이온화 에너지 처리가 분쇄식육과 패티의 위생화 및 돌연변이유발성에 미치는 영향

김왕근 · 박진규 · 조원준 · 송범석 · 김재훈 · 최종일
윤요한 · 변명우 · 김천제[1] · 조철훈[2] · 이주운*

한국원자력연구원 정읍방사선과학연구소, [1]건국대학교 축산식품생물공학전공,
[2]충남대학교 동물자원생명공학과

Hygienic Quality and Mutagenicity of Minced Meats and Patties Treated by Ionizing Energy

Wang-Geun Kim, Jin-Gyu Park, Won June Cho, Beom-Seok Song,
Jae-Hun Kim, Jong-il Choi, Yohan Yoon, Myung-Woo Byun, Cheon-Jei Kim[1],
Cheorun Jo[2] and Ju-Woon Lee*

Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 580-185, Korea,
[1]Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea,
[2]Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract − This study was conducted to evaluate the microbial safety of minced beef, minced pork, beef patties and pork patties irradiated with gamma ray or electron beam at an absorbed dose from 5 to 20 kGy. Also, the mutagenicity of minced beef, minced pork and patties treated with irradiation at 50 kGy was evaluated by Ames test (*Salmonella typhimurium* reversion assay). The results of the total aerobic bacteria of the minced beef, minced pork and patties showed that the sterilization effect of gamma irradiation was superior to that of electron beam irradiation. The results from Ames test showed that all samples were negative in the bacterial reversion assay with *S. typhimurium* TA98 and TA100. Also, no mutagenicity was detected in the assay, both with and without metabolic activation.

Key words : Gamma ray, Electron beam, Meat, Patties, Mutagenicity

서 론

육류는 도살과정의 비위생화와 복잡한 유통과정 및 원활하지 못한 수급과정으로 부패균 및 병원성 세균에 의해 상당히 오염되어 있는 것으로 알려져 있으며, 이것이 원인이 되어 많은 나라에서 식중독이 빈번히 발생하고 있다. 1983년 FAO/WHO 합동 식품안전 전문위원회의 보고에 따르면 이러한 육류 관련 식중독 발생은 식

* Corresponding authors: Ju-Woon Lee, Tel. +82-63-570-3204, Fax. +82-63-570-3207, E-mail. sjwlee@kaeri.re.kr

품의 양적 손실을 초래할 뿐 아니라 인간의 건강에도 큰 위협을 가져오며, 그 결과 경제성 및 생산성 저하의 중요한 원인이 되고 있다고 하였다(WHO 1984; Smith 1991). 1990년대에 미국에서 쇠고기 및 그 가공제품에 의한 대규모 식중독 사건은 국민적 관심을 불러 일으켰으며, 최근까지 문제가 되고 있는 쇠고기의 *Escherichia coli* O157 : H7에 의한 식중독도 좋은 실례라 할 수 있다(Ahmed *et al.* 1995). 이러한 상황에서 소비자의 욕구를 충족시켜 주기 위해 1차적으로 생산과정의 개선이 요구되고 있으며, 추가적으로는 육류의 저장기간 연장을 위해 온도조절(Yamamoto and Samejima 1977; Miller *et al.* 1980), 포장방법의 개선(Gill and Harrison 1989; Brewer *et al.* 1992), 화학보존료의 처리(Kim and Yoo 1994) 등 다양한 연구가 진행되었다.

최근 세계 각국에서 식품에 사용되는 보존제나 ethylene dibromide, ethylene oxide, methyl bromide 등의 훈증처리가 유해성분의 생성 및 잔류로 발암성 등 건강장해와 환경공해를 일으킬 수 있기 때문에 그 사용이 금지되거나 제한되고 있다. 이에 대한 대체방안으로 국제기구(FAO/IAEA/WHO) 및 선진 여러 나라에서는 건전성과 경제성이 공인된 방사선 조사기술의 사용을 적극 검토하고 있다(FAO/IAEA/WHO Study group 1999). 우리나라도 1987, 1988, 1991 및 1995년에 4차례에 걸쳐 총 18개 품목의 식품조사가 허가되었으며 기존품목을 확대하여 복합조미식품류를 비롯한 7개 품목이 2004년 5월 추가로 허가되었다(KFDA 2004). 한편, 식육에 대한 방사선 조사는 병원성 세균 및 기생충에 의한 오염을 원초적으로 방지하는 것은 불가능하나 최종 포장 단계에서의 방사선 처리는 이들을 손쉽게 살균할 수 있으며, 방사선 조사에 의한 색도나 조직감의 변화 및 성분열화 등을 고려하여 1～3 kGy의 방사선 조사를 추천하고 있다(Shay *et al.* 1988; Thayer and Boyd 1993). 그러나 우수한 살균효과와 조사처리의 간편성에도 불구하고 다양한 선량(1～20 kGy)대 별로 방사선을 조사했을 경우, 조사식품의 유전독성학적인 안전성 논란으로 인해 일반식품으로 사용하는 것을 꺼리고 있는 실정이다(Diehl 1990; Hugo 1991).

