

- 초대 총설 -

식품의 저장 및 품질개선을 위한 감마선 에너지의 이용과 실용화 전망

권중호[†], 김광수^{*}

경북대학교 식품공학과, *영남대학교 식품영양학과

서 론

식품 가공산업은 균일한 가공원료의 대량 확보와 위생적인 제품 생산을 바탕으로 하기 때문에 원료 농수산물 및 고품질 저장과 제품의 품질관리 체계는 무엇보다도 중요한 기술기반이 되고 있다. 특히 최근 빈번한 세계적 기상 이변 현상과 WTO 체제하의 그린라운드 전개 방향을 예상해 본다면 자국에서 생산되는 식량 자원의 이용을 증대와 국제교역에서 통용될 수 있는 효과적인 저장·가공기술의 확보는 식품산업의 국제경쟁력 제고에 핵심적인 분야가 되고 있다. 식품산업에 있어서 방사선 조사 기술 즉, 식품조사 기술(食品照射技術, food irradiation)의 이용은 감마선(γ), 전자선(電子線, electron beam) 등의 생물학적 작용을 근거로 식품의 저장수명 연장, 위생적 품질개선 등의 목적을 달성할 수 있다. 이에 대한 연구는 1950년대 이래로 현

재 식품산업에 이용되고 있는 어떠한 저장·가공기술보다도 체계적이고 과학적인 방법에 의해 연구되면서 '80년대 이후 WHO/FAO/IAEA(1), Codex 식품규격위원회(2), 미국 FDA/USDA(3), 우리나라 보건복지부(4) 등에 의해 사용이 허가 권장되고 있다. 더우기 식품의 광범위한 살균·살충제인 ethylene oxide와 methyl bromide는 이미 사용이 금지되었거나 국제적으로 사용이 규제되고 있는 현실이므로(5) 이에 대한 효과적인 대체기술의 개발은 국내·외 식품산업의 당면과제이다.

FAO의 발표에 의하면 세계적으로 수확된 식량의 약 25~40%는 해충, 미생물, 생리적 작용 등에 의하여 손실되고 있으며, 이를 효과적으로 줄이기 위한 연구개발은 식량의 수요증가에 대처하는 가장 현실적인 방안이라고 하였다. 또한 식인성 질병(foodborne disease)에 의한 건강위협과 이에 따른 경제적 손실을 감안하고, 특히 WTO 체제하의

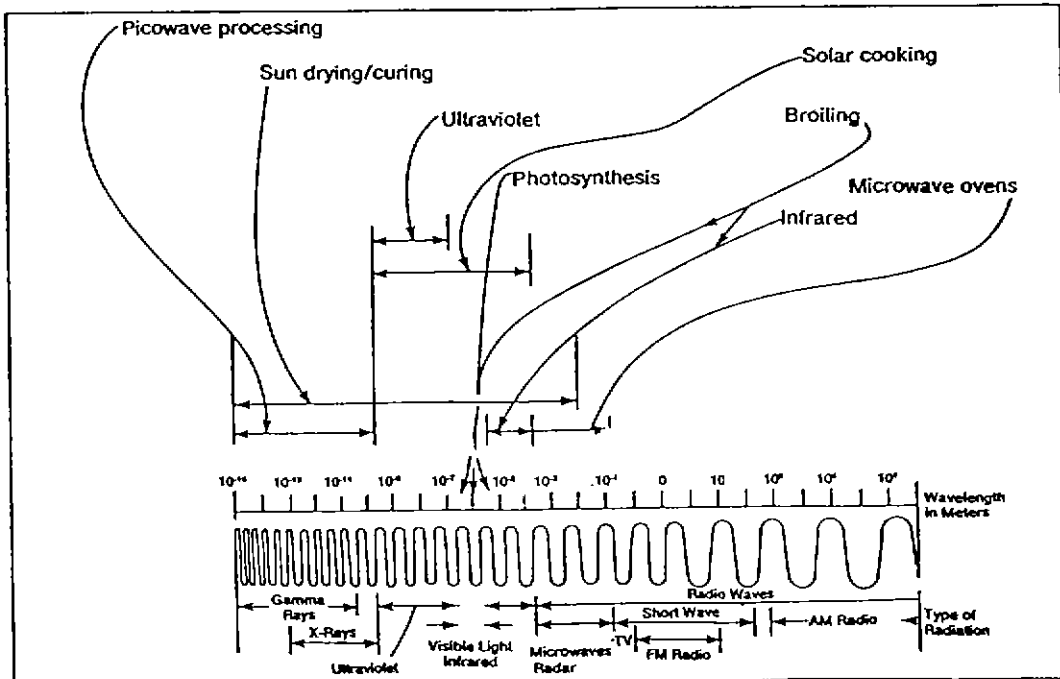


그림 1. 電磁波(electromagnetic wave)에 의한 食品照射.

교역증대를 예상한다면 보다 효과적이고 안전한 저장·가공기술의 확보는 시급한 실정이다.

본 발표는 그 동안 국내외적으로 실용화 연구가 활발히 추진되어 오면서 기술의 안전성과 타당성이 국제적으로 인정된 감마선 조사기술을 주제로 하여 에너지의 특징과 비교, 응용가능 분야, 세계적 허가현황과 실용화 추세, 조사식품에 대한 소비자들의 반응, 식품산업에서의 실용화 전망 등을 그 동안의 연구결과(6)와 최근의 기술정보(7,8)를 바탕으로 소개하고, 아울러 식품조사기술 분야의 당면한 과제와 앞으로의 연구개발 방향을 제시하고자 한다.

식품조사기술의 특징

이용 에너지와 생물학적 효과

식품의 건조, 가열, 통조림 등은 열 에너지를 이용하는 가장 좋은 예이다. 최근 이들 에너지는 일정한 파장을 지닌 에너지 즉, 전자파 방사선의 개념으로 이해되면서 그 특징과 응용분야가 활발히 연구되고 있다. 그림 1은 전자파 에너지(電磁波, electromagnetic energy)를 이용한 넓은 의미의 식품조사(food irradiation) 분야를 나타낸 것으로서, 광합성 현상에서부터 천일건조, 숯불구이, 전기구이, microwave 가열, 자외선 살균, X선/전자선/γ선 조사 등 모든 형태의 방사선 에너지를 식품에 이용하는 예이다. 그러나 보다 전문적인 의미에서의 식품조사(食品照射)란 단파장의 γ선, X선 및 전자선에 의한 식품처리를 의미하고 있다.

일부 방사선은 물질을 통과할 때 물질의 원자나 원자단 등을 전리시켜 이온을 생성하게 된다. 이와 같은 성질을 지닌 방사선은 전리 방사선(ionizing radiation)이라 하며 자외선(UV), γ선, 전자선, X선, α선, 중성자선 등은 이에

포함된다. 지금까지 식품조사기술 관련 국제기구(FAO, IAEA, WHO)와 Codex 식품규격위원회에서는 식품의 살균, 살충, 생장조정, 물성개선 등에 안전하게 이용될 수 있는 방사선의 종류와 에너지의 범위를 표 1과 같이 밝힌 바 있다(1,2).

