

## 食品照射의 動向

한 우 경 / 삼영식품원료공업(주) 고문

1996년 일본에서 발생한 O-157 식품중 독사고는 아직 그 오염원도 포착되지않은 상황에서 해가 바뀐 금년에도 여지없이 일본열도를 강타하고 있음에도 식품의 유통망은 확대일로여서 우리나라도 예외없이 국내는 물론 국별없이 온 세계를 시장으로 드나 들고 있다. 이러한 상황조건 아래에서는 식품원료에 있어 유해균의 수를 되도록 억제 하고 하루라도 더 오래 그리고 안전한 상태로 유지코저하는 욕망은 당연한 것 이어서 요즈음 잔류균이 없는 조사살균(照射殺菌)이 세계적으로 급속히 보급되고 있는 동향이다.

특히 스파이스류에 있어서는 에치렌옥사이드의 대체살균 방법으로서 조사살균이 강하게 요구되고 있다. 그러나 일본에서는 감자의 발아억제에 한해서만 식품에의 조사를 인정하고 있을뿐 기술적으로는 선진국이라고 자찬하면서도 식품조사의 실용면에서는 크게 뒤떨어져 있음을 스스로 지적하고 있다.

여기에서는 가까운장래에 틀림없이 널리 이용될 것인 식품조사에 대한 그 원리와 실제이용방법에 관하여 적극적으로 식품조사를 도입하고있는 각국의 현황과 식품조사의 현재와 앞으로의 동향을 적어본다.

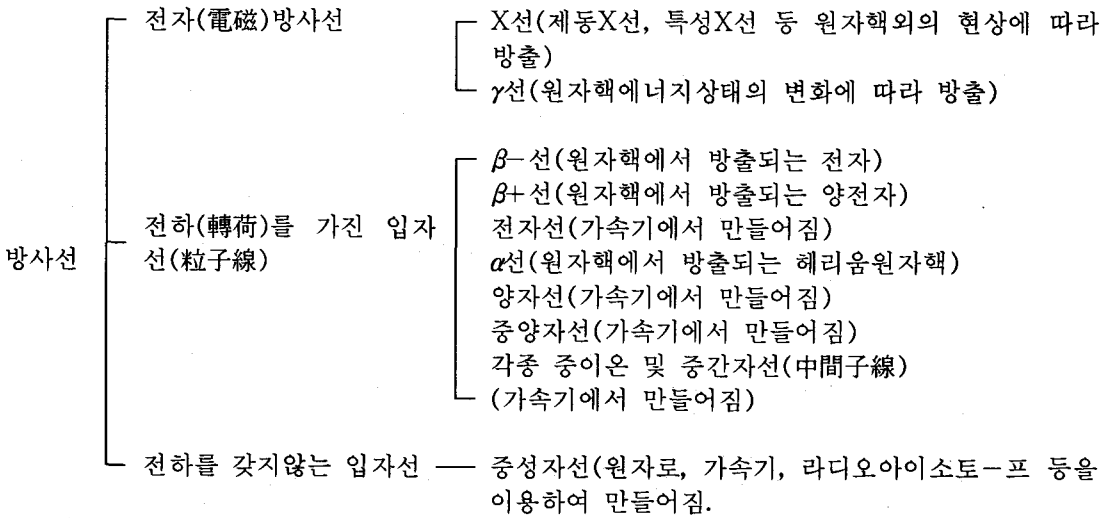
### I. 감마선과 전자선의 식품에의 이용

#### 1. 방사선 이용에 대하여

식품에 방사선을 조사하여 살균, 살충, 발아억제, 숙성도조절 등을 하는 기술을 식품조사라고 일컬고 있다.

방사선은 식품조사에서 뿐 아니라 의료용 기구 및 포장용기의 살균과 멸균 등에 넓게 이용되고 있다. 방사선에는 표1에서 보는 바와같이 그 종류가 매우 다양하나 국제적으로 식품조사나 방사선살균에 이용되는 방사선은 코발트60과 세시움137에서 방출되는 감마선, 에너지가 1천만전자볼트(10MeV)이하의 전자선, 에너지 5MeV이하의 X선에 한정되고 있다. 이것은 방사선 조사로 인하여 식품 등에 방사능이 유도되는 것을 방지하기 위한 목적으로서 여기에 정하여진 방사선을 사용하는한 식품 등이 방사능에 노출될 염려는 없다. 종래에 식품조사나 방사선 살균에는 코발트60의 감마선이 이용되어 왔으나 근년에는 전자선도 이용하는 것으로 되었다.

표 1.



## 2. 감마선조사와 전자선조사

### 2-1. 감마선

식품조사에 쓰여지는 감마선은 그 모두가 코발트60에서 발생하는 것이다.

코발트60은 원자로속에 천연적으로 존재하는 금속인 코발트59에 중성자를 조사함에 따라 만들어지고 있으며 대량을 용이하게 입수할 수 있는 방사선택종(核種)이다. 세계적으로 사용되고 있는 코발트60의 약 90%는 캐나다의 노르디 은사가 공급하고있다. 코발트60은 금속의 형태로 이용되는 것이어서 취급이 용이하고 스텐레스로 만들어진 캡슐속에 밀폐된 상태로 사용하면 오염등의 우려는 전혀 없다.

감마선은 물체 표면으로부터의 거리가 증가함에 따라 에너지는 감소하나(그림 1 참조) 투과력이 크므로 어떤상태의 물질이라도 이용이 가능하다. 또한 두께가 있는 물질을 조사할 경우 양면을 조사하는 것이 선량(線量)의 분포가 균일하게 된다.

### 2-2. 감마선

전자선은 직선형 전자가속장치, 반데그라

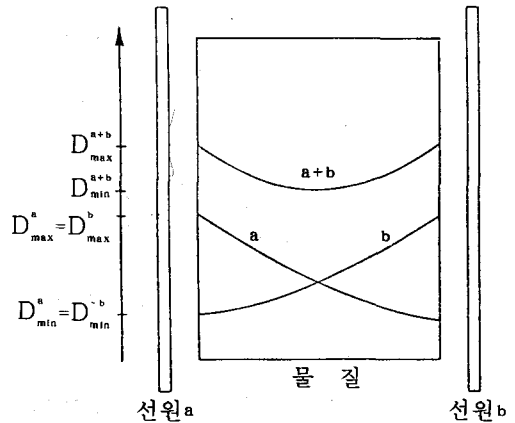


그림 1. 선원a와 b를 써서 양면을 조사했을 때의 선량분포

프형 전자가속장치, 곡구그러프트윌튼형 전자가속장치 등의 전자가속장치를 이용하여 발생시킨다. 전자선 조사에는 단위시간당의 선량 즉, 선량률(線量率)이 높고 처리능력이 크다는 이점이 있는반면 전자선이 물질속에서의 투과력이 적다는 결점이 있다.(표 2 참조)

물질속의 전자선에너지는 물체의 표면으로부터 어느 일정두께까지 증가한 후에 급속히 감소하여 제로로 된다.(그림 2 참조) 전자선의 에너지가 커질수록 물질속의 전자선투과력이 커짐과 아울러 물질속의 전자선에너지 분포가 균일하게 된다. 또한 양면을 조사함에 따라 물체속의 전자선 에너지분포는 더한층 균일하게 할 뿐아니라 두께가 있는 물체를 처리할 수 있게 한다. 그러나 양면을 조사하여도 식품처리에 이용되는 최고에너지인 10MeV의 전자선을 이용하여 유효하게 조사되는 시료(비중1로 할 경우)의 두께는 8cm이다. 이때문에 전자선은 두께가있는 시료의 조사에는 적당치 않으며 그 이용은 분체, 입체, 액체와 같이 박층(薄層)이 되는 식품이나 사료, 플라스틱 필름 등에 한정된다. 감마선 조사시설에서는 처리능력에 비례하여 코발트60선원(線源)이 필요하며 경제적인 스케일메리트는 거의 없으

나 전자선조사시설에서는 전자가속장치가 처리능력에 비례하여 비싸지 않고 경제적인 스케일메리트가 크다.

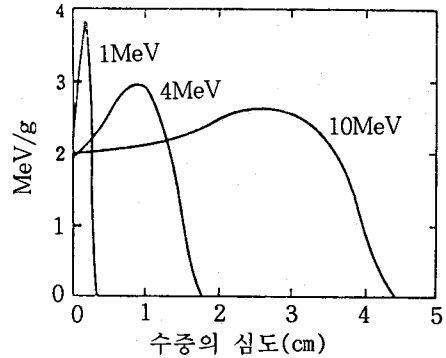


그림 2. 전자선을 물에 조사했을 때의 에너지분포

표 2. 감마선과 전자선과의 비교

구 분	전 자 선	감 마 선
선량률(線量率)	높 다	낮 다
처리능력	크 다	적 다
경제적인 스케일 메리트	있 다	별로없다
선원(線源)	가속장치(기계)	Co-60 또는 Cs-137
선원보충	불 필 요	필 요
메인テナンス	필 요	별로 필요치 않다
고도의 기술	필 요	별로 필요치 않다
투과력	적 다	크 다
방사선발생 ON-OFF	가 능	불 가 능
방사선에너지	가 변	고 정
방사선에너지의 이용 효율	높 다	낮 다

### 3. 전자선과 감마선의 물리적 화학적 작용

감마선 X선과 같은 전자파 방사선이 물질을 통과하면 광전효과, 콤프톤산란(散亂) 전자대생성(電子對生成)을 일으켜 에너지를 상실한다.(그림 3 참조) 광전효과는 전자파 방사선(光子, 輝子)의 전 에너지를 원자의 외각전자(外殼電子)에 부여하여 소멸하고

전자가 고속으로 원자로부터 튀어나오는 현상이다. 콤프톤산란은 전자파 방사선이 에너지의 일부를 물질속의 전자(주로 자유전자)에 부여하여 에너지를 감소시켜 방향을 바꿈과 동시에 에너지를 받은 전자는 반대방향으로 고속으로 튀어나오는 현상이다. 전자대생성은 1.02MeV이상의 전자파 방사선이 원자핵 가까이를 통과할 때에 전자와 양전자를 생성하여 전자파가 소멸하는 현상이며

전자파의 에너지는 전자와 양전자에 부여하여 고속의 전자가 생긴다.

이처럼 물질 속에서는 감마선의 에너지는 고속전자로 변환되기 위하여 물질중에서는 전자선이나 감마선도 같은상태의 반응을 일으킨다.

