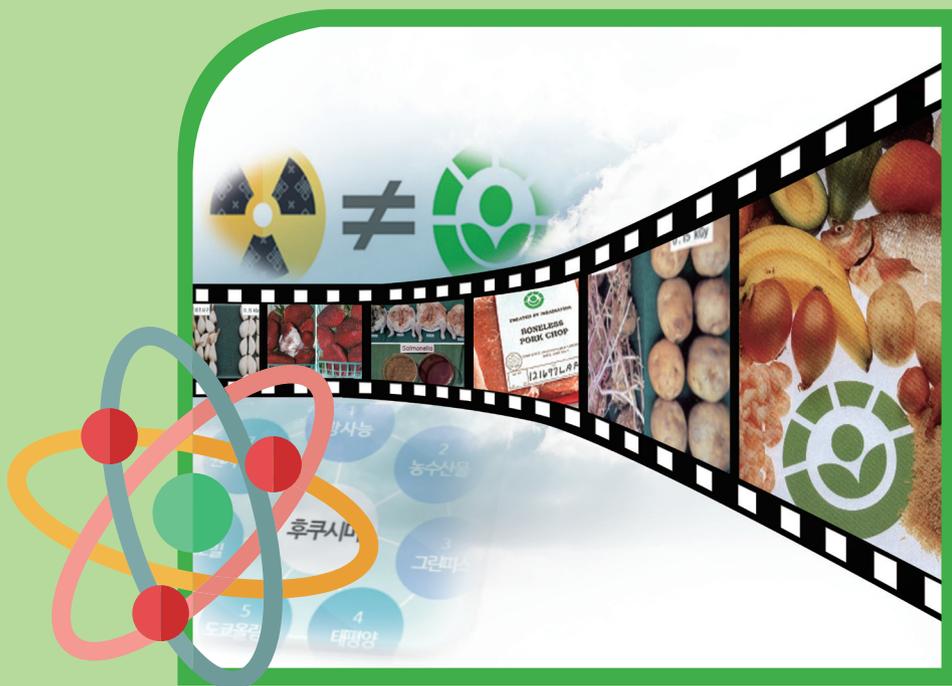


식량안보시리즈 제 11 권

알기 쉬운 방사능 · 방사선 & 식품안전

권 중 호 지음



저자 소개



권중호

경북대학교 식품공학부 권중호 교수는 방사선기술 이용과 식품유통안전 분야를 약 40년 간 연구한 전문가이다. 경북대학교 농화학과를 졸업하고, 한국원자력연구원과 캐나다 농무부 식품연구소를 거쳐 경북대학교 식품공학부 교수로 근무하였다. 한국원자력연구원 연구실장, 캐나다 식품연구소 연구원, 경북대학교 농업생명과학대학 학장, 식품생물산업연구소 소장, 한국식품저장유통학회 회장, 한국식품영양과학회 회장, 식품의약품안전처 식품위생심의위원회 위원장 등으로 활동하였고, 현재는 한국과학기술한림원 정회원과 국립농산물품질관리원 안전성 자문관으로 활동 중이다. IAEA 장학생으로 캐나다 농무부 식품연구소와 환경기술연구소에서 감마선 이용 및 마이크로파 추출연구를 하였고, 미국 아이오와주립대학(NASA우주식품연구센터)에서 전자빔 조사식품의 확인방법(detection methods) 연구를 수행했다. 이온화 및 비이온화 에너지를 이용한 식품저장, 안전성 확보 및 기능성 성분 추출연구를 실시하여 560여 편의 학술논문(SCI 210편), 국내외 저서 17편, 특허 기술이전 10여 건 등의 실적을 식품정책(조사처리식품 10여 건, 확인시험법 4건 공전등재)과 감마선/전자선 조사시설(2기) 운영에 활용하였다. 대한민국 농업과학기술상, 한국식품영양과학회 학술상, 한국식품저장유통학회 학술상, 한국식품과학회 인계식품화학상, 한국응용생명화학회 최다인용논문상, 고려인삼학회 우수논문상, 과학기술우수논문상, 오토기학술상, 경북대학교 학술상, 대통령표창 등을 수상하였다

알기 쉬운

방사능 · 방사선 & 식품안전

권중호 지음

한국식량안보연구재단(www.foodsecurity.or.kr)

본 재단은 세계적인 식량위기 상황을 분석하고 평가하여 우리나라 식량안보에 미칠 영향을 미리 예측하고, 이에 대비하기 위한 국가적 정책개발과 국민 의식개혁 운동을 선도하기 위해 2010년 4월 설립된 순수 민간 연구기관이다. 재단은 안정적인 식량공급을 위해 농업과 식품산업이 식량공급의 주체가 되는 새로운 식량정책의 개발에 힘쓰고 있다. 특히 식품산업의 식량안보적 기능을 강화하고, 식품산업이 사회적 책임을 다하도록 노력하고 있다. 재단은 독자기들의 후원금을 모아 식량안보에 관한 학술활동을 지원하며 출판사업과 관련 자료를 수집하고 공유하는 일을 하고 있다. 재단은 식량자급실천 국민운동 추진본부로서 식량부족의 위험이 없는 사회를 다음세대에게 물려주기 위한 국민실천운동을 전개하고 있다. 도서출판 식안연(食安研)은 재단의 출판사업을 수행하고 있다.

알기 쉬운 **방사능·방사선 & 식품안전**

연쇄 2020년 2월 3일 초판 인쇄
발행 2020년 2월 7일 초판 발행
지은이 권중호 (jhkwon@knu.ac.kr)
발행인 이철호 (한국식량안보연구재단)
발행처 도서출판 식안연
주소 서울시 성북구 안암로 145, 고려대학교 생명과학관(동관) 109A호
전화 02-929-2751
팩스 02-927-5201
이메일 foodsecurity@foodsecurity.or.kr
홈페이지 www.foodsecurity.or.kr
편집·인쇄 한림원(주) <http://www.hanrimwon.com>

* 이 책의 무단 전재 또는 복제를 금합니다.

이 책의 출판은 (재)오투기함태호재단의 연구 및 출판 지원 사업에 의해 지원되었습니다.

국립중앙도서관 출판예정도서목록(CIP)
알기 쉬운 방사능·방사선 & 식품안전 / 권중호 지음
서울 : 식안연, 2020 (식량안보시리즈 ; 제11권)

ISBN 979-11-86396-59-9 95300 : W16,000

CIP2020003424

알기 쉬운
방사능·방사선 & 식품안전



머리말

2011년 3월 일본 후쿠시마 원전사고가 발생한 이후 지금까지 식품의 방사능오염은 국내는 물론 국제적인 이슈가 되어왔다. 식품산업의 당면과제는 식량안보와 식품안전이다. 식량안보는 식량자급률 향상과 식품가공원료의 안정적 확보에 있다. 식품의 안전은 식중독균, 기생충, 검역해충 등의 생물학적 오염과 방사성물질, 농약, 항생물질, 중금속, 환경호르몬, 이물질 등과 같은 이화학적 오염에 의해 위협을 받고 있다.

식품의 방사능오염은 원자력발전소 사고나 핵실험으로 인한 방사성물질의 누출이 주된 원인이다. 원전사고 등으로 인해 방출될 수 있는 주요 방사성 물질(핵종)은 요오드, 세슘, 플루토늄, 스트론튬, 제논 등이 있으며, 이들은 각각의 반감기(half-life)에 따라 방사능이 절반으로 감소된다. 하지만, 유통식품에서 방사능오염이 확인되면 소비자들은 큰 불안감을 느끼게 된다. 특히, 오늘날 식량수입이 날로 늘어나고 있는 시점에서 수입식품의 방사능오염은 국가 간 중대 이슈가 될 수 있다.

원전사고나 핵관련 실험으로 유출되는 방사성물질은 여러 경로를 통해 농식품에 오염된다. 원전사고 시 대기로 방출되는 방사성물질은 낙진 또는 비를 통해 토양이나 해양, 강 등을 오염시킨다. 원전냉각수의 방출에 따른 해양의 오염은 수산자원의 이용에 큰 장애가 될 수 있다. 이와 같이 오염된 토양, 산림, 강, 해양 등에서 수확, 채취한 농산물, 축산물, 임산물, 수산물 등은 방사능의 오염가능성이 늘 존재한다.



이에 따라 식품의 방사능오염에 대한 국민들의 불안감을 해소하고, 소비자들의 식품안전에 대한 이해를 높이고자 본서에서는 “방사능과 방사선, 그리고 식품안전”이란 제목의 알기 쉬운 내용으로 일반국민, 대학생, 식품업계 및 정책담당자들에게 다가가고자 한다.

방사능 즉, 방사선을 내는 방사성물질(방사성핵종)은 자신이 불안정하여 핵분열을 일으키며 방사선에너지를 방출한다. 이때 방출되는 에너지는 다양한 특성으로 생물체에 작용하게 된다. 따라서 기초개념으로서 방사능과 방사선의 정의와 단위, 생활 주변의 방사선, 방사선의 노출량에 따른 위험, 방사성동위원소와 방사선의 산업적 이용분야, 식품의 방사능오염과 측정관리, 방사능오염의 국내외 기준과 안전관리체계, 방사능오염식품(radioactive contamination food)과 조사처리식품(irradiated food)의 차이를 알기 쉽게 설명하였다.

한편, 우리가 두려움의 대상으로 여긴 원자력을 세계 평화와 인류복지를 위해 사용하자는 미국 아이젠하워 대통령의 UN총회 연설(1953)을 계기로 선진국과 유엔의 주도로 “방사선과 방사성동위원소”의 의료적, 공업적 및 농업적 이용 연구가 활발히 이루어졌다. 그 결과 현재 다양한 산업 분야에서 방사선 관련기술이 광범위하게 활용되어 건강증진과 인류복지에 이바지하게 되었다.

본서에서는 방사선기술, 즉 방사선에너지의 독특한 성질을 이용하여 식품이나 원료, 사료, 식품포장재 등에 오염된 식중독균, 부패균, 저장해충, 검역해충 등의 사멸과 농림산물의 발아·발근억제 및 신선도 연장기술에 대해 알기 쉽게 소개하였다. 식품에 대한 조사처리기술(food irradiation, 食品照射)은 원자력을 이용하는 특수성 때문에 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 미국 등 선진국의 주도로 기술의 타당성과 조사처리식품(irradiated food)의 안전성이 반세기 이상 체계적이고도 과학적으로 연구되었고, 그 연구결과가 전문적으로 평가되어 조사처리식품의 안전성이 국제적으로 공식 인정되었다. 이에 따라 국제식품규격위원회(Codex)의 관련 기준규격과 시행지침이 마련되었고, 우리나라를 포함한 60여 개국의 보건당국이 본 기술의 이용을 허가하여 글로벌 시장에서 조사처리식품이 유통되고 있다.

기후변화가 식량생산과 식품안전에 미치는 영향을 고려할 때 식품산업에서도 이에 대응한 친환경적 기술의 이용이 세계적인 추세이다. 더욱이 농식품의 수출입이 증가되는 현 상황에서 교역국 간에는 안전에 대한 보증(safety assurance)이 필수적이며, 이를 위한 위생검역처리의 기준 일치(harmonization)를 위한 양자합의가 우선되어야 한다. 따라서 본서에서는 식품조사기술에 관련된 코덱스(Codex) 및 국내 기준규격과 이용분야, 장·단점, 국내외적 현황, 소비자수용성 등을 소개하였다.



아울러, 주요 국가의 식품안전성 확보를 위한 방사선기술의 실용화 사례를 알기 쉽게 소개함으로써, 국민들의 식품안전에 대한 이해증진과 우리 식품산업의 대외경쟁력을 높이는데 기여하고자 하였다.

본 저서는 필자가 지난 40년 간 연구하고 조사한 방사능·방사선 안전과 방사선에너지의 이용에 대한 정보자료를 바탕으로 일반국민, 식품업계, 정책담당자, 대학생 등에게 활용될 수 있는 기술서로 저술하였다. 본서의 집필을 위해 지원해 주신 『(재)오뚜기함태호재단』에 감사드리며, 본 서적이 식품안전과 식량안보를 위해 국민들에게 더욱더 많이 읽히지도록 『식량안보시리즈』로 발간해 주신 『한국식량안보연구재단』 이철호 이사장님께 감사를 드린다.

2020년 1월

경북대학교 명예교수 권 중 호

추천의 글

삶의 질을 추구하는 21세기의 키워드는 식량과 에너지와 환경일 것이다. 우리가 살아가는 지구촌은 환경오염이 심해지고 기후변화가 현실로 다가와 안전한 먹거리의 안정적 확보는 무엇보다 중요한 과제가 되고 있다.

이온화 조사(照射)에 의한 식품의 저장성 향상 기술은 인류가 20세기에 이룩한 중요한 과학기술 성과 중의 하나이다. 과채류나 육류와 같은 신선식품은 열처리에 의한 살균이나 위생화가 불가능하므로 주로 화학보존제에 의존해 저장성을 연장해 왔는데 방사선을 이용한 이온화 저온살균기술로 품질에 변화 없이 장기저장이 가능해진 것이다. 조사처리기술은 아주 낮은 조사선량으로도 발아억제나 해충사멸 효과를 얻을 수 있다. 이로써 검역과정에서 사용하던 메틸브로마이드 같은 오존층을 파괴하는 살충제가 방사선조사로 대체되고 있다. 방사선 조사를 하면 냉장고나 냉동고에 저장하던 즉석식품을 실온에 쌓아두고 먹을 수 있어 에너지 소비를 크게 줄일 수 있다. 과학자들은 이온화 조사처리기술이야말로 가장 안전하고 경제적이며 효과적인 미래 식량저장기술이라고 믿고 있다.

그러나 체르노빌 원전사고나 후쿠시마 방사능 유출사고로 핵에너지 이용에 대한 불안감이 커지면서 방사선처리기술에 대한 우려감도 커졌다. 특히 많은 소비자들이 방사능과 방사선을 구분하지 못하고 동일한 불안감을 가지고 있는 것이 현실이다. 특히 국내에서는 조사처리식품에 대한 표시제도가 필요이상으로 강화되고 소비자들의 불신으로 식품에 대한 방사선 조사처리는 사실상 중단된 상태이다.



이러한 때에 방사능과 방사선의 차이에 대해 명쾌하게 설명한 이 책은 실로 가치 있고 시의적절한 저술이다. 방사능물질과 그 붕괴과정에서 발생한 낙진은 대단히 위험하지만, 의료용이나 식품 저장에 사용하는 방사선은 대단히 낮은 수준의 에너지파(wave)로 잘 관리된 시설에서 조사하면 질병을 치료하거나 식품의 위생화에 효과적으로 사용될 수 있다. 이 책은 방사선기술의 산업적 이용, 특히 식품에 이용되는 방사선에너지의 특징과 생물유기체에 미치는 영향에 대해 자세히 설명하고 있다. 또한 조사처리식품의 안전성 평가와 조사식품의 허가 및 관리규정에 대해 설명하면서 소비자의 수용성에 대한 현황과 문제점을 논하고 있다. 부록으로 용어해설을 비롯하여 방사능과 조사처리식품에 대한 소비자 Q & A와 조사식품의 세계적 허가현황을 광범위하게 수록하였다.

세계인구는 2050년에는 90억 명으로 증가할 것으로 예측되며 이들을 먹여 살릴 식량이 부족할 것이라는 위기감이 고조되고 있다. 현재 세계인구의 12%에 해당하는 8억5천만 명이 영양부족 상태에 있지만 우리는 공급식량의 30%를 잃어버리고 있다. 이중 상당부분이 수확후 저장·유통 중의 손실이며, 조사처리기술을 활용하면 이를 크게 줄일 수 있다. 이런 관점에서 방사능과 방사선에 대한 올바른 이해와 식품안전을 도모하기 위한 길잡이로써 이 책의 중요성은 높이 평가되어야 하며, 많은 분들이 이 책을 읽고 식품의 조사처리기술에 대한 이해를 넓히기를 바라는 마음 간절하다.

2020년 1월

한국식량안보연구재단 이사장 **이 철 호**

제1장

방사능과 방사선의 기초개념을 알아보자

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1.1 방사능이란 무엇인가? | 15 |
| 1.1.1 방사능이란? | 15 |
| 1.1.2 방사성물질이란? | 15 |
| 1.1.3 방사능오염이란? | 15 |
| 1.1.4 방사능오염물질의 종류는? | 16 |
| 1.1.5 방사능오염물질의 반감기는? | 16 |
| 1.2 방사선이란 무엇인가? | 17 |
| 1.2.1 방사선이란? | 17 |
| 1.2.2 방사선의 종류와 성질은? | 18 |
| 1.2.3 방사선의 종류에 따른 생물학적 작용은? | 20 |
| 1.3 방사능과 방사선의 단위는? | 21 |
| 1.3.1 방사능의 단위는? | 21 |
| 1.3.2 인체에 영향을 나타내는 단위는? | 22 |
| 1.3.3 방사선량의 단위는? | 22 |
| 1.4 방사능 & 방사선, 더 쉽게 이해하기 | 23 |
| 참고문헌 | |

제2장

방사능과 방사선의 종류와 위험 수준은?

| | |
|--|----|
| 2.1 천연방사능과 인공방사능의 종류와 발생하는 방사선의 양은? ..25 | |
| 2.1.1 천연방사능의 종류는? | 25 |
| 2.1.2 인공방사능의 종류는? | 26 |
| 2.1.3 자연방사선과 인공방사선의 양은? | 26 |
| 2.1.4 우리나라와 세계의 자연방사선 수준은? | 27 |
| 2.1.5 생활 속의 인공방사선 수준은? | 29 |
| 2.2 방사선피폭이란? | 30 |
| 2.2.1 외부피폭이란? | 30 |



| | |
|--------------------------------------|----|
| 2.2.2 내부피폭이란? | 30 |
| 2.2.3 방사선 외부피폭과 내부피폭의 위험은? | 31 |
| 2.3 방사선노출의 위험수준과 나타나는 증상은? | 32 |
| 2.4 인체에 노출되는 방사선의 양은 어떻게 측정하나? | 33 |
| 2.5 일상생활의 방사선, 자세히 알아보자 | 34 |
| 2.6 방사능 & 방사선, 얼마나 위험할까? | 35 |
| 참고문헌 | |

제3장 식품의 방사능오염과 안전관리는?

| | |
|----------------------------------|----|
| 3.1 방사능의 누출사례는? | 37 |
| 3.2 식품의 방사능오염 경로는? | 37 |
| 3.3 식품의 방사능 오염검사와 수입관리는? | 38 |
| 3.4 식품의 방사능오염 관련 국내외 기준 | 43 |
| 3.4.1 국내 기준 | 43 |
| 3.4.2 국내 식품 방사능 시험법 | 45 |
| 3.4.3 국외 기준 | 48 |
| 3.5 식품 중 방사능 안전관리체계 및 대응은? | 50 |
| 3.6 방사능오염식품의 섭취와 안전은? | 52 |
| 3.6.1 일상생활과 방사능오염식품의 섭취 | 52 |
| 3.6.2 식품 섭취를 통한 방사선 노출 | 52 |
| 3.7 방사능오염 관련 권고사항이 있나요? | 53 |
| 3.8 후쿠시마 원전사고 이후 대응조치는? | 54 |
| 3.8.1 국내 조치 | 54 |
| 3.8.2 수입식품의 방사능 안전관리 | 56 |
| 3.8.3 국내 유통식품의 방사능 안전관리 | 57 |
| 3.8.4 일본산 식품의 WTO 분쟁 경과 | 58 |
| 3.8.5 일본산 식품의 방사능 수입규제 현황 | 60 |

| | |
|------------------------------|----|
| 3.8.6 WTO 분쟁해결기구 최종 판결 | 67 |
| 참고문헌 | |

제4장

방사선과 방사성동위원소의 산업적 이용분야는?

| | |
|--------------------------|----|
| 4.1 의료적 이용 분야는? | 63 |
| 4.2 공업·환경적 이용 분야는? | 63 |
| 4.3 농업적 이용 분야는? | 64 |
| 참고문헌 | |

제5장

식품안전 확보를 위해 방사선기술 이용 가능하다!

| | |
|---|----|
| 5.1 식품에 대한 방사선에너지의 이용 배경은? | 67 |
| 5.1.1 식품의 생물학적 위해요인이 증가하고 있어요! | 67 |
| 5.1.2 기존 살균·살충 방법에 문제점이 있어 대안기술이 필요해요! | 67 |
| 5.1.3 대안기술로써 방사선기술의 활용이 가능한가요? | 68 |
| 5.1.4 식품에 대한 방사선 이용연구의 역사는? | 69 |
| 5.2 식품에 이용되는 방사선에너지의 특성과 기술의 장·단점은? | 76 |
| 5.2.1 에너지의 종류는? | 76 |
| 5.2.2 에너지의 단위는? | 79 |
| 5.2.3 방사선에너지는 생물체에 어떻게 작용하는지? | 79 |
| 5.2.4 식품조사처리용 방사선조사시설은 어떤 것이 있나요? | 81 |
| 5.2.5 살균방법 별 특성은 어떻게 다른가요? | 86 |
| 5.2.6 식품가공방법 별 에너지 소요량은 다른가요? | 88 |
| 5.2.7 방사선기술을 왜 냉온처리, 녹색기술이라고 하나요? | 90 |
| 5.2.8 식품조사기술의 한계는 무엇인가요? | 90 |
| 5.3 방사선에너지의 생물유기체에 미치는 효과와 식품에 미치는 영향은? | 92 |
| 5.3.1 식품조사처리의 주요 생물학적 효과는? | 92 |



| | |
|--|-----|
| 5.3.2 식품관련 유기체의 방사선감수성은? | 104 |
| 5.3.3 식품조사처리에 의한 미생물의 살균 방식과 감수성은? | 105 |
| 5.3.4 방사선에너지에 의한 병원성미생물의 사멸효과는? | 107 |
| 5.3.5 식품관련 해충의 방사선감수성은? | 109 |
| 5.3.6 식품의 성분에 대한 조사처리의 영향은? | 110 |
| 5.3.7 식품의 관능적 품질에 대한 조사처리의 영향은? | 116 |
| 5.4 방사선기술의 식품산업적 이용분야는? | 117 |
| 5.4.1 식품에 이용이 가능한 분야는? | 117 |
| 5.4.2 농림산물의 발아·발근 억제가 가능해요! | 118 |
| 5.4.3 신선 농림산물의 속도지연 및 선도유지가 가능해요! | 121 |
| 5.4.4 신선식품의 부패미생물 및 식중독균의 사멸이 가능해요! | 122 |
| 5.4.5 식품에 오염된 해충 및 기생충의 불활성화가 가능해요! | 123 |
| 5.4.6 건조식품의 살균·살충 위생화가 가능해요! | 127 |
| 5.4.7 환자용 무균식과 우주식품 생산을 위한 완전살균이 가능해요! | 131 |
| 5.4.8 식품재료의 가공적성 개선이 가능해요! | 131 |
| 5.4.9 식품관련 유해물질의 저감화 및 기능소재화가 가능해요! | 132 |
| 5.4.10 포장용기의 멸균이 가능해요! | 134 |
| 5.5 방사선조사식품의 안전성은 충분히 평가되었나요? | 135 |
| 5.5.1 조사처리식품의 안전성평가 배경은? | 135 |
| 5.5.2 조사처리식품의 안전성평가 연구내용은? | 136 |
| 5.5.3 방사선조사식품의 안전성에 대한 국제적 평가요약 | 153 |
| 5.6 조사처리식품의 허가 및 관리규정이 있나요? | 156 |
| 5.6.1 조사처리식품에 대한 Codex 일반규격 | 156 |
| 5.6.2 조사처리식품의 국가별 허가현황은? | 163 |
| 5.6.3 식품조사처리에 허가된 포장재가 있나요? | 165 |
| 5.6.4 국내 조사처리식품의 허가기준 및 규격 | 168 |
| 5.6.5 조사처리식품의 확인시험법 | 171 |
| 5.7 조사처리식품의 상업화와 소비자 수용성은? | 197 |
| 5.7.1 상업화 배경은? | 197 |

| | |
|---|-----|
| 5.7.2 조사처리식품의 상업화 과정은? | 189 |
| 5.7.3 조사처리식품에 대한 소비자 수용성은? | 203 |
| 5.8 조사처리식품과 방사능오염식품의 차이는? | 211 |
| 5.8.1 방사능오염식품이란? | 211 |
| 5.8.2 조사처리식품이란? | 212 |
| 5.8.3 “방사선조사” 용어 “조사처리(irradiation)”로 순화가 필요하다. | 214 |

참고문헌

제6장

결론 및 제언

| | |
|---------------------------------|-----|
| 6.1 방사능오염식품의 안전관리는? | 229 |
| 6.2 방사능오염 관련 권고사항은? | 232 |
| 6.3 방사선기술의 이용 - 식품안전을 확보할 수 있다. | 232 |
| 6.4 국민의 식품안전과 기업경쟁력을 바라보자. | 234 |

참고문헌

부록

| | |
|--------------------------------|-----|
| 1. 용어해설(Glossary) | 239 |
| 2. 소비자가 궁금해 하는 방사능 정보 Q & A | 239 |
| 3. 소비자가 궁금해 하는 조사처리식품 정보 Q & A | 244 |
| 4. 조사처리식품의 세계적 허가 현황 | 250 |

색인



1.1 방사능이란 무엇인가?

1.1.1 방사능이란?

방사능(radioactivity, 放射能)이란 어떤 물질이나 장치의 방사선을 내는 능력이나 성질을 말하며, 방사성물질의 강도를 나타내는 척도이기도 하다. 방사능은 천연방사성물질과 인공방사성물질로 구분한다. 천연방사능은 지구 탄생과 더불어 지각에 존재하는 것들이고, 인공방사능은 자연에 존재하지 않는 것을 인위적으로 만든 것들이다.

1.1.2 방사성물질이란?

방사성물질은 고유한 원자번호와 질량수를 갖는 원자핵 또는 원자의 종류이다. 가끔 방사능물질이란 용어로도 쓰인다. 방사성물질이란 말은 법적 용어이며, 방사능의 농도나 총량이 일정기준을 넘는 물질을 말한다. 모든 물질은 미량이나마 방사능을 지니고 있다. 따라서 일정 기준을 두어서 방사성물질 또는 방사성핵종이라고 부른다.

1.1.3 방사능오염이란?

방사성물질에 의해 식품이나 우리 생활환경에 관련된 물체나 물질이 오염된 것을 말한다. 간혹 방사성오염이라고도 하지만 방사선오염은 틀린 표현이다.

1.1.4 방사능오염물질의 종류는?

원자력발전소(원전) 사고나 핵실험으로 인해 방출될 수 있는 주요 방사성물질(핵종)의 종류는 표 1-1과 같다. 즉, 요오드(^{131}I)와 세슘($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$)은 원전사고 시 방출될 수 있는 방사성핵종으로서 측정이 비교적 용이하여 식품의 방사능오염 지표물질로 사용된다. 플루토늄(^{239}Pu)은 알파입자로서 반감기가 매우 길고 비교적 무거워서 멀리 가지 못하는 특성이 있다. 스트론튬(^{90}Sr) 역시 반감기가 길지만, 두 핵종 모두 측정에 오랜 시간이 걸리므로 오염관리지표핵종으로 선택하지 않는 편이다. 그리고 제논(^{133}Xe)은 우라늄이나 플루토늄 등의 핵분열 과정에서 생성되는 가스형태의 핵종으로서 핵실험의 지표물질로 알려져 있다.¹⁾

1.1.5 방사능오염물질의 반감기는?

원전사고나 핵실험으로 인해 방출될 수 있는 주요 방사능의 반감기(half-life, 半減期)는 방사성물질의 안전관리에 가장 중요한 요소이다. 반감기란 방사능의 강도 즉, 방사선을 내는 방사성물질의 세기가 절반으로 줄어들 때까지 걸리는 시간을 말한다. 반감기는 크게 물리적 반감기와 생물학적 반감기로 구분한다. 물리적 반감기는 자연 상태에서 방사성붕괴를 통해 방사능이 절반으로 감소하는 기간(time)을 뜻하며, 일반적으로 사용하는 반감기는 이를 말한다. 생물학적 반감기(biological half-life)는 몸 안으로 들어온 방사성물질이 소화, 배설 등의 생리적 작용으로 몸 밖으로 빠져나가 방사능이 절반으로 줄어들 때까지의 기간을 말한다. 이같이 물리적 반감기와 생물학적 반감기는 서로 다르기 때문에 두 가지를 함께 고려하여 인체에 실제적으로 미치는 영향을 나타내는 수치로써 유효반감기(effective half-life)를 사용한다. 보통 유효반감기는 물리적 반감기나 생물학적 반감기보다 짧은 경우가 많다(표 1-1).

표 1-1 원자력발전소 사고나 핵실험 관련 주요 방사성핵종과 반감기²⁾

| 방사성핵종 | 물리적 반감기 | 생물학적 반감기 | 유효반감기 | 비 고 |
|--------------------------|---------|----------|-------|---------------------|
| 요오드(¹³¹ I) | 8.04일 | 138일 | 7.6일 | 측정이 비교적 용이 |
| 세슘(¹³⁷ Cs) | 30년 | 109일 | 108일 | |
| 플루토늄(²³⁹ Pu) | 24,300년 | 200년 | 198년 | 알파입자, 무거워서 멀리 가지 못함 |
| 스트론튬(⁹⁰ Sr) | 30년 | 35년 | 16년 | 측정시간이 김 |
| 제논(¹³³ Xe) | 5.3일 | - | - | 가스형태, 핵실험 지표 |

1.2 방사선이란 무엇인가?

1.2.1 방사선이란?

방사선(radiation, 放射線)은 에너지를 지닌 입자 또는 파장으로 물질이나 공간을 지나가는 흐름이다. 즉, 방사선은 에너지의 흐름이며 눈에 보이지도 않고 맛이나 냄새도 없다. 아래 그림 1-1과 같이 방사선이란 전구(방사성물질)에서 나오는 빛(방사선)과 같으며, 빛을 내는 능력으로 필라멘트는 방사능에 해당한다.

방사능과 방사선 그리고 방사성물질의 차이는?

방사능(radioactivity, 放射能)과 방사선(radiation, 放射線) 그리고 방사성물질은 흔히 혼동하기 쉽다. 아주 쉽게 설명하면 방사능은 방사선을 내뿜는 능력이고, 방사선은 빛과 같은 에너지를 지닌 일종의 보이지 않는 광선을 말하며, 방사성물질은 그 능력을 지닌 물질을 말한다.

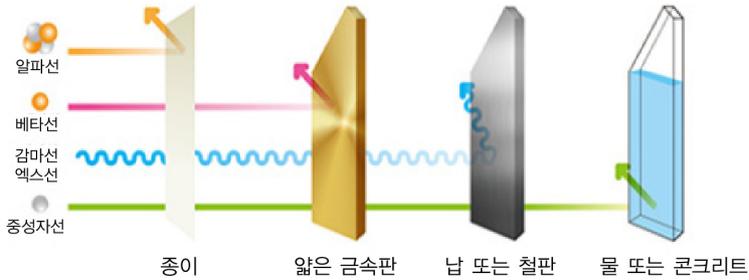


그림 1-2 방사선의 투과력 비교²⁾

알파선

알파선(α 선)은 알파입자(헬륨)의 형태로 상대적으로 무겁고 크기가 작아서 공기 중에서 멀리가지 못한다. 그리고 힘이 약해 종이 한 장으로도 막을 수 있고 피부에 의해서도 차단된다. 그러나 알파선을 내는 방사성핵종이 호흡이나 섭취, 피부 접촉 등으로 체내에 유입되면 인체에 방사선 손상이 초래될 수 있다. 주택이나 사무실의 라돈가스(^{222}Rn)는 알파선을 내는 방사성물질이다.

베타선

베타선(β 선)은 방사성물질로부터 나오는 전자로서, 알파선보다 크기가 작고 속도가 매우 빠르다. 베타선은 사람의 손바닥을 쉽게 통과하며 알루미늄이나 플라스틱으로는 막을 수 있다.

감마선

감마선(γ 선)은 이상의 방사선 중 투과력이 가장 큰 에너지이므로 납이나 콘크리트로 차단해야 한다. 감마선은 우리 몸을 쉽게 통과할 수 있어 암 치료나 의료용품 멸균, 포장식품의 살균 등에 이용이 가능한 에너지이다.

엑스선

엑스선(X선)은 빠른 속도로 움직이는 전자(electron)가 금속(텅스텐 등) 표면에 부딪히면서 만들어 진다. 파장이 자외선보다 짧고 감마선보다는 긴 전자기파 방사선이다. 물질을 통과하는 성질을 지니고 있어서 물질의 내부구조 관찰이나 의료용 및 공업용으로 활용되고 있다.

중성자선

중성자선은 중성자들의 흐름이다. 중성자선은 알파선이나 베타선과 같이 입자 (particle, 粒子)선이지만, 전하를 띠지 않으므로 상대적으로 투과력이 크다. 인체를 구성하는 원자들은 중성자를 잘 흡수하고 방사성동위원소를 만들므로 안전하게 다루어져야 한다.

1.2.3 방사선의 종류에 따른 생물학적 작용은?

방사선이 물체(피조사체)에 쏘여지면 방사선에너지가 생물체에 흡수되어 세포에 영향을 미치게 된다. 이때 물질 분자의 화학결합을 절단하여 이온(라디칼, 유리기)을 생성시키는 작용 즉, 전리작용(ionization)을 갖는 방사선이 있는데, 이를 이온화방사선 또는 전리방사선(ionizing radiation)이라 한다. 그리고 이러한 작용이 없는 방사선은 비(非) 이온화방사선 또는 비 전리방사선(non-ionizing radiation)이라고 구분한다. 전리방사선의 경우 하전(전기를 띠는 현상)을 가진 방사선을 직접전리방사선(α , β , 양성자선 등), 하전을 띠지 않은 방사선을 간접전리방사선(X-선, γ 선, 중성자선 등)으로 구분한다(그림 1-3).

※ 자연방사선과 인공방사선의 차이는?

우리는 일상생활에서 무의식적으로 방사선에 노출되거나, 의도적으로 방사선에너지를 이용하기도 한다. 이때 방사선을 내는 방사선원(radiation source, 放射線源)에 따라 우리는 자연방사선과 인공방사선으로 나눌 수 있다.

- 1) 자연방사선 : 먼 옛날부터 우주, 땅, 빛, 음식물 등에서 자연발생적으로 나오는 방사선 (α , β , γ 선, 우주선/cosmic ray 등)
- 2) 인공방사선 : 필요에 의해 인위적으로 발생시키는 방사선 (가전제품, X선장치, 방사선 암치료기, 전자가속기, 감마선조사시설, 원자력발전소 등)

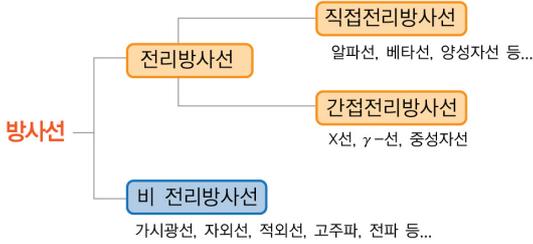


그림 1-3 전리방사선과 비 전리방사선의 종류

1.3 방사능과 방사선의 단위는?

1.3.1 방사능의 단위는?

방사능은 방사선을 낼 수 있는 능력을 가진 물질로 정의하였다. 이때 방사성물질의 세기는 표 1-2와 같이 국제표준단위(SI)인 베크렐(Becquerel, Bq)로 나타낸다. 베크렐은 식품, 물 등에 혼입된 방사성물질이 방사선을 방출하는 능력을 나타내는 단위로서, 프랑스의 물리학자 ‘앙투안 앙리 베크렐’의 이름에서 유래하였다. 이때 1베크렐은 1초에 1개의 방사선이 방출됨을 의미한다. 즉, 1초당 하나의 원자핵이 붕괴한다는 의미이다.

과거에는 방사능의 단위로 큐리(Curie, Ci)가 사용되었다. 1퀴리는 1 g의 라듐(²²⁶Ra)에 포함된 원자핵이 1초 동안 붕괴하는 수를 가리켰다. 1퀴리 = 370억 베크렐이다.

표 1-2 방사능과 방사선의 단위³⁾

| | |
|--|--|
| 베크렐(Bq) 방사능 단위 1초당 1개의 방사선이 방출됨을 의미함 | <ul style="list-style-type: none"> 국제표준단위 방사성물질이 방사선을 내는 능력을 표시하는 단위 |
| 시버트(Sv) 인체에의 영향의 단위 1시버트=1,000밀리시버트=1,000,000마이크로시버트 | <ul style="list-style-type: none"> 방사선으로 신체가 받는 영향을 표시하는 단위 인체 피폭선량(μSv) |
| 그레이(Gy) 방사선량의 단위 1 Gy = 1 J/kg = 100 rad | <ul style="list-style-type: none"> 방사선을 받는 물질이 흡수하는 방사선량의 단위 생물학적 영향을 고려하지 않는 단위 |

1.3.2 인체에 영향을 나타내는 단위는?

시버트(Sievert, Sv)는 사람이 방사선에 노출되었을 때 인체에 미치는 영향의 정도를 나타내는 단위이다. 방사능노출 측정과 생물학적 영향을 연구한 스웨덴의 의학·물리학자인 ‘론프막시밀리안 시버트’의 이름에서 유래하였다. 방사능이 오염된 식품을 섭취하였을 경우 체내에서 미치는 영향을 나타내기 위해서는 시버트 단위로 환산해야 한다. 이를 위해서는 섭취식품의 양(kg)과 선량환산계수를 곱하여 계산한다.

- 1) 내부피폭 환산계수 : 유효선량 환산계수(방사성물질, 화학형, 섭취경로 등으로 결정)
- 2) 1시버트(Sv) = 1,000밀리시버트(mSv), 1밀리시버트 = 1,000마이크로시버트(μ Sv)

1.3.3 방사선량의 단위는?

방사선량(radiation dose, 放射線量)은 방사선에 노출(피폭)된 생체나 물질에 흡수된 에너지의 양으로서, 방사선에 노출된 물체가 흡수하는 양의 단위이다. 즉, 흡수선량(absorbed dose)은 어떤 물체에 방사선 에너지가 흡수되는 정도를 나타내는 단위로서, 물질의 단위질량당 방사선의 에너지양이다. 그레이(gray, Gy)는 SI 단위이며, 매질 1 kg에 1줄(Joule, J)의 에너지가 흡수되면 1 Gy가 된다. 옛 단위로는 래드(rad, radiation absorption dose)가 사용되었다(표 1-2).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$$

1.4 방사능 & 방사선, 더 쉽게 이해하기⁴⁾



식품 중 방사능으로부터 안전하게 관리합니다

식품의약품안전처



방사능이란?

01 방사능 물질이란?



- 방사선을 방출할 수 있는 능력을 지닌 물질로 우라늄(²³⁸U)을 비롯하여 많은 종류의 방사성 핵종이 있으며, 이 중 방사성 세슘(¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs), 방사성 요오드(¹³¹I)에 대하여 식품 중 방사능 기준을 정하고 있음

02 방사능(방사성)과 방사선의 차이는?

• 방사능(방사성):

- ! 방사능(방사성)물질의 원자핵이 단위시간당 붕괴되는 수를 의미
- ! 방사능 강도를 측정 단위 : Bq(베크렐)

• 방사선:

- ! 원자핵이 붕괴될 때 방출하는 알파선(α 선), 베타선(β 선), 감마선(γ 선)과 같은 일종의 공간을 이동하는 에너지
- ! 사람이 방사선을 쬐었을 경우 영향정도를 나타내는 측정단위 : Sv(시버트)
- ! 이 크기가 너무 커서 보통 1/1000 단위인 mSv(밀리시버트)를 사용



이해하기 쉽게 전구로
예를 들어볼게요!



전등
빛을 내는 능력
(와트)

빛
속



방사성물질
방사능: 방사선을
내는 능력(베크렐, 큐리)

방사선
렌트겐

- ! 전구 = 방사능 물질, 전구에서 나오는 빛 = 방사선으로 비유할 수 있음
- ! 60W 전구보다 100W 전구가 더 밝은 빛을 내는 것처럼 와트의 수가 방사능의 세기라고 할 수 있음



참고문헌

- 1) 한국과학기술한림원. 방사능 공포, 오해와 진실 - 기자회견, 서울프레스센터 (2011. 4. 1).
- 2) 한국원자력연구원. 첨단방사선연구소 방사선이야기(2019), <https://www.keri.re.kr/arti/>
- 3) 한국원자력의학원 자료, <https://www.kirams.re.kr/index.do> (2013-2019).
- 4) 식품의약품안전처. 식품 중 방사능 안전관리 정보(2019), https://www.mfds.go.kr/pgm/m_596/rdSafeMn



2.1 천연방사능과 인공방사능의 종류와 발생하는 방사선의 양은?^{1,2)}

2.1.1 천연방사능의 종류는?

자연에 존재하는 천연방사성물질은 천연방사능이라고 부르기도 하며, 이로부터 나오는 방사선을 자연방사선이라 한다. 이때 자연방사선은 지각방사선과 우주방사선(우주선)으로 나눌 수 있다. 지각방사선은 지각에 존재해 온 천연방사성핵종이나 지구에 도달한 우주선이 2차적으로 반응하여 생성시킨 방사성물질에서 비롯되는 방사선이다. 천연방사성핵종들은 우라늄(^{238}U)과 토륨(^{232}Th) 및 그 자손핵종들이다. 또한 방사성칼륨(^{40}K)이 널리 존재하는데, 천연칼륨(K)에는 0.012%의 방사성칼륨(^{40}K)이 함유되어 있다.

우주방사선은 태양과 같은 우주의 항성이 핵융합반응을 일으킬 때 내는 방사선으로서, 대부분 고에너지 양성자의 형태로 대기권에 도달하여 공기성분들과 반응하여 다양한 2차 방사선을 발생시킨다. 우주방사선은 대기권에 들어오면 강도가 약해지며, 공중으로 올라갈수록 강도가 커져서 국제선 항공기 고도에서는 지표면보다 약 10배의 높은 수준을 보이게 된다.

2.1.2 인공방사능의 종류는?

인공방사능이란 이로부터 발생하는 인공방사선을 이용하기 위해 인위적으로 만든 방사성물질(핵종)이다. 이 같은 방사성핵종들은 원자로나 가속기에서 만들어져 의료용 및 산업용으로 사용될 수 있는 다양한 인공방사성물질들이다. 또한 의료용 및 산업용의 X선 발생장치, 전자선가속기, 감마선조사시설, 원자력발전소 등의 인공방사능설비는 이로부터 발생하는 방사선이나 핵분열에너지를 이용하는 원리이다. 이상의 인공방사성물질들의 사용은 안전관리가 기본적으로 전제되는 것이 필수적이다.

2.1.3 자연방사선과 인공방사선의 양은?

현대인의 삶에서 어쩔 수 없이 노출될 수 있는 자연방사선의 양은 **그림 2-1**과 같다. 즉, 유럽 항공여행 1회 시에 약 0.07밀리시버트, 1인당 연간 자연방사선 2.4밀리시버트, 브라질 가라바리시는 10밀리시버트 등으로 세계 지역에 따라 다양한 수준의 자연방사선이 발생됨을 알 수 있다.

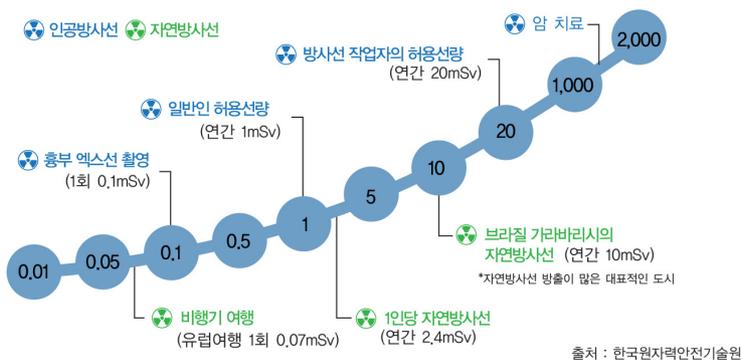
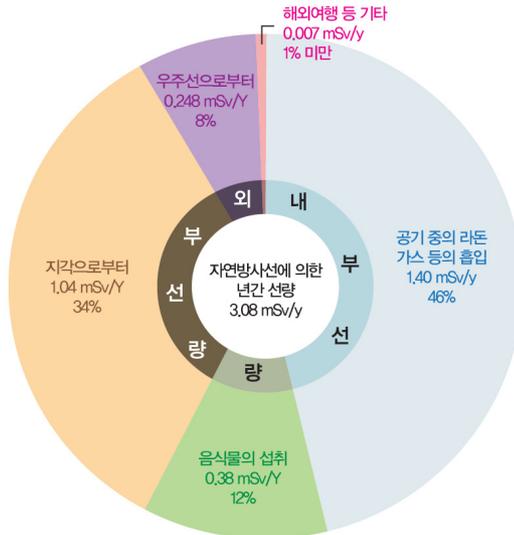


그림 2-1 생활 속에 자연방사선과 인공방사선³⁾

2.1.4 우리나라와 세계의 자연방사선 수준은?

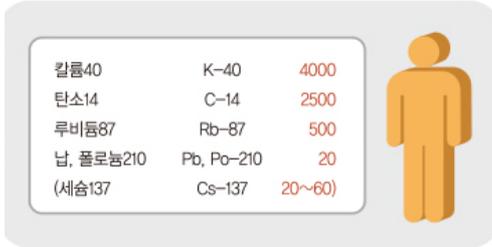
우리나라의 연간 자연방사선의 양은 약 3.0밀리시버트로 세계 평균인 2.4밀리시버트보다 높은 수준이다. 자연계에서 방출되는 방사선은 장소와 바다 수면으로부터의 높이 즉, 고도에 따라 차이가 있으며, 우리는 피할 수 없이 일정 수준의 자연방사선을 받으며 살아가고 있다. 대한민국 국민 1인당 연평균 자연방사선 피폭선량은 외부선량으로서 지각으로부터 연간 1.04밀리시버트(34%)와 우주선으로부터 연간 0.248밀리시버트(8%)를 각각 피폭 받으며 살아가고 있다. 또한 공기 중 라돈가스 흡입으로 인해 연간 1.40밀리시버트(46%)와 음식물로부터 연간 0.38밀리시버트(12%)의 자연방사선에 노출되어 살아가고 있다 (그림 2-2). 국내의 구체적인 자연방사선의 양을 확인하려면 국가 환경 방사선 자동감시망(<http://iernet.kins.re>)을 통해 자료를 얻을 수 있다.



출처 : 우리나라의 방사선 환경(한국원자력안전기술원, 2009)

그림 2-2 국민 1인당 연간 자연방사선 피폭선량³⁾

신체 내부의 방사성물질의 양 (체중 60kg인 경우)



식품 중 칼륨40(K-40)의 방사능 (단위 : Bq/kg)



출처: 한국원자력연구원 첨단방사선연구소

그림 2-3 신체 내부의 방사성물질의 양과 식품 중 칼륨(⁴⁰K)의 방사능⁴⁾

땅이나 우주에서 나오는 방사선이 우리 몸에 노출될 때 이를 ‘외부 방사선피폭’이라고 하고, 공기나 음식을 통해 우리 몸에 들어온 방사성 물질로부터 나오는 방사선에 우리 몸이 노출될 때 이를 ‘내부 방사선피폭’이라 하였다. 세계적으로 사람 1인당 평균 외부 방사선 피폭량은 0.75밀리시버트, 내부 방사선 피폭량은 1.65밀리시버트로 세계 평균 합계 2.4밀리시버트의 자연방사선을 받으며 살고 있다고 할 수 있다 (그림 2-2). 즉, 자연방사선은 공기 중 라돈이나 대기에서 발생하는 방사선, 그리고 비행 시 우주선과 매일 섭취하는 음식물이 천연방사성물질이 되어 우리는 자연방사선에 노출되어 살아가고 있다. 또한 사람은

누구나 몸 안에 방사성물질인 칼륨-40(⁴⁰K)과 탄소-14(¹⁴C) 등을 지니고 있다. 우리가 매일 섭취하는 여러 식품 중에도 칼륨이 포함되어 있으며, 이 중 약 0.012%가 방사성칼륨(⁴⁰K)으로서 다양한 수준의 방사능이 우리 몸 안에서 베타선과 감마선을 내게 된다.

2.1.5 생활 속의 인공방사선 수준은?

방사선은 우리 생활주변 어디서나 존재한다. 자연방사선은 빛, 땅, 음식물로부터도 받을 수 있기 때문에 사람은 누구나 연간 3밀리시버트 수준의 자연방사선에 노출되어 살아가고 있다. 이는 어쩔 수 없는 방사선이라고 할 수 있다. 그렇다면 우리가 피할 수 있는 인공방사선은 어느 정도 수준인지 알아보자.

현대인의 생활에서 건강을 지키기 위해 다양한 목적으로 사용되는 의료용 인공방사선량은 표 2-1과 같다. 일반 흉부 X선 촬영과 치과 X선 촬영은 0.03밀리시버트, 유방 촬영은 0.2밀리시버트, 관상동맥 혈관조영술은 7밀리시버트, 복부 CT는 10밀리시버트, 그리고 전신 PET/CT는 10밀리시버트 수준이다.

표 2-1 인체의 진단에 따른 방사선 노출²⁾

| 각종 방사선 진단 | 유효선량 (밀리시버트) |
|------------|--------------|
| 흉부 X선 촬영 | 0.03 |
| 치과 X선 촬영 | 0.03 |
| 유방 촬영 | 0.2 |
| 관상동맥 혈관조영술 | 7 |
| 복부 CT 촬영 | 10 |
| 전신 PET/CT | 10 |

이같이 다양한 목적으로 사용되는 인공방사선의 경우에는 일반인, 임산부, 태아에게 허용되는 선량이 매우 엄격하게 1밀리시버트로 규정되어 있다. 그러나 방사선 작업종사들에게는 연간 50밀리시버트(단, 5년 간 100밀리시버트)의 기준이 정해져 있다.

2.2 방사선피폭이란?

피폭(被曝)이란 방사선에 노출(exposure)되는 것을 의미한다. 물체나 사람이 방사선에너지에 노출되면 노출 시간에 비례하여 피폭량이 증가한다. 방사선피폭의 종류는 외부피폭과 내부피폭으로 나눈다.

2.2.1 외부피폭이란?

우리의 일상생활에서 몸의 외부로부터 오는 방사선에 노출되는 것을 의미한다.

2.2.2 내부피폭이란?

방사성물질이 오염된 공기를 흡입하거나 오염된 식품을 섭취했을 경우, 방사능이 체내에 머무는 동안에 우리의 신체 내부가 방사선에 직접 노출되는 것을 의미한다. 앞에서 소개한 바와 같이 방사선을 낼 수 있는 핵종들을 우리는 방사성(능)물질이라고 하였고, 이들은 다시 천연방사능과 인공방사능으로 구분하였다. 천연방사능이든 인공방사능이든 그로부터 발생하는 방사선의 성질은 동일하며, 생물체에 미치는 영향은 방사선의 양에 따라 결정된다. 그러나 만약의 사고로 인해 인공방사능의 누출이 발생하고 이로 인해 대기, 토양, 해양 등이 오염되었을 경우에는 호흡이나 식품섭취, 피부접촉 등에 의해 신체가 외부적 또는 내부적으로 방사선에 노출될 수 있다.

2.2.3 방사선 외부피폭과 내부피폭의 위험은?

인체에 방사선이 노출되면 세포에 나쁜 영향을 미치게 된다. 일반적으로 방사선의 외부피폭은 방사선원(radiation source)의 거리가 멀어질수록 피폭되는 양이 급격히 줄어든다. 하지만 내부피폭은 방사성물질이 체내에 머무는 동안에 피폭이 계속되며, 단지 그 반감기에 따라 방사능의 강도가 줄어든 따름이다. 따라서 방사선노출은 최대한 피해야 하며, 특히 방사선 내부피폭의 경우는 발생하지 않도록 유의해야 한다.

식품에 오염된 방사능의 세기 즉, 베크렐(Bq)을 체내에서의 영향을 나타내는 시버트(Sv)로 환산하기 위해서는 방사성물질에 따른 (경구) 실효선량계수를 곱하여야 한다. 예를 들어 국내 식품의 방사성세슘의 규격은 100베크렐/kg으로, 100베크렐의 식품을 1 kg 섭취할 경우 인체에서의 영향은 $100 \times (1.3 \times 10^{-5}) = 0.0013$ 밀리시버트(시버트의 1/1,000)이다. 이는 건강검진을 위한 위장촬영 1회 시 받게 되는 방사선 영향(약 0.6밀리시버트)의 1/462에 해당한다.

방사성세슘의 실효선량계수 : 1.3×10^{-5}

또한, 방사성요오드의 규격은 300베크렐/kg으로 300베크렐의 식품을 1 kg 섭취할 경우 인체에서의 영향은 $300 \times (2.2 \times 10^{-5}) = 0.0066$ 밀리시버트이다. 이는 건강검진을 위한 위장촬영 1회 시 받게 되는 방사선 영향(약 0.6밀리시버트)의 1/91에 해당한다.

방사성요오드의 실효선량계수 : 2.2×10^{-5}

이상의 실효선량계수는 방사능의 단위인 베크렐로부터 생체영향의 단위인 시버트로 환산하는 계수로서 방사성물질의 종류, 화학형, 섭취 경로 등에 의해 정해진다.

2.3 방사선노출의 위험수준과 나타나는 증상은?

방사선은 우리의 생활주변에 늘 존재한다. 지구상의 인간은 국내의 를 막론하고 2-3밀리시버트 수준의 방사선에 노출되어 살아가고 있다. 지금까지 100밀리시버트 이하의 방사선에 노출되었을 경우에는 특별한 위험사항이 알려지지 않았다. 그리고 250밀리시버트 이하에서는 임상 증상이 없으며, 500밀리시버트 수준에서는 백혈구의 일시적 감소가 나타난다고 한다. 인체에 대한 방사선의 영향은 전신노출이나 국부적 노출이나에 따라 다르다. **그림 2-4**는 1,000밀리시버트 이상의 방사선에 노출되었을 경우 구토, 권태감, 탈모, 피부홍반 등의 현상을 보이며, 5,000밀리시버트 이상이 전신에 노출되면 사망에 이를 수 있음을 보여 주고 있다.

일반적으로 인구 1,000명 당 사망위험도는 암 228명, 교통사고 12명, 라돈가스(미국) 3명, 익사 1명, 1밀리시버트의 방사선 0.05명, 번개 0.013명 등이다. 그러나 방사선의 경우 CT촬영(5-25밀리시버트)은 길을 걷다가 각종 사고로 사망할 확률보다도 낮다. 연구결과에 따르면 일시에 100밀리시버트 이상의 방사선에 노출되면 1천 명 중 5명은 암으로 사망한다고 알려져 있다. 암 환자의 경우 방사선 치료 시 70,000밀리시버트의 고준위에 노출되지만, 전신이 아니고 암 부위에만 집중되기 때문에 영향이 다르다고 한다.

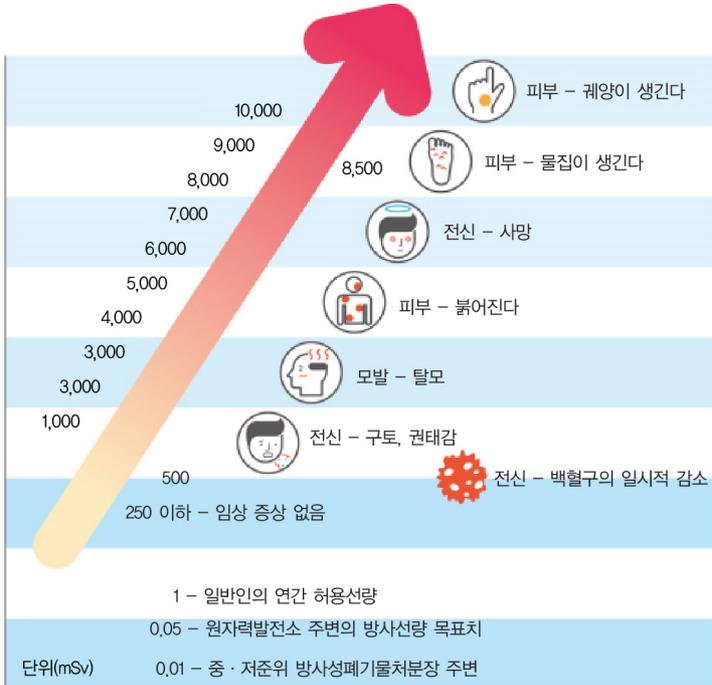


그림 2-4 방사선이 인체에 미치는 영향⁴⁾

2.4 인체에 노출되는 방사선의 양은 어떻게 측정하나?

인위적이든 아니든 인체가 받게 되는 방사선의 양을 측정하는 방법은 다양하다. 우리가 병원에서 X선 검진을 받을 때 방사선 작업종사자들이 가운(gown)에 착용하고 있는 것이 필름배지나 열형광선량계이다. 이는 작업자가 방사선구역에서 작업하는 동안 상의 주머니에 착용함으로써 방사선의 누적피폭량을 알아보는 방법이다. 그러나 이 같은 측정계가 없을 경우에는 치아, 머리카락, 백혈구, 염색체 등을 대체물질로 분석하여 인체에 피폭된 방사선의 양을 유추할 수 있다.

2.5 일상생활의 방사선, 자세히 알아보기⁵⁾



01 일상에서 노출되는 방사선은?

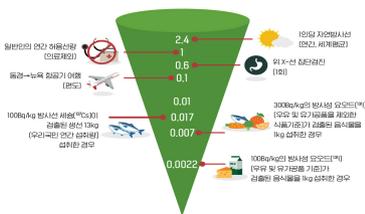
- 방사선은 자연방사선, 인공방사선 2가지로 구분
- 자연방사선 : 지구상의 모든 물질로부터 자연적으로 나오는 것이고, 태양으로부터 나오는 빛의 에너지가 이에 해당. 음식물에도 칼륨, 폴로늄 등 미량 존재
- 인공방사선 : TV나 전자렌지 같은 가전제품, 건강검진에 쓰이는 엑스선장치, 암치료장치, 그리고 원자력발전소 등에서 발생

자연방사선



인공방사선

02 평상시 방사선 노출 정도는?



03 지역 방사능 정보는 어디서 볼 수 있나요?

- 내가 살고 있는 지역의 자연방사선 정도를 확인 하려면 국가환경 방사선 자동감시망을 통해 실시간 확인 가능
- ▶ <http://iernet.kins.re.kr> 실시간 방사능 정보 확인 사이트를 검색하세요!

2.6 방사능 & 방사선, 얼마나 위험할까?⁵)



식품 중 방사능으로부터 안전하게 관리합니다

식품의약품안전처



방사능, 얼마나 위험할까요?

01 방사선에 쬐이면 어떤 증상이 나타날까요?

100mSv에 피폭

인체에는 큰 영향이 없는 것으로 알려짐



1,000mSv이상 피폭

약 10%에서 식욕부진, 피로감, 메스꺼움 등의 증상이 나타날 수 있음



4,000~5,000mSv 이상 피폭

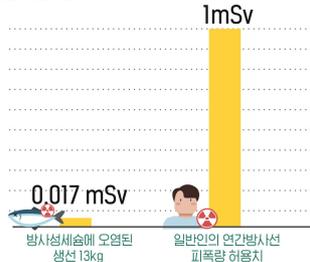
식욕감퇴, 헛구역질 등의 전조증상, 2~4주 침묵기 후, 골수 기능 저하로 감염 등 심각한 문제가 발생

● 국제방사선방호위원회(ICRP)의 권고 :

일본 히로시마 원폭 피해 자료를 바탕으로 100mSv 이하로 노출된 경우, 암 발생률이 증가하였다는 증거가 확인되지 않아 이를 근거로 **일생 동안의 누적선량 기준을 100mSv로 정하고 연간 제한선량을 1mSv로 정하고 있음**

02 방사능 물질에 오염된 식품을 계속 먹으면 어떻게 되나요?

- 해당 식품을 1년간 지속적으로 먹어도 건강에 지장이 없는 수준으로 기준을 설정해서 관리
- 식품으로 방사능 물질을 섭취했다 하더라도 시간이 지나면 그 영향은 지속적으로 감감
- 전신이 1,000mSv 이상의 용량에 노출되어 나타날 수 있는 증상들에는 구토, 탈모 등과 같은 신체 이상이 있으나 이는 **원자력발전소 사고, 핵실험이 이루어진 주변에서만 가능**
 ※ 1,000 mSv = 자연적으로 1년간 노출되는 방사선량의 약 300배 수준으로 골수 손상과 관련된 용량이며, 소화기계, 심혈관계 등의 다른 장기는 더 높은 용량(약 >10,000 mSv)에 의해 영향을 받음
- 100Bq/kg 방사성세슘에 오염된 생선 13kg(우리국민 연간 섭취량) 섭취한 경우 0.017mSv 노출
 일반인의 연간방사선 피폭량 허용치는 1mSv





참고문헌

- 1) 한국방사성동위원소협회. 알기 쉬운 방사선과 방사성동위원소, 서울, 방사성동위원소협회.
- 2) 방사선안전전문가 포럼. 방사능 무섭니. 고려의학, 서울(2013).
- 3) 한국원자력안전기술원(2009-2019), <http://www.kins.re.kr/main.do>
- 4) 한국원자력연구원 첨단방사선연구소. 방사선이야기(2019), <https://www.kaeri.re.kr/arti/>
- 5) 식품의약품안전처. 식품 중 방사능 안전관리 정보(2019), https://www.mfds.go.kr/pgm/m_596/rdSafeMngInfo.do



3.1 방사능의 누출사례는?

원전사고나 핵실험으로 인해 외부로 방출될 수 있는 방사성물질은 수 십 가지이나 대부분은 반감기가 짧아 빠르게 방사능이 줄어든다. 원자력발전소 사고의 사례로는 1979년 미국 펜실베이니아주 트리마일 섬(Three Miles Island/TMI)에서 원자로 냉각계통의 고장으로 방사능 누출사고가 일어났다. 1986년 옛 소련의 우크라이나공화국 체르노빌 원자력발전소 사고로 31명의 사상자가 났으며, 반경 30킬로미터 이내 주민들이 대피했다. 그리고 2011년 3월에는 지진 해일로 인해 일본 후쿠시마 원전에서 사고가 발생하여 주요 방사성핵종이 누출된 바 있다.

3.2 식품의 방사능오염 경로는?

농식품에는 극히 미량이지만 자연방사능이 존재한다. 그러나 원전 사고나 핵관련 실험으로 방출되는 방사성물질은 다양한 경로를 통해 농수축산식품에 오염될 수 있다. 사고발생 시 대기나 해수로 방출되는 방사성물질은 낙진이나 비를 통해 토양(논, 밭, 초지, 산림)이나 강, 해양 등을 오염시키고, 오염된 해양이나 토양에서 자란 농작물이나 수산물은 방사능의 오염가능성을 지니게 된다.

동식물체는 피부접촉이나 호흡 그리고 잎, 뿌리 등을 통해 방사성물질을 흡수하여 체내에 유입하게 된다. 방사능오염 목초지에서 방목되거나 오염된 사료를 급여한 가축에는 체내에 방사성물질이 들어와 고기, 알 등의 축산물이나 우유 등의 낙농품으로 이행될 수 있다.¹⁾ 해수는 전체 면적이 1.37×10^{21} L이며, 대부분은 사람이 이용하지 않는 심층해수이다. 어류와 패류를 비롯한 해양생물들이 서식하는 해수의 체적은 전체의 0.1%에 해당한다. 원자력발전소 관련사고 후 해양에 누출된 방사성물질은 해수와 함께 이동하고 조류에 의해 이동·확산한다. 이때 일부 해양생물들이 오염되어 먹이사슬에 의해 우리의 식탁에 까지 이를 수 있다. 그러므로 해수의 희석효과는 크지만 해수와 해양생물들의 이동경로와 방사성물질의 농도에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 다행히도 후쿠시마 앞바다에는 일본 동쪽 연안을 따라 남하하는 쿠릴해류가 있고, 이는 동태평양 쪽으로 흘러 미국 서해안까지 이르렀다가 우리나라 해안으로 이르게 된다. 이같이 해류가 회류하는 기간은 5년 이상이며, 우리나라 해안에 이를 때쯤이면 방사성오염물질이 거의 없어질 것으로 예상된다. 그러나 수입 및 유통 수산물에 대한 방사능검사를 철저히 하여 우리 식탁의 안전을 지키는 노력이 지속적으로 필요하다.²⁾ 이같이 식품의 방사능오염 경로는 다양하며, 아울러 우리 인체에도 호흡을 통한 오염된 공기의 직접적인 흡인과 오염된 음식이나 물을 섭취함으로써 체내에 간접오염을 초래하게 된다.

3.3 식품의 방사능 오염검사와 수입관리는?

일본 원자력발전소 사고(2011. 3. 11) 이후 그해 3월부터 국내 관련 기관에서는 식품의 방사능오염 여부 검사를 실시하였고, 결과를 관련

표 3-1 식품 방사능 안전 유관기관

| 기관명 | 홈페이지 | 관련 부서 및 업무 |
|--------------------------|--|--|
| 식품의약품안전처 | http://www.mfds.go.kr | 농수산물안전과: 국내 유통 식품(총괄) 수입식품정책과: 수입 농산물 및 가공식품 검사심사과: 수입 축산물 및 수산물 |
| 농림축산식품부 (국립농산물품질관리원) | http://www.mafra.go.kr (http://www.naqs.go.kr) | 소비정책과: 국내 생산 농산물 및 축산물 (소비안전과) |
| 해양수산부 (국립수산물품질관리원) | http://www.mof.go.kr (http://www.nfqs.go.kr) | 어촌양식정책과: 국내 생산 수산물 (품질관리과) |
| 원자력안전위원회 (한국원자력안전기술원) | http://www.nssc.go.kr (http://www.kins.re.kr) | 원자력 방사능안전(총괄) (원전 및 환경 방사능 안전 등) |
| 기상청 | http://www.kma.go.kr | 방사능 확산 등 기상정보 |

부처(식품의약품안전처, 농림축산식품부, 해양수산부, 원자력안전위원회 등) 홈페이지를 통해 지속적으로 정보를 제공하고 있다. 수입식품의 방사능오염 검사는 대표적인 방사성핵종(^{131}I , ^{134}Cs + ^{137}Cs)의 검출여부와 방사능의 강도를 측정하게 된다.

이때 방사성요오드나 방사성세슘의 오염여부 판단은 1-2시간에 분석이 가능하고, 방사성물질 오염농도(베크렐/Bq)의 측정에는 8-9시간이 소요된다. 정부에서는 일본 원전사고 이후 최근에는 일본산 수입식품의 일일보고와 함께 기타 국가 산 수입농식품(수산물, 축산물 포함)의 방사능검사 결과를 주 간격으로 홈페이지(<https://www.mfds.go.kr> 외)에 공시하고 있다. 이때 검사대상식품은 농산물, 축산물, 수산물, 가공식품 등으로 구분하며, 표 3-2는 일본산 수입식품의 방사능 검사결과를 종합한 것이다. 2011년 3월부터 2019년 10월 초까지 총 269,036건을 검사하여 방사능 미량검출 146건(통관), 미량검출 204건(반송)의 조치를 취한 바 있다.³⁾

표 3-2 일본산 수입식품의 방사능 검사결과 (2011. 3.14. - 2019. 10.03)³⁾

(단위 : 건, 톤)

| 기간 | 구분 | 불검출 | | 미량검출(통관) | | 미량검출(반송) | |
|-------------------------|------|--------|---------|----------|-------|----------|------|
| | | 건수 | 중량 | 건수 | 중량 | 건수 | 중량 |
| '11.3.14 ~ 12.31 | 가공식품 | 18,780 | 38,808 | 14 | 7 | 34 | 22 |
| | 농산물 | 117 | 5,858 | 1 | 0 | 3 | 39 |
| | 축산물 | 48 | 52 | - | - | - | - |
| | 수산물 | 4,126 | 15,993 | 21 | 149 | - | - |
| | 계 | 23,071 | 60,711 | 36 | 156 | 37 | 61 |
| '12.1.1. ~ 12.31. | 가공식품 | 21,439 | 53,901 | - | - | 65 | 74 |
| | 농산물 | 139 | 636 | - | - | 1 | 0 |
| | 축산물 | 134 | 36 | - | - | - | - |
| | 수산물 | 4,729 | 20,526 | 101 | 2,704 | - | - |
| | 계 | 26,441 | 75,099 | 101 | 2,704 | 66 | 74 |
| '13.1.1. ~ 12.31. | 가공식품 | 21,780 | 56,466 | - | - | 55 | 19 |
| | 농산물 | 123 | 686 | - | - | 1 | 0 |
| | 축산물 | 156 | 126 | - | - | - | - |
| | 수산물 | 5,328 | 20,543 | 9 | 160 | 1 | 0 |
| | 계 | 27,387 | 77,821 | 9 | 160 | 57 | 19 |
| '14.1.1. ~ 12.31. | 가공식품 | 21,815 | 62,984 | - | - | 11 | 10 |
| | 농산물 | 118 | 685 | - | - | - | - |
| | 축산물 | 329 | 289 | - | - | - | - |
| | 수산물 | 5,290 | 18,265 | - | - | 4 | 20 |
| | 계 | 27,552 | 82,223 | 0 | 0 | 15 | 30 |
| '15.1.1. ~ 12.31. | 가공식품 | 24,222 | 80,471 | - | - | 6 | 0.1 |
| | 농산물 | 182 | 5,905 | - | - | 2 | 15 |
| | 축산물 | 565 | 262 | - | - | - | - |
| | 수산물 | 6,525 | 22,523 | - | - | - | - |
| | 계 | 31,494 | 109,161 | 0 | 0 | 8 | 15.1 |
| '16.1.1. ~ 12.31. | 가공식품 | 25,329 | 101,841 | - | - | 6 | 1 |
| | 농산물 | 146 | 12,771 | - | - | 1 | 0 |
| | 축산물 | 546 | 217 | - | - | - | - |
| | 수산물 | 6,918 | 23,806 | - | - | - | - |
| | 계 | 32,939 | 138,635 | 0 | 0 | 7 | 1 |

| 기간 | 구분 | 불검출 | | 미량검출(통관) | | 미량검출(반송) | |
|-------------------------|------|---------|---------|----------|-------|----------|-------|
| | | 건수 | 중량 | 건수 | 중량 | 건수 | 중량 |
| '17.1.1. ~ 12.31. | 가공식품 | 27,250 | 131,580 | - | - | 4 | 0.3 |
| | 농산물 | 152 | 8,484 | - | - | - | - |
| | 축산물 | 553 | 684 | - | - | - | - |
| | 수산물 | 7,271 | 24,168 | - | - | - | - |
| | 계 | 35,226 | 164,916 | 0 | 0 | 4 | 0.3 |
| '18.1.1. ~ 12.31. | 가공식품 | 30,992 | 142,495 | - | - | 6 | 0.4 |
| | 농산물 | 192 | 1,829 | - | - | - | - |
| | 축산물 | 619 | 643 | - | - | - | - |
| | 수산물 | 6,514 | 23,601 | - | - | - | - |
| | 계 | 38,317 | 168,568 | 0 | 0 | 6 | 0.4 |
| '19.1.1. ~ 12.31. | 가공식품 | 21,425 | 89,722 | - | - | 4 | 5 |
| | 농산물 | 153 | 503 | - | - | - | - |
| | 축산물 | 482 | 283 | - | - | - | - |
| | 수산물 | 4,201 | 15,207 | - | - | - | - |
| | 계 | 26,261 | 105,715 | 0 | 0 | 4 | 5 |
| 총계 | 가공식품 | 213,032 | 758,268 | 14 | 7 | 191 | 131.8 |
| | 농산물 | 1,322 | 37,357 | 1 | 0 | 8 | 54 |
| | 축산물 | 3,430 | 2,551 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 수산물 | 50,902 | 184,632 | 131 | 3,013 | 5 | 20 |
| | 계 | 268,686 | 982,808 | 146 | 3,020 | 204 | 205.8 |

※ 기준치 이하라도 방사능이 검출되면 스트론튬 등 기타핵종에 대한 검사증명서를 추가 제출토록
요구하고 있음(가공식품 및 농산물 : '11.5.1~ / 축산물 및 수산물 : '13.9~).

