

감마선 조사가 쌀밥의 품질에 미치는 영향

이유석¹ · 오상희¹ · 이주운¹ · 김장호¹ · 이종욱² · 이효구³ · 변명우^{1*}

¹한국원자력연구소 방사선식품생명공학기술개발

²전남대학교 식품공학과 및 농업과학기술연구소

³공주대학교 식품공학과

Effect of Gamma Irradiation on Quality of Cooked Rice

You-Seok Lee¹, Sang-Hee Oh¹, Ju-Woon Lee¹, Jang-Ho Kim¹,
Chong-Ouk Rhee², Hyo-Ku Lee³ and Myung-Woo Byun^{1*}

¹Dept. of Radiation Food Science & Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea

²Dept. of Food Science and Technology & Institute of Agricultural Science and Technology,
Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

³Dept. of Food Technology, Kongju National University, Chungnam 340-802, Korea

Abstract

Cooked rice for immunosuppressed patients was irradiated at 0, 5 and 10 kGy, and investigated on the irradiation effect on color, texture, and shelf-life during storage at 30°C. Yellowness was significantly increased in cooked rice with the increase of storage period and irradiation dose ($p < 0.05$) and the ratio of adhesiveness/hardness of cooked rice was decreased by irradiation at 10 kGy. The result of total plate count of non-irradiated cooked rice was 7 log CFU/g and that of 5 kGy irradiated cooked rice on 7 day storage was 4 log CFU/g, while that of 10 kGy irradiated sample was not detected even at the end of storage. Irradiation with 5 kGy on cooked rice is proper to prolong the shelf-life considering color, texture, and it was extended to over a month. Further research is necessary to apply the high-dose irradiation for long-term preservation to inhibit color and texture change.

Key words: irradiation, sterile diet, cooked rice, shelf-life

서 론

병원에서의 환자급식은 치료의 한 분야로서 그 중요성이 강조되고 있는데 식욕감퇴와 소화·흡수기능의 저하로 인하여 원활한 영양섭취가 어렵고, 결국 영양결핍상태에 이르게 되며 이로 인해 질병의 이환율과 사망률에 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다(1). 한편 면역결핍 환자들의 경우 영양불균형을 쉽게 경험하며, 이러한 상태는 *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7과 같은 식품기인 병원균으로부터 오염될 수 있는 기회가 증대된다(2). 현재 국내에서는 무균식의 공급을 위해 고온열처리를 행하고 있지만 과도한 열처리는 식품의 향, 조직감, 외관 등을 변화시키며 원가상승의 요인이 되고 있다(3).

선진국에서는 완전 멸균식을 위해 방사선조사식품을 이용하는 사례를 종종 찾아 볼 수 있는데 네덜란드 당국은 이미 75 kGy라는 고선량의 방사선 조사를 허가하고 있으며, 영국 등에서도 방사선 멸균 병원식(hospital diets)에 대해서는 선

량 제한을 두고 있지 않다(2). 미국 Seattle의 Fred Hutchinson Cancer Research Center에서는 1974년부터 이식환자들에게 방사선 조사식품을 제공하였으며 Florida주의 병원에서도 면역결핍 환자를 위해 방사선 조사식품을 제공하고 있다(2). 최근 면역결핍 환자들에게 "high risk"로 알려진 야채샐러드, 과일샐러드, 아이스크림의 공급이 방사선 조사에 의해 가능한 것으로 보고된바 있으며 특히, 아이스크림과 같은 colorful한 음식은 어린이나 노인 환자들의 경우 식욕 촉진제로서의 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다(4).

한편, 쌀밥은 주식으로서 한국식문화의 중요한 위치를 차지하고 있음에도 불구하고 이에 대한 연구는 쌀의 품종에 따른 식미의 차이(5) 및 취반기호 특성에 대한 연구(6)가 주를 이루고 있으며, 쌀밥의 저장성을 향상시키기 위한 연구는 무균포장밥(7), 녹차추출물 첨가에 의한 저장성 향상(8)에 관한 연구만 보고되었을 뿐 극히 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 감마선 조사 기술을 이용하여 무균식 개발과 더불어 더 나아가서는 장기보존할 수 있는 편의식

*Corresponding author. E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr
Phone: 82-42-868-8060, Fax: 82-42-868-8043

품 개발을 위한 일환으로 주식으로 섭취되고 있는 쌀밥을 중심으로 미생물학적 안전성 및 저장성 향상을 위한 적정 선량을 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용한 쌀은 시중에서 구입하여 실온에 보관하며 사용하였다.