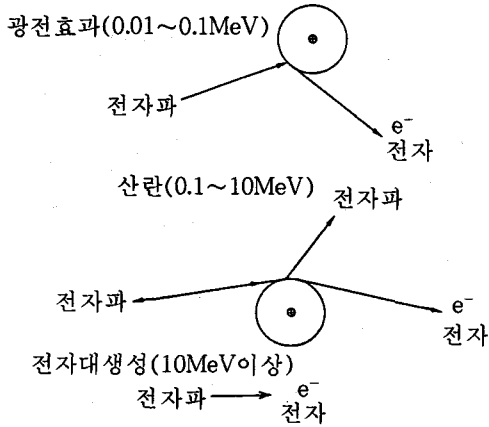


그림 3. 전자파에서 고에너지전자의 생성

표 3. 감마선과 전자선을 조사했을 때 필름선량계의 흡광도 변화

방사선	선 량	$\Delta OD_{280}$ of CTA	$\Delta OD_{510}$ of RCF	$\Delta OD_{400}$ of GAF
감 마 선	10kGy	0.082	0.097	1.232
전 자 선	10kGy	0.063	0.075	1.109
전 자 선	13kGy	0.082	0.098	1.239
감 마 선	20kGy	0.169	0.193	1.738
전 자 선	20kGy	0.125	0.157	1.541
전 자 선	26kGy	0.165	0.194	1.746

다시 말하면 이들 3종류의 필름선량계에 있어 감마선을 일으키는 화학변화는 전자선에 의한 것보다도 30% 크게 된다.

한편 지질(脂質)에 감마선을 조사했을 때의 과산화물량은 전자선을 조사했을 때의 과산화물량의 2~5배이며 칼보닐생성량도 동일한 결과를 나타낸다.(표 4·5 참조)

필름선량계의 흡광도변화, 지질의 산화 어느 것도 방사선의 화학적인 영향을 비교한것이나 지질산화쪽이 감마선과 전자선의 효과차이가 훨씬 크다. 지질산화와 같은 연쇄반응에 있어서는 감마선과 전자선의 영향

#### 4. 전자선과 감마선의 화학적 효과 비교

방사선 살균에 있어 방사선량은 흡수선량으로 평가되어 그레이(Gy)단위로 표시한다. 물체 1kg이 방사선에서 1줄의 에너지를 흡수했을 때의 흡수량을 1Gy라고 한다. 물체가 흡수한 에너지를 루-친으로 평가하기 위하여 필름선량계가 쓰여진다. 필름선량계는 흡수한 에너지량을 어느 특정파장에 있어서의 흡광도의 변화로 평가하는 것이다. 방사선살균의 선량측정에 사용되고 있는 3초산 세루로-스 필름선량계(CTA) 라디오 크로미코 필름선량계(RCF)가 프크로미크필름선량계(GAF)의 3종류의 필름선량계의 어느것에도 동일한 선량의 감마선과 전자선을 조사했을 때의 흡광도의 변화는 감마선을 조사했을 때가 크고 감마선보다도 30% 높은 선량의 전자선을 조사하면 이들 필름선량계의 흡광도변화는 일치한다.(표 3 참조)

의 차가 증폭된 것이고 필름의 변화처럼 연쇄반응에 의한 증폭이 없는 경우에는 전자선에 의해 일어나는 화학반응이 큰 감마선보다도 20~30% 적다.

표 4. 조사인지질의 과산화물량( $\mu\text{g/g}$ )

	선 량(kGy)				
	1	2	3	4	5
감 마 선	6.8	14.1	23.6	35.1	51.5
전 자 선	3.8	5.9	8.9	12.5	19.0

표 5. 조사인지질의 칼보닐가

	선 량(kGy)				
	1	2	3	4	5
감 마 선	375	454	632	725	790
전 자 선	225	247	278	338	364

5. 세균포자에 미치는 영향

방사선살균의 표적균이 되는 Bacillus Pumilus의 포자를 써서 감마선과 전자선(EB)의 영향을 비교하면 감마선에 대한 D<sub>10</sub>(살아남는 균수를 1/10로 하는 선량)은 1.26 kGy. 전자선에 대한 D<sub>10</sub>이 1.60kGy로 되어 그 비는 1.27이 된다. 즉, 감마선의 살균효과는 전자선보다도 약 30%가 큰 것으로 된다. 다시 포자를 액체배양하였을 때의 배양액의 550nm에 대한 탁도를 측정하고 포자의 발아, 발아후 성장, 증식의 과정을 관찰해보면 방사선조사는 포자의 발아후 성장 및 증식을 억제하여 그정도는 감마선이 전자선보다도 커진다.(그림 4 참조) 또한 전자선을 감마선보다도 30% 높은 선량으로 조사하면 포자의 발아후 성장 및 증식의 속도는 일치한다. 다시 포자를 C-14로 라벨한 로이신 또는 우리진을 포함한 액체배지로 배양하고 그 라벨의 포자에의 미친 량을 측정하는 것에 따라 감마선과 전자

선이 세균포자의 단백질과 RNA의 합성에 미치는 영향을 살펴보면 단백질과 RNA의 합성억제도 감마선쪽이 전자선보다도 크고 전자선을 감마선보다도 30%높은 선량으로 조사하였을 때에 단백질합성과 RNA합성의 억제정도는 일치한다. 즉, 세균포자에 대한 감마선의 영향은 전자선보다도 약 30% 크고 필립선량계에 대한 영향과 근사치의 경향이 인정되고 있다.

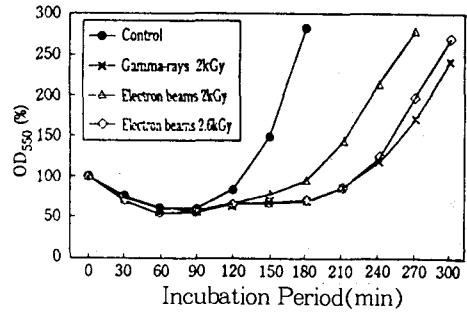


그림 4. 조사한 세균포자를 액체배양했을 때의 탁도변화

6. 식품에 대한 전자선과 감마선의 영향

각종 향신료에 대한 살균효과는 감마선이 전자선보다 약간은 크다.(표 6 참조)

표 6. 향신료의 전미생물수에 대한 감마선과 전자선의 비교

	0kGy	5kGy		10kGy	
		감 마 선	전 자 선	감 마 선	전 자 선
검정후추	3.9×10 <sup>6</sup>	3.2×10 <sup>3</sup>	3.5×10 <sup>3</sup>	0	0
흰 후추	1.3×10 <sup>5</sup>	100>	100>	0	0
대 추	2.8×10 <sup>4</sup>	0	0	0	0
고 추	2.4×10 <sup>6</sup>	2.9×10 <sup>2</sup>	6.9×10 <sup>2</sup>	0	0
파세리	4.4×10 <sup>4</sup>	5.7×10 <sup>2</sup>	9.5×10 <sup>2</sup>	100>	100>
파브리카	1.6×10 <sup>7</sup>	7.6×10 <sup>3</sup>	1.9×10 <sup>4</sup>	0	100>
로-레루파우다	2.4×10 <sup>4</sup>	0	0	0	0
어니언파우다	2.4×10 <sup>5</sup>	5.6×10 <sup>3</sup>	8.7×10 <sup>3</sup>	100>	100>

그러나 감마선 및 전자선을 조사하여도 향신료의 정유(精油)나 색조(色調)는 거

의 변화하지 않아 감마선과 전자선의 영향의 차는 관찰되지 않았다.(표 7 참조)

표 7. 10kGy 조사한 검정후추의 정유성분조성(%)

	비 조사	감 마 선	전 자 선
$\alpha$ -비넨	7.01	6.69	6.90
$\beta$ -비넨	8.93	8.62	8.54
카 렌	11.69	11.40	11.42
밀 셴	1.49	1.50	1.40
훼란드렌	0.57	0.57	0.59
리네넨	15.20	15.01	15.00
P-시멘	1.17	1.44	1.12
리나롤	0.63	0.63	0.64
$\alpha$ 카리오피렌	1.38	1.40	1.48
$\beta$ 카리오피렌	27.03	27.39	28.12
기 타	24.90	25.35	24.79

한편 건조혈액의 유화성, 소수성(疏水性) 용해성 등의 단백질의 기능에 대한 영향은 감마선조사, 전자선조사가 공히 작으나 감마선이 전자선보다는 약간 큰 영향을 미친

다. (표 8 참조) 이처럼 구체적인 식품에 있어서도 감마선이 전자선보다 살균효과나 품질에대한 영향은 약간 크다.

표 8. 건조혈액의 특성에 미치는 각종처리의 영향

처 리	용해도(%)	SH기( $\mu$ 몰/g)	유화성( $m^2/g$ )	소수성(疏水性) (상대치)
무처리(無處理)	98.8 $\pm$ 3.7	1.77 $\pm$ 0.28	59.17 $\pm$ 7.74	2,500
감마선 5kGy	99.6 $\pm$ 7.9	1.56 $\pm$ 0.19	59.10 $\pm$ 6.94	2,700
감마선 10kGy	95.2 $\pm$ 3.9	1.51 $\pm$ 0.24	55.41 $\pm$ 5.28	2,850
감마선 15kGy	95.0 $\pm$ 4.4	1.47 $\pm$ 0.26	52.13 $\pm$ 7.29	2,975
전자선 5kGy	99.6 $\pm$ 4.4	1.73 $\pm$ 0.29	58.62 $\pm$ 6.96	2,550
전자선 10kGy	97.8 $\pm$ 6.0	1.70 $\pm$ 0.23	61.63 $\pm$ 7.05	2,750
전자선 15kGy	95.6 $\pm$ 5.6	1.67 $\pm$ 0.18	56.18 $\pm$ 8.78	2,800
EOG처리	58.5 $\pm$ 3.9	1.34 $\pm$ 0.24	60.06 $\pm$ 2.83	2,225
수용액가열(63°C 30분)	100.3 $\pm$ 6.8	0.68 $\pm$ 0.14	44.18 $\pm$ 5.37	2,250
건열(乾熱)(80°C 20분)	28.3 $\pm$ 4.3	—	—	—

## 7. 감마선과 전자선의 이용방향

앞에서 소개한 바와같이 전자선의 효과는 생물학적이거나 화학적이거나 감마선보다 20~30% 적다. 이러한 전자선과 감마선의 효과가 틀리는 원인은 선량률(線量率)인바 그 메카니즘으로 다음의 두가지를 생각할 수 있다. 첫째 선량률이 너무 높으면

방사선에 의해 단시간에 대량의 라디칼을 만들기 위하여 라디칼이 과잉되므로 라디칼과 생체분자와의 반응보다도 라디칼 상호간의 반응이 우선되므로 화학반응이나 살균 살충의 효율이 떨어진다. 둘째, 산소가 방사선화학 반응을 촉매하고 있으나 선량률이 너무 높게되면 단시간에 대량으로 생성된 라디칼 때문에 반응주변의 산

소가 모두 소비되므로 생성된 라디칼이 반응하는데 필요한 산소가 부족되어 화학 반응 및 살균의 효율이 떨어진다.

