

## 감마선 조사가 전분류의 점도 및 이화학적 특성에 미치는 영향

안경아<sup>1</sup> · 조덕조 · 김현구<sup>2</sup> · 김성곤<sup>3</sup> · 권중호\*

경북대학교 식품공학과, <sup>1</sup>식품의약품안전청, <sup>2</sup>한국식품개발연구원, <sup>3</sup>단국대학교 식품영양학과

### Effect of Gamma Irradiation on Viscosity and Physicochemical Properties of Starches

Kyung-A An<sup>1</sup>, Deokjo Jo, Hyun-Ku Kim<sup>2</sup>, Sung-Kon Kim<sup>3</sup>, and Joong-Ho Kwon\*

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

<sup>1</sup>Korea Food and Drug Administration

<sup>2</sup>Korea Food Research Institute

<sup>3</sup>Department of Food Science and Nutrition, Dankook University

Attempt was made to establish identification methods for irradiated starch. Commercial starches (corn starch/CS, sweet potato starch/SS, and potato starch/PS) were irradiated at 0-6.0 kGy and used to measure viscosity with Brookfield DV-III programmable rheometer. Starch suspensions were prepared at 8.0 (7.2%, d.b.), 8.5 (7.3%, d.b.), and 9.0% (7.3%, d.b.) for CS, SS, and PS, respectively at 100 rpm in spindle speed. Results showed viscosities of samples significantly decreased ( $p < 0.05$ ) as irradiation dose increased, with  $R^2$  0.9754, 0.9618, and 0.9888 for CS, SS, and PS, respectively. Irradiation dose at 1.5 kGy induced decrease in viscosity as compared to non-irradiated control by 34, 57, and 51% in CS, SS, and PS, respectively, suggesting viscometry could be applied to identify irradiated starches. Solubility and alkali number of irradiated starches significantly increased with irradiation doses, while swelling power decreased ( $p < 0.05$ ). Results suggested solubility, alkali number, and swelling power for irradiated starches complement identification results of viscometry.

**Key words:** starch (corn, sweet potato, potato), irradiation, viscosity, solubility, alkali number

## 서 론

식품조사(食品照射, food irradiation)는 방사선 에너지(감마선, 전자선 및 X선)를 피조사체 식품에 일정시간 노출시켜 살균, 살충, 성장조절, 물성개선 등의 효과를 거두는 기술이다. 이는 처리 공정이 간편하고 처리 효과가 분명하여 경제적인 동시에 식품의 내부 또는 표면에 어떠한 잔류물도 남지 않고 환경 공해를 발생하지 않으므로 환경 친화적 수단으로 알려져 있다. 따라서 식품의 저장·가공에 있어서 처리 비용, 건전성, 환경 공해 등 여러 문제점을 안고 있는 현행의 가열처리, 냉장·냉동, 화학약품처리(보존제, 훈증제) 등에 대한 선택적인 대체 방안으로서 주목받고 있다(1,2).

조사식품의 안전성이 관련 국제기구(FAO/IAEA/WHO)에 의해 공인되고, 조사식품에 대한 Codex 일반규격이 채택됨에 따라 식품 조사의 실용화가 활발해져(3) 현재 세계적으로 52개국에서 250여 품목의 식품에 대한 방사선 조사를 허가하고 있다

(4). WTO 체제 하에서 국가 간 교역이 증가하고 있는 가운데, 자국 내 유통식품의 안전성 확보와 수출 품목의 품질 보증을 위하여 방사선 조사기술의 이용 허가와 실용화는 더욱 확대될 전망이어서 조사식품의 수출입 관리와 유통질서 확립을 위한 기술적 시스템 구축의 필요성이 고조되고 있다(1).

방사선 조사식품의 검지 또는 확인에 관한 연구는 1980년대 중반 이후 식품 조사기술의 산업화가 세계적으로 추진되고 조사식품의 교역이 예상되면서 본격적으로 시작되었으며, 방사선 조사에 의해 야기되는 피조사체 식품의 물리적, 화학적 및 생물학적 특성 변화에 근거를 두고 있다. 현재까지 방사선 조사 식품에 대한 유망한 확인방법으로는 지방을 함유한 식품에 대한 hydrocarbon 및 2-alkylcyclobutanone 분석, 뼈나 무수결정물을 함유한 식품에 대한 전자스핀공명(ESR) 분석, 무기물을 분리해 낼 수 있는 식품에 대한 열발광(TL) 분석 등이 있으며, 이 외에도 DNA comet assay, 미생물상 관찰(DEFT/APC), 점도 측정법 등이 어느 정도 타당성을 인정받고 있다(5,6).

