

괘생이모자반(*Sargassum horneri*)으로부터 추출한 다당의 이화학적 특성

구재근* · 정성우

군산대학교 식품생명공학과

Isolation and Characterization of Polysaccharides Purified from Brown Alga *Sargassum horneri*

Jae-Geun Koo* and Seongwoo Jeong

Department of Food Science and Biotechnology, Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

Physicochemical properties of fucoidan and alginate extracted from *Sargassum horneri* were investigated. The alginates were extracted and purified via three different routes (CaCl₂, HCl and ethanol routes), and their rheological properties at various concentrations and temperatures were determined. The yield of fucoidan was 3.08%, and it was mainly composed of fucose and galactose. Fourier-transform infrared spectrum of fucoidan showed strong absorption band at 1,254 and 827 cm⁻¹ corresponding to the sulfate group. Flow behavior of the alginate solution was characterized using the power-law model. The consistency index increased with increasing concentrations. The sodium alginate solution (1.5%) exhibited Newtonian behavior when extracted via the CaCl₂ and HCl routes, while it exhibited pseudoplastic behavior when extracted via the ethanol route. The effect of temperature on the flow behavior was investigated in terms of the activation energy (E_a), which was obtained using the Arrhenius equation. The E_a value corresponding to the alginate solution decreased with increasing shear rates. The E_a values corresponding to the alginate solutions purified via the CaCl₂, HCl, and ethanol routes were 13.54-18.64 kJ/mol, 13.42-19.21 kJ/mol, and 9.51-10.67 kJ/mol, respectively. The low E_a values corresponding to the solutions extracted via the ethanol route suggest that the flow behavior does not depend significantly on temperature.

Keywords: *Sargassum horneri*, Fucoidan, Alginate, Viscosity, Fourier-transform infrared

서론

괘생이모자반(*Sargassum horneri*)은 모자반과(*Sargassaceae*)에 속하는 1년생 갈조류로 국내 연안 및 일본과 중국 연안에 널리 분포한다. 모자반은 해중립을 형성하여 수산 동물의 서식지로 중요한 역할을 담당하고 있으나 종종 염체가 기질에서 떨어져나와 다량의 부유성 모자반 띠를 형성한다. 국내에도 전남 신안, 제주도 연안에 괘생이모자반 부유성 유조가 대량 발생하여 양식장 피해뿐만 아니라 해변에 악취와 경관 피해를 유발하는 등 많은 문제가 발생시켰다(Hwang et al., 2016). 괘생이모자반은 국내에서 식품으로 소비가 거의 되지 않아 대부분 폐기되고 있으나 최근 괘생이 모자반의 이용성을 높이기 위해 바이오 에탄올(Jung et al., 2017), 무기질 공급원(Jun et al., 2011),

항산화 활성(Boo et al., 2020)에 관한 연구 등 다양한 연구가 수행되었다.

갈조류에는 탄수화물과 회분이 많이 함유되어있고 특히 수용성 다당인 알긴산과 후코이단이 다량 함유되어 있어 식품첨가물과 기능성 식품 소재로 활용되고 있다(Koo et al., 1995). 알긴산은 pre-biotic 특성, 자유 라디칼 소거 작용 등 기능이 보고되고 있고(Mazumder et al., 2016), 후코이단은 위염양 보호 작용(Shibata et al., 1999; 2003) 등이 보고되고 있어 해조 유래 기능성 소재로 활용 가능성이 높다. 본 연구에서는 국내연안에서 채취한 괘생이모자반 유조의 활용방안을 검토하기위해 괘생이모자반의 화학적 조성을 조사하고 또한 알긴산과 후코이단을 추출 정제하여 이화학적 특성을 조사하였다.

*Corresponding author: Tel: +82. 63. 469. 1828 Fax: +82. 63. 469. 7448

E-mail address: kseaweed@kunsan.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0681>

Korean J Fish Aquat Sci 53(5), 681-687, October 2020

Received 24 September 2020; Revised 12 October 2020; Accepted 14 October 2020

저자 직위: 구재근(교수), 정성우(대학생)

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 팽생이모자반(*Sargassum horneri*)은 2018년 6월에 전라남도 고흥군 연안에서 채취하여 실험실로 옮긴 후 냉동 저장하여 두고 실험에 사용하였다.

후코이단 제조

후코이단 제조는 Koo et al. (1995)의 방법에 준하여 실시하였다. 즉, 건조 분쇄한 팽생이모자반에 85% 메탄올을 시료가 총분히 잠길 정도 넣고 70°C에서 3시간 추출, 여과하여 메탄올 가용성 성분을 제거하였다. 남은 잔사에 증류수를 넣고 묽은 염산 용액으로 pH 2.0으로 조절한 후 65°C에서 1시간 추출, 여과하여 산 추출액을 분리하였다. 산 추출액을 중화한 후 CaCl₂ 용액을 첨가하여 생성된 침전물을 원심분리(6,000 g, 15분)하여 제거한 후 상층액에 에탄올을 첨가하고 원심분리(6,000 g, 15분)하여 분리한 침전물을 40°C에서 건조하여 후코이단 시료로 사용하였다.