취반 및 감마선 조사

쌀을 가법계 4회 수세하고 쌀무게의 1.5배 증류수를 가하여 실온에서 1시간 수침한 후 전기밥솥(LG, Model RJ-0570)에서 취반하였다. 취반 후 멸균된 포장지에 100 g 씩 포장하여 24시간 후 Co-60 감마선 조사시설(IR-79, Nordion International Ltd., Ontario, Canada, 100 kCi)을 이용하여 실온에서 시간당 5 kGy의 선량률로 각각 0, 5, 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 조사하였으며 조사한 직후를 0일로 표기하였다. 흡수선량의 확인은 Fricke dosimetry(ceric/cerous dosimeter)(9)를 사용하였고 선량의 오차는 ±0.1 kGy이었으며, 조사실의 온도는 18°C이었다. 감마선 조사된 밥은 30°C에 저장하면서 실험에 사용하였다.

색도 측정

감마선 조사된 밥의 색도는 Hunter 색차계(Spectrophotometer CM-3500d, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 L*(lightness), a*(redness), b*(yellowness)값을 측정하였다. 비조사구와 조사구의 색도 차이(ΔE)는

$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ 를 이용하여 계산하였으며 Table 1을 기준으로 평가하였다(10). 이때 zero calibration은 CM-A124 box를 이용하였고, white calibration은 CM-A120 box를 이용하였다.

물성 측정

감마선 조사가 밥의 경도에 미치는 영향을 조사하기 위해 감마선 조사된 밥의 물성을 Texture Analyser(TA-XT2i, Stable Micro System Co. Ltd., Surrey, England)로 측정하였다. 각각의 온도에서 저장 중인 밥을 꺼내어 원형틀(40×20 mm)에 15 g씩 담아 성형하여 측정하였다. 측정조건은

plastic plunger(cylindrical type, 10 mm diameter)를 사용하여 3 mm/sec의 test speed와 50% deformation ratio 하에서 2회 반복압착시험을 실시하여 texture profile analysis 곡선을 얻었고, 이 곡선을 가지고 경도(hardness), 부착성(adhesiveness)의 특성치를 구하였으며 이들의 값을 이용하여 부착성과 경도의 비(adhesiveness/hardness, A/H)를 구하였다.

pH 및 산도 측정

저장 중 품질을 평가하기 위해 pH와 적정산도를 측정하였다. pH는 쌀밥을 10배 희석하여 균질화시킨 후 pH meter(Orion 520A, Boston, MA, USA)로 측정하였고 산도는 균질화 후 20 mL을 취하여 pH가 8.2 될 때까지 적정하여 소요되는 0.1 N NaOH 양을 lactic acid로 환산하여 나타내었다.

미생물 생육검사

제조된 쌀밥을 30°C에서 4주간 저장하면서 저장동안 총균수와 곰팡이 및 효모수 생육을 검사하였다. 시료는 clean bench 내에서 멸균 nylon bag(10×15 cm, Sunkyung Co., Ltd)에 밥 10 g과 시료 중량의 9배 멸균 peptone수(0.1%, Difco Lab., Detroit, MI, USA)를 넣고 Stomacher Lab Blender(Model 400, Tekmar Co., USA)로 2분간 균질화하여 시험액으로 사용하였다. 총균수는 PCA(Plate Count Agar, Difco, Co., USA), 곰팡이 및 효모는 PDA(Potato Dextrose Agar, Difco, Co., USA)에 일정수준 희석한 시험액을 도말하여 각각의 온도에서 배양하여 생성된 집락수로 검사하였다. 총균수는 30°C, 효모 및 곰팡이수는 25°C에서 48시간 동안 배양한 후 형성된 집락을 계수하였다. 미생물 수는 시료 1 g 당 colony forming unit(CFU)로 나타내었으며 검출을 위한 최소 계수 한계는 10¹ CFU/mL이었다.

