

식품가공에 있어서 방사선 조사기술의 이용

Application of Irradiation Technology in Food Processing

권 중 호
경북대학교 식품공학과

서 언

국민 생활수준의 향상과 더불어 식품가공산업은 다양화와 고급화 시대를 맞이하게 되었으며, WTO체제는 식품가공기술의 국제화를 요구하기에 이르렀다. 식품가공산업의 발달은 균일한 가공원료의 안정공급과 위생적 제품생산을 바탕으로 하기때문에 이를 위해서는 효과적인 저장·가공 기술의 이용이 필수적이라 할 수 있다. 지금까지 식품의 고품질 저장 및 가공에는 건조, 가열, 발효, 냉장, 냉동, CA, MA, 첨가물, 훈증제, 마이크로웨이브, 막분리 기술 등이 이용되어 왔지만 기술적, 경제적 및 안전성 측면에서 새로운 보완기술의 개발이 요구되고 있다. 특히 최근 식품의 안전성과 환경공해에 대한 세계적인 관심은 보다 위생적이고 환경친화적인 식품가공기술의 개발을 필요로 하고 있다.

본 발표에서는 최근 국내·외 식품산업에서 새로운 가공·저장기술로 인식되면서 실용화가 확대되고 있는 식품 방사선 조사기술에 대하여 기술의 특징, 응용분야, 안전성, 실용화 현황 등을 소개하고자 한다.

방사선 조사기술의 특징

1. 이용 방사선의 종류

식품의 방사선 조사는 식품조사(食品照射, food irradiation)라고 하며, 넓은 의미에서는 광합성 현상에서부터 천일건조, 숯불구이, 전기구이, 마이크로웨이브 가열, 자외선 살균, X선/전자선/ γ 선 조사 등 모든 형태의 방사선 조사를 포함하게 된다. 그러나 전문적인 의미에서 식품조사는 단파장의 γ 선, 전자선(electron beam) 및 X선에 의한 식품처리를 말한다. 식품조사는 식품을 본래의 상태에 가깝게 보존하거나 위생적 품질을 개선할 목적으로 특정의 방사선 에너지를 피조사체 식품에 일정시간 노출시켜 살균, 살충, 성장조절, 물성개선 등의 효과를 거두는 기술이라고 할 수 있다. 방사선 에너지는 피조사체를 통과할때 물질의 원자나 원자단, 분자 등을 전리시켜 이온을 생성하게 되는데, 이같은 성질을 지닌 방사선을 전리방사선(ionizing radiation)이라 한다. γ 선, 전자선, X선, 자외선 등은 이에 포함되며, 현재 관련 국제기구(FAO, IAEA, WHO)와 Codex 식품규격위원회에서 식품조사에 안전하게 이용될 수 있다고 밝힌 방사선의 종류는 표 1과 같이 γ 선, 전자선 및 X선 이다.

이때 피조사체 식품에 대한 방사선 조사량은 흡수선량으로 나타내며, 그 단위는 그레이(gray, Gy)가 사용된다($1\text{Gy} = 100\text{rad} = 1\text{joule/kg}$). 여기서 1rad (radiation absorption dose)는 피조사체의 종류에 관계없이 물질 1g당 100erg의 방사선 에너지를 흡수하였을 때를 말한다($1\text{rad}=100\text{erg/g}$).

표 1. 食品照射에 이용될 수 있는 방사선의 종류

방사선	선원	반감기	이용에너지 (MeV)
γ (감마선)	⁶⁰ Co	5.3년	1.17, 1.33
	¹³⁷ Cs	30년	0.06
전자선 (electrons)	전자가속기에서 발생 (10 MeV 이하)		
X선	기계적으로 발생 (5 MeV 이하)		

