

저선량 감마선과 전자선조사가 우육의 저장중 미생물 생육에 미치는 효과

김우선 · 정명섭 · 고영태*

한국식품위생연구원, *덕성여자대학교 식품영양학과

Effects of Low Dose Gamma Ray and Electron Beam Irradiation on Growth of Microorganisms in Beef During the Refrigerated Storage

Wu-Seon Kim, Myung-Sub Chung and Young-Tae Ko*

Korea Institute of Food Hygiene,

*Department of Food and Nutrition, Duksung Women's University

Abstract

This experiment was conducted to investigate radurization effects of gamma ray and electron beam irradiation at 1.5 and 3.0 kGy on beef steaks during 8 days of storage at 5°C. Total bacteria count, psychrotrophs, mesophiles and thermophiles were analyzed at 2 days intervals. Nonirradiated beef steak was used as control. Total bacteria counts, psychrotrophs, mesophiles and thermophiles of the control samples showed 3.03~4.72 logCFU/g at 0 day and increased to 7.67~10.90 logCFU/g during 8 days storage except thermophiles. Total bacteria counts, psychrotrophs and mesophiles of beef steaks at 8 days were significantly ($p < 0.05$) decreased to 3.61~5.43 logCFU/g by gamma ray and to 3.83~7.02 logCFU/g by electron beam irradiation at 1.5 and 3.0 kGy. Thermophiles of all irradiated samples at any dose were not detectable through 8 days storage. These results suggested that both gamma ray and electron beam irradiation were effective to extend lag phase of bacterial growth of refrigerated beef. Gamma ray irradiation was better than electron beam irradiation in terms of radurization effects of beef.

Key words : gamma ray, electron beam, microbial changes.

서론

전반적인 국민 생활수준의 향상은 영양의 질적 섭취에 대한 관심을 높였으며, 대표적인 변화 중의 하나는 영양과 풍미, 기호성이 우수한 동물성단백의 섭취가 급증하고 있는 것이다. 우리나라 국민의 1인당 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 소비량은 1985년에 3.7kg, 10.5kg, 3.1kg에서 1995년도에는 6.7kg, 14.8kg, 5.9kg으로 각각 증가되었다⁽¹⁾.

그러나 축산식품은 영양 및 관능적 품질이 우수한 반면, 부패성 미생물이나 병원성 미생물의 성장에 적합한 조건을 갖추고 있어 변패가

쉽게 되고 식중독을 일으킬 위험이 높은 것으로 평가되고 있다. 이러한 육제품의 질적 안전성 확보를 위해 가열, 살균, 멸균, 냉동, 냉장, 건조, 염장, 훈연, 진공포장, 가스포장 등의 가공 및 저장방법에 대한 연구가 수행되어 왔으나, 각 공정들의 한계성이 지적되면서 신선육 상태로 살균처리할 수 있는 새로운 기술개발이 요구되고 있다. 또한 경제적인 비용 때문에 일반식품에 널리 이용되고 있는 화학훈증제, 농약 및 보존료에 대해서도 식품중 잔류량에 대한 안전성 논란이 국내외에서 지속되고 있는 실정이다. 따라서 효율적이고 안전한 살균 및 살충방법의 확보는 국내외 식품산업에 있어서 중요한 당면과제라 할 수 있다. 이와 같은 추세에서 ⁶⁰Co 또는 ¹³⁷Cs를 에너지원으로 사용하는 감마선이나 기계적으로 발생하는 전자선 또는

Corresponding author : Myung-Sub Chung, Korea Institute of Food Hygiene, 57-1, Norangjin-dong, Dongjak-ku, Seoul 156-050, Korea.

X-선을 사용하는 방사선조사는 살균공정상 온도, 습도, 압력의 영향을 받지 않고 연속처리가 가능하여 에너지효율을 높일 수 있을 뿐 아니라 완전 포장된 상태로 포장내 오염미생물을 살균할 수 있어 제품의 품질개선, 저장기간의 연장, 비용절감, 시장확대 등 안전하고 위생적인 식품의 대량공급이라는 측면에서 관심이 되어 왔다⁽²⁻⁷⁾.

