

## 다시마 (*Laminaria japonica*) 알긴산의 분자량 분포에 미치는 가수분해 pH의 영향

임영선 · 유병진\*  
강릉대학교 식품과학과

### Effects of Hydrolysis pH on Distribution of Molecular Weights of Alginates of Sea Tangle *Laminaria japonica*

Yeong-Seon LIM and Byeong-Jin YOU\*

Department of Food Science, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

To prepare oligouronic acids from high-molecular-weight alginates, sea tangle (*Laminaria japonica*) alginates were hydrolyzed at various pHs for 1 hr at 80°C. The effects of hydrolysis pH (HpH) on the average molecular weight (AMW) and MW distribution ratios (DRs) in the hydrolyzed alginates were investigated. As HpH decreased, the DRs of the alginates with MW>500 kDa and MW=300-500 kDa decreased exponentially, while it increased exponentially for MW<50 kDa. For MW=100-300 kDa, DR increased exponentially as HpH fell from 5.0 to 3.5, and then decreased exponentially. Similarly, for MW=50-100 kDa, DR increased exponentially as HpH increased to 1.0 from 5.0, and then decreased exponentially. As HpH decreased, the MW cutoff size and AMW of alginates fraction with the highest DR were decreased. For HpH 4.5 and 5.0, the MW cutoff size with the highest DRs was MW=300-500 kDa; the DRs were 28.9 and 32.6%, respectively; and the AMW of both was about 400 kDa, for HpH 3.5 and 4.0, the cutoff size was MW=100-300 kDa; the DRs were about 28%; and the AMWs were both about 200 kDa. For HpH 3.0, the cutoff size was MW=50-100; the DR was 29.0%; and the AMW was 73 kDa. For HpH values below 2.0, the MW cutoff size with the highest DRs was MW<50 kDa, and all of the AMWs were below 28 kDa.

Key words: Alginates, Average molecular weight (AMW), Distribution ratio of MW (DR), Hydrolysis pH (HpH), MW cutoff size

#### 서 론

알긴산은 2종류의 구성당인 D-mannuronic acid와 L-guluronic acid가 block 형식으로 결합되어 있는 물질로서  $\beta$ -D-mannuronopyranosyl unit와  $\alpha$ -L-guluronopyranosyl unit가 1→4 결합으로 연결되어 있으며 (Haug et al., 1967), 2종류의 구성당 중 하나의 당으로만 결합된 부위와 2 종류의 당이 함께 결합된 부위로 구성되어있는 것 (Haug et al., 1966, 1967; Penman and Sanderson, 1972; Sime, 1990)으로 알려져 있다. 최근 알긴산의 생리적 효과에 대한 관심이 높아지면서 많은 연구 (Hidaka et al., 1986; Fujihara and Nagumo, 1993; Hideki et al., 1993; Suzuki et al., 1993; Fujiki et al., 1994; Hajime et al., 1994; Kobayashi et al., 1997)가 이루어져 왔다. 알긴산의 생리적 효과는 알긴산 분자량과 uronic acid의 조성에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로 (Kobayashi et al., 1997; You et al., 1997) 알긴산의 uronic acid의 조성에 관하여는 많은 연구가 이루어졌으나, 알긴산의 분자량과 특정 분자량의 분포가 알긴산 생리적 효과에 미치는 영향을 조사한 연구는 미미한 실정이다. 알긴산의 분자량과 uronic acid 조성은 해조

의 종류, 연령, 해조조직의 형태 및 알긴산 추출방법 등에 따라 달라지는데 (You and Lim, 2003; You et al., 2004), 특히 알긴산의 분자량은 추출조건에 큰 영향을 받으므로 제조공정 중 분자량을 조절하는 것은 알긴산 공업에 있어 매우 중요하다.

