

Bacillus sp. K-1과 그의 변이주가 생산하는 Biopolymer의 물성에 관한 연구

정낙현^{1*} · 김성호² · 임무현²

¹상지전문대학 식품영양과, ²대구대학교 식품공학과

초록 : 벧짚으로부터 분리한 *Bacillus* sp. K-1과 그 변이주 KM-21과 KM-83이 생산하는 biopolymer들의 물성학적 성질을 비교 조사하였다. 온도에 따른 biopolymer의 겔보기 점도는 온도가 높아짐에 따라 감소하였으며, 20°C일 때에 비해 80°C일 때 KM-21 균주가 생산하는 biopolymer는 1.7배, K-1균주의 biopolymer는 2.7배, KM-83 균주의 biopolymer는 1.9배 정도로 낮은 점성을 보였다. Biopolymer 용액의 점성은 농도가 증가함에 따라 크게 증가하여 6%의 농도에서 가장 높게 나타났으며, 2%, 4%, 6% 모두 pseudoplastic 특성을 나타내어 농도에 대한 의존성이 매우 높았다. 6%의 농도일 때 2%의 농도와 비교해서 전단 속도가 93 sec⁻¹일 때 KM-21은 26배, K-1은 56배, KM-83은 28배로 모균주의 biopolymer인 K-1이 가장 높은 점성을 보였다. pH에 따른 점도 변화는 pH7.0에서 최고를 보였으며, 알칼리성 조건일 때에 비해 산성조건에서 상대적으로 낮은 값의 점성을 보였다.(1996년 3월 25일 접수, 1996년 5월 20일 수리)

서 론

미생물에 의해 생성되는 생물고분자 물질들은 미생물의 1, 2차 대사 산물로서 일반적으로 다당류나 그의 유도당으로 구성되어 있으며, 분자량이나 결합 양식에 따라서 다양한 물성을 나타내는 물질이다.¹⁻³⁾ 현재 이러한 물성적 특성으로 인하여 많은 양의 biopolymer가 식품이나 의약품 공업에서 이용되고 있으며, 식품공업에서는 물성개량제, 유화제, 안정제, 응고제, 피막형성제, 보습제 등으로 다양하게 이용되고 있다.^{4,5)} 특히 미생물이 생산하는 고분자 물질은 항보체 활성이 있어 생체 내에서 면역 활성을 증가시키는 것으로 알려져 그 효능과 이용 분야에 대해 다수 보고되고 있다.^{6,7)}

미생물의 biopolymer중 청국장균(*Bacillus subtilis*)을 증자한 대두에 접종하여 발효 숙성시킬 때 생성되는 특유의 점질성 물질은 polyglutamate(PGA)와 levan form fructan이 혼합되어 있는 것으로 보고되고 있으며, 이들은 biopolymer의 물성적 특성에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 또한 청국장은 특유의 조직감과 구수한 풍미를 지니고 있는 우리나라 전통 발효 식품으로 정장 작용과 함께 간장을 보호해 주는 작용이 있는 것으로 알려져 있으며⁹⁾ PGA는 γ -GTPase(γ -glutamyl transpeptidase) 효소에 의해 glutamine이나 glutamic acid로부터 생합성되는 것으로 알려져 있다.^{10,11)} 또한 배지 중 탄소원 및 질소원의 종류와 함량 그리고 Mn⁺⁺, biotin, sucrose 또는 glutamic acid 등의 농도에 따라서 PGA와 levan form fructan의 구성 비율이 달라짐으로써 생성된 biopolymer의 물성이 다양하게 변화되는 것으로 보고되

고 있다.^{12,13)}

따라서 본 연구에서는 기존의 *Bacillus* sp.가 생산하는 biopolymer에 비해 물성이 서로 다른 새로운 biopolymer를 생산할 목적으로 벧짚으로부터 *Bacillus* sp. K-1을 분리하여 이를 모균주로 외관적으로 물성이 상이한 biopolymer를 생산하는 변이주 KM-21과 KM-83을 유도하였고, 모균주와 그 변이주가 생산한 biopolymer의 물성적 특성을 비교·조사하였다.

재료 및 방법

사용균주 및 배양

전보¹⁴⁾에서 분리·동정한 *Bacillus* sp. K-1을 모균주로 사용하였으며, 모균주는 TSB(Tryptic soy broth, Difco) 사면배지에 접종하여 보존하였다. 접종용 종배양은 TSB액체 배지에서 총 균수가 10⁷~10⁸ c.f.u./ml가 되도록 배양하여 사용하였다.