2. 방사선의 생물학적 작용

식품조사에서 방사선의 생물학적 작용은 살균, 살충, 성장조절 등으로 나타난다(표 2), 이 같은 방사선 조사 효과를 가져오는 생물학적 작용기작은 직접작용설(direct theory), 즉 표적설(target theory)과 간접작용설(indirect theory)로 설명된다. 먼저 직접작용설은 생물체의 세포나 그 밖의 표적물질에는 방사선에 대해 감수성이 높은 부분(DNA 등)이 존재하므로 여기에 방사선 에너지가 직접 유효한 전리를 일으켜 생물학적 효과를 가져오는 작용이다. 간접작용설은 생체내에 세포구조를 둘러싸고 있는 물이나 전리작용에 따른 생성물(이온이나 유리기 등)이 2차적으로 세포생활에 필요한 물질 또는 그 구조에 화학적 변화를 일으켜 간접적으로 생물학적 작용을 나타내는 학설로 설명되어 진다. 일반적으로 식품 및 생체에 대한 방사선의 작용은 이상의 두가지 작용이 동시에 일어나는 것으로 이해되며, 따라서 피조사체의 수분함량(건조상태), 생리적 상태(속도, 저장기간), 공존물질, 조사온도, 조사분위기 등에 의해 방사선의 생물학적 작용이 상이하게 나타날 수 있다.

표 2. 食品照射에서 생물학적 효과

살균	살충	성장조절
부분살균 (radurization)	저장해충사멸	발아억제
병원균살균 (radicidation)	과실해충사멸	발근억제
	건조식품살충	속도지연
완전살균 (radappertization)	기생충사멸	성장조절

3. 방사선 에너지의 특징 및 살균공정 비교

식품조사에 이용될 수 있는 방사선 에너지의 특징을 살펴보면 먼저 표 1에 나타난 바와 같이 방사성 동위원소에서 방출되는 γ선과 기계적으로 발생되는 X선은 우수한 투과력을 지니고 있어서 식품을 포장된 상태에서도 내부의 살균·살충이 가능하며, 따라서 포장된 제품을 연속적으로 처리할 수 있고 재(再)포장에 따른 2차 오염이 없다. 또한 전자가속기

(electron accelerator)에서 발생하는 전자선은 γ 선에 비해 투과력이 약하여 적용범위가 제한되나 곡류, 분말식품, 육류 등의 표면살균에 이용이 가능하다. 특히 전자선은 에너지 발생이 전원(電源)에 의해 조절되고 공정제어, 신속·정확성, 에너지 효율성, 소비자 수용성 등의 측면에서 장점이 있으므로 선진국에서는 전자선의 이용에 대한 연구개발이 활발히 추진되고 있다. 그러나 X선은 에너지 발생 효율이 낮아 실제적인 이용에 제한을 받고 있다. 따라서 식품조사에 실제 활용되고 있는 방사선 에너지는 γ 선이 대부분을 차지하고 있으며, 최근에는 전자선의 이용분야가 점차 확대 개발되고 있다. 이와 같이 감마선 등의 방사선 에너지는 식품에 사용되고 있는 화학훈증제나 보존제와는 달리 처리후 잔류성분이 남지 않고 강력한 투과력으로 연속처리 공정이 가능하다. 특히 살균공정에서 처리시간과 피조사체의 밀도를 제외한 기타 공정인자의 영향을 거의 받지 않는다(표 3). 또한 방사선 조사기술은 표 4와 같이 타 가공방법에 비해 에너지 소요량이 적고 가열 살균법과는 달리 처리식품의 품질상승이 거의 없어(국제기구 최대 허용선량(10 kGy) 처리시 2.4℃ 상승) 영양성분의 파괴나 관능적 품질변화 등을 최소화할 수 있는 냉온처리의 특징을 지니고 있다.

표 3. 살균방법별 특성과 공정에서의 영향인자¹⁾

항	목	건열살균	습열살균	가스살균(EO)	방사선살균
온	도	+	+	+	-
시	간	+	+	+	+
압	력	-	+	+	-
습	도	-	NA	+	-
처리후 건조 또는 탈기		NA	+	+	NA
물 질 과 의 작 용		산화적분해	가스분해	히드록시에틸화	방사선분해
잔 류 독 성		nil	nil	yes	nil
환 경 공 해		nil	nil	yes	nil
물 질 의 밀 도		+	+	+	+
포 장 방 법		narrow	narrow	narrow	wide
완 포 장		NA	NA	NA	A
처 리 형 태		batch	batch	batch	연속

¹⁾ (+) 영향을 중, (-) 영향을 주지않음, (A) 적용됨, (NA) 적용되지 않음.