따라서 본 연구에서는 점차 소비가 확대되고 있는 즉석 · 편의식품인 햄버거 제조용 분쇄우육과 돈육 및 그 가공품인 햄버거 패티의 위생화를 목적으로 감마선과 전자선을 0～20 kGy의 흡수선량으로 조사하여 미생물학적 품질변화를 알아보았고, 유전독성학적 안전성을 평가하기 위하여 원료육 및 그 가공품에 감마선과 전자선을 각각 50 kGy의 흡수선량으로 조사하여 *Salmonella typhimurium*을 이용한 복귀돌연변이원성을 평가하였다.

Table 1. Formula for manufacturing hamburger patties

Materials	Content (%)	Remark[1)]
Minced meat (Beef or Pork)	51.5	1
Pork back fat	16.4	1
Iced water	6.1	1
Ginger	1.0	2
Onion	8.5	2
Egg white	4.3	2
Tomato catsup	1.6	2
Isolated soy protein	4.1	2
Dried bread powder	4.1	3
Nutmeg powder	0.05	1
Salt	0.65	1
Flavor enhancing wine	0.42	1
Black pepper powder	0.21	1
Red color reagent	0.01	1
Trisodium phosphate	0.21	1
Sugar	0.85	1
Sum	100	

[1)]Numbers in remark indicate the order of addition of materials in a mixer.

재료 및 방법

1. 실험 재료

식육 시료는 도축 후 24시간이 경과된 우육의 우둔부위(bovine M. *Semitendinosus*)와 돈육 후지부위(porcine ham)를 지역 식육점으로부터 구입하여 과도한 표면지방을 제거한 후, 지름 3 mm hole plate가 장착된 grinder (M-12S, Hankook Fujee Industries Co., Seoul, Korean)를 이용하여 가늘게 저미어 시료를 준비하였다. 햄버거 패티용 돼지 등지방(pork back fat)은 표면 색택이 우유빛이고 이취가 없는 것을 구입하여 식육과 같은 방법으로 얇게 저미어 사용하였다.

원료육의 미생물학적 및 유전독성학적 안전성 평가를 위해 분쇄된 우육과 돈육을 대조구와 감마선 및 전자선 처리구로 분류하여 폴리에틸렌비닐(polyethylene vinyl)에 넣어 진공포장을 한 후 감마선과 전자선 조사를 위한 시료로 사용하였다.

2. 햄버거 패티의 제조

햄버거 패티는 국내 생산업체에서 상용하는 방법을 이용하여 제조하였다. Table 1과 같이 원료 및 부재료를 준비한 후 배합 순서에 맞게 혼합하였다. 시료의 혼합은 각각의 원료를 배합 순서에 맞게 혼합기(M15 mixer, Falsf Co., Barcelona, Spain)에 넣은 후 1차 혼합 8분, 2차 혼합 2분, 3차 혼합은 1분간 실시하였으며, 혼합육(meat

mixture)은 100 g 정도의 무게와 10 mm의 두께를 갖도록 Mould (ϕ105 × 10 mm)를 이용하여 성형한 후 가열처리하였다. 가열은 85°C로 예열된 Cooker (NU-VUES-3 cooker, Food Service System, Menominee, USA)에서 중심 온도가 70°C가 될 때까지 실시한 후 상온에서 방냉하고 polyethylene vinyl 포장지를 사용하여 진공포장을 하였다.