전자선의 경우 감마선과 동일한 살균효과를 얻기 위하여는 감마선보다도 20~30% 높은 선량을 조사할 필요가 있으나 이때의 품질저하는 감마선과 같거나 그 이하가 되며 전자선을 이용하는 별도의 기술적인 불이익은 없다. 따라서 지질산화에 대하여는 감마선의 영향이 전자선보다도 훨씬크며 지질산화처럼 연쇄반응이 일어나는 식품에 있어서는 전자선을 이용하는 편이 품질열화(劣化)가 적고 효율적으로 살균되는 것을 발표하고 있으며 이것은 살균기술로서의 전자선조사의 유리점을 표시한 것이다. 또한 코발트 60처럼 방사성물질을 사용하지 않고 전자가속장치라는 기계를 이용하는 것도 전자선조사의 큰 이점이다. 현재 일본에서는 감자에 대한 조사시설이외에 11의 상업규모의 조사시설이 있어 의료용구, 포장용기 사료의 살균 등을 실행하고 있으나 최근에 건설된 시설들은 모두가 전자선 조사시설이다. 이러한 경향은 급후로도 계속될 것이며 세계적으로도 식품조사나 살균에는 전자선이 넓게 이용될 것으로 생각된다.

## II. 방사선에 의한 식품의 살균효과

### 1. 방사선살균의 특징

식품의 살충, 살균처리에 넓게 이용되고 있는 취화(臭化)매칠 및 2취화에칠이 독성과 오존층파괴 원인물질이어서 세계적으로 사용을 금지하겠다고 한다.

이러한 약제는 투과력이 뛰어나고 대량으로 처리하는데에도 적당하기 때문에 다른 약제로는 대용이 되지 않는다. 그런 때문에 약제이외의 대체처리법의 필요성을 더욱 갖게하고 있는 것이다. 방사선 처리법은 투과력이 월등하여 식품의 대량처리에 잘 어울린다. 그러나 방사선처리는 많은 사람에게 불안감을 주고 있을 뿐 아니

라 방사능 또는 유해작용이 있을 것이라는 오해를 갖게하고 있다. 한편 방사선은 렌트겐진단 및 수혈시의 부작용방지, 의료용구의 멸균에 크게 도움을 주고 있다.

유럽, 미국, 중국 등에서는 식품의 방사선처리가 대폭으로 인가되고있어 향신료, 생약의 방사선살균만 하더라도 연간 처리량은 유럽전체에서 3~4만톤, 미국 3만톤, 중국 1만톤이상이나 실시하고 있고 국제무역에서도 통용되기 시작하였다.

그럼에도 현재 일본에서는 행정적인 대응이 늦어지고 있어 세계속에서 보는 일본의 식품 및 의약품류의 방사선처리분야는 후진국으로 지목하고있는 현상을 보이고 있다.

한편 식품위생에 대하여 1996년 여름 일본열도를 크게 강타한 병원성대장균 O-157:H7에 의한 식중독사건이 일본만이 세계속의 특별한 나라가 아니며 다른 나라에서 유행하고 있는 식중독 병원균이 어느나라이던 침투할 가능성이 있다는 것을 알려주고 있는 것이다. 구미제국에서 많이 발생하고 있는 살모넬라 엔테리치리스에 의한 식중독도 이제는 일본에서 발생되고 있어 위생대책을 목적으로한 식육 및 어패류의 방사선처리를 검토할 필요가 있다고 생각한다.

식품방사선처리의 이점은

- ① 조사에 따른 열의 발생이 적어 온도상승이 있다해도 불과 몇°C에 지나지 않는다.
- ② 방사선 특히 감마선과 X선은 투과력이 크며 포장된 제품이라도 균일하게 처리할 수 있다.
- ③ 약제에 잔류물이 없다.
- ④ 연속적으로 대량처리가 가능하다.

등등을 말할 수 있겠다. 즉, 식품중의 미생물을 거의 살균할 수 있는 10kGy(키로그레이·흡수선량)에서도 물을 2.4°C 데우는 에너지만을 가하며 냉동하에서도 살균이 가능하다. 방사선처리법은 그림1에서 보는 바와 같이 포장상태로 식품 등의 제품을 균일하게 처리하며 더욱이 신선식품이라도 영양성분의 변화가 거의 없는 상태에서 처리할 수 있다는 특징이 있다.

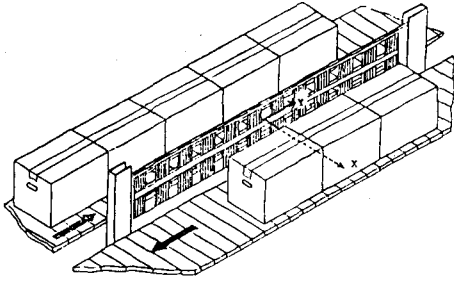


그림 1. 판상(板狀) 코발트60선원에 의한 콘베어조사장치. Y축은 선원, X축은 선원부터의 거리(컨테이너에 식품을 곤포한채로 조사함)

## 2. 방사선살균의 원리

방사선은 이온화방사선이라고도 불리며 식품 등의 처리에 쓰여지는 X선(감마선)과 전자선에 한하고 있다. 식품에 쓰여지는 방사선의 에너지에서는 식품이 방사화(방사능)하지 않으며 방사선의 에너지는 최종적으로 열에너지로서 없어진다. 즉, X선은 에너지로서의 강한 빛이며 가시광선이나 자외선의 경우에는 원자핵외의 전자를 일으키는 작용이 있는 것에 대해 X선이나 전자선 따위의 방사선은 원자핵외의 전자를 유도하여 이온화하는 작용이 있다. 그러나 이온으로서의 수명은  $10^{-10}$ 초 정도에 지나지않아 그 후 후리-라디칼(유리기 또는 활성종)로 바뀐다.

식품이나 생물체는 수분을 많이 갖고 있으므로 생성되는 후리-라디칼의 대부분은 하이드로키실 라디칼(OH)과 수화전자(水和電子)이다. 하이드로키실 라디칼은 활성산소의 일종으로 물의 존재하에서의 수명은  $10^{-3}$ 초 이하이며 생물체내에서 주로 DNA의 고리를 끊는다. 미생물의 세포에 대한 상해는 주로 세포분열능(細胞分裂能)의 손실로 나타내 살균작용의 구조는 기본적으로는 자외선과 같다. 또한 방사선살균의 경우 그림 2에서 보는 바와같이 DNA의 고리 한 개의 절단이 완전히 회생되는 경향이 있으나 두개의 고리절단이 일어나면 세포분열능의 저해 또는 돌연변이를 일으킨다. 그러나 식품등에 쓰여지는 방사선에 의한 돌연변이

율은 현저히 낮으며 자외선이나 동결건조처리와 큰차가 없다.

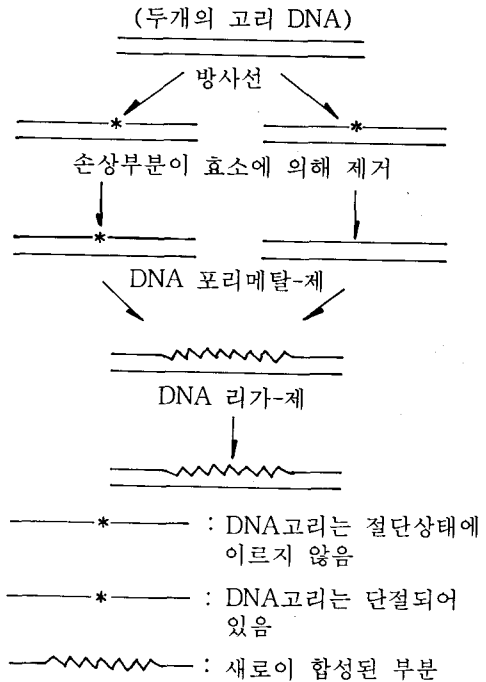


그림 2. 방사선에 의해 생성된 DNA손상의 회복구조

생물효과에 필요한 선량은 표1에서 보는 바와같이 감자 등의 발아억제 및 곡류 등의 살충선량(殺蟲線量)은 살균에 필요한 선량에 비하여 현저히 적다. 또 고등동물에서는 방사선상해는 매우 적은 선량에서 일어난다. 방사선의 생물효과는 기본적으로 DNA 함량에 반비례하고 있으며 바이러스같은 하등생물 일수록 방사선에 내성경향(耐性傾向)이 있다. 방사선살균에 필요한 선량은 고등동물에 비하여 현저히 크나 살균에 요구되는 에너지는 가열살균에 비하여 월등하게 적어 대상물의 온도를 불과 몇°C 올리는 에너지에 지나지 않는다. 방사선의 살균효과는 그림 3에서 보는 바와같이 수분이 많은경우와 건조한 물품을 살균 할때가 현저하게 틀리다. 또 산소공존(共存)하에서는



후리-라디칼생성량이 증가하기때문에 살균효과가 촉진되어 적은 선량으로도 살균된다. 한편 동경상태에서는 후리-라디칼의 확산이 억제되므로 살균선량은 건조상태에서와 거의 같다.

