

Pseudomonas elodea 에 의해서 생산된 Gellan gum 과 Agar의 rheology 특성 비교연구

권 혜 숙·구 성 자

경희대학교 가정대학 식품영양학과

Study on rheological characterization of Gellan gum Produced by Pseudomonas elodea

—Comparative Studies on Rheological Characterization of
Gellan gum and Agar—

Hye Suk Kwon, and Sung Ja Koo

Dept. of Foods and Nutrition, Kyung Hee University

Abstract

The polysaccharide produced by pseudomonas elodea, Gellan gum, was rheologically characterized, compared with agar.

Rheological properties were determined from the change in the value of intrinsic viscosity with the pH and salt concentration. At the range of pH 2~11 and salt 0~0.16M KCl, the intrinsic viscosity of Gellan gum ranged from 8.8 to 21.2dl/g and agar ranged from 1.97 to 11.46dl/g.

In the absence of salt, the intrinsic viscosity of Gellan gum increased as the pH of solution increased up to neutral pH then decreased slightly at alkaline pH, whereas the intrinsic viscosity of agar increased as the pH of solution increased up to pH 9 then decreased slightly.

Intrinsic viscosity of Gellan gum and agar decreased with an increase in salt concentration. The chain stiffness parameter for the Gellan gum was 0.033. The overlap parameter of Gellan gum and agar were 0.047g/dl and 0.087g/dl, respectively.

Gellan gum and agar were shear rate dependent or pseudoplastic. The yield stress and proportionality constant of Gellan gum increased slightly as the concentration increase, on the other hand, the shear index of Gellan gum showed a maximum at 0.75g/dl and gradually decreased as the concentration increase.

The apparent viscosity of Gellan gum and agar decreased as the temperature increase. A lower concentration of the divalent cations calcium and magnesium is required to obtain maximum gel strength than for the monovalent cations sodium and potassium.

I. 서 론

대부분의 biopolymer들은 매우 점성이 높은 용액을 만들며, 특수한 조건 하에서 water holding capacity, moisturizing effect, thickening, lubrication, adhesion, coating, shape retention 등과 같은 기능적 특성을 갖는다. 이러한 기능 특성들이 식품에서부터 oil 산업에 까지 광범위하게 이용되고 있다^{1~3)}.

근래에 가장 큰 관심을 보이고 있는 미생물 다당류로는 Pseudomonas elodea 의 발효에 의하여 생산된 Gellan gum 및 Alcaligenes에서 얻은 Welan gum 과 Rhamsan gum 등^{4,5)}이 있다.

이들의 구조에 관하여 많은 연구가 이루어져 왔으며 Jansson 등^{6~8)}에 의하면 이들 세가지 gum 들은 →3)- β -D-Glcp-(1→4)- β -D-GlcpA-(1→4)- β -D-Glcp-(1→4)- α -L-Rhap-(1→로 구성된 tetrasaccharide 골격을 가지며, 결가지는 각자 다르다고 보고되어 있다. Gellan gum은 결가지를 가지고 있지 않고, Rhamsan gum은 결가지에 2개의 glucose unit를 가지며 Welan gum은 결가지에 rhamnose와 mannose 중의 한 monosaccharide를 갖는데 이러한 결가지의 유무와 종류는 다당류의 특성을 크게 변화시킨다^{9~11)}.

천연 Gellan gum은 glucuronic acid, glucose, 및 rhamnose을 함유하는 acetyl화된 다당류로 약 6개의 0-acetyl group을 가지고 있다^{12,13)}.

Colegrave 등⁹⁾에 의하면 Gellan gum은 열가역적인 gel을 형성하는 anionic polysaccharide이며 gel을 형성하기 위해 열과 양이온을 필요로 한다고 보고하였고 Moorhouse 등^{14,15)}의 연구에 따르면 deacetyl화된 Gellan gum은 agar와 유사한 gel을 형성하며, 독특한 melting과 setting hysteresis를 나타낸다고 하였다.

Gellan gum의 상품으로는 "Gelrite"라 하여 시판되고 있는데^{16~19)}, agar보다 많은 장점을 가지고 있어서 agar의 대용품으로 미생물 배지의 gelling agent로 써 사용되고 있다.

또한 Gellan gum의 식품산업 쪽의 응용은 starch jellies, Pectin jellies, Jam, Pie fillings, Pudding, Icing and Frosting 뿐만 아니라 유제품에 크게 이용되는 등 구조적 식품(structural food) 산업에 커다란 잠재성을 가지고 있다는 것이다^{20~22)}.

특히 식품산업 쪽의 관심은 biopolymer의 gel 형성 능력과 관계되는 cross-linking region들의 구조로써 농후한 용액의 shear dependency와 dynamic 특성을 측정함으로써 그 biopolymer들이 갖는 기능특성을

알 수 있으며, 그러한 기능특성에 따라 그들의 응용이 결정된다.

따라서 본 연구에서는 우수한 Gelling agent로서 agar 대용품으로 주로 사용되고 있고, 또한 식품 산업에서 특히 구조적 식품에 무한한 잠재성을 가지고 있는 Gellan gum의 rheology 특성들을 평가하기 위해 intrinsic viscosity(pH의 존성, 염농도의 존성, chain stiffness, overlap parameter) 및 steady shear viscosity(shear의 존성, 시료농도의 존성, 온도의 존성, 염종류의 존성)을 agar와 비교 연구함으로써 Gellan gum의 식품산업적 응용을 넓히고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용한 Gellan gum은 M. I. T.(Applied Biological Sciences Lab)에서 공급받았으며, agar는 Junsei Chemical Company에서 구입하여 정제한 후 사용하였다.