특히 2013년 9월 6일 정부의 임시특별조치 즉, “후쿠시마 주변 8개 현의 모든 수산물에 대한 수입금지” 이후에는 기준치 이하라도 방사능이 검출되면 스트론튬 등 기타핵종에 대한 검사증명서를 추가 제출토록 요구하고 있다.

최근 언론보도⁴⁾에 따르면 중국의 능이버섯, 러시아의 차가버섯, 미국의 블루베리 등에서 방사능이 반복 검출되었다는 보고가 있다. 2011년부터 2019년 7월말까지의 주요 국가별 수입식품 검사에서 1,189건 6,723톤의 식품에서 방사능이 검출됐다. 더욱이 일본을 제외한 타 국가들로부터 수입된 식품 3,497톤 가운데 중국산 능이버섯 291건 1,455톤, 러시아산 차가버섯 58건 198톤, 미국산 블루베리 7건 157톤 및 터키 헤즐넛 11건 129톤 순으로 방사능 검출 빈도가 높았다. 이들 4개 국가 4개 농산물에서 방사능이 검출된 비중은 전체 물량의 절반을 넘고 있다. 2011년 이후 방사능이 검출된 주요 수입 가공식품은 1,287톤으로, 일본이 아닌 다른 나라들에서 수입된 방사능 검출 먹거리 가운데 36.8%를 차지했다. 수입 가공식품 중에서는 잼에서 방사능 검출이 빈번했다. 2011년부터 2016년까지 방사능이 검출된 분유도 852톤이 네덜란드, 독일, 뉴질랜드 등으로부터 21건이 수입됐다. 이에 따라 수입식품 중 버섯류, 잼, 블루베리, 헤즐넛, 과채가공품, 차류 및 분유류에서 방사능 검출이 반복되고 있으므로, 이에 대한 원인 분석과 철저한 검사관리가 필요하다는 지적이 나오고 있다.

참고로 일본 후생노동성 자료에 따르면(표 3-3) 일본정부는 2018년 1년 간 총 17만 천여 건의 농수축산물과 야생육, 유제품 및 기타 가공식품의 방사능 검사를 실시하였다. 그 결과, 방사능 검출률은 야생육 44.6%, 농산물 18%, 수산물 7%, 기타가공식품 2.5% 순으로 높게 나타났다고 보고하였다. 그러나 야생육의 경우 검출건수가 가장 적은 데 비해 높게 나타났고, 축산물은 검사건수가 14만 6천 건으로 가장 많은 데도 검출률이 0.03%로 낮았으며, 다음이 농산물로서 1만 건 이상의 검사건수에서 18% 이상이 오염된 것으로 확인되었다. 또한 방사능이 다량 검출된 농림산물로서는 두릅, 죽순, 고사리, 표고, 산초, 무청 등으로 나타났다.

표 3-3 일본 농수축산식품의 방사성물질 검사 결과 (2018)⁵⁾

| 종류 | 검사건수 | 검사비율* | 검출건수 | 검출률** |
|--------|---------|--------|-------|-------|
| 농산물 | 10,315 | 6.0% | 1,870 | 18.1% |
| 수산물 | 9,801 | 5.7% | 684 | 7.0% |
| 축산물 | 145,972 | 84.9% | 38 | 0.03% |
| 야생육 | 1,081 | 0.6% | 482 | 44.6% |
| 유제품 | 1,222 | 0.7% | 2 | 0.2% |
| 기타가공식품 | 3,534 | 2.1% | 87 | 2.5% |
| 총계 | 171,925 | 100.0% | 3,163 | |

* 검사비율: 총 검사건수 대비 종류 별 검사건수 비율

** 검출률: 검사건수 대비 방사성물질 검출 비율

자료: 일본 후생노동성(2018년 1~12월), 정리: 시민방사능감시센터, 환경운동연합

3.4 식품의 방사능오염 관련 국내외 기준⁶⁾

3.4.1 국내 기준

국내에서는 1986년 체르노빌 사고 이후 식품의 방사능 기준으로서 방사성요오드(¹³¹I/요오드-131)와 방사성세슘(¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs /세슘-134/137)에 대한 허용기준을 각각 정한 바 있다. 이후 관련 국제적 환경 변화와 일본 후쿠시마 원전사고 이후 2013년 방사능 관련 식품 기준을 임시적으로 엄격히 적용하다가 2020년 1월 1일 시행을 근거로 모든 식품에 대한 방사성요오드(¹³¹I)의 기준을 100벵크렐/kg(L) 이하로 정하였다. 동시에 방사성세슘(¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs)에 대하여는 영아용 조제식, 성장기용 조제식, 영·유아용 곡류조제식, 기타 영·유아식, 영·유아용 특수조제식품, 영아용 조제유, 성장기용 조제유, 원유 및 유가공품, 아이스크림류를 대상으로 50벵크렐/kg(L) 이하로 정하고 있다. 또한 기타식품(영아용 조제식, 성장기용 조제식, 영·유아용 곡류조제식, 기타 영·유아식, 영·유아용 특수조제식품, 영아용 조제유,

성장기용 조제유, 원유 및 유가공품, 아이스크림류를 제외한 모든 식품 및 농축수산물)에 대한 방사성세슘($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$)의 기준은 100 베크렐/kg(L) 이하로 정하고 있다(표 3-4). 이는 2018년까지의 기준이었던 방사성요오드(^{131}I) 100-300 이하, 방사성세슘($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) 100 이하보다 훨씬 엄격해진 기준이다. 이상의 방사성요오드 기준은 Codex 기준과 동일하며, 세슘에 대한 일본 기준과 동일한 것으로 가장 엄격한 수준이라고 할 수 있다. 그러나 국내에는 아직 방사성플루토늄(^{239}Pu)과 방사성스트론튬(^{90}Sr)에 대한 기준을 마련하지 않고 있다.

표 3-4 국내의 식품 방사능 기준(고시 제2018-98호, 시행일 2020.1.1.)⁶⁾

| 핵 종 | 대상 식품 | 기준 (Bq/kg, L) |
|--|--|---------------|
| ^{131}I /요오드-131 | 모든 식품 | 100 이하 |
| $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ /세슘-134/137 | 영아용 조제식, 성장기용 조제식, 영·유아용 곡류제조식, 영·유아용 특수조제식품, 영아용 조제유, 성장기용 조제유, 원유 및 유가공품, 아이스크림류 | 50 이하 |
| | 기타식품 * | 100 이하 |

* 기타식품은 영아용 조제식, 성장기용 조제식, 영·유아용 곡류제조식, 영·유아용 특수조제식품, 원유 및 유가공품을 제외한 모든식품 및 농축수산물을 말한다.

3.4.2 국내 식품 방사능 시험법⁷⁾

(식품공전/2019, 제 8. 일반시험법, 9. 식품 중 유해물질 시험법, 9.9 방사능)

9.9 방사능

9.9.1 시험시료

별도의 규정이 없는 경우 9.1 중금속 9.1.1 시험시료에 따라 처리한 것을 시료로 한다.

9.9.2 고순도게르마늄 감마핵종분석기에 의한 시험

가. 시험법 적용범위

식품 중 감마선방출 방사성 핵종 확인 및 방사능 시험에 적용한다.

나. 분석원리

다중과고분석기(multichannel analyzer) 또는 고순도 게르마늄 검출기로 측정된 표준선원(standard radioactive source)의 방사능 에너지피크에 대응하는 동위원소를 검체의 방사능 피크에너지와 대조하여 동위원소표로부터 방사성 핵종을 확인한 후 각 핵종에 대한 방사능을 측정하는 방법이다.

다. 장치

1) 고순도게르마늄 감마핵종분석기

라. 검체조제

1) 직접법

가) 비가식부(곡류 : 껍질 등, 채소류 : 뿌리, 토사, 고엽 등, 식육류, 수산물 및 알류 : 뼈, 껍질 등)가 있을 경우 이를 제거한다. 수산물의 경우 식용가능한 어류의 알, 창난, 이리(곤이), 오징어 난포선 등의 내장은 포함한다. 또한 물로 세척할 경우에는 물기를 제거한 후 분쇄기로 갈아 균질화하여 측정용기에 넣고 무게를 정밀히 달아 밀봉하여 측정한다.

단, 검체에 거품이 발생하는 경우 에틸알코올 수 방울을 넣어 거품을 제거한 후 측정한다.

나) 검체가 분말인 경우 상면이 수평이 되도록 측정용기에 압축하여 충전한 후 측정한다.

다) 균질화된 검체에 기포가 있을 경우 기포를 제거하여 체적을 최소화한 후 측정한다.

라) 검체가 액체인 경우 그대로 측정용기에 넣은 후 무게를 정밀히 달고 밀봉하여 측정하거나 적당량으로 농축해 측정용기에 넣고 무게를 정밀히 달아 밀봉하여 측정한다.

단, 원유인 경우 측정 중 부패로 인한 유정의 분리를 방지할 필요가 있을 때 포르마린(포름알데하이드 37%용액)을 10 mL/L 비율로 첨가하여 측정한다.

주1) ① 측정 중 부패의 우려가 있는 경우 포르마린(포름알데하이드 37% 용액)을 2 mL/kg, L 비율로 첨가하여 측정한다.

② 검체의 무게는 측정용기의 무게를 뺀 값을 사용한다.

2) 건조법

가) 수분이 많은 식품은 1~2일간 바람에 건조시키고

나) 분쇄하기 쉬울 때까지 105℃의 열풍건조기내에서 건조한다.

다) 충분히 건조된 것은 습기가 재흡수되기 전에 분쇄기를 사용하여 분말로 만든다.

라) 측정용기에 분말을 넣고 균질한 분포가 되도록 압축하여 체적을 최소화시킨 후 무게를 달고 밀봉하여 측정한다.

마) 건조전후의 무게비로 결과를 환산한다.

3) 회화법

가) 2)의 가)~나)까지 처리된 검체를 전열기 또는 가스버너로 온도가 너무 높지 않도록 주의하면서 가연성가스가 나오지 않게 될 때까지 탄화한다.

나) 탄화된 것을 회화로에 넣고 500℃를 넘지 않는 온도로 회화하여 쉽게 잿가루가 될 수 있는 정도로 만든다.

다) 회화된 것을 막자사발에서 충분히 분쇄 혼합하여 측정용기에 압축하여 넣는다.

- 라) 상기 검체의 무게를 달고 밀봉하여 측정한다.
- 마) 회화전후의 무게비로 결과를 환산한다.

마. 시험조작

1) 방사능 핵종시험

다중과고분석기(multichannel analyzer)와 고순도 게르마늄 검출기를 사용하여 다음과 같이 시험한다.

- 가) 측정 장치의 전원을 가하고 기저방사능을 측정한다.
- 나) 검체의 최소 측정시간은 10,000초로 한다. 측정조건에 따라 측정 시간을 증가시킬 수 있다.
- 다) 기저방사능을 검체 측정 전후로 측정하여 평균치를 취한다.
- 라) 표준선원(standard radioactive source)의 에너지피크를 구하고 측정에너지 범위가 0~2 MeV가 되도록 증폭기의 계인을 조정한다. 필요한 경우 측정에너지 범위를 확대 또는 축소하여도 좋다.
- 마) 각 채널에 대응하는 에너지를 표준선원(standard radioactive source)을 이용하여 교정한다.
- 바) 차폐용기(radioactivity shielding vessel) 내의 검출기에 검체를 올려놓고 일정시간 방사능을 측정하여 스펙트럼을 얻는다.
- 사) 나타난 피크에너지에 대응하는 동위원소를 동위원소표의 피크에너지와 대조하여 핵종을 찾는다.

2) 방사능시험

- 가) 마, 1)의 가)~바)을 행한다.
- 나) 얻어진 스펙트럼을 참조하여

^{131}I [0.0802(2.6%), 0.284(6.1%), 0.364(81%), 0.637(7.3%) MeV]

^{134}Cs [0.569(15%), 0.605(98%), 0.796(85%) MeV]

^{137}Cs [0.662(85%) MeV]

에서 각 핵종에 대한 감마선 방출비율이 가장 큰 피크에너지 (0.364, 0.605, 0.662 MeV)에서의 기저방사능이 제거된 순 피크

면적(S)을 구한다.

다) 감마계수효율 ε 은 측정할 검체와 같은 형상(가능하면 동일조성의 동일 형상)으로 만들어진 표준선원(standard radioactive source)에 따라 구한다. 이때 5개 이상의 에너지에 대한 효율 ε 을 구하여 에너지와 효율과의 관계그래프로부터 각 핵종에 대한 감마선 방출비율이 가장 큰 피크에너지에 대한 계수효율을 구한다.

라) 각 핵종에 대한 방사능은 다음 식으로 산출한다.

$$A(\text{Bq/kg, L}) = \frac{S}{\varepsilon p t} \times \frac{1}{SW(\text{kg, L})}$$

A : 각 핵종에 대한 방사능

S : 각 핵종에 대한 감마선 방출비율이 가장 큰 피크에너지의 기저 방사능이 제거된 순 피크면적

ε : 동 에너지에서의 감마계수효율

p : 동 에너지의 감마방출비율

t : 측정시간(초)

SW : 검체의 무게

3.4.3 국외 기준⁸⁾

국제식품규격위원회(Codex)는 원전사고 또는 방사능사고와 관련하여 식품의 섭취범위, 국제교역 중 오염된 식품의 방사성핵종에 대한 가이드라인 차원의 제한치를 정하고 있다. 이 가이드라인은 조제 또는 배합한 식품에 적용하며, 영·유아의 경우는 방사성핵종에 특히 민감하므로 Codex는 ‘영·유아식품’ 및 ‘기타식품’에 대한 가이드라인 차원의 제한치를 정하고 있다. 또한 방사능사고 발생에 따른 수출입 식품에 대한 방사성핵종 오염도의 국제 Guideline Levels(GLs)

이 따로 정해져 있다. 이 GLs는 세계식량농업기구(FAO), 세계보건기구(WHO), 국제식품규격위원회(CODEX)가 공동으로 발표하였으며, GLs에 명시하는 기준 이하의 식품은 섭취해도 안전하지만, 오염수치가 GLs를 초과할 경우 각국 정부가 해당 식품의 유통을 제한할 수 있도록 정하고 있다.

방사성물질에 대한 국외기준은 표 3-5와 같이 일본, 미국, 중국, 국제식품규격위원회(Codex) 및 EU에 대해 나타내었다. 식품에 대한 각국의 방사성세슘 기준은 우리나라와 일본 100 Bq/kg, 미국 1,200 Bq/kg, Codex 1,000 Bq/kg, EU 1,000-1,250 Bq/kg 등의 수준으로, 우리나라의 기준은 선진국 및 국제기준에 비해 매우 엄격한 기준이다. 그러나 우리나라, 일본, 중국은 방사성플루토늄(²³⁹Pu)과 방사성스트론튬(⁹⁰Sr)에 대한 기준을 아직 마련하지 않고 있다.

표 3-5 식품 중 방사성요오드 및 방사성세슘의 주요 국가기준⁸⁾

| 국가 | 방사성요오드 ¹³¹ I (Bq/kg) | | | | 방사성세슘 ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs (Bq/kg) | | | | |
|-------|---------------------------------|---------|------------------|-----------------------------------|--|---------|-------|-------|------------------------|
| | 음료수 | 우유, 유제품 | 채소류 (뿌리 채소 등 제외) | 기타 | 음료수 | 우유, 유제품 | 채소류 | 곡류 | 육류, 난류, 어류, 기타 |
| 일본 | - | - | - | - | 10 | 50 | 100 | 100 | 100 |
| 미국 | 170 | 170 | 170 | 170 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 |
| 중국 | - | 33 | 160 | 육류, 수산물: 470 곡류: 190 서류: 89 | - | 330 | 210 | 260 | 육류, 수산물: 470 서류: 90 |
| Codex | 100 | 100 | 100 | 100 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Eu | 500 | 500 | 2,000 | 2,000 | 1,000 | 1,000 | 1,250 | 1,250 | 1,250 |
| | 영아용 식품 150 | | | | 영아용 식품 150 | | | | |

※ EU의 경우 일본산 수입제품에 대해서는 일본기준을 적용하고 있음.

표 3-6 식품 중 방사성플루토늄 및 방사성스트론튬의 주요 국가 기준⁸⁾

| 국가 | 방사성플루토늄 ²³⁹ Pu (Bq/kg) | | | 방사성스트론튬 ⁹⁰ Sr (Bq/kg) | | |
|-------|-----------------------------------|------|------|----------------------------------|------|------|
| | 영유아식품, 우유 및 유제품 | 액체식품 | 기타식품 | 영유아식품, 우유 및 유제품 | 액체식품 | 기타식품 |
| 미국 | 2 | 2 | 2 | 160 | 160 | 160 |
| Codox | 1 | 10 | 10 | 100 | 100 | 100 |
| Eu | 1 | 20 | 80 | 75 | 125 | 750 |

※ 일본산 수입식품의 경우 요오드 및 세슘이 기준치 이내로 검출되더라도, 수입자에게 코덱스(CODEX, 국제식품규격위원회)의 ‘플루토늄, 스트론튬 등’ 방사능 핵종에 오염되지 않았음을 추가로 입증하도록 요구하고 있음.

3.5 식품 중 방사능 안전관리체계 및 대응은?

식품의 방사능오염 검사는 생산 및 유통단계로 구분하여 관리하고 있다. 생산단계에서는 농림축산식품부(국립농산물품질관리원), 해양수산부(국립수산물품질검사원), 시·도 보건환경연구원 등에서, 유통단계에서는 식품의약품안전처(서울, 부산, 경인, 대구, 광주, 대전 지방청 포함)와 시·도 식품위생 관련부서에서 수시로 검사를 실시하여 주기적으로 검사결과를 홈페이지에 공시한다(그림 3-1). 그 외 식품 및 환경시료의 방사능오염 검사는 한국원자력안전기술원, 한국원자력연구원, 한국기초과학연구원 등에서 첨단 분석장비를 활용하여 관련 방사성핵종(플루토늄-239, 스트론튬-90)의 측정검사를 필요에 따라 실시하고 있다.

한편, 우리나라에서는 일본산 수입식품에 대한 임시특별조치(2013. 9. 6)에 따라 후쿠시마 주변 8개현의 수산물은 물론, 일본산 축산물에 대해서도 엄격한 방사능 오염검사를 실시하고 있다. 이때



그림 3-1 식품의 방사능 안전관리체계⁸⁾

미량이라도 방사성세슘이 검출되면 기타 핵종에 대한 검사증명서를 추가로 요구하고 있다. 동시에 정부는 “일본산 식품 방사능 안전관리 민간전문가위원회”를 설치하여 수입식품의 안전성 확보를 위한 대응과 국민소통을 위해 노력하였다. 특히 2015년 1월에는 방사능민간전문가들이 일본 아오모리현 등 후쿠시마 주변 현지를 방문하여 채취·하역된 수산물의 유통·판매, 방사능검사기관 등을 일본 정부 담당관들과 함께 방문·조사하고 향후 방향을 논의한 바 있다.

이후 일본정부는 한국정부의 일본수산물에 대한 임시특별조치의 항의로써 WTO에 제소하였고, WTO 한일 수산물 분쟁 패널이 설치되었다. 그 결과 2019년 4월 26일 WTO 분쟁해결기구에서는 ‘일본산 수입 식품 분쟁 최종판정’에서 대한민국 정부가 일본산 수산물 등 수입식품에 대해 취한 수입규제조치가 WTO 협정을 위반하지 않았다고 최종판정을 내렸다.

3.6 방사능오염식품의 섭취와 안전은?

3.6.1 일상생활과 방사능오염식품의 섭취

우리는 일상생활에서 여러 방사성물질에 노출되어 있으므로 미량이나마 방사선에 노출되어 살아가고 있다. 방사성물질에 노출되거나 방사능오염식품을 섭취하는 것은 인체의 방사선 노출을 의미하는 것이다. 이에 따른 위해정도는 방사성물질의 종류와 양에 따라 달라지며, 낮은 수준의 방사선 노출로 인한 인체의 영향은 의식하지 못한 채 쉽게 회복되기도 한다.⁹⁾

일상생활에서 방사능오염식품을 섭취했을 경우를 예상하여 인체에 미치는 영향을 검토해 보았다. 만약 300벵크렐/kg의 방사성요오드가 오염된 식품을 1 kg 섭취하였을 경우 생물학적 위해는 0.007밀리시버트로 환산된다. 또한 370벵크렐/kg의 방사성세슘이 검출된 식품을 100 g 섭취했을 경우는 0.0005밀리시버트에 해당하는 방사선이 체내에 영향을 미치게 된다는 의미가 된다. 이는 1인당 연간 평균 자연방사선량은 2.4밀리시버트이고, 미국 항공여행을 1회 왕복하였을 경우 대략 0.2밀리시버트 임을 감안할 때 매우 미량에 해당함을 알 수 있다.^{10,11,13)}

3.6.2 식품 섭취를 통한 방사선 노출

지금까지 일부 식품에서 검출된 방사성요오드의 양은 규격기준에 비해 매우 낮은 수치이다. 그리고 방사성요오드의 반감기는 8일이므로 수입식품에서는 그 수준이 크게 감소될 것으로 예상된다. 그러나 방사성요오드는 체내에서 갑상선 등에 축적되고 특히, 어린이에게는 위험성이 커질 수 있다. 방사성세슘 또한 일부 식품에서 검출되는데,

방사선세슘은 반감기가 길어서 건강에 장기적으로 영향을 미칠 수 있다.

식품의약품안전처는 일부 식품이 마치 방사능 방어효과가 있는 것처럼 허위·과대 광고 하고 있음을 지적하였다. 지금까지 방사능방어 기능성을 인정받은 식품은 없으며, 비타민·요오드·아연 함유 식품 등을 섭취한다 해도 방사능 피폭의 예방이나 치료에는 전혀 효과가 없음을 밝히고 있다. 특히 요오드가 함유된 식품을 지나치게 많이 섭취하게 되면 갑상선염, 갑상선종, 갑상선 기능항진 등의 부작용이 나타날 수 있음을 식품의약품안전처는 지적하고 있다.^{8,12)}

3.7 방사능오염 관련 권고사항이 있나요?^{8,12)}

방사성물질은 공기 또는 비에 함유되어 지상으로 유입된다. 채소, 과일 등 농작물과 초지작물, 임산물 등은 표면이나 뿌리에 방사성물질이 오염될 수 있다. 특히 잎 부분의 표면적이 넓은 엽채류는 대기 중에서 떨어진 방사성물질에 의해 오염될 가능성이 있다. 목초지에서 사육되는 소, 양, 염소 등 가축들은 대기 중 방사능의 낙진으로 오염된 목초를 먹음으로써 고기나 우유에 방사성물질이 발견될 수 있다.

한편, 방사능오염 지역에서는 농사 방법과 원전사고 발생 시 농작물의 생장단계 또는 수확기에 따라 농작물의 방사능 오염정도가 달라진다. 축산식품의 경우는 비교적 오염에 대한 보고가 늦게 이루어진다. 방사능사고 시 초기 대응책은 실행이 가능하고 안전하다고 판단될 경우 다음 조치가 필요하다고 권장되고 있다(WHO). 농장의 채소 등 농작물이나 사료는 플라스틱 비닐 또는 방수 천을 씌우고 방목된 가축들

을 축사로 들여보내는 것이 필요하다. 방사성물질에서 방출되는 방사선의 피폭을 줄이기 위해서는 거리를 확보하는 것이 중요하다. 즉, 방사선의 노출량은 거리제곱에 반비례하기 때문이다.

방사능관련 사고 시 중·장기적 대안으로는 오염의 심각성이 확인된 지역에서 생산된 우유나 채소의 섭취를 피하는 것이다. 또한 해당 지역에서 생산된 농수축산물의 방출이나 도축을 피하고, 동시에 낚시, 사냥, 버섯 채취 등을 금해야 한다. 국내에서는 방사능오염을 막는 세균(*Shewanella*)이 발견되어 화제가 된 바 있다. 이 미생물은 수용성 방사성물질(우라늄 6가 이온)을 균체에 흡착시켜 토양이나 수질오염을 줄이는 원리이다. 그러나 식품에 오염된 방사성물질을 제거하는 특별한 조리나 가공 방법은 없으며, 오염식품은 가열하여도 방사능에 차이가 없다. 그렇지만, 섭취 이전에 깨끗이 세척하거나 껍질을 벗기면 표면에 잔류하는 방사성물질을 제거할 수 있다. 이외에도 반감기가 짧은 방사성핵종은 저장·보관하거나 유통 중에 방사능이 저감화 될 수도 있다.

3.8 후쿠시마 원전사고 이후 대응조치는?^{8,12)}

3.8.1 국내 조치

- 2011. 3.11. 동일본 대지진과 쓰나미로 인해 일본 후쿠시마현 제1원자력발전소가 침수되어 전원 및 냉각시스템이 파손되면서 방사능이 누출된 사고 발생
- 2011. 3.14. 일본산 신선 농림산물, 후쿠시마 등 4개현 수산물에 대한 세습 검사 시작
- 2011. 3.19. 일본산 식품 매 수입 시 검사 실시
- 2011. 3.25. 일본산 모든 수산물 매수입시 검사 실시, 후쿠시마 등

4개현 업체류 등 일본 내 출하제한 품목에 대해 수입 금지 조치

* 이후 일본 내 출하제한 품목에 대한 추가 수입 금지 조치 지속(14개현 27개 농임산물 품목 수입금지 중)

2011. 4.20. 후쿠시마현 까나리 일본 내 출하제한에 따라 수입금지 조치

* 이후 일본 내 출하제한 품목에 대한 추가 수입금지 조치 지속

2011. 5. 1. 일본산 식품 수출 시 방사능 검사증명서와 생산지증명서 요구 조치, 일본산 식품에서 방사능이 검출되면 기타핵종증명서 요구 조치

2011. 5.14. 일본산 축산물, 수산물 수출 시 방사능 검사증명서와 산지증명서 요구조치(구 농림수산부)

2012. 4. 1. 일본산 식품에 대한 방사성세슘 기준 100벵크렐/kg 기준 적용

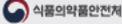
2013. 9. 9. 임시특별 조치 시행

- 8개현 모든 수산물 수입금지
- 일본산 축수산물에도 방사성세슘 0.5벵크렐/kg 이상 검출 시 기타핵종 검사증명서 요구
- 모든 국가 식품에 방사성세슘 100벵크렐/kg 강화된 기준 적용

3.8.2 수입식품의 방사능 안전관리^{8,12)}



식품 중 방사능으로부터 안전하게 관리합니다



식품의약품안전처

수입식품의 방사능 안전관리는?

01

수입식품 통관시 방사능 검사 실시

- 농·축수산물, 가공식품, 식품첨가물, 건강기능식품 등 모든 수입식품물에 해당
- 수입식품 검사 절차



국내 도착



관세청
수입신고



지방
식품의약품
안전청 검사



서류검사
관능검사



정밀검사
무작위검사
방사능 등 검사

부적합 > 폐기

적합 > 유통

02

방사능 검사는 어떻게 하나요?

- 「식품등의 기준 및 규격」 검체채취 기준에 따라 검체를 채취하여 방사능 검사를 실시하며, 기준은 세슘의 경우 일반식품 1kg당 100Bq(베크렐), 요오드의 경우 100Bq(베크렐)로 관리
- 일본산 수입식품등은 매 수입시 방사성 세슘과 요오드를 검사하며, 기준치 이하라도 검출되면 추가 방사성 핵종 검사증명서를 제출
- 다른 나라에서 수입된 식품등은 품목, 생산국에 따라 방사능 검사 빈도가 차등 적용되며, 방사능 검사를 실시하여 기준치 이내 적합한 식품등만 수입

수입생선



부적합

관세청과 수입자에 통보한 후 제품을 폐기 또는 반송

수입생선



적합

적합한 수입식품등만 통관하여 유통 가능

수입식품의 방사능 검사결과는 일단위로 식품의약품안전처 홈페이지에 공개!



식품의약품안전처 | 방사능 안전관리 | 방사능 안전관리 | 방사능 안전관리 | 방사능 안전관리

- 검사절차



시료



파쇄 및 결단



분쇄



용진



측정



분석

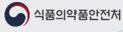
● ● ● ● ● ●

3.8.3 국내 유통식품의 방사능 안전관리^{8,12)}



식품 중 방사능으로부터 안전하게 관리합니다





국내 유통식품의 방사능 안전관리는?

이 국내 유통식품의 방사능 안전관리 품목, 검사 등 안내

- 국내 생산·유통식품의 방사능 안전관리는 식약처, 농식품부, 해수부, 지자체에서 수행



농산물

농림축산식품부



축산물

식품의약품안전처 / 지자체



수산물

해양수산부

- 다소비 품목(농축수산물, 가공식품), 방사능 검출 이력 품목을 대상으로 연간 수거검사 계획을 수립하여 방사능 검사 [요오드(¹³¹I), 세슘(¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs)]를 실시
- 방사능이 기준치 이하 미량 검출된 제품은 스트론튬(⁹⁰Sr)과 플루토늄(²³⁸⁻²⁴⁰Pu)을 추가로 검사
- 검사결과를 2주 간격으로 관계기관의 방사능 검사 결과를 취합하여 식품의약품안전처 홈페이지(국내유통식품 방사능 검사현황)에 공개

유통단계 관리

유통단계에서 식품의약품안전처와 각 지자체가 철저히 관리!





식품 중 방사능!
식약처가 최선을 다해서
안전 관리 하고 있습니다.



3.8.4 일본산 식품의 WTO 분쟁 경과^{8,12)}

[2015]

- 2015.05.21. 일본, 세계무역기구(WTO)에 양자협의를 요청(제소)
: 한국의 일본산 식품 수입제한조치가 위생협정(SPS) 11개 조항에 위반된다고 주장
* 11개 조항: 2.2조, 2.3조, 4조, 5.1조, 5.2조, 5.5조, 5.6조, 5.7조, 5.8조, 7조(부속서B의 1항과 3항)
- 2015.06.24. WTO 분쟁해결규정에 따른 양자협의를 결과 양국간 입장차
~06.25 이만 확인하고 종료
- 2015.08.20. 일본, WTO에 분쟁을 심리할 패널설치 요청
: 한국의 일본산 식품 수입제한조치가 위생협정(SPS) 7개* 조항에 위반된다고 주장
* 7개 조항: 2.3조, 4조, 5.5조, 5.6조, 5.8조, 7조(부속서B의 1항과 3항), 8조(부속서C의 1.a, 1.c, 1.e, 1.g)
- 2015.09.28. WTO 분쟁해결기구, 패널설치 결정

[2016]

- 2016.02.08. WTO 분쟁해결기구, 본 분쟁을 심리할 패널 위원 구성
: 의장 윌리엄 엘리스(William EHLERS, 우르과이), 위원 에제딘 뷰트리프(Ezzeddine BOUTRIF, 튀니지), 위원 네잉 오 밍(MINN Naing Oo, 싱가포르)
- 2016.03.14. 일본측, 1차 서면입장서 제출
: 한국의 일본산 식품 수입제한조치 중 일부가 위생협정(SPS) 4개 조항에 위반된다고 주장(당초 패널설치요청서와 비교하면 제소대상과 조항 대폭 축소됨)
- 2016.07 1차 실질회의 개최(WTO 본부)

2016.09~12 패널이 과학적 자문을 위해 전문가 5명을 지명하여 질의
* 패널이 질의한 내용에 대한 5명의 전문가 답변

[2017]

2017.02 2차 실질회의 개최(WTO 본부)

2017.10 WTO 분쟁해결기구, 패널보고서를 양 당사국에 통보

[2018]

2018.02.22. 최종 패널보고서가 WTO 회원국에 회람(홈페이지 공개)

2018.04.09. 정부, WTO에 상소제기

: 일본 후쿠시마 원전 상황 지속, 국민 먹거리 안전의 중요성
등을 감안할 때 패널 판정에 문제가 있다는 입장임

[2019]

2019.04.11. WTO 상소기구(최종심), 판정보고서 소회원국 회람 및 대
외 공개

* 일측 제기 4개 쟁점 중 일부 절차적 쟁점을 제외한 사실상
모든 쟁점에서 1심 패널 판정 파기

[제소 대상]

-
- 1. 일본 8개현 28개 어종 수산물 수입금지
8개현: 후쿠시마, 미야기, 이와테, 이바라키, 아오모리, 지바, 군마, 도치기
28개 어종: 전복, 명태, 날개다랑어, 금눈돔, 멸치, 눈다랑어, 청새리상어, 참다랑어,
밤나무문어, 고등어, 연어, 멧게, 낙지, 문어, 방어, 대구, 굴, 콩치, 악살어,
가리비, 가다랑어, 망치고등어, 줄무늬청새치, 황새치, 황다랑어
 - 2. 일본산 식품에서 세슘이 검출되면 기타핵종 증명서 요구
통관단계 검사에서 세슘 또는 요오드가 0.5 Bq/kg 이상 검출되면 Codex 기준에 따른 17개
기타핵종 검사증명서 요구

https://www.mfds.go.kr/wpge/m_600/de010504i001.do

3.8.5 일본산 식품의 방사능 수입규제 현황^{8,12)}

일본 식품 방사능 수입규제 현황 (WTO DS495 판정 결과에 따라 세부사항 재공표)

□ WTO DS495 판정 결과에 따라 아래와 같이 일본 식품 방사능 수입규제 세부사항을 공표합니다.

- 2013년 9월 9일부터 8개월* 모든 수산물** 수입을 금지함.
 - * 후쿠시마, 군마, 도치기, 지바, 이바라키, 미야기, 이와테, 아오모리
 - ** 식품첨가물이나 다른 원료를 사용하지 아니하고 원형을 알아볼 수 있는 정도로 단순히 절단·가열·숙성·건조 또는 염장한 수산동식물(수입수산물 검사에 관한 규정(제2019-22호, 2019.3.21.)의 적용대상인 어류, 패류, 연체류, 갑각류, 해조류 등을 말함)
- 2011년 5월 1일(농산물·일반식품) 및 2013년 9월 9일(축·수산물)부터 통관단계 검사과정에서 방사성 물질이 검출되면 추가핵종 검사증명서가 요구됨
 - 세슘(¹³⁴⁺¹³⁷Cs) 또는 요오드(¹³¹I)가 0.5Bq/kg이상(소수점 첫 자리를 반올림하여 1Bq/kg이상) 검출되면 수입자에게 17개 추가핵종 검사증명서가 요구됨
 - 17개 추가핵종 검사증명서 대상핵종 및 핵종그룹별 기준치(CODEX Guideline level)는 다음과 같음

| | 핵종 | Guideline level(Bq/kg) | |
|---|--|------------------------|-------|
| | | 영유아 | 성인 |
| 1 | α선 ²³⁸ Pu, ²³⁹ Pu, ²⁴⁰ Pu, ²⁴¹ Am | 1 | 10 |
| 2 | α선 ²³⁵ U | 100 | 100 |
| | β선 ⁹⁰ Sr, ¹²⁹ I | | |
| 3 | γ선 ¹⁰⁶ Ru | 1000 | 1000 |
| | β선 ³⁵ S, ⁸⁹ Sr | | |
| 4 | γ선 ⁶⁰ Co, ¹⁰³ Ru, ¹⁴⁴ Ce, ¹⁹² Ir | 1000 | 10000 |
| | β선 ³ H, ¹⁴ C, ⁹⁹ Tc | 1000 | 10000 |

- * CODEX Guideline level을 초과하는 경우 수입이 금지됨
- 추가핵종 검사증명서 표기 방법은 방사능 검사증명서*(¹³⁴⁺¹³⁷Cs, ¹³¹I) 표기 방법과 동일하게 추가핵종 검사 결과를 기재하면 됨
 - * 방사능 검사증명서(¹³⁴⁺¹³⁷Cs, ¹³¹I) 예시는 첨부 1과 같음
- 추가핵종 검사증명서 검사 기관 및 장소는 방사능 검사증명서(¹³⁴⁺¹³⁷Cs, ¹³¹I)와 동일하게 일본 정부 또는 일본 정부가 인정하는 기관(특정장소를 정하지 않음)

식약처홈페이지(https://www.mfds.go.kr/brd/m_606/view.do?)

3.8.6 WTO 분쟁해결기구 최종 판결^{8,12)}

- 2019.4.26(금) WTO 분쟁해결기구는 우리 정부가 일본산 수산물 등 수입 식품에 대해 취한 수입규제조치가 WTO 협정을 위반하지 않는다는 최종판정을 공식 채택함.
- 세계무역기구(WTO) 분쟁해결기구는 쉰 회원국이 참석하는 정례 회의에서 일본 원전사고에 따른 우리 정부의 일본산 식품(수산물 포함) 수입규제조치가 「WTO 위생 및 식물위생(SPS)」 협정을 위반하지 않는다는 내용의 최종판정을 공식 채택함.
- 이번 채택에 따라 WTO 규정상 상소기구의 판정이 공식화되고 분쟁 당사국에 대해서도 효력을 가지게 됨.

WTO 분쟁해결기구, 일본산 수입식품 분쟁 최종판정 채택

-4.26(금) WTO 분쟁해결기구는 우리 정부가 일본산 수산물 등 수입 식품에 대해 취한 수입규제조치가 WTO 협정을 위반하지 않는다는 최종판정을 공식 채택 -

| | | |
|--|------------------------------------|-------------------------------|
|  국 무 조 정 실 국무총리비서실 | <h2 style="margin: 0;">보도참고자료</h2> | (배포) 2019. 4. 26.(금) 21:00 |
|--|------------------------------------|-------------------------------|

| | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 농산물의 방사능핵종(알파, 베타, 감마) 분석 | 감마핵종분석기(HPGe)를 이용한 방사성 핵종 분석 |
|----------------------------------|-------------------------------------|

- 알파 핵종 : 플루토늄 (Pu-239)
- 베타 핵종 : 스트론튬 (Sr-90)
- 감마 핵종 : 요오드(I-131), 세슘(Cs-134, Cs-137) 등





제3장 _ 식품의 방사능오염과 안전관리는? 61



- 1) 변명우. 후쿠시마 원자력발전소 사고와 식품안전. 식품과학과 산업, 44(2), 9-15 (2011).
- 2) 신일식. 방사성물질과 수산물의 안전성. 일본 원전사고가 우리나라 국민의 건강에 미치는 영향과 대응에 관한 전문가 자문회의 발표자료. 한국보건사회연구원(2011. 5. 6).
- 3) 식품의약품안전처. 방사능정보(2019), https://www.mfds.go.kr/brd/m_597/list.do
- 4) 머니투데이. 중국 능이버섯, 러 차가버섯, 미 블루베리.... “방사능 반복 검출” (2019. 10.28).
- 5) 일본 후생노동성. 정리: 시민방사능감시센터, 환경운동연합 (2018).
- 6) 식품의약품안전처. 국내 식품 방사능 기준(2019), <https://www.mfds.go.kr>
- 7) 식품의약품안전처. 식품공전 제8. 일반시험법, 9. 식품 중 유해물질 시험법, 9.9 방사능(2019).
- 8) 식품의약품안전처. 식품 중 방사능 안전관리 정보(2019), https://www.mfds.go.kr/pgm/m_596/rdSafeMngInfo.do
- 9) 한국과학기술한림원. 방사능 공포, 오해와 진실-기자회견, 서울프레스센터 (2011. 4. 1).
- 10) 권중호, 진영우. 방사능과 식품안전-미디어위크숍, 서울프레스센터, 한국식품안전연구원(2011. 4. 8).
- 11) 방사선안전전문가 포럼. 방사능 무섭니. 고려의학, 서울(2013).
- 12) 식품의약품안전처(2019). https://www.mfds.go.kr/brd/m_606/view.do
- 13) 식품의약품안전청 유해물질관리단 위해관리팀. 식품 중 방사능 오염은? 발간등록번호 11-1470000-001516-14, 식품의약품안전청(2007).



4.1 의료적 이용 분야는?

방사선과 방사성동위원소는 그 특성으로서 형광, 감광, 전리, 투과 작용을 지니고 있으므로, 이를 이용하여 질병의 진단과 치료를 위해 이용될 수 있다. 질병의 진단을 위해서는 X선과 CT 검사와 같은 낮은 에너지의 방사선을 이용하여 장기의 내부구조와 질병의 상태를 관찰·검진하게 된다. 또한 미량의 방사성동위원소(핵종)를 체내에 투입하여 질병을 진단하는 핵의학 영상분야가 있다. 그리고 감마선 등을 이용하여 수술 후 암 부위를 치료하는 사례가 대표적인 경우이다. 또한 1회용 주사기, 압박붕대 등 각종 의료용품의 멸균처리를 위해서도 방사선기술이 이용되고 있다. 방사선기술은 약품이나 열을 가하지 않는 물리적 방법이므로, 기존의 훈증약제나 열처리 대신에 물리적 수단으로 사용되고 있는 비파괴적인 멸균법이라고 할 수 있다.^{1,2)}

4.2 공업·환경적 이용 분야는?

방사선과 방사성동위원소의 공업적 이용분야는 다양하다. 먼저 화학공장에서 탱크 속 유독물질의 양을 측정하는 데 있어서 액면계로서의 이용을 들 수 있다. 전선이나 케이블, 자동차 타이어, 반도체

소재, 계량기, PVC 제품 등의 절연성, 유연성 등의 가교 및 개질, 개량을 통해 기존 제품의 대체와 생산 공장에서 품질관리에 다양하게 이용되고 있다. 그리고 금속 내의 틈이나 균열을 진단하고 하수구 등의 막힘 부위를 진단하는 비파괴검사와 물체의 투과력을 이용한 신속·정확한 두께 측정, 방사선센서 및 나노신소재 응용, 반도체 가공, 공항검색대의 X선 검사, 고고학 등에서 유물의 연대측정, 화학분석·측정, 하수 및 염색폐기물 처리, 대기오염 정화 등을 이용분야로 들 수 있다.^{1,2)}

4.3 농업적 이용 분야는?

방사선과 방사성동위원소의 농생명 산업적 이용분야 또한 다양하다. 방사성표지화합물을 사용하여 식물의 영양성분 이동추적 연구가 가능하다. 저선량의 방사선을 이용하여 농작물의 품종개발이 가능하고, 근채류(감자, 양파, 마늘 등) 농산물의 발아억제, 버섯 등 신선농산물의 생장억제, 농산물의 해충방제, 식품의 위생화를 위한 살균, 멸균처리 등 식품의 저장 및 안전성 향상을 위한 분야에서 다양하게 활용되고 있다. 특히, 우주식품, 무균식 및 무균사로 개발과 식품포장재 멸균 분야에서는 기존의 화학약품이나 열처리의 대체방안으로서 방사선기술의 효과적인 활용이 가능하다.²⁻⁴⁾

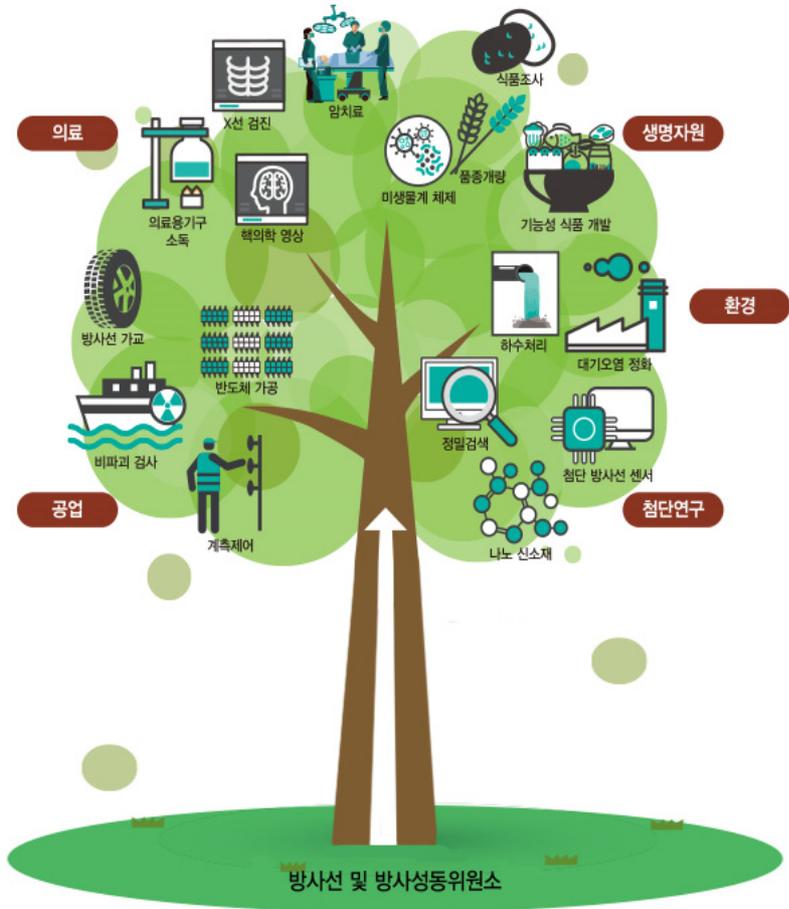


그림 4-1 방사선 및 방사성동위원소의 산업적 이용분야⁵⁾



- 1) 김경표, 이준식, 정성희, 이광원, 김진. 2008-2009년 방사성동위원소 및 방사선 이용 기술 증진을 위한 IAEA 프로그램 및 참여 제고 방안. 방사선기술 과학, 31(4), 313-321 (2008).
- 2) 변영호, 정혜경. 방사선 이용기술. 기술동향브리프, 한국과학기술기획평가원 (2018).
- 3) 권중호. 조사식품의 안전성과 이해, 한국식품안전연구원, 서울 (2010).
- 4) 권중호. 식품저장 및 유통안전 연구 40년의 회고. 식품저장과 가공산업, 17(2), 55-78 (2018).
- 5) 한국원자력연구원 첨단방사선연구소. 방사선이야기 (2019), <https://www.kaeri.re.kr/arti/>



5.1 식품에 대한 방사선에너지의 이용 배경은?

5.1.1 식품의 생물학적 위해요인이 증가하고 있어요!

최근 기상이변이 나타나면서 지구 생태환경의 변화는 미래의 가장 두려운 도전으로 다가오고 있다. 이는 우리의 생활환경 변화는 물론, 농수축산 분야의 생산성과 관련 산업에 미치는 영향이 클 것으로 예상되기 때문이다. 이와 같은 상황 속에서 식품산업의 당면과제는 식량안보(food security)와 식품안전(food safety)으로 판단된다. 식량안보는 식량자급률과 식품가공원료의 안정적 확보, 그리고 식량주권(sovereignty)의 관점에서의 중요성이 강조되고 있다. 식품안전은 식중독균, 검역해충, 기생충 등의 생물학적 오염과 농약, 항생물질, 중금속, 환경호르몬, 방사성물질, 이물질 등의 이화학적 오염에 의해 많은 위협을 받고 있다.

5.1.2 기존 살균·살충 방법에 문제점이 있어 대안기술이 필요해요!

기상이변과 기후변화는 농업생산 분야에서 신규 병해충의 발생과 이를 퇴치하기 위한 기술의 필요성을 증대시키고 있다. 이는 식품의 안전성 확보와 유통 및 검역 관리에 있어서 새로운 도전이 되고 있다. 지금까지 농식품 산업에서 혼입되거나 오염된 식중독균, 기생충, 저장해충, 검역유기체 등의 방제 및 사멸 방법으로는 화학약품 처리(메틸

브로마이드/methyl bromide 등 훈증약제, 농약, 첨가물 등), 열처리 (통조림, 레토르트, 저온살균, 열수처리 등), 물리적 처리(고압, 여과, 고주파, 방사선, 냉동, 냉장 등) 등이 연구되어 선택적으로 활용되고 있다. 그러나 기존의 방법들은 안전성, 환경공해, 작업자 안전, 품질열화, 처리효과, 경제성 등의 측면에서 개선이 필요하며, 글로벌 식품산업에 서는 비 가열(non-thermal), 비 약제(non-chemical) 특성의 새로운 대체기술(alternative technology)이 요구되고 있다.¹⁾

5.1.3 대안기술로서 방사선기술의 활용이 가능한가요?

가능하다. 식품산업에서는 식품의 안전성 및 품질 확보를 위하여 비 가열, 비 약제 특성의 대체기술을 필요로 하고 있다. 식품에 대한 방사선에너지의 이용은 대상 식품에 방사선에너지를 쬐여 식품의 품질을 보존하거나 안전성을 확보하는 기술이며, 이를 식품조사기술(food irradiation technology)이라 한다(그림 5-1). 식품조사처리 대상 식품은 유해 미생물이나 해충이 오염되어 위생화 처리가 필요하거나 저장기간 연장이 요구되는 식품이나 원료이다. 이들은 방사선기술이 아니더라도 반드시 다른 방법에 의해서 위생적 품질향상이 필요한 식품들이다.



그림 5-1 방사선기술에 의한 식품조사처리

식품의 안전성 확보를 위해 이용될 수 있는 방사선에너지는 방사성물질에서 발생하는 에너지와 기계장치에서 인위적으로 발생시키는 에너지로 나눈다. 이들은 종류에 따라 파장이 다르고 물질과의 작용도 상이하다. 이들 중 감마선, 전자선, X선 등은 이온화작용(ionization)을 지니고 있어서 식품과 원료에 오염된 미생물, 해충, 기생충 등을 효과적으로 불활성화 시키고, 열에너지로 변화되어 소멸된다. 따라서 방사선에너지는 식품의 안전성 확보를 위한 효과적인 살균·살충기술로 활용이 가능하다.²⁾

5.1.4 식품에 대한 방사선 이용연구의 역사는?

식품분야에 방사선에너지의 이용연구는 Roentgen(1895)과 Becquerel(1896)이 X선과 자연방사능을 발견한데서 비롯되었다. 이같이 19세기 후반부터 방사선을 내는 선원(source)의 발명과 개발이 이루어지면서 미생물에 대한 방사선의 영향이 보고되었다. 한편 20세기에 접어들어 1970년대는 식품조사(food irradiation)의 기술적 효과와 방사선조사식품의 안전성 평가 연구가 광범위하게 진행되었다. 1980년대에는 조사식품의 건전성 평가가 국제기구의 주도로 본격 이루어지면서 조사처리식품(irradiated food)에 대한 Codex 규격이 채택되었다. 이를 바탕으로 국가별 식품조사 규격기준이 마련되었고, 1990년대에는 조사처리식품의 시험판과 상업화 추진, 표시 및 조사여부 확인방법 연구와 기준이 마련되었으며, 2000년대부터는 방사선 조사처리된 식품의 국가 간 교역이 본격적으로 시작되었다.^{2,3)}

식품조사기술 연구 및 활용의 국제적 발전과정을 살펴보면 다음과 같이 1960년대는 균 비축식량 및 우주인 식사프로그램 이용, 1970년대는 방사선조사를 물리적 처리(physical process)로 인정하면서 농산

물 저장 목적의 발아억제, 살충, 숙도지연 등에 활용, 1980년대는 세계식량농업기구/세계보건기구(FAO/WHO) 등 국제기구에서 10 kGy 이하로 처리된 조사식품의 안전성 인정과 Codex 규격 채택 및 식중독 방지에 활용 권고, 1990년대는 유엔환경위원회(UNEP)에서 화학약품(ethylene oxide, methyl bromide 등) 대체기술로의 활용 권장, 그리고 2000년대부터는 WTO 자유무역체제에서 식물위생검역 조치의 적용에 관한 일반협정(SPS)과 무역에 대한 기술적 장해에 관한 협정(TBT)에 의해 식품의 안전기준과 동식물 검역기준을 만족하기 위해 미국을 중심으로 하여 방사선 검역처리기술(irradiation for quarantine)의 활용이 확대되고 있다.^{2,4,6)}

(1) 국제적 연구역사와 발전^{7,8)}

1895 : Roentgen X선 발견

1896 : Becquerel 자연방사능 발견

: Minsch 이온화 방사선의 부패미생물 사멸효과 제안

1904 : Prescott 이온화 방사선의 살균효과 발표

1905 : 식품미생물 사멸을 위한 이온화 방사선 이용 미국 및 영국 특허

1905 - 20 : 이온화 방사선의 물리적, 화학적, 생물학적 기초연구

1921 : Schwartz(USDA) 돼지고기 선모충(*Trichinella spiralis*) 사멸연구 발표

1923 : 조사처리식품 건전성 평가 동물실험 최초 결과보고서 발표

1930 : 식품저장을 위한 이온화 방사선 이용 프랑스 최초 특허

1942 : 네덜란드 2차 세계대전 중 긴급구호물자(분유, 채소류)에 감마선 이용

1943 : 미 육군 위탁 MIT 연구진의 X선 이용 분쇄쇠고기 저장타당성 확인

- 1940-50 : 미국 육군과 육가공회사(Swift & Co.)에 의한 조사처리식품 장기 동물실험과 산·학·연·관·민 식품조사기술 연구개발 시작
- 1950 : 영국 등 여러 나라에서 식품조사연구 프로그램 시작
- 1958 : 소련에서 세계 최초로 감자에 대한 상업적 조사처리 허용
: 미국 식품, 의약품 및 화장품 법령 개정으로 식품조사처리를 식품첨가물로 평가하고, 활용을 위해서는 FDA 허가 의무화
- 1961 : FAO/IAEA/WHO 공동으로 식품조사처리(food irradiation)의 안전성 평가에 관한 최초 회의 소집, 본 국제기구 합동으로 『식품조사 공동전문가위원회(JECFI)』 설치
- 1970 : FAO/IAEA 및 OECD는 WHO의 권유에 따라 24개국이 참여한 식품조사 분야 국제연구과제 신설
- 1973 : 일본 호카이도 Shihoro 농협이 세계 최초의 상업용 감자조사시설(Co-60) 건설, 현재까지 성공적으로 가동
- 1976 : FAO/IAEA/WHO 『식품조사 공동전문가위원회(JECFI)』에서 식품조사를 식품의 가열 처리나 냉동저장과 같은 물리적 처리로 인정
- 1980 : FAO/IAEA/WHO JECFI는 “총 평균 10 kGy까지 방사선을 조사 처리한 어떠한 식품도 독성학적 위험을 일으키지 않으므로 더 이상의 독성실험은 필요치 않다”고 결론. 아울러 10 kGy까지 조사처리된 식품은 영양학적, 미생물학적 문제를 일으키지 않는다고 발표
- 1982 : 식품미생물국제위원회 및 식품미생물국제연맹은 조사식품의 안전성에 관한 증거를 재확인. 1980년 JECFI 결정을 인정하며 식품조사는 건강에 대해 어떤 장해도 일으키지 않는다고 결론
- 1983 : WHO/FAO Codex 식품규격위원회는 JECFI의 추천내용을 토대로 조사처리식품에 대한 Codex 일반규격과 조사시설 운전

에 관한 국제기준을 채택하고 회원국 활용 권고

- 1984 : WHO/FAO/IAEA 후원 하에 20여 개국이 국제식품조사자문그룹(ICGFI)을 조직하여 국제교역, 경제, 법제화, 규제 및 홍보에 관한 사항 협력연구
- 1986 : EC 과학분과위원회는 조사식품의 동물실험은 더 이상 필요 없다는 1980년 JECFI의 결론을 인정하고 조사식품의 안전성 확인
- : 미국 FDA, 신선 과일 채소류의 수확 후 처리를 위해 1 kGy까지의 방사선 조사 허가
- 1988 : WHO/FAO/IAEA 및 ITC/UNCTAD/GATT 공동 제네바 개최 『조사식품 수용성, 규제 및 교역 국제회의』에서 약 80개국 대표가 “조사처리식품에 대한 수용, 관리, 무역 전망에 대한 결의문 채택”
- 1992 : 미국 최초 상업용 식품조사시설(Food Tech Inc.)이 가동되어 식품업계에 조사서비스를 실시하고 조사식품 판매 시작
- : WHO에서 조사식품 안전성 재평가, 우수제조기준(GMP)에 따라 조사기술이 이용된다면 영양학적으로나 미생물학적으로 전혀 문제가 없다고 발표
- : 안전식품 조리를 위한 WHO 황금률(The WHO Golden Rules for Safe Food Preparation)에서 “가능하면 이온화 방사선 처리된 신선하고 냉동된 가금육의 선택” 권장
- 1995 : 국내 특산품인 인삼제품에 대한 조사처리 안전성 연구(4개 연구기관 공동, 5년간)로서 독성학적, 약리·효능적, 영양학적, 미생물학적 안전성 검증
- 1997 : FAO/IAEA/WHO 합동 『고선량(10-70 kGy) 조사식품 안전성 전문가연구회의』에서 “기존 허용기준보다 10배 이상 높여도 아무런 건강상 위험은 없으며, 특히 불이 너무 가하면 타서

못 먹게 되는 것처럼 방사선도 과량 조사하면 유해물질이 생성되기 이전, 맛과 품질이 변하므로 최대선량을 제한할 필요가 없다”는 결론(WHO Press 발표)

- 1998 : IAEA/FAO 주관 『조사처리식품에 관한 법규와 절차의 조화를 위한 워크숍』 개최, “조사식품 무역을 위한 아시아·태평양 지역 국가 간 관련규정 일치(harmonization)” 합의
- 1999 : FAO/IAEA/WHO 전문가 합동으로 『10 kGy 이상 고선량 조사 식품의 안전성과 건전성에 관한 기술보고서』 채택 및 각국 정부에 배포
- 2000 : 미국 최초의 상업용 전자빔 시설(Surebeam Inc., Iowa)에 의한 식품조사처리 시작으로 분쇄쇠고기 시판 확대
 - : 최초 X-선 식품조사시설이 하와이 Hilo에서 가동되어 하와이산 과일의 미 본토 수출을 위한 검역조사처리 시작
- 2003 : FAO/WHO 식품규격위원회에서는 조사식품에 대한 Codex General Standard를 개정하여 GMPs 조건하 조사처리 된 식품은 조사선량에 상관없이 안전하므로 최대선량 기준이 필요치 않다고 권고
 - : 국제식물보호위원회(IPPC)는 식품조사를 신선농산물의 국제 교역에서 효과적 검역처리로 인정하고 “조사식물 검역조치 국제가이드라인” 발표
 - : 로마 교황청이 “방사선 조사기술을 인류를 기아와 질병에서 구원할 효과적이고 안전한 기술”로 평가
- 2006 : 미국 SADEX Inc. (Iowa 소재) 전자빔 시설을 재가동하여 식품 조사 서비스 실시
 - : USDA/APHIS에서 수입 과실 및 채소에 대해 모든 해충의 검역처리를 위해 조사기술(400 Gy)을 허용하는 “조사처리 식물검역조치에 대한 최종안” 공표

- 2009 : 열대과일(망고, 파파야, 파인애플, 구아바, 바나나 등 10여종) 이 방사선 검역처리되어 국제교역에 활용
- 2015 : 세계 60여 개국에서 식품조사기술 허용 및 연간 500,000톤 이상의 식품조사처리. 아시아·태지역 국가에서 가장 활발히 기술 활용, 10여 개국 조사식품교역 양자협약 체결

(2) 국내적 연구역사와 발전^{7,9)}

- 1966 : 방사선농학연구소 설립 및 저준위 감마선시설(⁶⁰Co) 이용 마늘, 딸기, 사과, 김치, 고구마 등의 신선도 및 저장기간 연장 소규모 연구 시작
- 1970 : 쌀, 양파, 육류, 토마토 등에 대한 실험실 규모의 감마선 이용연구가 이어지다가 국책연구프로젝트 중단
- 1975 : UNDP 지원으로 의료용품 멸균 연구용 감마선조사시설(100,000 kCi, pilot plant)이 한국원자력연구소에 건설, 의료용품 멸균 및 일부 식품조사연구에 활용
- 1980 : 국제기구(FAO/IAEA/WHO)가 조사처리식품의 안전성을 공식 인정에 따라 원자력(연) 주관의 산·학·연 공동연구 재개(농산물 발아억제, 건조식품 위생처리 산업화 기반연구)
- 1985 : 대통령령(제11717호)으로 식품조사처리업 신설과 식품위생법 개정·고시(1986)
- 1987 : 국내최초 대단위 다목적 감마선조사시설 준공(그린피아기술/주), 방사성동위원소 ⁶⁰Co 사용허가 취득(과학기술처)
: 감마선조사식품 최초 허가[감자, 양파, 마늘의 발아억제(0.15 kGy 이하), 밤의 발아억제/살충(0.25 kGy 이하), 버섯(건조포함)의 속도조절 및 살충(1 kGy 이하)]
- 1988 : 건조향신료 허가(살균/살충, 10 kGy), 그린피아기술(주) 감마

선조사시설 가동

- 1991 : 건조식육 및 어패류 분말, 된장·고추장·간장 분말(살균/살충, 7 kGy), 전분(살균, 5 kGy) 허가
- 1995 : 건조채소류(살균/살충, 7 kGy), 건조향신료 및 이들 조제품(살균/살충, 10 kGy), 효모·효소 제품(살균/살충, 7 kGy), 알로에 분말(살균/살충, 7 kGy), 인삼(홍삼포함) 제품류(살균/살충, 7 kGy), 2차 살균이 필요한 환자식(살균, 10 kGy) 허가
- 2004 : 난분(살균, 5 kGy), 곡류, 두류 및 그 분말(살균/살충, 5 kGy), 조류식품(살균/살충, 7 kGy), 복합조미식품(살균/살충, 10 kGy), 소스류(살균/살충, 10 kGy), 분말차·침출차(살균/살충, 10 kGy) 추가 허가
- 2009 : 방사선조사식품의 확인시험법 등재(광자극발광법/PSL, 열발광법/TL, 전자스핀공명법/ESR, hydrocarbon류 GC/MS법)
- 2010 : 조사처리식품의 표시기준 강화 : “조사처리 된 식품임”을 나타내는 문구와 조사 도안(RADURA)을 표시해야 함. ‘원재료명 및 함량’에 괄호로 “양파(감마선조사), 전자선조사 마늘 등”
- 2012 : 식품조사처리 선종으로서 “전자선” 사용 허가
- 2016 : 조미건어포류(살균, 10 kGy) 허가로 총 29개 식품(군)의 감마선 및 전자선조사 허가
- 2019 : 국제기준과의 조화를 위해 식품조사처리에 사용할 있는 선종에 국제적으로 인정된 엑스(X)선 조사처리 방식 추가 확대 (감마선, 전자선, 엑스선)

이상과 같이 국내에서는 지난 50여 년간 수행된 연구결과를 바탕으로 식품조사처리를 위한 식품위생법 마련과 식품공전 등재가 이루어졌다. 아울러 민간 상업용 조사시설(감마선 2기, 전자선 3기 이상)

이 건설·가동됨으로써 본격적인 산업화 시대에 이르렀다. 또한 조사처리 선종으로서 감마선(1987), 전자선(2012) 및 엑스선(2019)이 각각 허가되어 국제기준(Codex) 및 제 외국과의 조화가 이루어짐으로써 조사처리식품의 생산·유통과 수출입 기회가 늘어날 것으로 기대된다.⁹⁾

5.2 식품에 이용되는 방사선에너지의 특성과 기술의 장·단점은?

5.2.1 에너지의 종류는?

식품에 방사선에너지를 쪼이는 것을 식품조사처리(food irradiation, 食品照射)라고 한다(그림 5-1). 식품조사처리는 식품을 본래의 품질상태에 가깝도록 보존하거나 안전성을 확보할 목적으로 법적으로 허용된 방사선에너지를 그 식품에 일정시간 노출시키는 공정이다. 이로써 식품의 위생적 품질을 향상시키거나 저장기간을 연장하기 위해 살균, 살충, 성장조절 등 여러 효과를 달성하는 기술이다. 최근 여러 파장이나 주파수를 지닌 에너지의 활용이 활발하다.

그림 5-2는 일상생활 주변에 활용되는 방사선의 종류와 파장을 나타낸 것이다. 이들 에너지는 광합성 현상에서부터 천일건조, 숯불구이, 전기구이, 마이크로파 가열, 자외선 살균, X선 및 감마(γ)선 조사 등에 이용될 수 있다. 하지만 좀 더 전문적인 의미에서 식품조사처리란 단파장의 감마선이나 엑스선 및 전자선(electron beam, 전자선가속기에서 발생)에 의한 식품처리를 말한다.^{2,7)}

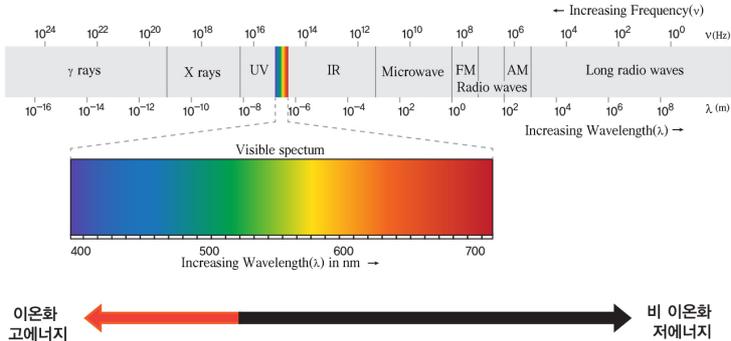


그림 5-2 방사선의 종류 별 파장과 주파수¹¹⁾

우리가 알고있는 방사선(radiation) 에너지에는 여러 가지 종류가 있다. 방사선의 종류는 방사선원(radiation source)에 따라 방사성동위원소(radionuclide, radioactive)로부터 방출되는 에너지, 전자가속기, 원자로 등에서 만들어지는 것, 우주방사선 등이 있다. 또한 방사선 에너지의 종류는 표 5-1과 같이 전자파방사선(X선, 감마선), 전기를 띤 입자선(α 선, β 선, 전자선, 양자선 등)과 전기를 띠지 않는 입자선(중성자선)으로 나눌 수 있다.^{7,10)}

표 5-1 방사선에너지의 종류⁷⁾

| | |
|---------------|--|
| 전자파방사선 | ① X선 (제동X선 · 특성X선 등, 원자핵 이외의 현상에서 발생) ② γ 선 (원자핵 에너지 상태 변화에 따라 방출) |
| 전기를 띤 입자선 | ① β^- 선 (원자핵에서부터 방출되는 전자) ② β^+ 선 (원자핵으로부터 방출되는 양전자) ③ 전자빔 (가속기로 만든다) ④ α 선 (원자핵으로부터 방출되는 헬륨 원자핵) ⑤ 양자선 (가속기로 만든다) ⑥ 중앙양자선 (가속기로 만든다) ⑦ 기타 중이온 및 중간양자선 (가속기로 만든다) |
| 전기를 갖지 않는 입자선 | ① 중성자선 (원자로, 가속기, 방사성동위원소 등 이용) |

그러나 식품조사기술에 이용될 수 있는 방사선은 이온화작용(ionization)을 지닌 에너지가 요구되므로 다음과 같은 3종이 국내외적으로 허용되어 있다. 즉, 방사성동위원소(^{60}Co , ^{137}Cs)에서 방출되는 감마(γ)선, 전자선가속기(electron accelerator)에서 전기적으로 발생시키는 전자선(10 MeV 이하) 및 기계적으로 발생하는 X선(5 MeV 이하)이 있다(표 5-2). 이들 방사선에너지 가운데 식품조사처리에 활용되고 있는 비율은 대략 투과력이 큰 감마선이 60-70%, 전자선과 X선이 30-40%의 비중을 차지하는 것으로 예측하고 있다.

표 5-2 식품조사처리에 이용될 수 있는 방사선종과 에너지의 특성^{2,7)}

| 방사선 | 선원 | 반감기(년) | 이용에너지(MeV) |
|-----------------|------------------------|--------|------------|
| 감마(γ)선 | ^{60}Co | 5.3 | 1.17, 1.33 |
| | ^{137}Cs | 30 | 0.06 |
| 전자선(electron) | 전자가속기에서 발생 (10 MeV 이하) | | |
| X선 | 기계적으로 발생 (5 MeV 이하) | | |

그동안 X선은 전자선으로부터의 에너지 전환효율이 낮아 이용에 한계가 있었으나 전자선조사와 유사하게 공정관리가 용이하고 투과력이 좋으며, 신속한 처리가 가능하여 활용 범위를 넓힐 수 있는 장점이 있다. 특히 방사성동위원소를 사용하지 않고 기계장치에서 발생하는 에너지이므로 소비자의 수용성 측면에서 유리한 점이 있다. 그리고 전자선은 감마선에 비해 투과력이 약하여 활용범위가 제한되나, 식품포장이 얇거나 표면살균이 필요한 식품의 경우에는 처리속도가 빨라 실용화 확대가 기대된다. 특히 전자선의 발생은 전원(electricity)에 의해서 조절(on/off)이 가능하므로 공정제어, 신속·정확성, 에너지 효율, 소비자수용 등의 측면에서 감마선조사에 비해 장점이 있다. 따라서 미국 등 선진국은 물론 국내 주요 조사처리업체에서는 처리품목

의 특성(두께, 밀도, 미생물농도 등)을 고려하여 감마선, 전자선/X선 설비를 모두 갖추고 기술 이용자들에게 서비스 향상을 위해 노력하고 있다.^{2,4,9,12)}

5.2.2 에너지의 단위는?

식품조사처리에 이용되는 방사선에너지의 단위는 국제단위계(SI)로서 흡수선량단위인 그레이(gray, Gy)가 사용된다. 이때,

$$\text{“1그레이(Gy) = 100래드(rad) = 1줄(J)/kg”}$$

여기서 1 rad(radiation absorption dose)는 처리 대상 물질 1 g당 100에르그(erg)의 방사선에너지를 흡수하였을 때를 말한다(1 rad = 100 erg/g). 최근에는 식품, 의료용품 등에 방사선에너지를 처리하였을 시 방사선조사량(흡수선량)은 래드(rad) 대신 그레이(Gy)가 사용된다.

5.2.3 방사선에너지는 생물체에 어떻게 작용하는지?

