

食品放射線處理의 現況

1. 머리말

食品에 이온을 照射하여 發穿抑制, 殺虫, 殺菌 등을 실시하여, 食品의 保藏性을 높이거나 衛生的인 상태로 만드는 것을 食品照射라고 한다. 食品에의 放射線處理의 利点으로서는, (1) 照射에 의한 熱의 발생이 적고, 溫度上昇이 기껏 數℃이다. 따라서 生鮮食品, 冷凍食品 등의 特性, 風味를 바꾸지 않고 그대로의 상태여서 殺菌할 수 있고, 冷殺菌法이란 표현도 사용된다. (2) γ 線, X線, 高에너지電子線은 透過力이 큼으로, 包裝이 끝난 大상을 그 중심부까지 비교적 均一하게 처리할 수가 있다. 이것은 包裝된 상태에서 처리하기 때문에 再汚染의 염려가 없고, 또한 果實의 중심부의 殺虫처럼, 종래의 방법에 의한 加熱, 藥劑, 紫外線 등으로는 곤란한 部位의 殺虫, 殺菌을 가능하게 한다. (3) 放射線法으로는 殘留藥品의 염려가 없고, 長期攝取에 의한 인체에 악영향의 염려가 없다. (4) 放射線處理法은 加熱에 의한 영양분의 변화가 적다. (5) 放射線照射는 연속적인 大량처리가 가능하며, 食品處理工程의 大폭적인 합리화를 기할 수 있다. 등이다. 이와 같이 食品照射는 종래의 방법에는 없는 꿈과 같은 기술이며, 세계각국에서 약 40년의 장기간에 걸쳐 연구가 이루어져, 안정성도 증명되어 있다. 그러나 日本에서의 實用化는 거의 진전을 보지 못하는 실정이다. 이것은 放射線處理를 “放射能處理”로 오해하여 食品이 오염된다고 생각하고 있다는 것과 原子力의 안정성에 대한 不信感이 큰 원인이라 생각된다. 日本에서는 한때 石油蛋白을 연구자 내지 企業이 實用화하려고 한 시기가 있었지만, 이미지에 의한 오해로 國會에서 實用化의 중지가 議決된 經驗이 있다. 그러기 때문에 현재에도 農産廢棄物을 이용한 微生物蛋

白質까지의 實用化가 이루어지지 않고 있다는 비과학적인 사태가 제법 그 요인이 되고 있다. 이런 일은 食品照射나 遺傳子工學 등에 대한 반대운동에서도 볼 수 있는 現象이며, 비과학적인 주장에 대한 有效한 대응책이 필요할 것이다.

그런데 放射線處理라는 용어는 과학적으로 적절한 말이 아니라는 이유로 프랑스에서는 食品의 이온化處理라는 말을 사용하고 있다. 日本에서도 食品照射를 實用화할 경우, 이온化處理食品과 같은 소비자에게 받아들여지기 쉬운 용어를 연구할 필요가 있다고 생각된다.

2. 食品에 대한 放射線의 효과

食品의 放射線處理는 吸收에너지라는 관점에서는 매우 온건한 방법이며, 80℃ 이상의 加熱이 필요한 熱殺菌에 대해, 10kGy라는 細菌胞子도 거의 殺菌될 수 있는 高線量으로도 불과 2.4℃의 溫度上昇 밖에 일어나지 않는다. 따라서 化學變化도 약간 밖에 일어나지 않으며, 食品中の 蛋白質은 거의 변화하지 않는다. 澱粉과 같은 炭水化合物은 照射에 의해 粘度의 低下가 약간 일어나지만, 영양가의 저하는 거의 볼 수 없다. 不飽和脂肪酸은 照射에 의해 酸化가 촉진되어 영양가가 감소되는 일이 있지만 照射의 방법에 의해 어느 정도 방지할 수 있으며, 이런 酸化는 加熱이나 단순한 저장에서도 일어나고 있다.

비타민 類의 대부분은 Table 1에 나타난 바와 같이 건조상태에서는 60kGy라는 高線量에서도 거의 변화하지 않는다. 한편, 肉製品이거나 생선야채, 과일과 같이 水分이 많아지면 照射에 의한 維生素의 분해가 현저해 지지만, 根菜類의 發穿防止나 곡물의 살충, 딸기의 곰팡이 발생방지를 목적으로 하는 살

