

냉동치즈볼의 미생물학적 안전성 확보를 위한 감마선 조사기술의 이용

이주운¹ · 김재훈¹ · 김장호¹ · 오상희¹ · 서지현¹ · 김천제² · 정승희³ · 변명우^{1*}

¹한국원자력연구소 방사선식품생명공학기술개발

²건국대학교 동물생명과학부 축산식품생물공학과

³(주)태림FOOD 식품연구소

Application of Gamma Irradiation for the Microbiological Safety of Fried-Frozen Cheese Ball

Ju-Woon Lee¹, Jae-Hun Kim¹, Jang-Ho Kim¹, Sang-Hee Oh¹, Ji-Hyun Seo¹,
Cheon-Jei Kim², Sung-Hee Cheong³ and Myung-Woo Byun^{1*}

¹Dept. of Radiation Food Science & Biotechnology,

Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea

²Dept. of Food Science & Biotechnology of Animal Resources, Kunkuk University, Seoul 111-221, Korea

³R&D Center, Taelim Food Service Corp., Gyeonggi 413-881, Korea

Abstract

This study was conducted to sanitize fried-frozen cheese ball by gamma irradiation. Total aerobic bacteria and yeasts and molds counts were 4.4 and 2.8 log CFU/g in non-irradiated sample, respectively. Microorganisms were decreased with increase of irradiation dose ($D_{10}=1.25$ kGy), and were not detected in samples irradiated at 3 kGy or more ($<10^2$ CFU/g). D_{10} value for *Escherichia coli* (KCTC 1682) was 0.25 kGy. TBA (2-thiobarbituric acid) values were increased as irradiation dose was increased, but there was no significant difference between non-irradiated and irradiated samples at 3 kGy or less ($p<0.05$). The results of sensory evaluation showed that there was no significant difference between non-irradiated and irradiated samples at 3 kGy or less, the sensory scores were decreased with irradiation at 5 kGy or more ($p<0.05$). These results indicated that gamma irradiation at 3 kGy was considered to be an effective treatment to ensure the microbiological safety of fried-frozen cheese balls without any sensorial change, even though further studies should be investigated to reduce detrimental effects induced by irradiation.

Key words: cheese ball, gamma irradiation, microbiological safety

서 론

최근 식문화의 서구화와 짧은 층 중심의 소비구조로 인해 편의식(convenience food) 및 즉석식품(ready-to-eat/ready-to-cook foods)의 수요가 증가되고 있다(1). 이러한 식품들은 대표적인 식품의 저장방법인 냉장 또는 냉동상태로 보관되어 판매되고 있으나, 유통과정 중 부적절한 관리나 장기간 보관으로 식품 위생적 측면에서 바람직하지 않은 상황이 초래될 수 있다(2-5). 특히 육류와 함께 대표적인 편의·즉석식품의 원료로 널리 이용되고 있는 치즈 및 그 가공품은 원료인 우유에서 비롯된 *Escherichia coli* O157:H7 및 *Listeria monocytogens*와 같은 여러 병원성/부패 미생물에 의해 오염된 것으로 나타나 그 안전성에 문제가 있는 것으로 보고되고 있다(6-12). 이 같은 관점에서 본다면 냉장 및 냉동은 단지 저장기간을 연장한다는 의미밖에 부여할 수 없는 실정이다(13).

또한, WTO 출범이후 농수축산물 및 그 가공식품의 국가 교역 증가와 함께 검역관리의 중요성이 강조되므로 식품의 미생물학적 안전성 확보와 국제 검역 처리를 위한 방법의 개선 및 대책마련이 요구되는 바이다(14).

한편, 방사선 조사기술은 완포장된 냉장 및 냉동식품의 살균에 적합한 냉온살균방법으로 이미 육류, 어류 및 그 가공품의 미생물 제어에 효과적인 것으로 입증되었으며(15-18), 환경공해와 위해성으로 문제가 있는 methyl bromide 등의 화학적 훈증처리를 대체할 수 있는 식품 검역 처리 기술로 알려져 있다(19,20). 특히 조리, 냉장, 냉동, 진공포장 등 다른 식품가공 및 저장기술과의 병용 처리시 한가지 방법에 의존한 제품에 비해 식품고유의 관능적 품질에 큰 영향을 주지 않으면서 미생물학적으로 안전한 식품의 제조가 가능한 방법이다(21). 따라서, 본 실험은 냉동피자, 치즈스틱 등과 함께 대표적 치즈가공식품으로 애용되고 있는 수출용 냉