따라서 식품조사란 식품을 본래의 상태에 가깝게 보존하거나 품질을 개선할 목적으로 특정의 방사선 에너지를 피조사체 식품에 일정시간 노출시켜 표 2와 같은 생장조정, 살충, 살균 등의 여러가지 생물학적 효과를 거두는 기법이라 할 수 있다(9).

照射技術의 특징

이들 방사선 에너지의 특징을 살펴보면 먼저 표 1에 나

표 1. 食品照射에 이용될 수 있는 방사선의 종류

방사선	선 원	반감기	이용에너지(MeV)
γ(감마)선	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)		

표 2. 식품의 방사선 조사에서 나타나는 생물학적 효과

생장조정	살충	살균
발아 억제	저장해충 사멸	부분 살균 (radurization)
발근 억제	과실해충 사멸	병원균 살균 (radicidation)
속도 지연	건조식품 살충	완전 살균 (radappertization)
생장 지연	기생충 사멸	

표 3. 살균방법별 특성과 공정에서의 영향인자

항 목		건열살균	습열살균	가스살균(EO)	감마선살균
온도	도	+	+	+	-
시간	간	+	+	+	+
압력	력	-	+	+	-
습도	도	-	NA	+	-
처리 후 건조 또는 탈기	탈기	NA	+	+	NA
물질과의 작용	용	산화적분해	가스분해	히드록시에틸화	방사선분해
잔류 독성	성	nil	nil	yes	nil
환경 공해	해	nil	nil	yes	nil
물질의 밀도	도	+	+	+	+
포장 방법	법	narrow	narrow	narrow	wide
완포장	장	NA	NA	NA	A
처리 형태	태	batch	batch	batch	연속

주 : (+) 영향을 줌, (-) 영향을 주지않음, (A) 적용됨, (NA) 적용되지 않음

표 4. 식품 가공방법별 소요 에너지 비교

가 공 방 법	에너지 값(KJ/Kg)
감마선 발아억제(0.10 kGy 조사)	12
방사선 살충(0.25 kGy 조사)	7
방사선 부분살균(2.5 kGy 조사)	21
냉 장(0°C, 5.5 일간)	157
냉 장(0°C, 10.5 일간)	318
가열에 의한 살균	918
조 리(93°C)	2558
냉 동(-25°C, 3.5주)	5149
송풍동결(4.4°C→-23.3°C)	7552

타난 바와 같이 방사성동위원소에서 방출되는 γ 선과 기계적으로 발생되는 X선은 독특한 투과력을 지니고 있어 식품을 완포장된 상태로도 연속적으로 처리할 수 있으므로 에너지 효율의 증대와 재(再)포장 조작이 필요치 않아 2차 오염 방지가 가능하다. 또한 전자가속기(electron accelerator)에서 발생되는 전자선은 γ 선에 비해 투과력이 약하여 활용범위가 제한되나 곡류의 살충이나 식품의 표면살균 등의 분야에 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 처리선량에 따라 식품의 풍미 등 품질변화가 초래되며, 에너지 발생효율도 낮아 실제적인 이용에 한계가 있다. 따라서 식품조사에 실제 활용되고 있는 방사선 에너지는 γ 선이 대부분을 차지하고 있으며 전자선도 점차 이용분야가 확대 개발되고 있다. 이와 같이 감마선 등의 방사선 에너지는 식품에 사용되고 있는 화학훈증제나 보존제와는 달리 처리후 잔류성분이 남지 않으며 강력한 투과력으로 연속처리 공정이 가능하다. 특히 공정에서 처리시간을 제외한 기타 조건의 영향을 거의 받지 않는다(표 3). 특히 식품조사기술은 타 가공방법에 비해 에너지 소요량이 적고(10), 가열살균법과는 달리 처리식품의 품온상승이 거의 없어(국제기구 최대 허용선량 10 kGy 처리시 2.4°C 상승) 영양성분의 파괴나 관능적 품질 변화 등을 최소화할 수 있는 특징을 지니고 있다(표 4)(1).

감마선 조사기술의 응용분야

감자, 양파, 마늘, 밤 등의 발아·발근억제

감자, 양파, 마늘 등 주요 근채류 농산물은 수확후 일정기간의 휴면기가 지나면 발아 및 발근이 시작되어 영양분

의 소모와 증량감소, 위축, 부패현상을 초래하여 상품적 가치를 잃게 된다. 따라서 감마선에 의한 이들 식품의 발아·발근억제는 0.05~0.15kGy 범위의 낮은 조사선량에서도 그 효과가 뚜렷하고, 이듬 해 수확기까지의 품질보존이 가능하다(6,11). 또한 안전성면에 있어서도 문제가 없으므로 판단되어 다른 식품에 비해 가장 먼저 실용화되었다. 특히 일본에서는 1973년 부터 감자의 감마선 조사가 세계 최초로 실용화되어 연간 1만 5천톤 이상의 감자가 처리되어 저장되면서 생감자 또는 식품가공용 원료로 공급되고 있다. 특히 감마선 조사후 자연저온에 저장된 감자는 potato chip 가공적성이 우수한 것으로 밝혀졌다(11).

또한 밤은 0.25kGy의 조사선량으로 발아억제와 살충효과를 달성할 수 있으며, 조사후 저장 온·습도만 조절된다면 이듬 해 여름까지도 건전한 상태로의 저장이 무난하다(6,12). 따라서 과잉생산에 따른 가격폭락을 방지하고 년중 안정된 가공원료의 공급이 가능하게 된다. 국내에서는 1987년 10월 감자, 양파, 마늘에 대해서는 0.15kGy, 밤은 0.25kGy 이하의 감마선 조사가 허가된 바 있다. 세계적으로는 감자 25개국, 양파 25개국, 마늘 15개국, 밤 2개국에서 각각 감마선 조사가 법적 허가되었고 고구마, 생강, 당근 등에서도 발아억제 효과가 확인되고 있다(12).

버섯, 토마토 등 과채류의 속도지연

신선 과채류의 속도를 지연시키고 선도를 연장시킬 목적으로 1kGy 내외의 감마선을 조사하여 생리적 대사 활동(호흡, 효소작용 등)을 조절함으로써 유통기간 연장, 시장 확대 등의 부가적인 효과를 가져오는 방법이다(6,12). 주요 대상식품으로는 버섯, 마나나, 망고, 파파야, 토마토, 완두콩, 무화과류 등이 있으며, 특히 신선버섯의 생장억제와 노화방지에는 처리효과가 분명하여 2~3배의 시장수명 연장이 가능하다(6). 우리나라에서는 생버섯에 대하여 1kGy 이하의 감마선 조사가 허가된 바 있으며, 미국에서는 1986년 이래로 사과를 포함한 모든 신선 과채류에 대하여 1 kGy 이하의 감마선 조사가 허가되어 상업적으로도 실용화되고 있다(7,8).

곡류, 과채류 등의 해충 박멸

곡류, 두류, 견과류, 건조 농산물, 신선과채류 등에는 저장해충뿐만 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 화학약제들이 인체장해 및 환경오염의 원인물

질로 밝혀짐에 따라 점차 사용이 금지되고 있다.

