

## 제 3 장 食品照射의 實用化와 照射施設

# 食品에 對한 放射線의 利用

〈제 3 회〉

權 重 浩

한국에너지연구소 · 농박

食品의 放射線 照射란 가열이나 냉동과 같은 物理的인 식품저장·가공 방법으로서 식량자원의 손실방지와 식품의 위생적 생산에 효과적으로 이용될 수 있는 기술이다. 그러나 食品照射란 모든 문제점을 해결할 수 있는 만능의 기술이 아니며 특정한 목적에 의해 선별된 식품에 이용될 수 있고, 또한 현재까지 이용되어 오고 있는 여러가지 방법 즉 가열, 냉장, 냉동, 화학약품처리 등의 문제점이나. 단점을 보완하기 위한 또하나의 방법으로서 식품산업에 점차 이용되고 있다.

본 제목의 제1회<sup>1)</sup>에서는 食品照射 技術의 基本原理와 應用分野를 소개하였고, 제2회<sup>2)</sup>에서는 食品照射의 安全性에서 照射食品의 健全性 評價와 國際的 推移를 정리하였다. 이번호에서는 식품조사 기술의 실용화에 관련된 경제적 측면, 照射食品의 포장, 수용성, 법적규정, 照射施設들을 차례로 정리하고 앞으로의 연구방향을 제시하면서 본 내용을 마무리 하고자 한다.

### 1. 食品照射의 經濟的 側面

食品照射의 경제성에 관련된 내용은 근본적으로 타 식품제조 및 가공방법과 유사하다. 먼저 자본비(capital costs 또는 fixed costs)는 照射施設과 기타 필요한 부수시설의 설치에 소요되는 비용으로서 이는 시설의 운영전에 필요한 경비라고 볼 수 있다. 식품조사에서 필수적인 자본비 항목은 표1과 같이 照射線源, 施設, 부속시설, 설계, 부지, 건물 등이며, 이 자본비를 결정하는 주된 요인은 照射施設의 크기 즉 용량이다. 시설의 용량은 상호 관련을 가지는 여러가지 인자에 의해 지배를 받게되며(표2), 이는 처리물량과 이에 관련한 제반 기술적 관리적 사항 들이다. 한 예로서 線源의 효율, 다시 말해서 방출되는 방사선 에너지 가운데 표적물질에 흡수되는 에너지의 比는 線源의 크기를

주로 결정하게 되는데 선원의 효율이 높을수록 선원의 크기는 작을 수 있다.

〈표1〉 식품照射에 관련된 자본비 항목

1. 照射선원
  - 방사성동위원소 또는 기계
  - 운송
  - 설치
  - 1차 년도의 동위원소 감쇠
2. 照射시설
  - 동위원소 보관설비
  - 동위원소 저장 및 운송장치
  - 照射제품 콘베이어
  - 설비의 환기 및 냉각장치
  - 조정장치
  - 선량 측정 실험실
3. 부속시설
  - 입·출고 시설
  - 저장(냉동, 냉장 포함), 가공설비
  - 시설관리실
  - 기타
4. 건설계획 및 설계
5. 부지(땅)
6. 부지정리
7. 건물 건설
8. 운용자금
9. 비상 준비금

〈표2〉 식품照射시설의 용량에 관련된 사항

1. 방사선처리 요구물량
2. 가동시간(연간 또는 주간)
3. 제품의 밀도와 크기
4. 가용 에너지의 강도와 범위
5. 照射선원 효율
6. 제품 운송 방법

운영비(operating costs) 즉, 시설의 운영에 관련된 경비에는 일정기간 동안 시설의 가동에서 가져오는 이윤을 바탕으로 한 시설의 감가상각, 인건비, 선원보충비, 이자, 보험, 세금등이 포함

된다. 이상의 내용 중에서 선원보충비(Co-60 이나 Cs-137 조사시설의 경우)를 제외한 나머지 항목은 일반 식품제조·가공시설의 운영에 소요되는 비용과 같다. 가장 보편적으로 이용되고 있는 Co-60 조사시설에 있어서는 線源의 강도가 자연붕괴에 의해 연간 13%정도 감소되므로 보충이 필요하다.

