

펙틴의 결사슬에 의한 유변학적 성질에 대한 모델

신혜헌* · 황재관¹

천안외국어대학 식품유통과, ¹연세대학교 생물산업소재연구센터

Modeling of Rheological Properties of Pectins by Side Branches

Hae-Hun Shin* and Jae-Kwan Hwang¹

Department of Food Marketing, Cheonan College of Foreign Studies

¹Bioproducts Research Center, Yonsei University

The rheological properties of apple pectins and tomato pectins with different degrees of side branches (sample I and sample II) were investigated with wide range of shear rate by rheological modeling. Among the Power law model, Cross model and Carreau model, the Carreau model was the best fitted to the experimental data. Increasing in branching of apple pectins resulted in higher zero-shear viscosity (η_0). But, tomato pectins that have a low degree of side branches were shown little difference between sample I and sample II. It is concluded that side branches of pectins can result in significant difference in rheological properties. And, this is predicted by the Carreau model.

Key words: pectin, rheological model, side branch

서 론

펙틴을 비롯한 펙틴물질들은 세포막, 또는 세포막 사이에 존재하는 얇은 층(middle lamella)에 존재하여 이들을 서로 결합시켜 주는 한 group의 다당류들을 말하며, 세포벽 사이의 중간층을 구성하는 물질로서 작용한다. 이것은 pectic acid 와 그 유도체인 pectinic acid, protopectin 등이 혼합되어 이루어진다. 펙틴은 '그 분자내의 여러 유기산기의 일부가 methyl ester, 또는 염의 형태로 되어있는 친수성의 polygalacturonic acids로서 교질성(colloidal properties)을 갖고 있으며, 적당한 양의 당과 산이 존재할때는 gel을 형성할 수 있는 물질들에 대한 일반명'으로 정의되고 있다⁽¹⁾. 펙틴 분자는 두 가지의 구분된 영역으로 구분할 수 있다. Homogalacturonan "smooth region"과 중성 결사슬에 공유결합된 rhamnagalacturonan "hairy region"으로 구분한다⁽²⁾. 주사슬에 결합된 결사슬은 주로 D-galactose, L-arabinose, D-xylose이며, D-mannose, L-fucose, D-glucose는 소량이다. 이러한 결사슬은 합성 중합체에서 여러 물리화학적 성질과 가공성에 매우 중요한 영향을 미친다⁽³⁾. 특히, 농축된 다당류의 용해물에서 결사슬의 얽힘

(entanglement)은 결사슬을 가진 다당류의 특이한 유변학적 성질에 영향을 주는 주요한 메카니즘으로 밝혀졌다^(4,5).

결사슬은 천연 또는 합성 탄수화물 다당류에 존재하며, 전분(아밀로펙틴), 갈락토만난, 펙틴, 아카시아검 그리고, xanthan, wellan, scleroglucan gum 같은 미생물다당류에서 발견된다. 결사슬은 기능성을 개선하기 위하여 직쇄상 탄수화물 다당류를 인위적으로 처리하여 포함시킬 수 있다. 전형적인 예가 grafting에 의한 여러 modified amylose⁽⁶⁾와 셀룰로오스⁽⁷⁾이다. 이러한 결사슬은 탄수화물 다당류의 용해도, 젤능력, 젤화, 노화, 동결-해동 안전성, 필름형성, interaction properties, 유변학적 성질 등 기능성에 중요한 영향을 주며, 이들 기능성에 대한 결사슬의 영향은 내부 분자간 회합에 대한 기하학적 저해(topological inhibition)로 여겨진다^(5,8).

유변학적 성질에 대한 사슬의 효과는 합성다당류에 대해서는 많은 연구가 진행되었으나, 탄수화물 다당류에 대한 연구는 거의 없다. 이것은 대부분의 탄수화물 다당류에서 작은 크기의 결사슬이 발견되기 때문이다. 펙틴은 중성다당류로 구성된 높은 농도의 결사슬을 가지고 있다^(9,10). 그러므로, 물성적 변화에 대한 결사슬의 중요성을 연구하는데 가치있는 일이다.

본 연구자들은 펙틴의 유변학적 성질에 미치는 결사슬의 영향에 대하여 보고한 바 있다⁽¹¹⁾. 사과펙틴을 결사슬의 정도가 다른 2종류로 나누어 실험한 결과, 펙틴의 branching이 증가할수록, 충밀립속도 0에서의 점도(zero-shear viscosity, η_0)가 커졌으며, 충밀립속도 의존성이 증가됨을 보였다. 또한,

*Corresponding author : Hae-Hun Shin, Dept. of Food Marketing, Cheonan College of Foreign Studies, Cheonan-si, Chungcheongnam-do 330-705, Korea
Tel: 82-41-550-0490
Fax: 82-41-550-0657
E-mail: hun@ccfs.ac.kr

펙틴에서 결사슬이 고농도 용액에서의 구조에 매우 큰 영향을 미침을 보고하였다.