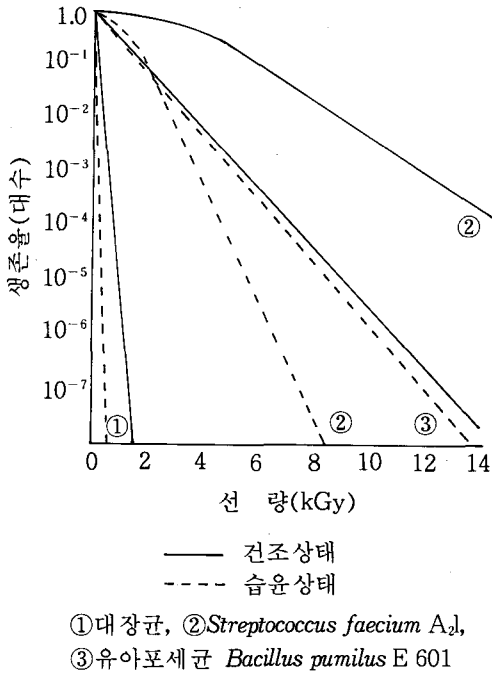


그림 3. 유아포세균과 영양세포형세균의 방사선 저항성

표 1. 조사효과에 필요한 선량

포유동물에 대한 장해	0.001~0.005kGy
근경채류(根莖菜類)의 발아억제	0.01~0.1kGy
기생충, 해충의 살멸(殺滅)	0.1~1kGy
곰팡이류의 살균	1~10kGy
세균영양세포의 살균	1~20kGy
세균포자의 살균	10~30kGy
바이러스의 실활(失活)	10~50kGy
효소의 실활(失活)	50~200kGy

미생물 특히 세균의 살균효과는 영양세포와 아포(芽胞)에 따라서도 크게 틀려진다. 영양세포형의 식중독성세균 살균선량은 1~3kGy로도 충분함에 비하여 아포형성세균의 살균선량은 10kGy이상 요구된다. 식품의 변패사상균의 살균선량도 약 5kGy로 충분하다.

### 3. 식품조사의 응용분야와 안전성

식품에의 방사선처리는 표 2에서 보는 바와 같이 흡수선량에 따라 야채의 발아억지, 살충, 살균, 숙성촉진, 분자량조정 등 여러 분야에 응용된다. 일본에서의 감자의 발아억지는 세계에서 처음으로 식품조사를 실용화한 실례로서 유명하며 20년 이상에 걸쳐 연간 1~1.5만톤을 조사하고 있다. 중국에서는 마늘의 발아억지가 실용화 되고 있으며 연간 4만톤이 조사되고 있다. 살충처리분야에서는 곡류의 검역처리, 신선과일의 검역처리, 신선육류의 기생충살멸에 유망하며 미국 등지에서 실용화되기 시작하고 있다.

방사선살균은 그 실용화가 가장 앞서가는 분야이며 향신료, 닭고기 등에 실용화되고 있다. 특히 향신료에 대하여는 20개국 이상이 실용화 시키고 있다. 또 중국에서는 소주의 숙성촉진에 방사선 처리가 이용되고 있다. 면역불완전한 환자식에도 방사선으로 완전살균된 식품으로 영국, 네덜란드, 미국 등에서 이용되고 있어 좋은 치료성적을 얻고 있으며 스페-스샷틀우주선의 우주식으로도 이용되고 있다. 식품조사의 실용화의 대부분은 코발트60에서 발생하는 감마선을 이용하고 있으며 조사금액은 감자의 경우 1~2엔/kg, 향신료 약 100엔/kg이다. 한편 전자가속기를 이용하면 감마선보다 저렴한 값으로 조사처리될 가능성이 있으나 투과력이 감마선은 50~100cm인데 비하여 전자선은 불과 1~10cm만을 투과하는 것이 결점이다. 그러나 전자가속기는 단시간에 대량처리가 가능하며 텅그스텐 등 목적에 따라 제동방사(制動放射) X선으로 전환하면 감마선과 똑같이 사용할 수 있다.

조사식품의 안전성에 대하여는 세계각국에서 40년이상에 걸쳐 연구되어오고 있으며 세계보건기관은 10kGy까지의 조사식품에 대하여 안전선언을 하고 있으며 가까운 장래에 70kGy까지 안전선언을 할 예정이다. 방사선이 식품성분에 대한 작용은 하이드로키실 라디칼 등에 의한 산화분해작용이 중심이며 열 분해물이나 자연 산화 분해물과 같은 것이 이론적으로 예측된다. 사실 많은 데이터에 의하면 방사선 분해 생성물의 양은 10kGy조사에서도 kg당 수십mg에 지나지 않으며 방사선 특유의 분해생성물은 문제되지 않았다. 또 미국에서 행한 59kGy를 조사한 닭고기의 독성시험에서도 동물에 대한 유해성은 전혀 인정하지 않았다.

일본 등지에서는 25년이상에 걸쳐 실용화되어온 무균실험, 동물용사료의 방사선 멸균이 30kGy로 행하여지고 있음에도 불구하고 그림 4에서 보는 바와 같이 증기 멸균사료 보다도 우수한 사육효과를 보여주고 있으며 또한 조사식품의 안전성을 보여주는 증거가 된다.

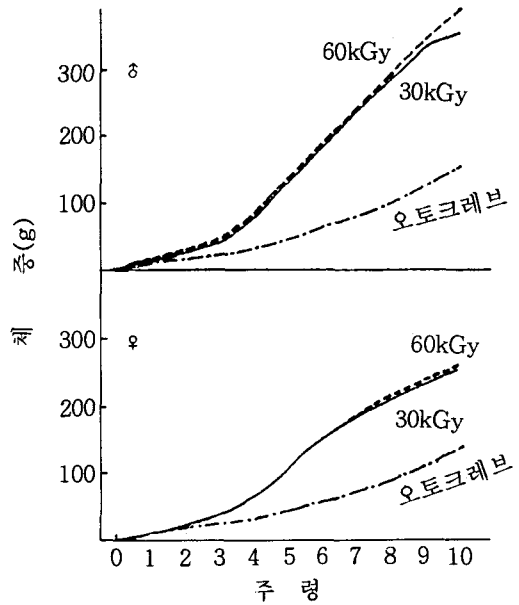


그림 4. 쥐의 체중증가 곡선

표 2. 실용 또는 유망한 식품조사

목 적	선량(kGy)	대 상 품 목
1. 저(低)선량조사(1kGy까지)		
○ 발아억지	0.02~0.15	감자, 양파, 마늘, 기타
○ 살충 및 해충의 불임화	0.10~1.0	곡류, 과일류, 돼지고기, 기타
○ 속도조정	0.50~1.0	열대과일류, 소채류, 기타
2. 중(中)선량조사(1~10kGy)		
○ 저장기간연장	1.0~ 7.0	선어, 어육가공품, 축육가공품, 감귤, 딸기, 기타
○ 식중독방지	3.0~10.0	냉동어패류, 계육, 냉동계란, 기타
○ 살균(위생화)	5.0~10.0	향신료, 건조야채, 배합사료, 어분, 기타
○ 물성개량	2.0~10.0	한천생산, 위스키숙성촉진, 건조야채 전분의 저점도화, 기타
3. 고(高)선량조사(10~50kGy)		
○ 완전살균	30~50	햄, 베이컨, 계육, 병원환자식 무균동물사료

4. 향신료의 살균효과

향신료의 대부분은 열대지역의 여러나

라에서 생산 되고 있어 미생물 오염이 현저하게 많다. 검은후추, 터-메릭 등의 경우 1g당의 세균수는 10<sup>6</sup>~10<sup>8</sup>개였으며 이

대부분은 유아포세균(有芽胞細菌)이었다.

또 향신료에는 사상균에 오염된 것이 돋보이게 많았고 아프라톡신 등의 곰팡이균을 만드는 균종이 많이 검출되었다. 생약의 미생물오염도 향신료와 유사한 경향을 나타내고 있다.

향신료의 감마선에 의한 살균효과는 그림 5에서 보는 바와 같이 사상균류는 낮은 선량으로 살균 되는 것에 비해 유아포세균은 고선량에서도 살아남으므로 1g당  $10^3$ 개 이하로 살균하는데 필요한 선량은 7~10kGy이다. 향신료의 대부분은 흡습성이 있어 하절기에 포리에치렌봉지에 밀봉 저장하여도 사상균이 발생하여 향신료의 품질을 저하시킨다(포리에치렌의 통기성, 통습성때문임). 향신료 저장중의 사상균발생은 감마선을 4kGy 조사하는 것으로 억제된다. 향신료를 조사하였을 경우 정유(精油) 등의 향기성 성분은 표 3에서 보는 바와 같이 50kGy를 조사하여도 변화는 없으며 항산화성분 및 항균성성분도 50kGy조사에서 거의 변화하지 않았다. 그러나 아파톡신 등의 곰팡이독도 방사선에 대하여 안정되어 있으며 사상균으로 변해

되어버린 향신료를 조사하여도 곰팡이독의 분해는 기대할 수 없었다. 또한 폴리에틸렌 등의 포장지속에는 고선량 조사에서 이취(異臭)를 발생하는 것이 있으므로 주의할 필요가 있다.

한편 재질의 물성에 대하여는 고선량에서도 비교적 안정적이다. 많은 나라들이 향신료는 10kGy의 선량으로 조사하고 있으나 미국에서는 향신료, 생약은 30kGy까지 허가 되어있다. 이것은 완전살균까지를 고려한 때문으로 생각된다.

구미제국의 경우 향신료의 방사선살균이 많은 나라에서 실용화되고 있다. 아시아에서는 한국, 중국, 태국, 인도네시아, 인도 등에서 향신료의 실용조사가 행하여지고 있으며 생약에 대하여도 중국, 태국, 말레이시아 등에서 실용화되고 있다. 그러나 일본에서 향신료의 조사가 허가 되어 있지 않은 것은 업계로부터의 허가신청이 없었기때문이라고는 하나 업계측에서 적극적으로 움직이지 않고 있는 것은 반대운동을 하는 단체들의 불매운동을 우려하는 등이 작용하는 것이라고 생각된다.