3. 방사선 조사

감마선 조사는 한국원자력연구원 (Jeongeup, Korea) 내 선원 11.1 PBq, ^{60}Co 감마선 조사시설 (point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 실온 (14±1°C)에서 시간당 10 kGy의 선량율로 50 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량 확인은 방사선 선량계 (Ceric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다. Dosimetry 시스템은 국제원자력기구 (IAEA)의 규격에 준용하여 표준화한 후 사용하였으며, 총 흡수선량의 오차는 2% 이내였다. 전자선 조사는 ELV4-electron accelerator (Energy 2.5 MeV, Beam power 40 kW, EB tech., Daejeon, Korea)를 이용하여 감마선 조사와 동일한 흡수선량을 갖도록 조사하였다. 이 때 빔 전류의 세기 (beam current)는 각각 1.9, 3.2, 4.5 mA 및 6.4 mA이었다. 흡수선량의 확인은 감마선 조사구와 동일하게 실시하였다.

4. 미생물 생육 시험

미생물 검사를 위한 시험액은 시료 10 g에 멸균한 0.1 %의 펩톤 (peptone)수를 100 ml까지 채워 2분간 균질기 (Stomacher, Mark II Lab Blender, Tekmar Teledyne Tech-

Table 2. Effects of gamma ray or electron beam irradiation on the growth of total aerobic bacteria of minced beef, minced pork, beef patties and pork patties after vacuum packaging (Unit: log CFU g^{-1})

Irradiation type	Dose (kGy)	Minced beef	Minced pork	Beef patties	Pork patties
Gamma ray	0	4.90	3.75	3.62	3.56
	5	3.20	3.38	ND	ND
	10	3.04	ND	ND	ND
	15	ND[1)]	ND	ND	ND
	20	ND	ND	ND	ND
Electron beam	0	4.90	3.75	3.62	3.56
	5	3.32	3.48	3.11	3.32
	10	3.18	ND	2.48	ND
	15	ND	ND	ND	ND
	20	ND	ND	ND	ND

[1)]Not detected within the detection limit < 1 log CFU g^{-1}.

Table 3. Revertant colonies of minced beef irradiated with gamma ray and electron beam at 50 kGy after vacuum packaging determined by the *Salmonella typhimurium* reversion assay

Extraction method	kGy	Dose (μg plate^{-1})	Gamma ray				Electron beam			
			TA98 (−S9)	TA98 (+S9)	TA100 (−S9)	TA100 (+S9)	TA98 (−S9)	TA98 (+S9)	TA100 (−S9)	TA100 (+S9)
Distilled Water	0	1,250	36±1	29±2	233±8	263±16	32±4	28±9	256±47	175±2
		2,500	26±3	30±3	243±1	274±12	20±3	22±2	223±28	195±17
		5,000	36±3	39±2	217±5	284±1	34±4	38±3	226±25	246±40
	50	1,250	39±8	29±6	265±16	274±8	23±5	35±11	184±49	210±47
		2,500	34±1	34±1	218±3	214±11	33±6	23±6	187±4	179±4
		5,000	32±3	38±6	214±27	208±1	44±2	34±6	147±49	239±21
Negative control	H_2O		47±8	42±1	277±4	359±20	47±8	42±1	277±4	359±20
Dimethyl sulfoxide	0	1,250	23±2	20±4	220±21	303±24	23±2	20±4	228±9	268±26
		2,500	19±1	21±6	211±3	289±6	21±1	21±4	234±29	277±23
		5,000	28±8	24±4	257±23	292±54	24±3	24±4	250±14	269±22
	50	1,250	20±1	21±3	268±11	235±11	20±1	22±1	254±9	235±11
		2,500	16±5	30±6	225±9	254±34	20±11	24±1	226±7	254±34
		5,000	25±7	28±2	212±6	280±57	25±7	25±1	224±11	280±57
Negative control	DMSO		31±2	33±3	265±35	300±28	31±2	33±3	265±35	300±28
Positive control	4-NQO	0.5	734±4				734±4			
	2-AA	2		1051±6				1051±6		
	SA	0.5			692±61				692±61	
	2-AA	2				1477±398				1477±398

Abbreviations: 4-NQO, 4-nitroquinoline-N-oxide; SA, Sodium azide; 2-AA, 2-aminoanthracene.
Number of revertant colonies (His$^+$) per plate.