실제로 방사선조사의 역사는 1895년 X-선의 발견직후 1896년 박테리아에 대한 X-선의 살균 가능성이 제시되면서부터 비롯되었으며, 1921년 미국에서 방사선 식품처리가 최초로 허용된 이래 방사선 조사선원이 개발 생산된 1950년대부터 본격적인 연구가 전개되었다. 국내의 방사선조사 연구도 1959년 원자력원이 설립되고 1966년 방사선 농학연구소가 설립되면서 ^{60}Co 을 이용한 식품저장연구가 시작되었고, 이후 약 30여년간 식품의 발아 발근억제, 성장조정, 속도 지연, 살균, 살충, 저장기간연장, 품질개선 등 감마선처리에 대한 이화학적, 미생물학적 연구가 수행되었다^(4,5).

전자선은 감마선에 비해 투과력이 약해 적용범위가 제한되어 있으나 식품성분 변화를 최소화하고 설비비용이 감마선 조사시설보다 저렴하여 감마선을 대신할 수 있는 방사선원으로서 기대가 되고 있다⁽⁸⁻¹²⁾.

조사된 식품의 안전성에 관한 연구는 지난 40여년간 국제기구(FAO/IAEA/WHO)의 주도로 진행되었으며, 그 결과 10 kGy이하의 조사처리는 독성학적, 미생물학적, 영양학적으로 건전하다는 안전성을 제시한 바 있다⁽⁷⁾.

세계적으로는 38개국이 방사선조사를 허용하고 있으나⁽⁷⁾, 허용범위는 국가별로 차이가 크다. 미국의 경우 '97년 12월 쇠고기 등 적색 육류에 대한 저선량의 방사선 조사를 허가함으로써 대부분의 식품류에 대한 방사선 처리가 허용된 상태이다⁽¹³⁾. 국내에서도 '98년 현재 식품공전 공통기준 및 규격에 ^{60}Co 을 이용한 식품의 발아억제, 살충, 살균 및 속도조절을 목적으로 13가지 식품품목에 대해 최고 10 kGy이하의 조사기준을 설정하고 있으나⁽¹⁴⁾, 최근 병원성 미생물 오염으로 문제가 되고 있는 소·돼지·닭 등의 다소비 축산식품에 대한 허용기준은 마련되지 않은 실정이다. 국내의 연구 실적도 대부분 ^{60}Co 을 선원으로 하는 감마선 조사의 이화학적, 미생물학적 연구에 한정되어 있

으며, 전자선을 이용한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 소비자의 방사능물질에 대한 거부감 해결이라는 측면에서 방사능물질을 사용하지 않는 전자선을 이용한 미생물학적 살균효과를 감마선과 비교 고찰하여 우리 나라 실정에 맞는 축산식품 조사처리의 기초자료로 활용하고자 수행되었다.

재료 및 방법

재 료

도살해체하여 2~4℃에서 1일간 예냉후 슈퍼마켓으로 운반된 쇠고기의 반건양근(*semitendinosus*)을 슈퍼마켓으로부터 구입하여 실험실로 옮긴 다음 쇠고기를 표면으로부터 1cm, 무게 30±1g의 절편이 되도록 절단하였다. 절단한 시료는 조사 유무에 따라 조사처리 하지 않은 대조구와 처리구로 분류하여 통기성 폴리에틸렌비닐에 넣어 포장하였다.

조 사

감마선조사는 한국원자력연구소에서 감마선원 ^{60}Co (50,000 Ci)을 이용하는 조사장치로 선량 1.5 kGy (0.075 kGy/h), 3.0 kGy (0.15 kGy/h)의 수준으로 조사하였다. 흡수된 선량은 Ceric sulfate dosimeter를 사용하여 측정되었으며, 최고·최저 선량의 편차는 ±0.002 kGy이었다.