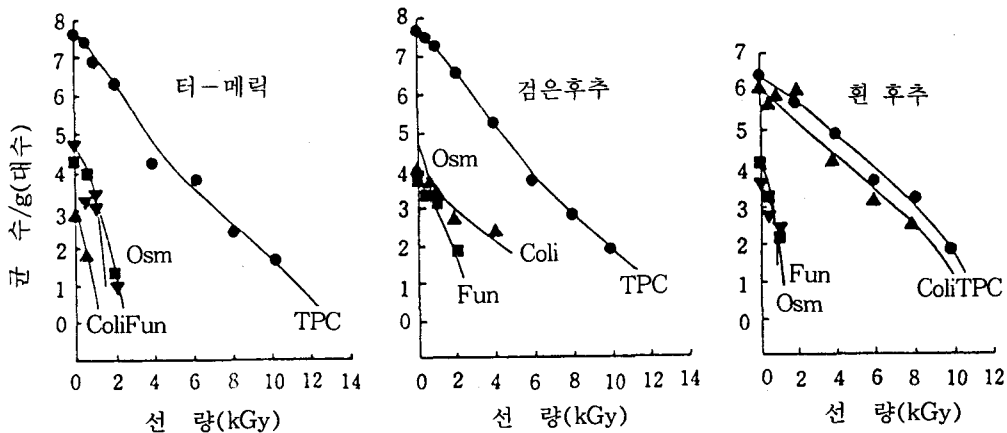


그림 5. 향신료의 살균효과(TPC : 총세균수, Coli : 대장균군, OSM : 호침투압성(好浸透性)사상균, Fun : 일반사상균)

표 3. 검은후추 중의 정유성분에 대한 감마선 조사의 영향

정 유 성 분	비 조 사	50kGy
$\alpha$ -Pinene	64,458	81,028
Camphene	1,251	1,650
Subinene	85,996	162,552
$\beta$ -Pinene	10,643	19,304
Myrcene	229,686	423,779
$\delta$ -3-Carene	37,611	53,410
$\alpha$ -Phellandrene	27,077	40,151
Limonene	161,552	297,572
$\delta$ -Terpinehe	7,116	8,910
$\rho$ -Cymene	21,603	35,994
Terpinolene	5,660	8,012
$\delta$ -Elemene	12,025	13,011
$\alpha$ -Copaene	20,674	22,302
Linalool	11,019	12,144
$\beta$ -Caryophyllene	451,239	552,773
$\alpha$ -Humulene	27,859	36,899
전 량	1,175,4696	1,773,691

## 5. 육류 및 어패류의 살균

신선한 육류, 어패류에서 방사선살균이 무엇보다도 기대되고 있는 것은 식중독균에 대한 대책 때문일 것이다. 표4에서 보는바와같이 병원성대장균 O-157:H7의 방사선감수성은 일반대장균과 큰 차이는 없다. 또 살모넬라균 및 장염비브리오균, 포도상구균, 리스테리아균, 칸피토파타 등 식중독균의 방사선감수성도 대장균과 큰 차이없이 적은 선량으로 살균이 가능하다. 표 4의 결과는 인산완충액중에서 얻어진 것이고 식품중에서는 수배의 내성이 되나 필요한 살균선량은 1~3kGy로서 충분하다. 육류나 어패류 등의 방사선살균에서 문제로 되는 것은 조사에 의한 품질저하이다. 대부분의 식육류는 상온하에서 조사하면 3kGy이상에서 이취 및 색조변화를 일으키는 것이 많다. 특히 쇠고기 등은 2kGy의 선량에서 색조가 변하고 이취가 발생한다.

표 4. 병원성 대장균 O-157 등 식중독성 세균 및 일반대장균의 인산완충액중에서의 방사선감수성(0.067M인산완충액, PH 7.0)

세 균 명	주(株)의 종류	D <sub>10</sub> 값(kGy)
병원성대장균 O-157	표준주	0.12
대장균 F8	어분분리주	0.13
대장균 S2	하수오니분리주	0.11
대장균 B2	계 육	0.12
살모넬라·타이피리움	표준주	0.16
살모넬라·네티리치리스	표준주	0.13
리스테리아·모노사이드게네스	계 육	0.16
장염비브리오균	내동어패류	0.035
포도상구균	표준주	0.13
녹농균(綠膿菌)	하수오니분리주	0.06

※ D<sub>10</sub>값(價) : 생존곡선의 직선부분에서 90% 살균하는데 필요한 방사선량

닭고기는 동물고유의 대장균균에 의한 오염이 현저한 식품이나 그림 6에서 보는 것처럼 1kGy에서 살균하여 그림 7 및 그림 8에서 보는 바와 같이 10°C에서 저장하였을경우 비 조사시료는 대장균균이 급속히 증식한 것에 비해 조사시료에서는 1kGy의 선량에서도 대장균균의 증식은 약

1주일간 억제되었다. 병원성대장균 O-157 및 리스테리아균은 7°C에서도 증식가능하며 따라서 저온저장에서도 식중독의 발생 가능성이 있다. 그러나 1kGy조사와 저온저장을 한다면 조사에 의한 육류의 품질저하 없는 상태에서 식중독균의 증식억제가 가능하다. 살모넬라균은 고기중에서의

초기오염균수가 적기때문에 1kGy조사와 저온저장을 함으로써 충분히 식중독의 억제 가능성이 있다. 세레우스균 및 보스리누스균 등 유아포세균계 식중독균의 살균선량은 10~30kGy가 필요하다. 세레우스균 등은 저온에서도 증식하나 3kGy조사 후 10°C이하에서 저장하면 고기에서의 증식억제가 가능하다. 그 이유로서는 조사된 아포는 저온하에서 DNA손상 등의 회복이 지연되는 때문으로 생각된다.

한편 냉동육류나 어패류의 경우 식중독균의 살균선량은 3~5kGy가 필요하다. 그러나 냉동된 식품에서는 조사로 인한 품질저하가 억제 되기때문에 50kGy의 선량으로도 영양성분이나 이취 및 색조변화는 특별히 문제가 되지 않는다. 또 유아세포균의 살균선량은 상온하에서도 큰 차가 없으므로 동결하에서도 살균선량이 별로 증가하지 않았다. 육류의 완전살균을 목적으로 할 경우 약 8°C에서 효소류를 불활성화하여 진공포장후에 동결상태에서 약 30kGy조사하면 통조림과 같은 효과를 기대할 수 있으며 상온에서 등산용 스낵식품으로의 이용이 가능하다. 또한 육류, 어패류의 조사는 볼란서, 네델란드, 벨지움, 미국 등에서 실용화 하고있다.

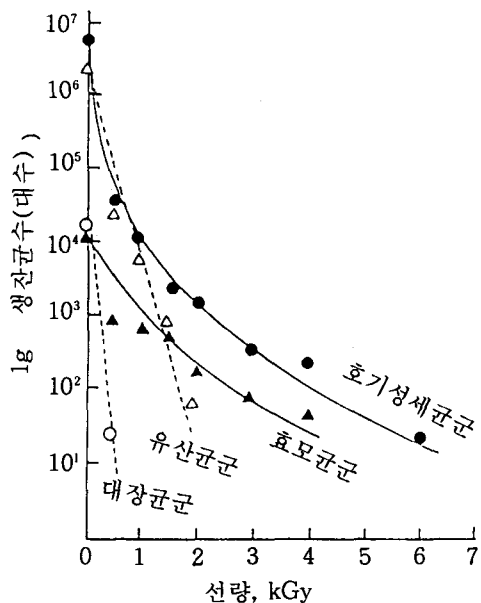


그림 6. 닭고기의 방사선 살균효과

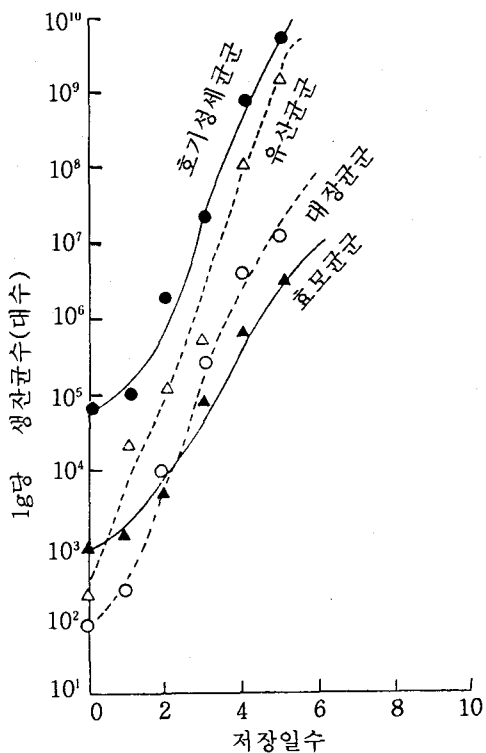


그림 7. 비조사닭고기의 10°C저장시 각종 미생물의 증식

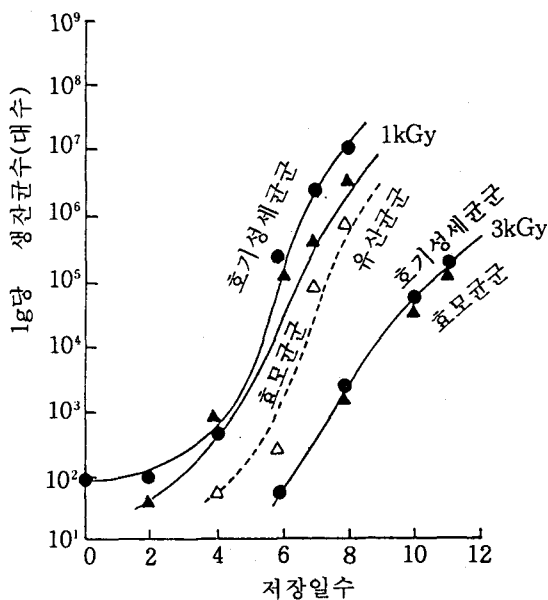


그림 8. 조사닭고기의 10°C저장시 각종 미생물증식

### III. 식품조사의 세계의 동향

전자선, 감마선 등을 식품에 조사하여 보존성 안전성향상에 공헌하는 식품조사 기술에 대하여 일본은 보다 빠르게 이들 기술을 개발하여 놓았음에도 불구하고 조사에 대한 소비자 이미지가 장애가 되어 식품에의 조사가 허가되어 있는 것은 감자의 발아억제 뿐이다. 그러나 이미 식품조사기술은 세계 39개국에서 약 180종류의 식품조사가 허가되고 그중 28개국에서 실용화 시키고 있다.

특히 스파이스류에 있어서는 급속히 그 이용이 진전되고 있으며 세계가 한 울타리속이던 국제화시대에 식품조사의 취급이 비관세장벽으로 될 가능성 조차도 전망된다고 하겠다.

#### ○ 국제적인 식품조사의 경과

세계보건기구(WHO)에서는 식품으로 인한 질병과 식량자원의 손실방지 대책으로서 식품조사의 적절한 이용을 적극적으로 장려하고 있다. 이 목적의 출처인 FAO, WHO, IAEA 세기관의 후원으로 식품조사에 관한 국제적인 활동을 평가하고 조언하기 위하여 각국정부에서 임명된 전문가들로 이루어진 국제식품조사 자문그룹(ICGFI)을 설립하였다.