점도측정법은 방사선 조사로 생성된 free radical에 의해 전분 분자의 결합이 붕괴되어 결과적으로 점도의 감소가 야기되는 특성을 이용하여 비교적 많은 양의 전분을 함유하고 있는 검은 후추가루에 대한 검지기술(detection/identification methods)로서 제안되었다(7). 주로 건조항산료를 대상으로 많은 연구가 이루어진 상태이며(7-12), 곡류(13-15), 전분류(16-19) 등에 대한

\*Corresponding author: Joong-Ho Kwon, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, 1370 Sankyuk-dong, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea  
Tel: 82-53-950-5775  
Fax: 82-53-950-6772  
E-mail: jhkwon@knu.ac.kr

적용 가능성이 보고되고 있다. 보다 실용적인 접근을 위하여 식품 가공에 따른 점도의 변화, 전분의 특성 및 측정조건에 따른 영향 등이 체계적으로 연구되어야 할 뿐 아니라 다중검지(multiple detection)를 통해 판별의 신뢰도를 높일 수 있도록 보조적인 확인 marker의 모색이 요구되고 있다(20). 이에 연구자들은 점도측정법을 적용하여 전분류의 검지방법을 확보하기 위한 일련의 연구를 수행하면서, 국내 수요가 많은 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분을 대상으로 용해도, 팽윤력, 청가, 알칼리수 등 이화학적 특성 변화를 상호 검토함으로써 다중검지에 활용할 수 있는 보조적인 확인 marker를 찾고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용한 옥수수 전분은 미국산 옥수수를 원료로 하여 제조된 것으로, 인천 소재 'CPK'에서 구입하였다. 고구마 전분과 감자 전분은 충남 소재 'K식품'에서 국내 강원도산 고구마 및 감자를 원료로 하여 제조·유통 중인 제품을 구입하여 사용하였다. 이들 시료의 수분과 전분 함량은 옥수수 전분 10.47%와 97.01%(건물량), 고구마 전분 14.46%와 95.45%, 감자 전분 18.89%와 92.16%이었다.

### 시료의 방사선 조사

시료의 방사선 조사는 한국원자력연구소의 <sup>60</sup>Co 감마선 조사 시설을 이용하였다. 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분을 폴리에틸렌 병(120 g)에 포장하여 시간당 일정한 선량률로 실온에서 1.5-6.0 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량의 확인은 ceric/cerous dosimeter를 사용하였다(±5%). 조사시료는 대조시료와 함께 용기에 밀봉하여 실온에 보관하면서 실험에 사용하였다.

### 점도 측정

점도 측정은 Hayashi 등(10)의 방법에 준하여 시료 전분에 일정량의 증류수를 가하여 현탁액을 조제하고, 33% NaOH 8.2 mL를 가하여 알칼리화 한 다음 omni macro homogenizer (Model No. 17505, USA)를 이용하여 완전히 혼합하였다(speed 3, 1 min). 이를 비등 수욕조(99°C)에서 30분간 가열·호화하여 30°C에서 4시간 항온 보관한 다음, 동일 온도에서 #3 LV spindle 이 장착된 Brookfield DV-III programmable rheometer(Brookfield Eng Labs. Inc., USA)를 사용하여 30초 후의 점도를 측정하였다. 시료 전분을 7.0-9.5% 농도의 현탁액으로 조제하여 25-125 rpm 범위에서 각각의 점도를 측정해 본 결과, 전분농도 7% (건물량), spindle 회전속도 75 rpm 이상의 조건에서 조사선량에 따른 상관성이 비교적 높게 나타났다. 이와 같은 예비실험 결과를 바탕으로 시료 현탁액의 농도를 옥수수 전분 8.0%(7.2%, d.b.), 고구마 전분 8.5%(7.3%, d.b.) 및 감자 전분 9.0%(7.3%, d.b.)로 조제하여 100 rpm에서 각각의 점도를 측정하였다.

