

# 食品에 對한 放射線의 利用

〈제 2 회〉

權 重 浩

한국에너지연구소 식품조사연구실 농·박

## 제2장 食品照射의 安全性과 國際的 評價

食品照射 技術은 식품의 새로운 보존 및 가공방법으로서 오늘날 이용되고 있는 어떠한 가공·저장법보다도 그 실용화에 대한 타당성과 안전성이 체계적으로 장기간 검토되었다.

이미 언급된 바와 같이 食品照射란 식품을 放射性 同位元素( $^{60}\text{Co}$  혹은  $^{137}\text{Cs}$ )로 부터 또는 기계적으로 발생되는 放射線( $\gamma$ 선, X선, 電子線)에 일정시간 동안 노출시킴으로써 식품에 대한 생장조절, 저장수명 연장, 곤충 및 기생충 구제, 병원성 미생물 사멸, 위생화를 위한 세균, 효모, 곰팡이등의 살균, 무균식품의 생산, 화학훈증제나 보존제의 사용감소, 저장에너지 절감, 조리시간 단축, 조직감 개선등의 효과를 달성하는 방법이다.

그러나 이때 사용되는 방사선이 식품을 통과할 때 식품내부에 이온이나 遊離基를 생성시킬 수 있는 電離放射線(ionizing radiation)이라는 점과 식품에 대한 放射能의 誘起可能性, 그리고 처리식품에 잔존하는 미생물 유래의 위해성과 영양적 결손에 대한 의문때문에 照射食品의 安全性 연구는 과거 35년 이상에 걸쳐 광범위하게 수행되어 그 健全性(wholesomeness)이 입증됨에 따라 오늘날 세계적인 실용화를 뒷받침하게 되었다.

지난호에서는 식품에 대한 방사선의 이용에 있어서 食品照射 技術의 기본이론과 응용분야를 소개하였고, 금번호에서는 식품조사 기술의 실용화에 앞서 다루어져야할 照射食品과 照射施設등에 대한 안전성 평가와 이에 대한 국제적 추이를 중심으로 정리해 본다.

### 1. 照射食品의 健全性 評價

放射線 照射食品의 健全性 評價는 毒性學的 분야로서 발암성등의 만성적 건강장해를 포함한 안전성(toxicological safety)과 생명의 유지 및 건강의 증진에 필요한 식품 본래의 營養學

的 適格性(nutritional adequacy) 및 微生物學的 安全性(microbiological safety) 등 3가지 안전성을 종합적으로 검토하는 것이다.

(1) 毒性的 安全性

放射線 照射食品의 독성학적 분야의 안전성 평가는 식품내에서의 放射能 誘發, 放射線과 식품성분과의 상호작용에 의해 생성될 수 있는 照射生成物(radiolytic products)에 대한 발암성 및 변이원성을 포함한 유해성 확인, 그리고 방사선 화학적 측면의 안전성 검색을 포함하게 된다.

① 誘導放射能

인간은 인공적인 방사성 물질 외에도 항상 생활주변에서 방사선에 노출되어 있으며, 모든 식품은 자연적으로 발생하는 방사성 물질을 미량이나마 함유한다(표1).

<표 1> 주요 자연방사선

선 원	방사선량*(mSv/year)
우 주 선	~0.41
땅	0.60
식품	0.25
흉부 X선 촬영	0.1~1

\* 1mSv=100mrem

照射食品에 대한 건전성 연구가 본격적으로 시작된 무렵인 1960년대 초에는 放射線 照射가 식품내에 방사선 조사산물을 생성한다는 이유로 이러한 照射生成物들을 방사성 물질의 첨가나 식품첨가물의 건지에서 다루었던 것이다.

그러나 그 이후 방사선 화학적인 측면에서의 照射生成物에 대한 연구결과에서 생성물의 대부분은 다른 식품가공 방법에 의해서도 생성된다는 사실이 밝혀짐에 따라 照射食品에 대한 근본적인 관점과 건전성의 평가방향에 새로운 전기를 맞게 되었던 것이다.

세계식량농업기구(FAO)와 국제원자력기구(IAEA)에서는 放射線 照射線源과 誘導放射能에 대한 권고문에서 食品照射에 허용된 방사선의 최대 허용에너지는 전자선과 X선이 각각 10MeV와 5MeV 이하이고, 가장 일반적으로 사

용되는 방사성 동위원소로 부터의  $\gamma$ 선은 최대 에너지가 2.2MeV 또는 그 이하이므로 이와같은 범위의 방사선 에너지를 식품에 처리하여도 照射食品에 放射能을 전혀 유발시키지 않는다는 사실이 고도의 放射能 計測方法과 기기분석에 의해서 확인 되었다.

② 一般毒性 및 變異原性 시험

식품이나 식품 부원료의 안전성을 평가하는 가장 일반적인 방법은 동물사육 시험인데 이때는 동물의 성장율, 번식, 건강상태등이 관찰된다.

1950년대 후반에서 부터 세계 각국에서는 여러 종류의 조사식품에 대하여 數種의 실험동물을 이용한 독성시험을 시작하였고, 어떤 일부 시험은 수세대에 걸쳐 시도되었다. 따라서 동물실험은 대상식품의 안전성에 좋은 지표가 될 수 있으며, 이로서 그 식품의 一般毒性이 확인되고 나아가서 그 식품의 발암성과 번식에 관련된 안전성을 평가하게 된다.

