

## 감마선 조사가 알긴산과 카라기난의 물리적 특성에 미치는 영향

송유진<sup>1</sup> · 이소영<sup>1</sup> · 김꽃봉우리<sup>1</sup> · 박진규<sup>2</sup> · 김재훈<sup>2</sup> · 이주운<sup>2</sup> · 변명우<sup>2</sup> · 안동현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 식품생명공학부/식품연구소  
<sup>2</sup>한국원자력연구소 방사선연구원 방사선이용부

### Effect of Gamma Irradiation on the Physical Properties of Alginic Acid and $\lambda$ -Carrageenan

Eu-Jin Song<sup>1</sup>, So-Young Lee<sup>1</sup>, Koth-Bong-Woo-Ri Kim<sup>1</sup>, Jin-Gyu Park<sup>2</sup>, Jae-Hun Kim<sup>2</sup>,  
Ju-Woon Lee<sup>2</sup>, Myung-Woo Byun<sup>2</sup> and Dong-Hyun Ahn<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Food Science and Biotechnology/Institute of Food Science,  
Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>2</sup>Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute,  
Jeonbuk 580-185, Korea

#### Abstract

This study was carried out to find the effect of  $\gamma$ -irradiation on the physical properties of alginic acid and  $\lambda$ -carrageenan solution. Alginic acid and  $\lambda$ -carrageenan aqueous solution were irradiated with  $\text{Co}^{60}$   $\gamma$ -rays in dosages ranging from 3 to 100 kGy, and then the molecular weight, viscosity and color were measured. The molecular weight of alginic acid and  $\lambda$ -carrageenan solution were decreased as the  $\gamma$ -irradiation dosage increased. In addition, the viscosity of irradiated alginic acid and  $\lambda$ -carrageenan solution were decreased depending upon the  $\gamma$ -irradiation dosage, too. The high dosage irradiated alginic acid and  $\lambda$ -carrageenan solution's color were changed to yellow. These results suggest that low dosage of  $\gamma$ -irradiation from 3 to 20 kGy is a very effective method for producing low-molecular alginic acid and  $\lambda$ -carrageenan.

**Key words:**  $\gamma$ -irradiation, alginic acid,  $\lambda$ -carrageenan, molecular weight, viscosity, color

#### 서 론

다시마, 미역, 곰피 및 모자반과 같은 갈조류의 갈조엽체 세포벽에 다량 함유되어 있는 alginic acid은  $\alpha$ -L-guluronic acid와  $\beta$ -D-mannuronic acid가  $\beta$ -1,4 결합으로 연결되어 있으며(1), 두 종류 중 하나의 당만으로 결합된 부위와 두 종류가 교대로 결합된 부위로 구성되어 있다(2,3). Alginic acid의 물리·화학적 특성은 M/G 비율(mannuronic/guluronic acid ratio)이나 분자량에 따라 달라지며 겔 형성능, 점도 증진성, 결합성, 점착성, 윤활성 및 필름 형성능 등이 뛰어나 식품, 화장품, 제지 및 의약품 등 여러 분야의 산업에 응용되고 있다(4,5). 최근 alginic acid의 생리활성 효과에 대한 관심이 증대되면서 많은 연구가 진행되어 중금속 및 방사능 물질의 체외배출, 콜레스테롤 침착 방지, 변비 치유 및 비만 억제, 당뇨 예방, 항암, 항알레르기 및 항염증 효과 등이 보고되었다(6-8).

Carrageenan은 돌가사리류나 진두발류 등의 홍조류에 다량 함유되어 있는 점질성 다당류로 D-galactose와 3,6-an-

hydro-D-galactose가  $\alpha$ -1,3 또는  $\beta$ -1,4 결합한 구조에 황산기가 위치를 달리하여 결합한 구조를 가지며, 황산기의 결합 위치에 따라  $\kappa$ -,  $\lambda$ -,  $\tau$ -carrageenan으로 나뉜다(9,10). Carrageenan은 구조에서 유래하는 독특한 물성으로 인해 다양한 분야에서 사용되고 있으며 특히 식품의 물성을 조절하는 당질로 유가공, 육가공 분야에서 증점제, 유허안정제, 보수제 등으로 이용되고 있다(10,11). 또한 황산기를 다량 함유한 carrageenan이 항혈액응고 작용, 항균 작용, 면역력 증진 작용, 항암 및 항알레르기 작용과 같은 기능성을 가지는 것으로 밝혀진 바 있다(12-14).