통계분석

이상의 실험에서 얻어진 결과는 Statistical Package for Social Sciences(SPSS, 10.0)(11)를 이용하여 one way ANOVA 분석후, 시료간의 유의성은 Duncan's multiple range test로 p<0.05 수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

색도에 미치는 영향

감마선 조사된 쌀밥의 L, a, b 및 색도의 차이(ΔE)를 비교한 결과는 Table 2와 같다. 조사선량과 저장기간이 증가할수록 L값이 감소하는 경향이 있었지만, b값은 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 조사 직후 비조사구의 b값은 1.71이었으나 5 kGy와 10 kGy는 각각 2.52, 4.62를 나타내었다. 조사선량이 증가함에 따라 b값이 증가하는 이유는 감마선 조사에 의해 갈변반응을 유발하는 물질들이 많아졌기 때문인 것으로 생각되며 이는 다른 연구자들과도 일치하는 결과이다(12,13). Lee 등(12)과 Sokhey와 Hanna(13)는 가공용 전분으로 사용되는 여러 가지 전분에 감마선 조사하였을 때

Table 1. Relationship between total color difference and sensual difference

Total color difference (ΔE) ¹⁾	Sensual difference
0~0.5	Trace
0.5~1.5	Slight
1.5~3.0	Noticeable
3.0~6.0	Appreciable
6.0~12.0	Much
over 12.0	Very much

¹⁾ ΔE: Overall color difference $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$.

Table 2. Effect of gamma irradiation on Hunter color values¹⁾ of cooked rice during the storage at 30°C

Storage period (days)	Irradiation dose (kGy)	L*	a*	b*	$\Delta E^{2)}$
0	0	73.47±1.13 ^{ab3)}	-1.53±0.14 ^b	1.71±0.13 ^c	-
	5	70.91±0.54 ^b	-1.20±0.25 ^a	2.52±0.09 ^b	2.73±0.49
	10	69.98±0.35 ^b	-0.96±0.01 ^a	4.62±0.03 ^a	4.58±0.25
3	0	73.01±0.33 ^a	-1.55±0.02 ^c	1.75±0.16 ^c	-
	5	70.69±0.79 ^b	-1.16±0.02 ^b	2.58±0.29 ^b	2.53±0.64
	10	68.63±0.86 ^c	-0.88±0.05 ^a	5.11±0.68 ^a	5.58±0.87
7	0	71.16±1.33 ^a	-1.85±0.14 ^c	2.43±0.45 ^c	-
	5	69.02±0.30 ^b	-1.13±0.08 ^b	3.65±0.18 ^b	2.58±0.13
	10	65.97±0.35 ^c	-0.83±0.01 ^a	5.37±0.06 ^a	6.05±0.32
14	0	67.83±0.54 ^a	-1.81±0.14 ^c	3.17±0.27 ^c	-
	5	66.16±0.89 ^b	-1.02±0.03 ^b	4.06±0.28 ^b	2.52±0.75
	10	63.63±0.58 ^c	-0.49±0.14 ^a	6.86±0.54 ^a	6.29±0.26
28	0	65.73±1.91 ^a	-1.55±0.24 ^c	3.34±0.25 ^c	-
	5	64.01±0.83 ^{ab}	-0.76±0.19 ^b	5.06±0.98 ^b	2.60±0.17
	10	62.30±0.69 ^b	-0.31±0.10 ^a	7.72±0.55 ^a	5.70±0.82

¹⁾Each value represents mean±SD.

²⁾ ΔE : Overall color difference $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$.

³⁾Means with different superscripts within a column are significantly different ($p < 0.05$).

전분 입자의 depolymerization에 의해 환원당 함량이 증가하였으며, 결과적으로 선량이 증가할수록 b값이 유의적으로 증가하였다고 보고하였다. 즉, 감마선 조사된 쌀밥의 b값 증가는 이러한 전분 입자의 breakdown에 의해 생성된 환원당과 amino acid에 의해 Maillard 반응이 가속화되어 나타난 결과로 생각된다. 전체적인 색도 차이를 나타내는 ΔE 값은 5 kGy 조사구의 경우 3이하의 값을 보여 감지할 수 있을 정도의 차이를 나타내었으며, 10 kGy 조사구의 경우 대조구와 현저한 차이를 나타내어 관능적인 수용측면에서 바람직하지 않을 것으로 보인다. 그러나 고선량 조사에 의한 이러한 쌀밥의 색도 변화는 현미 또는 흑미와 같은 특유의 색소를 가진 쌀의 첨가에 의해 보완할 수 있을 것으로 사료된다.