따라서, 본 연구에서는 결사슬(branching) 정도가 큰 사과펙틴과 낮은 토마토펙틴을 이용하여 넓은 범위의 총밀립 속도에서 측정된 겔보기 점도를 일반적으로 표현할 수 있는 모델을 적용하여, 결사슬이 유변학적 성질에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에서는 사과펙틴과 토마토펙틴(물에 가용성이며, 알콜 불용성) 두 가지를 사용하였다. 사과펙틴은 Sigma Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하여 사용하였으며, 토마토펙틴은 Chou and Kokini의 방법⁽¹²⁾을 이용하여 hot break 토마토 페이스트(Campbell Soup Company, Camden, NJ)에서 추출, 탈색하여 사용하였다.

토마토펙틴은 hot break 토마토 페이스트 1 kg을 탈이온 증류수 2 L에 녹여서 20분간 실온에서 방치한 후 10,000 rpm에서 20분간 원심분리하였다. 상등액을 여과한 후 isopropanol을 2 L를 첨가하여 10,000 rpm에서 20분간 원심분리하여 펙틴을 침전시켰다. 이 침전물을 2 L의 탈이온수에 녹이고, 10 L의 acetone : ethanol(1 : 1, v/v) 혼합액으로 3번 추출하여 탈색하였다. 이 후 증류수에 투석한 후 동결건조하여 시료로 사용하였다.

펙틴의 정제

펙틴으로부터 자유 중성다당류를 제거하고, 결사슬 정도가 다른 펙틴을 얻기 위하여 두 가지 다른 금속침전방법이 사용되었다. 이 결사슬 정도가 다른 펙틴 두 가지를 sample I과 sample II로 정의하였다.

펙틴 sample I은 Michel 등의 방법⁽¹³⁾으로 Cu(II) 침전과 1.0 % (v/v) 알콜세척으로 제조하였으며, 펙틴 sample II는 Rombouts and Thibault⁽¹⁴⁾의 Cu(II) 침전과 EDTA 처리로 제조하였다.

점도의 측정

사과펙틴과 토마토 펙틴 용액의 점도(η)는 Rheometrics Fluids Spectrometer (Rheometrics, Piscataway, NJ, USA)를 사용하여 측정하였다. 원추형 점도계(cone and plate viscometer)는 cone의 각도가 0.0196 radian, 지름은 25 mm, gap size는 50 micron의 구조를 가지고 있다. 실험은 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 실시되었다.

적당한 농도의 펙틴시료를 50 mM citrate phosphate 완충액(pH 4.5)에 녹인후 상온에서 2시간동안 교반하여 사용하였다. 펙틴시료의 농도가 6.0%(w/v) 이상은 용해도 문제로 제조하지 못하였다. 준비된 펙틴시료 용액을 주사기로 1 mL loading 하여 실험하였으며, log-log 좌표에 총밀립속도의 함수로 점도를 표현하였다.

모델식

일반적으로 의사가소성 유체(shear thinning 또는 pseudoplastic fluid)에서는 총밀립속도에 따라 3가지의 구분된 영역을

나타낸다⁽¹⁵⁾. 총밀립속도가 낮을 때에는 뉴턴성 유체처럼 나타나 겔보기점도가 변하지 않는 총밀립속도 0에서의 점도(η_0)가 측정되며, 중간영역에서는 총밀립속도에 따라 점도가 변하게 된다. 또한 높은 총밀립속도 영역에서는 역시 점도가 변하지 않는 무한 총밀립속도에서의 점도(η_∞)가 측정된다. 따라서, 선택하는 총밀립속도 범위에 따라서, 사용된 유변학적 모델은 크게 영향을 받게 된다. 일반적으로 사용되는 모델은 지수법칙모델과 항복력(yield stress)을 사용하는 빙함플라스틱과 Herschel-Bulkey 모델이 가장 널리 사용된다. 기타 모델들은 이들을 기본으로 약간의 변형을 주어 설명하고 있다. 이러한 총밀립속도 범위에 따른 사용제한을 넓히기 위하여 사용되는 모델로는 Cross, Reiner-Philippoff, Van Wazer, Powell-Eyring 모델이 알려져 있다⁽¹⁵⁾.

따라서, 본 연구에서는 넓은 범위의 총밀립속도에서의 점도를 표현할 수 있는 모델식을 얻기 위해 3가지 모델을 비교하였다.

우선, 많은 유동성 식품과 같은 비뉴턴성 유체에서 가장 널리 적용되는 지수법칙모델을 사용하였다.