변이주의 분리

Bacillus sp. K-1을 모균주로하여 瓊¹⁵⁾ 등의 방법에 준하여 높이 40 cm에서 15 W의 UV lamp로 20분간 처리(LD 99.9%)하여, 모균주와 서로 다른 형태학적 특성, 점질물 생산량 그리고 점성의 크기 등에 따른 특성을 기준으로 1차적으로 120여 균주를 분리하였다. 이때 Table 1의 biopolymer생산용 배지에 1.5%의 한천을 첨가한 배지에 38°C에서 24시간 배양하여 colony의 크기, biopolymer의 점성의 정도 그리고 levansucrase activity 등을 비교하여 이들 중 최종적으로 외관적 특성이 서로 다른

찾는말 : Biopolymer, levan form fructan *Bacillus subtilis*, viscosity

*연락처

Table 1. Composition of culture media for the biopolymer production.

Ingredients	Concentration (%)
Sucrose	8.0
Monosodium glutamate (MSG)	2.0
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	0.4
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.08
Biotin	0.3 µg/ml
pH	6.0

2종류의 변이주를 선별하였다. crude biopolymer의 생산을 위한 배양은 500 ml 삼각 플라스크에 Table 1과 같은 조성의 배지를 200 ml 넣고 2%로 종균을 접종한 후 200 rpm으로 교반하면서 38°C에서 72시간 배양하였다. biopolymer의 회수는 Tanaka 등의 방법¹⁰⁾에 따라 배양액을 7,000 rpm에서 20분간 원심 분리한 다음, 상등액에 2배량의 ethanol을 첨가하고 4°C에서 하룻밤 방치시켰다가 다시 원심 분리하여 침전된 polymer를 회수하였다. 회수한 polymer를 다시 증류수에 용해한 후, ethanol로 다시 침전·회수하는 조작을 2회 반복해서 정제하고 이를 동결 건조시켜서 측정용 시료로 사용하였다.

점도 측정

Biopolymer의 물성학적 성질을 조사하기 위하여 회전 점도계(Brookfield사, Model LVDV-II, U.S.A.)를 사용하였으며, 15 ml의 시료를 small sample adapter 21에 넣고 circulate 항온수조에서 20°C에서 80°C까지 10°C 간격으로 30분 이상 열적평형을 이룬 후 측정하였다. 점도계의 전단 속도를 9.3에서 930(1/s)까지 증가시키면서 각각의 다른 전단 속도에서 dial deflection이 일정한 값에 도달한 후 점성을 측정하고 주어진 식을 이용하여 층밀립 속도 의존성을 조사하였다.¹⁵⁾

유동학적 특성의 해석

유동학적 특성의 해석을 위해 Power law model식 (1)¹⁶⁾과 Herschel-Bulkley model식 (2)¹⁷⁾의 유동 방정식을 이용하여 점조성지수(K, consistency index, Pa·secn)와 유동지수(n, flow behavior index)를 구하였으며, 이때 레올로지 특성값인 항복응력(C, yield stress, Pa)은 Casson model 식 (3)¹⁸⁾을 이용하여 구하였다.

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

$$\tau = C + K \cdot \gamma^n \tag{2}$$

$$\sqrt{\gamma} = \sqrt{C + K\sqrt{\gamma}} \tag{3}$$

τ : Shear stress(Pa)

γ : Shear rate(1/s) C : Yield stress(Pa)

Levansucrase 활성 측정

Levansucrase 효소 활성 측정은 배양액 100 ml로부터 Tanaka 등¹⁰⁾의 방법으로 회수한 효소를 인산완충용액 (pH 6.0, 50 mM) 50 ml에 녹여 조효소액으로 사용하여 Dedonder 방법¹⁹⁾으로 측정하였다. 효소활성은 1분간에 1 µg의 glucose를 유리시키는 효소의 양을 1 unit로 하였다.

결과 및 고찰

변이주의 분리

전보¹⁴⁾에서 분리한 *Bacillus* sp. K-1을 모균주로 하여 biopolymer 생성능이 모균주와 다른 변이주 120여 균주를 분리하고, 이 중에서 비교적 biopolymer의 생성능이 우수하거나 점성이 독특한 2개의 변이주(KM-21과 KM-83)를 분리하였다. 이들 각 균주의 외관적, 점성적 특성을 24시간 배양하여 비교·측정한 결과, Table 2와 같이 변이주 KM-21과 KM-83은 모균주 K-1에 비해 biopolymer 생성량이 상대적으로 우수하였으며, 외관상의 점성은 변이주 KM-83과 모균주 K-1이 서로 비슷한 정도의 점성을 나타내었으나 변이주 KM-21은 점성이 약한 반면, 모균주에 비해 biopolymer 생성량은 상대적으로 많았다(Table 2).