감마선 조사에 의한 텍스처의 변화

감마선 조사된 밥의 저장기간 중 텍스처의 변화는 Table 3과 같다. 조사직후의 조사구와 비조사구의 경도는 유의적인 차이가 인정되지 않았으나 10 kGy 조사구의 경우 부착성

이 감소하여 부착성과 경도의 비가 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 전분 및 전분질 식품의 감마선 조사시 나타나는 여러 가지 특성 중 가장 대표적인 것으로 전분의 depolymerization에 의한 amylose와 amylopectin의 분해에 의해 점성이 저하되는 특성이 있으며 이러한 성질을 이용하여 방사선 조사식품의 겔지기술로서 검토되었다(14). 따라서 감마선 조사에 의한 쌀밥의 부착성의 감소 또한 이러한 저분자로의 분해 현상에 기인한 것으로 사료된다. 저장기간 중 모든 처리구의 경도는 약간 증가하는 경향을 나타내었으나 유의적인 차이는 인정되지 않았다. 그러나, 저장 7일 후 비조사구의 부착성과 경도의 비가 증가한 것은 미생물에 의한 쌀밥의 부패가 진행되어 생성된 점질물질에 의해 부착성이 증가하였기 때문인 것으로 생각된다(8). Okabe(15)는 취반미의 밥맛은 그의 경도와 부착성에 의해서 조절되는데 그 중 경도는 가장 중요한 매개변수이며, 일본의 경우 밥의 텍스처 중 경도와 부착성의 비가 식미를 결정짓는 인자인 것으로 보고하였다. 따라서 무균식 개발 및 쌀밥의 저장기간을

Table 3. Effect of gamma irradiation on textural properties of cooked rice during the storage at 30°C (log CFU/g)

Factor	Irradiation dose (kGy)	Storage periods (days)				
		0	3	7	14	28
Hardness (g)	0	1004 ^y	1099 ^y	1202 ^x	- ¹⁾	-
	5	1104	1158	1154	1079	1229
	10	1191	1118	1171	1222	1189
A/H ²⁾	0	0.0290 ^{ay}	0.0285 ^{ay}	0.0322 ^{ax}	-	-
	5	0.0232 ^{ax}	0.0210 ^{bxy}	0.0280 ^{bx}	0.0239 ^{ax}	0.0186 ^{ay}
	10	0.0114 ^b	0.0116 ^c	0.0122 ^b	0.011 ^b	0.0124 ^b

¹⁾Bar indicates no determination because of spoilage.

²⁾A/H means adhesiveness/hardness.

^a ^cValues with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$).

^x ^yValues with different letters within a row differ significantly ($p < 0.05$).

연장시키기 위해 감마선 조사기술을 이용하는 경우 5 kGy 이내의 선량이 적당하며 장기간 보존을 위해 고선량을 사용할 경우에는 색도와 물성 변화를 최소화할 수 있는 방안이 모색되어야 할 것으로 생각된다.

pH 및 산도의 변화

pH와 산도의 변화는 밥의 부패 현상을 측정하는 지표로서 유용한 수단이며 미생물의 발육에 의해 생성되는 산을 측정함으로써 더욱 정확하게 부패 유무를 판정할 수 있는 것으로 알려져 있다(7). 감마선 조사선량 및 저장기간에 따른 pH의 변화는 Fig. 1과 같이 저장기간이 경과할수록 비조사구의 pH는 급격히 감소하였으나 조사구의 pH는 4주 저장까지 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 비조사구의 초기 pH는 7.07이었고 4주 저장 후 5.90으로 급격히 감소하였으나, 10 kGy 조사구의 경우 초기 pH 6.79에서 6.67로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 즉, 감마선 조사구의 초기 pH가 비조사구의 pH보다 낮게 나타났지만 저장기간에는 비조사구의 pH의 저하 정도가 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 감마선 조사에 의해 밥의 부패를 촉진하던 미생물이 사멸되어 저장기간 동안 미생물에 의한 품질저하가 늦춰졌기 때문인 것으로 사료된다. 비조사구의 초기 산도는 0.78%이었으나 5, 10 kGy 조