Table 1 實驗動物用 베리트狀 飼料中の 비타민 含量的 변화

비타민	無處理 (對照)	放射線 30kGy	放射線 60kGy	蒸氣 (120°C 20分)
비타민B ₁	23.8 r/g	23.0	21.0	8.8
비타민B ₂	39.7 r/g	39.0	39.9	36.4
비타민B ₆	8.64 r/g	8.04	7.08	5.20
비타민B ₁₂	0.0107 r/g	0.00738	0.00712	0.00388
이노시토르	0.56 mg/g	0.56	0.54	0.44
葉酸	2.24 r/g	2.00	2.10	1.28
비타민A	22 IU/g	19	18	18
비타민E	340 r/g	320	320	320

균처리와 같은 2kGy 이하의 선량으로는, 照射에 의한 비타민의 직접분해는 거의 문제가 되지 않는다. 그러나 감자의 경우에는 照射에 의한 代謝活動의 변화에 의해 비타민C 含量이 저장중에 급격히 감소하지만, 수주간의 저장중에 非照射와의 차이는 없어지고 만다. 또한 2kGy 이상의 선량으로도 凍結이 된 상태에서는 비타민의 분해는 현저히 억제된다. 이와같이 照射에 의한 영양가의 低減은 근소하며, 저장중의 해충이나 미생물에 의한 영양가의 손실, 調理時의 加熱에 의한 현저한 변화에 비하면 그 우열은 명백해질 것이다.

많은 식품은 放射線殺菌 등 1kGy 이상의 照射로는 맛, 냄새, 색깔, 조직 등의 품질저하도 일으킨다. 특히 완전살균에 필요한 30~40kGy의 照射로는 照射臭나 맛의 惡變이 두드러진다. 많은 식품에서는 食味變化의 限界線량이 있고, 그 이상의 선량에서도 照射前에 脫酸素處理를 하거나 凍結下에 照射하는 등의 연구를 해보면 高線量이라도 食味低下를 방지하는 것이 가능하다. 뿐만 아니라 香辛料나 건조야채에서는 高線量照射로도 食味劣化는 거의 찾아볼 수 없다.

3. 食品照射의 應用分野

食品照射의 응용분야는 Table 2에 나타난 바와 같이 低線量, 中線量, 高線量으로 크게 분류할 수가 있다. 低線量은 0.02~1kGy의

線量으로 根菜類의 發穿防止라든지 과일이나 곡물류의 살충, 肉類의 기생충 殺滅 등을 목적으로 삼고 있으며, 照射處理 비용도 藥劑보다 싼 값이 될 가능성이 있으며, 대량으로 처리되고 또한 처리시간이 짧게 걸리는 것도 藥劑보다 훨씬 뛰어나 있을 뿐 아니라 照射에 따르는 食味低下도 적어 가장 유망한 것으로 간주되고 있다. 또한 放射線處理는 輸出入에 수반되는 해충이나 植物種子의 국제간의 이동을 방지하는데 효과가 있으므로 국제무역에 유익하다.

中線量處理는 1~10kGy의 선량으로 畜肉이나 魚肉, 香辛料 등의 살균을 하는데 목적을 두고 있다. 中線量으로는 有穿胞細菌 등이 耐放射線性 때문에 완전살균이 곤란하며, 저장기간의 연장이나 食中毒菌의 살균이 주로 고려되고 있다. 식중독방지에는 사르모넬라菌이나 콜레라菌, 腸炎비브리오菌, 칸비로박터, 포도狀球菌 등의 耐熱性穿胞를 형성하지 않는 세균류의 살균이 유망하다. 畜肉이나 魚肉製品은 食味變化를 일으키지 아니하는 適正線量이 있어, 常溫으로는 1~4kGy이다. 유럽에서는 冷凍鷄肉의 서르모비라菌의 살균이나 冷凍漁具類 살균이 실용화되었기 시작하고 있다. 香辛料나 건조야채는 總菌數의 감소 및 大腸菌群의 殺滅을 목적으로 하고 있으며, 必要線量이나 耐熱性的 有穿胞細菌을 포함하여 7~10kGy로 살균이 되며, 각

Table 2 實用 또는 有望한 食品照射

目的	線量(kGY)	對象品目例
低線量照射(1kGY까지)		
a) 發芽防止	0.02~0.15	감자, 양파, 마늘, 기타
b) 殺虫 및 害虫不孵化	0.10~1.0	곡물류, 과일류, 돼지고기, 기타
c) 열도조정	0.50~1.0	열대과실류, 채소, 기타
中線量照射(1~10kGY)		
a) 저장기간연장	1.0~7.0	생선, 魚肉加工品, 畜肉加工品, 굴, 딸기, 기타
b) 식중독 방지	3.0~10.0	冷凍魚貝類, 닭고기, 冷凍卵, 기타
c) 살균(위생화)	5.0~10.0	香辛料, 건조야채, 배합사료, 魚粉, 기타
d) 物性改良	2.0~10.0	寒天生産, 위스키熟成促進, 건조야채, 澱粉의 低粘度化, 기타
高線量照射(10~15kGY)		
a) 完全살균	20~50	햄, 베이콘, 닭고기, 病陰患者食, 無菌動物用 飼料

국에서 실용화되기 시작하고 있다. 곰팡이類는 藥劑에 耐性이 있지만 방사선에는 감수성이 높아 1.5~5kGy로 살균이 가능하며 딸기나 香辛料의 곰팡이 발생방지가 유망하다.