이상의 조사시설에 대한 설치와 운영에 관련된 경비들은 결국 시설의 경영상 생산성의 추이에 따라 좌우되며, 한 예로서 칠레에서는 1985년 미화 1백만 달러가 투자된 Co-60 조사시설의 경제성 연구에서 과일, 향신료 및 가금육등의 照射로서 가동 3년후에 모든 투자자본을 상환할 수 있었다고 하며, 이 때 주요 식품들의 照射費用은 표3과 같이 나타났다.<sup>9)</sup> 그리고 대

〈표3〉 몇가지 식품의 방사선 照射 비용

품 목	처리목적	照射(kGy)	비용(\$US)
과 일	살 충	0.5	2.5¢ / kg
닭고기	위생화	3.5	7.5¢ / kg
향신료	살충및위생화	5.0	25.0¢ / kg

단위 상업용 조사시설의 건설과 운영에 관련된 구체적인 내용은 다음 기회에 소개하기로 한다.

지난호에서 소개한 바와같이 식품에 이용될 수 있는 방사선 에너지 중 특히 감마선은 투과력이 강하여 식품의 종류나 크기에 관계없이 완포장된 상태로 처리가 가능하여 2차오염이 없으므로 유통과정에서 냉장이나 냉동이 필요치 않으며, 표4에 나타난 바와 같이 기타 식품 가공방법과 소요되는 에너지를 비교해 볼 때 그 절감효과는 매우 큰 것을 알 수 있다.<sup>9)</sup> 한편 완포장된 식품을 연속처리 할 수 있는 방사선 조사는 시설의 가동율을 높임으로써 상대적으로 조사비용을 낮출 수 있으며, 특히 처리식품의 품질과 처리공정의 간편성, 그리고 화학약품 사용에 따른 위생적 측면등을 고려해 볼 때 식품조사는 직접적인 경비의 절감외에도 제품의 부가가치 향상에 따른 간접적인 경제적 효과도 인정될 수 있다.

〈표4〉 식품가공 방법별 소요 에너지 비교

가공방법	에너지 값(KJ / kg)
방사선 발아억제(0.01kGy 照射)	2
방사선 살충(0.25kGy 照射)	7
방사선 부분 살균(2.5kGy 照射)	21
방사선 멸균(30kGy 照射)	157
냉장(0℃, 5.5일간)	318
냉장(0℃, 10.5일간)	396
가열에 의한 멸균	918
조리(93℃)	2558
냉동(-25℃, 3.5주)	5149
송풍동결(4.4℃→-23.3℃)	7552

## 2. 照射食品의 包裝

食品照射에 사용되는 포장방법이나 포장재는 포장된 식품에 대하여 위생적이며 照射前後의 취급이나 관리에 있어서도 안전하고 적당한 특성을 지녀야 한다. 또한 포장재료는 방사선 처리 과정에서 식품과의 상호작용에 의해 휘발성 성분이나 어떤 다른 유해물질을 생성시켜서는 안된다. 그러나 방사선은 여러가지 포장재료에 대하여 그 물리적 성질 및 기계적 특성(장력강도, 파열강도, 탄성, 부서짐성, 투명성, 색도, 마손내성, 응력, 부식성, 수분과 가스투과성 등)에 변화를 가져올 수 있으며, 또한 포장재료는 방사선 조사시 온도 및 습도등의 환경요인에도 영향을 받을 수 있다.

식품조사에 사용될 수 있는 포장재료의 선택과 이에 대한 방사선의 영향에 관한 연구는 미국의 여러기관(US Army, USDOE등)에 의해 1960년대부터 시작되었으며, 이들은 초고선량까지의 방사선을 이용하여 다양한 분야의 내용을 검토하였다. 미국 식품의약품국(FDA)에서는 이상의 연구결과를 바탕으로 식품조사에 사용될 수 있는 포장재료와 그 최대 허용선량을 발표하였다(표5).