1) 시료의 전처리²³⁾

시료를 deionized water(1g/dl)에 용해시키고 실온에서 하루동안 저어준 후 그 용액을 0.2 M-NaOH를 가하여 pH를 12~13으로 조정한 뒤 다시 저어 준다. 그 다음 세포 잔여물과 비용해성 polymer들을 제거하기 위해 15,000rpm에서 30분간 원심분리하고, 윗층을 뺀해서 투석하여 염을 제거한 후 동결건조시켜 얻은 시료를 desicator에 넣어 보관한다.

2) 시료용액의 조제

Gellan gum과 agar는 1g/dl 농도를 stock solution으로 조제하였다. 즉 시료는 증류수에 2분간 혼탁시켜 Magnetic stirrer-Hot plate에서 2~3°C/min의 속도로 가열하여 96°C에서 10분간 가열하면서 증발된 수분을 보충한 후 냉각시켜 실온에서 30분간 방치한 후에 시료용액으로 사용하였다.

2. 기기 및 시약

1) 기기

Cannon-Fenske capillary viscometer(size 50,

Cannon Instrument, State College, Pa.)

Brookfield digital viscometer

(3.0° Cone Spindle, Cone Cp 52)

Circulating heater가 부착된 항온수조

Freeze dryer(U.S.A. ThermoVact, FD-4)

Centrifuge(H50A-1 Han Il Co)

2) 시약

실험에 필요한 모든 시약은 특급 시약을 사용하였다.

3. 실험방법

1) Intrinsic viscosity 측정

intrinsic viscosity 측정을 위해 Calibrated Cannon Fenske capillary viscometer(size 50, Cannon Instrument, State College, Pa)를 사용하였다.

실험하려는 시료를 유입한 후 25°C로 유지시키기 위해 circulating heater가 부착된 항온수조에서 20분간 방치한 후 viscosity를 측정했다.

(1) pH 및 염농도 의존성

pH의존성을 평가하기 위해 pH 2~11 범위에서 intrinsic viscosity를 측정했고, 염농도 의존성을 평가하기 위해 염농도 0~0.16M KCl 범위에서 intrinsic viscosity를 측정했다.

이 실험에 사용된 Gellan gum 농도는 relative viscosity가 1.1~1.5· 범위인 0.01g/dl~0.05g/dl이며, agar의 농도는 0.02g/dl~0.1g/dl이었다.

flowing time은 100~300 seconds 범위였다.

intrinsic viscosity는 Huggins Equation²⁴⁾의 외삽법에 의해 계산되었다.

$$\text{즉}, \eta_{sp}/C = [\eta] + K'[\eta]^2 C$$

여기서 η_{sp} =specific viscosity

$$= \frac{\text{viscosity of solution}}{\text{viscosity of solvent}} - 1$$

C=시료의 농도

$[\eta]$ =intrinsic viscosity

K'=상수

(2) Chain Stiffness

chain stiffness는 Smidsrod와 Haug Equation²⁵⁾에 의해 구했다.

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

여기서 A_1 =상수

B=chain stiffness

$[\eta]_0$ =intrinsic viscosity(0.1M KCl에서)

C_s =염농도

(3) Overlap Parameter

overlap parameter는 intrinsic viscosity의 역수로써, intrinsic viscosity를 측정함으로써 계산되었다.

$$\text{즉}, C_h = 1/[\eta]$$

여기서 C_h =overlap parameter

혹은 characterization-concentration

$[\eta]$ =intrinsic viscosity

2) Steady Shear Viscosity 측정

(1) Shear 의존성

shear 의존성을 평가하기 위해 viscosity는 brookfield digital viscometer를 사용하여 10~200sec⁻¹의 shear rate 범위에서 측정되었다.

시료의 viscosity는 shear rate를 증가 또는 감소시켜 가면서 측정했으며, 이 실험에 사용한 시료는 pH 7의 시료농도 0.5g/dl이었고, 이 때 온도는 25°C로 하였다.

yield stress(Y)는 낮은 shear rate data를 이용하여 shear stress를 zero shear rate에 외삽하여 curve fitting 함으로써 측정되었다. yield stress는 Casson Equation²⁶⁾을 사용하여 측정했다.

$$\tau = b\dot{r}^{1/2} + Y^{1/2}$$

여기서 τ =shear stress

\dot{r} =shear rate

b=비례상수

Y=yield stress

pseudoplastic 영역의 shear rate와 shear stress 관계는 Power law equation에 의해 분석되었다.

$$\tau = Y + b\dot{r}^s$$

여기서 τ =shear stress

\dot{r} =shear rate

b=비례상수

s=flow behavior index 또는 shear index

Y=yield stress

(2) 시료농도 의존성

steady shear viscosity에 대한 시료농도 의존성을 평가하기 위해 pH 7에서 시료농도를 0.25g/dl, 0.5g/dl, 0.75g/dl, 1.0g/dl로 하여 apparent viscosity를 측정했는데, 이 때 온도는 25°C로 하였으며 shear rate 범위는 10~200sec⁻¹로 하였다.

(3) 온도 의존성

이 실험에 이용된 시료는 pH 7이며, 시료 농도가 0.5g/dl이었다.

온도 범위는 15~65°C로 하였고, 등간은 10°C로 하여 1~200sec⁻¹의 shear rate 범위에서 apparent viscosity를 측정하였다.