조사를 허가하고 있는 39개국의 정부가 ICGFI의 활동에 참가하고 있다.

ICGFI는 1961년에 「조사식품의 영양학적 적합성과 식품으로서의 안전성이라는 과제로 브뤼셀에서 제1회 회합을 갖고 그 후 1966년, 1970년, 1976년에 그때 그때 입수되는 데이터에 대하여 검토하여왔다. 그리고 1980년에는 「평균선량 10K Gy 이하의 조사는 어떠한 식품에 대하여도 독성학적 문제를 일으키지 않아 10K Gy 이하에서 조사한 식품의 독성시험은 이 이상 행할 필요가 없다», 「총 평균선량이 10K Gy 까지로 조사한 식품은 영양학적 및 미생물학적인 문제를 일으키지 않는다」라고 결론짓고 안전선언을 하였다.

그후에도 식품조사에 관한 국제적회합이 각지에서 열려 조사식품의 이용기술

및 안전성과 영양 적성에 관하여 조사연구는 비약적인 진보를 계속하고 있다.

또한 ICGFI에서는 1990년 10월 이태리에서 개최된 제7회 연차총회에서 식품조사에 관한 책자를 발행할 것을 결정하고 1991년에 「알기쉬운 식품조사」라는 책자를 발행하였다. 또 WHO에서는 최선의 과학적 지식을 기초로 「조사식품의 안전성과 영양 적성」을 출판하였다. 이들은 각나라에서 번역되어 일반소비자를 위한 조사식품에의 이해를 구할 목적을 사용되고 있다.

#### ○ 각국의 조사식품의 이용

세계 각나라에서는 해마다 약 50만톤의 식품이 조사되고 있다. 각나라에서의 조사가 허가된 식품의 품목을 표 1에 기재하였고 또 실제로 조사를 실시하고 있는 나라와 그 품목을 표 2에 기재한다. FAO의 조사에 의하면 세계의 전 식량생산의 약 25%가 수확후에 해충, 미생물, 쥐 등으로 인하여 손모되고 있다. 한편 이러한 손실을 방지하기 위하여 사용되어온 농약, 및 훈연은 세계적으로 사용량의 감소를 요구하고 있어서 식품조사는 식료손모와 농약의 감량을 목적으로 급속히 보급되고 있다. 예를 들면 망고 등의 트로피칼후루츠는 코드링거 등의 벌레가 많고 깨스처리를 하지 않으면 여간해서 먹을 수가 없다. 그런데 이 벌레를 제거하기 위한 깨스에는 발암성이 높은 물질이 많아 수차의 시행착오 끝에 현재에는 취하메칠을 이용하고 있으나 이것 또한 의사발암성 및 오존층파괴와 연계되어 2010년에는 완전 사용금지키로 정해져 있어 대체할 수 있는 방법로서는 저온 또는 중, 고온 온도관리로 1주일간 방치하는 방법이 채택되고 있으나 품질을 떨어뜨리지 않는 온도관리가 어렵고 에너지 코스트가 커서 역시 조사방법을 도입할 수 밖에 없다고 의견을 내고있다.

어느 나라에서든지 근, 경, 옆류(根莖葉類)의 발아는 손실의 주원인으로 되고 있어 벨지움, 불란서, 헝가리, 일본, 네델란드, 우크라이나 등의 나라에서 곡물, 감자,

양과 등의 농산물이 상업규모의 발아방지를 위하여 조사되고 있다.

식품중의 식중독균을 사멸시킴에도 비교적 낮은 선량의 방사선이 유익하다.

벨지움, 네델란드에서는 건조된 식품소재에 한하지 않고 많은 양의 냉동수산물에도 식품에 따라다니는 질병방지의 목적으로 조사하고 있다.

미국에서는 아예 조사라는 문구 자체를 고지하지 않아도 좋을 만큼으로 조사에 대하여 정착 되어지고 있다. 또 캐로트 툴이라는 회사는 인디아나주에 대형 슈퍼마켓 두곳과 제휴하여 조사한 과일, 야채 등을 적극적으로 선전판매 하고 있다. 미국의 FDA에서는 청과물에 대하여 「잔류물 없음」을 표방하고 약재의 잔류가 전혀 없는 상품을 추천하고 있다.

조사한 야채 및 청과물에 대하여 zore release를 소비자에게 어필 할 수 있는 식품임을 주지시키고 있다. 이 예에서 보는 바와 같이 미국에서는 조사식품은 이미 민간에게 위임할 정도로 까지 진전되어 있다.

불란서에서는 일찍이 식품조사를 도입하고 처음에는 카만벨 치즈살균에 유효하다고 널리 보급되었었다. 카만벨 치즈에 대하여는 그로부터 더욱 저렴한 단가의 방법이 생겨져서 조사량이 줄었으며 현재는 식조육(食鳥肉)의 전자선조사 및 스파이스조사가 상업적으로 실시되고 있다.

단, 이들 조사식품은 대부분이 자국내 소비용이고 국제적으로 유통되고 있는 것은 많지 않다. 그러나 최대 식량수출국인 미국, 불란서 두나라에 있어서는 정확한 관리하에 조사식품의 이해와 관리가 진전되고 있다. 가까운 장래에 이것들을 수입하는 나라들도 그 대응방안을 강구하리라고 생각한다.

영국은 일본에서처럼 조사식품 소비자가 조사식품에 대하여 강한 거부반응을 나타내는 나라중의 하나이다. 1991년 대처수상은 살모넬라에 의한 대규모의 식중독 대응책으로서 미국 FDA 등의 정보를 근거로 식육, 과일, 어패류, 야채, 향신료, 곡물 등 대부분의 식품조사에 일괄허가하였다. 그러나 그 후에도 소비자의 반대운동이 격해지고 있어

향신료와 환자식을 제외하고는 지금까지 거의 실용화 되어있지 않고 있으며 금후 5~10년내에는 실용화되지 못할 것이라고 전해지고 있다.

#### ○ 향신료의 조사살균 규제 폐기 서두르는 일본

향신료의 조사는 세계 29개국중에서 허가되어 있으며 표 2에서 보는 바와 같이 22개국에서 영업적으로 조사살균 향신료가 실용화 되고 있다. 이 처리량은 유럽의 2~3만톤, 미국에서 1만톤이상, 아시아에서는 약 5천톤이라고 한다.

또 대규모의 향신료 생산국인 중국과 인도네시아에서도 향신료 조사의 실용화가 예정되어 있고 조사한 스파이스는 급속도로 세계속에서 증가하고 있다. 스파이스는 풍미, 향신미가 품질특성이기 때문에 건조식품을 가열하지 않고 그대로 사용하는 것이 일반적이다. 그런때문에 가공식품의 원료로서 세균수를 적극적으로 억제 하지 않으면 안된다. 한편 향신료의 산지는 동남아시아의 고온다습지역이어서 방법여하에 불구하고 살균공정을 거치지 않을 수 없다. 거기에 에칠렌옥사이드에 의한 깨스살균이 노동환경 및 잔류의 문제 등으로 사용이 불가능하게 되어 있어 적은 조사선량으로 효과적인 성과를 얻을 수 있고 품질특성에 거의 영향을 미치지 않는 조사살균이 스파이스살균의 유일무이의 방법이라고 생각하며 일본에서도 향신료의 조사규제를 재고요망하고 있는 것이다.

#### ○ 조사장치

현재 일본에서 식품위생법으로 조사가 허용되고 있는 것은 1972년에 승인된 감자의 발아억제 뿐이다. 이는 일본 북해도에서 매년 15,000톤의 감자에 조사하는 제법 큰 규모의 γ선장치나 금후 조사식품들을 정부가 인정하게 되었을 때 이용할 장치에 대하여는 일본의 식품산업 형태 등을 고려하여 설비관리가 용이한 전자선살균이 주류를 차지할 것이라고 생각한다. 최근에는 전자선이라는 단어의 인상이 좋지않다는 점에서 소프트 일렉트론이라고 불려질 것이라는 관제

자들의 말이 있다.

다음은 식품조사에 관하여 많은 실험 자료를 갖고 있는 두개 회사의 전자선 조사장치를 소개한다.

#### ★ THE RHODOTRON

IBA사(판매 : 세티 co. Ltd.)

로오도트론은 불란서 원자력청의 특허 기술을 근원으로 하여 개발한 전자선장치이다. IBA사(이온 빔 아프리카이션)는 벨지움에 있는 상업용 양자가속장치의 Top maker이다.

원 리 : 로오도트론은 속에 축이 있는 원주모양의 챔버통안에서 처음에 전자총을 쏘면 상대편의 마그넷에서 커-브를 그리면서 반사하고 그것이 다시 상대편에 반사하는 즉, 전자가 교차하면서 가속되어져 이 가속되어진 전자가 10MeV에서 밑으로 튕겨나오는 시스템이다. 이것의 특성으로는 비용이 저렴하다는 것외에 성능면에서도 많은 이점이 있다.

용 도 : 식품 의료용품멸균, 화학공업 등 세계각국에서 식품조사에 이용되고 있다.

#### ★ 에렉트로커-텐

(일본 이와사키전기주식회사)

커-텐형 전자조사장치의 Top maker/Energy Science(ES 1사)가 개발한 저전압에 의한 EB시스템이다. 이것을 일본의 이와사키전기주식회사가 만들었다. 여기에 서비스부문으로 아이 일렉트론 빔(주)가 참여함으로써 실험기 파이롯트라인 및 대형생산라인(조사폭 165cm)과 최신의 EB시스템을 설치하여 연구 및 실험은 물론 생산에 까지 종합적으로 대응할 수 있도록 하였다.

원 리 : 스텐레스로 만들어진 진공챔버 안에 있는 봉상(棒狀)의 리니어 필라멘트에 고압전류를 통하여 열전자가 방출된다. 전자는 챔버 하부의 양극(陽極)사이에 발생하는 수백KV의 고전압에 의해 가속되어 고속의 전자빔이 된다. 그리고 커-텐상으로 되어 위에서 밑으로 치탄의 박(箔)을 뚫고 조사된다. 100~300KV의 저에너지타입이므로 장치가 콤팩트하고 방사선기술자의 자격이 불필요하다.