전자선조사는 ELV-4 전자선가속장치 (1 MeV) (Electron-Beam Accelerator, Samsung Inc., Korea)를 사용하여 선량 1.5 kGy (3.0 kGy/s), 3.0 kGy (6.0 kGy/s)의 수준으로 삼성기술연구원에서 조사하였다. Beam current는 각각 2 mA, 4 mA이었으며, 속도는 20 m/min이었다. 흡수선량의 측정은 Cellulose Triacetate(CTA) dosimeter가 사용되었으며, 각 쇠고기 스테이크는 앞면을 조사한 다음 바로 뒤집어서 뒷면을 조사한 후 3~4℃에 유지시켜 실험실로 이동하였다.

미생물분석

조사후 각 시료는 5℃±0.1℃에 8일간 저장되면서 2일 간격으로 총균수, 저온균수, 중온균수, 고온균수의 증식상태가 조사되었다.

쇠고기 30±1g을 폴리에틸렌비닐로부터 무

균적으로 제거한 후, 1% peptone(Difco Lab, Detroit, MI)수를 넣은 병에 시료를 넣고 20분간 침지시킨 다음 표준 회석 방법에 따라 1% peptone수를 이용하여 회석하였다. 배지는 총균수의 경우 Plate Count Agar(Difco Lab, Detroit, MI)를 사용하였고 저온균, 중온균 및 고온균은 Tryptic Soy Agar(Difco Lab, Detroit, MI)를 이용하여, 각 농도의 회석액을 pour-plate method로 총균수와 중온균은 35°C에서 48시간, 저온균은 25°C에서 48시간, 고온균은 50°C에서 48시간 배양하였다⁽¹⁵⁾. 생성된 집락수는 30~300개의 집락을 갖는 평판을 선택하여 계산하였으며, 모든 결과는 3회 반복의 평균값을 사용하였다.

통계분석

colony-forming unit(CFU/g)로 표현된 모든 data는 log CFU/g으로 전환한 후 SAS⁽¹⁶⁾ 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 저장기간, 방사선종 및 선량에 따른 미생물의 살균효과에 대한 분석은 일원분산분석(one-way ANOVA)으로 하였으며, 통계적으로 유의성을 나타낸 값에 대한 검증은 $\alpha=0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test로 분석하였다.

결과 및 고찰

총균수(Total bacteria counts)

저선량의 감마선 및 전자선 처리된 쇠고기를 5°C에서 8일간 저장하는 동안 총균수의 변화는 Table 1에 나타나 있다. 조사처리하지 않은 대

조구는 저장 8일까지 4.27에서 7.67 logCFU/g으로 대수적인 증가를 나타냈다. 1.5 kGy와 3.0 kGy의 감마선과 전자선 처리구는 저장 2일까지 세균이 검출되지 않았으나, 전자선 1.5, 감마선 1.5, 전자선 3.0 kGy처리구는 4일부터 회복되기 시작하여 8일에는 각각 4.50, 3.96, 3.83 logCFU/g을 나타냈다. 이것은 대조구의 0일 균수와 비슷하거나 낮은 수준으로써, 조사처리구는 미생물 증식억제 측면에서 저장기간 동안 대조구와 유의적인 차이($p < 0.05$)를 나타냈다. 특히 3.0 kGy의 감마선조사처리구는 저장 8일까지 세균이 검출되지 않았으므로 사멸효과가 가장 높은 것으로 나타났다. Szczawińska 등⁽¹⁷⁾은 진공조건의 5°C에서 감마선 1.5, 2.5 kGy로 닭고기의 총균수를 각각 2.23, 3.44 logCFU/g 감소시켰다고 보고하였으며, Heath⁽¹⁸⁾는 전자선 1.5, 3.0 kGy에서 닭고기의 총균수를 각각 2.0, 4.0 logCFU/g 감소시켰다고 보고한 바 있다.