식품포장재의 종류는 크게 유리 및 금속재, 셀룰로오스 제품 그리고 합성 polymer로 구분할 수 있으며, 이들 중 유리재는 방사선에 의해 변색되기 쉽고 두꺼운 유리 포장재는 또한 전자선에 부적합하다. 철재 포장재의 경우에도 방

〈표5〉 食品照射에 사용될 수 있는 주요 포장재료 (USFDA)

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

사선 처리에 따라 내용물을 오염시킬 수 있는 여러가지 부작용이 일어나므로 비교적 값싸고 가벼운 포장재료가 식품조사에 보다 쉽게 이용될 수 있다. 그리고 합성 polymer 제품에 있어서는 고선량의 방사선 조사에 의해 결합이 끊어지고 유리가 생성됨에 따라 2차적으로 이 화학적 변화를 야기하여 결국은 포장재료에 물리적인 특성에 변화를 가져온다.

食品照射에 있어서 적당한 包裝材料의 선택은 照射目的 즉, 식품에 처리코자 하는 照射線量에 따라 결정되지만 대부분 10kGy 이상의 照射線量에 이용되므로 광범위한 포장재료가 선택될 수 있다. 그러나 특수한 목적의 경우 다소 높은 線量이 요구되므로 照射前後의 貯藏, 管理등 여러가지 사항을 고려하여 가장 적당한 포장재료의 선택이 사전 검토되어야 한다.

## 3. 産業的 實用化와 節次

### 1) 食品照射의 受容性

새로운 식품이나 식품가공 방법이 개발되어 본격적으로 이용되기 위해서는 그 시장성과 소

비자 수용성이 전제되어야 한다. 마찬가지로 食品照射 技術도 성공적으로 산업화되기 위해서는 사용자와 일반 소비자들이 새로운 기술에 대해 올바른 이해와 잇점을 충분히 파악할 수 있도록 정책적, 법적, 사회적, 심리적 요소들이 경제적인 측면에 못지않게 잘 뒷받침 되어야 한다.

食品照射에 대한 연구개발은 대부분의 나라에서 국가 연구기관이나 정부의 지원에 의한 대학등에서 수행되었기 때문에 일반기업이나 소비자 단체에서는 食品照射에 대한 실제적인 지식이나 정보에 거의 소외된 상태이다. 따라서 일단 정부에서 식품조사 기술을 실용화하기 위해 수용하게 되면 그 다음 단계에는 이 기술을 이용하게 될 기업으로 하여금 다음과 같은 몇가지 사항을 인식하도록 주지시켜야 한다. 이는 첫째, 食品照射의 經濟的 잇점, 둘째, 照射食品에 대한 소비자의 관심, 셋째, 실용화를 위한 정부의 뒷받침 등이다.

食品照射의 産業化 단계에 있어서 정부와 기업간의 이상과 같은 목적을 원만히 수행하기 위해서는 食品照射 運營委員會(steering committee) 즉, 관련 정부기관(보건사회부, 농림수산부, 과학기술처등)과 기업(무역업자, 제조업자, 방사선 가공업자) 및 소비자 단체의 대표로 구성된 위원회를 구성하여 산업화의 과정에서 모든 절차와 심의를 집행해 나가게 함으로써 새로운 기술과 그 제품에 대한 정부와 기업 그리고 소비자 상호간의 이해와 신뢰를 넓혀갈 수 있으며, 나아가서 시장확대와 照射食品의 국제간 무역에 있어서도, 국가 차원에서의 능동적인 대처가 가능하리라고 본다.

한편 산업화 단계에 있어서 照射食品의 受容性은 다음 몇가지 측면에서 검토될 수 있다.

### (1) 生産(利用)者의 受容性

방사선 조사시설을 이용하여 제품을 생산하는 기업의 입장에서는 그 기술에 대한 기본적인 이해와 照射處理에 따른 식품에서의 명백한 효과가 확인되어야 하며, 나아가 지금까지 이용해 오던 시설과의 경제적 타당성을 포함한 운영상의 여러가지 측면이 비교 검토되어야 한다.