알긴산 추출 및 정제

알긴산은 냉동 저장한 팽생이모자반에 40배 증류수를 넣고 10% Na₂CO₃ 용액으로 pH 10.0으로 조절한 후 shaking water bath (70°C, 100 rpm)에서 3시간 교반하면서 추출하였다. 추출한 알긴산은 CaCl₂ 정제법(CaCl₂ route), HCl 정제법(HCl route), 에탄올 정제법(ethanol route)으로 각각 정제하였다 (Fig. 1). 즉, CaCl₂ 정제법은 우선 알긴산 추출액에 10% CaCl₂ 용액을 첨가한 후 원심분리(6,000 g, 15분)하여 알긴산칼슘을 분리하였다. 분리한 알긴산칼슘에 1.0 N HCl 용액을 첨가하여 pH 2.0으로 조절하여 알긴산으로 전환한 후 원리분리(6,000 g, 15분)하여 알긴산을 분리하였다. 알긴산에 다시 10% Na₂CO₃ 용액을 첨가하여 pH 10.0으로 조절하여 교반하여 녹인 후 에탄올을 동량 첨가하여 원심분리(6,000 g, 15분)하여 분리한 알긴산나트륨을 40°C에서 건조하였다. HCl 정제법은 알긴산 추출액에 1.0 N HCl 용액을 첨가하여 pH 2.0으로 조절한 후 원심분리(6,000 g, 15분)하여 분리한 알긴산에 10% Na₂CO₃ 용액을 첨가하여 pH 10.0으로 조절하여 녹인 후 에탄올을 동량 첨가하여 원심분리(6,000 g, 15분)하여 분리한 알긴산나트륨을 40°C에서 건조하였다. 에탄올 정제법은 알긴산 추출액에 동량의 에탄올을 첨가하여 교반 한 후 원심분리(6,000 g, 15분)하여 알긴산나트륨을 분리하여 40°C에서 건조하였다.

일반성분 분석

일반성분은 AOAC (1990)법에 준하여 측정하였다. 수분은 105°C 상압 건조법, 회분은 550°C 회화법, 단백질은 Kjeldhal 법으로 측정하였고, 지방은 Soxhlet법으로 측정하였다. 탄수화물은 100-(수분+회분+단백질+지방)으로 나타내었다.

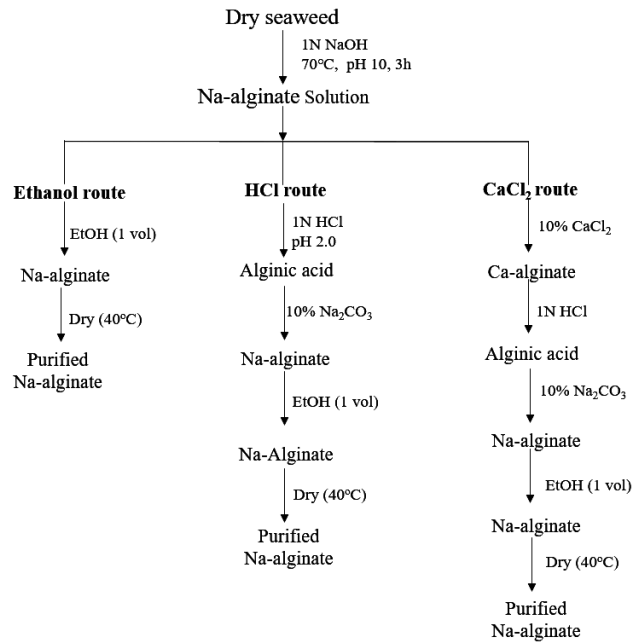


Fig. 1. Process for extraction and purification of sodium alginates from *Sargassum horneri*.

아미노산 분석

총 아미노산 분석 시료는 건조 분쇄한 시료에 6 N HCl를 가하여 밀봉 및 가수분해(110°C, 22시간)한 후 감압 농축 및 0.02 N HCl로 정용하고 여과(0.45 µm filter)하여 제조하였다. 유리 아미노산 분석 시료는 건조 분쇄한 시료에 증류수를 넣은 후 15분간 끓여 추출 후 정용하였다. 정용한 추출액에서 일정량을 취해 동량의 5% (v/w) TCA를 가하고 균질화 한 후 원심분리 (10,000 rpm, 10분) 및 여과(0.22 µm filter)하여 제조하였다. 총 아미노산 분석에 사용한 칼럼은 Hitachi HPLC packed column (#2622PH column, 6×4.6 mm)이며, 유리아미노산은 Hitachi HPLC packed column (#2622PF column, 6×4.6 mm)을 사용하여 아미노산 자동분석기(L-8900, Hitachi, Tokyo, Japan)로 실시하였다.