일반적으로 식육의 부패시점으로 고려되는 7 logCFU/g⁽¹⁹⁾을 부패기준으로 볼 때, 대조구는 6일 이었으며, 감마선과 전자선 처리구는 저장 8일까지 이 수준에 미치지 않았다. 이것을 대조구의 0일 미생물수를 기준으로 본다면 미생물 성장이 7.0~8.0일 지연된 것으로 사료된다. 감마선과 저온처리에 의한 저장기간 연장에 관한 연구에서 Kahan과 Howker⁽²⁰⁾는 1.6°C에서 2.5 kGy처리는 총균수를 기준으로 닭고기의 미생물학적 부패를 약 15일간 지연시켰다고 보고하였으며, Dempster 등⁽²¹⁾은 3°C에서 1.5 kGy로 쇠고기 burger의 저장기간을

Table 1. Effects of dose and kind of irradiation on the number of total bacteria count in beef stored under aerobic condition at 5°C (Unit : log CFU/g)

Days	Control	Kinds of irradiation (kGy)			
		γ -ray (1.5)	γ -ray (3.0)	E-beam (1.5)	E-beam (3.0)
0	4.27 \pm 0.49 ¹	ND ²	ND	ND	ND
2	5.30 \pm 0.08	ND	ND	ND	ND
4	5.89 ^a \pm 0.14	3.06 ^b \pm 0.55	ND ^d	3.20 ^b \pm 0.21	2.31 ^c \pm 0.09
6	7.51 ^a \pm 0.31	3.52 ^c \pm 0.50	ND ^d	4.09 ^b \pm 0.35	3.47 ^c \pm 0.61
8	7.67 ^a \pm 0.36	3.96 ^c \pm 0.40	ND ^d	4.50 ^b \pm 0.23	3.83 ^c \pm 0.37

¹ Mean \pm SD

² ND : not detected (detection limit 30 CFU/g)

^{a-d} Means in the same row with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

7일간 연장시켰다고 보고하였다. Niemand 등⁽²²⁾도 4℃에서 2.0 kGy로 진공포장된 쇠고기 스테이크의 저장기간을 약 10주 연장시켰다고 하였다.

저온균수(Psychrotrophs)

감마선과 전자선 조사에 의한 저온균수의 변화는 Table 2와 같으며, 대조구는 0일부터 4일까지 4.72~6.45 logCFU/g을 나타냈고, 6일부터는 부패시점인 7 logCFU/g을 초과하여 8일에는 10.90 logCFU/g으로 증식하였다. Rodriguez 등⁽²³⁾은 1℃저장 7일에 닭고기의 저온균수는 6.33 logCFU/g이라고 하였으며, 초기 미생물수가 5 logCFU/g을 초과할 경우 6일 이내에 부패가 일어난다⁽²⁴⁾고 보고한 바 있다. 이러한 저온균은 호기적인 조건의 저온에서 육류의 변질을 초래하는 주요 미생물이기 때문에 저온에서 유통되는 식품에 있어서 총균이나 중온균보다 부패의 지표로서 중요하다^(24,25-27).

전자선 1.5, 3.0 kGy처리구는 저장 0일에는 저온균이 불검출되었으나, 저장 2일부터 회복되기 시작하여 8일에는 각각 7.02, 5.10 logCFU/g으로 증식하였으며, 감마선 3.0 kGy처리구도 저장 4일부터 회복되기 시작하여 8일에는 3.61 logCFU/g을 나타냈다. 이와 같이 저온균이 일반세균보다 빠른 회복과 증식으로 조사에 대해 상대적인 저항성을 나타낸 것은 미생물마다 조사에 의해 손상된 DNA의 복구기전이 다르기 때문이며^(24,28), 본 실험의 호기적 조건의 저온저장은 총균이나 중온균보다 저온균에 대해 최적조건을 형성하여 이들의 빠른

회복을 유도한 것으로 사료된다.

