



고선량 감마선 조사가 즉석 취식용 양념 돼지 갈비 구이의 저장성 및 지질 산화에 미치는 영향

이주운 · 박재남 · 김재훈 · 박진규 · 김천제¹ · 김관수² · 변명우*

한국원자력연구소 방사선연구원 방사선식품생명공학팀 ·

¹건국대학교 동물생명과학부 축산식품생물공학과 · ²조선대학교 일반대학원 응용과학과

Effects of High Dose Gamma Irradiation on Shelf Stability and Lipid Oxidation of Marinated and Precooked Pork Rib Steak

Ju-Woon Lee, Jae-Nam Park, Jae-Hun Kim, Jin-Gyu Park, Cheon-Jei Kim¹, Kwan-Soo Kim², and Myung-Woo Byun*

Team for Radiation Food Science & Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute

¹Department of Food Science & Biotechnology of Animal Products Science, Konkuk University

²Department of Applied Science, Graduate School of Chosun University

Abstract

This study was conducted to evaluate the application of high dose irradiation for ensuring shelf stability of marinated and precooked pork rib steak in the severe environments such as desert or space, etc. Marinated and precooked pork rib steak was manufactured, vacuum-packaged and gamma-irradiated with the absorbed doses of 10, 20, 30, 40 and 50 kGy, and used for the tests of the growth of microorganisms and lipid oxidation during storage at 35°C of acceleration condition. Any growth of microorganisms was not observed in irradiated samples after irradiation immediately. However, the growths were observed in 10, 20 and 30 kGy samples at 4, 7 and 14 day storage, respectively. High dose (40 and 50 kGy) gamma irradiation retarded the growth of aerobic microorganisms by the analysis of kinetic parameter. The content of malondialdehyde increased in all samples during storage periods, and gamma irradiation accelerated the increase of lipid oxidation. Therefore, the application of combination of the various food processing technology should be considered for the sterilization of marinated and precooked pork rib steak, without any deterioration of the quality occurred by high dose irradiation.

Key words : marinated and precooked pork rib steak, shelf-life, lipid oxidation, high dose irradiation, severe environments

서론

과학기술부는 2008년 한국인 최초 우주 비행을 국제 우주 정거장(International Space Station, ISS)에 보낼 계획으로

현재 우주인 선발 사업을 진행 중에 있다. 인간이 우주 공간에 갈 경우, 무엇보다도 중요한 것은 우주인의 심리적 안정감과 우주방사선에 대한 생체 방호이다(Lane and Schoeller, 1999). 이 중 심리적 안정감을 만족시키는 주요한 수단으로 고려되는 것이 식품이다(Holland and Marsh, 1994). 1960년대 이래 우주 개발 선진국들은 우주 식품 개발에서 자국 우주 비행사의 심리적 만족감을 향상시키기 위해 다양한 식품들을 개발하고 평가하여 왔다(NASA, 2003). 현재, 미국과 러시아만이 ISS에 우주 식품을 공급하고 있으며, 대부분이 자국 식품을 기

* **Corresponding author** : Myung-Woo Byun, Team for Radiation Food Science & Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Tel.: 82-63-570-3200, Fax: 82-63-570-3202, E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr

반으로 하고 있다(Bourland *et al.*, 1999). 우주 식품은 운송 비용 등 그 특성상 가벼워야 하며, 우주 공간에서 있을 수 있는 식품 유래 질환으로부터 우주 비행사의 안전을 보장하기 위해서 가능한 한 무균 상태로 멸균되어야 했다(Heidelbaugh, 1966). 따라서, 아폴로 프로젝트 등 초기 우주 비행사용 식품은 완전 건조되고 증기 고압 멸균 처리되어 공급되었는데, 관능적으로 매우 낮게 평가되었다(Smith *et al.*, 1975). 이로 말미암아 풍미가 고려된 완전한 식품에 대한 요구가 급증하여 최근에는 반건조 식품이나 완전 조리 식품의 개발 연구가 점차 증가하고 있다.