高線量處理는 30~50kGy로서 상업적인 완전살균을 목적으로 하고 있다. 이 경우 보스리누스型菌의 穿胞의 完全殺菌線量에서 必要線량이 결정되어 있으며, 調凍한 햄, 베이콘, 소고기, 돼지고기, 닭고기를 凍結한 상태에서 照射하는 기술이 미국에서 개발되고 있다. 또한 無菌環境下에서 치료를 요하는 병원환자식의 완전살균이 미국이나 영국에서 실용화되고 있으며, 가열살균한 경우보다 치료효과가 훨씬 양호한 것으로 인식되고 있다.

放射線照射에 의한 독성물질이나 발암성물질생성의 유무, 자손에 미치는 영향에 대해서는, 各食品系에 따라 動物飼育試驗 내지 사르모넬라變異株 등을 사용한 變異原性試驗에서 조사되어 왔다. 세계각국에서 실시된 照射食品을 사용한 수백의 동물실험에서는, 照射에 의한 독성은 인정되어 있지 않다. 일본에서 1967년부터 1982년까지 실시되어 原子力特定綜合研究의 결과에서도 감자, 양파, 쌀, 밀, 水産練製品, 원나소시지, 굴의 일곱품목에 있어, 照射에 의한 독성, 變異原性의 생성은 보지 못하고 있다(Table 3). 그 연

구에서는 쥐, 생쥐, 원숭이 등 독성시험의 기준을 충족시키는 동물수를 사용하고 있으며, 인간이 섭취하는 양의 7~450배에 상당하는 양을 동물에 제공되고 있다. 이 결과에 대해, 照射食品에 하인하는 쥐의 体重增의 저하, 卵巢重量 저하, 사망을 증가가 있다는 비판도 있었지만, 이것들의 수치는 통상의 동물시험에서 볼 수 있는 범위내의 것이고, 혈액검사나 조직검사 등을 포함하여 종합적으로 판단하여 照射에 의한 악영향은 인정되지 않는다는 결론을 내리고 있다.

한편 소련의 코피로프 등은 微量의 라디오토키신이 감자 속에 生成한다고 보고하고 있고, 인도의 바자라크스미 등은 照射된 밀은 동물의 염색체이상을 유발한다고 보고하고 있지만, 이런 연구는 실험방법설정 자체에 문제가 있거나 非照射의 데이터를 이상하게 너무 낮게 잡았거나, 실험동물수가 너무 적거나, 각국에서 추가실험을 해보아도 再現性이 없었다는 등의 이유에 의해 국제적으로 부정되고 있다. 일본이나 영국 등 많은 선진국에서는 약 20년 전부터 20~50kGy에서 滅菌된 실험동물용 사료가 사용되어 왔으며, 加熱滅菌보다 사육성적이 좋은 것으로 보고되어 있다. 이런 사실도 照射食品의 건전성을 뒷받침해주고 있다.

