

# 식품 및 공중보건산업에서 방사선 조사기술 이용 국내·외 현황

변명우 · 육홍선

한국원자력연구소 방사선 식품·생명공학 연구팀

## Internal and External Situation of Irradiation Technology Utilization in the Food and Pubic Health Industry

Myung-Woo Byun and Hong-Sun Yook

Radiation Food Technology and Bioscience Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-353, Korea

### I. 머리말

최근 식품 및 의료, 제약, 화장품 등 공중보건관련 산업의 발전은 도시의 인구집중화와 서구식의 의식주생활 다변화로 급속하게 발전해 왔으며, 특히 편의제품을 중심으로 그 수요가 급증함에 따라 이들 제품을 생산하는 산업체들은 대량 생산체제와 함께 고속 생산체제로 접어들게 되었다. 그러나 이들 산업에 있어서 대량생산과 고속 생산체제는 미생물을 비롯한 유해 유기체의 오염기회를 보다 가중시키게 되었으며, 국내 이들 가공제품의 생산기술과 위생처리 기술은 일부를 제외하고 대부분은 아직도 저급한 수준으로 유통과정 중 국민보건위생 문제와 막대한 경제적 손실을 야기하는 물론 대외 수출 경쟁력에서도 크게 뒤쳐져있는 실정이다.

특히 식품 제조업의 경우 우리나라 전체 이들 업체의 85% 이상이 종업원 50인 이하의 소규모 사업장인 영세업체들로 구성된 식품가공업소의 현황을 고려하면 유통기간 전면 자율화에 따른 심각한 부작용 중의 하나가 식품가공원료 및 제품의 유통과정 중 보존성을 높이고 수출물량의 장기간 수송을 위해 화학 방부제 및 고독성 농약 등을 무분별하게 사용하여 수입국의 검역대상에서 불합격 판정을 받을 수도 있다는 것이다. 또한 이들 화학약품들 중 대부분은 그 잔류독성이 문제시되어 이로 인한 소비자들의 보건상 위험노출은 심각한 수준으로 생각되고 있다.

더욱이 무분별한 화학약품들의 사용은 식품위생관리인 선임이 폐지된 현행 법규체계에서 그 위험성을 심각하게 생각하지 않는 영세업체들에 의해 아무런 죄의식 없이 무의식적으로 사용되기도 하며 당국의 감시를 피하여 유통과정을 연기시키고 보존성을 연장시키려는 목적으로 사용될 수도 있

다. 그러나 이러한 문제들을 감시하고 지도단속 할 관리인원이 턱없이 부족한 실정이 우리의 현실임을 고려해 볼 때, 어느 누구나 안심하고 편리하게 이용할 수 있는 안전성이 확보된 식품위생기술은 절실히 요구된다고 하겠다.

선진국의 기술개발 실상과 새로운 기술정보에 의하면 식품 및 의료, 제약, 화장품 등 공중보건관련 산업의 위생처리 기술분야에 있어서 감마선 조사기술은 국민보건 및 경제적 파급효과가 대단히 크고 국제적으로 공인된 보건학적 안전성 및 품질의 안정성 때문에 어떤 위생처리 기술보다도 부가가치가 크고 공정이 간편한 첨단화된 분야로 평가받고 있다.

따라서 WTO체제의 지구촌 무역자유화 시대와 더불어 주요 가공 농·수·축산물 및 공중보건관련 제품들에 대한 감마선 조사를 이용한 위생화 기술을 더욱 확대하여 국내에서 이들 산업의 안정적 발전은 물론 국제시장에서 경쟁력 향상과 함께 국민보건 향상에도 크게 기여토록 하여야 할 것이다.

감마선 조사기술이 산업화 되기까지는 현대과학의 모든 연구기능을 총동원하여 어떤 다른 위생화 처리방법보다도 미생물학적, 독성학적 및 유전학적, 영양학적 안전성을 확인하기 위한 노력이 과거 반세기 동안 선진국의 권위있는 연구기관에서 심도있게 연구된 결과, 그 안전성과 효과가 인정되어 산업화가 급진적으로 진행되고 있다.

유럽공동체(EU)와 미국 등 여러 선진국에서는 농·수·축산 가공품의 국제시장이 점차 확대됨에 따라 자국의 식품가공원료 및 제품에 대한 품질규격을 높이기 위해서 감마선 조사기술을 활용하고 있으며, 이 기술의 개발에 막대한 투자와 함께 이미 설치되어 있는 감마선 조사시설을 적극적으로 활용할 수 있도록 새로운 규정을 마련하고 있다. 또한 최근에는 WTO 국제 무역체제에 있어 위생식품검역조치의 적용에 관한 법정(SPS)이 채택되고 무역의 기술적 장해에 관한 협정(TBT)에 따라 우리나라에서도 감마선 조사기술과 위생화 처리기술이 국제 수준으로 발전할 필요성이 시급히 요구되고 있다.

따라서 기술 선진국으로 향하는 우리의 입장에서는 급속

Corresponding author : Myung-Woo Byun, Radiation Food Technology and Bioscience team, Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-353, Korea  
e-mail : mwbyun@kaeri.re.kr

히 발전되어 가는 식품 및 의료, 제약, 화장품 등 공중보건 관련 산업기술의 국제화 추세와 더불어 과거의 보수적인 사고와 모방적 개념을 조속히 탈피하여 국내 이들 산업이 수입업체와 위생적 품질면에서 대등한 경쟁력을 갖출 수 있도록 제도적 법규 마련이 시급한 실정이다.

본 주제에서는 국내에서도 일부 식품 및 의료제품에 대한 방사선 조사가 상업적으로 실용화되고 있는 시점에서 식품 및 의료, 제약, 화장품 산업에서의 방사선 조사기술에 대한 기술의 특성, 응용분야, 국내·외 산업화 현황과 전망 등을 중심으로 소개하고자 한다.

## II. 기술의 특성

### 1. 방사선의 종류

우리는 일상생활에서 알게 또는 모르게 방사선과 어우러져 살아가고 있다. 방사선은 방사성 동위원소로부터 방출되는  $\alpha$ (알파),  $\beta$ (베타),  $\gamma$ (감마)선 외에도 기계적으로 발생되는 X선, 전자가속기에서 나오는 전자선(electrons), 원자로에서 만들 수 있는 중성자선 등이 있으며, 이들 중 X선과  $\gamma$ 선은 매우 단파장의 전자파로서 우리 일상생활에서 쉽게 이용되고 있는 microwave나 라디오/TV전파, 그리고 자외선, 가시광선, 적외선 등과 같은 부류에 속하는 에너지이다(그림 1).

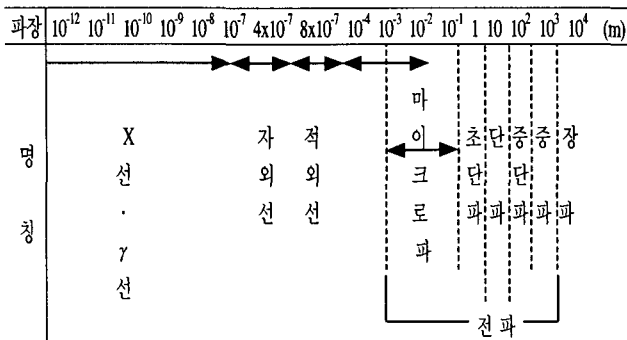


그림 1. 방사선의 종류와 파장

### 2. 식품 및 의료·제약, 화장품 산업에서 이용되는 방사선 종류와 특징

방사선은 물질을 통과할 때 물질의 원자단, 분자 등을 전리시켜 이온을 생성하게 되는데 이와 같은 성질을 지닌 방사선을 전리방사선(ionizing radiation)이라 한다.  $\gamma$ 선, 전자선, X선,  $\alpha$ 선, 중성자선 등은 이에 포함된다. 지금까지 관련 국제기구 즉, FAO, IAEA, WHO와 Codex 식품규격위원회에서 식품 및 의료제품의 조사에 안전하게 이용될 수 있다고 밝힌 방사선의 종류는 표 1과 같다.

표 1. 식품 및 공중보건관련 산업에서 이용될 수 있는 방사선의 종류

방사선	선 원	반감기	이용 에너지(MeV)
$\gamma$ (감마)선	Co-60	5.3년	1.17, 1.33
	Cs-137	30년	0.06
전자선(electrons)	전자가속기에서 발생(10 MeV 이하)		
X선	기계적으로 발생(5 MeV 이하)		

이들 방사선 가운데 식품 및 공중보건관련 산업에서 활용되고 있는 비율은 대략 감마선이 80% 이상, 전자선이 20% 미만을 차지하고 있으며, X선은 진단용을 제외하고는 실제적인 이용에 한계가 있다. 그리고 전자선은 감마선에 비해 투과력이 약하여 활용 범위가 제한되어 있으나 곡류의 살충이나 표면살균, 의료제품 및 제약 등의 분야에 일부 실용화되고 있다. 특히 전자선 발생은 전원에 의해서 조절이 가능하여 공정제어, 신속·정확성, 에너지 효율성, 소비자 수용성 등의 측면에서 장점이 있어 현재 선진국에서는 연구개발이 활발하게 추진되고 있다.

산업적으로 가장 많이 이용되고 있는 감마선은 투과력이 강하여 제품을 완포장된 상태로 연속처리 할 수 있어 살균처리 후 재포장에 따른 2차 오염의 방지와 에너지의 효율을 높일 수 있고, 제품의 품온상승(국제적으로 건전성이 허가된 10kGy 조사시 물과 같은 열용량을 가진 산물에서 약 2.4℃ 상승)에 따른 성분의 파괴를 최소화하고 외관의 변화를 막을 수 있는 냉온살균·살충방법이며, 정확인증제나 보존제와는 달리 유해성분의 생성이나 잔류성분이 남지 않는다는 장점과 처리시 환경조건의 영향을 거의 받지 않는 특징이 있다(표 2).

표 2. 감마선과 전자선의 특성 비교

감마선	線種	전자선
코발트 60	線源	전자가속기
	2.5×10 <sup>15</sup> Bq = 1 kW	
100만 Ci	出力	15 kW(5 MeV, 3mA)
1.33 MeV + 1.17 MeV	에너지	5 MeV
~12 g/cm <sup>3</sup>	透過能力	~ 0.35 g/cm <sup>3</sup>
	1 kW = 3600 kGy · kg/hr ↓ 15 kW = 54 kGy · ton/hr	
30 %	利用效率	85 % (内面照射)
0.54 ton/hr	처리량 (ton/hr) (선량 30kGy)	1.53 ton/hr
2.7 m <sup>3</sup> /hr	처리량 (m <sup>3</sup> /hr) (비중 0.2)	7.65 m <sup>3</sup> /hr

표 3은 현재 이용되는 살균·멸균방법들과 방사선 조사방법과의 특성 및 영향인자를 비교한 것으로서 방사선 살균·멸균이 매우 효과적인 방법임을 알 수가 있다.

표 3. 각종 살균·멸균방법의 특징 비교

항 목	고압증기	E O	감 마 선	전 자 선
멸균 효율성	비교적 확실	처리 제품에 EO gas 침투 필수	가장 확실	비교적 확실
처리 parameter	온도, 시간, 압력	온도, 습도, 시간, 압력, EO 농도	시간	시간
공정 control	비교적 용이	복잡	용이	용이
처리 시간	數分	數時間	數十秒~數時間	數秒~數分
처리 방법	batch식	batch식	연속식	연속식
처리 제품의 재질	내열성	적용범위 大	내방사선	내방사선
처리시 포장형태	증기투과성 (narrow)	EO gas 투과성 (narrow), 재포장	완포장(wide)	완포장(wide)
물질투과성	小	밀봉구조 멸균불가	大	小
물질과의 작용	가스분해	히드록시에틸화	방사선 분해	방사선 분해
처리후 control	건조방냉공정	1주간 탈기	無	無
처리후 제품안정성 (잔류독성)	無	독성 有(출하시 EO 기준치 이하)	無	無
처리비용	저가	저가(고압증기보다 고가)	최고가	고가
설비비용	저가	고가	최고가	최고가

3. 방사선 조사선량의 단위

우리가 이용하고자 하는 전리방사선의 생물체나 무생물체에 대한 국제단위계(SI)의 방사선 흡수선량 단위는 다음과 같다. 방사선의 어떤 물체에 대한 흡수선량의 단위는 그레이(gray, Gy)가 사용되며 1 Gy = 100 rad(라드) = 1 Joule/kg에 해당한다. 여기서 1 rad(radiation absorption dose)는 피조사체의 종류에 관계없이 물질 1 g당 100 erg의 방사선 에너지를 흡수하였을 때를 말하며(1 rad =100 erg/g), 식품 및 의료제품의 방사선 조사에서는 조사량으로서 rad가 사용되어 왔으나 최근에는 Gy로 대체되었다.

4. 방사선 조사시설

방사선의 산업적 이용에는 감마선원과 electron beam accelerator로부터 발생되는 전자선이 대부분 현재 사용되고 있으며, 이와 같은 두 가지 형태의 조사시설은 다음과 같은 근본적인 요구 사항에 필수적으로 부합되어야만 한다.