방사선에너지는 종류에 따라 물체를 통과할 때 물질의 원자나 원자단을 전리시켜 이온(ion)을 생성하게 된다. 이 같은 성질을 가진 방사선을 전리방사선 또는 이온화방사선(ionizing radiation)이라고 한다. 보통 감마선, 전자선, X선, α 선, 중성자선 등은 여기에 포함된다. 식품조사처리와 관련된 방사선에너지의 생물체에 미치는 작용 즉, 생물학적 작용은 성장조절, 살충, 살균 등으로 구분할 수 있다. 이런 방사선에너지의 생물학적 작용은 직접작용설(direct theory) 즉, 표적설(target theory)과 간접작용설(indirect theory)로 메커니즘

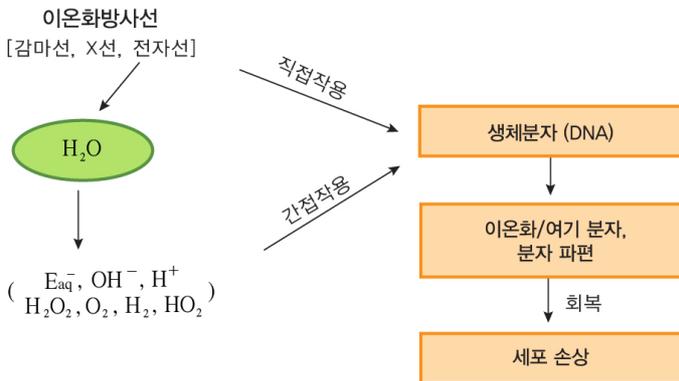


그림 5-3 방사선에너지의 이온화작용과 생물학적 작용

(mechanism)을 설명한다.^{4,7,13)}

먼저 직접작용설은 생물체의 세포나 그 외의 표적물질(target)에는 방사선에너지에 민감한 부분(DNA 등)이 있어 여기에 방사선에너지가 직접 유효한 전리작용을 일으켜 생물학적 효과를 나타내는 것이다. 이제까지 밝혀진 전리방사선의 DNA에 대한 생물학적 작용은 DNA의 구조 중 특히 염기에 선택적으로 작용해 부분적인 손상이나, 방사선조사량이 많을 경우에는 그 가닥(strand)의 일부가 절단될 수 있다. 이 같은 손상으로부터 회복되는 과정에서는 DNA 중합효소나 연결효소의 작용으로 정상적 구조로 환원된다.

한편, 간접작용설은 생체 세포를 둘러싸고 있는 물이나 전리작용 생성물(이온, 유리기 등)들이 이차적으로 세포의 생활에 필요한 물질이나 그 구조에 화학변화를 일으켜 간접적으로 생물학적 영향을 나타내는 학설로 설명될 수 있다(그림 5-3).^{7,13,14)}

5.2.4 식품조사처리용 방사선조사시설은 어떤 것이 있나요?

국제적으로 식품조사처리에 이용되고 있는 방사선조사시설은 대부분 감마선원(⁶⁰Co)과 전자선가속기이며, 최근에는 엑스선의 이용 연구와 상업적 처리가 시도되고 있다. 이들 방사선조사시설은 나름대로의 장점과 단점을 지니고 있다. 즉, 처리목적(살충, 살균, 성장조절 등), 대상 식품의 특성(미생물 오염도, 수분 함량, 밀도, 포장 형태, 표면 살균 여부 등), 방사선에너지의 특징(투과도, 에너지 효율 등) 등에 따라 선택하여 활용한다. 이때 조사처리의 목적을 달성할 수 있는 최저 에너지를 피조사체 식품에 균일하게 쪼임으로써 처리 시간 단축, 비용 절감, 식품의 품질유지 등의 효과를 최대한 달성할 수 있다.³⁾

식품조사시설은 선택한 방사선에너지를 이용하여 식품에 필요한 만큼의 에너지를 쪼이게 된다. 이때 이용되는 방사선에너지는 그 특성이 서로 다르다(표 5-3). 현재 세계적으로 이용률이 가장 높은 감마선에너지는 우수한 투과력을 지니고 있어서 식품이 비교적 두터운 포장상태에서도 살균·살충 처리가 가능하다. 그러므로 처리속도는 상대적으로 늦지만 처리 후 재(再)포장에 따른 2차오염의 가능성이 없다. 반면 전자선가속기에서 발생하는 전자선(electron beam)은 감마선에 비해 투과력이 약하여 얇은 포장식품이나 표면살균이 필요한 식품이 대상이다.^{3,12)} 전자선 에너지의 발생은 전원(電源)에 의해 조절되고 공정제어, 처리신속성, 에너지 효율, 소비자 수용성 등의 측면에서 상대적으로 장점이 있으므로 미국 등 선진국에서는 전자선의 실용화가 활발한 편이다. 또한 전자선과 마찬가지로 기계적으로 발생시키는 X선은 전자선을 표적물질(텅스텐)과 충돌시켜 얻는 전환에너지이다. 하지만, X선은 전환효율이 낮아 실제 이용에는 아직 한계가 있으나

표 5-3 감마선, 전자선 및 X선 에너지의 특성 비교³⁾

| 특 성 | 감마선(⁶⁰ Co) | 전자선 | X선 |
|-------|------------------------|--------------|--------------|
| 에 너 지 | 전자파 (1.33+1.17 MeV) | 빔 (~10 MeV) | 전자파 (~5 MeV) |
| 에너지효율 | 낮음 (~30%) | 높음 (~85%) | 전환효율 낮음 |
| 투 과 력 | 큼 (60-80 cm) | 낮음 (8-10 cm) | 큼 |
| 선 원 | 에너지 연속 발생 | 전원 (on/off) | 전원 (on/off) |

전자선의 낮은 투과력을 보완할 수 있는 이점이 있다.^{6,15)}

(1) 감마선조사시설(gamma irradiation facility)

감마선조사시설은 ⁶⁰Co 또는 ¹³⁷Cs 동위원소를 에너지원으로 하는 조사처리시설이며 시설의 주요 구성은 다음과 같다.

- ① 방사선원(radiation source)
- ② 선원저장 pool 및 차폐시설
- ③ Conveyor system
- ④ 운전실(operation / control system)

감마선원(gamma radiation source)은 사용하지 않을 때는 조사실(irradiation room) 내의 지하 6-7 m 깊이의 수조(water pool)에 보관하게 된다. 만약 식품을 조사처리하기 위해서는 감마선원이 장착된 설비(rack)가 조사실 지상으로 올라오게 되며, 방사선원으로부터 방출되는 에너지는 포장된 식품에 쏘여지면서 포장을 투과하게 된다. 조사실에서는 방사되는 에너지의 외부누출을 막기 위해 콘크리트벽(두께 1.8-3.0 m)으로 차폐하게 된다.

조사처리식품에서 흡수선량은 선량률(kGy/hr)과 피조사체를 운송

하는 컨베이어(conveyor) 속도에 따라 결정된다. 이때 컨베이어 벨트의 방향은 처리식품이 조사실 내부로 들어갈 때 최소 세 번 90° 회전 하여(zig zag) 방사선이 반사되어 차폐벽 외부로 누출되는 위험을 배제하게 된다. 산업용 감마선조사시설은 사용목적에 따라 각각 다르게 설계·건설된다. 조사시설의 용량에 따른 차폐(shielding)와 처리물량의 핸들링 체계, 일정한 밀도의 제품에 대한 에너지 효율성, 조사처리 식품의 선량균일성(dose uniformity), 처리용량 등이 기본적으로 고려 대상이다.³⁾

현재 세계적으로 방사선조사시설 제조업체는 캐나다, 미국, 프랑스, 영국, 일본, 러시아 등 여러 나라의 업체들이 우수한 기능과 안전성을 갖춘 조사시설을 생산·공급하고 있다. 식품처리용 감마선조사시설은 네 가지 타입(type) 즉, tote box concept, carrier concept, pallet carrier concept, pallet conveyor concept 등이 있다. 국내에는 다목적 감마선조사시설이 그린피아기술(주)(그림 5-4)와 (주)소야그린텍(그림 5-5)에서 상업적으로 가동되고 있다.⁷⁾

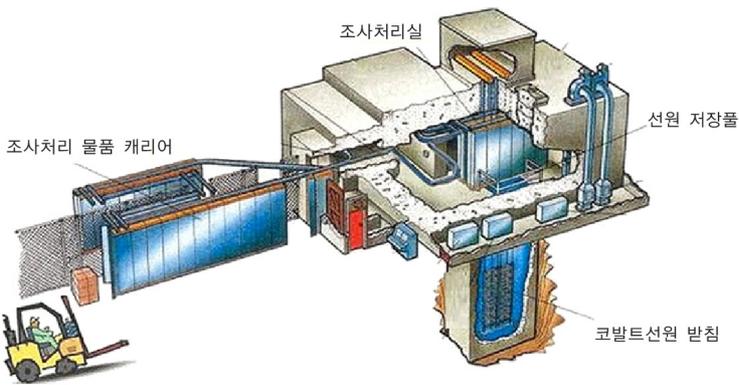


그림 5-4 감마선조사시설[pallet carrier concept, 그린피아기술(주)]⁷⁾

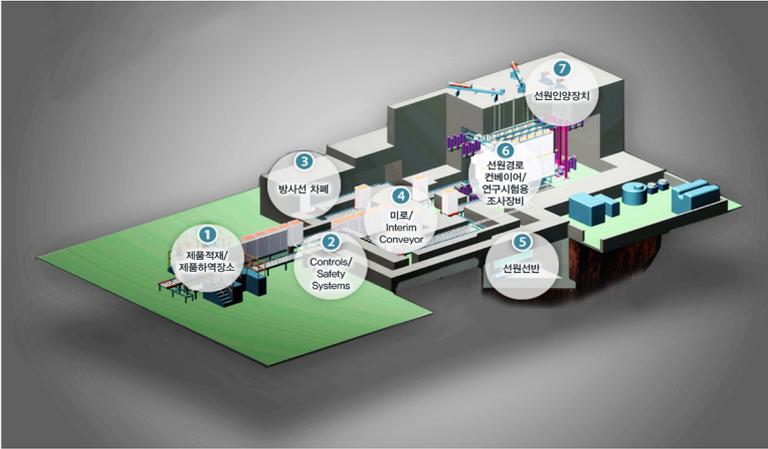


그림 5-5 감마선조사시설[tote box type, (주)소야그린텍]⁷⁾

이상의 감마선조사시설의 상업적 운전에서는 다음과 같은 기술적 인자가 중요하게 고려된다.

- ① 조사처리물품의 포장크기
- ② 조사처리물품의 밀도
- ③ 조사처리물량의 균일성
- ④ 최저 조사처리선량 및 최고 제한선량
- ⑤ 조사시설의 운전시간(일, 주, 년)
- ⑥ 조사처리물량의 증감추이
- ⑦ 월별 및 연간 처리물량
- ⑧ 조사시설의 위치 및 처리물품의 저장관리

(2) 전자선 및 X선 조사시설

전자선은 전자선가속기에서 원하는 에너지 수준으로 가속화된 전자빔이다. 이는 감마선에너지와 마찬가지로 이온화방사선으로서 생물학

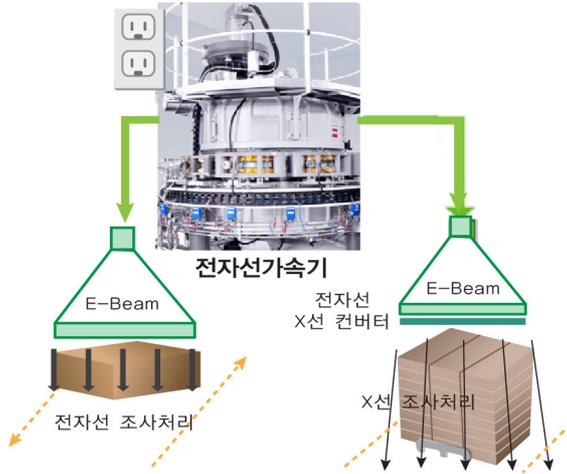


그림 5-6 전자선가속기 및 X선 조사장치(iba)⁷⁾

적 작용을 나타낸다. 전자선가속기는 지속적으로 에너지를 방출하는 타입과 짧은 펄스형태로 방사하는 타입이 있다. 전자빔의 발생은 전원의 on/off에 의해 전자가속기를 통제함으로써 일반 가전제품과 동일한 개념으로 방사선에너지를 관리할 수 있다(그림 5-6). 전자선은 감마선에 비해 투과력이 약하기 때문에 제품의 포장을 얇게 해야 하며, 포장의 양면을 조사할 경우 투과깊이가 최고 10cm (10 MeV) 정도에 이른다. 감마선은 에너지가 사방으로 방사되어 쪼여지는 식품에 흡수되는 에너지의 양이 분산된다. 그러나 전자선은 처리대상 식품에 직접 처리하게 되므로 에너지 효율이 매우 높다. 따라서 10 kW의 에너지를 갖는 전자선 발생장치는 ^{60}Co 의 1 MCi와 동등한 효과를 갖게 되어 조사처리 공정이 매우 신속하고 연속적인 장점이 있다.³⁾

다음은 식품조사처리에 활용이 늘어나고 있는 전자빔 조사공정의 특징을 나열하였다.

- ① 방사선에너지 발생의 on/off 관리
- ② 연속식 운전
- ③ 고에너지와 높은 선량률에 의한 신속처리
- ④ 높은 에너지 효율성
- ⑤ 낮은 투과성과 높은 Dmax / Dmin ratio
- ⑥ 공정관리 용이

한편 전자선의 낮은 투과력을 극복하기 위해 전자선에서 X선으로의 전환기술이 개발되었다. 이때 전자빔을 텅스텐 등 금속판에 충돌시켜 X선으로 전환시키는 방법인데, 이 같은 X선은 감마선과 비슷한 투과력은 있으나 전환효율이 30% 이하로 낮고 나머지 70%는 열로 전환되므로 냉각이 수반되어야 한다. 전자선가속장치는 식품조사처리에 이용되기 오래 전부터 공업, 환경 분야에 활발히 이용되어 왔다. 식품 분야에서 전자선과 X선 에너지의 이용은 각각 10 MeV 이하와 5 MeV 이하의 에너지가 국제적으로 허용되었으며,^{16,17)} 최근 국내에서도 X선(2019)이 허가됨에 따라 ⁶⁰Co 감마선 및 전자선과 함께 3종의 에너지가 식품조사처리에 이용이 가능하게 되었다.⁹⁾

5.2.5 살균방법 별 특성은 어떻게 다른가요?

식품에 오염된 유해 미생물이나 해충을 살균·사멸하는 방법은 크게 화학적 방법과 물리적 방법으로 나눌 수 있다. 화학적 방법은 응용분야가 광범위하고 처리효과가 양호하며, 처리가 간편하여 저렴하게 널리 사용되어 왔다. 그러나 화학약제(fumigants, additives)의 잔류성, 안전성, 환경공해 등의 문제로 사용이 금지되는 추세이다. 특히, 살균·살충 목적으로 다양하게 사용되었던 에틸렌옥사이드(EO)와 에틸렌디브로마이드(EDB)는 안전성 문제로 인해 이미 식품에 대한 사용이 금지되었다.^{4,12)}

한편, 식물교역에서 검역해충관리에 효과적으로 사용되어온 메틸브로마이드(methyl bromide, MB) 또한 지구오존층 파괴물질로 판명되어 선진국을 비롯하여 개발도상국에서도 사용이 규제되어 왔으며,^{6,18)} 아직까지 효과적인 대체방법이 마련되지 못하여 여전히 사용되고 있다. 물리적 방법은 전통적인 방법으로서 가열처리가 가장 널리 이용되어 왔다. 그러나 신선식품은 물론 고체나 분말식품에는 열처리의 이용이 불가능하다. 이에 따라 식품공업에서는 비 약품(non-chemical), 비 가열(non-thermal) 특성을 지닌 살균·살충방법이 필요하다. 이같이 약품과 열을 사용하지 않는 방법으로는 최근 연구가 활발히 진행되고 있는 고압처리, 전자기파나 electric pulse(파동), 이온화방사선 등을 들 수 있다.¹⁾

아래 표 5-4는 살균방법으로서 고압증기, EO훈증, 감마선 및 전자선의 살균특성을 비교하였다. 감마선과 전자선은 투과력이 있어서 식품을 포장된 상태로 처리하여 연속처리가 가능하고 살균효과가 비교적 분명하다. 반면, 고압스팀이나 훈증처리는 포장을 개봉한 후 처리함으로써 공정이 복잡하고(batch type) 처리 후 재(再)포장이 요구되므로 재(再)오염의 가능성이 있다. 그리고 살균처리 공정에서도 온도, 시간, 압력 등의 영향을 받게 되고, 살균처리 후 탈기, 방냉 등의 추가공정이 필요하게 된다. 무엇보다 약품처리는 잔류성, 작업자의 안전, 환경공해 등이 문제점으로 지적된다. 또한 열처리는 제품의 품질열화, 처리효과, 공정 효율성 등에서 한계가 지적되고 있다. 이에 비해 감마선, 전자선 및 X선 살균법은 타 살균방법에 비해 잔류성분이 남지 않는 clean process라 할 수 있으며, 조사처리식품의 온도를 상승시키지 않아 (10 kGy 처리 시 물과 동일한 열용량을 지닌 식품에서 2.4°C 상승) 냉온처리(cold process)의 특성을 지니고 있다. 이에 따라 처리식품의 영양성분 파괴나 품질의 변화를 줄일 수 있는 장점이 알려져 있다(표 5-4).^{1,7,12,16)}

표 5-4 식품의 살충·살균·멸균 방법별 처리공정 특성 비교⁷⁾

| 항 목 | 고압증기 | EO가스 | 감마선 | 전자선 |
|---------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| 살균 효과 | 비교적 확실 | 비교적 확실 | 확실 | 확실 |
| 공정인자 | 온도, 시간, 압력 | 온도, 습도, 시간, 압력, EO농도 | 시간 (밀도, 온도) | 시간 (밀도, 온도) |
| 공정 제어 | 비교적 용이 | 복잡 | 용이 | 용이 |
| 처리 시간 | 분 | 시간 | 분-시간 | 분 |
| 처리 방법 | batch 식 | batch 식 | 연속식 | 연속식 |
| 제품 재질 | 내열성 | 광범위 | 내방사선 | 내방사선 |
| 처리 시 포장 | 증기투과성 (再포장) | 가스투과성 (再포장) | 完포장 | 完포장 |
| 투 과 성 | 제한적 | 제한적 | 큼 | 제한적 |
| 물질과 작용 | 열분해 | 히드록시에틸화 | 방사선 분해 | 방사선 분해 |
| 처리 후 공정 | 건조-방영 | 장시간 탈기 | 무 | 무 |
| 잔류독성 | 무 | 잔류가능 | 무 | 무 |
| 처리비용 | 저가 | 중저가 | 고가 | 고가 |
| 설비비용 | 저가 | 중저가 | 최고가 | 최고가 |

5.2.6 식품가공방법 별 에너지 소요량은 다른가요?

식품의 전처리 및 가공단계 별 소요에너지를 비교하면 표 5-5와 같다. 식품재료의 전처리와 가공·저장에서 천일건조 100 kJ/kg, 브렌칭 (75℃) 800 kJ/kg, 통조림 900 kJ/kg, 조리(93℃) 2,558 kJ/kg, 냉장 (0℃/5.5일) 157 kJ/kg, 냉동(-25℃/3.5주) 5,149 kJ/kg, 훈연과 탈수는 각각 15,000 kJ/kg 수준으로 매우 높다.⁷⁾ 반면, 발아억제 및 살충에 필요한 저준위 조사(0.1-0.25 kGy)는 7-12 kJ/kg, 미생물 저감 및 완전 살균 선량으로서 3-30 kGy의 감마선은 30-160 kJ/kg, 전자선은 200-1,600 kJ/kg으로 각각 나타났다. 더욱이 조사처리기술은 건조 농수산물의 전통기술인 천일건조 등과 병용처리 한다면 생물학적 안전성을 확보하면서 위생적 상품을 생산하는데 기여할 수 있다.^{7,19-21)}

표 5-5 식품의 전처리 및 가공단계별 소요에너지 비교⁷⁾

| 단계 및 방법 | 가공과정 | 소요에너지 (kJ/kg) |
|---------|--|---------------|
| 전처리 | 천일건조 (sun drying) | 100 |
| | 염장 (salting) | 100 |
| | 데치기 (blanching, 75℃) | 800 |
| | 통조림 (canning) | 900 |
| | 훈연 (smoking) | 15,000 |
| | 송풍동결 (blast freezing) | 7,500 |
| | 굽기 (baking) | 6,000 |
| | 탈수 (dehydration) | 15,000 |
| 포장 | 포장 (casings) | 300 |
| | 플라스틱 포장 (plastic foam trays) | 200 |
| | 종이포장 (carton boxes) | 100 |
| | 캔 포장 (cans) | 9,000 |
| | 알루미늄 포장(aluminium TV dinner trays) | 14,000 |
| 방사선 조사 | Co-60 감마선 (3 kGy) | 30 |
| | Co-60 감마선 (30 kGy) | 160 |
| | 5 MeV 전자빔 (3 kGy) | 80 |
| | 5 MeV 전자빔 (30 kGy) | 430 |
| | 10 MeV 전자빔 (3 kGy) | 200 |
| | 10 MeV 전자빔 (30 kGy) | 1,600 |
| | 5 MeV X선 (3 kGy) | 1,100 |
| | 5 MeV X선 (10 kGy) | 2,400 |
| 저장 | 동결 (-25℃, 3.5주) | 5,000 |
| | 냉장 (0℃, 10.5일) | 400 |
| 수송 | 10t 트럭, 300 km 고속도로 + 100 km 도시 (상온) | 1,200 |
| | 10t 트럭, 300 km 고속도로 + 100 km 도시 (-20℃) | 1,800 |
| | 10t 트럭, 100 km 고속도로 + 33 km 도시 (-20℃) | 800 |
| | 10t 트럭, 100 km 고속도로 + 33 km 도시 (0℃) | 600 |
| 가정 보관 | 동결 (-20℃, 1주) | 4,000 |
| | 냉장 (0℃, 1주) | 2,000 |
| 조리 | 가열조리 (cooking) | 6,000 |
| | 튀김 (frying) | 7,000 |
| | 전자렌지 조리 (0-100℃) | 2,000 |

5.2.7 방사선기술을 왜 냉온처리, 녹색기술이라고 하나요?

현대인은 맛과 편의 위주의 가공식품과 패스트푸드에 익숙해져 있다. 현재의 식품가공산업은 에너지 사용량과 온실가스 배출량이 큰 선진국형 산업의 형태이다. 하지만 기후변화에 대응하여 저탄소 녹색기술을 기반으로 하는 지속가능한 식품산업의 육성이 필요한 시점이다. 식품산업에서 에너지 비용은 중요한 비용유발 인자이다. 세계적으로 인구증가와 도시화는 대량생산과 유통산업의 발달을 가져와 에너지의 사용량을 늘리고 있다. 더욱이 기후변화에 따라 식량생산 환경의 악화는 물론 식품가공 산업에서도 에너지 사용량을 줄일 수 있는 녹색기술 확보가 요구된다. 이 같은 관점에서 방사선에너지는 온실가스 배출량이 적은 저탄소 에너지일 뿐 아니라 녹색처리(green process)로서 관심을 받고 있다.

식품의 조사처리기술은 현행의 타 저장·가공방법에 비해 에너지 소비량이 적고 친환경적 특징을 지니고 있다.^{19,20)} 또한, 방사선기술은 현행의 다양한 가공저장방법과 병행하여 사용한다면 에너지 절감은 물론 수확 후 식량의 이용률을 높이고 식품의 안전성을 확보하는 방안이 될 것이다.^{7,12,21,22)} 통계에 따르면 식품생산에 이용되는 에너지는 미국 내 전체 에너지 소비량의 약 16.5%에 해당한다고 한다. 식품의 제조, 포장, 저장, 수송, 보관, 조리 등에 이용되는 에너지는 방사선기술에 비해 상대적으로 에너지 소비량이 많다. 이에 따라 에너지 소비가 적은 방사선기술은 타 가공·저장방법과 병용한다면 상승적 효과가 기대된다.^{7,19-21,23)}

5.2.8 식품조사기술의 한계는 무엇인가요?

식품에 대한 조사처리기술은 타 가공·저장방법과 같이 나름대로의

문제점과 한계성이 있다. 특히 원자력을 이용하는 특수성 때문에 소비자 수용성을 극복해야 하는 어려움을 안고 있다. 더욱이 방사성동위원소를 사용하는 감마선조사시설은 방사성물질의 운송과 운영에서 특별한 관리가 요구된다. 방사선조사시설에는 방사선의 외부유출을 방지하기 위한 차폐시설이 또한 필요하다. 최근 전자가속장치에서 전기적으로 발생하는 전자선의 이용이 미국 등 선진국에서 늘어나고 있다. 또한 전자선의 낮은 투과력을 개선하기 위한 전환 X선의 이용이 관심을 모으고 있다.

이 같은 방사선기술의 특성에 비해 방사선조사시설은 초기 시설투자가 크다.^{3,5)} 또한 방사선시설의 허가를 취득해야 하는 어려움이 있다. 본 기술은 원자력을 이용하는 특수성으로 인해, 관련 국제기구(FAO/IAEA/WHO/UNDP 등)의 주도 하에 기술의 타당성과 조사식품 안전성의 공동연구 및 평가, Codex 규격기준 마련 등이 이루어 졌다. 또한 본 기술의 실용화는 인류의 식량부족 해결과 식품의 안전성 확보를 위해 전략적으로 활용하는 노력이 요구되며, 나아가 WTO 체제하에서 국가 간 식량교역의 친환경적 검역처리와 유통안전성 확보에 선택적으로 활용되기를 기대하고 있다.^{6,7)}

지금까지 알려진 식품조사기술의 대표적인 이용한계는 저급지방산이 많이 함유된 우유나 유가공품의 경우 조사처리에 의해 이취(off-flavor)의 발생이 문제가 된다. 고지방질 식품에 방사선을 상온조건과 공기포장 상태에서 처리하게 되면 지방질의 산화가 촉진되어 관능적 품질이 저하된다. 또한 일부 과일과 채소는 조사처리에 따라 조직의 연화현상이 일어날 수 있으며, 일부 가공식품은 첨가물 색소의 불안정이 보고되고 있다.^{6,12)} 이에 따라 조사처리에서 중요한 조사조건인 선량(dose), 온도, 대기조성 등의 최적화가 필요하며, 나아가 타 가

공·저장방법과의 병용처리를 통한 해결방안 연구도 필요하다.²²⁾

5.3 방사선에너지의 생물유기체에 미치는 효과와 식품에 미치는 영향은?

5.3.1 식품조사처리의 주요 생물학적 효과는?

식품조사처리에서 이온화방사선의 생물유기체에 미치는 효과는 크게 성장조절, 해충방제 및 미생물제어 분야로 나눌 수 있다(표 5-6).

표 5-6 방사선에너지의 생물·유기체에 미치는 효과⁷⁾

| 성장조절 | 해충구제 | 미생물제어 |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 발아·발근 억제 성장조절 숙도지연 | 저장해충 살충 검역해충 제어 기생충 사멸 | 방사선부분살균 방사선병원균살균 방사선완전살균 |

먼저, 수확한 후 휴면기가 지나면 싹이 나는 농림산물로서 감자, 양파, 마늘, 밤 등은 0.1-0.25 kGy 범위의 방사선조사처리에 의해 발아·발근이 억제되는 효과를 얻을 수 있다. 이는 식물의 성장점에서 세포분열이 억제되어 싹의 성장이 지연되는 원리이다. 또한 생 버섯, 죽순 등은 채취 후 시간이 지날수록 갓이 피고 줄기가 성장하여 조직이 단단해진다. 이와 같은 농림산물에 낮은 방사선에너지(1 kGy 범위)를 처리하면 위와 동일한 원리로서 성장과 속도가 지연되는 효과를 거둘 수 있다.^{4,7)}

다음은 건조식품에서 저장해충이나 신선 농림산물의 검역관련 해충, 그리고 동물성식품에서 기생충의 불활성화를 위한 이용 분야이다. 보통 1 kGy 이하의 낮은 선량에서도 해충의 불활성화 효과가 분명하

게 나타난다. 그리고 농림산물의 교역에서 중요시되는 검역해충의 경우에는 400 Gy의 아주 낮은 선량에서도 식물검역처리 효과가 얻어진다.^{24,25)} 그리고, 중간선량 이상의 방사선에너지가 필요한 미생물 제어 분야이다. 이 분야는 식품조사처리에서 가장 많이 활용되는 분야로서 신선 포장식품의 저장기간 연장이나 건조식품의 위생화 및 장기보존을 위한 특수목적 이용이라 할 수 있다. 이 가운데 가장 낮은 선량에 의해 식품의 저온저장 수명을 연장시키는 방사선부분살균(radurization/radiopasteurization) 효과가 있다. 또한 식품에 오염된 병원성미생물을 사멸시키는 방사선병원균사멸(radicidation) 효과와 10 kGy 이상의 고선량을 이용한 방사선완전살균(radappertization) 효과를 들 수 있다.¹²⁾

한편, 표 5-7은 방사선에너지의 미생물 제어 분야에서 관련 식품류의 처리효과를 나타내었다. 방사선부분살균은 육가공품, 선어, 수산가공품, 딸기 등 신선 포장식품에 오염되어 있는 세균, 효모, 곰팡이 등 부패 관련 미생물의 수를 감소시켜 냉장기간 또는 유통기간을 연장시키는 방법이다.¹²⁾ 국내에서는 닭고기 수삼, 딸기, 튀김생선어묵 등에 대한 연구를 시도하여 실제적인 효과를 확인한 바 있다.⁴⁾ 이 분야는 최근 콜드체인의 보급에 따라 식품산업에서 활용이 기대되는 분야이다.

방사선병원균살균은 닭고기, 분쇄쇠고기, 어패류, 가공식품 등 동물성 (가공)식품에 오염된 병원성미생물(식중독균, 경구전염병균, 무아포성 등)을 중간선량의 방사선조사처리에 의해 사멸시키는 분야이다. 이 분야는 식품, 사료 등에 오염된 바이러스(virus)를 제외한 모든 미생물을 사멸시키는 분야이며, 미생물의 오염도에 따라 10-50 kGy의 고선량 조사처리가 필요하다. 특히, 장기보관용 군용식품(햄, 베이컨

등), 밀봉 포장식품, 국내에서도 조사처리가 허가된 병원환자용 무균식(면역기능이 약화된 환자용 식품 등) 등이 포함된다. 우주식품은 완전 무균상태가 요구되므로 미국, 러시아 등 선진국에서는 오래 전부터 우주프로그램에서 방사선조사식품이 활용되었다.⁶⁾ 국내에서는 방사선멸균기술과 식품공학기술을 접목해서 개발한 한국형 우주식품은 2008년 4월 한국의 첫 우주인(이소연)이 국제우주정거장(ISS)에서 섭취한 김치, 라면, 수정과, 생식바(곡식, 견과류, 건채 등 혼합물) 등 4종, 2010년 개발한 비빔밥, 불고기 미역국, 오디음료 등 4종, 또한 2011년 러시아로부터 추가로 인증 받은 9종 등 총 17종이다.^{26,27)} 그리고 실험동물용 무균사료(specific pathogens-free, SPF 또는 germ-free 등)의 제조와 식품포장재의 멸균방법으로서 본 기술의 이용이 가능하다.⁶⁾

표 5-7 조사처리선량에 따른 식품관련 미생물의 제어 효과^{1,7)}

| 구 분 | 조사선량 (kGy) | 이 용 목 적 |
|----------------------------|------------|---|
| 방사선부분살균 (Radurization) | 1-5 | 부패균의 수를 감소시켜 식품의 저온 보존기간 연장 (예) 신선육, 육가공품, 가금류, 어패류, 수산가공품, 딸기 등 |
| 방사선병원균살균 (Radcidation) | 2-10 | 비포자형성 병원균, 식중독균, 경구전염병균 사멸 (예) 육류, 가금육, 어패류, 낙농제품 등 |
| 방사선완전살균 (Radappertization) | 10-50 | 미생물을 완전히 살균하는 것으로 <i>Bacillus</i> 속 및 <i>Clostridium</i> 속 등 아포세균과 내열성 아포까지 사멸 (예) 통조림 식품, 환자용 무균식, 우주인 식품, 실험동물용 무균사료 등 |

5.3.2 식품관련 유기체의 방사선감수성은?

생물체에 대한 방사선감수성은 게놈(genome)의 다양화에 비례하여 크다. 포유류를 포함한 고등동물은 5-10 Gy 범위의 방사선에 의해서도 생명을 잃을 수 있다. 표 5-8은 해충에서부터 바이러스에 이르기까지 그들의 감수성을 비교하여 방사선기술의 이용 특성을 살펴보고자 하

였다. 국내 식품공전 및 국제적으로 조사처리식품의 안전성을 인정하고 있는 10 kGy 이하의 조사선량에서는 기생충, 저장해충, 검역해충 등을 포함한 해충, 식중독균, 효모, 곰팡이, 일반 세균 등의 사멸이 가능하다. 그러나 포자형성 세균류는 가열과의 병용처리로써 선택적 이용이 가능하지만, 바이러스는 방사선내성이 매우 크므로 바이러스에 오염된 오염식품에 대해서는 식품조사처리가 적합하지 않다.^{7,12,22,28)}

표 5-8 식품관련 유기체의 방사선감수성 비교⁷⁾

| 감수성 | 해충 > 대장균군 > 무포자형성군 > 포자형성군 > 포자 > 바이러스 | | | | |
|---------------|--|----------------|------------|---------------------------|------------|
| 유기체 종류 | 화랑곡나방 | 대장균 | 비브리오팀균 | 세균포자 | 각종 바이러스 |
| | 권련벌레 | 살모넬라 | 녹농균 | endotoxin | |
| | 가루진드기 | 장티푸스균 | 고초균 | exotoxin | |
| | 바퀴벌레 | 리스테리아 | 포도상구균 | 곰팡이독 | |
| | 떡정벌레 | 이질균 | 연쇄상구균 | (mycotoxin, aflatoxin) | |
| | 바구미 등 저장해충류 | 페렴균 (레지오넬라) | 각종 곰팡이류 | 보툴리누스균 | |
| 사멸선량 (kGy) | 0.5-3 | 1-5 | 5-10 | 10-20 | 30 |

5.3.3 식품조사처리에 의한 미생물의 살균 방식과 감수성은?

식품산업에서 관리 대상 미생물들은 크게 세균 영양세포와 포자, 효모, 곰팡이 및 바이러스로 구분할 수 있다. 이들은 형태학적, 생리학적 특성이 다양하고 이온화 방사선에 대한 감수성도 서로 다르다. 하지만, 모든 경우에 방사선에 대해 가장 민감한 표적은 DNA라고 할 수 있다. DNA에 대한 방사선의 직접작용은 DNA 분자결합 자체의 파괴에 의해 이루어진다. 즉, 방사선에너지에 의한 DNA의 직접적인 손상은 DNA의 구성요소인 퓨린(purine)과 피리미딘(pyrimidine) 염기, 그리고 데옥시리보오스(deoxyribose)의 화학적 변환을 유도하여 DNA 단일사슬의 포스포디에스터(phosphodiester) 결합이나 DNA의 이중나선 결합구조를 파괴함으로써 나타난다. 방사선의 간접작용은 DNA

주변 환경을 이루는 물 분자를 이온화시켜 자유라디칼($\cdot\text{H}$, $\cdot\text{OH}$, e^- 등)을 생성하고, 이들 라디칼들이 이차적으로 유효한 작용을 하는 것이다. 특히 $\cdot\text{OH}$ 라디칼은 DNA 분자의 수화경계면에서 90% 정도의 손상을 유도하여 미생물의 방사선감수성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그러나 미생물은 DNA 손상에 대한 다양한 복구시스템을 가지고 있다. 일반적으로 DNA의 이중나선 복구시스템이 결여된 미생물은 방사선감수성이 크고, 방사선 저항미생물들은 DNA 복구능력이 상대적으로 크다고 알려져 있다. 한편, 전리방사선은 DNA 이외에도 세포막 등에 작용하여 미생물의 방사선감수성에 부가적 영향을 미친다. 미생물의 방사선감수성은 미생물 고유의 특성뿐 아니라 미생물 생존에 영향을 주는 온도, 기체환경, 수분활성도, pH, 식품성분, 미생물의 생장단계 등이 영향을 미치게 된다.^{7,22,28)}

방사선에너지에 대한 미생물의 감수성은 조사처리선량(kGy)에 대한 생존미생물의 수를 로그(log) 값으로 나타낸 것이다. 보통 그래프는 역치 이하에서는 ‘어깨(shoulder)’가 특징적으로 나타나며, 유효선량의 범위에서는 반 대수(semi-log)의 직선이 얻어진다. 이때 직선상에서 미생물의 농도를 1 log cycle 즉, 1/10로 줄이는데 요구되는 방사선량을 D_{10} -value로 하여 그 감수성과 저항성을 나타낸다(그림 5-7). 이는 아래와 같이 조사처리선량(dose, kGy)과 미생물 잔존농도의 반비례적 직선관계로 나타낼 수 있다.

$$D_{10} = \frac{\text{Dose (kGy)}}{(\log N_0 - \log N)}$$

$$\text{또는 } \log_{10} \frac{N}{N_0} = - \frac{1}{D_{10}} D$$

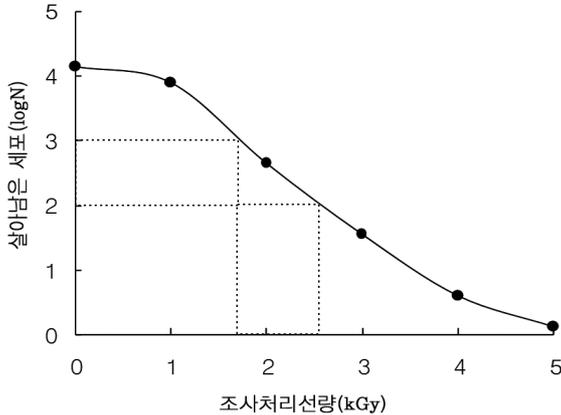


그림 5-7 미생물 생존곡선과 방사선감수성(D_{10} value)⁷⁾

(초기미생물의 수가 1 로그(log) 감소하는데 필요한 조사선량/킬로그레이)

여기서 N_0 는 미생물의 초기농도이고, N 은 방사선조사처리 후 생존 미생물의 농도이다. 미생물 생존곡선은 어깨 값을 갖게 되므로 방사선에 대한 미생물의 감수성은 이 어깨의 길이(L-value)와 생존곡선의 지수적 변화로써 D_{10} value를 나타낸다. 한편, 로그생존곡선으로부터 미생물의 완전살균선량(inactivation dose)을 산출하기도 하나, 보통 10^{12} cells/g 수준의 초기 미생물농도를 완전히 사멸시킬 수 있는 조사처리선량(12D)으로 표시한다.^{7,22,28,29)}

5.3.4 방사선에너지에 의한 병원성미생물의 사멸효과는?

식품에 기인한 질병은 국민보건과 산업생산성에 큰 영향을 미친다. 닭고기, 어패류, 쇠고기, 육류가공품 등 동물성식품은 병원성미생물에 오염되기 쉽다. 이들 식중독 원인균들은 적정선량의 방사선조사처리에 의해 사멸이 가능하다. 이는 식중독균, 경구전염병원균, 무아포성 등을 사멸시키는 방사선병원균살균 분야이다. 가금육은 살

모넬라(*Salmonella*), 캄필로박터(*Campylobacter*) 등 병원성미생물의 오염도가 매우 높아 식품유래 질병의 대표적인 원인식품이다. 세계 보건기구의 보고에 의하면 미국에서는 매년 7종의 주요 병원균에 의해 약 4천명이 목숨을 잃는다고 한다. 이에 따라 미국 정부는 적색육(red meat)에 대해 냉장육은 최고 4.5 kGy, 냉동육은 최고 7 kGy의 방사선조사처리를 허용했다. 또한 병원성미생물 관리가 필요한 난류(shell egg)나 싹채소 종자(sprout seed)에 대해서는 각각 3 및 8 kGy의 방사선조사처리를 허가했다. 이상과 같이 식품에 오염되기 쉬운 병원성미생물들은 방사선에 대해 매우 민감하므로(표 5-9), 3-8 kGy 범위의 조사처리선량에 의해서도 사멸이 가능하여 적극적 활용이 기대된다.^{7,30)}

표 5-9 병원성미생물의 방사선감수성 비교³⁰⁾

| 병원성미생물 | 온도(°C) | 기질 | D ₁₀ 값 ¹⁾ (kGy) |
|---|--------|-----|---------------------------------------|
| 아에로모나스 하이드로필라 (<i>Aeromonas hydrophila</i>) | 2 | 쇠고기 | 0.14-0.19 |
| 캄필로박터 제주니 (<i>Campylobacter jejuni</i>) | 0-5 | 쇠고기 | 0.16 |
| 대장균 O157:H7 (<i>Escherichia coli</i> O157:H7) | 5 | 쇠고기 | 0.28 |
| 리스테리아 모노사이토제니스 (<i>Listeria monocytogenes</i>) | 2-4 | 닭고기 | 0.77 |
| 살모넬라 (<i>Salmonella spp.</i>) | 2 | 닭고기 | 0.36-0.77 |
| 황색포도상구균 (<i>Staphylococcus aureus</i>) | 0 | 닭고기 | 0.36 |

1) 초기미생물의 수가 1 로그(log) 감소하는데 필요한 조사선량(킬로그레이)

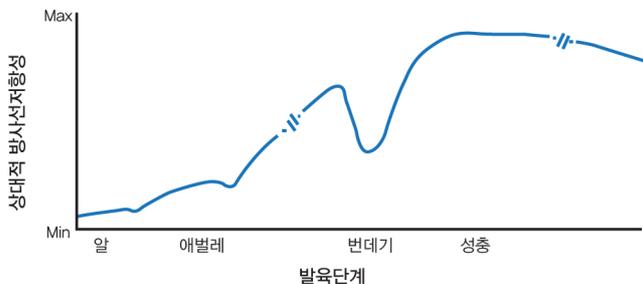


그림 5-8 해충의 발육단계별 이온화 방사선에 대한 저항성^{7,31)}

5.3.5 식품관련 해충의 방사선감수성은?

방사선살충기술은 우리나라를 포함한 세계 30여 개국에서 이용이 허가되었다. 미국은 1 kGy 이하의 방사선조사를 해충검역처리 및 속도지연 방법으로 승인하였고,²⁵⁾ 현재 자국 하와이 산 과일류(파파야 등)와 인도, 파키스탄, 베트남, 멕시코 등 여러 나라에서 수입되는 열대과일류에 대해 방사선검역처리(phytosanitary irradiation)를 실시하고 있다. 호주, 뉴질랜드, 남아공 등 여러 나라에서도 교역식품의 병해충검역처리에서 화학혼증제(MB)나 열처리 대신에 방사선검역처리의 활용을 확대하고 있다.⁸⁾

해충의 방사선저항성은 발육단계(development stage)에 따라 상이하다(그림 5-8). 일반적으로 해충은 방사선에 대해 매우 민감하다. 해충은 발생 초기단계일수록 더욱 높은 방사선감수성을 나타낸다. 즉, 알(egg) > 애벌레(larva) > 번데기(pupa) > 성충(adult)의 순으로 방사선감수성이 크므로 불활성화와 방제가 용이하다. 보통 1 kGy 이하의 조사처리선량으로써 사멸 또는 충태의 발달억제가 가능하다.³¹⁾ 미국은 돼지고기의 선모충(trichina) 등 기생충의 사멸과 과일 및 채소류의 해충관리를 위하여 각각 1 kGy 이하의 방사선조사처리를 허용하

고 있다.³²⁾ 우리나라 또한 식품공전에 건조버섯의 해충구제를 위해 1 kGy 이하의 감마선, 전자선 및 X선의 이용이 허가되어 있다.⁹⁾

5.3.6 식품의 성분에 대한 조사처리의 영향은?

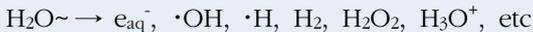
소비자들의 방사선조사식품에 대한 일반적인 우려는 조사처리에 따른 영양소의 파괴 여부이다. 조사처리(irradiation)는 조리, 가열, 동결, 통조림 등 다른 식품가공처리와 마찬가지로 영양성분에 영향을 미치게 되며, 그 정도는 상대적으로 미미한 것으로 밝혀졌다. 조사처리에 따른 식품영양소의 변화 가능성은 식품의 수분함량, 조사선량, 온도, 습도, 기체조성(산소 존재 유무), 포장, 저장조건, 식품의 종류 등에 영향을 받는다. 식품의 주성분인 탄수화물, 단백질, 지방질 등은 조사처리에 대체로 안정하며, 무기질, 아미노산 및 대부분의 비타민은 조사처리에 따라 큰 변화를 나타내지 않는 것으로 알려졌다.⁷⁾

다시 말하여 식품의 영양성분은 저선량 조사처리에 대체로 안정하지만, 산소 존재 하에서 생체식품에 대해 1 kGy 이상의 조사처리는 영양가의 감소와 조직의 연화현상을 가져올 수 있다. 또한, 10 kGy 이상의 고선량 조사는 민감한 비타민의 감소를 초래한다. 하지만 식품의 포장조건(산소제거)을 개선하고 조사 시 온도를 저온으로 유지한다면 감소를 줄일 수 있는 방안이 될 수 있다. 그럼에도 불구하고 식품조사처리는 식품성분에 영향을 미치며, 그 정도는 타 가공방법에 비해 크지 않은 것으로 보고되고 있다. 이는 조사처리가 식품의 온도를 상승시키지 않는 냉온처리이기 때문이다.^{1,3,7)} 그리고 조사처리식품은 전체 식사량에서 매우 작은 부분을 차지하기 때문에 어떠한 조사처리식품에서 특정 영양소의 감소는 그 영양소의 전체섭취량에 미치는 영향이 크지 않다. 이와 같은 영양학적 적격성(nutritional adequacy) 평가는 10 kGy 까지 조사처리 된 식품의 건전성(wholesomeness) 평가에서 구체적으

로 검토되어 아무런 문제가 없는 것으로 발표되었다.^{6,7,16)}

(1) 물

식품이나 식품재료는 수분(moisture)과 고형분(solid matter)으로 구성되어 있다. 이때 고형분은 유기물과 무기물로 구성되며, 물은 결합수(bound water)와 자유수(free water) 형태로 식품 내에 존재한다. 물은 생체에 보통 60-80% 수준이 함유되어 있으며, 건조식품은 10% 내외로 수분함량이 낮은 경우도 있다. 식품 중의 물 분자는 세포의 외형을 유지하며 열을 전달하거나 이온화 방사선에 노출되면 라디칼을 생성한다. 이 라디칼들은 매우 강한 반응성을 지니고 있어서 물의 방사선 분해(water radiolysis) 생성물인 라디칼들은 방사선조사의 간접작용을 일으킨다. 보통 생물체나 식품조직이 방사선 조사처리되면 먼저 물 분자의 이온화가 일어나며 그 생성물은 다음과 같다.



[e_{aq}^- , 수화전자(hydrated electron); $\cdot\text{OH}$, 히드록실라디칼(hydroxyl radical); $\cdot\text{H}$, 수소원자(hydrogen atom)]

즉, 물 분자의 주된 방사선 분해생성물은 반응성이 큰 $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{H}$, e_{aq}^- , $\cdot\text{OH}$ 등이며, 이들은 환원제 또는 산화제로 작용하여 해충이나 미생물의 생체성분(DNA 등)에 영향을 미친다. 이들 라디칼은 다시 물 분자를 형성할 수 있지만 보통은 새로운 물질을 만들거나 다른 라디칼을 생성한다. 특히 $\cdot\text{OH}$ 는 대부분 생체의 구성물질과 반응을 일으켜 세포손상을 가져온다.^{3,7)}

(2) 탄수화물

탄수화물은 화학적으로 2개 이상의 하이드록시기(-OH)를 가지는 카르보닐 화합물이다. 이는 탄소, 수소, 산소 원자를 함유하는 당 단위로 구성되어 있으며, 분자 중에 알데히드기나 케톤기를 가진다. 따라서 탄수화물에 방사선이 조사되면 글리코사이드 결합이 파괴에 의해 포도당, 리보스, 마노스 등의 단당류가 생긴다. 탄수화물 수용액에 방사선이 조사되면 물 분자에서 유래된 하이드록실라디칼($\cdot\text{OH}$)이 반응하여 케톤, 알데히드, 산 등을 생성한다. 전분에 방사선이 조사되면 텍스트린, 맥아당, 포도당이 생성되면서 다당류 용액의 점도가 감소한다. 즉, 전분의 평균중합도는 조사선량에 따라 유의적으로 감소하고, 그 결과 점도가 줄어든다. 옥수수 전분 수용액에 이온화 방사선이 처리되면 당류, 알데히드, 케톤, 알코올, 산, 과산화물(peroxide) 등이 생성된다.^{7,33)} 그러나 건조된 탄수화물에 방사선이 조사되면 전리방사선의 간접작용 외에도 직접작용이 동시에 일어나 생성물의 특성이 다르다고 한다. 이는 대상 식품에 함유된 수분함량이 크게 영향을 미쳐서 분해생성물의 종류와 양이 상이하다. 그러므로 식품의 성분으로 존재하는 탄수화물은 순수한 형태의 탄수화물에 비해 방사선처리의 영향을 적게 받게 되는 데, 이는 수분함량뿐만 아니라 함께 존재하는 타 성분들이 보호 작용을 가져오는 결과로 설명될 수 있다.³³⁾

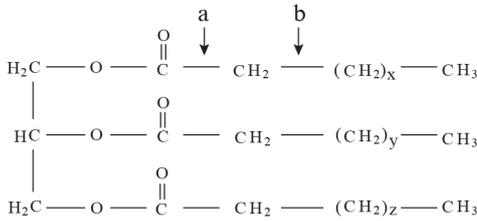
(3) 단백질

단백질 분자는 탄수화물과 같이 탄소, 수소, 산소 원자를 함유하고 있고, 그 밖에도 질소와 황을 포함하고 있다. 단백질은 20여 종의 아미노산이 펩티드 결합에 의해 긴 사슬을 이루고 있다. 그러므로 단백질에 대한 방사선 조사처리의 영향은 물과 아미노산의 반응에서 시작된다. 이때 수소원자의 이탈, 탈아미노 반응, 탈탄산 반응, 물 분자 유래의 라디칼과 중간산물 생성 등이 일어난다. 하지만, 식품 중 단백질과

아미노산은 방사선조사에 크게 민감하지 않다. 방사선 조사처리에 의한 단백질의 기능성 상실은 펩티드 결합이나 1차 구조의 변화보다는 2차, 3차 구조를 유지하는 수소결합, 이황화결합, 겔사슬 결합 등의 파괴로 일어난다. 단백질에 대한 고선량의 방사선 조사는 단백질의 변성과 물 분자 유래 라디칼과의 상호작용으로 구성 아미노산 단위의 반응을 일으킨다. 아미노산 겔사슬의 방사선감수성은 히스티딘, 트립토판, 티로신 등의 방향족 아미노산과 함황 아미노산에서 상대적으로 크다. 또한 육류에 방사선을 조사하면 단백질의 효소적 분해에 영향이 나타나지만, 그 정도는 가열에 의한 것보다 낮다고 한다. 이는 식품 조사처리는 식품단백질에 미치는 영향이 상대적으로 작으며, 50 kGy 조사처리에서도 식품의 아미노산 조성은 뚜렷한 변화를 일으키지 않는다.^{7,34)}

(4) 지방질

지방질 성분은 물에 녹지 않는 성질을 지니고 있다. 따라서 지방질 성분의 방사선감수성은 이온화방사선 조사처리 된 물 분자 유래 자유라디칼의 영향보다는, 지방질의 자동산화반응에서 고에너지 방사선의 직접 또는 간접작용이 주된 원인이다. 방사선 조사처리 시 혹은 조사 후 산소가 존재하면 산화와 방사선분해가 동시에 일어나므로 자동산화반응이 가속화된다. 방사선조사에 의한 지방질의 화학반응은 지방질의 종류(포화, 불포화), 타 물질 공존여부(항산화 물질, 자유라디칼 등) 및 환경인자에 영향을 받는다. 즉, 포화지방산보다 불포화지방산에서 산화반응이 잘 일어나고, 중성지방의 지방산은 방사선조사에 대해 감수성이 큰 부분이다. 불포화지방산에서 이중결합 부분은 카보닐 부분보다 방사선 분해가 용이하다. 즉, 이중결합의 수가 많을수록 수소원자의 이탈과 공명구조 형성이 빠르고, 이때 산소의 존재는 자유라디칼로부터 과산화물의 형성을 촉진시키게 된다. 식품에 함유된 중성



a = C_{n-1} 탄화수소(hydrocarbon)

b = C_{n-2} 탄화수소(hydrocarbon)

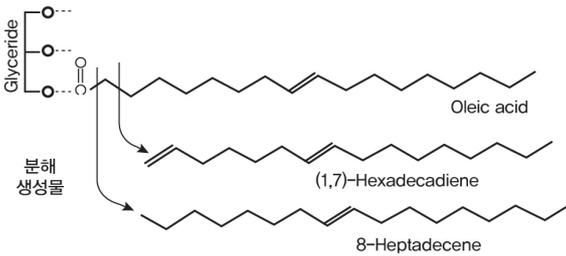


그림 5-9 지방질의 조사처리에 따른 탄화수소류 생성⁷⁾

지방은 방사선 조사처리에 의해 카보닐기의 탄소위치(α 또는 β)에서 결합이 끊어져 원래의 지방산보다 탄소수가 1개 적거나 혹은 2개 적으면서 첫 번째 탄소위치에 새로운 이중결합을 가진 탄화수소류가 생성된다(그림 5-9). 이들 탄화수소(hydrocarbon)는 식품의 방사선 조사처리 여부를 확인하는 화학적 마커물질로 활용된다.^{7,35)}

한편, 방사선 조사에 의해 지방산이나 중성지방의 카보닐기에 존재하는 산소로부터 전자이탈이 일어난 다음, 원래의 지방산과 동일한 탄소수를 가지면서 C₂ 위치에 알킬기를 가진 환상화합물인 2-알킬싸이클로부타논(2-alkylcyclobutanones, 2-ACBs)이 생성된다(그림 5-10). 이 같이 방사선 조사처리에 의해 생성된 2-ACBs는 GC-MS 분석에 의해

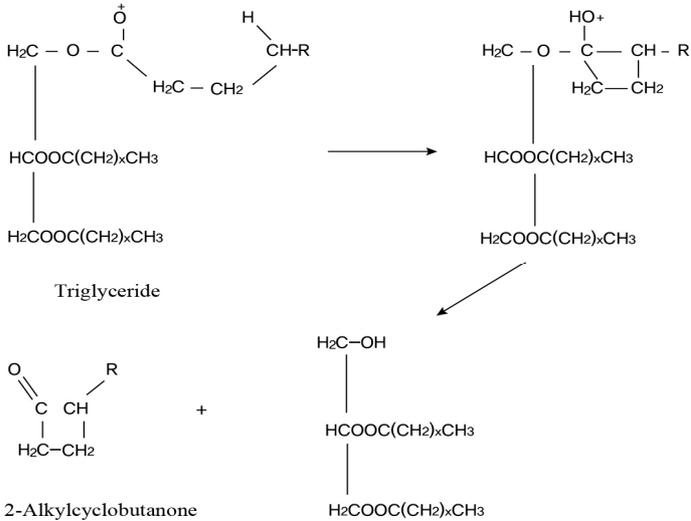


그림 5-10 지방질의 조사처리에 따른 2-알킬사이클로부탄논(2-ACBs)의 생성⁷⁾

식품의 방사선 조사처리 여부 확인마크로 사용되어 왔다.³⁶⁾ 그러나 최근 2-ACBs는 천연 육두구(nutmeg), 캐슈너트 등 자연식품에서도 존재한다는 사실이 보고되었다.³⁷⁾

(5) 비타민

방사선 조사처리에 의한 비타민의 영향은 순수 비타민 수용액과 식품에 존재하는 상태에서는 서로 다른 결과를 보여준다. 수용액 상태의 비타민 B₁은 0.5 kGy 조사처리에 의해서도 50%의 감소를 보였다. 하지만 같은 조사선량에서 건조계란에서의 감소는 5% 미만이었다.³⁸⁾ 이는 식품에 공존하는 성분들의 보호작용에 기인하며, 조사처리 후 저장 조건 또한 영향을 미친다. 비타민의 방사선감수성은 수용성이나 지용성이나에 따라 차이가 있으며(표 5-10), 조사처리 시 환경조건 또한 영향의 요인이 된다. 가열이나 조사처리 모두 비타민 함량에 영향을

표 5-10 조사처리 및 가열에 의한 냉동닭고기의 비타민 함량 비교⁷⁾

| 비타민 | 대조구 | 가열멸균 | 감마선 (59 kGy) | 전자선 (59 kGy) |
|-----------------------------|-------|-------|-----------------|-----------------|
| 비타민 B ₁ (mg/kg) | 2.31 | 1.53 | 1.57 | 1.98 |
| 비타민 B ₂ (mg/kg) | 4.32 | 4.61 | 4.46 | 4.91 |
| 비타민 B ₆ (mg/kg) | 7.26 | 7.62 | 5.32 | 6.71 |
| 니코틴산 (mg/kg) | 212.9 | 213.9 | 197.9 | 208.2 |
| 판토텐산 (mg/kg) | 24.1 | 21.8 | 23.5 | 24.9 |
| 비오틴 효소 (mg/kg) | 0.093 | 0.097 | 0.098 | 0.103 |
| 엽산 (mg/kg) | 0.83 | 1.22 | 1.26 | 1.47 |
| 비타민 A (IU/kg) | 2716 | 2340 | 2270 | 2270 |
| 비타민 D (IU/kg) | 375.1 | 342.8 | 354.1 | 466.1 |
| 비타민 K (mg/kg) | 1.29 | 1.01 | 0.81 | 0.85 |
| 비타민 B ₁₂ (mg/kg) | 0.008 | 0.016 | 0.014 | 0.009 |

미칠 수 있다. 방사선 조사처리와 가열멸균 된 냉동닭고기의 비타민 B₁의 변화는 조사처리보다 열처리에서 더 크다(표 5-10). 조사처리 된 과일이나 채소류의 비타민 C 함량 역시 처리조건과 처리 후 저장조건에 따라 다른 경향을 나타내게 된다.^{5,39)}

5.3.7 식품의 관능적 품질에 대한 조사처리의 영향은?

방사선 조사처리가 식품에 화학적 변화를 가져와 관능적 품질에 영향을 미칠 수 있다. 우유나 유제품은 조사처리에 매우 민감한 식품이다. 특히 저 선량(0.1 kGy) 조사처리 된 우유는 관능검사에 의해 불쾌취가 유의적으로 감지되어 방사선기술의 적용이 불가한 품목임을 확인하였다. 일부 신선 과일이나 채소는 조사처리에 의해 조직이 연화되기도 한다. 고선량으로 조사처리된 육류에서는 처리 시 저온 및 진공포장을 유지하지 않으면 불쾌취가 문제시 될 수 있다. 이 같이 조사처리식품에서 목적하는 품질을 유지하기 위해서는 적당한 조사선량과

조사처리조건이 필수적이다. 너무 높은 선량의 조사처리는 식품의 관능적 품질을 변화시키고, 너무 낮은 저선량에서는 처리효과가 불충분할 수 있다. 이는 식품을 열처리 할 때 지나치게 가열하면 식품이 타서 먹을 수 없게 되는 것과 동일하다. 이에 따라 브라질, 멕시코, 남아프리카공화국, 사우디아라비아 등에서는 식품조사기술의 기준에서 최고상한선량(max dose)을 특별히 규정하지 않고 있다.^{6,40)}

5.4 방사선기술의 식품산업적 이용분야는?

5.4.1 식품에 이용이 가능한 분야는?

지금까지 방사선에너지를 이용한 식품 분야의 세계적인 연구 및 기술개발 분야는 표 5-11과 같다. 방사선에너지는 이용목적이 매우 다양하여 처리목적에 따라 필요한 방사선에너지의 양이 다르다. 저선량(0.05-1 kGy)의 에너지 범위에서는 발아·발근 억제, 해충·기생충 사멸, 속도지연 등이 가능하다. 중선량(1-10 kGy) 에너지에서는 부패 및 병원성미생물 살균, 식품원료의 위생화 등 응용분야가 가장 넓다. 고선량(10-50 kGy)의 에너지는 식품의 물리적 특성 개선, 완전살균 효과 등을 가능하게 하여 우주식품, 군용식품, 환자용무균식 등 특수용도 식품의 개발에 응용이 가능하다.⁶⁾ 그러나 실용화 관점에서 볼 때 식품 산업에서 방사선기술의 응용분야는 크게 다음의 다섯 가지로 나눌 수 있다.^{3,7,12)}

- (1) 건조식품의 살균·살충
- (2) 동물성식품의 병원성유기체 사멸
- (3) 신선식품의 부패미생물 감소
- (4) 농림산물의 발아억제, 속도지연 및 검역해충 처리
- (5) 특수목적 이용

표 5-11 식품산업 분야에서 방사선기술의 응용분야⁷⁾

| 선량 | 조사 목적 | 조사선량 (kGy) | 대상 식품 | 처리효과 |
|-----|---------------|-------------|---|-------------------|
| 저선량 | 발아/발근억제 | 0.15 (0.25) | 감자, 양파, 고구마, 파, 마늘, 생강 등 (밭) | 상품성 유지/가격안정 |
| | 해충/기생충 사멸 | 0.15-1.0 | 곡류, 두류, 신선과일, 채소, 건조농축수산물, 생선, 돼지고기, 사료 등 | 위생화/이용률 증대/검역관리 |
| | 숙도지연 | 0.5-1.0 | 버섯, 바나나, 파파이어, 망고, 아스파라거스 등 신선과일, 채소류 등 | 상품수명 연장/이용률 증대 |
| 중선량 | 부패균/병원균 살균 | 1.0-7.0 | 축육/가공품, 생선/수산가공품, 냉동새우, 냉동개구리다리, 멸기, 사료 등 | 위생화/저장기간 연장 |
| | 식품소재 살균 | 3.0-10 | 향신료, 건조채소류, 복합조미료, 효소제, 첨가제 등 | 위생화/저장기간 연장 |
| 고선량 | 식품특성 개선 및 위생화 | 10-25 | 건조농산물(가공/조리시간 단축), 위스키(숙성 촉진), 주스/추출 수율향상, 포장용기, 와인 코르크 등 | 공정개선 및 생산성 향상/위생화 |
| | 완전살균 (가열비용) | 10-50 | 특수용도식품 (환자식, 우주식, 무균사료, 전투식량 등) | 위생화/저장기간 연장 |

5.4.2 농림산물의 발아·발근 억제가 가능해요!

방사선 조사처리에 의한 감자, 마늘, 양파, 밤 등의 발아·발근 억제는 낮은 조사선량에서도 효과가 분명하고, 이듬 해 수확기까지 상품성 보존이 가능하다.^{4,12)} 감자, 마늘, 양파, 밤 등 주요 농림산물은 수확 후 휴면기가 지나면 발아 또는 발근이 시작되어 영양분의 소모와 위축, 중량감소, 부패 현상을 초래하여 상품적 가치를 잃게 된다. 감자의 방사선 발아억제는 1958년 옛 소련이 세계 최초로 법적 허용하였고, 일본이 1973년부터 감자의 발아억제를 위해 감마선기술의 상업적 이용을 시작하였다.³⁾ 일본은 북해도 시호로 농협의 감자 감마선조사시설(그림 5-11)을 건설하였다. 이 시설은 연간 최대 1-5만 톤 규모의 감자를 감마선 조사처리 한 후 저온에 저장하였다가 주요 도시에 출하하면



그림 5-11 일본 북해도(Hokkaido)의 감자 발아억제용 ^{60}Co 감마선 조사시설⁷⁾

서 감자의 물가안정에 기여하였고, 일부 학교 아동급식용으로도 공급하였다. 이들 발아농산물들은 조사처리 후 저장 온도와 습도만 조절되면 이듬 해 수확기 이전까지 저장이 가능하므로 기술의 타당성이 인정되고 있다.^{3,4,7)}

국내 감자 품종에 대한 저장연구에서는 0.15 kGy 이하의 감마선 조사처리로써 조생종 감자는 약 9개월, 만생종 감자는 1년 이상 발아억제가 가능하였다. 이때 연중 온도 2-17℃, 상대습도 70-85%의 자연저온 음식저장 조건에서도 90% 이상의 상품성 유지가 가능했다. 이때 감자의 후숙처리(curing)와 수확 후 6-7주 이내의 감마선 조사처리는 저장효과를 향상시켰으며,⁴¹⁾ 조사처리 된 감자는 무처리 대조군에 비해 감자칩(potato chip)을 제조하였을 때 제품의 수율과 가공적성이 양호한 것으로 나타났다.⁴²⁾ 마늘과 양파의 경우에는 발아억제와 장기저장을 위해서는 수확 후 통풍이 잘 되는 그늘에서 건조한 후 2개월 이내의 방사선 조사처리가 되었다.⁴³⁾ 이럴 경우 발아억제 및 저장효과과는 이듬해 수확기 이전까지 분명하였으며(그림 5-12), 마늘의 신미

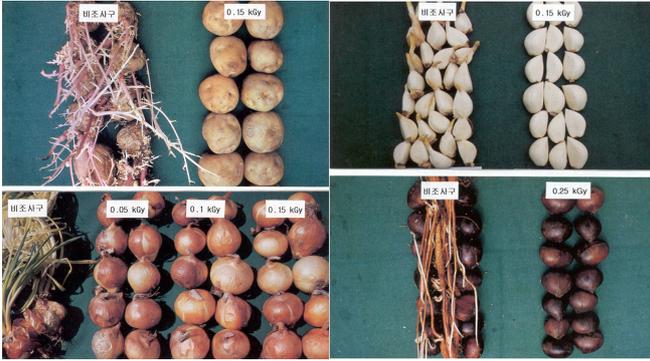


그림 5-12 감마선조사처리 후 1년 저장된 감자, 마늘, 양파, 밤의 발아억제효과⁷⁾

성분인 유허성분은 발아억제를 위한 감마선 조사처리에 대해 안정한 것으로 나타났다.⁴⁴⁾ 밤의 경우에도 0.25 kGy의 감마선 조사처리에 의해 발근억제 및 살충효과를 달성할 수 있으며, 저장 중 보습만 유지된다면 저온이 아니어도 이듬 해 여름까지 밤의 저장이 가능하였다.⁴⁵⁾ 방사선의 이 같은 발아억제 효과는 고구마, 생강, 당근, 마 등에서도 확인되었다.³⁾ 농산물의 방사선기술에 의한 발아억제 효과는 처리 후 저장온도에 큰 영향을 받지 않는다. 하지만 이들은 생체식품이므로 중량과 위축현상의 방지를 위한 상대습도 관리가 매우 중요하다.^{4,7)}

이와 같이 방사선기술의 이용에 따른 근채류 농산물의 발아억제 (sprout inhibition)는 그 효과가 뚜렷하고, 이듬 해 수확기까지의 상품성 유지가 가능하다. 더욱이 이용되는 방사선에너지의 양이 가장 낮은 수준이므로 조사처리식품의 안전성도 가장 먼저 인정되었고, 이어서 실용화가 추진되었다. 국내에서는 1987년 이후 감자, 마늘 및 양파의 발아억제를 위해 0.15 kGy를, 밤은 발근억제와 해충구제를 위해 0.25 kGy를 각각 허가하고 있다.^{7,9)}



그림 5-13 감마선조사처리 된 양송이(상)와 수삼(하)의 선도유지효과⁷⁾

5.4.3 신선 농림산물의 속도지연 및 선도유지가 가능해요!

신선 농림산물의 생장억제와 속도를 지연시켜 신선도를 연장시킬 목적으로 1 kGy 이하의 방사선 조사처리의 이용이 가능하도록 허가되어 있다.⁹⁾ 이는 생체식품의 생리적 대사활동(호흡, 효소작용 등)과 생장작용을 억제하고 부패미생물의 생장을 제어함으로써 속도지연과 유통기간 연장 효과를 가져 오는 분야이다. 그림 5-13은 양송이버섯을 폴리에틸렌 필름으로 포장하여 1 kGy의 감마선을 조사처리한 다음 무처리 대조구와 함께 상온조건에서 5일간 보관하였을 때 그 외관 및 상품성을 비교한 것이다.^{3,7)} 무처리 대조구는 상품성이 크게 떨어졌지만 1 kGy 조사구는 상품성과 관능적 품질이 잘 유지되었다.⁴⁶⁾ 또한, 4년 근 수삼을 세척하여 물기를 제거한 다음 나일론/폴리에틸렌 접합 필름으로 포장하고 1 kGy의 감마선에너지를 쬐여 대조구와 함께 냉장 저장하였을 때, 1주 이상의 상품성 유지가 가능하였다.⁴⁷⁾ 국내외적으로 이 분야의 이용연구 대상식품은 버섯, 수삼, 망고, 바나나, 파파야,

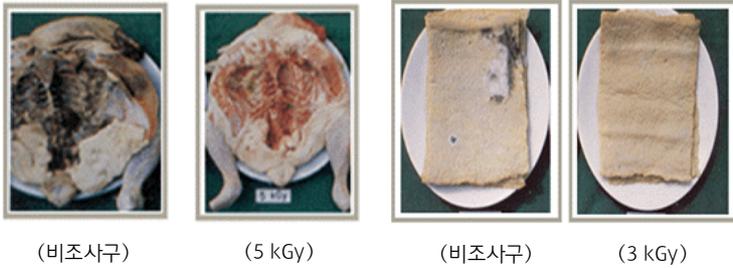


그림 5-14 감마선 조사처리에 의한 닭고기와 어묵의 냉장 보존기간 연장효과⁷⁾

토마토, 완두콩, 무화과류 등이며,^{3,4)} 특히 생 버섯의 생장억제와 노화 방지를 위한 조사처리는 그 효과가 뚜렷하여 2-3배의 상품수명 연장이 가능하였다. 국내에서도 생 버섯에 대하여 1 kGy 이하의 감마선, 전자선 및 X선 조사처리가 허가되어 있다.^{7,9)}

5.4.4 신선식품의 부패미생물 및 식중독균의 사멸이 가능해요!