또한 독성시험의 일환으로서 유전적 장해성에 대한 검토가 중요하게 인식되었던 것은 비교적 최근의 일인데, 주요한 식품에 관해서는 수종의 돌연변이원성 시험에 의해 변이원성의 유무에 관한 종합적인 판단이 가능하게 되었다. 그 시험방법들로는 i) 시험관내 시험(invitro)으로서 세균에 대한 돌연변이 유발시험(Ames test 등)과 포유류 배양세포에 대한 염색체 이상시험(姊妹染色分體交換(SCE)시험, 小核試驗 등), ii) 生體內 試驗(in vivo)으로서는 골수세포 또는 생식세포의 염색체 이상시험(SCE 시험, 小核試驗 등)과 열성 또는 우성치사 시험이 있고, 이 밖에도 양과 뿌리세포를 이용한 염색체 이상시험, 배양세포의 DNA修復能 등이 행해 졌다.

1960년대 미국군 Natick 연구소에서는 照射한 쇠고기 한 품목의 건전성 시험을 위하여 1,500마리의 개, 2,700마리의 쥐, 20,000 마리의 생쥐를 각각 사용하였으며 그 연구비는 500만 불을 훨씬 넘었다. 그러나 대부분의 국가가 이와같은 동물사육 실험을 수행할 시설과 여건이 부족하기 때문에 연구된 결과를 공동으로 이용

하기 위한 國際課題(International Project in the field of Food Irradiation, IFIP)가 23개국에 의해 1971년에 설립되어 照射食品의 健全性 연구와 食品照射 技術의 국제적 실용화에 공동노력이 경주되어 왔다.

한편 照射食品의 건전성에 대한 가장 주목할 만한 연구중의 하나는 미육군과 농무성에 의해서 6년간 수행된 동물실험이다. 본 실험에서는 高線量(평균 58kGy)으로 照射된 60만 파운드 이상의 닭고기를 수세대에 걸친 생쥐, hamsters, 쥐, 토끼, 개 등에 급여하면서 이들 실험동물에 대한 독성학적 및 유전학적 안전성을 체계적으로 검토하였으며, 나아가서 照射食品에서 확인될 수 있는 照射生成物을 과량으로 실험동물에 급여하였을 때의 독성시험도 병행되었다.<sup>2)</sup> 1985년에 종료된 본 건전성 시험결과는 고선량으로 조사된 닭고기가 인간에게 어떠한 독성학적 위해도 주지 않는다는 최종적인 결론을 얻게 되었다.

특히 중공에서는 17~53세에 걸친 자원 시험대상자들에게 0.1~8kGy 범위로 照射된 쌀, 소시지, 땅콩, 감자, 버섯등이 배합된 食餌를 7~15주 동안 급여하면서 기본적인 임상검사와 염색체 이상시험을 실시한 결과 對照群과 照射食品 給與群 間에는 아무런 이상현상이 발견되지 않았다는 보고도 있다.<sup>2)</sup>

### ③ 放射線 化學的 檢索

식품의 방사선 조사생성물의 종류는 식품의 화학적 조성에 따라 다르며, 照射時 피조사체의 含水量, 온도, 산소분압 등 여러가지 환경조건에도 영향을 받게 된다.

식품의 방사선 조사시 흡수되는 에너지는 예를들어 대부분의 식품에 적용될 수 있는 선량인 10kGy 照射時 물과 동일한 열용량을 가진 식품에서는 겨우 2.4℃의 온도상승에 해당한다. 이것은 식품의 조리, 훈증, 가열처리시 흡수되는 에너지에 비하면 매우 적기때문에 放射線 照射時 일어나는 식품내부의 화학적 변화는 상대적으로 미소하리라 기대된다.

식품의 주성분인 탄수화물, 지방질, 단백질 등에 대한 방사선 화학적 반응의 機作과 생성

물질에 대한 확인 연구는 지난 25년간 그 독성 시험 뿐만 아니라 현재 이용되고 있는 재래적인 식품가공 방법과도 비교 검토되었다. 그 결과 대부분의 생성물질들은 동일식품을 재래적인 방법으로 처리하였을 때에도 확인되었으며, 독성학적으로도 유해하지 않다는 사실이 입증되었다.

그리고 그 생성물의 양은 照射線量에 비례하나 종류는 무관하다는 사실이 대표적인 육류, 곡류, 과채류등의 식품에서 확인됨에 따라 高線量 照射食品의 照射生成物에 대한 연구결과는 低線量 照射食品에도 적용될 수 있게 되었다. 그러므로 화학적으로 성분이 유사한 식품에 있어서는 照射生成物에 대한 연구결과가 서로 적용될 수 있으므로 모든 식품에 대해 방사선 화학적 안전성을 검토할 필요가 없다는 결론이 내려졌으며, 이에따라 chemiclearance란 개념이 인식되었다.

이상과 같이 照射食品의 健全性 평가에서 가장 중요하면서도 어려운 분야인 毒性學的 安全性에 대한 종합적인 결론은 1980년 조사식품의 건전성 평가를 위한 FAO/IAEA/WHO 공동 전문위원회(The Joint Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, JEC-FI)에 의해서 어떠한 식품을 막론하고 총 평균 흡수선량으로서 10kGy이하로 照射된 식품은 독성학적으로 무해하므로 인간이 안전하게 섭취할 수 있고 더 이상의 독성시험은 필요치 않다고 발표되었으며,<sup>3)</sup> 10kGy 이상으로 照射된 식품에 대해서는 장차 충분한 검토가 있은 뒤 그 건전성에 대한 평가를 내리기로 하였다.