한편, 정부는 우리 군을 이라크 등에 파병하여 평화유지군으로 활동하게 하고 있다. 우주 공간에서와 마찬가지로 전시 상황은 매우 극심한 신경 과민 상태로서 심리적 안정감의 회복이 무엇보다 중요하다. 미군의 경우, 작전 시 지침에서 급식을 통한 심리적 안정감 회복을 위한 프로그램을 실시하고 있다(육군교육사령부, 2004).

우주와 전투 상황과 같이 극한 상황에서 식품의 역할은 매우 크며, 자국민에게 자국 음식을 안정적으로 공급할 수 있는 기술력의 확보는 국가 차원에서도 매우 필요하다. 우주 식품과 군 전투 식량의 경우, 냉장이나 냉동 보관이 힘들고 장기간 보존해야 하기 때문에 이를 위한 식품 가공 방법도 다양하게 고려되어야 한다.

미우주항공국(NASA)의 경우, 미육군 Natick 연구소와 공동으로 1960년대부터 우주 식품과 군 전투 식량 개발에서 방사선 조사 기술을 핵심 기술로 하여 다양한 연구를 수행 중에 있다(De Bryun, 2001; GIA, 2005). 특히 육가공 제품은 그 특성상 식인성 병원균의 성장으로 식품의 안전성이 위협받을 수 있기 때문에(Passos and Kuaye, 2002), 미생물적 안전성을 확보하기 위한 가공법으로 방사선 조사 기술이 연구되고 있으며(Farkas, 1998; Thayer *et al.*, 1994; Thayer and Boyd, 1994), 미생물 제어로 인한 위생 증진 효과뿐만 아니라 그 건전성 또한 입증되었다(Kang *et al.*, 1998). 특히 40~50 kGy의 고선량 조사를 통한 멸균 즉석 육가공품 제조 등에서 실용화를 달성하고 있다(De Bryun, 2001; Minnaar, 1998).

이에 본 연구는 우주나 사막 조건 등 극한 환경에서도 저장 가능한 한국형 육제품 개발의 일환으로 양념 돼지 갈비 구이를 모델로 하여 완전 멸균을 위한 최적 방사선 조사선량을 설정하고 이때 미생물 생육, 저장성 연장 효과와 지질 산화에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

시료의 준비

실험에 사용한 원료육인 돼지 갈비는 지역 정육점에서 구

Table 1. Composition of curing solution for manufacturing marinated and precooked pork rib steak

| Materials | Content (%) |
|------------------------------------|-------------|
| Soy sauce | 40 |
| Red hot paste (<i>kochujang</i>) | 25 |
| Vegetable mix | 15 |
| Malt syrup | 10 |
| Ginger ¹⁾ | 1 |
| Onion ¹⁾ | 3 |
| Apple ¹⁾ | 3 |
| Pear ¹⁾ | 3 |
| Total | 100 |

¹⁾ Fresh fruits and ginger were ground and added into curing solution.

입하여 사용하였다. 이때 돼지 갈비는 냉동상태였고, 갈비뼈를 횡으로 하여 0.8 cm의 두께로 절단하여 준비하였다. 돼지 갈비용 양념용 부재료는 지역 소매시장에서 구입하여 Table 1과 같이 조제하여 사용하였다.

양념 돼지갈비구이의 제조

돼지 갈비(원료육)를 흐르는 물에서 1시간 동안 침지시켜 핏물을 빼고 물기를 제거한 후 미리 준비한 양념액과 혼합하였다. 이때 원료육 1 kg당 양념액 250 mL의 혼합비로 양념하였다. 혼합하기 전 원료육과 양념액의 미생물 오염 수준을 검사하기 위하여 일정량의 시료를 취한 후 미생물 생육 시험을 실시하였다. 양념액과 혼합한 돼지 갈비를 4°C incubator에서 6시간 염지한 후 가열 처리를 실시하였다. 가열은 110°C로 예열된 Cooker (NU-VUES-3 cooker, Menominee, USA)에서 중심 온도가 80°C가 될 때까지 가열하고 상온에서 방냉한 후 미리 멸균한 aluminium laminated low density polyethylene 포장지에 담아 진공 포장하였다.