Table 4. Revertant colonies minced pork irradiated with gamma ray and electron beam at 50 kGy after vacuum packaging determined by the *Salmonella typhimurium* reversion assay

Extraction method	kGy	Dose (μg plate^{-1})	Gamma ray				Electron beam			
			TA98 (−S9)	TA98 (+S9)	TA100 (−S9)	TA100 (+S9)	TA98 (−S9)	TA98 (+S9)	TA100 (−S9)	TA100 (+S9)
Distilled Water	0	1,250	38±1	37±1	225±16	282±9	37±7	33±3	272±40	275±13
		2,500	31±6	34±1	244±1	238±35	39±1	35±1	187±11	217±19
		5,000	34±1	39±3	207±30	258±23	36±1	40±3	238±14	298±13
	50	1,250	24±3	41±6	199±4	241±4	38±1	29±3	262±23	271±51
		2,500	35±4	32±1	260±18	202±3	35±2	44±1	239±16	257±24
		5,000	29±5	31±9	294±2	303±14	35±5	29±7	277±12	302±22
Negative control	H_2O		47±8	42±1	277±4	359±20	47±8	42±1	277±4	359±20
Dimethyl sulfoxide	0	1,250	23±2	30±3	299±30	310±59	22±1	30±2	288±13	265±5
		2,500	21±2	29±8	273±11	276±6	26±5	28±8	263±3	285±7
		5,000	19±4	22±4	310±14	340±28	24±3	26±2	301±1	343±25
	50	1,250	26±1	35±6	310±14	260±28	23±4	35±6	289±16	267±19
		2,500	21±6	35±3	305±7	281±13	26±1	35±3	290±14	276±7
		5,000	22±8	30±4	302±6	268±17	27±1	29±2	302±6	268±16
Negative control	DMSO		31±2	33±3	265±35	300±28	31±2	33±3	265±35	300±28
Positive control	4-NQO	0.5	734±4				734±4			
	2-AA	2		1051±6				1051±6		
	SA	0.5			692±61				692±61	
	2-AA	2				1477±398				1477±398

Abbreviations: 4-NQO, 4-nitroquinoline-N-oxide; SA, Sodium azide; 2-AA, 2-aminoanthracene.
Number of revertant colonies (His$^+$) per plate.

nologies Inc., Mason, Ohio, USA)를 이용하여 잘 균질한 다음 Plate Count Agar (Difco Co., Detroit, USA)를 이용하여 총균수의 생육을 검사하였으며, 37°C에서 48시간 동안 배양한 후 형성된 집락을 계수하였다. 미생물수는 시료 1 g당 colony forming unit (CFU)로 나타냈고, 검출을 위한 최소 한계치는 1 log CFU g^{-1}이었다.

5. *Salmonella typhimurium*을 이용한 복귀돌연변이 시험 (Ames test)

복귀돌연변이 시험은 Ames test (Ames *et al.* 1975; Maron and Ames 1983)를 이용하여 측정하였다. 시험에 사용된 균주는 *Salmonella typhimurium* LT2를 친주로 하는 *S. typhimurium* TA98과 TA100이었고, 이들 균주는 사용에 앞서 필요시 균주의 유전자형 확인을 위해 histidine 요구성 여부, UV에 대한 민감도 (*uvr*B 돌연변이), *rfa* 돌연변이의 유지여부 및 R-factor에 의한 ampicillin 또는 tetracycline 내성 등의 유전형질을 확인한 후 시험에 사용하였다. 본 실험에 사용된 균주는 Molecular Toxicology Inc. (Boone, NC, USA)에서 구입하여 형질을 확인한 후 한국화학연구소 안전성 센터에서 계대 배양 중인 것을 시험에 사용하였다. 유전형질이 확인된 균주는 nutrient broth No. 2 (Oxoid Ltd., Hampshire, England, UK)에 접종하여 37°C에서 200 rpm으로 약 10시간 진탕배양 (Vision Scientific Co., Korea)한 후 시험에 사용하였다. 대사활성을 위한 간 균질액 (S9 fraction)은 Sprague-Dawley rat의 간으로부터 분리한 것으로 Oriental Yeast Co. (Tokyo, Japan)에서 구입하였으며, 5% (v/v)의 S9 mixture를 제조하여 사용하였다. S9 mixture는 0.5 ml plate^{-1}로 처리했으며, 그의 활성은 2-aminoanthracene (2-AA)의 돌연변이 유발로 확인하였다. 음성대조물질로는 시험물질의 조제에 사용한 70% ethanol을 사용하였으며, 양성대조물질로는 4-nitroquinoline-1-oxide (4-NQO), sodium azide (SA) 및 2-AA를 Sigma사 (St Louis MO, USA)로부터 구입하여 이용하였다. 시험물질의 처리는 대사활성계 적용 (+S) 및 미적용 (−S)하여 direct plate incorporation 방법으로 하였으며, 각 농도군당 2개 plate를 사용하였다. 시험물질 0.1 ml와 S9 mixture (또는 멸균증류수) 0.5 ml에 배양액 0.1 ml을 top agar에 혼합하여 minimal glucose agar plate에 부어 고화시킨 다음, 37°C에서 48시간 배양한 후 복귀돌연변이 집락수를 계수하였다. 시험 결과는 복귀돌연변이 집락수의 평균과 표준편차로 나타내었으며, 돌연변