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

여기서 σ 는 총밀립변형력(shear stress), $\dot{\gamma}$ 는 총밀립속도(shear rate)이다.

또, 총밀립속도 0에서의 점도(η_0)와 무한 총밀립속도에서의 점도(η_∞)를 사용하여 넓은 범위의 총밀립속도에서 유용한 Cross 모델⁽¹⁶⁾을 사용하였다.

$$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + K_1(\dot{\gamma})^m} \quad (2)$$

마지막으로는 Cross모델을 약간 변형한 Carreau 모델⁽¹⁷⁾을 사용하였다.

$$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{[1 + (K_2\dot{\gamma})^2]^{m/2}} \quad (3)$$

여기서 η 는 점도(poise), η_0 는 총밀립속도 0에서의 점도, ∞ 는 무한 총밀립속도에서의 점도, $\dot{\gamma}$ 는 총밀립속도(1/s)이며 K_1 , K_2 , m 은 상수이다.

일정 총밀립속도에서 측정된 겔보기점도(apparent viscosity)를 각 모델식에 대입하여 모델값을 구하였다. 또한, 모델값과 실험값 사이의 관련계수를 표준오차(standard error)로 표현하였다. 표준오차는 Chhinnan 등⁽¹⁸⁾이 사용한 RMSE(Root Mean Square Error)로 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{표준오차} = \left[\frac{\sum (Y_{mod} - Y_{exp})^2}{N} \right]^{0.5} \quad (4)$$

여기서, Y_{mod} 는 모델값, Y_{exp} 는 실험값, N 은 데이터수이다.

결과 및 고찰

모델식 선정

사과펙틴과 토마토 펙틴에 있어서, 낮은 총밀립속도에서부

Table 1. Comparisons of standard error of various models for apple and tomato pectin viscosity

Conc. (%)	Apple sample I			Apple sample II			Tomato sample I			Tomato sample II		
	M1 ¹⁾	M2 ²⁾	M3 ³⁾	M1 ¹⁾	M2 ²⁾	M3 ³⁾	M1 ¹⁾	M2 ²⁾	M3 ³⁾	M1 ¹⁾	M2 ²⁾	M3 ³⁾
2	0	4.98×10 ⁻⁶	7.60×10 ⁻⁷	0.0104	0.0145	0.0058	0.0544	0.0705	0.0015	0.0924	0.0179	0.0068
3	0.0563	0.0041	0.0041	0.0871	0.0414	0.0414	0.4019	0.0188	0.0238	0.5046	0.2652	0.0544
4	0.3853	0.0197	0.0197	0.4486	0.1708	0.1708	1.1934	0.0657	0.0608	1.8952	0.2076	0.1594
5	1.2942	0.0360	0.0360	1.7741	0.5906	0.5906	11.7079	0.6153	0.6357	5.0224	0.4430	0.2950
6	4.2265	0.1605	0.1605	6.2400	1.2944	1.2944	-	-	-	-	-	-

¹⁾Power law Model.

²⁾Cross Model.

³⁾Carreau Model.

터 높은 층밀립속도 모두에 적용이 가능한 모델을 선택하고자 우선 지수법칙 모델을 적용하였다.

지수법칙 모델을 사용하기 위해서는 각 층밀립속도에서의 층밀립변형력(σ)을 구하여야 한다. 본 연구에서 구한 점도는 일정한 층밀립속도에 대한 층밀립변형력이므로, 층밀립변형력은 점도와 층밀립속도의 곱으로부터 구할 수 있다.⁽¹⁵⁾

층밀립속도에 따른 점도 실험값에서부터 모델식에 대입하기 위하여, 식(1)에 \log 를 취하면

$$\log \sigma = \log K + n \log \dot{\gamma} \quad (5)$$

가 되며, 각 층밀립속도와 층밀립변형력에서부터 위 식을 이용하여 K, n 값을 구하였다.

또한, 지수법칙모델의 변수와 겔보기점도(η)와 의 관계는

$$\eta = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (6)$$

이므로⁽¹⁵⁾ K, n 을 대입하여 각 층밀립속도에서의 모델값을 구하였다.

사과펙틴과 토마토펙틴에서 지수법칙 모델을 적용하여 표준오차를 살펴보면(Table 1) 실험값과 모델값의 차이는 농도가 작을 경우에는 그 값이 작았으나, 농도가 증가함에 따라 증가하였다. 또한, 지수법칙 모델은 층밀립속도에 따른 점도 변화를 대수좌표에 표현하면 직선식으로 표현이 되지만, 실

제 실험값들은 약간의 곡선형태를 보여 적합하지 않는 것으로 판단되었다.