감마선 조사 및 저장 시험

시료의 감마선 조사는 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사 시설(IR-70 gamma irradiator, MDS Nordion, Canada)을 이용하여 실온(18±1°C)에서 분당 70 Gy의 선량율로 흡수선량이 10, 20, 30, 40 및 50 kGy가 되도록 조사하였으며, 흡수선량의 확인은 dosimeter (ceric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 총 흡수 선량의 오차를 계산하였다. Lee 등(2005a)의 방법을 이용하여 감마선 조사된 시료를 50°C에서 2시간 보관한 후 35°C에서 21일간

저장하며 다음과 같은 실험을 실시하였다.

미생물 생육 시험

즉석 양념 돼지 갈비 구이의 저장 중 미생물 생육 시험을 위해 시료 10 g을 clean bench내에서 멸균 nylon bag (10×15 cm; Sunkyung Co., Ltd., Korea)에 담아 시료 중량의 9배의 멸균 peptone 수(0.1% 함유, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 넣고 Stomacher Lab Blender (Model 400, Tekmar Co., USA)로 2분간 잘 균질하여 시험액으로 사용하였다. 시험액을 Nutrient agar (Difco)에 접종하고 37℃ 배양 온도에서 2~4일간 배양하여 생성된 colony의 수를 colony counter (IPI Inc., Microcount 1008, CA, USA)를 이용하여 계수하였다. 미생물 수는 시료 1 g당 colony forming unit (CFU)로 나타내었다. 검출을 위한 최소 계수 한계치는 2 Log CFU/g이었다.

지방 산패도 측정

지방 산패도는 Jo 등(2000)의 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)법으로 측정하였다. 즉, 시료 5 g에 50 μ L의 BHA (7.2% in ethanol)와 증류수 15 mL를 넣은 후 homogenizer (DIAX 900, Heidolph, Co., Ltd., Germany)로 균질화시켰다. 균질물 1 mL를 TBA/TCA 용액(20 mM TBA in 15% TCA) 2 mL를 넣은 후 끓는 물에서 15분간 가열하였다. 냉각 후 원심분리기(UNION 5KR, Hanil Science Industrial, Co., Ltd., Inchun, Korea)를 이용하여 원심분리(2,000 rpm, 15 분간) 후, 상층액 1 mL를 취하여 532 nm에서 흡광도를 측정 한 후 검량선을 이용하여 malondialdehyde의 농도를 구하였다. 이 때 얻어진 결과는 μ g malondialdehyde/g sample (wet basis)로 표시하였다.

통계처리 및 결과의 평가

각 항목에 대해 동일한 실험을 3회 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들을 SAS[®] software (SAS Institute, Inc 1998)에서 프로그램된 general linear model procedures, least square 평균값을 Duncan의 multiple range test법을 사용하여 평가하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

저장 중 미생물 생육 변화

즉석 취식용 양념 돼지 갈비의 미생물 오염 수준을 알아보기 위해 원료육, 염지액, 염지육 및 가열 처리 직후의 시료들에 대한 미생물 수준을 검사하였다(Table 2). 염지가 끝난 시료의 미생물 수준은 5 Log CFU/g 수준으로 원료육(3 Log CFU/g)에서 보다는 염지액(6 Log CFU/g)으로부터 미생물이 더 많이 오염된 것으로 나타났다. 염지액에 사용된 고춧가루와 고추장 등은 일반적으로 높은 수준의 미생물이 오염되어 있고, 대부분의 오염 미생물은 *Bacillus* spp.인 것으로 보고되고 있다(Jeon, 2005; Kim *et al.*, 2001). 가열 직후 양념 돼지갈비의 호기성 미생물의 수는 2 Log CFU/g으로 가열 처리 공정으로 약 3 Log CFU/g의 미생물 감소 효과를 얻을 수 있었다.