Table 5. Revertant colonies beef patties irradiated with gamma ray and electron beam at 50 kGy after vacuum packaging determined by the *Salmonella typhimurium* reversion assay

Extraction method	kGy	Dose (μg plate^{-1})	Gamma ray				Electron beam			
			TA98 (−S9)	TA98 (+S9)	TA100 (−S9)	TA100 (+S9)	TA98 (−S9)	TA98 (+S9)	TA100 (−S9)	TA100 (+S9)
Distilled Water	0	1,250	32±4	28±9	256±47	175±2	37±7	33±3	271±39	270±5
		2,500	20±3	22±2	248±6	195±17	34±6	33±2	246±30	226±6
		5,000	34±4	38±3	228±23	246±40	31±6	30±4	232±23	292±4
	50	1,250	24±4	35±10	184±49	235±12	36±1	29±3	267±16	259±33
		2,500	33±6	23±6	187±4	250±37	31±3	34±1	241±13	257±24
		5,000	41±6	34±6	168±21	239±21	32±1	29±7	277±12	281±8
Negative control	H_2O		47±8	42±1	277±4	359±20	47±8	42±1	277±4	359±20
Dimethyl sulfoxide	0	1,250	23±8	18±4	237±52	252±40	25±6	20±1	247±38	257±33
		2,500	23±4	24±6	273±39	280±28	24±1	27±2	270±35	256±8
		5,000	31±6	28±11	255±22	298±25	28±2	25±6	250±16	279±1
	50	1,250	30±2	22±3	235±35	261±1	26±3	23±1	262±3	278±24
		2,500	38±4	28±4	255±7	315±35	30±7	26±1	254±8	283±11
		5,000	28±3	29±1	290±14	326±22	26±1	30±2	293±18	304±9
Negative control	DMSO		31±2	33±3	265±35	300±28	31±2	33±3	265±35	300±28
Positive control	4-NQO	0.5	734±4				734±4			
	2-AA	2		1051±6				1051±6		
	SA	0.5			692±61				692±61	
	2-AA	2				1477±398				1477±398

Abbreviations: 4-NQO, 4-nitroquinoline-N-oxide; SA, Sodium azide; 2-AA, 2-aminoanthracene.
Number of revertant colonies (His$^+$) per plate.

이 유발성의 판정은 복귀변이 집락수가 용매 대조군의 2배 이상이면서 용량의존성을 갖는 경우를 양성으로 하였다.

6. 통계 분석

모든 실험은 3회 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SPSS software (1970)에서 프로그램된 general linear model procedure을 수행하고 유의적인 차이가 보일 때 평균값 간의 차이를 Duncan의 multiple range test법을 사용하여 평가하였다 ($p < 0.05$).

결과 및 논의

1. 미생물 생육에 대한 감마선 및 전자선 조사 효과 비교

진공포장 후 흡수선량별로 감마선과 전자선 조사된 분쇄 우육과 분쇄 돈육, 우육 및 돈육 패티의 총균수 변화를 Table 2에 나타내었다. 분쇄 우육, 분쇄 돈육의 경우 조사처리 직후 비조사구의 총균수는 3～4 log CFU g^{-1} 이었으나 감마선, 전자선 조사에 의해 총균수가 감소하였고, 우육의 경우 15 kGy 이상, 돈육의 경우 10 kGy 이상의 선량에서는 미생물 생육이 관찰되지 않았다. 선종별 미생물 사멸효과 및 미생물 생육 억제능은 감마선이 전자선에 비해 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 현상은 분쇄육의 경우 일반 식육과는 달리 분쇄과정에 의해 미생물이 내부까지 오염되는데 이때 감마선이 전자선에 비해 투과도가 높기 때문에 분쇄육 내부에 오염된 미생물 제어에 보다 효과적이기 때문으로 사료된다 (Thakur and Singh 1994). 방사선 조사에 의한 미생물 살균·멸균의 원리는 방사선을 조사함으로써 조사대상물에 존재하는 유해한 미생물이 가지는 유전물질인 DNA의 생물활성을 소실시키는 데 있다. 방사선의 DNA에의 작용은 거의 모두가 생물에 포함되어 있는 물 분자가 조사에 의해 여기되어 생성한 OH 라디칼에 의한 것이며 그것으로 인해 DNA 사슬이 절단된다 (Krisch *et al*. 1991). 또한, 현재까지 식육을 저장하는 동안 방사선 조사가 미생물 생육에 미치는 살균효과를 확인한 연구들은 많이 있으며, 동일한 종류의 식육 또는 식육 종류에 따라 같은 선량에서 미생물의 살균효과는 연구자별로 상당히 다름을 알 수 있다. 그러한 이유는 도체의 처리방법, 초기 미