### 용해도 및 팽윤력 측정

시료 전분의 용해도와 팽윤력은 Noh의 방법(21)에 준하여 측정하였다. 즉, 시료 0.4 g(건물량)을 50 mL의 원심분리관에 취하고 여기에 증류수 25 mL를 가하여 잘 분산시켜 80°C의 교반 항온수조에서 30분간 가열한 후 2,000 rpm에서 20분간 원심분리 하였다. 상층액은 미리 무게를 측정된 증발접시에 옮겨 120°C 오븐에서 항량이 될 때까지 건조시켜 고형분의 무게(A)를 측

정하고, 식 (1)에 따라 용해도를 계산하였다. 침전물의 무게(B) 및 용해도를 이용하여 식 (2)에 따라 팽윤력을 구하였다.

$$\text{용해도}(\%) = \frac{A}{\text{시료무게}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{팽윤력} = \frac{B}{\text{시료무게} \times (100 - \text{용해도})} \times 100 \quad (2)$$

### 청가(Blue value) 측정

시료 전분의 blue value는 Noh의 방법(21)에 준하여 측정하였다. 즉, 시료 400 mg(건물량)에 증류수 100 mL를 가하고 90°C에서 45분간 호화시킨 후, 용액 1 mL를 50 mL 용량 플라스크에 취하여 1 N NaOH 용액 0.5 mL와 potassium hydrogen tartarate 0.09 g을 넣고 증류수를 가하여 총량이 약 45 mL가 되도록 희석하였다. 요오드 용액(2 mg I<sub>2</sub>/mL, 20 mg KI/mL) 0.5 mL를 가한 후 용량 플라스크의 지시선까지 증류수로 채워 20분간 발색시킨 다음 분광광도계(Shimadzu Co., UV-1601, Kyoto, Japan)를 사용하여 680 nm에서 흡광도를 측정하고, 식 (3)에 따라 blue value를 구하였다.

$$\text{Blue value} = \frac{\text{흡광도} \times 4}{\text{전분용액의 농도 (mg/100 mL)}} \quad (3)$$

### 알칼리수(Alkali number) 측정

시료 전분의 alkali number는 Noh의 방법(21)에 준하여 시료 전분 0.5 g(건물량)을 삼각플라스크에 취하고 증류수 10 mL를 가하여 잘 분산시킨 다음 0.4 N NaOH 용액 25 mL를 가하고 95°C의 증류수 65 mL를 가하였다. 열탕조에서 때때로 흔들어 주면서 60분간 가열한 다음 얼음물에 넣어 냉각시키면서 0°C의 증류수 50 mL를 가하여 반응을 정지시킨 후 0.5% ethanolic thymol blue를 지시약으로 0.2 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 적정하고, 식 (4)에 따라 alkali number를 구하였다.

$$\text{Alkali number} = \frac{(B - S) \times \text{acid normality} \times 10}{W} \quad (4)$$

[B: 공시험 적정치, S: 시료 적정치, W: 시료량 (g, 건물량)]

### 실험 결과 분석

시료의 점도 및 이화학적 특성 시험은 3회 반복으로 실시하여 SPSS(statistical package for social science, 10.0)를 사용하여 평균과 표준편차를 계산하였으며, 분산분석과 Duncan's multiple range test로 유의성을 검정하였다(22).

## 결과 및 고찰

### 조사선량에 따른 점도의 변화

방사선 조사 전분류의 확인방법 연구의 일환으로 감마선(0-6.0 kGy) 조사 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분을 대상으로 일정 조건에서 조사선량별 점도를 측정하였다. 옥수수 전분 8.0%(건물량 7.2%), 고구마 전분 8.5%(건물량 7.3%) 및 감자 전분 9.0%(건물량 7.3%) 농도의 현탁액을 조제하여 100 rpm에서 점도를 측정한 결과, 모든 시료에서 조사선량이 증가함에 따라 점도가 유의적으로 감소하였으며( $p < 0.05$ ), 각각  $R^2$  0.9754 ( $y = 367.322e^{-0.2577x}$ ), 0.9618 ( $y = 391.630e^{-0.3971x}$ ) 및 0.9888 ( $y = 824.859e^{-0.3732x}$ )의 높은 상관성이 확인되었다(Fig. 1-3). 따라서

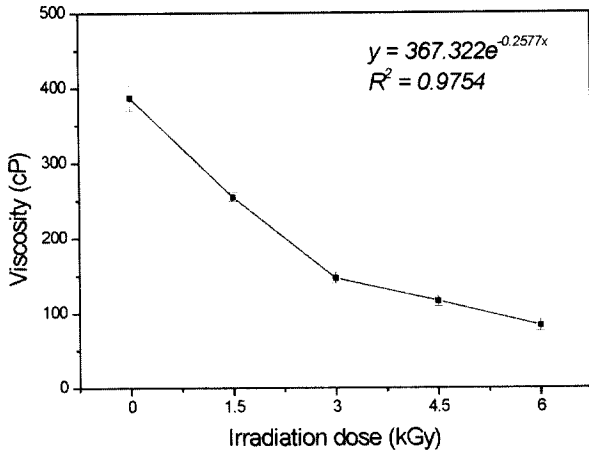


Fig. 1. Changes in viscosity of gamma-irradiated corn starch at 8.0% suspension and 100 rpm of spindle speed.