Table 3 食品照射에 관한 原子力 特定 綜合研究의 主要한 成果 概要

項目 (照射目的)	照射效果		判別法	健全性				實施期間 (年度)	備考
	效果	問題點等		營養試驗	慢性毒性試驗	世代試驗	變異原性試驗		
감자 (發芽防止)	0.06~0.15kGY의 室溫中에서 8개월간 發芽防止됨.	특별히없음	실용적인 방법은 발진되지 아니했음	영향 없음	영향 없음	영향 없음	영향 없음	1967 ~ 1971	食品衛生法에 의한 許可(1972)實用化
양파 (發芽防止)	0.02~0.15kGY의 室溫中에서 8개월간 發芽防止됨.	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1967 ~ 1978	研究結果報告 畢(1980)
쌀 (殺虫)	0.2~0.5kGY의 照射로 殺虫效果는 완전. 곰팡이 발생방지 효과 있음	품종에 의한 照射後의 食味를 低下시키는 것이 있음.	〃	〃	〃	〃	〃	1967 ~ 1979	研究結果報告 畢(1983)
밀 (살충)	〃	밀가루의 粘度가 低下된다. 製빵성은 문제 없음	〃	〃	〃	〃	〃	1969 ~ 1979	〃
원나 소세지 (살균)	3~5kGY의 照射, 10℃저장으로 저장기간을 3~5배 延長가능함	酸素透過性이 작은 包裝材料로 질소가스 封入이 조건	〃	〃	〃	〃	〃	1968 ~ 1980	研究結果報告 畢(1985)
水産練 製品 (살균)	3kGY의 照射, 10℃저장으로 저장기간을 2~3배 延長가능함	특별히없음	勵起螢光 스펙트르의 變化에 의한 判別의 可能性이 있음.	〃	〃	〃	〃	1969 ~ 1980	〃
갈 (표면 살균)	0.5MeV의 에너지의 電子線으로 1.5kGY의 照射, 저온저장으로 저장기간을 연장시킬 수 있음.	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1970 ~ 1981	研究結果報告 畢(1988.3)
실시기관	農林省研究機關, 日本原子力研究所, (社) 아이소토프 協會		厚生省國立豫防衛生研究所	厚生省 國立營養研究所	厚生省 國立衛生試驗所	(財) 食品藥品安全센터			

4. 食品照射 실용화에의 국제적동향
 1980년의 FAO⁽¹⁾/IAEA⁽²⁾/WHO⁽³⁾의 합동
 전문가위원회에서 10kGy 까지의 照射食品에

대해 그 건전성에 문제가 없다는 결론이 내
 려졌다. 이것을 받아들여 1983년 FAO/WHO
 합동식품 규격위원회(Codex)는 食品照射実

Table 4 食品照射 실용화국 및 품목
 (1988. 7월 현재, IAEA자료에서)

국 명	시 설 명(도시명)	식 품 명	合計處理量 (Ton/년)
01 미 국	ISOMEDIX.Inc.(NY)	향신료	~1,000
	Radiation Technol.(NJ)	〃	~500
	Radiation Sterilizer(IL)	〃	~1,800
02 알 젠 틴	National Atomic Energy Commission (Buenos Aires)	향신료, 카카오분말, 시금치	~50
03 이스라엘	Sorvan (Yavne)	향신료	~120
04 네덜란드	GAMMASTER (Ede)	향신료, 냉동식품, 가금 육, 건조야채, 卵粉末	~1,800
05 한 국	KAERI (Seoul)	마늘분말	-
06 쿠 바	Institute of Food Industrial Research (Havana)	감자, 양파	~500
07 소비에트	Odessa Port Elevator (Odessa)	밀	~400,000
08 타 이	OAEP (Bangkok)	양파, 發酵소세지	~600
09 중 국	Shanghai Irradiation Center (Shanghai)	감자, 사과	~500
10 칠 레	CCHEN (Santiago)	양파, 감자, 건조야채, 닭고기	~500
11 일 본	士幌町農協 (北海道)	감자	15~20,000
12 노르웨이	Inst. for Energy Technol. (Kjeller)	향신료	-
13 헝 가 리	AGROSTER (Budapest)	향신료	~400
14 동 독	Central Inst. Isotop. Radiat. Res (Weideroda)	양파	~600
	Queis Agric. Coop (Spickendorf)	양파	~5,000
	VEB Prowiko (Shoenebeck)	酸素溶液	~300
15 핀 란 드	KOLMI-SET oy (Ilomantsi)	향신료	-
16 프 랑 스	Conservatome (Lyon)	향신료	~2,500
	Caric (Paris)	향신료, 가금육	~500
	SPI (Vannes)	가금육, 骨無냉동닭고기	~2,000
	Oris (Nice)	향신료, 야채, 조미료	~200
17 브라질	EMBRARAD (Sao Paulo)	향신료	~200
18 벨 기 에	IRE (Fleurus)	향신료, 건조야채, 냉 동식품	8~10,000
	Nuclear Devel. Corp ISO-STER (Johannesberg)	과실, 감자, 양파, 향신 료, 건조야채	~1,000
19 남아프리카	High Energy Processing (Pelindaba)	과실, 향신료, 감자, 양파	~20,000
	Ruder Boskovich Inst. (Zagreb)	향신료	-
20 유고슬라비아	Boris Kidrich Inst (Belgrade)	향신료	~100

用化에 필요한 규격기준을 채택하여, 가맹각국에 이것을 받아들이기를 권고했다. Codex의 권고는 약제처리나 식품첨가물의 규제에도 크나큰 영향력을 지니고 있기 때문에 정치적으로도 영향력이 크다. 일본에서는 1973년에 감자의 방사선처리의 실용화에 세계에서 처음으로 성공했지만, 세계각국에서의 실용화는 1980년 무렵부터 활발해지기 시작했다. 照射食品의 허가국은 1988년에 33개국에 이르러, 약 90 품목의 식품이 허가된 상태에 있다. 선진국에서는 미국, 프랑스, 네덜란드, 벨기에, 소련, 헝가리 등의 나라들이 食品照射의 실용화에 열을 올리고 있고, 최근에는 중국이나 태국 같은 나라에서도 실용화가 시작되고 있다. (Table 4).