## (2) 營養學的 安全性

放射線 照射는 다른 식품가공법과 마찬가지로 식품에 물리화학적 변화를 일으킬 수 있으며, 그 변화의 정도와 내용은 식품의 구성분, 照射線量, 照射時의 환경조건과 照射後의 저장 조건등의 요인에 영향을 받게 된다.

照射食品의 영양학적 안전성을 검토하기 위해서는 먼저 영양성분의 함량변화와 유효성분의 변화에 따른 영양적 손실과 생리적 작용, 관

능적 특성등이 종합적으로 고려되어야 한다.

이미 많은 照射食品을 이용하여 동물실험 및 인간에 대한 영양과 임상시험을 실시한 결과 조사식품은 재래적인 방법으로 처리된 식품과 비교해서 영양학적으로 품질이 떨어지지 않을 뿐 아니라 照射에 의해 발생될 수 있는 식품중의 영양학적 변화는 가열, 건조, 냉동, 훈증처리등의 경우에 일어나는 변화와 본질적으로 같다는 것이며, 따라서 食品照射는 식품에 대해 독특한 변화를 일으키는 것이 아니라 식품의 물리적가공방법의하나로서 인식되어 온 것이다.

1976년과 1980년 JECFI에서는 照射食品의 營養學的 安全性에 대한 최종적 평가를 내리면서 다음과 같은 결론을 발표하였다.

- 1kGy이하로 照射된 식품의 영양적 변화는 거의 없다.
- 1~10kGy 선량범위에서는 공기 존재하에서 조사하여 저장하였을 경우 어떤 종류의 비타민이 손실될 수 있다.
- 10~50kGy 照射에서는 탈기 및 동결상태로 조사할 경우 영양소의 파괴는 위의 경우보다 적다.
- 비타민 C의 경우 방사선에 의해 그 일부가 산화형으로 전환될 수 있으나 생리활성의 변화는 없다. 따라서 총 비타민C 함량의 측정이 필요하다.
- 비타민 B군에서는 thiamine(B<sub>1</sub>)과 biotin이 방사선에 민감하고 B<sub>2</sub>, 니코틴산, B<sub>6</sub>, 판토텐산은 비교적 안정하다.
- 지용성 비타민 중 비타민D는 안정하지만 비타민 A와 E는 방사선에 민감하다.
- 방사선 조사는 가열이나 냉동등에 의한 영양소의 변화와 본질적으로 차이가 없고 경우에 따라서는 변화가 적다.
- 照射食品의 영양소 저하의 중요성은 그 식품이 식생활에서 차지하는 비중에 따라 다르다.

식품의 영양소에 대한 방사선 照射의 영향 연구는 高線量에 이르기까지 방사선 화학적인 측면에서 뿐만 아니라 동물사육 시험에서도 검토되었다. 표2는 9가지 성분으로 구성된 고선

량(55.8kGy) 照射食品을 실험동물에 급여하면

<표 2> 방사선조사 식이에 의해 4세대 동안 사육한 쥐에서의 평균 영양소 이용률

식 이	이 용 율 (%)		
	단 백 질	지 방	탄 수 화 물
대조시료*	87.7	93.6	90.6
조사시료**	88.5	94.1	90.4

\*사육기간중 냉동상태로 저장  
\*\*55.8kGy 조사후 실온에서 저장

서 4세대에 걸쳐 시험을 실시해 본 결과 단백질, 지방질, 탄수화물의 이용률 면에서 照射된 食餌는 非照射 食餌와 거의 차이가 없음을 알 수 있다.<sup>4)</sup>

표3은 배합 조제된 실험동물 먹이의 殺菌時 아미노산 함량에 대한 가열처리, 훈증처리(에틸렌옥시드) 및 감마선 조사의 영향을 비교한 것으로서 가열이나 화학훈증처리에 비해 방사선 조사가 아미노산의 함량에 안전하며<sup>5)</sup> 이와 같은 경향은 대부분의 영양소에 있어서도 마찬가지다. 그리고 방사선 조사시 식품의 영양소나 기타 물리적, 관능적 특성의 변화를 줄이는 방법으로는 피조사체의 환경조건(탈기, 동결상태 등)을 조절함으로써 유의적인 효과를 거둘 수 있으며, 현재 식품에 대부분 이용되고 있는 10kGy 이하의 照射線量은 영양학적으로 별 문제가 없는 것으로 평가되고 있다.

### (3) 微生物學的 安全性

식품에 대한 방사선 조사는 부패미생물과 식중독등 질병에 관련된 미생물을 사멸시키거나 그 수를 감소시켜 저장기간을 연장하고 위생적 품질을 향상시키게 된다.

高線量의 방사선 조사는 모든 미생물을 살균하여 미생물 유래의 위해를 막을 수 있으나 低線量의 방사선은 완전살균이 불가능하므로 잔존하는 미생물의 안전성에 대한 의문이 남게 되었다.

