

방사선 조사 전분류의 확인을 위한 점도측정조건 및 threshold values 설정

안경아¹ · 최종동¹ · 김현구² · 권중호*

경북대학교 식품공학과, ¹식품의약품안전청, ²한국식품개발연구원

Establishment of Viscosity Measuring Conditions and Threshold Values for Identifying Irradiated Starches

Kyung-A An¹, Jong-Dong Choi¹, Hyun-Ku Kim², and Joong-Ho Kwon*

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

¹Korea Food and Drug Administration

²Korea Food Research Institute

Viscometry was applied to identify irradiated corn starch (CS), sweet potato starch (SS), and potato starch (PS) from non-irradiated controls using Brookfield DV-III programmable rheometer. Effects of starch suspension concentration (7.0-9.5%) and spindle speed (25-125 rpm) were investigated. Established optimal viscosity-measuring conditions showed the highest correlation coefficient between irradiation dose (0-6.0 kGy) and corresponding viscosities for CS, SS, and PS. Threshold values for identifying irradiated starches were suggested. Viscosities of all samples significantly decreased with increasing irradiation dose ($p < 0.05$) and spindle speed, while increased as suspension concentration increased. Optimal conditions for suspension concentration and spindle speed were 7.5% (6.7%, d.b.) and 125 rpm in CS, 8.5% (7.3%, d.b.) and 125 rpm in SS, and 9.0% (7.3%, d.b.) and 100 rpm in PS, respectively. Under these measuring conditions, threshold values for discriminating unknown samples were 0.313, 0.345, and 0.811 for CS, SS, and PS in 1.5 kGy-irradiated samples, compared with 0.521, 0.798, and 1.693 in non-irradiated samples, respectively, enabling identification of irradiated from non-irradiated starches.

Key words: starch (corn, sweet potato, potato), irradiation, identification, threshold values

서 론

전분은 식물이 광합성에 의하여 생성한 포도당을 고분자 (glucan)의 형태로 중합하여 중자, 뿌리, 줄기 등에 저장하는 생물고분자의 하나이다. 따라서 식품에 천연적으로 함유된 성분으로서 인류의 주요 에너지원으로 기여하고 있으며, 물을 가하여 가열하면 호화되고, 농도가 증가함에 따라 졸(sol)로부터 겔(gel)의 현상으로 변화하는 등 다양한 물성을 발휘할 수 있기 때문에 가공식품의 소재로 폭넓게 사용되고 있다. 전분의 성질은 원료가 되는 식물의 종류나 생육 환경, 전분의 제조방법, 순도, 전분입자의 크기 등에 따라 많은 차이가 있으며, 그에 따라 용도도 다르다. 현재 상업적으로 이용되는 전분의 종류는 옥수수 전분, 찰옥수수 전분, 타피오카 전분, 밀 전분, 감자 전분, 고구마 전분 등으로 옥수수 전분은 원료를 수입하여 생산

하고 있으며, 그 외의 전분은 대부분 수입에 의존하는 실정이다(1,2).

전분은 용도가 다양하여 미생물학적 품질관리가 필요할 수 있으며, 이를 목적으로 우리나라와 남아프리카공화국에서는 각각 5 kGy와 10 kGy까지의 방사선 조사를 허가하고 있다(3). 이에 따라 국제 식량교역이나 유통에서 제품의 품질관리를 위하여 방사선 조사 전분의 확인방법이 필요하게 되었다(4). 감마선 조사는 전분 분자의 크기와 구조에 영향을 미치며 이화학적 성질 변화를 야기하는데, 용해도 증가와 점도 및 팽윤력 감소 현상 등이 알려지고 있다(5-7). 방사선 조사에 의해 전분 분자의 결합이 끊어져 점도가 감소하는 특성은 검지기술(detection/identification methods)로서 활용되어, 국내외적으로 pepper 등의 향신료를 포함한 전분질 건조 식품류에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다(8-20). 그러나 전분류에 대해서는 Yi 등(21,22)과 저자들(23,24)에 의한 최근의 연구에서 점도측정법의 적용가능성이 확인되고 있는 정도이며, 점도 측정조건 등 시험방법의 표준화를 위한 체계적인 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 실험에서는 방사선 조사 전분류의 검지방법 표준화를 위한 연구의 일환으로 국내 사용량이 많은 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분을 대상으로 Brookfield 점도계를 이용

*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

한 점도측정법의 적용 가능성을 검토하면서, 전분 현탁액의 농도와 점도계의 spindle 회전속도(rpm)가 감마선 조사 시료의 점도에 미치는 영향을 조사하였다. 회귀분석을 통해 조사선량과 점도의 상관성을 검토하여 보다 효과적인 점도 측정 조건을 모색하고, 아울러 조사 전분에 대한 검지방법으로 적용하기 위하여 점도 threshold value를 설정하였다.

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 수분 함량은 옥수수 전분 10.47%, 고구마 전분 14.46%, 감자 전분 18.89%이었다.

시료의 방사선 조사

시료의 방사선 조사는 한국원자력연구소의 ^{60}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($\pm 5\%$). 조사시료는 대조시료와 함께 용기에 밀봉하여 실온에 보관하면서 실험에 사용하였다.

점도 측정

전분이 열 및 수분에 의해 용융되면 어느 정도의 점도를 보이는 페이스트 상태, 즉 풀이 된다. 전분풀은 non-Newtonian으로 shear rate가 변화할 때 shear stress의 변화가 같은 비율로 변화하지 않기 때문에 shear rate의 변화에 따라서 점도가 달라진다. Brookfield 점도계와 같은 회전형 점도계의 경우 spindle의 종류와 회전속도에 따라 shear rate가 결정되며, 유변학적 특성 연구에는 다른 속도에서 같은 spindle을 사용하는 방법이 이용된다. 또한 점도는 전분 현탁액의 pH 및 농도, 가열온도 및 시간, 교반조건 등 호화조건에 따라 달라진다(1). 검지방법으로 활용되고 있는 점도측정법에 있어서 전분 현탁액의 pH, 가열온도 및 시간에 대한 조건은 Hayashi 등(13)의 방법에 준하여 어느 정도 표준화되어 있는 것으로 볼 수 있다. 그러나 전분 현탁액의 농도는 사용하는 점도측정기의 종류에 따라 다양한

Table 1. Viscosities of corn starch suspension of different concentrations at various rpms

(Unit: centipoise (cP))