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

동치즈볼을 이용하여 감마선 조사기술이 미생물학적 품질에 미치는 영향을 조사하고, 검역처리 기술로서의 이용가능성을 평가하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

치즈볼 제조 및 방사선조사

본 실험에 사용한 치즈볼은 일반적 상품 제조방법에 따라 국내 식품가공회사에서 제조하였으며, 배합비(Table 1) 및 제조과정을 간략히 설명하면 다음과 같다. 3 mm 이하로 얇게 절단한 브로커리와 건양파 및 모짜렐라 치즈와 크림소스를 -3°C 에서 15분간 혼합한 후 4 g씩 성형하였다. 성형된 원료는 각각 2차례의 battering과 breading 과정을 거쳐 180°C 에서 30초간 기름에 튀긴 후 -40°C 에서 30분간 냉동시켰다. 최종적으로 제조된 제품은 500 g씩 폴리에틸렌 bag에 함기 포장한 후 냉동된 상태로 감마선 조사를 실시하였다. 감마선 조사는 Co-60 감마선 조사시설(IR-79, Nordion International Ltd., Ontario, Canada)을 이용하여 시간당 10 kGy의 선량률로 방사선을 조사하였다. 흡수선량의 확인은 Frick dosimetry(ceric/cerous dosimeter)를 사용하였고 선량의 오차는 ± 0.1 kGy이었다.

미생물분석

냉동치즈볼의 미생물을 분석하기 위해 시료무게의 10배에 해당하는 멸균 peptone수(0.1%, Difco Lab., Detroit, USA)를 멸균 bag에 넣고, stomacher lab blender(Model 400, Tekmar Co., USA)에서 2분간 균질화 하였다. 총균수(PCA, Difco Co., USA)는 30°C , 48시간, 대장균군(EMB, Difco Co., USA)은 37°C , 48시간, 곰팡이 및 효모(DRBC, Difco Co., USA)는 25°C , 7일 동안 배양한 후 30~300개의 집락을 형성한 배지만 계수하여 시료 1 g당 colony forming unit(CFU)로 나타냈으며, 미생물 검출을 위한 최소 한계치는 10^2 CFU/g이었다. 한편, 대장균에 대한 감마선의 D_{10} 값을 산출하기 위해 치즈볼을 30 kGy로 조사하여 시료에 존재하는 미생물을 완전히 멸균시킨 후 시료 100 g에 10 mL(2.0×10^8 CFU/mL)의 *E. coli*(KCTC 1682) 배양액을 접종하여 각각 0.5~3 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 감마선을 조사하여 생존한 대장균의 수를 확인하고 D_{10} 값을 산출하였다.

지방산패도 측정(TBARS법)

Jo와 Ahn의 방법(22)을 이용하여 감마선 조사가 냉동치

Table 1. Formula of cheese ball

Ingredients	Percentage (%)
Mozzarella cheese, shred	60
Broccoli	25
Dried onion	3
Starch	2
Cream sauce	10
Total	100

즈볼의 지방산패도(2-thiobarbituric acid value, TBA value)에 미치는 영향을 평가하였다. 시료 7 g을 50 μL 의 buthylated hydroxyanisole(BHA, 7.2% in ethanol)와 14 mL의 증류수를 넣고 균질기(DIAX 900, Heidolph, Co., Ltd., Germany)를 이용하여 균질화 하였다. 균질화한 시료에 25 mL의 TBA·trichloroacetic acid(TCA) 용액(20 mM TBA in 15% TCA)과 혼합한 후, 끓는 물에서 15분간 가열하였다. 실온에서 방랭한 후 원심분리기(UNION 5KR, Hanil Science Industrial, Co., Ltd., Korea)를 이용하여 15분간 2,000 rpm의 속도로 원심분리하여 그 상등액을 spectrophotometer(UV 1600 PC, Shimadzu, Tokyo, Japan)를 이용하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준곡선을 이용하여 malondialdehyde($\mu\text{g/g}$)의 농도를 산출하였다.