TSB(Tryptic soy broth, Difco)고체배지상에서 colony의 특성은 모균주 K-1과 변이주 KM-21은 유백색의 단단한 모양이었고, 변이주 KM-83은 거의 투명한 colony의 형태로서 퍼짐성이 매우 강한 형태를 띄고 있었다. 따라서 모균주 *Bacillus* sp. K-1과 외관적 형태가 서로 상이한 변이주 KM-21과 KM-83의 2균주를 대상으로 생성된 biopolymer의 물성학적 특성을 조사하였다.

각 균주가 생산하는 biopolymer의 물성학적 특성

(1) 물성학적 특성

Table 2. Characteristics of mutant strains of *Bacillus* sp K-1.

Strains	Colony size (cm)	Colony shape	Colony surface	Flavor*	Biopolymer Viscosity*	Levansucrase activity (unit)
K-1 (Parent)	3	Filiform	Lobate	++	++	1333
KM-21	4	Filiform	Smooth	+++	++	2267
KM-83	7	Spreading	Smooth	+++	+++	567

*+++ (good), ++ (fair), + (bad): Relative evaluation Medium: Sucrose 8.0%, Monosodium glutamate 2.0%, Na H₂PO₄·12H₂O 4%, MgSO₄·7 H₂O 0.08%, Biotin 0.3 µg/ml Agar 1.5%, pH 6.0.

각 시료에 있어서 전단속도의 증가에 따른 전단응력의 변화를 알아보려고 시료를 pH 7.0의 완충용액에 4% 농도로 용해하여 20°C에서 측정된 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

변이주 KM-21의 biopolymer와 모균주인 K-1의 biopolymer, 변이주 KM-83의 biopolymer는 모두 pseudoplastic 특성을 나타내었고, 항복응력은 모균주 K-1의 시료와 변이주 KM-83의 시료는 비슷한 크기의 항복응력을 보였으나, 변이주 KM-21의 시료는 낮은 항복응력을 나타내어 모균주와 변이주가 생산하는 biopolymer는 각각 다른 유동학적 특성을 나타내었다. KM-83 시료는 모균주 K-1 시료보다 높은 pseudoplastic 특성을 보였으나, 시료 KM-21은 모균주의 K-1시료보다 낮았다. 이는 biopolymer가 구성물질의 조성 비율과 분자량의 크기 등이 조절될 수 있다는 보고²⁰⁾와 같이 각각의 다른 유동학적

특성을 나타내는 것으로 생각된다. 따라서 변이주를 유도하거나 또는 발효 조건의 조절 등에 따라 물성이 서로 다른 biopolymer의 생산을 유도할 수 있고 그 응용성 또한 서로 다를 것으로 기대되며 이에 대한 앞으로의 더 많은 연구가 필요한 것으로 생각된다.

(2) 온도에 따른 전단속도와 전단응력의 변화

온도 변화에 따른 유체의 특성을 알아보기 위하여 Table 3에서 보는 바와 같이 시료를 4%의 농도로 인산 완충용액에 용해하여 20°C에서 80°C까지 온도를 변화시키면서 점도를 측정된 결과, 점조도 지수 K값은 점도와 상응하는 값으로서 3개의 시료 모두 온도가 증가함에 따라 K값이 점차 감소하는 경향을 보였다(Table 3). 3개의 시료 중 K값이 가장 큰 KM-83시료의 온도에 따른 전단응력의 변화를 20°C, 40°C, 60°C, 80°C 온도별로 측정된 결과, Fig. 2와 같이 온도가 증가함에 따라 전단