이에 대한 여러가지 대체방법 가운데 감마선 조사기법은 1~2kGy 이하의 저선량에 의해서도 해충의 생육단계(알, 애벌레, 번데기, 성충)에 관계없이 사멸이 가능하다(13,14). 국내외적으로도 이 분야의 활용은 매우 적극적이며, 특히 WTO 체제하에서는 식량교역시 검역해충 박멸기술로써 감마선 조사기법의 등장이 전망된다(5). 미국에서는 금년 5월 Hawaiian papaya에 대하여 검역처리를 목적으로 감마선을 조사하고 Chicago 등지에서 성공리에 시판한 바 있다(8).

돼지고기, 생선, 채소류 등의 기생충 사멸

야채류나 돼지고기 등에 혼입된 장내 기생충과 선모충(*trichinella spiralis*)을 포함한 선충류는 0.25~1.0kGy의 방사선에 의해 완전히 사멸시킬 수 있다(12). 이 때 이용되는 조사선량은 아주 낮아 식품의 영양성분이나 물리적 특성에는 거의 영향을 주지 않는 방법이다. 미국 FDA는 돼지고기의 기생충(선모충) 구제를 위하여 1.0kGy 이하의 감마선 조사를 허가하였으며(7), 육류 가공업에 필수적인 처리과정으로 인식되어 가고 있다. 이 분야의 기술은 최근 위생적 품질이 강조되고 있는 고급 채소류, 생선, 날고기 등의 소비가 증가됨에 따라 실용화를 위한 연구개발이 기대된다.

닭고기, 어패류, 가공식품 등의 병원균 사멸

방사선병원균살균(radicidation) 효과에 의하여 식품에 오염된 식중독균, 경구전염병균, 무아포성 병원균 등을 중선량(中線量)의 감마선 조사에 의해 사멸시키는 분야이다(6,12). 식인성 질병(foodborne disease)은 식품을 매체로 전염될 수 있으며, 특히 가금육은 *Salmonella*, *Campylobacter* 등 병원성 미생물의 오염도가 매우 높아 식인성 질병의 대표적인 원인식품이 되고 있다. 식인성 질병의 발생은 대부분의 국가에서 국민보건 및 생산성에 큰 영향을 미치고 있다. 예로써 1985년 미국에서 발생된 선모충병(trichinosis), 주혈원충병(toxoplasmosis), salmonellosis 및 campylobacteriosis의 발생은 연간 15억불 이상의 경제적 손실을 가져왔다고 보고되었다(15).

WHO(1991)는 식품에 오염된 비브리오 콜레라균의 사멸을 위해 감마선 조사방법을 추천한 바 있다(16). 또 최근 소비량이 급증하고 있는 치즈, 가공육, 셀러드 등의 즉석식품에도 *Listeria monocytogenes*의 오염이 확인된 바 있어 listeriosis의 발병 예방에 깊은 관심이 요구되고 있다. 특히 1993년 1월 미국 서부지역의 한 restaurant에서는 *Escherichia coli* O157:H7이 오염된 햄버거를 판매하여 2명

의 어린이가 사망하고 4백여명의 입원 환자가 발생하는 사건이 있었다(17). 이에 따라 병원성 미생물 오염에 대한 사회적 경각심이 크게 제기되었으며, The American Meat Institute에서는 즉각 방사선 조사에 의한 *E. coli*의 사멸효과 확인과 소비자 여론조사를 실시하였고, 1994년 7월 Isomedix사는 식육(red meats)의 방사선 조사 허가를 FDA에 신청하게 되었다(8).

특히 1993년 9월부터 감마선 조사된 가금육은 위생적 품질을 보증할 수 있는 식품으로 인식되면서 Florida 및 Illinois의 소매가게에서 성공적으로 판매된 이후 최근에는 병원, restaurants 및 일반 유통단계에 까지 보급되고 있다(8). 이와 같이 병원성 미생물들은 감마선에 대하여 비교적 저항성이 낮아 3~7kGy 범위의 조사선량에 의해서도 완전사멸이 가능하므로 위생적 식품생산에 적극적인 활용이 기대되는 분야이다.

동식물성 (가공)식품, 딸기 등의 부패균 감균처리

방사선부분살균(radurization) 효과에 의해 여러가지 식품 즉 선어, 수산가공품, 축육(가공품), 딸기 등에 다양하게 오염되어 있는 세균, 효모, 곰팡이 등 부패성 미생물의 수를 효과적으로 감소시켜 보존기간 또는 냉장기간을 연장시키는 방법으로서 0.5~5kGy 범위의 방사선 조사선량이 요구된다(12). 국내에서는 닭고기, 튀김생선어묵, (건)어류, 수산 등에 연구를 시도하여 상당한 효과를 확인한 바 있으며(6), 이 분야는 최근 cold chain의 보급에 따라 식품공업에서 크게 활용될 전망이다.

건조항신료, 조미료, 분말식품 등의 위생화 처리

식품가공 부원료로 사용되는 항신료, 조미료, 전분, 건강식품류 등은 원료의 전처리나 제조과정 중에 미생물 오염이 발생되므로 최종제품이 품질기준에 적합하기 위해서는 살균 또는 감균처리가 요구되고 있다. 식품공업에 있어서 대부분 미생물 품질기준을 보면 대장균군은 음성, 일반세균은 $10^3 \sim 10^4/g$ 정도이다. 근년까지 식품공업에서는 ethylene oxide 훈증법이 살균방법으로 이용되었으나 그 잔류성분의 위해성때문에 국내에서도 이미 사용이 금지되었다('91. 7. 1). 그러나 이를 대체할 수 있는 방법이 확보되지 못한 실정이나 그 동안의 연구결과 기술적 타당성이 인정된 감마선 조사방법이 1988년 사용 허가된 바 있고(4), 그 후 감마선 조사실적이 증가되고 처리품목과 이용업체 수도 늘어나는 실정이다(18). 방사선 조사에 의한 건조식품류의 위생화 처리는 식품조사기술 분야의 가장 대표적인 실용화 분야로서 동물사료의 살균처리는 물론 국가간

교역에 있어서도 여러가지 식품의 품질관리에 활용될 수 있는 효과적인 기술로 평가되고 있다(6).

환자용 무균식, 우주식품 등의 완전살균

방사선완전살균(radappertization) 분야로서 피조사체 식품에 오염된 virus를 제외한 모든 미생물을 사멸시키는 제품이다. 이 분야에는 미생물의 오염농도에 따라 10~50 kGy의 고선량 조사가 요구되며, 장기보관용 군용식품인 햄, 베이컨 등 밀봉 포장식품과 국내에서도 허가된 병원환자용 무균식 즉, 면역기능이 약화된 환자용 식품 등이 해당된다(12). 또한 실험동물용 무균사료(specific pathogens-free, SPF 또는 germ-free 등) 제조나 우주인 식품 등은 완전 무균상태가 요구되므로 선진국에서는 이미 오래 전부터 우주계획에서도 감마선 조사식품이 활용되고 있다(7).