무기질 분석

무기질 함량은 시료 일정량에 질산(36%, w/w) 5 mL를 가한 후 130°C에서 2시간 이상 완전히 분해하였다. 이 분해물을 질산 (36%)으로 25 mL로 정용하고 유도 결합 플라즈마 방출 분광계(ICP-OES, iCAP 7400DUO Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)로 분석하였다. 분석조건은 approximate RF power가 1,350 W이며, peristaltic pump rate는 45 rpm으로 하였고, 가스는 초고순도 argon을 사용하였으며, nebulizer pressure와 coolant gas flow는 각각 200 kPa 및 12 (L/min)이며, observation height는 각각 30 psi 및 15 mm로 하였다.

구성당 분석

구성당 분석은 Furneaux et al. (1990)의 방법에 따라 표준 시약(rhamnose, fucose, arabinose, ribose, galactose, xylose, mannose, glucose)과 시료에 내부 표준물질(myo-inositol)을 넣어 각각 acetylation 유도체화 한 후 GC (gas chromatography)로 분석하였다. 구성당 GC 분석은 Hewlett Packard GC Model 6890과 FID (flame ionization detector) 검출기, 칼럼은 SP-2330 (0.25 mm I.D×30 m, film thickness; 0.2 μm) 칼럼을 사용하였다. 칼럼 온도는 230°C, 주입구와 검출기 온도는 모두 240°C로 하였다. 이동상은 He를 0.1 mL/min의 유속으로 하여 분석하였다. 시료의 구성당 함량은 표준시약의 검량선을 이용하여 산출하였다.

FT-IR 분석

FT-IR (Fourier-transform infrared) 분석은 6300FV+IRT5000 (Jasco, Tokyo, Japan)으로 후코이단과 알긴산을 ATR (attenuated total reflection absorption spectroscopy, 감쇠 전 반사 흡수 분광법)법으로 분석하였다.

점도 및 유동 특성 측정

점도 및 유동 특성은 점도계(HAAKE RotoVisco 1, Thermo Electron, Waltham, MA, USA)를 이용하여 20°C에서 sensor PP60Ti (Radius 30 mm, Gap 1 mm)를 사용하여 측정하였다. 전단 속도 0-1,500 1/s, 온도 25°C에서 측정하였다. 농도 변화 (1.0% 1.5%, 2.0%, 2.5%)에 따른 유동 특성 값은 power-law model 식(1)을 사용하여 점조성 지수 K와 유동 지수 n을 구하였다.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \dots \dots \dots (1)$$

- τ, 전단응력(Shear stress, Pa)
- K, 점조성 지수(Consistency index, Pa.sⁿ)
- γ̇, 전단 속도(Shear rate, 1/s)
- n, 유동 지수(Flow behavior index)

활성화에너지 측정

후코이단과 알긴산의 온도 변화(15°C, 25°C, 35°C, 45°C)에 따른 활성화 에너지 값은 Arrhenius model (2)을 이용하여 구하였다(Rao and Anantheswaran, 1982).

$$\eta = K_0 \cdot \exp(E_a/RT) \dots \dots \dots (2)$$

- η, 겔보기 점도(Apparent viscosity, Pa·s)
- K₀, 상수(Constant, Pa·s)
- E_a, 활성화에너지(Activation energy of flow, J/ mol)
- R, 기체상수(Gas constant, J/ mol K)
- T, 절대온도(Absolute temperature, K)

결과 및 고찰

일반성분

팽생이모자반의 일반성분은 Table 1과 같다. 건물 기준으로 탄수화물 67.8%, 회분 18.8%, 단백질 12.6% 순으로 함량이 높았고, 지질 함량은 0.7%로 낮았다. 팽생이모자반의 계절별 일반성분의 평균값이 건물 기준으로 단백질 9.2%, 지질 0.4%, 회분 25.8%, 탄수화물 65%이라는 Murakami et al. (2009)의 보고와 유사한 경향을 나타내었다.

Table 1. Proximate composition of *Sargassum horneri* (%)¹

Protein	Lipid	Ash	Carbohydrates ²
12.64±0.22	0.71±0.31	18.81±0.54	67.84±0.50

¹Dry basis. ²100-(moisture+protein+lipid+ash).