관능검사

감마선 조사된 냉동치즈볼의 관능검사는 감마선 조사식품에 혼련된 20인의 panel을 대상으로 두 차례 예비실험을 거친 후 본 실험을 하였다. 감마선 조사된 냉동 치즈볼은 130°C 의 식용유에 3분간 튀긴 시료를 이용하여 관능검사를 실시하였다. 시료의 외관, 향, 맛, 전반적 기호도의 4개 항목에 대한 수용도 검사를 7점 평점법(1 매우 싫다~7 매우 좋다)으로 평가하였으며, 각각의 시료에 대한 방사선 조사량의 강도를 7점 평점법(1 매우 약하다~7 매우 강하다)으로 평가하였다.

통계분석

이상의 실험에서 얻어진 결과는 Statistical Package for Social Sciences(SPSS, 10.0)(23)를 이용하여 one way ANOVA 분석을 하였으며, 시료간의 유의성은 Duncan's multiple range test로 $p < 0.05$ 수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

감마선 조사에 의한 냉동치즈볼의 미생물 사멸효과

감마선 조사에 의한 냉동치즈볼의 미생물 사멸효과와 D_{10} 값을 각각 Table 2와 Fig. 1에 나타냈다. 감마선 비조사 대조

Table 2. Total aerobic bacteria and yeasts and molds counts (log CFU/g) of cheese ball after gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	Total aerobic bacteria	Yeast and mold
0	4.4 ^{al)}	2.8
0.5	3.6 ^{b)}	<2.0
1.0	3.4 ^{b)}	<2.0
1.5	3.2 ^{c)}	<2.0
2.0	2.7 ^{d)}	<2.0
2.5	2.2 ^{e)}	<2.0
3.0	<2.0 ²⁾	<2.0
SEM ³⁾	0.19	-

¹⁾Values with different letters within a row differ significantly ($p < 0.05$).

²⁾Not detected within the detection limit $< 10^2$ CFU/g.

³⁾Standard error of the means ($n=21$).

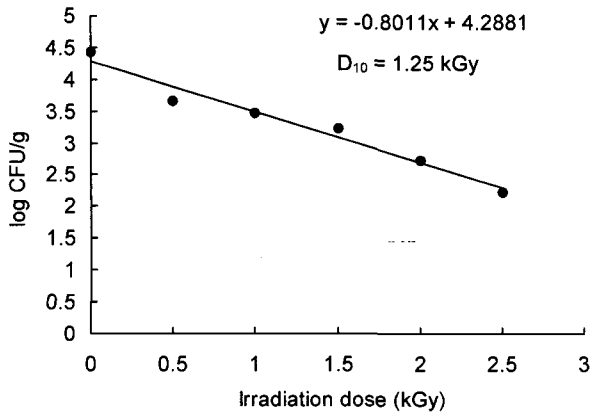


Fig. 1. Survival curve of total aerobic bacteria in cheese ball and D_{10} value.

구의 총균수는 4.4 log CFU/g 수준으로 치즈볼 제조과정 중 열처리를 하였음에도 불구하고 많은 수의 미생물이 검출되었다. 치즈볼은 식품공전 상 가열후 섭취냉동식품 중 냉동 전 가열제품에 해당되며 세균수 및 대장균군은 각각 g당 100,000 및 10 이하이어야 한다. 본 실험의 경우 세균수가 기준치 이하인 것으로 나타났으나, 부적절한 식품가공 및 취급 상황을 감안할 경우 여전히 높은 수치로 사료되며, 이는 현재 상업적으로 제조되고 있는 치즈볼과 같은 조리냉동식품의 미생물학적 안전성 확보가 시급하다는 것을 의미한다. 반면에 감마선 조사된 냉동 치즈볼의 경우 감마선 조사선량이 증가할수록 미생물수가 유의적으로 감소하여 3 kGy 이상의 감마선 조사구에서는 미생물 검출을 위한 최소 한계치인 100 CFU/g 이하로 나타났으며, D_{10} 값은 1.25 kGy로 나타났다.