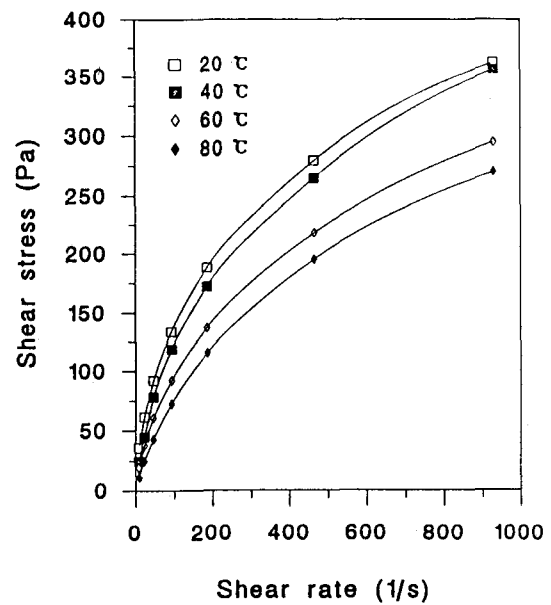
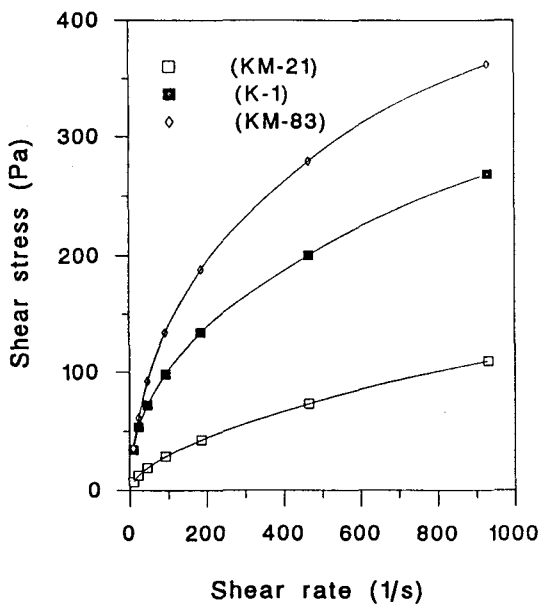


Fig. 1. Shear stress as a function of shear rate for the three samples (KM-21, K-1 and KM-83) at 4% concentration.

Fig. 2. Shear stress as a function of shear rate for the KM-83 sample at different temperature.

Table 3. Consistency index, flow behavior index and yield stress of polymer solutions at different temperature.

Sample	temp. (°C)	Power law model		Herschel-Bulkley model		Casson model
		K	n	K	n	C
KM-21	20	7.5323	0.5239	2.6602	0.7724	5.518
	40	6.3713	0.5929	2.3315	0.8506	4.827
	60	2.5736	0.6613	1.2122	0.8660	1.580
	80	1.7320	0.7088	1.0875	0.8760	0.897
K-1	20	36.2268	0.4446	6.6022	0.8485	32.936
	40	25.1134	0.5069	4.0028	0.9308	20.812
	60	14.0244	0.6045	4.4625	0.9684	10.511
	80	9.2878	0.6229	1.2080	1.1838	2.774
KM-83	20	40.4069	0.3568	17.3640	0.6851	37.503
	40	34.5049	0.5040	11.1563	0.8011	30.614
	60	22.8237	0.5886	3.5061	1.0765	19.316
	80	13.5597	0.6953	1.7602	1.3226	9.923

응력은 감소하는 것으로 나타났다. 온도 증가에 따른 K값의 감소 정도는 각 시료별로 4%의 농도에서 20℃일 때에 비해 80℃일 때 KM-21은 3.4배, K-1은 2.5배, KM-83은 1.8배 정도로 낮게 나타났다. 이들 3개의 시료를 Power law model과 Herschel-Bulkley model에 적용시켜 본 결과, Power law model식에 의해 구한 유동지수(n) 값을 보면 온도에 상관없이 모두 의가소성 유동특성을 나타낸 것을 알 수 있다. 그러나 Herschel-Bulkley model에 적용시켜 본 결과에 의하면 KM-21의 경우 온도에 관계없이 의가소성을 나타내었으나, K-1과 KM-83시료의 경우 온도가 80℃로 높아짐에 따라서 dilatant특성을 나타내었다. 이와 같이 60℃ 이상의 비교적 높은 온도에서는 적용 모델에 따라서 시료의 흐름특성이 달리 나타났다. Casson model을 이용하여 계산한 biopolymer의 항복응력 값을 Table 3에서 보는 바와 같이 20℃에서 80℃로 온도가 증가할 때 모균주의 시료인 K-1은 2.8~32.9 Pa·s이었으며, 변이주 KM-21의 시료인 KM-21

은 0.85~5.5 Pa·s로 상대적으로 모균주에 비해 낮은 항복응력값을 나타내었으며, 변이주 KM-83의 시료는 9.9~37.5 Pa·s로 모균주의 시료보다 더 큰 항복응력 값을 나타내었다. 따라서 K-1과 KM-83의 두 시료는 온도의 변화에 따라 점도의 변화가 많았으나, KM-21은 온도 변화에 따른 점도의 변화가 비교적 적게 나타났다.