### (2) 消費者의 受容性

食品照射의 산업적 성공 여부는 결국 소비자의 수용성에 달려 있다고 볼 수 있다. 따라서 새로운 가공방법과 그 제품은 소비자들에게 효과적인 매체에 의해 알려지고 충분한 이해와 인식이 있어야 한다. 그러기 위해서는 조사식품에 대한 소비자의 태도를 알기 위해 시장조사와 자문 및 교육, 광고, 공공매체등의 활용방안을 체계적으로 모색할 수 있는 프로그램이 마련되어야 하는데, 지금까지는 각국에서 나름대로의 방안을 준비하여 소비자의 照射食品에 대한 수용성을 넓혀가고 있으나 제도화되지 못한 실정에 있다.

식품에 대한 소비자의 반응은 원래 매우 주관적이며, 복잡 다양하다. 照射食品은 일종의 가공식품으로 간주되므로 소비자의 관심사가 되고 있으며, 특히 放射線에 대한 두려움과 食品照射에 대한 이해의 부족에서 소비자들은 그 안전성에 대해 우려와 두려움을 표시하게 된다. 이 같은 사실은 1984년 미국에서 범 국가적으로 실시된 照射食品의 소비자 반응조사와 최근 일부 보도된 국내 소비자 반응조사 내용에서도 밝혀진바 대로 대부분의 응답자가 食品照射(食品의 放射線 照射)를 정확히 알지 못하면서도 照射된 식품에 대해 부정적인 입장을 나타내고 있다.

따라서 관련 국제기관에서는 식품조사의 산업화에 있어서 가장 중요시 되고 있는 소비자의 수용성을 보다 효과적으로 높여나가기 위해 모든 국가에서 다같이 활용할 수 있는 국제적인 차원의 방안과 제도 마련에 노력하고 있으며, 照射食品에 대한 소비자의 수용에 있어서는 적어도 다음의 세가지 사항은 반드시 주지되어야 한다고 지적하고 있다.

i) 식품이 어떤 목적을 위해 방사선 처리되었다는 사실, ii) 방사선 처리로서 어떤 형태로든 식품의 품질이 개선되었다는 사실, iii) 방사선 처리된 식품은 처리되지 않은 식품과 동일한 품질 특성을 지니며 정부당국의 합법적인 절차에 의해 생산·공급될 뿐 아니라 대부분의 경우 방사선 조사가 아니면 타 방법의 의

해서 처리되어야 하는 식품이 대상이 된다는 사실 등이다.

(3) 貿易에서의 受容性

국가관의 貿易을 대상으로 하는 식품에 대하여는 경제적인 측면과 소비자의 수용성 외에도 상호간의 照射식품에 대한 수용범위와 수입품에 대한 통관사항이 상이할 수 있으므로 엄격한 품질관리와 고도의 상호신뢰를 바탕으로 방사선 처리에 대한 기록이 명백히 전달 될 수 있어야 한다.