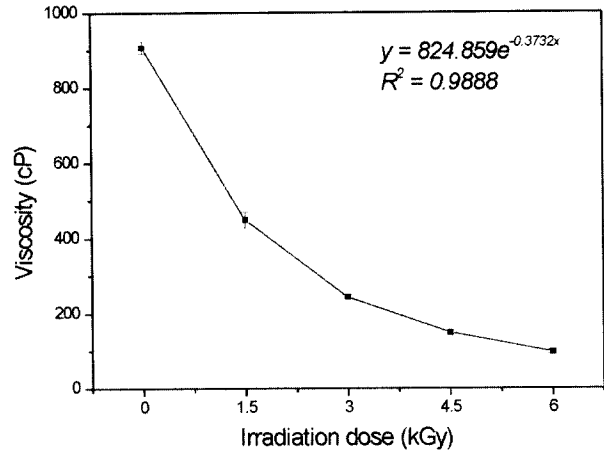


Fig. 3. Changes in viscosity of gamma-irradiated potato starch at 9.0% suspension and 100 rpm of spindle speed.

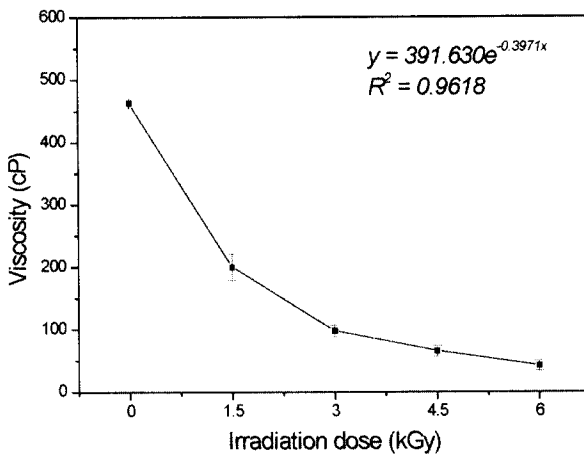


Fig. 2. Changes in viscosity of gamma-irradiated sweet potato starch at 8.5% suspension and 100 rpm of spindle speed.

전분류의 방사선 조사여부를 확인하는 방법으로 적용 가능한 것으로 판단되었다.

감마선 조사가 시료 전분의 점도에 미치는 영향을 검토한 결과, 비조사 대조구의 경우 옥수수 전분 387.3 cP, 고구마 전분 463.0 cP 및 감자 전분 907.7 cP의 점도 값을 나타내어 점성이 큰 감자 전분의 특징을 확인할 수 있었다. 감마선 조사선량에 따른 점도 변화는 모든 시료에서 3.0 kGy까지는 점도 감소가 뚜렷하고, 3.0 kGy 이상에서는 완만한 양상을 나타내었다. 1.5 kGy 조사구의 점도가 대조구에 비해 옥수수 전분 34%, 고구마 전분 57% 및 감자 전분 51%의 감소를 나타내어 저선량으로 조사된 경우에도 식별 가능한 점도 변화가 야기됨을 확인하였고, 3.0 kGy 조사구는 1.5 kGy 조사구에 비해 각각 42%, 51% 및 46%의 점도 감소가 나타났다. 결과적으로 저선량에서 점도가 현저히 감소하는 고구마 전분이 감마선 조사에 가장 민감하였고, 조사선량과 점도의 상관관계는 감자 전분이 가장 높았다. 대조구에서 특징적으로 높은 점도를 나타낸 감자 전분은 모든 조사선량에서 옥수수 전분 및 고구마 전분에 비해 높은 점도가 관찰되었으나, 6.0 kGy 조사구에서는 시료별 점도가 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과로부터 감마선 조사 전분의 점도는 조사선량이 증가할수록 조사선량에 의한 차이 뿐 아니

라 전분 원료에 기인한 특징적인 차이도 감소함을 알 수 있었다.