방사선부분살균(radurization, radiopasteurization) 효과를 이용하여 수산가공품, 축산가공품, 선어, 딸기 등에 오염되어 있는 세균, 효모, 곰팡이 등 부패관련 미생물의 농도를 감소시켜 보존기간 또는 냉장기간을 연장시키는 것이 가능하다. 국내에서는 닭고기, 튀김어묵, 수삼, 딸기 등에 대하여 연구를 시도하여 효과를 확인한 바 있으며,⁴⁸⁾ 이 분야는 최근 콜드체인의 보급에 따라 식품공업에서 활용이 기대된다. 그림 5-14에 나타난 바와 같이 3-5 kGy의 감마선을 처리하였을 시 무처리 대조구에 비해 1주일 이상의 유통기한 연장효과가 나타났다.⁴⁾ 특히, 동물성 및 식물성 식품에 오염가능성이 큰 살모넬라(*Salmonella*), 대장균(*E. coli* O157:H7), 리스테리아(*Listeria*), 바실루스(*Bacillus*) 등의 병원성미생물은 감마선 및 전자선 조사처리에 대한 감수성이 다소 상이하다(표 5-12). 그러나 새싹채소에서는 관련 미생물이 비교적 쉽게

표 5-12 브로콜리 및 적무 새싹에 접종된 병원성미생물의 방사선감수성⁷⁾

| 병원성미생물 | 브로콜리 | | 적무 | |
|--------------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | E-beam | Gamma ray | E-beam | Gamma ray |
| 대장균 (<i>E. coli</i> O157:H7) | 0.73±0.08 ^{1)a} | 0.46±0.01 ^b | 0.81±0.04 ^a | 0.41±0.02 ^b |
| 살모넬라 (<i>S. typhimurium</i>) | 0.30±0.06 ^a | 0.13±0.00 ^b | 0.23±0.00 ^a | 0.14±0.00 ^b |
| 리스테리아 (<i>L. monocytogenes</i>) | 0.43±0.02 ^a | 0.16±0.02 ^b | 0.59±0.03 ^a | 0.22±0.01 ^b |
| 바실루스 (<i>B. cereus</i>) | 0.41±0.15 ^a | 0.33±0.07 ^b | 0.96±0.04 ^a | 0.49±0.03 ^b |

¹⁾초기미생물 수가 1 로그 감소하는데 필요한 조사선량(킬로그래이/D₁₀값).

평균±표준편차(n=3)

^{a,b}각 시료의 같은 줄의 값에 어깨글자(^{a-c})가 서로 다르면 유의차가 있음(5% 수준)

살균되기 때문에 식품의 미생물학적 안전성을 확보하기 위한 방사선기술의 이용은 미국 등 선진국을 중심으로 실용화가 진행되고 있다.^{7,49)}

5.4.5 식품에 오염된 해충 및 기생충의 불활성화가 가능해요!

농식품산업에서 해충은 농업생산 및 수확 후 관리에 막대한 손실과 위험을 초래한다. 수확 후 식량관리에서 저장해충의 발생과 식량교역에서 외래해충의 유입은 막대한 생태계에 피해를 가져온다. 지금까지 식물검역처리에는 대체로 훈증약제처리, 열처리, 저온처리 등이 이용되었다. 그러나 환경공해, 안전성, 품질열화, 처리효과 등의 측면에서 새로운 대안이 요구되고 있다.⁷⁾ 이에 따라 방사선기술은 저장해충은 물론 교역상품의 검역해충 관리에도 중요한 대안기술로 활용이 기대된다(표 5-13).⁷⁾ 앞서 언급한 바와 같이 해충은 방사선에너지에 대해 감수성이 커서 매우 민감하다. 해충은 발생 초기단계일수록 더욱 높은 감수성을 나타낸다. 이때 알 > 애벌레 > 번데기 > 성충의 순으로 방사선감수성이 크며 불활성화와 방제가 쉽다. 보통 1 kGy 이하의 방사선

표 5-13 주요 해충의 검역처리에 필요한 흡수선량⁷⁾

| 해충 그룹 | 처리 목적 | 선량 (Gy) |
|--|---------------|----------|
| 진딧물과 가루이 (Aphids & whiteflies) | 성충 불임 | 50-100 |
| 바구미 (Seed weevils, <i>Bruchidae</i>) | 성충 불임 | 70-100 |
| 애기벌소뚱구리 (Scarab beetles) | 성충 불임 | 50-150 |
| 과일파리 (Fruit flies, <i>Tephritidae</i>) | 탈피단계 성충발생 제어 | 50-150 |
| 바구미 (Weevils, <i>Curculionidae</i>) | 성충 불임 | 80-165 |
| 천공충 (Borers, <i>Lepidoptera</i>) | 번데기에서 성충발달 제어 | 100-280 |
| 삼주벌레 (Thrips) | 성충 불임 | 150-250 |
| 천공충 (<i>Lepidoptera</i>) | 번데기 사멸 | 200-350 |
| 잎진드기 (Spider mites) | 성충 불임 | 200-350 |
| 딱정벌레 (Stored product beetles) | 성충 불임 | 50-400 |
| 나방 (Stored product moths) | 성충 불임 | 100-1000 |
| 선충류 (Nematodes) | 성충 불임 | -4000 |

처리선량으로 사멸 또는 해충의 발육억제가 가능하다.^{3,6,50)}

돼지고기, 생선, 채소류 등에 발견될 수 있는 장내 기생충과 선모충 (*trichinella spiralis*)을 포함한 선충류는 0.25-1.0 kGy 범위의 낮은 선량에 의해서도 완전 사멸이 가능하다. 아울러 이용되는 에너지양이 아주 낮아 식품의 영양성분이나 물리적 특성에 거의 영향을 미치지 않는다.³⁾ 미국 FDA는 돼지고기의 기생충(선모충 등) 구제를 위하여 1.0 kGy

이하의 방사선 조사처리를 허가하였으며, 이는 육류가공업에 필수적 처리과정으로 인식되고 있다. 대체로 기생충별 사멸선량을 보면 독소포자충(*Toxoplasma gondii*) 0.25 kGy, 선모충(*Trichinella spiralis*) 0.3 kGy, 쇠낭충(*Cysticercus bovis*) 0.6 kGy 등이다. 최근 신선 채소류, 생선, 닭고기 등의 소비가 증가되고 있는 상황에서 냉온처리의 특징과 투과력을 지닌 방사선기술의 이용은 완전히 포장된 상태나 냉동된 상태에서도 위생화 처리가 가능하므로 효과적인 연구개발과 실용화가 기대된다.^{3,7,14)}

WTO 체제 하에서 위생식물검역조치의 적용에 관한 협정과 기술적 무역장해에 관한 협정에 따라 교역 농수축산물의 검역 및 위생화 처리의 필요성이 더욱 증대되고 있다. 검역 대상 유기체의 경우 수입 전제 조건으로 제시된 경계 해충이나 위생지표 미생물에 대해 완전박멸 방제기술(quarantine treatment)이 요구된다. 농수축산물의 국가 간 교역에서는 검역유기체의 방제가 필수적이므로, 국제적으로 가스훈증법(methyl bromide/MB, aluminum phosphide/AIP, ethylene dibromide/EDB 등), 물리적 방법(저온처리, 열처리, 환경기체조성 조절 등), 생물학적 방법(host susceptibility, inspection 등) 등이 연구 개발되어 선택적으로 활용되고 있다.^{7,18,50,51)}

그러나 이상의 방법 중 EDB는 안전성의 문제로 이미 사용이 금지되었고, 현재 대부분 사용되고 있는 메틸브로마이드 훈증법도 몬트리올 의정서 협약에서 오존층 파괴물질로 판명되면서 주요 국가에 의해 사용이 규제되고 있다. 최근에는 우리나라에서도 신선 과채류를 포함한 신선 농산물에는 이미 MB의 사용을 금지시킨 바 있다. 또한 2010년 이후에는 국제적으로 사용이 제한될 것이므로 이에 대한 대체기술이 시급히 요구되고 있다. 따라서 MB의 대체기술 확보를 위하여 유엔환경위원회(UN Environment Committee) 즉, 23개국 대표자들로

구성된 메틸브로마이드 기술선택위원회(Methyl Bromide Technical Options Committee, 1993-1995)에서는 물리·생물학적 방법, 훈증약제, 살충제 등의 안전성과 기술적 타당성을 체계적으로 검토한 결과, 농수축산물의 수확 후 비 약제(non-chemical) 처리방안으로서는 방사선조사(irradiation)나 저온처리 등에 대한 적극적인 연구와 활용을 권장하고 있다.^{7,18,51)} 국내에서는 수출입식품검역 소독처리규정을 일부 개정하여 물리적 소독법인 방사선조사법(감마선, 전자선, X선)을 농림축산검역본부 고시로 신설한 바 있다.⁵²⁾ 또한 건조곡물이나 건조채소류의 저장해충 관리에서도 1 kGy 이하의 조사처리기술이 활용될 수 있다.

수출입 농식품의 검역처리기법으로서 방사선 조사처리의 기술적 타당성은 장기간의 연구결과로 입증되었다. 그러나 국제식량교역에서 방사선검역처리의 실용화에는 다음과 같은 이점과 과제를 안고 있다.^{7,53)}

※ 방사선검역처리기술의 활용에 따른 주요 이점

- (1) 농산물 수입국들은 검역관련 유기체의 유입을 막을 수 있다.
- (2) 수출국들은 안전한 검역처리로서 수출시장 확대가 가능하다.
- (3) 소비자들은 보다 안전하고 우수한 품질의 식품을 제공받을 수 있다.
- (4) 병원균 유입을 막아 공중보건 향상과 외래해충 차단으로 농업생산성을 유지한다.

※ 방사선검역처리기술 실용화 관련 주요 과제

- (1) 교역국가 간의 무역협약 체결
- (2) 검역관련 기준의 일치(harmonization)
- (3) 방사선조사시설의 등록 및 공개적 이용
- (4) 산업계의 관심
- (5) 시설건설을 위한 자본투자
- (6) 소비자 수용성 및 홍보교육 등

5.4.6 건조식품의 살균·살충 위생화가 가능해요!

건조 농수축산물의 살균·살충 처리를 위해서는 여러 방법이 이용될 수 있으나 식품의 특성, 처리효과, 경제적 타당성 등을 고려하면 이용 방법 선택에 제한이 있다. 지금까지 건조향신료, 건조채소류, 혼합조미료, 건조축산물, 건조수산물 등의 살균에 광범위하게 사용되어 오던 살균·살충제인 에틸렌옥사이드(EO, C_2H_4O) 혼증제는 미국, EU, 한국(1991) 등 대부분의 나라에서 사용이 금지되었다.^{6,7)} 이는 무색의 폭발성 가스로서 멸균기작은 미생물 세포의 단백질과의 반응에서 비롯된다. 그러나 약제의 문제점은 물리적 흡착에 의한 잔류성과 수분, 소금 등과의 반응에 의한 2차 생성물 에틸렌글리콜(ethylene glycol)과 에틸렌클로로하이드린(ethylene chlorohydrin)의 생성이다. 이 생성물들은 발암성 물질로 보고되면서 식품에 대한 사용이 규제되었고, 의료용품의 멸균용으로는 잔류기준이 설정되어 있다.⁵⁴⁾

이에 따라 화학혼증약제에 대한 사용금지와 잔류기준이 엄격해짐에 따라 방사선기술이 대체기술로 관심을 모으게 되었다. 특히, 방사선조사처리에 의한 향신료, 건채류, 복합조미식품, 가공부원료 등의 위생화 처리는 그 효과가 분명하고 살균·살충이 동시에 달성됨으로써 대표적인 응용분야로 꼽히고 있다(그림 5-15). 그러나 최근 조사처리 식품에 대한 표시제도가 2010년부터 엄격히 시행됨에 따라 대체기술인 고압스팀 살균법 등이 일선 산업현장에 대두되었다. 그러나 스팀살균법은 소비자 인식에는 문제가 없으나 표 5-14와 같이 먼저 위생화 대상 식품(원료)을 분말화하기 전에 살균 처리해야 하고, 살균처리 후 건조와 분말화 공정을 거쳐야 하므로 제품단가가 상승하고 2차 오염 가능성이 있다. 특히, 방사선조사처리에 비해 살균효과가 불충분하고 제품의 품질, 적용분야, 경제성 등의 측면에서 문제점을 안고 있다.^{55,56)}

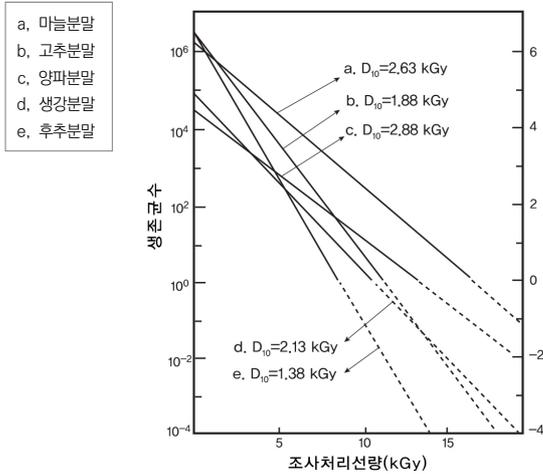


그림 5-15 감마선조사에 의한 향신료의 살균곡선⁷⁾

표 5-14 후추 및 고춧가루의 살균방법 별 품질특성 비교⁷⁾

| 품질항목 | 향신료 | 살균 처리 | | |
|------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | 대조구 | 고압스팀 | 감마선 (10 kGy) |
| 총 세균 (CFU/g) | 후춧가루 | 2.8×10^6 | 7.0×10^3 | 3.5×10^2 |
| | 고춧가루 | 2.1×10^6 | 1.1×10^5 | 1.8×10^1 |
| 기능성분 (mg/g d.b.) | 후춧가루 (piperine) | 12.36 ^a | 9.30 ^c | 11.10 ^b |
| | 고춧가루 (capsaicin) | 0.56 ^a | 0.50 ^a | 0.55 ^a |
| 색차(ΔE) | 후춧가루 | 0.00 | 2.08 | 0.60 |
| | 고춧가루 | 0.00 | 0.23 | 0.33 |
| 관능평점 (1-5) | 후춧가루 | 3.3 ^a | 3.1 ^a | 3.4 ^a |
| | 고춧가루 | 3.8 ^a | 3.4 ^{ab} | 3.1 ^b |

^a가로줄에서 어케 글자(^{a-c})가 서로 다르면 유의적으로 차이가 있음(p<0.05).

한편, 국내 식품업계에서 활용하고 있는 스팀살균과 식품공전⁹⁾에 등재된 조사처리살균의 특징을 아래 표 5-15의 내용을 정리하여 각 방법의 장점과 단점을 자세히 기술해 보았다.

※ 스팀살균법의 장·단점

▶ 장점

- (1) 소비자 인식에 문제가 없다.
- (2) 열처리이므로 법적기준이 특별히 필요치 않다.
- (3) 건고추, 건후추 등 향신료에 적용하며 생산라인 공정에 설치가 가능하다.

▶ 단점

- (1) 살균력이 불충분하고, 스팀처리 시 수용성 성분의 용출이 발생하여 품질이 떨어진다.
- (2) 용해성이 있는 분말이나 색상이 있는 제품은 탈색이 일어나므로 적용이 불가능하다.
- (3) 개별 원료로만 살균이 가능하며, 포장 전에 살균하고 건조하여 다시 포장해야 한다.
- (4) 식품(원료)의 종류 및 용도별로 살균설비(8~20억/0.4~1톤 기준)가 별도 필요하다.
- (5) 충란 사멸(해충 방제)을 위해서는 별도의 공정(냉동시설에서 동결처리)이 필요하다.
- (6) 살균처리 비용은 약 500~1,500원/kg 수준이다.
- (7) 처리 대상품목이 제한적이고, 공정의 추가로 비용이 상승하여 제품경쟁력이 떨어진다.

※ 조사처리기술의 장·단점

▶ 장점

- (1) 살균·살충이 동시에 이루어지고 살균·살충 효과가 상대적으로 우수하다.
- (2) 처리 품목이 광범위하고 포장 후 처리가 가능해 공정을 줄이고 재오염 가능성이 없다.
- (3) 냉온처리이므로 제품의 품질 변화가 상대적으로 적다.
- (4) 수출이나 유통 상품의 경우 시장출하 직전 처리가 가능하다.

▶ 단점

- (1) 방사선기술에 대한 소비자 인식에 한계가 있다.
- (2) 조사처리식품의 표시(로고 또는 문구)가 의무로 식품업계가 이용을 기피하는 추세이다.
- (3) 살균처리 비용은 조사처리시설까지의 물류비를 포함하여 약 200~300원/kg 수준이다.
- (4) 자체 조사처리설비가 필요한 경우 초기 투자비(30~60억 원)가 크다.

이상의 두 가지 기술에 대한 기술적 장·단점을 비교해 보면 그 타당성은 조사처리기술이 월등히 높은 것을 알 수 있다. 조사처리기술은 단지 처리식품에 의무적으로 표시나 문구를 나타내야 하므로, 소비자들이 표시된 제품의 안전성을 우려하여 기피할까 해당 기업들은 활용을 꺼려하고 있다. 하지만, 본 조사처리기술은 국제기구와 우리 정부(식품의약품안전처)에서 안전성을 인정하여 법적으로 제도적으로 아무런 문제가 없지만, 일반 국민들이 이에 대한 정보가 부족한 상태이다. 특히 미국, 호주, 캐나다, 중국 등 주요 선진 교역국에서는 이 기술을 선택적으로 활용하여 약품이나 열처리를 대체함으로써 오히려 소비자의 식품안전을 뒷받침하고, 나아가 식품업계의 기술경쟁력을 높여 대외시장 확대를 도모하고 있다.^{1,7,8,12)}

표 5-15 스팀살균과 조사처리살균의 장·단점 비교(T사 자료)

| 구분 | 일반살균(스팀살균) | 조사처리살균 | 비고 |
|-------|---|--|----|
| 살균효과 | 2-5 log cycle ↓ | 3-5 log cycle ↓ | |
| 법적기준 | • 법적 안전성 확보 | • 방사선조사식품 표기 (식품위생법 표시기준) | |
| 소비자인식 | • 긍정적 | • 부정적 | |
| 살균방법 | • 개별 원료로만 살균 (포장형태로 살균 불가) • 살균 중 오염 가능 • 식품의 종류/용도별로 살균설비 필요 | • 포장형태 그대로 살균 가능 • 오염우려 없음 • 강력한 살균효과 (완제품 그대로 살균) • 식품 종류에 대한 제약이 없음 | |
| 살균제약 | • 용해성 있는 분말/색상변화가 있는 제품에 부적합 • 종란살균(해충방제) 별도 공정으로 실시 필요 | • 식품 종류/용도별로 법적 제약 (법적규제 있음) • 살균과 종란 살균 동시 가능 | |
| 설비 | • 생산라인에 공정으로 설치가능 • 8-20억 원/0.4~톤 기준 | • 별도 살균공장 필요 • 대규모 투자(60억 이상) | |
| 비용 | • 약 500-1,500원/kg | • 약 200-300원/kg (운반비 포함) | |
| 국내활용 | • 고추·후추 등 향신료 살균에 주로 활용 | • 국내 식품활용은 소비자 인식으로 사용안함 | |

5.4.7 환자용 무균식과 우주식품 생산을 위한 완전살균이 가능해요!

면역기능이 결핍된 환자에게는 무균식사가 필요하다. 아울러 무중력 상태에서 우주인에게는 완전 멸균된 식사의 제공이 필요하다. 이 같이 완전 멸균된 식품을 제조하기 위해서는 고압열처리나 약품처리 방법 등이 전통적으로 사용될 수 있으나, 영양소의 파괴와 식품의 이화학적, 관능적 품질의 열화가 문제시 된다. 방사선기술은 냉온처리로써 투과력을 지니고 있으므로 포장 후에도, 냉동상태에서도 살균처리가 가능하다.¹⁾ 방사선완전살균(radappertization) 분야는 피조사체 식품에 오염된 바이러스를 제외한 모든 미생물을 사멸시키는 효과를 달성할 수 있다. 또한 영양소의 파괴나 식품의 품질변화를 최대한 줄일 수 있는 방법이 가능하다. 이 분야에는 미생물의 오염도에 따라 10-50 kGy의 고선량 조사처리가 요구되며 장기보관용 군용식품(햄, 베이컨 등 밀봉 포장식품), 우주식품, 면역기능이 약화된 환자용 무균식 등이 해당된다.³⁾ 한편 실험동물용 무균사료의 제조나 우주인 식품 등은 완전 무균상태가 요구되므로 미국, 러시아 등 선진국에서는 이미 오래전부터 우주계획에서 방사선조사식품이 활용되었다. 국내에서는 2008년 이후 총 17종의 우주식품이 개발·인증되었고, 국내 첫 우주인에게 제공된 김치, 라면, 생식바, 수정과 등이 방사선기술을 이용한 조사처리식품이다.²⁷⁾

5.4.8 식품재료의 가공적성 개선이 가능해요!

건조 식품원료는 사용되기 전 재(再)수화(rehydration) 전처리 과정이 필요하다. 방사선에너지는 독특한 전리작용에 의해 식물조직의 물리적 변화를 일으켜 수화속도를 높이므로 가공적성이 향상될 수 있다. 건조농산물에 살균선량의 감마선을 처리하면 재수화 및 조리(cooking) 시간의 유의적인 단축이 가능하다(그림 5-16).^{57,58)} 건조 옥수수 등의 경우

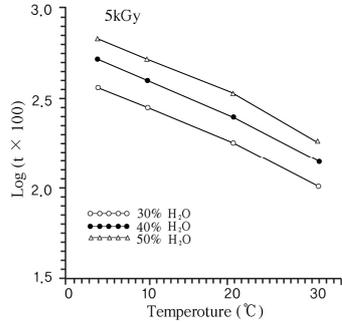
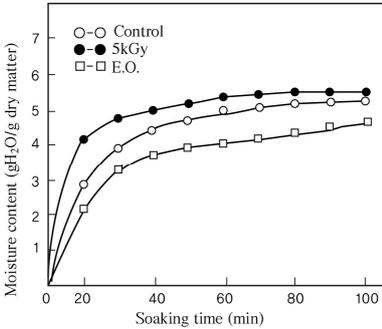


그림 5-16 감마선 조사된 건 표고(좌, 50°C)와 콩(우)의 온도별 수화특성⁷⁾

전분의 추출공정에서 방사선조사처리는 전분 추출시간을 단축시키며,⁵⁹⁾ 전분가공에서 점도의 조절이 가능하고 가공전분(modified starch)의 제조 시 화학약품의 사용을 줄일 수 있는 장점이 있다.

5.4.9 식품관련 유해물질의 저감화 및 기능소재화가 가능해요!

(1) 계란 알러지를 줄일 수 있어요!

방사선에너지의 이온화 작용에 의해 생성되는 활성라디칼은 단백질 분자를 공격하여 그들의 구조를 변화시키고, 나아가 항원의 표면에 있는 항원결정기 구조를 변화시켜 알러지를 억제할 수 있는 가능성이 보고되었다. 계란을 함유한 케이크와 쿠키를 제조하면서 감마선 조사 처리된 계란 난백을 사용한 시료에 대해 식품학적 품질 평가와 알러지 유발성을 시험하였다. 이때 방사선조사처리된 난백을 사용한 시료의 식품학적 품질은 무처리 대조구와 차이가 없거나 개선되었다. 그러나 방사선조사된 계란으로 만든 시료는 급여한 실험동물에서 특별한 알러지 증상을 보이지 않았다.^{7,60,61)}

(2) 육제품의 아질산염 및 니트로소아민을 줄일 수 있어요!

첨가제 아질산염은 염지육제품의 발색용으로 널리 사용되고 있으나 늘 사용량이 규제되고 있다. 이는 자체독성 외에도 식품이나 체내의 위액 조건(pH 1-2)에서 2, 3급 아민과 쉽게 반응하여 발암성 나이트로사민(N-nitrosamine)을 생성하는 문제점을 안고 있다. 이 같이 나이트로사민 생성의 전구체인 아질산염을 제거하거나, 가공식품에 이미 생성된 나이트로사민을 저감화하는 연구가 필요하다. 따라서 식품에 널리 존재하는 강력한 발암성물질 2종(나이트로디메틸아민, 나이트로피롤리딘)을 증류수에 용해시켜 5 kGy의 감마선을 조사한 결과 완전히 파괴되었고, 조사처리 후 분해물이 자체적으로 재 축합되지 않아 이를 위한 방사선기술의 적용가능성이 확인되었다. 그리하여 실제 식품에서의 적용가능성을 확인하기 위해 시험용 소시지를 제조하고 감마선을 조사하였을 때 잔류하는 아질산염과 나이트로사민의 함량이 유의적으로 감소하였다. 이는 육제품에 대한 방사선기술의 적용은 병원성 미생물의 제어뿐 아니라 생성될 수 있는 유해물질의 저감화를 달성할 수 있는 가능성이 보고되었다.^{7,62,63)}

(3) 발효식품의 생체아민을 줄일 수 있어요!

식품에서 유독성 생체아민(biogenic amine)은 농수축산물과 발효식품의 숙성 및 저장 동안 미생물 효소작용에 의해 생성되는 것으로 알려져 있다. 수용액 상태의 생체아민은 감마선조사처리에 의해 유의적으로 감소하였다. 일반적으로 된장 발효 시에는 여러 종류의 생체아민이 생성될 수 있다. 이때 방사선기술을 이용하여 미생물의 농도를 저감함으로써 생체아민의 생성을 줄일 수 있다.^{7,64)} 또한 방사선기술을 이용해 미생물의 농도를 조절함으로써 식염의 사용량을 낮춘 저염 발효식품의 개발도 시도된 바 있다.^{5,7)}

(4) 기능소재의 개발 가능성이 있어요!

최근 기능성화장품의 개발이 활발하다. 방사선기술을 이용하여 녹차의 엽록소를 제거한 다음 항산화, 항노화, 미백효과 등의 활성은 지닌 추출물을 제조하여 화장품, 식의약 등의 분야에 기능성 소재로 활용할 수 있다. 또한 방사선기술에 의해 천연 고분자 물질을 저분자화함으로써 생분해성 기능성 소재로서 다양하게 활용할 수 있다. 예를 들어 키토산이나 알긴산으로부터 소당류(올리고머)나 단당류의 생산을 위해 방사선기술을 이용한다면, 현행의 효소처리나 산분해법보다 양호한 특성의 기능성 물질을 얻을 수 있다.^{7,65)}

5.4.10 포장용기의 멸균이 가능해요!

최근 편의식품산업의 급속한 발달과 함께 식품의 위생적 생산관리가 매우 중요하게 되었다. 더욱이 식품위해요소중점관리기준(HACCP, 식품안전관리인증)의 도입과 함께 무균포장이 핵심적인 가공공정이 되고 있다. 그러나 포장재의 멸균에는 염소계 약제의 사용이 가장 보편적인 방법이므로 이에 대한 대안기술이 필요하다. 따라서 10-25 kGy의 방사선기술을 이용한다면 포장재 내부까지 투과하여 고착된 포자까지도 완전사멸이 가능하다. 현재 미국, 캐나다, 일본 등 여러 나라에서는 식품포장재의 멸균을 위해 방사선기술의 이용이 선택적으로 이루어지고 있다. 그리고 국내 포장재 생산업체에서는 해외 기술제휴를 통해 감마선 멸균처리 무균포장재를 즉석식품, 연포장식품, 유제품 등의 제조에 활용하는 방안을 검토한 바 있다.^{7,66)}

5.5 방사선조사식품의 안전성은 충분히 평가되었나요?

5.5.1 조사처리식품의 안전성평가 배경은?

이온화 작용을 지닌 전리방사선의 독특한 생물학적 작용이 발견된 이후 20세기 중반부터 선진국을 중심으로 식품에 대한 방사선 조사처리(food irradiation)의 효과와 조사처리식품(irradiated food)의 안전성이 연구되기 시작하였다. 처음으로 1961년 “FAO/IAEA/WHO 공동 조사식품 건전성평가 전문위원회(Joint Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, JECFI)”의 설립을 시작으로 1964년, 1969년, 1976년에 각각 조사처리식품의 안전성 평가를 위한 국제회의가 소집되었다. 한편, 1970년에는 WHO의 권유에 따라 FAO/IAEA/OECD는 24개국이 참여한 식품조사기술 분야의 국제프로젝트를 신설하여 본 기술의 이용과 안전성에 대한 체계적인 공동연구를 추진하게 되었다. 미국 정부(육군, 농무성)는 Raltech연구소와 연구계약을 체결하여(1976) 실험동물을 대상으로 한 조사처리식품의 유전학적, 독성학적 및 영양학적 측면의 건전성 평가연구를 최대 규모로 추진하였다. 특히, 미국과 중국에서는 여러 종류의 조사처리식품을 젊은 자원자(frontier)들에게 일정 기간 급여하면서 일상생활, 신체활동, 염색체 이상 여부 등을 종합 평가함으로써 조사처리식품의 안전성 평가 결과를 뒷받침하였다.^{7,67,68)}

이상의 연구들을 바탕으로 1980년 JECFI는 “어떤 식품이든 총 평균 10 kGy 이하로 조사처리된 식품은 독성학적, 영양학적, 미생물학적 관점에서 어떠한 위해도 일으키지 않는다.”는 결론을 내린 바 있다.¹⁶⁾ 이상의 결론에 대해 국제식품규격위원회(Codex Alimentarius Commission, 1983)에서는 “조사처리식품에 대한 일반기준(General Standard)”과 “식품조사시설 운영에 대한 권장실행기준(Recommended International Code of Practice)”를 채택하여 모든 회원국들의 활용을

권장하였다.¹⁷⁾ 이로써 조사처리식품의 안전성에 대한 WHO의 종합 결론은 “우수제조관리기준(Good Manufacturing Practice, GMP) 조건 하에서 생산된 조사처리식품은 독성학적 및 영양학적 관점에서 사람의 건강에 위해가 되지 않으며, 미생물학적으로도 문제를 일으키지 않는다고 하였다.”^{6,7,40)}

5.5.2 조사처리식품의 안전성평가 연구내용은?

조사처리식품의 건전성(wholesomeness) 평가는 식품의 독성학적 안전성(toxicological safety), 방사선학적 안전성(radiological safety), 방사선화학적 안전성(radiation chemical safety), 미생물학 안전성(microbiological safety)과 영양학적 적격성(nutritional sdequacy) 등이 종합 평가된다.⁶⁾ 식품조사처리는 저장가공기술의 하나로서 식품의 품질보존과 안전성을 향상시키기 위한 목적을 지니고 있다. 본 기술은 방사선에너지를 이용하는 특수성 때문에 이용에 앞서 기술적 타당성과 조사처리식품의 안전성이 선진국과 국제기구의 주도로 체계적으로 연구·평가되었다. 특히, 미국정부는 조사처리식품의 안전성을 종합적으로 평가하기 위해 막대한 예산을 들여 조사처리식품의 방사선학적, 독성학적, 미생물학적, 영양학적 적격성 등에 대한 안전성 평가를 수종의 실험동물을 대상으로 수 세대에 걸친 장기간의 종합연구로 다음과 같이 추진되었다(표 5-16).⁶⁹⁾

(1) 실험동물에 의한 안전성평가 결과는?

조사처리식품의 안전성 평가에 대한 JECFI(1981)의 공식보고서가 발표된 이후 미국 FDA는 1982년까지 입수 가능한 400건 이상의 독성 시험 연구결과(data base)를 재검토했다. 이들 중 통계학적으로 타당한 250여 건의 연구결과를 바탕으로 수 종의 실험동물에 대한 아만성 독성시험, 만성독성시험, 변이원성시험, 번식시험, 최기형시험 등의 시

표 5-16 조사처리식품의 안전성 평가를 위한 연구범위⁷⁾

| 구 분 | 안전성 검토사항 |
|-----------|---|
| 방사선학적 안전성 | - 허가된 조사선원의 에너지 범위에서 유도방사능 가능성 - 조사식품에서 유도방사능의 생성 여부 |
| 독성학적 안전성 | - 조사식품에서 생성된 독성물질의 독성학적 부작용 여부 - 독성물질 생성 확인과 안전성 시험 - 독성학적 안전성 확인을 객관적 시험법 사용 |
| 미생물학적 안전성 | - 방사선조사에 의한 미생물 돌연변이와 유독성 여부 - 방사선조사에 의한 부패미생물 살균과 병원균 생존 여부 |
| 영양학적 안전성 | - 방사선조사에 의한 식품 영양소의 유의적 손실 여부 - 조사식품 관련 영양소의 식이 주요급원 여부 |

험결과를 종합적으로 평가하여 아래와 같이 정리하였다.^{39,70)}

① 아만성독성시험

지금까지 조사처리식품의 아만성독성 여부에 대해 쥐(rat)를 대상으로 한 총 26건의 안전성 시험이 수행되었다. 이 시험에서는 10여 종의 농수축산 식품들이 0.1-55.8 kGy 범위로 조사처리된 다음 급여 실험에 사용되었다. 표 5-17에서와 같이 대부분의 시험에서는 방사선 조사에 의한 독성학적 영향은 없다고 보고되었고, 일부 결과에서는 재검토가 필요하다고 하였다. 먼저 55.8 kGy로 조사된 돼지고기를 84일간 쥐에 투여하였을 때 혈장 알라닌아미노기전달효소(alanine aminotransferase)와 체중의 감소가 관찰되었다.⁷¹⁾ 이는 피리독신의 감소로 추정되었으나 FDA는 본 연구는 영양학적 시험으로서 독성학적 의미는 없다고 결론지었다.³⁸⁾ 또한 55.8 kGy 조사된 쇠고기를 쥐에 급여한 결과 출혈이 관찰되었다고 했으나, 이는 높은 선량에 의한 비타민 K의 파괴에 기인하는 것이며, 실험동물에 처음 급여된 사료에 비타민 K가 부족하여 출혈이 일어난 것으로 판명되었다.⁷²⁾ 또한 개를 대상으로 한 여섯 건의 시험에서는 대부분 나쁜 악영향이 없는 것으로

표 5-17 쥐, 마우스 및 개를 대상으로 한 조사처리식품의 아만성독성시험⁷⁾

| 동물 | 급여 식품 | 급여일 | 선량(kGy) | 영향 |
|--------|--------------------|-----|---------|------------------------------|
| 쥐 | 생선(고등어) | 90 | 2 | 무 |
| | 커피, 검정콩 | 84 | 1 | 무 |
| | 돈육 | 84 | 55.8 | 체중, 혈장아미노기전이효소 감소 |
| | 돈육, 빵, 콩, 새우 | 84 | 55.8 | 무 |
| | 당근 | 90 | 1 | 무 |
| | 계육 | 90 | 6 | 무 |
| | 생선(가자미) | 90 | 3.4 | 무 |
| | 생선(대구) | 84 | 3.4 | 무 |
| | 망고 | 90 | 0.8 | 무 |
| | 양파 | 90 | 0.25 | 무 |
| | 생선 | 90 | 6 | 무 |
| | 생선(대구) | 90 | 6 | 무 |
| | 감자 | 90 | 2 | 무 |
| | 우육 | 90 | 55.8 | 출혈사 |
| | 우육 | 98 | 55.8 | 혈액응고 시간 증가 |
| | 계육 | 90 | 47 | 무 |
| | 사료 | 120 | 45 | 혈장 아스파르트산 아미노기 전이효소 활성 감소 |
| | 생선(고등어) | 90 | 1.5 | 무 |
| | 우육, 돈육 | 84 | 55.8 | 간 효소 증가 |
| | 우육, 생선, 베이컨 혼합물 | 84 | 60 | 무 |
| | 카카오콩 | 126 | 0.5 | 무 |
| | 밀 | 105 | 2 | 무 |
| | 버섯 | 90 | 5 | 무 |
| 새우 | 90 | 3 | 무 | |
| 사료 | 90 | 50 | 무 | |
| 딸기 | 90 | 50 | 성장 저하 | |
| 양파 | 90 | 0.1 | 무 | |
| 새우, 잉어 | 90 | 2.5 | 무 | |
| 마우스 | 양파 | 90 | 0.25 | 빈혈 |
| | 과실(체리) | 90 | 4 | 무 |
| | 우육 | 188 | 55.8 | 무 |
| 개 | 밀가루 | 168 | 0.74 | 무 |
| | 우육, 양고기 | 130 | 0.07 | 무 |
| | 감자 | 90 | 2 | 무 |

보고되었다. 그러나 조사처리 된 양파를 10%(건물 기준) 첨가한 사료를 개에게 급여하였을 때는 몇 가지 영향이 확인되었다.⁷³⁾ 그러나 미 FDA는 이 같은 영향은 방사선조사와 직접 관련이 없다고 평가하고 실험동물의 수가 제한되어 있음을 지적하였다.³⁹⁾ 전반적으로 개와 마우스를 대상으로 한 안전성 시험에서 조사처리된 사료를 급여하였을 때도 부정적인 영향은 발견되지 않았다고 하였다.⁷⁾

② 변식시험 및 최기형성시험

조사처리식품의 변식시험 및 최기형성시험에서는 쥐를 대상으로 한 총 11건의 시험이 수행되었다. 표 5-18과 같이 전반적으로 방사선조사에 의한 최기형성의 영향은 관찰되지 않았다. 조사처리 된 생선(6 kGy)을 급여한 시험에서는 동물의 고환위축과 발정기 장기화가 관찰되었고, 동시에 혈액의 일부 효소활성의 저하와 단백질 결핍이 있었다고 보고하였다.⁷⁴⁾ 그러나 이는 시료가 부적절하고 비타민과 미네랄 보급이 제대로 이루어지지 않은 결과로 판명되었고, 일부 실험결과에서는 의문의 여지가 있었다. 또한 실험동물에서 관찰된 체중의 저하는 방사선조사와 연관성이 없고, 부적절한 시료 급여가 원인인 것으로 판명되었다.⁷⁾

조사처리 된 시료를 마우스에 급여하면서 5건의 변식시험을 실시한 결과, 일부 조사처리 군에서 새끼 수 감소가 있었으나 유의적인 차이는 아닌 것으로 판명되었다.⁷⁵⁾ 특히, 56 kGy 조사된 우육과 0.15 kGy 조사된 감자를 개에게 급여한 2건의 동물시험에서는 모두 방사선조사의 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 45 kGy로 조사된 닭고기를 햄스터와 토끼에 급여한 시험에서도 방사선조사에 의한 부작용은 없는 것으로 확인되었다. 본 동물시험의 결론은 조사처리식품의 변식 및 최기형성시험에서는 조사처리에 의한 영향은 없었고, 일부 보고된 부정

표 5-18 실험동물을 대상으로 한 조사처리식품의 번식시험 및 최기형성시험⁷⁾

| 동물 | 급여식품 | 급여일 | 선량 (kGy) | 영향 |
|-----|-------------|-----|----------|---------------|
| 쥐 | 돈육 | 730 | 55.8 | 무 |
| | 감자 | 730 | 0.4 | 무 |
| | 향신료 혼합물 | 10 | 15 | 무 |
| | 밀 | 160 | 2 | 무 |
| | 생선 | 40 | 6 | 무 |
| | 오렌지 | 160 | 2.79 | 체중증가율 감소 |
| | 계육, 녹두 | 120 | 59 | 무 |
| | 생선 | 120 | 6 | 고환위축, 발정주기 연장 |
| | 양파 | 120 | 1 | 무 |
| | 생선 | 다양 | 2 | 무 |
| 마우스 | 옥수수, 호두, 자두 | 240 | 2 | 없음 |
| | 사료 | 200 | 25 | 새끼수 감소 |
| | 계육 | 20 | 59 | 무 |
| | 계육 | 다양 | 45 | 무 |
| | 계육 | 18 | 45 | 무 |
| | 생선(대구) | 120 | 1.75 | 무 |
| 개 | 우육 | 다양 | 55.8 | 무 |
| | 우육 | 900 | 56 | 무 |
| | 감자 | 다양 | 0.15 | 무 |
| 햄스터 | 계육 | 5 | 45 | 무 |
| 토끼 | 계육 | 14 | 45 | 무 |

적인 영향은 통계적으로 유의성이 없거나 타 요인에 기인한 것으로 공식 확인되었다.⁷⁾

③ 만성독성시험

다양한 종류의 조사처리식품에 대하여 쥐를 대상으로 한 만성독성 시험이 총 32건 수행되었다. 이 중 여섯 건의 시험에서는 총 시험기간이 600일 미만이었지만, 나머지 26건의 시험은 시험기간이 장기간으로 길게 계획되어 조사처리식품의 발암성을 평가하는데 충분하였다. 대부분의 경우 매우 고선량의 방사선을 처리한 식품을 급여하였으나,

어떠한 시험에서도 방사선 조사처리와 관련된 종양의 발생과 증가는 관찰되지 않았다(표 생략). 그리고 3건의 시험에서는 27.9-55.8 kGy 범위의 고 선량으로 조사처리 된 돼지고기를 단독 또는 다른 식품과 함께 급여하였지만, 방사선조사처리에 의한 부작용과 악영향은 관찰되지 않았다. 더욱이 동일 선량 범위로 조사처리 된 쇠고기를 급여한 세 건의 동물시험에서도 어떠한 부작용도 확인되지 않았다. 그러나 조사처리 된 닭고기를 투여한 시험에서는 어린 쥐의 십이지장 조직에서 효소활성이 저하되었으나, 조사처리선량 별 실험동물 수가 제한되어서 적절한 평가가 불가능하였다는 결론을 내렸다.⁷⁶⁾ 또 다른 만성독성 시험에서는 조사처리식품 혼합물을 베이컨, 햄 및 생선을 혼합하여 조제하고, 고선량인 55.8 kGy을 조사한 후 쥐에게 급여한 실험을 실시하였다. 그 결과, 제 3세대의 실험동물에서 체중 저하와 제 2 및 3세대 부모의 2회째 번식에서 새끼 체중이 유의적으로 저하되었다고 하였다. 그러나 이에 대한 방사선조사의 영향은 분명한 결론을 내리지 못하였다. 왜냐하면, 동물의 출생 시 체중이나 어미의 체중이 기재되지 않았고, 수유기간이나 자궁 내에서 체중의 감소가 일어난 것인지의 여부는 명확하지 않았다. 그리하여 수유 후의 동물의 체중이 동일하였음을 고려할 때에 수유에 의한 영향으로 평가하였다.⁷⁷⁾

한편, 마우스를 대상으로 한 만성독성시험은 18건이 이루어졌으며, 그 결과에서는 표 5-19와 같이 대부분 나쁜 영향이 관찰되지 않았다. 하지만, 일부 부작용이 확인된 경우는 60 kGy로 조사처리 된 사료, 50 kGy 조사처리 된 밀가루, 59 kGy 조사처리 된 닭고기, 55.8 kGy 조사처리된 닭고기와 돼지고기 혼합물을 각각 급여한 4건의 만성독성 시험이 보고되었다. 이로부터 부정적인 영향은 각 시험에서 상이하게 18건의 시험에서 1회씩 관찰되었다. 다시 말하여 60 kGy의 방사선 조사처리 사료를 급여한 마우스에서 성장과 번식력의 저하가 보고되었

고, 10% 이하의 성장저하는 번식력과 관련이 있는 것으로 확인되었다. 이는 슛컷마우스를 임신하지 않은 암컷마우스에 접촉시키는 기술적 측면과 사료의 기호성에 문제가 있는 것으로 지적되었다.⁷⁷⁾ 또한 55.8 kGy를 조사처리 한 돼지고기와 닭고기가 포함된 조사식품을 마우스에 급여하였을 경우 심장의 이상이 지적되었다. 따라서 5,000 마리의 마우스를 사용하여 재 실험을 실시하면서 80만개 이상의 심장절편을 조직병리학적으로 관찰한 결과, 이상에서 보고된 장애가 전혀 관찰되지 않았다.⁷⁸⁾ 따라서 조사처리식품이 심장장애의 원인이 아님이 명확히 밝혀졌다. 이 같은 결과는 마우스를 이용한 다수의 만성독성시험에서 고선량의 조사처리식품을 일생 동안 급여하여도 부작용이 없다는 사실을 뒷받침하였다.⁷⁾

한편, 여러 종류의 조사처리식품을 사용하여 개를 대상으로 만성독성시험을 11건 수행하였다. 그 결과, 쥐와 마우스의 시험과는 달리 개에 대한 발암성의 평가는 실험설계에서 다소 부족함이 확인되었다(표 5-19). 이들 시험에서는 조사처리 된(0.74 kGy) 밀가루를 2년 간 개에게 급여하였을 때 갑상선염이 발생하였다. 그러나, 이 시험에서는 처리구 당 실험동물의 수가 암수 각 2마리 씩 사용되었으므로 결과의 통계적 분석이 불가능하였다.⁷⁹⁾ 전반적으로 개, 돼지 및 원숭이를 대상으로 한 조사처리식품의 만성독성시험에서는 조사처리식품의 부정적인 영향은 관찰되지 않았다.

결론적으로 실험동물을 대상으로 한 조사처리식품의 만성독성시험에서 쥐 30여 건, 마우스 18건, 개 11건 등의 보고내용은 대부분 고선량으로 조사처리된 식품을 일생동안, 또는 1년 이상 실험동물에 급여한 결과였으며, 전체적으로 보았을 때 일정한 경향을 나타내는 방사선조사의 부작용은 관찰되지 않았다.⁷⁾

표 5-19 마우스, 개, 돼지 및 원숭이를 대상으로 한 조사처리식품의 만성독성시험⁷⁾

| 동물 | 급여 식품 | 급여일 | 선량 (kGy) | 영향 |
|-----|--------------|-----|----------|--------------|
| 마우스 | 사료 | 730 | 60 | 성장과 수정 능력 저하 |
| | 밀가루 | 800 | 50 | 종양, 생존력 저하 |
| | 생선 | 560 | 1.75 | 무 |
| | 닭고기 | 730 | 59 | 무 |
| | 베이컨 | 750 | 55.8 | 무 |
| | 생선(대구, 농어) | 560 | 1.75 | 무 |
| | 감자 | 730 | 0.6 | 무 |
| | 베이컨기름 | 500 | 55.8 | 무 |
| | 돈육, 계육의 혼합물 | 800 | 55.8 | 심이(心耳) 확장 |
| | 계육 | 560 | 7 | 무 |
| | 계육 | 580 | 7 | 무 |
| | 참치, 우육 혼합물 | 730 | 55.8 | 무 |
| | 우육,돈육,생선 혼합물 | 365 | 27.9 | 무 |
| | 돈육,뇌,우육 혼합물 | 365 | 93 | 무 |
| | 옥수수기름,면실유 | 365 | 55.8 | 무 |
| | 돈육,계육 혼합물 | 600 | 55.8 | 무 |
| | 전분 | 742 | 6 | 무 |
| | 밀가루 | 999 | 2 | 무 |
| 개 | 바나나 | 730 | 4 | 무 |
| | 계육 | 999 | 59 | 무 |
| | 계육,우육,잼 | 730 | 55.8 | 무 |
| | 대합조개 | 728 | 8 | 혈중 요소태질소 감소 |
| | 양배추, 베이컨 | 730 | 55.8 | 무 |
| | 양파 | 540 | 0.2 | 무 |
| | 양파 | 540 | 1 | 무 |
| | 말기 | 730 | 3 | 무 |
| | 소맥분 | 730 | 0.74 | 갑상선염 |
| | 우육 | 728 | 55.8 | 무 |
| | 계육 | 365 | 6 | 무 |
| 돼지 | 감자 | 300 | 0.15 | 무 |
| 원숭이 | 쌀 | 730 | 1 | 무 |

④ 미국 랄텍(Raltech) 안전성평가 연구

미국 정부는 1976년부터 7년간 랄텍 프로젝트(Raltech Scientific Services, Inc.)를 통해 조사처리식품(닭고기)의 안전성평가 연구를 미 육군과 농무부 주관으로 수행하였다. 이 연구는 20개의 독립된 연구프

로젝트로 구성되었으며, 최고 60 kGy까지의 매우 높은 선량으로 방사선조사처리(탈기포장, -25℃)된 닭고기(chicken meat)을 대상으로 일반독성, 유전독성, 생식시험, 최기형성시험, 발암성, 영양학적 적격성 등에 대한 안전성시험이 체계적으로 이루어졌다. 사용된 실험동물의 종류는 쥐, 마우스, 개, 햄스터, 토끼, 과일파리 등이었으며, 총 4세대에 걸쳐 안전성평가 연구가 수행되었다. 실험동물에게 급여된 먹이는 일반 동물먹이(chow)를 대조군(normal control)으로 하여 동결 건조한 닭고기(freeze-dried), 가열처리한 닭고기(heat-treated), 전자선 처리한 닭고기(e-beam-treated), 감마선 처리한 닭고기(gamma-treated) 등으로 구성하여 총 식이량의 35%가 되도록 구성하였다. 이 같은 동물급여시험 결과들은 미국 FDA(Center for Food Safety and Applied Nutrition) 및 국립독성 프로그램의 기술보고서 평가위원회에 의해 안전성이 종합적으로 평가됨으로써 최고 68 kGy까지 조사처리된 식품의 안전성이 확인되었다. 본 안전성 시험에는 23만 두의 닭고기(약 300톤)가 급여시료로 사용되었고, 총 800만 불의 연구비가 소요되었다.^{7,80)} 전체적으로 볼 때 랄텍 연구는 방사선조사식품의 건전성과 안전성 평가를 위한 동물시험 중에서 통계적으로 가장 과학적인 연구로 평가되고 있다.^{7,39)}

(2) 사람을 대상으로 한 안전성시험이 있나요?

조사처리식품의 안전성 평가를 위한 인체실험은 미국, 중국 등에서 수행되었다. 미 육군은 25-40 kGy 범위의 높은 선량으로 조사처리된 54종의 식품을 젊은 자원자들에게 단기간 급여하였을 때 어떠한 부정적 영향도 관찰되지 않았다고 보고하였다. 하지만, 고선량 조사처리식품에서는 비타민 B₁과 비타민 C의 감소와 지방질 산패 및 갈색도가 증가하였다고 보고되었으나, 이 같은 현상은 가열처리에 비해 영향이 작았다고 하였다.⁸¹⁾ 1980년대 초반 중국에서는 400명의 자원자들에게

7-15주 동안 조사처리식품을 급여하면서 염색체의 이상 여부를 확인하였다. 그 결과, 대조군과 방사선조사군 간에 유의적인 염색체 이상이 관찰되지 않았고, 다배수염색체 발생률도 모두 정상범위를 보였다.⁸²⁾ 한편, 1970년대 중반 인도 국립영양연구소(NIN)에서는 영양부족 어린이와 실험동물에게 0.75 kGy로 조사처리 된 밀을 급여한 결과, 다배수염색체 세포의 발생빈도가 증가했다고 보고하였다.⁸³⁾ 하지만 본 연구는 그룹 당 5명의 어린이로부터 100개의 세포가 관찰되어 통계적으로 유의성 분석에서 문제가 지적되었다. 그 후 인도와 타 연구기관에서는 고선량(최고 45 kGy)으로 조사처리 된 밀 시료를 급여한 실험에서 그와 같은 부정적 연구결과는 확인되지 않았다.⁷⁾

또한, 중국에서는 남성(36명)과 여성(34명)으로 구성된 의대학생을 대상으로 조사처리식품을 3개월 간 급여하는 시험을 실시하였다. 이때 조사처리식품으로는 두류 및 그 제품(10종), 채소 및 과일(20종), 곡물(2종), 식육, 생선, 계육, 계란(30종), 조미식품(10종) 등을 포함한 식사를 제공하였었다. 이 때 육류는 8 kGy, 기타 식품류는 1-1.5 kGy 수준으로 조사처리하였으며, 1일 평균 섭취량은 채소 및 과일 300 g, 곡류 470 g, 육류 40 g 범위로 이들은 총 식사량의 60% 수준이 되도록 구성했다. 시험대상자들은 급여 개시 전 건강진단과 함께 염색체 수와 구조, 자매염색분체 교환, 림프세포의 소핵이 기록되었고, 소변의 에임즈 테스트도 실시되었다. 그 결과, 조사처리식품의 급여는 대학생들의 일상생활, 학습활동, 건강진단 등에서 처리군 간에 유의적 영향을 보이지 않았다. 시험대상 1인 당 100개의 분열중기 염색체를 관찰한 결과에서는 조사처리식품 섭취군과 대조군 간에 염색분체의 차이나 절단, 염색체 단편 등에 유의적 차이가 나타나지 않았다. 한편, 처리군 간에는 배수세포와 림프세포의 소핵에서 차이가 없었으며, 자매염색분체 교환시험에서도 조사처리식품 급여의 영향은 없었다. 또한, 처리

군 별 소변을 24시간 동안 수집하여 검사한 결과에서도 두 그룹 간에는 유의적인 차이가 확인되지 않았다. 이상의 결과를 바탕으로 지금까지 30여 개국에서 조사처리식품이 상업적으로 생산·활용되고 있음을 감안해 볼 때, 조사처리식품에 대한 더 이상의 인체실험은 필요하지 않다는 의견이 모아졌다.^{6,7,84)}

(3) 방사선분해산물의 안전성평가는 이루어졌나요?

이온화 작용을 지닌 전리방사선을 식품에 쪼이게 되면 자유라디칼(free radical)의 생성과 더불어 화학적 변화를 일으킬 수 있다. 식품에 존재하는 물은 전리방사선에 의해 이온화되어 주로 하이드록실 라디칼($\cdot\text{OH}$)과 수화전자(e^-) 등을 형성하며, 이들은 서로 반응하거나 식품 성분과 반응해서 실제로 안정한 물질로 만들어 진다. 따라서 식품이 소비자에게 공급될 때는 조사처리식품에 자유라디칼이 남아있을 가능성은 거의 없다. 그러나 일부 뼈를 함유한 동물성 식품이나 각질, 결정형 당 등을 함유한 식품에서는 조사처리에 따라 자유라디칼이 생성되어 일정기간 남아 있게 된다.⁸⁵⁾ 이들 자유라디칼들은 열처리, 튀김, 동결건조 등의 일반 식품가공이나 성분의 산화과정에서도 생성될 수 있는 자유라디칼로서 반응성이 크고 불안정한 구조를 지니고 있어서 타 성분과의 반응으로 안정한 물질로 전환된다. 결국, 방사선조사로 인해 생성된 자유라디칼들은 식품 내에 그대로 존재하는 경우는 거의 없으며, 미량으로 존재하여도 섭취 시 침이나 위액에 의해 제거되므로 안전성 측면에서는 문제시 되지 않는다.

이 같은 사실은 독일연방 Karlsruhe 영양연구소(1974)에서 수행된 실험에서 확인되었다. 즉, 45 kGy로 조사된 건조분유를 9세대에 걸쳐 실험동물에게 급여하였을 때 돌연변이나 종양 등 어떤 독성도 관찰되지 않았다고 보고하여, 조사처리식품에서 자유라디칼에 대한 안

전성이 입증된 바 있다.^{6,7)}

일반적으로 방사선분해산물(unique radiolytic products, URPs)의 특성은 조사처리식품의 구성성분에 의존하며, 대부분은 지질, 단백질 및 탄수화물로부터 유래된다. 조사처리식품으로부터 생성되는 URPs의 양은 식품에 쏘여진 처리선량(absorbed dose), 수분함량 등에 의해 영향을 받는다.¹⁴⁾ 화학성분 조성이 유사한 식품들은 방사선조사에 대해 비슷하게 반응하므로 한 식품의 방사선분해산물 관련 안전성 평가 정보는 다른 식품의 안전성 평가에도 적용이 가능하다. 이와 관련하여 FAO/IAEA/WHO는 이 같은 안전성평가 원칙에 대해 “화학적규명(chemiclearance)”이라는 용어로 부르게 되었다.^{7,16)}

조사처리식품에서 안전성에 우려를 가졌던 두 군의 화합물은 벤젠 및 그 유도체와 지방질 유래의 화합물이다. 미 연방 생물시험협회의 연구에서는 쇠고기에 56 kGy의 방사선을 조사하면 65종의 방사선화합물이 검출되며, 이 중 벤젠은 조사군에서 5 ppb, 비조사군에서 3 ppb가 검출되었다고 하였다.⁸⁶⁾ 이와 관련하여 동 전문위원회는 이 같은 미량의 벤젠은 아무런 위해를 일으키지 않는다고 결론을 내렸다. 또한, 캐나다 보건성(2002)은 쇠고기를 1.5-4.5 kGy 조사하였을 때 약 3 ppb의 벤젠이 생성될 수 있다고 발표하였다. 하지만, 이 같은 수준의 벤젠은 핫도그(300 ppb), 계란(62 ppb) 등에도 자연적으로 존재하며,⁸⁷⁾ 조사처리식품 유래의 벤젠은 위해성에 문제가 없는 수준이라고 하였다.⁷⁾

한편, 지방질 함유 식품에서는 방사선조사에 따라 지방산이나 트리아실글리세롤(triacylglycerol, TG)의 카르보닐기에 존재하는 산소로부터 전자가 이탈되어 그 지방산과 동일한 탄소수를 가지면서 2번째

표 5-20 추출방법 별 캐슈너트의 2-알킬싸이클로부타논(ACBs) 함량 비교⁷⁾

| 캐슈 너트(Cashew nut) 시료 (n=6) | 2-dDCB 함량 (µg/g) | 2-tDCB 함량 (µg/g) | 2-tDeCB 함량 (µg/g) |
|------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 비조사, 속슬렛(Soxhlet) + 실리카겔 칼럼 | 불검출 | 불검출 | 불검출 |
| 1 kGy, 속슬렛 + 실리카겔 칼럼 | 0.95±0.4 | 불검출 | 불검출 |
| 비조사, 추임계(SFE) 추출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 |
| 1 kGy, 추임계(SFE) 추출 | 0.30±0.10 | 0.13±0.06 | 불검출 |
| 비조사, 추임계 추출 + 박충크로마토그래피 | 2.70±1.71 | 1.0±0.08 | 0.52±0.01 |
| 1 kGy, 추임계 추출 + 박충크로마토그래피 | 6.12±0.82 | 2.06±0.40 | 0.8±0.10 |
| 비조사 신선너트, 추임계 추출 + 박충크로마토그래피 | 1.67±0.62 | 0.9±0.12 | 불검출 |

탄소위치에 알킬기를 지니는 환상화합물, 즉 2-알킬싸이클로부타논(2-alkylcyclobutanones, 2-ACBs)의 생성이 알려져 있다.⁸⁸⁾ 최근에는 그 유사체의 유전독성 가능성이 보고되기도 하였다.⁸⁹⁾ 그러나 지금까지 URPs로 알려진 2-ACBs는 표 5-20과 같이 천연 육두구(nutmeg)나 캐슈너트에도 존재한다는 사실이 밝혀졌다.³⁷⁾ 이에 따라 2-ACBs의 안전성 논의는 조사처리식품에 국한되지 않고, 일반식품에 존재하는 타 위해 관련 성분과 동일한 관점에서 접근되어야 한다고 지적하였다.⁷⁾

(4) 영양학적 안전성평가는 이루어졌나요?

조사처리식품의 영양학적 적격성에 대한 건전성 평가는 먼저 방사선처리조사가 실제 처리식품에 심각한 영양 손실을 가져오는지를 고려해야 한다. 또한 조사처리에 의해 영향을 받기 쉬운 영양성분이 주요한 급원영양소인지가 중요하다. 대부분 식품의 조리나 가열은 조사처리식품에 비해 더 많은 영양소의 손실을 가져온다.⁴⁰⁾ 조사처리식품이 일반 가공식품이나 무처리 식품과 영양학적으로 유의적 차이가 없다는 견해는 많은 종류의 고단백 식품의 단백질효율성 측정 등 많은 동물실험 결과에서 밝혀졌다. 조사처리가 식품의 필수아미노산에 유의

적인 영향을 미치지 않는다는 사실이 육류나 어류를 비롯한 많은 식품에서 밝혀졌다. 비타민에 대한 방사선조사의 연구에서 순수 비타민 용액은 조사처리에 의해 파괴가 크지만, 식품 중에서는 영향이 비교적 적어 식품 전체의 영양적 품질에는 뚜렷한 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다.⁶⁾

식품조사처리에 의한 비타민의 손실정도는 식품의 종류, 비타민의 종류, 저장조건 등에 따라 영향을 받게 된다. 일부 비타민은 방사선저항성이 있지만, 그 외의 비타민은 조사처리에 의해 영향을 받을 수 있다. 식품가공에서 비타민 손실의 중요성은 전체 식사에 대한 그 식품의 기여율에 의존한다. 예를 들어 향신료의 비타민 손실은 우려할 필요가 없으나 돼지고기의 비타민 B₁ 손실은 돼지고기가 식사에 중요한 부분을 차지하는 사람들에게는 문제 시 될 수 있다.^{6,39)} 무기질이나 미량성분은 방사선감수성이 낮아서 조사처리에 의한 손실이 일어나지 않는다. 더욱이 조사처리에서 조사온도, 공기 존재여부, 조사처리 후 저장조건 등은 영양소의 안정성에 영향을 미치게 된다. 대부분의 경우 진공상태와 저온에서 조사처리를 하면 식품의 비타민 손실과 그 외 성분들의 변화를 줄일 수 있다. 또한 조사처리식품은 밀봉된 상태로 저온저장하면 영양학적 품질 저하를 방지할 수 있다.^{7,12,16,40,90-92)}

그 동안 세계적으로 수행된 연구결과를 정리하면 다음과 같다.^{40,92,93)}

- ① 저선량(1 kGy 이하) 조사에서 영양성분의 감소는 거의 문제가 되지 않는다.
- ② 육류, 어패류 등을 탈기포장하여 10 kGy 이하를 조사하면 영양성분의 감소는 무시할 수 있다.
- ③ 고선량(10-75 kGy) 조사에서 진공포장과 동결상태 조사처리는 영양성분 감소가 적다.

- ④ 수용성비타민의 방사선감수성은 비타민 B₁ > C > pyridoxine > riboflavin > folic acid > cobalamin > nicotinic acid 등의 순이다.
- ⑤ 지용성비타민은 상대적으로 조사처리에 대해 안정하여 비타민 E > 카로틴 > 비타민 A > 비타민 K > 비타민 D 등의 순이다. 그러나 비타민의 방사선안정성은 가열조리와 큰 차이가 없거나 오히려 안정하다.
- ⑥ 필수아미노산은 증기멸균에서는 11-27% 분해되지만, 60 kGy의 조사처리에서는 비교적 안정한 경향을 보인다.

(5) 미생물학적 안전성평가는 이루어졌나요?

조사처리식품의 미생물학적 안전성은 우수제조기준(GMP) 하에서 허가된 선량으로 방사선을 처리할 경우 문제가 없다고 밝혀졌다.^{12,39)} 식품조사처리는 만능의 기술이 아니다. 부패되었거나 오염되어 변질된 식품을 조사처리에 의해 원상태로 회복시킬 수 없다. 또한 방사선 조사로 인해 미생물 관련 병원성이나 독성, 방사선저항성이 높아진 돌연변이 균주를 유도할 수 있다는 우려는 과학적으로 증거가 없다. 가열처리식품에서 미생물의 내열성이 문제시 되지 않는 것처럼 조사처리식품에서도 방사선 내성 미생물의 존재가 문제시 되지 않는다. 한편, 독소를 생산하는 곰팡이는 방사선조사에 의한 돌연변이로 독소생성량이 증가한다는 지적이 있으나, 조사처리 후 발생하는 변이주의 대부분은 독소생산 능력이 저하되거나 없어진다. 이와 같이 아플라톡신 생성 곰팡이나 보툴리눔(*Clostridium botulinum*) 세균의 경우에도 GMP 조건 하에서 생산·관리될 경우 문제시 되지 않는다.^{39,90)}

식품조사기술의 응용분야는 대부분 10 kGy 이하의 조사선량에서 그 목적이 달성된다. 그러나 조사처리 이후에도 생존하는 미생물이 유

해균인지에 대해서는 확인이 필요하다. 대체로 병원성대장균, 살모넬라균, 리스테리아균, 장염비브리오균, 포도상구균 등의 병원성미생물은 방사선감수성이 매우 크므로 쉽게 사멸되며,¹³⁾ 조사처리 후 식품에 잔존할 수 있는 미생물들은 대부분 증식이 낮은 부패미생물로 알려져 있다.⁹²⁾ 이와 같이 식품의 미생물 살균을 위한 조사처리에서 생존하는 미생물의 돌연변이에 의한 독소생성이나 내방사선, 내열성, 내약제성 등의 가능성은 없는 것으로 알려졌다.^{7,93)}

(6) 방사선학적 안전성평가는 이루어졌나요?

조사처리식품의 안전성 평가에서 방사선학적 측면의 의문은 조사식품에 유도방사능(induced radioactivity)의 존재가능성 여부이다. 그러나 국제적으로 승인된 조사선원(radiation source)은 에너지가 낮아 방사능이 유도될 가능성이 전혀 없다.^{16,39)} 모든 생체 및 식품에는 ⁴⁰K, ¹⁴C 등의 자연방사능과 기타 미량의 방사성동위원소들이 존재한다. 따라서 우리는 자연방사능을 피할 수 없이 섭취하기 때문에 성인의 몸에는 7,500 베크렐(Bq) 수준의 자연방사능이 존재한다.¹⁰⁾ 그러면 식품에 방사선에너지를 조사하면 방사능이 더 증가할까? 아니다. 안정한 원소가 방사능(radioactivity)을 띠기 위해서는 일정수준 이상의 역치에너지(MeV)가 필요하다. 그러나 이 역치에너지 이하에서는 방사선조사량이 높아도 방사능을 유도하지 못한다. 따라서 조사처리식품의 안전성을 고려하여 식품조사처리에 이용될 수 있는 최대 에너지는 전자선 10 MeV 이하, X선 5 MeV 이하로 허용하고 있다.¹⁶⁾ 이 수준의 에너지에서는 50 kGy로 조사하여도 식품에 방사능이 검출되지 않는다. 이는 영국 하웰연구소에 의해 이론적, 실험적 결과로 재확인되었다.⁹⁴⁾ 조사처리식품의 방사선학적 안전성 평가와 관련하여 미국 Natick 연구소에서는 전자선 유도 방사능 생성에 관한 연구를 수행하였고, 11 MeV 이하의 에너지로 조사처리 된 육류에서는 유도

방사능이 검출되지 않았다고 보고하였다. 그리고 영국과 프랑스에서는 조사처리식품의 유도방사능 평가시험에서(1970년대) 10-11 MeV의 전자선과 5-10 MeV의 X선은 자연방사능 수준에 지나지 않았다고 밝혔다.^{92,93)}

결론적으로 식품조사처리에서는 에너지가 낮은 코발트-60(⁶⁰Co)으로부터 발생하는 1.17 및 1.33 MeV의 감마선과 세슘-137(¹³⁷Cs)로부터 발생하는 0.66 MeV의 감마선이 허가되어 있다. 또한 10 MeV 이하의 전자선과 5 MeV 이하의 X선이 국제적으로 허가되어 있다. 이때 X선을 5 MeV 이하로 제한하는 것은 전자선에 비해 중성자 발생량이 많기 때문이다.^{7,16,17)}

(7) 방사선조사처리 된 포장재는 안전한가요?

식품의 조사처리에서 대부분의 대상 식품은 이미 포장되어 있다. 따라서 식품포장재에 대한 방사선조사의 영향에 관심이 크다. 원칙적으로 조사처리는 포장재 자체의 성질에 영향을 주지 않아야 한다. 왜냐하면 포장재의 변화는 내부 식품에 오염을 가져올 수 있기 때문이다. 조사처리식품에 사용되는 많은 식품포장재들에 대해 이미 안전성 검토가 이루어졌다. 미국, 캐나다, 인도, 폴란드 등 여러 나라에서는 식품조사처리에 사용되는 포장재들을 승인하였다.⁴⁰⁾ 그러나 유리 재질은 조사처리로 인해 색상이 변할 수 있다. 어떤 경우에는 포장재들이 식품포장에 사용되기 전 미리 방사선으로 멸균처리하기도 한다. 사실 액상 및 반고체 식품의 다양한 포장재들은 사전에 방사선멸균처리 되고 있으며, 경우에 따라서는 포장필름의 강도나 내열성 개선을 위해 방사선기술이 이용되고 있다.⁶⁾

(8) 국내 조사처리식품의 안전성 평가

국내에서는 1960년대 후반부터 식품조사처리에 대한 연구가 시작되어 저장효과, 품질변화, 이용분야 개발 등에 관한 많은 결과를 얻었다. 그러나 조사처리식품을 실험동물에 급여하면서 생체내에서의 영향을 체계적으로 평가한 연구는 그리 많지 않다. 대표적인 사례로 우리 전통식품인 인삼분말에 10 kGy를 조사처리하여 안전성평가를 수행하였다. 1989-1995년에 걸쳐서 4개 연구기관(국립보건안전연구원, 서울대학교 천연물과학연구소, 한국원자력연구원, 원광대학교 의과대학)이 공동으로 독성학적, 약리·기능적, 영양·품질적 측면의 시험을 통해 안전성과 적격성을 증명한 바 있다. 또한, 한국원자력연구원에서는 조사처리 한약재의 유전독성학적 안전성 평가 연구를 수행한 바도 있다. 아울러, 1997-2006년 동안에는 학·연이 공동으로 참여하는 조사처리(10-30 kGy)된 축육(쇠고기, 돼지고기, 닭고기), 냉장·냉동 수산식품 및 전통발효식품(장류, 젓갈류, 김치)의 영양학적, 미생물학적, 독성학적 및 유전독성학적 연구가 수행되어 안전성에 문제가 없는 것으로 확인하였다.^{7,95,96)}

5.5.3 방사선조사식품의 안전성에 대한 국제적 평가요약

지난 4~50년 동안 조사처리식품에 대한 영양적 적격성과 독성학을 기초로 한 안전성평가 연구가 광범위하고도 과학적으로 이루어졌다. 이는 현재 이용되고 있는 어떠한 식품가공법보다도 안전성에 대한 평가 연구가 체계적으로 장기간 수행되었다. 이상의 연구들은 조사처리 식품이나 주요 영양소의 동물실험, 조사처리 된 화학물질이나 특수성분에 대한 생체내 및 생체의 시험으로써 변이원성시험, 화학물질의 구조, 생성 및 반응성 시험으로 이루어졌다. 동시에, 조사처리식품의 건전성 평가를 위해 독성학적, 방사선학적, 방사선화학적, 미생물학적

안전성과 영양학적 적격성을 종합적으로 검토하였다. 이 같은 반세기 이상의 안전성 연구 결과에 대한 FAO/IAEA/WHO 전문평가위원회의 결론은 다음과 같으며, 이로써 국제적으로 식품조사기술의 타당성과 건전성이 공식적으로 인정되었다.^{7,67,92)}

- [1961] FAO/IAEA/WHO 공동 식품조사 안전성 평가 최초 회의 소집 및 “조사식품건전성전문가위원회(Joint Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food(JECFI)” 설립
- [1970] FAO/IAEA 및 OECD는 WHO의 권유에 따라 24개국 이 참여한 식품조사 분야 국제과제 신설
- [1980] JECFI(조사식품건전성전문가위원회)에서 “총 평균 10 kGy까지 조사된 어떠한 식품도 독성학적 장애를 일으키지 않으며, 독성 실험은 더 이상 필요가 없다고 결론을 내렸으며, 모든 식품에 대하여 10 kGy까지 조사한 것은 영양학적 및 미생물학적 문제를 일으키지 않는다고 발표
- [1982] 식품미생물국제위원회 및 미생물협회 식품미생물국제연맹은 식품조사처리의 안전성에 관한 증거 재확인. 1980년 JECFI의 결정을 인정하면서 식품조사처리는 건강에 대하여 어떠한 장애도 일으키지 않는다고 결론
- [1983] WHO/FAO 국제식품규격위원회(Codex Alimentarius Commission) 이 “조사처리식품에 대한 일반기준(General Standard)와 “식품 조사시설 운영에 대한 권장실행기준(Recommended International Code of Practice)”의 채택과 회원국에 활용 권고
- [1986] EC 과학분과위원회는 동물실험은 더 이상 필요 없다는 평가를 인정, 조사처리식품의 안전성을 확인하고 1980년 JECFI의 결론 인준
- [1992] WHO에서는 최근 조사처리식품의 안전성을 재평가하면서

GMP 조건 하에서 따라 조사처리기술이 이용된다면 영양학적으로나 미생물학적으로 전혀 문제가 없다고 발표. 안전한 식품의 조리를 위한 WHO의 황금률(The WHO Golden Rules for Safe Food Preparation)에서 “가능하면 이온화 방사선으로 처리된 신선하고 냉동된 가금육(닭 등)의 선택” 권고

- [1994] WHO에서 1982년 이후 발표된 안전성 연구 자료와 문헌을 평가하여 “조사식품의 안전성 및 영양학적 적격성에 대한 재평가보고서”를 통해 10 kGy 이하로 조사된 식품의 안전성 재확인
- [1995] 한국 전통식품 인삼에 대한 감마선조사의 안전성 연구가 4개 연구기관(국립보건안전연구원, 서울대 천연물과학연구소, 한국원자력연구원, 원광대학교)에 의해 5년간 수행하여 독성학적, 약리·효능적 및 품질적 측면에서 안전성 입증
- [1997] FAO/IAEA/WHO 합동회의로 열린 『고선량 (10-70 kGy) 조사식품의 안전성에 관한 전문가연구회의』에서 “기존 허용기준보다 10배 이상 높여도 아무런 건강상의 위험은 없으며, 특히 음식을 조리할 때 불이 지나치면 타서 못 먹는 것처럼 방사선도 과량 조사하면 유해물질이 생성되기 전에 맛과 품질이 변하므로 “최대선량을 제한할 필요가 없다”는 결론을 내리고, 각국에 WHO 프레스(press) 공표
- [1999] FAO/IAEA/WHO 전문가 합동으로 『10 kGy 이상 고선량 조사식품의 안전성과 건전성에 관한 기술보고서』를 각국 정부기관에 배포

이상과 같이 방사선조사식품에 대한 안전성과 영양학적 적격성에 대한 WHO/FAO/IAEA와 International Organization of Consumers Union(IOCU, 국제소비자연맹)의 결론은 첫째, 식품조사처리는 사람의 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있는 독성학적 변화를 일으키지 않

으며; 둘째, 식품조사처리는 미생물학적 위험을 증가시키지 않으며, 셋째, 인류의 영양 상태에 부작용을 가져올 수 있는 영양소의 손실을 초래하지 않는다고 발표하였다.^{7,39,40)}

5.6 조사처리식품의 허가 및 관리규정이 있나요?