효모 및 곰팡이는 비조사 대조구의 경우 2.8 log CFU/g 수준으로 검출되었으나, 0.5 kGy 이상의 감마선 조사에 의해 모두 검출한계 이하로 나타났으며, *Listeria* spp. 및 대장균군은 비조사구 및 조사구 모두에서 검출되지 않았다(결과 미첨부). 한편, 치즈볼에 *E. coli*(KCTC 1682) 배양액을 접종한 후 대장균에 대한 감마선 조사의 영향을 확인한 결과(Fig. 2), 비조사구의 경우 대장균수가 8.15 log CFU/g이었던 것이 감마선 조사선량이 증가할수록 감소하여 2 kGy 이상의 감마선 조사에 의해 미생물 검출 최소 한계인 100 CFU/g 이하로 나타났다(D_{10} value=0.25 kGy). Molins(24)는 육류 및 육제품을 대상으로 *E. coli*와 *E. coli* O157:H7에 대한 방사선 감

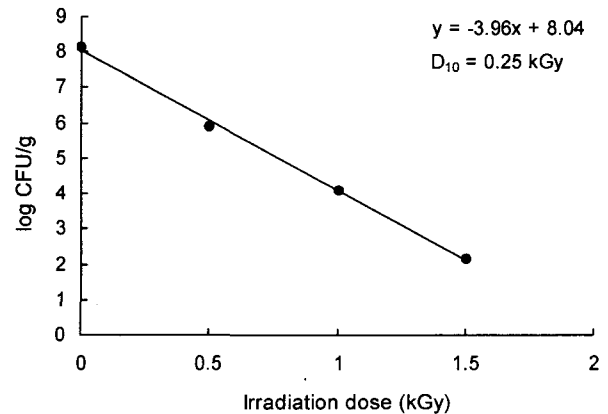


Fig. 2. Survival curve of *E. coli* KCTC 1682 inoculated in cheese ball and D_{10} value.

수성을 측정된 결과 D_{10} 값이 0.11~0.63 kGy라고 보고하였다. 또한, 방사선에 대한 미생물의 감수성은 방사선 조사시의 온도, 산소, 수분, 미생물의 성장단계 및 배지조성과 같은 인자들에 영향을 받는다고 하였다. 즉 동일한 미생물이라 할지라도 식품의 종류와 특성에 따라 방사선에 대한 미생물의 감수성은 변화하게 된다(24).

이상의 결과를 종합하여 볼 때 현재 시판되고 있는 냉동치즈볼 및 치즈스틱과 같은 치즈를 원료로 한 즉석편의식품의 유통기한이 약 6~9개월 정도로 설정되어 있는 실정을 감안할 때 3 kGy 정도의 감마선 조사로 초기 미생물을 제어한다면 유통기간동안 미생물학적으로 안전한 저장이 가능할 것이며, 제품 수출을 위한 검역시의 문제점도 동시에 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

지방산패도 변화

감마선 조사 직후 및 냉동 저장기간 중 치즈볼의 지방산패도 변화를 Table 3에 나타냈다. 감마선 조사직후 TBA값은 감마선 조사선량이 증가할수록 TBA값이 유의적으로 증가하는 경향이었으나, 1 kGy와 3 kGy 감마선 조사구는 비조사 대조구와 비교할 때 유의적 차가 나타나지 않았다. 한편, 저장 3개월 후 지방산패도는 모든 시료에서 유의적으로 증가하였으며, 방사선 조사선량이 증가할수록 지방산패도의 증가폭도 커지는 경향이였다. 그러나, 방사선 조사직후의 결과와 마찬가지로 3 kGy 이하의 선량에서는 비조사 대조구와

Table 3. Changes of TBA values (malondialdehyde μ g/g) of gamma-irradiated cheese ball during storage at -20°C

Storage (month)	Irradiation dose (kGy)						SEM ³⁾
	0	1	3	5	7	10	
0	0.147 ^{ay1)}	0.163 ^{ay}	0.159 ^{ay}	0.218 ^{aby}	0.256 ^{by}	0.295 ^{cy}	0.0211
3	0.189 ^{az}	0.194 ^{az}	0.209 ^{abz}	0.274 ^{bz}	0.321 ^{bcz}	0.369 ^{cz}	0.0198
SEM ²⁾	0.0235	0.0166	0.0182	0.0191	0.0207	0.0255	

^{1)a-c}Values with different letters within a row differ significantly ($p < 0.05$).

^{y-z}Values with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$).

²⁾Standard error of the means ($n=6$).

³⁾Standard error of the means ($n=18$).