Hayashi 등(23)은 점도 측정을 통해 다당류의 방사선 조사여부를 확인함에 있어서 starch는 알칼리 상태(pH 12)에서 가열하여 점도를 측정하고, pectin은 산성 조건(pH 5)에서 비가열 상태로 점도를 측정할 경우 비조사 대조구와 감마선 조사구의 점도 차이가 뚜렷하였음을 보고한 바 있다. 또한 Hayashi 등(11)은 pH 13.8의 강알칼리 조건에서 비조사 pepper와 감마선 조사 pepper의 점도가 현저한 차이를 나타내었음을 보고하였다. 이러한 결과는 pH 13의 강알칼리 상태에서 가열·호화한 전분의 점도가 대조구와 감마선 조사구 간에 뚜렷한 차이를 보이는 본 실험의 결과를 잘 뒷받침해 주었다. 감마선(0-15 kGy) 조사 전분류(옥수수 전분, 고구마 전분, 감자 전분)에 대해 현탁액을 pH 13으로 조절하여 가열·호화하고, Hakke Rotovisco RV-12를 사용하여 점도를 측정할 Kim 등(18)의 연구에서도 본 실험에서와 같이 저선량에서 유의성 있는 점도 변화가 확인된 바 있다. Hayashi 등(23)에 의하면 알칼리성 조건 하에서의 열처리는 전분의 팽윤과 호화를 촉진하므로, 대조구와 감마선 조사구의 점도 차이가 더욱 뚜렷해진다. 본 실험 및 Kim 등(18)의 연구를 통하여 전분류에 대해서는 강알칼리(pH 13) 상태에서의 가열·호화 조건이 점도에 의한 방사선 조사여부 판별에 유용함을 확인할 수 있었다.

#### 조사선량에 따른 전분의 용해도 및 팽윤력 변화

감마선은 전분 분자의 손상을 야기하므로 용해도와 팽윤력에 영향을 미치게 된다(24). Kang과 Byun(25), Lee 등(26), Noh(21), Lee(27) 및 Kuhm(28) 등에 의한 여러 연구에서 옥수수 전분, 밀 전분, 감자 전분, 쌀 전분, 녹두 전분, 메밀 전분 및 칩 전분 등 다양한 종류의 전분에 대해 감마선 조사선량에 의존하여 용해도가 증가하고 팽윤력이 감소하는 결과가 보고되고 있다. 본 실험에서도 이들과 일치하는 결과를 얻었으며, 조사선량에 따른 용해도 및 팽윤력의 유의적인 변화가 확인되었다.

감마선(0, 1.5, 3.0, 4.5 및 6.0 kGy)을 조사한 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분의 용해도를 측정할 결과 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였고( $p < 0.05$ ), 각각  $R^2$  0.971( $y = 0.173x + 1.690$ ), 0.976( $y = 0.270x + 2.086$ ) 및 0.985 ( $y = 0.762x + 4.072$ )의 높은 상관성이 확인되었다(Fig. 4). 감마선

**Fig. 4. Effect of gamma irradiation on solubility of starch at 80°C.**

조사 전분의 용해도 증가 현상에 대해 Graham 등(29)은 감마선에 의해 amylose와 amylopectin 구조가 변형(modification) 또는 붕괴(degradation)되어 저분자량의 분해 산물이 생성되기 때문인 것으로 보고하였다.

전분의 팽윤력은 용해도에 따라 달라지며, 전분입자 내부의 결합력과 전분 분자의 화합정도에 영향을 받는데, MacArthur 등(30)은 감마선 조사에 의해 전분 분자가 분해되어 텍스트린이 생성됨에 따라 물에 용해되므로 물과 결합할 수 있는 능력이 저하된다고 보고한 바 있다. 본 실험의 결과도 이와 일치하여 모든 시료에서 감마선 조사선량이 증가함에 따라 팽윤력이 유의적으로 감소하였으며( $p < 0.05$ ), 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분에 대해 각각  $R^2$  0.945( $y = -0.281x + 11.553$ ), 0.955( $y = -0.361x + 11.309$ ) 및 0.968( $y = -0.493x + 10.728$ )의 상관관계가 확인되었다(Fig. 5).

본 실험에서는 감마선 조사선량이 최고 6.0 kGy로 기존의 연구들에 비해 저선량 범위에서의 검토가 이루어져, 시료 전분에 대해 용해도 및 팽윤력의 큰 변화는 관찰되지 않았다. 그러나 회귀분석 결과 조사선량에 따른 유의적인 차이가 확인되고, 상관관계도 높게 나타나 방사선 조사 전분에 대한 보조적인 확인 marker로 활용할 수 있을 것으로 판단하였다. Kang 등(31)은 감마선 조사 옥수수 전분에 대해 pH 5인 상태에서 전분 분자 구조의 변화가 가장 작아 팽윤력이 높게 나타났으며, 용해도는 pH 2로 조절하였을 때 가장 높은 값을 나타낼 뿐 아니라 조사선량에 의존하여 직선적으로 증가하였음을 보고한 바 있다. 이러한 결과로 볼 때, pH 조절 등을 응용하여 용해도와 팽윤력의 측정 방법을 개선함으로써 저선량에서도 보다 뚜렷한 차이를 나타내는 유용한 결과를 기대할 수 있을 것으로 생