따라서, 이러한 곡선형태를 표현할 수 있는 Cross 모델을 사용하였다. 이 모델을 적용하기 위해서는 층밀립속도 0에서의 점도(η_0)와 무한 층밀립속도에서의 점도(η_∞)를 먼저 계산하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 Microsoft Excel을 이용한 최적화 방법을 사용하여 모델값을 결정하였다. 우선, 층밀립속도 0에서의 점도와 무한 층밀립속도에서의 점도, 식(2)에서의 K_1 과 m 을 임의로 가정한 후 뉴턴법 또는 공액경사법을 이용하여 실제값과 계산값의 차이가 최소화 되는 최적값을 결정하였다. Table 1에서 지수법칙 모델의 표준오차와 비교하여 보면, 실험값과 모델값의 차이가 많이 감소하였으며, 특히 높은 농도에서의 오차가 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 층밀립속도와 점도와의 관계가 직선이 아닌 곡선형태의 모델이므로 본 연구에 더 적합한 것으로 판단되었다.

오차를 줄이기 위하여 Carreau 모델을 Cross 모델에서와 같은 방법을 사용하여 표준오차를 구한 결과 사과펙틴의 경우에는 Cross 모델과 큰 차이를 보이지 않으나, 토마토펙틴의 경우에는 표준오차가 Cross 모델에 비하여 전반적으로 낮은 값을 보여, 본 연구에서는 Carreau 모델을 최종적으로 선택하였다.

사과펙틴과 토마토 펙틴에 Carreau 모델을 적용하여 simu-

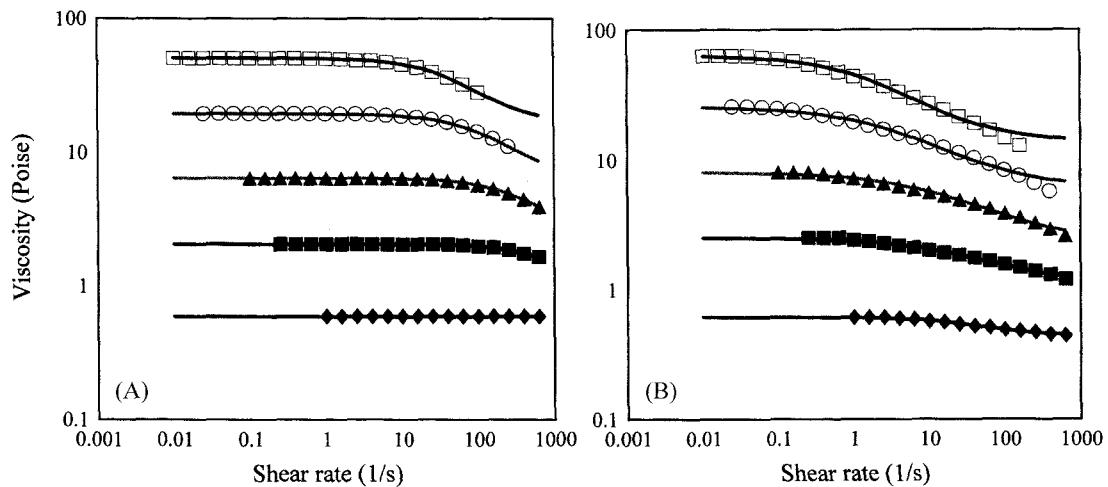


Fig. 1. Concentration dependence of shear-viscosity of apple pectins sample I (A) and sample II (B).

Concentration of pectins : □ : 6%, ○ : 5%, ▲ : 4%, ■ : 3%, ◆ : 2%.

Line is the calculated data by using Carreau Model.