5.6.1 조사처리식품에 대한 Codex 일반규격^{7,17)}

(1) 범위(Scope)

이 규격은 위생규범(hygienic codes), 식품규격 및 운송규범(transportation codes)과 관련되어 사용되는 이온화 조사처리된 식품에 적용된다.

(2) 공정의 일반요건(General requirements for the process)

① 방사선조사 에너지원(Radiation source)

다음과 같은 형태의 이온화 에너지를 식품조사처리(food irradiation)에 사용할 수 있다.

- (a) 방사선핵종(radionuclides) ^{60}Co 또는 ^{137}Cs 으로 조사되는 감마선(gamma rays)
- (b) 5 MeV 에너지 또는 그 이하에서 작동되는 기계에서 발생하는 X선
- (c) 10 MeV 에너지 또는 그 이하에서 작동되는 기계에서 발생하는 전자(electrons)

② 조사처리 허용량(Absorbed dose)

모든 조사처리식품의 최소 흡수선량(absorbed dose)은 기술적 목적을 달성하기에 충분해야 하며, 최대 흡수선량은 식품의 건전성을 손상

표 5-21 WHO/FAO/IAEA 및 Codex의 식품조사처리 국제적 합의규격^{7,12)}

| 식품군 | 조사처리 목적 | 기술적 선량범위 (kGy) | |
|--|--|---------------------------|--------------------------|
| | | (min) | (max) |
| 식품군 1: 구근류, 근채류, 괴경식물 | 저장 중 발아억제 | 0.05 | 0.2 |
| 식품군 2: 생과일 및 신선야채류 | a) 속도지연 b) 해충구제 c) 저장성 연장 d) 검역관리* | 0.3 0.3 1.0 0.15 | 1.0 1.0 2.5 1.0 |
| 식품군 3: 곡류 및 그 분말류, 견과류, 유지종자, 두류, 건조과일 | a) 해충구제 b) 미생물 감균 c) 발아억제(밤) | 0.3 1.5 0.1 | 1.0 5.0 2.0 |
| 식품군 4: 어류, 해산물, 개구리다리, 민물 및 육상무척추동물(신선 및 냉동) | a) 병원성미생물 감균** b) 저장성 연장 c) 기생충 감염관리** | 1.0 1.0 0.1 | 7.0 3.0 2.0 |
| 식품군 5: 가금육과 적색육 및 그 육제품 (신선 또는 냉동) | a) 병원성미생물 감균** b) 저장성 연장 c) 기생충 감염관리** | 1.0 1.0 0.5 | 7.0 3.0 2.0 |
| 식품군 6: 건조채소류, 향신료, 양념류, 동물사료, 건약재 또는 약용차 | a) 병원성미생물 감균** b) 해충구제 | 2.0 0.3 | 10.0 1.0 |
| 식품군 7: 동물 근원의 건조식품 | a) 해충구제 b) 곰팡이 억제 c) 병원성미생물 감소 | 0.3 1.0 2.0 | 1.0 3.0 7.0 |
| 식품군 8: 전통식품과 기타식품 - 건강식품, 환자식용 전통식품, 아라비아검 및 기타 증량제, 군 식량, 꿀, 우주식량, 특수향신료, 액상란(卵) | a) 미생물 감균 b) 멸균 c) 검역관리 | | *** *** *** |

* 최소선량은 특정 해충이나 병원균에 대해 정해질 수 있음.
 ** 최소선량은 식품의 위생적 품질을 보장하기 위해 처리 목적을 고려하여 정함.
 *** 특정 목적과 식품 원료에 대해 정해지는 최대 선량.

시키거나 구조 및 기능상의 특성 또는 관능적 특성에 나쁜 영향을 미쳐서는 안 된다. 식품에 흡수되는 최대선량은 10 kGy를 초과해서는

아니 된다. 단, 특정한 기술적 목적을 달성하고자 하는 경우는 예외이다(표 5-21).

③ 시설 및 공정 관리(Facilities and control of the process)

- (a) 조사처리식품은 승인된 시설에서 처리되어야 하며 관계당국에 등록되어야 한다.
- (b) 조사처리시설은 식품가공의 우수제조관리기준(GMP), 안전성 및 효율성 규정에 부합하도록 설계되어야 한다.
- (c) 조사처리시설은 적절하게 훈련된 책임자가 관리 감독해야 한다.
- (d) 시설 내부의 공정관리에는 선량측정(dosimetry)을 포함한 기록을 작성·보관해야 한다.
- (e) 시설(facilities)과 기록(records)은 관계당국에 의해 조사받아야 한다.
- (f) 조사처리시설의 관리는 “식품조사처리 권장 실행기준 (Recommended International Code of Practice for Radiation Processing of Foods, CAC/RCP 19-1979)”에 따라 수행되어야 한다.

(3) 조사처리식품의 위생(Hygiene of irradiated foods)

- ① 조사처리식품은 식품 위생을 위하여 적용되는 HACCP의 7가지 원칙을 적용함과 아울러 “권장 실행기준 - 식품위생 일반원리(Recommended International Code of Practice - General Principles of Food Hygiene, CAC/RCP 1-1979, Rev.3-1997)”의 조항에 따라 위생적으로 제조, 가공 및 운송되어야 한다. 원재료 및 최종제품의 기술적 규정은 관련 부분에서 위생규범, 식품규격 및 운송규범과 부합되어야 한다.

- ② 각 국가에서 판매되는 조사처리식품은 적용 가능한 미생물학적 안전성 및 영양학적 적절성에 영향을 미치는 국가의 관련 공중보건 규정을 준수해야 한다.

(4) 기술적 요구조건(Technological requirements)

① 일반 요구조건(General requirement)

식품의 조사처리는 기술적 조건(technical objective)을 충족하고 소비자 건강의 보호에 이득이 있을 경우에만 정당화된다. 조사처리는 우수위생기준(GHP) 및 우수제조관리기준(GMP) 또는 우수농산물관리제도(GAP)의 대체방법으로 사용되어서는 안 된다.

② 식품의 품질 및 포장 요구조건(Food quality and packaging requirements)

조사처리량은 기술적 및 공중보건의 목적 달성을 위해 균일하게 조사처리 되어야 하며, 우수방사선처리기준(good radiation processing practice)과 일치해야 한다. 조사처리식품과 포장재는 품질이 적당해야 하며, 위생조건을 충족하고 방사선조사 전과 후에 적절히 취급해야 한다. 우수제조관리기준에 따라 공정의 기술적 조건이 고려되어야 한다.

(5) 재조사(Re-irradiation)

- ① 수분함량이 낮은 두류, 곡류, 탈수식품 및 기타 식품에 해충 구제를 목적으로 조사처리 하는 것을 제외하고는 동 규격의 조항 2와 4에 따라 방사선조사식품은 재조사(再照射) 되어서는 안 된다.

② 다음과 같은 경우에는 재조사로 간주하지 않는다.

- (a) 식품안전성을 목적으로 하는 것 이외에 저 선량으로 조사된 재료로 제조된 조사처리식품

(b) 조사처리 된 재료가 5% 미만으로 함유된 식품을 재조사하였을 때

(c) 바람직한 효과를 달성하기 위한 이온화 조사처리의 최대선량은 특정 기술적 목적을 위한 가공의 일부분으로써 한 가지 이상의 이점이 있을 때는 재조사 가능

③ 재조사 처리에 의한 최대 축적조사량(cumulative overall average dose)은 10 kGy를 초과해서는 안 된다. 단, 타당한 기술적 목적을 달성하고자 하는 경우는 제외되며, 소비자 안전에 나쁜 영향을 미치거나 식품의 건전성을 손상시켜서는 안 된다.

(6) 조사처리 후 검증(Post-irradiation verification)

필요한 경우, 그리고 적용하고자 하는 경우에는 공인된 표시(labeling) 규정과 조사처리식품 확인법을 사용할 수 있다. 조사식품 확인분석법은 Codex 국제식품규격위원회에서 채택한 방법을 이용해야 한다.

(7) 조사표시(Labelling)

① 재고품 목록 규제(Inventory control)

포장 여부와 관계없이 조사처리식품의 경우 관련 선적기록부(shipping documents)를 통해 등록된 조사시설, 조사처리 날짜, 로트(lot) 등의 자료를 확인할 수 있어야 한다.

② 직접 섭취를 목적으로 하는 포장식품(Prepackaged foods intended for direct consumption)

포장된 조사처리식품(prepackaged irradiated foods)의 표시는 Codex General Standard for the Labelling of Prepackaged Foods (CODEX STAN 1-1985, Rev.2-1999)의 적절한 규정과 일치해야 한다.

③ 벌크 컨테이너 식품(Foods in bulk containers)

조사처리의 표시를 적절한 선적문서(shipping documents)에 표시해야 한다. 벌크 상태로 최종 소비자에게까지 판매되는 제품의 경우에는 국제 조사식품 로고(logo)와 “조사처리 된(irradiated)” 또는 “이온화 에너지로 처리된(treated with ionizing radiation)”을 제품의 포장에 제품명과 함께 표시해야 한다.

이상과 같이 조사처리식품에 대한 Codex 일반규격에서 표시기준을 바탕으로 각국은 자체 표시기준을 정하여 운영하고 있다. EU의 경우는 대부분 Codex 기준에 따르며, 미국은 조사처리 된 완제품에 표시도안과 “조사처리(treated by irradiation; treated with radiation)” 표기를 규정하고 있다.

표 5-22는 식품안전정보원의 “해외 주요국 식품의 방사선조사 허용 현황 및 표시기준” 보고서⁷⁾ 자료에 한국의 표시기준을 추가한 것으로, 국내의 표시기준은 상대적으로 매우 엄격하다.⁹⁾

국내에는 7포인트 이상의 크기로 완제품은 소비자가 알아보기 쉬운 장소에, 조사처리한 원재료를 사용한 식품의 경우는 “원재료명 및 함량”란에 그 “조사처리” 한 내용을 표시하도록 규정하고 있다. 표시사항은 완제품은 조사처리를 나타내는 문구와 조사도안을, 조사처리한 원재료를 사용한 식품은 원재료명에 괄호로 “조사처리”로 표시한다. 조사처리 한 복합원재료를 표시할 경우는 조사처리 한 복합원재료명과 그 원재료명 5개 이상 표시[예시: 조사처리 한 ○○복합원재료명 (원재료명 5개 이상 표시)], 조사처리 식품의 일괄표시는 [조사처리 한 원재료(감자, 마늘, 양파 등)] 등으로 표시한다. 또한, 어떤 원재료가 조사처리 되었는지 확인하기 어려운 경우에는 “조사처리 된 원재

표 5-22 주요 국가 별 조사처리식품의 표시제도 비교⁹⁷⁾

| 국가 | 표시방법 | | |
|--------------|----------------------------|---|---|
| | 표시범위 | 표시위치 | 방사선조사 마크 표시 여부 등 |
| EU/ Codex | 방사선조사 대상 식품 전체 | 제품 라벨, 벌크 식품인 경우 진열대에 표시 | 방사선조사(처리) 문구 표시 |
| 독일 | 방사선조사 대상 식품 전체 | 식품 제공 형태에 따라 별도 지정 | 방사선조사(처리) 문구 표시 |
| 미국 | 방사선조사 대상 식품 전체 | - | 방사선조사 마크 표시 (포장 식품) |
| 호주 | 방사선조사 대상 식품 전체 | - | 방사선조사(처리) 문구만 표시 |
| 일본 | 방사선 조사 식품 | 용기포장을 열지 않고도 쉽게 볼 수 있는 위치에 표시 | 방사선조사 문구 및 조사일 표시 |
| 중국 | 방사선조사 대상 식품 전체 | 이온화 방사선 또는 이온화 에 너지 처리한 식품의 경우, 식 품명 부근에 '조사식품'이라 고 표기, 배합원료의 경우 배 합원료표에 표기 | 조사처리식품 마크, '조사식 품' 표기(포장식품), 벌크 식 품은 명세서에 '이온화 조사 되었음' 표기 |
| 대만 | 방사선조사 대상 식품 전체 | - | 방사선조사 마크 표시 |
| 한국 | 방사선조사 대상 식품 및 원재료 전체 | 소비자가 알아보기 쉬운 위치 (도안). 원재료 사용 식품은 "원 재료명 및 함량"란에 표기 | 방사선조사 마크 표시(완제품) 및 문구 표기(원재료 경우 "원 재료명 및 함량"란에 조사처리 내용 표시) |

료 일부 함유” 또는 “일부 원재료 조사처리” 등의 내용으로 표시할 수 있다.⁹⁾

5.6.2 조사처리식품의 국가별 허가현황은?

세계적으로 식품의 조사처리와 관련된 제 규정이 Codex 규격으로 제정되어 있다.¹⁷⁾ 현재 한 품목 또는 여러 종류의 식품(군)에 대하여 조사처리를 허가한 국가는 60여 개국에 이른다. 1960년대에는 미국, 영국, 구소련 등 8개국, 1970년대에는 일본, 프랑스, 이탈리아, 남아공 등 10개국, 1980년대 이후에는 우리나라를 포함한 아르헨티나, 벨기에, 이스라엘, 태국 등 21개국이다. 이들 나라들의 지역별 분포를 보면 미주, 유럽, 아시아·태평양, 아프리카, 중동 등의 순으로 대부분 산업화된 국가들이 식품조사기술의 허가와 실용화에 선도적인 입장이다. 이들 국가들이 허가하고 있는 식품류들은 총 230여 종의 식품(군)으로서 대부분의 식품이 포함되어 있으나, 우유나 유제품은 제외된다.^{2,7,98)}

표 5-23은 식품조사처리가 허가된 60여 개국의 허가품목을 나타낸 것이다. FAO/IAEA 및 Codex의 식품조사처리 국제적 합의규격을 바탕으로 모든 식품을 8개 군(classes)으로 구분하여 분류하였다. Class 1은 구근류, 근채류, 괴경식물, Class 2는 생과일과 채소류, Class 3은 곡류 및 그 분말, Class 4는 어류와 해산물, Class 5는 가금육, 육류 및 그 제품, Class 6은 건조채소와 향신료, Class 7은 동물성 건조식품, Class 8은 기타식품으로 분류되어 있다. 국가별 주요 허가식품으로는 감자, 마늘, 양파 등 발아억제 대상 근채류 농산물을 시작으로 향신료를 포함한 건조식품류가 가장 대표적인 품목이다.^{12,98)}

표 5-23 식품에 대한 조사처리 허가 국가 및 품목 수^{7,98)}

| 국 명 | 허가품목 수 | 국 명 | 허가품목 수 |
|------------------------|----------------------|----------|------------------|
| 아르헨티나 | 9 | 멕시코 | 모든 식품 |
| 알제리 | 모든 식품 | 독일 | 5 |
| 방글라데시 | 모든 식품 / 7그룹(classes) | 네델란드 | 12 |
| 벨기에 | 25 | 노르웨이 | 3 |
| 브라질 | 모든 식품 | 파키스탄 | 4 |
| 이집트 | 8 | 필리핀 | 모든 식품 |
| 캐나다 | 6 | 폴란드 | 8 |
| 칠레 | 15 | 남아프리카공화국 | 모든 식품 |
| 중국 | 15 | 스페인 | 2 |
| 리비아 | 6 | 스웨덴 | 3 |
| 쿠바 | 17 | 시리아 | 모든 식품/7그룹 |
| 체코 | 모든 식품 / 4그룹 | 태국 | 19 |
| 덴마크 | 3 | 터키 | 모든 식품/7그룹 |
| 핀란드 | 4 | 영국 | 모든 식품/7그룹 |
| 프랑스 | 21 | 우루과이 | 1 |
| 헝가리 | 3 | 미국 | 모든 식품/ 1그룹+18 |
| 인도 | 모든 식품/2그룹+13 | 베트남 | 모든 식품/7그룹 |
| 인도네시아 | 모든 식품/1그룹+7 | 유고 | 23 |
| 이란 | 1 | 일본 | 1 |
| 이스라엘 | 모든 식품/2그룹+10 | 한국 | 29 |
| 이탈리아 | 6 | 러시아연방 | 모든 식품/1그룹+5 |
| 코스타리카 | 16 | 우쿠라이나 | 모든 식품/ 1그룹+15 |
| 오스트리아 | 3 | 룩셈부르크 | 3 |
| 오스트랄리아 | 11 | 뉴질랜드 | 12 |
| 리비아 | 6 | 포르투갈 | 3 |
| 잠비아 | 모든 식품 | 튀니지 | 8 |
| 사우디아라비아 | 모든 식품 | 페루 | 모든 식품 |
| 파라과이 | 모든 식품 | 볼가리아 | 3 |
| 크로아티아 | 모든 식품/7그룹+7 | 가나 | 모든 식품 |
| WHO/FAO/IAEA, Codex | 모든 식품 허가 (3그룹) | | |

5.6.3 식품조사처리에 허가된 포장재가 있나요?

식품의 안전성 확보를 위한 방사선에너지의 조사처리는 대부분 포장된 상태의 식품이나 원료가 대상이다. 포장용 필름에 고선량의 방사선이 쏘여지면 수소, 저분자 탄화수소, 할로젠화 다량체(polymer) 등이 생성될 수 있다.⁹⁹⁾ 그러므로 식품포장재에 대한 조사처리의 영향이 고려되어야 하며, 따라서 조사처리 대상 식품용 포장재는 허용된 것들이 사용된다. 표 5-24는 각국에서 조사처리식품에 사용이 허가된 포장재이며, 캐나다의 경우 에틸렌비닐아세테이트 공중합체, 섬유판 왁스, 폴리에틸렌, 폴리스틸렌 폼 등의 포장재를 허용하고 있다. 영국의 경우는 판지, 다중종이재 포대 등에 대해 허용하고 있고, 인도 및 폴란드의 경우 다층폴리에틸렌 필름을 식품조사처리에 사용할 수 있는 포장재로 허가하고 있다.⁴⁰⁾ 미국의 경우는 포장용기에 대한 포장재질별 조사처리 허용선량을 CFR179.45(표 5-25)로 관리하고 있으며, 최저 0.5 kGy(크라프트 종이/kraft paper)에서 최고 60 kGy까지를 포장재의 종류에 따라 허용하고 있다.⁷⁾

표 5-24 식품조사처리에 사용이 허가된 포장재^{2,40)}

| 포장재 | 최고선량 (kGy) | 국가 ²⁾ | 허가 연도 |
|--|------------|------------------|--------------------|
| Cardboard | 10 / 35 | UK / Poland | 1991 ³⁾ |
| Polyethylene coextruded polyvinylacetate | 30 | USA, Canada | 1988 |
| Polyethylene-co-vinylacetate | 30 | USA | 1989 |
| Fibreboard | 10 | India | 1997 |
| Fibreboard, wax coated (boxes) | 10 | USA, Canada | 1989 |
| Glassine paper | 10 | USA | 1975 |
| Glass | 10 | India | 1997 |
| Hessian sacks | 10 | UK | 1991 ³⁾ |
| Kraft paper | 0.5 | USA | 1975 |

| 포장재 | 최고선량 (kGy) | 국가 ²⁾ | 허가 년도 |
|---|---------------|----------------------|--------------------|
| Nitrocellulose-coated cellophane | 10 | USA, India | 1975 |
| Nylon 11 | 10 | USA, India | 1975 |
| Nylon 6 | 60 / 10 | USA / India | 1975 |
| Paper | 10 / 35 | UK / Poland | 1991 ³⁾ |
| Paper coated or laminated with wax or polyethylene | 10 / 35 | India / Poland | 1990 |
| Paper laminated with aluminium foil | 35 | Poland | 1990 |
| Polyamide film or polyamide coextruded | 35 | Poland | 1990 |
| Polyester-metallized-polyethylene laminate | 35 | Poland | 1990 |
| Polyester-polyethylene laminate | 35 | Poland | 1990 |
| Polyethylene film (various densities) | 60/35/10 | USA / Poland / India | 1975 |
| Polyethylene-paper-aluminium laminate | 35 | Poland | 1990 |
| Polyethylene-terephthalate | 60 | USA | 1975 |
| Polyolefin (low-density as middle or sealant layer) | | Canada | 1989 |
| Polyolefin (high-density as external layer) | | Canada | 1989 |
| Polyolefin film | 10 | USA | 1975 |
| Polypropylene sacks | 10 / 35 | UK / Poland | 1990 ³⁾ |
| Polypropylene-metallized | 35 | Poland | 1990 |
| Polystyrene film | 10 | USA / India | 1975 |
| Polystyrene foam trays (Styron 685 D) | 10 | Canada / India | 1989 |
| Rubber hydrochloride film | 10 | USA / India | 1975 |
| Steel, tin plated or enamel lined | 10 | India | 1997 |
| Vegetable parchment | 60 / 10 | USA / India | 1975 |
| Vinylchloride-co-vinylacetate film | 60 / 10 | USA / India | 1975 |
| Vinylidenechloride-coated cellophane | 10 | USA | 1975 |
| Vinylchloride-co-vinylidenechloride film | 10 | USA / India | 1975 |
| Wood | 35 / 10 | Poland / India | 1990 |
| Viscosa | 35 | Poland | 1990 |

¹⁾ Adapted from reference 466 with permission updated by the Secretariat of the International Consultative Group on Food Irradiation, September 1997.

²⁾ Approvals: USA 1975; Canada 1989; Poland 35 kGy, 1986; UK 1991; India 10 kGy, 1996; earliest date of approval is cited.

³⁾ For dry herbs.

표 5-25 미국의 식품조사처리에 허용된 포장재 (21 CFR 179.45, USA, 2007)^{2,40)}

| 21 CFR Reference | 포장재료 | 최고 선량 [kGy] |
|------------------|---|-------------|
| Section 179.45 | Nitrocellulose-coated cellophane | 10 |
| | Glassine paper | 10 |
| | Wax-coated paperboard | 10 |
| | Polyolefin film | 10 |
| | Kraft paper | 0.5 |
| | Polyethylene terephthalate film (basic polymer) | 10 |
| | Polystyrene film | 10 |
| | Rubber hydrochloride film | 10 |
| | Vinylidene chloride-vinyl chloride copolymer film | 10 |
| | Nylon 11 [polyamide-11] | 10 |
| Section 179.45 | Ethylene-vinyl acetate copolymer | 30 |
| Section 179.45 | Vegetable parchment | 60 |
| | Polyethylene film (basic polymer) | 60 |
| | Polyethylene terephthalate film | 60 |
| | Nylon 6 [polyamide-6] | 60 |
| | Vinyl chloride-vinyl acetate copolymer film | 60 |

5.6.4 국내 조사처리식품의 허가기준 및 규격⁹⁾

(1) 식품의 조사처리기준

국내의 식품조사 관련 산업화는 1985년 대통령령(제11717호)에 의해 식품조사처리업이 신설되면서 시작되었다. 이어 1986년에 식품위생법이 개정되면서 법적인 근거가 마련되었다. 국내의 식품에 대한 식품조사처리 기준은 식품공전(2019. 10)의 “제 2. 식품일반에 대한 공통 기준 및 규격, 3. 식품일반 기준 및 규격, 6) 식품조사처리 기준”에 따른다.

※ 식품조사처리 기준

- ① 식품조사처리에 이용할 수 있는 선종은 감마선, 전자선 또는 엑스선으로 한다.
- ② 감마선을 방출하는 선원으로는 ⁶⁰Co을 사용할 수 있고, 전자선을 방출하는 선원으로는 전자선가속기를 이용할 수 있다.
- ③ ⁶⁰Co에서 방출되는 감마선에너지를 이용할 경우 식품조사처리가 허용된 품목별 흡수선량을 초과하지 않도록 하여야 한다.
- ④ 전자선가속기를 이용하여 식품조사처리를 할 경우 10 MeV 이하에서 조사처리 하여야 하며, 식품조사처리가 허용된 품목별 흡수선량을 초과하지 않도록 하여야 한다.
- ⑤ 엑스선을 이용하여 식품조사처리를 할 경우 5 MeV 이하에서 조사처리 하여야 하며, 식품조사처리가 허용된 품목별 흡수선량을 초과하지 않도록 하여야 한다.
- ⑥ 식품조사처리는 승인된 원료나 품목 등에 한하여 위생적으로 취급·보관된 경우에만 실시할 수 있으며, 발아억제, 살균, 살충 또는 속도조절 이외의 목적으로는 식품조사처리기술을 사용하여서는 아니 된다.
- ⑦ 식품별 조사처리기준은 다음과 같다. 즉, 허용대상 식품별 흡수선량은 표 5-26과 같다.
- ⑧ 한 번 조사처리 한 식품은 다시 조사하여서는 아니 되며, 조사처리식품(irradiated food)을 원료로 사용하여 제조·가공한 식품도 다시 조사하여서는 아니 된다.

표 5-26 국내 허용대상 식품별 식품조사처리 목적 및 흡수선량⁹⁾)

| 품목 | 조사목적 | 선량(kGy) |
|----------------------|---------|---------|
| 감자 양파 마늘 | 발아억제 | 0.15 이하 |
| 밤 | 살충·발아억제 | 0.25 이하 |
| 버섯(건조 포함) | 살충·속도조절 | 1 이하 |
| 난분 | 살균 | 5 이하 |
| 곡류(분말 포함), 두류(분말 포함) | 살균·살충 | 5 이하 |
| 전분 | 살균 | 5 이하 |
| 건조식육 | 살균 | 7 이하 |
| 어류분말, 패류분말, 갑각류분말 | 살균 | 7 이하 |
| 된장분말, 고추장분말, 간장분말 | 살균 | 7 이하 |
| 건조채소류(분말 포함) | 살균 | 7 이하 |
| 효모식품, 효소식품 | 살균 | 7 이하 |
| 조류식품 | 살균 | 7 이하 |
| 알로에분말 | 살균 | 7 이하 |
| 인삼(홍삼 포함) 제품류 | 살균 | 7 이하 |
| 조미건어포류 | 살균 | 7 이하 |
| 건조향신료 및 이들 조제품 | 살균 | 10 이하 |
| 복합조미식품 | 살균 | 10 이하 |
| 소스 | 살균 | 10 이하 |
| 침출차 | 살균 | 10 이하 |
| 분말차 | 살균 | 10 이하 |
| 특수의료용도등 식품 | 살균 | 10 이하 |

(2) 조사처리식품의 표시기준

※ 조사처리식품의 세부표시기준

[식품의약품안전처 고시 제2018-108호 「식품 등의 표시기준」 일부를 다음과 같이 개정한다. 2019. 10. 28. 개정]

① 표시대상

- 가. 식품위생법 제7조에 따라 조사처리가 허용된 식품에 조사처리 한 경우(완제품)
- 나. 가목의 식품 중 확인시험법이 고시된 식품을 원재료로 사용하여 식품을 제조·가공한 경우(조사처리한 원재료 사용 식품)

② 표시방법

가. 활자크기 및 표시장소

- (1) 활자크기(공통사항) : 7포인트 이상으로 표시
- (2) 표시장소

가) 제1호 가목에 해당하는 완제품의 경우 소비자가 알아보기 쉬운 장소에 표시사항을 표시

나) 제1호 나목에 해당하는 조사처리한 원재료를 사용한 식품의 경우 “원재료명 및 함량”란에 그 조사처리 한 내용을 표시

나. 표시사항

- (1) 제1호 가목에 해당하는 완제품의 경우 : 조사처리 된 식품임을 나타내는 문구 및 조사도안



(2) 제1호 나목에 해당하는 조사처리한 원재료를 사용한 식품의 경우

가) 개별 원재료명과 함께 표시 : 원재료명 및 함량 표시란에 해당 원재료명에 괄호로 “조사처리”로 표시[예시: “양파(조사처리)”, “조사처리마늘” 등]

나) 조사처리 원재료를 일괄표시

(1) 조사처리 한 복합원재료 표시 : 조사처리 한 복합원재료명과 그 원재료명 5개 이상 표시 [예시: 조사처리 한 ○○복합원재료명(원재료명 5개 이상 표시)]

(2) 조사처리 한 식품을 일괄표시 : 조사처리 한 원재료를 괄호로 하여 일괄 표시 [예시 : 조사처리 한 원재료(감자, 마늘, 양파 등)]

다) 어떤 원재료가 조사처리 되었는지 확인하기 어려운 경우에는 “조사처리 된 원재료 일부 함유” 또는 “일부 원재료 조사처리” 등의 내용으로 표시할 수 있다.

5.6.5 조사처리식품의 확인시험법⁹⁾

(1) 연구 배경

조사처리식품(irradiated food)은 안전성이 기술적 타당성과 국제적으로 인정되었지만, 소비자들은 조사처리식품과 조사되지 않은 식품을 자유롭게 선택할 수 있기를 바란다. 이를 위해서는 조사된 식품의 표시(labelling)가 필수적이며, 표시규정의 준수를 유도하기 위해서는 조사처리여부를 확인(identification)하는 방법이 필요하다.^{36,100)} 식품은 방사선에너지를 흡수하면 피조사체 식품 자체에 물리적, 화학적 및 생물학적 변화를 일으킬 수 있다. 이 같은 변화를 바탕으로 조사처리식품의 확인방법에 대한 연구가 활발히 이루어졌다. 특히 조사처리식품 확인방법에 관한 FAO/IAEA의 세계적 프로그램과 유럽프로그램¹⁰¹⁾은 조사처리식품 확인기술 분야의 과학적 기초를 구축하는 데 큰 기여를 하였다(표 5-27).

식품의 조사처리 여부를 확인하는 정성적인 분석은 흡수선량(absorbed dose)을 측정하는 정량적 분석보다 더 중요할 수 있다. 왜냐하면 식품조사처리는 자기제어(self-controlling) 특성을 지니고 있기 때문이다. 다시 말해 식품에 고선량의 방사선을 조사처리하면 불쾌한 냄새가 나고 조사비용도 높아지므로, 조사처리업자(irradiation processor)나 식품생산자(food processors/users)는 최소한의 선량으로 목적하는 효과를 거두고자하기 때문이다. 따라서 식품의 조사처리는 좁은 선량범위에서 다양하게 적용되므로 흡수선량의 측정은 부가적인 요구조건이라 할 수 있다.^{7,36,100)}

이 같이 조사처리식품에 대한 신뢰성 있는 확인방법의 필요성이 강조되면서 분석법의 기본조건을 제시하였다. 즉, 비조사 대조구

표 5-27 조사처리식품의 조사여부 확인을 위한 분석방법^{7,100)}

| 확인방법(Identification methods) | 대상 식품(Candidates of irradiated foods) |
|---|---|
| <p>[물리적 방법, Physical method] 열발광법(Thermoluminescence, TL)</p> <p>광자극발광법 (Photostimulated luminescence, PSL), 전자스핀공명법 (Electron spin resonance, ESR)</p> <p>점도측정법(Viscosimetry) 임피던스법(Impedance)</p> | <p>향신료, 허브류, 복합조미료, 어패류, 과일류, 채소류, 곡류, 두류 등</p> <p>향신료, 허브류, 어패류 등 배류, 과일류, 너트류, 갑각류, 건조과일 및 채소류, 파프리카, 페퍼류 등</p> <p>페퍼류, 잔분, 곡류 등 감자</p> |
| <p>[화학적 방법, Chemical methods] 탄화수소류분석법(Hydrocarbons, GC/MS)</p> <p>2-알킬싸이클로부타논분석법, 2-Alkylcyclobutanones, GC/MS) 가스발생법(Gas evolution, GC/MS)</p> | <p>육류, 난류, 어류, 두류, 과일류 등</p> <p>육류, 난류, 육가공품 육류, 가금육, 소시지 등</p> |
| <p>[생물학적 방법, Biological methods] 발아(Germination) DEFT/APC(죽은 균+생균/생균) 유전자코메트분석법(DNA Comet assay)</p> | <p>두류, 시트러스류, 곡류 등 향신료, 허브류, 복합조미료 육류, 어류, 어패류, 과일류, 두류 등</p> |

(non-irradiated control)가 없어도 조사여부 판정이 가능해야 하고, 조사 후 유통·저장기간 동안에도 분석·적용이 가능해야 한다. 특히, 분석법의 간편성, 신속성, 저비용, 보편성, 재현성 등의 기준을 만족

시키면서 표준화가 용이하고 교차교정(cross calibration)이 가능해야만 한다.^{100,101)}

(2) 유럽기준(CEN) 및 Codex법

유럽 국가가 중심으로 조사처리식품의 확인방법 연구가 시작되면서 세계 30여 실험실간 맹검시험(blind trial)이 진행되고 분석방법의 표준화가 추진되었다. 이를 바탕으로 1996년에는 표 5-28에 나타난 5개 확인시험법 기준이 CEN(European Committee for Standardization)에 의해 채택되었다.¹⁰²⁻¹⁰⁷⁾ 이는 많은 국가들의 분석법 설정에 근거를 제공하였으며, 더욱이 2001년에는 Codex 일반기준으로 채택되었고, 2003년에는 표 5-29와 같이 전면 개정되었다.¹⁰⁸⁾ 이 같은 확인법 기준은 국가 간 식품조사처리 제 규정과 관련하여 조사식품의 교역관리에 활용될 수 있도록 조화(harmonization)가 이루어져야 한다.^{36,100)}

표 5-28 CEN에 의해 채택된 조사처리식품 확인법의 유럽표준법^{2,7,100)}

| 기준 번호 | 대상 식품 |
|---------|--|
| EN 1784 | 식품류 : 지방질 함유 식품류 - 탄화수소류 기체크로마토그래피 분석 |
| EN 1785 | 식품류 : 지방질 함유 식품류 - 2-알킬사이클로부탄논의 기체크로마토그래피/매스스펙트로미터(GC/MS) 분석 |
| EN 1786 | 식품류 : 벼 함유 식품류 - 전자스핀공명(ESR) 분석 |
| EN 1787 | 식품류 : 셀룰로오스 함유 식품류 - 전자스핀공명(ESR) 분석 |
| EN 1788 | 식품류 : 실리케이트 무기질 함유 식품류 - 열발광(TL) 분석 |

표 5-29 조사처리식품의 확인을 위한 방법^{2,7,108)}

| 조항 | 품목 | 확인법 | 원리 | 비고 ¹⁾ |
|-----------|------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------|
| 조사처리식품 확인 | 지방질 함유 식품 | EN 1784:1996 | 탄화수소류의 GC/MS분석 | 타입 II |
| 조사처리식품 확인 | 지방질 함유 식품 | EN 1785:1996 | 2-알칼싸이클로부타논 (ACBs)의 GC/MS 분석 | 타입 III |
| 조사처리식품 확인 | 벼 함유 식품 | EN 1786:1996 | 전자스핀공명(ESR) 분석 | 타입 II |
| 조사처리식품 확인 | 셀룰로오스 함유 식품 | EN 1787:2000 | 전자스핀공명(ESR) 분석 | 타입 II |
| 조사처리식품 확인 | 실리케이트 무기질 함유 식품 | EN 1788:2001 | 열발광 분석(TL) | 타입 II |
| 조사처리식품 확인 | 실리케이트 무기질 함유 식품 | EN 13751:2002 | 광자극발광 분석(PSL) | 타입 III |
| 조사처리식품 확인 | 결정형 당 함유 식품 | EN 13708:2001 | 전자스핀공명(ESR) 분석 | 타입 II |
| 조사처리식품 확인 | 허브류, 향신료, 다진 고기류 | EN 13783:2001 NMKL 137(2002) | 죽은 균/생 균(DEFT/APC) (스크리닝법) | 타입 III |
| 조사처리식품 확인 | 유전자(DNA) 함유 식품 | EN 13784:2001 | 유전자코메트법 (스크리닝법) | 타입 III |

¹⁾타입 II: 기준법(reference methods); 타입 III: 대체인정법(alternate approved methods)

(3) 국내기준 (식품공전)⁹⁾

국내 조사처리식품의 확인방법에 대한 연구는 1990년대부터 시작되었다. 식품공전에는 조사처리식품의 확인시험법을 2009년 처음 개정·고시되었고, 2010년 1월부터 시행하게 되었다. 아울러, 축산물 관련 업무가 농림축산식품부에서 식품의약품안전처로 이관되면서 『축산물의 가공 및 성분규격』이 2018년 1월 1일부터 『식품의 기준 및 규격』으로 통합되었다. 국내의 조사처리식품 확인시험법은 CEN 및 Codex 시험법에 준하여 광자극발광법(PSL), 열발광법(TL), 전자스핀공명법(ESR), 기체크로마토그래피/질량분석법(GC/MS) 등에 의한 국내 식품

표 5-30 국내 식품공전에 등재된 조사처리식품의 확인시험법

| 분 석 법 | 대 상 식 품 | 비고(분석마커) |
|---|--|---|
| 유전자코메트 분석법 (Comet assay) | 냉동 및 냉장 식육(우육, 돈육, 계육) | 혜성꼬리 (comet tail) (스크리닝법) |
| 광자극발광법 (Photostimulated luminescence, PSL) | 건조향신료(단, 육두구, 후추, 정향 제외), 고춧가 루, 마늘, 양파 | 광자수 (photon counts) (스크리닝법) |
| 열발광법 (Thermoluminescence, TL) | 후추, 육두구, 정향, 밤, 버섯, 감자, 건조채소류, 향신료조제품, 곡류, 두류, 어패류분말, 된장분 말, 고추장분말, 간장분말, 전분, 효모·효소식품, 알로에분말, 인삼(홍삼 포함) 제품류, 복합조미식 품, 조류식품, 분말차, 침출차, 소스류, 2종 이상 이 혼합된 식품과 광물질(silicate minerals) 분 리 가능한 식품 | 글로곡선/비 (glow curves/ TL ratio) (확증법) |
| 전자스핀공명법 (Electron spin resonance spectroscopy, ESR) | 셀룰로오스 함유 식품 (피스타치오 껍질, 딸기), 결정형 당 함유 식품 (건포도, 건파파야, 건망고, 건우화과), 벼 함유 식품(우육, 돈육, 계육 등의 벼 함유 식품) | 자유라디칼 (free radicals) (확증법) |
| 기체크로마토그래프/ 질량분석법(GC/MS) | 식육, 난분 등 지방 함유 식품 | 탄화수소류 (hydrocarbons) (확증법) |

류의 연구결과를 벨리데이션(validation) 과정을 거쳐 기준이 설정되었
다. 따라서 현재 감마선, 전자선 및 엑스선조사 허가식품을 대상으로
시행되고 있다(표 5-30).

다음은 국내 식품공전에 등재된 조사처리식품 확인시험법에 대해
아래와 같이 소개한다.^{7,9,100)}

「식품의 기준 및 규격」 일부개정고시 <2018. 7. 13>

제7. 10. 10.2를 다음과 같이 한다.

10.2 식품조사처리 확인시험

10.2.1 유전자코메트 분석법(Comet Assay)

가. 시험법 적용범위

냉동 및 냉장 식육(우육, 돈육, 계육)에 적용한다.

나. 분석원리

이온화 조사처리는 세포의 유전자에 손상을 일으키며 이러한 유전자의 손상된 정도를 단일세포의 마이크로젤 전기영동법을 이용하여 코메트 세포를 측정함으로써 조사처리 여부를 검지하는 방법이다.

다. 장치 및 기구

- 1) 형광항체현미경(FITC Filter 494 nm)
- 2) 전기영동장치
- 3) 코메트 슬라이드

라. 시약 및 시액

- 1) 20 mM EDTA-PBS
- 2) Trypan blue stain
- 3) Low melting point agarose
- 4) Lysis Solution : 2.5 M NaCl, 100 mM EDTA, 10 mM Tris base, 1% sodium lauryl sarcosinate, 0.01% TritonX-100, 10% Dimethyl Sulfoxide
- 5) TBE Buffer : 90 mM Tris-borate, 3 mM EDTA, pH 8.5
- 6) TE Buffer : 10 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA, pH 7.5
- 7) SYBR Green 형광염색액

마. 검체 조제

- 1) 시료의 표층부분을 제거한 후, 예리한 메스날 등을 사용하여 육중심부의 근육조직을 얇게 잘라내어 약 1 g 정도 채취하고 이를 교차하면서 잘게 세절 하여 다진 다음 냉장된 20 mM EDTA-PBS에 1:10의 비율(w/v)로 부드럽게 혼합한다.
- 2) 이를 200 μm 및 100 μm 나일론 여과포로 2회 여과한 다음 trypan blue stain(0.4%)용액으로 염색하여 살아 있는 세포수를 계산하고 냉장 PBS로 약 10^5 cell/mL이 되도록 세포수를 조정한다.

바. 시험 조작

- 1) 세포 부유액을 42 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지된 0.5% low melting point agarose와 약 1:10(v/v) 비율로 혼합한 즉시 약 50 μL 를 채취하여 신속하게 코메트 슬라이드에 고르게 펴고 약 5 $^{\circ}\text{C}$ 냉암소에서 10분간 경화한다.
- 2) 이를 약 5 $^{\circ}\text{C}$ 냉암소에서 세포용해액(lysis solution)에 완전히 침지된 상태로 약 28분 동안 반응시킨다.
- 3) 코메트 슬라이드와 경화된 agar 주변의 세포용해액을 흡수지로 신속하게 제거한 후, TBE Buffer(pH 8.5)에 완전히 침지하여 약 5분 동안 2회 반복하여 완충시킨다.
- 4) 즉시 코메트 슬라이드를 TBE buffer(pH 8.5)로 채워진 전기영동조에 넣어 완전히 침지시킨 상태에서 전압 1 V/cm(예: 27 cm 길이의 전기영동조의 경우 전압은 약 27V, 전류는 약 28 mA) 조건으로 19분 동안 전기영동 시킨다.
- 5) 전기영동 후 즉시 코메트 슬라이드 위에 미리 준비한 형광염색용액 두 세 방울을 떨어뜨려 형광염색한다. 형광염색용액은 SYBR green을 DMSO로 약 10배 희석하여 냉동

(-20℃ 이하)보관하고 이를 사용 할 때에 TE buffer로 희석 (1:1,000, v/v)하여 사용한다.

사. 판정

1) 형광항체현미경(FITC Filter 494 nm) 100배에서 200배 확대 비율로 전체적인 코메트세포의 형태를 관찰하여 조사처리 여부를 일차적으로 판단한다(그림 5-17).

가) 코메트세포(comet cell)의 형태가 원형 또는 난원형을 띠면서 comet tail 현상이 전체적으로 일정하게 나타나는 경우 조사처리된 것으로 판단한다.

나) 코메트세포(comet cell)의 형태가 원형 또는 난원형을 띠면서 코메트꼬리 (comet tail) 현상이 거의 나타나지 않는 경우 조사처리 되지 않은 것으로 판단한다.

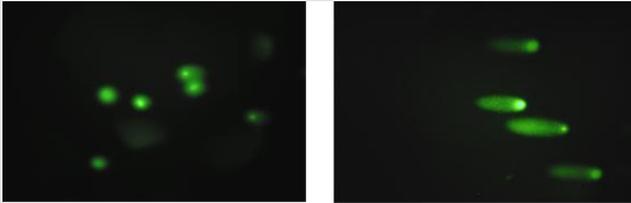


그림 5-17 비조사 육류(좌)와 조사된 육류(우)의 코메트 세포 (형광항체현미경 200배)

2) 1)의 가)과 같이 조사처리된 것으로 판단된 시료에 대해서는, 형광항체 현미경 200배에서 눈금자(1 cm 길이, 눈금단 위 10 μm)가 있는 대안렌즈를 사용하여 코메트 슬라이드의 중앙부분에 위치한 comet cell(시료 하나에 75개 이상)의 Comet head 직경과 Comet tail(comet head 중간 부분에서 comet tail 끝 부분까지의 길이)의 길이를 신속하게 측정한다

다음, comet tail의 길이에 대한 comet head 직경의 비율을 계산하여 다음의 기준에 따라 조사처리 여부를 판정한다(표 5-31).

- 가) 1)의 가)에 해당되고 comet head의 직경에 대한 comet tail 길이의 비율이 육류 별로 1 kGy 조사 시료의 평균치 이상인 경우에는 양성으로 판정하고, 전자스핀공명법이나 기체크로마토그래프/질량분석법을 적용하여 조사처리 여부를 최종 판정한다.
- 나) 1)의 나)에 해당되고 comet head의 직경에 대한 comet tail 길이의 비율이 육류 별로 비 조사 시료의 평균치 이내인 경우(음성), 조사처리 되지 않은 것으로 판정한다.
- 다) 부분적인 comet tail 현상이 나타나고 comet head 직경에 대한 comet tail 길이의 비율이 육류 별로 비조사처리 시료의 평균치 이상에서 1 kGy 조사된 시료의 평균치 이하의 범위에 해당되는 경우 의양성으로 판정하고, 재 실험을 실시하여 다시 의양성으로 판정되는 경우에는 조사처리 되지 않은 것으로 판정한다.

표 5-31 조사처리 육류의 코메트세포 측정 및 흡수선량 평가 결과

| 선량 (kGy) | 코메트세포 (μm) | | | 코메트꼬리/ 코메트머리 | 선량평가(%) | 검지정확도(%) | |
|-------------|-------------------------|---------------|-------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| | 코메트머리 (직경) | 코메트꼬리 (길이) | 전체 길이 | | 정확히 평가된 시료 수 / 시료 수(%) | 정확히 검지된 시료 수 / 시료 수(%) | |
| 0 | FC ¹ | 3.91 ± 0.91 | 2.63 ± 0.52 | 4.58 ± 0.73 | 0.71 ± 0.20 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CC ² | 3.94 ± 0.88 | 2.55 ± 0.51 | 4.52 ± 0.74 | 0.67 ± 0.18 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FP ³ | 4.0 ± 0.88 | 2.62 ± 0.52 | 4.62 ± 0.73 | 0.68 ± 0.19 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CP ⁴ | 4.07 ± 0.90 | 2.57 ± 0.53 | 4.60 ± 0.18 | 0.66 ± 0.18 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FGP ⁵ | 4.04 ± 0.87 | 2.67 ± 0.57 | 4.69 ± 0.78 | 0.69 ± 0.19 | 9 / 10 (90.0) | 9 / 10 (90.0) |
| | FB ⁶ | 4.07 ± 0.88 | 2.63 ± 0.54 | 4.66 ± 0.76 | 0.67 ± 0.19 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CB ⁷ | 3.96 ± 0.89 | 2.56 ± 0.52 | 4.54 ± 0.76 | 0.67 ± 0.18 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FGB ⁸ | 4.01 ± 0.88 | 2.61 ± 0.52 | 4.62 ± 0.74 | 0.68 ± 0.18 | 9 / 10 (90.0) | 9 / 10 (90.0) |
| 1 | FC | 3.35 ± 0.72 | 4.88 ± 1.60 | 6.54 ± 1.77 | 1.47 ± 0.42 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CC | 3.29 ± 0.39 | 4.73 ± 1.12 | 6.36 ± 1.21 | 1.45 ± 0.32 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FP | 3.37 ± 0.72 | 4.94 ± 1.64 | 6.62 ± 1.81 | 1.49 ± 0.44 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CP | 3.31 ± 0.38 | 4.76 ± 1.12 | 6.39 ± 1.21 | 1.45 ± 0.31 | 9 / 9 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FGP | 3.39 ± 0.71 | 4.50 ± 1.62 | 6.66 ± 1.79 | 1.49 ± 0.44 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FB | 3.42 ± 0.68 | 4.97 ± 1.74 | 6.67 ± 1.87 | 1.47 ± 0.48 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CB | 3.26 ± 0.37 | 4.72 ± 1.05 | 6.33 ± 1.14 | 1.45 ± 0.30 | 9 / 9 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FGB | 3.44 ± 0.69 | 5.03 ± 1.71 | 6.74 ± 1.83 | 1.48 ± 0.48 | 9 / 10 (90.0) | 10 / 10 (100.0) |
| 3 | FC | 2.94 ± 0.50 | 6.55 ± 2.05 | 8.02 ± 2.18 | 2.23 ± 0.62 | 9 / 10 (90.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CC | 3.19 ± 0.50 | 7.15 ± 1.90 | 8.74 ± 2.03 | 2.26 ± 0.57 | 9 / 10 (90.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FP | 2.98 ± 0.50 | 6.74 ± 2.14 | 8.23 ± 2.26 | 2.28 ± 0.67 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CP | 3.12 ± 0.50 | 6.93 ± 1.96 | 8.49 ± 2.08 | 2.23 ± 0.58 | 9 / 9 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FGP | 2.97 ± 0.45 | 6.74 ± 2.08 | 8.22 ± 2.21 | 2.29 ± 0.64 | 9 / 10 (90.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FB | 2.93 ± 0.50 | 6.60 ± 2.12 | 8.07 ± 2.24 | 2.26 ± 0.66 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CB | 3.03 ± 0.48 | 6.77 ± 1.92 | 8.29 ± 2.03 | 2.25 ± 0.61 | 9 / 9 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FGB | 2.93 ± 0.50 | 6.80 ± 2.12 | 8.28 ± 2.24 | 2.33 ± 0.68 | 9 / 10 (90.0) | 10 / 10 (100.0) |
| 5 | FC | 2.49 ± 0.56 | 8.46 ± 1.94 | 9.58 ± 2.07 | 3.58 ± 1.23 | 9 / 10 (90.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CC | 2.51 ± 0.56 | 7.79 ± 2.08 | 8.96 ± 2.18 | 3.25 ± 1.23 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FP | 2.50 ± 0.63 | 8.56 ± 2.20 | 9.76 ± 2.20 | 3.75 ± 1.83 | 9 / 10 (90.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CP | 2.48 ± 0.55 | 7.79 ± 2.08 | 8.93 ± 2.17 | 3.28 ± 1.23 | 9 / 9 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FGP | 2.48 ± 0.62 | 8.55 ± 2.20 | 9.74 ± 2.20 | 3.77 ± 1.83 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FB | 2.44 ± 0.62 | 8.56 ± 2.23 | 9.75 ± 2.22 | 3.84 ± 1.86 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | CB | 3.14 ± 0.48 | 7.20 ± 1.87 | 8.77 ± 1.98 | 2.31 ± 0.59 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |
| | FGB | 2.45 ± 0.62 | 8.59 ± 2.23 | 9.76 ± 2.22 | 3.84 ± 1.86 | 10 / 10 (100.0) | 10 / 10 (100.0) |

FC¹: 냉동계육, CC²: 냉장계육, FP³: 냉동돈육, CP⁴: 냉장돈육, FGP⁵: 냉동분쇄돈육, FB⁶: 냉동우육, CB⁷: 냉장우육, FGB⁸: 냉동분쇄우육, 각 시료의 코메트세포 측정 평균치 ± 표준편차.($p < 0.05$), 시료 당 측정된 코메트세포 수($n=300$), 전체 시료 수: 320(식육 종류 별 각 각 40개).

10.2.2 광자극발광법(Photostimulated luminescence, PSL)

가. 시험법 적용범위

건조향신료(단, 육두구, 후추, 정향 제외), 고춧가루, 마늘, 양파에 적용한다.

나. 분석원리

식품에 혼입된 이물질인 광물질의 발광 특성을 이용하는 방법으로서 광물질은 조사처리에 의하여 에너지가 저장되고 일정온도의 적외선에 노출되면 에너지를 방출하는데 이때 방출하는 빛의 양을 측정하여 조사처리 여부를 판정하는 방법이다.

다. 장치 및 기구

- 1) 광자극발광분석장치(PSL system) : 시료 챔버(sample chamber), 광자극원 (stimulation source), 광물질측정시스템으로 구성된다.
- 2) 페트리접시(플라스틱, 지름 50 mm)
- 3) 무균대

라. 표준 검체

- 1) 조사검체 : 5~10 kGy사이의 선량으로 조사처리된 파프리카분말 250 g
- 2) 비조사검체 : 조사처리 되지 않은 파프리카분말 250 g

마. 검체 조제

- 1) 모든 검체조제는 차광조건으로 무균대에서 한다.
- 2) 검체는 마늘, 양파의 경우 껍질을 페트리접시에 담을 수 있는 크기로 절단하고, 분말검체 및 기타검체의 경우는 골고루 혼합하여 페트리접시에 바닥이 보이지 않도록 고르게 펼쳐 담는다. 각 검체에 대하여 2개의 검체를 조제한다.

바. 시험조작

- 1) 모든 시험조작은 차광조건에서 한다.
- 2) 검체가 담긴 페트리접시를 PSL 기기에 넣어 60초 동안 방출되는 광자를 측정하며 2개 검체에 대한 측정값들을 최종 측정값으로 한다(예 : 400, 430). 다만, 2개의 측정값 간에 7) 판정이 다를 때에는 4회 추가시험을 하여 총 6회 측정값 중 가장 높은 2회 측정값을 최종 측정값으로 한다.

사. 판정

- 1) 일반적으로 광자극발광법(PSL)은 조사처리 여부를 스크리닝할 때 사용하는 방법으로서 측정값이 T_1 (700 count/60초) 미만이면 음성대조시료(negative, 조사처리되지 않은 검체)로 판정하고, T_2 (5,000 count/60초) 초과이면 양성검체(positive, 조사처리된 검체)로 한다.
- 2) 측정값이 $T_1 \sim T_2$ 의 값을 나타내면 중간검체(intermediate, 조사처리 여부를 판단할 수 없는 검체)로 한다.
- 3) 양성검체와 중간검체는 최종 확인시험으로 10.2.3 열발광법에 따라 시험하여 그 결과의 판정에 따른다.

10.2.3 열발광법(Thermoluminescence, TL)

가. 시험법 적용범위

- 1) 광자극발광법에 따라 판정할 경우 열발광법이 요구되는 대상 식품
- 2) 후추, 육두구, 정향, 밤, 버섯(건조 포함), 감자, 건조채소류(분말 포함), 향신료조제품, 곡류(분말 포함), 두류(분말 포함), 어류분말, 패류분말, 갑각류분말, 된장분말, 고추장분말, 간장분말, 전분, 효모식품, 효소식품, 알로에

분말, 인삼(홍삼 포함) 제품류, 복합조미식품, 조류식품, 조미건어포류, 특수의료용도등식품, 분말차, 침출차, 소스류, 2종 이상이 혼합된 식품과 광물질(silicate minerals)이 분리가 가능한 식품에 적용한다.

나. 분석원리

열발광법(Thermoluminescence)은 식품에 혼입된 이물질인 광물질의 발광 특성을 이용하는 방법으로서 광물질은 조사처리에 의하여 에너지가 저장되고 일정온도의 열에 노출되면 에너지를 방출하는데 이때 방출하는 빛의 양을 측정하여 조사처리 여부를 판정하는 방법이다.

다. 장치 및 기구

- 1) 열발광분석장치(Thermoluminescence detection system)
- 2) 측정용기 : 검체측정용 컵(지름 9 mm~10 mm, 두께 0.25~0.5 mm 정도) 또는 스테인리스 디스크
- 3) 초음파장치
- 4) 나일론 여과포(pore size 125 μm 또는 250 μm)
- 5) 원심분리기
- 6) 건조기 : $50 \pm 5^\circ\text{C}$
- 7) 재조사 처리 장치(^{60}Co , 전자선발생장치)

라. 용어의 정의

- 1) TL 강도 : 주어진 온도상승률에 따라 온도범위에서 검출된 빛의 양
- 2) 글로우곡선(Glow curve) : 온도에 따른 TL 강도의 변화
- 3) 글로우 1(Glow 1) : 광물질로부터 측정된 글로우곡선(glow curve)
- 4) 글로우 2(Glow 2) : 글로우 1을 측정된 광물질에 조사할

선량(일반적으로 1 kGy, 저선량인 감자, 마늘, 양파의 경우 0.25 kGy의 선량을 이용함)으로 재조사(re-irradiation)하고 동일한 조건으로 측정된 글로우곡선(glow curve)

5) TL 비(TL ratio) : 주어진 온도범위에서 글로우 2의 TL 강도 면적값에 대한 글로우 1의 TL 강도 면적값의 비(글로우 1의 TL 강도 면적값 / 글로우 2의 TL 강도 면적값) 일반적으로 온도범위는 150~250℃ 범위가 적용되나, 기기가 바뀌거나 명확하지 않을 경우 표준광물질을 사용하여 글로우곡선(glow curve)을 측정하여 온도범위를 설정할 수 있음

6) 공시험 : 검체없이 검체조제 과정과 시험조작 과정을 행하는 것

7) 최저검출한계(Minimum detectable integrated TL-intensity level, MDL) : 공시험 글로우 1의 평균값+(표준편차×3)

마. 시약 및 시액

1) 텅스텐산나트륨(Sodium polytungstate) 용액($\text{Na}_6[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}] \cdot \text{H}_2\text{O}$) : 텅스텐산나트륨 용액에 증류수를 혼합하여 밀도를 2.0 g/mL로 한다.

2) 실리콘스프레이

3) 염산(HCl) : 1 N, 4 N, 6 N

4) 암모니아수(NH_4OH) : 1N 암모니아수

5) 아세톤 : 액체크로마토그래프용 또는 이와 동등한 것

바. 검체조제 : 광물질(silicate minerals)의 분리

1) 모든 검체조제는 차광조건에서 한다.

2) 검체 100 g(단, 소스류 200 g, 2종 이상이 혼합된 식품 300 g, 밤 500 g, 생버섯 500 g, 곡류 500 g, 두류 500 g

등 시료에 혼입된 광물질의 양에 따라 결정)을 증류수 적당량에 넣고 표면에 붙은 광물질이 분리되도록 5분간 초음파 처리한다. 단, 어류분말, 패류분말, 갑각류분말 등이 포함된 경우 검체를 등근바닥플라스크에 취하고 적당량의 6N 염산을 넣은 후 100~120℃에서 2~3시간 환류냉각처리를 할 수 있다. 이 경우 냉각시킨 후 적당량의 증류수를 가하여 희석시킨다.

- 3) 검체를 증류수와 함께 나일론 여과포로 500~1,000 mL의 비커를 사용하여 여과하고, 여액을 5분 동안 방치하여 광물질을 침전 시킨 다음 물과 유기물을 제거한다(광물질과 소량의 유기물이 남을 때까지 이 과정을 반복한다). 침전물을 원심분리용기에 옮겨 실온에서 5분 동안 방치하거나, 1분 동안 원심분리(1,000 G)하여 광물질을 침전 시킨 다음 물을 제거한다.
- 4) 원심분리용기에 남은 광물질에 텅스텐산나트륨 용액 5 mL를 넣어 혼합하고 초음파 처리한 후 2분 동안 원심분리(1,000 G) 한다.
- 5) 증류수 5 mL를 조심스럽게 첨가하여 방치한 후 물과 유기물을 제거한다. 다시 텅스텐산나트륨 용액 5 mL를 넣어 혼합한 후 증류수 3~5 mL를 가하여 정지한 후 물을 제거한다.
- 6) 텅스텐산나트륨 용액을 따라 버리거나 진공펌프를 이용하여 흡입 제거한다.
- 7) 소량 남아 있는 텅스텐산나트륨용액을 제거하기 위하여 증류수 5 mL를 가하여 희석한 후 물을 제거한다. 이 과정을 2회 반복한다.

- 8) 1 N 염산 2 mL를 가하고 10 분간 방치한다. 단, 6 N 염산을 처리 한 경우 이 과정을 생략한다(광물질의 함량이 많은 감자의 경우 4 N 염산 5 mL 이상을 사용할 수 있다).
- 9) 1 N 암모니아수 2 mL를 가하여 혼합하고 10분간 방치한다. 단, 6 N 염산을 처리 한 경우 이 과정을 생략한다.
- 10) 증류수 5 mL를 가하여 세척한 후 제거하는 과정을 2~3 회 반복한다.
- 11) 아세톤 5 mL를 가하여 세척하고 제거하는 과정을 2~3회 반복한 후 측정용기에 옮긴다.

사. 시험조작

- 1) 모든 시험조작은 차광조건에서 한다.
- 2) 측정용기를 증류수로 세척하고 5분간 초음파 처리한 후, 아세톤으로 2~3회 세척하고 다시 5분간 초음파 처리하여 건조시킨 다음 먼지가 없는 곳에 보관한다.
- 3) 6) 검체조제에서 조제된 광물질 약 0.1~5.0 mg을 측정용기에 옮기고 실리콘스프레이를 사용하여 고정시킨 다음 50℃ 건조기에서 16시간 방치한다.
- 4) TL 측정 조건
 - 가) 초기온도 : 50℃
 - 나) 온도상승률 : 5℃/초
 - 다) 최종온도 : 350~500℃
 - 라) 질소(99.999% 이상)
- 5) 글로우 1을 측정하고, 1 kGy(혹은 0.25 kGy)로 재조사(re-irradiation)를 실시한 후 글로우 1과 동일한 조건으로 글로우 2를 측정한 후 TL 비를 구한다.
- 6) 공시험의 글로우 1을 측정하여 최저검출한계를 구한다.

7) 글로우 2의 TL 강도 면적값이 최저검출한계의 10배 이상
이어야 하며, 미만인 경우에는 시험을 다시 한다.

아. 판정

- 1) 글로우곡선(glow curve)의 모양, 글로우곡선(glow curve)이 나타나는 온도범위 및 TL 비로서 조사처리 여부를 판정한다.
- 2) 조사처리 되지 않은 검체는 특징적인 글로우곡선(glow curve)을 나타내지 않거나 300℃ 이상에서 자연방사능에 의한 곡선을 나타낸다.
- 3) 조사처리된 검체는 150~250℃에서 최대강도를 보이는 글로우곡선(glow curve)을 나타낸다.
- 4) TL 비가 0.1 이상인 것은 조사처리된 것으로, 0.1 미만인 것은 조사처리 되지 않은 것으로 판정한다. 단, 2개 이상의 원료가 혼합되어 있는 제품의 경우 그 중 1개 또는 그 이상의 원료들이 조사처리 되었을 때 TL비가 0.1 이하로 나타나 조사되지 않은 것으로 보일 수 있으나, 글로우1의 모양이 조사처리된 것으로 나타날 경우 조사처리된 것으로 판정한다.

자. 글로우곡선(glow curve)의 예

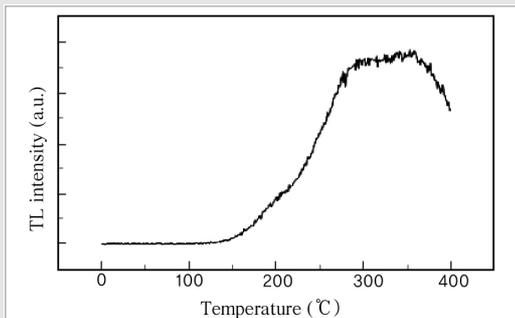


그림 5-18 비조사 검체의 글로우곡선

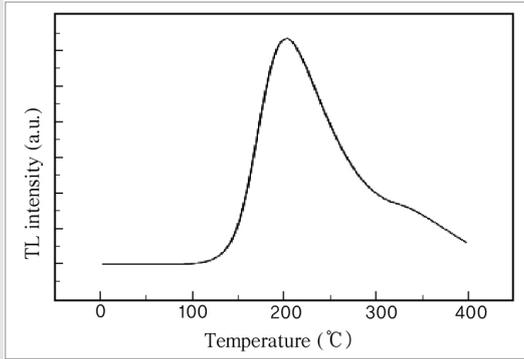


그림 5-19 조사처리 된 검체의 글로우곡선

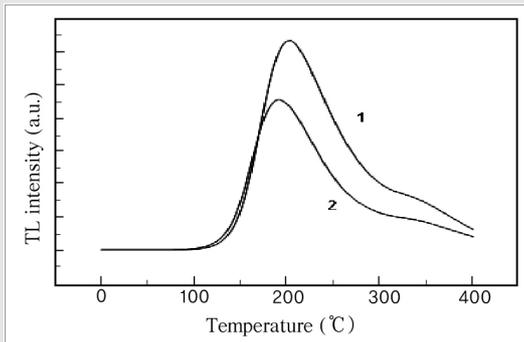


그림 5-20 조사처리 및 재(再) 조사처리 된 동일 검체의 글로우곡선.

1 : 글로우 1, 2 : 글로우 2 (1 kGy 재조사)

10.2.4 전자스핀공명법(Electron spin resonance spectroscopy, ESR)

가. 시험법 적용범위

- 1) 셀룰로오스를 함유한 식품 : 피스타치오 껍질, 딸기

- 2) 결정형 당을 함유한 식품 : 건포도, 건과파야, 건망고, 건무화과
- 3) 뼈를 함유한 식품 : 우육, 돈육, 계육 등 뼈를 함유한 식품에 적용한다.

나. 분석원리

뼈, 셀룰로오스 및 결정형 당(crystalline sugar)을 함유한 식품에 잔존하는 조사처리로 생긴 자유라디칼(free radical)을 분광학적으로 측정하는 방법으로서, 자장에 의하여 전자가 공명한 후 방출하는 에너지의 차이를 측정하여 조사처리 여부를 판정하는 방법이다.

다. 장치

- 1) 엑스-대 전자스핀공명분광계(X-band ESR spectrometer) : 자석, 마이크로웨이브 브리지, 콘솔, 공극으로 구성된다.
- 2) g 값¹⁾ (g value) 측정장치
 - ¹⁾ g 값은 고유의 값이며, 가해진 자장과 마이크로웨이브 주파수의 비 [(71,448×마이크로웨이브 주파수)/(자장)]로 계산됨
- 3) ESR 시험관(석영, 내경 4.0 mm)
- 4) 저울
- 5) 진공건조기 또는 동결건조기

라. 검체조제

- 1) 뼈를 함유한 식품

살을 완전히 제거한 뼈를 동결건조기에서 18시간 이상 또는 40 ℃의 진공건조기에서 3시간 이상 건조시킨 다음 적당한 조각(예: 두께 3.0~3.5 mm, 길이 5.0~10.0 mm)으로 절단하여 100 mg을 ESR 시험관에 넣는다.

2) 셀룰로오스를 함유한 식품

가) 견과류의 껍질은 적당한 크기(예: 직경 3.0~3.5 mm)로 절단하여 동결건조기에서 6시간 이상 또는 40℃의 진공건조기에서 2시간 이상 건조한 후 100 mg을 ESR 시험관에 넣는다.

나) 딸기는 검체 채취 후 바로 검체로 조제하고, 만약 보관 후 조제하고자 하는 경우에는 -18℃에서 보관하여야 한다. 딸기에 물을 가하고 믹서를 이용하여 분쇄한 후 씨를 침전시켜 분리한 다음 동결건조기에서 6시간 이상 또는 40℃의 진공건조기에서 2시간 이상 건조시킨 후 200 mg을 ESR 시험관에 넣는다.

3) 결정형 당을 함유한 식품

건조과일을 절단하여 동결건조기에서 18시간 이상 또는 40℃의 진공건조기에서 3시간 이상 건조시킨 후 100 mg을 ESR 시험관에 넣는다.

마. 시험조작

조제된 검체를 넣은 ESR 시험관을 전자스핀공명분광계에 있는 공극에 넣고 각각의 라디칼을 측정할 수 있는 조건으로 측정한다.

1) 전자스핀공명분광계의 측정조건

마이크로웨이브 주파수와 자장은 실험에 따라 달라질 수 있다. 예를 들면

가) 뼈를 함유한 검체

(1) 마이크로웨이브 : 주파수 9.5 GHz, 파워 5~12.5 mW

(2) 중심자장 : 342 mT

나) 셀룰로오스를 함유한 검체

(1) 마이크로웨이브 : 주파수 9.78 GHz, 파워 0.4~0.8 mW

(2) 중심자장 : 348 mT

다) 결정형 당을 함유한 검체

(1) 마이크로웨이브 : 주파수 9.78 GHz, 파워 5 mW

(2) 중심자장 : 348 mT

바. 판정

- 1) 뼈를 함유한 식품에서 하이드록시아파타이트(hydroxyapatite, $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$) 유래의 라디칼에 의한 g 값이 2.001~2.003(g_1)과 1.997~1.999(g_2)인 비대칭 신호가 나타나면 조사처리된 것으로 판정한다.