- ① 방사선 물질의 유독나 처리식품을 어떠한 형태로든 오염시키지 않을 것
- ② 필요한 최저선량의 조사와 균일한 선량 흡수
- ③ 방사선 에너지의 높은 효율성
- ④ 시설의 확실한 공정제어와 기록의 유지
- ⑤ 작업자나 주변 환경에 대한 안전성 확보

가. 감마선 조사시설

감마선 조사시설에 대한 개념은 비교적 간단하며, Co-60이나 Cs-137 동위원소를 선원으로 하는 감마선 조사시설의 주요 구성부분은 크게 네 가지로 구분된다.

- ① 방사선원
- ② conveyor system
- ③ 차폐 시설 및 선원 저장 수조
- ④ operation 및 control system

Cobalt-60은 천연 cobalt-59 pellet을 원자로에서 중성자를 이용하여 생산된다. Cobalt-60 pellet은 통상 pencil이라고 부르는 이중의 스테인레스 원통안에 보관한다. 캐나다 Nordion International Inc.에서는 C-188 cobalt-60 pencil을 생산하는데 대략 1.27 cm 지름에 45 cm 길이 형태로 만든다. 생산시점에서 한 개의 pencil은 6,000에서 13,000 curie의 에너지를 갖는다.

Cobalt-60 선원은 차폐된 콘크리트 조사실 안에 보관되는 데 콘크리트 벽의 두께는 1.8 m에서 3 m로 선원의 최대 에너지에 의해 결정된다. 차폐물은 한 개의 벽이 아니라도 여러 벽의 두께의 합이 요구된 두께가 되면 된다. 조사실 내부에는 6~7 m 깊이의 수조가 있고 시설이 작동하지 않을 때에는 이 수조 안에 선원이 보관되며, 조사가 진행될 때 선원이 수조 밑으로부터 올라오게 된다. 제품의 선량을 조절하는 데 가장 중요한 요소는 conveyor의 속도이므로 cobalt-60의 선량율과 함께 항상 확인하고 보정해야 한다. 자동 conveyor 방식으로 제품이 조사실 내부에 들어가라 때는 최소 세 번의 90° 회전을 하여 gamma ray나 X-ray가 반사되어 차폐체 외부로 나올 가능성을 방지한다.

산업적으로 이용되는 감마선 조사시설은 사용 목적에 따라서 달리 설계·제조하게 된다. 감마선 조사시설의 설계에 있어서 가장 근본적으로 고려되어야 할 사항은

- ① 시설의 용량에 따른 차폐와 처리물량의 handling system 선택
- ② 일정한 밀도의 제품에 대한 에너지 효율성
- ③ 조사제품의 dose uniformity와 처리 용량 등이며,

현재 캐나다의 Nordion Co., 미국의 Steric Genics Co., Neutron Products Co., 프랑스의 CEA를 비롯한 영국의 Puridec Co., 일본, 소련 등 여러 나라의 방사선 조사시설 제조회사들은 우수한 기능과 안전성을 고루 갖춘 시설의 생산에 주력하고 있다.

본 항에서는 전 세계 감마선 조사시설의 80 % 이상을 공급해 온 캐나다 Nordion Co.의 산업용 조제시설 제품을 바탕으로 상업적 조사처리에 있어서 몇 가지 주요 인자에 대하여 알아보려고 한다.

산업용 감마선 조사시설은 사용된 방사선 조사시설 메카니즘에 의해 구분된다. 주로 식품 방사선에 적합한 4가지 전형적인 조사시설을 살펴보면, Tote box concept, Carrier concept, Pallet carrier concept, 그리고 Pallet conveyor concept가 있다.

① Tote box concept : 일정 규격의 운반상자(tote box)에 조사 대상물을 포장하여 조사시설 내부로 운반하는 형태의 시설로서 식품보다는 의료제품의 살균용으로 적합하며, 포장에 관련된 작업과 비용이 운영상에 단점이라고 볼 수 있다.

운반상자는 대략 0.25 m<sup>3</sup>의 부피가 전형적으로 여러 개를 동시에 쌓아 처리할 수 있다. 물론 실제 상자의 크기는 사용자의 특별한 요구에 부합하도록 만들 수도 있다. 어떤 경우든 선원을 중심으로 최대의 효과와 최적의 균일 선량을 갖도록 배치하며 이를 위하여 'pverlapping product' source 방식을 사용한다. 이 방식은 운반상자가 선원을 4번, 즉 선원 약측으로 한번은 선원의 윗부분, 한번은 아랫부분을 통과하게 하는 것이다.

② Carrier concept : 일정한 선량 범위의 품목을 대량 처리하면서 방사선 에너지의 효율성과 dose uniformity를 최대화할 수 있도록 설계된 시설로서 식품보다는 의약품 등의 멸균에 이용된다. 윗부분이 monorail system으로 설계되면 긴 알루미늄 carrier(dir 3 m 높이)가 매달려 조사시설과 선원 주위를 이동하게 되어 내부용량이 크고 다른 부피의 제품을 모두 소화할 수 있다. 이 방식 또한 위의 'overlapping product' source 방식을 사용한다.

③ Pallet irradiator : Pallet irradiator는 위의 carrier 방식과 비슷하지만 용량이 더 크다. 이 방식은 표준화된 운반 pallet 위에 제품을 쌓아 조사하는 것으로 운반상자(tote)나 carrier를 사용할 때 필요한 노동력을 최소화시켜준다. 제품을 쌓은 pallet는 monorail 아래 달려있는 carrier 방식에서 사용되는 것보다 훨씬 큰 알루미늄 컨테이너에 두고 선량의 균일성을 최대로 하는 특정 방식에 의해 선원주위를 이동하게 되어있다. Cobalt-60의 curie당 생산용량은 운반상자나 carrier irradiator 만큼 높지 못하나 최소의 노동력으로 최대의 용량을 갖는다는 장점이 있다. 이 방식은 옥수수, 밀, 곡류제품 등의 살충을 위해 대량처리할 수 있도록 설계된 시설로서 일정 범위의 선량에서 식품의 대량 조사에 이용될 수 있으며 다목적의 서비스 조사시설로서 전세계적으로 식품의 방사선 조사 및 의약품의 멸균 등에 가장 많이 쓰여지고 있다. 국내에 보유하고 유일의 상업용 방사선 조사시설(그린피아기술 주식회사)도 본 형태의 시설이다.

이상과 같은 감마선 조사시설에서 핵심이 될 수 있는 것은 역시 감마선 에너지를 방출하는 Co-60과 Cs-137 동위원소인데 Co-60은 Cs-137에 비해 반감기는 짧으나 생산이 용이하고 가격이 저렴하며, 특히 감마선 에너지의 강도에 있어서 3배 이상 앞서기 때문에 대부분 Co-60이 사용되고 있다.

다음은 감마선 조사시설의 상업적 운영에 있어서 기본적인 몇 가지 지배인자를 요약해 보았다.

- ① Product box의 크기
- ② Product의 밀도
- ③ 주간 및 연간 처리 물량
- ④ 최저 살균선량 및 최고 제한 선량
- ⑤ 시설의 운전시간(일, 주, 년)
- ⑥ 조사물량의 연간 증가량
- ⑦ Product box 크기의 일정화
- ⑧ 조사시설의 위치와 처리 대상품의 저장

#### 나. 전자선 조사시설

이온화 에너지를 갖는 다른 한 가지는 전자들을 가속화시켜 원하는 에너지 수준을 갖게 하는 전자가속기로부터 생산되는 전자선(electron beam)이다. 여기에는 지속적으로 에너지를 방사하는 짧은 펄스 형태로 방사하는 형이 존재한다. 전자가속기는 사용하지 않을 때 전원을 내리면 에너지가 없어지므로 생산 시스템에 유동성을 부여한다. 감마선의 경우는 고체 식품의 25에서 50 cm까지 투과할 수 있지만 전자선의 경우 투과깊이가 얇기 때문에 제품을 얇게 배열하여 조사하여야 한다. 물론 전자선을 양측에서 조사하는 경우 그 투과 깊이가 5 MeV(million electron volt)일때는 3.8 cm, 10 MeV의 경우 8.9 cm까지 증가한다.

전자선은 제품이 직접 조사하므로 감마선이 모든 방향으로 에너지를 방출하는 것과 비교하여 높은 효율을 갖는다고 볼 수 있다. 그래서 10 kW의 에너지를 갖는 전자선 발생장치는 Co-60의 1 million curie와 동일한 효과를 갖는다. 전자가속기의 에너지가 높고 제품이 전자선 밑으로 빠르게 이동하기 때문에 저온 보관 상태의 제품들도 아주 짧은 시간만 상온에 노출되게 된다. 그래서 바람직하지 않은 제품의 온도 상승이 방지된다. 전자선의 투과한계는 다른 이온화 에너지 형태인 X선으로 전환시킴으로 해결될 수 있다. X선은 고속의 전자가 금속(텅스텐 등)에 충돌할 때 발생한다. X선은 감마선과 비슷한 투과력을 갖긴 하지만 현재로서는 에너지 효율면에서 그 비용이 너무 많이 들어 경제적이지 못하다. 현재 기술로는 전환효율이 약 8 % 정도이고 나머지 92 %는 열로 전환되어 또 다른 기술적 문제를 야기할 수 있다.

높은 에너지를 갖는 전자선 발생장치는 작동 중 열을 발생하여 가속기를 불안정하게 만들 수 있다. 그래서 가속장치 내부의 온도를 항상 ±0.5 ℃로 제어하는 정밀한 시스템이 요구된다.

전자선 가속 장치는 수십년간 전리 방사선의 산업적 이용을 위한 연구에 쓰여 왔으며, 여기에서 발생하는 전자선은 대규모의 산업적 이용 즉, 플라스틱 및 고무제품가공, 의료제품 멸균, 환경폐수 및 토양정화 처리 등에 적극적으로 활용되고 있다.

식품에 대한 전자선의 이용은 10 MeV 이하의 에너지를 사용할 수 있도록 국제적으로 규정하고 있으며, 투과력 때문에 현재까지는 곡류나 그 가공품 및 과일류 등의 살충과 표면 살균 등의 목적에 주로 이용되고 있다.

다음은 산업적으로 이용되는 전자가속기의 특징을 정리해 보았다.

- ① 연속식 운전
- ② 방사선 에너지의 간편한 on/off system
- ③ 고에너지와 고선량율에 의한 신속 처리
- ④ 저 투과성과 높은 max/min 비율
- ⑤ 고에너지 효율성(50~70%, 감마선 ; 10~30%)
- ⑥ Process control이 용이

### Ⅲ. 방사선 조사기술의 이용 분야

#### 1. 食品産業에서의 利用

식품산업에서 방사선 조사기술의 이용은 3가지 뚜렷한 장점을 가지고 있다.

- 첫째는 해충 및 부패유기체의 생육억제로 식량자원의 장기 안전저장이 가능하다.

20세기 초반에 세계 인구는 15억 이었으나 현재 50억을 넘어서고 이으며 21세기에는 60억에 도달될 것으로 추정되고 국내 인구도 2000년대에는 6천만명으로 증가될 것이라고 국내외 자료에 의하여 전망되고 있다. 미국정부는 “2000년대 지구의 인구”라는 보고서에서 2000년대의 지역별 곡물수급은 선진국과 개발도상국간에 불균형이 심화되어 식량문제는 심각한 무기화 시대로 변천될 것으로 전망하고 있다.

인구증가에 따른 식량의 증산은 불가피하여 반드시 해결해야 할 문제이다. 세계 식량증산량은 농지면적 및 목야지의 확장, 품종개량, 경영기술의 향상, 어획방법의 과학화 등 직접수단에 의해 년 평균 약 2.4%가 고작이다. 그러나 식량자원의 수확후 저장, 유통동안 손실되는 양은 10~50%에 달한다고 국제기구(FAO, WHO 등)에서 발표되고 있다. 따라서 10%의 직접증산이 어려운 현 상황에서 방사선을 이용하여 식량의 저장방법을 개선함으로써 10~30%이상의 간접증산을 가져올 수 있다.

- 둘째로 병원성 미생물 사멸로 더욱 안전한 식품생산과 식품 매개성 질병예방에 기여할 수 있다.

대부분의 국가가 식품에 기인된 질병, 특히 *Salmonella*, *Campylobacter* 등 병원성 세균과 기생충(*Toxoplasma*, *Trichinella* 등) 오염이 인류건강에 가장 큰 위협이며, 이로 인해 경제적 생산성이 크게 저하된다고 발표되고 있다. 따라서 식품의 방사선 조사는 원료식품, 특히 동물성 원료식품에 대단히 넓게 그리고 어쩔 수 없이 오염되어 있는 병원성 유기체를 사멸시키므로 공중보건상 가장 중요한 이익을 가져다 주는 방법이라는 것이다.

- 셋째로 식품의 방사선 조사는 식량자원의 해충사멸 및 공중보건상 국제식량교역에 있어 검역관리기술로서 매우 효과적인 방법이다.