그 내용은 미생물이 선택적 또는 돌연변이에 의해 방사선에 대한 저항성이 커질 수 있고 병원성 미생물의 유독성이 증가될 수 있으며, 미생물의 생태적, 생리적 특성의 변화에 따른 비

〈표 3〉 실험동물 먹이의 아미노산 함량에 대한 살균방법별 영향비교(건물량%)

아미노산	대조구	가열처리*	훈증처리*	방사선조사***
아스파르트산	2.14	2.02	2.02	2.09
트레오닌	0.61	0.58	0.58	0.61
세린	1.07	1.00	1.00	1.03
글루탐산	3.65	3.24	3.42	3.52
글리신	0.95	0.89	0.89	0.93
알라닌	1.04	1.04	1.04	1.07
발린	0.61	0.54	0.58	0.59
메치오닌	0.25	0.07	0.20	0.22
이소로이신	1.16	0.30	0.48	1.16
로이신	1.41	1.08	1.53	1.47
티로신	0.34	0.23	0.29	0.31
페닐알라닌	1.47	1.03	1.36	1.43
리진	0.96	0.74	0.98	1.02
히스티딘	0.30	0.06	0.31	0.31
아르기닌	1.29	0.85	1.09	1.12
합계	17.25	13.13	15.77	16.88

\* 가열처리는 121℃에서 20분간 살균.

\*\* 에틸렌옥시드로 상법에 따라 처리

\*\*\* 10kGy 감마선

정상적 부패현상의 발현과 菌의 同定이 어려워 질 수 있다는 가능성 등이다.

이상의 사항과 관련하여 여러가지 각 도의 미생물학적 연구가 장기간 수행된 결과 아무런 危害의 증거도 나타나지 않았으며, 1982년 국제 미생물학회의 식품미생물 및 위생 분과위원회에서는 10kGy이하로 照射된 식품의 미생물학적 안전성을 공식 인정하였던 것이다.<sup>6)</sup>

지금까지 방사선 조사에 의해 부분살균된 식품에 있어서의 곰팡이 유래의 독소생성 가능성 증대에 대한 보고는 없으며, 오히려 고선량의 방사선이 식품중에 이미 생성된 aflatoxin을 해독시킬 수 있다는 연구결과가 있다.<sup>7)</sup>

특히 照射食品의 미생물학 안전성은 수분함량이 높은 식품, 즉 新鮮肉이나 어류등에서 중요하게 다루어 졌는데 이들에 대한 연구결과도 10kGy 이하의 방사선 조사와 照射後 냉장상태의 보관만 잘 이루어 진다면 신선도의 연장은

물론 주요 병원성 유기체, 즉 살모넬라, 시겔라, 대장균군, 선모충, 비브리오등의 사멸이나 감소효과를 가져올 수 있으며, 방사선에 대해 저항성이 큰 클로스트리듐 보툴리눔 포자나 비루스등은 가열과 방사선의 병용처리로서 미생물학적 안전성을 높일 수 있게 된다.

## 2. 照射食品의 健全성에 대한 國際的 推移

照射食品의 건전성 평가에 대한 필요성은 1961년 브뤼셀에서 개최된 FAO/IAEA/WHO의 공동회의에서 최초로 국제적인 관심사가 되었으며, 1964년 로마에서 개최된 동 회의에서는 照射食品의 건전성 확인에 관련된 연구에 대하여 논의하기 시작하였다. 그 당시에는 방사선 조사에 의해 식품내부에 照射生成物이 생길 수 있다는 사실때문에 照射食品의 安全性은 식품

첨가물의 안전성 평가와 같은 방법으로 모든 식품에 대하여 확인되어야 한다고 인식되었다.

그런 뒤 1969년 제네바에서 개최된 제I회 조사식품 건전성에 대한 FAO/IAEA/WHO 공동 전문위원회(JECFI)에서는 밀, 감자, 양파에 대한 독성학적 연구결과를 검토하였고, 1976년 제2회 JECFI에서는 대표적인 몇가지 照射食品에 대한 數種의 동물사육 시험결과를 분석하여 국제기구에서는 처음으로 조사식품의 건전성을 인정하였다.

특히 동 위원회에서의 검토 결과는 식품조사의 건전성 평가에 있어서 새로운 전환점이 되었다. 그 내용은 첫째 ; 식품조사를 가열이나 동결과 같은 물리적인 처리로 규정했다는 점, 둘째 ; 照射食品에는 식품첨가물이나 농약의 안전성 평가에서와 같은 1일 허용섭취량(acceptable daily intake for man, ADI)과 安全係數(safety factor) 등의 개념을 적용치 않는다는 점, 셋째 ; 방사선 화학적 연구결과 방사선량에 따른 분해생성물의 종류와 생성량을 확인함에 따라 실험동물에 의한 독성시험의 기초자료를 마련할 수 있었다는 점, 그리고 넷째 ; 동일한 구성성분을 함유한 식품의 독성시험 data는 상호 참조가 가능하다는 것이다.

또한 1980년 제3회 JECEI에서는 지금까지 연구된 照射食品의 안전성에 대한 자료를 종합 검토하여 10kGy 이하로 조사된 모든 식품의 독성학적, 영양학적 및 미생물학적 건정성을 공표하였고,<sup>3)</sup> 이상의 내용은 1983년 국제 식품규격위원회(The Joint FAO/IAEA Codex Alimentarius Commission, CAC)에 공식 제출·검토되어 CAC에서는 JECFI의 照射食品의 건전성에 대한 평가 결과를 적극 수용함과 동시에 “照射食品에 대한 일반규격(Codex General Standard for Irradiated Foods)”과 “照射食品施設の 운영에 대한 국제적 규범(Recommended International Code of Practice for the Operation of Irradiation Facilities Used for the Treatment of Foods)”을 마련하여 122개 회원국으로 하여금 활용을 권고하였던 것이다.