Table 2. Amino acid composition of dried *Sargassum horneri*

		(mg/100 g)	
	Amino acids	Total amino acids	Free amino acid
P-Ser	O-Phosphoserine	-	0.88
Urea	Urea	-	0.64
Asp	L-Aspartic Acid	16.14	4.3
Thr	L-Threonine	5.66	1.55
Ser	L-Serine	5.58	1.54
Glu	L-Glutamic Acid	16.22	4.32
Gly	Glycine	6.14	1.68
Ala	L-Alanine	0.08	2.13
a-ABA	DL-2-Aminobutyric Acid	-	0.12
Val	L-Valine	6.72	1.52
Met	L-Methionine	2.46	0.7
Cysthi	L-Cystathionine	-	0.06
Ile	L-Isoleucine	4.20	1.21
Leu	L-Leucine	9.83	2.4
Tyr	L-Tyrosine	2.82	0.92
Phe	L-Phenylalanine	5.59	1.49
b-Ala	B-Alanine	-	0.03
b-AiBA	DL-3-Aminoisobutyric Acid	-	0.03
NH3	Ammonium Chloride	1.65	0.73
Orn	L-Ornithine	-	0.02
Lys	L-Lysine	6.11	1.63
His	L-Histidine	1.83	0.46
Car	L-Carnosine	-	0.37
Arg	L-Arginine	6.36	1.61
Pro	L-Proline	3.96	1.28
total		101.35	32.10

아미노산과 무기질

괘생이모자반의 구성 아미노산과 유리 아미노산은 Table 2와 같다. 총아미노산 함량은 101.35 mg/100 g이며 글루탐산, 아스파르트산, 류신, 아르기닌, 글리신, 라이신 순으로 함량이 높았다. 유리 아미노산은 32.1 mg/100 g이며, 글루탐산, 아스파르트산, 글리신, 라이신, 아르기닌, 트레오닌 순으로 함량이 높았다. 모자반의 총 아미노산 함량은 글루탐산, 알라닌, 류신, 아스파르트산 순으로 높고(NIFS, 2009) 또한 *S. naozhouense*의 아미노산 함량은 글루타민산, 아스파르트산, 류신 순으로 함량이 높다(Peng et al., 2013). 본 연구의 괘생이모자반에서도 글루탐산과 아스파르트산의 함량이 높아 총 아미노산의 조성이 유사한 경향을 나타내었다. 괘생이모자반의 무기질 함량은 Table 3과 같다. 칼륨이 2.58%로 가장 함량이 높고, 다음으로 칼슘 1.10%, 나트륨 1.02%, 마그네슘 0.77% 순으로 높았다. 특히 Na/K의 비가 0.4로 비교적 낮았다. 미량 무기질로는 알루미늄, 철, 아연, 망간 등이 함유되어 있고 이중 알루미늄(26.07 mg/100g)과 철(24.43mg/100 g)의 함량이 가장 높았다. Murakami et al. (2011)은 괘생이모자반의 년중 무기질 함량을 조사하여 칼슘 함량이 건물기준으로 10.3-14.7 mg/g이고, 마그네슘 12.1-19.8 mg/g, 아연이 3.28-4.65 mg/100 g이라고 보고하여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다.

다당의 구성성분

후코이단과 알긴산의 수율과 구성성분은 Table 4와 같다. 괘생이모자반의 후코이단 수율은 3.08%였다. Koo et al. (1997)은 모자반의 조후코이단의 수율이 4.33%로 다시마와 툫의 조

Table 3. Mineral composition of dried *Sargassum horneri*

(mg/100 g)			
Minerals	Contents	Minerals	Contents
Na	1,023.62	Al	26.07
K	2,577.38	Mn	0.69
Ca	1,101.14	Zn	2.58
Mg	771.48	Cr	0.09
Fe	24.43	Co	0.03

Table 4. Chemical composition of fucoidan and alginates purified by three different methods from *Sargassum horneri*

Polysaccharides	Purification method	Yield ¹ (%)	Protein (%)	Monosaccharides composition (%)					
				Fuc ²	Rham ³	Xyl ⁴	Gal ⁵	Man ⁶	Glu ⁷
Fucoidan		3.08	6.99	63.72	1.26	5.66	19.14	4.93	5.29
	CaCl ₂ route	7.93	6.68	- ⁹	-	-	-	-	-
Alginates	HCl route	7.47	21.12	-	-	-	-	-	-
	Ethanol route	16.03	11.61	-	-	-	-	-	-

¹Yields were calculated as the % (w/w) of dried *S. horneri*. ²Fucose. ³Rhamnose. ⁴Xylose. ⁵Galactose. ⁶Mannose. ⁷Glucose. ⁸Trace. ⁹Not tested.

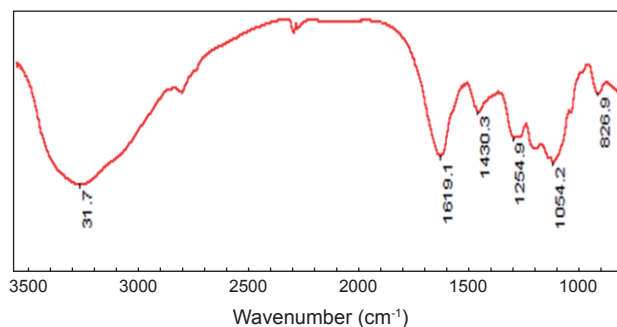


Fig. 2. FT-IR spectra of the fucoidans extracted from *Sargassum horneri*.