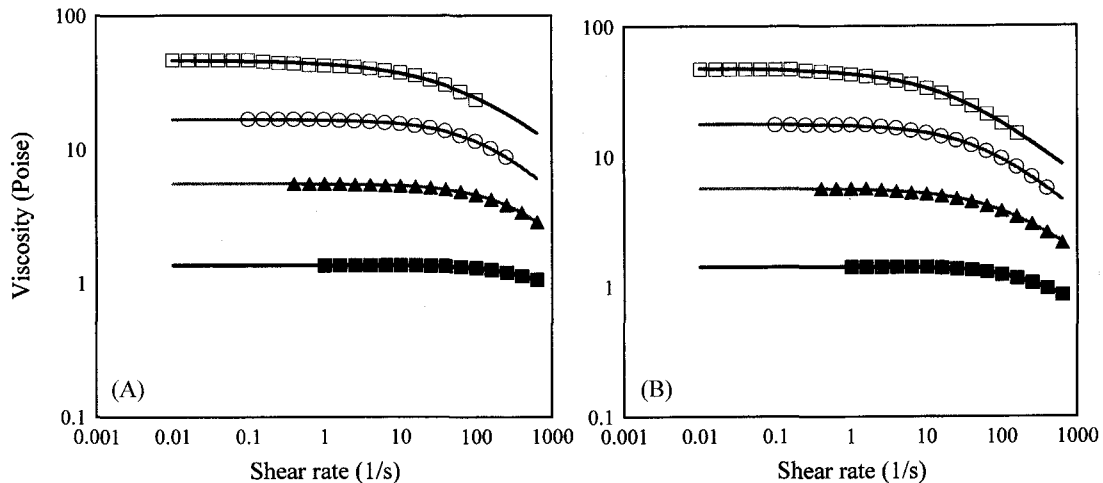


Fig. 2. Concentration dependence of shear-viscosity of tomato pectins sample I (A) and sample II (B).
 Concentration of pectins : □ : 6%, ○ : 5%, ▲ : 4%, ■ : 3%.
 Line is the calculated data by using Carreau Model.

lation 한 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 사과펙틴의 경우, 결사슬의 정도가 작은 sample I은 모델식에 잘 맞는 것으로 나타났으나, 결사슬의 정도가 큰 sample II는 펙틴의 농도가 증가함에 따라, 높은 층밀림속도에서 약간의 차이를 보이고 있다(Fig. 1). 이는 펙틴농도가 증가하면, 각 사슬의 자유운동이 얽힘의 증가에 따라 제한되어 외부에서 주어진 변형에 의해 파괴된 형태가 회복되는데 필요한 시간이 증가하는 것으로 설명하고 있다. 즉, 결사슬의 정도가 크면 높은 층밀림속도에서 분자간 얽힘(entanglement) 현상 등과 같은 기하학적, 구조적 변화를 보이기 때문인 것으로 판단되었다^(3,5,11). 반면에, 토마토펙틴은 sample I과 sample II 모두 모델식에 잘 맞는 것으로 나타냈다(Fig. 2). 이는 토마토펙틴이 사과펙틴에 비해서 상대적으로 결사슬의 정도가 적어 sample II의 경우에도 높은 농도의 펙틴용액에서도 분자간 얽힘현상이 적은 것으로 판단된다.

η_0 and η_∞ (zero-shear viscosity와 infinite viscosity)

층밀림속도 0에서의 점도(η_0)와 무한 층밀림속도에서의 점도를 구하여 Table 2에 나타내었다. 사과펙틴의 경우 일정 층밀림속도에서 sample II의 η_0 값이 sample I보다 높은 값을 보이며, 펙틴용액의 농도가 증가할수록 그 차이가 증가하였다. 이것은 사과펙틴에서 sample II가 낮은 고유점도 또는 hydrodynamic size를 가지고 있지만, sample I보다는 많은 결사슬

을 가지고 있다⁽¹¹⁾. 일반적으로 높은 고유점도를 가진 직선상의 다당류는 분자간 상호작용이 높기 때문에 높은 값의 용액점도를 가진다. 그러나, 이는 결사슬이 interchain entanglements에 큰 영향을 줄 경우에는 반대가 된다⁽³⁾. 사과펙틴에서 sample II는 결사슬에 의하여 얽힘(entanglement) 현상이 크기 때문에, 같은 조건하에서 sample I보다 η_0 가 크게 나타난다⁽⁵⁾. 반면에 토마토 펙틴은 사과펙틴에 비하여 상대적으로 큰 η_0 를 가지며, sample I과 sample II의 η_0 가 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 사과펙틴에 비해 토마토펙틴의 결사슬 정도가 적어 점도가 크게 되며, sample I과 sample II 펙틴에서 hydrodynamic size와 결사슬의 정도가 큰 차이를 보이지 않는다고 판단된다.

펙틴농도에 따른 층밀림속도 0에서의 점도변화는 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$\eta_0 = k' C^a \tag{7}$$

여기서, k' 와 a 는 상수, C 는 펙틴농도이다.

사과와 토마토에서 펙틴농도에 따른 층밀림속도 0에서의 점도를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 일정한 펙틴농도에서 토마토 펙틴의 η_0 가 사과펙틴보다 큰 값을 보이며, 특히 사과펙틴의 농도가 증가함에 따라 η_0 가 차이를 보이지만, 토마토펙틴의 경우에는 일치된 값을 보이고 있어 사과펙틴의 결사슬 정도가 토마토펙틴보다 크다는 것을 설명하고있다. 또

Table 2. Comparisons of zero-shear viscosity and infinite viscosity of apple and tomato pectin

Concentration (%)	Apple sample I		Apple sample II		Tomato sample I		Tomato sample II	
	$\eta_0^{1)}$	$\eta_\infty^{2)}$	η_0	η_∞	η_0	η_∞	η_0	η_∞
2	0.59	0.50	0.61	0.44	1.36	0.91	1.41	0.63
3	2.06	1.43	2.5	1.10	5.55	0.94	5.68	0.72
4	6.43	2.76	8.03	2.24	16.82	1.94	17.79	1.02
5	19.5	6.02	25.7	6.01	46.64	2.68	47.76	1.54
6	50.8	16.56	63.3	13.76	-	-	-	-

¹⁾zero-shear viscosity.