표 4. 식품의 가공방법별 소요 에너지 비교

가 공 방 법	에너지 값(KJ/Kg)
방사선 발아억제 (0.10 kGy)	12
방사선 살충 (0.25 kGy)	7
방사선 부분살균 (2.5 kGy)	21
방사선 완전살균(30 kGy)	157
냉 장 (0 ℃, 5.5 일)	318
냉 장 (0 ℃, 10.5 일)	396
가열 멸균	918
조 리 (93 ℃)	2558
냉 동 (-25 ℃, 3.5주)	5149
송풍동결 (4.4 ℃ → -23.3 ℃)	7552

응용분야

식품산업에서 방사선 조사기술의 응용분야는 실용화 관점에서 볼 때 i) 건조식품의 살균·살충, ii) 동물성 식품의 병원성 유기체 사멸, iii) 신선식품의 부패미생물 감균, iv) 농산물의 발아억제, 숙도 지연 및 검역해충 처리, v) 특수목적 등으로 나눌 수 있다.

1. 건조식품의 살균·살충

건조식품 및 건조상태의 농수축산물들의 살균·살충 처리를 위해서는 여러가지 방법들이 이용될 수 있으나 대상식품의 특성, 처리효과, 경제적 타당성 등을 고려한다면 이용방법에 제한이 따르기 마련이다. 먼저 향신료, 건조 과일·채소류, 혼합조미식품, 건조축산물, 건조수산물 등 건조식품의 살균공정에 광범위하게 사용되어 오던 ethylene oxide 훈증제가 한국(1991. 7. 1), EU(1991. 1. 1) 등 여러 나라에서 이미 사용이 금지되었고, 최근에는 식품안전 및 환경공해를 이유로 그 잔류량이 엄격히 규제됨에 따라 방사선 조사기법은 훈증제의 효과적 대안방안이 되고 있다. 특히 방사선 조사에 의한 향신료, 건채조미료, 기타 가공부원료 등의 위생화 처리는 가장 대표적인 응용분야로써 28개국 이상에서 실용화되고 있으며, 이는 ethylene oxide 금지 이후 steaming, 고압, extrusion 등의 방법이 대두되고 있으나 적용분야, 처리효과, 실용성 등에서 한계가 있기 때문이다.

2. 동물성 식품의 병원성 유기체 사멸

식인성 질병은 국민 보건 및 생산성에 큰 영향을 미치고 있다. 닭고기, 쇠고기, 어패류, 가공식품 등 동물성 (가공)식품에 오염된 병원성 미생물들은 적정선량 범위의 방사선 조사에 의해 사멸이 가능하다. 이는 식중독균, 경구전염병균, 무아포성 등을 사멸시키는 방사선 병원균 살균(radicidation) 분야이다. 식인성 질병은 식품을 매체로 전염될 수 있으며, 특히 가금육은 *Salmonella*, *Campylobacter* 등 병원성 미생물의 오염도가 매우 높아 식인성 질병의 대표적인 원인식품이 되고 있다. 최근 WHO 보고에 의하면 미국에서는 매년 7종의 병원균, 즉 *Campylobacter jejuni*, *Clostridium perfringens*, *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Toxoplasma gondii* 등에 의하여 330~1,230만 여명의 환자가 발생되고, 이 중 3,900여명이 목숨을 잃으며 이로 인한 경제적 손실은 매년 65~349 억불에 이른다고 한다. 또한 식인성 질병에 대한 실상은 보고된 내용의 350배 이상이라고 WHO는 밝히고 있다.

특히 1993년 1월 미국 서부지역에서는 *Escherichia coli* O157 : H7이 오염된 햄버거를 판매하여 4백여명의 입원 환자가 발생하고 2명의 어린이가 사망하는 사건이 있었다. 이에 미국육류연구소(American Meat Institute)에서는 방사선 조사에 의한 *E. coli*의 사멸효과 확인과 소비자 여론조사를 실시하였으며, 1994년 7월 Isomedix社에서는 식육(red meats)의 방사선 조사 허가를 FDA에 신청하게 되었다. 더욱이 지난 해 일본에서는 *E. coli* O157 : H7 오염 사건으로 9,578명의 질병 환자중 11명이 사망하는 대규모 식인성 질병사건이 발생되어 병원성 미생물 오염방지에 대한 범국가적인 관심을 모우게 되었다. 표 5는 *E. coli* O157 : H7 등 몇 가지 병원성 미생물에 대한 방사선 감수성을 나타낸 것으로서, 병원균은 일반 미생물에 비해 방사선에 대단히 민감하여 국제적으로 사용이 허가된 선량보다 훨씬 낮은 선량으로도 사멸이 가능한 것으로 밝혀지고 있다.