고선량 감마선 조사 후 저장기간 동안 미생물 생육에 대한 결과를 Table 3에 나타냈다. 조사 직후 감마선 조사구들에서는 어떠한 미생물의 생육도 발견되지 않았으나, 저장 기간이 경과하면서 저장 4일째에는 10 kGy 조사구, 7일째에는 20 kGy 조사구, 14일째에는 30 kGy 처리구에서 미생물 생육이 관찰되었다. 그러나, 40 kGy와 50 kGy 조사구에서는 저장 21일째까지 어떠한 미생물의 생육도 관찰되지 않았다. 이 결과는 De Bryun (2001)에 보고한 완전 멸균 beef steak 제조 시 적용한 44 kGy의 방사선 조사 선량 범위에 해당하였다. 또한, Licciardello 등(1968)은 육류에 7 Log CFU/g 정도로 오염된 미생물을 가열처리 없이 감마선 조사만으로 사멸시키는 데 47.5 kGy의 선량이 필요하였다고 보고하였다. Minnaar (1998)의 보고에서와 같이 멸균 즉석 육가공품 제조를 위해서는 주요 오염 미생물과 그 포자를 완전 멸균시키기 위해서는 40 kGy 정도의 고선량 조사가 요구되는 것으로 판단되었다.

가공 식품의 초기 미생물을 제어하는 것은 식품의 위생성, 안전성 및 저장성을 확보하는데 있어 매우 중요하다(Kilcast and Subramaniam, 2000). 식품의 저장 초기에 총균수가 많으면 부패 변질에 도달하는 시간이 짧아지므로 저장 초기에 총균수가 적을수록 저장성이 좋아진다고 볼 수 있다(Kyzlink, 1990). 사막이나 우주 환경과 같은 식품 저장 조건에서의 극한 환경은 육제품의 변질에 최적 조건을 부여하기 때문에 3년 이상의 장기간 저장을 위해서는 완전 멸균 기술의 도입이 필수적이다(Heidelbaugh, 1966). 따라서 장기 저장이 가능한

Table 2. The number of total aerobic bacteria of raw pork rib meat, curing solution, cured raw meat and cooked pork rib meat (Log CFU/g)

| | Raw meat | Curing solution | Cured raw sample | Cooked sample |
|------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|---------------|
| Total aerobic bacteria | 3.50±0.10 ¹⁾ | 6.34±0.13 | 5.69±0.09 | 2.32±0.08 |

¹⁾ Average of 5 replicates (mean ± standard deviation).

Table 3. Growth of total aerobic bacteria of gamma-irradiated marinated and precooked pork rib meat during acceleration storage at 35°C (Log CFU/g)

| Dose (kGy) | Storage period (day) | | | | |
|---------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 4 | 7 | 14 | 21 |
| 0 | 2.32±0.15 ¹⁾ | 4.56±0.09 | 5.98±0.78 | 7.56±0.57 | 8.94±0.91 |
| 10 | ND ²⁾ | 2.38±0.10 | 3.11±0.35 | 4.60±0.39 | 4.82±0.79 |
| 20 | ND | ND | 3.66±0.42 | 2.23±0.16 | 3.48±0.53 |
| 30 | ND | ND | ND | 2.07±0.48 | 2.96±0.86 |
| 40 | ND | ND | ND | ND | ND |
| 50 | ND | ND | ND | ND | ND |

¹⁾ Average of 5 replicates (mean±standard deviation).

²⁾ Not detected within the detection limit < 2 Log CFU/g.

한국형 육제품 개발을 위해서는 비열 처리 살균법(cold pasteurization)으로 인정받고 있는 방사선 조사 기술의 적용이 고려되어야 할 것이다(변명우, 2005).

생육속도 측정법을 이용한 저장기간 예측

Oh 등(2004)의 연구에서와 같이 식품 저장 중 미생물 생육속도를 예측하기 위하여 35°C에서 21일 동안 가속 저장하여 감마선 조사된 양념 돼지 갈비 구이의 미생물 생육 변화 양상을 분석하였다(Table 4). 비조사구의 초기 미생물수(N_0)는 2.0 Log CFU/g으로 나타났으나 10 kGy 이상 조사구는 모두 검출한계(2 Log CFU/g) 이하로 감소하였고 10, 20 및 30 kGy 조사구는 각각 4, 7 및 14일 이후에 미생물 생육이 관찰되었으며, 40 kGy 이상 조사구는 21일까지도 미생물 생육이 검