(4) 염종류에 대한 의존성

shear rate 40 sec⁻¹에서 urea 및 1가염인 NaCl, KCl과 2가염인 CaCl₂, MgCl₂의 apparent viscosity를 측정하여 상호 비교하였는데 이 때 시료의 농도는 0.5g/dl, 염농도는 0~0.2M, 온도는 25°C로 하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. Intrinsic Viscosity

Cannon-Fenske capillary viscometer를 사용하여 pH 범위 2~11과 염농도 0M~0.16M KCl에서 Gellan gum과 agar의 intrinsic viscosity는 Huggins Eguation

Table 1. Intrinsic Viscosity of Gellan gum & Agar.

pH	M-KCl	$[\eta]$ of Gellan gum	$[\eta]$ of Agar
2	0.00	—	1.97
	0.01	—	0.81
	0.03	—	0.44
	0.05	—	0.29
	0.07	—	0.23
	0.10	—	0.17
	0.16	—	0.11
4	0.00	12.9	2.57
	0.01	8.6	1.79
	0.03	7.6	1.65
	0.05	6.8	1.48
	0.07	6.4	1.32
	0.10	6.2	1.18
	0.16	5.0	1.13
7	0.00	21.2	4.53
	0.01	8.5	3.32
	0.03	5.1	2.89
	0.05	2.4	2.59
	0.07	2.3	2.22
	0.10	2.1	2.05
	0.16	1.9	1.82
9	0.00	11.4	11.46
	0.01	6.2	10.90
	0.03	10.8	10.86
	0.05	10.9	10.16
	0.07	11.0	9.93
	0.10	11.2	9.21
	0.16	11.5	8.53
11	0.00	8.8	5.79
	0.01	6.1	4.91
	0.03	10.5	4.32
	0.05	10.7	3.93
	0.07	11.2	3.35
	0.10	11.7	2.76
	0.16	12.6	2.40

에 의해 산출된 값을 Table 1에 나타냈다.

염을 가하지 않은 상태에서 Gellan gum의 intrinsic viscosity 값은 8.8~21.2dl/g으로 pH 7에서 가장 높았고 agar의 intrinsic viscosity 값은 1.97~11.46dl/g으로 pH 9에서 가장 높았다.

일반적으로 $[\eta]$ 가 큰 값이면 덜 flexible하거나 신장된 사슬을 가지며 linear 다당류는 결가지가 있는 다당류보다는 약간 큰 값을 갖는데 Gellan gum은 linear polymer로서 결가지를 갖는 agar와 구조적으로 차이가 있는 것에 기인하여 Gellan gum이 agar 보다 intrinsic viscosity가 더 높다고 생각된다.

1) pH 의존성

pH를 달리 한 용액에서 Gellan gum과 agar의 intrinsic viscosity가 측정되었다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 Gellan gum은 pH가 증정일 때 intrinsic viscosity가 가장 높으며, 산성이나 알카리성에서 intrinsic viscosity가 감소했는데, 이는 대부분의 biopolymer가 각는 성질과 비슷한 결과였다²³⁾.

한편 agar는 pH 9에서 intrinsic viscosity가 가장 높게 나타났으며, pH 9 이상에서는 급격히 감소되었고 산성이 강해질수록 완만하게 감소되었다.

이는 agar가 pH 9에서 swelling rate가 가장 빠르다는 보고²⁸⁾와 일치된 것으로 생각된다.

전반적으로 Gellan gum이 agar보다 pH의 존도가 훨씬 크게 나타났으며, 염이 첨가되지 않았을 때 intrinsic viscosity의 pH에 대한 효과는 더욱 입증이 되는

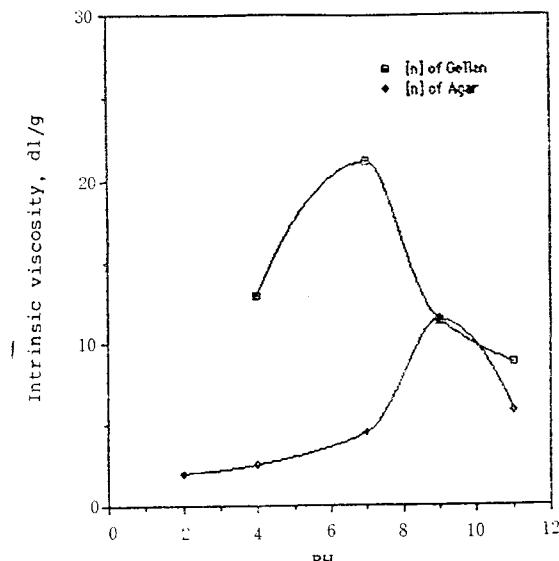


Fig. 1. pH Effects of Gellan gum and Agar at 25°C

데 이는 염농도가 증가함에 따라 염의 보호효과 때문에 pH 효과가 감소된다고 생각된다.

2) 염농도 의존성

Gellan gum과 agar의 염농도 의존성은 각 pH에서 염농도 0M~0.16M KCl의 intrinsic viscosity를 측정함으로써 연구되었다.

Gellan gum의 intrinsic viscosity는 pH 4와 pH 7에서는 염농도가 증가함에 따라 감소되었으나 pH 9와 11에서는 염농도 0.01M까지는 감소했다가 그 이상의 염농도에서는 다시 증가하는 현상을 나타냈다(Fig. 2).

Gellan gum의 intrinsic viscosity가 pH 4와 7에서 염농도가 증가함에 따라 감소되는 이유는 염 존재시 counter ion들이 charge 된 group을 보호하여 경전기적인 반발이 감소되기 때문인 것으로 사려된다.

pH 4와 7에서 Gellan gum의 hydrodynamic volume은 경전기적 반발이 감소함에 따라 혹은 염농도가 증가함에 따라 감소하며, 이런 관계는 backbone의 flexibility에 의존한다.