Conc. (%)	Spindle speed (rpm)	Irradiation dose (kGy)					Regression expressions ¹⁾	Coefficients
		0	1.5	3	4.5	6		
7.5	25	^{A,2)} 446.7 ± 12.7 ^{a,3,4)}	^A 285.7 ± 7.4 ^b	^A 211.7 ± 2.1 ^c	^A 168.7 ± 5.1 ^d	^A 132.3 ± 8.6 ^e	y=410.341e ^{-0.1975x}	R ² =0.9738
	50	^B 355.0 ± 8.7 ^a	^B 215.7 ± 5.1 ^b	^B 144.3 ± 12.9 ^c	^B 110.7 ± 5.1 ^d	^B 90.8 ± 10.2 ^e	y=319.125e ^{-0.2268x}	R ² =0.9551
	75	^C 323.3 ± 9.9 ^a	^C 193.0 ± 7.0 ^b	^{BC} 128.0 ± 9.2 ^c	^C 93.8 ± 4.0 ^d	^C 71.8 ± 9.4 ^e	y=295.367e ^{-0.2494x}	R ² =0.9707
	100	^D 303.7 ± 3.8 ^a	^{CD} 186.0 ± 6.0 ^b	^{CD} 118.3 ± 11.1 ^c	^D 85.5 ± 2.3 ^d	^{CD} 59.4 ± 9.3 ^e	y=286.725e ^{-0.2704x}	R ² =0.9797
	125	^D 291.3 ± 2.9 ^a	^D 175.0 ± 6.2 ^b	^D 107.0 ± 6.1 ^c	^D 80.8 ± 0.8 ^d	^D 47.5 ± 7.9 ^e	y=279.837e ^{-0.2944x}	R ² =0.9819
8.0	25	^A 533.3 ± 16.7 ^a	^A 411.7 ± 9.1 ^b	^A 244.7 ± 7.5 ^c	^A 207.0 ± 16.1 ^d	^A 158.0 ± 7.0 ^e	y=524.710e ^{-0.2082x}	R ² =0.9665
	50	^B 452.0 ± 26.7 ^a	^B 333.0 ± 11.4 ^b	^B 183.7 ± 12.9 ^c	^B 136.0 ± 10.1 ^d	^B 107.5 ± 11.0 ^d	y=445.001e ^{-0.2516x}	R ² =0.9646
	75	^C 407.3 ± 6.8 ^a	^C 274.3 ± 11.1 ^b	^C 163.0 ± 6.6 ^c	^{BC} 127.3 ± 3.5 ^d	^{BC} 97.0 ± 4.8 ^e	y=385.693e ^{-0.2425x}	R ² =0.9765
	100	^{CD} 387.3 ± 16.7 ^a	^D 255.0 ± 6.2 ^b	^C 147.3 ± 7.0 ^c	^{CD} 116.3 ± 7.1 ^d	^C 83.2 ± 7.6 ^e	y=367.322e ^{-0.2577x}	R ² =0.9754
	125	^D 362.0 ± 3.5 ^a	^E 238.0 ± 4.6 ^b	^D 128.3 ± 7.6 ^c	^D 105.2 ± 8.5 ^d	^D 68.6 ± 8.4 ^e	y=347.186e ^{-0.2770x}	R ² =0.9713
8.5	25	^A 714.7 ± 12.7 ^a	^A 518.3 ± 4.2 ^b	^A 271.0 ± 10.4 ^c	^A 225.0 ± 12.0 ^d	^A 177.7 ± 9.3 ^e	y=683.886e ^{-0.2414x}	R ² =0.9525
	50	^B 659.3 ± 1.2 ^a	^B 384.0 ± 6.0 ^b	^B 220.7 ± 8.4 ^c	^B 166.0 ± 7.9 ^d	^B 127.7 ± 4.2 ^e	y=592.518e ^{-0.2749x}	R ² =0.9679
	75	^C 586.3 ± 5.5 ^a	^C 327.3 ± 7.2 ^b	^C 196.0 ± 7.2 ^c	^{BC} 152.7 ± 5.5 ^d	^C 112.0 ± 2.0 ^e	y=519.307e ^{-0.2716x}	R ² =0.9681
	100	^D 546.0 ± 4.6 ^a	^D 314.3 ± 8.1 ^b	^D 179.0 ± 8.2 ^c	^{CD} 137.3 ± 9.3 ^d	^D 95.2 ± 6.3 ^e	y=496.778e ^{-0.2884x}	R ² =0.9752
	125	^E 504.7 ± 12.7 ^a	^E 284.0 ± 6.2 ^b	^D 168.0 ± 10.1 ^c	^D 124.3 ± 12.9 ^d	^D 84.6 ± 11.7 ^e	y=460.354e ^{-0.2943x}	R ² =0.9737
9.0	25	^A 1108.7 ± 17.5 ^a	^A 609.0 ± 10.1 ^b	^A 344.7 ± 5.7 ^c	^A 301.7 ± 7.2 ^d	^A 223.7 ± 9.7 ^e	y=951.255e ^{-0.2603x}	R ² =0.9402
	50	^B 942.0 ± 18.3 ^a	^B 563.3 ± 9.3 ^b	^B 258.3 ± 4.7 ^c	^B 212.3 ± 12.1 ^d	^B 170.3 ± 9.0 ^e	y=833.559e ^{-0.2933x}	R ² =0.9332
	75	^C 829.7 ± 21.5 ^a	^C 494.7 ± 6.0 ^b	^C 236.3 ± 6.0 ^c	^C 185.0 ± 13.2 ^d	^C 144.7 ± 11.9 ^e	y=744.398e ^{-0.2988x}	R ² =0.9478
	100	^D 753.7 ± 9.2 ^a	^D 446.3 ± 6.0 ^b	^D 213.3 ± 9.7 ^c	^D 166.7 ± 3.5 ^d	^{CD} 132.3 ± 12.7 ^e	y=672.710e ^{-0.2980x}	R ² =0.9454
	125	^E 687.3 ± 7.4 ^a	^E 415.3 ± 6.8 ^b	^E 194.3 ± 7.8 ^c	^D 158.7 ± 4.0 ^d	^D 121.3 ± 9.3 ^e	y=617.543e ^{-0.2956x}	R ² =0.9454
9.5	25	^A 1563.0 ± 43.6 ^a	^A 800.7 ± 14.0 ^b	^A 475.3 ± 9.5 ^c	^A 403.7 ± 10.6 ^d	^A 316.7 ± 16.8 ^e	y=1297.234e ^{-0.2586x}	R ² =0.9269
	50	^B 1318.3 ± 27.5 ^a	^B 743.7 ± 8.0 ^b	^B 353.0 ± 7.9 ^c	^B 294.0 ± 9.6 ^d	^B 216.0 ± 7.9 ^e	y=1156.672e ^{-0.3031x}	R ² =0.9467
	75	^C 1142.7 ± 23.7 ^a	^C 661.3 ± 7.4 ^b	^C 316.7 ± 11.5 ^c	^C 261.0 ± 7.8 ^d	^C 177.3 ± 7.6 ^e	y=1030.983e ^{-0.3105x}	R ² =0.9613
	100	^D 1024.7 ± 13.2 ^a	^D 612.0 ± 6.2 ^b	^{CD} 303.7 ± 11.6 ^c	^{CD} 248.0 ± 5.3 ^d	^{CD} 160.3 ± 3.8 ^e	y=947.282e ^{-0.3076x}	R ² =0.9719
	125	^E 928.7 ± 10.2 ^a	^E 584.0 ± 6.2 ^b	^D 293.0 ± 11.8 ^c	^D 237.3 ± 6.7 ^d	^D 149.7 ± 5.5 ^e	y=882.278e ^{-0.3035x}	R ² =0.9769

¹⁾y: viscosity, x: irradiation dose.

^{2)A-E}Means with the same superscripts in each column are not significantly different among groups by Duncan's multiple range test in one way ANOVA ($p < 0.05$).

^{3)a-e}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⁾Mean value ± standard deviation for 3 measurements.

실정이다. 이에 본 실험에서는 방사선 조사 전분류의 확인방법 연구의 일환으로 Brookfield 점도계를 사용한 점도측정법의 적용 가능성을 검토하면서, 점도계의 spindle 회전속도와 전분 현탁액의 농도에 의한 영향을 살펴보고자 하였다.

점도 측정을 위한 spindle 및 rpm의 선택은 trial & error법으로 하였다. Brookfield 점도계는 측정하려는 유체에 spindle을 담고 그 일정한 속도로 회전시킬 때 발생하는 torque 값을 측정하는 형태로, 일반적으로 torque 범위가 10-100% 사이에 들어야 한다. 만약 100%를 넘는 경우에는 rpm을 낮추거나 고점도용 spindle을 사용하고, 10% 이하인 경우에는 rpm을 증가시키거나 저점도용 spindle을 사용해야 한다. 본 실험에 사용된 Brookfield DV-III programmable rheometer(Brookfield Eng Labs. Inc., USA)는 4종류의 LV spindle이 제공되며, 0.01-250 rpm까지 speed를 다양하게 조절할 수 있다. 예비실험 결과 disc type의 No. 3 spindle이 시료 전분에 대하여 다양한 농도와 rpm에서의 점도 측정이 가능하였다. 한편, 시료의 농도는 옥수수 전분과 고구마 전분에 대해서는 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 및 9.5%로 조제하고, 감자 전분은 점성이 큰 특성을 고려하여 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 및 9.0%로 설정하였다.

시료의 점도 측정은 Hayashi 등(13)의 방법에 준하여 시료에 일정량의 증류수를 가하여 현탁액을 조제하고, 33% NaOH 8.2 mL를 가하여 알칼리화 한 다음 Omni macro homogenizer (Model No. 17505, USA)를 사용하여 완전히 혼합하였다(speed 3, 1 min). 이를 비등수욕조(99°C)에서 30분간 가열·호화하여

30°C에서 4시간 항온 보관한 다음 동일 온도에서 #3 LV spindle 이 장착된 Brookfield rheometer를 사용하여 30초 후의 점도를 반복 측정하였다.

Threshold value(역치) 설정 실험

이상적인 검지방식은 대조구로서 비조사 시료가 없어도 식품의 방사선 조사여부가 가려져야 하고, 또한 조사 후 저장 기간에 관계없이 적용이 가능해야 한다(25). Hayashi 등은 전분과 같은 고분자는 gel화 특성에 큰 영향을 주기 때문에 시료의 점도를 전분 함량에 대해 표준화하여 specific parameter를 설정함으로써, 더 정확한 점도 값을 얻을 수 있으며 대조시료가 없어도 판별이 가능함을 보고한 바 있다(13). 조사선량을 알고 있는 시료의 specific parameter는 호화조건이 동일한 전제 하에서 미시시료에 대한 판별 기준, 즉 threshold value로 활용할 수 있다. 이에 본 실험에서는 감마선 조사 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분을 대상으로 아래 식에 따라 조사선량별 specific parameter를 설정하여 조사전분 확인 marker로서의 적용 가능성을 검토하였다.

$$\text{Specific parameter} = \text{Viscosity of sample suspension (cP)} / \text{Starch amount in 1g of sample (g)} \times \text{Viscosity of 5\% standard starch suspension (cP)}$$

시료의 전분함량은 Somogyi변법(26)을 이용하여 전당 함량을 3회 반복 측정된 다음 전분계수 0.9를 곱하여 구하였다. 전

Table 2. Viscosities of sweet potato starch suspension of different concentrations at various rpms (Unit: centipoise (cP))