표 5. 방사선 조사에 의한 병원성 미생물의 사멸효과

Pathogens	Temp.(°C)	Substrates	D ₁₀ Value ¹⁾ (kGy)	References
<i>Aeromonas hydrophila</i>	2	Beef	0.14~0.19	Adopted from D. W. Thayer. (1995)
<i>Campylobacter jejuni</i>	0~5	Beef	0.16	
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	5	Beef	0.28	
<i>Listeria monocytogenes</i>	2~4	Chicken	0.77	
<i>Salmonella spp</i>	2	Chicken	0.36~0.77	
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	Chicken	0.36	

¹⁾ Decimal reduction dose for the initial microbial populations.

이에 미국 FDA 에서는 red meat에 대한 방사선 조사를 허가할 방침인 것으로 알려지고 있다. 이때 방사선 조사의 목적은 병원성 미생물 및 기생충의 사멸과 선도연장을 포함하고 있으며, 허가 신청된 방사선 최고선량은 냉장육의 경우 4.5 kGy, 냉동육의 경우는 7 kGy이다. 한편 미국 FDA(1985)는 돼지고기의 기생충(선모충) 제거를 위하여 1.0 kGy 이하의 감마선 조사를 허가하였다. 또한 1993년 9월부터는 감마선 조사된 가금육이 위생적 품질을 보증할 수 있는 식품으로 인식되면서 Florida 및 Illinois의 소매가게에서 성공적으로 판매되었으며, 최근에는 병원, restaurants 및 일반 유통단계에 까지 보급되고 있다. 이와 같이 식품에 오염될 수 있는 병원성 미생물들은 방사선에 대하여 비교적 저항성이 낮아 3~7 kGy 범위의 조사선량에 의해서도 완전사멸이 가능하므로 위생적 식품생산에 적극적인 활용이 기대되고 있다.

식품조사기술의 세계적 실용화를 뒷받침하기 위하여 1984년 FAO/IAEA/WHO의 지원하에 설립된 식품조사국제자문그룹(International Consultative Group on Food Irradiation, ICGFI)에서는 “식품의 위생적 품질확보를 위한 방사선 조사기술의 이용”에 대해 전문위원회를 개최하고 다음과 같은 결론을 내렸다. “가까운 미래에는 우리 인간은 어떠한 방법에 의해서도 특정 병원성 미생물이나 기생충이 전혀 오염되지 않은 낱고기 즉, 가금육, 돼지고기 등을 생산할 수 없을 것이며, 이는 인류의 공중보건에 큰 위협이 될 것이다. 따라서 식인성 질병의 예방을 위한 방사선 살균·살충법의 이용은 신중히 고려되어야 한다는 것이다”. 전문가들은 또한 방사선 조사기술은 밀봉포장된 식품에 대해서도 완벽한 살균·살충이 가능하지만, 현재로서는 어떠한 다른 방법도 이와 같은 기술적 우수성과 경제적 타당성을 지닌 방법으로 발전될 가능성이 없다고 지적하고 있다.

3. 신선식품의 부패미생물 감균

방사선 부분살균(radurization, radpasteurization) 효과에 의해 축육(가공품), 신선어, 수산가공품, 딸기 등에 오염되어 있는 세균, 효모, 곰팡이 등 부패관련 미생물의 수를 효과적으로 감소시켜 보존기간 또는 냉장기간을 연장시키는 방법이다. 국내에서는 닭고기, 튀김생선어묵, 수삼, 딸기 등에 대하여 연구를 시도하여 효과를 확인한 바 있으며, 이 분야는 최근 cold chain의 보급에 따라 식품공업에서 활용이 기대된다. 표 6은 세계적으로 방사선 조사가 허가