감마선 조사의 이용 한계

감마선을 포함한 방사선 에너지의 식품에 대한 이용은 타 가공 및 저장방법과 마찬가지로 이용에 한계성을 지니고 있다. 특히 우유나 유제품은 방사선 조사시 유지방의 산패와 더불어 산패취 발생이 심하므로 적용이 불가능하다. 이와 같이 고지방질 식품에 어떤 목적에서든 고선량의 방사선을 특히 상온과 공기존재하에서 처리하면 지방의 산화촉진 현상이 발생되어 관능적 품질변화를 초래하게 된다. 그러나 육류, 생선 등은 산패현상을 감소시키기 위하여 저온 및 탈기(또는 질소치환) 조건에서 방사선을 조사함으로써 품질변화를 줄이면서 효과를 달성하기도 한다. 또 일부 과채류는 조직연화 현상이 발생되며, 인공색소류 중에는 방사선 조사에 대하여 불안정성을 나타내는 것이 있어서 일부 가공식품의 경우에는 방사선의 적용이 불가능하다(6,12).

照射食品의 안전성과 표시규정

FAO/IAEA/WHO 방사선조사식품 공동전문위원회(Joint Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, JECFI, 1980)(1)에서는 조사식품의 안전성에 대한 국제적 평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 공표하게 되었다. 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”는 결론을 내렸다. Codex 식품규격위원회(1983)(2)



그림 2. 照射食品에 대한 국제적 표시

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)(19)는 식품조사에 대한 입장발표에서 “설정된 모범제조규범에 따라 처리된 방사선 조사식품은 독성학적, 미생물학적 및 영양학적으로 안전하다고 재확인”한 바 있다.

방사선 조사식품에 대한 Codex 일반규격(2)에 따르면 식품의 방사선 조사는 각국에서 허가한 식품에 대하여 허가된 조사시설에서만 실시하며, 이 때 총 평균 흡수선량(overall average dose)은 10 kGy를 초과할 수 없다고 하였다. 또 조사식품을 수송할 경우에는 송장(送狀)에 방사선 조사시설명, 조사 년월일, 품목 확인번호, 수량 등이 기록되어 있어야 하며, 포장식품의 경우에는 규정에 따라 표시(labeling)를 의무화하고 있다. 국내의 경우에도 유사하게 식품에 대한 감마선 조사가 허가 고시되면서 조사된 식품에 대하여는 용기 또는 포장에 그림 2와 같은 도안을 직경 5cm 이상의 크기로 표시하도록 규정하고, 조사업자는 처리식품의 조사 년월일, 시간, 처리량, 조사선량, 선량보증, 조사목적 등의 기록을 2년간 보존토록 하고 있다(4).

또한 개정고시안은 조사식품에 대한 감마선 제조사는 허용되지 않는다고 규정하고 조사식품은 용기에 넣거나 포장하여 판매되어야 한다고 규정하였다. 미국 FDA의 조사식품에 대한 표시규정(20)을 보면 소매단계에서는 그림 2와 같은 마크와 “treated with radiation” 또는 “treated by irradiation”을 함께 기재하도록 하고, 도매단계에서는 “treated with radiation-do not irradiate again” 또는 “treated by irradiation-do not irradiate again”을 필수적으로 표시토록 규정하고 있다.

照射食品의 허가 및 실용화 현황

세계적으로 40여개국이 식품의 방사선 조사와 관련된

표 5. 방사선 조사식품의 허가 및 실용화 국가현황(1996. 10)

허가 식품(군)	허가국수	실용화국수('96)
구근류 (감자, 양파, 마늘 등)	31	10
신선 과실류	16	5
신선 채소류	11	2
건조 과실류	13	2
건조 채소류	13	6
향신 및 조미류	28	20
향초류	9	3
곡 류	15	4
두 류	25	4
신선 식육	1	1
가공 육제품	5	1
가금육	13	5
신선 어류	12	4
수산가공품	5	4
무균식	4	4
가공식품	6	3
기 타	11	4

허가 또는 금지 규정을 가지고 있다. 이들 나라중 한품목 또는 여러 종류의 식품(군)에 대하여 방사선 조사를 허가한 국가는 39개국에 이른다(7). 연대별 허가추세는 1960년대까지가 미국, 영국, 구소련 등 8개국, 1970년대에는 일본, 프랑스, 이탈리아, 남아공 등 10개국, 1980년대 이후에는 우리나라를 포함한 아르헨티나, 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(7).

이들 39개 국가들이 허가하고 있는 식품류들은 약 115개 식품(군)으로서 대부분의 식품을 포함하고 있으나 우유나 유제품은 거의 제외되고 있다. 주요 식품(군)별 허가국

및 실용화 국가수는 표 5와 같다. 허가식품류 가운데 감자, 양파, 마늘 등 발아·발근억제 대상식품인 근채류 농산물의 허가국이 가장 많고 그 다음이 향신료를 포함한 건조식품의 허가 및 실용화가 활발하다(7).

한편 국내에서도 1980년대에 접어들면서 방사선 조사식품의 안전성과 건전성에 대한 FAO/IAEA/WHO의 공식입장이 발표되면서 실용화를 전제로한 연구가 본격화되었다. 국내에서 수행된 주요 연구내용은 표 6에 요약된 바와 같이 식품의 발아·발근억제, 성장조정, 속도지연, 살충, (부분)살균, 신선도 및 저장수명 연장, 물성개선, 위생화, 감마선 감수성, 품질개선 등 감마선 에너지의 처리에 따른 이화학적, 미생물학적 품질특성에 대한 연구가 대부분 수행되었다(6).

이상의 연구결과와 관련 국제기구의 기술적 제도적 뒷받침을 바탕으로 하여 우리나라 정부에서는 1987년 이래 4차례에 걸쳐 감자, 양파, 마늘, 밤, 생버섯 등 신선 식품류에 대한 성장 및 속도조정을 목적으로 1kGy 이하의 감마선 조사를 허가하였고, 동시에 건조 식품류에 대한 살균, 살충 등 위생화를 위하여 10kGy 이하의 감마선 조사를 허가하였다(4). 이상의 허가식품류에는 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 다양한 식품군이 포함되어 있다. 따라서 식품의 방사선 조사기술은 이제 식품산업에서 빼놓을 수 없는 핵심 저장·가공기술로 등장하게 되었다.