미국에서는 1986년 4월에 1kGy 이하에서의 생선과실 및 야채류의 照射, 30kGy까지의 香辛料類의 照射가 FDA에 의해 허가되었다. 그 밖에 1kGy이하로서의 돼지고기의 기생충防除를 위한 照射도 허가되어 있고, 딸기의 곰팡이 방지 등을 목적으로 하는 照射도 머지않아 허가될 전망이다이라고 한다. 미국에서는 에너지省 등이 중심이 되어 플로리다, 알래스카, 워싱턴, 캘리포니아, 하와이, 오클라호마의 여섯 군데에 세시움-137 등을 사용한 모델플랜트의 설치를 계획했기 때문에 반대운동이 일시활발하게 되었지만, 그 후 전자가속기 이용으로 병경함으로써 반대운동은 진정되었다 한다. 한 때 미국에서는 1968년에 照射베이컨의 허가를 FDA가 취소하는 따위의 혼란이 있었지만, 이것은 당시의 FDA의 食品照射許可의 기준이 명확하지 않았다는 것과, 육군의 건전성의 데이터가 불충분했기 때문이며, 1980년 이후도 FDA의 藥劑나 照射食品의 허가에 관한 기본적인 생각에는 변함이 없다. FDA가 1kGy 이하에서의 照射處理를 무조건 허가한 이유는 放射線分解生成物이 微量이어서, 인체의 건강에의 영향은 전혀 생각할 수 없다고 판단했기 때문이며, 1kGy 이상의 照射食品의 허가에는 長期毒性試驗의 데이터를 요구하고 있다.

프랑스 (Fig.1)나 네덜란드, 벨기에에서는 香辛料나 冷凍魚貝類, 냉동 닭고기가 연간 5,

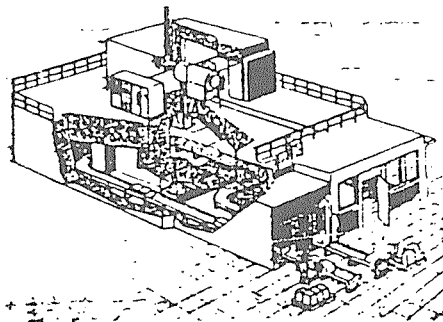


Fig.1 高에너지 電子線에 의한 패키지 照射施設

000~10,000톤 처리되고 있으며, 이것들이 EC 가맹국에 유통되고 있다고 하여 문제가 되어 있다. 한편 貝 EC본부에서는 食品照射를 추진하기 위한 규격기준을 제안하고 있으며, 일부 나라들의 소극적 태도를 무릎쓰고라도 실용화를 추진할 것으로 생각된다. 소련이나 중국에서도 食品照射의 실용화에 열을 올리고 소련에서는 곡물, 돼지고기, 치즈의 電子線照射를 실용화하고 있고(Fig. 2), 중국에서는 감자나 고구마의 照射가 실용화되어 있다. 동남아세아에서는 食中毒菌이나 寄生虫의 피해를 방지하기 위한 실용화가 태국, 인도네시아, 방글라데시 등에서 검토되고 있다. 또한 대만이나 한국에서는 香辛料 등의 實用照射가 시작되어 있어 일본의 현상은 결코 선진국이라 할 수 없는 상황이 되고 있다.

세계각국에서 食品照射實用化의 움직임이 활발히 되어왔기 때문에, 1984년부터 國際食品照射諮問그룹이 각국에서의 實用化促進을 목적으로 한 활동을 개시하여, 26개국이 참가하고 있다. 또한 작년 12월에 즈네브에서 개최된 照射食品의 수용, 관리, 무역에 관한 국제회의에서는 照射食品 實用化推進에 필요한 국제합의문서가 채택되어 세계의 대세는 實用化推進의 방향으로 움직이고 있다.

일본에서는 무공해의 자연식품을 선호하는 경향이 소비자 사이에 확산되고 있지만, 반면으로는 食中毒菌과 같은 기생충의 피해의 증대도 예상되어, 그 해결책으로서 食品照射技術이 재평가되어 갈 것이라 예상된다.