저온균을 기준으로 한 부패시점은 7 logCFU/g을 기준으로 대조구는 4~6일, 전자선 1.5 kGy 처리구는 8일이었으며, 감마선 1.5, 3.0 kGy와 전자선 3.0 kGy 처리구는 저장 8일까지 이 수준에 도달하지 않았다. Rodriguez 등⁽²⁴⁾은 감마선 2.0 kGy조사로 1℃에서 쇠고기의 저장기간을 저온균을 기준으로 15.0~18.7일 연장시켰다고 보고하였으며, Ehioba 등⁽²⁹⁾은 감마선 1.0 kGy로 5℃에서 12일 저장동안 진공포장된 돼지고기의 저장기간을 저온균 기준으로 11.5일 연장시켰다고 보고하였다.

중온균수(Mesophiles)

감마선과 전자선조사에 의한 중온균수의 변화는 Table 3과 같으며, 대조구인 경우 0일부터 4일까지는 4.57~5.95 logCFU/g으로 증식하였다. 이 결과는 Harris⁽³⁰⁾ 등이 판매육의 일반적인 중온균수를 4.51~6.48 logCFU/g이라고 보고한 것과 유사한 수준이었으며, 6일부터는 부패한계인 7 logCFU/g을 초과하여 8일에는 8.90 logCFU/g으로 증식하였다.

감마선과 전자선 처리구는 저장 2일까지 모든 선량에서 세균이 검출되지 않았으나, 전자선 1.5, 3.0 kGy, 감마선 1.5 kGy 처리구는 4일부터 회복되기 시작하여 8일에는 각각 5.75, 5.45, 4.46 logCFU/g으로 총균수와 유사한 경향으로 증식하였으며, 대조구와는 저장 2일과 비슷하거나 낮은 수준을 나타내었다. 특히 3.0 kGy의 감마선 처리구는 저장 8일까지 세균이 검출되지 않았으므로써 미생물 사멸에 가장 효과

Table 2. Effects of dose and kind of irradiation on the number of psychrotrophic bacteria in beef stored under aerobic condition at 5℃ (Unit : log CFU/g)

Days	Control	Kinds of irradiation (kGy)			
		γ-ray (1.5)	γ-ray (3.0)	E-beam (1.5)	E-beam (3.0)
0	4.72 ^a ± 0.56 ¹	3.07 ^b ± 0.80	ND ^{2c}	ND ^c	ND ^c
2	5.63 ^a ± 0.31	3.51 ^b ± 0.90	ND ^d	2.42 ^c ± 0.14	2.25 ^c ± 0.20
4	6.45 ^a ± 0.55	4.33 ^b ± 0.99	2.33 ^{cd} ± 0.26	3.29 ^c ± 0.77	3.02 ^c ± 0.77
6	9.73 ^a ± 0.20	4.54 ^{bc} ± 0.88	2.63 ^d ± 0.14	4.78 ^b ± 0.66	3.98 ^c ± 0.81
8	10.90 ^a ± 0.59	5.43 ^c ± 1.00	3.61 ^d ± 0.80	7.02 ^b ± 0.96	5.10 ^c ± 0.80

¹ Mean ± SD

² ND : not detected (detection limit 30 CFU/g)

^{a-d} Means in the same row with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test

Table 3. Effects of dose and kind of irradiation on the number of mesophilic bacteria in beef stored under aerobic condition at 5°C
(Unit : log CFU /g)

Days	Control	Kinds of irradiation (kGy)			
		γ -ray (1.5)	γ -ray (3.0)	E-beam (1.5)	E-beam (3.0)
0	4.57 \pm 0.43 ¹	ND ²	ND	ND	ND
2	5.33 \pm 0.21	ND	ND	ND	ND
4	5.95 ^a \pm 0.16	2.93 ^b \pm 0.92	ND ^d	3.06 ^b \pm 0.28	2.22 ^c \pm 0.15
6	7.82 ^a \pm 0.35	3.37 ^c \pm 0.85	ND ^d	4.36 ^b \pm 0.36	4.14 ^b \pm 0.31
8	8.90 ^a \pm 1.04	4.46 ^c \pm 0.71	ND ^d	5.75 ^b \pm 0.90	5.45 ^b \pm 0.88