이와 같이 alginic acid와 carrageenan은 다양한 기능성을 가지고 있으나, 상온에서 용해되는데 시간이 많이 소요되며, 알콜류 용매에는 불용이고, 침전이 발생되며 또한 농도가 증가함에 따라 필요 이상의 강한 점성을 가져 사용이 제한되고 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 저분자 alginic acid와 carrageenan의 필요성이 대두되어, 현재까지 많은 연구들이 국내외에서 행해졌다. Alginic acid와 carrageenan을 기질로 특정 미생물 유래 효소를 이용하여 저분자 올리고당

\*Corresponding author. E-mail: dhahn@pknu.ac.kr  
Phone: 82-51-620-6429, Fax: 82-51-622-9248

의 제조와 기능적 특성이 보고되었고(15-18), 유기산 처리에 의한 alginic acid 올리고당과 carrageenan 올리고당의 제조(19,20), 감마선을 이용한 alginic acid의 저분자화(21), 초음파에 의한 carrageenan의 저분자화(22) 등의 연구가 이루어졌다.

현재까지 고분자 다당류의 올리고당화 방법에는 가열가수분해, 화학적 분해, 효소에 의한 분해법이 사용되고 있으나 이 모든 방법은 시간, pH, 화학약품이나 효소의 투여량, 고 비용, 제품의 불균일 등의 단점을 가지고 있어 산업적 활용 측면에서 어려움이 있다. 그러나 감마선 조사는 조사시 형성된 free radical에 의해 다당류 분자 중합체를 형성하고 있는 결합이 파괴되어 저분자의 올리고당을 형성시키는데(23), 감마선 발생 전원의 조절이 가능하여 공정제어, 정확성, 에너지 효율성 등의 장점이 있어 다당류의 저분자화의 용도로 시도되고 있다(24,25). 또한 식품에의 방사선 조사는 피조사체에 방사선 에너지(감마선, 전자선, X선 등)를 일정 시간 노출시켜 살균, 살충, 생장조절, 물성개선 등의 효과를 가져 올 수 있는 기술로, 처리 공정의 간편성, 처리효과의 명확성, 경제성, 안전성, 환경 친화성 등의 장점을 가지고 있어 그 활용과 연구가 활발히 진행되고 있다(26,27).

이에 본 연구에서는 대표적 해조 유래 기능성 다당류인 alginic acid와 λ-carrageenan에 감마선을 조사하여 조사선량에 따른 분자량, 점도, 색도의 변화를 측정하여 물리적 성질 변화를 살펴보고 이들 간의 상관관계를 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용한 alginic acid는 Sigma사(St. Louis, MO, USA)의 'alginic acid sodium salt from brown algae'를 구입하여 이용하였으며 λ-carrageenan은 Fluka사(Buchs, Switzerland)에서 구입하여 사용하였다.

### 감마선 조사

Alginic acid와 λ-carrageenan 분말은 초순수에 1 mg/mL와 5 mg/mL로 용해하여 수용액 상태로 조사되었다. 한국원자력연구원 정읍 분소에 있는 감마선 조사시설에서 100,000 Ci <sup>60</sup>Co을 선원으로 이용하여 실온에서 시간당 일정 선량률로 3, 5, 7, 10, 20, 100 kGy의 흡수선량을 얻도록 조사하였다. 감마선을 조사한 시료는 4°C 냉장보관하면서 실험에 이용하였다.

### 분자량 측정

감마선 조사를 한 alginic acid와 λ-carrageenan의 조사선량에 따른 분자량의 변화를 측정하기 위해 GPC(Gel Permeation Chromatography)를 이용하여 분자량(Mw)을 측정하였다. 1 mg/mL로 초순수에 녹인 시료를 pH 7의 buffer를 이용하여 1.0 mL/min 유속으로 300 μL씩 injection 하

였다. Detector는 Waters 2410 Differential Refractometer, Column은 2×PL aquagel OH Mixed(7.8×300 mm), 펌프는 Waters 515를 사용하였다. 분자량 표준 곡선은 pullulan을 표준품으로 하여 나타내었다.

### 점도 측정

감마선 처리 전, 후의 alginic acid와 λ-carrageenan 용액의 겔보기 점도는 원추평판형(Cone and plate) 회전점도계(Brookfield DV-II+viscometer, USA)를 사용하여 측정하였다. 즉 alginic acid와 λ-carrageenan 5 mg/mL 용액 4 mL를 주입하고 25°C를 유지하면서 40 cP용 spindle을 이용하여 회전속도를 0.5 rpm에서 30 rpm까지 바꾸어 가며 측정하였다.