국가간 식량교역은 세계경제의 균형을 유지시켜 주며 그 시장은 날로 확대되고 있다. 각국은 국제교역에 있어서 안전을 극대화하기 위하여 공중보건법과 검역관리를 엄격히 다루고 있다. 그러므로 식량교역에 있어서 가장 어려움은 수출입 식품의 안전성, 즉 생물학적 및 화학적 측면에서의 안전성을 확보하는데 있는 것이며 서로 상이한 무역국들의 규정을 포괄적으로 충족시킬 수 있는 식품가공 기술의 개발과 이용은 모든 국가들의 희망이라 할 수 있다. 최근 세계 각국에서 식품에 사용되는 보존제나 훈증처리가 유해성분의 생성 및 잔류로 건강장해를 일으킬 수 있기 때문에 그 사용

이 금지되거나 제한되고 있다. 또한 식품 및 농산물의 해충사멸을 위해 세계적으로 광범위하게 사용되고 있는 MB(methyl bromide) 훈증처리는 오존층을 고갈시키는 물질로서 몬트리올 협약 결과 전 세계적으로 사용이 제한되거나 금지되고 있고 이에 대한 대체방안으로 UN환경위원회는 방사선 조사기술의 사용을 적극 검토하고 있다.

방사선 조사기술의 식품에 대한 응용분야는 매우 다양하지만 표 4는 실용화를 위한 연구가 수행되어 그 효과가 인정된 분야를 중심으로 저선량, 중선량, 및 고선량 조사로 구분하여 나타내 보았다.

표 4. 식품의 방사선 조사 기술 응용분야

	조사목적	조사선량 (kGy)	대 상 식 품	조사 효과	비 고
저 선 량 조 사	발아, 발근억제	0.05-0.15 (0.25)	감자, 양파, 고구마, 파, 마늘, 생강 등 (밭)	저장기간 연장, 곰팡이 안정화	
	해충, 기생충 방제	0.15-1.0	곡류, 콩류, 신선한 과일, 채소, 건조과일, 건조생선, 건조육, 돼지고기, 대추, 아자, 카카오, 육류 기생충 방제 등	저장기간 연장, 위생화, 유통확대	사료원료 포함
	숙도지연	0.5-2.0	바나나, 파파이어, 망고, 아스파라거스 등 신선과일, 야채, 버섯 등	위생화, 저장기간 연장	
중 선 량 조 사	부패균, 병원균살균(1)	1.0-10	생선, 딸기, 수산가공품, 축육가공품, 생선 등 냉동 새우, 냉동 개구리 다리, 가금육 등	가공에너지절약, 생산성 향상	사료원료 포함
	식품특성 개선	1.0-10	건조곡류, 야채(가공조리 시간 단축), 위스키(숙성촉진), 포도주(수율향상), 유효성분추출을 향상 등	위생화, 저장기간 향상	
고 선 량 조 사	식품소재, 첨가물살균(2)	3.0-50	향신료, 건조채소류, 효소 제제, 천연염 등	위생화, 저장기간 연장	포장용기 와인용 크르크
	살균(3) (약간의 가열 병용)	3.0-50	축육, 가금육, 수산가공품, 환자식사, 우유식 등	위생화, 저장기간 연장	실험동물 사료, 의료용품

#### ① 농산물의 발아, 발근 억제(Inhibition of sprouting)

감자, 양파, 마늘 등 근채류 농산물은 수확후 일정기간의 휴면기간이 지나면 발아, 발근이 시작되어 영양성분의 소모와 중량감소, 위축, 부패현상을 초래해서 상품적 가치 상실은 물론 장기 저장이 어렵다. 이들 농산물은 수확후 늦어도 2~3개월 이내에 즉 휴면중에 방사선으로 처리해야 그 효과가 크며, 수확후 기간이 경과할수록 높은 방사선 조사선량이 요구되며 처리효과가 저하되어서 부패율이 증가된다. 적정 방사선 조사선량은 감자, 양파, 마늘이 0.05~0.15 kGy 범위이며, 바은 0.2~0.3 kGy 선량 범위이다. 일반적으로 방사선 조사된 이들 농산물은 저장 온도에 거의 영향을 받지 않으나, 생체식품이므로 중량과 상품적 가치를 유지하

기 위해서는 저장습도 등 외적요인으로 인한 위축현상이나 감량 등은 효과적으로 관리되어야 한다.

② 농산물의 해충구제(Insect disinfestation)

곡류, 과일, 채소 등에 오염된 해충(알, 애벌레, 성충포함)은 0.1~0.75 kGy(0.2~1.0 kGy)의 저선량 조사로서도 제거되며, sterile insect technique(용성불임기술)도 포함된다. 일반적으로 인체에 특히 유해하고 환경공해를 이유로 ethylene dibromide, methyl bromide, ethylene oxide 등의 화학혼증제와 농약에 의한 해충구제 방법이 국제적으로 금지되고 있는 추세로 그 대체방안으로서 방사선 조사기술이 권장되고 있다. 특히 국제간 무역에 있어서는 방사선 조사기술이 quarantine treatment(검역관리) 수단으로서 그 역할이 크게 기대되고 실용화될 전망이다.

③ 농축산물의 기생충 사멸(Parasite disinfection)

채소류나 돼지고기, 닭고기 등에 오염된 장내 기생충과 선모충(*Trichinella Spiralis*)을 포함한 선충류는 0.25~1.0 kGy 범위의 방사선 조사에 의해 완전히 사멸시키면서 식품의 영양성분, 물리적 특성은 거의 영향을 주지 않는다.

④ 농산물의 속도조절(Delay of physiological process)

수확된 과채류의 속도를 지연시킬 목적으로 0.5~2.0 kGy 이하의 방사선을 조사하여 생리적 대사활동(호흡, 증산, 효소작용)을 조절함으로써 저장수명을 연장하고, 시장확대 등 부가적인 효과를 가져오는 방법이다. 주요 대상품목은 신선한 버섯(생장억제와 노화방지 효과가 분명), 열대 과일류(바나나, 망고, 파파야 등)와 토마토, 완두콩, 무화과류, 굴 등이다.

⑤ 저장수명 연장(Extension of shelf-life)

방사선 조사에 의한 부분살균(radurization) 효과로 신선어류 및 수산가공품, 축육 및 축육가공품, 과채류 등에 오염된 세균, 효모, 곰팡이 등 부채 미생물의 수를 감소시켜 보존기간을 연장시킨다. 미생물은 그 종류에 따라 방사선의 감수성을 달리하는데 *Vibrio* > *Campylobacter* > *Pseudomonas* > *E. coli* > *Salmonella*속 등은 가장 민감해서 0.03~0.25 kGy의 선량이 요구되며, 그 다음으로 *Penicillium* > *Aspergillus* > *Micrococcus* > *Saccharomyces* > *Bacillus*속의 순이고, *Cl. botulinum*과 *Virus*가 가장 저항성이 큰 것으로 알려졌다. 이 분야는 1.0~10 kGy 선량범위가 필요하다.

⑥ 살균(Sterilization)

방사선 살균법은 감마선의 특징인 강력한 투과력에 의해 제품의 어떠한 완포장 형태(다중포장 등)라도 처리가 가능하여 살균처리 후 이차오염의 가능성이 없으며, 제품의 품질을 상승시키지 않는 냉용 살균법으로 가열처리가 불가능한 제품의 살균과 화학혼증제 처리와는 달리 유해성분의 잔류 및 독성이 없으며, 오염유기체(미생물, 해충 등)의 살균, 살출이 확실하며 살균공정관리가 편리하고 정확하다는 것 등 많은 장점이 있다. 미생물에 대한 방사선 살균정도와 조사선량에 따라 구분해 보면 다음과 같다.

▶ 방사선 완전살균(Radappertization) : *Bacillus*속 및 *Clostridium*

속 등 아포세균 특히 내열성의 *Clostridium botulinum* 아포의 사멸과 기타 모든 미생물이 검출되지 않을 정도로 완전살균하는 처리로서 3.0~50 kGy의 고선량 조사가 필요하다. 밀봉 포장된 햄, 소세지, 베이컨 등 통조림 식품과 병원 환자용 무균식품, 우주인 식품, 실험동물용 무균사료(SPF 또는 Germ-free 사료 등), 의약품, 의료용품 및 식품의 포장재료 등의 살균에 매우 효과적으로 이용된다.

▶ 방사선 병원성 미생물 살균(Radicidation) : 식품에 오염된 식중독균, 경구전염병균 등의 병원성 미생물을 1.0~10 kGy 조사선량 범위로서 사멸시키는 방법으로 냉동 어패류, 닭고기, 냉동난 등의 식품이 대상이며, 또한 미생물의 오염도가 높은 향신료, 건조야채류, 분말식품, 배합사료 등의 위생화를 목적으로 5.0~10 kGy 선량이 조사되는 이 분야는 세계적으로 실용화가 가장 활발한 예이다.

▶ 방사선 부분살균(Radurization) : 방사선에 의해 대상 식품의 일반 오염미생물의 생균수를 감소시켜 보존기간 또는 냉장기간을 연장시키는 처리로서 0.5~10 kGy 정도의 방사선 조사선량이 요구된다.

⑦ 물성개선(Improving technological propertise of food)

독특한 방사선의 전리작용에 의해 식품의 물리적 특성을 변화시켜 가공적성을 향상시킬 수 있다. 그 예로서 5 kGy 이상의 선량으로 한천 추출시 추출성과 여과성을 개선시키며, 건조야채의 texture 개량 및 재수화성 향상, 조리가 어려운 두류나 곡류의 조리시간 단축과 포도, 인삼 및 생약재의 유효성분의 추출률 증대 및 추출시간 단축 등의 효과나 변성전분 생산 등에도 실용화 되고 있다.

⑧ 이용의 한계성

한편 식품에 대한 방사선 조사기술의 이용은 현재 이용되고 있는 타 식품가공·저장방법과 마찬가지로 나름대로의 문제점과 한계성이 있으며, 모든 식품에서 다 적용될 수 있는 만능의 방법은 아니다. 그 예로서

▶ 저급지방산을 다량 함유한 우유나 유가공품의 경우 방사선 조사에 의해 나쁜풍미(off-flavor)를 발생시키며 고지방질 식품에 고선량의 방사선을 상온·공기 존재하에 조사하면 지방의 산화촉진에 따른 관능적 품질이 저하된다.

▶ 일부 과채류에 있어서는 조직연화 현상이 일어난다.

▶ 인공색소나 발색물질을 많이 사용한 가공식품의 경우에는 색소의 불안정 등이 이용상의 문제점으로 지적되고 있다.

따라서 이러한 식품의 경우 방사선 조사의 최적조건 결정, 즉 조사선량, 조사조건(온도, 대기조성 등)과 다른 식품가공·저장방법(가열처리 등)과의 병용처리 등으로 이러한 문제를 해결할 수 있는 방법들이 연구되고 있다.

가. 식품조사기술의 국내 현황

(1) 연구

1966년 방사선 농학연구소가 설립되면서 마늘, 딸기, 사과, 김치, 고구마 등의 신선도 및 저장기간 연장을 위한 실

협실 규모의 연구가 수행되었고, 1970년대 초반에는 쌀, 양파, 육류, 토마토 등에 대한 감마선의 응용연구가 수행되다가 일시 중단된 이후, 1980년대부터는 한국원자력연구소가 주관이 되어 관련학과와 공동으로 감마선 조사목적별로 발아억제식품에서부터 살균, 위생화에 이르기까지 다양한 농·수·축산 식품에 대해 종합적인 산업화 기반연구가 수행되었다. 지난 30여년간 수행된 식품조사연구는 식품의 발아·발근 억제, 성장조절, 숙도 지연, 살충, (부분)살균, 신선도 및 저장수면 연장, 물성개선, 위생화, 감마선 감수성, 품질개선 등 감마선 조사시 식품의 품질과 관련된 물리화학적, 영양학적 및 미생물학적 특성연구가 이루어 졌다.

감마선 조사식품에 대한 독성학적 국내연구는 1990년대 초반부터 수행되었으며 “감마선 조사 인삼의 안전성 및 효능 평가에 관한 연구”가 국립보건안전연구원/서울대학교 천연물과학연구소/한국원자력연구소 등 3개 연구기관의 5년간 공동사업으로 과학기술처 특정연구가 완료되면서 안전성이 재확인 되었다.

2000년 현재는 식품산업의 발달과 더불어 다양한 가공식품에 대한 감마선 조사적용 가능성 연구가 독성학적연구와 함께 연간 약 10억원의 연구비가 투입되어 진행되고 있다.