출되지 않아 완전 멸균된 것으로 평가되었다. 비조사구의 최대 성장률(μ_{max})은 1.13 Log CFU/g/day인 반면 조사구는 조사 선량에 비례적으로 감소하여 10, 20, 30 kGy 감마선 조사구의 최대 성장률은 0.60, 0.52, 0.18 Log CFU/g/day로 나타났다. 일반적으로 식품에서 총균수가 6 Log CFU/g에 도달하면 부패 초기, 7 Log CFU/g에서는 부패 현상이 나타나 더 이상 가식이 불가능하다(Park *et al.*, 1996). 본 연구 결과에서도 미생물수가 6~7 Log CFU/g에 이르렀을 때 심한 부패취와 점액질이 형성되는 등 전형적인 부패 현상을 나타내었다. 비조사구는 가속저장시 4~7일에 부패가 시작되었으나 10 kGy 이상 조사시 21일 이상 부패 시기가 연장되는 것으로 예측되었다. 이 결과는 Lee 등(2005a)이 보고한 즉석 취식용 hamburger steak 저장성 개선을 위한 10 kGy와 20 kGy 감마선 조

Table 4. Kinetic parameters of total aerobic bacterial growth and shelf-life of marinated and precooked pork rib meat during acceleration storage at 35°C

| Dose (kGy) | N_0 ¹⁾ (Log CFU/g) | μ_{max} ²⁾ (Log CFU/g/day) | Undetected day ³⁾ (days) | Shelf-life ⁴⁾ (days) |
|---------------|------------------------------------|--|--|------------------------------------|
| 0 | 2.0 | 1.13 | - | 4~7 |
| 10 | <2.0 | 0.60 | <4.0 | >21 |
| 20 | <2.0 | 0.52 | <7.0 | >21 |
| 30 | <2.0 | 0.18 | <14.0 | >21 |
| 40 | <2.0 | - | 21 | >21 |
| 50 | <2.0 | - | 21 | >21 |

¹⁾ N_0 means initial counts of total aerobic bacteria.

²⁾ μ_{max} means maximum growth rate of total aerobic bacteria during storage periods.

³⁾ Undetected day means that the period viable cell not detected limit < 2 Log CFU/g.

⁴⁾ Shelf-life means time for spoilage induced to reach $N=6\sim7$ Log CFU/g.

Table 5. Changes of TBA values of gamma-irradiated marinated and precooked pork rib meat during storage at 35°C
(unit: μg malondialdehyde/g sample)

| Dose (kGy) | Storage periods (day) | | | | |
|------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 0 | 4 | 7 | 14 | 21 |
| 0 | 3.08±0.26 ^{a1)v2)} | 4.57±0.39 ^{aw} | 5.33±0.16 ^{ax} | 6.05±0.12 ^{ay} | 6.58±0.44 ^{az} |
| 10 | 4.61±0.36 ^{3)bv} | 5.42±0.80 ^{abvw} | 6.34±0.21 ^{bw} | 6.87±0.18 ^{bx} | 7.18±0.56 ^{abxy} |
| 20 | 5.32±0.12 ^{cv} | 6.12±0.64 ^{bw} | 6.94±0.83 ^{bcwx} | 7.35±0.16 ^{cxy} | 7.53±0.35 ^{by} |
| 30 | 6.09±0.24 ^{dv} | 6.95±0.47 ^{bcw} | 7.62±0.44 ^{cx} | 8.08±0.35 ^{dxy} | 8.19±0.42 ^{cy} |
| 40 | 6.52±0.32 ^{dv} | 7.31±0.02 ^{cw} | 7.95±0.74 ^{cdwx} | 8.47±0.62 ^{dexy} | 8.63±0.07 ^{dy} |
| 50 | 7.21±0.36 ^{ev} | 7.89±0.24 ^{dw} | 8.54±0.31 ^{dx} | 9.04±0.15 ^{ey} | 9.16±0.31 ^{ey} |

¹⁾ a-e values with different letters within a column mean significant differences ($p < 0.05$).

²⁾ v-z values with different letters within a row mean significant differences ($p < 0.05$).

³⁾ Average of 5 replicates (mean±standard deviation).

사시 보고한 저장성 연장 결과와 같은 경향을 나타내었다. 방사선 조사에 의한 초기 미생물의 감소는 저장성을 연장시키며, 미생물이 검출되지 않는 기간의 연장과 함께 미생물의 성장률도 감소되었기 때문이다. 즉, 초기 미생물 수준을 미생물 생육 과정의 도입기 이하로 감소시키면 저장성을 획기적으로 연장시킬 수 있기 때문이다(Lee *et al.*, 2004).