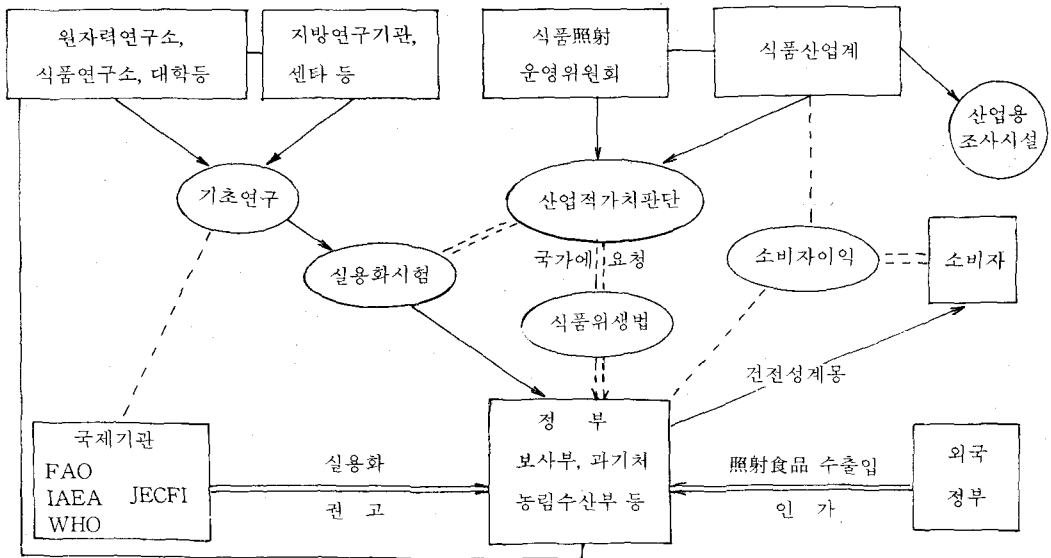
2) 産業化 順路

앞에서도 언급된 바와 같이 食品照射는 原子力 에너지를 이용하는 기술분야로서 어떤 다른 가공 및 저장방법 보다도 장기간 그 타당성 연구가 수행되었고, 국가간 협력과 정부 주도의 형태로 실용화가 추진되어 왔다.

본 란은 정부 주도의 식품조사 연구와 그 산업화 과정을 소개함에 있어서 세계 최초로 산업적 照射가 실용화된 일본의 경우를 들어 간단히 검토해 보고자 한다.

日本에서의 食品照射 研究는 1945년부터 동경 수산대학의 연구진에 의하여 수산물의 저장을 목적으로 시작되었으며, 그 뒤 여러 연구소와 대학에서도 이에 대한 관심과 적극적인 참여로서 1960년대 중반에는 전국적인 食品照射 연구단체가 구성되었다. 이어 일본 원자력 위원회에서는 食品照射 자문단체를 발족시켜 이로 하여금 食品照射 프로그램에 관련된 사항을 심의토록 하고 1966년에는 식품조사 연구개발에 대한 기본계획을 수립하였다. 또한 과기청 원자력국에서는 食品照射 研究 運營委員會를 두어 농림수산성, 후생성, 통산성등 정부기관과 대학등이 공동 참여하는 연구를 주관토록 하면서 실용화를 위한 기초연구, 건전성 시험, 照射效果 시험, 照射技術, 포장재료 시험 등에 대한 종합적인 연구를 수행하였다. 이상의 연구결과를 바탕으로 1972년에는 照射감자에 대한 법적허가가 발표되어 세계 최초의 산업적 조사가 시작되었고, 그 밖의 식품에 대해서도 법적허가를 위한 검토가 진행중에 있다.

한편 그림1은 감마선이나 전자선을 이용한



<그림1> 食品照射의 실용화 절차

食品照射 技術의 實用化 절차를 요약해 본 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 정부 연구기관이나 대학 등에서 수행된 기초 및 실용화 연구결과를 바탕으로 運營委員會 등에서는 식품 산업계와 함께 산업적 실용화 가치를 판단하는데, 이에는 소비자의 이익과 照射 對象食品에 대한 소비자의 관심 및 태도가 중요한 요소가 된다. 나아가 산업적 실용화의 가치가 인정된 품목에 대해서는 정부로부터의 食品衛生法이 마련되고 그 이용에 대한 소비자 교육이 병행되어야 하며, 정부는 이상과 같은 食品照射의 산업화 과정에 있어서 관련 국제기관으로부터의 정보교환 및 기술적 자문과 또한 외국 정부와의 照射食品의 무역에 대한 협력과 수입품의 인·허가 등을 관장, 조정하게 된다.

### 3) 實用化 現況

放射線 照射食品의 무조건적 법적허가는 지난호에서 밝힌 바 대로 세계 23개국에서 40여 개 식품에 이르고 있다. 그리고 상업적으로 실용화되고 있는 나라는 1987년말 현재 17개국에 이르고, 또다른 12개국에서는 약 30개의 새로운 산업용 조사시설(의료제품 살균, 식품조사

용 등)을 건설 중이거나 건설계획에 있다. 그리하여 1990년까지는 적어도 25개국에서 산업적 규모의 식품조사가 실용화될 것으로 기대하고 있다.<sup>6)</sup>

표6은 각국의 食品照射 實用化 現況을 나타낸 것으로서 현재 처리되고 있는 식품의 양과 종류는 나라마다 그 수요와 기술적, 경제적 배경에 따라 다르며, 향신료를 비롯한 건조 채소류와 근채류 식품등이 주요 대상품목이라고 볼 수 있다. 이들 식품들은 대부분 의료용품의 멸균이나 기타 용도에 종합적으로 활용될 수 있는 다목적용 조사시설에 의해 처리되고 있으며, 전 세계적으로는 140여개의 照射施設이 산업 분야에 이용되고 있다.