후코이단 수율과 비슷하다고 하였는데 본 연구에 사용한 괘생이모자반도 3.08%로 비슷한 수율을 나타내었다. 알긴산의 수율은 정제 방법에 따라 차이가 있어 에탄올 정제법이 16.03%로 가장 높았고 HCl과 CaCl₂ 정제법은 각각 7.47%, 7.93%로 비슷하였다. Kim and Park (1985)은 괘생이모자반을 계절별로 채취하여 알긴산 수율을 조사한 결과 평균적으로 26.5%라고 보고하여 본 연구의 알긴산 수율에 비하여 높았다. 이는 본 연구와 시료의 차이 및 추출 및 정제방법 차이 때문으로 생각된다. 후코이단의 구성당 조성은 fucose가 63.72%로 대부분을 차지하고 다음으로 galactose가 19.14% 순이었다. Koo et al. (1997)도 모자반에서 추출한 후코이단의 구성당 조성이 fucose가 64.29%, galactose 21.00%로 구성되었다고 보고하였다.

FT-IR 측정

괘생이모자반에서 추출한 후코이단의 FT-IR을 측정하였다(Fig. 2). 주요 흡수 band는 3232, 1619, 1403, 1254, 1054, 827 cm⁻¹ 부근에서 관찰되었다. Broad한 3232 cm⁻¹ 부근 band는 OH group을 나타내고 1619와 1403 cm⁻¹ 부근 band는 우론산이 함유되어 있음을 나타낸다(Chale-Dzul et al., 2015). 또한 1254 cm⁻¹와 827 cm⁻¹ 부근의 band는 각각 S=O와 C-O-S 결합을 나타낸다. 특히 827 cm⁻¹ 부근의 band는 fucopyranosyl residue의 C-4에 sulfate group이 axial position에 결합된 것을 나타낸다(Chandía and Matsuhira, 2008; Choi et al., 2014). 괘생이

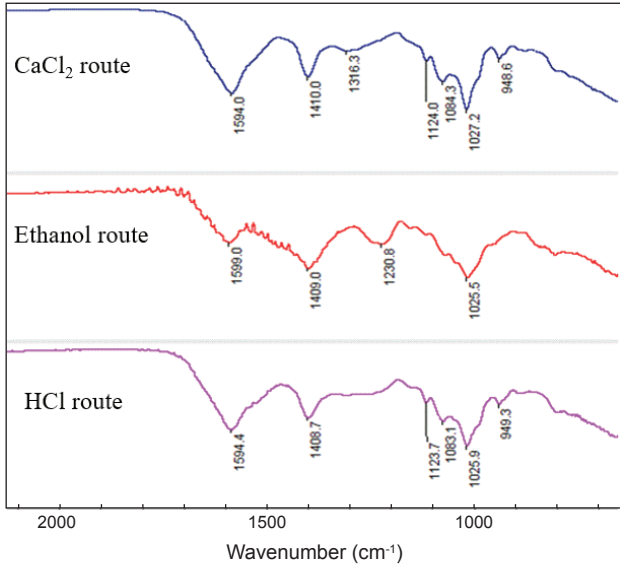


Fig. 3. FT-IR spectra of sodium alginates purified by three different methods from *Sargassum horneri*.

모자반으로부터 추출한 알긴산을 3가지 방법으로 정제한 알긴산의 FT-IR spectrum은 Fig. 3과 같다. 주요 흡수 band인 1594 cm⁻¹와 1409 cm⁻¹ 부근 band는 전 시료 모두 관찰되었는데 각각 알긴산 나트륨의 carboxyl group의 asymmetric과 symmetric stretching vibration을 나타낸다. 또한 1026 cm⁻¹ 부근 band도 전 시료에 검출되었는데 우론산의 C-O 신축 진동을 나타낸다. Finger print 영역인 948 cm⁻¹는 우론산의 C-O stretching vibra-

Table 5. Rheological parameters for sodium alginate solutions purified by three different methods from *Sargassum horneri* at 25°C

Purification method	Concentration (% W/v)	K ¹ (Pa.s)	n ²	R ²
CaCl ₂ route	2.5	0.02361	0.9281	0.9998
	2.0	0.01136	0.9778	0.9994
	1.5	0.00403	1.0647	0.9986
	1.0	0.00130	1.1838	0.9902
HCl route	2.5	0.01277	0.9955	0.9999
	2.0	0.00748	1.0265	0.9997
	1.5	0.00422	1.0638	0.9986
	1.0	0.00221	1.1174	0.9959
Ethanol route	2.5	0.03709	0.8290	0.9990
	2.0	0.02227	0.8588	0.9969
	1.5	0.01152	0.9221	0.9954
	1.0	0.00570	0.9756	0.9871

¹Consistency index, ²Flow behavior index, ³Determination coefficient.