### 색도 측정

감마선 처리한 시료의 색도는 색차계(JC801, Color techno system Co., Japan)를 이용하여 측정하였다. 감마선 조사한 alginic acid와 λ-carrageenan 5 mg/mL를 액체시료 전용 cell에 10 mL씩 넣고 L\*(명도), a\*(적색도), b\*(황색도) 값을 측정하였으며, 이때 사용된 표준색판은 L\*=93.73, a\*=-0.12, b\*=0.11이었다.

### UV spectrum 측정

감마선 처리한 alginic acid와 λ-carrageenan 5 mg/mL 용액을 UV-visible spectrophotometer(GENESYS 10 UV, Rochester, NY, USA)로 200-1100 nm에서 scanning하여 290 nm의 최대흡수파장을 얻어, 그 파장에서의 조사량에 따른 흡수 강도를 측정하였다.

### 통계처리

실험 결과의 통계처리는 각각의 시료에 대한 평균±표준오차로 나타내었다. SAS program을 이용하여 분산분석을 실시하였으며, 조사 항목들 간의 유의성 검정은 Duncan의 다중검정법으로 p<0.05 수준에서 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 감마선 조사에 따른 분자량의 변화

Alginic acid와 λ-carrageenan 용액을 3, 5, 7, 10, 20, 100 kGy 선량으로 감마선 조사한 후 GPC를 이용하여 조사선량에 따른 분자량 변화를 측정하였다(Table 1). 분자량 산출을 위해 표준품으로 pullulan을 사용하여 standard curve를 그려 샘플의 분자량 측정에 이용하였다. 고분자 물질에 감마선 조사 시 발생하는 반응으로는 분해반응, 가교결합 형성, 중합반응이 있는 것으로 보고되어 있으며(28), 다당류에 감마선 조사 시 glycosidic bond 결합이 파괴되어 저분자화되며 수용액 상태에서 조사할 경우 물의 radiolysis로 인해 생성된 free radical이 결합의 파괴에 직접 관여하여 반응을 촉진시키게 된다(23). 샘플의 분자량을 측정한 결과 감마선 조사하지 않은 alginic acid의 경우 분자량이 1,600 kDa 정도였으나

**Table 1.** Effect of  $\gamma$ -irradiation on the molecular weight of alginic acid and  $\lambda$ -carrageenan solution

Dosage of irradiation (kGy)	Mw (Da)	
	Alginic acid	$\lambda$ -Carrageenan
0	1,605,277	1,351,841
3	13,310	9,359
5	9,102	7,252
7	8,307	6,704
10	6,441	5,583
20	4,532	4,543
100	5,333	9,096

3 kGy 조사구에서 13.3 kDa으로 급격히 감소하였다. 조사량이 증가할수록 분자량이 감소하여 20 kGy 조사구에서 4.5 kDa까지 저분자화 되었으나 100 kGy 조사구에서는 분자량이 5.3 kDa으로 분자량 감소가 둔화되는 결과를 보였다.  $\lambda$ -Carrageenan 또한 alginic acid와 같은 경향을 보여 비조사구의 경우 분자량이 1,300 kDa이었으나 3 kGy 조사구에서 9.3 kDa으로 급격히 감소하였고 20 kGy까지는 조사량이 증가할수록 분자량이 감소하여 4.5 kDa까지 저분자화 되었다. 그러나  $\lambda$ -carrageenan 역시 100 kGy 조사구의 분자량이 9.1 kDa으로 분자량 감소가 둔화되는 것을 볼 수 있었다. 이는 0.3% 수용액 상태 alginic acid에 감마선을 조사 시 분자량이 125 kDa에서 100 kGy 조사 시 10 kDa까지 감소한다는 보고(29)와 1% 수용액 상태의 alginic acid의 분자량이  $6 \times 10^5$  (Mn)에서 200 kGy 조사 시  $8 \times 10^3$  (Mn)까지 감소한 결과(30)와 유사한 경향을 보인다. 그러나 본 실험에서는 고분자량의 alginic acid를 사용하여 일반적으로 이용하는 조건에서의 결과를 나타냈다. 따라서 실험결과에 있어서도 차이가 있어 본 실험의 경우 100 kGy의 고선량 조사 시 분자량이 20 kGy에 비해 증가되는 것으로 나타났다. 이는  $\lambda$ -carrageenan의 결과에서도 유사하게 나타나 고분자량의 상태에서는 고선량의 감마선 조사에 의해 분자 내 분해와 더불어 중합이 일어날 수 있음을 보여주는 것으로 저분자량으로 행한 실험결과와 차별화되는 것으로 사료된다. 이 외에도 쌀 전분에