¹ Mean \pm SD

² ND : not detected (detection limit 30 CFU /g)

^{a-d} Means in the same row with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

Table 4. Effects of dose and kind of irradiation on the number of thermophilic bacteria in beef stored under aerobic condition at 5°C
(Unit : log CFU /g)

Days	Control	Knds of irradiation (kGy)			
		γ -ray (1.5)	γ -ray (3.0)	E-beam (1.5)	E-beam (3.0)
0	3.03 \pm 0.76 ¹	ND ²	ND	ND	ND
2	3.14 \pm 0.80	ND	ND	ND	ND
4	4.05 \pm 0.10	ND	ND	ND	ND
6	3.98 \pm 0.37	ND	ND	ND	ND
8	3.15 \pm 0.56	ND	ND	ND	ND

¹ Mean \pm SD

² ND : not detected (detection limit 30 CFU /g).

적임을 나타냈다. Thayer 등⁽³¹⁾은 감마선 1.4 kGy 조사후 5°C로 저장한 닭날개의 중온균이 1.0~4.0 logCFU /g으로 감소하였다고 보고하였으며, 조 등⁽³²⁾은 감마선 5.0, 8.0 kGy의 처리로 3~4°C에서 닭고기의 중온균수를 각각 2.0~4.0 logCFU /g 감소시켰다고 보고하였다. Naik 등⁽³³⁾도 감마선 2.5 kGy 처리로 0~3°C에서 물소고기의 중온균수를 2.0~3.0 logCFU /g 감소시켰다고 보고하였다.

대조구의 부패시점은 7 logCFU /g을 기준으로 6일이었으며, 조사처리구는 저장 8일까지 이 수준에 도달되지 않았고, 총균수와 같이 동일한 선량에서 감마선은 전자선보다 미생물 감소효과가 다소 높은 것으로 나타났다.

고온균수(Thermophiles)

감마선과 전자선 조사에 의한 고온균수의 변화는 Table 4와 같으며, 대조구는 저장 0일

3.03 logCFU /g에서 다소 증가하는 경향을 보이다가 저장 8일에는 3.15 logCFU /g을 나타냈다. 1.5와 3.0 kGy의 감마선과 전자선 처리구에서는 고온균이 검출되지 않았다. 이와 같이 고온균의 증식이 제대로 일어나지 못한 것은 앞서 언급한 저온저장과는 달리 조사에 의한 세포 손상 및 저온저장에 의한 최적조건 상실로 성장이 저해되었기 때문인 것으로 사료된다. 통상 고온균이라 함은 45~50°C 이상의 고온에서 식품의 부패와 변질에 관여하는 세균을 총칭한 것으로서 통조림이나 가열 가공식품의 부패에 있어서 중요한 역할을 한다^(26,27,34). 따라서 원료육의 가공처리시 고온균 제거를 위한 방법으로 저선량의 감마선이나 전자선을 처리한 후 저온저장을 하는 것은 원료육의 위생적인 품질을 최대화할 수 있는 효과적인 방법으로 사료된다.