Table 6. Revertant colonies pork patties irradiated with gamma ray and electron beam at 50 kGy after vacuum packaging determined by the *Salmonella typhimurium* reversion assay

Extraction method	kGy	Dose (μg plate^{-1})	Gamma ray				Electron beam			
			TA98 (−S9)	TA98 (+S9)	TA100 (−S9)	TA100 (+S9)	TA98 (−S9)	TA98 (+S9)	TA100 (−S9)	TA100 (+S9)
Distilled Water	0	1,250	40±3	39±4	303±15	322±13	31±4	48±6	215±11	254±20
		2,500	37±2	40±2	273±1	297±13	35±5	48±7	200±16	237±47
		5,000	41±8	32±8	280±7	306±47	35±1	46±4	226±27	252±12
	50	1,250	36±4	38±8	226±8	248±6	39±3	29±4	207±13	280±8
		2,500	39±6	43±3	259±7	289±49	42±4	36±1	240±28	235±21
		5,000	38±8	35±4	239±25	264±18	42±1	41±5	284±4	282±23
Negative control	H_2O		47±8	42±1	277±4	359±20	47±8	42±1	277±4	359±20
Dimethyl sulfoxide	0	1,250	31±5	39±2	199±57	283±20	29±3	34±5	217±32	247±31
		2,500	25±4	33±3	235±28	221±27	25±4	29±3	238±25	235±7
		5,000	31±6	30±1	263±14	282±7	29±2	30±2	263±14	250±52
	50	1,250	26±1	21±4	234±30	250±1	24±4	21±4	234±29	250±1
		2,500	34±2	28±1	208±42	232±14	32±1	20±1	227±16	228±20
		5,000	25±5	31±6	175±21	216±6	25±5	26±1	211±29	242±31
Negative control	DMSO		31±2	33±3	265±35	300±28	31±2	33±3	265±35	300±28
Positive control	4-NQO	0.5	734±4				734±4			
	2-AA	2		1051±6				1051±6		
	SA	0.5			692±61				692±61	
	2-AA	2				1477±398				1477±398

Abbreviations: 4-NQO, 4-nitroquinoline-N-oxide; SA, Sodium azide; 2-AA, 2-aminoanthracene.
Number of revertant colonies (His$^+$) per plate.

생물 오염도와 미생물의 종류 등이 다르기 때문으로 판단된다.

우육 및 돈육 패티의 경우 비조사구의 총미생물 오염도는 3 log CFU g^{-1} 정도였으며 감마선의 경우에는 5 kGy 이상 조사 시 포장방법에 상관없이 검출한계 이하로 나타났으나, 전자선의 경우 10 kGy 및 5 kGy 조사구에서도 우육 및 돈육 패티에서 미생물이 검출되어 감마선에 비해 미생물 살균 효과가 크게 감소하였다. 가공식품의 초기 미생물을 제어하는 것은 식품의 위생성, 안전성 및 저장성을 확보하는 데 있어 매우 중요하다(Park *et al.* 1996). 일반적으로 식품의 저장 초기에 총균수가 많으면 부패변질에 도달하는 시간이 짧아지므로 저장 초기에 총균수가 적을수록 저장성이 좋아지는데(Byun *et al.* 1999), 이러한 측면에서 볼 때 감마선이 전자선에 비해 보다 효과적인 방법인 것으로 판단된다.