된 축산식품류를 정리하였으며, 이 분야의 응용은 식품의 위생적 품질 향상과 저장수명 연장 등의 분야에서 새로운 가능성을 제시하고 있다

표 6. 각국에서 방사선 조사가 허가된 허기된 축산 식품류

품 목	허 가 국	허 가 목 적	최대선량(kGy)
식 육	쿠 바	세균수억제	5
식육(신선)	크로아티아	저장수명연장	3
식육(냉동)	크로아티아	세균수억제	7
건 조 육	한 국	세균수억제	7
쇠고기(건조품)	멕시코	세균수억제	10
	남아프리카	세균수억제	10
쇠고기(생,반가공품)	러 시 아	세균수억제	8
	우크라이나	세균수억제	8
우울액기스	남아프리카	세균수억제	20
소스-프스톡	남아프리카	세균수억제	20
돈 육	중 국	기생충제거	0.65
	멕시코	기생충제거	1
	미 국	기생충제거	1
돈육(생,반가공품)	러 시 아	저장수명연장	8
	우크라이나	저장수명연장	8
돈육(도체육,부분육)	크로아티아	기생충제거	1
파쇄돈육	남아프리카	세균수억제	10
계 육	방글라데시	세균수억제	7
	코스타리카	세균수억제	7
	불 란 서	세균수억제	5
	남아프리카	세균수억제	4
	시 리 아	세균수억제	7
	태 국	세균수억제,저장수명연장	7
계육(건조품)	멕시코	저장수명연장	10
계육(신선,냉동)	멕시코	세균수억제	7
계육(냉동)	멕시코	저장수명연장	3
	헝 가 리	세균수억제	4
계육(스파이스가공)	중 국	세균수억제	8
계육(해체부분육)	불 란 서	세균수억제	5
계육생산품(신선,냉동)	멕시코	세균수억제	7
식용조육	멕시코	저장수명연장	3
	브 라 질	세균수억제	7
	불 란 서	세균수억제	5
	이 스 라 엘	세균수억제	7

품 목	허 가 국	허 가 목 적	최대선량(kGy)
식용조육	네 델 란 드	세균수역제	10.5
	러 시 아	저장수명연장	6
	남아프리카	세균수역제	10
	우크라이나	저장수명연장	6
	영 국	세균수역제	7
	유고슬라비아	세균수역제	10
식용조육(신선,냉동)	미 국	세균수역제	3
식용조육(신선)	크로아티아	세균수역제	3
식용조육(냉동)	크로아티아	세균수역제	7
식용조육(구분육)	미 국	세균수역제	3
토끼(생,반가공)	러 시 아	저장수명연장	8
	우크라이나	저장수명연장	8
개구리다리	방글라데시	세균수역제,저장수명연장	7
	크로아티아	세균수역제	8
	볼 란 서	세균수역제	8
개구리다리(신선,냉동)	네 델 란 드	세균수역제	7.5
	멕 시 코	세균수역제	5
	멕 시 코	저장수명연장	3
개구리다리(냉동)	멕 시 코	기생충제거	2
	인도네시아	세균수역제	7
고기엑기스	남아프리카	세균수역제	10
식 육 제 품	쿠 바	세균수역제	4
	러 시 아	저장수명연장	8
식육제품(조리가공)	우크라이나	저장수명연장	8
	중 국	세균수역제	6
가열식육가공품	베 이 콘	세균수역제	4
	남아프리카	세균수역제	10
소 시 지	남아프리카	세균수역제	10
	태 국	세균수역제	5
소서지(건조,반건조)	크로아티아	세균수역제	5
프랑크푸르트소서지	남아프리카	세균수역제	10
	중 국	세균수역제	8
건조소서지	남아프리카	세균수역제	10
가열소서지	태 국	세균수역제,기생충제거	5

품 목	허 가 국	허 가 목 적	최대선량(kGy)
생발효돈육소시지	태 국	세균수억제, 저장수명연장	4
스모크사라미	남아프리카	세균수억제	10
냉동육류	남아프리카	세균수억제	10
동물혈액(응고혈액)	볼 란 서	세균수억제	10
동물혈액(건조)	쿠 바	해충, 쥐구제	2
동물혈액(액체)	볼 란 서	세균수억제	10
동물혈액프라스마(건조)동물	볼 란 서	세균수억제	10
혈액제품(건조)	볼 란 서	세균수억제	10
우 유	볼 란 서	세균수억제	10
계란(건조)	멕시코	세균수억제	5
계란(냉동)	크로아티아	세균수억제	3
계란(전란, 파쇄)	남아프리카	세균수억제	10
난백알부민(분말)	남아프리카	세균수억제	10
계란분말	크로아티아	세균수억제	3
	남아프리카	세균수억제	10
	유고슬라비아	세균수억제	10
계란제품	볼 란 서	세균수억제	4
계란제품(냉동)	크로아티아	세균수억제	3
계란펄프(냉동)	남아프리카	멸균, 살균	10
동물사료	이 스 라 엘	세균수억제	15