요 약

본 실험은 우육을 저장하는 동안 저선량의 감마선과 전자선 조사가 미생물 생육에 미치는 살균효과를 비교 고찰하였다. 1.5, 3.0 kGy의 감마선과 전자선으로 각각 조사한 후 5℃에서 0, 2, 4, 6, 8일간 저장하면서 총균수, 저온균수, 중온균수, 고온균수를 분석한 결과, 대조구의 총균수와 중온균수는 저장 8일까지 각각 4.27~7.67 logCFU/g, 4.57~8.90 logCFU/g으로 증가하였다. 감마선 3.0 kGy를 제외한 모든 조사처리구는 저장 4일부터 회복되기 시작하여 8일에는 선량에 따라 총균수 3.83~4.50 logCFU/g, 중온균수 4.46~5.75 logCFU/g을 나타냈다. 감마선 3.0 kGy처리구는 총균수, 중온균수 모두 저장기간 동안 사멸되었고, 대조구에 대한 평균 미생물 감소수준은 총균수 3.77~5.27 logCFU/g, 중온균수 3.88~6.51 logCFU/g이었다. 대조구의 부패시점은 총균수와 중온균수 모두 7 logCFU/g을 기준으로 6일이었고, 미생물의 성장은 대조구의 0일 미생물수를 기준으로 약 7.0~8.0일 성장이 지연되었다. 저온균수는 저장 8일까지 4.72~10.90 logCFU/g으로 증가하였다. 전자선 1.5, 3.0 kGy처리구는 저장 2일부터 회복되기 시작하여 8일에는 각각 7.02, 5.10 logCFU/g로 증식하였으며, 감마선 3.0 kGy처리구는 4일부터 회복되기 시작하여 3.61 logCFU/g을 나타냈다. 대조구의 부패시점은 7 logCFU/g을 기준으로 4일이었고, 미생물의 성장은 대조구의 0일 미생물수를 기준으로 6.5~7.2일 지연되었다. 고온균수는 대조구에서 저장 8일동안 3.03~3.15 logCFU/g을 나타냈으며 감마선과 전자선 처리구는 모든 선량에서 사멸되었고, 동일 선량에서 감마선과 전자선의 살균효과는 차이가 없는 것으로 나타났다(p>0.05).

참고문헌

1. 농림수산부 : 농림수산주요통계, 311 (1996).
2. Nottingham, P. M. : Microbiology of Carcass Meat. In *Meat Microbiology*, Brown, M. H.(ed.), Applied Science Publishers, Ltd., London, p.13 (1982).
3. Pearson, A. M. : New Method of Preservation and/or Reducing the Fat Content of Meat and Poultry Products. In *Adv. Meat Res.*, Person, A. M. and Dutson, T. R.(eds.), Elsevier Applied Sci., London and New York, Vol. 6, p. 517 (1990).
4. 권중호 : 한국에 있어서 식품조사기술의 진보와 식품산업에서의 역할. 한국식품위생학회지, 9, s35 (1994).
5. 조한옥 : 방사선조사에 의한 식품저장의 산업화 필요성과 위생적효과. 한국식품위생학회지, 1, 107 (1986).
6. 조한옥 : 방사선조사식품의 건전성, 한국에너지연구소 보고서 (1987).
7. FAO, WHO : Food Irradiation. A Technique for Preserving and Improving the Safety of Food. WHO, Geneva, p. 23 (1988).
8. WHO, IAEA, FAO : 식품조사에 관한 실상. 그린피아기술(주), p. 1 (1994).
9. Thakur, B. R. and Singh, R. K. : Food Irradiation-Chemistry and Applications. *Food Rev. Int.*, 10, 437 (1994).
10. Karel, M. : Radiation Preservation of Food. In *Principles of Food Science : Part II Physical Principles of Food Preservation*, Fennema O. W.(ed), Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, p. 93 (1975).
11. Killam, E. R., Ketchum, H. W., Deitch, J. and Osburn, J. W. : Economics of Food Irradiation. In *Food Irradiation : Proceeding of the International Symposium*. FAO and IAEA(eds), IAEA, Vienna, p. 843 (1966).
12. Morganstern, K. H. : Economics of Electron Accelerators in the Preservation of Food by Irradiation. In *Food Preservation by Irradiation vol II*. IAEA, FAO and WHO, IAEA, Vienna, p. 267 (1977).
13. Federal Register : Irradiation in the production, processing and handling of food. *Federal Register.*, 62, 64107 (1997).