장 점 : 에너지절약형, 고속처리, 50℃를 넘지않는 저온처리, 안전, 청결, 정숙한 작업환경



(표 1)

## 품목별 식품조사 허가국

자료제공

(사)일본원자력산업회의

(재)방사선조사진흥협회

세티Co. Ltd

이와사키전기(주)

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
식 육	쿠 바	3	5
식육(신선)	크로아티아	5	3
식육(냉동)	크로아티아	3	7
건조육	한 국	3	7
쇠고기(건조품)	멕시코	3	10
	남아프리카	3	10
쇠고기(생, 반가공품)	러시아	3	8
	우크라이나	3	8
우골엑기스	남아프리카	3	20
소스-프스톡	남아프리카	3	20
돈 육	중 국	7	0.65
	멕시코	7	1
	미 국	7	1
돈육(생, 반가공품)	러시아	5	8
	우크라이나	5	8
돈육(도체육, 부분육)	크로아티아	7	1
파쇄돈육	남아프리카	3	10
계 육	방글라데시	3	7
	코스타리카	3	7
	불란서	3	5
	남아프리카	3	4
	시리아	3	7
	태국	3.5	7
계육(건조품)	멕시코	5	10
계육(신선, 냉동)	멕시코	3	7
계육(냉동)	멕시코	5	3
	헝가리	3	4
계육(스파이스가공)	중국	3	8
계육(해체부분육)	불란서	3	5
계육생산물(신선, 냉동)	멕시코	3	7
식용쇠고기	멕시코	5	3
	브라질	3	7
	불란서	3	5
	이스라엘	3	7

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
식용쇠고기	네델란드	3	10.5
	러시아	5	6
	남아프리카	3	10
	우크라이나	5	6
	영국	3	7
	유고슬라비아	3	10
식용쇠고기(신선, 냉동)	미국	3	3
식용쇠고기(신선)	크로아티아	3	3
식용쇠고기(냉동)	크로아티아	3	7
식용쇠고기(구분육)	미국	3	3
토끼(생, 반가공)	러시아	5	8
	우크라이나	5	8
개구리다리	방글라데시	3.5	7
	크로아티아	3	8
	불란서	3	8
	네델란드	3	7.5
개구리다리	멕시코	3	5
(신선, 냉동)	멕시코	5	3
	멕시코	7	2
개구리다리(냉동)	인도네시아	3	7
고기엑기스	남아프리카	3	10
식육제품	쿠바	3	4
식육제품(조리가공)	러시아	5	8
	우크라이나	5	8
가열식육가공품	중국	3	6
베이콘	쿠바	3	4
	남아프리카	3	10
쏘세지류	남아프리카	3	10
	태국	3	5
쏘세지(건조, 반건조)	크로아티아	3	5
프랑크푸르트쏘세지	남아프리카	3	10
중국쏘세지	중국	3	8
건조쏘세지	남아프리카	3	10
가열쏘세지	태국	3.7	5

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
생발효돈육쏘세지	태 국	3.7	4
스모크사라미	남아프리카	3	10
콜드미트류	남아프리카	3	10
동물혈액(응고혈액)	불란서	3	10
동물혈액(건조)	쿠바	2	2
동물혈액(액체)	불란서	3	10
동물혈액프라스마(건조)	불란서	3	10
동물혈액제품(건조)	불란서	3	10
수산물	크로아티아	3	5
	쿠바	5	3
수산물(냉동)	인도	3	6
어류	방글라데시	3	2.2
	브라질	5	2
	코스타리카	3	2.2
	크로아티아	3	5
	남아프리카	5	2
	시리아	5	2.2
	태국	5	2
	영국	5	3
어류(건조)	방글라데시	2	1
	브라질	2	2
	코스타리카	2	1
	쿠바	2	1
	인도네시아	5	5
	시리아	2	1
	태국	2	1
어류(생선, 냉동)	베트남	2	1
	멕시코	3	5
	멕시코	5	3
	멕시코	7	2
어분	한국	3	7
어류제품	방글라데시	3	2.2
	브라질	5	2
	코스타리카	2	1
	코스타리카	3	2.2
	시리아	5	2.2
	태국	5	2.2
패류, 갑각류	영국	3	3
분말패류	한국	3	7
새우	방글라데시	3.5	5
	벨기에	3	5
	불란서	3	5
	인도	3	6

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
새우	네델란드	3	4.5
새우(냉동)	인도네시아	3	7
	태국	3	5
해조류(건조)	남아프리카	3	10
우유	불란서	3	10
계란(건조)	멕시코	3	5
계란(냉동)	크로아티아	3	3
계란(전란, 파쇄)	남아프리카	3	10
난백알부민(분말)	남아프리카	3	10
계란분말	크로아티아	3	3
	남아프리카	3	10
	유고슬라비아	3	10
계란제품	불란서	3	4
계란제품(냉동)	크로아티아	3	3
계란필프(냉동)	남아프리카	3	10
야채류	크로아티아	1.3	3
	이스라엘	2	1
	멕시코	1.4	1
	멕시코	5	2.5
	러시아	5	4
	우크라이나	5	4
건조야채	영국	2	1
	알제틴	2	1
	벨기에	3	10
	크로아티아	2	1
	크로아티아	3	10
	불란서	10	10
	불란서	2	1
	이스라엘	3	10
	한국	3	7
	폴란드	3	10
	네델란드	2	15
	남아프리카	3	10
	유고슬라비아	2	10
신선야채	미국	2	1
식물성양념(건조)	카나다	3	10
	이스라엘	2.3	10
	한국	3	10
	노르웨이	3	10
	영국	3	10
	미국	3	30
처리한야채단백	남아프리카	3	10
	알제틴	1	2

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
토마토	브 라 질	2	1
	중 국	5	4
실 파	남아프리카	5	3
	벨 지 음	6	0.15
소 맥	불 란 서	6	0.15
	방글라데시	2	1
	브 라 질	2	1
	카 나 다	2	0.75
	코스타리카	2	1
	멕 시 코	2	1
	시 리 아	2	1
	태 국	2	1
소맥분	브 라 질	2	1
소맥제품	카 나 다	2	0.75
	방글라데시	2	1
	코스타리카	2	1
	멕 시 코	2	1
	시 리 아	2	1
	태 국	2	1
옥수수(corn)	멕 시 코	2	1
옥수수(maize)	브 라 질	2	0.5
	베 트 남	2	1
옥수수가루	남아프리카	3	10
옥수수생산품	멕 시 코	2	1
옥수수, 맥아맥주	남아프리카	5	1
식용종자류	이스라엘	2	1
빵가루, 쿠키가루	남아프리카	3	10
곡류배아	불 란 서	3	10
곡류싸래기	중 국	2	0.45
	크로아티아	2	1
	불 란 서	3	10
	인도네시아	2	1
	이스라엘	2	1
	멕 시 코	2	1
	영 국	2	1
	유고슬라비아	2	10
곡류 무-스	크로아티아	2	1
	크로아티아	3	10
	불 란 서	3	10
	남아프리카	3	10
곡류제품	멕 시 코	2	1
시리얼음료배-스	남아프리카	3	10
시리얼후레이크	불 란 서	3	10

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
시리얼후레이크	네 델 란 드	2	1.5
조식용시리얼	남아프리카	3	8
메밀가루(건조)	러 시 아	2	0.7
	우크라이나	2	0.7
엿기름앙금	러 시 아	2	0.3
	우크라이나	2	0.3
오-트밀(건조)	러 시 아	2	0.7
	우크라이나	2	0.7
롤오-트(겉질을 벗겨 담근 오-트맥) 쌀	남아프리카	3	10
	방글라데시	2	1
	브 라 질	2	1
	코스타리카	2	1
	크로아티아	2	1
	멕 시 코	2	1
	러 시 아	2	0.7
	시 리 아	2	1
	태 국	2	1
	우크라이나	2	0.7
브라운라이스	남아프리카	3	10
쌀가루	불 란 서	3	5
라이스 밀	불 란 서	3	5
쌀가공품	멕 시 코	2	1
버섯류	알 젠 틴	1	3
	중 국	1	1
	형 가 리	1	3
	이스라엘	5	3
	한 국	2	1
	멕 시 코	1.4	1
	멕 시 코	5	2.5
	크로아티아	2	1
버섯류(건조)	크로아티아	3	10
	한 국	2	1
	폴 란 드	3	10
	유고슬라비아	2	10
아가리커스버섯	형 가 리	1	2.5
근채류(根菜類)	크로아티아	6	0.5
근채류 및 괴경류 (塊莖類)	인도네시아	6	0.15
	멕 시 코	6	0.2
구근류(球根類)	인도네시아	6	0.15
	멕 시 코	2	0.2
	영 국	6	0.2
	크로아티아	6	0.5
괴경류	크로아티아	6	0.5

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
양과	알 젠 틴	6	0.15
	방글라데시	6	0.15
	벨 지 움	6	0.15
	브 라 질	6	0.15
	카 나 다	6	0.15
	중 국	6	0.15
	코스타리카	6	0.15
	크로아티아	6	0.5
	쿠 바	6	0.06
	불 란 서	6	0.15
	형 가 리	6	0.2
	인 도	6	0.09
	인도네시아	6	1
	이 태 리	6	0.15
	한 국	6	0.15
	멕 시 코	6	0.2
	파 키스 탄	6	0.15
	필 리 핀	6	0.1
	폴 란 드	6	0.06
	러 시 아	6	0.06
	남아프리카	3	10
	스 페 인	6	0.08
	시 리 아	6	0.15
	태 국	6	0.15
	우크라이나	6	0.06
	베 트 남	6	0.1
	유고슬라비아	6	10
	남아프리카	3	10
	알 젠 틴	6	0.15
	방글라데시	6	0.15
	벨 지 움	6	0.15
	브 라 질	6	0.15
	카 나 다	6	0.15
중 국	6	0.2	
코스타리카	6	0.15	
크로아티아	6	0.5	
쿠 바	6	0.1	
불 란 서	6	0.15	
형 가 리	6	0.1	
인도	6	0.15	
인도네시아	6	1	
이 태 리	6	0.15	
일 본	6	0.15	