Conc. (%)	Spindle speed (rpm)	Irradiation dose (kGy)					Regression expressions	Coefficients
		0	1.5	3	4.5	6		
7.5	25	^{A1)} 474.3 ± 68.0 ^{a,2)}	^A 214.7 ± 26.4 ^b	^A 89.5 ± 6.3 ^c	^A 81.6 ± 3.9 ^c	^A 70.1 ± 8.4 ^c	y=360.745e ^{-0.3189x}	R ² =0.8574
	50	^B 365.7 ± 43.8 ^a	^B 134.0 ± 14.1 ^b	^B 76.6 ± 5.7 ^c	^B 67.1 ± 5.7 ^c	^B 45.4 ± 5.3 ^c	y=270.691e ^{-0.3241x}	R ² =0.8939
	75	^B 320.7 ± 20.8 ^a	^B 124.7 ± 12.2 ^b	^B 70.0 ± 3.4 ^c	^C 53.7 ± 5.6 ^{cd}	^{BC} 36.4 ± 3.3 ^d	y=250.052e ^{-0.3464x}	R ² =0.9331
	100	^B 319.7 ± 22.5 ^a	^B 119.3 ± 14.5 ^b	^C 61.4 ± 5.8 ^c	^C 45.1 ± 8.0 ^{cd}	^C 31.5 ± 3.6 ^d	y=245.596e ^{-0.3744x}	R ² =0.9268
	125	^B 302.0 ± 12.0 ^a	^B 114.7 ± 13.3 ^b	^C 56.8 ± 1.0 ^c	^C 43.0 ± 5.9 ^{cd}	^C 30.4 ± 1.2 ^d	y=231.887e ^{-0.3717x}	R ² =0.9281
8.0	25	^A 539.0 ± 99.0 ^a	^A 249.3 ± 21.5 ^b	^A 118.7 ± 7.8 ^c	^A 106.7 ± 7.0 ^c	^A 86.9 ± 8.5 ^c	y=418.348e ^{-0.2988x}	R ² =0.8760
	50	^{AB} 462.3 ± 45.1 ^a	^B 173.3 ± 9.0 ^b	^B 91.0 ± 6.2 ^c	^B 82.8 ± 6.7 ^c	^B 58.1 ± 6.6 ^c	y=341.035e ^{-0.3261x}	R ² =0.8871
	75	^B 409.0 ± 29.1 ^a	^{BC} 154.7 ± 13.1 ^b	^B 83.0 ± 5.8 ^c	^C 66.9 ± 3.4 ^{cd}	^C 43.8 ± 4.4 ^d	y=314.561e ^{-0.3539x}	R ² =0.9281
	100	^B 389.0 ± 27.2 ^a	^{BC} 149.7 ± 12.0 ^b	^C 66.8 ± 10.0 ^c	^D 55.9 ± 5.5 ^{cd}	^C 34.9 ± 4.8 ^d	y=301.588e ^{-0.3878x}	R ² =0.9248
	125	^B 366.3 ± 29.8 ^a	^C 137.0 ± 14.2 ^b	^C 61.5 ± 7.6 ^c	^D 48.9 ± 1.5 ^c	^C 32.9 ± 2.4 ^c	y=279.127e ^{-0.3896x}	R ² =0.9249
8.5	25	^A 715.3 ± 12.7 ^a	^A 300.7 ± 20.1 ^b	^A 160.7 ± 14.5 ^c	^A 143.7 ± 12.7 ^c	^A 104.2 ± 8.9 ^d	y=551.099e ^{-0.3065x}	R ² =0.8986
	50	^B 526.0 ± 15.5 ^a	^B 221.0 ± 10.1 ^b	^B 127.0 ± 7.8 ^c	^B 97.6 ± 10.8 ^d	^B 64.9 ± 8.2 ^c	y=425.460e ^{-0.3344x}	R ² =0.9437
	75	^C 497.0 ± 4.6 ^a	^B 209.7 ± 19.2 ^b	^B 114.0 ± 6.6 ^c	^{BC} 82.4 ± 12.3 ^d	^C 49.8 ± 2.8 ^c	y=414.758e ^{-0.3693x}	R ² =0.9626
	100	^D 463.0 ± 7.8 ^a	^B 199.7 ± 21.2 ^b	^C 97.3 ± 9.4 ^c	^{CD} 65.0 ± 8.6 ^d	^{CD} 41.8 ± 7.8 ^c	y=391.630e ^{-0.3971x}	R ² =0.9618
	125	^E 439.3 ± 15.1 ^a	^B 190.0 ± 19.0 ^b	^C 86.2 ± 3.4 ^c	^D 53.8 ± 7.1 ^d	^D 36.7 ± 3.0 ^d	y=372.165e ^{-0.4154x}	R ² =0.9659
9.0	25	^A 862.3 ± 43.4 ^a	^A 380.3 ± 18.8 ^b	^A 203.7 ± 5.7 ^c	^A 174.7 ± 12.6 ^{cd}	^A 155.7 ± 9.5 ^d	y=655.448e ^{-0.2802x}	R ² =0.8671
	50	^{AB} 823.0 ± 53.7 ^a	^B 271.7 ± 3.1 ^b	^B 176.7 ± 7.6 ^c	^B 111.7 ± 9.1 ^d	^B 85.0 ± 5.8 ^d	y=611.127e ^{-0.3622x}	R ² =0.9249
	75	^{BC} 756.3 ± 33.8 ^a	^B 236.7 ± 43.3 ^b	^C 144.7 ± 15.8 ^c	^C 86.3 ± 8.1 ^d	^B 76.4 ± 6.5 ^d	y=537.315e ^{-0.3727x}	R ² =0.8932
	100	^{CD} 721.0 ± 42.0 ^a	^B 229.7 ± 50.5 ^b	^{CD} 129.3 ± 8.1 ^c	^C 74.2 ± 5.3 ^d	^C 55.9 ± 6.6 ^d	y=536.225e ^{-0.4157x}	R ² =0.9315
	125	^D 666.0 ± 55.7 ^a	^B 224.0 ± 32.4 ^b	^D 121.7 ± 6.5 ^c	^C 69.7 ± 11.4 ^{cd}	^C 45.4 ± 4.0 ^d	y=522.585e ^{-0.4361x}	R ² =0.9558
9.5	25	^A 1396.7 ± 72.5 ^a	^A 484.3 ± 20.3 ^b	^A 255.3 ± 9.5 ^c	^A 211.0 ± 12.3 ^{cd}	^A 181.3 ± 6.1 ^d	y=978.360e ^{-0.3276x}	R ² =0.8609
	50	^B 1216.7 ± 25.3 ^a	^B 367.0 ± 12.1 ^b	^B 198.7 ± 12.5 ^c	^B 135.7 ± 13.6 ^d	^B 115.7 ± 9.0 ^d	y=839.294e ^{-0.3806x}	R ² =0.8879
	75	^C 1081.3 ± 25.3 ^a	^C 326.3 ± 14.2 ^b	^C 176.3 ± 9.6 ^c	^C 114.7 ± 4.9 ^d	^C 97.9 ± 3.3 ^d	y=752.949e ^{-0.3901x}	R ² =0.8988
	100	^D 971.0 ± 41.2 ^a	^C 315.3 ± 24.6 ^b	^D 146.0 ± 6.1 ^c	^{CD} 103.4 ± 7.0 ^d	^D 77.9 ± 7.5 ^d	y=701.608e ^{-0.4110x}	R ² =0.9171
	125	^D 913.7 ± 24.4 ^a	^C 298.3 ± 16.8 ^b	^D 128.0 ± 11.3 ^c	^D 90.4 ± 2.3 ^d	^D 68.3 ± 8.1 ^d	y=662.042e ^{-0.4260x}	R ² =0.9179

^{1),2)}Refer to the legend in Table 1.

본 표준품으로는 옥수수 전분(s-9679: waxycorn starch, Sigma, USA)을 사용하였고, 5% 현탁액을 조제하여 33% NaOH 8.2 mL를 첨가하여 알칼리화한 후 비등 수욕조(99°C)에서 30분간 가열·호화하여 상기와 동일한 조건으로 점도를 측정하였다.

실험 결과 분석

시료의 점도측정은 3회 반복 실시하여 SPSS(Statistical Package for Social Science, version 10.0)를 사용하여 평균과 표준편차를 계산하였으며, 분산분석과 Duncan's multiple range test로 유의성을 검정하였다(27).

결과 및 고찰

방사선 조사 전분류의 확인방법 연구의 일환으로 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분에 0, 1.5, 3.0, 4.5 및 6.0 kGy의 감마선을 조사하여 Brookfield rheometer를 이용한 점도측정법의 적용 가능성을 검토하였다. 건물량 기준의 동일 농도에서 비조사 대조구의 점도는 감자 전분이 가장 높고, 고구마 전분이 옥수수 전분에 비해 다소 높은 값을 나타내었다. 감자 전분의 경우 곡류 전분과 달리 인이 전분 분자에 직접 화학 결합된 에스테르의 형태로 존재하며, 특히 호화 시의 점도에 영향을 미치는 6-인산 에스테르 함량이 높은 점이 이와 같은 고점도 특성을 보이는 이유의 하나로 알려지고 있다(1).

모든 실험구에서 점도는 감마선 조사선량이 증가함에 따라

감소하였으며, 3 kGy까지는 현저한 차이를 보이지만 그 이상의 선량에서는 변화가 크지 않은 경향이였다. 특히, 고구마 전분은 3 kGy 이하에서의 점도 감소 비율이 매우 높아 감마선에 가장 민감한 것으로 나타났다. 전분 농도 및 rpm에 따른 점도 변화는 시료 현탁액의 농도에 의존하여 점도가 증가하였고, rpm이 증가할수록 점도는 감소하는 경향이 확인되었다. 전분 시료별 결과는 다음과 같다.