**Fig. 5. Effect of gamma irradiation on swelling power of starch at 80°C.**

각된다. 특히, Kang 등(31)의 보고에 의하면 110 kGy 감마선 조사구에 비해 pH 2 및 감마선 50 kGy 처리구의 용해도가 높은 것으로 나타나 용해도의 경우 강산성 조건의 활용에 대한 적극적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

#### 조사선량에 따른 전분의 청가(blue value) 변화

전분의 blue value는 전분 입자의 구성성분과 요오드와의 친화성을 나타내는 값으로, 전분 용액 중에 존재하는 직쇄상 분자의 양을 상대적으로 비교한 값이다. 본 실험에서 0, 1.5, 3.0, 4.5 및 6.0 kGy의 감마선을 조사한 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분의 blue value는 조사선량이 증가함에 따라 감소하였으나, 유의성은 관찰되지 않았다(Table 1).

감마선 조사 전분의 blue value 변화와 관련하여, Kuhm(28)은 감마선 조사에 의해 전분 용액 중에 존재하는 amylopectin 분자가 절단되어 직쇄상의 amylose 분자가 증가함으로써 조사선량이 증가함에 따라 blue value가 증가한다고 하였다. 반면, Kang과 Byun(25)은 감마선 조사에 의해 amylose의 나선구조가 변형되거나 파괴되어 요오드 결합력이 저하됨에 따라 blue value는 감소한다고 보고한 바 있다. 본 실험에서는 조사선량이 증가할수록 blue value가 감소하여 Kang과 Byun(25)의 보고와 유사하였다. 또한 고선량(110 kGy)의 감마선을 조사한 옥수수 전분이 대조구에 비해 약 40%의 blue value 감소가 일어났음을 보고한 Kang과 Byun(25)의 연구 결과는 6.0 kGy 이하의 조사선량에서 유의적인 blue value 차이를 볼 수 없었던 본 실험의 결과를 뒷받침하였다. 한편, Lee(27)와 Kuhm(28)은 각각 메밀 전분과 칩 전분의 blue value가 조사선량이 증가함에 따라 증가된 것으로 보고하였고, Noh(21)는 녹두 전분에 대해 7.5 kGy

**Table 1. Effect of gamma irradiation on blue value of starches**

Sample	Irradiation dose (kGy)				
	0	1.5	3.0	4.5	6.0
Corn starch	0.300 ± 0.014 <sup>a,1,2)</sup>	0.294 ± 0.011 <sup>ab</sup>	0.289 ± 0.006 <sup>ab</sup>	0.279 ± 0.004 <sup>bc</sup>	0.266 ± 0.009 <sup>c</sup>
Sweet potato starch	0.289 ± 0.009 <sup>a</sup>	0.275 ± 0.006 <sup>ab</sup>	0.266 ± 0.015 <sup>b</sup>	0.259 ± 0.010 <sup>bc</sup>	0.244 ± 0.012 <sup>c</sup>
Potato starch	0.295 ± 0.015 <sup>a</sup>	0.288 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.280 ± 0.005 <sup>ab</sup>	0.266 ± 0.009 <sup>bc</sup>	0.254 ± 0.006 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Mean value ± standard deviation for 3 measurements.

<sup>2)</sup>Means with the same superscripts in each row are not significantly different among groups by Duncan's multiple range test in one way ANOVA ( $p < 0.05$ ).