알긴산의 분자량을 측정하는 방법에는 여러 가지가 있다. Light scattering (Turquois and Gloria, 2000), high-performance size-exclusion chromatography (Nagasawa et al., 2000) 및 gel permeation chromatography (Hein et al., 2000)를 이용하는 방법은 고가의 장비를 갖추는 것이 필수적이므로 중소기업에서 이러한 방법을 채택하기에는 한계가 있다. 그리고 고유점도를 측정하여 분자량을 계산하는 방법 (Manciniet al., 1996; Chen et al., 1997; You and Lim, 2003)은 고유점도에 영향을 주는 유리상태의 금속이온들이 다량 알긴산에 함유되어 있으므로 (You et al., 2004), 정제과정을 통해 이 성분을 제거해야 하는 번거로움이 있다. 그러나 Uronic acid의 환원력을 측정하여 중합도 (degree of polymerization: DP)를 산출하고, 이것을 통하여 평균분자량을 측정하는 방법은 알긴산의 정제과정 없이 분자량을 간편하고 정확하게 측정할 수 있다고 보고 (You et al., 2004)되어 있어, 분자량 측정이 비교적 쉽고 정확하므로

\*Corresponding author: ybjin@kangnung.ac.kr

알긴산공업에서 제조과정 중 변화하는 알긴산 분자량을 정확하고 신속하게 측정할 수 있을 뿐 아니라 필요한 크기의 분자량을 지닌 알긴산의 생산이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 고분자알긴산으로부터 oligouronic acids를 제조할 목적으로 다시마 알긴산을 pH를 달리하여 가수분해할 때 생성되는 알긴산의 평균분자량과 분자량분포율을 측정하였다.

**재료 및 방법**

**알긴산의 추출 및 정제**

다시마로부터 알긴산을 추출하는 조작은 You and Lim (2003)의 방법에 따랐다. 건조 다시마분말 (pore size, 500 μm 이하)을 50배 용량의 0.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 용액에 현탁한 후 60℃ 항온수조에서 교반하면서 6시간 동안 추출하였다. 추출한 용액은 원심분리 (4,000×g, 20 min)하여 상층액을 취하고 동량의 methanol을 가하여 알긴산을 침전·회수한 다음, 다시 동량의 methanol로 3회 세척하였다. 세척된 알긴산은 stainless steel로 제작된 30°의 경사면에 얹어놓고 25℃, 풍속 2 m/sec의 공기로 풍건(수분함량 10% 이하)한 후, 마쇄하여 진공 desiccator에 보관하면서 실험에 사용하였다.

**수분, 회분 및 uronic acid 함량**

건조한 알긴산의 수분함량은 상압가열건조법 (AOAC, 1990), 회분함량은 건식회화법 (AOAC, 1990), 그리고 uronic acid의 함량은 phenol-sulfuric acid법 (Dubois et al., 1956)으로 각각 측정하였다.

**알긴산의 가수분해**

건조한 알긴산은 탈이온수에 녹여 1% 용액으로 제조하고, 여기에 pH 0.5-2.5는 HCl 용액으로, pH 3.0-5.0은 구연산으로 각각 pH를 조절한 후, 80℃에서 60분 동안 가수분해하였다.

**알긴산의 분획, 평균분자량 및 분자량분포율 측정**

가수분해한 알긴산은 MW cutoff 500, 300, 100 및 50 kDa의 한외여과막 (Millipore Corp., USA)을 사용하여 분획하고 분액의 평균분자량 (average molecular weight: AMW)과 분자량분포율 (distribution ratio of molecular weight; DR)은 Lim and You (2005)의 방법에 따라 각각 측정하였다.

**통계분석**

5회 반복 측정된 모든 실험결과는 SPSS program 12.0 (SPSS Inc., 2004)의 one-way ANOVA test를 실시하여 분산분석을 통해 평균 ± 표준오차를 구하였으며, 평균 간의 유의성은 95% 유의수준 (p<0.05)에서 Duncan's multiple test (1955)로 검정하였다.