관련 전문과학 단체로서는 미국의학협회, 미

국 식품공학자 협회(IFT) 및 농업과학기술 협의회(CAST) 등에서 10kGy까지 처리된 照射食品의 안전성과 건전성을 인정하였으며, 각 국가별로는 호주, 캐나다, 덴마크, 영국, 미국 등 주요 선진국들이 각기 그들 정부가 임명한 국가 전문위원회에서 照射食品의 건전성을 검토케 한 결과 국제기관에서 내린 결론에 만족한다는 보고서를 이미 낸 바 있다.

특히 미국 FDA에서는 1981년 照射食品에 대한 自國의 견해를 밝힌 이래 1950년대부터 실시된 건전성 시험결과와 국제기관의 평가내용, 그리고 소비자의 수용성과 관련한 국민 각계 각층의 의견을 수렴하여 1986년 4월 18일 최종적인 허가법안을 다음과 같이 공포하였다.<sup>8)</sup>

첫째 ; 성장, 발아억제, 살충을 목적으로 과채류에 1kGy이하의 방사선 조사를 허가한다.

둘째 ; 제품의 위생화(살균, 살충)를 위하여 향신료, 향초류, 건조야채 등에 30kGy 이하의 방사선 조사를 허가한다.

셋째 ; 照射食品은 도매 및 소매단계에서도 표시를 해야 한다.

넷째 ; 방사선 조사회사는 조사사항에 대한 기록을 보유하고 FDA의 검사에 항시 응해야 한다.

이상의 FDA 허가선량은 국제기관의 허가선량인 10kGy보다 3배나 높은 방사선량이며, 최근 식품에 대한 화학혼중제의 사용이 점차 금지됨에 따라(미국환경보호국에서 1984년 9월 1일 과채류에 대한 ethylene dibromide의 사용 금지와, 향신료등 건조식품에 대한 ethylene oxide의 사용이 유럽 여러나라에서 규제 또는 금지됨) 이에 대한 대체방안으로서 방사선의 이용이 권장되고 있다.<sup>9)</sup>

한편 WHO에서는 최근 발간한 “In Point of Fact—Food Irradiation”란 자료에서 10kGy까지 조사된 식품의 건전성을 재확인 하면서 이 같은 견해를 밝혔다. “세계보건기구는 식품조사를 인류에게 안전한 식품공급을 증대시키고 보건증진에 기여할 수 있는 우수한 식품가공, 저장법으로 평가하고 있으며, 관념적 또는 감정적인 思考로 부터 오는 照射食品에 대한 거

부감을 불식시켜 그 기술을 최대한 활용할 수 있게 하기 위하여 이에 대한 범 국민적 홍보와 교육이 필요하다.”<sup>6)</sup>

금후의 照射食品의 건전성에 대한 과제는 고선량 조사식품의 안전성 확인과 방사선에 민감한 영양성분의 변화를 줄이기 위한 방법으로서 방사선 조사와 타 가공법과의 병용처리등이다. 1983년 새롭게 설립된 국제 식품조사 자문단체 (International Consultative Group on Food Irradiation, ICGFI)에서는 조사식품의 건전성에 대한 정보제공과 식품조사 분야의 전반적인 기술개발 및 산업적 실용화에 있어서의 제반사항을 검토·분석하며 전세계적인 이용확대를 뒷받침하고 있다.

### 3. 照射施設 및 運轉者의 安全

食品照射 施設은 의료기구의 멸균시설이나 병원의 방사선 치료시설과 마찬가지로 어떠한 방사선의 위험도 일으키지 않도록 건축되고 운영되어야 하며 주변환경에 대해서도 절대 안전을 보장할 수 있어야 한다. 식품조사 시설로서 기계적으로 방사선을 발생시키는 장치에 있어서는 방사성 동위원소가 사용되지 않고 전원에 의해서 조절되므로 안전상 전혀 문제가 없다. 감마선 조사시설의 경우에는 방사선을 내는 동위원소(<sup>60</sup>Co 또는 <sup>137</sup>Cs)가 사용되므로 다른 위험물질과 같이 線源의 수송이나 취급에 있어서 주의가 요구되며 방사선의 안전관리를 위하여 관련법규에 따라 선원의 안전 저장과 시설의 안전운전이 필요하다. 그러나 시설 자체의 붕괴나 폭발등에 의한 방사선 누출사고의 위험은 전혀없다.

감마선 조사시설은 크게 照射線源, 차폐시설, 운반장치, 운전장치 등으로 구분할 수 있으며, 본 란에서는 조사선원에서 발생하는 방사선의 안전과 관련하여 간략하게 기술하기로 한다.

식품의 방사선 처리는 정부 관계당국에 의해서 허가되고 식품조사를 목적으로 등록된 시설에서만 수행될 수 있으며, 동 시설은 식품에 방사선을 처리함에 있어서 안전성, 효율성 및 위생적인 면에서의 문제가 없어야 한다.