온도에 따른 항복응력의 값은 K-1과 KM-83시료는 온도가 증가함에 따라 항복응력이 급격히 감소하여 온도의 증가에 따라 비슷한 양상의 감소를 보였으나, KM-21은 감소폭에 거의 변화가 없었다. 이와 같은 3개의 시료간의 점성크기 차이는 시료의 구성성분 차이에 따른 분자간의 결합력 차이와 이로 인한 물성학적 특성의 차이에 기인하는 것으로 사료되며 이들 물질의 구성 성분과 비율에 관한 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

(3) 농도에 따른 전단속도와 전단응력의 변화

농도에 따른 전단응력의 변화를 측정하기 위하여 시료별로 각각 2%, 4%와, 6%의 농도로 인산완충용액(pH 7.0)에 용해하고, 20℃에서 농도별 전단응력을 측정하였다. 3개의 시료 모두 농도의 증가에 따라 전단응력은 급격한 증가를 나타내었다. KM-83의 경우 6%에서의 농도는 2% 농도인 경우에 비해 약 13배 정도로 크게 나타났다(Fig. 3). 이와 같이 농도가 높을수록 전단응력의 값이 크게 증가하기 때문에 이들 3개의 시료 중에서 K-1이 농도 의존성이 가장 큰 biopolymer인 것으로 생각되며, KM-21의 시료는 상대적으로 3개의 시료 중 농도 의존성이 가장 낮았다. 따라서 K-1과 KM-83시료는 6% 농도일 때에는 2%의 농도일 때에 비해 각각 21.5배와 14.4배의 높은 전단응력의 차이를 나타내었다.

농도에 따른 점조도 지수 K값을 power law model에 적용시켜 20℃에서 측정된 결과, Table 4에서와 같이 3개의 시료 모두 농도가 증가함에 따라 K값은 급격히 증가하는 경향으로 나타났으며, 2%의 농도일 때에 비해 6%의 농도에서 KM-21은 21.2배, K-1은 25.5배, 그리고 KM-83는 22.3배로 K-1 시료가 가장 크게 증가한 반면에 변이주 KM-83의 시료가 가장 적게 증가하였다.

또한, 시료의 농도가 증가함에 따라 항복응력도 증가하는 경향을 나타내었으며, 특히 4%에서 6%의 농도로

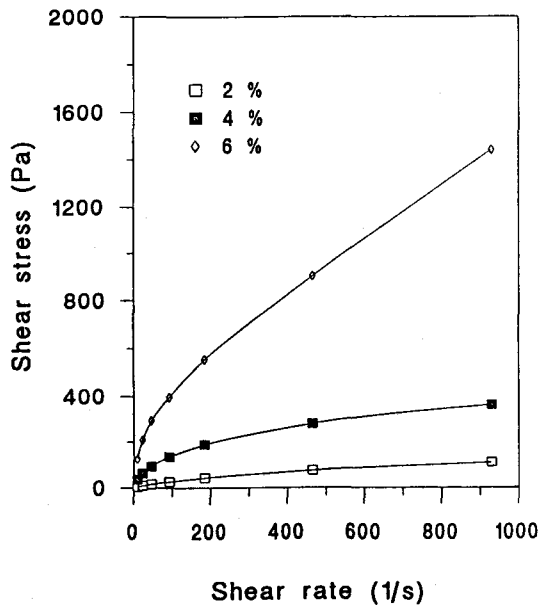


Fig. 3. Shear stress as a function of shear rate for the KM-83 sample at different concentration.

Table 4. Consistency index, flow behavior index and yield stress of polymer solutions at different concentration.

Sample	Conc. (%)	Power law model		Herschel-Bulkley model		Casson model
		K	n	K	n	C
KM-21	2	3.8065	0.5965	1.3408	0.9091	2.880
	4	7.5323	0.5265	2.6602	0.8669	5.518
	6	80.6888	0.4706	15.0098	0.7879	69.156
K-1	2	15.5335	0.5835	4.8891	0.9684	8.480
	4	36.2268	0.4595	9.0821	0.8832	32.936
	6	395.9150	0.4446	73.9434	0.7111	334.817
KM-83	2	5.8090	0.6650	2.2164	0.9255	3.984
	4	40.4069	0.5163	17.3640	0.8007	37.503
	6	129.4636	0.5040	41.9677	0.6851	99.90

Table 5. Consistency index, flow behavior index and yield stress of polymer solutions at different pH.