(2) 국내 시설 및 처리 용량

▶ 1975년 한국원자력연구소의 연구용 대단위 조사시설 (100,000 Ci)준공, 현재 pilot 연구용으로 가동 중 처리용량 : 연구용으로만 사용

▶ 1987년 경기도 여주에 상업적 다목적 감마선 조사처리 시설을 준공, 현재 가동중 처리용량 : 50톤/24시간(평균 5kGy 조사기준)

(3) 국내 식품조사 산업화 현황

가) 산업화 배경 및 과정

1973. 3 : 아시아·태평양 지역 각국의 식품조사 공동연구 공식 착수

1980. 7 : 아시아·태평양 지역협력(RCA) 계획에 따른 식품조사 기술이전 작업 1 단계 추진(일본 자금지원 \$236,000)

1981. 3 : 한국원자력연구소에 감마선에 의한 식품저장기술 지도, 다각적인 조사 실험 착수

1984. 7 : 대단위 감마선 조사시설 설치 허가신청서 제출 (과학기술부)

1985. 4 : 아시아 지역협력(RCA) 계획에 따른 식품조사 기술이전 작업 2단계 추진

1985. 5 : 감마선 조사시설 설치 허가취득(과학기술부)

1985. 9 : 제1차 종합심의위원회 개최(농림부, 보건복지부, 과학기술부, 농촌진흥청, 한국원자력연구소등의 정책방향 심의)

1985.11 : 제2차 종합심의위원회 개최 - 안전성, 건전성, 경

제적 파급효과 지대함을 인정하고 정부차원의 적극 지원을 결정

1986. 1 : 농림부, 조사시설 소요자금중 24억 지원 결정과 더불어 캐나다 원자력공사(AECL)로부터 Co-60 방사성 동위원소 도입계약 체결

1986. 6 : 대통령령으로 식품위생법 개정, 식품조사업 신설

1986. 8 : 시설입지 적격여부심사(한국원자력연구소, 원자력안전기술원), 공장배치법 및 산업 분류법(경제기획원)에 의거한 적격여부 심의 및 농림부장관의 청와대 중간보고

1986. 9 : 입지 형질변경 허가 승인(여주군)

1986.10 : 건설공사 착공

1987. 3 : 감마선 조사실 구조물에 대한 캐나다 원자력공사(AECL)의 검사

1987. 4 : 원자력안전기술원 중간검사 및 Co-60 장착

1987. 6 : 국내 최초 Co-60 10만 Ci 장착 산업적 대단위 조사시설 준공(경기도 여주군, 그린피아기술 주식회사)

나) 회사 연혁

1977. 7 : 그린피아기술 주식회사 설립

1977. 8 : 수출입 허가 취득

1984. 7 : 캐나다 원자력공사와 감마선 조사 처리 시설 및 기술이전 계약체결

1985. 5 : 방사성 동위원소 사용허가 취득(과학기술처)

1987. 6 : 국내 최초의 대단위 다목적 감마선 조사 처리시설 준공

대 지	30,967 m <sup>2</sup>	Ground area	30,967 m <sup>2</sup>
건 물	5,328 m <sup>2</sup>	Building area	5.328 m <sup>2</sup>

1987.10 : 식품의 감마선 조사기준 신규고시(보건복지부)

-발아식품(감자, 양파, 마늘, 밤), 버섯류(생버섯, 건조버섯)

1987.11 : 식품조사처리업(1호) 허가취득

1988. 9 : 조사식품 품목확대 1차 개정고시(보건복지부)

-건조 향신료(고추, 마늘, 양파, 후추, 생강)

1991.12 : 조사식품 품목확대 2차 개정고시(보건복지부)

-건조식육 및 어패류 분말, 된장, 고추장, 간장분말, 전분

1992. 6 : 한국원자력연구소와 감마선 조사기술 특허 전용 실시권 취득(12건) 및 기술지원 업체 지정

1995. 5 : 조사식품 품목확대 3차 개정고시(보건복지부)

-향신료, 조제품, 건조채소, 효모/효소식품, 알로에 및 인삼제품, 환자식

1997. 5 : 한국원자력연구소와 감마선 조사기술 특허 전용 실시권 취득(10건)

1998. 9 : 현 대표이사 취임(대표이사 박순연)

1999. 1 : 기술경쟁력 우수기업 지정 취득(중소기업청)

- 1999.11 : ISO 9002/EN 46002 국제 품질시스템 인증 획득 (독일 TUV Product Service 인증기관)
- 1999.12 : 한국원자력연구소와 감마선 조사기술 특허 전용 실시권 취득(6건)
- 2000. 7 : 유망중소기업 지정(한국원자력연구소)
- 2000. 8 : 유망선진기술 보유기업 지정 신청(생산기술연구원)

다) 산업화 현황과 문제점

국내에서 식품의 감마선 조사는 1960년초 원자력연구소에서 연구목적의 감마선 조사연구가 시작되면서 식품은 물론 제약이나 의료용구에 대한 감마선 조사기술이 최초로 도입되었다. 1970년대에는 선진 각국에서 감마선 조사에 의한 식품의 산업화 연구가 본격화되면서 국내에서도 식품관련학자들에 의해 감마선 조사식품의 산업적 이용 연구가 활발하게 수행되었다. 1980년대 초반부터 국내 산업화를 위해 한국원자력 연구소 등 국가연구기관의 주도로 마침내 1987년 농수산물유통공사의 자금 지원하에 국내 최초의 산업적 감마선 조사시설이 가동되게 되었다.

당시의 감마선 조사처리는 주로 발아식품(감자, 양파, 마늘, 밤)의 발아방지와 숙도지연(버섯)을 목적으로 이용할 계획이었으나 조사처리를 하기 위해 조사시설에 식품을 운송해야 하는 물류비 부담과 별도의 저장시설을 운영하여야 하는 등의 어려움으로 냉장보존법보다 1/300의 에너지 절감효과를 얻을 수 있음에도 불구하고 산업적 활성화에 실패하고 말았다. 그러나, 무엇보다도 실패의 가장 큰 원인은 대국민 홍보나 이용자의 교육 없이 감자나 양파 등의 식품에 감마선 조사마크가 부착되어 시판되어 시판될 때 감당해야할 소비자나 소비자 단체들의 거부감과 반발을 일개의 기업이 감당하기 어렵기 때문으로 분석된다. 그 뒤 감마선 조사시설은 주로 의료용구 및 위생용품의 멸균용으로 이용되었다.

한편, 국내 식품산업에서 살균제로 널리 쓰이던 ethylene oxide 훈증제가 강력한 발암물질이 생성되며 식품 중에 잔류된다는 것이 밝혀지면서 세계보건기구는 ethylene oxide 훈증제 사용금지를 강력히 권고하여 국내에서도 1991년 식품에 있어 ethylene oxide의 사용이 금지되었다. 이와 더불어 세계보건기구에서는 그 대체적인 방법으로 감마선 조사기술을 다른 어떤 방법보다 안전한 것으로 평가하고 모든 식품의 감마선 조사를 허가하는 한편, 그 기술이 세계 각국에서 승인되고 감마선 조사에 대하여 올바르게 이해될 수 있도록 홍보용 책자를 발간하여 각 국에 배포하였다.

이러한 전기를 맞이하여 감마선 조사에 의한 식품처리기술이 세계적으로 각광을 받게 되었다. 국내에서도 당국의 점차 엄격한 위생관리체제로 어려움을 겪던 식품제조 및 가공업체에서는 새롭고 안전한 살균 방법을 갈구하던 중 감마선 조사에 국제적인 승인과 장점을 인식하고 폭넓게 이용하기를 희망하였다.

그러나, 국내 감마선 조사처리 기준이 일부 원료품목에

국한되어 있고, 제품운송에 따르는 물류비와 조사처리 비용이 원가상승의 요인으로 작용하며, 감마선 조사에 대한 소비자 수용성이 의문시되어 대부분 식품업체가 감마선 조사처리의 이용을 꺼리게 되었다. 따라서 감마선 조사를 이용하고자 하는 업체들은 식품원료의 미생물 기준을 엄격하게 관리하고 있는 생산업체에 납품하는 일부 원료가공업체와 화학살균제나 가열 살균을 할 수 없는 수출용 가공식품(인삼 및 효소제품)들을 생산하는 수출업체가 주로 이용하고 있는 형편이다.

이러한 제한적인 요인들로 인하여 국내에서 감마선 조사산업이 10년이 경과하였으나 아직도 대국민 홍보수준에 머무르고 있으며 산업적 활성화가 낙후되어 있는 상황이다.

(4) 국내 허가현황

가) 영업허가 현황

- ▶ 1985년 대통령령 제 11717호로 식품조사 처리업 신설
- ▶ 1986년 식품위생법 개정

표 5. 영업허가 이력

허가년도	허가관청	허가번호	허가종목	관련법규
1987	보건사회부	보사 제1호	조사(照射)처리업	식품위생법 제22조 제1항 및 동법시행규칙 제22조
1995	경기도청	경기 제1호		
1998	경인지방식품의약품 안전청	경기 제1호		

나) 품목허가 현황

1987, 1988, 1991, 1995년 4차례에 걸쳐 총 13 품목의 식품 조사가 허가되어 현재 주로 수출품에 대한 상업적 식품조사 처리 서비스가 이루어지고 있다(표 6).

표 6. 국내 조사식품 허가 이력

▶ 1987. 10. 16 (보건사회부 고시 제 87-71 호)	
감자, 양파, 마늘	: 0.15 kGy
밤	: 0.25 kGy
버섯(생 및 건조)	: 1 kGy
▶ 1988. 9. 13 (보건사회부 고시 제 98-60 호)	
건조향신료	: 10 kGy
▶ 1991. 12. 14 (보건사회부 고시 제 91-25 호)	
가공식품 제조원료용 건조식육 및 어패류분말	: 7 kGy
된장, 고추장, 간장 분말	: 7 kGy
조미식품제조원료용 전분	: 5 kGy
▶ 1995. 5. 19 (보건복지부 고시 제 95-34 호)	
가공식품제조원료용 건조채소류	: 7 kGy
건조향신료 및 이들 조제품	: 10 kGy
효모, 효소식품	: 7 kGy
알로에분말	: 7 kGy
인삼(홍삼포함) 제품류	: 7 kGy
2차 살균이 필요한 환자식	: 10 kGy



(5) 전망

▶ 위생적 품질관리가 절대적으로 요구되는 가공식품의 대량생산체제에서 현실적으로 분말 및 건조식품과 수출용 가공식품에 적합한 살균, 살충 방법이 미비한 상황이므로 국내/외의 식품산업에서 식품조사처리기술의 요구는 점차 증가되고 있다.

▶ 기존 검역관리 및 저곡 해충 방제에 훈증제로 사용하고 있는 methyl bromide 등이 오존층 파괴물질로 규정되어 몬트리올 환경협약에 의해 개발도상국은 2005년까지 20% 감축하고 2015년 전면 금지키로 하였으며, 선진국의 경우 1999년 25%, 2001년 50%, 2003년 70%, 2005년 전면 금지키로 하여 그 대체방법으로 감마선조사의 이용이 이루어질 전망이다.

▶ 기존 살균제나 방부제로 널리 쓰이고 있는 물질들이 인체 보건학적인 측면에서 신경장애는 물론 발암성까지 일으키므로 그 이용은 점차 줄어들고 있으며 이에 대한 소비자들의 경각심으로 방부제 첨가된 식품은 점차 시장에서 도태되고 있는 실정이다. 특히 분말상태의 원료나 가공식품과 냉동·냉장식품은 살균처리에 있어 현재의 방법으로는 감마선 조사에 의한 살균처리 밖에 선택할 수 없는 상태이다. 따라서 무균공정이나 무방부제 제품 생산에 있어서 불가결한 방법으로 감마선 조사처리 방법이 선택되리라는 것은 자명한 일로 판단된다.

나. 식품조사기술의 국제적 현황

(1) 국제적 식품조사 활용 분야 변천 과정

1960년대 : 군 비축식량 및 우주 계획 우주인 식사 프로그램에 이용

1970년대 : 농산물 저장 목적으로 감자, 양파 등 구근류의 발아억제, 과실 및 버섯의 숙도지연 등에 활용  
 ⇒ 국내에서 물류비 부담 등으로 농·수·축산물 산지의 냉장·냉동 시설보다 활성화 안됨

1980년대 : 세계보건기구(WHO)의 세균성 식중독 방지 분야로 활용 권고 ⇒ 향신료 및 가공식품류에 대한 살균 및 살충 처리에 이용.

1990년대 : 유엔의 국제 환경 위원회(UNEP)에서 화학약품 (methyl bromide, ethylene oxide 등) 대체기술로 활용 권장

2000년대 : WTO 체제의 자유무역체제에서 식물위생검역 조치의 적용에 관한 일반 협정(SPS)과 무역에 대한 기술적 장해에 관한 협정(TBT)에 의해 정해진 식품의 안전 기준과 동식물 검역기준을 극복하기 위해 자국의 정부 주도하에 식품조사 이용 및 보급에 전력 ⇒ 미국 FDA 및 농무성(클린턴 행정부, 2000년 2월 시행) : 수출 및 자국내 유통되는 모든 육류 및 부산물에 감마선 조사 기술 도입 결정

(2) 방사선 조사시설 현황

현재 세계 42개국 200개 이상의 시설에서 230여종의 식품에 조사를 허용하고 있으며 현재 수 개의 조사시설이 건설 중이다(표 7, 8).

표 7. 세계적으로 가동중인 감마선 조사시설

국가명	시설	국가명	시설	국가명	시설
중국	54	일본★★	14	미국	55
영국	7	독일	11	러시아	7
브라질★	4	프랑스	6	남아프리카	5
덴마크	3	이탈리아	6	스웨덴	3
캐나다	3	말레이시아	5	스리랑카	2
호주	2	인도	4	스위스	2
벨기에	2	아일랜드	4	태국	2
칠레	1	인도네시아	2	싱가포르	2
불가리아	1	이스라엘	2	스코틀랜드	1
체코	1	헝가리	2	사우디아라비아	1
방글라데시	1	한국★	1	노르웨이	1
아집트	1	멕시코	2	파키스탄	1
크로아티아	1	네델란드	1	스페인	1
오스트리아	1	그리스	1	페루	1
아르헨티나	1	이란	1	대만	1

※ \*는 감마선 조사시설 1기, \*\*는 2기 추가 공사중  
 ※ 본 자료는 1998년 5월 캐나다 Nordion Co. 제공된 자료로 IAEA 미보고업체는 누락됨.