²⁾infinite viscosity.

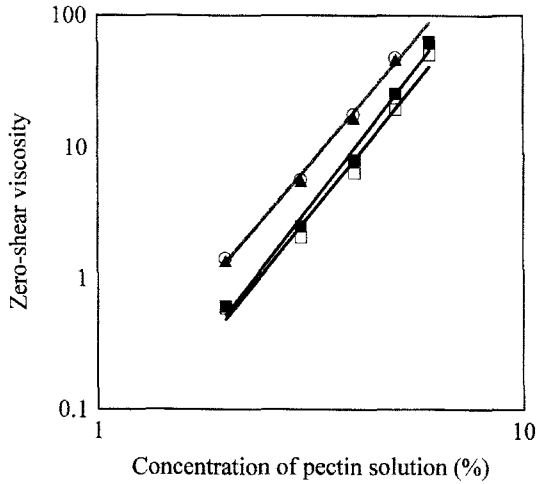


Fig. 3. Effect of pectin concentration on zero-shear viscosity of apple and tomato pectins.
 □ : Apple sample I, ■ : Apple sample II, ▲ : Tomato sample I, ○ : Tomato sample II.
 Line is the calculated data by using equation (7).

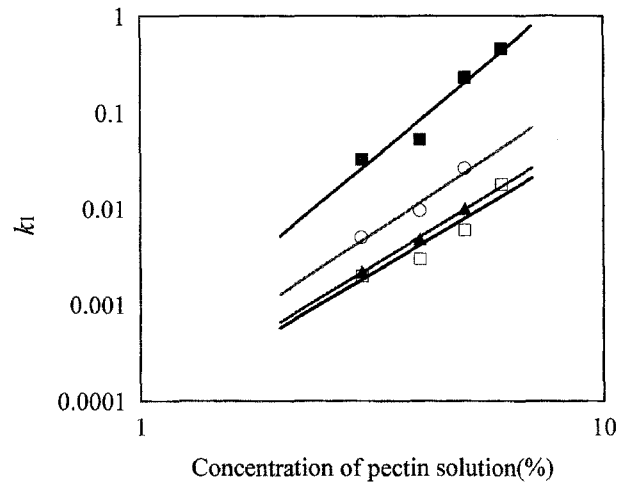


Fig. 4. Effect of pectin concentration on k_2 of Carreau model.
 □ : Apple sample I, ■ : Apple sample II, ▲ : Tomato sample I, ○ : Tomato sample II.

Table 3. Comparisons of parameters of zero-shear viscosity equation of apple and tomato pectin¹⁾

	Apple sample I	Apple sample II	Tomato sample I	Tomato sample II
k	0.0293	0.0277	0.0900	0.0935
a	4.0447	4.2289	3.8265	3.8237
r^2	0.9866	0.9920	0.9964	0.9967

¹⁾Equation: $\eta_0 = kC^a$.
²⁾ r : regression coefficient.

한, 위 식을 이용하여 구한 k , a 값을 보면(Table 3) 토마토펙틴은 겔사슬에 따라 k 값과 농도지수인 a 값의 차이가 없는 반면에 사과펙틴은 k 값은 차이가 없으나 농도지수인 a 값이 sample I에 비해 sample II가 크게 나타나 겔사슬에 의한 얽힘현상이 있는 것으로 판단되었다⁽¹¹⁾.

무한 증밀립속도에서 점도(η_{∞})는 사과펙틴과 토마토펙틴 모두 펙틴농도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 겔사슬에 따른 차이는 거의 없는 것으로 판단되며, 겔사슬이 더 많은 사과펙틴이 토마토펙틴에 비해 펙틴농도가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.