감마선 조사 시 쌀 전분을 구성하는 amylopectin의 분자량이  $1.48 \times 10^6$  (Mw)에서 9 kGy 조사선량에서  $2.36 \times 10^8$  (Mw)까지 감소하는 결과(31)와 유사하다. 본 실험 결과를 통해 20 kGy 이하의 저선량의 감마선 조사로 저분자의 alginic acid와  $\lambda$ -carrageenan의 제조가 용이함을 확인하였다.

#### 감마선 조사에 따른 점도의 변화

3 kGy에서 100 kGy 선량의 감마선을 조사한 alginic acid와  $\lambda$ -carrageenan 용액의 조사선량에 따른 점도변화를 알아보기 위해 원추평판형 회전식 점도계를 이용하여 점도 변화를 측정하였다(Fig. 1). 그 결과 alginic acid 용액의 경우 비조사구의 점도가 29.4 cP이었으나 3 kGy 조사구에서는 3.07 cP, 7 kGy에서는 1.23 cP로 조사선량이 증가할수록 점도는 급격히 감소하였고, 그 이후 선량에서는 아주 낮은 점도를 보였으며 그 감소정도는 미미하였다.  $\lambda$ -Carrageenan 용액 비조사구의 점도는 23.1 cP로 alginic acid 용액에 비해 다소 낮았으며 3 kGy 조사구에서 2.04 cP, 5 kGy에서는 1.43 cP로 급격히 감소하였으며, 이후의 조사선량에서는 alginic acid와 마찬가지로 아주 낮은 점도를 보였으며 감소 정도 역시 미미하였다. 이 결과는 alginic acid와  $\lambda$ -carrageenan 용액의 분자량이 3 kGy 조사구에서 급격히 감소하고 조사선량이 증가함에 따라 감소한 결과와 동일한 경향으로, 이들의 점도가 분자량과 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 전분에 방사선을 조사할 경우 전분 내에 생성된 자유 라디칼에 의해서 전분가교의 uncoiling과 같은 분자구조의 변화나 전분 분자내의 수소결합의 절단을 유도하여 결과적으로 전분가교가 붕괴되고 전분 레올로지의 변화를 초래하게 되어 점도의 감소를 일으킨다는 보고(32)와 같은 원리로 점도의 감소가 일어난 것으로 예상된다. 또한 이와 같이 감마선 조사에 의한 점도의 유의적인 감소 결과는 검은 후추(32,33), 메밀전분(34), 옥수수 전분, 고구마 전분, 감자 전분(35) 등에 감마선 조사 시 점도가 조사선량에 비례하여 유의적으로 감소한 결과와 일치한다. 또한 감마선 조사한 alginic acid와

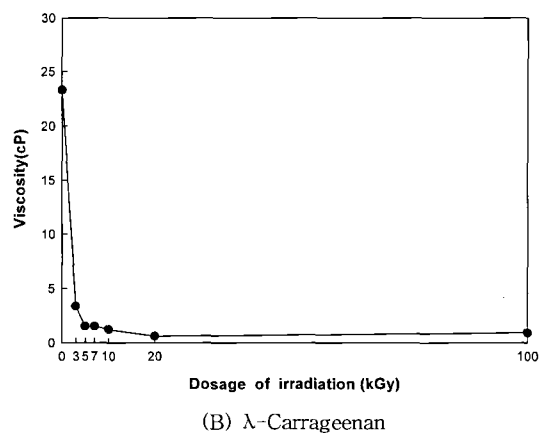
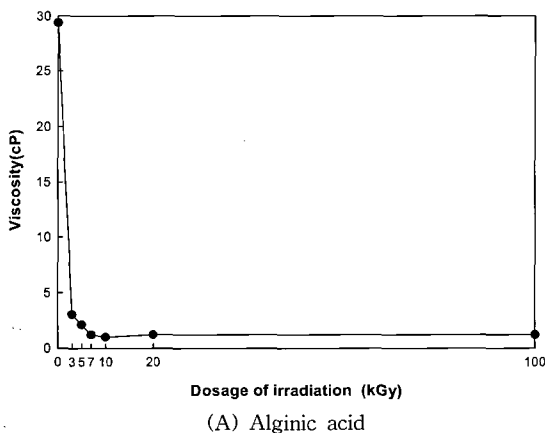
**Fig. 1.** Changes in viscosity of alginic acid and  $\lambda$ -carrageenan solution treated with  $\gamma$ -irradiation at different dosages.