(3) 주요 국가의 현황

가) 영국

▶ 허브 및 향신료에 대한 ethylene oxide 처리 허용기간을 1991년 1월 1일로 종료시키고, 1991년 2월 13일 이후부터 과일류, 채소류, 곡류, 구근류, 향신료, 조미료, 생선, 어패류, 및 닭고기를 허용선량까지 감마선 조사 허가.

나) 미국

▶ 농무성(USDA) 식품안전검사부(FSIS)에서는 가금육에 대하여 식인성 질병예방을 위하여 1.5 kGy~3 kGy의 상업적 조사를 승인(1992년 10월 21일).

▶ 아폴로 우주 비행사 식품공급을 위해 감마선 조사로 살균된 식품을 우주식품으로 인정하고 우주식품의 HACCP 프로그램에 감마선 조사살균방법이 채택됨.

▶ 플로리다주의 식품조사시설에서는 1992년 1월부터 양파, 토마토, 딸기, 오렌지, 주스, 버섯 등의 신선 농산물을 대상으로 상업적 조사가 계속되어 조사식품의 시장이 확대되고 있음.

▶ 일리노이주에서는 1993년 9월부터는 가금육에 대한 상업조사가 시작되어 감마선 조사 닭고기가 소비자들에게 신속하게 판매되고 있음.

▶ 미국에서 생산되는 향신료 및 식품첨가물 중 4만톤 이상이 매년 감마선 조사되고 있음(L.A Times '98. 3. 15).

▶ 클린턴 대통령의 식품질병예방정책에 따라 E. coli O-157 및 리스테리아 등 병원균을 살균하기 위하여 미국내 생산되는 모든 냉장·냉동 육류에 감마선 조사할 수 있도록 허가(1997년 12월 2일, FDA)하였음.

▶ 플로리다주에 위치한 콜로라도 박스드비프(CBB)社は 최근 Food Technology Service사와 연간 4억 파운드(약 18만 톤) 쇠고기에 조사(照射)처리 판매 계약함.

▶ 월마트 등 대형 슈퍼마켓에서 감마선 조사육 판매 개시함.

▶ 미국에서 생산되는 향신료 및 식품첨가물 중 4만톤이상이 매년 조사처리되고 있음(LATimes '98. 3. 15).

다) 일본

▶ 연간 15,000톤 이상의 감자가 감마선 조사되어 생감자 및 가공용으로 유통되고 있으며 또한 단체급식 및 외식산업 증가로 인한 병원성 세균에 의한 식중독 발생과 대장균 O-157의 발생으로 인해 현재 일부 식품에 대하여 감마선 조사에 대한 규제폐지를 서두르고 있음.

라) 중국

▶ 중국의 경우 IAEA에 공식보고된 감마선 조사시설은 11개소이지만 실제 성(성)단위에서 관리되는 30만 큐리(Ci) 용량의 감마선 조사시설은 48개소(95년 현재)이며 30만 큐리 이하의 시설까지 합하면 154여개에 이르는 것으로 확인되고 있음.

▶ 조사처리량은 149,000톤 정도로 보고되고 있으나 그 국제교역량은 수 십만톤에 이르고 있다고 있다고 판단되나 국제적으로 대외적인 공개를 꺼리므로 정확한 전국적인 통계가 보고되지 않고 있음.

마) 러시아

▶ 매년 약 400,000톤 이상의 곡류가 조사 처리되고 있음.

바) 프랑스

▶ 약 7만톤 정도의 가금육이 매년 처리되고 있으며 그밖에 개구리다리, 치즈, 혈청, 향신료 등이 대량 처리되고 있음.

사) 기타

▶ 우크라이나, 방글라데쉬, 태국, 멕시코, 중국, 캐나다, 러시아 등에서는 매년 수십에서 수백만톤의 곡류 및 향신료가 감마선 또는 전자선으로 살충 또는 살균목적으로 조사처리되고 있음.

▶ 그외 연간 1만톤 이상의 식품을 조사하는 주요국가는 네델란드, 남아프리카공화국, 벨기에, 프랑스, 중국 등이 있음.

▶ 1991년 국제원자력기구(IAEA)의 공식자료에 의하면 전 세계적으로 매년 50만톤 이상의 식품이 조사처리되고 있다

는 공식집계가 발표된 바 있으나 현재 미보고된 국가나 업체들을 감안하면 실제 처리되고 있는 양은 수 백만톤에 이르는 것으로 추산됨.

(4) 국제적 실용화 전망

현재 사용되고 있는 화학 보존제를 비롯하여 훈증제 등의 발암물질 잔류독성과 오존층 파괴와 같은 환경상의 문제점을 완전히 해결하기 위한 노력의 일환으로 WHO/FAO/IAEA 등의 각종 국제기구에서는 감마선 조사기술을 지금까지 인류가 사용하였던 그 어떤 식품보존방법보다도 우수한 기술로 평가, 인정하고 있으며, 세계보건기구(WHO)에서는 1980년에 모든 식품에 대한 감마선 처리를 승인하고 세계 각국 정부로 하여금 감마선 조사기술을 적극 활용토록 추천, 권장하고 있다. 이와 같이 감마선 조사기술이 주로 선진국과 수출 주도국에서 활발하게 이용되고 있는데 현재 대다수의 국가들은 자국내 식품에 감마선 조사시설의 대외적인 공개를 꺼리고 있으며, 그 처리품목 현황도 일부만 공개하고 있는 실정이다.

이것은 세계 각국의 감마선 조사허용 품목이 달라 국제무역에 있어서 통상 마찰이 빚어질 수 있다는 우려와 조사식품에 대한 소비자 수용성이 낮은 국가에서 감마선 조사 식품이 거부될 수 있다는 것에서 기인되는 것으로 판단되고 있다.

표 8. 식품조사 허가국가 및 목적별 허가품목수

허가국	목적별 허가품목	허가국	목적별 허가품목
아르헨티나	13	멕시코	102
방글라데시	21	네델란드	19
벨기에	11	노르웨이	3
브라질	27	파키스탄	87
이집트	4	필리핀	3
캐나다	7	폴란드	5
칠레	20	남아프리카공화국	89
중국	23	스페인	2
쿠바	18	시리아	20
체코	2	태국	25
덴마크	2	터키	92
핀란드	2	영국	43
프랑스	41	우루과이	1
헝가리	13	미국	47
인도	23	베트남	8
인도네시아	22	유고	23
이란	1	일본	1
이스라엘	47	한국	15
이탈리아	6	러시아연방	52
코스타리카	12	우크라이나	47
크로아티아	72	가나	172

WHO/FAO/IAEA, CODEX 모든 식품허가 (2002년 5월 발간 IAEA 제공자료)

오늘날 국제무역에 있어 모든 식품에 대하여 조사를 허용하고 있는 국제식품규격위원회(Codex)의 감마선 조사기준이 권고에 머무르지 않고 OECD 가입국에 대해 강제적으로 시행되고 있는 만큼, 우리나라에서도 식품의 감마선 조사기술의 이용은 소비자 홍보교육과 더불어 적극적으로 재고되어야 할 것이다. 현재 지구촌시대를 맞이하여 각국의 조사식품에 대한 국제무역과 각국의 소비자 이해가 증진되면서 소비자의 거부감은 점차 해소되리라 사료된다.

향후 세계 각국에서는 자국내 보건 위생환경의 향상과 수출주도품목의 경제적인 장점과 이익에 관련된 중용나 식품산업기술로서 감마선 조사기술의 이용은 더욱 늘어날 전망이다. 이와 더불어 우리나라에서도 식품산업에서는 필수 불가결한 식품위생기술로 평가되어 이용될 전망이다.

2. 의료·제약·화장품 산업에서의 이용

최근 방부제나 보존료 등과 같은 화학적 첨가물에 대한 소비자들의 위해성 논란이 식품뿐 만 아니라 제약이나 화장품에서도 대두되고 있기 때문에 식품업계는 물론 제약이나 화장품업계에서도 무방부제 제품개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

현재 식품은 제약이나 화장품에 널리 사용되는 소르빈산 칼륨, 프로피온산 나트륨 그리고 안식향산 등과 같은 보존용 화학방부제들은 중추신경마비나 발암성 등의 부작용이 심각하게 제기되고 있는데, 이러한 부작용을 줄일 수 있는 대안으로 그 사용량을 줄이거나 천연 첨가물로 대체하는 등의 방법이 이용되고 있다. 그러나 사용량을 줄일 경우 원하는 방부력을 갖지 못하는가 하면 천연 첨가물 역시 그 자연독이나 부작용에 대한 안정성이 의심되기도 한다.

이러한 문제를 완전히 해결하는 방법중의 하나로 감마선 멸균기술을 이용하는 방법이 세계적으로 각광을 받고 있다.

최초 의료용품의 방사선 조사는 1956년 미국에서 전자가속기로부터 발생하는 전자선을 이용 수술용 봉합사를 멸균한데서부터 시작되어 Co-60 감마선 선원이 개발되면서 대량의 멸균처리가 상업적 규모로 실시되었다. 최초의 상업화는 1962년 Jonhson & Jonhson 사가 Co-60 감마선 조사시설을 설치하여 자사의 의료제품을 멸균처리 하기 시작한 것이다. 그 뒤 1967년에는 의료제품에 대한 방사선 멸균지침(IAEA Recommended Code of Practice for Radiosterilization)이 만들어졌고 1974년과 1975년에 재개정되었다. 1970년대 초 미국의 Isomedix사와 Gammastar사가 설립 운영되면서 의료제품의 방사선 멸균기술에 대한 전문적인 지식과 노하우가 축적되기 시작하였다. 일본의 경우에는 1970년에 처음으로 주사바늘, 일회용주사기, 1972년에는 수술용 장갑, 1973년에는 수액세트 등의 감마선 멸균이 허가되었고 그 적용 대상은 현재 약 200여 품목에 달하며, 현재 7개 감마선 조사회사와 3개의 전자선 조사회사가 자사 및 일반수요에 대해 상업적

방사선 멸균사업을 행하고 있다(표 9).

표 9. 일본의 대단위 Co-60 감마선 조사시설 현황

施設	會社	設置年度	能力	所在地
委託施設	① Ragiac 공업(주)	1972	23 PBq	群馬縣
		1984	53 PBq	群馬縣
自社施設	② (주) Koga Iostope	1987	111 PBq	KOGA-KEN
	③ Delmo(주)	1983	185 PBq × 2	山梨縣
	④ (주) J.M.S.	1987	111 PBq	廣島縣
	⑤ (주) Nitshow	1988	148 PBq	秋田縣
	⑥ 旭Medical (주)	1988	111 PBq	大分縣
	⑦ JISCO (주)	1997	111 PBq	IBARAKI-KEN

의료제품의 방사선 멸균기술에 대한 공식적인 법규 및 기술지침은 1988년 AAMI(Association for the Advancement of Medical Instrumentation)에서 개정된 감마선 멸균지침(Guideline for Gamma Sterilization)이 1991년 10월 미국 ANSI(American National Standard Institute)에 의해 승인되면서 1995년에는 이들 지침이 공식기준(ISO 11137 ; 1995)으로 등록되었다. 이 기준에는 멸균에 대한 보증수준이 의료제품별로 구분되고 멸균된 제품의 초기 오염수(Bioburden)에 따라 멸균보증수준(SAL : Sterility Assurance Level)에 맞는 선량을 적용하도록 되어 있다. 이 ISO 기준에 의해 과거 25 kGy 이상으로 멸균하는 기술은 현재에는 제품별 초기 오염도에 따라 계산되는 멸균보증수준(SAL)의 개념을 도입하여 일정한 흡수선량(kGy)을 제한하지 않고 멸균하는 것이 국제적인 추세이다.

공중보건산물의 위생화 수단으로 EO(ethylen oxide) gas 멸균이 지금까지 대부분 사용되고 있으나 인체에 대한 안전성 문제, 즉 멸균처리후 잔류독성으로 흥반, 부종, 용혈반응은 물론 발암성 물질이 생성되는 등 인체보건에 미치는 악영향으로 세계보건기구(WHO)의 권고에 따라 식품산업에서는 선진국은 물론 국내도 1991년 7월 1일자로 전면 사용금지 되었다. 그러나 의료용품의 경우는 아직도 EO gas 멸균이 대부분을 차지하고 있다. EO gas는 국제암연구소(IARC : International Agency for Research on Cancer)가 발암물질 1등급으로 재분류하였고, 미국 식품의약품국(FDA)과 환경보호국(EPA)에서도 그 심각성을 표명하여 엄격히 규제하게 되었다. 그림 2는 세계 공중보건산물의 살균방법에 따른 처리량 추이를 나타낸 것으로서 EO gas 멸균이 1990년대에 중반부터 안전성이 인정되어 사용이 계속 증가하여온 감마선 조사에 역전되었다. 또한 전자선의 이용도 현재는 감마선의 10% 정도에 지나지 않으나 매년 증가경향을 나타내고 있다. 미국의 의료용품 멸균시장에서 방사선 멸균의 이용률이 1973년에 2% 정도에 지나지 않던 것이 최근에는 50% 이상으로 급성장하게 되었으며 점차적으로 EO gas 처리를 대체해나가 2000년에는 70% 이상으로 이용될 전망이다. 또한 현재

세계적으로 약 50 개국에서 200여기 정도의 방사선 조사시설이 의료 및 식품산업에서 이용되고 있고, 최근 다국적기업을 중심으로 방사선 조사시설의 건설을 확대하여 자사제품의 멸균(In-house sterilization) 및 제3자 계약멸균(Contract sterilization) 시설로서 이용되고 있다(그림 2).