Sample	pH	Power law model		Herschel-Bulkley model		Casson model
		K	n	K	n	C
KM-21	3.0	3.9928	0.4376	1.6300	0.6180	3.686
	5.0	4.6353	0.6860	2.2367	0.8804	2.792
	7.0	7.5323	0.5929	2.6602	0.8660	5.518
	9.0	4.2440	0.6297	2.7237	0.7358	2.068
K-1	3.0	16.3446	0.4781	3.0453	0.6138	14.402
	5.0	35.2865	0.4452	3.9551	1.0268	32.070
	7.0	36.2268	0.4446	4.8891	0.9684	32.936
	9.0	34.8481	0.4479	8.1181	1.4143	32.036
KM-83	3.0	0.6488	0.7910	0.5075	1.8268	0.362
	5.0	3.2958	0.6019	1.2973	1.1629	22.925
	7.0	3.6990	0.5040	2.8544	0.6851	37.503
	9.0	4.3991	0.5348	3.2533	0.8272	63.680

증가할 때에 증가폭이 매우 크게 나타났다. 2%와 4% 사이에서의 증가의 폭은 KM-21과 KM-83의 시료는 비교적 완만한 증가를 보였으나, K-1시료는 급격히 증가하였다. 특히 4% 농도에서는 KM-83의 전단응력은 K-1의 전단응력에 비해 높게 나타났으나 6% 농도일 때는 오히려 K-1이 KM-83에 비하여 약 3배정도 높게 나타났다. 항복응력의 값은 모균주인 K-1의 시료의 경우는 2.8~32.9 Pa·s이었으나 변이주 KM-21의 시료의 경우는 0.85~5.5 Pa·s로 모균주에 비해 낮게 나타났으며, 변이주 KM-83의 시료는 9.9~37.5 Pa·s로 모균주에 비해 큰 항복응력 값을 나타내었다.

유동특성을 Power law model과 Herschel-Bulkley model에 적용시켜 구한 유동지수(n)값을 보면, 시료농도에 상관없이 각 시료 모두 유동지수(n)가 1 이하인 의가소성 유체의 특성을 나타내었다. Power law model을 적용했을 때는 시료의 농도변화에 따른 의가소성 특성의 변화가 거의 없었으나, Herschel-Bulkley model를 적용시켜 본 결과, 각 시료 모두 농도가 높을수록 의가소성 특성이 커짐을 알 수 있었다.

(4) pH에 따른 전단속도와 전단응력과의 관계

pH에 따른 유동특성을 해석하기 위하여 Power law model과 Herschel-Bulkley model에 적용시켜 본 결과 Table 5와 같이 Power law model에서는 pH에 상관없이 시료 모두가 유동지수(n) 1 이하의 의가소성 유체의 특성을 나타내었으며, 항복응력값을 고려한 Herschel-Bulkley model에 적용한 결과, n값은 0.68<n<0.96으로 역시 의가소성 유체 특성을 나타내었다.

점조도 지수 K값은 KM-21시료와 K-1시료의 경우 pH 7.0에서 최고를 나타내었고, pH 7.0 이상과 이하의 경우 pH 7.0일 때에 비해 K값이 낮게 나타났다. 또 한편 이들 두 시료(KM-21, K-1)는 알칼리 조건 보다는 산성조건 일때에 점성에 더 큰 영향을 받는 물질인 것으로 생각된다. 그러나 시료 KM-83의 경우 pH가 증가함에 따라 점차 K값이 증가하여 pH 9.0에서 최고치를 나타내었다.

시료 KM-83의 경우 pH의 증가에 따라 전단응력은

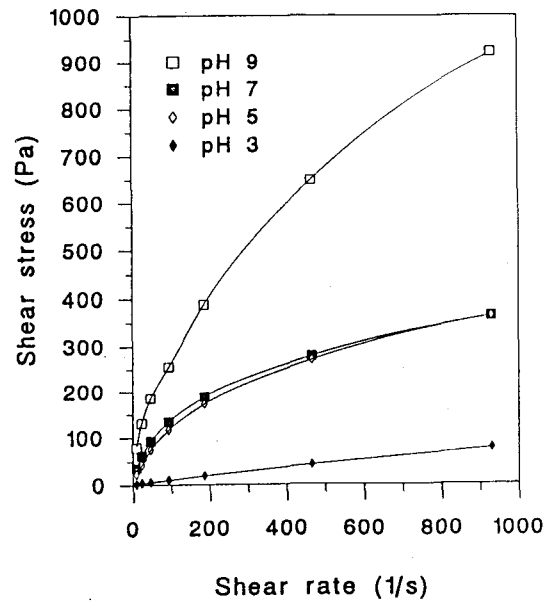


Fig. 4. Shear stress as a function of shear rate for the KM-83 sample at different pH.