식품조사 시설을 포함한 방사선 조사시설의 운전자는 18세 이상의 건강한 사람으로서 원자력 규제기관에서 발행하는 자격이나 면허를 소지하고 방사선 안전과 방사선 방어에 대한 전문 교육과정을 수료하여 필요한 지식과 경험을 갖추어야 한다. 그리고 조사시설 운전자는 항상 개인 被曝線量計를 착용하고 방사선 측정기를 휴대하여 방사선의 누출을 확인함과 동시에 개인의 방사선에 대한 안전을 정기적으로 점검 받을수 있도록 하여야 한다.

표4는 국제 방사선 방어위원회(International Commission on Radiological Protection)에서 권고한 연간 최대허용방사선 피폭선량을 신체 부위별로 나타낸 것이다.

<표 4> 사람의 연간 최대 방사선 피폭허용량

신 체 부 위	연 간 허 용 량(Sv)	
	대 중	작업종사자
신 체 전 신	0.005	0.05
생식선, 골수	0.005	0.05
피부, 뼈, 갑상선	0.030	0.30
손, 팔, 발, 무릎	0.075	0.75
기타 단일부위	0.015	0.15

이같은 규정은 각 국가마다 조금씩 다를 수 있으며, 照射施設의 방사선 작업종사자의 경우 최대 허용선량이 주당 1mSv에 해당하지만 항상 線源 및 시설의 안전관리에 주의를 기울여 최대한 방사선에 노출되지 않도록 주의하고 관계당국의 안전규제에 만전을 기해야 한다. 그리고 표4에 나타난 바와 같이 방사선 비종사자, 즉 일반대중은 그 허용량이 작업종사자의  $\frac{1}{10}$ 에 해당하며 신체 각 부위별 許容值도 각각 다름을 알 수 있다.

### 4. 照射食品의 健全性 許可現況

食品照射의 실용화에 있어서 가장 중요한 문제는 照射食品을 인간이 섭취하는데 있어서 그 안전성에 대한 신뢰할 만한 해답을 주는 것이다. 이에 대해서는 이미 정리된 바와 같이 照射

〈표 5〉 FAO / IAEA / WHO 照射食品 건전성에 대한 공동전문위원회(JECFI)의 검토내용 및 승인사항

연 도	조사식품	조 사 목 적	조사선량(kGy)	승인범위
1969 (1차)	밀·밀가루	해충방제	0.75 이하	잠정승인
	감 자	발아방지	0.15 이하	잠정승인
	양 파	-	0.15 이하	보 류
1976 (2차)	밀·밀가루	해충방제	0.15-1	무조건승인
	감 자	발아방지	0.03-0.15	무조건승인
	양 파	-	0.02-0.15	잠정승인
	닭 고 기	저장기간연장 / 부분살균	2-7	무조건승인
	대구·연어	-	2-2.2	잠정승인
	버 섯	저장기간연장	0.25-3	보 류
	파 파 야	살충 / 속도조정	0.5-1	무조건승인
	쌀	해충방제	0.1-1	잠정승인
말 기	저장기간연장	1-3	무조건승인	
1980 (3차)	모든 식품	발아방지 / 저장기간연장 / (부분)살균 / 해충방제 / 속도조정 / 생장억제	10 이하	무조건승인

식품에 대한 毒性學的인 안전성 뿐만 아니라 營養學的, 微生物學的 안전성도 종합적으로 평가되어 졌다.

食品照射란 결국 방사선 에너지를 이용한다는 특수성때문에 국가간의 기술교환과 공동연구 노력이 경주되었고, 照射食品의 健全性 評價에 있어서도 국제기관의 주선에 따라 각 회원국에서 연구된 내용을 종합평가하여 실용화에 뒷받침하게 되었다.

식품조사 기술연구와 조사식품의 안전성 실험에 대한 국제적인 평가는 표5에 나타난 바와 같이 1969년 제1회 JECFI에서 처음으로 검토된 밀, 감자, 양파에 대한 독성학적 연구결과에 관한 평가이고, 그 다음이 1976년 제2회 JECFI에서 9종의 대표적인 照射食品에 대한 동물사육시험 결과를 분석 평가하여 최초로 밀, 밀가루, 감자, 닭고기, 파파야, 말기에 대한 무조건 승인을 발표하였다. 그 뒤 1980년 제3회 JECFI에서는 그 동안 국제적으로 수행된 조사식품의 건전성에 대한 연구결과를 종합 검토하여 총 평균 10kGy이하로 照射된 모든 식품의 건전성을 공식 인정하였으며, 이와 같이 食品照射 技

術의 우수성과 照射食品의 健全性이 국제기관에 의해 공인됨에 따라 각국에서는 나름대로의 법적 절차에 따라 실용화를 위한 허가를 서두르게 되었다.

조사식품의 건전성 판정은 국가간에 차이는 있으나 무조건승인(unconditional acceptance), 잠정적승인(provisional acceptance), 조건부승인(conditional acceptance), 시험판매(test marketing) 등으로 구분할 수 있으며, 1958년 소련에서 최초로 照射감자를 법적 허가한 이래 照射食品의 허가국가는 계속 증가하여 1987년 현재 23개국에서 40여개 照射食品을 무조건 법적 허가하였다(표6).<sup>10)</sup>

국내에서는 1982년 한국에너지 연구소에서 감자, 양파, 밤 및 인삼분말에 대한 방사선 조사 허가신청을 보건사회부에 제출한 바 있으며, 그 동안 照射食品의 허가에 대한 수차의 식품위생 심의위원회의 검토를 거쳐 보건사회부가 1987년 10월 16일 표6에 나타난 6개 품목에 대하여 1차적으로 허가한 바 있다.