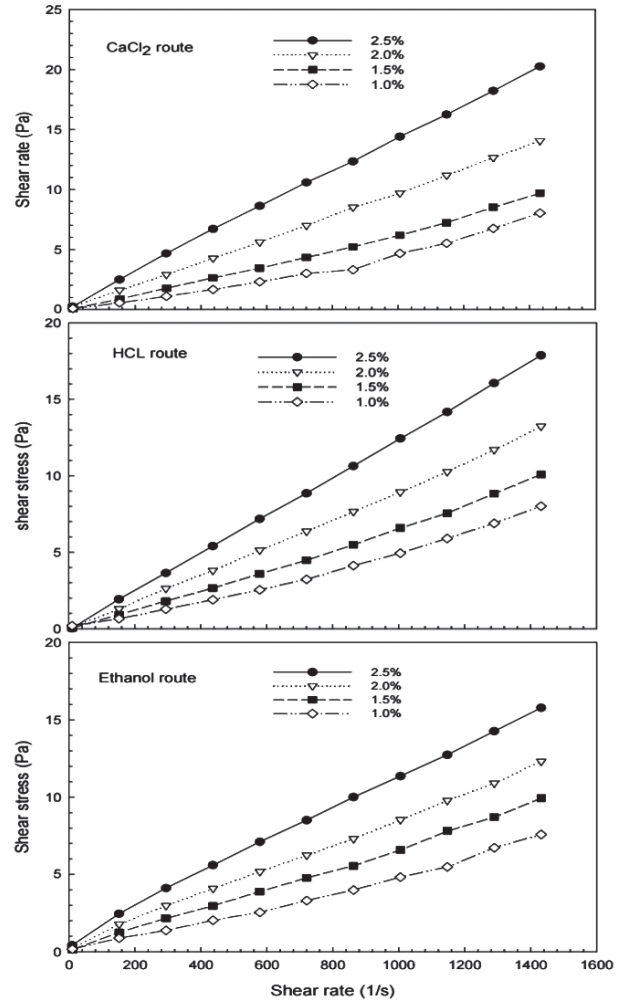


Fig. 4. Shear stress-shear rate plot of sodium alginate solutions purified by three different methods from *Sargassum horneri* at 25°C.

tion을 나타낸다(Leal et al., 2008; Khajouei et al., 2018). 또한 S=O 결합을 나타내는 1230 cm⁻¹ 부근의 band는 에탄올 정제법으로 제조한 알긴산에서만 검출되었는데 이는 혼입된 후코이단 때문으로 여겨진다.

점도 및 유동 특성

정제 알긴산염 용액의 전단 속도 증가에 따른 전단 응력 변화는 Fig. 4와 같다. 전 시료 모두 전단 속도와 증가함에 따른 전단 응력이 증가하였고 또한 농도 증가에 따라서도 전단응력이 증가함을 알 수 있다. 알긴산 용액(2.0%)의 전단응력은 전단속도 300 s⁻¹일 때 CaCl₂ 정제법, HCl 정제법, ethanol 정제법이 각각 2.89, 2.63, 2.98 Pa로 에탄올 정제법이 가장 높았다. 다당의 점도는 분자구조 및 분자량에 영향을 받는다. 정제 방법에 따라 점도의 차이는 알긴산염의 순도 및 분자량의 차이 때문으로 여겨진다. 전단속도에 따른 전단 응력 값을 이용하여 power-law

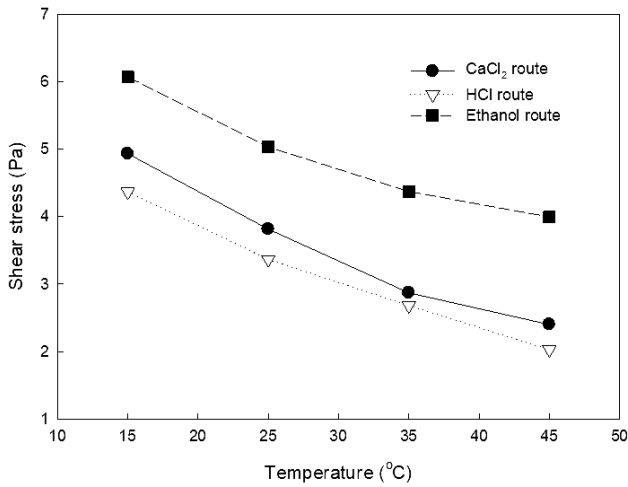


Fig. 5. The effect of temperature on the shear stress of sodium alginate solutions (1.5%) purified with three different methods from *Sargassum horneri* (shear rate, 500s⁻¹).