증가하여 pH 9.0에서 최고치를 나타내었다. 반면에 pH 5.0~pH 7.0 범위 내에서는 전단응력값이 거의 유사한 값으로 큰 변화를 보이지 않은 점은 KM-83 시료가 pH 5.0~pH 7.0의 조건하에서는 biopolymer가 구조적으로 비교적 안정한 상태를 유지하기 때문인 것으로 생각된다 (Fig. 4). 그러나 KM-83의 경우 다른 두 균주에 비해 산성 조건하에서는 다른 두 시료에 비해 K값 감소의 폭이 더 크기 때문에 산성의 조건에서 크게 영향을 받는 물질인 것으로 생각된다. 그러나 알칼리 조건하에서는 점성이 증가한 것으로 나타났다. 한편 3개의 시료를 Casson model을 이용하여 계산한 항복응력의 값은 pH 3.0에서 pH 9.0으로 변화함에 따라 증가하여 변이주 KM-21 시료의 항복응력값은 0.85~5.5 Pa·s로 모균주 K-1의 시료가 2.8~32.9 Pa·s 인것에 비해 낮게 나타났으며, 변이주 KM-83의 시료는 9.9~37.5 Pa·s로 모균주에

Table 6. Comparison of the viscosity at 4% samples with the viscosity of 2% different polymers.

Shear rate (1/s)	Viscosity (Pa·s)					
	KM-21	K-1	KM-83	Xanthan gum	Carragenan	Dextran
9.3	7.0	34.4	35.8	257.1	32.1	0.93
23.3	12.6	53.5	61.4	282.7	63.5	0.93
46.5	19.1	72.1	92.1	314.8	108.3	0.93
93.0	28.8	98.1	133.9	347.4	175.8	1.39
186.0	42.8	133.9	187.9	389.7	246.4	1.39
465.0	73.0	200.0	279.0	421.1	322.1	2.32
930.0	108.8	268.3	362.2	458.5	407.3	3.72

비해 큰 항복응력 값을 나타내었다. 따라서 이들 두 변이주에 의해 생산된 biopolymer는 모균주가 생산하는 biopolymer에 비해 상대적으로 작거나 큰 점성을 나타냄으로써 물성학적 성질이 서로 다른 biopolymer인 것으로 생각된다.