현재 산업적인 규모로 식품의 방사선 조사가 실용화되고 있는 나라는 18개국에 이르고 있다.<sup>11)</sup>



(표 6) 각국에서 무조건 법적허가된 照射食品(1987)

국 가 명	조 사 식 품	조 사 목 적	조사선량(kGy)	허가시기
남아프리카	감 자	발아방지	0.12~0.24	1977. 1. 19
	양 파	"	0.05~0.15	1978. 8. 25
	마 늘	"	0.1 ~0.2	"
	닭고기	저장기간연장/부분살균	2~7	"
	파파야	저장기간연장	0.5~1.5	"
	망 고	"	"	"
	딸 기	"	1~4	"
	바나나	"	10이하	1982.
	여 주	"	"	"
	아보카도	"	"	—
	아몬드	해충방제	"	—
	건조바나나	"	"	—
	치즈파우더	"	"	—
	청대콩	속도조정	"	—
	토마토	"	"	—
향신료·건채류	살충/(부분)살균	"	—	
네델란드	버섯	생장억제	2.5 max.	1969. 10. 23
	감 자	발아방지	0.15 max.	1970. 3. 23
	양 파	"	0.05 max.	1975. 6. 9
	닭고기	저장기간연장/부분살균	3 max.	1976. 5. 10
노르웨이	향신료	(부분)살균	10이하	—
덴마크	감 자	발아방지	0.15 이하	1970. 2. 27
	향신료·향초류	(부분)살균	15 max.	1985. 12. 23
동독	효소액	(부분)살균	10	1985. 6. 7
	양 파	발아방지	0.20	1984. 1. 30
미국	밀·밀가루	해충방제	0.2 ~0.5	1963. 8. 21
	감 자	저장기간연장	"	1965. 11. 1
	향신료·건채조미료(38품목)	(부분)살균/해충방제	30 max.	1983. 7. 5
	건조·탈수효소 (고정화효소포함)	살균/살충	10 max.	1985. 6. 10
	돼지고기	선모충제거	0.3 ~1.0	1985. 7. 22
	신선 과채류	생장조정	1	1986. 4. 18
	건조 향초류	살 균	30	"
방글라데시	닭고기	(부분)살균/저장기간연장	8 이하	1983. 12. 28
	생 선	"	2.2 이하	"
	감 자	발아방지	0.15 이하	"
	양 파	"	"	"
	밀·가공품	해충방제	1 이하	"
	파파야	해충방제/속도조정	"	"
	쌀	해충방제	"	"
	망 고	해충방제/저장기간연장/ 속도조정	"	"
	두 류	해충방제	"	"
	향신료	(부분)살균/살충	10 이하	"

국가명	조사식품	조사목적	조사신량(KG)	회기시기
브라질	쌀	해충방제	1 이하	1985. 3. 7
	콩	"	"	"
	옥수수	"	0.5 이하	"
	밀	"	1 이하	"
	밀가루	"	"	"
	감자	발아방지	0.15 이하	"
	양파	"	"	"
	파파야	해충방제/속도조정	1 이하	"
	딸기	저장기간연장	3 이하	"
	향신료(13품목)	(부분)살균/살충	10이하	"
가금육	저장기간연장/부분살균	7 이하	1985. 3. 8	
생선·가공품	저장기간연장/부분살균/해충방제	2.2 이하	"	
소련	감자	발아방지	0.1 max.	1958. 3. 14
	곡류	해충방제	0.3	1959.
	건조 과실류	"	1	1966. 2. 15
	농축 건조식품	"	0.7	1966. 6. 6
	양파	발아방지	0.06	1973. 7. 17
스페인	감자	발아방지	0.05~0.15	1969. 11. 4
	양파	"	0.08 max.	1971.
이스라엘	감자	발아방지	0.15 max.	1967. 7. 5
	양파	"	0.15	1985. 3. 6
	마늘	"	0.15	"
	콜파류	"	0.15	"
	가금육	저장기간연장/부분살균	7 max.	1982. 4. 23
	향신료(36종)외 건채류등	(부분)살균	10	1985. 3. 6
	신선 과채류	해충방제	1 aver.	1987. 1.
	곡류·두류·종실	"	1 aver.	"
	버섯·딸기	저장기간연장	3 aver.	"
가금류 사료	(부분)살균	15 aver.	"	
이탈리아	감자	발아방지	0.075~0.15	1973. 8. 30
	양파	"	"	"
	마늘	"	"	"
인도	감자	발아방지	10이하	1986. 1.
	양파	"	"	"
일본	감자	발아방지	0.15 max.	1972. 8. 30
우루과이	감자	발아방지	—	"
유고슬라비아	곡류	해충방제	10이하	1984. 12. 17
	두류	"	"	"
	양파	발아방지	"	"
	감자	"	"	"
	마늘	"	"	"
	건조 과채류	해충방제/(부분)살균	"	"
	달걀가루	(부분)살균	"	"
	녹차·차농축액	"	"	"
	신선가금육	저장기간연장(부분)살균	"	"