지질 산화도 변화

즉석 양념 돼지 갈비 구이의 가속 저장 중 malondialdehyde (MA)값의 변화는 Table 5에 나타내었다. 가열 처리 직후 MA 값은 비조사구에서는 3.08 $\mu\text{g/g}$ 으로 가열에 의한 산화가 진행된 것으로 나타났다(Lee *et al.*, 1999). 감마선 조사구의 경우 10, 20, 30, 40, 50 kGy의 MA 값은 각각 4.61, 5.32, 6.09, 6.52과 7.21 $\mu\text{g/g}$ 으로 나타나 감마선 조사에 의해 MA값은 조사 선량이 증가됨에 따라 크게 증가하는 것으로 나타났다. 저장 기간 중 지질 산화는 계속 진행되었으며, 감마선 조사구에서 더욱 크게 나타났다. 특히, 40 kGy와 50 kGy 처리구의 경우 심한 지질 산화가 발생하는 것으로 발견되어 고선량 방사선 조사를 적용하기 위해서는 지질 산화를 적절히 억제할 수 있는 방법이 고려되어야 할 것이다. 몇몇 연구들에서 방사선 조사시 식육 제품의 지질 산화를 억제시키는 방법이 보고되었다. 그 중 포장방법 개선(Ahn *et al.*, 2004), 항산화제 첨가(Lee *et al.*, 1999; Park *et al.*, 2004), 방사선 조사시 온도(Ahn and Lee, 2006; De Bryun, 2001; Lee *et al.*, 2005b), 이들 가공 방법들의 융합을 통한 huddle 기술(Sommers and Boyd, 2006) 등이 현실적으로 적용이 가능한 것으로 고려되고 있다. 일반적으로 방사선 조사는 지질의 산화를 촉진시키는 것으로 알려져 있다(Formanek *et al.*, 2003; Thayer and Boyd, 1994). 비록 여러 연구에서 혐기 조건에서

의 방사선 조사가 식육 제품의 저장 중 지질 산화에는 크게 관여하지 않는다고 보고하였다(Ahn *et al.*, 2000; Jo *et al.*, 2000). 그러나, 10 kGy 내외의 방사선 조사의 경우에는 유의적인 차이가 없었으나(Park *et al.*, 2004), Minnaar(1998)과 De Bruyn(2001)의 보고에서와 같이 20 kGy 이상의 고선량 조사가 육제품의 지방 산패를 증가시키는 것을 확인할 수 있었다.