각 국가별 식품수요의 특성에 따른 상업적 실용화 현황은 표 8과 같이 향신료 및 관련제품과 건조식품류가 대부분을 차지하고 있다(21). 최근 IAEA의 발표자료에 의하면 세계적으로 1992년의 향신료 조사량은 그림 3과 같이 약 2만톤 수준이었으나 1994년에는 4만톤 수준으로 급속히

표 6. 감마선을 이용한 국내 식품연구 현황(1960s-1996)

식품군	품목	연구내용
신선채소류	감자, 양파, 마늘, 고구마, 토마토, 딸기 등	발아억제, 선도유지 등
신선과실류	밤, 사과, 배, 포도, 귤, 복숭아 등	발아억제, 선도유지 등
버섯류	양송이, 건표고 등	성장조정, 살충 등
곡 류	쌀 등	살충, 안전성 등
두 류	대두, 검정콩 등	물성개선, 가공적성 등
옥수수	전분추출용	전분추출, 물성개선
건조 향신료/ 향초류/채소류	고추, 후추, 양파, 마늘, 파, 생강, 당근, 시금치, 인삼 등	살균, 살충, 물성개선, 안전성, 효능 등
발효식품	김치, 장류분말 등	신선도 연장, 위생화 등
육류/제품	닭고기, 소고기, 돼지고기, 햄, 소시지 등	저장수명 연장, 위생화 등
어류/수산가공품	선어, 건어, 김, 어묵, 한천, 열장미역 등	부분살균, 살충, 위생화, 물성개선, 저장수명 연장 등
맥아 등 기타	미생물, 기생충, 해충, 효소	방사선 감수성, 역가 등

증가되고 있음을 알 수 있다(22). 실용화 국가중 표 8에 나타나지 않은 국가는 덴마크, 인도네시아, 이란, 멕시코, 영국 등이며, 상업적 실용화 국가중 연간 1만톤 이상의 식품을 방사선 조사하는 나라는 우크라이나, 네덜란드, 남아프리카 공화국, 벨기에, 프랑스, 일본, 중국 등으로 알려지고 있다(21).

세계적으로 방사선 처리식품의 전체량은 정확히 파악되지 않고 있으나 1990년을 기준으로 약 50만톤이었다. 그러나 다목적용 照射施設의 수가 10여기 증가되고 식품살균 및 살충용 화학약품의 사용이 금지되는 추세였기 때문에 처리물량은 크게 늘어났을 것이다. 캐나다에서는 연간 3,000톤의 향신료를 상업적으로 照射하고 있으며, 중국에서는 최근 4만톤 이상(마늘 2만톤 포함)의 감마선 조사식품을 자국내 시장에 판매한 바 있다(7). 국내의 경우에도 감마선 조사시설의 이용업체수가 1990년 80여 업체였던 것이 1995년에는 200여 업체로 크게 증가된 것을 보면 기

술수요가 증가되고 있음을 알 수 있으며, 이와 더불어 감마선 조사식품의 품목 및 양적 증가도 쉽게 예상할 수 있다(그림 4, 5)(23).

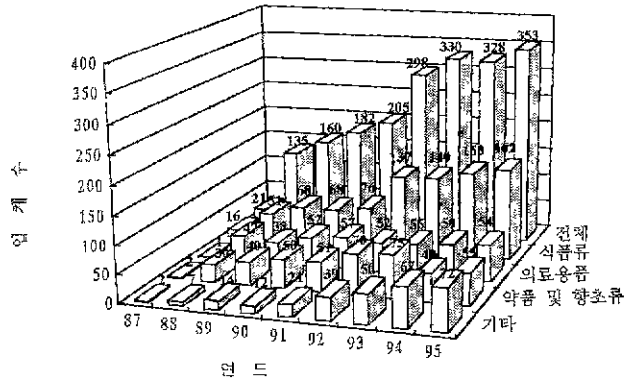


그림 4. 국내 감마선 조사시설 이용 현황

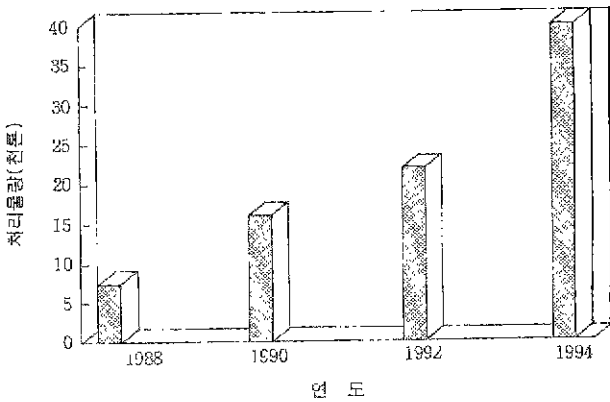


그림 3. 세계 향신료 및 식물성 조미료의 감마선 조사실적

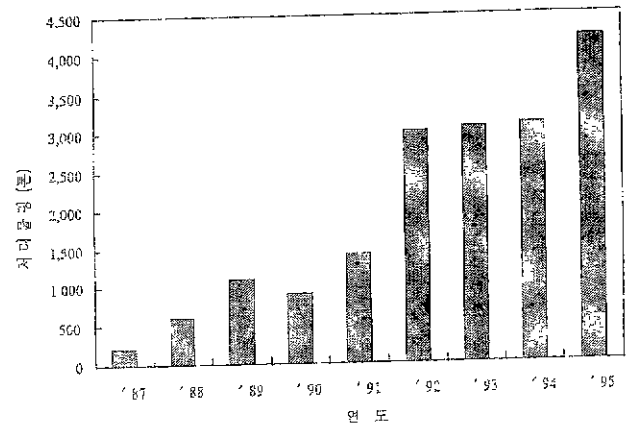


그림 5. 국내 감마선 조사식품 년도별 생산 추이

표 7. 국내 감마선 조사 허가 식품 (1996. 12. 현재)

품 목	조 사 목 적	허가 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, 숙도 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	

照射食品의 소비자 수용성

소비자의 선입견

식품에 방사선을 조사한다고 하면 소비자들은 그 목적과 혜택을 생각하기에 앞서 먼저 피조사체 식품이 방사능(radioactive)을 띠지나 않을까 의심하는 응답자가 많다. 특히 1986년 구소련의 Chernobyl 원자력발전소 사고 이후 방사능이 오염된 식품은 국제교역에서 큰 이슈가 되기도 하였으며, 상당수의 소비자들은 아직도 방사선조사식품(irradiated foods)과 방사능오염식품(radionuclides-contaminated foods)을 혼동하면서 원자력 발전이나 핵무기 등과 연계하여 생각하는 경향이 있다(32~78%). 또한 소비자들은 식품에 방사선을 조사하게 되면 맛, 냄새등 관능적 품질에 변화가 초래되어 영양가의 손실이 클 것으로 생각한다. 특히 조사식품의 독성학적 안전성과 작업자의 안전, 조사시설 주변 주거지역의 안전성 등에 대하여 큰 우려를 보이면서 식품의 방사선 조사에 대한 막연한 인식으로 방사선 조사식품의 수용을 거부하게 된다.

이상의 일반적인 선입견은 방사선 조사기술이 단순히 원자력 관련기술이란 이유와 일부 반대자들의 조직적인 운동

에서 비롯될 수 있다. 그러나 우리는 식품공업에 이용되고 있는 여러가지 저장·가공기술의 경우와 마찬가지로 그 기술의 본질과 과학적 연구결과를 바탕으로 서로 비교평가하는 자세를 가져야 한다. 여기에는 식품의 품질에 대한 처리효과 뿐만아니라 부작용으로 발생하는 품질변화를 포함하게 된다. 즉, 모든 식품저장·가공방법들은 나름대로의 장단점 즉, 양면성을 지니고 있으므로 단점을 최소화하고 장점을 최대화하는 범위에서 이용하는 것이 바람직하다(24~27).