Table 4. Sensory scores of gamma irradiated-cheese ball fried at 130°C for 3 min

Parameter	Irradiation dose (kGy)						SEM ²⁾
	0	1	3	5	7	10	
Color	5.2 ^{a1)}	5.0 ^a	5.3 ^a	5.0 ^a	4.9 ^a	5.1 ^a	0.166
Flavor	5.2 ^a	5.2 ^a	5.4 ^a	4.9 ^{ab}	4.4 ^b	3.1 ^c	0.245
Taste	5.5 ^a	5.4 ^a	5.2 ^a	4.7 ^{ab}	4.3 ^b	3.7 ^c	0.283
Overall acceptability	5.2 ^a	5.3 ^a	5.1 ^a	4.7 ^{ab}	4.2 ^b	3.3 ^c	0.295
Irradiation odor	1.9 ^c	2.1 ^c	1.7 ^c	2.6 ^b	2.9 ^b	3.5 ^a	0.312

¹⁾Values with different letters within a row differ significantly ($p < 0.05$).

²⁾Standard error of the means ($n=60$).

비교할 때 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다.

일반적으로 방사선 조사는 산소가 있는 조건하에서 지방의 산화를 야기시킨다(24,25). 그러나, 방사선조사시 tocopherol 및 ascorbic acid 등 다양한 천연 항산화제의 첨가 및 진공포장 등의 방법을 이용할 경우 지방의 산화발생을 억제하는 것이 가능하다(26-31). 치즈볼 역시 지방함량이 약 10~15% 정도로 방사선 조사시 지방산화를 완전히 억제할 수는 없으나, 지방의 산화를 방지하기 위해 항산화제를 첨가하거나 진공포장 등의 방법을 병용한다면 방사선 조사에 의한 지방산화를 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

관능평가

감마선 조사된 냉동치즈볼의 조리 관능적 특성을 평가하기 위해 130°C로 가열된 기름에 3분간 튀긴 후 수용도 및 조사취를 평가하였다(Table 4). 관능평가결과 향, 맛, 종합적 기호도는 3 kGy 이하의 선량에서는 대조구와 비교할 때 유의적 변화가 없는 것으로 나타났으나, 5 kGy 이상의 선량에서는 방사선 조사선량이 증가할수록 점수가 유의적으로 낮아졌다. 또한, 방사선 조사취는 3 kGy 이하에서는 유의차가 없었으나, 5 kGy 이상에서는 유의적으로 증가하였다. 이러한, 방사선에 의한 이취는 방사선 조사에 의해 생성된 래디컬의 작용으로 단백질과 지방에 영향을 미치기 때문이다(32,33). 그러나, 이러한 관능적 품질저하는 방사선 조사시의 지방산화와 마찬가지로 조사선량, 조사시의 환경조건과 식품의 종류 및 구성성분 등 그 특성에 따라 차이가 있으며, 방사선 조사시 발생하는 이취현상 역시 천연 항산화제 첨가 또는 진공포장 등의 방법을 이용하여 감소시키는 것이 가능하다(30,34-37).

이상의 결과를 종합하여 볼 때 향후 항산화제 첨가 또는 포장방법 및 방사선 조사 조건 등에 대한 좀더 다양한 연구가 보완되어야 할 것으로 판단되나, 약 3 kGy 감마선 조사로도 치즈볼의 관능적 품질변화를 최소화시킬 수 있는 동시에 미생물학적 저장안전성 확보가 가능할 것으로 사료되며, 국제교역을 위한 검역처리 방법으로서 이용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구결과는 방사선 조사를 이용한 냉동식품의 위생화를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 감마선 조사기술을 이용한 치즈볼의 위생화를