이와 같이 선진국에서는 의료용품 산업에서 방사선 조사기술이 긍정적으로 평가되고 이용이 증가하면서 화장품 산업에서도 흥미있는 기술로 받아들여져 현재 활발히 연구되고 있다. 화장품의 원료인 활석(운모), bentonite, 전분 등과 화장품용 등이 이미 성공적으로 방사선 조사에 의해 위생화되어지고 있으며, 일부 완제품도 방사선이 조사되고 있다.

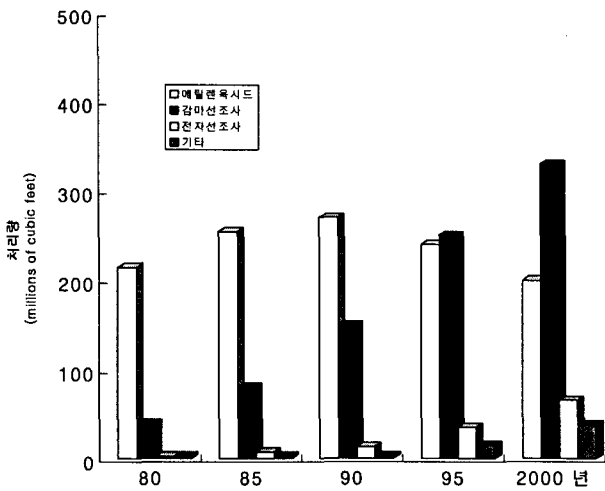


그림 2. 세계 공중보건산업의 살균방법에 따른 처리량 추이

표 10. 포장재의 방사선 조사 허용선량

(US FDA 자료)

포장재료	허용선량 (kGy)
Kraft paper	5
Glassine paper	10
Wax coated paperboard	10
Nitrocellulose coated cellophane	10
Vinylidene chloride copolymer(saran) coated cellophane	10
Vegetable parchment	60
Vinylidene chloride-vinyl chloride copolymer film(saran)	10
Vinyl chloride-vinyl acetate copolymer film	60
Rubber hydrochloride films	10
Polypropylene films	10
Ethylene-alkene-1 copolymer	10
Nylon 6 films	60
Polyethylene films	60
Polystyrene films	10
Polyethylene terephthalate films	60

특히 의료 및 화장품 용구의 방사선 조사시 가장 주의할 요하는 것은 제품재질의 열화(劣化)로서 프라스틱류는 방사선 조사에 의해 일반적으로 열화(기계적 강도 저하, 갈색으로 착색 등)하는 경우가 많으며, 외부에 도포된 실리콘이나 유지나 영향을 미치기 때문에 주의를 요한다. 이러한 작용을 방지하기 위해 가소제나 안정제가 첨가된 내방사선 재질의 소재가 개발되고 있으며, 재질의 열화 및 경시적 변화가 알려져 있지않는 원재료를 사용하여 방사선 멸균처리를 행할 경우에는 이러한 점에 대한 검토가 우선적으로 이루어지지 않으면 안된다(표 10, 11).

표 11. 재질에 대한 방사선의 영향

소재	방사선 내성	특징
스테인레스	매우 강	재질열화시험 불필요
알루미늄	매우 강	재질열화시험 불필요
탄소강	매우 강	재질열화시험 불필요
세라믹	매우 강	재질열화시험 불필요
유리	매우 강	착색이외 문제 無
은	매우 강	재질열화시험 불필요
폴리스틸렌	매우 강	4 × 10 <sup>6</sup> kGy 이하 안정
폴리에스테르	매우 강	재질열화시험 불필요
폴리우레탄	매우 강	폴리스틸렌보다 약하지만 방사선에 안정
플리에틸렌	매우 강	100 kGy 까지 인장강도 증가, 탄성을 감소
폴리아미드	매우 강	인장강도 및 경도 증가, 신장도 및 충격강도 감소
폴리염화비닐	강	황색 착색
폴리염화비닐리덴	강	폴리염화비닐보다 방사선에 약
폴리메틸펜탄	강	플리에틸렌과 폴리프로필렌의 중간정도 내방사선
에틸렌산비중합체	강	플리에틸렌보다 약하지만 방사선에 안정
폴리메틸메타크리레이트	강	황색 착색, 불투명화
폴리아크리노·니트릴	강	
ABS 수지	강	황색 착색, 플리에틸렌보다 약하지만 방사선에 안정
폴리카보네이트	강	100 kGy 까지 안정, 황색 착색
에폭시 수지	강	100 kGy 까지 안정
폴리프로필렌	약	황색착색, 조사후 경시적 재질열화(내방사선용 개발)
셀룰로오스	약	멸균선량으로는 안정
폴리아세탈	약	
테프론	매우 약	10 kGy 이하의 저선량의 조사로 재질열화
라텍스	매우 강	내방사선 매우 강
우레탄 고무	매우 강	200 kGy 까지 안정
천연 고무	강	100 kGy 까지 안정
실리콘 고무	강	80~100 kGy 까지 안정
부틸렌 고무	약	20~30 kGy 까지 안정

1990년대에 들어 의약품 제조분야에서는 국제적으로 의약품의 품질보장 및 안정성 확보를 도모하기 위해 Quality Control에 그치지 않고 Product Assurance 및 Product Confidence에도 충분히 배려한 의약품을 제조하는 것이 요구

되었다. 소위 WHO-GMP, ISO에 기준한 품질 매니지먼트(Quality Management)의 개념을 도입한 과학적인 품질보증 시스템의 구축과 그 확립 및 조직적인 운용이 필요하게 되었다. 최근 국내에서도 제약산업에서 품질이 보증된 의약품 공급하기 위한 GMP(Good Manufacturing Practice)가 도입되어 약효 또는 기준성분의 함유량, 물리·화학적 이물질의 유무, 미생물 및 해충오염의 유무 등에 관한 품질보증이 요구되고 있다.

의약품의 미생물 오염에 의한 대표적 사고 예로서는 1966년 스웨덴에서 갑상선장애 *Salmonella*균이 오염되어 수백명의 감염환자가 발생하였고, 이와 유사한 예로서 국외의료잡지에 안연고나 세정제 등의 미생물 오염에 의한 사고예가 백여건 정도 보고되어 있다.

국내 제약산업에서 특히 생약 및 한방약재의 미생물 오염 대책은 매우 중요하고 시급히 해결되어야 할 문제점이다. 생약 원료(식물, 동물장기 및 분비물 등)의 미생물 오염은 생산지에 따라 차이는 있지만 시료 1 g당 생균수가  $10^3 \sim 10^7$ 개에 달하고 있어 적절한 위생화 방법의 개발이 필요시 된다. 이를 위해 현재 이용되고 있는 방법들은 앞의 식품산업에서 언급된 것으로서 사용의 많은 한계성을 내포하고 있는 새로운 위생화 방법으로 방사선 조사기술 이용 연구가 특히 일본에서 현재 활발히 수행되고 있고, 국내에서도 한국원자력 연구소에서 연구되고 있다.

방사선 살균법은 감마선의 특징인 강력한 투과력에 의해 제품의 어떠한 원포장형태(다중포장 등)라도 처리가 가능하며, 제품의 품질을 상승시키지 않는 냉온살균법으로 가열처리가 불가능한 제품의 살균에 매우 효과적이다. 또한 화학훈증제 처리와는 달리 유효성분의 잔류 및 독성이 없으며, 오염유기체(미생물, 해충 등)의 살균, 살충이 확실하며 살균 공정관리가 정확하다는 것 등 많은 장점이 있다. 특히 생약 및 한방약재의 방사선 조사 이용은 오염미생물의 균수를 멸균수준이 아니라 살균수준으로 감소시키는데 목적이 있으므로 방사선 조사선량은 일반적인 의료용품의 멸균선량보다 상당히 낮아, 대개 10 kGy 정도의 조사선량이면 충분히 목적을 달성할 수 있다. 10 kGy 조사선량은 FAO/WHO/IAEA의 방사선 조사식품의 건전성에 관한 합동전문가위원회가 평균 10 kGy까지 조사된 어떠한 식품도 독성학상의 장해를 일으키지 않고 더 이상의 독성시험이 필요하지 않다고 발표한 방사선 조사선량으로, 생약이나 한방약재의 경우도 농산물, 축산물 및 그들 가공품으로 식품산물과 같은 범주에 속한다. 또한 선진국의 방사선 멸균에 대한 법규 및 기술지침을 보면 자국의 약전(藥典)에 “일반적으로 최소 25 kGy 선량으로 조사될 수 있으나 필요에 따라서 보다 낮은 선량으로 멸균처리되는 것이 바람직하다.”(미국 약전, USP) 또는 “방사선 멸균법이 의료용구 등에 바로 실용화 되어 있지만 照射된 의약품은 안전성이 보증되는 것이 명확하지 않으므로 그 안전성과 이차부생성물에 대한 확인이 병행되어 연구

되어야 한다.”(일본 약전, 영국 약전, 호조 약전) 라고 기재되어 있어 멸균기술에 대한 연구개발과 의약품 품질에 대한 엄격한 보증관리가 보완적으로 이루어지도록 하고 있다. 따라서 국내 의료, 제약산업에서 가공원료의 안정공급과 위생적 제품생산, 효율적 제조공정 및 안전한 저장·유통기술 확보를 위해 방사선 멸균기술의 이용은 필수적이며, 이를 위한 관계당국의 법적근거가 시급히 마련되어야 할 것이다. 또한 의료용품 및 의약품 수출시장에서 방사선 멸균법의 도입은 WTO 체제를 맞아 점차 높아져 가는 무역장벽인 TBT(Technical Barrier on Trade)와 SPS협정을 쉽게 극복할 수 있는 적극적인 대응책이다.

### 3. 무균 포장지 및 용기 생산산업에 이용

가공 편의식품의 급격한 발달과 식품산업에서 식품위해요소 중점관리기준(HACCP)의 도입과 더불어 식품공정중 무균 포장공정은 가장 중요한 단계로 인식되고 있다. 특히 초기에 투입되는 원료의 위생화 처리 못지 않게 공정중에 사용되는 용기 및 포장도 무균상태를 유지하는 것이 거의 필수적으로 받아 들여지고 있다. 일반적으로 식품가공업자나 포장필름 생산업자는 포장필름의 연신공정이 고온에서 이루어지므로 무균상태일 것으로 간주하는 경향이 많다.

그러나 연신공정이나 사출공정 등에서 발생된 이온화 정정기로 필름의 냉각과정중에 주의 낙하균이나 공주 부유균이 포장지에 부착되어 미생물의 오염이 빈번하게 일어난다. 일부 업체에서는 흔히 자외선 조사에 의한 살균공정을 이용하고 있지만 아포 형성 세균이나 효모 및 곰팡이들은 그 저항성이 크기 때문에 완전 무균상태로 멸균되기는 어렵다. 감마선 조사를 이용하는 경우에는 필름내부에 고착된 아포는 물론 곰팡이 포자까지 완전 사멸이 가능하다.

현재 미국이나 일본을 비롯한 많은 나라에서 식품포장재의 멸균에 있어서 감마선 조사기술을 이용하고 있으며, 최근 국내에서도 일부 포장재료 생산업체에서는 일본과 기술 제휴로 감마선 멸균된 무균 포장필름을 간편 조리식품이나 연포장제품 및 유제품 생산업체 등에 제공하고 있다. 이러한 식품포장업체의 위생에 대한 인식변화와 식품업체의 무균포장 라인의 증설 등으로 식품포장지에 대한 감마선 멸균 시장은 급속히 확대되고 있다.

또한 국내 이용사례로는 인공씨감자 조직배양용기 멸균으로 국내 최초로 인공씨감자 개발에 있어서 가장 곤란을 겪었던 부분이 조직배양 시 배양용기에서 배양되는 씨감자 조직의 피사가 일어나 배양이 곤란하다는 문제였다. 조직배양 중에 발생하는 조직피사현상에 고심하던 연구원들은 배양용기를 멸균하면서 잔류된 에칠렌 옥시드 멸균가스(E.O gas)의 독성이 원인임을 발견하고, 그 대체방법으로 독성물질의 잔류가 전혀 없는 감마선 조사방법으로 멸균된 용기를 선택함으로써 씨감자의 인공배양기술이 성공하게 되었다.

에칠렌 옥시드 가스는 세계보건기구(WHO)에서 제1종 발

암물질로 분류하고 있는 대표적인 멸균증제로 그 잔류독성이 심각하여 우리나라를 포함한 대부분의 나라에서 식품 중 사용을 전면 금지시킨 화학약품이다.

