelectrolytes from measurements of viscosity at different ionic strengths. *Biopolymer*, 10, 1213(1971)
17. Rinaudo, M. and Milas, M.: Polyelectrolyte behavior of a bacterial polysaccharide from *Xanthomonas Campestris*: Comparison with Carboxymethylcellulose. *Biopolymers*, 117, 2663(1978)

18. 박혜정 : Alcaligenes에 의해 생산되는 새로운 Hetero 다당류인 Welan Gum과 Xanthan Gum의 Rheology 특성에 관한 연구. 경희대학교 대학원 석사학위논문(1988)
19. 이임선 : Alcaligenes에 의해서 생산된 Rhamsan gum의 리올로지 특성에 관한 연구. 경희대학교 대학원 석사학위논문(1988)
20. Nakamura, T., Koo, S.J., Pradipasena, P., Rha, C.K. and Anthony, J.S.: Solution properties of polysaccharide flocculant produced by Zoogloea Ramigera 115. In Flocculation in Biotech. and Separation System. Y.A. Attia Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam., p.399(1987)
21. 권혜숙 : Pseudomonas elodea에 의해서 생산된 Gellan gum과 Agar의 Rheology 특성 비교 연구. 경희대학교 대학원 석사학위논문(1988)
22. Rodringuez, D. and Sterzer, K. and Rha, C.K.: Intrinsic viscosity of chitosan solutions as affected by ionic strength. Proc. 2nd Int. Conf. on chitin and chitosan. Hirano, S. and Tokura, S. eds., the Japanese Society of Chitin and Chitosan, p.30(1982)

(1992년 8월 28일 접수)