Table 2. Changes in color of alginic acid and λ-carrageenan solution treated with γ-irradiation at different dosages

Dosage of irradiation (kGy)	Lightness		Redness		Yellowness	
	Alginic acid	λ-Carrageenan	Alginic acid	λ-Carrageenan	Alginic acid	λ-Carrageenan
0	91.62±0.02 <sup>F1)</sup>	90.49±0.02 <sup>F</sup>	0.28±0.06 <sup>A</sup>	0.44±0.05 <sup>A</sup>	5.11±0.03 <sup>C</sup>	7.06±0.03 <sup>C</sup>
3	94.14±0.03 <sup>D</sup>	93.55±0.02 <sup>A</sup>	0.24±0.03 <sup>FAB</sup>	0.33±0.05 <sup>B</sup>	4.36±0.02 <sup>G</sup>	5.06±0.00 <sup>F</sup>
5	94.32±0.05 <sup>C</sup>	93.40±0.02 <sup>B</sup>	0.22±0.04 <sup>AB</sup>	0.30±0.01 <sup>BC</sup>	4.51±0.02 <sup>F</sup>	5.52±0.06 <sup>E</sup>
7	94.09±0.06 <sup>D</sup>	93.09±0.02 <sup>C</sup>	0.23±0.01 <sup>AB</sup>	0.25±0.00 <sup>CD</sup>	4.87±0.00 <sup>E</sup>	5.79±0.03 <sup>D</sup>
10	93.34±0.02 <sup>E</sup>	91.50±0.02 <sup>E</sup>	0.16±0.05 <sup>B</sup>	0.34±0.04 <sup>B</sup>	5.06±0.02 <sup>D</sup>	7.12±0.02 <sup>BC</sup>
20	95.36±0.02 <sup>B</sup>	91.98±0.00 <sup>D</sup>	-0.21±0.04 <sup>C</sup>	0.19±0.00 <sup>D</sup>	6.02±0.04 <sup>B</sup>	7.18±0.01 <sup>B</sup>
100	95.60±0.03 <sup>A</sup>	90.40±0.08 <sup>F</sup>	-1.40±0.02 <sup>D</sup>	-0.22±0.01 <sup>E</sup>	12.90±0.02 <sup>A</sup>	11.69±0.07 <sup>A</sup>

<sup>1)</sup>Means in the same column bearing different superscripts are significantly different (p<0.05).

λ-carrageenan 용액의 분자량과 점도 사이에 유의적인 상관관계를 보인 것은 초음파에 의한 λ-carrageenan의 저분자화(22), 큰다시마(*Macrocystis pyrifera*)와 미역(*Undaria pinnatifida*)에서 추출한 alginic acid를 유기산으로 가수분해한 저분자 alginic acid의 물성을 측정된 결과(36)와 쌀 전분에 감마선을 조사한 연구 결과(31)와 일치한다.

감마선 조사에 따른 색의 변화

감마선 조사한 alginic acid 용액과 λ-carrageenan 용액의 색 변화를 알아보기 위해 색차계를 이용하여 명도, 적색도, 황색도를 측정하였다(Table 2). Alginic acid 용액의 명도는 비조사구에 비해 조사구가 증가하는 경향을 보였으며 적색도는 조사선량에 비례하여 감소하였다. 가장 큰 차이를 보인 황색도는 3~20 kGy 조사구는 비조사구에 비해 다소 감소하거나 유사하였으나 100 kGy 조사구의 경우 12.90으로 5.11의 비조사구에 비해 황색도가 2배 이상 높게 나타났다. λ-Carrageenan의 경우 명도는 3 kGy 조사구가 비조사구에 비해 높게 나타났으나 선량이 증가할수록 감소하여 100 kGy에서는 비조사구와 유사한 명도를 보였다. 적색도는 alginic acid와 마찬가지로 선량에 비례하여 감소하였으며 황색도는 3~20 kGy 조사구는 비조사구에 비해 감소하거나 비슷한 값을 보였고, 100 kGy 조사구에서 11.69로 비조사구 7.06에 비해 높은 값을 보였다. 비조사구에 비해 조사구의 명도는