4.5 및 6.0 kGy의 감마선을 조사한 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분을 대상으로 일정 조건에서 조사선량별 점도를 Brookfield DV-III programmable rheometer를 사용하여 측정하였다. 전분 현탁액의 농도를 옥수수 전분 8.0%(건물량 7.2%), 고구마 전분 8.5%(건물량 7.3%) 및 감자 전분 9.0%(건물량 7.3%)로 조제하여 100 rpm에서 점도를 측정된 결과, 모든 시료에서 조사선량이 증가함에 따라 점도가 유의적으로 감소하였고 ( $p < 0.05$ ), 각각  $R^2$  0.9754, 0.9618 및 0.9888의 높은 상관성이 확인되었다. 또한 1.5 kGy 조사선량에서도 옥수수 전분 34%, 고구마 전분 57%, 감자 전분 51%의 점도 감소가 일어나 저선량 조사의 경우에도 뚜렷한 점도 변화가 관찰되어 방사선 조사 전분류의 확인방법으로써 적용 가능성이 높은 것으로 나타났다. 점도 측정에 의한 조사여부 판별의 신뢰도를 높일 수 있는 보조적인 확인 marker로써 용해도, 팽윤력, 칭가 및 알칼리 수를 검토한 결과, 조사선량이 증가함에 따라 용해도 및 알칼리 수는 유의적으로 증가( $p < 0.05$ )한 반면, 팽윤력은 유의적으로 감소( $p < 0.05$ )하는 경향이 확인되었다.

Fig. 6. Effect of gamma irradiation on alkali number of starch.

까지의 감마선 조사는 blue value에 영향을 주지 않지만 10 kGy 조사구에서는 다소 증가한 것으로 보고한 바 있다.

이와 같이 감마선 조사선량에 따른 전분의 blue value는 원료에 따라 증가 또는 감소하는 상반된 양상을 나타내기도 하고, 조사선량과의 상관성을 찾아볼 수 없는 경우도 있어 그 결과가 다양하게 보고되고 있다. 그러나 전분에 조사할 수 있는 최고 선량인 10 kGy 이하에서 조사선량에 따른 변화가 경미하여 유의성이 떨어지는 경향은 전분의 종류에 관계없이 유사하였다. 따라서 blue value는 전분의 방사선 조사여부 판별을 위한 보조적인 확인 marker로의 유용성이 떨어지는 것으로 판단하였다.

조사선량에 따른 전분의 알칼리수(alkali number) 변화

전분입자는 알칼리 용액 중에서 환원성 말단부터 서서히 분해되어 여러 가지 저분자 유기산을 생성한다. Alkali number는 전분의 terminal aldehyde group 수를 상대적으로 측정하는 방법으로, 이 값의 증가는 전분 사슬의 부분적인 파괴를 의미하게 된다(32). 본 실험에서도 0, 1.5, 3.0, 4.5 및 6.0 kGy의 감마선을 조사한 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분의 alkali number가 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ )(Fig. 6). 대조구와 감마선 6.0 kGy 조사구의 alkali number를 비교할 때 옥수수 전분 1.72배, 고구마 전분 1.80배 및 감자 전분 3.84배의 증가를 보였으며, 각각  $R^2$  0.965( $y = 1.259x + 9.454$ ), 0.974( $y = 1.282x + 8.802$ ) 및 0.990( $y = 2.289x + 4.159$ )으로 조사선량과의 상관관계가 높은 것으로 확인되었다.

Kang과 Byun(25)은 감마선(0-110 kGy) 조사 옥수수 전분의 alkali number가 조사선량이 증가할수록 증가하여, 50 kGy 조사구는 대조구의 2.7배, 110 kGy 조사구는 약 3.5배의 증가를 나타내었다고 보고하였다. 또한 Noh(21), Lee(27) 및 Kuhm(28)도 각각 녹두 전분, 메밀전분 및 칩 전분에 대해 조사선량의 증가에 따라 alkali number가 증가하였음을 보고한 바 있다. 따라서 전분의 alkali number 측정은 방사선 조사 전분의 확인시험에서 결과의 신뢰도를 높일 수 있는 보조적인 확인 marker로서의 활용이 기대되었다.