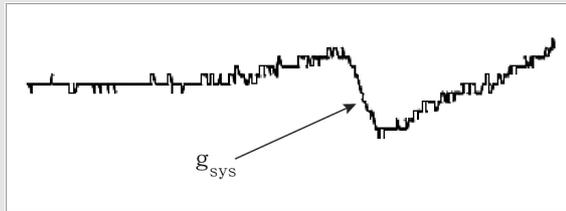


그림 5-21 조사처리 되지 않은 쇠고기 뼈의 ESR 스펙트럼

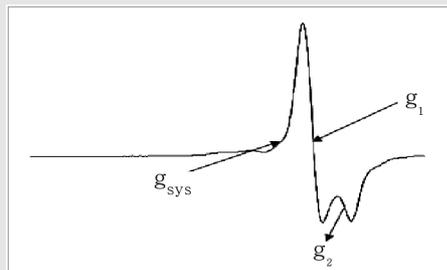


그림 5-22 7 kGy의 선량이 조사처리 된 쇠고기 뼈의 ESR 스펙트럼

- 2) 셀룰로오스를 함유한 비조사 식품에서 나타나는 중심부의 신호 왼쪽(저자장)과 오른쪽(고자장)에 셀룰로오스 라디칼에 의해서 생성되는 한 쌍의 피크가 6.0 mT의 공간을 두고 나타나면 방사선 조사된 것으로 판정한다.

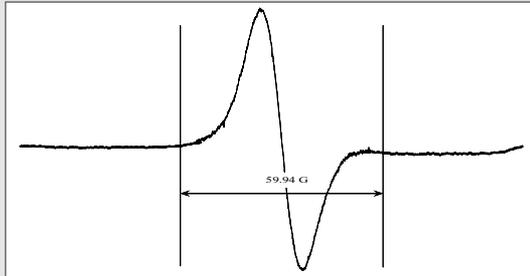


그림 5-23 방사선 조사되지 않은 피스타치오의 ESR 스펙트럼

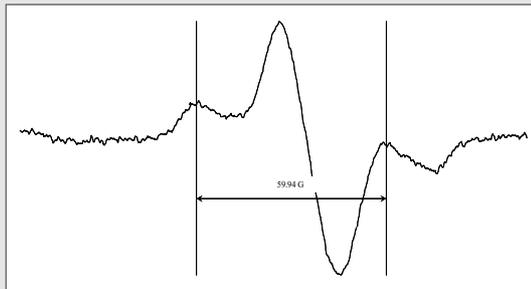


그림 5-24 방사선 조사(1 kGy)된 피스타치오의 ESR 스펙트럼

- 3) 결정형 당을 함유한 비조사 식품에서 보이지 않던 다성분(multi components) ESR 신호(signal 1, 2, 3.....)가 나타나면 조사처리된 것으로 판정한다.

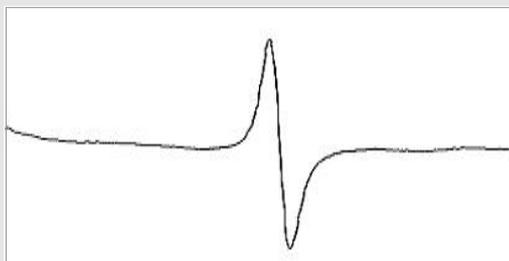


그림 5-25 방사선이 조사되지 않은 건포도의 ESR 스펙트럼

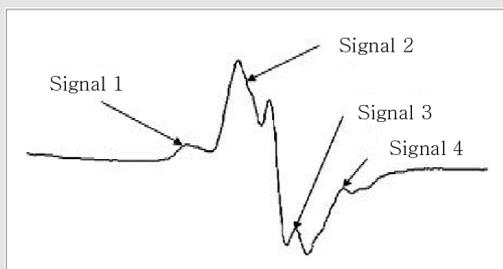


그림 5-26 방사선 조사(1 kGy)된 건포도의 ESR 스펙트럼

10.2.5 기체크로마토그래피/질량분석법(Gas chromatography/Mass spectrometry, GC/MS)

가. 시험법 적용범위

식육, 난분 등 지방함유 식품에 적용한다.

나. 분석원리

기체크로마토그래피/질량분석법(GC/MS)은 지방질 식품에서 조사처리로 생성된 탄화수소(원래의 지방산보다 탄소수가 1개 적거나, 2개 적으면서 첫 번째 탄소위치에 새로운 이중결합을 가진 탄화수소)를 측정하여 조사처리 여

부를 판정하는 방법이다.

다. 장치

- 1) 기체크로마토그래피/질량분석기(GC/MS)
- 2) 분쇄기
- 3) 원심분리기
- 4) 감압회전농축기

라. 시약 및 시액

- 1) 탄화수소 표준용액 : 탄화수소 표준품 [1-테트라데센 (C_{14:1}), 펜타데칸 (C_{15:0}), 1-헥사데센 (C_{16:1}), 헵타데칸 (C_{17:0}), 8-헵타데센 (C_{17:1}), 1,7-헥사데카디엔 (C_{16:2})]을 헥산에 녹여 4 µg/mL가 되게 한다.
- 2) 내부표준용액 : n-에이코산 표준품(n-eicosane, C_{20:0})을 헥산에 녹여 4 µg/mL가 되게 한다.
- 3) 정제컬럼 : florisil을 충전한 유리컬럼, florisil SFE 카트리지(충진제 : florisil 10 g, 용량 : 35 mL) 또는 이와 동등한 것
가) 유리컬럼에 florisil을 충전하는 방법 : Florisil (60~100 mesh)을 550℃에서 5시간 이상 태워 상온에서 식힌 후 3% 물(물 3 g/ florisil 100 g)을 가한 뒤 균질화하고 이를 12시간 이상 방치 후 불활성화시킨다. 불활성화 시킨 florisil 20~25 g을 유리 컬럼(20 mm × 200 mm)에 충전시켜 사용한다.
- 4) 헥산 : HPLC용 또는 이와 동등한 것

마. 시험용액의 조제

- 1) 지방추출
가) 열처리 추출법

검체(식육 등)에서 지방이 많은 부위를 취하여 균질화시킨 후 50 g을 100 mL 원심분리용 유리관에 담고 50°C의 수조에서 가열한다. 이때 소량의 물(2~5 mL)을 첨가하면 물과 지방이 쉽게 분리된다. 지방이 완전히 녹을 때까지 유리막대로 잘 저어준 다음 물과 지방을 분리하기 위하여 원심분리(900 G, 10분)하고 물층이 혼입되지 않도록 상층액을 취한다. 만약에 추출한 지방이 적을 때는 검체를 유리막대로 저은 다음 원심분리하여 위와 동일한 방법으로 추출하여 지방을 얻는다.

나) 용매 추출법

검체(진조식육 등) 60 g에 무수황산나트륨 70 g을 첨가하여 분쇄하고 헥산 300 mL을 가하여 잘 혼합한 후 원심분리(900 G, 5분) 한다. 원심분리 후 상층액을 취하여 감압농축기로 농축(40°C, 335 mbar)하여 지방을 얻는다. 만약에 추출한 지방이 적을 때는 헥산 100 mL를 가한 후 위와 동일한 방법으로 추출하여 지방을 추가로 얻는다.

2) 탄화수소의 분리 정제

가) Florisil 칼럼 정제 : 추출한 지방 1 g에 내부표준용액 1 mL를 첨가하여 florisil 유리칼럼에 가한다. 헥산 60 mL를 사용하여 3 mL/분의 유속으로 용출시켜 2 mL가 될 때까지 감압농축기로 농축한(40°C, 335 mbar) 후 0.5 mL까지 질소로 농축하여 기체크로마토그래프의 시험용액으로 한다.

나) SPE 카트리지 정제 : 추출한 지방 1 g에 내부표준용

액 1 mL를 첨가하여 헥산으로 활성화시킨 florisil SPE 카트리지에 가한다. 헥산 30 mL를 사용하여 2 mL가 될 때까지 회전농축기로 농축한(40°C, 335 mbar) 후 0.5 mL까지 질소로 농축하여 기체크로마토그래프의 시험용액으로 한다.

바. 시험조작

1) 기체크로마토그래프의 측정조건

가) 칼럼 : DB-5 column(30 m×0.32 mm ID, 0.25 μm)
또는 이와 동등한 것

나) 주입부 : split ratio 1:20, 250°C

다) 운반기체(carrier gas) 및 유량 : 헬륨, 1.0 mL/min.

라) 오븐온도 : 60°C에서 25°C/min 속도로 170°C까지 승온하고, 2°C/min 속도로 205°C까지 승온하며, 10°C/min 속도로 270°C까지 승온한다.

마) 이온화방식 : Electron impact

바) 이온화에너지: 70 eV

사) 분석할 분자량 범위: 40-350

사. 정성시험

탄화수소는 크로마토그램상(total ionization chromatogram)에 분리된 각 피크와 표준물질 [1-테트라데센 (C_{14:1}), 펜타데칸 (C_{15:0}), 1-헥사데센 (C_{16:1}), 헵타데칸 (C_{17:0}), 8-헵타데센 (C_{17:1}), 1,7-헥사데카디엔 (C_{16:2})]의 머무름 시간(retention time)과 질량스펙트럼(mass spectrum)을 비교하여 확인한다.

아. 판정

지방을 조사처리하면 2 가지 형태의 탄화수소(C_{n-1} 탄화수

소와 $C_{n-2:1}$ 탄화수소)가 생성되는데 이들의 존재여부로서 조사처리 여부를 판단하며, 식육 등의 경우 검지마커인 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)이 존재하면, 난분의 경우 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)이 존재하면 조사처리된 것으로 판단한다.

5.7 조사처리식품의 상업화와 소비자 수용성은?

5.7.1 상업화 배경은?

식품조사기술은 식품의 안전성과 품질을 향상시키기 위한 새로운 대안기술로써 그 안전성과 기술적 타당성이 충분히 연구되었다. 본 기술은 방사선에너지를 이용하는 특수성으로 인해 조사처리식품(irradiated food)의 안전성이 지난 반세기 이상 과학적으로 연구되었고, 그 결과를 국제기구에서 종합적으로 평가하였다. 무엇보다도 소비자들의 관심은 조사처리식품의 안전성이다. 관련 국제기구(WHO/FAO/IAEA)와 세계보건단체는 식품조사기술과 조사처리식품의 안전성을 보증하고 있다.^{12,15,16)} 더욱이 WHO/FAO에서는 그 어떤 경우도 조사처리식품의 상업적 이용은 자유롭게 선택되어야 한다고 설명하고 있다. 왜냐하면 과학적 총의(scientific consensus)는 특정분야에 관한 과학자 공동체의 집합적 판단, 입장 및 의견이다. 여기서 과학적 증거는 책임있고 신뢰할 수 있는 과학단체에 의해 어떻게 설명되고 수용되느냐에 달려있다. 따라서 반드시 만장일치일 필요는 없다.^{7,39)}

지난 1970, 1980, 1990년대에는 매우 소량의 조사처리식품(개구리 다리, 수산물, 감자, 양파, 향신료, 조미료 등)들이 유럽, 아시아 일부 국가의 소매단계에서 판매되었다. 그러나 당시에는 조사처리식품의 표시제도가 없었다. 미국 시카고 지역에서는 플로리다에서 조사처리된 딸기와 베리가 성공적으로 판매되었는데, 이는 품질이 좋고 유통기한이 길기 때문이었다. 그러나 2000년 이전 슈퍼마켓에서 조사처리식품의 유통은 매우 제한적이었다. 하지만 2000년 이후에는 소비자들이 신선농산물, 육류, 수산물, 향신료 등의 조사처리식품을 구매할 수 있는 기회가 점차 늘어났다. 이는 수입식품이 증가하고 소비자들의 식품구매가 안전성에 보다 관심을 기울였기 때문이다.¹⁰⁹⁾

조사처리식품의 상업화에서 중요한 역사적 배경은 2000년 5월 미국 미네소타에서 냉동 분쇄쇠고기의 판매에서 시작되었다. 당시 미국에서는 *E. Coli* O157:H7 관련 식중독 사고가 발생하고 대량의 리콜 조치가 내려지면서 식품조사처리에 대한 관심이 커졌다. 2000년 이래로 조사처리식품 유통회사(Schwan's Inc., Omaha Steaks, Wegmans 외)는 지금까지 뉴욕, 펜실베이니아, 버지니아 등 주요 도시에서 조사처리된 분쇄쇠고기를 성공적으로 판매하고 있다. 2010년대에는 국제식품교역에서 조사처리식품의 유통량이 늘어나고 있다. 특히, 하와이와 멕시코, 호주, 뉴질랜드, 인도, 파키스탄, 베트남, 태국 등 아세아·태평양 국가들의 열대과일 수출입에서 식물검역처리기술로써 식품조사처리가 적극 활용되고 있다.¹⁰⁹⁾

5.7.2 조사처리식품의 상업화 과정은?^{3,7,109)}

(1) 국제적 발전과정

- [1960년대] - 군용 비축식량 및 우주인 식사 프로그램에 방사선기술 이용
- [1970년대] - 농식품류의 저장 목적으로 감마선, 전자선에너지의 이용 연구
- 일부 국가 허가기준 마련 및 일부 산업화 시작
- [1980년대] - 세계보건기구(WHO) 등 국제기구와 선진국 보건당국의 안전성 인정
- Codex 규격채택과 국가별 허가기준 제정
- 향신료 등의 위생화처리 및 식중독 방지기술로서 활용 권장
- [1990년대] - 유엔환경위원회(UNEP) 권고로 화학훈증제의 대체 방안으로써 방사선기술 활용 권고
- 조사처리식품의 시험시판 및 상업화 시작
- [2000년대] - WTO체제 자유무역 환경에서 검역처리기술 활용 권장
- 미국 학교급식에 조사처리식품 이용 및 식품교역에의 활용시작
- [2010년대] - 신선농산물 병해충 검역처리기술로의 활용 및 10여 개국 양자협약 체결
- 미국, 중남미, 아시아·태평양 국가들의 조사처리기술 활용 증대(100만 톤/년 이상)

(2) 국내적 발전 과정

- [1960년대] - 저준위 감마선시설(방사선농학연구소) 이용 농산물 저장효과 연구
- [1970년대] - 멸균 및 연구용 감마선조사시설(UNDP 지원, KAERI) 활용연구
- [1980년대] - 식품조사처리업('85)과 식품위생법 제정('86)과 ^{60}Co 감마선 조사처리업 허가
- 상업용 민간 감마선조사시설 건설[그린피아기술(주), 경기 여주, '87]
 - 감마선조사식품 1차(감자 외 5개 품목) 허가('87)
- [1990년대] - 감마선조사식품 2차(전분 외 4개 품목, '91) 허가
- 감마선조사식품 3차(건조채소류 외 6개 품목, '95) 허가
 - 조사처리식품의 소비자 홍보 및 수용성 증진 연구
- [2000년대] - 상업용 민간 감마선조사시설 건설[(주)소야그린텍, 경기 안산, '02]
- 감마선조사식품 4차(난분 외 7개 품목, '04) 허가
 - 우주식품개발 연구 등 실용화 확대 연구
- [2010년대] - 조사처리 선종으로서 전자선, 엑스선 허가 및 국내 상업용 시설 4기 이상 가동
- 조사처리식품 표시제도의 개정으로 식품업계의 조사처리기술 활용 기피
 - 건조건어포류 등 총 29품목(군) 조사처리 허가

(3) 세계적 조사처리식품 생산규모

식품조사처리에 대한 Codex 일반규격에는 감마선, 전자선 및 엑스선의 사용이 허가되어 있다. 국제적으로 식품의 조사처리리는 8개 그룹(classes)으로 구분하여 허가되어 있으며, 2019년 현재 60여 개국에서 식품조사처리를 허용하고 있다. 그리고 미국, 중국, 프랑스, 일본, 네덜란드, 벨기에, 남아공, 호주, 독일, 한국 등 20여 개국에서 상업화가 진행되고 있다.^{6,98,109)}

2005년을 기준으로 세계적으로 조사처리식품 생산량은 405,000톤 규모이나 2017년 이후에는 500,000톤 이상이 조사처리 되고 있다.^{50,110)} 표 5-32에서는 주요 조사처리 품목 및 국가 별 현황을 나타내었다.¹¹¹⁾ 주요 식품별로는 건조향신료 및 채소류의 위생화(그룹 1)가 가장 대표적이며(46%), 미국 80,000톤, 중국 52,000톤, 브라질 20,000톤, 남아공 16,000톤의 순이다. 곡류와 과일류의 살충처리(그룹 2)를 위한 식품조사는 약 20%를 차지하며 우크라이나 70,000톤, 미국과 중국이 각각 4,000톤, 브라질 3,000톤 등이다. 농림산물 발아억제(그룹 4)는 중국 80,000톤, 일본 8,096톤, 인도 100톤 등으로 약 22%이다. 육류와 수산물의 위생화처리(그룹 3)는 8%로 베트남 14,200톤, 미국 8,000톤, 벨기에 5,530톤, 프랑스 2,789톤, 인도네시아 1,008톤 등이다. 그 외의 식품류에 대한 조사처리(그룹 5)는 약 4%로 남아공, 인도네시아, 벨기에 등이 2,000톤 이하로 처리하고 있다(그림 5-27).⁷⁾

세계 대륙별로 2005년도 기준의 식품조사처리 상업화 현황을 살펴 보았다.¹¹¹⁾ 먼저 아시아·태평양 지역에서는 183,000톤 규모를 생산하면서 전체 처리량의 45%를 차지하고 있다. 그러나 2015년 이후에는 중국이 600,000톤 이상으로 증가하였고, 2010년 기준 베트남은 66,000

표 5-32 식품의 국가별 식품조사처리량^{7,11)}

| 국가 | (G1): 항신료 및 건조채소류 | (G2): 곡류 및 과일류 | (G3): 육류 및 수산물 | (G4): 발아억제 농산물 | (G5): 기타 | 총계 (톤) |
|----------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|----------------|
| 아메리카 지역 | | | | | | |
| 미국 | 80,000 | 4,000 | 8,000 | | | 92,000 |
| 캐나다 | 1,400 | | | | | 1,400 |
| 브라질 | 20,000 | 3,000 | | | | 23,000 |
| 계 | 101,400 | 7,000 | 8,000 | | | 116,400 |
| 유럽 지역 | | | | | | |
| 벨기에 | 218 | | 5,530 | | 1,531 | 7,279 |
| 독일 | 472 | | | | | 472 |
| 프랑스 | 134 | | 2,789 | | 188 | 3,111 |
| 네덜란드 | 2,022 | | 944 | | 333 | 3,299 |
| 체코 | 85 | | | | | 85 |
| 헝가리 | 100 | 11 | | | | 111 |
| 폴란드 | 607 | | | | 80 | 687 |
| 크로아티아 | 11 | | | | 5 | 16 |
| 계 | 3,649 | 11 | 9,263 | | 2,137 | 15,060 |
| 아시아·태지역 | | | | | | |
| 중국 | 52,000 | 4,000 | | 80,000 | 10,000 | 146,000 |
| 인도 | 1,500 | | | 100 | | 1,600 |
| 인도네시아 | 358 | 334 | 1,008 | | 2,311 | 4,011 |
| 일본 | | | | 8,096 | | 8,096 |
| 한국 | 5,394 | | | | | 5,394 |
| 말레이시아 | 382 | | | | 100 | 482 |
| 필리핀 | 278 | 48 | | | | 326 |
| 태국 | 3,000 | | | | | 3,000 |
| 베트남 | | | 14,200 | | | 14,200 |
| 호주 | | 200 | | | | 200 |
| 계 | 62,912 | 4,582 | 15,208 | 88,196 | 12,411 | 183,309 |
| 아프리카·기타 | | | | | | |
| 남아공 | 15,875 | | | | 2,310 | 18,185 |
| 이집트 | 550 | | | | | 550 |
| 우쿠라이나 | | 70,000 | | | | 70,000 |
| 이스라엘 | 1,300 | | | | | 1,300 |
| 계 | 17,725 | 70,000 | | | 2,310 | 90,035 |
| 세계 합계 | | | | | | |
| 합계 (톤) | 185,686 | 81,593 | 32,471 | 88,196 | 16,858 | 404,804 |

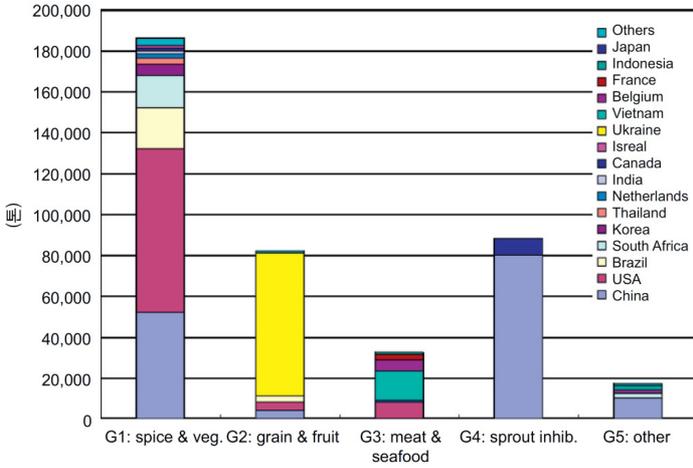


그림 5-27 식품군 및 국가별 조사처리량(2005년)¹¹²⁾

: (G1)향신료 및 간채류 살균위생화(46%), (G2)곡류 및 과일류의 살충(20%), (G3)육류 및 수산물의 위생화(8%), (G4)마늘, 감자, 양파 등 발아억제(22%), (G5)건강식, 버섯, 발효 등을 포함한 기타 식품류(4%).

톤, 인도네시아 6,900톤, 일본 6,246톤, 태국 1,485톤 등이다. 중국은 상업화가 가장 활발하고 베트남, 인도네시아, 일본, 태국, 인도, 호주 등이 뒤를 잇고 있다. 미국, 브라질, 멕시코, 캐나다 등 미주 및 아메리카는 총 처리량이 약 12만 톤 규모로 전체의 29%를 차지하고 있다. 유럽에서는 벨기에, 네덜란드, 프랑스 등이 활발하고, 전체 처리량은 15,000천 규모로 4% 수준이다. 아프리카와 그 밖의 지역은 남아공, 우크라이나, 이스라엘, 이집트 등이 90,000톤 규모를 생산하여 전체의 22%를 차지한다. 이와 같이 대륙별로는 아시아·오세아니아 > 미주 및 아메리카 > 아프리카 및 기타 > 유럽 등의 순으로 조사처리식품의 상업화가 활발하다.^{7,112)}

표 5-33은 식품조사처리에 의한 신선과실류의 위생검역처리 현황이

표 5-33 조사처리기술에 의한 신선과실류의 위생검역처리 세계현황¹¹³⁾

| 수출국가 | 과일류 | 수입국가 | 조사선량 (Gy) |
|----------|--|-------|------------|
| 호주 | 망고, 파파야, 리치 | 뉴질랜드 | 150 or 250 |
| 하와이 (미국) | 아비우, 아테모야, 바나나, 빵과일, 카람볼라, 시트러스, 용과, 자켓, 리치, 용안, 망고, 망고스틴, 멜론, 파파야, 파인애플, 사포딜라 | 미국 본토 | 150 or 400 |
| 인도 | 망고 | 미국 | 400 |
| 인도 | 망고 | 호주 | 400 |
| 멕시코 | 구아바, 망고 | 미국 | 400 |
| 태국 | 리치, 용안, 람부탄, 망고, 망고스틴, 파인애플 | 미국 | 400 |
| 베트남 | 용과 | 미국 | 400 |

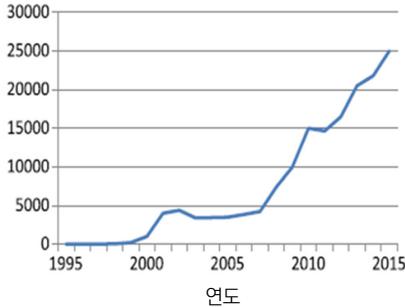


그림 5-28 조사처리기술에 의해 검역처리 된 농산물의 수출입 추이(톤)⁵⁰⁾

다.¹¹³⁾ 최근 농산물 시장의 개방화에 따라 교역식품의 검역 및 위생관리의 중요성이 커지고 있다. 따라서 사용이 제한되고 있는 화학혼중제(MB 등)의 대체방안으로써 조사처리기술의 활용이 권장되고 있다. 최근 호주, 베트남, 인도, 멕시코 등에서 생산된 농산물이 미국, 뉴질랜드, 호주 등에 수출되면서 방사선검역처리가 증가추세에 있다.⁸⁾ 그러나 한국, EU 등 일부 국가에서는 조사처리식품의 표시(labeling) 및 조사여부 확인시험법의 시행이 적극 도입됨에 따라 조사처리식품의 생산과 유통이 매우 위축되어 있다.^{9,67)}

(4) 주요 국가별 상업화 현황은?

① 미국, 캐나다, 멕시코 및 브라질

미국은 1963년 처음 식품의 조사처리기술의 이용을 승인한 후, 1986년 US FDA가 연방관보에 발표함에 따라 이후 본격적인 발전이 이루어 졌다. 허가 품목은 향신료, 과일·채소류, 육류, 가금육, 패류, 우주식품, 사료 등에 대하여 최고 44 kGy까지의 조사처리를 허가하고 있다. 표시기준은 소포장에 조사마크와 문구(treated by irradiation 또는 treated with radiation)를 나타내어야 하며, 조사처리식품 원료를 포함한 가공식품에는 표시가 면제된다.⁽⁶⁸⁾

상업적으로 조사처리되고 있는 현황은 향신료 80,000톤, 분쇄쇠고기 및 가금육 8,000톤, 과일 및 채소류 4,000톤 등으로 총 92,000톤이 감마선, 전자선 또는 엑스선에 의해 처리되어 유통되고 있다. 특히 2004년부터는 학교급식용 분쇄육의 조사처리가 허가됨으로써 병원성 미생물에 의한 집단 식중독 발생의 위험을 줄이고 있다. 표 5-34는 미국에서 조사처리식품을 판매한 식품매장을 나타내었다.^{90,109)}

미국에서는 신선채소, 햄버거 등에서 병원성미생물 오염으로 인해 대형 식중독 사고가 발생된 적이 있다. 이에 따라 미국 FDA(1997)와 USDA(1999)는 쇠고기 분쇄육에 대한 조사처리기술의 이용을 허가하고, 2000년 초부터 상업적 유통이 시작되었다. 2000년 5월에는 84개 슈퍼마켓에서 조사된 분쇄육이 판매되기 시작하였고, 2003년 3월에는 7,000여 개의 매장으로 늘어났다. 이상의 판매 조사처리식품에는 문구와 함께 조사처리식품 심벌마크(*radura*)가 부착되어 소비자들에게 정확한 정보를 제공하도록 하였다. 또한 미국은 2000년대부터 감마선 외에 전자빔과 엑스(X)선을 식품조사처리에 도입되기 시작하였다. 이

표 5-34 미국에서 조사처리식품이 판매되는 식품매장⁹⁰⁾

| 수퍼마켓 체인 | 조사식품 판매 시작 |
|---------------------------------------|------------|
| Carrot Top (Northbrook, IL) | 1992. 2. |
| Supervalu stores (Eden Prairie, MN) | 2000. 5. |
| Rainbow Foods (Minneapolis, MN) | 2000. 5. |
| Cub Foods (Stillwater, MN) | 2000. 5. |
| Nash Finch (Minneapolis, MN) | 2000. 6. |
| Clemens (Philadelphia, PA) | 2000. 6. |
| W.W. Johnson (Minneapolis, MN) | 2001. 5. |
| Winn-Dixie (Jacksonville, FL) | 2001. 11. |
| Wegman's (Rochester, NY) | 2002. 5. |
| Kroger (Cincinnati, OH) | 2002. 6. |
| Lowes Food (Winston-Salem, NC) | 2002. 9. |
| D'Agostino (Westchester, NY) | 2002. 9. |
| Pathmark (NY, NJ, Philadelphia) | 2002. 10. |
| Price Chopper (Schenectady, NY) | 2002. 10. |
| Hy-Vee (West Des Moines, IO) | 2002. 10. |
| Farm Fresh (Hampton Roads, VA) | 2002. 10. |
| Giant Food (Landover, MD) | 2002. 11. |
| Jewel Osco (Boise, ID) | 2002. 11. |
| Dominick (Pleasanton, CA) | 2002. 11. |
| Pick'n Save (Neemah, WI) | 2002. 11. |
| Hannaford Bros. (Scarborough, ME) | 2002. 11. |
| Stop'n Save (Quincy, MA) | 2002. 11. |
| Publix (Lakeland, FL) | 2003. 1. |
| Tops Markets (Amherst, NY) | 2003. 1. |
| Giant Eagle, Inc. (Pittsburgh, PA) | 2003. 1. |
| Schnuck Markets (St. Louis, MO) | 2003. 1. |
| Safeway Eastern Division (Lanham, MD) | 2003. 1. |
| Diersbergs Markets (St. Louis, MO) | 2003. 1. |
| Weis Supermaket (Sunbury, PA) | 2003. 2. |

는 전원(electricity)에 의해 전자선과 엑스선 에너지의 발생을 조절할 수 있어 소비자 수용성을 높이는 방안이 되었다.⁶⁾

한편 캐나다에서는 1,400톤 규모의 향신료가 퀘백주의 캐나다 조사센터(Canadian Irradiation Center)에서 상업적으로 처리되고 있으며, 최종

표 5-35 캐나다 퀘백주 시설에서 처리된 조사처리식품 양⁸⁾

| 연도 | 총 캐리어 수 | 처리비용 | 전체 처리량(kg) |
|------|---------|--------|------------|
| 2010 | 3,172 | 69,696 | 951,600 |
| 2011 | 3,581 | 80,541 | 1,074,300 |
| 2012 | 3,470 | 78,609 | 1,041,000 |
| 2013 | 3,602 | 85,248 | 1,080,600 |
| 2014 | 3,768 | 81,772 | 1,130,400 |
| 2015 | 4,168 | 90,429 | 1,250,400 |
| 2016 | 4,308 | 97,716 | 1,292,400 |

표 5-36 멕시코산 과일의 미국시장 수출량⁸⁾

| 품목 | 2010/11 | 2015/16 |
|--------|---------|---------|
| 구아바 | 5,345 | 9,709 |
| 망고 | 213 | 781 |
| 칠레 만조노 | 97 | 982 |
| 석류 | 0 | 135 |
| 가람볼라 | 0 | 27 |
| 용과류 | 0 | 66 |
| 무화과 | 0 | 8 |
| 스위트라임 | 0 | 5 |
| 총량(톤) | 5,655 | 11,712 |

제품에 조사처리 된 원료가 10% 이상 포함되면 조사표시를 하여야 한다. 캐나다 퀘백 주에 소재한 본 시설에서 처리된 물량은 표 5-35와 같이 2016년 기준으로 연간 1,200톤 규모를 보이고 있다.⁸⁾ 특히 미국과 캐나다에서는 조사처리식품에 대하여 확인시험법을 요구하지 않는다.¹¹²⁾

브라질은 20,000톤의 향신료와 3,000톤 규모의 과일류가 조사처리 처리되고 있는 수준이다.¹¹²⁾ 그리고 멕시코에서는 다양한 종류의 열대 과일이 조사기술에 의해 검역처리 되어 미국시장에 수출되고 있으며, 그 처리량은 표 5-36과 같이 크게 증가되고 있다.⁸⁾

② EU 국가

EU 14개 회원국과 노르웨이의 식품조사처리 상업화 현황을 보면 표 5-37과 같다. EU국가 중에는 벨기에, 네덜란드, 프랑스가 가장 활발하여 연간 1,000-5,800톤 규모의 조사처리식품이 생산되었고, 전 회원국에서는 9,000톤을 상회하였다.^{7,8)} 그러나 2015년에는 조사처리량이 5,600톤 규모로 감소함을 알 수 있다. 처리품목은 프랑스에서 육류와 해산물 2,789톤, 껌아라빅과 카제인 등 188톤, 향신료 및 건조채소류 134톤 등이, 벨기에에서는 건조채소류, 육류, 수산물 등이 대상이었으며, 독일은 수출용 향신료 및 건조채소류를 대상으로 수 백 톤이 처리되었다는 보고가 있다. 그리고 네덜란드는 향신료, 건조채소류, 냉동개구리다리, 냉동새우, 냉동육 등을 약 3,300톤 정도 조사처리하였다.¹¹²⁾ 그러나 1999년 조사처리식품의 표시에 대한 엄격한 EU기준이 시행됨에 따라 처리물량이 점차 줄어들고 있는 추세이다.^{8,114)}

③ 아시아·태평양 국가

아시아·태평양 국가의 식품조사처리 상업화 현황은 표 5-38, 5-39, 및 5-40과 같다. 중국은 세계적으로 식품의 조사처리가 가장 활발한 나라이다. 2004년 140,000톤, 2005년 146,000톤(마늘 80,000톤; 향신료 및 건조채소류 52,000톤; 건강기능식품류 10,000톤; 곡류 4,000톤, 조리육류, 두류, 동물사료 등), 2007년 165,000톤, 2015년 600,000톤으로 다양한 식품이 조사처리 되어 유통되고 있다.^{8,115)} 일본은 매년 10,000톤 규모의 감자에 발아억제와 부패방지를 목적으로 감마선을 처리한 다음 저장하였다가 이듬해 봄에 대부분 출하하고 있다. 그 외 베트남, 인도, 태국, 호주, 뉴질랜드 등에서도 조사처리기술의 이용이 늘어나고 있다.¹¹³⁾

호주와 뉴질랜드는 향신료(2001)와 열대과일류(2002)에 대한 방

표 5-37 EU국가에서 조사처리 된 식품 추이⁸⁾

| EU 국가 | 조사처리 시설 | 조사처리량 /톤(2010) | 조사처리량 /톤(2015) | 조사처리품목 |
|---------|---------|----------------|----------------|---|
| 벨기에 | 1 | 5,840 | 3,917 | 냉동개구리다리, 가금육, 향신허브류, 건채류, 생선, 어패류, 육류, 전분, 계란분말 외 |
| 불가리아 | 1 | 0 | 0 | - |
| 크로아티아 | 1 | - | 12 | 건조향초류, 향신료, 채소조미료 |
| 체코 | 1 | 27 | 6 | 식품류, 향초허브류, 향신료, 건채소조미료류 |
| 에스토니아 | 1 | 10 | 37 | 향초허브류, 향신료, 채소조미료류 |
| 프랑스 | 5 | 1,024 | 377 | 가금육, 검 아라빅, 허브류, 향신료, 채소류, 냉동개구리다리 외 |
| 독일 | 4 | 127 | 211 | 건조향초류, 향신료, 채소조미료 |
| 헝가리 | 1 | 151 | 103 | 허브류, 향신료, 채소조미료 |
| 이탈리아 | 1 | 0 | 0 | - |
| 네덜란드 | 2 | 1,539 | 629 | 건조채소 및 과일류, 개구리다리, 향신허브류, 난백, 가금육(냉동), 새우(냉동), 기타 |
| 폴란드 | 2 | 160 | 46 | 건조향신료, 건조향료재료, 허브류, 채소류, 근채향신료 |
| 루마니아 | 1 | 17 | 0 | 건조향초허브 |
| 스페인 | 3 | 369 | 326 | 건조향초류, 향신료, 채소조미료 |
| 영국 | 1 | 0 | 0 | - |
| EU국가 합계 | 25 | 9,246 | 5,686 | |
| 노르웨이 | 1 | 8 | 4 | |
| 총계 | 26 | 9,272 | 5,690 | |

사선 조사처리를 각각 허가하였으며, 2005년에는 호주에서 생산된 조사처리 과일(망고, 파파야)이 뉴질랜드 시장에서 판매되었다.¹¹²⁾ 아울러 호주의 연도별 조사처리식품 생산량은 2014/15년에 2002톤을

표 5-38 아시아 주요 국가의 식품조사기술 상업화 현황^{8,113)}

| 국가 | 시설 | 건설 예정 | 연간 처리량(톤) | | | 품목 |
|-------|----|----------|-----------|---------|---------|-------------------------------|
| | | | 2004 | 2005 | 2010 | |
| 중국 | 64 | 7 | 140,000 | 146,000 | 266,000 | 마늘, 향신료, 곡물, 육류, 닭발, 건강식품, 기타 |
| 인도 | 4 | 13 | 1,500 | 160 | 210 | 망고 |
| 인도네시아 | - | - | - | 4,011 | 6,923 | 코코아, 냉동수산물, 향신료, 기타 |
| 일본 | 1 | - | 15,000 | 8,096 | 6,246 | 감자 |
| 한국 | 4 | - | 3,500 | 5,394 | 300 | 건조채소류 |
| 파키스탄 | 5 | 5 | 50 | 50 | 940 | 두류, 향신료, 과일류 |
| 태국 | 4 | 1 | 3,000 | 3,000 | 1,485 | 과일류, 발효소시지 외 |
| 말레이시아 | - | - | - | 482 | 785 | 향신료, 허브류, 기타 |
| 필리핀 | - | - | - | 326 | 1,485 | 향신료, 건조채소류, 과일류 |
| 베트남 | - | - | - | 14,200 | 66,000 | 냉동수산물, 과일류, 기타 |

표 5-39 중국의 조사처리식품 생산량(톤)⁸⁾

| 연도 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2015 |
|----|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 양 | 150,000 | 165,000 | 182,000 | 200,000 | > 266,000 | > 540,000 | > 600,000 |

기록하면서 점차 증가하는 추세이다(표 5-40).⁸⁾ 우리의 주요 교역 상대국인 중국, 베트남 등은 조사처리기술을 적극 활용하고 있다. 중국에는 총 700기 이상의 조사처리시설이 식품, 의료용품 등의 위생화 처리를 위해 가동되고 있다. 특히 최근 중국 정부와 학계 및 산업계에서는 식품의 위생(sanitary), 식물검역위생(phytosanitary) 및 저장유통기한(shelf-life) 분야에 애로를 해결하는 방안으로 조사처리기술(irradiation)의 이용을 적극 추진하기로 하였으며, 전체적으로 조사처리식품의 생산량은 전 세계의 절반을 초과할 것으로 예상하고 있다.

표 5-40 호주의 연도 및 계절 별 조사처리식품 생산량(톤)⁸⁾

| 상품/연도 | 2004/05 | 2005/06 | 2006/07 | 2007/08 | 2008/09 | 2009/10 | 2010/11 | 2011/12 | 2012/13 | 2013/14 | 2014/15 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 망고 (NZ, US, Malaysia) | 19 | 129 | 201 | 346 | 585 | 1,095 | 620 | 918 | 1,018 | 866 | 1,480 |
| 토마토 (NZ) | | | | | | | | | | 413 | 430 |
| 고추류 (NZ) | | | | | | | | | | 58 | |
| 리치 (NZ) | | 5 | 10 | 20 | 57 | 110 | 15 | 132 | 76 | 29 | 34 |
| 파파야 (NZ) | | | 12 | 1 | | | | | | | |
| 매실 (Indonesia) | | | | | | | | | | | 2 |
| 포도 (Indonesia) | | | | | | | | | | | 28 |
| Total | 19 | 134 | 223 | 367 | 642 | 1,205 | 635 | 1,050 | 1,094 | 1,388 | 2,002 |

국내의 식품조사처리 현황을 보면 2기의 상업용 감마선조사시설에 의해 2005년 5,394톤과 2007년 3,500톤이 각각 처리되었다.¹¹²⁾ 이 중 65%인 2,300톤은 수출용이었고, 국내 유통량은 1/3 수준이었다. 주요 조사처리 품목은 건조향신료, 건조채소류, 곡류 및 두류 분말, 어패류 분말, 인삼제품류 등이었다.⁷⁾ 하지만, 2010년 조사처리식품의 표시제가 강화되면서 국내 식품업계에서는 식품조사기술의 이용을 기피하기에 이르렀으며, 이에 따라 현재는 수출용 식품의 경우를 제외하고는 상업용 조사처리는 거의 이루어지지 않고 있다(그림 5-29).^{7,8,116)}

④ 아프리카 및 타 지역

아프리카 지역은 2005년 기준으로 남아프리카공화국, 이집트, 우크라이나, 이스라엘 등의 식품조사 처리량은 총 90,035톤으로 보고되었다. 주요 처리식품으로는 향신료와 건조채소류 17,725톤, 밀과 보리 70,000톤, 꿀을 포함한 기타 식품류 2,310톤 등으로 알려져 있다.¹¹²⁾ 특히 남아공은 2015년 기준으로 향신료, 곡류분말, 꿀 및 벌집, 마늘, 생강, 과일, 채소류, 건조채소류, 건조과일, 건강식품, 차류, 육류, 수산물 등에 대해 조사처리를 실시하고 있으며, 특히 남아공 산 리치(litchi)

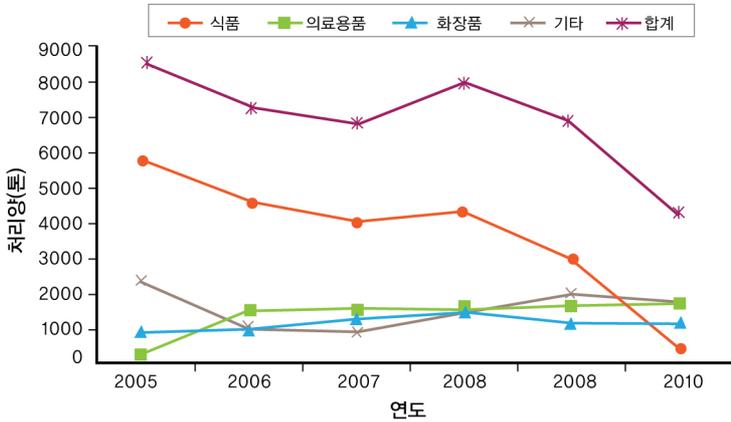


그림 5-29 국내의 식품 및 보건관련 제품의 생산량¹¹⁶⁾

는 미국에 첫 수출하게 된 조사처리식품으로서 2015년 54톤, 감은 203톤이 각각 수출되었다.⁸⁾

(5) 식품조사처리의 비용

식품은 어떠한 가공처리를 하여도 비용이 추가된다. 그러나 이러한 추가 비용에 대해서는 식품의 변질에 의한 손실이나 병원성미생물 오염으로 인한 식중독 발생과 경제적 손실이 함께 고려되어야 한다. 냉동, 냉장, 통조림, 저온살균, 훈증, 조사처리 등 모든 가공공정은 소비자에게 추가적인 비용을 부담시키지만 식품의 안전성, 품질, 이용성, 편의성 등을 개선함으로써 부가적 가치와 이익을 가져다준다.¹¹⁷⁾ 표 5-41은 식품가공 처리방법 별 소요경비를 비교한 것이다(IAEA, 2008). 열수처리와 스팀살균은 톤 당 200-250 달러가 소요된다. 저온저장이나 기체조절저장(CA)은 톤 당 최고 50-600 달러가 소요된다. 하지만 식품 조사처리는 전체적으로 톤당 25-55 달러로 비교된다. 식품조사처리의 비용은 처리선량과 처리식품의 양에 따라 다르다. 일반적으로 발아억

표 5-41 식품가공처리 방법 별 소요경비 비교¹¹⁷⁾

| 처리방법 | US 달러(\$) |
|---------------------|-----------|
| 열수처리(hot water) | 250 |
| 증기살균(steaming) | 200-250 |
| 저온저장(refrigeration) | 46-600 |
| 기체조성조절저장(CA) | 50-600 |
| 조사처리(irradiation) | 25-55 |

제나 살충을 위한 저선량 조사(1 kGy 이하)의 비용은 톤당 60-80달러, 육류의 병원균 제거를 위한 중선량 조사(5 kGy 내외)의 비용은 파운드당 5-10센트, 향신료 등의 10 kGy 이하의 조사처리는 파운드당 30-40센트로 알려져 있다. 일반적으로 조사비용은 타 가공처리 비용보다 낮으며, 미국에서 검역처리를 위한 파파야의 조사처리비용은 수증기열처리(vapor heat treatment)에 비해 약 절반 수준으로 보고되고 있다.^{6,7)}

5.7.3 조사처리식품에 대한 소비자 수용성은?

(1) 소비자의 선입견이 있다!

조사처리식품(irradiated food)에 대한 소비자들의 선입견은 식품에 방사선을 쬐이면 처리목적과 혜택을 생각하기에 앞서 식품에 방사능(radioactive)이 있지 않을까 의심하는 경향이 있다. 특히, 옛 소련의 체르노빌 원자력발전소 사고(1986년) 이후 식품의 방사능오염은 국제식품교역에서 큰 이슈가 되었다. 소비자들은 방사능오염식품(radioactive contamination food)을 조사처리식품(irradiated food)과 혼동하여 원자력발전이나 핵무기의 연관성을 우려하게 된다. 소비자들은 식품에 방사선을 쬐이면 맛이나 냄새가 변화되고 영양가 손실이 클 것으로 예상된다. 특히, 조사처리식품의 독성학적 안전성과 작업자의 안전, 조사처리시설 주변 지역의 안전을 우려한다. 이에 따라 식품

조사처리에 대해 막연한 불안감을 가지면서 조사처리식품의 수용을 거부하거나 보류하는 경향이 있다.¹¹⁹⁾ 이 같은 소비자들의 선입견은 조사처리기술이 단순히 원자력 관련 기술이란 이유와 일부 반대단체들의 조직적인 운동에서 비롯되었다. 하지만, 소비자들에게는 식품산업에 이용되고 있는 타 저장가공기술과 마찬가지로 그 기술의 본질과 과학적인 연구결과를 기반으로 서로 비교·평가하는 태도가 필요하다.¹¹⁶⁾

(2) 식품조사기술 자체에 한계점이 있다!¹¹⁶⁾

- ① 신선농산물의 검역대상해충 처리에서는 적용선량(generic dose)에서 해충이 즉시 죽지 않는다.
- ② 조사처리는 기존 약제처리나 열처리에 비해 고 비용(물류비, 처리비 등)이고 공정이 복잡하다.
- ③ 조사처리 된 식품에는 조사표시(logo)가 필수적이어서 기업들이 이용을 기피한다.

(3) 이같은 한계점은 해결방법이 없나요?

- ① 해충이 오염된 건조식품은 높은 선량의 방사선에너지로 처리하면 해충이 즉시 죽게 된다. 그러나 신선농산물에는 수분함량이 많아 높은 선량을 쪄지게 되면 해충은 즉시 죽으나 식물조직이 연화되어 상품성을 잃는다. 따라서 품질을 잘 유지하면서 해충을 구제하기 위한 최소의 선량을 처리하게 된다. 이때 적용하는 낮은 선량(400 Gy 수준)에서도 결과적으로 검역해충은 불활성화 되어 수입식품 검역에서 문제가 없게 된다.
- ② 조사처리기술은 첨단 장비와 시설이 필요하므로 초기투자가 크다(수 억 혹은 수십억 원). 그러나 이용자 입장에서는 살균·살충 처리 서비스를 받으면 되므로 시설을 투자할 필요가 없다. 그러나 조사처리시설까지 처리할 상품을 이송해야 하므로 기존의 약

품처리나 열처리에 비해 물류비가 추가로 소요된다. 이를 보상할 수 있는 부분은 제품을 완전 포장한 후에 살균처리하게 되므로 재 포장에 따른 재 오염의 가능성이 없고 공정이 줄어든다.

- ③ 국제적으로 조사처리 된 식품은 이를 나타내기 위한 표시(labeling)를 의무화하고 있다. 아직까지 소비자들은 조사처리식품이라는 표시에 익숙하지 않아 먼저 두려워하는 경향이 있다. 그러나 우리가 구매하는 식품의 근원적인 위생상태와 품질을 이해한다면, 오히려 국제적으로 공인된 방법으로 살균·위생처리 된 식품을 안심하고 구매하는 표시가 될 것이다.^{6-8,116)}

(4) 소비자 수용성을 조사한 사례가 있나요?

조사처리식품에 대한 소비자 수용성 연구방법은 두 가지가 있다. 첫째는 설문지나 인터뷰를 통해 소비자의 태도를 조사하고, 둘째는 시험 판매(market trial)에 의해 일정한 시장의 조건에서 소비자의 구매태도를 파악하는 방법이다. 지금까지의 설문지나 인터뷰를 통한 조사에서는 조사처리식품에 대한 소비자의 수용도가 대체로 낮은 반응을 보였다.^{48,119-121)} 그러나 시험판매에서는 조사처리식품에 대해 대체로 매우 높은 수용성을 나타내었다.¹⁵⁾

① 설문조사

1990년대에 들어서면서 조사처리식품의 실용화가 세계적으로 추진되면서 소비자 수용성을 높이기 위한 홍보와 이해 증진을 위한 노력이 많이 시도되었다. 그 동안 여러 나라에서 실시된 소비자 설문조사에서, 1982-1989년 사이는 9-60%의 소비자들이 식품의 조사처리에 대하여 들어 본적이 있거나 알고 있다고 하였다. 그러나 1990-1993년 사이에는 25-80%의 소비자들이 식품조사에 대하여 알고 있다고 응답하여 상당한 인식변화를 나타내었다.^{119,121)} 한국소비자연맹에 따르면 서

울·수도권 주부 549명을 대상으로 실시한 조사처리식품에 대한 인식도 조사에서 10명 중 8명이 “잘 모른다”로 응답하여 조사처리식품에 대한 소비자 인식이 여전히 낮은 것으로 나타났다. 특히 조사처리식품에 대해 들어 본 응답자는 37% 수준이었고, 응답자 10명 중 9명은 조사처리식품의 표시제도와 마크(logo)에 대해 알지 못하였다. 이에 따라 80% 이상의 소비자는 조사처리식품에 대한 정보제공이 더 필요하다고 응답하였다.^{121,122)}

1993년과 2003년의 미국 조지아대학 연구진의 발표에 의하면, 2003년 소비자들의 조사처리식품 구매의사(69%)는 1993년(29%)보다 크게 높아졌다고 하였다.¹²³⁾ 또한 소비자들은 신선하고 상태나 위생적인 식품을 공급받기 위해 어떤 형태로든 가공처리가 필요하다는 사실을 인식하면서, 방사선기술에 비하여 농약을 포함한 화학약품 처리에 더 높은 우려를 보였다.^{7,119,121)} 즉, 식품의 잔류농약에 대해서는 35-81%의 소비자가 우려를 보이면서 매년 우려도가 증가됨을 시사하였다. 그러나 조사처리식품에 대해서는 14-51%의 응답자가 우려를 나타내었고, 연도별로는 줄어드는 경향을 보였다. 또한 조사처리식품에 대한 어떤 정보도 듣지 못한 상태에서 그 식품의 구매의사를 묻는 설문조사에서는 대상에 따라 44-90%의 응답자가 구입하지 않겠다고 하였으며, 조사를 실시한 '84-'89년에는 44-90%, '90-'93년에는 53-70%의 응답자가 구매 반대의사를 나타내었다. 그러나 구매하겠다는 응답자는 10년('84-'93)에 걸친 설문조사에서 전체의 10-72%를 차지하였고, '90년 이후에는 응답자의 36-72%가 조사처리식품의 구매의사를 보여주었다.^{7,8,119)}

한편, 소비자들은 조사처리식품에 대하여 “왜 식품에 방사선을 처리하는지?” 그 이유를 들은 뒤에는 연도별로 점차 더 높은 구매의사를

나타냈다('82-'89, 28-66%; '90-'93, 53-89%). 이 같은 경향은 식품조사 기술에 대한 소비자들의 전반적인 인지도가 높아감에 따라 조사처리 식품에 대한 구매선호도가 상승함을 시사하고 있다. 이는 새로운 기술이나 신제품에 대해서는 적극적인 홍보와 소비자 교육의 필요성이 있음을 잘 보여주고 있다. 그리고 응답자의 44-91%는 식품조사기술에 대한 홍보가 부족하다고 하였고, 식품조사기술의 실용화 지연의 이유는 홍보부족 때문이라는 응답자가 70% 이상으로 나타났다.^{7,119)}

② 시험판매

그간 국내에서는 몇 차례의 소비자 설문조사가 이루어졌으나,^{48,119-121)} 조사처리식품에 대한 시험판매는 이루어지지 않았다. 하지만 20여 개국에서 실시된 40여 차례의 시험시판과 판매결과를 종합해 볼 때, 소비자들은 58%의 시험판매에서 방사선 조사처리보다는 처리식품의 품질에 더 관심을 보였고, 42%의 시험에서는 조사처리식품에 대해 재구매의사를 보였다. 특히, 어떠한 시험에서도 소비자들은 조사처리식품의 구매를 거부하겠다는 결론은 없었다.¹⁵⁾ 미국 인디애나주에서는 식품조사처리에 대한 소비자 교육효과를 분석하였는데, 교육 후에는 99%의 응답자가 조사처리식품의 구매의사를 보였다. 또한 와이오밍주에서는 소비자의 90% 이상이 식품조사처리하는 식품의 안전성을 향상시키는 기술이라고 응답하였다.^{7,15,109)} 국내에서는 영양사 205명을 대상으로 식품조사기술과 조사처리식품의 선호도에 대한 교육효과를 조사하였다. **그림 5-30**에서와 같이 교육 전에는 응답자의 37.5%가 조사처리식품의 선택의사를 보인 반면, 1시간 교육 후에는 79.6%로 선택의사가 크게 증가하였다.¹²⁴⁾

지난 수십 년 동안 미국, 아르헨티나, 칠레, 중국, 프랑스, 네덜란드,

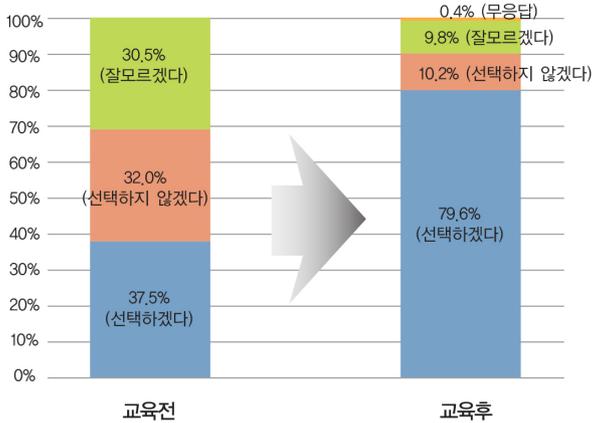


그림 5-30 조사처리식품의 선택에 대한 교육효과

인도, 인도네시아, 방글라데시, 파키스탄, 필리핀, 태국, 남아프리카공화국 등에서 조사처리식품의 시험판매(market test)가 이루어졌다. 이들 시험판매에 사용된 조사처리식품의 양을 kg 수준에서부터 12,000톤 이상에 이르기까지 광범위하였다. 조사처리 된 양파, 마늘 및 마늘 분말의 시험시판에서 아르헨티나 소비자들은 어떠한 거부사도 보이지 않았으며, 90% 이상의 소비자들은 감마선 조사된 양파를 다시 구입하고 싶다고 하였다. 프랑스 Lyon에서는 1987년과 1988년 3-10톤의 조사처리된 딸기를 시험판매하였다. 소비자들은 더 비싼 가격에도 불구하고 조사처리된 딸기를 더 선호하였다. 1986년 태국 방콕에서 실시된 조사처리된 발효소시지(Nham)의 시험판매에서는 10:1의 비율로 안전성이 보장된 조사처리된 소시지를 선호하였으며, 95% 이상의 소비자가 다시 구매하고 싶다고 응답하였다.^{6,7,109,125)}

표 5-42는 중국에서 수행된 조사처리식품의 소비자 수용성 및 시험판매 결과이다. 쌀, 양파, 감자, 사과, 쇠고기 등을 조사처리한 다음

표 5-42 중국의 조사처리식품 소비자 수용성 및 시험판매 연구¹¹⁵⁾

| 품목 | 톤 | 기간 | 도시 | 결과 |
|------|-----|-----------|--------------|------------|
| 사과 | 250 | 1985-1988 | 상하이, 텐진 | 시험판매 |
| | | 1991 | 상하이 | 90% 소비자 수용 |
| 감자 | 450 | 1985-1987 | 상하이 | 시험판매 |
| 양파 | 850 | 1986-1987 | 상하이, 텐진 | 시험판매 |
| 콩 소스 | 20 | 1991-1992 | 청도, 광저우, 등 | 70% 소비자 수용 |
| 소스 | 30 | 1991-1992 | 광저우, 난징 등 | 70% 소비자 수용 |
| 쇠고기 | 76 | 1991-1992 | 시안, 랴저우, 정저우 | 70% 소비자 수용 |
| 쌀 | 850 | 1992-1995 | 베이징 | 시험판매 |

베이징, 상하이 등 주요 도시에서 시험판매와 함께 소비자 수용성을 조사하였다. 그 결과 약 70%의 응답자가 조사처리식품의 대한 구매의사를 보여주었다. 그리고 1991년 중국 상하이에서 실시된 시험시판에서는 90%의 소비자들이 화학훈증법에 비해 조사처리의 이점을 이해한 후에는 조사처리 된 사과의 구입을 선호하였다.¹¹⁵⁾

미국에서는 1992년 일리노이 주와 플로리다 주에서 처음 시판되었던 감마선 조사처리 딸기, 양파, 버섯 등에 대해 소비자들은 9:1 정도로 조사된 식품에 더 높은 구매 선호도를 보였다.¹²⁶⁾ 그리고 1993년에는 감마선 조사처리된 닭고기가 표시되어 시판하였을 때 성공적으로 판매되었다.¹²⁷⁾ 동시에 적색육(red meats)에 대한 미국 FDA와 USDA의 방사선조사 허가에 따라 조사처리된 분쇄쇠고기가 여러 주에서 성공적으로 판매되었다.¹⁵⁾ 이 같은 조사처리식품에 대한 소비자들의 긍정적 구매 의사와 함께 중국, 벨기에, 프랑스, 일본, 태국, 남아공 등 많은 나라에서도 소매단계에서 조사처리식품의 성공적인 시험판매 결과를 얻었다.⁶⁾ 소비자들은 조사처리에 대한 정확한 정보와 처리목적을 이해하고 난 다음에는 조사처리식품의 구매를 희망할 뿐 아니라 현행

타방법으로 처리된 식품보다 더 선호하였다.

이상의 결과에서 조사처리식품의 상업화 지연 이유는 홍보부족이라는 응답이 대부분을 차지하였다. 따라서 기술의 특성과 조사처리식품의 안전성에 대한 소비자의 이해증진이 중요하게 인식되었다.^{7,48,121,124} 이 같이 새로운 식품가공방법과 그 제품이 소비자에게 수용되기 위해서는 무엇보다도 효과적인 매체에 의한 홍보와 정보제공이 요구되었다. 새로운 기술에 대하여 소비자들의 인식은 보수적이므로 그 기술에 대한 장·단점이 충분히 이해되기까지는 상당한 시간이 필요하다. 이는 통조림 기술의 발명 이후 본격적인 상업화가 진행되기까지는 1세기 이상의 시간이 소요되었다는 사실이 좋은 예가 된다.

(5) 소비자의 선택과 식품조사기술의 역할은?

현대 소비자들의 식품구매 성향은 신선하고 위생적인 식품을 늘 구입하고 싶어 한다. 이는 신선과채류나 냉동·냉장 식품류의 소비증가와 열처리가공식품류 등의 수요감소로 잘 나타난다. 특히, 식품의 편의성, 다양성, 안전성 등에 대한 욕구가 높아짐에 따라 수입식품의 증가와 효과적인 저장가공기술의 활용이 필연적이라 하겠다.⁶⁷⁾ 조사처리기술은 식품저장·가공기술의 하나이지만 응용분야가 광범위하고 처리효과가 분명한 장점이 있어 21세기 대안 신기술로 전망된다.^{1,8,116)} 이 같은 기대는 소비자의 의식조사, 시험시판, 식품마케팅 경향 및 “혁신의 확산(Diffusion of Innovation)” 이론 연구에서 잘 뒷받침되고 있다. 특히, 본 기술은 기존의 화학처리 등을 대체할 수 있는 비가열(non-thermal) 및 비 약제(non-chemical) 특성의 기술이며, 독특한 살균·살충 효과를 지니고 있으므로(그림 5-31) 국제적으로 다음과 같은 활용이 증대되고 있는 식품기술이다.^{1,3,7-9)}

- ① 식품의 미생물학적 안전성을 향상시킬 수 있는 냉온처리기술로의 활용
- ② 식량교역에서 동식물 검역처리기술(quarantine treatment)로의 활용
- ③ 수확 후 식품의 저장기간 연장으로 식량의 이용률 증대와 부가가치 향상기술로의 활용

어떤 식품기술이나 제품의 궁극적인 성공은 마케팅에 있으며, 결국 소비자의 선택에 달려있다. 현재까지 조사처리식품의 시장도입이 느리지만 이 같은 경향은 소비자들의 식품안전과 다양한 식품에 대한 욕구에 따라 점차 변화될 것이다. 그러므로 식품조사기술은 소비자들에게 보다 안전한 식품, 다양한 식품의 선택을 가능하게 할 수 있는 잠재성을 지니고 있다.⁶⁻⁸⁾

5.8 조사처리식품과 방사능오염식품의 차이는?

본 항에서는 2011년 3월 일본 후쿠시마 원전사고 이후 세계적으로 이슈가 되었던 “식품의 방사능 오염”과 방사선에너지를 이용한 식품의 안전성 향상 기술에 대한 주제를 다루고자 한다.

즉, 방사능오염식품(radioactive contamination food)과 조사처리식품(irradiated food)의 차이를 개념적으로 분명히 구분함으로써(그림 5-31) 식품안전에 대한 소비자들의 이해를 높이고자 한다.

5.8.1 방사능오염식품이란?

방사능오염식품이란 식품에 방사선을 내는 방사성물질이 오염된 식품을 말한다. 예로써 옛 소련 체르노빌 원자력발전소 사고나 일본 후

쿠시마 원자력발전소 사고로 누출되었던 방사성물질이 여러 경로를 통해 오염을 일으킨 식품을 말한다. 국내 식품공전에는 비교적 측정관리가 용이한 방사성요오드(^{131}I)와 방사성세슘($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$)에 대한 기준규격이 설정되어 있다.⁹⁾

5.8.2 조사처리식품이란?

조사처리식품이란 식품에 혼입된 식중독균이나 부패균, 해충, 기생충 등을 사멸하고 신선도를 연장시키기 위해 방사선에너지를 쬐인 식품을 말한다. 세계적으로 60여 개국에서 한 품목 또는 다수의 식품(군)에 대하여 감마선, 전자선 및 엑스선을 쬐일 수 있도록 하고 있으며, 허가된 식품의 수는 230여 품목을 넘고 있다. 국내 식품공전에는 발아·발근억제, 숙도 지연, 살충, 살균 등을 목적으로 총 29개 식품(군)에 대하여 최저 0.15 kGy, 최고 10 kGy까지의 방사선에너지 이용이 허가되어 있다(그림 5-32).⁹⁾

“조사처리식품과 방사능오염식품은 달라요!”



그림 5-31 조사처리식품과 방사능오염식품의 차이⁹⁾

한국소비자연맹(2010)¹²¹⁾은 1,026명의 주부를 대상으로 조사처리식품과 방사능오염식품에 대한 의식조사를 실시한 결과, 62%의 응답자가 “서로 같다” 혹은 “잘 모르겠다”로 응답하였다. 국내 대학생(275명)을 대상으로 한 식품의 방사능오염과 조사처리기술에 대한 교육효과를 조사한 결과에서는 **그림 5-33**과 같이 교육 전에는 62.9%, 1시간 교육 후에는 88.7%의 응답자가 조사처리식품과 방사능오염식품이 “서로 다르다”라고 응답하여 소비자 교육의 분명한 효과를 확인하였다.¹²⁴⁾



그림 5-32 국내 식품의 조사처리에 허가된 방사선량 기준⁹⁾

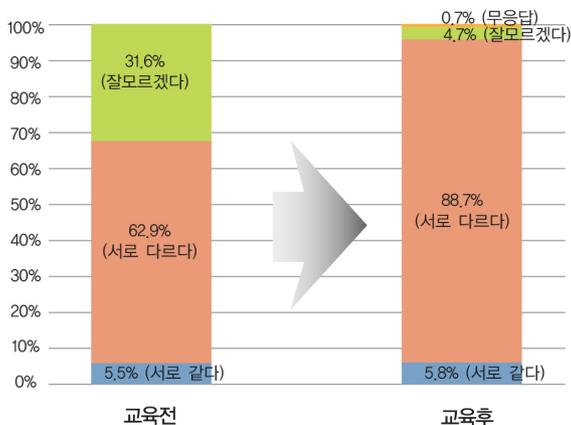


그림 5-33 조사처리식품과 방사능오염식품 인식에 대한 대학생 교육효과¹²⁴⁾

5.8.3 “방사선조사” 용어 “조사처리(irradiation)”로 순화가 필요하다

식품에 대한 방사선의 이용은 1953년 미국 아이젠하워 대통령의 유엔연설에서 “Atom for Peace 즉, 원자력의 평화적 이용”을 제안하면서 시작되었다. 이온화 작용을 지닌 방사선(감마선, 엑스선, 전자선)은 독특한 살균·살충작용으로 식품에 오염된 유해 미생물이나 해충을 효과적으로 불활성화 시킬 수 있다. 이에 따라 인류는 수확된 식량의 이용률 증대와 식품의 안전성을 확보하기 위해 약제처리, 열처리 등 여러 가공·저장방법을 이용해 왔다. 그러나 이들 전통적 방법들은 특히 안전성, 환경공해, 품질열화 등의 측면에서 문제점이 밝혀져 효과적인 대체방안이 필요하게 되었다. 즉, 비 약제(non-chemical), 비 열(non-thermal) 특성을 지닌 살균·저장방법이 국내외 식품산업에서 필요하게 되었다.^{1,7,124)}

그리하여 방사선조사처리 된 식품의 안전성이 지난 반세기 동안 국제적으로 연구되어 국제기구(FAO/WHO/IAEA)와 세계보건당국(US FDA, MFDS 등)에 의해 10 kGy 이하로 조사처리 된 식품의 건전성과 안전성이 공식 인정되었다.¹⁶⁾ 이에 따라 Codex 기준이 공포되었고,¹⁷⁾ 세계 60여 개국에서 조사처리식품을 허가하였으며,⁹⁸⁾ 우리나라도 1987년 이래 지금까지 총 29개 품목에 대해 식품의 방사선조사를 허가하고 있다.⁹⁾ 그리고 2010년까지는 년 간 수 천 톤의 식품가공 원료들이 감마선 조사처리되어 식품산업에 활발히 사용되었다.^{7,116)}

그러나 지난 2010년부터 식품의약품안전처는 조사처리식품이 미량이라도 함유되면 조사여부(마크 혹은 문구)를 표시하도록 기준을 강화하였다. 그 결과 현재 국내 식품업계에서는 방사선 조사처리 된 원료의 사용을 전면 기피하고 있으며, 일부 수출용 제품의 경우에는 수입

자의 요청에 따라 조사처리가 실시되고 있는 실정이다. 이 같은 국내의 상황은 세계적으로 매우 희귀한 현상으로, 글로벌화 시대에 시장개방화에 따른 식품의 교역이 날로 증가되는 추세를 감안한다면 이에 대한 대책이 적극 마련되어야 한다. 특히, WTO 무역체제에서 식품의 안전과 동식물 검역의 중요성이 강조되는 것을 고려한다면 국제적으로 통용될 수 있는 위생화 기술의 확보가 절실히 요구되고 있다.^{1,7,128)}

이와 관련하여 식품의약품안전처는 2017년 식품안전정보포털 식품안전나라의 식품안전지식 섹션에 “방사선조사식품, 안전할까” 코너를 마련해 “조사처리식품과 방사능오염식품과의 차이”를 설명하면서 식품조사기술은 “식품의 안전성을 확보하기 위한 기술”로 소개하고 있다.^{9,122)} 아울러 “방사선” 용어에 대한 소비자들의 불안감과 선입견을 없애기 위해 1985년 대통령령으로 신설된 “식품조사처리업”에 근거하여 식품공전의 “식품일반에 대한 공통기준 및 규격(식품일반 기준 및 규격)”에서 “식품의 방사선조사기준”을 “식품의 조사처리기준”으로 개정하였다.⁹⁾ 이에 따라 이제부터는 “방사선조사”를 “조사처리(irradiation)”로 표시할 수 있게 되었다.