수술시 절개부분을 봉합하는 실(봉합사) 등과 같은 수술 재료들과 살아있는 독성실험이나 미생물 또는 세포조직배양 등에 사용되는 실험재료들의 멸균에 있어서도 이미 구미 선진국에서는 에틸렌 옥시드 가스멸균에서 감마선 멸균으로 대체되어 사용되고 있는 추세이다. 그러나 아직 국내에서는 독성학적으로 중요하고 정밀한 실험이나 외과적 수술에 있어서 멸균가스의 잔류독성 문제가 중요하게 고려되지 않고 있으므로 정밀실험의 의외적인 오차나 수술후 봉합부위의 조직괴사 등과 같은 심각한 우려를 안고 있는 실정이다.

현재 한국원자력연구소와 그린피아 기술(주)에서는 이러한 잠재적 문제들을 해결하기 위한 대안으로 감마선 멸균의 적용확대에 주력하고 있으며, 대단위 방사선 조사산업에서 필요한 연구개발은 물론 상업적 이용품목들에 대한 산업적 적용시험 및 기술개발을 유기적으로 상호보완하여 실행함으로써 앞으로 많은 분야에 감마선 조사기술의 이용확대가 기대된다.

#### 4. 농업 및 원예용품에 이용

농업용 관개 매트(Irrigation mats)나 화분 부토(Potting compost) 등에 감마선 조사 기술의 적용은 네델란드를 비롯한 유럽 각 국에서 활용되고 있는데, 주로 내부에 오염된 저곡해충의 충란과 세균 및 곰팡이들을 사멸시키고 불필요한 접초들의 발아를 방지하기 위해 이용된다.

국내에서도 구추 씌움병을 방지하기 위해 고추 지지대를 감마선 조사 처리하기도 하며, 국내의 많은 양봉업자들은 벌의 석고병 예방을 위해 벌 먹이 화분이나 사료뿐만 아니라 벌통 자체를 감마선 조사하기도 한다. 이들 제품들도 그 동안 에틸렌 옥시드 가스 등과 같은 훈증약품으로 소독하였으나 그 잔류물질의 독성으로 여왕벌과 수많은 일벌들이 죽는 등 여러 가지 문제가 발생되어 이를 해결하기 위해 감마선 조사를 살균 방법으로 선택하게 된 것이다.

그밖에 원예용 모종용기, 꺾꽂이용 쟁반 등 농업 및 원예용품들에 대한 그 활용도가 넓어지고 있다.

#### 5. 검역물품에 이용

미생물이나 해충의 오염이 쉽게 되는 천연섬유소재나 면직류 소재들로 만든 인형이나 완구류 그리고 목가 제품들은 국제무력이 증가됨에 따라 이들에 오염된 해충란과 세균 및 곰팡이류에 대한 검역처리에 있어서 감마선 조사기술이 이용되고 있다. 이들 제품에 오염된 해충이나 균들은 그동안 훈증약품처리와 같은 방법으로 검역통관이 가능했으나 현재 검역기술의 발달과 날로 까다로워지고 있는 위생기준의 설정으로 검역통관이 거부되는 경우가 발생하기도 한다. 이것

은 제품의 밀집부부이나 조직 내부에 고착된 충란 및 미생물에 대해 약품이 침투되지 않아 사멸되지 않는 가림효과(Shadow effect)때문이며, 감마선 조사기술은 이러한 가림효과가 없기 때문에 밀폐 포장 상태에서 완전 사멸이 가능하다.

더욱이 그 동안 아무런 규제 없이 사용하여 오던 검역용 화학훈증제인 메틸브로마이드(MBr)가 후진국은 2015년, OECD에 가입된 선진국은 2005년까지 단계적으로 금지되는 추세이므로 이에 대한 대체방안으로 감마선 살충 및 멸균기술이 더욱 확대되어 이용될 전망이다.

#### 6. 고분자 가공기술로 이용

기능성 신소재 개발이나 플라스틱 고분자 가공 등과 같은 기존 화학공정에 의한 물성개선 분야에서 환경적으로 유해한 화학촉매제 등의 첨가 방법을 대체하여 감마선 조사기술이 이용되고 있다. 특히 통신공사용 내열성 열수축 튜브 및 시트에서 고열에 견딜 수 있는 전압용 및 통신 케이블에 까지 감마선 조사 기술이 폭넓게 활용되고 있는 실정이다.

목재플라스틱 복합체 생산이나 열 수축 튜브 및 시트의 고분자 가공 등은 감마선 조사기술의 공업적 이용분야에 있어서 대표적인 기술이다.

폐목재질을 폐비닐과 혼합하여 새로운 물성을 지닌 목재 플라스틱 복합재료(Wood-plastic composite)를 생산하는데 있어서 감마선 조사기술의 활용은 앞으로 이들 폐재료의 재활용산업 발달과 더불어 그 이용이 크게 기대된다. 목재플라스틱 복합재료는 목재질에 플라스틱 모노머(monomer)를 침착시키거나 혼합하여 감마선 조사 가교시킨 내구성 신소재로 그 경도와 탄력도가 뛰어나 체육관이나 등산로 바닥재로 이용되며, 특히 내수성이 우수하여 온천실내 건축소재뿐만 아니라 항만인접 건축소재로 각광을 받고 있다.

이처럼 신소재 고분자 제품의 감마선 가공기술이 발전하고 있는데 반하여, 지금까지 플라스틱이나 고무의 가공 등에 사용하여온 화학 가공제 및 가소제들이 환경적인 대기공해의 원인이 되며 인체에 피부 알러지 및 발암성을 가진다는 것이 밝혀지면서 국제적으로 그 사용에 대한 규제를 받고 있다.

특히 그동안 라텍스 고무장갑 생산에서 반응촉진제로 사용되고 있는 DTO카루바민산염은 이 장갑을 자주 착용하는 주부나 외과의사들에게 습진이나 두드러기를 일으키기도 하며, 환경적으로도 발암물질인 니트로조아민 생성이 우려되고 난분해성 물질로 자연분해가 어려울 뿐만 아니라 가황처리시 유황이나 산화아연을 사용하기 때문에 소각 처리시 유황산화물과 배수오염이 발생하기도 한다. 이러한 문제로 감마선을 이용한 라텍스 고무장갑의 생산은 각 국의 환경보건학적 안전성 주시 추세와 더불어 널리 이용될 전망이다.

또한 환경보건학적 측면에서 뿐만 아니라 제품의 품질측면에서도 열 수축 튜브나 시트 생산에 있어서 감마선 조사 가

교기술은 내열성이나 형상기억 수축성이 화학적 가교보다 뛰어나 국내는 물론 외국에서 많이 활용되고 있는 실정이다.

이밖에 골프공 제조에 있어서도 감마선 가교기술이 이용되는데, 감마선 가교된 골프공은 덤플의 형상유지 및 탄력도 증가로 그 정확도와 장거리 도달 능력이 많게는 30%정도 뛰어나게 나타나 현재 미국의 감마 스포츠(Gamma sports)사에서 대규모로 활용하고 있으며 앞으로 국내에서도 그 활용이 기대되고 있다.

## 7. 문화재 보존 및 타임캡슐 수장물품에 이용

고문서나 목각 문화재의 원형 장기 보존과 각종 기념 타임캡슐 수장 물품에도 감마선 멸균 기술이 이용된다.

현재 이집트나 프랑스 등에서는 고문서나 목재 골동품 등의 해충이나 곰팡이 제거를 위해 감마선 조사기술이 이용되고 있으나 우리나라에서는 약품의 훈증에 의존하고 있는 형편이다. 특히 고문서와 같은 서적류를 적재상태에서 훈증할 경우 그 훈증가스가 서적내부까지 침투가 어려워 심층부의 충란제거가 어렵고, 심지어 살아 있는 성충이 비오염지역인 서책사이의 내부로 이동하여 오히려 서책내부의 서식처 마련으로 인한 파손이나 오염을 심화시킬 수도 있다. 감마선은 콘크리트 수 십 센티미터까지 투과가 용이한 고에너지 단파장 전자파이므로 서책을 밀봉하여 적재된 상태로 완전 살균/살충할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

타임캡슐의 기념 수장물품은 장기보존을 위해 멸균/멸충하는 것이 필수적인데, 국내에서는 1994년 서울정도 600년을 기념하여 타임캡슐에 수장된 600점의 물품과 두산타워 건물의 기공을 기념한 타임캡슐 등에 대해 감마선 조사기술이 이용되기도 하였다.

## 8. 보석 및 유리의 착색

우리나라 보석수출단지인 전북 이리 보석공단의 보석 신제품의 개발에 있어서도 감마선 조사기술이 응용되기도 하는데, 일반 유리나 인공수정 등에 감마선을 조사하게 되면 공정방법에 따라 여러 가지 농도로 착색되어 다양한 제품 연출이 가능하기 때문이다.

## IV. 대단위 방사선 조사기술의 산업화 현황 및 전망

식품 및 공중보건관련 산업에서 방사선 조사기술이 잠재적 이익에도 불구하고 본 기술의 실용화 진전은 예상보다 느렸다. 그러나 1980년대에 이르면서 국제기구(FAO/IAEA/WHO), 보건기관(US FDA) 및 Codex 식품규격위원회 등에서 안전성(독성학적, 영양학적, 미생물학적 안전성)을 인정함에 따라

선진국을 중심으로 각국은 본 기술의 실용화를 위해 적극적인 자세를 보여왔다. 그 결과 식품의 경우 42개국에서 230여종의 식품에 방사선 조사를 허가하였고, 이중 28개국 상업적 규모로 본 기술을 실용화하고 있다. 의료용품을 포함한 공중보건산물의 경우에도 방사선 조사시설을 보유한 대부분의 국가가 상업적으로 이용하고 있으며, 의료용구, 의약품, 화장품 등의 경우 미국, 벨기에, 캐나다, 프랑스, 네델란드, 노르웨이, 덴마크, 폴란드, 중국, 호주, 인도, 인도네시아, 이스라엘, 남아연방, 멕시코, 크로이티아 등 세계 42개국 200개 이상의 조사시설에서 본 기술이 이용되고 있다. 이와 같이 식품 및 공중보건관련 산업에 있어서 방사선 조사기술의 실용화가 세계적으로 점차 확대되고 있는 것은 그 안전성과 경제성 및 기술적 타당성이 인정되기 때문이다.

국내에서는 본 기술의 연구가 한국원자력연구소에서 지금까지 20여년간 수행되고 있으며, 한국원자력연구소가 기술지원한 민간기업(그린피아기술 주식회사)에 의해 1987년 6월 경기도 여주에 국내 최초 상업적 다목적용 방사선 조사시설( $Co^{60}$ , 100만 Ci)을 준공, 현재 가동 중에 있다.

현재 식품산업에서 방사선 처리는 화학살균제나 가열살균을 적용할 수 없는 제품을 중심으로 이용되고 있으며 여기에는 특히 수출용 가공식품 생산업체나 HACCP를 도입하여 가공원료의 미생물 기준을 엄격하게 관리하는 업체에 납품하는 일부 식품가공원료 생산업체가 주를 이루고 있으며, 이들 식품의 연간 방사선 처리량은 약 2,000여 톤 정도이다. 최근에는 본 시설을 이용하는 업체수가 계속 증가하고 있으며, 이는 위생적 품질관리가 절대적으로 요구되는 가공식품의 대량생산체제에서 현실적으로 분말 및 건조식품과 수출용 가공식품에 적합한 살균, 살충방법이 미비한 상황이므로, 국내·외의 식품산업에서 방사선 조사기술의 수요가 증가하는 것은 당연한 현상이라 하겠다.

국내 제약 및 의료용품 산업에 있어서 방사선 멸균이 1980년대 후반에 들어서 제조품목이 다양해지고 우수제조관리기준(GMP)이 도입됨에 따라 기존 멸균방법인 가스 멸균이나 가열멸균으로 처리되기 어려운 제품들의 새로운 대체 멸균법의 적용이 절실히 요구되어 왔다. 이러한 요구에 따라 1987년 국내 최초의 산업용 대단위 다목적 감마선 조사시설이 준공되면서 각종 제약 및 의료용품의 방사선 멸균이 본격적으로 활용되고 있으며 최근 연간 처리물량은 약 1,500여톤에 달하고 있다.

현재 국내에서 방사선 조사되고 있는 의료용품들은 유럽과 미국으로 수출되는 소모성 진료기구와 진단용 기구들이 주된 품목을 이루고 있으며, 가열멸균이나 가스훈증법을 적용할 수 없는 일부 품목들에 한하여 이용되고 있다. 그동안 국내 의료용구 산업에서 생산되고 있는 소모성 진료용구들 중 가장 많이 사용되고 있는 재질인 폴리프로피렌이 방사선에 의해 물리적인 성질이 변하여 이들 재질로 구성된 제품에는 방사선 멸균을 이용할 수 없었다. 따라서 방사선에 견

될 수 있는 재질로 구성된 의료용품에 한하여 제한적으로 이용될 수 밖에 없었다(표 12).