Nakamura 등²³⁾의 연구보고에서와 같이 polyelectrolyte polymer는 charge 된 ion들 사이에 경전기적 반

발이 있기 때문에 비이온성 polymer보다 더 팽창된 구조를 가지며 이러한 특성은 용액의 이온강도가 증가함에 따라 감소한다는 것과 일치하며 염존재시 음전하는 모두 보호되기 때문이다.

agar의 intrinsic viscosity는 모든 pH에서 염농도가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났는데(Fig. 3) 0.01M KCl 농도까지는 급격한 감소를 나타냈으며 0.1M KCl 농도까지는 서서히 감소하다가 그 이후의 농도에서는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

또한 agar의 염에 대한 영향은 산성에서 보다 알칼리성에서 더 많이 받는 것으로 나타났다.

3) Chain Stiffness

다당류의 chain stiffness는 intrinsic viscosity로부터 계산할 수 있으며, Smidsrod와 Haug equation²⁵⁾에 의해 구한 Gellan gum의 chain stiffness 특성치는 0.03이 있다.

일반적으로 chain stiffness 특성치는 charge 상태나 polysaccharide의 분자무게와는 무관하므로 back bone의 stiffness의 비교수단이 된다.

stiffness 특성치 (B)는 0.005~0.24 정도의 범위를 갖는데 rigid rods 형태의 biopolymer에 대해서 0.005이며 단순한 C-C backbone을 갖는 polyelectrolyte에

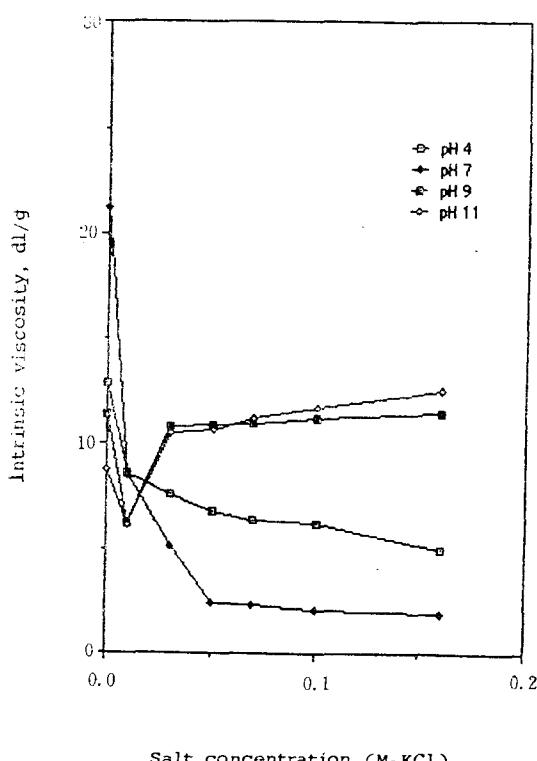


Fig. 2. Salt Concentration Dependence of Gellan gum at 25°C

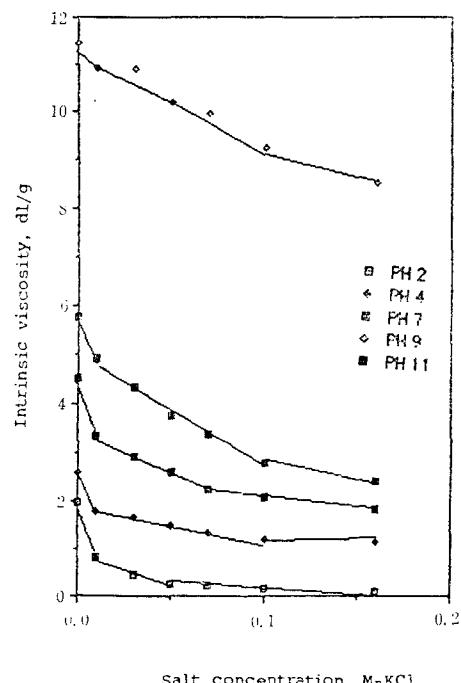


Fig. 3. Salt Concentration Dependence of Agar at 25°C

Table 2. Chain Stiffness Parameter, B, of Polymers.

Polymer	B	Reference
Xanthan	0.005	30)
Zooglan	0.025	23)
Alginate	0.040	25)
Sodium Pectinate	0.040	25)
Carboxymethylcellulose	0.050	31)
Hyaluronic acid	0.070	30)
Chitosan	0.100	32)
Carboxymethylamylose	0.200	33)
Dextran Sulfate	0.230	25)
Gellan gum	0.033	this study

대해선 0.24 정도이다²⁹⁾.

따라서 Gellan gum의 backbone은 Table 2에서 보는 바와 같이 Zooglan과 Xanthan gum을 제외한 다른 biopolymer보다 더 단단한 것으로 나타났다.

4) Overlap Parameter

overlap parameter는 intrinsic viscosity의 역수이며 dilute zone과 concentrated zone을 구분짓는 임계농도(C^*)이다. 일반적으로 실제의 농도가 임계농도(C^*)보다 클 때는 농후한 용액으로 간주한다.

Gellan gum의 overlap parameter(혹은 특성농도)는 0.047g/dl이고 agar는 0.087g/dl로 이 농도에서 entanglement가 시작된다.

2. Steady Shear Viscosity

1) Shear 의존성

shear 의존성은 그 계에 존재하는 구조 특성을 나타내는데³⁴⁾, Gellan gum과 agar는 shear rate가 증가함에 따라 apparent viscosity가 크게 감소하는 pseudoplastic behavior를 나타냈으며 이는 shear thinning과 관련된다.

pseudoplastic behavior는 계속적인 구조의 파괴나 재배열을 나타내는데³⁴⁾, 이는 본 연구와 일치하고 있다.