照射食品 시험판매 및 소비자 반응

식품조사기술이나 조사식품에 대한 소비자들의 반응은 반대자(rejectors), 관망자(undecided persons) 및 수용자(acceptors)로 크게 구분할 수 있다. 이 때 반대자들은 일반적으로 가공되지 않은 신선한 상태의 식품만을 먹겠다는 생각을 가지고 있다. 그러나 대부분의 소비자들은 관망적인 자세로서 찬성이나 반대의 의사표시를 유보하고 있다. 즉, 이들은 식품조사에 대한 지식이나 이해가 부족한 상태에서 확실한 입장표명을 유보하고 있는 상태이다. 하지만 관망자들은 부분적이나마 방사선 조사식품의 안전성, 품

표 8. 세계 여러나라의 방사선 조사 식품류

국 가	처 리 식 품
Argentina('88)	향신료, 코코아분말, 시금치
Belgium('88)	향신료, 건채류, 냉동식품, 새우
Brazil('88)	향신료
Canada('94)	향신료
Chile('93)	양파, 감자, 건채류, 닭고기
China('93, '94)	감자, 마늘, 사과, 쌀, 담배
Cuba('88)	감자, 양파
Finland('88)	향신료
France('93)	향신료, 조미료, 닭고기, 카페인, 개구리다리, gum arabic, 건조과실, 새우, egg white, 향초류, 건조혈장, bovine colostrum, 아몬드, pistachios, hazel nuts, cereal flakes, 건화, 목재류 등
Hungary('93)	향신료, 향초류, 기타
Israel('88)	향신료
Japan('93)	감자
Korea('96)	건조버섯, 건과, 건양파, 고추분말, 마늘분말, 후추분말, 생강분말, 건조식육, 어패류분말, 된장/간장/고추장 분말, 전분, 인삼, 효소, 효모
Netherlands('94)	향신료, 냉동식품, 가금육, 건채류, egg powder
Norway('88)	향신료
South Africa('93)	향신료, 과일류, 감자, 양파, 건채류, nuts, 꿀, 건조곡류
Thailand('88)	양파, 발효소시지
U.S.A.('93, '94)	향신료, 딸기, 양파, 주스오렌지, 버섯, 가금육등
Ukraine('88)	향신료
Yugoslavia('88)	

*본 도표에서 향신료는 herbs와 vegetable seasonings을 포함.

질, 영양가 등에 관심이 있다고 볼 수 있다. 또 수용자들의 경우에는 식품조사기술 자체를 이해하고 조사식품의 안전성 및 영양적 특성을 포함한 건전성(wholesomeness)을 수용하고 있다.

이들은 정부나 국제기구에 의한 식품안전 관련정책 결정이 소비자의 입장에서 이루어진다고 신뢰하고 있으며, 식품공업에 광범위하게 사용되어온 화학약품처리(훈증제, 보존제, 농약, 생장조절제 등)의 위해성과 그 대체방안에 대한 현실적인 생각을 가지고 있다고 본다. 따라서 소비자 설문조사에서 나타났듯이 응답자들은 화학약품 처리 식품보다는 방사선 조사식품에 대하여 높은 선호도를 보이고 있으며, 이는 식품조사기술에 대한 사실에 입각한 정보의 제공과 연구결과의 뒷받침에서 비롯되었다고 볼 수 있다.

그러나 지금까지 방사선 조사식품의 수용과 관련되어 야기되고 있는 제반 문제들은 이해부족, 감마선 조사표시(labeling)가 없는 조사식품들이 유통되고 있다는 사실들에서 출발하여 각종 소비자 설문조사, 소비자 관련단체들의 반대의견 제시 등으로 이어져 쉽사리 진정되지 않을 것으로 본다. 대개 소비자들은 식품가공 방법보다는 가공식품의 품질에 더 큰 관심을 가지는데 익숙해져 있다. 따라서 방사선 조사식품의 소비자 수용성 문제는 照射表示가 부착된 식품이 시장에서 직접판매됨으로써 진정한 해결을 기대할 수 있을 것이다. 설문조사에서 응답자의 70~86%는 방사선 조사식품이 표시되기를 희망하였는데, 이는 소비자에게 식품의 선택기회를 제공함은 물론 품질을 인정받는 수단으로도 인식될 수 있을 것이다.

방사선 조사식품의 시험판매(market tests)는 1984년 이후에도 14개국 이상에서 대규모로 실시되었다. 이 때 각각 시험판매된 조사식품의 양은 kg수준에서 부터 12,000톤 이상에 이르기까지 광범위하였다. 1986년 아르헨티나에서는 양파, 마늘 및 마늘분말의 시험시판에서 소비자들은 어떠한 거부의사도 나타내지 않았으며 90% 이상의 소비자들은 감마선 조사 양파를 다시 구입하고 싶다고 하였다. 중국에서는 조사식품의 대규모 시험판매가 이루어졌다. 감마선 조사된 고구마 주정 12,478톤, 소시지 200톤, 사과 500톤, 감자 800톤, 양파 1,250톤, 마늘 4,200톤, 고추(제품) 200톤, 굴 35톤, 배 5톤 등이 4~6년에 걸쳐 시험판매되었고, 그 결과 소비자들은 조사식품을 선호하였다고 한다.

프랑스의 Lyon에서는 1987년과 1988년 2회에 걸쳐 3~10톤의 조사 딸기를 시험판매하였는데 더 비싼 가격에도 불구하고 소비자들은 조사된 딸기를 선호하였다. 태국의 소비자들은 발효소시지(Nham)에 대한 판매시험에서 높

은 가격에도 불구하고 10 : 1 의 비율로 위생적 품질이 보장된 조사된 소시지를 선호하였으며, 95%이상의 소비자가 조사 소시지를 다시 구입하고 싶다는 반응을 보였다. 미국에서는 감마선 조사 사과와의 시험판매에서 소비자들은 방사선 조사된 과실이 더 높은 값으로 판매되었으나 우수한 품질을 이유로 구매 선호도를 나타내었다. 1991년 Florida에는 식품조사 시설이 건설되어 신선 과채류를 대상으로 상업적 조사가 실시되었으며, 감마선 조사된 딸기, 양파, juice orange, 버섯 등은 1992년 1월부터 Illinois와 Florida에서 시판되고 있다. 소비자들은 9 : 1 정도로 조사하지 않은 딸기에 비해 감마선 조사된 딸기에 대해 높은 구매 선호도를 보였고, 1993년도에는 20 : 1 정도로 구매도가 높아졌다고 한다. 또한 1993년 9월부터는 감마선 조사된 닭고기가 labelling되어 성공적으로 판매되고 있다(28~34).