**결과 및 고찰**

본 실험에 사용한 다시마알긴산의 성분함량과 AMW를 Table 1에, MW cutoff size에 따른 DR을 Table 2에 각각 나타내

Table 1. The physical properties of alginates<sup>1</sup> used in this study

Ash (g/100 g)	Uronic acid (g/100 g)	AMW (kDa)
21.5±0.3 <sup>2</sup>	77.3±0.7	1,013±12

<sup>1</sup>The alginates were extracted from sea tangle with 0.5% sodium carbonate solution for 6 hr at 60℃.

<sup>2</sup>All data were expressed as mean±SE of dry basis with 5 replications.

Table 2. The distribution ratios of MW cutoff sizes in alginates used in this study

MW cutoff (kDa)	Distribution ratio (%) <sup>1</sup>	AMW (kDa)
>500	67.4±3.7 <sup>2a</sup>	1,307±13 <sup>a</sup>
300-500	20.0±2.2 <sup>b</sup>	499± 8 <sup>b</sup>
100-300	10.2±1.5 <sup>c</sup>	299± 5 <sup>c</sup>
50-100	1.8±0.5 <sup>d</sup>	99± 7 <sup>d</sup>
<50	0.6±0.2 <sup>e</sup>	49± 6 <sup>e</sup>

<sup>1</sup>The distribution ratios were expressed as the percentage of content (mg/100 g) of alginates having a certain MW cutoff size to total alginates content (mg/100 g).

<sup>2</sup>All data (mean±SE with 5 replications) within a column with difference superscripts were significantly difference at p<0.05.

었다. 회분함량은 21.5%, uronic acid의 함량은 77.3%이었으며, AMW는 1,013 kDa으로 고분자다당류임을 확인하였다 (Table 1). 이 고분자알긴산은 MW 500 kDa 이상이 67.4%로 가장 많았으며 이때 AMW는 1,307 kDa이었고, MW 300-500 kDa이 20.2%로 AMW가 499 kDa, MW 100-300 kDa이 10.2%로 AMW가 299 kDa이었다. 그리고 MW 100 kDa 이하는 약 2.4%로 저분자알긴산이 거의 존재하지 않았다 (Table 2).

pH를 달리하면서 80℃에서 60분 동안 가수분해한 알긴산 용액의 DR과 AMW는 Table 3과 같다. HpH가 저하함에 따라 가수분해하기 전보다 AMW는 급격히 감소하여 DR은 MW cutoff size가 작은 쪽으로 이동하였다. 즉, HpH 4.5와 5.0인 경우 MW=300-500 kDa이 각각 28.9와 32.6%로 DR이 가장 높았으며 이 때 AMW는 각각 383과 387 kDa이었다. HpH 4.0인 경우, MW=100-300 kDa의 DR이 28.3%로 가장 높았으며 AMW가 190 kDa이었고, HpH 3.0와 3.5인 경우, MW=50-100 및 100-300 kDa의 DR이 각각 29.0과 28.5%로 가장 높았으며 AMW는 각각 73과 185 kDa을 나타내었다. HpH 2.5-0.5의 경우, MW=50 kDa 이하의 cutoff size가 가장 높은 DR을 나타내었으며 HpH가 감소할수록 DR이 증가하였으나 AMW는 22-28 kDa으로 크게 변하지 않았다.

80℃에서 1시간 동안 고분자알긴산을 가수분해할 때 HpH에 따른 MW cutoff size의 AMW 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 분획하기 전의 경우 HpH가 저하하면 AMW는 지수적으로 감소하였으며, 그 변화는 식 (1)과 같다.

$$AMW=10.3 \exp (0.188 \text{ HpH}), r^2=0.993 \dots\dots\dots(1)$$

HpH에 따른 AMW의 변화속도는 0.188이고, 결정계수 (r<sup>2</sup>)는 0.99로 HpH와 AMW 간에 매우 높은 상관성을 보였다.