Gellan gum과 agar는 다양한 시료농도에서 shear rate가 증가함에 따라 shear stress가 증가하는 것으로 나타났으며, 시료의 농도가 높을수록 각 shear rate에서 shear stress는 높게 나타났다(Fig. 4, 5).

2) 시료농도 의존성

Gellan gum과 agar 용액은 각각의 shear rate에 있어 시료농도가 높을수록 apparent viscosity가 높게 나타났고, 낮은 shear rate에서 높은 shear rate로 감에

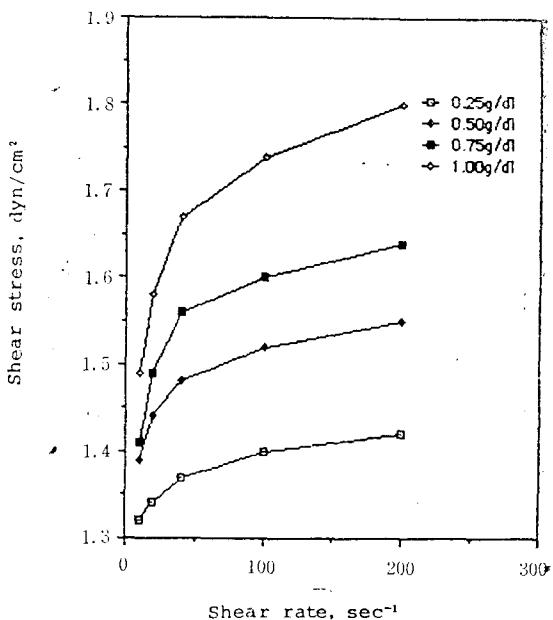


Fig. 4. Shear Rate versus Shear Stress for Gellan gum, 0.5g/dl, at 25°C

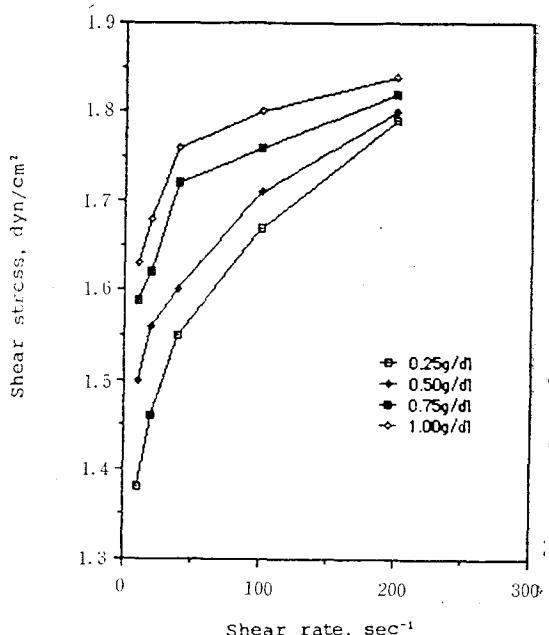


Fig. 5. Shear Rate versus Shear Stress for Agar, 0.5g/dl, at 25°C Fig.

따라 시료농도의 존성은 감소했다.

yield stress, 비례상수, shear index의 시료농도의 존성은 Table 3에 나타냈는데, Casson Equation²⁶⁾과 power law Equation에 의해 구한 yield stress의 값은 거의 차이가 없었다.

yield stress와 비례상수는 Gellan gum 용액의 농도가 증가함에 따라 미미한 증가를 나타냈는데, 이 현상은 $\beta(1-4)$ linkage를 갖는 linear polysaccharide의 경우에 있어 chain entanglement의 결여에 기인한다고 생각되며, Gellan gum의 entanglement는 network 혹은 matrix를 형성한다.

일반적으로 어떤 묽은 분산액, 혼단액, 유화액은 yield stress를 나타내지 않으며 rheology 실험에서 액체의 특성을 나타낸다.

yield stress는 불규칙한 형태에 의해 일어나는 분자가 입자들의 physical entanglement와 intermolecular interaction에 의해 일어나는 network 형성에 기인하며 coating, thickness, reducing drip, preventing flow를 측정하는데 특히 중요하다²⁷⁾.

Gellan gum의 shear index는 0.75g/dl까지 서서히 증가하였다가 그 이상의 농도에서 약간씩 감소하기 시작했는데 이것은 M.I.T(Biomaterial Group)⁶⁾의 연구결과와 일치한다.

높은 농도의 Gellan gum에서는 Gellan gum 사이의 intermolecular interaction이 증가하여 shearing을 분열시키므로 낮은 농도의 polymer에서 보다 높은 농도의 polymer에서 viscosity는 shear에 의존하며, 농도가 증가함에 따라 shear index가 감소하게 된다.

그러나 높은 농도에서 분자는 mechanical shear가 더이상 intermolecular interaction을 분열시키지 않고 분열에 대한 저항이 증가할 때까지 overlap 한다.

분자들간의 상호작용은 viscosity, 비례상수, yield stress에 기여하며, overlap 정도는 시료농도와 분자크기에 의존한다²⁸⁾.

intrinsic viscosity로부터 추정한 Gellan gum의 ov-

Table 3. Concentration Dependence of Yield stress (Y), Proportionality constant(b), Shear index(s) for Gellan gum.

Concentration(g/dl)	Y(Pa.)	b(Pa. sec ^{0.5})	s
0.25	1.31	0.016	0.50
0.50	1.37	0.024	0.54
0.75	1.38	0.038	0.55
1.00	1.45	0.047	0.54

erlap 농도는 0.042g/dl 이므로 0.25g/dl~1.0g/dl의 Gellan gum 농도에서 Gellan gum 분자의 overlap이 발생하여 intrinsic viscosity, 비례상수, yield stress는 증가하게 된다.