Carreau 모델상수

Carreau 모델에 적용하여 얻어진 변수인 k_2 와 m 을 Table 4에 나타내었다. 사과펙틴에서 k_2 는 펙틴 농도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으나, sample I은 농도가 3%에서 5%로 증가함에 따라 0.002379에서 0.006458로 약 2.7배 증가한 반면에 sample II는 0.032677에서 0.233299로 약 7배 증가하여 sample II가 농도에 의한 k_2 의 변화폭이 sample I에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 반면에 토마토는 펙틴농도가 3%에서 5%로 증가하면 sample I과 sample II는 각각 4.6배, 5.3배 증가하여 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이는 사과펙틴이 토마토펙틴 보다 겔사슬이 더 많이 존재한다는 것을 의미하는 것으로 판단되어진다. k_2 의 농도 의존성을 보기 위해서, 농도가 극히 적은 2%를 제외한 값을 가지고 다음과 같이 지수식으로 표현하여 Table 5에 나타내었다.

$$k_2 = A C^N \tag{8}$$

펙틴종류에 상관없이 A 는 작은 값을 나타내어 k_2 값에 영향을 미치지 못하였다. 반면에 N 값은 사과펙틴은 sample I에 비해 sample II가 약 50% 큰 값을 보이며, 토마토펙틴은 sample II가 sample I 보다 약간 큰 값을 가져 사과펙틴의 sample II가 겔사슬 정도가 커서 농도에 의한 영향을 더 받

Table 4. Comparisons of parameters of Carreau model of apple and tomato pectin¹⁾

Conc. (%)	Apple sample I		Apple sample II		Tomato sample I		Tomato sample II	
	k_2	m	k_2	m	k_2	m	k_2	m
2	0.000001	1.144661	0.023328	0.980169	0.002609	1.376457	0.003351	1.131939
3	0.002379	1.55168	0.032677	0.685108	0.002221	0.887415	0.005029	0.736119
4	0.002905	1.202236	0.053429	0.620808	0.004826	0.791485	0.009602	0.714373
5	0.006458	1.024504	0.233299	0.643852	0.010169	0.564721	0.02643	0.603486
6	0.018165	1.049613	0.458269	0.736216	-	-	-	-

¹⁾Carreau model : $\eta = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{[1 + (K_2 \dot{\gamma})^2]^{m/2}}$

Table 5. Comparisons of k_2 equation¹⁾

Pectin	Equation	Regression coefficient
Apple sample I	$k_2 = 7.70 \times 10^{-5} C^{2.88042}$	0.8685
Apple sample II	$k_2 = 3.19 \times 10^{-3} C^{4.01214}$	0.9413
Tomato sample I	$k_2 = 8.35 \times 10^{-5} C^{2.965414}$	0.9667
Tomato sample II	$k_2 = 1.37 \times 10^{-4} C^{3.201086}$	0.9608

¹⁾ $k^2=A CN$

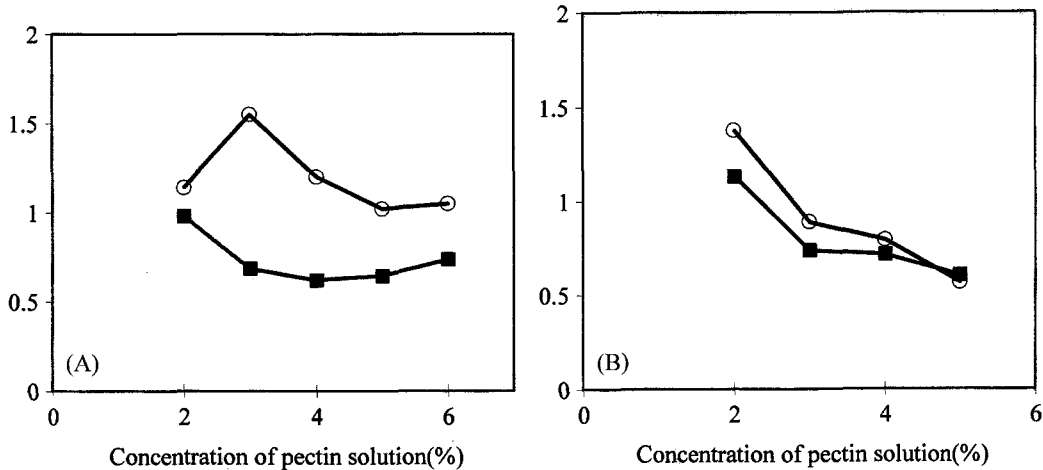


Fig. 5. Effect of pectin concentration on m of Carreau model at apple (A) and tomato (B) pectin
○ : Sample I, ■ : Sample II

는 것으로 판단되었다. 펙틴농도와 k_2 의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 사과펙틴과 토마토펙틴 모두 결사율 정도가 낮은 sample I은 거의 일치하는 경향을 보이고 있으며, 결사율 정도가 큰 sample II는 sample I보다 큰 값을 보이고 있다. 특히, 사과펙틴의 sample II는 토마토펙틴과 비교하여 볼 때 기울기도 크고 위쪽에 위치하여, 결사율의 영향을 간접적으로 볼 수 있다.