Table 3. The changes of distribution ratios of MW cutoff sizes in alginates hydrolyzed at various HpHs for 1 hr at 80°C

Hydrolysis pH	MW cutoff (kDa)	Distribution ratio <sup>1</sup> (%)	AMW (kDa)
0.5	before	100.0	37±5
	>500	nd <sup>2</sup>	nd
	300-500	nd	nd
	100-300	2.9±0.7 <sup>c3</sup>	129±5 <sup>a</sup>
	<50	60.7±1.7 <sup>a</sup>	22±3 <sup>c</sup>
1.0	before	100.0	49±4
	>500	nd	nd
	300-500	1.0±0.2 <sup>c</sup>	301±13 <sup>a</sup>
	100-300	7.3±0.8 <sup>c</sup>	139±7 <sup>b</sup>
	<50	50.9±5.5 <sup>a</sup>	23±6 <sup>d</sup>
1.5	before	100.0	63±7
	>500	nd	nd
	300-500	3.2±0.2 <sup>d</sup>	306±9 <sup>a</sup>
	100-300	12.2±0.9 <sup>c</sup>	147±14 <sup>b</sup>
	<50	46.1±3.0 <sup>a</sup>	25±3 <sup>a</sup>
2.0	before	100.0	86±5
	>500	1.7±0.7 <sup>c</sup>	504±17 <sup>a</sup>
	300-500	5.9±0.5 <sup>c</sup>	312±13 <sup>b</sup>
	100-300	16.2±2.4 <sup>b</sup>	157±10 <sup>c</sup>
	<50	41.0±4.3 <sup>a</sup>	26±9 <sup>e</sup>
2.5	before	100.0	119±7
	>500	4.2±0.3 <sup>d</sup>	514±19 <sup>a</sup>
	300-500	9.9±0.9 <sup>c</sup>	332±3 <sup>b</sup>
	100-300	20.3±4.4 <sup>b</sup>	167±13 <sup>c</sup>
	<50	35.0±2.7 <sup>a</sup>	28±7 <sup>e</sup>
3.0	before	100.0	158±15
	>500	7.0±0.6 <sup>c</sup>	530±4 <sup>a</sup>
	300-500	14.2±3.3 <sup>b</sup>	350±9 <sup>b</sup>
	100-300	24.5±1.6 <sup>a</sup>	176±15 <sup>c</sup>
	<50	25.3±2.2 <sup>a</sup>	29±5 <sup>e</sup>
3.5	before	100.0	192±10
	>500	8.8±0.7 <sup>c</sup>	558±6 <sup>a</sup>
	300-500	17.7±2.0 <sup>b</sup>	364±13 <sup>b</sup>
	100-300	28.5±3.2 <sup>a</sup>	185±10 <sup>c</sup>
	<50	19.3±1.1 <sup>b</sup>	31±5 <sup>e</sup>
4.0	before	100.0	214±9
	>500	10.2±1.9 <sup>d</sup>	575±5 <sup>a</sup>
	300-500	20.4±4.8 <sup>bc</sup>	376±10 <sup>b</sup>
	100-300	28.3±3.7 <sup>a</sup>	190±12 <sup>c</sup>
	<50	16.4±1.7 <sup>c</sup>	32±8 <sup>e</sup>
4.5	before	100.0	267±8
	>500	11.6±2.6 <sup>c</sup>	654±12 <sup>a</sup>
	300-500	28.9±5.8 <sup>a</sup>	383±15 <sup>b</sup>
	100-300	26.5±4.4 <sup>ab</sup>	217±16 <sup>c</sup>
	<50	13.0±1.9 <sup>c</sup>	36±7 <sup>e</sup>
5.0	before	100.0	294±6
	>500	13.3±1.3 <sup>c</sup>	688±16 <sup>a</sup>
	300-500	32.6±0.7 <sup>a</sup>	387±19 <sup>b</sup>
	100-300	24.1±1.1 <sup>b</sup>	228±10 <sup>c</sup>
	<50	11.8±1.2 <sup>d</sup>	37±5 <sup>e</sup>

<sup>1,2</sup>Refer to Table 2.