- 1) Kwon JH. Cold pasteurization of prepackaged foods using ionizing energies for improving food safety and quality. Invited lecture, 2018 KFN International Symposium, Preceeding p.12, BEXCO, Busan (2018.10.30.-11.02).
- 2) Kwon JH, Ahn JJ, Shahbaz M. Food Irradiation Processing (Chp. 13), In “*Food Engineering Handbook*” edited by Varzakas T & Tzia C, CRC Press, pp. 427-490 (2014).
- 3) Josephson ES, Peterson MS. Preservation of food by ionizing radiation, Vol. I-III, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida (1983).
- 4) Kwon JH. Application of irradiation technology to preserving and improving qualities of agricultural products. J. Food Sci. Nutr. 3(3), 295-301(1998).
- 5) Molins RA. Introduction. In “*Food Irradiation: Principles and Applications*”. Edited by Molins R.A. Wiley-Interscience. New York. p. 1-21(2001).
- 6) Loaharanu P, Kava R, Choi EH. Irradiated Foods. 6th ed., American Council on Science and Health(2007), <http://www.acsh.org>
- 7) 권중호. 조사식품의 안전성과 이해, 한국식품안전연구원, 서울(2010).
- 8) Eustice RF. Global status and commercial applications of food irradiation (Chp. 20). In “*Food Irradiation Technologies: Concepts, Applications and Outcomes*”, edited by Ferreira ICFR, Antonio AL & Verde SC. Royal Society of Chemistry, UK, p. 397-424 (2018).
- 9) 식품의약품안전처. 식품공전, 국내 조사처리식품의 허가기준 및 규격(식품 조사처리 기준, 표시기준, 확인시험법 외) (1987-2019) <https://www.mfds.go.kr/index.do>
- 10) 한국원자력연구원. 첨단방사선연구소 방사선이야기, <https://www.kaeri.re.kr/arti/> (2019)
- 11) Ryser ET. Novel X-ray irradiation technology for the food industry. Paper presented at Annual Meeting of Korean Society of Food Science and

- Nutrition, Changwon, Nov. 4-6 (2009).
- 12) WHO. Food Irradiation - A technique for preserving and improving the safety of food. Geneva, Switzerland, p. 1-84 (1988).
 - 13) Grecz N, Rowley DB, Matsuyama A. The action of radiation on bacteria and viruses. In "Preservation of Foods by Ionizing Radiation" Vol. 2. Edited by Josephson ES & Peterson MS, CRC Press, Boca Raton, Florida (1983)
 - 14) Smith JS, Pillai S. Irradiation and food safety. *Food Technol.* 58, 48-55 (2004).
 - 15) Eustice RF & Bruhn CM. Consumer acceptance and marketing of irradiated foods. In "*Food Irradiation Research and Technology*". Edited by Sommer CH & Fan X, IFT Press, p. 63-83 (2006).
 - 16) WHO. Wholesomeness of irradiated food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee, Technical Report Series-659, p. 34 (1981).
 - 17) CAC. Codex General Standard for Irradiated Foods. CODEX STAN 106-1983, joint FAO/WHO Food Standards Programme. FAO/WHO/Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy.28(1983) & CAC. Revised Codex General Standard for Irradiated Foods. CODEX STAN 106-1983, Rev. 1-2003. Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy. [ftp:// ftp.fao.org/codex/standard/en/CXS_106e_1.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/standard/en/CXS_106e_1.pdf) (2003).
 - 18) UNEP. Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer. 1994 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee (1995).
 - 19) Brynjolfossn, A. 1978. Energy and food irradiation. IAEA-SM-221/54. 258-300.
 - 20) Brynjolfossn, A. 1981. Food-energy-developing countries-food irradiation. IAEA-SM-250/26. p. 421-428.
 - 21) Annoy. Combination Process for Food Irradiation. Panel Proceedings Series. Summary Report. IAEA. Vienna. p. 1-14 (1998).
 - 22) Patterson M. Combination treatments involving food irradiation. In "*Food Irradiation: Principles and Applications*". Edited by Molins RA,

- Wiley-Interscience, New York, p. 313-328 (2001).
- 23) 임성민, 김윤중. 2009. 한국형 녹색기술 R & D 육성을 위한 발전전략 제언. KISTEP R&D Focus, 14(3): 1-31.
 - 24) USDA-APHIS. Irradiation Phytosanitary Treatment of Imported Fruits and Vegetables. Federal Register 67 (205): pp. 65016-65029. Rules and Regulations (2002).
 - 25) USDA-APHIS. Treatments for fruits and vegetables. Federal Register 71(18): 4451-4464, Rules and Regulations (2006).
 - 26) 조철훈, 변명우, 이주은, 김동호, 김경표, 김장호, 권중호. 우주, 군용 및 특수식품 개발을 위한 미국항공우주국(NASA) FRCSC와 국제협력연구 기반 구축. 한국원자력연구소 연구보고서 외 (2005-2011).
 - 27) 한국원자력연구원 보도자료. 한국형 우주식품 9종 우주식품 인증서 획득. 연구책임자 이주은 (2011.12.7.).
 - 28) Dickson JS. Radiation inactivation of microorganisms. In "Food Irradiation: Principles and Applications". Edited by Molins R.A. Wiley-Interscience, New York, p. 23-35 (2001).
 - 29) Kim DH, Jo C, Byun MW. Microbial sterilization of food and health products by irradiation. Paper presented at Symposium on the Application of Irradiation Technology to Improve Safety and Quality in Food and Public Health Industries. p. 45-75, Daejeon, Korea, 13 October (2000).
 - 30) Thayer DW. Use of irradiation to kill enteric pathogens on meat and poultry. J. Food Safety, 15, 181-192 (1995).
 - 31) Shipp E. Radiation Entomology in Food Preservation. Proceedings of National Symposium on Ionizing Energy Treatment of Food, Sydney. 5-6 October (1983).
 - 32) USFDA. Irradiation in the production, processing, and handling of food. Final Rule. Department of Health and Human Services Part III. Federal Register, 21 CFR part 79. 18 April (1986).
 - 33) Dauphin J, Saint-Lébe LR. Radiation chemistry of carbohydrate, In "*Radiation*

- Chemistry of Major Food Components*”, Edited by Elias PS & Cohen AJ (1977).
- 34) Underdal B, Nordal J, Lunde G, Eggum B. The effect of ionizing radiation on the nutritional value of fish (cod) protein, *Lebensm. Wiss. Technol.* 6: 90-93 (1973).
 - 35) Nawar WW. Volatiles from food irradiation. *Food Rev. Int'l.* 21: 45-78 (1986).
 - 36) Akram K, Ahn JJ, Kwon JH. Analytical Methods for the Identification of Irradiated Foods(Chp. 1). In *“Ionizing Radiation: Applications, Sources and Biological Effects”* edited by Belotserkovsky E & Ostaltsov Z, NOVA Publishers, p. 1-35 (2012).
 - 37) Variyar PS, Chatterjee S, Sajilata MG, Singhal RS, Sharma A. Natural existence of 2-alkylcyclobutanones. *J. Agric. Food Chem.* 56, 11817-11823 (2008)
 - 38) Diehl JF. Thiamin in irradiated foods. 1. Influence of various conditions and of time after irradiation. *Z. Lebensm. Unters. Forch.* 157: 317 (1975).
 - 39) WHO. Safety and nutritional adequacy of irradiated food. World Health Organization, Geneva, Switzerland (1994).
 - 40) WHO. High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Report of a joint FAO/IAEA/WHO study group. WHO technical report series 890. World Health Organization, Geneva, Switzerland (1999).
 - 41) 조한옥, 변명우, 권중호, 양호숙, 이철호. 방사선 조사와 자연저온에 의한 발아식품의 batch scale 저장에 관한 연구. 제 1보. 감자의 저장. *한국식품과학회지*, 14(4): 355-363 (1982).
 - 42) 변명우, 이철호, 조한옥, 권중호, 양호숙. 방사선 조사와 자연저온에 의한 발아식품의 batch scale 저장에 관한 연구. 제 2보. 조사감자의 장기간 저장 후 potato chip 가공적성에 대하여. *한국식품과학회지*, 14(4), 364-369 (1982).
 - 43) Kwon JH, Byun MW, Cho HO. Effect of gamma irradiation dose and

- timing of treatment after harvest on the storeability of garlic bulbs. *Journal of Food Science*, 50(2), 379-381 (1985).
- 44) Kwon JH, Yoon HS. Changes in flavor components of garlic resulting from gamma irradiation. *Journal of Food Science*, 50(4), 1193-1195 (1985).
- 45) 조한옥, 양호숙, 변명우, 권중호, 김종근. 방사선 조사와 자연저온에 의한 발아식품의 Batch Scale 저장에 관한 연구. 제4보. 밤의 저장. *한국식품과학지* 15(3), 231-237 (1983).
- 46) 권중호, 변명우, 김석원, 양재승, 차보숙, 조한옥. 양송이의 관능적 특성에 대한 감마에너지의 영향. *한국식품과학회지*, 22(3), 285-289 (1990).
- 47) 조한옥, 변명우, 권중호, 이재원. 방사선 조사에 의한 수세된 수삼의 저장. *한국농화학회지*, 29(3), 288-293 (1986).
- 48) Kwon JH, Byun MW, Cho HO. Development of food irradiation technology and consumer attitude toward irradiated food in Korea. *Radioisotopes*, 41(12): 654-662 (1992).
- 49) Waje C, Jun SY, Lee YK, Moon KD, Choi YH, Kwon JH. Seed viability and functional properties of broccoli sprouts during germination and postharvest storage as affected by irradiation of seeds. *J. Food Sci.* 74(5), c370-374 (2009).
- 50) Hallman GJ, Loaharanu P. Phytosanitary irradiation - Development and application. *Radiat. Phys. Chem.* 129, 39-45 (2016).
- 51) 권중호, 권용정. 2005. 식품의 교역증진을 위한 방사선 검역처리기술의 이용. *식품공업*. 185(5): 62-83.
- 52) 농림축산식품부, “수출입식품검역 소독처리규정 일부 개정” - 물리적 소독법 인 방사선조사법(감마선, 전자선, X선) 신설 (농림축산검역본부 고시 제 2015-36호).
- 53) IAEA. Use of Irradiation As A Quarantine Treatment of Food and Agricultural Commodities. Proceedings of the final research co-ordination meeting, Organized by Joint FAO/IAEA. Kuala Lumpur, Malaysia, 27 August (1992).
- 54) 권중호, 김석원, 변명우, 조한옥, 이기동. 1994. 분말성 식품에 있어서

- ethylene oxide의 잔류성 및 이차 생성물 분석. 한국식품위생학회지, 9(1), 43-48.
- 55) Waje C, Kim HK, Kim KS, Todoriki S, Kwon JH. Physicochemical and microbiological qualities of steamed and irradiated ground black pepper (*Piper nigrum* L.). J. Agric. Food Chem. 56, 4592-4596 (2008).
- 56) Rico CW, Kim GR, Ahn JJ, Kim HK, Furuta M, Kwon JH. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annum* L.). Food Chem. 119, 1012-1016 (2010).
- 57) 김영재, 김종근, 조한옥, 변명우, 권중호. 감마선 조사와 훈증처리된 건조표고버섯의 저장성 및 조리적성. 한국식품위생학회지. 2(1), 29-34 (1987).
- 58) Byun MW, Nam SM, Song HS, Kwon JH, Mori T. Effects of ionizing energy treatment on water absorption property of soybeans. Foods and Biotechnology. 3(1), 14-10 (1994).
- 59) 변명우, 강일준, 권중호, 이수정, 김성근. 1995. 옥수수 전분 추출공정 개선을 위한 감마선 이용. 한국식품과학회지. 27(1): 30-35.
- 60) Byun MW, Lee JW, Yook HS, Jo D, Kim HY. Application of gamma irradiation for inhibition of food allergy. Radiat. Phys. Chem. 63, 369-370 (2002).
- 61) Seo JH, Lee JW, Lee YS, Lee SY, Kim MR, Yook HS, Byun MW. Change of an egg allergen in a white layer cake containing gamma-irradiated egg white. J. Food Prot. 67, 1725-1730 (2004).
- 62) Ahn HJ, Kim JH, Jo C, Lee JW, Yook HS, Byun MW. Effects of gamma irradiation on residual nitrite, residual ascorbate, color, and N-nitrosamines of cooked pork sausage during storage. Food Control. 15, 197-203 (2004).
- 63) Byun MW, Lee JW, Yook HS, Lee KH, Kim KP. The improvement of color and shelf life of ham by gamma irradiation. J. Food Prot. 62, 1162-1166 (1999).
- 64) Kim JH, Ahn HJ, Jo C, Park HJ, Chung YJ, Byun MW. Radiolysis of biogenic

- amines in model systems by gamma irradiation. *Food Control*, 15, 405-408 (2004).
- 65) Byun MW, Jo C, Lee JW, Jo SK, Kim, K.S. Application of radiation technology to develop green tea leaf as a natural resource for the cosmetic industry. *Raidat. Phys. Chem*, 71, 487-489 (2004).
- 66) Rice J. Irradiation sterilization of food packaging: The future shines. *Food Processing*, March, pp. 53-57 (1986).
- 67) Kwon JH. Safety studies and international evaluations on the irradiated food. The 2nd KAST-US NA Bilateral Symposium, Proceedings pp. 245-275, Seoul, 24 August (2009).
- 68) 이철호, 이효민, 박용호, 박경진, 김형진, 권중호, Doyle M, Buchanan R, Yaktine A, Brackett R, Miller S. 식품의 안전성 평가, 한국과학기술한림원 출판부, 경기도, p. 195-212 (2009).
- 69) Pauli GH, Tarantino LM. FDA regulatory aspects of food irradiation. *J. Food Protect*, 58, 209-212 (1995).
- 70) Kang IJ. Safety evaluation of irradiated foods. Paper presented at Symposium on the Application of Irradiation Technology to Improve Safety and Quality in Food and Public Health Industries. Oct. 13, 2000. Daejeon, Korea. p. 165-182 (2000).
- 71) Brin M, Ostashever AS, Kalinsky H. The effects of feeding pork, bread, green beans and shrimp to rats on growth and on five enzymes in blood. *Toxicol, Appl. Pharmacol*, 3, 606-617 (1961).
- 72) Malhotra OP, Reber EF. Methionine and testosterone effects on occurrence of hemorrhagic diathesis in rats. *Am. J. Physiol*, 205, 1089-1092 (1963).
- 73) Gabriel KL, Edmonds RS. The wholesomeness of irradiated onions 1-2 (United States of America). *Food Irradiation Inform*, 6, 116-119 (1976).
- 74) Shillinger IUI, Osipova IN. Effect of gamma-irradiated fresh fish on the organism of white rates. *Vopr Pitan*, 29, 45-50 (1970).
- 75) Porter G, Festing M. A comparison between irradiated and autoclaved

- diets for breeding mice, with observations on palatability. *Lab. Animal*, 4, 203-213 (1970).
- 76) Phillips RJS. A comparison of mutation induced by acute x and chronic gamma irradiation in mice. *Brit. J. Radiol.* 34, 261-264 (1961).
- 77) Biagini C. On the evolution of the radiologic pattern of interstitial plasma cell *Pneumocystis carinii* pneumonia. *Nunt Radiol.* 33, 3-40 (1967).
- 78) Monsen H. Heart lesions in mice induced by feeding irradiated foods. *Fed. Proc.* 19, 1031-1034 (1960).
- 79) Reber EF, Malhotra OP, Simon J, Kreier JP, Beamer PD, Norton HW. The effect of feeding irradiated flour to dogs. *Tox. Appl. Pharm.* 3, 568-573 (1961).
- 80) Thayer DW, Christopher JP, Campbell LA, Ronning DC, Dahlgren RR, Thomson GM, Wierbicki E. Toxicology studies of irradiation-sterilized chicken. *J. Food Prot.* 50, 278-288 (1987).
- 81) Bierman EL, Levy LM, Witt MF. Short-term human feeding studies of foods sterilized by gamma radiation and stored at room temperature. *US Army Med. Nutr. Lab. Report No.* 224 (1958).
- 82) Brynjolfsson A. Results of feeding trials of irradiated diets in human volunteers. Summary of the Chinese studies reported at FAO/IAEA seminar for Asia and the Pacific on the practical application for food irradiation. *Food Irradiation Newsletter.* 11, 33-41 (1987).
- 83) Baskaram C, Sadasivan G. Effects of feeding irradiated wheat to malnourished children, *American Journal of Clinical Nutrition*, 28, 130 (1975).
- 84) Dai Y. Safety evaluation of irradiated food in China. In *Food Irradiation Processing*. Proceedings of an International Symposium on Food irradiation Processing jointly organized by IAEA/FAO, Washington, D.C., U.S.A., 4-8 March 1985 (IAEA-SM-271/ 89P).
- 85) Sanderson DCW, Slater C, Cairns KJ. Detection of irradiated food. *Nature*.

- 30, 23-24 (1989).
- 86) Chinn HI. Evaluation of the health aspects of certain compounds found in irradiated beef. Chapter I: Further toxicological considerations of volatile products, pp 1-29. Life Sciences Research Office, Federation of American Societies for Experimental Biology, Bethesda, Md. (1979).
- 87) McNeal TP, Nyman PJ, Diachenko GW, Hollifield HC. Survey of benzene in foods by using headspace concentration techniques and capillary gas chromatography. *J. AOAC Intl.* 76(6), 1213-1219 (1993).
- 88) Letellier PR, Nawar WW. 2-Alkylcyclobutanones from the radiolysis of triglycerides. *Lipids*, 7, 75-76 (1972).
- 89) Delincée H, Pool-Zobel BL. Genotoxic properties of 2-dodecylcyclobutanone, a compound formed on irradiation of food containing fat. *Radiat. Phys. Chem.* 52, 39-42 (1998).
- 90) Loaharanu P, Kava R, Ponirovskaya Y. *Irradiated Foods*. 5th ed. American Council on Science and Health (2003) <http://www.acsh.org>.
- 91) Sommers, C. and Fan, X. 2006. *Food Irradiation Research and Technology*. Blackwell Publishing & IFT Press. p. 1-317.
- 92) Ravindran R, Jaiswal AK. Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods. *Food Chemistry*, 285, 363-368 (2019).
- 93) 김왕근, 정일윤, 이주은, 변명우 (공역). 방사선 식품생명공학. 도서출판 생각나눔. 경기, p. 1-188 (2009).
- 94) Findlay DJS, Rarsons TV, Sene MR. Experimental electron beam irradiation of food and the induction of radioactivity, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*. 43, 567-575 (1992).
- 95) MOST. Studies on safety and efficacy of gamma-irradiated ginseng. Ministry of Science and Technology, MOST/NIHS/NPRI-SNU/KAERI-RR (1990-1995).
- 96) MOST. Studies on the nutritional stability of irradiated foods and its acceptability to food service industry. Ministry of Science and Technology, MOST/KAERI/KFN-RR (Oh MJ, Song YO, Kang IJ, Ryu ES, Park MJ). p.

- 1-103 (2007).
- 97) 식품안전정보원. 해외 주요국 식품의 방사선조사 허용 현황 및 표시기준. 보고서(2013).
- 98) IAEA. IAEA Homepage, <https://www.iaea.org/topics/food-irradiation>. Accessed on November 20 (2019).
- 99) Kilcast D. Irradiation of packaged food. In "*Food Irradiation and the Chemist*", edited by Johnson DE & Stevenson MH. The Royal Society of Chemistry, United Kingdom, Special Pub. No. 86 (1990).
- 100) 권중호, 정형욱, 김병근, 안재준, 김귀란, 조덕조, 안경아. 조사식품의 확인방법 연구와 적용. 한국식품위생안전성학회지, 6(2), 11-27 (2011).
- 101) Raffi J et al. Concerted action of the community bureau of reference on methods of identification of irradiated foods, EUR-15261 EN, European Commission, Luxembourg (1994).
- 102) EN 1784. 1996. Foodstuffs-Detection of irradiated food containing fat, gas chromatographic analysis of hydrocarbons, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- 103) EN 1785. Foodstuffs-Detection of irradiated food containing fat, gas chromatographic/mass spectrometric analysis of 2-alkylcyclobutanones, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (1996).
- 104) EN 1786. Foodstuffs-Detection of irradiated food containing bone, method by ESR-spectroscopy, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (1996).
- 105) EN 1787. 1996. Foodstuffs-Detection of irradiated food containing cellulose, method by ESR-spectroscopy, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- 106) EN 1788. Foodstuffs-Detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated, method by thermoluminescence, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (1996).
- 107) CEN. European Committee for Standardization, Available at :

- <http://www.cen.eu/cenorm/sectors/sectors/food/index.asp>. Accessed on Sep. 15 (2008).
- 108) FAO/WHO CODEX STAN. General Codex Methods for the Detection of Irradiated Foods. CODEX STAN 231-2001, Rev.1. (2003).
 - 109) Eustice RF. Successful marketing of irradiated foods (Chp. 17). In *Food Irradiation Technologies: Concepts, Applications and Outcomes*, edited by Ferreira ICFR, Antonio AL and Verde SC. Royal Society of Chemistry, UK, p. 352-368 (2018).
 - 110) McHugh T, Carswell L. Illuminating E-beam processing. *Food Technology*, p. 64-66 (2017).
 - 111) Kume T., Furuta M., Todoriki S., Uenoyama N., Kobayashi Y. Status of food irradiation in the world. *Radiat. Phys. Chem.* 78, 222-226 (2009).
 - 112) Kume T., Furuta M., Todoriki S., Uenoyama N., Kobayashi Y. Quality and economic scale of food irradiation in the world. *Radioisotopes*. 58: 25-35 (2009).
 - 113) Leach P. Irradiation of tropical fruit for phytosanitary purposes in Australia. Paper presented at annual meeting of Korean Society of Food Science and Nutrition, Changwon, Nov. 4-6 (2009).
 - 114) Commission of the European Communities. Directive, 1999/2/EC, Official Journal of the European Communities, L66/16, March 13 (1999).
 - 115) Gao M. The current status of food irradiation in China. Paper presented at the 2008 annual meeting of Korean Society of Food Science and Nutrition, Jeju, Oct. 13-15 (2008).
 - 116) Ihsanullah I, Rashid A. Current activities in food irradiation as a sanitary and phytosanitary treatment in the Asia and the Pacific Region and a comparison with advanced countries. *Food Control*, 72, 345-359 (2017).
 - 117) Anonymous. 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).
- 118) Bruhn CM, Shutz HG. Consumer awareness and outlook for acceptance of food irradiation. *Food Technol.* 43(7), 93-97 (1989).
- 119) 권중호. 방사선조사식품과 소비자 수용성. *식품공업.* 131, 25-43 (1995).
- 120) 김효정, 김미라. 방사선조사 식품에 대한 소비자의 태도. *대한가정학회지.* 41, 119-130 (2003).
- 121) 이향기. 방사선조사식품 의식조사 - 주부 10명 중 8명은 방사선조사식품을 모른다. *한국소비자연맹* (2010).
- 122) 김현옥. 식량안보에 미치는 시민운동의 영향(4장). *식품산업과 식량안보, 도서출판 식안연, 서울, p. 157-170* (2019).
- 123) Johnson A, Estes RA, Jinru C, Resurreccion AVA. Consumer attitudes toward irradiated food: 2003 vs. 1993. *Food Protection Trends.* 24, 408-418 (2004).
- 124) 권중호. 경상북도 영양사 교육, 경상북도보건환경연구원 교육, 국립농산물품질관리원 교육 - 방사능, 방사선 및 식품안전 (2015-2019).
- 125) Prachasittisak Y, Pringsulaka U, Chareon S. Consumer acceptance of irradiated *Nahm* fermented pork sausage. Office of atomic energy for peace, Bangkok, Thailand (1989).
- 126) Marcotte M. Irradiated strawberries enter the U.S. market. *Food Technol.* 46(5), 80-86 (1992).
- 127) Pszczola D. Irradiated poultry makes U. S. debut in Midwest and Florida markets. *Food Technol.* 47(11), 89-96 (1993).
- 128) 권중호. 식품저장 및 유통안전 연구 40년의 회고. *식품저장과 가공산업,* 17, 55-78 (2018).



6.1 방사능오염식품의 안전관리는?

일본 후쿠시마 원자력발전소 사고(2011. 3. 11) 이후 그해 3월부터 국내 관련기관에서는 식품의 방사능오염 여부 검사를 실시하고, 그 결과를 관련부처(식품의약품안전처, 농림축산식품부, 해양수산부, 원자력안전위원회 등) 홈페이지에 지속적으로 공개하고 있다. 수입식품의 방사능오염 검사는 대표적인 방사성핵종(^{131}I , $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$)의 존재여부와 방사능의 강도를 측정하고 있다. 이때 방사성요오드나 방사성세슘의 오염여부 판단은 1-2시간에 분석이 가능하고, 방사성 물질 오염농도(베크렐/Bq)의 측정에는 8-9시간이 소요된다.

정부에서는 일본 후쿠시마 원전사고 이후 최근에는 일본산 수입식품의 일일보고와 함께 기타 다른 나라 산 수입농식품(수산물, 축산물 포함)의 방사능검사 결과를 주 간격으로 홈페이지(<https://www.mfds.go.kr> 외)에 공시하고 있다. 이때 검사대상식품은 농산물, 수산물, 축산물, 가공식품 등으로 구분하며, 일본산 수입식품의 방사능 검사결과는 2011년 3월부터 2019년 10월 초까지 총 269,036건을 검사하여 방사능 미량검출 146건(통관), 미량검출 204건(반송)의 조치를 취한 바 있다.¹⁾

국내에서는 후쿠시마 사고 이후 2013년 방사능 관련 식품기준을 임

시적으로 엄격히 적용하다가 2020년 1월 1일 시행을 근거로 모든 식품에 대한 방사능요오드(^{131}I)의 기준을 100 Bq/kg(L) 이하로 정하였다. 동시에 방사성세슘($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$)에 대하여는 영아용 조제식, 성장기용 조제식, 영·유아용 이유식, 영·유아용 특수조제식품, 영아용 조제유, 성장기용 조제유, 유 및 유가공품, 아이스크림류를 대상으로 50 Bq/kg(L) 이하로 정하고 있다. 또한 기타식품(영아용 조제식, 성장기용 조제식, 영·유아용 이유식, 영·유아용 특수조제식품, 유 및 유가공품을 제외한 모든 식품 및 농·축·수산물)에 대한 방사성세슘($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$)의 기준은 100 Bq/kg(L) 이하로 정하고 있다(표 3-4). 이는 2018년까지의 기준이었던 방사능요오드(^{131}I) 100-300 이하, 방사성세슘($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) 100 이하 보다 훨씬 엄격해진 기준이다. 이상의 방사능요오드 기준은 Codex 기준과 동일하며, 세슘에 대한 일본 기준과 동일하게 가장 엄격한 수준이라고 할 수 있다.

2011년부터 2019년 7월말까지의 수입식품 검사에서 1,189건 6,723톤의 식품에서 방사능이 검출됐다. 더욱이 일본을 제외한 타 국가들로부터 수입된 식품 3,497톤 가운데 중국산 능이버섯 291건 1,455톤, 러시아산 차가버섯 58건 198톤, 미국산 블루베리 7건 157톤 및 터키 헤즐너트 11건 129톤 순으로 방사능 검출 빈도가 높았다. 이들 4개 국가 4개 농산물에서 방사능이 검출된 비중은 전체 물량의 절반을 넘고 있다.²⁾ 2011년 이후 방사능이 검출된 주요 수입 가공식품은 1,287톤으로, 일본이 아닌 다른 나라들에서 수입된 방사능 검출 먹거리의 36.8%를 차지했다. 따라서 수입식품 중 버섯류, 잼, 블루베리, 헤즐너트, 과채가공품, 차류 및 분유류에서 방사능 검출이 반복되고 있으므로 이에 대한 원인 분석과 철저한 검사관리가 필요하다.

정부는 식품의 방사능오염 검사를 생산단계와 유통단계로 구분하여 실시하고 있다. 생산단계에서는 농림축산식품부, 해양수산부, 시·도 보건환경연구원 등에서, 유통단계에서는 식품의약품안전처와 시·도 식품위생 관련부서에서 항시 검사를 실시하여 검사결과를 수시로 홈페이지에 공시하고 있다. 한편, 국내에서는 일본산 수입식품에 대한 임시특별조치(2013. 9. 6)로써 후쿠시마 주변 8개현의 수산물은 물론 일본산 축산물에 대한 엄격한 방사능 오염검사를 실시하고 있다. 이때 미량이라도 세슘이 검출되면 기타 핵종의 검사증명서를 추가로 요구하고 있다. 이후 일본정부는 한국정부의 일본 수산물에 대한 임시특별 조치에 대한 항의로써 WTO에 제소하였고, WTO 한·일 수산물 분쟁 패널이 설치되었다. 그 결과 2019년 4월 26일 WTO 분쟁해결기구는 ‘일본산 수입식품 분쟁 최종판정’에서 대한민국 정부가 일본산 수산물 등 수입식품에 대해 취한 수입규제조치가 WTO 협정을 위반하지 않았다고 최종 판정을 내렸다.¹⁾

우리가 방사능오염식품을 섭취하는 것은 인체가 방사선에 노출되는 것을 의미한다. 이에 따른 위해정도는 방사성물질의 종류와 양에 따라 달라진다. 방사성요오드는 체내에서 갑상선 등에 축적되고, 특히 어린 이에게는 위험이 증가될 수 있다. 방사성세슘 역시 건강상에 장기적으로 영향을 미칠 수 있으니 주의해야 한다. 식품의약품안전처는 일부 식품이 마치 방사능 방어효과가 있는 것처럼 허위·과대 광고하고 있음을 지적하였다. 지금까지 방사능방어 기능을 인정받은 식품은 없다. 비타민·요오드·아연 함유 식품 등을 섭취한다 해도 방사능피폭의 예방이나 치료에는 전혀 효과가 없다. 특히 요오드가 함유된 식품을 지나치게 많이 섭취할 경우는 갑상선염, 갑상선종, 갑상선 기능항진 등의 부작용이 나타날 수 있음을 지적하고 있다.¹⁾

6.2 방사능오염 관련 권고사항은?^{1,3)}

방사능 간 사고가 발생되면 방사성물질이 공기 또는 비에 함유되어 지상으로 유입되어 농립산물의 표면이나 뿌리에 방사성물질이 오염될 수 있다. 표면적이 넓은 엽채류는 대기 중의 방사성물질에 의해 오염된다. 초지목장에서 사육되는 가축들은 대기 중 방사능의 낙진으로 오염된 목초를 먹음으로써 우유나 도축육에 방사성핵종이 오염된다. 농장의 채소 등 농작물이나 사료는 비닐 또는 방수 천으로 가리고 방목된 가축은 축사로 들여보내는 것이 필요하다.

방사능사고 시 오염의 심각성이 확인된 지역의 중·장기적 대안으로는 오염지역에서 생산된 우유나 채소의 섭취를 피하는 것이다. 식품에 오염된 방사성물질을 제거하는 특별한 조리·가공법은 없으며, 오염식품은 가열하여도 차이가 없다. 그러나 섭취 이전에 깨끗이 세척하거나 껍질을 벗기면 표면에 잔류하는 방사성물질을 피할 수 있다.

6.3 방사선기술의 이용 - 식품안전을 확보할 수 있다!

기술적으로 발생·관리하는 방사선에너지(감마선, 전자선, X선)는 독특한 살균·살충 작용을 지니고 있으므로 식품에 오염된 병원성미생물이나 해충, 기생충을 효과적으로 사멸시킬수 있어 식품의 안전성을 확보하는 대안기술이다. 또한, 발아나 생장억제 작용이 있어서 신선농립산물의 저장과 유통기한 연장에 매우 효과적이다. 이는 수확된 식량의 이용률 증대와 식품의 안전성을 확보하기 위해 기존의 훈증약제처리, 열처리 등의 문제점(안전성, 환경공해, 품질열화 등)을 해결하거나 보완할 수 있는 효과적인 대체방안이 될 수 있다. 다시 말해 비 약제(non-chemical), 비 가열(non-thermal) 특성을 지닌 살균·저장방법이

국내의 식품산업에 필요하게 되었다.^{4,5)}

그리하여 지난 반세기에 걸쳐 국제기구의 주도로 연구된 조사처리식품(irradiated food)의 안전성과 기술적 타당성이 국제기구(FAO/WHO/IAEA)와 세계보건단체(US FDA/USDA, MFDS 등)에 의해 10 kGy 이하로 조사처리 된 식품의 건전성과 안전성이 공식 인정되었다.⁶⁻⁸⁾ 이에 따라 국제식품규격위원회(Codex) 규격기준이 공포되었고(FAO/WHO, 1983; 2003),⁹⁾ 세계 60여 개국에서 식품의 조사처리(food irradiation)가 허가되었다.¹⁰⁾ 우리나라는 1987년 이래 지금까지 총 29개 품목에 대해 식품의 조사처리를 허가하였고,¹⁾ 2010년 이전까지는 매년 수 천 톤의 식품가공 원료들이 감마선조사처리 되어 식품산업에 다양하게 이용되었다.^{1,11)}

그러나 지난 2010년 1월 식품의약품안전처는 조사처리식품이 미량이라도 함유되면 조사여부(마크 혹은 문구)를 표시하도록 기준을 강화함에 따라 현재는 국내 식품업계는 조사처리 된 원료의 사용을 전면 기피하고 있으며, 일부 수출용 제품에 한하여 수입자의 요청에 따라 조사처리가 실시되고 있다. 이 같은 국내 상황은 세계적으로 매우 희귀한 현상이다. 글로벌화 시대에 식품의 교역이 날로 증가되는 추세를 감안한다면, 이에 대한 적극적인 대책 마련이 필요하다. 특히 WTO 국제무역체제에서 식품의 안전과 동식물 검역기준의 일원화와 함께 국제적으로 통용될 수 있는 위생화 기술의 확보가 요구되고 있다.^{1,3,12)}

현재 국내 주요 식품업체에서는 자사 제품에 사용되는 원료의 조사처리 여부를 밝혀내기 위해 수억 원의 분석 장비를 구입하고 전문분석 인력을 고용하고 있다. 또한, 자체 검사능력이 없는 대다수 중소기업

들은 모든 식품원료들을 전문검사기관에 의뢰·분석한 다음 사용하고 있는 실정인데, 이 비용은 국가 전체로 볼 때는 연간 수십억·수백억 원에 달할 것으로 예측된다.¹³⁾

6.4 국민의 식품안전과 기업경쟁력을 바라보자!

만약 조사처리식품이 인체에 유해하다면 철저히 검사되고 관리해야 한다. 그러나 조사처리식품의 안전성은 이미 언급한 대로 국제적으로 공인되었고 미국, 캐나다, 호주 등 선진국에서는 수입농산물의 검역을 위하여 약품처리(메틸브로마이드/MB)를 대신하여 조사처리기술을 활용하고 있다. 이는 정부와 식품기업이 진정 식품안전을 생각한다면 이에 대한 철저한 동향분석이 필요하다. 이에 따라 선진국과 글로벌 시장에서 통용될 수 있는 기술의 실용화를 통하여 소비자의 안전과 우리 식품산업의 대외경쟁력 확보에 적극 나서야 할 것이다.^{1,3,12,13)}

조사처리식품에 대한 표시(label)는 Codex 기준의 권장사항이며, 국내 식품공전에도 의무사항이다. 그러나 식량의 70% 이상을 수입에 의존해야 하는 우리나라의 실정에서는 표시기준의 강화에 따라 조사처리 기술의 활용에 위축이 초래된다면, 먼저 우리 식품산업의 가격 및 대외 경쟁력이 크게 떨어질 우려가 있다. 이는 식품기업들이 추가적인 설비 도입(검사장비, 고압증기살균장치, 냉동설비 등)과 전문인력 고용에 따른 비용발생으로 제품가격의 상승과 증기살균에 따른 품질저하 등으로 모든 부담이 소비자에게 돌아가고 기업은 대외경쟁력을 잃게 될 것이다. 미국은 유통되고 있는 향신료의 1/3을 조사처리하고 있다. 고춧가루, 건조채소류, 혼합조미료 등은 근본적으로 미생물 오염도가 높아 살균·살충처리가 필수적이다. 만약 국내외적으로 허용된 조사처리기술을 활용하지 않는다면 약품이나 고압증기로 찌는 방법 밖에 없으니, 물에

녹는 색소와 맛이 떨어져 품질이 저하되고, 다시 건조하여 포장하게 되니 공정의 추가로 우리 기업의 국제경쟁력은 떨어질 수밖에 없다.^{3,13)}

우리의 주요 교역 상대국인 미국, 중국, 베트남 등은 조사처리기술을 적극 활용하고 있다. 미 농무부(USDA)는 미국에 수입되는 모든 농산물은 훈증약제 대신 조사처리(irradiation)를 요구하고 있다.¹²⁾ 국내는 식품 등의 조사처리시설이 45기가 가동되고 있으나 지금은 대부분의 의료용품이나 기타 산업용 재료의 처리에 이용되고 있다. 하지만, 중국에는 총 700기 이상의 조사처리시설이 식품, 의료용품 등의 위생화 처리를 위해 가동되고 있다. 특히 최근 중국 정부와 학계 및 산업계에서는 식품의 위생, 식물검역위생 및 저장유통기한 분야의 현장애로를 해결하기 위해 조사처리기술의 이용을 적극 추진하기로 하였으며, 최근 중국의 조사처리식품 생산량은 전 세계 물량의 절반을 초과하는 것으로 예측하고 있다.^{13,14)}

따라서 우리 정부는 지금까지 이용되고 있는 어떠한 식품가공·저장법보다도 과학적이고도 장기간 연구·개발된 식품조사기술의 장점을 활용하여 식품의 안전성 확보는 물론, 수확된 식량자원의 이용률을 효과적으로 높이기 위한 대책을 수립해야 할 것이다. 이를 위해서는 현행 조사처리식품의 표시제도를 조속히 개선하여 국내 시장에서의 조사처리식품 유통과 수출활성화에 기여할 수 있는 정책 방안 마련이 시급하다. 아울러, 식중독 예방과 식량자원 손실방지를 위한 식품조사기술의 효과적인 활용을 위해 올바른 소비자 교육과 글로벌화 시대에 부응하는 정책실현이 절실하다.



- 1) 식품의약품안전처. 식품공전, 국내 조사처리식품의 허가기준 및 규격(식품 조사처리 기준, 표시기준, 확인시험법 외) (1987-2019).
- 2) 머니투데이. 중국 능이버섯, 러 차가버섯, 미 블루베리.... “방사능 반복 검출” (2019.10.28.).
- 3) 권중호. 방사능, 방사선, 그리고 농식품 안전. 식품저장과 가공산업 16(1), 55-78 (2017).
- 4) Kwon JH. Cold pasteurization of prepackaged foods using ionizing energies for improving food safety and quality. Invited lecture, 2018 KFN International Symposium, Preceeding p. 12, BEXCO, Busan (2018.10.30.-11.02).
- 5) WHO. Food Irradiation - A technique for preserving and improving the safety of food. Geneva, Switzerland, p. 1-84 (1988).
- 6) WHO. Wholesomeness of irradiated food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee. Technical Report Series-659. p. 34 (1981).
- 7) WHO. Safety and nutritional adequacy of irradiated food. World Health Organization, Geneva, Switzerland (1994).
- 8) Ravindran R, Jaiswal AK. Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods. Food Chemistry, 285, 363-368 (2019).
- 9) CAC. Codex General Standard for Irradiated Foods. CODEX STAN 106-1983, joint FAO/WHO Food Standards Programme. FAO/WHO/Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy.28 (1983) & CAC. Revised Codex General Standard for Irradiated Foods. CODEX STAN 106-1983, Rev. 1-2003. Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy (2003) [ftp:// ftp.fao.org/codex/standard/en/CXS_106e_1.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/standard/en/CXS_106e_1.pdf).
- 10) IAEA. IAEA Homepage, <https://www.iaea.org/topics/food-irradiation>. Accessed on November 20 (2019).
- 11) Ihsanullah I, Rashid A. Current activities in food irradiation as a sanitary

and phytosanitary treatment in the Asia and the Pacific Region and a comparison with advanced countries. Food Control, 72, 345-359 (2017).

- 12) 권중호. 농산물의 수출확대를 위한 친환경 위생화 기술의 활용 전망. 농산물 수출상품화 전문과정 교육자료, 경북대학교 식품생물산업연구소 (2019).
- 13) 김현옥. 식량안보에 미치는 시민운동의 영향(4장). 식품산업과 식량안보, 도서출판 식안연, 서울, pp. 157-170 (2019).
- 14) Cetinkaya N, Erhan IC. Food safety and irradiation related sanitary and phytosanitary approaches - Chinese perspective, Unpublished article (2019).



- **감마선(gamma ray)** : 매우 짧은 파장이며, 고에너지 X-선과 유사한 전자기 방사선. 감마선은 코발트-60 또는 세슘-137이 일시적으로 붕괴되는 방사성동위원소가 내뿜는 방사선입니다.
- **고에너지 전자(high-energy electrons)** : 가속기에 의해서 1천만 전자볼트(MeV)까지의 에너지를 얻은 전자빔이나 흐름이다. 또한, 전자는 방사선을 발생하는데, 이러한 경우 전자를 “베타선”이라고 부릅니다.
- **그레이(gray, Gy)** : 그레이(Gy)는 식품이 조사처리 시간 동안 이온화에너지를 흡수하는 정도(혹은 단위)입니다. 1그레이는 1 kg의 물질이 흡수하는 1 Joule의 에너지와 같습니다. 1,000 Gy = 1킬로그레이(kGy). 이전의 흡수선량 단위는 래드(rad)입니다. 1 Gy = 100 rad.
- **라두라(radura)** : 방사선 조사처리 한 물건을 의미하는 표시(마크)나 로고로서, 네덜란드, WHO, 방사선조사 국제자문위원회에서 국제적으로 인정한 표시입니다.
- **래드(radiation absorption dose, rad)** : 방사선이 생명체에 흡수된 에너지량을 측정하는 흡수선량 단위. 1래드의 방사선 선량은 1 g의 물질에 100개의 에너지가 흡수된 것과 동일한 양입니다.
- **반감기(half-life)** : 방사능의 강도 즉, 방사선을 내는 방사성물질의 세기가 절반으로 줄어들 때까지 걸리는 시간을 말하며, 반감기는 크게 물리적 반감기와 생물학적 반감기로 구분합니다.
 - ① 물리적 반감기(physical half-life) : 자연 상태에서 방사성 붕괴를

통해 방사능이 절반으로 감소하는 기간(time)을 뜻하며, 일반적으로 사용하는 반감기는 이를 말합니다.

② 생물학적 반감기(biological half-life) : 몸 안으로 들어온 방사성물질이 소화, 배설 등의 생리적 작용으로 몸 밖으로 빠져나가 방사능이 절반으로 줄어든 때까지의 기간을 말합니다.

③ 유효반감기(effective half-life) : 이같이 물리적 반감기와 생물학적 반감기는 서로 다르기 때문에 두 가지를 함께 고려하여 인체에 실제적으로 미치는 영향을 나타내는 수치로써 유효반감기를 사용합니다. 보통 유효반감기는 물리적 반감기나 생물학적 반감기보다 짧은 경우가 많습니다.

● 방사능(radioactivity) : 방사선을 방출하는 능력을 방사능이라고 하며 방사능을 가진 물질은 방사성물질이라 부릅니다.

● 방사능오염(radioactive contamination) : 방사성 물질에 의해 환경·음식물·인체가 오염되는 것을 말합니다. 방사성오염도 같은 말이며 핵실험으로 방사능 낙진이나 원자력 시설에서 방출된 방사성 폐기물 등에 의해 오염될 수 있습니다.

● 방사성세슘($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) : 자연상태에서는 존재하지 않고 핵실험 등에 의해 생성됩니다. 이 방사성원소의 농도에 따라 방사능 낙진의 영향을 알 수 있습니다. 이 원소는 강력한 감마선을 내므로 암세포를 죽이기 위해 병원에서 암 치료에 널리 사용되고 있습니다. 그러나 정상세포도 이 방사선에 노출되면 손상되고 경우에 따라서는 암을 유발할 수도 있습니다.

● 방사성요오드(^{131}I) : 방사성요오드는 체내에 들어오면 갑상선에 축적되어 집중적인 피해를 줄 수 있습니다. 따라서 방사성요오드가 체내

에 유입되기 전에 비 방사성요오드를 섭취하면 이들이 갑상선에 축적되지 않고 체외로 배출될 수 있습니다. 방사선세슘에 비해 반감기가 매우 짧습니다.

- **베크렐(Becquerel, Bq)** : 방사능 단위. 1베크렐은 방사선 물질이 1초당 1번의 붕괴를 뜻합니다. 이 단위는 SI 단위에서 큐리(Ci)와 대체되어 사용됩니다.
- **베타입자(beta-particle)** : 방사능 붕괴에 의해 생성되는 특정한 종류의 원자핵으로부터 방출되는 고속전자입니다.
- **불활성화(Inactivation)** : 미생물의 발현이나 성장억제를 말합니다.
- **선량측정(dosimetry)** : 선량측정기, 측정기계, 관련 기준치 등과 시스템의 처리 절차를 포함하는 시스템으로, 흡수선량을 측정하는데 사용하는 용어입니다.
- **식물위생처리(phytosanitary treatment)** : 식물에 오염된 병해충을 불활성화 하기 위한 처리방법을 지칭하며, 해충의 출현과 번식을 막고 식물의 안전한 유통·관리를 위한 위생적 처리를 말합니다.
- **엑스선(X-ray)** : 짧은 파장이며, 널리 다양하게 사용되는 이온화방사선입니다. 엑스선(X선)은 빠른 속도로 움직이는 전자(electron)가 티타늄(titanium) 금속 표면에 부딪히면서 만들어 집니다.
- **우수제조관리기준(GMP)** : “Good Manufacturing Practices”의 약자로서 “우수식품제조 및 품질관리기준” 또는 “우수제조규범”을 일컫는 말입니다.
- **우수조사처리기준(GIP)** : “Good Irradiation Practices”의 약자로서 “우수조사 및 품질관리기준” 또는 “우수조사처리기준”을 일컫는 말입니다.

- **웅성불임(male sterile)** : 농식품에 중요한 해충의 번식을 방지하고 집단의 개체 수를 줄이기 위한 저선량의 조사처리를 말합니다.
- **전자(electron)** : 음전하를 가지는 질량이 아주 작은 입자. 자유전자는 다양한 방법으로 생성되는데, 진공상태에서 고에너지 전위가 전자 가속기계에서 생성됩니다. 전자와 베타입자는 자연적으로 존재하는데, 베타입자는 방사능 붕괴에 의해서 생성되는 특정한 종류의 원자핵으로부터 배출되는 고속전자입니다.
- **전자볼트(electron volt, eV)** : 1개의 전자와 동량의 전하를 가지는 입자가 전위차 1 V인 전극 사이에서 가속될 때의 에너지. $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{12} \text{ erg}$. 다양한 전자기계가 만들어 내는 X선이나 베타입자, 감마선에서부터 생성됩니다. $\text{keV} = 1,000 \text{ eV}$, $\text{MeV} = 1\text{백만 eV}$.
- **조사멸균(radiation sterilization)** : 모든 미생물을 죽이거나 저감화시키기 위해 충분히 높은 선량으로 식품에 방사선 조사처리 하는 것. 처리 된 식품은 고온 멸균한 식품과 동일하게 실온에서 보관되어도 됩니다. (단지, 재 오염을 막을 수 있게 포장된 상태이어야 합니다)
- **조사병원선미생물살균(radicidation)** : 식품에 이온화 방사선을 조사처리 하여 필요한 정도의 미생물을 죽이거나, 포자를 형성하지 못하게 하는 정도로 방사선 조사처리 하는 것입니다. 일반적으로 선량은 1킬로그레이 이하로 사용되며 비슷한 용어는 살균입니다.
- **조사부분살균(radurization)** : 식품에 전리방사선을 조사처리 하여 오염미생물의 양을 줄이는 것입니다. 선량은 1킬로그레이 이하이며 비슷한 용어는 살균입니다.

- 조사완전살균(radappertization) : 포장된 식품에 이온화 방사선을 고선량 조사하여 포자를 포함한 모든 미생물을 사멸시켜 무균식품을 제조하는 조사처리입니다.
- 조사저온살균(radiation pasteurization) : 중간선량의 방사선을 조사처리하여 부패 관련 미생물의 농도를 낮추어 식품의 냉장저장 수명을 연장하는 기술입니다.
- 큐리(Curie, Ci) : 방사능 단위. 원래는 1 g의 라듐이 1초에 붕괴되는 핵의 양으로 정의되었음. 지금은 1초에 3.7×10^{10} 개의 원자핵이 붕괴할 때의 방사성 물질의 양으로 정의됩니다.
- 피폭(exposure) : 방사선에 노출 즉, 쏘이게 되는 것을 말합니다. 방사선 피폭량을 나타내는 단위는 시버트(Sv)입니다. 원전사고 등에 의해 누출된 방사성 물질이 인체에 유입될 경우 방사선에 피폭될 수 있습니다.
- 해썹(HACCP) : 위해요소중점관리기준(hazard analysis and critical control point)은 식품의 안전성을 확보하기 위하여 식품가공공정이 나 과정에서 특별한 위해 요소를 과학 및 기술적으로 제어하는 제도로써 지금은 “식품안전관리인증기준”이라고 통용합니다.



Q1 우리가 매일 먹는 식품에 방사능이 들어있으면 안 되는 것 아닌가요?

A1 아닙니다. 지구가 탄생했을 때부터 대지 및 대기에는 방사성 물질이 존재해 방사선을 방출하고 있습니다. 우리가 매일 살아가는 환경 중에도 천연방사능이 존재합니다. 식품에도 천연방사성 물질이 포함되어 있으며, 우주에도 많은 양의 방사선이 존재하고 있어 그 일부는 지표면까지 도달합니다. 이렇듯 자연계에 본래부터 존재하고 있는 방사능을 천연방사능이라고 하며, 우리가 매일 섭취하는 식품에도 미량의 천연방사능이 함유되어 있습니다.

그러나 정부 여러 기관들은 오늘도 우리가 살아가는 환경이나 식품, 음용수 중에 천연방사능이 아닌 인공방사능 수준이 국민건강에 영향을 미치는 수준은 아닌지 쉼 없이 확인하고 감시하고 있습니다.

Q2 방사능이 어떻게 우리 몸에 영향을 주나요?

A2 원자력발전소 사고('79 미국 쓰리마일섬, '86 옛 소련 체르노빌, '11 일본 후쿠시마)를 통해 각종 방사성 물질이 대기로 방출되고, 대기 중을 떠돌다 육지나 바다로 방사성 물질이 그대로 또는 빗물에

섞여 떨어져 흡수됩니다. 육지나 토양에서 자란 채소, 물고기 등에 방사성 물질이 쌓이고 이후 사람이 섭취함으로써 우리 몸에 흡수될 수 있으며, 체내에 들어온 방사성물질이 방사선을 방출하여 세포에 영향을 미칠 수 있습니다.

Q3 방사능은 우리 몸에 계속 쌓이나요?

A3 방사능에 노출될 경우 체내로 들어간 방사능은 자연 붕괴되거나 대사, 배설을 통해 자연스럽게 체외로 배출됩니다. 세슘-137(¹³⁷Cs)은 자연계에서 반으로 줄어드는 기간이 30년이지만 섭취하여 체내에 들어온 경우 약 110일이 경과되면 자연스럽게 절반이 체외로 배출되고 1년 정도 지나면 거의 배출된다고 알려져 있습니다.

Q4 방사능을 관리하는 기준이 있나요?

A4 우리나라는 식품 방사능 기준은 방사성요오드(¹³¹I)와 방사성세슘(¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs)에 대해 기준을 정하고 있습니다. 요오드는 모든식품 1 kg 당 100벵크렐(Bq) 이하를, 세슘은 영아용 조제식, 성장기용 조제식, 영·유아용 곡류조제식, 기타 영·유아식, 영·유아용 특수조제식품, 영·유아용 조제유, 성장기용 조제유, 원유 및 유가공품, 아이스크림류는 50벵크렐 이하, 그 외 모든 식품 및 농·축·수산물은 100벵크렐 이하로 각각 규정하여 관리하고 있습니다. 이는 세계 어느 나라보다도 엄격한 기준이며, 10벵크렐/kg 기준을 정할 때는 식품을 많이 먹는 사람, 방사능에 더 취약한 사람(유아 등), 방사능 오염지역으로부터 수입하는 지역 특성을 보수적으로 감안하여 최대한 안전한 수치를 정하게 됩니다.

- ※ 일반식품에 대한 각국의 방사성세슘 기준
 - 우리나라와 일본은 100베크렐/kg
 - 국제식품규격위원회(Codex) 1,000베크렐/kg
 - 미국은 1,200베크렐/kg
 - EU는 1,250베크렐/kg

Q5 방사성요오드와 방사성세슘만 검사하는 이유는?

A5 원전사고로 알파(α), 베타(β), 감마(γ) 핵종이 발생하지만 가장 많이 발생하는 것이 감마 핵종입니다. 감마핵종에는 방사성세슘(Cs)과 방사성요오드(I)가 해당됩니다. 방사성요오드(^{131}I), 방사성세슘(^{134}Cs) 및 방사성세슘(^{137}Cs)은 방사능 오염여부를 확인할 수 있는 좋은 지표이자 분석시간이 상대적으로 짧아 수입단계에서 적용하는데 장점이 있습니다. 일본산 식품에 대해 매 수입 시 이상의 지표 방사성물질을 검사하고, 방사성세슘이나 방사성요오드가 미량이라도 검출되면 다른 핵종들(방사성플루토늄/ ^{239}Pu , 방사성스트론튬/ ^{90}Sr 등)에 대한 검사증명서를 제출하도록 요구하고 있습니다.

Q6 요오드 성분이 들어있다고 광고하는 식품은 효과가 있나요?

A6 갑상선에는 요오드(I)를 주요 성분으로 하는 갑상선호르몬이 생성되고 있습니다. 고농도의 방사성요오드에 노출되면 요오드의 20-30% 정도가 갑상선에 축적되게 되는데, 방사성요오드가 들어가기 직전이나 직후에 안정요오드제를 복용하면 방사성요오드의 갑상선 축적을 저해하거나 희석하여 갑상선에의 영향을 낮추기도 합니다. 따라서 고농도 방사성요오드에 노출되지 않았는데 예비로 먹는다는 것은 의미가 없으며, 또한 노출되었을 때 음식을 통해 섭취하

는 요오드의 농도로는 치료를 기대하기 어렵습니다. 예방적으로 미리 요오드를 과다 섭취 또는 복용할 경우 오히려 요오드 과잉에 의한 알레르기와 같은 부작용을 일으킬 수 있습니다. 그리고 갑상선비대증을 일으킬 수 있어 정상시의 식습관을 유지하는 것이 바람직합니다.

Q7

일본산 식품검사 결과는 어떻게 확인할 수 있나요?

A7

일본산 수산물을 포함하여 일본산 수입 식품에 대해서는 매 수입시마다 방사능 검사를 실시하고 있으며, 일본 후쿠시마 원전사고 이후로 강화된 수입식품에 대한 방사능 검사 결과는 식품의약품안전처 홈페이지(<https://www.mfds.go.kr>)를 통해 매일 공개하고 있습니다. 또한, 일본산 식품에 대한 방사능검사 결과를 주간 단위로 취합한 결과를 언론사, 소비자단체에 매주 보도하여 참고자료로 제공하고 있으며, 식약처 홈페이지에서도 동일하게 공개하고 있습니다.

Q8

기타핵종 검사증명서라는 것이 무엇인지요?

A8

국제식품규격위원회(Codex)는 식품에 오염될 수 있는 방사성물질 20개에 대해 권고기준을 정하고 있습니다. 여기에는 방사성세슘과 방사성요오드, 방사성스트론튬, 방사성플루토늄 등이 포함되어 있습니다. 일본산 식품은 매 수입 시 방사성요오드(^{131}I), 방사성세슘(^{134}Cs) 및 방사성세슘(^{137}Cs)을 검사하고, 이들이 미량이라도 검출되면 다른 17개 핵종에 대한 검사증명서를 수입자에게 제출하도록 요구하고 있습니다.

Q9**일본산 식품이 수입되면 방사능 검사를 어떻게 하나요?****A9**

일본에서 생산되었거나 일본을 거쳐서 우리나라로 수입되는 모든 식품류는 방사능검사 대상입니다. 먼저, 일본 현지에서 방사능 검사를 실시하고 검사증명서를 확인합니다. 우리나라로 화물이 들어오면 보세구역에서 방사능 검사를 위한 분석샘플을 채취하게 됩니다. 검체를 가지고 방사성세슘과 방사성요오드 분석을 실시하고, 검출되지 않는 경우는 통관하여 유통하게 됩니다. 그러나 방사성물질이 미량이라도 검출되면 기타핵종 검사증명서를 제출하도록 요구하며, 현재까지 방사능이 검출되어 수입된 사례는 없습니다.

Q10**수입식품에서 방사성세슘이 검출되었다는데 원인은 무엇이며 안전한 수준인가요?****A10**

과거 지상핵실험과 1986년 옛 소련에서 발생한 체르노빌 원전사고의 영향으로 지구 전체에 낮은 농도의 방사성세슘이 존재하기 때문입니다. 결과적으로 지표의 모든 물질에는 미량의 세슘이 함유되어 있으며 우리 몸에도 예외가 아닙니다. 그러나 국제적으로 방사능기준이 정해져있으며, 또한 우리나라는 일반식품의 경우 1 kg당 100베크렐 이하로 정하고 있으므로 기준치 이하에서는 안전합니다.

Q11**어머니가 방사능에 오염된 식품을 섭취하면 태어나 수유 중인 아이에게 전달되는가?****A11**

방사능사고 등으로 인해 임신부에게 섭취된 방사성물질은 태반을 통해 태아에게 전달 될 수 있으며, 쌓이는 양은 방사성물질의 종류와 임신시기에 따라 달라집니다. 모유수유 중에 섭취한 방사능은 모유를 통해서 영아에게 전달될 수 있습니다. 따라서 많은 양의 방사성물

질을 섭취한 경우 모유수유를 중단하여야 합니다. 하지만, 미량의 방사성물질을 섭취한 경우라면 모유수유의 장점을 고려하여 모유수유를 하는 것도 가능합니다.

Q12 일본에서 수입되는 생선 먹어도 되나?

A12 만약 현행 기준치인 100벵크렐/kg인 생선을 연간 10 kg(우리국민 평균 생선 섭취량) 섭취한다면 이로 인한 선량은 0.013밀리시버트입니다. 즉, 연간섭취량 1,000벵크렐에 방사성세슘(¹³⁷Cs)의 선량계수 1.3×10^{-8} 시버트/벵크렐을 곱하여 산출). 이 선량은 우리나라 평균 자연방사선 피폭의 0.5%로서 의미 없는 수준입니다. 세슘방사능 농도가 100벵크렐/kg 수준인 생선을 접할 기회도 적지만 모든 생선이 이 수준의 방사능 농도이더라도 그로 인한 피폭량은 무시할 수준으로 낮아 안전합니다. 즉, 우리나라는 일반식품에 1 kg당 100벵크렐 이하로 방사능 기준을 정하고 있으므로 기준치 이하에서는 안전합니다.

Q13 삼겹살이나 맥주가 방사선 피해를 줄일 수 있나요?

A13 삼겹살이 방사선 피해를 줄인다는 것은 전혀 근거가 없습니다. 맥주의 경우 삼중수소라는 방사성물질을 몸 밖으로 배출하는 데 도움을 줄 수는 있으나, 알코올을 계속 복용하는 것은 부작용이 큼니다. 오히려 녹차나 커피 등 건강음료가 체내 노폐물을 배출하는 데 도움이 될 수 있습니다.

식약처 홈페이지. 정책정보 - 식품 중 방사능 안전관리정보
<https://www.mfds.go.kr/>
방사선안전전문가 포럼. 방사능 무섭니. 고려의학, 서울 (2013).



Q1 식품의 조사처리기술이란 무엇인가요?

A1 식품의 조사(照射)처리기술(food irradiation)은 이온화 에너지를 식품에 쬐여 살균·살충 처리효과를 거두는 냉온처리기술입니다. 식품조사처리는 코발트-60(^{60}Co) 감마선이나 전자선, 엑스선 등 이온화 작용이 있는 에너지(빛) 일정량을 식품에 쬐임으로써 살균, 살충, 발아억제, 숙도지연 등의 효과를 거두는 방법이며, 쬐여진 에너지는 식품을 투과해 열에너지로 소멸되는 물리적 처리입니다.

Q2 식품에 조사처리(Irradiation)는 왜 하나요? 다른 방법은 없나요?

A2 식품 중 혼입되어 있을 수 있는 식중독균이나 기생충 등을 사멸시키기 위하여 주로 활용하며, 동시에 농산물의 발아억제나 숙도(ripening) 조절의 목적으로 이용합니다. 특히, 면역력이 약한 환자나 우주인을 위한 식품은 미생물 멸균이 필수적이므로 살균효과가 뛰어난 조사처리기술이 활용되어 무균식품을 생산할 수 있습니다. 따라서 무균사료나 무균포장재 제조를 위해 본 기술이 활용될 수 있습니다. 그 동안 이용하여 온 열처리나 약제처리(훈증약제, 농약 등)는 값이 싸고 사용이 편리하지만 잔류약제의 안전성과 환경공해, 열처리에 따른 품질열화, 신선식품이나 분말(고체)식품에 대한 이용

한계 등에 따라 세계적으로 비 가열, 비 약제 처리방법이 필요하게 되었습니다. 여러 대안 중에 조사처리기술(irradiation technology)은 냉온처리(cold process)이므로 품질변화가 적고, 물리적 처리이므로 잔류성분이 남지 않으며 살균·살충효과가 뛰어나고 투과력이 있어 포장된 식품에도 처리가 가능하여 국제적으로 활용이 권장되는 대체기술입니다.

Q3

조사처리식품과 방사능오염식품의 차이점은 무엇인가요?

A3

조사처리식품(irradiated food)은 안전하게 관리되는 이온화에너지(방사선)를 식품에 쬐여 식품에 오염된 식중독균이나 해충, 기생충을 사멸하여 위생적 안전성을 확보한 식품으로서, 빛과 같은 에너지가 식품을 투과하여 아무런 잔류성분이 남지 않습니다. 그러나 방사능오염식품(radioactive contamination food)은 원자력발전소 사고 등으로 누출된 방사성 물질이 여러 경로를 통해 식품에 오염되었을 때를 말합니다. 방사능오염식품을 섭취했을 때는 우리 몸 안에서 방사성물질이 내는 방사선이 우리 몸에 피해를 줄 수 있습니다. 따라서 조사처리식품과 방사능오염식품은 개념이 서로 다르고, 완전히 다른 식품입니다.

Q4

식품의 조사처리는 어떻게 하나요?

A4

식품에 방사선에너지를 일정시간 동안 노출시키는 것입니다. 살균이나 살충이 필요한 식품은 먼저 포장을 마친 후에, 발아억제나 숙도지연이 필요한 농림산물은 저장이나 유통에 필요한 포장 상태로 조사시설로 이동시킵니다. 조사처리시설(irradiation facility)은 주유소와 같은 개념으로 조사처리가 필요한 사람이 물품을 싣고

시설에 도착하면 물품을 하역하여 처리한 다음 다시 싣고 오거나 시장으로 바로 출하할 수 있습니다. 소요시간은 처리목적과 포장의 크기 등에 따라 30분에서 몇 시간이 소요될 수 있습니다. 그러나 처리 후 재 포장의 공정이 필요하지 않으므로 아주 간단한 공정이라 할 수 있습니다.

Q5 조사처리식품인지는 어떻게 알 수 있나요?

- A5 우리나라는 허용된 29종의 식품에 대해서 표시(logo)를 의무화하고 있으며, 2010년부터는 이들을 소량이라도 사용한 제품에도 표시를 하도록 강화시켰습니다. 식품의 조사처리 여부의 확인은 유럽연합이나 국제식품규격위원회(Codex) 방법과 마찬가지로 우리나라 식품공전에도 확인시험법이 등재되어 있어 누구나 분석에 활용할 수 있습니다. 식품의 특성에 따라 물리적, 화학적, 생물학적 시험법을 적용하며 한국식품산업협회 한국식품과학연구원 등에 의뢰하여 분석할 수 있습니다. 분석 소요시간은 30분에서 24시간이 걸릴 수도 있습니다. 그러나 소비자들은 조사처리식품에 대한 국제적 “표시나 문구”로써 확인이 가능합니다.



[조사처리식품 표시]

Q6

방사선에너지가 처리된 식품은 인체에 위한 영향을 주지는 않는가요?

A6

세계보건기구(WHO)와 국제식량농업기구(FAO) 및 국제원자력기구(IAEA) 등이 50년 이상 걸친 안전성 평가 연구결과를 바탕으로 조사처리식품의 안전성을 인정하고 있습니다. 우리나라 식품의약품안전처에서는 10킬로그레이(kGy) 이하로 방사선에너지가 처리된 식품은 독성학적, 유전학적, 미생물학적, 방사선학적으로 안전하다고 결론을 내리고, 29개 식품(군)을 법적으로 허가하여 살균·살충이나 발아억제, 성장조절 등의 목적에 이용할 수 있습니다. 식품을 고온으로 가열하면 타거나 성질이 변하여 벤조피렌이나 아크릴아마이드와 같은 유해성분이 생성되는 것처럼, 조사처리도 지나치게 많이 하면 일부 유해물질이 생성될 수 있고, 그 이전에 맛이나 냄새가 변하여 쉽게 구별할 수 있습니다. 따라서 식품별 처리목적에 따라 허가선량(kGy)이 정해져 있으므로 허가된 범위 내에서 처리된 식품은 인체에 영향을 주지 않습니다.

Q7

조사처리식품이 유전적으로나 인체에 영향을 주지는 않는가요?

A7

그렇습니다. 방사선기술은 원자력에너지를 이용하는 특수성 때문에 반세기 이상 안전성에 대한 연구와 평가가 국제기구(WHO/FAO/IAEA 등)에 의해 이루어졌습니다. 실험동물(토끼, 개, 쥐 등의 수 세대 실험)은 물론 사람을 대상으로 조사처리 된 식품을 섭취하였을 때 안전성에 대한 종합적 평가가 이루어졌습니다. 최고 68킬로그레이(허가량보다 6.8배 높은 량)까지 조사처리 한 식품을 대상으로 독성학적, 유전학적, 미생물학적, 영양학적 안전성과 적격성에 대한 종합적인 평가를 통해 조사처리식품의 건전성(wholesomeness) 즉, 안전성(safety)에 문제가 없다는 결론을 내리게 되었습니다. 이는 지금까지

지 인류가 이용해 온 어떤 식품가공방법(열처리, 약품처리, 냉동 등)보다도 장기간 동안 과학적으로 그 안전성과 기술적 타당성이 연구되었으므로 안전성에 문제가 없다고 평가하게 됩니다.

Q8 사람을 대상으로 조사처리식품을 급여한 연구가 있었는가요?

A8 예, 있었습니다. 조사처리식품의 안전성 평가를 위한 인체실험은 미국, 중국 등에서 수행되었습니다. 미 육군은 25-40 kGy 범위의 높은 선량으로 조사처리 된 54종의 식품을 젊은 자원자들에게 단기간 급여하였을 때 어떠한 부정적 영향도 관찰되지 않았다고 보고하였습니다. 중국에서는 1980년대 중반 중국에서 400명 이상의 자원자들을 대상으로 조사처리 된 밀을 포함한 여러 조사처리식품을 섭취하게 하여 8회에 걸쳐 연구한 결과 독성학적, 유전학적으로 안전하다는 것이 밝혀졌습니다. 조사처리식품은 2차 대전 중에 긴급구호물자로 배식되었고, 미국, 러시아, 한국 등의 우주비행사들의 식사로, 영국 등에서는 면역결핍환자의 병원 식으로 활용하고 있습니다.

Q 국내의 영유아식품에 대한 조사처리 관리현황은 어떤가요?

A9 우리나라는 영유아식에 대해서 조사처리를 금지하고 있으며, 국제식품규격위원회(Codex)도 우리나라와 같이 영유아에게 완전한 영양성 등을 보장하기 위하여 조사처리를 금지하고 있습니다. 그러나 미국, EU, 일본 등은 영유아식에 직접 조사처리는 허용하지 않으나, 조사식품을 원료로 사용하는 것은 제한하고 있지 않아 영유아식품에도 사용이 가능합니다.

| 국가별 | 영·유아식품 조사처리 | 조사처리 원료사용 |
|-----------|-------------|-----------|
| 우리나라 | 미승인 | 금지 |
| CODEX | 미승인 | 금지 |
| 미 국 | 미승인 | 가능 |
| 일 본 | 미승인 | 가능 |
| EU | 미승인 | 가능 |
| 인도네시아 | 허용 | 가능 |
| 남아프리카 공화국 | 허용 | 가능 |

Q10 조사처리식품에 대해 세계적인 허가현황은 어떤가요?

A10 전 세계 60여 개국에서 250여종의 식품에 조사처리를 허가하고 있습니다. 미국, 캐나다, 영국, 프랑스, 중국, 호주, 뉴질랜드 등 대부분의 선진국들이 식품의 조사처리를 허용하고 있습니다. 우리나라는 1987년부터 현재까지 29개 식품(군)에 대하여 10킬로그래이(kGy) 이하의 감마선이나 전자선, 엑스선의 조사처리를 허용하고 있습니다. 이는 국제식품규격위원회 Codex 기준에 준하는 수준으로, 주요 식품교역국들과의 제도적 조화를 이루어가고 있습니다.

Q11 식품에 조사처리기술의 이용에 대해 왜 각국이 관심을 갖는가요?

A11 우리는 자연이 주는 식품재료를 사용하여 여러 가지 가공식품을 제조·유통시키고 섭취합니다. 그러나 식품원료는 건조나 포장 등 제조 과정에서 여러 부패미생물이나 유해미생물에 오염되기 쉽고 해충이나 기생충도 식품에 혼입되어 식품안전에 위해요소가 되고 있습니다. 이에 따라 열처리, 약제처리 등의 방법이 살균·살충에 이용되어 왔으나 안전성, 품질, 효과 등 여러 측면에서 대안이 필요하게 되었습니다. 특히 식중독균으로 인한 대형 식중독 사고 예방과

수확 후 식량(곡류, 과일·채소류)의 막대한 손실(15-40%)을 줄이기 위한 방안으로는 현행 살균·살충기술로써는 한계가 있기 때문입니다. 따라서 비 가열(non-thermal), 비 약제(non-chemical) 처리의 특성을 지닌 새로운 대체기술이 필요하여 조사처리기술(irradiation technology)에 대한 관심을 갖게 되었습니다.

Q12 실제 조사처리기술을 활용하고 있는 나라가 있나요? 우리나라는 어떤가요?

A12 예, 많이 있습니다. 특히 미국, 중국, 호주, 베트남 등 주요 식품교역 국가들이 많이 활용하고 있습니다. 이들 국가는 수출입 식품의 위생 처리를 위해 약품이나 열처리 대신 조사처리기술을 활용하고 있으며, 세계적으로 활용이 증가 추세입니다. 그러나 우리나라는 소비자들이 조사처리식품의 표시를 보고 구매를 기피할까 두려워 식품기업들이 활용하지 않고 있습니다.

Q13 현재 국내의 조사처리식품 관리는 어떻게 하고 있나요?

A13 우리나라는 국제적으로 안전성이 인정된 품목과 조사처리량을 종합적으로 고려하여 살균·살충, 발아억제, 숙도지연 등을 목적으로 총 29개 식품(군)에 대하여 최저 0.15킬로그래이(kGy)에서 최고 10킬로그래이(kGy)의 감마선, 전자선 혹은 엑스선의 조사처리를 허용하고 있습니다. 소비자의 알권리 및 선택권 보장을 위해 2010년부터는 조사처리 된 완제품은 물론 조사처리 된 원료가 소량이라도 사용한 제품에는 조사처리식품 표시나 혹은 문구를 나타내도록 규정하고 있습니다.