점도식에서의 m값을 비교하여 보면(Fig. 5) 사과펙틴과 토마토펙틴 모두 sample I에서의 값이 sample II보다 약간 크며, 사과펙틴은 농도에 따라 큰 영향이 없는 반면에 토마토펙틴은 농도증가에 따라 직선적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

요 약

펙틴에서 결사율의 정도가 다르게 제조된 사과펙틴과 토마토펙틴을 이용하여, 낮은 충밀림속도에서부터 높은 충밀림속도까지 적용이 가능한 유변학적 모델을 구하고자 하였다. 지수법칙모델, Cross 모델, Carreau 모델을 실험값에 비교하여 본 결과, Carreau 모델이 가장 적합하였다. 모델식에서 얻어진 충밀림속도 0에서의 점도(η_0)는 결사율의 정도가 큰 사과펙틴의 경우에는 결사율이 많은 sample II가 적은 sample I보다 크게 나온 반면에 결사율이 적은 토마토펙틴은 큰 차이를 보이지 않았으며, 그 값은 사과펙틴보다 크게 나타났다. 모델식의 계수를 펙틴농도에 대한 지수함수로 표현하여 펙틴에서 결사율의 영향을 살펴보았다. 즉, 결사율이 많은 사과펙틴은 토마토펙틴에 비해 유변학적 성질이 큰 차이를 보

이고 있으며 모델로 설명할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(2000-N-NL-01-C-299)의 일환으로 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Kim, D.H. Food Chemistry, Tamgudang, Korea (1993)
- DeVries, J.A., Den Vrijl, C.H., Voragen, A.G.J., Rombouts, F.M. and Pilnik, W. Structural features of the neutral sugar side chains of apple pectic substances. Carbohydr. Polym. 3: 193-205 (1983)
- Graessley, W.W. Viscoelasticity and flow in polymer melts and concentrated solutions. pp. 141-150. In: Physical Properties of Polymers, Mark, J.E., Eisenberg, A., Graessley, W.W., Mandelkern, L. and Koenig, J.L. (ed.), American Chemical Society, Washington, D.C., USA (1984)
- Rokudai, M. Influence of shearing history on the rheological properties and processibility of branched polymers. J. Appl. Polym. Sci. 23: 463-471 (1979)
- Hwang, J.K. and Kokini, J.L. Structural and rheological function of side branches of carbohydrate polymers. J. Texture Studies 22: 123-167 (1991)
- Wurzburg, O.B. Introduction pp. 4-13. In: Modified Starches: Properties and Uses, Wurzburg, O.B. (ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, USA (1986)
- Glicksman, M. Plant seed gums: introduction. pp. 157. In: Hydrocolloids Vol. III, Glicksman, M. (ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, USA (1986)
- Dea, I.C.M. The role of structural and modification in controlling polysaccharide functionality. pp. 207-216. In: Industrial Polysaccharides: Genetic Engineering, Structure/Property Relations and

- Applications, Yalpani, M. (ed.), Elsevier Applied Science Publishers, New York, USA (1987)
9. John, M.A. and Dey, P.M. Postharvest changes in fruit cell wall. *Adv. Food Res.* 30: 139-193 (1986)
 10. Basic, A., Harris, P.J. and Stone, B.A. Structure and function of plant cell walls. Vol 14, pp. 309-314. In: *The Biochemistry of Plants*, Preiss, J. (ed.), Academic Press, New York, USA (1988)
 11. Hwang, J.K. and Kokini, J.L. Contribution of the side branches to rheological properties of pectins. *Carbohydr. Polym.* 19: 41-50 (1992)
 12. Chou, T.C. and Kokini, J.L. Rheological properties and conformation of tomato paste pectins, citrus and apple pectins. *J. Food Sci.* 52: 1658-1664 (1987)
 13. Michel, F., Thibault, J.F. and Doublier, J.L. Characterization of commercial pectins purified by cupric acids. *Sciences Des Aliments* 1. 4: 569-576 (1981)
 14. Rombouts, F.M. and Thibault, J.F. Feruloylated pectic substances from sugar-beet pulp. *Carbohydr. Res.* 154: 177-187 (1986)
 15. Steffe, J.F. *Rheological Methods in Food Process Engineering*, Freeman Press, Michigan, USA (1992)
 16. Cross, M.M. Rheology of non-Newtonian flow: equation for pseudoplastic system. *J. Colloid Sci.* 20: 417-437 (1965)
 17. Carreau, P.J. Rheological equations from molecular network theories. Ph.D. dissertation. Dept. of Chemical Engineering, University of Wisconsin, Madison, USA (1968)
 18. Chhinnan, M.S., Mcwatters, K.H. and Rao, M. Rheological characterization of grain legume pastes and effect of hydration time and water level on apparent viscosity. *J. Food Sci.* 50: 1167 (1985)
-

(2002년 2월 7일 접수; 2002년 8월 2일 채택)