요 약

본 연구는 사막이나 우주 등 극한 환경에서도 취식이 가능한 즉석 양념 돼지 갈비 구이의 저장 안정성 확보를 위한 고선량 조사 적용을 평가하기 위해 실시하였다. 이를 위해 즉석 양념 돼지 갈비 구이를 제조하여 진공 포장한 후 10, 20, 30, 40 및 50 kGy로 조사하고 35°C에서 가속 저장하면서 미생물 생육과 지질 산패도를 평가하였다. 가열처리에 의해 약 3 Log CFU/g의 미생물 감소 효과를 얻을 수 있었으나, 완전 사멸시키지는 못했다. 감마선 조사에 의해 저장 초기 미생물 생육은 관찰되지 않았으나, 저장 기간이 경과함에 따라 10, 20, 30 kGy 조사구에서 저장 4일, 7일, 14일에 미생물 생육이 관찰되었다. 오염 미생물의 최대성장률 예측 결과에서 비조사구, 10, 20, 30 kGy 감마선 조사구의 최대 성장률이 1.13, 0.60, 0.52, 0.18 Log CFU/g/day로 나타나, 감마선 조사에 의한 초기 미생물 감소가 저장성 증진에 크게 효과적인 것으로 판단되었다. 그러나 가속 저장 중 malondialdehyde 함량은 저장 기간이 경과함에 따라 모든 처리구에서 증가하였고, 특히 감마선 조사에 의해 심한 지질 산화가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서, 고선량 조사 적용시 품질 변화 없이도 육가공품의 완전멸균을 위해서는 다양한 식품 가공 방법과의 병용 처리 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 과학재단의 지원을 받아 2006년도 원자력연구개발사업을 통해 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Ahn, D. U., Jo, C., Du, M., Olson, D. G., and Nam, K. G. (2000) Quality characteristics of pork patties irradiated and stored in different packaging and storage conditions. *Meat Sci.* **56**, 203-209.
- Ahn, D. U. and Lee, E. J. (2006) Mechanism and prevention of quality changes in meat by irradiation. In: Food irradiation research and technology. Smmers, C. H. and Fan, X. (eds), IFT Press & Blackwell Publishing, IA, pp. 127-142.
- Ahn, H. J., Kim, J. H., Jo, C., Lee, J. W., Yook, H. S., Kim, H. Y., and Byun, M. W. (2004) Combined effects of gamma irradiation and a modified atmospheric packaging on the physicochemical characteristics of sausage. *Radiat. Phys. Chem.* **71**, 53-56.
- Bourland, C., Kloeris, V., Rice, B. L., and Vodovotz, Y. (1999) Food systems for space and planetary flights. In: Nutrition in spaceflight and weightlessness models. Lane, H. W. and Schoeller, D. A. (eds.), CRC Press, NY, pp. 19-40.
- De Bruyn (2001) Prospects of radiation sterilization of shelf-stable food. In: Irradiation for food safety and quality. Loaharanu, P. and Thomas, P. (eds.), Proceed. FAO/WHO International conference on ensuring the safety and quality of food through radiation processing. Technomic Publishing Co., Inc., Lanscaster. pp. 206-216.
- Farkas, J. (1998) Irradiation as method for decontaminating food: A review. *Int. J. Food Microbiol.* **44**, 189-204.
- Formanek, Z., Lynch, A., Galvin, K., Farkas, J., and Kerry, J. P. (2003) Combined effects of irradiation and the use of natural antioxidants on the shelf-life stability of overwrapped minced beef. *Meat Sci.* **63**, 443-440.
- GIA (2005) Food Irradiation - A historical review. In: Food Irradiation Trends. Global Industry Analysts Inc., CA, pp. 7-27.
- Heighdelbaugh, N. D. (1966) Space flight feeding concepts: characteristics, concepts for improvement, and public health implications. *J.A.V.M.A.* **149**, 1662-1671.
- Holland, A. W. and March, R. W. (1994) Psychological and psychiatric considerations. In: Space physiology and medicine. Nicogossian, A. E., Huntoon, C. L. and Pool, S. L. (eds.), Lea and Febiger, Philadelphia, PA, pp. 424-434.
- Jeon, J. Y. (2005) Application of gamma irradiation technology for assuring safety of military meals. *Master thesis*, Seoul National Univ., Seoul, Korea.
- Jo, C. and Ahn, D. U. (2000) Production volatile compounds from irradiated oil emulsions containing amino acids or proteins. *J. Food Sci.* **65**, 612-616.
- Kang, I. J., Kwak, H. J., Lee, B. H., Kim, K. H., Byun, M. W., and Yook, H. S. (1998) Genotoxicological and acute toxicological safeties of gamma irradiated beef. *Korean J. Food Sci. Technol.* **30**, 775-780.
- Kilcast, D. and Subramaniam, P. (2000) The stability and shelf-life of food, CRC Press, NY, pp. 63-85.
- Kim, D. H., Yook, H. S., Youn, K. C., Sohn, C. B., and Byun, M. W. (2001) Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated Kochjang (fermented hot pepper paste). *Korean J. Food Sci. Technol.* **33**, 72-77.
- Kyzlink, V. (1990) Principles of food preservation. *Dev. Food Sci.* **22**, 337-355.
- Lane, H. W. and Schoeller, D. A. (1999) Overview: History of nutrition and spaceflight. In: Nutrition in spaceflight and weightlessness models. Lane, H. W. and Schoeller, D. A. (eds.), CRC Press, NY, pp. 8-10.
- Lee, J. W., Yook, H. S., Kim, S. A., Lee, K. H., and Byun, M. W. (1999) Effects of antioxidants and gamma irradiation on the shelf life of beef patties. *J. Food Prot.* **62**, 619-624.
- Lee, J. W., Park, K. S., Kim, J. G., Oh, S. H., Lee, Y. S., Kim, J. H., and Byun, M. W. (2005a) 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.
- Lee, J. W., Kim, J. H., Kim, J. H., Oh, S. H., Seo, Ji. H., Kim, C. J., Cheong, S. H., and Byun, M. W. (2005b) Application of gamma irradiation for the microbiological safety of fried-frozen cheese ball. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **34**, 729-733.
- Lee, S. H., Moon, W. S., and Park, K. N. (2000) Anti-