model 식으로 구한 정제 알긴산의 유동 특성 값은 Table 5와 같다. 전시료 모두 상관계수 값은 0.99이상으로 매우 높았다. 정제 방법 차이에 따른 유동지수 값은 ethanol, CaCl₂, HCl route 순으로 낮고 ethanol route로 정제한 알긴산은 전시료 모두 비뉴턴 특성을 나타내었다. 반면에 CaCl₂와 HCl route로 정제한 알긴산은 고농도인 2.5%에서는 유동 지수 값이 1미만으로 의가 소성을 나타내었으나 농도가 감소할수록 뉴턴 유체와 같은 특성을 나타내었다. 즉, 에탄올을 첨가하여 정제한 알긴산이 다

Table 6. Constants for Arrhenius model for alginate solutions purified with three different methods from *Sargassum horneri*

Purification method	Shear rate (1/s)	E _a (KJ/mol) ¹	K (10 ⁻⁵ Pa.s) ²	R ³
CaCl ₂ route	500	18.64	0.41	0.9953
	1,000	17.16	0.74	0.9919
	1,500	14.68	2.15	0.9819
	2,000	13.53	3.68	0.9871
HCl route	500	19.21	0.29	0.9968
	1,000	16.81	0.8	0.9835
	1,500	14.66	2.07	0.9756
	2,000	13.42	3.7	0.9588
Ethanol route	500	10.67	13.8	0.9845
	1,000	11.02	9.81	0.9906
	1,500	10.24	13.95	0.9845
	2,000	9.51	18.96	0.9692

¹Activation energy of flow. ²Frequency factor. ³Deremination coefficient.

른 시료에 비해 유동 특성 차이가 나는 것은 정제 방법이 단순하고 FT-IR 측정시에 황산기가 검출된 점을 미루어 볼 때 순도 차이 때문으로 여겨진다. 또한 전시료 모두 점조도 지수는 농도 증가에 따라 증가하였다. 이는 농도가 증가함에 따라 유동지수는 감소하고 점조도 지수는 증가한다는 기존의 보고와 일치한다(vitali and Rao, 1984).

온도변화에 따른 점도 변화

온도가 알긴산 용액(1.5%)의 점도에 미치는 영향을 조사하기 위해 전단속도 500 s⁻¹에서 온도를 달리하면서 전단응력을 측정하였다(Fig. 5). 전시료 모두 온도가 증가함에 따라 전단응력이 감소하였다. 온도 변화와 정제 방법의 차이가 알긴산 용액의 점도에 미치는 영향을 알아보기 위해 온도를 달리하면서 Arrhenius 식을 이용하여 활성화 에너지를 구하였다(Table 6). 전시료 모두 전단 속도가 증가함에 따라 활성화 에너지가 감소하였다. 정제 방법 차이에 따른 활성화 에너지 값은 ethanol route가 9.51-10.67 kJ/mol로 가장 낮았고, CaCl₂와 HCl route는 각각 13.53-18.64 kJ/mol, 13.42-19.21 kJ/mol로 큰 차이가 없었다. 반면에 무한 겔보기 점도인 K값은 전시료 모두 전단속도 증가에 따라 증가하였고, ethanol route가 가장 높았다. 활성화 에너지는 용액이 유동성을 나타내기 위해 필요한 최소한의 에너지로, 낮은 활성화 에너지는 다당 내부 및 다당 간의 상호 작용이 약하고 온도 의존성이 낮음을 나타낸다(Paul et al., 2001). 따라서 ethanol route로 정제한 알긴산이 활성화 에너지가 가장 낮은 것은 후코이단의 혼입등 순도 차이 때문으로 여겨진다.

사 사

이 논문은 2015년 군산대학교 교수 장기국외연수경비의 지원에 의하여 연구되었음.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official method of analysis of AOAC international. 15th. Ed.Arlington, VA, U.S.A., 777-788.
- Boo HJ, Moon HS, Lee Y, Jeon TJ and Chun JY. 2020. Appearance characteristics and antioxidant activity of Jeju coast *Sargassum horneri* according to collecting time. J Korean Soc Food Sci Nutr 49, 485-492. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2020.49.5.485>.
- Chale-Dzul J, Moo-Puc R, Robledo D and Freile-Pelegrin Y. 2015. Hepatoprotective effect of the fucoidan from the brown seaweed *Turbinaria tricostata*. J Appl Phycol 27, 2123-2135. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0429-9>.
- Chandía NP and Matsushiro B. 2008. Characterization of fucoidan from *Lessonia vadosa* (Pheophyta) and its anticoagulant and elicitor properties. Int J Biol Macromol 42, 235-240. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2007.10.023>.