증가하고 적색도가 감소하는 결과는 감마선 조사한 메밀전분의 명도는 증가하고 적색도는 감소한다는 보고(34)와 유사한 결과이며 고선량의 감마선 조사 시 황색도의 증가 경향은 감마선 조사한 쌀밥(37), 전분(38,39), alginic acid 용액(30)의 황색도가 증가한 결과와 일치하였다. 또한 감마선 조사한 alginic acid와 λ-carrageenan 용액의 UV spectra 측정 결과(Fig. 2), 290 nm에서 alginic acid의 경우 비조사구가 0.267, λ-carrageenan이 0.205이었고 조사선량이 증가할수록 흡수 강도가 높아져 100 kGy 조사구의 경우 각각 1.564, 1.422의 값을 보였다. 이는 공기 존재 하에서 alginic acid 용액에 50, 100, 200 kGy의 고선량 조사 시 갈변하였고 265 nm에서 선량에 비례하여 흡수 강도가 높아진 결과와 유사하며, 이러한 갈변 현상은 alginic acid를 이루는 glycosidic bond가 분해되면서 pyranose ring의 이중결합의 수가 증가하고 동시에 수소 분리반응이 일어나기 때문이라 보고하였다(30). 그러나 본 실험에서는 흡수강도가 선량에 비례해 증가한 반면 황색도는 100 kGy 조사구에서 크게 증가하여, 고선량의 조사로 이중결합의 수가 일정량 이상 증가 시에만 갈변 현상이 일어나는 것으로 사료된다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 고선량의 감마선 조사 시 다당류에 갈변 현상이 일어남을 알 수 있으나, 저분자의 alginic acid와 λ-carrageenan을 얻기 위해서 필요한 20 kGy 미만의 조사선량에서

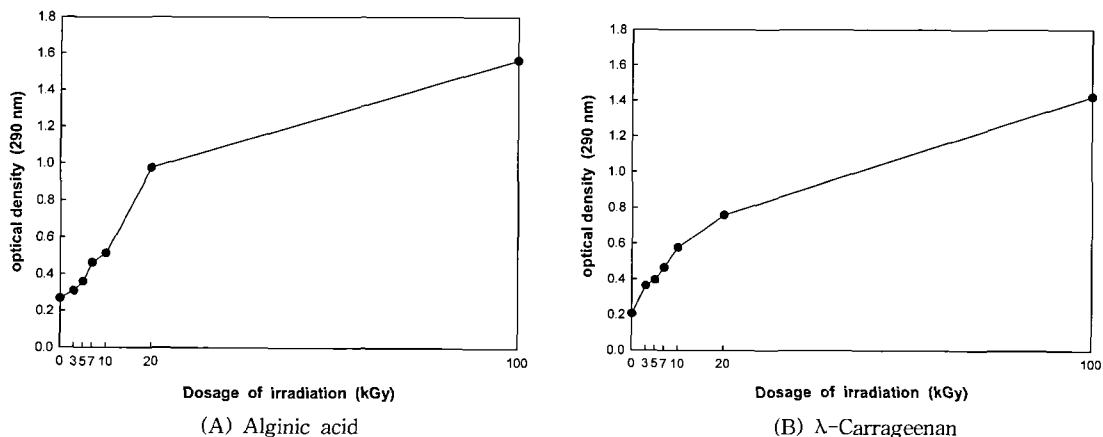


Fig. 2. UV absorption intensity of alginic acid and λ-carrageenan solution treated with γ-irradiation at different dosages.

는 갈변이 일어나지 않음으로 식품산업에의 적용에는 문제  
시 되지 않을 것으로 보인다.