- microbial activity of *Caesalpinia sappan* L. extracts and its effect on preservation of ground meats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **29**, 888-892.
22. Licciardello, J. J., Nixjweib, J. T. R., and Goldblith, S. A. (1968) Elimination of *Salmonella* in poultry with ionizing reaction. In: Elimination of Harmful Organisms from Food and Feed by Irradiation. IAEA, Vienna, Austria, pp. 1-24.
23. Minnaar, A. (1998) Development of shelf stable, processed, low acid food products using heat-irradiation combination treatment. In Combination processes for food irradiation. IAEA Panel proceeding series. Vienna, pp. 223-241.
24. NASA (2003) Advanced Food Technology Workshop Report (Vol. I). In: Advanced Life Support Project Plan. CTSD-ADV-348 Rev C, JSC-29993, Houston, TX, pp. 1-2.
25. Oh, S. H., Kim, J. H., Lee, J. W., Lee, Y. S., Park, K. S., Kim, J. G., Lee, H. K., and Byun, M. W. (2004) Effects of combined treatment of gamma irradiation and addition of rosemary extract powder on ready-to-eat hamburger steaks: I. Microbiological quality and shelf-life. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **33**, 687-693.
26. Park, K. J., Jung, S. W., Park, B. I., Kim, Y. H., and Jeong, J. W. (1996) Initial control of microorganism in *kimchi* by the modified preparation method of seasoning mixture and the pretreatment of electrolyzed acid-water. *Korean J. Food Sci. Technol.* **28**, 1104-1110.
27. Park, K. S., Kim, J. G., Lee, J. W., Oh, S. H., Lee, Y. S., Kim, J. H., Kim, J. H., Kim, W. G., and Byun, M. W. (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.
28. Passos, M. H. C. R. and Kuaye, A. Y. (2002) Influence of the formulation, cooking time and final internal temperature of beef hamburger on the destruction of *Listeria monocytogenes*. *Food Cont.* **13**, 33-40.
29. Smith, M. C., Heidelbaugh, N. D., Rambaut, P. C., Rapp, R. M., Wheeler, H. O., Huber, C. S., and Bourland, C. T. (1975) Apollo food technology. In: Biomedical results of Appolo. Johnston, R. S. and Dietlein, L. F. (eds.), NASA SP-368, NASA, Washington DC, pp. 437-484.
30. Sommers, C. H. and Boyd, G. (2006) Radiation sensitivity and postirradiation growth of foodborne pathogens on a ready-to-eat frankfurter on a roll product in the presence of modified atmosphere and antimicrobials. *J. Food Prot.* **69**, 2436-2440.
31. Song, H. J., Moon, G. I., Moon, Y. H., and Jung, I. C. (2000) Quality and storage stability of hamburger during low temperature storage. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **20**, 72-78.
32. Thayer, D. W., Boyd, G., Fox, J. B., Lakritz, L., and Hampson, J. W. (1994) Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J. Food Sci.* **60**, 63-67.
33. Thayer, D. W. and Boyd, G. (1994) Control of enterotoxic *Bacillus cereus* on poultry or red meats and in beef gravy by gamma irradiation. *J. Food Prot.* **57**, 758-764.
34. 변명우 (2005) 육가공 제품의 감마선 조사에 따른 안전성 평가. *미트저널* **163**, 63-68.
35. 육군교육사령부 (2004) 군사과학기술 발전추세. 병참발전방향. pp. 23-30.

(2006. 11. 14. 접수 ; 2006. 12. 15. 채택)