2. 복귀돌연변이원성 평가

감마선과 전자선을 조사한 분쇄 우육, 분쇄 돈육, 우육 패티, 돈육 패티의 물 추출물과 디메틸술폭시화물(Dimethyl sulfoxide) 추출물을 첨가하였을 때에 *Salmonella typhimurium* TA98과 TA100에 대한 복귀돌연변이 집락수를 조사한 결과를 Table 3～6에 제시하였다. 실험에 사용된 두 균주의 생균수는 1.0～1.8×10^9 ml^{-1} 수준이었으며, 예비시험 결과에 따라 모든 시료는 5,000 μg plate^{-1}를 최고농도로 설정하여 복귀돌연변이 시험을 수행하였다. 대사활성 부재 시의 경우에는 모든 시험균주에서 시험 적용 농도인 1,250～5,000 μg plate^{-1}의 범위에서 복귀돌연변이 집락수가 용매대조군과 비교하였을 때 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 대사 활성계(S-9 mixture)를 도입하였을 때에는 시험물질에 대해 *S. typhimurium*을 이용한 복귀돌연변이 시험 결과에서 시험한 모든 검체는 적용 농도에서 복귀돌연변이 집락수 간의 유의적인 차이가 없었다. 일반적으로 돌연변이원성의 판정은 음성대조군 복귀돌연변이 집락수의 2배인 경우를 양성으로 하므로 돈육 패티, 우육 패티의 물 추출물, dimethyl sulfoxide 추출물에 대한 시험적용농도에서 복귀돌연변이를 유발하지 않는 것으로 보아 감마선, 전자선 조사에 의한 돌연변이원성은 없는 것으로 나타났다. 현재까지 방사선 조사식품의 안전성과 관련된 연구는 이미 1950년대부터 수행되기 시작하여 국제적으로 수많은 연구결과가 보고되었지만 방사선 조사가 식품에

어떠한 독성도 유발하지 않는다고 결론지었다(WHO 1994; WHO 1999). 방사선 조사된 식육 및 식육가공품의 안전성과 관련된 국내의 여러 연구에서도 안전성이 입증되었는데, Kang *et al.*(1998)은 감마선 조사 및 비조사 쇠고기 현탁액의 *S. typhimurium* TA 98, TA100에 대한 복귀돌연변이 집락수를 조사한 결과 5 kGy로 조사된 샘플에서 돌연변이원성은 없는 것으로 보고하였고, Yook (1999)은 육가공제품에 감마선을 조사할 경우 유전독성학적으로 안전하다고 보고하였다. Kang *et al.* (1999)은 30 kGy로 감마선 조사된 분쇄돈육의 *S. typhimurium* TA98, TA100에 대한 복귀돌연변이 집락수를 조사한 결과, 대사활성계 도입 및 부재시 모두 시험적용 농도범위에서 복귀돌연변이 집락수의 농도 의존적인 증가 혹은 감소를 보이지 않았다고 하였고, Kwak *et al.* (2001)은 감마선 조사 및 비조사 닭고기 현탁액의 *S. typhimurium* TA 98, TA100에 대한 복귀돌연변이 집락수를 조사한 결과 10 kGy로 조사된 닭고기는 돌연변이원성이 없는 것으로 보고하였다. Lee *et al.* (2005)은 볶은(양념)쇠고기와 햄에 감마선을 조사하여 유전독성학적 평가(Ames test) 시험에서 복귀돌연변이 집락수는 증가하지 않았다고 보고하였으며 Jo *et al.* (2005)도 햄, 조리된 양념 우육 및 계란 등 동물성 식품에 대한 ames test에서 10 kGy까지 조사된 샘플은 비조사구의 결과와 유사하다고 보고하여 본 결과와 동일하였다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, *in vitro* 상에서 Ames test를 이용한 안전성 평가 결과 우육, 돈육 및 햄버거 패티의 방사선 조사에 의한 돌연변이원성이 관찰되지 않는 것으로 나타나 방사선 조사된 원료육 및 그 가공제품은 독성을 일으키지 않으며 유용하게 쓰일 수 있는 식품 소재로서 적합할 것이라 사료된다. 앞으로 본 연구결과를 토대로 하여 *in vivo* 실험 및 장기 독성연구를 수행하여 방사선 조사된 원료육을 활용하여 제조한 식육가공제품의 안전성 평가에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부 및 과학재단의 지원을 받아 2009년도 한국원자력연구원 원자력연구개발사업과 한국원자력연구원 Top Brand Project 사업을 통해 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

강일준, 곽희진, 이병운, 김광훈, 변명우, 육홍선. 1998. 감마선 조사 쇠고기의 유전독성 및 급성독성학적 안전성평가. 한국식품과학회지 **30**:775-780.

강일준, 윤정한, 강영희, 이효구, 변명우. 1999. 감마선조사에 의한 돈육의 위생화 및 유전독성학적 안전성 평가. 한국식품영양과학회지 **28**:1092-1098.