요 약

방사선 조사 전분류의 확인방법 연구의 일환으로 0, 1.5, 3.0,

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Kwon JH. Import control of irradiated food. Food Ind. 159: 61-87 (2001)
2. Byun MW. Application and aspect of irradiation technology in food industry. Food Sci. Ind. 30: 89-100 (1997)
3. Kwon JH. Worldwide approvals of food irradiation and its commercialization prospects. Food Ind. 133: 18-49 (1996)
4. IAEA. Clear database for irradiated food. Available from: <http://www.iaea.org/icgfi>. Accessed Dec. 27, 2003.
5. Yang JS. Methods for identification of irradiated foods. J. Food Hyg. Safety 12: 160-174 (1997)
6. Chung HW, Delincee H, Kwon JH. Studies on detection methods for irradiated food. Food Ind. 148: 55-71 (1999)
7. Yi SD, Oh MJ, Yang JS. Detection capability by change of amylograph characteristics of irradiated black pepper. Korean J. Food Sci. Technol. 33: 195-199 (2001)
8. Sharif MM, Farkas J. Analytical studies into radiation-induced starch damage in black and white pepper. Radiat. Phys. Chem. 42: 383-386 (1993)
9. Hayashi T, Todoriki S, Kohyama K. Irradiation effects on pepper starch viscosity. J. Food Sci. 59: 118-120 (1994)
10. Hayashi T, Todoriki S, Okadome H, Kohyama K. Conditions of viscosity measurement for detecting irradiated peppers. Radiat. Phys. Chem. 45: 665-669 (1995)
11. Hayashi T, Todoriki S. Detection of irradiated peppers by viscosity measurement at extremely high pH. Radiat. Phys. Chem. 48: 101-104 (1996)
12. Yi SD, Chang KS, Yang JS. Application of viscometric method for the detection of irradiated black and white pepper. J. Food Hyg. Safety 15: 114-121 (2000)
13. Yi SD, Oh MJ, Yang JS. Detection for irradiated cereals by maximum viscosity in amylograph. Food Sci. Biotechnol. 9: 73-76 (2000)
14. Yi SD, Chang KS, Yang JS. Detection of irradiated cereals by viscosity measurement. J. Food Sci. Nutr. 5: 93-99 (2000)
15. Kim HK, Kang DS, Choi MG, Kwon JH. Detection of irradiated dried cereals from Korea and China by viscometric method. Korean J. Food Sci. Technol. 33: 645-650 (2001)
16. Yi SD, Oh MJ, Yang JS. Utilization of Brabender Visco-Amylograph to detect irradiated starch. J. Food Sci. Nutr. 5: 20-24

- (2000)
17. Yi SD, Chang KS, Yang JS. Identification of irradiated potato, sweet potato, and corn starches with viscometric method. *Food Sci. Biotechnol.* 9: 57-62 (2000)
  18. Kim HK, Kang DS, Choi MG, Kwon JH. Detection of irradiated starches from Korea and China by viscometric method. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 30: 1082-1087 (2001)
  19. Choi MG, Kwon JH, Kim HK. Potential detection and quality properties of  $\gamma$ -irradiated corn starch of Korean and Chinese origins by viscosity measurement during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 173-181 (2003)
  20. Kwon JH, Jeong JY, Lee EY, Jo DJ, Noh JE, Lee JE. Multiple detection to identify irradiated brown rice of different origins. *Food Sci. Biotechnol.* 11: 215-219 (2002)
  21. Noh MJ. Comparative effects of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on disinfestation and physicochemical qualities of mung bean. MS thesis, Kyungpook National University, Taegu, Korea (1999)
  22. SPSS. SPSS for Windows. Rel. 10.05. SPSS Inc., Chicago, IL, USA (1999)
  23. Hayashi T, Todoriki S, Kohyama K. Applicability of viscosity measuring method to the detection of irradiated spices. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 40: 456-460 (1993)
  24. Sokhey AS, Hanna MA. Properties of irradiated starches. *Food Str.* 12: 397-410 (1993)
  25. Kang IJ, Byun MW. Development of modified starch by gamma irradiation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 514-520 (1996)
  26. Lee YS, Oh SH, Lee JW, Kim JH, Kim DS, Byun MW. Effects of gamma irradiation on physicochemical and textural properties of starches. *Food Sci. Biotechnol.* 12: 508-512 (2003)
  27. Lee JH. Effect on gamma irradiations on physicochemical properties of buckwheat starch. PhD thesis, Chungnam National University, Taejeon, Korea (1999)
  28. Kuhm H. Effects of gamma irradiation on physicochemical properties of arrowroot starch. PhD thesis, Chungnam National University, Taejeon, Korea (2001)
  29. Graham JA, Panozzo JF, Lim PC, Brouwer JB. Effect of gamma irradiation on physical and chemical properties of chickpeas (*Cicer arietinum*). *J. Sci. Food Agric.* 82: 1599-1605 (2002)
  30. MacArthur LA, D'apponia BL. Gamma radiation of wheat. II. Effects of low-dosage radiations on starch properties. *Cereal Chem.* 61: 321-326 (1984)
  31. Kang IJ, Chung CK, Shon JI. Effects of pH and gamma irradiation on the physicochemical properties of corn starch. *J. Food Sci. Nutr.* 4: 175-179 (1999)
  32. Grant LA, D'Appolinia BL. Effect of low-level gamma radiation on water-soluble nonstarchy polysaccharides isolated from hard red spring wheat flour and bran. *Cereal Chem.* 68: 651-652 (1991)

---

(2003년 12월 28일 접수; 2004년 7월 22일 채택)