4. 농산물의 발아억제, 숙도지연 및 검역해충 처리

방사선 조사에 의한 감자, 양파, 마늘, 밤 등 농산물의 발아·발근억제는 낮은 조사선량에서도 그 효과가 뚜렷하고, 이듬 해 수확기까지의 품질보존이 가능하다. 일본에서는 1973년부터 감자의 산업적 조사가 실용화되어 연간 1만 5천톤 이상의 감자가 감마선 처리되어 저장되면서 생감자 또는 식품가공용 원료로 공급되고 있다. 특히 감마선 조사후 자연저온에 저장된 감자는 감자칩 가공적성이 우수한 것으로 밝혀졌다. 이들 농산물 들은 조사후 저장온·습도만 조절된다면 이듬 해 단경기까지 저장이 가능하다. 국내에서는 1987년 10월 감자, 양파, 마늘에 대해서는 0.15 kGy, 밤은 0.25 kGy 이하의 감마선 조사가 허가된 바 있으며, 고구마, 생강, 당근 등에서도 유사한 효과가 확인되고 있다. 또한 신선 과채류의 숙도를 지연시키고 선도를 연장시킬 목적으로 1 kGy 내외의 방사선을 조사하여 생리적 대사활동(호흡, 효소작용 등)을 조절함으로써 유통기간 연장, 시장확대 등 부가적인 효과를 가져오는 방법이 있다. 주요 대상식품으로는 버섯, 바나나, 망고, 파파야, 토마토, 완두콩, 무화과류 등이 있으며, 특히 신선버섯의 생장억제와 노화방지에는 처리효과가 분명하여 2~3배의 시장수명 연

장이 가능하다. 우리나라에서도 생버섯에 대하여 1kGy 이하의 감마선조사가 허가된 바 있다.

곡류, 두류, 견과류, 건조 농산물, 신선과채류 등에는 저장해충 뿐만 아니라 식량교역시 검역대상이 되는 해충이 오염되어 있다. 따라서 이들 해충은 주로 화학훈증제(ethylene dibromide, methyl bromide, aluminum phosphide, ethylene oxide 등)나 농약살포에 의해 방제되어 왔으나 이들 화학약품들이 인체장해 및 환경오염의 원인물질로 밝혀짐에 따라 점차 사용이 금지되고 있다. 이에 대한 여러가지 대체방법 가운데 방사선 조사기법이 연구되고 있으며, 특히 WTO 체제에서 식량교역시 검역해충 처리기술로서 방사선 조사기법의 등장이 기대된다.

5. 특수목적 식품

방사선 완전살균(radappertization) 효과에 의해 피조사체 식품에 오염된 virus를 제외한 모든 미생물을 사멸시키는 기법이다. 이 분야에는 미생물의 오염농도에 따라 10~50 kGy의 고선량 조사가 요구되며, 장기보관용 균용식품(햄, 베이컨 등 밀봉포장 식품)과 국내에서도 허가된 병원환자용 무균식(면역기능이 약화된 환자용 식품 등)이 해당된다. 또한 실험동물용 무균사료(SPF 또는 germ-free 사료 등)의 제조나 우주인 식품 등은 무균상태가 요구되므로 이에 대한 활용도 기대된다.

방사선 조사식품의 안전성

FAO/IAEA/WHO 방사선 조사식품 공동전문위원회(Joint Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, JECFI, 1980)에서는 조사식품의 안전성에 대한 국제적 평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 공표하였다. 즉 “어떤 식품이든 총 평균 10 kGy 이하로 방사선 조사된 식품은 독성학적 위험을 초래하지 않으므로 그 선량 이하로 처리된 식품에 대해서는 더 이상의 toxicological test가 필요치 않으며, 또한 미생물학적으로나 영양학적으로도 안전하여 어떤 특정한 문제를 야기하지 않는다”. 또한 Codex 식품규격위원회(1983)에서는 이상의 결론을 수용하면서 “Codex General Standard for Irradiated Foods”와 “A Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods”를 채택하여 130여 회원국들에게 활용을 권고하고 있으며, WHO(1992)는 식품조사에 대한 입장발표에서 “설정된 모범제조규범에 따라 처리된 방사선 조사식품은 독성학적, 미생물학적 및 영양학적으로 안전하다고 재확인”한 바 있다.