양과분말  
감 자

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)	
감 자	한 국	6	0.15	
	멕 시 코	6	0.2	
	파 키스 탄	6	0.15	
	러 시 아	6	0.3	
	남아프리카	6	10	
	스 페 인	6	0.15	
	시 리 아	6	0.15	
	태 국	6	0.15	
	우크라이나	6	0.3	
	우 루 과 이	6	0.15	
	베 트 남	6	0.15	
	유고슬라비아	6	10	
	마 늘	알 젠 틴	6	0.15
		벨 지 움	6	0.15
		중 국	6	0.1
크로아티아		6	0.5	
쿠 바		6	0.08	
불 란 서		6	0.15	
인도네시아		6	1	
이 태 리		6	0.15	
한 국		6	0.15	
멕 시 코		6	0.2	
파 키스 탄		6	0.15	
필 리 핀		6	0.1	
폴 란 드		6	0.15	
태 국		6	0.15	
베 트 남		6	0.1	
유고슬라비아	6	10		
남아프리카	3	10		
남아프리카	3	10		
콩류(bears)	브 라 질	2	1	
	인도네시아	3	5	
	태 국	2	1	
콩류(pulses)	방글라데시	2	1	
	인도네시아	3	5	
	이스 라 엘	2	1	
참 깨	쿠 바	2	2	
녹두류	남아프리카	2	3	
	베 트 남	2	1	
대두화이버	남아프리카	3	10	
대두제분	남아프리카	3	10	
대두분말	남아프리카	3	10	
대 두	멕 시 코	2	1	

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
대두페이스트분말	한 국	3	7
대두가공품	멕시코	2	1
향신료(spices)	알제틴	3	30
	알제틴	3	10
	방글라데시	2	1
	방글라데시	3	10
	벨지움	3	10
	브라질	3	10
	카나다	3	10
	크로아티아	3	30
	쿠바	2	5
	체코	3	10
	덴마크	3	15
	핀란드	3	10
	불란서	3	11
	헝가리	3	6
	인도	3	14
	인도네시아	3	10
	이탈리아	3	10
	이스라엘	3	10
	한국	3	10
	네델란드	3	15
	노르웨이	3	10
	파키스탄	3	10
	필리핀	3	0
	폴란드	3	10
	남아프리카	3	10
	시리아	3	10
	태국	2	1
태국	3	10	
영국	3	10	
미국	3	30	
유고슬라비아	3	10	
향신료류(condiment)	방글라데시	2	1
	방글라데시	3	10
	코스타리카	2	1
	코스타리카	3	10
	시리아	3	10
	영국	3	10
	멕시코	3	10
향신료(건조) (condiment)	남아프리카	3	10
	한국	3	7

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
생강페이스트	남아프리카	3	10
파프리카분말	베트남	2	1
바닐라	불란서	3	11
	벨지움	3	10
허브류	카나다	3	10
	덴마크	3	15
	불란서	3	10
	멕시코	2	1
	멕시코	3	10
	네델란드	3	15
	노르웨이	3	10
	남아프리카	2	1
	미국	3	30
	벨지움	3	10
	크로아티아	3	10
	멕시코	3	10
	유고슬라비아	3	10
허브차(茶)	유고슬라비아	3	10
	남아프리카	2	10
	남아프리카	2	10
	남아프리카	2	10
	이스라엘	2	1
	남아프리카	3	10
	남아프리카	3	10
	쿠바	2	2
	멕시코	3	5
	코스타리카	2	1
코스타리카	3	5	
차액기스	쿠바	2	0.5
	이스라엘	2	1
	태국	2	1
	태국	3	5
	남아프리카	3	10
	남아프리카	2	1
	크로아티아	1.3	3
	이스라엘	2	1
	멕시코	1.4	1
	멕시코	5	2.5
아몬드(잘게썬것) 코코아(건조품)	러시아	5	4
	우크라이나	5	4
	영국	2	2
	미국	2	1
코코아콩	미국	2	1
	크로아티아	2	1
과일류	남아프리카	3	10
	남아프리카	2	1
코코넛(건조)	크로아티아	1.3	3
	이스라엘	2	1
	멕시코	1.4	1
	멕시코	5	2.5
	러시아	5	4
과일류(건조품)	우크라이나	5	4
	영국	2	2
과일류	미국	2	1
	크로아티아	2	1

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)		
과일류(건조품)	크로아티아	3	10		
	불란서	2	1		
	멕시코	2	1		
	멕시코	3	10		
	네델란드	2	1.5		
	러시아	2	1		
	남아프리카	3	10		
	우크라이나	2	1		
	유고슬라비아	2	10		
	과일잼	남아프리카	3	10	
과즙류(냉동)	크로아티아	5	4		
과즙 및 농축품	남아프리카	5	3		
과일펠프	남아프리카	3	5		
건조과일	알젠틴	2	1		
	중국	2	1		
사과	중국	5	0.4		
살구	중국	2	1		
살구(건조품)	불란서	3	6		
	알젠틴	5	2.5		
딸기	벨지움	5	3		
	브라질	5	3		
	코스타리카	5	3		
	불란서	5	3		
	헝가리	5	2.5		
	이스라엘	5	3		
	시리아	5	3		
	태국	5	3		
	아보카도	브라질	2	1	
		쿠바	1	0.25	
	포도류	남아프리카	2	0.1	
		헝가리	5	2.5	
		불란서	3	6	
		브라질	2	1	
		오렌지	브라질	2	1
파파야		방글라데시	1.2	1	
		브라질	2	1	
		코스타리카	2	1	
		멕시코	1.4	1	
		멕시코	5	2.5	
		시리아	2	1	
		태국	1.2	1	
		피넛	중국	2	0.4
			남아프리카	3	10

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)		
피넛버터	남아프리카	3	10		
서양배	헝가리	1	1		
감류	브라질	2	1		
파인애플	브라질	2	1		
프럼	남아프리카	2	10		
버찌	헝가리	5	2.5		
버찌각테일(캔)	헝가리	10	0.2		
밤	한국	2	0.25		
메론	브라질	2	1		
스구리(すぐり적)	헝가리	5	2.5		
대추야자	불란서	3	6		
인도대추(건조)	시리아	2	1		
	태국	2	1		
무화과	불란서	3	6		
구아바	브라질	2	1		
두과(豆果)	코스타리카	2	1		
	네델란드	2	1.5		
레몬	시리아	2	1		
	유고슬라비아	2	10		
	브라질	2	1		
	라이치	중국	2	0.5	
	만다린	중국	5	0.1	
	망고	방글라데시	1.2	1	
		브라질	2	1	
		코스타리카	2.5	1	
		쿠바	1	0.75	
		멕시코	1.4	1	
		멕시코	5	2.5	
	망고(ATCHAR)	남아프리카	2	4	
		시리아	2	1	
		태국	1.2	1	
		남아프리카	3	10	
아리비아검		벨지움	3	10	
꿀		크로아티아	3	10	
		불란서	3	9	
		네델란드	3	15	
		남아프리카	3	13	
		마리네드용조미료	남아프리카	3	10
		효소제제	크로아티아	3	10
효소(건조)		한국	3	7	
		미국	3	10	
		분유	멕시코	3	5
밀크쉐이크분말		남아프리카	3	10	

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
건조혼합식재(食材)	헝 가 리	3	5
건강드링크	남아프리카	3	10
건강음료용소재	남아프리카	3	10
건조프딩	러 시 아	2	0.7
	우크라이나	2	0.7
분말스-프	남아프리카	3	10
스-프스톡(건조)	멕 시 코	3	10
분말간장	한 국	3	7
전 분	한 국	3	5
	남아프리카	3	10
식용색소(천연, 건조)	멕 시 코	3	10
식품농축물(건조)	러 시 아	2	0.7
	우크라이나	2	0.7
설탕용액	남아프리카	3	10
구르콘산 칼시움	남아프리카	3	10
수화염(水化塩)			
카제인	남아프리카	3	10
카제인, 카제네이트	불 란 서	3	6
돼지내장케-싱	쿠 바	3	7
	남아프리카	3	26
해바라기씨	남아프리카	2	10
젤라틴	남아프리카	3	10
감자칩(생, 가열)	남아프리카	3	10
사부리멘트(영양제)	남아프리카	3	10
카만벨치즈	불 란 서	3	3.5
고구마술	중 국	10	4
과자류	남아프리카	3	10

품 목	국 명	용도	최대조사량 (kGy)
건조식품	체 코	3	10
원나빵	남아프리카	3	10
중량조정품(重量調整品)	남아프리카	3	10
건조WORS	남아프리카	3	10
분말효모	한 국	3	7
분말효모(BREWERS AND TORULITE)	남아프리카	3	10
동물사료	이스라엘	3	15
밀기울사료(생)	남아프리카	3	10
베비푸-드	남아프리카	3	10
무균식	크로아티아	9	45
	핀 란 드	9	100
	한 국	9	10
	영 국	9	100
무균식(냉동)	네 델 란 드	9	112.5
무균고기	남아프리카	9	50

용도별 코-드번호

1. 성숙지연, 성장억제
2. 해충, 쥐 구제
3. 세균수억제
4. 검역처리
5. 저장수명연장
6. 발아방해
7. 기생충제외
8. 환자용무균식
9. 멸균, 살균
10. 불명

(표 2)

## 조사를 실용화하고 있는 국명 및 품목

(자료 : IAEA 1995년 1월현재)

식품	국명																	실용화 국가 합계										
	알 젠 틴	방글 라데 시	벨라 지 움	브라 질	카나 다	칠레	중 국	크 로 아 티 아	쿠 바	체코	덴 마크	필리 핀	불 가 랑	인 도 네 시 아	이 라 크	이 탈 리아	한 국		멕시코	네델 란드	노르 웨이	남아 프리카	태 국	우 크 라이 나	영 국	미 고 슬라 비아		
감자	○					○	○	○								○					○						6	
양파	○					○	○	○					○									○	○					7
마늘						○																						1
딸기																									○			1
사과							○																					1
토마토							○																					1
카카오원두									○																			1
냉동개구리다리																												1
새우												○																1
카만벨치즈												○																1
중국쏘세지							○																					1
발효돈육쏘세지																						○						1
향신료	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	22
야채																										○		1
건조야채		○										○							○									3
과일																					○				○			2
건조과일						○						○																1
식조육(食鳥肉)							○				○								○		○				○			5
육류																					○							1
건조육																												1
어류(魚類)																					○							1
건조어(乾燥魚)	○																											1
쌀																												1
곡물																							○					1
냉동식품																												1
식품성분							○													○								1
건조식품성분										○																		2
가공식품																			○		○							1
계	1	3	2	1	1	4	6	3	3	2	1	1	7	2	2	1	1	1	1	1	4	1	8	3	1	1	5	1