옥수수 전분의 조사선량과 측정조건에 따른 점도 변화

감마선 조사 옥수수 전분을 7.5-9.5% 농도의 현탁액으로 조제하여 25-125 rpm에서 조사선량에 따른 점도 변화를 살펴 본 결과, 모든 실험구에서 조사선량에 유의적으로 점도가 감소하는 것으로 확인되었다($p < 0.05$). 점도 감소의 경향은 조사선량 3 kGy까지는 크게 감소되었으나, 이보다 높은 선량에서는 감소 비율이 현저히 줄어들어 완만한 변화를 나타내었다. 그리고 rpm에 따른 점도 변화는 25 rpm과 50 rpm의 경우 농도에 관계없이 모든 조사선량에서 뚜렷한 차이를 나타내었으나, 75 rpm 이상에서는 농도가 낮고 조사선량이 증가할수록 유의성이 떨어지는 경향이였다($p < 0.05$).

전분 농도 및 rpm이 감마선 조사 옥수수 전분의 점도에 미치는 영향에 대한 회귀분석 결과, 모든 변수들의 관계에서 R^2 0.93 이상의 높은 상관성을 보였다(Table 1). 전분 농도 7.5%와 8.0% 현탁액이 이보다 높은 농도(8.5-9.5%)의 현탁액에 비해 rpm에 관계 없이 더 높은 상관성을 나타내었고, 가장 높은 상관성을 보이

Table 3. Viscosities of potato starch suspension of different concentrations at various rpms

(Unit: centipoise (cP))

Conc. (%)	Spindle speed (rpm)	Irradiation dose (kGy)					Regression expressions	Coefficients
		0	1.5	3	4.5	6		
7.0	25	^{A,1)} 625.7 ± 24.7 ^{a,2)}	^A 276.7 ± 12.9 ^b	^A 140.0 ± 4.0 ^c	^A 119.0 ± 7.9 ^c	^A 81.8 ± 6.2 ^d	$y=502.498e^{-0.3278x}$	$R^2=0.9305$
	50	^B 555.0 ± 8.7 ^a	^B 249.3 ± 9.7 ^b	^B 123.0 ± 4.6 ^c	^A 109.3 ± 7.1 ^d	^B 65.5 ± 5.3 ^e	$y=457.103e^{-0.3401x}$	$R^2=0.9418$
	75	^C 483.7 ± 18.5 ^a	^B 241.7 ± 10.7 ^b	^{BC} 114.0 ± 5.6 ^c	^B 98.8 ± 1.9 ^c	^C 56.5 ± 5.7 ^d	$y=421.670e^{-0.3462x}$	$R^2=0.9576$
	100	^C 460.0 ± 9.0 ^a	^{BC} 231.3 ± 7.8 ^b	^{CD} 105.0 ± 6.1 ^c	^{BC} 94.2 ± 3.3 ^c	^{CD} 48.1 ± 3.0 ^d	$y=408.449e^{-0.3612x}$	$R^2=0.9597$
	125	^D 415.0 ± 13.7 ^a	^C 217.0 ± 9.5 ^b	^D 101.3 ± 4.6 ^c	^C 87.2 ± 4.1 ^c	^D 45.1 ± 4.1 ^d	$y=376.444e^{-0.3571x}$	$R^2=0.9665$
7.5	25	^A 719.7 ± 12.7 ^a	^A 321.0 ± 9.5 ^b	^A 165.3 ± 8.4 ^c	^A 136.7 ± 5.9 ^d	^A 96.0 ± 5.8 ^e	$y=580.796e^{-0.3256x}$	$R^2=0.9352$
	50	^B 658.3 ± 24.2 ^a	^B 266.0 ± 15.5 ^b	^A 154.0 ± 5.6 ^c	^B 121.0 ± 2.6 ^d	^B 76.5 ± 4.6 ^e	$y=526.675e^{-0.3395x}$	$R^2=0.9466$
	75	^C 581.0 ± 14.8 ^a	^{BC} 253.3 ± 11.9 ^b	^B 140.7 ± 5.0 ^c	^C 107.0 ± 3.6 ^d	^C 64.2 ± 5.8 ^e	$y=487.671e^{-0.3515x}$	$R^2=0.9646$
	100	^D 534.0 ± 9.6 ^a	^{BC} 245.3 ± 8.5 ^b	^B 131.7 ± 6.1 ^c	^D 99.3 ± 3.3 ^d	^D 54.6 ± 3.5 ^e	$y=466.546e^{-0.3646x}$	$R^2=0.9761$
	125	^E 498.7 ± 11.7 ^a	^C 233.7 ± 10.0 ^b	^C 117.7 ± 6.5 ^c	^E 90.5 ± 2.5 ^d	^D 49.8 ± 2.4 ^e	$y=437.153e^{-0.3705x}$	$R^2=0.9748$
8.0	25	^A 795.0 ± 5.2 ^a	^A 357.7 ± 7.1 ^b	^A 199.0 ± 13.7 ^c	^A 173.0 ± 4.6 ^d	^A 113.7 ± 4.2 ^e	$y=645.850e^{-0.3078x}$	$R^2=0.9357$
	50	^B 737.3 ± 22.4 ^a	^B 335.0 ± 7.0 ^b	^B 180.0 ± 10.8 ^c	^B 149.7 ± 1.5 ^d	^B 90.0 ± 1.5 ^e	$y=617.457e^{-0.3341x}$	$R^2=0.9563$
	75	^C 643.3 ± 6.8 ^a	^C 319.0 ± 6.2 ^b	^{BC} 164.7 ± 7.6 ^c	^C 131.3 ± 3.2 ^d	^C 80.6 ± 2.4 ^e	$y=560.439e^{-0.3361x}$	$R^2=0.9687$
	100	^D 596.7 ± 8.5 ^a	^C 309.0 ± 2.6 ^b	^C 158.0 ± 7.0 ^c	^D 112.7 ± 5.7 ^d	^D 71.1 ± 0.8 ^e	$y=537.903e^{-0.3509x}$	$R^2=0.9817$
	125	^E 553.0 ± 8.7 ^a	^D 286.7 ± 8.3 ^b	^C 149.3 ± 7.4 ^c	^E 102.1 ± 3.4 ^d	^D 66.5 ± 3.7 ^e	$y=499.806e^{-0.3514x}$	$R^2=0.9829$
8.5	25	^A 856.0 ± 18.4 ^a	^A 413.7 ± 6.7 ^b	^A 235.3 ± 7.4 ^c	^A 195.3 ± 7.0 ^d	^A 130.3 ± 4.5 ^e	$y=720.146e^{-0.3010x}$	$R^2=0.9526$
	50	^A 825.3 ± 29.3 ^a	^{AB} 396.0 ± 10.5 ^b	^B 217.0 ± 4.4 ^c	^B 166.3 ± 6.5 ^d	^B 109.0 ± 4.6 ^e	$y=705.917e^{-0.3278x}$	$R^2=0.9662$
	75	^B 767.0 ± 26.9 ^a	^{BC} 375.0 ± 16.7 ^b	^C 201.3 ± 3.5 ^c	^C 152.3 ± 4.0 ^d	^C 93.2 ± 3.9 ^e	$y=671.701e^{-0.3410x}$	$R^2=0.9749$
	100	^C 716.0 ± 23.6 ^a	^{CD} 358.7 ± 21.9 ^b	^D 190.0 ± 3.6 ^c	^D 129.3 ± 5.5 ^d	^{CD} 85.6 ± 3.8 ^e	$y=636.515e^{-0.3512x}$	$R^2=0.9800$
	125	^C 679.0 ± 34.6 ^a	^D 336.7 ± 17.0 ^b	^E 171.0 ± 4.6 ^c	^D 120.0 ± 6.0 ^d	^D 78.3 ± 5.5 ^e	$y=599.176e^{-0.3568x}$	$R^2=0.9758$
9.0	25	^A 1131.3 ± 24.2 ^a	^A 545.7 ± 11.0 ^b	^A 351.3 ± 13.3 ^c	^A 231.3 ± 9.6 ^d	^A 164.7 ± 6.1 ^e	$y=983.293e^{-0.3142x}$	$R^2=0.9757$
	50	^B 1016.7 ± 42.6 ^a	^A 536.3 ± 18.5 ^b	^B 286.3 ± 7.6 ^c	^B 181.3 ± 7.8 ^d	^B 130.3 ± 9.3 ^e	$y=921.193e^{-0.3464x}$	$R^2=0.9807$
	75	^C 956.3 ± 28.0 ^a	^B 495.7 ± 9.1 ^b	^C 252.0 ± 9.2 ^c	^C 164.0 ± 11.5 ^d	^C 112.0 ± 7.9 ^e	$y=864.756e^{-0.3600x}$	$R^2=0.9807$
	100	^D 907.7 ± 16.7 ^a	^C 449.3 ± 21.5 ^b	^C 243.7 ± 5.5 ^c	^D 148.3 ± 4.9 ^d	^D 96.2 ± 5.0 ^e	$y=824.859e^{-0.3732x}$	$R^2=0.9888$
	125	^E 845.0 ± 6.2 ^a	^D 413.0 ± 19.1 ^b	^D 224.7 ± 5.9 ^c	^D 144.0 ± 3.6 ^d	^D 89.8 ± 6.3 ^e	$y=762.265e^{-0.3693x}$	$R^2=0.9876$

^{1),2)}Refer to the legend in Table 1.