## 요 약

감마선 조사가 alginic acid와  $\lambda$ -carrageenan의 물리적 특  
성 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 3, 5, 7, 10, 20, 100  
kGy의 감마선을 alginic acid와  $\lambda$ -carrageenan 용액에 조사  
하여 분자량, 점도, 색도의 변화를 측정하였다. Alginic acid  
수용액의 0~100 kGy 범위의 감마선 처리는 약 1,600 kDa에  
서 4.5 kDa까지 저분자화를 가져왔고,  $\lambda$ -carrageenan 수용  
액은 1,300 kDa에서 4.5 kDa까지 분자량이 감소하는 결과를  
보였다. 점도 측정 결과 alginic acid의 경우 29.4 cP에서 조사  
선량에 비례하여 감소하였으며 20 kGy 조사구에서는 1.23  
cP로 낮아졌다.  $\lambda$ -Carrageenan은 23.1 cP에서 1.02 cP로 조  
사선량이 증가할수록 점도는 감소하였다. 명도는 alginic  
acid는 조사가 비조사구보다 높게 나타났으며  $\lambda$ -carrageenan  
은 높거나 유사하게 나타났다. 적색도는 alginic acid  
와  $\lambda$ -carrageenan 모두 선량에 비례하여 감소하였으며, 황  
색도는 100 kGy 조사구에서 비조사구에 비해 매우 높게 나  
타났다. 이상의 결과로 alginic acid와  $\lambda$ -carrageenan 용액  
에 감마선을 조사할 경우 20 kGy 미만의 저선량에서 조사선  
량이 증가할수록 분자량과 점도가 유의성있게 감소하였으  
며, 100 kGy의 고선량 조사를 제외하고는 갈변이 일어나지  
않아 감마선 조사가 alginic acid와  $\lambda$ -carrageenan의 저분자  
화에 매우 유용한 방법으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 2006년도 원자력기  
반연구기반확충사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지  
원에 감사드립니다.

## 문 헌

- Haug A, Lasem B, Smidsrod O. 1966. Study of the con-  
stitution of alginic acid by partial acid hydrolysis. *Acta  
Chem Scand* 20: 183-190.
- Haug A, Lasem B, Smidsrod O. 1967. Studies on the se-  
quence of the uronic acid residues in alginic acid. *Acta  
Chem Scand* 21: 691-704.
- Penman A, Sanderson GR. 1972. A method for the determi-  
nation of uronic acid sequence in alginate. *Carbohydr Res*  
25: 273-282.
- Philips GO, Williams PA. 1984. *Gums and Stabilizers for  
the Food Industry*. Pergamon Press, London. p 422-424.
- Whistler RL, BeMiller JN. 1973. *Industrial Gums*. Academic  
Press, New York, NY, USA. p 422-424.
- Kim KH, Cheng DJ. 1984. Optimum conditions for extract-  
ing alginic acid from *Undaria pinnatifida* and amino acid  
composition of its extraction residue. *Korean J Food Sci  
Technol* 16: 336-340.
- Sosulski FW, Cadden AM. 1982. Composition and physio-  
logical properties of several sources of dietary fiber. *J Food  
Sci* 47: 1472-1477.
- Jeong HJ, Lee SA, Moon PD, Na HJ, Park RK, Um JY,  
Kim HM, Hong SH. 2006. Alginic acid has anti-anaphylac-  
tic effects and inhibits inflammatory cytokine expression  
via suppression of nuclear factor- $\kappa$ B activation. *Clin Exp  
Allergy* 36: 785-794.
- Stanley NF. 1990. *Food gels*. Elsevier Applied Science,  
London & New York. p 79-120.
- Park YH, Chang DS, Kim SB. 1995. *Fisheries processing  
and utilization*. Hyungsul Pub., Seoul, Korea. p 290-293.
- Araki CL. 1965. *Some recent studies on the polysaccharides  
of agarophytes*. Pergamin Press, London. p 3-7.
- Nishino T, Nagumo T. 1992. Anticoagulant antithrombin  
activities of oversulfated fucans. *Carbohydr Res* 229: 355-  
362.
- Huamao Y, Jinming S, Xuegang L, Ning L, Jicui D. 2006.  
Immunomodulation and antitumor activity of  $\kappa$ -carrage-  
enan oligosaccharides. *Cancer Lett* 243: 228-234.
- Tsuji RF, Hoshino K, Noro Y, Tsuji NM, Kurokawa T,  
Masuda T, Akira S, Kowak B. 2003. Suppression of allergic  
reaction by  $\lambda$ -carrageenan: toll-like receptor 4/My  
D88-dependent and -independent modulation of immunity.  
*Clin Exp Allergy* 33: 249-258.
- Joo DS, Lee JS, Park JJ, Cho SY, Kim HK, Lee EH. 1996.  
Preparation of oligosaccharides from alginic acid by enzy-  
matic hydrolysis. *Korean J Food Sci Technol* 28: 146-151.
- Takeuchi T, Murata K, Kusakabe I. 1994. A method for  
depolymerization of alginate using the enzyme system of  
*Flavobacterium multivolum*. *Nippon Shokuhin Kogyo  
Gakkaishi* 41: 505-511.
- Potin P, Sanseau AL, Gall Y, Rochas C, Kloareg B. 1991.  
Purification and characterization of a new kappa-carrage-  
enase from marine *Cytophaga*-like bacterium. *Eur J  
Biochem* 201: 241-246.
- Joo DS, Cho SY, Lee EH, Yang ST. 1999. Preparation of  
carrageenan oligosaccharide using carrageenase from  
*Pseudomonas alcaligenes* JCL-43 and its functional pro-  
perties. *Korean J Life Sci* 9: 423-429.
- Joo DS, Choi YS, Cho SY. 2003. Preparation of the depoly-  
merized alginates by physical treatment processing with  
organic acids. *J Korean Fish Soc* 36: 1-5.
- Joo DS, Cho SY. 2003. Preparation of carrageenan hydro-  
lysates from carrageenan with organic acid. *J Korean Soc  
Food Sci Nutr* 32: 42-46.
- Cho M, Kim BY, RHim JH. 2003. Degradation of alginate  
solution by using  $\gamma$ -irradiation and oranic acid. *Korean  
J Food Sci Technol* 35: 67-71.
- Kim SM, Park SM, Choi HM, Lee KT. 1999. Optimal proc-  
essing parameters of low molecular weight carrageenan by  
ultrasound. *J Korean Fish Soc* 32: 495-500.
- Lee JW. 2005. Use of radiation technology for food industry  
and safety management. *Korean Soc Food Engin* 3: 20-44.
- Kang IJ, Byun MW, Yook HS, Bae CH, Lee HS, Kwon JH,  
Chung CK. 1999. Production of modified starches by gam-  
ma irradiation. *Radiat Phys Chem* 54: 425-430.
- Humphreys ER, Howells GR. 1970. Degradation of sodium  
alginate by  $\gamma$ -irradiation and by oxidative-reductive  
depolymerization. *Carbohydr Res* 16: 65-69.
- Kwon JH. 2001. Import control of irradiated food. *Food Ind*  
159: 61-87.
- Byun MW. 1997. Application and aspect of irradiation tech-  
nology in food industry. *Food Sci Ind* 30: 89-100.