식품의약품안전처 홈페이지 <https://www.mfds.go.kr/>



1. Algeria

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|--|--------------------------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | Medium absorbed dose of 10 kGy |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/physiological growth | Medium absorbed dose of 10 kGy |
| | | Disinfestation | |
| | | Shelf-life extension | |
| | | Quarantine control | |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | Medium absorbed dose of 10 kGy |
| Fish and seafood | Any | Control of parasites | Medium absorbed dose of 10 kGy |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| Raw poultry and meat | Any | Control of parasites | Medium absorbed dose of 10 kGy |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | Medium absorbed dose of 10 kGy |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | Medium absorbed dose of 10 kGy |
| Miscellaneous foods | Any | Microbial control | Medium absorbed dose of 10 kGy |

2. Argentina

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|------------------------|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Garlic | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| | Potato | | |
| | Onion | | |
| Fresh fruits and vegetables | Asparragus | Delay ripening/ physiological growth | 2.00 (max) |
| | Mushrooms | | 3.00 (max) |
| | Strawberries | Shelf-life extension | 2.50 (max) |
| Cereals and their milled products | Dried fruits (any) | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Dried vegetables (any) | | |
| | Nuts | | |
| Dry vegetables m | Condiments | Microbial control | 30.00 (max) |
| | Spices | | |

3. Australia

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------|------------------|----------------------|----------------------------|
| Bulbs, roots and tubers | Carambola | Quarantine treatment | 0.15 (min)- 1.00 (max) |
| | Custard apple | | |
| Fresh fruits and vegetables | Breadfruit | Quarantine treatment | 0.15 (min)- 1.00 (max) |
| | litchi | | |
| | Longan | | |
| | Mango | | |
| | mangosteen | | |
| | papaya (paw paw) | | |
| Rambutan | | | |
| Dry vegetables and spices | Herbal infusions | Control sprouting | 3.00 (min)- 6.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Microbial control | 2.00 (min)- 10.00 (max) |
| | Spices and herbs | Control sprouting | 3.00 (min)- 6.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Microbial control | 2.00 (min)- 30.00 (max) |

4. Austria

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |
| | Spices | | |
| | Vegetable seasonings (dried) | | |

5. Bangladesh

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|--|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening / physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Quarantine control | 1.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 2.50 (max) |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Any | Control of parasites | 3.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |

6. Belgium

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---|----------------------|-------------------|
| Bulbs, roots and tubers | shallots(dormant) | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| | onions | | |
| | Store garlic | | |
| | Store potatoes (raw, unpeeled) | | |
| Fresh fruits and vegetables | Fruits | Shelf-life extension | 1.00 (max) |
| | Strawberries (fresh) | Disinfestation | |
| | Vegetables | Quarantine treatment | |
| Cereals and their milled products | Cereals and pulses | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Quarantine treatment | |
| | | Cereals flakes | Microbial control |
| | Rice flour | Microbial control | 4.00 (max) |
| Fish and seafood | Fish and shellfish (crustaceans & molluscs) | Microbial control | 3.00 (max) |
| | Shrimps (frozen) | | |
| Raw poultry and meat | Frog legs (frozen)(****) | Microbial control | 5.00 (max) |
| | Offal of poultry | | 7.00 (max) |
| | Poultry meat (domestic fowl, geese, ducks, pigeons, guinea fowl, quail, turkey) | | |
| | Poultry meat (mechanically separated, minced, crushed, broken) | | 5.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Deep frozen aromatic herbs | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Spices and vegetable seasonings (dried) | | |
| | Herbs (dried) | | |
| Dried food of animal origin | Dehydrated blood, plasma, coagulates | Microbial control | 10.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Arabic gum | Microbial control | 3.00 (max) |
| | Casein, caseinates | | 6.00 (max) |
| | Egg white | | 3.00 (max) |

7. Brazil

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|--|---------|--|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/physiological growth | |
| | | Disinfestation | |
| | | Shelf-life extension | |
| | | Quarantine control | |
| Cereals and their milled products, nuts, oil seeds, pulses, dried fruits | Any | Disinfestation | |
| Fish, seafood and their products (fresh or frozen) | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| | | Control of parasites | |
| Raw poultry, meat and their products (fresh and frozen) | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf life extension | |
| | | Control of parasites | |
| Dry vegetables, spices, condiments, animal feed, dry herbal and herbal teas | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | |
| Miscellaneous foods, including but not limited to: honey, space foods, hospital foods, military rations, liquid egg thickeners | | Microbial control | |

8. Bulgaria

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---|---|----------------|------------|
| Dry vegetables, spices, condiments, animal feed, dry herbal and herbal teas | Herbs (dried), spices, vegetable seasonings (dried) | Microbial load | 10.0 (max) |

9. Canada

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---|--------------------------------------|-------------------|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Onions | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| | Potatoes | | |
| Cereals and their milled products, nuts, oil seeds, pulses, dried fruits | Wheat and wheat products | Disinfestation | 0.75 (max) |
| Dry vegetables, spices, condiments, animal feed, dry herbal and herbal teas | Dry vegetables seasonings and spices | Microbial control | 10.0 (max) |

10. Chile

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---|--|-------------------------------------|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Onion, potato | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Date | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Papaya | Delay ripening/physiological growth | |
| | | Disinfestation | |
| | Mango | Delay ripening/physiological growth | |
| | | Disinfestation | |
| | | Shelf-life extension | |
| | Strawberry | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Cereals and their milled products, nuts, oil seeds, pulses, dried fruits | Pulses (cocoa beans) | Disinfestation | |
| | Cereals : rice, wheat and wheat products | Disinfestation | |
| Fish, seafood and their products (fresh or frozen) | Fish (teleosteos) and fish products | Disinfestation | |
| | | Microbial control | |
| | | Shelf-life extension | |
| Raw poultry, meat and their products (fresh and frozen) | Chicken | Microbial control | |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables, spices, condiments, animal feed, dry herbal and herbal teas | Spices and condiments | Disinfestation | |
| | | Microbial load | |

11. China

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---|--|----------------------|----------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any (fresh vegetables) | Sprout inhibition | 1.50 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any (fresh fruits) | Shelf-life extension | 1.50 (max) |
| Cereals and their milled products, nuts, oil seeds, pulses, dried fruits | Beans | Disinfestation | 0.20 (max) |
| | Cereal grains (rice, wheat) | Disinfestation | 0.60 (max) |
| | Dried nuts and preserved fruits | Disinfestation | 0.40-1.0 (max) |
| Raw poultry, meat and their products (fresh and frozen) | Beef and poultry meat (frozen) | Microbial control | 2.50 (max) |
| | Pork | Control of parasites | 0.65 (max) |
| Dry vegetables, spices, condiments, animal feed, dry herbal and herbal teas | Spices | Microbial control | 10.00 (max) |
| Miscellaneous foods, including but not limited to: honey, space foods, hospital foods, military rations, liquid egg, thickeners | Cooked meat food for livestock and poultry | Microbial control | 8.00 (max) |
| | Pollen | Microbial control | 8.00 (max) |
| | Sweet potato wine | Microbial control | 4.00 (max) |

12. Costa Rica

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---|---|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Onions, potatoes | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Dates | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Mangoes | Delay ripening/ physiological growth | 1.00(max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 1.00 (max) |
| | Papaya | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Strawberries | Shelf-life extension | 3.00 (max) | |
| Cereals and their milled products, nuts, oil seeds, pulses, dried fruits | Cereals: rice, Wheat and wheat products | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Pulses (cocoa beans) | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Fish, seafood and their products (fresh or frozen) | Fish (teleosteos) and fish products | Disinfestation | 2.20 (max) |
| | | Microbial control | 2.20 (max) |
| | | Shelf-life extension | 2.20 (max) |
| Raw poultry, meat and their products (fresh and frozen) | Chicken | Microbial control | 2.20 (max) |
| | Chicken | Shelf-life extension | 2.20 (max) |
| Dry vegetables, spices, condiments, animal feed, dry herbal and herbal teas | Spices and condiments | Disinfestation | 10.00 (max) |
| | Spices and condiments | Microbial load | 10.00 (max) |

13. Croatia

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---|--|--|-------------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.50 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/physiological growth | 3.00 (max) |
| | Any | Disinfestation | 3.00 (max) |
| | Any | Quarantine control | 3.00 (max) |
| | Any | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Cereals and their milled products, nuts, oil seeds, pulses, dried fruits | (cereals, pulses and dried fruits) | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Dried fruits | Microbial load | 10.00 (max) |
| Fish, seafood and their products (fresh or frozen) | Any (fish and seafood) | Control of parasites | 5.00 (max) |
| | Any (fish and seafood) | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | Any (fish and seafood) | Shelf-life extension | 5.00 (max) |
| | Frog legs | Disinfestation | 8.00 (max) |
| Raw poultry, meat and their products (fresh and frozen) | Any | Control of parasites | 7.00 (max) |
| | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | Any | Shelf-life extension | 7.00 (max) |
| Dry vegetables, spices, condiments, animal feed, dry herbal and herbal teas | Any | Disinfestation | 30.0 (max) |
| | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 30.0 (max) |
| | Any (milk products, powered eggs) | Disinfestation | 3.00 (max) |
| | Any (milk products, powered eggs) | Microbial control | 30.0 (max) |
| | Meals for immuno-suppressed patients, arabic gum, enzymes, eggs and egg products | Microbial control | 10.00-45.00 (max) |

14. Cuba

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|------------------------------|--|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Garlics | Sprout inhibition | 0.08 (max) |
| | onions | Sprout inhibition | 0.06 (max) |
| | Potatoes | Sprout inhibition | 0.10 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Avocados | Delay ripening/ physiological growth | 0.25 (max) |
| | Mangoes | Delay ripening/ physiological growth | 0.75 (max) |
| Cereals and their milled products | Pulses (cocoa beans) | Disinfestation | 0.50 (max) |
| | Oil seed (sesame seeds) | Disinfestation | 2.00 (max) |
| | Milled (cocoa dehydrated) | Disinfestation | 2.00 (max) |
| Fish and seafood | Fish (dried) | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Fish (fresh) | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| | Seafood | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Meat | Microbial control | 5.00 (max) |
| | Meat products | Microbial control | 4.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Spices | Disinfestation | 5.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Animal blood (dried) | Disinfestation | 2.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Casings (hog) | Microbial control | 7.00 (max) |

15. Czech Republic

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|--|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| | Any | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Any | Quarantine control | 1.00 (max) |
| | Any | Shelf-life extension | 2.00 (max) |
| Cereals and their milled products | Cereals and their milled products | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Microbial control | 1.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| | Frog legs (frozen)(****) | Microbial control | 5.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Poultry meat | Control of parasites | 3.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 7.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.00 (max) |
| | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Dehydrated blood, Plasma, coagulates | Disinfestation | 10.00 (max) |
| | Casein, caseinates | Microbial control | 6.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Egg white | Microbial control | 3.00 (max) |
| | Gum arabic | Microbial control | 3.00 (max) |

16. Denmark

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|------------------------------|-------------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Spices | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Vegetable seasonings (dried) | Microbial control | 10.00 (max) |

17. Egypt

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|--|-------------------|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Dried garlic and onions, Potatoes and yams | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Dry vegetables and spices | Herbs, Spices and dried garlic and onions | Microbial control | 10.00 (max) |

18. Finland

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Spices | Microbial load | 10.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Vegetable seasonings (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Sterile meals | Microbial load | 10.00 (max) |

19. France

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---|-------------------|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Garlic, Onion, Shallots | Sprout inhibition | 0.75 (max) |
| Cereals and their milled products | Cereal flakes | Microbial control | 10.0 (max) |
| | Cereal germs | | |
| | Rice flour | | |
| | Dried fruits, Pulses | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Sea food (shrimps) | Microbial control | 5.00 (max) |
| Fish and seafood | Poultry | Microbial control | 5.00 (max) |
| | Meat and their products | Microbial control | 5.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Herbs (dried) | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Spices | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Vegetable seasoning (dried) | Microbial control | 10.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Dry food of animal origin (animal blood dried: Plasma and blood products) | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Casein/caseinates | Microbial control | 6.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Arabic gum | Microbial control | 3.00 (max) |

20. Germany

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|---------------------------------------|----------------|-------------|
| Fish and seafood | Frog legs (frozen)(****) | Microbial load | 5.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |
| | Spices vegetable seasonings, dried | | |

21. Ghana

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Quarantine control | 1.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 2.50 (max) |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Any | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (Max) |
| Dry vegetables and spices | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.00 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Any | Control moulds | 10.00 (max) |
| | | Quarantine control | > 10.00 |
| Miscellaneous foods | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | > 10.00 |
| | Any | Sterilization | > 10.00 |

22. Greece

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|---|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried), spices, Vegetable seasonings (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |

23. Hungary

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |
| | Spices | | |
| | Vegetable seasonings (dried) | | |

24. India

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Garlic | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| | Ginger | | |
| | Onion | | 0.09 (max) |
| | Potato | | 0.15 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Mango | Delay ripening/ physiological growth | 0.75 (max) |
| | | Disinfestation | |
| Cereals and their milled products | Dried fruits (dates, figs raisins) | Disinfestation | 0.75 (max) |
| | Pulses | | |
| | Rice | | 1.00 (max) |
| | Wheat and wheat product Disinfestation | | |
| Fish and seafood | Any | Disinfestation | 6.00 (max) |
| | | Microbial control | |
| | | Shelf-life extension | |
| Raw poultry and meat | Any | Microbial control | 4.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Spices | Microbial control | 14.00 (max) |

25. Indonesia

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| Cereals and their milled products | Cereals | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Dried fruits | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Pulses | Microbial control | 5.00 (max) |
| Fish and seafood | Shellfish (frozen shrimps) | Microbial control | 5.00 (max) |
| | Frog legs (frozen)(****) | Microbial control | 7.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Spices | Microbial control | 5.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Fish (dried) | Disinfestation | 5.00 (max) |

26. Iran, Islamic Republic of

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|---------|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Spices | Microbial load | 10.00 (max) |

27. Ireland

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |
| | Spices | | |
| | Vegetable seasonings (dried) | | |

28. Israel

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|----------------------------------|---|-----------------|
| Bulbs, roots and tubers | Potatoes | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| | onions | | |
| | Garlics | | |
| | Shallots | | |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (average) |
| | | Disinfestation | |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 1.00 (average) |
| Raw poultry and meat | Raw poultry and poultry sections | Microbial control | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Dried vegetables | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Spices | Microbial control | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Dried food of animal origin | Animal feed | Microbial control | 15.00 (average) |

29. Italy

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|--|-------------------|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Potatoes | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| | Onions | | |
| | Garlics | | |
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried), spices, Vegetable seasonings (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |

30. Japan

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-------------------------|----------|-------------------|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Potatoes | Sprout inhibition | 0.15 (max) |

31. Korea, Republic of

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) | |
|--|---|--------------------------------------|-------------|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Garlic | Sprout inhibition | 0.15 (max) | |
| | Onion | | | |
| | Potatoes | | | |
| Fruits and vegetables | Chestnuts | Disinfestation | 0.25 (max) | |
| | (Dried)mushrooms | Delay ripening/ Disinfestation | 1.00 (max) | |
| Cereals and their milled products | Cereals or legumes and their powder | Disinfestation/ Microbial control | 5.00 (max) | |
| | Starch | Microbial control | | |
| Dry vegetables and spices | Dried vegetables/powder | Microbial control | 7.00 (max) | |
| | Dried spices/their preparations | | 10.00 (max) | |
| | Teas(powder, leached) | | 7.00 (max) | |
| | Vegetable seasonings(dried) | | | |
| Dried food/ powder of animal origin | Dried food of animal origin (meat, seasoned/ fish, shellfish, crustacean) | Microbial control | 7.00 (max) | |
| | Egg powder | | 5.00 (max) | |
| Miscellaneous foods | Algae food | Microbial control | 7.00 (max) | |
| | Aloe | | | |
| | Yeast/enzyme foods | | | |
| | (Red)ginseng/its products | | | |
| | Other powdered products (Doenjang, Kochujang, Kanjang) | | | |
| | Sauces | | | |
| | Composite seasonings | | | 10.00 (max) |
| | Sterile meals (for 2nd pasturization) | | | |

32. Libyan Arab Jamahiriya

| Food Class | Product | Objective | Dose |
|-----------------------------|--------------|----------------------|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Garlic | Sprout inhibition | 0.04 (max) |
| | Onion | | 0.08 (max) |
| | Potato | | 1.00 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Dates | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Poultry meat | Microbial control | 4.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Spices | Microbial load | 10.00 (max) |

33. Luxembourg

| Food Class | Product | Objective | Dose |
|---------------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |
| | Spices | | |
| | Vegetable seasonings (dried) | | |

34. Mexico

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 10.00 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 10.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Quarantine control | |
| | | Shelf-life extension | |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 10.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Control of parasites | 10.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| Raw poultry and meat | Any | Control of parasites | 10.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | 10.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Any | Microbial control | 10.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |

35. Netherlands

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|--|--|-----------------|
| Cereals and their milled products | Cereal flakes | Disinfestation | 1.00 (average) |
| | Dried fruits | | |
| | Pulses | | |
| Fish and seafood | Frog legs | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (average) |
| | Prawns/shrimps | | 3.00 (average) |
| Raw poultry and meat | Poultry meat | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (average) |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Dried vegetables | Disinfestation | 10.00 (average) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | Herbs | Disinfestation | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | Spices | Disinfestation | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| Vegetable seasonings | Disinfestation | 10.00 (max) | |
| | Reduction of pathogenic microorganisms | | |
| Miscellaneous foods | Arabic gum | Microbial control | 75.00 (average) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | Deep frozen meals | Microbial control | 10.00 (average) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |

36. New Zealand

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------|------------------|----------------------|----------------------------|
| Bulbs, roots and tubers | Breadfruit, | Quarantine treatment | 0.15 (min)- 1.00 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Carambola | Quarantine treatment | 0.15 (min)- 1.00 (max) |
| | Custard apple | | |
| | litchi, | | |
| | Longan | | |
| | Mango | | |
| | mangosten | | |
| | papaya (paw paw) | | |
| | Rambutan | | |
| Dry vegetables and spices | Herbal infusions | Control sprouting | 2.00 (min)- 10.00 (max) |
| | | Disinfestation | 3.00 (min)- 6.00 (max) |
| | | Microbial control | 2.00 (min)- 10.00 (max) |
| | Herbs | Control sprouting | 3.00 (min)- 6.00 (max) |
| | | Disinfestation | 3.00 (min)- 6.00 (max) |
| | | Microbial control | 2.00 (min)- 30.00 (max) |
| | Spices | Control sprouting | 3.00 (min)- 6.00 (max) |
| | | Disinfestation | 3.00 (min)- 6.00 (max) |
| | | Microbial control | 2.00 (min)- 30.00 (max) |

37. Norway

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |
| | Spices | | |
| | Vegetable seasonings (dried) | | |

38. Paraguay

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Quarantine control | 2.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Any | Microbial control | > 10.0 |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |

39. Peru

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|--|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening /physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Quarantine control | 2.50 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Microbial load | 5.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| | | Control of parasites | 2.00(max) |
| Raw poultry and meat | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| | | Control of parasites | 2.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.0 (max) |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Control moulds | 3.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Any | Microbial control | >10.0 |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |

40. Philippines

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Quarantine control | |
| | | Shelf-life extension | 2.50 (max) |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | | Sprout inhibition | 0.25 (max) |
| | | Microbial control | 5.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Any | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 30.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Control moulds | 3.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Any | Quarantine control | *** |
| | | Sterilization | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |

41. Poland

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------|-----------------|----------------------|--------------|
| Bulbs, roots and tubers | Garlics | Sprout inhibition | 0.03 - 0.25 |
| | onions | | Up to 0.06 |
| | Potatoes | | 0.025 - 0.10 |
| Fresh fruits and vegetables | Mushrooms | Shelf-life extension | 1.0 - 2.5 |
| Dry vegetables and spices | Dried mushrooms | Microbial load | 3.00 - 10.00 |
| | Dried vegetable | | 5.00 - 10.00 |
| | Spices & herbs | | |

42. Portugal

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|------------------------------|-------------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried), | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Spices | | |
| | Vegetable seasonings (dried) | | |

43. Russian Federation

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Onion | Sprout inhibition | 0.06 (max) |
| | Potato | | 0.03 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 0.03 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Quarantine control | |
| | | Shelf-life extension | |
| Cereals and their milled products | Grains (corn, wheat) | Disinfestation | 0.30 (max) |
| | Rice | | 0.70 (max) |
| Dry vegetables and spices | Dried vegetables | Disinfestation | 4.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| Raw poultry and meat | Pork meat and pork meat products | Shelf-life extension | 8.00 (max) |
| | Poultry | | 6.00 (max) |
| | Rabbit meat and rabbit meat products | | 8.00 (max) |
| | Red meat and red meat products | | |
| Miscellaneous foods | Food concentrates (dried) | Disinfestation | 0.70 (max) |
| | Pudding (dried) | | |

44. Saudi Arabia

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|---|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | |
| | | Disinfestation | |
| | | Quarantine control | |
| | | Shelf-life extension | |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | |
| Fish and seafood | Any | Control of parasites | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| Raw poultry and meat | Any | Control of parasites | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | |
| Miscellaneous foods | Any | Microbial control | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |

45. South Africa

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|---|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Microbial control | |
| | | Quarantine control | |
| | Garlic | Sprout inhibition | |
| | | Sterilization | |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Phyosanitary | |
| | | Delay ripening/ physiological growth | |
| | | Disinfestation | |
| Cereals and their milled products | Any | Quarantine control | |
| | | Shelf-life extension | |
| Fish and seafood | Any | Disinfestation | |
| | | Control of parasites | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| Raw poultry and meat | Any | Shelf-life extension | |
| | | Control of parasites | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | |
| Miscellaneous foods | Any | Shelf-life extension | |
| | Honey | Phyosanitary | |

46. Spain

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|---------------|-------------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Spices | | |

47. Libyan Arab Jamahiriya

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------|--------------|----------------------|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Garlic | Sprout inhibition | 0.04 (max) |
| | Onion | | 0.08 (max) |
| | Potato | | 1.00 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Dates | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Poultry meat | Microbial control | 4.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Spices | Microbial load | 10.00 (max) |

48. Luxembourg

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial load | 10.00 (max) |
| | Spices | | |
| | Vegetable seasonings (dried) | | |

49. South Africa

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|--|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Microbial control | |
| | | Quarantine control | |
| | | Sprout inhibition | |
| | | Sterilization | |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Phytosanitary | |
| | | Delay ripening/physiological growth | |
| | | Disinfestation | |
| | | Quarantine control | |
| Cereals and their milled products | Any | Shelf-life extension | |
| | | Disinfestation | |
| Fish and seafood | Any | Control of parasites | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| Raw poultry and meat | Any | Control of parasites | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | | Shelf-life extension | |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| Dried food of animal origin | Any | Disinfestation | |
| | | Shelf-life extension | |
| Miscellaneous foods | Any | Shelf-life extension | |
| | Honey | Phytosanitary | |

50. Spain

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|---------------|-------------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried) | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Spices | | |

51. Sweden

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|---------------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Dry vegetables and spices | Herbs (dried), spices, | Microbial load | 10.00 (max) |
| | Spices | | |
| | Vegetable seasonings (dried) | | |

52. Syrian Arab Republic

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Quarantine control | |
| Cereals and their milled products | Any | Shelf-life extension | 2.50 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Microbial load | 5.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Shelf-life extension | 5.00 (max) |
| | | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Any | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| | | Control of parasites | 3.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Any | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.00 (max) |
| | | Control moulds | 3.00 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |

53. Thailand

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---|----------------------|
| Bulbs, roots and tubers | Potato | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| | Garlic | | |
| | Onion | | |
| Fresh fruits and vegetables | Mango | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Microbial control | |
| | Papayas | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | Strawberry | Microbial control | 3.00 (max) |
| Shelf-life extension | | | |
| Cereals and their milled products | Cereals (wheat and wheat products) | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Dried fruits (jujuba) | Disinfestation | |
| | Fermented cocoa | Microbial control | 5.00 (max) |
| | Rice | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Fish and seafood | Fish products | Microbial control | 2.20 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| | Shellfish (shrimps) | Microbial control | 5.00 (max) |
| Raw poultry and meat | (specific sausages: nham and moo yor) | Control of parasites | 5.00 (max) |
| | Sausages | Microbial control | |
| | | Chicken | Shelf-life extension |
| | Microbial control | | |
| Dry vegetables and spices | Spices and condiments | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Microbial control | 10.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Fish (dried) | Disinfestation | 1.00 (max) |

54. Tunisia

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Garlics | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| | onions | | |
| | Potatoes | | |
| Cereals and their milled products | Dried fruits | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | Pulses and dried fruits | | |
| Dry vegetables and spices | Spices | Microbial load | 10.00 (max) |
| | Vegetable seasonings (dried) | | |

55. Turkey

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|--|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Fish and seafood | Any | Control of parasites | 2.00 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Quarantine control | 2.50 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Microbial load | 5.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | |
| Fish and seafood | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Any | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| | | Control of parasites | |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Any | Control moulds | 3.00 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |

56. Ukraine

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---|--|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Onion | Sprout inhibition | 0.06 (max) |
| | Potato | | 0.03 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 0.03 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Quarantine control | |
| | | Shelf-life extension | |
| Cereals and their milled products | Grains (corn, wheat) | Disinfestation | 0.30 (max) |
| | Rice | | 0.70 (max) |
| Raw poultry and meat | Pork meat and pork meat products | Shelf-life extension | 8.00 (max) |
| | Poultry | | 6.00 (max) |
| | Rabbit meat and rabbit meat products | | 8.00 (max) |
| | Red meat and red meat products | | 8.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Dried vegetables | Disinfestation | 4.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| Miscellaneous foods | Food concentrates (dried) | Disinfestation | 0.70 (max) |
| | Pudding (dried) | | |

57. United States of America

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---|--|---|
| Bulbs, roots and tubers | Potatoes (white) | Sprout inhibition | 0.15 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | Quarantine control | 1.00 (max) | |
| | Seeds for sprouting | Microbial control | 8.00 (max) |
| Cereals and their milled products | Wheat and wheat powder | Disinfestation | 0.50 (max) |
| Fish and seafood | Shellfish (fresh or frozen) | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.50 (max) |
| Raw poultry and meat | Pork meat | Control of parasites | 1.00 (max) |
| | Poultry meat and their products | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | |
| | Red meat and meat by products | Reduction of pathogenic microorganisms | 4.50 (refrigerated)- 7.00 (frozen) max |
| Shelf-life extension | | | |
| Dry vegetables and spices | Herbs | Microbial control | 30.00 (max) |
| | Spices | Microbial control | |
| | Vegetable seasonings | Microbial control | |
| Dried food of animal origin | Animal feed and pet food | Microbial control | 25.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Enzyme preparations (dried or dehydrated) | Microbial control | 10.00 (max) |
| | Fresh shell eggs | Reduction of pathogenic microorganisms | 3.00 (max) |

58. Uruguay

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-------------------------|---------|-------------------|------------|
| Bulbs, roots and tubers | Potato | Sprout inhibition | 0.15 (max) |

59. Vietnam

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Quarantine control | 1.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 2.50 (max) |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Microbial load | 5.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 5.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Any | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Any | Control moulds | 3.00 (max) |
| | | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |

60. Zambia

| Food Class | Product | Objective | Dose (kGy) |
|-----------------------------------|---------|---|-------------|
| Bulbs, roots and tubers | Any | Sprout inhibition | 0.20 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Delay ripening/ physiological growth | 1.00 (max) |
| | | Disinfestation | |
| | | Shelf-life extension | 2.50 (max) |
| Cereals and their milled products | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| Fresh fruits and vegetables | Any | Quarantine control | 1.00 (max) |
| Fish and seafood | Any | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 5.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Raw poultry and meat | Any | Control of parasites | 2.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 7.00 (max) |
| | | Shelf-life extension | 3.00 (max) |
| Dry vegetables and spices | Any | Disinfestation | 1.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 10.00 (max) |
| Dried food of animal origin | Any | Control moulds | 3.00 (max) |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | 1.00 (max) |
| Miscellaneous foods | Any | Quarantine control | > 10.00 |
| | | Reduction of pathogenic microorganisms | > 10.00 |
| | | Sterilization | > 10.00 |



| | |
|--------------------------------|-------------------|
| (ㄱ) | |
| 가공전분 | 122 |
| 가교 | 64 |
| 가열평균 | 106 |
| 간접작용설 | 79 |
| 간접전리방사선 | 20 |
| 감마계수효율 | 48 |
| 감마방출비율 | 48 |
| 감마선 | 76, 239 |
| 감마선시설(⁶⁰ Co) | 74 |
| 감마선원 | 81 |
| 감마선조사시설 | 74, 82, 83, 108 |
| 감마핵종분석기 | 45 |
| 감자 | 71, 92, 110 |
| 감자칩 | 109 |
| 갑상선 | 53, 231 |
| 갑상선 기능항진 | 231 |
| 갑상선염 | 231 |
| 갑상선종 | 231 |
| 건전성 | 100, 253 |
| 건조채소류 | 234 |
| 검역유기체 | 67 |
| 검역처리기술 | 70, 211 |
| 개늪 | 94 |
| 결정형 당 | 179 |
| 결합수 | 101 |
| 경구전염병균 | 93, 97 |
| 결사슬 결합 | 103 |
| 계량기 | 64 |
| 고사리 | 42 |
| 고순도 게르마늄 검출기 | 45 |
| 고압 | 68 |
| 고압스팀 | 87 |
| 고압증기 | 87 |
| 고압증기살균장치 | 234 |
| 고주파 | 68 |
| 고춧가루 | 234 |
| 공향검색대 | 64 |
| 과산화물 | 102 |
| 과채가공품 | 42, 230 |
| 관상동맥 혈관조영술 | 29 |
| 광물질 | 174 |
| 광자극발광법 | 75, 164, 165, 171 |
| 광자수 | 165 |
| 교차교정 | 163 |
| 구토 | 32 |
| 국제무역체제 | 233 |
| 국제식품규격위원회 | 49, 73, 125 |
| 국제우주정거장 | 94 |
| 국제표준단위 | 21 |
| 군용식품 | 93, 107 |
| 굽기 | 89 |
| 그레이 | 21, 22, 79, 239 |
| 근채류 | 64 |
| 글로곡선/비 | 165 |
| 글로우곡선 | 177 |

기생충67, 232
 기저방사능47
 기체조절저장(CA)202
 기체크로마토그래프165
 기체크로마토그래프/질량분석법
164, 183

(L)

나노신소재64
 낙진53
 납19
 내부피폭30, 31
 내부피폭 환산계수22
 냉동88
 냉동닭고기106
 냉동설비234
 냉온처리87
 냉온처리기술250
 냉장88
 노화방지112
 누적피폭량33
 능이버섯42, 230
 니트로소아민123

(ㄷ)

다중파고분석기45, 47
 단백질100
 닭고기93
 대기오염64
 대장균112
 대장균군95
 데옥시리보오스95
 데치기89
 독성학적 안전성126
 동식물 검역233

동위원소47
 돼지고기114, 139
 두릅42
 딸기93

(ㄹ)

라돈28
 라돈가스19
 라두라239
 라뎀21
 라디칼20
 래드79, 239
 레토르트68
 리스테리아112

(ㄴ)

마늘92, 110
 만성독성시험130, 133
 망고111
 메틸브로마이드67, 87, 234
 멸균처리64
 무균사료64, 94
 무균식64, 94
 무기질100
 무아포성93, 97
 무청42
 무포자형성균95
 무화과류112
 물리적 반감기16
 미생물학 안전성126
 밀리시버트26

(ㄷ)

마나나111
 바실루스112

| | | | |
|-----------|---------------------------|------------|------------------------------------|
| 바이러스 | 94 | 방사선피폭 | 30 |
| 반감기 | 16, 239 | 방사선학적 안전성 | 126 |
| 반도체 | 63 | 방사선화학적 안전성 | 126 |
| 반도체 가공 | 64 | 방사성동위원소 | 20, 63, 74, 77, 78 |
| 발근억제 | 110 | 방사성물질 | 15, 17 |
| 발아농산물 | 109 | 방사성물질(핵종) | 26 |
| 발아억제 | 70, 74, 256 | 방사성세균 | 39, 44, 229, 230, 231, 240, 246 |
| 발효소시지 | 208 | 방사성스트론튬 | |
| 발효식품 | 123 | 방사성요오드 | 31, 39, 52, 229, 231, 240, 246 |
| 밤 | 92, 110 | 방사성칼륨 | 25, 29 |
| 방사능 | 15, 17, 240 | 방사성플루토늄 | 44, 50, 247 |
| 방사능물질 | 15 | 방사성핵종 | 15, 16, 229, 232 |
| 방사능방어 | 231 | 백혈구 | 32, 33 |
| 방사능오염 | 15, 229, 240 | 벼섯 | 111 |
| 방사능오염식품 | 52, 203, 211, 231, 251 | 번데기 | 99, 113 |
| 방사능오염지표물질 | 16 | 번식시험 | 129, 130 |
| 방사능피폭 | 231 | 베크렐 | 21, 31, 229, 241 |
| 방사선 | 17, 63 | 베타선 | 19 |
| 방사선 분해 | 101 | 베타입자 | 241 |
| 방사선감수성 | 94, 96, 103, 105, 140 | 벤조피렌 | 253 |
| 방사선검역처리 | 99 | 벨리태이션 | 165 |
| 방사선기술 | 68, 90 | 변이원성시험 | 143 |
| 방사선량 | 22 | 병용처리 | 92 |
| 방사선멸균기술 | 94 | 병원성미생물 | 97, 232 |
| 방사선병원균사멸 | 93 | 병해충 | 67 |
| 방사선병원균살균 | 94 | 보툴리눔 | 140 |
| 방사선부분살균 | 93, 94, 112 | 복부 CT | 29 |
| 방사선분해산물 | 136, 137 | 분쇄최고기 | 93 |
| 방사선완전살균 | 93, 94, 121 | 분유류 | 42, 230 |
| 방사선원 | 20, 31, 77, 82 | 분쟁해결기구 | 61, 231 |
| 방사선저항성 | 99 | 블래취 | 106 |
| 방사선조사 | 215 | 블루베리 | 42, 230 |
| 방사선조사처리 | 92 | 비 가열 | 232 |
| 방사선중 | 78 | | |

| | |
|--------------------|----------|
| 비 약제 | 232 |
| 비 전리방사선 | 20 |
| 비(非)이온화 방사선 | 20 |
| 비타민 | 100, 105 |
| 비타민 B | 134 |
| 비타민 B ₁ | 139 |
| 비타민 C | 106, 134 |
| 비파괴검사 | 64 |

(스)

| | |
|---------------|------------------|
| 산초 | 42 |
| 살균 | 64, 79 |
| 살균·살충 | 256 |
| 살모넬라 | 97, 112 |
| 살충 | 70, 79 |
| 새싹채소 | 112 |
| 생물학적 반감기 | 16, 240 |
| 생장억제 | 111 |
| 생장조절 | 79 |
| 생존곡선 | 97 |
| 생체아민 | 123 |
| 선도유지 | 111 |
| 선량균일성 | 83 |
| 선량측정 | 241 |
| 선량환산계수 | 22 |
| 선모충 | 70, 99, 114, 115 |
| 선원저장 | 82 |
| 설문조사 | 205 |
| 성장기용 조제식 | 43 |
| 성장기용 조제유 | 43 |
| 성충 | 99, 113 |
| 세계무역기구(WTO) | 61 |
| 세계보건기구(WHO) | 49 |
| 세계식량농업기구(FAO) | 49 |
| 세슘 | 16 |

| | |
|--------------|-----------------|
| 셀룰로오스 | 182 |
| 소당류 | 124 |
| 소비자 수용성 | 187, 205, 209 |
| 송풍동결 | 89 |
| 쇠낭충 | 115 |
| 수삼 | 93, 111 |
| 수소결합 | 103 |
| 수용성비타민 | 140 |
| 수입규제조치 | 61 |
| 속도 | 250 |
| 속도지연 | 70, 111, 256 |
| 스트론튬 | 16, 41 |
| 스팀살균 | 118, 120 |
| 시버트 | 21, 22 |
| 시험시판 | 69 |
| 시험판매 | 205, 207, 209 |
| 시호로 | 108 |
| 식량안보 | 67 |
| 식량주권 | 67 |
| 식물검역위생 | 70, 200 |
| 식물위생처리 | 241 |
| 식품공전 | 234 |
| 식품규격위원회 | 71 |
| 식품미생물국제연맹 | 71 |
| 식품미생물국제위원회 | 71 |
| 식품안전 | 67 |
| 식품안전관리인증 | 124 |
| 식품위생법 | 74, 75 |
| 식품위해요소중점관리기준 | 124 |
| 식품조사 | 69 |
| 식품조사기술 | 68, 69, 91, 235 |
| 식품조사처리 | 250 |
| 식품조사처리량 | 192 |
| 식품포장재 | 64 |
| 실효선량계수 | 31 |

(ㅇ)

| | | | |
|------------|-------------------|--------------|--------------|
| 아만성독성시험 | 127, 128 | 영양학적 적격성 | 100 |
| 아미노산 | 100 | 영·유아용 곡류조제식 | 43 |
| 아이스크림류 | 43 | 영·유아용 특수조제식품 | 43 |
| 아질산염 | 123 | 오염관리지표핵종 | 16 |
| 아크릴아마이드 | 253 | 올리고머 | 124 |
| 안전성 | 253 | 완두콩 | 112 |
| 안정요오드제 | 246 | 완전살균선량 | 97 |
| 알 | 99, 113 | 외부피폭 | 30 |
| 알파선 | 19 | 요오드 | 16, 53 |
| 알파입자 | 16, 19 | 우라늄 | 25 |
| 에벌레 | 99, 113 | 우수제조관리기준 | 72, 126 |
| 액면계 | 63 | 우수조사처리기준 | 241 |
| 야생육 | 42 | 우유 | 54, 106 |
| 양전자 | 18 | 우주방사선 | 25 |
| 양파 | 92, 110 | 우주선 | 25, 27 |
| 어패류 | 93 | 우주식품 | 64, 94, 107 |
| 에틸렌글리콜 | 117 | 운전실 | 82 |
| 에틸렌디브로마이드 | 86 | 웅성불임 | 242 |
| 에틸렌옥사이드 | 86 | 원유 | 43 |
| 에틸렌클로로하이드린 | 117 | 원자력의 평화적 이용 | 214 |
| 엑스선 | 19, 76, 241 | 원자번호 | 15 |
| 여과 | 68 | 원자핵 | 15 |
| 연대측정 | 64 | 위생검역처리 | 194 |
| 연포장식품 | 124 | 위장촬영 | 31 |
| 연화현상 | 100 | 위축현상 | 110 |
| 열대과일 | 74 | 유가공품 | 43, 91 |
| 열발광법 | 75, 164, 165, 172 | 유도방사능 | 141 |
| 열수처리 | 68 | 유리기 | 20 |
| 열형광선량계 | 33 | 유물 | 64 |
| 염색체 | 33 | 유방 촬영 | 29 |
| 염색폐기물 | 64 | 유엔환경위원회 | 70, 189 |
| 염장 | 89 | 유연성 | 64 |
| 영아용 조제식 | 43 | 유전독성 | 138 |
| 영아용 조제유 | 43 | 유전자코메트 분석법 | 166 |
| | | 유제품 | 42, 106, 124 |

| | |
|-----------|------------|
| 유효반감기 | 240 |
| 유효선량 | 96 |
| 유효선량 환산계수 | 22 |
| 육두구 | 138 |
| 이온화방사선 | 20, 79, 92 |
| 이온화작용 | 69, 78 |
| 이황화결합 | 103 |
| 인공방사능 | 15, 26, 30 |
| 인공방사선 | 20, 26 |
| 인공방사선량 | 29 |
| 인공방사성물질 | 15 |

(ㄱ)

| | |
|-----------|-------------------|
| 자기제어 | 161 |
| 자동차 타이어 | 63 |
| 자손핵종 | 25 |
| 자연방사능 | 69 |
| 자연방사선 | 20, 25, 27 |
| 자유라디칼 | 96, 103, 136, 165 |
| 자유수 | 101 |
| 재(再)수화 | 121 |
| 재조사 | 149 |
| 잼 | 42 |
| 저급지방산 | 91 |
| 저온살균 | 68 |
| 저장유통기한 | 200 |
| 저장해충 | 67, 92, 113 |
| 저항미생물 | 96 |
| 적색육 | 98 |
| 전리방사선 | 20 |
| 전리작용 | 20 |
| 전선 | 63 |
| 전신 PET/CT | 29 |
| 전자 | 18, 19, 242 |
| 전자기파에너지 | 18 |

| | |
|------------|--|
| 전자볼트 | 242 |
| 전자빔 | 84 |
| 전자선 | 18, 75, 76, 81, 84, 91 |
| 전자선가속기 | 76, 78, 81 |
| 전자스핀공명법 | 75, 164, 165, 178 |
| 전자과방사선 | 77 |
| 절연성 | 64 |
| 조리 | 88, 121 |
| 조미건어포류 | 75 |
| 조사멸균 | 242 |
| 조사병원선미생물살균 | 242 |
| 조사부분살균 | 242 |
| 조사완전살균 | 242 |
| 조사저온살균 | 243 |
| 조사처리 | 151, 215, 235, 250 |
| 조사처리기술 | 88, 90, 234, 255, 256 |
| 조사처리살균 | 118, 120 |
| 조사처리시설 | 235, 251 |
| 조사처리식품 | 70, 71, 74, 82, 95, 110, 135, 141, 152, 158, 165, 187, 203, 208, 211, 233, 234, 251, 252, 254, 256 |
| 조사표시 | 150 |
| 죽순 | 42 |
| 중선자선 | 20 |
| 즉석식품 | 124 |
| 증기살균 | 234 |
| 지각방사선 | 25 |
| 지방질 | 100 |
| 지용성비타민 | 140 |
| 직접작용설 | 79 |
| 직접전리방사선 | 20 |
| 질량수 | 15 |

(ㄴ)

| | |
|------|---------|
| 차가버섯 | 42, 230 |
|------|---------|

| | |
|----------|-------------|
| 차류 | 42, 230 |
| 차폐용기 | 47 |
| 채소종자 | 98 |
| 천연방사능 | 15, 25, 30 |
| 천연방사성물질 | 15 |
| 천연방사성핵종 | 25 |
| 천연칼륨 | 25 |
| 천일건조 | 88, 89 |
| 체르노빌 | 37, 43, 211 |
| 최기형성시험 | 129, 130 |
| 최저검출한계 | 174 |
| 치과 X선 촬영 | 29 |

(ㄱ)

| | |
|--------|---------|
| 칼륨-40 | 29 |
| 캠필로박터 | 98 |
| 캐슈너트 | 138 |
| 케이블 | 63 |
| 코발트-60 | 239 |
| 콘크리트 | 19 |
| 쿠릴해류 | 38 |
| 큐리 | 21, 243 |

(ㄷ)

| | |
|--------|------------|
| 탄소-14 | 29 |
| 탄수화물 | 100 |
| 탄화수소 | 183 |
| 탄화수소류 | 165 |
| 탈모 | 32 |
| 탈수 | 89 |
| 팅스텐 | 81, 86 |
| 토륨 | 25 |
| 토마토 | 112 |
| 톡소포자충 | 115 |
| 통조림 | 68, 88, 89 |
| 튀김생선어묵 | 93 |

| | |
|------|-----|
| 트립토판 | 103 |
| 티로신 | 103 |

(ㄹ)

| | |
|---------|-------------|
| 파파야 | 111 |
| 포르마린 | 46 |
| 포름알데하이드 | 46 |
| 포스퍼디에스터 | 95 |
| 포자형성균 | 95 |
| 표고 | 42 |
| 표시기준 | 160, 234 |
| 표시제도 | 152, 235 |
| 표적설 | 79 |
| 표준선원 | 45, 47, 48 |
| 퓨린 | 95 |
| 플루토늄 | 16 |
| 피리미딘 | 95 |
| 피부홍변 | 32 |
| 피크에너지 | 48 |
| 피폭 | 22, 27, 243 |
| 필라멘트 | 17 |
| 필수아미노산 | 140 |

(ㅎ)

| | |
|------------|---------|
| 하이드록시아파타이트 | 181 |
| 한국소비자연맹 | 213 |
| 한국형 우주식품 | 94 |
| 해썹 | 243 |
| 해충 | 232 |
| 해충구제 | 110 |
| 해충방제 | 64, 92 |
| 핵분열 | 16 |
| 핵융합반응 | 25 |
| 헤즐너트 | 42, 230 |
| 헬륨 | 18, 19 |

| | |
|-------------|------------------------|
| 핵신의 확산 | 210 |
| 해성꼬리 | 165 |
| 호카이도 | 71 |
| 혼합조미료 | 234 |
| 화학적규명 | 137 |
| 화학훈증제 | 99 |
| 확인시험법 | 75, 161, 164, 165, 252 |
| 환경방사선 자동감시망 | 27 |
| 환자용무균식 | 107 |
| 황금률 | 72 |
| 회화로 | 46 |
| 후쿠시마 | 229, 231 |
| 훈연 | 89 |
| 훈증처리 | 87 |
| 흉부 X선 촬영 | 29 |
| 흡수선량 | 22 |
| 히스티딘 | 103 |

(A)

| | |
|--------------------|-----|
| absorbed dose | 22 |
| ACBs | 138 |
| adult | 99 |
| Algeria | 257 |
| ALP | 115 |
| aluminum phosphide | 115 |
| Argentina | 258 |
| Atom for Peace | 214 |
| Australia | 258 |
| Austria | 259 |

(B)

| | |
|------------|-----|
| Bacillus | 112 |
| baking | 89 |
| Bangladesh | 259 |
| Becquerel | 241 |

| | |
|----------------------|-----|
| Belgium | 260 |
| beta-particle | 241 |
| biogenic amine | 123 |
| biological half-life | 240 |
| blanching | 89 |
| blast freezing | 89 |
| bound water | 101 |
| Brazil | 261 |
| Bulgaria | 261 |

(C)

| | |
|-------------------------------|-----|
| Campylobacter | 98 |
| Canada | 262 |
| canning | 89 |
| chemoclearance | 137 |
| Chile | 262 |
| China | 263 |
| clean process | 87 |
| Clostridium botulinum | 140 |
| Codex Alimentarius Commission | 125 |
| cold process | 87 |
| comet tail | 165 |
| control system | 82 |
| Conveyor system | 82 |
| cooking | 121 |
| Costarica | 264 |
| Croatia | 265 |
| cross calibration | 163 |
| crystalline sugar | 179 |
| CT촬영 | 32 |
| Cuba | 266 |
| Curie | 21 |
| Cysticercus bovis | 115 |
| Czech Republic | 267 |

| | |
|-------------------------|-----|
| (D) | |
| D ₁₀ -value | 96 |
| dehydration | 89 |
| Denmark | 268 |
| deoxyribose | 95 |
| Diffusion of Innovation | 210 |
| direct theory | 79 |
| dose uniformity | 83 |
| dosimetry | 241 |

| | |
|--------------------------------------|--------------|
| (E) | |
| E. coli O157:H7 | 112 |
| EDB | 115 |
| effective half-life | 240 |
| egg | 99 |
| electric pulse | 87 |
| electromagnetic energy | 18 |
| electron | 19, 242 |
| electron accelerator | 78 |
| electron beam | 18, 76, 81 |
| Electron spin resonance spectroscopy | 165, 178 |
| ESR | 75, 164, 178 |
| ethylene chlorohydrin | 117 |
| ethylene dibromide | 115 |
| ethylene glycol | 117 |
| exposure | 243 |
| Egypt | 268 |

| | |
|-----------------------------|---------|
| (F) | |
| FAO | 70 |
| Finland | 268 |
| food irradiation | 69, 250 |
| food irradiation technology | 68 |
| food safety | 67 |

| | |
|---------------|-----|
| food security | 67 |
| France | 268 |
| free radicals | 165 |
| free water | 101 |

| | |
|------------------------------|-------------------|
| (G) | |
| gamma irradiation facility | 82 |
| GC/MS | 75, 164, 165, 183 |
| genome | 94 |
| germ-free | 94 |
| Germany | 269 |
| Ghana | 269 |
| glow curve | 177 |
| GMP | 72, 126 |
| Good Irradiation Practices | 241 |
| Good Manufacturing Practices | 241 |
| gray | 22, 79, 239 |
| Greece | 270 |
| Gy | 79 |

| | |
|----------------|---------|
| (H) | |
| HACCP | 124 |
| half-life | 16, 239 |
| harmonization | 73 |
| Hungary | 270 |
| hydrocarbons | 165 |
| hydroxyapatite | 181 |

| | |
|-----------------------|------------|
| (I) | |
| inactivation dose | 97 |
| India | 270 |
| indirect theory | 79 |
| Indonesia | 271 |
| induced radioactivity | 141 |
| ionization | 20, 69, 78 |
| ionizing radiation | 79 |

IPPC73
 Iran271
 Ireland271
 irradiated food187, 203, 211
 Irradiation250
 irradiation facility251
 irradiation for quarantine70
 irradiation technology256
 Islamic Republic of271
 Israel272
 Italy272

(J)

Japan272

(K)

Korea, Republic of273

(L)

Labelling150
 larva99
 Libyan Arab Jamahiriya274, 283
 Listeria112
 Luxembourg274, 283

(M)

male sterile242
 market test208
 market trial205
 MB87, 99, 115, 234
 MDL174
 methyl bromide67, 87
 Mexico274
 microbiological safety126
 modified starch122

multichannel analyzer45, 47

(N)

Netherlands275
 New Zealand276
 Nham208
 non-chemical87
 non-ionizing radiation20
 non-thermal87
 Norway277
 nutmeg138
 nutritional adequacy100

(O)

operation82

(P)

Paraguay277
 peroxide102
 Peru278
 Philippines279
 phosphodiester95
 photon counts165
 Photostimulated luminescence171
 phytosanitary200
 phytosanitary irradiation99
 phytosanitary treatment241
 Poland280
 Portugal280
 potato chip109
 PSL75, 164
 pupa99
 purine95
 pyrimidine95

(Q)
quarantine treatment211

(R)
rad79
Radappertization93, 121, 242
radiation absorption dose79, 239
radiation chemical safety126
radiation dose22
radiation pasteurization243
radiation source20, 77, 82
radiation sterilization242
Radacidation94
radicidation93, 242
radioactive77
radioactive contamination240
radioactive contamination food
.....203, 211, 251
radioactivity15, 240
radioactivity shielding vessel47
radiological safety126
radionuclide77
radiopasteurization93
radura239
Radurization94
radurization93, 112, 242
Re-irradiation149
red meat98
rehydration121
ripening250
Rn-22219
Russian Federation280

(S)
safety253

Salmonella98, 112
salting89
Saudi Arabia281
self-controlling161
shelf-life200
silicate minerals174
smoking89
South Africa282, 283
sovereignty67
Spain282, 284
specific pathogens-free94
sprout seed98
standard radioactive source45, 47
sun drying89
Sweden284
Syrian Arab Republic284

(T)
target theory79
Thailand285
Thermoluminescence165, 172
TL75, 164
TMI37
toxicological safety126
Toxoplasma gondii115
trichina99
Trichinella spiralis70, 115
Tunisia286
Turkey286

(U)
Ukraine287
UNEP70, 189
unique radiolytic products137
United States of America288

URPs137
Uruguay288

(V)

validation165
Vietnam289

(W)

water pool82
water radiolysis101
WHO70
wholesomeness100, 253
WTO61, 233

(X)

X선69, 84

(Z)

Zambia290

(1)

^{131}I 16, 49, 229, 230
 ^{135}Xe 16
 $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ 16, 229, 230
 ^{239}Pu 49, 50
 ^{60}Co 78, 81
 ^{90}Sr 16, 49

(2)

2-alkylcyclobutanones104, 138

도서출판 식안연 식량안보시리즈

제1권 나트륨, 건강 그리고 맛



식량안보시리즈 제 1 권

이숙중, 이철호 공저
국판 / 3쇄 준비중

값 8,000원

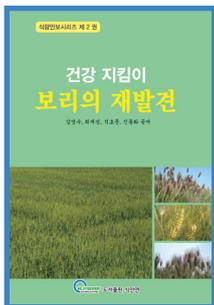
ISBN 978-89-967826-9-8

[contents]

1. 자연속의 나트륨
2. 음식속의 나트륨
3. 우리 몸속의 나트륨
4. 고혈압과 나트륨의 관계에 대한 논쟁
5. 세계보건기구의 나트륨 섭취권고량은 합당한가?
6. 한국인의 적정 나트륨 섭취 권장량
7. 나트륨 저감화 기술개발
8. 외국의 나트륨 저감화 사례 및 전략
9. 우리나라 나트륨 줄이기 운동의 성과
10. 전문가 의견
11. 나트륨 줄이기 운동의 올바른 방향

이 책은 맛의 원천인 소금의 식품학적 기능을 다시 돌아보면서 세계 보건기구(WHO)가 제시한 나트륨 섭취권고량이 우리에게 합당한 것인지 재검토하고, 이를 근거로 하여 합리적인 기준을 가지고 현실성 있는 나트륨줄이기 운동을 전개할 것을 제안하였다.

제2권 건강 지킴이 보리의 재발견



식량안보시리즈 제 2 권

김영수, 최재성, 석호문,
신동화 공저

국판 / 166쪽

값 8,000원

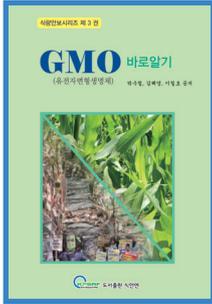
ISBN 979-11-86396-10-0

[contents]

1. 보리의 특성
2. 보리의 구조
3. 생산 및 분포
4. 육종 및 재배
5. 보리의 화학적 조성
6. 보리의 기능성 물질 및 생리적 기능
7. 보리의 가공 및 이용

제2의 주곡이었던 보리를 다시 생각해 보면서 과연 앞으로 보리를 어떻게 처리하는 것이 우리나라의 식량사정과 국민 건강을 위해서 바람직한 것인가를 돌이켜 보고자 하였다.

제3권 GMO 바로알기



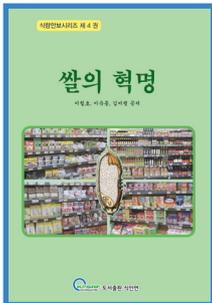
식량안보시리즈 제 3 권
박수철, 김해영, 이철호 공저
국판 / 6쇄 / 올칼라
값 12,000원
ISBN 979-11-86396-21-6

[contents]

1. 유전자의 발견과 생명체
2. 유전자변형기술의 발전
3. 유전자변형(GM) 작물의 개발 현황
4. GM작물의 환경 위해성 평가
5. GM작물의 안전성 평가
6. GM작물의 재배 및 교역 현황
7. GMO의 안전성에 대한 논란
8. GMO의 미래
9. 우리나라 식량안보를 위한 GMO 정책 제언

앞으로 예견되는 인류의 식량문제를 해결하기 위한 기술로 GM작물의 개발과 이용 확대를 위해 저술되었다. 그동안 GMO의 안전성 문제를 일으킨 여러 가지 사건에 대한 진위를 밝히고 이로 인해 야기된 국민의 부정적 의식 정도를 조사한 자료를 실었다. 이 책은 우리사회의 여론을 이끌어 가는 전문직 지식인들의 과학적 호기심을 충족하기 위해 만든 참고서이다.

제4권 쌀의 혁명



식량안보시리즈 제 4 권
이철호, 이숙중, 김미령 공저
국판 / 204쪽
값 10,000원
ISBN 979-11-86396-27-8

[contents]

1. 쌀의 이용 역사
2. 쌀의 영양가와 생리기능성
3. 쌀의 가치사슬과 가공산업
4. 쌀의 구조와 가공적성
5. 유럽의 밀 가공 연구
6. 일본의 쌀 식미연구
7. 쌀의 변신
8. 쌀의 식량안보적 기능
9. 우리쌀의 새로운 비전

우리의 주식인 쌀이 농업의 뿌리로 남아있게 하기 위하여 쌀의 수요 창출과 쌀 가공산업의 발전 전략을 제시하기 위해 저술되었다. 쌀의 영양학적 우수성과 생리기능성을 다시 짚어보고 쌀의 가치사슬과 산업 규모를 다시 평가하였다. 현대사회의 요구에 맞는 가공식품을 제조하기 위한 쌀의 물리화학적 가공특성을 살펴보고 유럽에서 빵의 연구를 위해 수행된 주요 연구개발 사례와 일본의 쌀 식미연구 동향을 소개하였다. 그리고 최근 우리나라에서 개발되고 있는 쌀 가공 신제품의 특징과 발전 가능성을 조사하였다.

제5권 식량낭비 줄이기



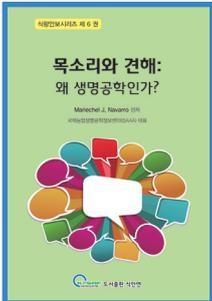
식량안보시리즈 제 5 권
채희정, 이숙중, 이철호 공저
국판 / 2쇄, 244쪽
값 12,000원
ISBN 979-11-86396-30-8

[contents]

1. 식량낭비의 원인과 실태
2. 식량낭비 저감화 기술
3. 식량낭비를 줄이기 위한 제도적 개선
4. 식량낭비를 줄이기 위한 정책제언

음식낭비를 줄이는 것은 식량자급률을 높이는 방법이다. 식량자급률이 60%이면 선진국 수준으로 식량안보를 크게 염려하지 않아도 된다. 농업생산으로 식량자급률을 1% 올리려면 1조 원의 비용이 드는 것으로 추산되고 있다. 정부와 국민이 힘을 합쳐 식량낭비를 줄이는 일에 매진해야 한다는 것은 너무나 당연한 일이다. 이 책은 우리나라의 식량낭비 구조를 분석하고 식량낭비를 줄이기 위한 기술적 방법과 제도적 개선 방안을 제시하고자 노력했다.

제6권 목소리와 견해: 왜 생명공학인가?



식량안보시리즈 제 6 권
Mariechel J. Navarro 편저
국판 / 229쪽
값 12,000원
ISBN 979-11-86396-32-2

[contents]

1. 인류를 위한 기술
2. 혜택과 잠재력 제공
3. 생명공학 옹호
4. 과학 커뮤니케이션
5. 기술을 넘어선 생각

핀스트럽 앤더슨 박사는 “지속가능한 식량과 농업시스템을 성취 유지하고, 식량과 영양의 불안정을 완화하기 위한 과학의 역할과 전망은 매우 밝다”는 의견을 밝혔다. 그러나 주된 과제는 행동의 결과를 책임지지 않아도 되는 단체들의 반대를 극복하는 것이다. 이러한 다국적 기업의 무책임한 행동들을 처벌하는 국내 및 국제적 합의는 매우 중요한 단계라고 할 수 있다. 그는 많은 유럽의 정부와 다국적 NGO가 아프리카 정부에게 생명공학이 위협하다고 주장하고 있는 사례를 인용하였다. 남아프리카, 아르헨티나, 브라질, 중국, 인도, 그리고 기타 국가들의 소농들이 이미 GM 옥수수를 재배하고 있음에도 불구하고 유럽 정부들은 자국의 농민들이 GM 옥수수를 재배하지 않도록 막고 있다.

제7권 식량생산 제고를 위한 신(新)육종기술



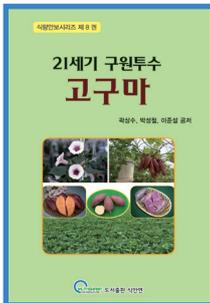
식량안보시리즈 제 7 권
 한지학, 정 민 공저
 국판 / 153쪽
 값 12,000원
 ISBN 979-11-86396-39-1

[contents]

1. 종자(種子, Seed)
2. 종자산업의 개요
3. 국내외 종자시장 현황
4. 식량생산
5. 식량생산 제고를 위한 육종기술
6. 신육종기술의 활용
7. 육종기술과 GMO (LMO)와의 차이 해석
8. 시사점 및 제언

이 책은 먹거리의 원천자원인 종자에 대한 기본적인 개념, 그의 중요성과 종자산업의 현황을 다루었고 특히 국내에서도 적극적으로 사용가능한 여러 신육종기술들을 검토하였다. GMO를 대체할 수 있고 대사공학에 활용할 수 있는 유전체편집 기술, 종속간에 교배가 어려울 때 유전자를 이전할 수 있는 동종기원(Cisgenesis)기술, 핵이나 세포질을 치환하여 새로운 유전자원을 만들 수 있는 세포융합기술들을 집중적으로 다루었다. 이런 기술들과 기 보유하고 있는 관행육종 기술과 접목하고, 마커를 이용한 여교배와 연계하여 활용한다면, 새로운 육종기술 시스템을 구축할 수 있으며 신품종개발과 생산량 제고에 도움이 될 것이다. 특히 곡류자급률이 23.8% 밖에 되지 않고 식량안보에 집중해야할 우리나라는 이런 신육종기술의 접목과 적용이 필수이다.

제8권 21세기 구원투수 고구마



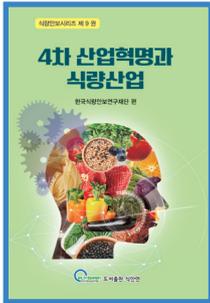
식량안보시리즈 제 8 권
 광상수, 박성철, 이준설 공저
 국판 / 155쪽
 값 12,000원
 ISBN 979-11-86396-41-4

[contents]

- I. 고구마의 특성
- II. 고구마 육종
- III. 고구마의 재배
- IV. 고구마 이용
- V. 고구마의 미래
- VI. 부록

고구마는 글로벌 기후변화시대, 고령화시대, 국제 식량수급 불안정 속에서 인류가 당면한 식량문제뿐만 아니라 노령화문제 등 제반문제의 해결사로 부상하고 있다. 특히 고구마는 전분작물 가운데 척박한 토양에서 가장 높은 수량을 보장하는 친환경 작물로 평가되고 있다. 60년대 보릿고개 시절에 배고픔을 해결해주고 겨울철 간식으로 여겨온 고구마가 21세기 보릿고개를 극복하고 고령화시대의 최고식품과 기후변화에 대응에 적합한 글로벌 구원투수로서의 역할을 할 것으로 기대된다.

제9권 4차 산업혁명과 식량산업



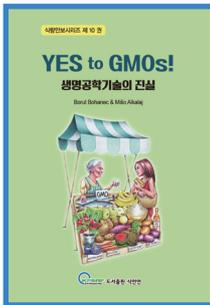
식량안보시리즈 제 9 권
한국식량안보연구재단 편
국판 / 316쪽
값 16,000원
ISBN 979-11-86396-45-2

[contents]

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 제1장 4차 산업혁명의 개요 | 제6장 식품공장의 지능형 자동화 |
| 제2장 스마트팜 작물생산 | 제7장 식품로봇 |
| 제3장 농업용 자율주행 로봇과 드론 기술 | 제8장 식품 3D프린팅 |
| 제4장 축산 스마트팜 | 제9장 지능형 식품유통 |
| 제5장 수산업과 4차 산업혁명 | 제10장 스마트 패키징 |
| | 제11장 식품산업의 미래 |

실제로 호텔을 가지고 있지 않은 에어비앤비(Airbnb)가 세계에서 가장 큰 숙박업을 하고 있으며, 택시를 보유하지 않은 우버(Uber)가 가장 큰 택시사업을 하고 있다. 매장이 없는 알리바바나 아마존이 기존의 유통업체들이 따라갈 수 없는 매출고를 올리고 있다. 유비쿼터스 아이폰이 출시된지 10년만에 스마트폰 사용자가 20억명을 넘고 있다. 테슬라, 구글 등 혁신 기업들이 자율주행차 생산에 들어가자 전 세계 자동차산업이 뒤를 이어 앞으로 10년 이내에 무인 자동차가 일반화 될 전망이다. 이러한 파괴적 기술혁신이 식량산업에는 어떠한 변화를 가져오고 있는지를 점검하고 대비하기 위해 이 책을 기획하였다.

제10권 YES to GMOs! 생명공학기술의 진실



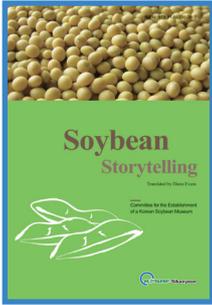
식량안보시리즈 제 10 권
Borut Bohanec & Mišo Alkalaj
생명공학기술의 진실
국판 / 202쪽
값 12,000원
ISBN 979-11-86396-47-6

[목차]

- Part 1. GMO현황
- Part 2. GMO에 대한 일반적 오해
- Part 3. GMO가 정말 필요한 이유

‘제1부: GMO 현황’에서는 GMO의 재배현황과 수확량 증대, 농약 절감 등 상업화에 성공한 글로벌 기업들의 GMO 신품종뿐만 아니라 부담이 크고 비용이 많이 드는 법적규제로 인해 상업화되지 못하고 우리에게 잘 알려져 있지 않은 다양한 GM 품종에 대해서 소개하고 있다. ‘제2부: GMO에 대한 일반적 오해’에서는 그동안 GMO 반대운동 단체들이 사용해온 괴담들의 근원지와 허구성과 오해에 대해 조목조목 반박하고 있다. 특히 반론의 과학적 근거를 밝히기 위해 많은 관련 연구문헌을 제시하고 있다. ‘제3부: GMO가 정말 필요한 이유’에서는 새로운 식물육종의 필요성과 유전공학 연구를 통한 수혜자가 누구인지와 GMO를 반대함으로써 손해 보는 것들에 대해 자세히 기술하고 있다.

Soybean Storytelling(콩 스토리텔링)



한국공박물과건립추진위원회 편
Translated by Diana Evans
국영문합본 / 343쪽
값 20,000원
ISBN: 979-11-86396-36-0

[목차]

01. 콩의 기원
02. 콩과 장(醬)의 문화
03. 콩의 생육과 생태
04. 콩의 가공과 이용
05. 콩의 영양과 기능성
06. 콩의 미래

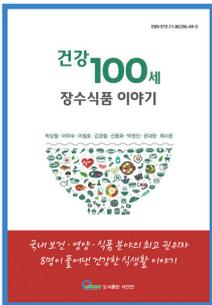
[contents]

01. The Origin of Soybeans
02. The Culture of Soybeans and Sauce
03. The Growth and Ecology of Soybeans
04. Processing & Utilization of Soybeans
05. Nutrition and Functionality of Soybeans
06. The Future of Soybeans

한국은 콩의 재배와 이용을 시작한 콩의 종주국임에도 불구하고 대부분의 한국 고대사가 그랬듯이 중국 문화에 묻혀 세계에 제대로 알려지지 않았다. 이 책은 인류 역사상 가장 먼저 콩을 재배하고 식품으로 이용한 한(韓)민족의 콩 이용 역사를 세계에 알리기 위한 목적으로 경상북도 영주시에 설립된 콩세계과학관 건립을 위해 수집한 자료를 스토리텔링 형태로 정리한 것을 국문과 영문으로 한글에 묶어 펴낸 것이다. 영문 번역은 미국 하버드대학 대학원에서 한국문학을 전공한 다이아나 에반스(Diana Evans)씨가 담당했다.

세종도서 선정

건강100세 장수식품 이야기



건강100세 장수식품 이야기
국판 / 319쪽
값 18,000원
ISBN: 979-11-86396-49-0

[목차]

- 제1장 과연 불로장생 식단은 있는가? (박상철)
- 제2장 한국 장수인들은 무엇을 어떻게 먹고사나 (이미숙)
- 제3장 한국인은 체질에 따라 음식을 가려먹는다 (이철호)
- 제4장 음식이 유전자를 바꾼다. 후성유전학의 이해 (김경철)
- 제5장 발효식품으로 건강 100세를 맞자 (신동화)
- 제6장 건강기능식품 시장이 대체다 (박현진)
- 제7장 전통한식 식사법이 답이다 (권대영)
- 제8장 건강 100세 라이프스타일 (최수완)

한림원타도론회 '건강 100세를 위한 맞춤식품 필요성과 개발 방향'의 내용을 모아 '건강100세 장수식품 이야기'가 출판된 것을 기쁘게 생각합니다. 관련분야 국내 최고 권위자들의 건강 장수식품에 대한 올바른 정보가 많은 사람들에게 도움이 되기를 바랍니다



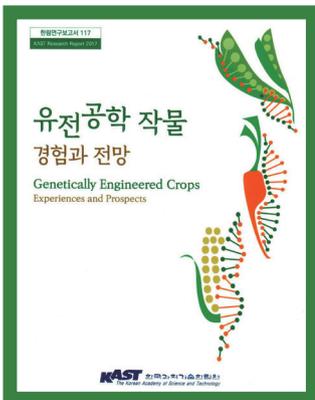
비만과의 전쟁
이철호 지
국판 / 209쪽
값 12,000원
ISBN: 979-11-86396-54-4

[목차]

1. 비만세 청문회
2. 비만이 뭐길래
3. 세계는 비만과 전쟁 중
4. 한국은 어떠한가
5. 체지방은 어떻게 축적되나
6. 비만 예방치료를 위한 식이요법
7. 체지방 감소를 위한 건강기능식품
8. 비만 예방치료를 위한 운동요법

이 지구상에 인간이 출현 한 이래 지금과 같은 먹음거리의 풍요 속에 산적은 없다. 항상 굶주림의 공포 속에서 비축의 본능이 유전인자에 각인되어 지금까지 전달되고 있다. 이제쯤 바뀔만도 한데, 아직도 있을 때 많이 먹어, 결국 과잉비축에 의한 비만은 세계적인 문제가 되고 있다. 『비만과의 전쟁』은 이제 우리 스스로 비만을 관리해야겠다는 다짐을 하는 책으로 큰 사회문제를 해결하고자 하는 길잡이가 될 것으로, 모두가 일독해야 할 귀한 내용이 실려 있다.

한국과학기술한림원 출판 ‘유전공학작물: 경험과 전망’
(한림연구보고서 117)



미국과학기술한림원, 공학한림원, 의학한림원 공동연구보고서, Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects, National Academies Press (2016)

한국과학기술한림원 ‘GM 식품 안전성 과학적 평가의 홍보에 의한 소비자 수용성 제고’ 집필위원회 번역 감수

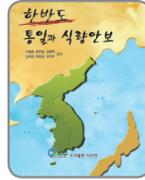
발행처: 한국과학기술한림원
발행일: 2017년 12월
발행인: 이명철(한국과학기술한림원장)
편집인쇄: 경성문화사
정가: 비매품
ISBN 979-11-86795-24-8 (94080)

도서출판 식안연 책소개



식량전쟁

이철호 저
236쪽 | 12,800원



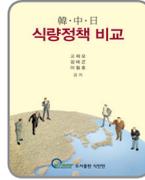
한반도 통일과 식량안보

이철호, 문헌팔, 김용택, 김세권,
박태균, 권익부 공저
298쪽 | 16,000원



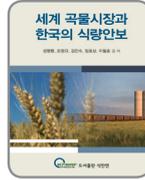
선진국의 조건 식량자급

이철호, 문헌팔, 김용택,
이숙중, 이꽃임 공저
223쪽 | 15,000원



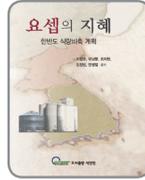
한중일 식량정책 비교

고재모, 김태곤, 이철호 공저
338쪽 | 16,000원



세계 곡물시장과 한국의 식량안보

성명환, 오정규, 김민수,
임호상, 이철호 공저
357쪽 | 20,000원



세종도서 선정

요섭의 지혜 한반도 식량비축 계획

이철호, 위남량, 최지현,
임정빈, 안병일 공저
233쪽 | 16,000원



식품산업과 식량안보

박현진, 김덕호, 권오란,
김현옥, 박태균, 이철호 공저
265쪽 | 18,000원

알기 쉬운 방사능·방사선 & 식품안전

체르노빌 원전사고와 후쿠시마 방사능 유출사고로 원자력에너지 이용에 대한 불안감이 커지면서 방사선기술에 대한 우려감도 커졌다. 특히 많은 소비자들이 방사능과 방사선을 구분하지 못하고 동일한 불안감을 가지고 있는 것이 현실이다. 이에 따라 국내에서는 조사처리식품에 대한 표시제도가 필요이상으로 강화되고 소비자들의 불신으로 식품에 대한 방사선 조사 처리는 사실상 중단된 상태이다. 이러한 때에 방사능과 방사선의 차이에 대해 명쾌하게 설명한 이 책은 실로 가치 있고 시의적절한 저술이다. 이 책은 방사선기술의 산업적 이용, 특히 식품에 이용되는 방사선에너지의 특징과 생물 유기체에 미치는 영향에 대해 자세히 설명하고 있다. 또한 조사처리식품의 안전성 평가와 조사식품의 허가 및 관리규정에 대해 설명하면서 소비자의 수용성에 대한 현황과 문제점을 논하고 있다. 부록으로 용어해설을 비롯하여 방사능과 조사처리식품에 대한 소비자 Q&A와 조사처리식품의 세계적 허가 현황을 광범위하게 수록하였다.

- 추천의 글에서

값 16,000원



9 791186 396599

ISBN 979-11-86396-59-9 (PDF)