는 rpm은 시료 현탁액의 농도에 따라 다르게 나타나 7.5%의 경우 125 rpm($R^2=0.9819$), 8.0%는 75 rpm($R^2=0.9765$), 8.5%는 100 rpm($R^2=0.9752$), 9.0%는 75 rpm($R^2=0.9478$), 9.5%는 125 rpm($R^2=0.9769$)에서 각각 가장 높은 유의적 상관관을 보여주었다.

결과적으로 7.5% 농도로 현탁액을 조제하여 125 rpm에서 점도를 측정하였을 때 조사선량과 점도의 상관관계가 가장 높았고, 따라서 옥수수 전분의 검지에 유용한 점도 측정 조건으로 판단되었다. 본 실험에 사용한 옥수수 전분의 수분 함량이 10.5%임을 고려할 때, Brookfield DV-III programmable rheometer (LV spindle No. 3)를 이용하여 옥수수 전분의 방사선 조사여부를 확인함에 있어서는 전분 농도 6.7%(건물량) 및 spindle speed 125 rpm의 조건을 적용함으로써 결과의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

고구마 전분의 조사선량과 측정조건에 따른 점도 변화

감마선 조사 고구마 전분을 7.5-9.5% 농도의 현탁액으로 조제하여 25-125 rpm에서 조사선량에 따른 점도 변화를 검토한 결과, 모든 실험구에서 1.5 kGy의 감마선 조사만으로도 비조사구에 비해 50% 이상의 점도 감소가 일어나고, 3 kGy 조사구는 1.5 kGy 조사구에 비해 45% 이상 감소하였으며, 3 kGy 이상에서는 점도 감소의 비율이 크게 줄어들었다. 이와 같은 점도 감

소의 경향은 옥수수 전분 및 감자 전분과 유사하지만 1.5-3 kGy 조사구에서의 감소 비율이 매우 높아 고구마 전분이 감마선 조사에 가장 민감함을 알 수 있었다. 이에 따라 전분 농도가 낮은 경우 조사구 간의 유의적인 점도 차이를 보기 어렵고, 또한 감마선에 의해 야기되는 점도 감소가 크기 때문에 상대적으로 rpm이 점도에 미치는 영향은 감소하였다. 즉, 전분 농도 8.5% 이상에서 rpm에 관계없이 조사선량에 따른 점도 차이가 비교적 뚜렷하였고($p < 0.05$), 모든 실험구에서 75 rpm 이상에서는 유의성이 떨어지는 경향이 확인되었다($p < 0.05$).

전분 농도 및 rpm이 감마선 조사 고구마 전분의 점도에 미치는 영향에 대한 회귀분석 결과, 모든 변수들의 관계에서 R^2 0.86 이상의 상관성을 나타내어 옥수수 전분 및 고구마 전분에 비해 조사선량과 점도의 상관성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다(Table 2). 전분 농도 8.5% 현탁액이 가장 높은 상관성을 나타내었고, 75 rpm 이상의 조건에서 비교적 높은 상관성을 나타내어 전분 농도 7.5%와 8.0%는 75 rpm, 8.5%, 9.0% 및 9.5%는 125 rpm에서 각각 R^2 0.9331, 0.9281, 0.9659, 0.9558 및 0.9179로 가장 높은 유의적 상관관을 보였다.

결과적으로 8.5% 농도로 현탁액을 조제하여 125 rpm에서 점도를 측정하였을 때 조사선량과 점도의 상관관계가 가장 높았고, 따라서 고구마 전분의 검지에 유용한 점도 측정 조건으로

Table 4. Changes in specific parameter of gamma-irradiated corn starch by measuring viscosity (Unit: cP)

Conc. (%)	Spindle speed (rpm)	Irradiation dose (kGy)				
		0	1.5	3	4.5	6
7.5	25	^{A,1)} 0.587 ± 0.017 ^{a,2,3)}	^A 0.375 ± 0.010 ^b	^A 0.278 ± 0.003 ^c	^A 0.222 ± 0.007 ^d	^A 0.174 ± 0.011 ^e
	50	^B 0.528 ± 0.013 ^a	^B 0.321 ± 0.008 ^b	^B 0.215 ± 0.019 ^c	^B 0.165 ± 0.008 ^d	^B 0.135 ± 0.015 ^e
	75	^B 0.506 ± 0.015 ^a	^B 0.302 ± 0.011 ^b	^B 0.200 ± 0.014 ^c	^C 0.147 ± 0.006 ^d	^{BC} 0.113 ± 0.015 ^e
	100	^B 0.521 ± 0.006 ^a	^B 0.319 ± 0.010 ^b	^B 0.203 ± 0.019 ^c	^C 0.147 ± 0.004 ^d	^{CD} 0.102 ± 0.016 ^e
	125	^B 0.521 ± 0.005 ^a	^B 0.313 ± 0.011 ^b	^B 0.191 ± 0.011 ^c	^C 0.144 ± 0.001 ^d	^D 0.085 ± 0.014 ^e
8.0	25	^A 0.700 ± 0.022 ^a	^A 0.541 ± 0.012 ^b	^A 0.321 ± 0.010 ^c	^A 0.272 ± 0.021 ^d	^A 0.208 ± 0.009 ^e
	50	^{AB} 0.673 ± 0.040 ^a	^B 0.496 ± 0.017 ^b	^B 0.273 ± 0.019 ^c	^B 0.202 ± 0.015 ^d	^B 0.160 ± 0.016 ^d
	75	^B 0.638 ± 0.011 ^a	^C 0.430 ± 0.017 ^b	^B 0.255 ± 0.010 ^c	^B 0.199 ± 0.005 ^d	^B 0.152 ± 0.008 ^e
	100	^{AB} 0.664 ± 0.029 ^a	^C 0.437 ± 0.011 ^b	^{BC} 0.253 ± 0.012 ^c	^B 0.200 ± 0.012 ^d	^{BC} 0.143 ± 0.013 ^e
	125	^B 0.647 ± 0.006 ^a	^C 0.425 ± 0.008 ^b	^C 0.229 ± 0.014 ^c	^B 0.188 ± 0.015 ^d	^C 0.123 ± 0.015 ^e
8.5	25	^B 0.939 ± 0.017 ^a	^A 0.681 ± 0.005 ^b	^A 0.356 ± 0.014 ^c	^A 0.296 ± 0.016 ^d	^A 0.233 ± 0.012 ^e
	50	^A 0.981 ± 0.002 ^a	^B 0.571 ± 0.009 ^b	^B 0.328 ± 0.012 ^c	^B 0.247 ± 0.012 ^d	^B 0.190 ± 0.006 ^e
	75	^{BC} 0.918 ± 0.009 ^a	^D 0.513 ± 0.011 ^b	^{BC} 0.307 ± 0.011 ^c	^B 0.239 ± 0.009 ^d	^{BC} 0.175 ± 0.003 ^e
	100	^B 0.937 ± 0.008 ^a	^C 0.539 ± 0.014 ^b	^{BC} 0.307 ± 0.014 ^c	^B 0.236 ± 0.016 ^d	^{CD} 0.163 ± 0.011 ^e
	125	^C 0.902 ± 0.023 ^a	^D 0.507 ± 0.011 ^b	^C 0.300 ± 0.018 ^c	^B 0.222 ± 0.023 ^d	^D 0.151 ± 0.021 ^e
9.0	25	^A 1.456 ± 0.023 ^a	^B 0.800 ± 0.013 ^b	^A 0.453 ± 0.007 ^c	^A 0.396 ± 0.010 ^d	^A 0.294 ± 0.013 ^e
	50	^B 1.402 ± 0.027 ^a	^A 0.838 ± 0.014 ^b	^B 0.384 ± 0.007 ^c	^B 0.316 ± 0.018 ^d	^B 0.254 ± 0.013 ^e
	75	^C 1.299 ± 0.034 ^a	^C 0.775 ± 0.009 ^b	^B 0.370 ± 0.009 ^c	^C 0.290 ± 0.021 ^d	^{BC} 0.227 ± 0.019 ^e
	100	^C 1.293 ± 0.016 ^a	^C 0.766 ± 0.010 ^b	^{BC} 0.366 ± 0.017 ^c	^C 0.286 ± 0.006 ^d	^{BC} 0.227 ± 0.022 ^e
	125	^D 1.228 ± 0.013 ^a	^D 0.742 ± 0.012 ^b	^C 0.347 ± 0.014 ^c	^C 0.284 ± 0.007 ^d	^C 0.217 ± 0.017 ^e
9.5	25	^A 2.053 ± 0.057 ^a	^B 1.051 ± 0.018 ^b	^A 0.624 ± 0.013 ^c	^A 0.530 ± 0.014 ^d	^A 0.416 ± 0.022 ^e
	50	^B 1.962 ± 0.041 ^a	^A 1.107 ± 0.012 ^b	^B 0.525 ± 0.012 ^c	^B 0.438 ± 0.014 ^d	^B 0.321 ± 0.012 ^e
	75	^C 1.789 ± 0.037 ^a	^B 1.036 ± 0.012 ^b	^B 0.496 ± 0.018 ^c	^C 0.409 ± 0.012 ^d	^C 0.278 ± 0.012 ^e
	100	^C 1.758 ± 0.023 ^a	^B 1.050 ± 0.011 ^b	^B 0.521 ± 0.020 ^c	^{BC} 0.425 ± 0.009 ^d	^C 0.275 ± 0.006 ^e
	125	^D 1.659 ± 0.018 ^a	^B 1.043 ± 0.011 ^b	^B 0.524 ± 0.021 ^c	^{BC} 0.424 ± 0.012 ^d	^C 0.267 ± 0.010 ^e

¹⁾Means with the same superscripts in each column are not significantly different among groups by Duncan's multiple range test in one way ANOVA ($p < 0.05$).