곽희진, 정차권, 강일준. 2001. 감마선조사 닭고기의 미생물학적 및 유전독성학적 안전성 평가. 한국조리과학회지 **17**:617-624.

김용수, 유익종. 1994. 육표면의 위생처리가 냉장돈육의 저장성에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지 **36**:403-408.

박기재, 정승원, 박병인, 김영호, 정진웅. 1996. 전해산화수 전처리 및 양념류 제조방법에 따른 김치의 초기 미생물 제어. 한국식품과학회지 **28**:1104-1110.

변명우, 조옥기, 이주운, 김재훈, 김경표, 김영지. 1999. 감마선 조사가 돈육의 저장성에 미치는 영향. 한국농산물저장유통학회지 **6**:16-22.

육홍선. 1999. 감마선 조사가 쇠고기의 미생물학, 생화학, 형태학, 이화학, 영양학, 독성학 및 식품가공학적 특성에 미치는 영향. 박사 학위 논문, 충남대학교, 대한민국.

이나영, 조철훈, 강호진, 홍상필, 김영호, 이경행, 변명우. 2005. 즉석식품 제조를 위한 육가공제품의 감마선 조사에 따른 미생물 및 유전독성학적 안전성 평가. 한국축산식품학회지 **25**:13-19.

한국식품의약품안전청. 2004. 식품공전. 문영사, 서울, 대한민국.

Ahmed NM, Conner DE and Huffman DL. 1995. Heat-resistance of *Escherichia coli* O157 : H7 in meat and poultry as affected by product composition. *J. Food Sci.* **60**:606-610.

Ames BN, McCann J and Yamasaki E. 1975. Methods for detecting carcinogens and mutagens with the *Salmonella*/mammalian-microsome mutagenicity test. *Mutat. Res.* **31**: 347-364.

Brewer MS, Ikins WG and Harberts CAZ. 1992. TBA values sensory characteristics and volatiles in ground pork during long-term frozen storage: Effect of packaging. *J. Food Sci.* **57**:558-562.

Diehl JF. 1990. Safety of irradiated foods. Marcel Dekker, Inc., New York.

FAO/IAEA/WHO Study group. 1999. High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. p. 1-9. In WHO Technical Report Series 890. World Health Organization, Geneva.

Gill CO and Harrison JCL. 1989. The storage life of chilled pork packaged under carbon dioxide. *Meat Sci.* **26**:313-317.

Hugo WB. 1991. A brief history of heat and chemical preservation and disinfection. *J. Applied Bacteriology* **71**:9-18.

Jo C, Lee NY, Kang HJ, Hong SP, Kim YH, Kim HJ and Byun MW. 2005. Radio-sensitivity of pathogens in inoculated prepared foods of animal origin. *Food Microbiol.* **22**:329-336.

Krisch RE, Flick MB and Trumbore CN. 1991. Radiation chemical mechanisms of singel- and double-strand break formation in irradiated SV40 DNA. *Radiat. Res.* **126**:251-259.

Maron DM and Ames BN. 1983. Revised methods for Salmonella mutagenicity test. *Mutat. Res.* **113**:1013-1030.

Miller AJ, Ackerman SA and Palumbo SA. 1980. Effect of frozen storage on functionality of meat for processing. *J. Food Sci.* **45**:1466-1470.

Shay BJ, Egan AF and Wills PA. 1988. The use of irradiation for extending the storage life of fresh and processed meats. *Food Technol. Aust.* **40**:310-313.

Smith JL. 1991. Foodborne toxoplasmosis. *J. Food Safety* **12**: 15-57.

SPSS. 1970. Statistical Package for the Social Csiences, Norman.

Thakur BR and Singh RK. 1994. Food irradiation. Chemistry and applications. *Food Rev. Int.* **10**:437-473.

Thayer DW and Boyd G. 1993. Elimination of *Escherichia coli* O157 : H7 in meats by gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.* **59**:1030-1034.

WHO. 1984. The role of food safety in health and development. Report of a Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Safety.

WHO. 1994. Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food, Geneva.

WHO. 1999. High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiation with doses above 10 kGy, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, WHO Technical Report Series, No. 890, Geneva.

Yamamoto K and Samejima K. 1977. A comparative study of the change in hem pectoral muscle during storage at 4°C and −2°C. *J. Food Sci*. **42**:1642-1645.

Manuscript Received: May 13, 2009
Revision Accepted: June 4, 2009