목적으로 실시하였다. 감마선 비조사구의 총균수는 4.4 log CFU/g 정도이었으나, 감마선 조사선량이 증가할수록 미생물수가 유의적으로 감소하여 3 kGy 이상의 감마선 조사구에서는 미생물 검출을 위한 최소한계치인 100 CFU/g 이하이었고, D₁₀ 값은 0.83 kGy로 나타났다. 또한, 효모 및 곰팡이는 감마선 비조사 대조구의 경우 2.8 log CFU/g 수준이었으나, 0.5 kGy 이상의 감마선 조사에 의해 모두 미생물 검출 한계치 이하로 나타났다. 한편, 치즈볼에 *E. coli*(KCTC 1682)를 접종한 후의 D₁₀ 값은 0.25 kGy로 나타났다. 감마선 조사직 후 지방산패도는 3 kGy 이하에서는 비조사구와 비교할 때 유의적 차가 없었으나, 5 kGy 이상에서는 감마선 조사선량이 증가할수록 유의적으로 증가하였다. 또한, 관능평가결과는 지방산패도 결과와 마찬가지로 3 kGy 이하의 선량에서는 대조구와 비교할 때 유의적 변화가 없는 것으로 나타났으나, 5 kGy 이상의 선량에서는 방사선 조사선량이 증가할수록 향, 맛, 종합적 기호도의 점수가 낮아지는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 치즈볼의 관능적 품질변화를 최소화하고 미생물학적 저장안전성을 확보하기 위한 최적 방사선 조사선량은 3 kGy인 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술기획평가원의 지원을 받아 2004년도 원자력연구개발사업을 통해 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Park KS, Kim JG, Lee JW, Oh SH, Lee YS, Kim JH, Kim JH, Kim WG, Byun MW. 2004. Effects of combined treatment of gamma irradiation and addition of rosemary extract powder on ready-to-eat hamburger steaks: II. Improvement in quality. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 694-699.
2. Yun SH, Yoon JY, Lee SR. 1996. Retail distribution temperature and quality status of fried-frozen Korean meat ball products. *Korean J Food Sci Technol* 28: 657-662.
3. Lee SH, Moon WS, Park KN. 2000. Antimicrobial activity of *Caesalpinia sappan* L. extracts and its effect on preservation of ground meats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 888-892.
4. Hartung M, Gerigk K. 1991. *Yersinia* in effluents from the food processing industry. *Rev Sci Tech* 10: 799-811.