<sup>3</sup>The nd indicates not detected.

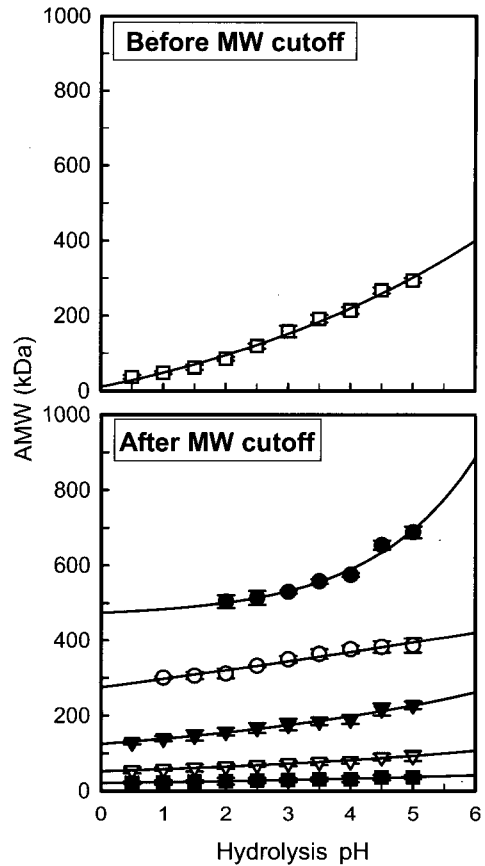


Fig. 1. The relationship between HpH and AMW in alginates hydrolyzed for 1 hr at 80°C.

- Before  
AMW=10.3 exp (0.188 HpH),  $r^2=0.993$
- MW>500 kDa  
AMW=474.3 exp (0.604 HpH),  $r^2=0.978$
- MW>300-500 kDa  
AMW=275.3 exp (0.234 HpH),  $r^2=0.969$
- ▼ MW>100-300 kDa  
AMW=124.8 exp (0.185 HpH),  $r^2=0.988$
- ▽ MW>50-100 kDa  
AMW=52.6 exp (0.165 HpH),  $r^2=0.989$
- MW>50 kDa  
AMW=20.9 exp (0.149 HpH),  $r^2=0.990$

MW cutoff size별로 분획한 후에도 HpH가 저하하면 AMW가 지수적으로 감소하였고, 이들의 변화를 식 (2)-(6)에 각각 나타내었다.

$$\text{AMW}=474.3 \exp (0.604 \text{ HpH}), r^2=0.978 \text{ for MW}>500 \text{ kDa} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{AMW}=275.3 \exp (0.234 \text{ HpH}), r^2=0.969 \text{ for MW}=300-500 \text{ kDa} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{AMW}=124.8 \exp (0.185 \text{ HpH}), r^2=0.988 \text{ for MW}=100-300 \text{ kDa} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{AMW}=52.6 \exp (0.165 \text{ HpH}), r^2=0.989 \text{ for MW}=50-100 \text{ kDa} \dots\dots\dots (5)$$

$$AMW=20.9 \exp (0.149 \text{ HpH}) \quad r^2=0.990 \text{ for } MW<50 \text{ kDa} \dots\dots\dots (6)$$

MW cutoff size별 HpH에 따른 AMW의 변화속도는 각각 0.604, 0.234, 0.185, 0.165 및 0.149로 나타나 MW cutoff size가 작아짐에 따라 감소하였다. 이것은 알긴산의 분자량이 작을수록 구성당의 사슬길이나 수가 적어져 HpH에 의한 분해속도가 저하되어 AMW를 감소시키기 위한 가수분해가 어려워짐을 의미한다. 그리고 분획 전과 같이 분획 후에도 결정계수 ( $r^2$ )가 0.96 이상으로 매우 높은 상관성을 보여 HpH에 따라 알긴산의 AMW가 일정하게 변화하고 있음을 나타내었다.