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

³⁾Mean value ± standard deviation for 3 measurement.

판단되었다. 본 실험에 사용한 고구마 전분의 수분 함량이 14.5% 임을 고려할 때, Brookfield rheometer(LV spindle No. 3)를 이용하여 고구마 전분의 방사선 조사여부를 확인함에 있어서는 전분 농도 7.3%(건물량) 및 spindle speed 125 rpm의 조건을 적용함으로써 결과의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

감자 전분의 조사선량과 측정조건에 따른 점도 변화

감마선 조사 감자 전분을 7.0-9.0% 농도의 현탁액으로 조제하여 25-125 rpm에서 조사선량에 따른 점도를 측정된 결과, 감자 전분 고유의 고점도 특성에 기인하여 옥수수 전분 및 고구마 전분에 비해 저농도에서도 비조사구와 조사구 간의 점도 차이가 크게 나타나 조사여부의 판별이 용이하였다. 전분 농도 7.5% 이상에서 rpm에 관계없이 조사선량에 따른 유의적인 차이를 볼 수 있었고($p < 0.05$), 저농도 및 고선량 구간에서도 rpm에 따른 점도 변화가 비교적 뚜렷하였다($p < 0.05$).

전분 농도 및 rpm이 감마선 조사 감자 전분의 점도에 미치는 영향에 대한 회귀분석 결과, 모든 변수들의 관계에서 R^2 0.93 이상의 높은 상관성을 보였다(Table 3). 감자 전분의 농도가 증가할수록 조사선량과 점도 사이의 상관관계가 높은 경향을 나타내어 9.0% 현탁액이 가장 높은 상관성을 나타내었고, 전분 농도에 관계없이 75 rpm 이상에서 비교적 높은 상관성이 관찰되었다. 가장 높은 상관성을 보이는 rpm은 시료 현탁액의 농도에 따라 다르게 나타나 7.0%는 125 rpm($R^2 = 0.9665$), 7.5%는 100 rpm($R^2 = 0.9761$), 8.0%는 125 rpm($R^2 = 0.9829$), 8.5%는

100 rpm($R^2 = 0.9800$), 9.0%는 100 rpm($R^2 = 0.9888$)에서 각각 가장 높은 유의적 상관을 보여주었다.

결과적으로 9.0% 농도로 현탁액을 조제하여 100 rpm에서 점도를 측정하였을 때 조사선량과 점도의 상관관계가 가장 높았고, 따라서 감자 전분의 점도에 유용한 점도 측정 조건으로 판단되었다. 본 실험에 사용한 감자 전분의 수분 함량이 18.9% 임을 고려할 때, Brookfield rheometer를 사용하여 감자 전분의 방사선 조사여부를 확인함에 있어서는 전분 농도 7.3%(건물량) 및 spindle speed 100 rpm의 조건을 적용함으로써 결과의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 방사선 조사는 전분의 점도를 감소시키며, 비교적 낮은 선량에서도 점도의 변화가 크다는 사실을 확인하였다. 이는 여러 연구결과를 뒷받침하는 것이지만, 전분의 미생물학적 품질개선을 위한 방사선조사 허가 선량이 최저 5 kGy 범위를 감안할 때 방사선 조사 전분의 점도 측정 시 영향인자의 설정이 우선적으로 검토되어야만 비조사구와의 구별이 용이하게 될 것으로 사료된다. 본 연구는 점도 측정을 통해 전분의 방사선 조사여부를 확인함에 있어서 Hayashi 등(14)이 제안한 강알칼리 상태에서의 열처리가 유용함을 재확인하였다. 또한 전분의 종류(원료)에 따라 이화학적 특성이 상이함을 고려할 때, 시료 현탁액의 농도와 점도계의 spindle 회전속도는 방사선 조사시료의 점도 측정 시 중요한 인자로 확인되었으므로 전분류에 대한 검지방법 표준화 연구에서는 충분한 고려가 필요한 것으로 나타났다.

Table 5. Changes in specific parameter of gamma-irradiated sweet potato starch by measuring viscosity

(Unit: cP)

Conc. (%)	Spindle speed (rpm)	Irradiation dose (kGy)				
		0	1.5	3	4.5	6
7.5	25	^{A,1)} 0.633 ± 0.091 ^{a,2)3)}	^A 0.287 ± 0.035 ^b	^A 0.120 ± 0.008 ^c	^A 0.109 ± 0.005 ^c	^A 0.094 ± 0.011 ^c
	50	^{AB} 0.553 ± 0.066 ^a	^B 0.203 ± 0.021 ^b	^{AB} 0.116 ± 0.005 ^c	^{AB} 0.102 ± 0.009 ^c	^B 0.069 ± 0.008 ^c
	75	^B 0.510 ± 0.033 ^a	^B 0.198 ± 0.019 ^b	^{AB} 0.111 ± 0.005 ^c	^{BC} 0.086 ± 0.009 ^{cd}	^B 0.058 ± 0.005 ^d
	100	^{AB} 0.557 ± 0.039 ^a	^B 0.208 ± 0.025 ^b	^{AB} 0.107 ± 0.010 ^c	^C 0.079 ± 0.014 ^{cd}	^B 0.055 ± 0.006 ^d
	125	^{AB} 0.548 ± 0.022 ^a	^B 0.208 ± 0.024 ^b	^B 0.103 ± 0.002 ^c	^C 0.078 ± 0.011 ^{cd}	^B 0.055 ± 0.002 ^d
8.0	25	^A 0.720 ± 0.132 ^a	^A 0.333 ± 0.029 ^b	^A 0.159 ± 0.010 ^c	^A 0.143 ± 0.009 ^c	^A 0.116 ± 0.011 ^c
	50	^A 0.699 ± 0.068 ^a	^B 0.262 ± 0.014 ^b	^{AB} 0.138 ± 0.009 ^c	^B 0.125 ± 0.010 ^c	^B 0.088 ± 0.010 ^c
	75	^A 0.651 ± 0.046 ^a	^B 0.246 ± 0.021 ^b	^{BC} 0.132 ± 0.009 ^c	^C 0.107 ± 0.005 ^{cd}	^C 0.070 ± 0.007 ^d
	100	^A 0.678 ± 0.047 ^a	^B 0.261 ± 0.021 ^b	^{BC} 0.116 ± 0.017 ^c	^{CD} 0.097 ± 0.010 ^{cd}	^C 0.061 ± 0.008 ^d
	125	^A 0.665 ± 0.054 ^a	^B 0.249 ± 0.026 ^b	^C 0.112 ± 0.014 ^c	^D 0.089 ± 0.003 ^c	^C 0.060 ± 0.004 ^c
8.5	25	^A 0.955 ± 0.017 ^a	^A 0.402 ± 0.027 ^b	^A 0.215 ± 0.019 ^c	^A 0.192 ± 0.017 ^c	^A 0.139 ± 0.012 ^d
	50	^B 0.796 ± 0.023 ^a	^B 0.334 ± 0.015 ^b	^{AB} 0.192 ± 0.012 ^c	^B 0.148 ± 0.016 ^d	^B 0.098 ± 0.012 ^e
	75	^B 0.791 ± 0.007 ^a	^B 0.334 ± 0.031 ^b	^{BC} 0.181 ± 0.010 ^c	^{BC} 0.131 ± 0.020 ^d	^C 0.079 ± 0.005 ^e
	100	^B 0.807 ± 0.014 ^a	^{AB} 0.348 ± 0.037 ^b	^{BC} 0.170 ± 0.016 ^c	^{CD} 0.113 ± 0.015 ^d	^C 0.073 ± 0.014 ^e
	125	^B 0.798 ± 0.028 ^a	^{AB} 0.345 ± 0.034 ^b	^C 0.157 ± 0.006 ^c	^D 0.098 ± 0.013 ^d	^C 0.067 ± 0.005 ^d
9.0	25	^A 1.152 ± 0.058 ^a	^A 0.508 ± 0.025 ^b	^A 0.272 ± 0.008 ^c	^A 0.233 ± 0.017 ^{cd}	^A 0.208 ± 0.013 ^d
	50	^A 1.245 ± 0.081 ^a	^{AB} 0.411 ± 0.005 ^b	^A 0.267 ± 0.011 ^c	^B 0.169 ± 0.014 ^d	^B 0.129 ± 0.009 ^d
	75	^A 1.204 ± 0.054 ^a	^B 0.377 ± 0.069 ^b	^B 0.230 ± 0.025 ^c	^C 0.137 ± 0.013 ^d	^B 0.122 ± 0.010 ^d
	100	^A 1.257 ± 0.073 ^a	^{AB} 0.400 ± 0.088 ^b	^B 0.225 ± 0.014 ^c	^C 0.129 ± 0.009 ^d	^C 0.098 ± 0.011 ^d
	125	^A 1.209 ± 0.101 ^a	^{AB} 0.407 ± 0.059 ^b	^B 0.221 ± 0.012 ^c	^C 0.127 ± 0.021 ^{cd}	^C 0.082 ± 0.007 ^d
9.5	25	^A 1.865 ± 0.097 ^a	^A 0.647 ± 0.027 ^b	^A 0.341 ± 0.013 ^c	^A 0.282 ± 0.016 ^{cd}	^A 0.242 ± 0.008 ^d
	50	^A 1.840 ± 0.038 ^a	^B 0.555 ± 0.018 ^b	^B 0.301 ± 0.019 ^c	^B 0.205 ± 0.021 ^d	^B 0.175 ± 0.014 ^d
	75	^B 1.721 ± 0.040 ^a	^B 0.519 ± 0.023 ^b	^{BC} 0.281 ± 0.015 ^c	^{BC} 0.183 ± 0.008 ^d	^{BC} 0.156 ± 0.005 ^d
	100	^B 1.693 ± 0.072 ^a	^B 0.550 ± 0.043 ^b	^{CD} 0.255 ± 0.011 ^c	^{BC} 0.180 ± 0.012 ^d	^{CD} 0.136 ± 0.013 ^d
	125	^B 1.659 ± 0.044 ^a	^B 0.542 ± 0.030 ^b	^D 0.232 ± 0.020 ^c	^C 0.164 ± 0.004 ^d	^D 0.124 ± 0.015 ^d

¹⁾⁻³⁾Refer to the legend in Table 4.