사구의 경우 각각 1.06%, 1.34%로 조사선량이 증가할수록 산도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이처럼 조사선량이 증가할수록 초기 pH가 낮아지고, 산도가 증가하는 이유는 감마선 조사에 의해 생성된 ·H와 ·OH free radical이 glycosidic 결합의 분해를 촉진시켜 이의 분해산물로 생성된 COOH 때문인 것으로 사료된다. 이러한 결과는 옥수수전분(16), 고구마전분(17)에 대한 감마선 조사의 영향에 관한 연구에서도 이미 보고된 바 있다. 또한 저장기간이 증가할수록 비조사구의 산도는 저장 3일 이후 급격한 증가 경향을 나타내어 저장 4주 후 3.8%를 나타내었으나 조사구의 산도는 4주 저장기간 동안 큰 변화를 나타내지 않았다. 따라서, 쌀밥의 30°C 저장시 3일을 기준으로 품질이 저하되며 감마선 조사시 품질 저하의 원인이 되는 pH 저하와 적정산도의 증가를 억제시켜 저장성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

쌀밥의 저장성에 미치는 영향

감마선 조사한 쌀밥을 30°C에 보관하면서 경시적으로 측정 한 효모, 곰팡이 및 총균수는 Table 4와 같다. 비조사구의 경우 저장 3일 후 총균수가 7 log cycle 수준까지 증가하였으며 싼냄새가 나고 끈적이는 점질물이 생성되는 등 부패의 진행을 확인할 수 있는 현상들이 나타났다. 그러나 조사구의

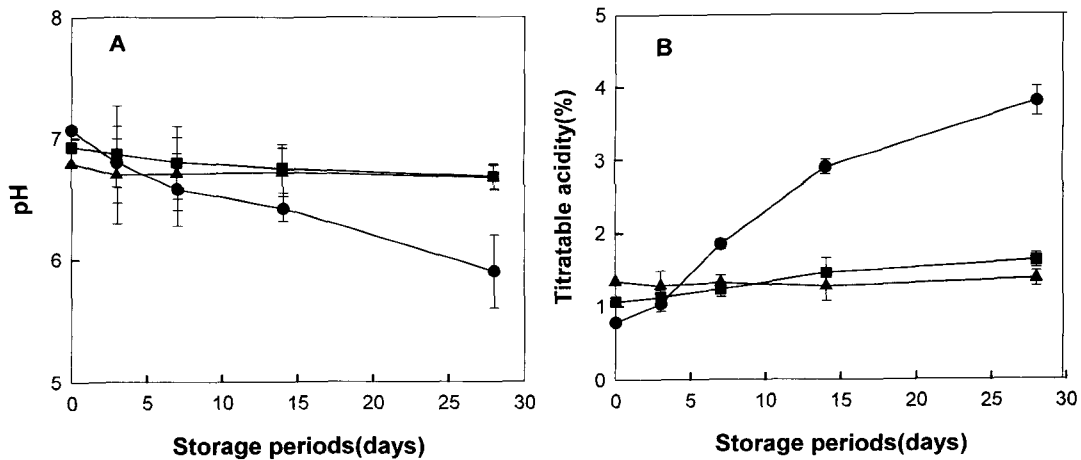


Fig. 1. Effect of gamma irradiation on the pH (A) and titratable acidity (B) of cooked rice during storage at 30°C. ●: 0 kGy, ■: 5 kGy, ▲: 10 kGy.

Table 4. Effect of gamma irradiation on the total bacteria and mold of cooked rices during storage at 30°C (log CFU/g)

Irradiation dose (kGy)	Storage periods (days)				
	0	3	7	14	28
Total bacteria	0: 2.8±0.06 ¹⁾ 5: ND ³⁾ 10: ND	7.7±0.03	8.32±0.59	4.30±0.21	4.36±0.00
Yeast & Mold	0: ND 5: ND 10: ND	ND	ND	ND	ND

¹⁾Mean ± standard deviation.
²⁾Bar indicates no determination because of spoilage.
³⁾Not detected within the detection limit <10¹ CFU/g.