Fig. 2는 80°C에서 1시간 동안 고분자알긴산을 가수분해할 때 HpH에 따른 MW cutoff size별 DR의 변화를 나타낸 것이다. MW>500 kDa와 MW=300-500 kDa 경우, DR은 HpH가 저하함에 따라 각각 식 (7)과 (8)에 따라 지수적으로 감소하였다.

$$DR=-2.4 \exp (0.125 \text{ HpH}), \quad r^2=0.970 \dots\dots\dots (7)$$

$$DR=-3.8 \exp (0.118 \text{ HpH}), \quad r^2=0.993 \dots\dots\dots (8)$$

MW=100-300 kDa 경우, HpH 3.5 이상에서 DR이 지수적으로 증가하다가 그 이하에서는 지수적으로 감소하였으며, 그 증감율은 식 (9), (10)에 따르는 것으로 나타났다.

$$DR=-0.9 \exp (0.080 \text{ HpH}), \quad r^2=0.999 \dots\dots\dots (9)$$

$$DR=34.8 \exp (-0.077 \text{ HpH}), \quad r^2=0.988 \dots\dots\dots (10)$$

MW=50-100 kDa의 경우, DR의 변화는 MW=100-300 kDa 과 비슷한 경향으로 HpH 1.0 이상에서 지수적으로 증가하다가 그 이하에서는 지수적으로 감소하였다. 그 변화는 각각 식 (11)과 (12)에 따랐다.

$$DR=32.5 \exp (0.048 \text{ HpH}), \quad r^2=0.999 \dots\dots\dots (11)$$

$$DR=47.9 \exp (-0.119 \text{ HpH}), \quad r^2=0.991 \dots\dots\dots (12)$$

MW<50 kDa의 경우, DR의 변화는 식 (13)과 같이 HpH가 저하함에 따라 지수적으로 증가하였다.

$$DR=69.7 \exp (-0.194 \text{ HpH}), \quad r^2=0.988 \dots\dots\dots (13)$$

이상의 결과와 같이, HpH가 저하함에 따라 알긴산의 AMW가 감소하여 MW cutoff size가 작은 쪽으로의 DR 증가율이 커짐을 보였다. 이것은 알긴산의 분자량이 클수록 구성당의 사슬길이가 길어 HpH의 저하에 따른 분해속도가 빨라져 MW cutoff size가 작은 쪽으로의 DR이 증가하였음을 의미한다. 또한 HpH의 저하에 따른 MW cutoff size별 DR의 변화는 MW 300 kDa 이상의 경우 알긴산의 분자량이 클수록 DR 감소율이 컸으며, MW=100-300 kDa와 MW=50-100 kDa의 경우 최대 DR의 분기점인 HpH가 각각 3.5와 1.0으로 나타나 알긴산의 분자량이 작을수록 최대DR의 분기점 HpH는 낮아지며, DR 증가율은 높아짐을 보였다. MW 50 kDa 이하의 알긴산 분자량에서는 HpH가 저하함에 따라 DR 증가율이 커지는 것으로 나타났다. 그리고 모든 MW cutoff size에서 HpH에 대한 DR의 결정계수 ( $r^2$ )가 0.97 이상으로 매우 높은 상관성을 보여 위의