(5) 다른 다당류와의 점도비교

세 종류의 균주가 생산하는 biopolymer의 점성의 크기 정도를 비교하기 위하여 *Bacillus* sp. K-1, 변이주 KM-21과 KM-83이 생산한 biopolymer 4%농도의 시료와 점성의 크기를 감안하여 xanthan gum, carrageenan, dextran의 대조구 시료 각 2% 농도 용액의 점도를 비교하였다. 각 시료를 인산 완충용액(pH 7.0)에 용해한 후, 20°C에서 겔보기 점도를 측정된 결과는 Table 6과 같다. 이들 세시료에 대한 상대적 점성의 크기는 변이주인 KM-83의 시료가 가장 큰 것으로 나타났고, 그 다음으로 모균주인 K-1의 시료 그리고 변이주인 KM-21의 시료 순으로 나타났다. 이들 3개의 시료는 2% 농도의 xanthan gum이나 carrageenan에 비해서 낮은 점성을 나타내었으나, dextran에 비해서는 높게 나타났다. 특히 이들 3개의 시료는 xanthan gum에 비해 낮은 전단속도에서는 큰 값의 차이를 나타내었으나 전단속도가 증가할수록 점성 크기의 차이는 점차 감소하였다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 대구대학교 학술 연구비 지원에 의하여 수행 되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- Ueda, S. and Kono, H. (1965) Polysaccharide produced by the genus *Pullularia*, *Applied Microbiol.* **13**, 882-885.
- Catly, F. T. (1970) Pullulan, a relationship between molecular weight and fine structure. *F. E. B. S. Letters*, **10**, 190-193.
- Wikinson, J. F. (1958) The extracellular polysaccharides of bacteria, *Bacteriological Reviews*, **22**, 47-73.
- Soldki M. E. and Cadmus M. C. (1978) Production of microbial polysaccharides, *Adv. Appl. Microbiol.*, **23**, 19-54.
- Dolph P. J., Majerczak D. R. and Coplin D. L. (1988) Characterization of a gene cluster for exopolysaccharide biosynthesis and virulence in *Erwinia stewartii*, *J. Bacteriol.*, **170** (2), 865-871.
- Elisashvili V. I. (1984) Levan synthesis by *Bacillus* sp., *Appl. Biochem. Microbiol.*, **20**, 82-87.
- Leibovici, J. and Y. Stark (1985) Increase in cell permeability to a cytotoxic agent by the polysaccharide levan, *Cell. and Mol. Biol.*, **31**(5), 337-341.
- Harding N. E. et al. (1987) Genetic and physical analyses of a cluster of genes essential for xanthan gum biosynthesis in *Xanthomonas campestris*, *J. Bacteriol.*, **169**(6), 2854.
- Hayashi, U. Nagao, K., and Yoshioka Y. (1976) *Bull. Teikoko-Gaguen, KYOTO*, **2**, 9-14.
- Tanaka T., Oi S. and Yamamoto T. (1979) Synthesis of levan by levansucrase, *J. Biochem.*, **85**, 287-303.
- Tanaka T., Oi, S., Iizuka, M., and Yamamoto, T. (1978) Levansucrase of *Bacillus subtilis*, *Agric. Biol. Chem.*, **42**(2), 323-326.
- Tsuchiya, H. M., H. T. Koepsell and J. Corman (1952) The effect of certain cultural factors on the production of dextranase by *Leuconostoc mesenteroides*, *J. Bacteriol.* **64**, 521-526.
- Sabatie, J. and L. Choplin (1986) The effect of synthesis temperature on the rheological properties of native dextran., *Biotechnol. Lett.*, **8**, 425-450.
- Lee Y. L., Kim S. H., Choung N. H. and Yim M. H. (1992) A study on the production of viscous substance during the chung kook jang fermentation. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* **35**(3), 202-209.
- Bae Moo, Ae Sook Yoon and Kye Joon Lee. (1973) Studies on Production of Nucleic Acid Derivatives by Microorganisms. *Korean J. Appl. Microbiol. Bioeng.*, **1**(1), 13-18.
- Park C. S. and Lee C. H. (1992) Effect of reaction time on the rheological properties of dextran formed solution produced by crude dextranase from *Leuconostoc mesenteroides* Sikhae., *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **20**(30), 316-323.
- Lee, S. E., Lee, B. Y., Jin, J. S., Kim, D. M. and Kim, K. H. (1992) Rheological properties of radish juice concentrates., *Korean J. Food Sci. Technol.* **24**(3), 261-265.
- Harper, J. C. and Lebermann, K. W. (1965) Viscometric behavior of tomato concentrates. *J. Food Sci.*, **30**, 470-476.
- Dedonder, R. (1966) In Complex Carbohydrate, Levansucrase form *Bacillus subtilis*, Elizabeth F.(ed), Method in Enzy-

mology Vol. VII, New York and London, *Academic Press*, 500-505.

20. Tanaka, T., Oi, S., and Yamamoto, T. (1980) The molecular

structure of low and high molecular weight levans synthesized by levansucrase., *J. Biochem.* **87**, 297-303.

Studies on the Rheology of the Biopolymer produced by *Bacillus* sp. K-1 Strain and its Mutants

Nack-Hyun Choung^{1*}, Sung-Ho Kim², Moo Hyun Yim² (¹*Dept. of Food and Nutrition, Sang Ji Junior College, Andong, 760-070, Korea;* ²*Dept. of Food Technology, Tae-Gu University, Kyong-San, 713-714, Korea*)

Abstract : The rheological properties of biopolymers produced by *Bacillus* sp. K-1 and its mutant strains(KM-21, KM-83) were studied. Apparent viscosity of biopolymers decreased as rising the temperature. The biopolymer produced by KM-21 strain showed 1.7 times low viscosity, 2.7 times low viscosity by K-1 and 1.9 times low viscosity by KM-83 at 80°C compared with at 20°C respectively. The viscosity of biopolymer solution also increased with increasing the polymer concentration and showed pseudoplastic characteristics which is high temperature dependency in all concentration. The change of the biopolymer viscosity on the pH showed the highest value at the pH 7.0 and it showed lower at acidic condition than at alkaline condition comparatively.

*Corresponding author