실용화 현황

세계적으로 40여개국이 식품의 방사선 조사와 관련된 허가 또는 금지 규정을 가지고 있다. 이들 나라중 한품목 또는 여러 종류의 식품(군)에 대하여 방사선 조사를 허가한 국가는 39개국에 이른다. 연대별 허가추세는 1960년대까지가 미국, 영국, 구소련 등 8개국, 1970년대

에는 일본, 프랑스, 이탈리아, 남아공 등 10개국, 1980년대 이후에는 우리나라를 포함한 알제, 터, 벨기에, 이스라엘, 태국 등 21개국에 이르고 있다. 또 39개국의 지역별 분포를 보면 유럽 17, 아시아·태평양 10, 아메리카주 8, 아프리카·중동 4개국 등으로 독일, 호주 등을 제외한 대부분의 산업화된 국가들이 식품조사기술의 허가에 선도적인 입장이다. 이들 39개 국가들이 허가하고 있는 식품류들은 약 115개 식품(군)으로서 대부분의 식품을 포함하고 있다. 주요 허가식품류 가운데 감자, 양파, 마늘 등 발아·발근억제 대상식품인 근채류 농산물의 허가국이 가장 많고 그 다음이 향신료를 포함한 건조식품의 허가 및 실용화가 활발하다.

이상의 연구결과와 관련 국제기구의 기술적 제도적 뒷받침을 바탕으로 하여 우리나라 정부에서는 1987년 이래 4차례에 걸쳐 10 kGy 이하의 감마선 조사를 허가하였다. 이상의 허가 식품류에는 표 7과 같이 신선 식품류 외에도 건조식육, 어패류 분말, 장류 분말, 건조 채소류, 건조 향신료 및 그 제품, 효모, 효소, 알로에, 인삼류, 환자용 무균식 등 다양 식품군이 포함되어 있다. 따라서 식품의 방사선 조사기술은 이제 식품산업에서 빼놓을 수 없는 핵심 저장·가공기술로 등장하게 되었다.

표 7. 국내 감마선 조사 허가식품 (1997. 10. 현재)

품 목	조 사 목 적	허 가 선 량 (kGy, max)	허 가 일 자
감자, 양파, 마늘	발아·발근 억제	0.15	1987. 10. 16
밥	발아·발근 억제	0.25	1987. 10. 16
버섯(생 및 건조)	살충, 속도 조정	1	1987. 10. 16
건조식육 및 어패류 분말(가공식품용)	살균, 살충(위생화)	7	1991. 12. 14
된장, 고추장, 간장 분말	살균, 살충(위생화)	7	1991. 12. 14
전분(조미식품용)	살균, 살충(위생화)	5	1991. 12. 14
건조 채소류	살균, 살충(위생화)	7	1995. 5. 19
건조 향신료 및 이들 조제품	살균, 살충(위생화)	10	
효모 및 효소식품	살균, 살충(위생화)	7	
알로에 분말	살균, 살충(위생화)	7	
인삼(홍삼 포함) 제품류	살균, 살충(위생화)	7	
2차살균이 필요한 환자식	살균	10	

결 인

식품가공에서 방사선 조사기술은 투과력과 cold treatment의 특성을 지닌 살균기술으로써 위생적인 식품생산에 다양하게 활용될 전망이다. 특히 동물성 식품의 병원성 미생물 사멸을 위한 활용과 식품 살균·살충용 화학약품(첨가제, 훈증제 등)의 사용감소 및 대체는 식품의 안전성 제고와 환경보전의 측면에서 매우 중요한 의미를 지니고 있다. 그러나 식품조사기술의 실용화에 있어서는 소비자의 이해가 선행되어야 하므로 무엇보다도 현행 식품가공·저장 방법의 장단점과 식품조사 기술의 특징이 사실에 근거하여 정확하게 비교, 홍보되어야 할 것이다. 식품조사 분야의 앞으로의 연구개발 방향은 국민의 보건향상과 안정적 식량공급의 차원에서 국내 식품산업 구조에 적