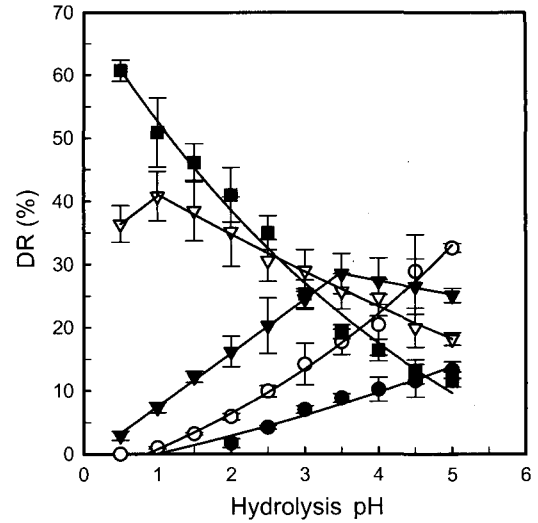


Fig. 2. The relationship between HpH and DR of MW in alginates hydrolyzed for 1 hr at 80°C.

- MW>500 kDa  
pH 0.5-5.0: DR=-2.4 exp (0.125 HpH),  $r^2=0.970$
- MW>300-500 kDa  
pH 0.5-5.0: DR=-3.8 exp (0.118 HpH),  $r^2=0.993$
- ▼ MW>100-300 kDa  
pH 0.5-3.5: DR=-0.9 exp (0.080 HpH),  $r^2=0.999$   
pH 3.5-5.0: DR=34.8 exp (-0.077 HpH),  $r^2=0.988$
- ▽ MW>50-100 kDa  
pH 0.5-1.0: DR=32.5 exp (0.048 HpH),  $r^2=0.999$   
pH 1.0-5.0: DR=47.9 exp (-0.119 HpH),  $r^2=0.991$
- MW>50 kDa  
pH 0.5-5.0: DR=69.7 exp (-0.194 HpH),  $r^2=0.988$

Table 4. The MW cutoff sizes and their AMWs of alginates having maximum DRs of MW after hydrolysis at various pHs for 1 hr at 80°C

Hydrolysis pH	MW cutoff (kDa)	Distribution ratio <sup>1</sup> (%)	AMW (kDa)
before	>500	67.4±3.7	1,307±13
0.5	<50	60.7±1.7	22±3
1.0	<50	50.9±5.5	23±6
1.5	<50	46.1±3.0	25±3
2.0	<100	76.2±5.7	45±2
2.5	<100	65.6±3.5	47±2
3.0	<300	78.8±4.1	91±8
3.5	50-300	54.2±3.5	134±8
4.0	100-300	28.3±3.7	190±12
4.5	300-500	28.9±5.8	383±15
5.0	300-500	32.6±0.7	387±19

<sup>1</sup>Refer to Table 2.

식 (1)-(13)을 이용하면 산업적으로 원하는 분자량의 알긴산 대량생산이 가능할 것으로 판단된다.

80°C에서 1시간 동안 가수분해할 때, HpH에 따른 MW cutoff size별로 최대의 DR을 Table 4에 나타내었다. 가수분해 전 알긴산의 최대 DR은 500 kDa 이상의 MW cutoff size에서 AMW가 약 1,300 kDa인 고분자 uronic acid를 67% 정도 함유하고 있었다. 가수분해 후의 알긴산은 HpH가 저하함에 따라

AMW의 감소되며 최대 DR의 MW cutoff size는 감소하였다.