- Choi JG, Lee SG, Han SJ, Cho MH and Lee PC. 2014. Effect of gamma irradiation on the structure of fucoidan. *Radiat Phys Chem* 100, 54-58. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.03.018>.
- Furneaux RH, Miller IJ and Stevenson TT. 1990. Agaroids from New Zealand members of the *Gracilariaceae* (*Gracilariiales*, *Rhodophyta*) - a novel dimethylated agar. *Hydrobiologia* 204/205, 645-654. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2049-1_94.
- Hwang EK, Lee SJ, Ha DS and Park CS. 2016. *Sargassum* Golden Tides in the Shinan-gun and Jeju Island, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 689-693. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0689>.
- Jeong DY, Jeong DI, Jeong SM and Kim YJ. 2017. Production of bioethanol via *Sargassum horneri* fermentation. *J Korean Soc Urban Environ* 17, 19-24.
- Jun JY, Lee SY, Kim BM and Jeong IH. 2011. Effect of lactic acid extracts of *Sargassum horneri* on bone formation in female sprague-dawley rats. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 25-30. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.44.1.025>.
- Khajouei RA, Keramat J, Hamdami N, Ursu A, Delattre C, Laroche C, Gardarin C, Lecerf D, Desbrières J, Djelveh G and Michaud P. 2018. Extraction and characterization of an alginate from the Iranian brown seaweed *Nizimuddinia zanardini*. *Int J Biol Macromol* 118, 1073-1081. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.154>.
- Kim DS and Park YH. 1985. Uronic acid composition, block structure and some related properties of alginic acid. *Bull Korean Fish Sci* 18, 124-130.
- Koo JG, Jo KS, Do JR and Woo SJ. 1995. Isolation and purification of fucoidans from *Laminaria religiosa* and *Undaria pinnatifida* in Korea. *Korean J Fish Sci* 28, 227-236.
- Koo JG, Jo KS and Park JH. 1997. Rheological properties of fucoidans from *Laminaria religiosa*, sporophylls of *Undaria pinnatifida*, *Hizikia fusiforme* and *Sargassum fulvellum* in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 30, 329-333.
- Leal D, Matsuhino B, Rossi M and Caruso F. 2008. FT-IR spectra of alginic acid block fractions in three species of brown seaweeds. *Carbohydr Res* 343, 308-316. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2007.10.016>.
- Mazumder A, Holdt SL, Francisci DD, Alvarado-Morales M, Mishra HN and Angelidaki I. 2016. Extraction of alginate from *Sargassum muticum*: process optimization and study of its functional activities. *J Appl Phycol* 28, 3625-3634. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0872-x>.
- Murakami K, Yamaguchi Y, Noda K, Fujii T, Shinohara N, Ushirokawa T, Sugawa-Katayama Y and Katayama M. 2011. Seasonal variation in the chemical composition of a marine brown alga, *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh. *J Food Compos Anal* 24, 231-236. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.08.004>.
- Murakami K, Matoba Y, Noda K, Yamaguchi Y, Fujii T, Shinohara N, Akimoto T, Sugawa-Katayama Y and Katayama M. 2009. Seasonal variation in the chemical compositions of akamoku *Sargassum horneri* harvested in Chikuzen sea, Fukuoka prefecture. *Aquaculture Sci* 57, 549-556.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2009. Chemical composition of marine products in Korea 2009. NIFS, Busan, Korea, 122-123.
- Paula RCM, Santana SA and Rodrigues JF. 2001. Composition and rheological properties of *Albizia lebbek* gum exudates. *Carbohydr Polym* 44, 133-139. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00213-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00213-7).
- Peng Y, Xie E, Zheng K, Fredimoses M, Yang X, Zhou X, Wang Y, Yang B, Lin X, Liu J and Liu Y. 2013. Nutritional and chemical composition and antiviral activity of cultivated seaweed *Sargassum naozhouense* Tseng et Lu *Mar Drugs* 11, 20-32. <https://doi.org/10.3390/md11010020>.
- Rao MA and Anantheswaran RC. 1982. Rheology of fluids in food processing. *Food Technol* 36, 116-126.
- Shibata H, Kimura TI, Nagaoka M, Hashimoto SM, Sawada H, Ueyama S and Yokokura T. 1999. Inhibition effect of *Cladophora* fucoidan on the adhesion of *Helicobacter pylori* to human gastric cells. *J Nutr Sci Vitaminol* 45, 325-336. <https://doi.org/10.3177/jnsv.45.325>.
- Shibata H, Iimuro M, Uchiya N, Kawamori T, Nagaoka M, Ueyama S, Hashimoto S, Yokokura T, Sugimura T and Wakabayashi K. 2003. Preventive effects of *Cladophora* fucoidan against *Helicobacter pylori* infection in Mongolian gerbils. *Helicobacter* 8, 59-65. <https://doi.org/10.1046/j.1523-5378.2003.00124.x>.
- Vitali AA and Rao MA. 1984. Flow properties of low pulp concentrated orange juice; effect of temperature and concentration. *J Food Sci* 49, 882-888. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13233.x>