14. 보건복지부 : 식품공전, p. 39 (1997).
15. Frank, J. F., Hankin, L., Koburger, J. A. and Marth, E. H. : Tests for Groups of Microorganisms. In *Standard Methods for the Examination of Dairy Products*, 15th ed., American Public Health Association, Washington D. C., p. 189 (1985).
16. SAS Institute : SAS /STAT guide for personal computers, 6 ed., SAS Institute, Inc., Cary, NC. (1987).
17. Szczawiska, M. E., Thayer, D. W. and Phillips, J. G. : Fate of unirradiated Salmonella in irradiated mechanically deboned chicken meat. *Int. J. Food Microbiol.*, 14, 313 (1991).
18. Heath, J. L. : Unfrozen chicken to overseas markets : High energy electrons and environmental control. Current research information system, USDA, Beltsville (1993).
19. Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition : Hui, Y. H. (ed), John Wiley & Sons, Inc., p. 1692 (1991).
20. Kahan, R. S. and Howker, J. J. : Low-Dose Irradiation of Fresh Non-Frozen Chicken and Other Preservation Methods for Shelf-life Extension and for Improving its Public-Health Quality. In *Food Preservation by Irradiation vol II*, IAEA, FAO and WHO, IAEA, Vienna, p. 221 (1977).
21. Dempster, J. F., Hawrysh, Z. J., Shand, P., Lahola-chomiak, L. and Corletto, L. : Effect of low-dose irradiation(radurization) on the shelf life of beefburgers stored at 3°C. *J. Food Technol.*, 20, 145 (1985).
22. Niemand, J. G., Vanderlinde, H. J. and Holzapfel, W. H. : Radurization of prime beef cuts. *J. Food Prot.*, 44, 677 (1981).
23. Rodriguez, H. R., Lasta, J. A., Mallo, R. A., and Marchevsky, N. : Low-dose gamma irradiation and refrigeration to extend shelf life of aerobically packed fresh beef round. *J. Food Prot.*, 56, 505 (1993).
24. Hayes, P. R. : Food Microbiology and Hygiene. Elsevier applied sci., London and New york, p. 107 (1992).
25. Kraft, A. A. : Meat Microbiology. In *Muscle as Food*, Bechtel, P. J.(ed.), Academic press, Inc., p. 239 (1986).
26. Brock, T. D. and Madigan, M. T. : Biology of Microorganisms. Prentice Hall, p. 345 (1988).
27. 春田三佐夫, 細貝祐太郎, 宇田川俊一 : 目で見る食品衛生検査法, 中央法規出版, p. 10 (1989).
28. Lebepe, S., Molins, R. A., Charven, S. P., Farrar IV, H. and Skowronski, R.P. : Change in microflora and other characteristics of vacuum-packaged pork loins irradiated at 3.0 kGy. *J. Food Sci.*, 55, 918 (1990).
29. Ehioba, R. M., Kraft, A. A., Molins, R. A., Walker, H. W., Olson, D. G., Subbaraman, G. and Skowronski, R. P. : Effect of low-dose(100 krad) gamma radiation on the microflora of vacuum-packaged ground pork with and without added sodium phosphates. *J. Food Sci.*, 52, 1477 (1987).
30. Harris, L. J. and Stiles, M.E. : Reliability of Escherichia coli counts for vacuum-packaged ground beef. *J. Food Prot.*, 55, 266 (1992).
31. Thayer, D. W. and Bord, G. : Survival of *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 on the surface of chicken legs or in mechanically deboned chicken meat gamma irradiated in air or vacuum at temperatures of -20 to +20°C. *Poultry Sci.*, 70, 1026 (1991).
32. 조한옥, 이미경, 변명우, 권중호, 김종근 : 닭고기에 오염된 미생물의 감마선 살균, 한국식품과학회지, 17, 170 (1985).
33. Naik, G. N., Paul, P., Chawla, S. P.,

Sherikar, A. T. and Nair, P. M. : Influence of low dose irradiation on the quality of fresh buffalo meat stored at 0~3°C. *Meat Sci.*, **38**, 307 (1994).

34. Banwart, G. J. : Basic Food Microbiology. Avi Publishing company, Inc., pp. 675 (1979).

(1997년 9월 26일 접수)