## 사 사

본 연구는 산업자원부 지정 해양바이오신소재클러스터 사업단 (주관대학: 강릉대학교) 2005년도 사업에 의해 수행된 것으로 지원해 주신 사업단에 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, USA, 17, 1-868.
- Chen, S.L., A.I. Yeh and S.B. Wu. 1997. Effects of particle radius, fluid viscosity and relative velocity on the surface heat transfer coefficient of spherical particles at low Reynolds numbers. *J. Food Eng.*, 31, 473-484.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, 350-356.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- Fujihara, M. and T. Nagumo. 1993. An influence of the structure of alginate on the chemotactic activity of macrophages and the antitumor activity. *Carbohydr. Res.*, 243, 211-215.
- Fujiki, K., H. Matsuyama and T. Yano. 1994. Protective effect of sodium alginates against bacterial infection in common carp, *Cyprinus carpio*. *L. J. Fish Dis.*, 17, 349-354.
- Hajime, O., S. Yasushi, Y. Kanto, U. Isamu and K. Koichi. 1994. Possible antitumor promoting properties of marine algae and *in vitro* activity of Wakame seaweed extract. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 56, 994-999.
- Haug, A., B. Larsen and O. Smidsrød. 1966. A study of the constitution of alginic acid by partial acid hydrolysis. *Acta Chem. Scand.*, 20, 183-190.
- Haug, A., B. Larsen and O. Smidsrød. 1967. Studies on the sequence of the uronic acid residues in alginic acid. *Acta Chem. Scand.*, 21, 691-704.
- Hidaka, H., T. Eida, T. Takizawa, T. Tokuzawa and Y. Tashiro. 1986. Effect of fructooligosaccharide on intestinal flora and human health. *Bifido. Micro.*, 5, 37-50.
- Hideki, O., S. Jitsuo and K. Yoshinari. 1993. Direct control of the constituents ratio in a wide range in alginate produced by *Azobacter vinelandii*. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 57, 332-336.
- Hein, N.Q., N. Nagasawa, L.X. Tham, F. Yoshii, V.H. Dang, H. Mitomo, K. Makuuchi and T. Kume. 2000. Growth-promotion of plants with depolymerized alginates by irradiation. *Rad. Phys. Chem.*, 59, 97-101.
- Kobayashi, N., Y. Kanazawa, S. Yamabe, K. Iwata, M. Nishizawa, T. Yamagishi, O. Nishikaze and K. Tsuji. 1997. Effects of depolymerized sodium alginate on serum total cholesterol in healthy women with a high cholesterol intake. *J. Home Econ. Jap.*, 48, 230-255.
- Lim, Y.S. and B.J. You. 2005. The effects of hydrolysis time on the molecular weight distribution of alginates prepared from sea tangle. *J. Fish. Sci. Technol.*, 8, 113-117.
- Mancini, M., M. Moresi and F. Sappino. 1996. Rheological behaviour of aqueous dispersions of algal sodium alginates. *J. Food Eng.*, 28, 283-295.
- Nagasawa, N., H. Mitomo, F. Yoshii and T. Kume. 2000. Radiation-induced degradation of sodium alginate. *Polymer Degrad. Stabil.*, 69, 279-285.
- Penman, A. and G.R. Sanderson. 1972. A method for the determination of uronic acid sequence in alginate. *Carbohydr. Res.*, 25, 273-282.
- Sime, W.J. 1990. Alginates. In: *Food Gels*, Harris, P. (ed.). Elsevier, London, UK, 1-5378.
- SPSS Inc. 2004. SPSS base 12.0 for window, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, USA. IL, 60611.
- Suzuki, T., K. Nakai, Y. Yoshie, T. Shirai and T. Hirano. 1993. Digestibility of dietary fiber in brown alga, kombu, by rats. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 879-884.
- Turquois, T. and H. Gloria. 2000. Determination of the absolute molecular weight average and molecular weight distributions of alginates used as ice cream stabilizers by using multiangle laser light scattering measurements. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 5455-5458.
- You, B.J., Y.S. Im, I.H. Jeong and K.H. Lee. 1997. Effect of extraction conditions on bile acids binding capacity *in vitro* of alginate extracted from sea tangle (*Laminaria* spp.). *J. Kor. Fish. Soc.*, 30, 31-38.
- You, B.J. and Y.S. Lim. 2003. Effects of extracting and drying method on physical properties of alginates from sea tangle, *Laminaria japonica*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 36, 340-345.
- You, B.J., Y.S. Lim and H.S. Ryu. 2004. Effects of hot water treatment and dialysis on measuring the average molecular weight of alginates. *J. Kor. Fish. Soc.*, 37, 1-6.

2006년 4월 4일 접수  
2006년 8월 24일 수리