지금까지 국내에서는 표 9의 결과와 같이 3회 내외의 소비자 설문조사(18)가 이루어졌을 뿐 감마선 조사식품에 대한 판매시험은 이루어지지 않았다. 그러나 20여개국에서 실시된 40여회의 시험시판과 상업적 판매 결과를 종합해 볼 때 58%의 시험에서 소비자들은 방사선 처리보다는 처리식품의 품질에 더 관심을 보였고, 42%의 시험에서는 소비자들이 조사식품에 대해 제 구매의사를 나타내었다. 특히 어떠한 시험에서도 소비자들은 조사식품의 구매를 거부하겠다는 결론은 나오지 않았다(20).

식품 마케팅 성향과 감마선 조사기술의 역할

최근 소비자들의 식품구매 성향은 신선하고 위생적인 식품을 언제든지 구입하고 싶어한다. 이는 신선과채류나 냉동·냉장식품류의 소비증가와 통조림 식품류의 수요감소로서 잘 나타나고 있다. 이와 같이 가능한 신선하고 위생적인 식품이 공급되기 위해서는 수입식품의 증가와 효과적인 저장·가공기술의 이용이 필수적이라 하겠다.

감마선 조사기술은 식품저장·가공기술의 하나이지만 응용분야가 광범위하고 처리효과가 분명한 장점을 지니고 있어서 21세기의 신기술로 전망된다. 이와 같은 기대는 소비자 의식조사, 시험판매, 식품마케팅 경향 및 “혁신의 확산(Diffusion of Innovation)” 이론연구에서도 뒷받침되고 있다. 특히 본 기술은 우수한 살균·살충효과를 바탕으로 ; i) 위생적 품질이 향상된 식품을 공급하게 됨으로써 식인성 질병의 발생을 줄일 수 있고, ii) 수확된 식품을 경제적인 조건에서 신선한 상태로 오래 보존시킴으로써 저장손실을 줄여 이용성 및 부가가치를 증대시킬 수 있으며, iii) WTO 체제하의 식량교역에서 동식물 검역처리 기술

(guarantine treatment)로 활용이 가능하므로, 지역간 다양한 식품의 공급과 우리 식품의 대외경쟁력 제고가 가능하다. 또한 식품조사는 식품가공·저장용 화학약품의 사용의존도를 줄일 수 있는 대체기술로서 기술적, 경제적 타당성이 인정되고 있으므로 국내의 식품산업에서 실용화 확대가 전망된다(35~38).

당면과제 및 연구개발 방향

식품조사는 식량의 수확후 손실감소/이용률 증대, 식품의 위생적 품질확보 및 일부 식품의 교역 증대를 위한 효과적인 기술로 인식되면서 국내외적으로 관심이 되고 있다. 지난 40여년 동안 수행된 조사식품의 안전성과 기술적 타당성에 대한 연구결과는 식품산업에서의 본 기술의 실용성을 잘 뒷받침 하고있다. 그러나 식품조사기술의 실용

화에 있어서는 소비자의 이해가 선행되어야 하므로 무엇보다도 현행 식품가공·저장 방법의 장단점과 식품조사 기술의 특징이 사실에 근거하여 정확하게 비교, 홍보되어야 할 것이다. 특히 감마선을 이용한 식품 분야의 연구개발은 대부분 정부주도로 추진되었으므로 효과적인 홍보 및 소비자 교육을 위해서는 정부기관, 소비자 단체, 식품가공/제조업자, 도매/소매업자 등의 적극적인 협력이 요구된다.

식품조사 분야의 앞으로의 연구개발 방향은 국민의 보건향상과 안정적 식량공급의 차원에서, 국내 식품산업 구조에 적합한 기술적/경제적 타당성 및 이용확대 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 필요하다고 본다. 또한 식품조사기술의 건전한 정착과

표 9. 감마선 조사식품에 관련된 한국 소비자들의 설문조사 내용 및 결과

연구자 (발표년도)	응답자비(%)	설문조사 내용 및 결과
한국부인회 (1988)	41	식품의 방사선 조사에 대하여 들어본 적이 있다
	78	식품에 방사선을 조사하면 방사능이 생겨 유해하다고 본다
	89	방사선 조사식품은 구입하지 않겠다
	79	방사선 조사는 식품의 보존기간을 연장하므로 경제적이지만 구입하지 않겠다
	66	FAO/WHO 등 국제기구에서 안전하다고 발표하여도 방사선 조사식품은 구입하지 않겠다
	80	방사선 조사식품의 반대 캠페인에 호응하겠다
Kwon, Byun & Cho (1992)	82	식품의 방사선 조사에 대하여 들은 적이 있다
	44	한국정부가 식품의 방사선 조사를 허가한 사실을 알고 있다
	37	방사선 조사식품을 구입하겠다
	51	조사식품의 구입여부를 결정하기 위해 정보가 필요하다
	33	방사선 조사식품은 안전하다고 믿는다
	51	조사식품이 안전한지 의심스럽다
	16	조사식품의 안전성에 대하여 아는 바 없다
	9	가공식품중 무조건 값이 싼 것을 구입하겠다
	13	가공식품중 화학약품처리 식품을 구입하겠다
	35	가공식품중 방사선 조사식품을 구입하겠다
	71	방사선 조사식품의 실용화 지연은 홍보부족 때문이다
60	건멸치의 위생적 품질향상 및 보존을 위해 방사선을 조사하였을 경우 구입하겠다	
소비자문제연구 시민모임 (1993)	55	식품에 방사선을 조사한다는 사실을 알지 못한다
	79	식품 방사선 조사는 들은 적이 있지만(45%) 정확히 모른다
	58	식품에 방사선을 쬐이면 영양성분이 파괴된다고 본다
	16	식품의 방사선 조사를 반대한다
	38	조사식품에 대하여 부정적이나 안전성과 효과가 증명되면 찬성하겠다
	53	방사선 조사된 수입 과일은 구입하지 않겠다
70	라면수프가 방사선조사되었을 경우 라면을 구입하지 않겠다	

*설문조사의 응답자 비율(%)은 반올림한 수치임.

조사식품의 수용성 증대를 위해서는 조사표시(labeling) 규정의 준수를 유도할 수 있는 조사식품 확인기술(identification methods of irradiated foods)의 개발이 요구되며, 이로서 국내 유통질서 확립은 물론 국가간 조사식품 교역에도 적극 활용될 수 있는 기술 마련이 필요하다(39~41).

결 론

오늘날 식품가공에 광범위하게 활용되고 있는 통조림, 저온살균, 마이크로 웨이브 등의 기술도 본격적인 실용화에 앞서 몇 십년의 연구개발 및 적응기를 가졌다. 1980년대 이후 방사선 조사식품의 안전성과 기술의 타당성이 WHO를 비롯한 관련 국제기구와 여러국가의 보건당국 및 과학단체들에 의해 인정됨에 따라 새로운 식품저장·가공방법으로서 식품조사기술의 이용이 증가 추세에 있다.

이 같이 식품산업에 있어서 식품조사기술의 실용화가 세계적으로 점차 확대되고 실용화 잠재력이 크게 기대되는 이유로는 ;

첫째, 식품의 살균, 살충에 사용되어온 화학 훈증제(ethylene oxide, methyl bromide 등), 농약 등의 사용이 세계적으로 점차 금지되고 있고, 국가간 교역에서도 품질규격이 더욱 엄격해질 전망이다기 때문이다.