3) 온도의 존성

Gellan gum과 agar의 온도에 대한 apparent viscosity가 측정되었는데, 그 결과는 Fig. 6에 나타났다.

Gellan gum은 온도가 증가함에 따라 apparent viscosity가 감소했는데 45°C에 이르러 급격하게 감소했다, agar도 역시 온도가 증가함에 따라 apparent viscosity가 감소했으며 35°C에 이르러 급격하게 감소함을 알 수 있었다.

Veeder 등¹²⁾은 Gellan gum이 40°C에 이르면 viscosity가 급격히 감소하며, 90°C~100°C까지는 거의 모든 viscosity를 잃게 된다고 보고했는데 이는 본 실험의 결과와 거의 일치한다고 볼 수 있다.

온도가 증가함에 따라 apparent viscosity가 감소하는 것은 Arrhenius의 일반식과 잘 일치하고 있으며, 수용액 안에서 Gellan gum과 agar는 gel과 같은 3차원 network-structure를 형성하는데, '온도가 올라가면 액체내의 "free volume"이 증가하여 그결과 chain-chain segment 사이의 상호인력이 감소하기 때문이라

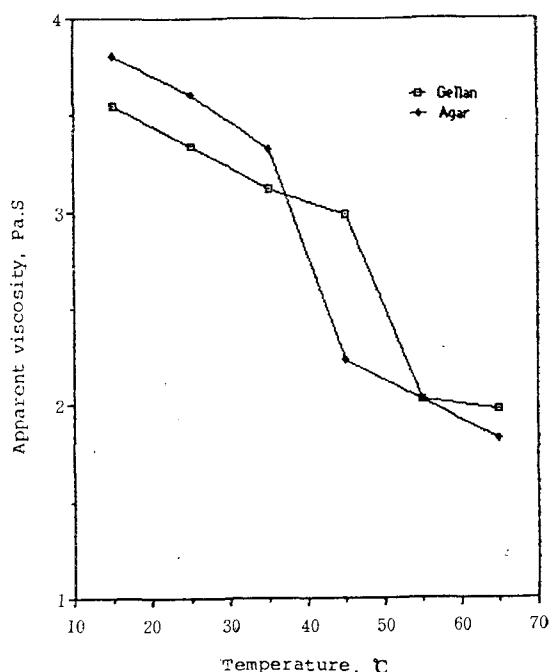


Fig. 6. Temperature Dependence of Gellan gum and Agar, 0.5g/dl, at 40 sec⁻¹

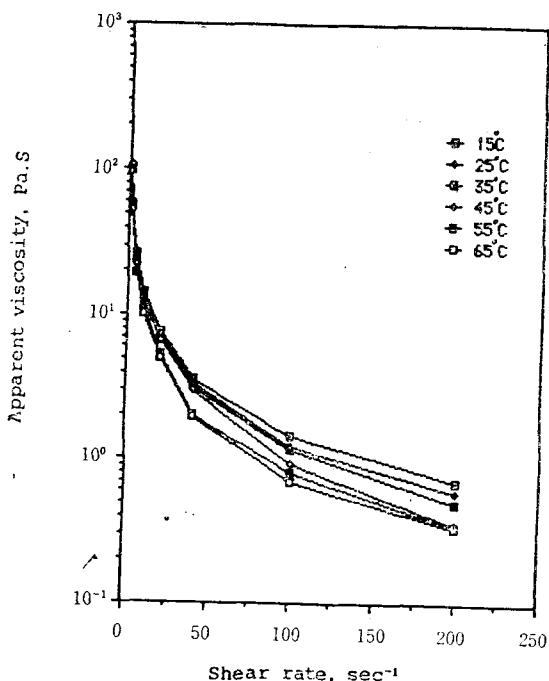


Fig. 7. Temperature Dependence of Gellan gum,
0.5g/dl, pH 7

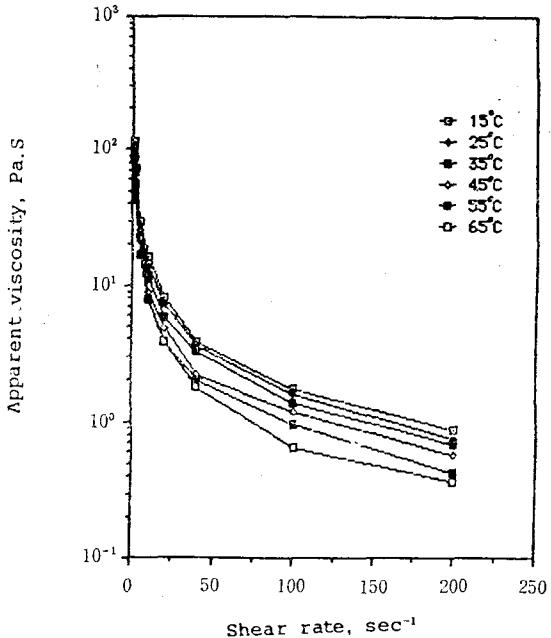


Fig. 8. Temperature Dependence of Agar, 0.5g/dl,
pH 7

생각된다.

또한 온도범위 15°C~65°C에서 각각의 shear rate에 대한 apparent viscosity를 측정한 결과를 Fig. 7, 8에 나타냈는데, 모든 온도에서 apparent viscosity는 shear rate가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소함을 알 수 있으며, Gellan gum의 경우 45°C 이상의 온도에서는 높은 shear rate로 감에 따라 apparent viscosity가 거의 일정한 값을 나타냈다.