### 4. 照射食品에 대한 法的規定

해당 정부는 소비자의 안전과 소비자가 구매하는 照射食品에 있어서 올바른 처리와 그 규격이 잘 지켜 지도록 照射食品의 생산, 저장 및 유통을 항시 규제하여야 한다. 또한 이와 같은 규정들은 소비자들이 조사식품에 대해 신뢰감을 가질 수 있도록 뒷받침 하여야 한다.

〈표6〉 식품조사의 실용화 현황(1987)

국 가	회사(도시)	처리식품(톤/년)	개시년도
Belgium	IRE(Fleurus)	Spices(350 t/y), Dehydraed vegetahbles (700 t/y), Deep- frozen foods(2000 t/y)	1981
Brazil	EMBRARAD (Sao Paulo)	Spices, Dehydrated vegetables	1985
Chile	CCHEN (Santiago)	Onions (200-300 t/y), Potatoes(50-100 t/y), Spices & dehydrated vegetables (20~30 t/y)	1983
China	Nuclear Research Institute (Shanghai)	Potatoes	1985
Denmark	Riso National Laboratory	Spices	1986
Finland	KOLMI-SET Oy (Ilomantsi)	Spices	1986
France	Conservatome (Lyon) Caric (Paris)	Spices (500-600 t/y), Spices, poultry (300 t/y)	1986

국 가	회사(도시)	처리식품(톤/년)	개시년도
German Dem. Rep.	Cent. Inst. Isotop. Radiat. Res. (Weideroda)	Onions(600 t/y) Garlic(4 t/y)	1983
	Queis Agric. Coop. (Spickendorf)	Onions (4000 t/y)	1986
	VEB Prowiko (Shoenebeck)	Enzyme Solution (300 t/y)	1986
Hungary	AGROSTER (Budapest)	Spices (200 t/y) Wine cork (100m <sup>3</sup> )	1982
Israel	Sorvan Radiation Ltd. (Yavne)	Spices (120 t/y)	1986
Japan	Shihoro Agricultural Cooperative (Hokkaido)	Potatoes (20,000 t/y)	1973
Netherlan	GAMMASTER (Ede)	Spices (100 t/y) Frozen products Poultry, spices, Dehydrated vegetables Rice, dehydrated blood, Egg powder, Packaging materials	1978
	Pilot Plant for Food Irradiation (Wageningen)	Spices	1982
Norway	Institute for Energy Technology (Kjeller)	Spices (500 t/y)	1982
South Africa	Nuclear Development Corporation ISO-STER	Fruits, meats, onions, potatoes Spices Dehydrated vegetables	1981
	High Energy Processing	Fruits	1982
U.S.A	Radiaion Technology, Inc.	Spices (500 t/y)	1984
	Isomedix, Inc.	Spices (500 t/y)	1984
	Radiation Sterilizer, Inc.	Spices (500 t/y)	1984
USSR	Odessa Port Elevator RDU (Odessa)	Grains (400,000 t/y)	1983
Yugoslavia	Ruder Boskovic Institute (Zagreb)	Black peper	1985

다음은 1983년 국제식품규격위원회(Codex Alimentarius Commission, CAC)에서 채택하여 122개 회원국에 활용을 권장한 국제적 放射線 照射食品 一般規格(codex general standard for irradiated foods, world-wide standard)의 주요 내용을 소개한다.

#### 가. 범위

이 규격은 방사선에 의해 처리되는 식품에 한하여 적용된다.

#### 나. 처리의 일반 요구사항

다음의 사항들은 食品照射에서 안전하게 지

켜져야 한다.

#### 나-1. 방사선 조사선원

- <sup>60</sup>Co 또는 <sup>137</sup>Cs 동위원소로부터의  $\gamma$ 선.
- 5MeV 이하의 기계적 선원에서 발생하는 X선.
- 10MeV 이하의 기계적 선원에서 발생하는 전자선.