방사선 처리 전분류의 threshold value 설정

본 실험에 사용된 시료의 전분함량은 옥수수 전분 97.01%, 고구마 전분 95.45% 및 감자 전분 92.16%로 각각 측정되었고, 이에 따른 시료별 specific parameter를 Table 4-6에 나타내었다. Specific parameter는 시료의 점도를 전분 함량 및 표준 전분의 점도로 나누어 산출한 값이므로, 조사선량과의 상관성은 viscosity value에 대한 회귀 분석에서 회귀식의 스케일만 달라질 뿐 R² 및 유의성 검정 결과는 동일하였다. 즉, 옥수수 전분 및 감자 전분은 조사선량별 유의성이 뚜렷하였으나 고구마 전분은 3 kGy 이상의 선량에서는 유의성이 떨어지는 것으로 나타났다 ($p < 0.05$). 또한 모든 변수들의 관계에서 옥수수 전분 및 감자 전분은 0.93 이상, 고구마 전분은 0.86 이상의 상관관계가 확인되었다.

전분 농도가 증가할수록 비조사구의 specific parameter가 높은 값을 나타내어 감마선 조사구와의 구별이 명확하므로, 미지 시료에 대해 방사선 조사 여부를 판별하고자 한다면 현탁액의 농도가 높을수록 용이할 것으로 판단되었다. 그러나 조사선량에 따른 상관관계를 고려하였을 때는 viscosity value와 동일하게 옥수수 전분은 7.5%와 8.0% 농도일 때 R²가 비교적 높은 값을 나타내고, 고구마 전분과 감자 전분은 각각 전분 농도 8.5% 및 9.0%에서 가장 높은 상관성을 보였다. 한편, rpm에 따른 specific parameter의 변화는 viscosity value와 달리 유의적인 차이를 보이지 않았다 ($p < 0.05$). 이로써 Hayashi 등(13) 및 Yi 등(16,17,22)에 의해 보고된 바와 같이 specific parameter는 점

도 측정 시의 rpm, 즉 전단율에 의한 영향을 배제할 수 있음을 재확인하였으며, 방사선 조사 확인 marker로서 viscosity value 보다 더 유용한 것으로 판단되었다.

모든 변수들의 관계에서 조사선량과의 상관성이 가장 높은 조건, 즉 옥수수 전분 7.5%(6.7%, d.b.), 125 rpm, 고구마 전분 8.5%(7.3%, d.b.), 125 rpm 및 감자 전분 9.0%(7.3%, d.b.), 100 rpm에 대한 threshold value는 비조사 시료가 0.521, 0.798 및 1.693임에 비해 최저 선량인 1.5 kGy 조사 시료는 0.313, 0.345 및 0.811로 뚜렷한 차이를 보여 감마선 조사 시료는 비조사 시료로부터 확인이 가능하였다. 조사선량이 증가함에 따라 threshold value는 유의적으로 감소하였으며 ($p < 0.05$), 각각 R² 0.9819($y = 0.500e^{-0.2944x}$), 0.9659($y = 0.676e^{-0.4154x}$) 및 0.9888($y = 1.489e^{-0.3732x}$)의 높은 상관관계가 확인되었다. 따라서 조사 전분의 확인 marker로 적용 가능할 것으로 판단되었다.

Hayashi 등(13)은 시료 현탁액의 pH나 호화온도 등이 다른 경우에는 specific parameter도 차이가 난다고 보고하여 이에 대한 유의가 필요하며, 전분 미지시료에서 specific parameter가 비조사 시료와 조사 시료 threshold value의 중간 범위 값을 보일 때는 다중검지(multiple detection)에 의한 확인이 요구된다(28). 점도 threshold value에 의한 정확한 판별이 어려운 경우에는 감마선에 의한 전분 분자 구조의 변형 및 붕괴로 야기되는 다양한 이화학적 특성들의 비교로써 판별의 신뢰도를 높일 수 있을 것이다. 감마선 조사 전분류의 이화학적 특성과 관련된 연구들에서 용해도, 팽윤력, 알칼리수 등에 대해 조사선량 의존

Table 6. Changes in specific parameter of gamma-irradiated potato starch by measuring viscosity

(Unit: cP)

Conc. (%)	Spindle speed (rpm)	Irradiation dose (kGy)				
		0	1.5	3	4.5	6
7.0	25	A ¹⁾ 0.865 ± 0.034 ^{a,2)3)}	B ⁰ 0.383 ± 0.018 ^b	A ⁰ 0.194 ± 0.010 ^c	A ⁰ 0.165 ± 0.011 ^c	A ⁰ 0.113 ± 0.009 ^d
	50	A ⁰ 0.869 ± 0.014 ^a	AB ⁰ 0.391 ± 0.015 ^b	A ⁰ 0.193 ± 0.007 ^c	A ⁰ 0.171 ± 0.011 ^d	AB ⁰ 0.103 ± 0.008 ^e
	75	BC ⁰ 0.797 ± 0.030 ^a	AB ⁰ 0.398 ± 0.018 ^b	A ⁰ 0.188 ± 0.009 ^c	A ⁰ 0.163 ± 0.003 ^d	BC ⁰ 0.093 ± 0.009 ^e
	100	AB ⁰ 0.831 ± 0.016 ^a	A ⁰ 0.418 ± 0.014 ^b	A ⁰ 0.190 ± 0.011 ^c	A ⁰ 0.170 ± 0.006 ^d	C ⁰ 0.087 ± 0.005 ^e
	125	C ⁰ 0.780 ± 0.026 ^a	AB ⁰ 0.408 ± 0.018 ^b	A ⁰ 0.191 ± 0.009 ^c	A ⁰ 0.164 ± 0.008 ^d	C ⁰ 0.085 ± 0.008 ^e
7.5	25	AB ⁰ 0.995 ± 0.018 ^a	A ⁰ 0.444 ± 0.013 ^b	A ⁰ 0.229 ± 0.012 ^c	A ⁰ 0.189 ± 0.008 ^d	A ⁰ 0.133 ± 0.008 ^e
	50	A ¹ 1.031 ± 0.038 ^a	A ⁰ 0.417 ± 0.024 ^b	A ⁰ 0.241 ± 0.009 ^c	A ⁰ 0.190 ± 0.004 ^d	A ⁰ 0.120 ± 0.007 ^e
	75	BC ⁰ 0.958 ± 0.024 ^a	A ⁰ 0.418 ± 0.020 ^b	A ⁰ 0.232 ± 0.008 ^c	B ⁰ 0.176 ± 0.006 ^d	B ⁰ 0.106 ± 0.010 ^e
	100	BC ⁰ 0.964 ± 0.017 ^a	A ⁰ 0.443 ± 0.015 ^b	A ⁰ 0.238 ± 0.011 ^c	AB ⁰ 0.179 ± 0.006 ^d	B ⁰ 0.099 ± 0.006 ^e
	125	C ⁰ 0.938 ± 0.022 ^a	A ⁰ 0.439 ± 0.019 ^b	A ⁰ 0.221 ± 0.012 ^c	B ⁰ 0.170 ± 0.005 ^d	B ⁰ 0.094 ± 0.004 ^e
8.0	25	B ¹ 1.100 ± 0.007 ^a	C ⁰ 0.495 ± 0.010 ^b	A ⁰ 0.275 ± 0.019 ^c	A ⁰ 0.239 ± 0.006 ^d	A ⁰ 0.157 ± 0.006 ^e
	50	A ¹ 1.155 ± 0.035 ^a	B ⁰ 0.525 ± 0.011 ^b	A ⁰ 0.282 ± 0.017 ^c	A ⁰ 0.234 ± 0.002 ^d	B ⁰ 0.141 ± 0.004 ^e
	75	CD ¹ 1.060 ± 0.011 ^a	B ⁰ 0.526 ± 0.010 ^b	A ⁰ 0.271 ± 0.012 ^c	B ⁰ 0.217 ± 0.005 ^d	BC ⁰ 0.133 ± 0.004 ^e
	100	BC ¹ 1.077 ± 0.015 ^a	A ⁰ 0.558 ± 0.005 ^b	A ⁰ 0.285 ± 0.013 ^c	C ⁰ 0.203 ± 0.010 ^d	C ⁰ 0.128 ± 0.001 ^e
	125	D ¹ 1.040 ± 0.016 ^a	AB ⁰ 0.539 ± 0.016 ^b	A ⁰ 0.281 ± 0.014 ^c	C ⁰ 0.192 ± 0.006 ^d	C ⁰ 0.125 ± 0.007 ^e
8.5	25	B ¹ 1.184 ± 0.025 ^a	B ⁰ 0.572 ± 0.009 ^b	BC ⁰ 0.326 ± 0.010 ^e	A ⁰ 0.270 ± 0.010 ^d	A ⁰ 0.180 ± 0.006 ^e
	50	A ¹ 1.293 ± 0.046 ^a	AB ⁰ 0.620 ± 0.017 ^b	AB ⁰ 0.340 ± 0.007 ^e	AB ⁰ 0.261 ± 0.010 ^d	A ⁰ 0.171 ± 0.007 ^e
	75	AB ¹ 1.264 ± 0.044 ^a	AB ⁰ 0.618 ± 0.028 ^b	ABC ⁰ 0.332 ± 0.006 ^e	BC ⁰ 0.251 ± 0.007 ^d	B ⁰ 0.154 ± 0.006 ^e
	100	A ¹ 1.293 ± 0.043 ^a	A ⁰ 0.648 ± 0.040 ^b	A ⁰ 0.343 ± 0.006 ^e	CD ⁰ 0.234 ± 0.010 ^d	B ⁰ 0.155 ± 0.007 ^e
	125	A ¹ 1.277 ± 0.065 ^a	A ⁰ 0.633 ± 0.032 ^b	C ⁰ 0.322 ± 0.009 ^e	D ⁰ 0.226 ± 0.011 ^d	B ⁰ 0.147 ± 0.010 ^e
9.0	25	A ¹ 1.565 ± 0.033 ^a	C ⁰ 0.755 ± 0.015 ^b	A ⁰ 0.486 ± 0.018 ^c	A ⁰ 0.320 ± 0.013 ^d	A ⁰ 0.228 ± 0.008 ^e
	50	A ¹ 1.593 ± 0.067 ^a	A ⁰ 0.840 ± 0.029 ^b	B ⁰ 0.449 ± 0.012 ^c	B ⁰ 0.284 ± 0.012 ^d	B ⁰ 0.204 ± 0.015 ^e
	75	A ¹ 1.576 ± 0.046 ^a	AB ⁰ 0.817 ± 0.015 ^b	C ⁰ 0.415 ± 0.015 ^c	B ⁰ 0.270 ± 0.019 ^d	BC ⁰ 0.185 ± 0.013 ^e
	100	A ¹ 1.639 ± 0.030 ^a	AB ⁰ 0.811 ± 0.039 ^b	BC ⁰ 0.440 ± 0.010 ^c	B ⁰ 0.268 ± 0.009 ^d	C ⁰ 0.174 ± 0.009 ^e
	125	A ¹ 1.589 ± 0.012 ^a	BC ⁰ 0.777 ± 0.036 ^b	C ⁰ 0.423 ± 0.011 ^c	B ⁰ 0.271 ± 0.007 ^d	C ⁰ 0.169 ± 0.012 ^e