5. Toora S, Budu AE, Ablett RF, Smith J. 1992. Effect of high temperature short-time pasteurization milk freezing and thawing and constant freezing, on the survival of *Yersinia enterocolitica*. *J Food Prot* 55: 803-805.
6. Chang YH. 1999. Isolation and characteristics of *Listeria monocytogens* from frozen foods in Korea. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1324-1329.
7. Schofield GM. 1992. Emerging foodborne pathogens and their significance in chilled foods. *J Appl Bacteriol* 72: 267-273.
8. Lim SY, Yoon SK. 2000. Characteristics of *Yersinia enterocolitica* isolated from frozen foods. *Korean J Food Sci Technol* 32: 1336-1340.
9. Bemrah N, Sanaa M, Cassin MH, Griffiths MW, Cerf O. 1998. Quantitative risk assessment of human listeriosis from consumption of soft cheese made from raw milk. *Prev Vet Med* 37: 129-145.
10. De Buyser M, Dufour B, Maire M, Lafarge V. 2001. Implication of milk and milk products in food-borne disease in France and different industrialized countries. *Int J Food Microbiol* 67: 1-17.
11. McLauchlin J, Greenwood MH, Pini PN. 1990. The occurrence of *Listeria monocytogens* in cheese from manufacturer associated with a case of listeriosis. *Int J Food Microbiol* 10: 255-262.
12. Morgan F, Bonnin V, Mallereau MP, Perrin G. 2001. Survival of *Listeria monocytogens* during manufacture, ripening and storage of soft lactic cheese made from raw goat milk. *Int J Food Microbiol* 64: 217-221.
13. Roh PU, Bin SO. 2001. Temperature control of freezers and refrigerators in department stores and supermarkets. *Kor J Env Hlth Soc* 27: 69-74.
14. Kwon JH, Chung HW, Kwon YJ. 2000. Infrastructure of quarantine procedures for promoting the trade of irradiated foods. Paper presented at Symposium of The Korean Society of Postharvest Science and Technology of Agricultural Products on Irradiation Technology for the Safety of Food and Public Health Industries and Quality Assurance. 13 October, Daejeon. p 209-254.
15. Thayer DW, Boyd G, Fox JB, Lakritz L, Hampson JW. 1994. Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meats. *J Food Sci* 60: 63-67.
16. Farkas J. 1998. Irradiation as method for decontaminating food: A review. *Int J Food Microbiol* 44: 189-204.
17. Thayer DW, Boyd G. 1994. Control of enterotoxigenic *Bacillus cereus* on poultry or red meats and in beef gravy by gamma irradiation. *J Food Prot* 57: 758-764.
18. Bari ML, Sabina Y, Kusunoki H, Uemura T. 2001. Preservation of fish cutlet (*Pangasius pangasius*) as ambient temperature by irradiation. *J Food Prot* 63: 56-62.
19. Kang HJ, Kwon YJ, Byun MW, Kim HK, Chung HS, Choi JU, Kwon JH. 2003. Effect of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on quarantine pest and physical quality of apples. *Korean J Food Sci Technol* 35: 783-790.
20. Kwon JH, Kang HJ, Jo DJ, Chung HS, Kwon YJ, Byun MW, Choi SJ, Choi JU. 2002. Effect of gamma radiation and methyl bromide fumigation on quarantine pest and quality of asian pears. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 57-63.
21. Byun MW, Lee JW, Yook SH, Lee KH, Kim KP. 1999. The improvement of color and shelf life of ham by gamma irradiation. *J Food Prot* 62: 1162-1166.
22. Jo C, Ahn DW. 2000. Production of volatile compounds from irradiated oil emulsions containing amino acids or proteins. *J Food Sci* 65: 612-616.
23. SPSS. 1999. SPSS for Windows. Rel. 10.05. SPSS Inc., Chicago, IL
24. Molins RA. 2001. *Food irradiation: Principles and applications*. John Wiley & Sons Inc., New York. p 131-191.
25. O'Connell MJ, Garner A. 1983. Radiation-induced generation and properties of lipid hydroperoxide in liposomes. *Int J Radiat Biol* 44: 615-625.
26. Lee JW, Yook HS, Kim SA, Lee KH, Byun MW. 1999. Effect of antioxidants and gamma irradiation on the shelf-life of beef patties. *J Food Prot* 62: 619-624.
27. Murphy A, Kerry JP, Buckley J, Gray I. 1998. The antioxidative properties of rosemary oleoresin and inhibition of off-flavors in precooked roast beef slices. *J Sci Food Agric* 77: 235-243.
28. Kanatt SR, Paul P, D'Souza SF, Thomas P. 1998. Lipid peroxidation in chicken meat during chilled storage as affected by antioxidants combined with low-dose gamma irradiation. *J Food Sci* 63: 198-200.
29. Kingston ER, Monahan FJ, Buckley DL, Lynch PB. 1998. Lipid oxidation in cooked pork as affected by vitamin E, cooking and storage conditions. *J Food Sci* 63: 386-389.
30. Lee JW, Park KS, Kim JG, Oh SH, Lee YS, Kim JH, Byun MW. 2005. Combined effects of gamma irradiation and rosemary extract on the shelf-life of a ready-to-eat hamburger steak. *Radiat Phys Chem* 72: 49-56.
31. Chen X, Jo C, Lee JI, Ahn DU. 1999. Lipid oxidation, volatiles and color changes of irradiated pork patties as affected by antioxidants. *J Food Sci* 64: 16-19.
32. Merritt C. 1966. Chemical changes induced by irradiation in meats and meat components. In *Food irradiation* (STI/PUB/127). Int. Atomic Energy Agency, Vienna.
33. Schweigert BS, Doty DM, Niven CF. 1954. A summary of studies on the irradiation of meats. In *Radiation sterilization: Review of the literature in selected fields*. Chicago Quartermaster Depot, U.S. Army, Chicago, IL.
34. Alur MD, Kamat AS, Doke SN, Nair PM. 1998. Development of radication process for eradicating *Salmonella* and *Staphylococcus* from pork meat products. *J Food Sci Technol* 35: 15-20.
35. Luchsinger SE, Kropf DH, Chambers E, Zepeda CMG, Hunt MC, Stroda SL, Hollingsworth ME, Marsden JL, Kastner CL. 1997. Sensory analysis of irradiated ground beef patties and whole muscle beef. *J Sensory Studies* 12: 105-126.
36. Hashim IB, Resurreccion AVA, MacWatters KH. 1995. Disruptive sensory analysis of irradiated frozen or refrigerated chicken. *J Food Sci* 60: 664-666.
37. Byun MW, Lee JW, Yook HS, Lee KH, Kim S, Kim WJ, Kim KS. 2000. Effect of gamma irradiation on the raw meat in Bologna sausage production. *Int J Food Sci Technol* 35: 599-601.

(2005년 2월 14일 접수; 2005년 4월 1일 채택)