둘째, 식품조사 시설은 의료용품 멸균 등 산업적으로 다용도로 활용될 수 있기 때문에 조사시설의 건설은 세계적으로 증가되고 있으며, 따라서 언제든지 이용이 용이하기 때문이다.

셋째, 소비자들은 식품의 위생적 측면을 더욱 중요시할 것이고, 특히 개발도상국으로부터 수입되는 가공식품 원료의 수요가 증가될 것이므로 새로운 가공 및 품질관리 기술의 필요성은 더욱 증대될 전망이다기 때문이다.

특히 최근 선진국에서는 식품조사기술을 이용하여 위생적 식품생산과 시장개방화에 대비한 검역처리기술 확보에 적극 노력하고 있음은 식품조사기술의 중요성과 개발 잠재력을 충분히 뒷받침해 주고 있다. 따라서 본 기술의 국제적 실용화 추세를 감안하여 보다 적극적이고 긍정적인 자세로 연구개발과 실용화에 임한다면 소비자의 안전과 이익을 보장하고 나아가 식품산업의 건전한 발전을 위한 새로운 기술의 정착을 기대할 수 있을 것이다.

문 헌

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. Cottee, J., Kunststadt, P. and Fraser, F. : Commercialization of food irradiation in the U.S.A. *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 669~672(1995)

4. 대한민국 보건복지부 : 식품 방사선 조사기준 및 규격개정 (1995. 5. 19)

5. UNEP : Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. *1994 Report of the methyl bromide technical options committee*(1995)

6. Kown, 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. ICGFI : Summary report on eleventh meeting of the international consultative group on food irradiation. Denpasar, Bali, Indonesia, 2-4 November(1994)

8. Cottee, J. : Food irradiation : Recent progress and current status. Paper presented at 5th Nordion gamma processing seminar, Canada, 26-29 September(1995)

9. 권중호 : 전리방사선의 식품에의 이용. *식품과학과 산업*, **22**(2), 74~83(1989)

10. Brynjoifossn, A. : Food-energy-developing countries-food irradiation. *IAEA-SM-250/26*, 421(1981)

11. 변명우, 이철호, 조한옥, 권중호, 양호숙 : 방사선 조사와 자연저온에 의한 말아식품의 batch scale 저장에 관한 연구. 제 2보. 조사감자의 장기간 저장 후 potato chip 가공적성에 대하여. *한국식품과학회지*, **14**(4), 364~369(1982)

12. Josephson, E. S. and Peterson, M. S. : *Preservation of food by ionizing radiation*, Vol. I-III, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida(1983)

13. Shipp, E. : Radiation entomology in food preservation. proceedings of national symposium on ionizing energy treatment of food, Sydney, 5-6 October(1982)

14. 변명우, 권중호, 차보숙, 정규희, 조한옥 : 곡류의 해충구제를 위한 감마선의 이용. *한국농화학회지*, **31**(2), 143~146(1988)

15. Morrison, R. M. and Roberts, T. : Food irradiation : New perspectives on a controversial technology. Office of technology assessment, Washington, D.C.(1985)

16. WHO : A statement by the global task force on cholera control to the 44th world health assembly, May 10, world health organization, Geneva(1991)

17. Derr, D. D., Engeljohn, D. L. and Griffin, R. L. : Progress of food irradiation in the United States. *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 681-688(1995)

18. 권중호 : 방사선 조사식품과 소비자 수용성. *식품공업*, **131**, 25-43(1995)

19. 김용문 : 식품조사에 대한 WHO의 입장. *식품위생안전성연구*, **9**(1), S13-S16(1994)

20. FDA : Irradiation in the production, processing, and handling of food, final rule. Department of health and human

- services Part III, Fedral Register, 21 CFR part 179, 18 April(1986)
21. Marcotte, M. : Commercial irradiation of food and agricultural commodities, market tests and consumer attitude research-summary tables. Nordion international Inc., June(1994)
 22. IAEA : Food irradiation newsletter, 20(1), 2-58(1996)
 23. 그린피아기술(주) : '87-'95 감마선 조사관련 자료(1996)
 24. Bruhn, C. M., and Shutz, H. G. : Consumer awareness and outlook for acceptance of food irradiation. *Food Technol.*, 43(7), 93-97(1989)
 25. Weaver, V. and Marcitte, M : Food irradiation and consumer education-The role of food and health professionals. Presented at the 6th international meeting on radiation processing, Ottawa, Canada, 31 May-5 June(1987)
 26. Schutz, H. G., Bruhn, C. M., and Diaz-Knauf, K. N. : Consumer attitude toward irradiated foods-Effects of labelling and benefits information. *Food Technol.*, 43(10), 80-86(1989)
 27. IAEA : Test market of irradiated strawberries in France. Food irradiation newsletter, 11, Sept.(1987)
 28. Prachasittisak, Y., Pringsulaka, U. and Chareon, S. : Consumer acceptance of irradiated Nham fermented pork sausage. Office of atomic energy for peace, Bangkok, Thailand(1989)
 29. Terry, D. : Market test of irradiated apples, Central Missouri state university. Personal communication(1988)
 30. Qixun, C., Peishu, X., Hao, C., Lihua, C. and Shaobin, D. : Test marketing and consumer acceptability of irradiated foods in China. Excerpt from a paper presented at the Second FAO/IAEA Research co-ordination meetng on Asian regional co-operative project on food irradiation, acceptance and process control (RPFI-Phase III), Jakarta, Indonesia, 15-19 July(1991)
 31. Marcotte, M. : Irradiated strawberries enter the U. S. market. *Food Technol.*, 46(5), 80-86(1992)
 32. Pszczola, D. : Irradiated produce reaches Midwest market. *Food Technol.*, 46, 89-92(1992)
 33. Pszczola, D. : Irradiated poultry makes U. S. debut in Midwest and Florida markets. *Food Technol.*, 47(11), 89-96 (1993)
 34. Reuter : Irradiated chicken selling briskly, 3 Sept.(1993)
 35. Malone, J. W. Jr. : Consumer willingness to purchase and pay more for potential benefits of irradiated fresh products. *Agribusiness*, 6(2) (1990)
 36. Carrot Top Newsletter : Northbrook, Illinois, United States (1992)
 37. Rogers, E. : *Diffusion of innovations*, MacMillan publishing (1983)
 38. Anon. : Food safety. Report of the working group in international symposium on cost/benefit aspects of food irradiation process, Aix-en-Provence, France, 1-5 March (1993). in *food irradiation newsletter*, 17(2), 4(1993)
 39. Kwon, J. H. : Advances in food irradiation and its potential roles in Korea. *J. Food hygiene and safety*, 9(1), S35-S49(1994)
 40. 권중호 : 식품조사의 국제적 허가현황 및 실용화 전망. *식품공업*, 133, 18~49(1996)
 41. Henon, Y.M. : Food irradiation in prospective. *Radiat. Phys. Chem.*, 46, 647-651(1995)