경우 저장 4주 이후에도 이러한 현상은 나타나지 않았으며 저장 4주 후 5 kGy 조사구의 총균수는 4 log cycle 수준을 유지하였으며 10 kGy 조사구에서는 미생물의 생육이 검출되지 않았다. 또한 효모, 곰팡이는 저장 4주까지 비조사구와 조사구 모두 검출되지 않았다. 즉, 감마선 조사에 의해 쌀밥의 보존 중 일반세균의 생장을 유의적으로 억제하고 10 kGy 조사구에서는 완전사멸 수준으로 제어할 수 있어 쌀밥의 위생성 향상에 유용한 수단으로 사용될 수 있을 것으로 판단되었다. Roh 등(8)은 녹차 추출물 첨가에 의한 1~2일의 쌀밥 저장성을 증대할 수 있음을 보고하였는데 감마선 조사기술의 경우 이보다 더욱 효과적인 방법으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

이상의 결과에 의하면 무균식 개발 및 쌀밥의 저장성을 향상시키기 위한 감마선 조사의 적정선량은 색도, 물성 및 미생물적 측면을 고려하였을 때 5 kGy 내외가 적정수준으로 생각되며 5 kGy로 조사하였을 경우 30°C 저장시 1개월 이상의 저장기간을 연장시킬 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

면역결핍 환자들에게 공급하기 위한 무균식 제품 기술개발의 일환으로 쌀밥에 0, 5, 10 kGy로 감마선 조사하여 30°C에서 저장하면서 색, 물성 및 저장성에 미치는 영향을 조사하였다. 감마선 조사선량과 저장기간이 증가할수록 yellowness는 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 10 kGy 조사구의 부착성은 유의적으로 감소하여 부착성과 경도의 비가 감소하는 경향을 나타내었다. 총균수는 비조사구의 경우 저장 3일 후 7 log cycle까지 증가하였으나 5 kGy 조사구는 저장 4주 후 4 log cycle 수준을 유지하였으며 10 kGy 조사구의 경우는 검출되지 않았다. 감마선 조사의 선량은 색도, 물성 및 미생물적인 측면을 고려하였을 때 5 kGy 내외가 적당할 것으로 생각되며 5 kGy로 조사하였을 경우 30°C 저장시 1개월 이상의 저장기간을 연장시킬 수 있을 것으로 사료된다. 또한 장기 저장을 위한 고선량 적용을 위해 색도의 변화 및 물성 변화를 최소화할 수 있는 방안에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로

수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Lyu ES. 1994. Hospitalized patients' perceptions of hospital foodservice I. Emphasis on the food characteristics. *Korean J Dietary Culture* 9: 95-103.
2. IAEA. 2003. IAEA/RCA Radiation processing for safe, shelf-stable and ready-to-eat food '00. July 10-14. Montreal, Canada.
3. Rhim JW. 2000. Aseptic processing method of foods. *Food Science and Industry* 33: 71-86.
4. Pietranera MSA, Narvaiz P, Horak C, Kairiyama E. 2003. Irradiated icecreams for immunosuppressed patients. *Radiation Physics and Chemistry* 66: 357-365.
5. Kim CK, Hwang JS, Kim WJ. 1987. Study on rheological and sensory properties of cooked rices. *Agric Chem Biotechnol* 30: 109-117.
6. Kim HY, Kim KO. 1986. Sensory characteristics of rice cooked with pressure cookers and electric cookers. *Korean J Food Technol* 18: 319-324.
7. Kum JS, Lee CH, Lee SH, Lee HY. 1995. Quality changes of aseptic packaged cooked rice during storage. *Korean J Food Sci Technol* 27: 449-457.
8. Roh HJ, Shin YS, Lee KS, Shin MK. 1996. Effect of water extract of green tea on the quality and shelf life of cooked rice. *Korean J Food Sci Technol* 28: 417-420.
9. Holm NW, Berry RJ. 1970. *Manual on Radiation Dosimetry*. Marcel Dekker Inc., New York.
10. Song JC, Park HJ. 2000. *Physical, functional, textural and rheological properties of foods*. UUP, Ulsan. p 80-84.
11. SPSS. 1999. SPSS for windows. Rel. 10.05, SPSS Inc., Chicago, USA.
12. 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.
13. Sokhey AS, Hanna MA. 1993. Properties of irradiated starches. *Food Structure* 12: 397-410.
14. Yang JS. 1997. Methods for identification of irradiated foods. *J Fd Hyg Safety* 12: 160-174.
15. Okabe M. 1979. Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality. *J Texture Std* 14: 131-152.
16. Sokhey AS, Chinnaswamy R. 1993. Chemical and molecular properties of irradiated starch extrudates. *Cereal Chem* 70: 260-268.
17. Saadany MAE, Fatah AE, Safti AE, Saadany ME. 1974. Effect of gamma irradiation on Egyptian sweet potato starch. *Starch* 26: 190-192.

(2003년 11월 22일 접수; 2004년 2월 20일 채택)