4) 염종류에 대한 의존성

Gellan gum과 agar의 염종류에 대한 의존성은 Urea (hydrogen bonding disrupting agent)와 1기염인 KCl, NaCl 및 2기염인 MgCl₂, CaCl₂의 apparent viscosity를 측정함으로써 평가되었는데 그 결과는 Fig. 9, 10에 나타났다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 Gellan gum의 경우 Urea와 KCl, NaCl의 apparent viscosity는 염농도 0.1M까지는 증가하다가 그 이후의 염농도에서는 서서히 감소하는 양상을 나타냈다.

agar의 결과는 Fig. 10에 나타냈으며, 모든 염은 0.01M농도까지 apparent viscosity가 급격히 감소했다가 그 이후의 염농도에서는 다시 증가하는 양상을 나타냈는데 이는 염이 agar의 chain entanglement를

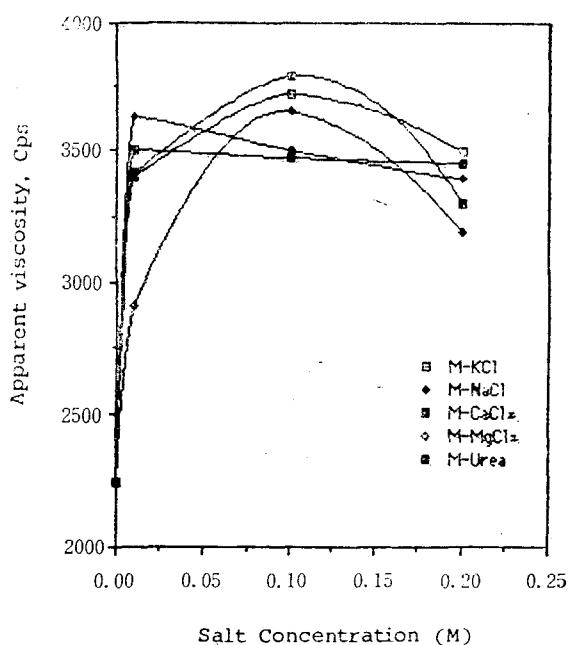


Fig. 9. Effect of Salts on the Apparent Viscosity
of Gellan gum, 0.5g/dl at 40sec⁻¹, 25°C

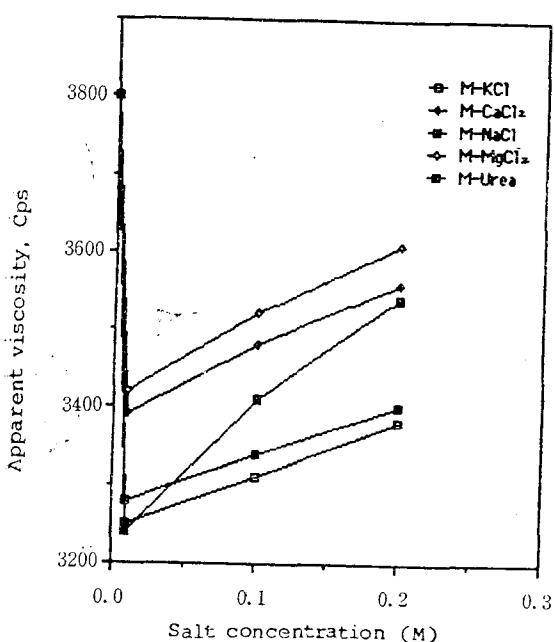


Fig. 10. Effect of Salts on the Apparent Viscosity of Agar, 0.5g/dl at 40sec^{-1} , 25°C

증가시키거나 또는 적당히 질서정연한 사슬들 사이에 비공유결합을 형성하기 때문이라 추측된다.

특히 염증에서 Urea의 염의존도가 가장 크게 나타났는데, Urea는 일반적으로 다당류 구조에서 수소결합을 방해해 주는 물질로서 다당류의 특성에 따라 gel 형성 촉진제로 사용되는 경우가 많다.

결과적으로 모든 염농도에서 2가염인 MgCl_2 가 가장 높은 apparent viscosity를 나타냈고 1가염인 KCl이 가장 낮은 apparent viscosity를 나타냈는데 이는 veeder 등¹²⁾의 연구보고에서와 같이 2가양이온이 1가양이온보다 gel 강도에 더 큰 영향을 주며, 2가양이온 중 MgCl_2 가 CaCl_2 보다 더 효과적이고 1가양이온 중 NaCl이 KCl보다 더 효과적이라는 사실과 일치한다.

또한 Kelco Company의 연구결과에 따르면 0.75% 농도의 Gelrite와 0.1% 농도의 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 로 만들어진 gel은 1.5% agar로 만들어진 gel에 펼쳐한다고 했다.

III. 결 론

세로운 미생물 다당류인 Gellan gum과 agar의 rheology 특성이 상호비교 연구되었는데 그 결과는 다음과 같다.

1. Gellan gum의 intrinsic viscosity는 염을 가하지 않았을 때 $8.8 \sim 21.2\text{g/dl}$ 으로 pH 7에서 가장 높은 반면, agar는 $1.97 \sim 11.46\text{g/dl}$ 으로써 pH 9에서 가장 높았다.
2. Gellan gum과 agar는 염의 농도가 증가함에 따라 intrinsic viscosity가 감소되는 염의존성을 나타냈다.
3. Gellan gum의 chain stiffness는 0.03이었다.
4. Gellan gum과 agar의 overlap parameter는 각각 0.047g/dl , 0.087g/dl 로 이 농도에서 entanglement가 시작된다.
5. Gellan gum과 agar는 shear rate가 증가함에 따라 apparent viscosity가 급격히 감소하였으며, shear stress는 증가하는 pseudoplastic behavior를 나타냈다.
6. Gellan gum의 농도가 증가함에 따라 yield stress와 비례상수는 미소한 증가를 나타냈고 shear index는 0.75g/dl 까지는 증가하고 그 이상의 농도에서는 감소하는 특성을 나타냈다.
7. Gellan gum과 agar 모두 온도가 증가함에 따라 apparent viscosity가 감소하는 온도의 존성을 나타냈다.
8. 염종류에 대한 의존성을 보면 Urea와 1가염인 KCl이 2가염인 MgCl_2 보다 0.01M까지는 영향이 더 커 으나 이온강도에 대해서는 2가염, Urea, 1가염의 순서로 영향이 커졌다.