표 12. 국내 제약 및 의료용품산업에서 방사선 조사 이용 품목 및 적정 조사선량

품 목	선량(kGy)	품 목	선량(kGy)
수술용 장갑	20	원심분리관	25
흡수성/비흡수 복합사	25	인공장기	25
수술칼의복포	25	브러쉬/화장술	20
압박대/붕대	25	맛사지 팩	10
치과용 소독충진제	25	혈액 투석기	25
안약 공병	20	설압기	15
한방침/주사바늘	25	전자수술기/수술장비	25
바셀린 거즈	20	여과필터	20
1회용 밴드	25	멸균 테이프	25
유린 백	25	알부민	25
안대	25	연고류	20~25
채혈수혈수액세트 및 백	25	좌약	10
탈지면	15	항생제류	7~20
젯병꼭지	15	칼슘/비타민 등 영양제	3~10
콘택트 렌즈	10	혈청제품	15
파임기구생리대	15	인슐린	10
배양 디쉬	15	동식물 생약재 원료	10~25

(자료 : 그린파아기술 주식회사)

그러나 최근 국내에서도 방사선에 견딜 수 있는 플라스틱이 개발되어 새로운 전기가 마련되었다. 이 재질은 초기에 실험실 규모의 파이롯트 시설에서 생산하였으나 현재에는 대규모 공정시설에 의한 대량생산체제로 국내 수요량을 맞출 수 있는 한편 내방사선 플라스틱 원료 자재를 외국으로 수출까지 하고있는 실정이다. 이러한 내방사선 플라스틱 원료의 국산화에 따라 국내 의료용구 산업에서는 선진국과 동등한 위생적 품질을 갖추기 위하여 1회용 주사기를 비롯한 각종 소모성 진료기구를 방사선 멸균하기 위한 개발을 서두르고 있으므로 방사선 멸균의 산업적 활성화가 기대된다.

한편 일본의 제약 및 의료용품 산업의 경우를 보면, 멸균법의 채용율은 EO gas처리가 83~86%로 가장 높고, 고압 증기멸균이 31~33%, 감마선 멸균으로 29~35% 정도이며, 전자선 멸균의 채용율은 7~11%로 낮다. 이와 같이 EO gas 멸균의 채용율이 다른 멸균법에 비하여 압도적으로 높은 값을 나타내고 있다. 이는 멸균시설의 설치가 용이하고 멸균 처리 후 재질열화가 적으며 처리비용이 낮아서 중소기업으로부터 대기업까지 광범위하게 이용되고 있기 때문이다. 또한 두 종류 이상의 멸균법을 채용하고 있는 기업도 40% 정도 되며, 복수 멸균법을 이용하고 있는 이유는 의료용품의 재질이나 구조에 따라서 적절한 멸균법을 선택하고자 하는 기업이 있기 때문이다. 3종류 이상의 멸균법을 채용하고 있는 기업은 10% 정도이며 그 대부분이 대기업이다.

현재까지 일본에서 생산되는 총 멸균 의료용품 등의 체적

은 60만m<sup>3</sup>로 이중 감마선 멸균제품의 비유은 약 30만m<sup>3</sup>로서 총 멸균 의료용품의 약 50%이다.

## V. 맺 음 말

식품 및 의료, 제약, 화장품 등 공중보건관련 제품의 생물학적 위해요소를 사전 차단할 수 있는 감마선 조사기술은 1960년대에 우주인 식품의 HACCP 프로그램에 본격 도입된 이래 지금까지 어떠한 식품 및 의료, 제약, 화장품 등 공중보건관련 산업의 위생화 기술보다 가장 방대하고 체계적이며 심도있게 연구되어 왔으며, 과학적이면서도 객관적으로 그 안전성이 확실하게 입증된 상황이다. 따라서 각 국에서는 감마선 조사 기술을 가장 효과적이면서도 신뢰할 수 있는 위생화 기술로 높이 평가하고, 그 실용화에 박차를 가하고 있는 실정이다.

식품 및 의료, 제약, 화장품 등 공중보건관련 산업에서 방사선 조사기술의 확대 적용을 통한 기대 효과는

(1) 식품의 장기 안전 저장을 통한 식량간접증산 및 가격 안정화

수확된 농수축산물의 해충 및 부패유기체의 생육억제로 식량자원의 위생적 장기 안전저장 및 가격안정화 꾀할 수 있으며, 농수축산물 가공보존 기술의 한 단계 발돋움으로 농·수·축산 생산자의 소득증대 및 국가 경제 발전에 이바지할 수 있다.

(2) 식품 및 공중보건산물의 안전성 확보 및 품질 경쟁력 향상

식품 및 공중보건산물에 오염된 리스테리아, 대장균 O-157:H7, 살모넬라 등 병원성 세균의 사멸로 더욱 안전한 제품생산과 공급으로 질병예방 및 기존 방부제나 살균제 및 살충농약 등 화학약품 처리의 대체기술로 이용되어 위생적인 제품생산과 유통 및 품질 경쟁력을 확보할 수 있다.

(3) 화학 훈증제 사용 금지에 따른 대체기술

식품 및 공중보건산물의 살균·살충 등에 사용되는 화학 훈증제의 사용이 세계적으로 점차 금지되어 OECD가입 선진국들의 경우 해충구제에 사용하고 있는 메틸브로마이드(MBr)를 1999년 25%, 2001년 50%, 2003년 70%까지 감축하고, 2005년 전면 금지키로 협약하여 이에 대한 대체기술로 방사선 조사기술이 대두되고 있으며, 앞으로 국가간 교역에서도 품질규격이 더욱 엄격해 질 것이므로 국내 농수축산물과 그 가공품 및 공중보건산물의 수출 경쟁력을 향상시킬 수 있다.

(4) 이용의 다양성 및 완전 밀봉포장 상태로 살균·살충할 수 있는 편리성

방사선 조사기술은 식품조사뿐만 아니라 의료용품, 화장품류, 식품포장용기 멸균 등 산업적으로 다용도로 활용될



수 있고 언제든지 사용이 용이하다. 때문에 조사시설의 건설은 세계적으로 증가되고 있으며, 또한 콘크리트를 20~30 cm까지 유해물질의 잔류 없이 투과하는 감마선의 성질을 이용하므로 완전 포장된 상태로 살균, 살충이 이루어질 수 있고 살균 후 포장할 필요가 없어 재 오염의 기회가 없으므로 위생적이며 편리하다.

(5) 국제교역에 있어서 법률의 조화 및 경제적 측면

방사선 조사기술은 식량자원 및 공중보건산물의 국제교역에 있어 검역관리 기술로서 매우 효과적인 방법으로 각국에서 평가하고 국제기준에 맞게 법률을 재정비하고 있다.

① 수입 식품 전염병 관리

식량의 2/3이상 수입에 의존하는 우리나라는 전 세계에서 발생하는 모든 식품 전염병에 노출되어 있는 상태로 다른 살균법이 없는 냉동·냉장제품에 대한 검역관리는 무방비상태라 할 수 있다. 특히 개발도상국으로부터 원료를 수입하여 가공되는 편의식품과 각종 수입식품이 날로 증가하여 새로운 식품가공, 저장 및 위생화 기술의 필요성은 더욱 증대될 전망이다. 따라서 이들 제품에 감마선 조사기술은 적극 활용하여 수입되는 식품과 함께 들어오는 외래 식품 전염병과 식중독을 사전에 해결할 수 있는 관리방법이다.

② 수출상품의 위생적 품질의 개선

날로 까다로워지고 있는 수입국의 위생규격을 극복하고 위생적 품질을 개선하기 위해 수출되는 국내 생산 농수축산물과 그 가공품 및 공중보건산물 등에 감마선 조사기술을 적용함으로써 수출 경쟁력을 확보할 수 있어 수출산업에 지대한 공헌을 할 수 있다.

상기에서 언급한바와 같이 국제적으로 40여년 동안 식품 및 공중보건관련 산업에서 방사선 조사기술을 이용한 위생화 연구결과는 차례적으로 이용되어 오던 타 방법의 많은 문제점을 보완하거나 해결하기 위한 대체방안으로서의 그 안전성과 경제성이 인식되어지고 있다. 그러나 본 기술의 실용화가 소비자의 이해가 선행되어야 하므로 무엇보다도 현행 위생화 방법의 장단점과 방사선 조사기술의 특징이 사실에 입각하여 정확하게 비교 홍보되어야 할 것이며 정부 관계당국에서도 본 기술의 사용을 위한 법적근거 마련이 필요시 된다. 또한 지금까지 본 기술의 연구는 정부주도하에서 추진되었으나, 앞으로는 소비자나 기업에게 자유로운 기술선택의 기회를 제공하기 위한 공동참여 연구와 방사선 조사제품의 관리 및 적절한 홍보 등의 협력이 요구된다. 따라서 식품 및 공중보건관련 산업에서 원자력 기술의 이용은 이들 산업의 건전한 발전을 위해 보다 적극적이고 긍정적인 자세로서 연구개발과 산업화 기반을 다져 나감으로써, 소비자와 생산자의 안전과 이익 보장은 물론 국민보건과 국가경제 향상에도 크게 이바지할 수 있고 나아가 우리의 실정에 알맞는 새로운 기술의 정착을 기대할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- Lutter, R. Food Irradiation-The neglected solution to food-borne illness. *Science*. 286(5448), 2275 (1999)
- John, H. Irradiation-A safe measure for safer food. *FDA Consumer*. May-June 1988, p.13 (1988)
- Adams, P. Where 's the beef? An update on meat irradiation in the USA. *Radiat. phys. Chem.* 57, 231 (2000)
- Bruhn, C. Consumer attitudes and market reponse to irradiated food. *J. Food Prot.* 58, 175 (1995)
- Byun, M. W., Kang, I. J., Cho, H. O. and Kwon, J. H. Consumers ' perceptions and attitudes toward irradiated foods. *Food and biotech.* 3, 89 (1994)
- Canadian Medical Association(CAMA). Food irradiation: Let 's do it. *Canadian Med. Assoc. J.* 162, 5 (2000)
- Diehl, J. F. Safety of irradiated food, Marcel Dekker Inc., New York. (1990)
- Donald D. D. and Ronald E. E. Status of Food irradiation in The United States. *Radiat. Phys. Chem.* 42, 289 (1993)
- DuPont, H. L. How safe is the food we eat? *J. Am. Med. Assoc.* 268, 3240 (1992)
- FAO/IAEA. RCA project Co-ordination meeting on irradiation as a sanitary and phytosanitary treatment of foods, Dalian, China, 1-3 September 1999, *Food and Environmental Protection Newsletter* 2, 5 (1999)
- FAO/IAEA/WHO. International conference on ensuring the safety and quality of food through radiation processing, Antalya, Turkey, 19-22 October 1999. *Food and Environmental Protection Newsletter* 2, 10 (1999)
- FDA. US Department of Health and Human Services. 21CFR, Part 179, Irradiation in the production, processing, and handling of food: Final Rule. *Fed. Regist.* 62, 64107 (1997)
- Gatenbu, S(Editor). Current literature in human nutrition and dietetics. *J. Am. Dietetic Assoc.* 96, 254 (1996)
- Jacoby, P. and Baller, J. Let 's stop playing culinary roulette and get on with irradiation food, Washington Legal Foundation. *Legal Opinion Letter.* 4, 77 (1994)
- Kaferstein F. K. and Moy, G. G. Public health aspects of food irradiation. *J. Pub. Health Pol.* 14, 149 (1993)
- Kameyama, K. and Ito, H. Twenty-six years experience of comercialization on potato irradiation at Shihoro, Japan, *Radiat Phys. Chem.* 57, 225 (2000)
- Loaharanu, P. Irradiation as a cold pasteurization process of food. *Veter. Parasit.* 94, 71 (1996)
- McGregor, A. Food irradiation endorsed. *Lancet*, 344, 1149

- (1994)
19. Olson, D. G. Irradiation of food. *Food Technology*, 52, 56 (1998)
  20. Osterholm, M. T. Cyclosporiasis and raspberries. *New Eng. J Med.* 337, 1170 (1997)
  21. Peter J. G. N. Practical implications of developments in legislation on food irradiation in the European Union. *Radiat. Phys. Chem.* 57, 215 (2000)
  22. Ralph T. R. et al. Food irradiation in the United States: irradiation as a phytosanitary treatment for fresh fruit and vegetables and for the control of microorganisms in meat and poultry. *Radiat. Phys. Chem.* 57, 211 (2000)
  23. Thayer, D., Josephson, E., Brynjolfsson, A and Giddings, G. Council for Agriculture Science and Technology (CAST) 7 (1996)
  24. WHO. Food Irradiation. WHO/68 (1997)
  25. WHO/FAO. Food irradiation: A technique for preserving and improving the safety of food. WHO, Geneva (1988)
  26. WHO/HPP/FOS. Review of the safety and nutritional adequacy of irradiated food, WHO, Geneva (1994)
  27. WHO. Review of Data on High Dose (10~70kGy) Irradiation of Food International Consultative Group on Food Irradiation. WHO, Food Safety Unit (1997)
  28. WHO. Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food. 161 (1994)
  29. 변명우. 식품 산업에서 감마선 조사 기술의 이용과 전망. *식품과학과 산업* 30, 89 (1997)
  30. 변명우. 식품 조사기술의 국내 연구현황. *식품과학과 산업* 31, 19 (1998)
  31. Christine, A. Northrop-Clewes. Parasites. *British Medical Bulletin*, 56(1), 193 (2000)

---

(접수 2003년 1월 8일, 채택 2003년 1월 29일)