합한 기술적/경제적 실용화 연구, 조사식품 시험판매, 조사식품의 품질 및 조사공정 개선 연구 등이 추진되어야 할 것이다. 특히 소비자나 기업에게 자유로운 기술선택의 기회를 제공하기 위한 공동참여 연구와 조사식품의 관리 및 고선량 조사식품에 대한 안전성 연구도 필요하다. 또한 식품조사기술의 건전한 정착과 조사식품의 수용성 증대를 위해서는 조사표시(labelling) 규정의 준수를 유도할 수 있는 조사식품 확인기술(identification methods of irradiated foods)의 개발이 요구된다.

참고 문헌

1. WHO : Wholesomeness of irradiated food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. *Technical Report Series-659*, 34(1981)
2. Codex Alimentarius Commission : Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods. *CAC/VOL. XV*. FAO, Rome(1984)
3. 대한민국 보건복지부 : 식품 방사선 조사기준, 식품공전, p. 39(1996).
4. Cottee, J. and Kunstadt, P. : Overview of commercialization of food irradiation in the USA. Special Document(May 1996)
5. UNEP : Montreal Protocol on Substances That Deplete The Ozone Layer. *1994 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee*(1995)
6. Kwon, J. H., Byun, M. W. and Cho. H. O. : Development of food irradiation technology and consumer attitude toward irradiated food in Korea. *Radioisotopes*, **41**(12), 654(1992)
7. 권중호 : 전리방사선의 식품에의 이용, 식품과학과 산업, **22**(2), 74-83 (1989)
8. Brynjoifosn, A. : Food-energy-developing countries-food irradiation. *IAEA-SM-250/26*, 421(1981)
9. Josephson, E.S. and Peterson, M.S. : *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, Vol. I-III, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida(1983)
10. 권중호 : 한국에 있어서 식품조사기술의 진보와 식품산업에서의 역할. 식품위생안전성 연구 **9**(1), S35-S49(1994)
11. 김용문 : 식품조사에 대한 WHO의 입장. 식품위생안전성연구, **9**(1), S13-S16(1994)
12. IAEA : Food Irradiation Newsletter, 20(1), 2-58, 20(2), 2-56(1996)

13. Bruhn, C. M., and Shutz, H. G. : Consumer awareness and outlook for acceptance of food irradiation. *Food Technol.*, 43(7), 93-97(1989)
14. Marcotte, M. : Irradiated strawberries enter the U. S. market. *Food Technol.*, 46, 80-86 (1992)
15. Pszczola, D. : Irradiated poultry makes U.S. debut in Midwest and Florida markets. *Food Technol.*, 47(11), 89-96 (1993)
16. Reuter : Irradiated chicken selling briskly, 3 Sept.(1993)
17. 이무하 : 전자선을 이용한 신선근육식품의 저수준 방사선 조사. *식품과학과 산업*, 28(2), 13-22(1995)
18. 권중호 : 식품조사의 국제적 허가현황 및 실용화 전망. *식품공업*, 133, 18~49(1996)
19. 권중호, 김광수 : 식품의 저장 및 품질개선을 위한 감마선 에너지의 이용과 실용화 전망. *식품산업과 영양*, 1(1), 37-48(1996)
20. ICGFI : Irradiation of red meat, *A compilation of technical data for its authorization and control*. IAEA-TECDOC, IAEA, p.6-44(1995)
21. Thayer, D.W. : Use of irradiation to kill enteric pathogens on meat and poultry. *J. Food Safety*, 15, 181-192(1995)
22. 김부환 : 유럽도 O-157 안전대책 비상, *식품음료신문* (1997. 10. 27)
23. WHO : Foodborne diseases-possibly 350 times more frequent than reported, Press Release WHO/58, 13 August 1997.
24. Kwon, J.H., Chung, H.W., Byun, M.W. and Kang, I.J. : Thermoluminescence detection of Korean traditional foods exposed to gamma and electron-beam irradiation. Paper presented at 10th International Meeting on Radiation Processing, Anaheim, CA, USA, 11-16 May (1997)