Reference

1. Bioinformation Associates: Impact of Biotechnology on the production and Application of Biopolymer, M.I.T., p.13a, 1985.
2. Mitchell, J.: J. Texture Studies, 11 : 315, 1980.
3. Sandford, P.A., Cottrell, I.W. & Pettitt, D.J.: Microbial polysaccharides. Pure & App.: Chem., 56(7) : 879~892, 1984.
4. Anon.: Paper industry, 4th ed., Charles H. Kline & Co., Fairfield, New Jersey, 1980.
5. Kang, K.S. & Veeder, G.T.: U.S. Pat. 4,377, 636, 1983.
6. M.I.T. Applied Biological Lab: Rheological characterization of Gellam gum, Rhamsan gum and Welan gum.
7. Jansson, P.E., Lindberg, B. & Sanford, P.A.: Carbohydr. Res., 124 : 135~139, 1983.

8. O'Neil, M.A., Selvendran, R.R. & Morris, V.J.: Carbohydr. Res., 124 : 123~133, 1983.
9. Colegrave, G.T.: Agricultural Applications of Microbial polysaccharides, Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 22 : 456~460, 1983.
10. Updill, C., Atkind, E.D.T. & Attwool, P.T.: Helical conformation of gellan gum, J. Biol. Macromol., 8 : 275~288, 1986.
11. Kang, K.S., Veeder, G.T. & Colegrave, G.T.: U.S. Pat. 4,326,152, 1982.
12. Veeder, G.T. & Kang, K.S.: Structural and rheological comparison of two novel microbial polysaccharide Gellan gum and Wellan gum. Kelco Division of Merck & Co., Inc.
13. Carroll, V., Miles, M.J. & Morris, V. J.: Int. J. Biol. Macromol., 4(7) : 432~3, 1982.
14. Moorhouse, R., Colegrave, G.T., Sandford, P.A., Baird, J.K. & Kang, K.S.: Am. Soc. Symp. Ser., 150 : 111~124, 1981.
15. Kang, K.S., Veeder, G.T., Mirrasoul, P.J., Kaneko, T. & Cottrell, I.W.: Appl. Environ. Microbiol., 43 : 1086~1091, 1982.
16. Shungu, D., Valiant, M., Tutlane, V., Weinberg, E., Weinberger, K.L., Gadebusch, H. & Stapley, E.: Appl. Environ. Microbiol., 46 : 840~845, 1983.
17. Lin, C.C. & Casida, L.E.: Appl. Environ. Microbiol., 47 : 427~429, 1984.
18. Kelco, Division of Merck & Co., Inc.: Gelrite Gellan gum thermoreversible gelling agent as a Agar replacer.
19. Harris, J.E.: Appl. Environ. Microbiol. 50 : 1107 ~1109, 1985.
20. Cottrell, I.W.: Industrial potential of fungal & Bacterial polysaccharides, fungal polysaccharides, Acs symp. Serv. 126, Am. Chem. Soc., Washington, 251~270, 1980.
21. Anon.: Food Eng., 55 : 52~53, 1983.
22. Sanderson, G.R., & Clark, R.C.: Food Technol., 37 : 63~70, 1983.
23. Nakamura, T., Koo, S.J., Pradipasena, P., Rha, C.K. & Sinkey, A.J.: solution properties of polysaccharide flocculant produced by zoogloea ramigera 115, M.I.T. Biological Lab.
24. Kriham, W.R. & Flory, P.J.: J. Polymer Sci., 11 : 37, 1953.
25. Smidrod, O. & Haug, H.: Eiopolymers., 10 : 1213, 1971.
26. Casson, N.: A flow equation for pigment-oil suspensions the printing ink type. In Rheology of Disperse system, C.C. Mill. Pergamon Press, London.
27. Michell, J.R.: Rheology of polysaccharides solution and gels. In: polysaccharides in Food. J.M. V. Elanshard and J.R. Mitchell, ed. Butterworth, London, 1979.
28. BioInformation Associates: Impact of Biotechnology on the production and Application of Biopolymer, M.I.T. p.481, 1985.
29. Lang, E.R., Kienzle-sterzer, C.A., Rodriguez-Sanchez, D. and Rha, C.K.: The Japanese Society of Chitin and Chitosan, p.34, 1982.
30. Rinaudo, M. & Milas, M.: Polyelectrolyte Behavior of Bacterial polysaccharide from xanthomonas Campestris: Comparision with Carboxymethylcellulose, Biopolymers. 17 : 2663~2678, 1978.
31. Nielsen, E.L.: Mechanical Properties of polymers. Van Nostrand Reinhold Company, New York, N.Y., 1962.
32. Rodringuez-sanchez, D., & Rha, C.K.: Proc. 2nd Int. Conf. on Chitin and Chitosan, 1980.
33. Patel, J.R., Patel, C. K. & Patel, R.D.: Staerke, 19 : 330, 1967.
34. Rha, C.K.: Rheology of field foods, Food Technology, July, 78, 1978.