¹⁾⁻³⁾Refer to the legend in Table 4.

성이 보고되고 있으므로(29-33), 보조적인 확인 marker로의 적용 가능성에 대한 적극적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

방사선 조사 전분류의 확인방법을 연구하기 위하여 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분을 대상으로 Brookfield rheometer를 이용한 점도측정법의 적용 가능성을 검토하면서, 전분 현탁액의 농도(7.0-9.5%)와 점도계의 spindle 회전속도(25-125 rpm)가 감마선 조사(0-6.0 kGy) 시료의 점도에 미치는 영향을 조사하였다. 모든 변수들의 관계에서 조사선량과 점도의 상관성이 가장 높은 조건을 선택하여 점도 측정을 위한 최적 조건으로 설정하고, 아울러 조사 전분에 대한 검지방법으로 적용하기 위하여 점도 threshold value를 설정하였다. 모든 시료에서 조사선량이 증가함에 따라 점도가 유의적으로 감소하였으며 ($p < 0.05$), 시료 현탁액의 농도가 증가할수록 점도가 증가하고 rpm이 증가할수록 점도는 감소하는 경향을 보였다. 조사 전분의 확인에 있어서, 점도 측정조건으로 유용한 전분 농도(%)와 spindle 회전속도(rpm)는 옥수수 전분 7.5(6.7%, d.b.)와 125, 고구마 전분 8.5(7.3%, d.b.)와 125, 감자 전분 9.0(7.3%, d.b.)와 100이었다. 그리고 이 조건에서 threshold value는 비조사 시료가 0.521, 0.798 및 1.693임에 비해 최저 선량인 1.5 kGy 조사 시료는 0.313, 0.345 및 0.811로 뚜렷한 차이를 보여 감마선 조사 시료는 비조사 시료로부터 확인이 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Seog HM. Property and function of starch and its utilization in cooking and processing of food. *Food Technol.* 10: 36-50 (1997)
- Lee HS. Present status and prospect for the starch industry. *Food Technol.* 10: 24-35 (1997)
- Kwon JH. Worldwide approvals of food irradiation and its commercialization prospects. *Food Ind.* 133: 18-49 (1996)
- Kwon JH. Trade prospects of irradiated food and its detection control. *Food World* 2: 34-38 (2001)
- Raffi J, Angel JP, Thiery CJ, Frejaville CM, Saint-Lebe LR. Study of gamma-irradiated starches derived from different food-stuffs. A way for extrapolating wholesomeness data. *J. Agric. Food Chem.* 29: 1227-1232 (1981)
- Wu D, Shu Q, Wang Z, Xia Y. Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. *Radiat. Phys. Chem.* 65: 79-86 (2002)
- Sokhey AS, Hanna MA. Properties of irradiated starches. *Food Str.* 12: 397-410 (1993)
- Heide L, Nurnberger E, Bogl KW. Investigations on the detection of irradiated food by measuring the viscosity of suspended spices and dried vegetables. *Radiat. Phys. Chem.* 36: 613-619 (1990)
- Farkas J, Koncz A, Sharif MM. Identification of irradiated dry ingredients on basis of starch damage. *Radiat. Phys. Chem.* 35: 324-328 (1990)
- Farkas J, Sharif MM, Koncz A. Detection of some irradiated spices on the basis of radiation induced damage of starch. *Radiat. Phys. Chem.* 36: 621-627 (1990)
- 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)
- Hayashi T, Todoriki S, Kohyama K. Irradiation effects on pepper starch viscosity. *J. Food Sci.* 59: 118-120 (1994)
- Hayashi T, Todoriki S, Okadome H, Kohyama K. Conditions of viscosity measurement for detecting irradiated peppers. *Radiat. Phys. Chem.* 45: 665-669 (1995)
- Hayashi T, Todoriki S. Detection of irradiated peppers by viscosity measurement at extremely high pH. *Radiat. Phys. Chem.* 48: 101-104 (1996)
- Chung HW, Jeong JY, Kwon JH. Potential detection of irradiated dried agricultural products by viscosity measurement. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28: 1082-1086 (1999)
- Yi SD, Chang KS, Yang JS. Application of viscometric method for the detection of irradiated black and white pepper. *J. Food Hyg. Saf.* 15: 114-121 (2000)
- Yi SD, Chang KS, Yang JS. Detection of irradiated cereals by viscosity measurement. *J. Food Sci. Nutr.* 5: 93-99 (2000)
- Yi SD, Oh MJ, Yang JS. Detection for irradiated cereals by maximum viscosity in amylograph. *Food Sci. Biotechnol.* 9: 73-76 (2000)
- 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)
- 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)
- Yi SD, Oh MJ, Yang JS. Utilization of Brabender Visco-Amylograph to detect irradiated starches. *J. Food Sci. Nutr.* 5: 20-24 (2000)
- 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)
- 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)
- Choi MG, Kwon JH, Kim HK. Potential detection and quality properties of γ -irradiated corn starch of Korean and Chinese origins by viscosity measurement during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 173-181 (2003)
- Chung HW, Delincee H, Kwon JH. Studies on detection methods for irradiated food. *Food Ind.* 148: 55-71 (1999)
- Kobayashi T, Tabuchi T. A method employing a tribasic sodium phosphate buffered reagent for estimating semimicro quantities of reducing sugar. *Jpn. J. Agric. Chem. Soc.* 28: 171-174 (1954)
- SPSS. SPSS for Windows, Rel. 10.05, SPSS Inc., Chicago, IL, USA (1999)
- 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)
- Kang IJ, Byun MW. Development of modified starch by gamma irradiation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 514-520 (1996)
- 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)
- Lee JH. Effect on gamma irradiations on physicochemical properties of buckwheat starch. PhD thesis, Chungnam National University, Taejeon, Korea (1999)
- Kuhm H. Effects of gamma irradiation on physicochemical properties of arrowroot starch. PhD thesis, Chungnam National University, Taejeon, Korea (2001)
- 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)

(2003년 12월 30일 접수; 2004년 7월 22일 채택)