28. Phun HC, Nho YC. 1988. The utilization of radiation in polymer industries. *Polymer* 12: 389-397.
29. Cho M, Kim BY, Rhim JH. 2003. Degradation of alginate solution and powder by  $\gamma$ -irradiation. *Food Engin Pro* 7: 141-145.
30. Naotsugu N, Hiroshi M, Fumio Y, Tamikazu K. 2000. Radiation-induced degradation of sodium alginate. *Polym Degradat Stab* 69: 279-285.
31. Bao J, Ao Z, Jane JL. 2005. Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. *Starch* 57: 480-487.
32. Yi SD, Oh MJ, Yang JS. 2001. Detection capability by change of amylograph characteristics of irradiated black pepper. *Korean J Food Sci Technol* 33: 195-199.
33. Toru H, Setsuko T. 1996. Detection of irradiated peppers by viscosity measurement at extremely high pH. *Radial Phys Chem* 48: 101-104.
34. Lee JH, Chang YI, Chang KS. 2000. Effect of gamma irradiations on physical properties of buckwheat starch. *Food Engin Pro* 4: 110-119.
35. An KA, Jo DJ, Kim HK, Kim SK, Kwon JH. 2004. Effect of gamma irradiation on viscosity and physicochemical properties of starches. *Korean J Food Sci Technol* 36: 547-552.
36. Lee DS, Hyeung RK, Pyeun JH. 1998. Effect of low-molecularization on rheological properties of alginate. *J Korean Fish Soc* 31: 82-89.
37. Lee YS, Oh SH, Lee JW, Kim JH, Rhee CO, Lee HK, Byun MW. 2004. Effect of gamma irradiation on quality of cooked rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 582-586.
38. Lee YS, Oh SH, Lee JW, Kim JH, Kim DS, Byun MW. 2003. Effect of gamma irradiation on physicochemical and textural properties of starches. *Food Sci Technol* 12: 508-512.
39. Sokhey AS, Hanna MA. 1993. Properties of irradiated starches. *Food Structure* 12: 397-410.

(2007년 2월 26일 접수; 2007년 4월 20일 채택)