국가명	조사 식품	조사 목적	조사선량(kGy)	허가시기
중 공	감 자	발아방지	0.20 이하	1984. 11. 30
	양 파	"	0.15 이하	"
	마 늘	"	0.10 이하	"
	땅 콩	해충방제	0.40 이하	"
	곡 류	"	0.45 이하	"
	버 섯	생장억제	1 이하	"
	소시지	(부분)살균	8 이하	"
칠 레	감 자	발아방지	0.15 이하	1982. 12. 29
	양 파	"	"	"
	파파야	해충방제	1 이하	"
	밀·밀가루	해충방제 "	"	"
	쌀	"	"	"
	대추야자	"	"	"
	두 류	"	"	"
	딸 기	저장기간연장	3 이하	"
	닭고기	(부분)살균	7 이하	"
	생선·가공품	저장기간연장/부분살균/ 해충방제	2.2 이하	"
	코코아콩	해충방제/부분살균/저장기	5 이하	"
	망 고	간연장/해충방제/ 속도조정	1 이하	"
	향신료·조미료	(부분)살균/살충	10이하	"
캐 나 다	감 자	발아방지	0.1이하	1960. 11. 9
	양 파	"	0.15 이하	1965. 3. 25
	밀·밀가루	해충방제	0.75 이하	1969. 2. 25
	양파분말	(부분)살균	10이하	1983. 12. 12
	향신료·건채류·조미료	"	"	1984. 10. 3
태 국	양 파	발아방지	0.1 max.	1973. 3. 20
	감자·마늘	"	0.15	1986. 12. 4
	대추야자	해충방제	1	"
	밀·쌀·두류·코코아콩	"	1	"
	건어류·가공품	"	1	"
	생선·가공품	부분살균	2.2	"
	딸 기	저장기간연장	3	"
	소시지	부분살균	5	"
	냉동새우	"	5	"
	코코아콩	"	5	"
	닭고기	부분살균/저장기간연장	7	"
	향신료·조미료	해충방제	1	"
	건조 채소류외	(부분)살균	10	"
	프 랑 스	향신료·향료품 (양파, 마늘분말 포함 72품목)	(부분)살균	11 이하
가금육		"	5 이하	1985. 2. 16
아라비아검		"	9 이하	1985. 6. 16
곡류(muesli)		"	10 이하	"
건조채소		"	"	"

국 가 명	조 사 식 품	조 사 목 적	조사선량(kGy)	허가시기
한 국	감 자	발아방지	0.15 이하	1987. 10. 16
	양 파	"	"	"
	마 늘	"	"	"
	밤	"	0.25 이하	"
	생버섯 건조버섯	속도조정/저장기간연장 해충방제/저장기간연장	1 이하 "	" "
형 가 리	향신료	(부 분)살균	8	1986. 8. 19

대표적인 법적 照射 품목으로는 감자(19개국), 양파(15개국), 마늘(7개국), 향신료(12개국), 닭고기(8개국) 등이며, 許容 照射線量은 대부분 10kGy이하이지만 미국에서는 향신료 및 향초류에 대해서 30kGy까지 허가하고 있다.

이상으로서 食品照射 技術의 이용에 있어서 照射食品의 健全性 評價와 시설의 안전 및 이에 대한 국제적 추이를 정리해 보았다. 다음호에서는 식품조사 기술의 산업화와 照射施設에 대해서 소개하기로 한다.

參 考 文 獻

1. Thayer, D.W., Christopher, J.P., Campbell, L.A., Ronning, D.C., Dahlgren, R.R., Thomson, G.M. and Wierbicki, E. : Toxicology studies of irradiation-sterilized chicken, J. Food Protection, 50(4), 278(1987).
2. Brynjolfsson, A. : Results of feeding trials of irradiated diets in human volunteers, Food Irradiation Newsletter(FAO/IAEA), 11(1), 33(1987).
3. World Health Organization : Wholesomeness of irradiated food(report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee), Technical Report Series-659, 31(1981).
4. Read, M.S., Kraybill, H.F., Isaac, G.J. and Witt, N.F. : Toxicol. Appl. Pharmacol., 3, 153(1961).
5. Yang, J.S., Kwon, J.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. : Sterilization and quality changes of laboratory rodent diet by different treatments, J. Kor. Agri. Chem. Soc., 30(2), 126(1987).
6. International Consultative Group on Food Irradiation(ICGFI) : Safety and wholesomeness of irradiated foods, Food Irradiation Newsletter(FAO/IAEA), 11(2), 6(1987).
7. Council for Agricultural Science and Technology : Ionizing energy in food processing and pest control, I. Wholesomeness of food treated with ionizing energy, Report No. 109, p.4(1986).
8. Department of Health and Human Services : Irradiation in the production, processing, and handling of food, FDA 21 CFR part 179, Federal Register, 51(75), 18 April(1986).
9. FAO/IAEA/WHO/ITC-UNCTAD/GATT : International conference on the acceptance, control of, and trade in irradiated food, Food Irradiation Newsletter(FAO/IAEA), 11(2), 34(1987).
10. FAO/IAEA : Food Irradiation Newsletter, 11(1), April(1987).
11. FAO/IAEA : Food Irradiation Newsletter, 10(2), 48, November(1986).

(제 1 회 정오표)

수 정 전	페이지(행)	수 정 후
方	77(표제)	放
Cooking	80(그림 2)	Drying
Drying	"	Cooking
10 <sup>2</sup>	80(파장)	10 <sup>6</sup>
10 <sup>6</sup>	"	10 <sup>2</sup>
살모넬라 자계등	82(표 5)	살모넬라 계거등
營口傳染	84(11)	經口傳染
clostridium	84(3)	Clostridium