#### 나-2. 흡수선량

처리식품에 대한 방사선 에너지의 흡수선량(조사량)은 전체적으로 평균 10kGy를 초과할 수 없다.

### 나-3. 처리시설 및 규제

• 식품의 방사선 조사는 정부 관계당국에 의해 허가되고 상기목적에 따라 등록된 시설에서만 수행할 수 있다.

• 시설은 식품에 방사선을 처리함에 있어서 안전성, 효율성 및 위생적 측면 등에서 문제가 없어야 한다.

• 시설은 합법적으로 훈련된 사람에 의해 운전되어야 한다.

• 시설의 공정제어는 정확한 방사선량 측정을 포함한 모든 사항을 기록 유지하도록 규정한다.

• 시설의 운영에 관련된 모든 증서와 기록은 관계당국의 검사에 항상 공개되어야 한다.

#### 다. 照射식품의 위생

방사선 조사식품의 위생적인 사항은 CAC에서 규정·추천한 식품위생 규약(CAC/RCPI-1969, Rev. 1. 1979)에 부합하여야 하며, 조사식품의 미생물학적 안전성과 영양학적 적격성은 자국의 공공 보건규정에 따라 준수되어야 한다.

#### 라. 기술적 요구사항

##### 라-1. 照射조건

식품에 대한 방사선 조사는 위생적인 목적이거나 기타 식품의 생산, 가공, 저장 및 유통상에서 뚜렷한 목적과 필요성에 입각하여야 한다.

##### 라-2. 照射될 식품의 품질과 포장

이용되는 방사선 조사량은 달성하고자 하는 기술적 및 공중보건적 목적에 상응하여야 하며, 이 같은 목적을 위해 照射 대상식품은 균일한 품질특성을 가지고, 적당한 포장에 의해 조사 처리 전후에 안전하게 다루어 져야 한다.

##### 마. 再照射

해충방제를 위한 저수분 식품(곡류, 두류, 견조식품등)을 제외하고는 방사선의 재조사는 허용되지 않으나 다음과 같은 식품의 경우에는 재조사로 인정되지 않는다.

• 1kGy 이하로 조사된 가공원료를 이용하여 제조된 뒤 또 다른 기술적 목적으로 照射하는 식품.

• 照射된 식품원료가 5%미만 혼합된 가공

식품을 다른 기술적 목적으로 다시 照射하는 경우.

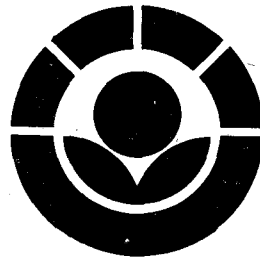
그러나 이상과 같은 再照射의 경우에도 전체 吸收線量이 10kGy를 초과할 수 있다.

##### 바. 照射식품의 분류표시

照射된 식품은 포장의 유무에 관계없이 방사선 조사사항에 대한 정보를 제공하기 위하여 허가 등록된 처리시설과 처리일자, 품목 확인번호 등이 기록된 운송서류가 첨부되어야 하며, 소비자에게 방사선 조사에 대한 사실을 알릴 수 있어야 한다. 이상이 국제식품규격위원회의 조사식품에 대한 일반규격의 내용이다.

한편 국내에서는 보건사회부 식품위생 심의위원회의 결정에 따라 1987년 10월 6개 품목(감자, 양파, 마늘, 밤, 생버섯, 건조버섯)에 대하여 방사선 조사를 허가 고시하고 照射된 식품에 대하여는 용기 또는 포장에 그림2와 같은 3호 활자체 이상의 국제적 마크를 필수적으로 부착하도록 규정하였다. 그리고 照射業者는 처리식품의 照射 年月日과 時間, 처리량, 照射線量, 선량보증, 조사목적 등을 2년간기록, 보존토록 하였다. 또한 개정고시안에는 照射食品에 대한 방사선 再照射는 허용되지 않으며 照射食品을 원료로 한 가공식품도 다시 照射해서는 안된다고 규정하고 照射食品은 용기에 넣거나 포장하여 판매하여야 한다고 고시하였다.

참고로 미국 FDA의 照射食品에 대한 표시 규정을 보면<sup>7)</sup> 소매단계에서는 그림2와 같은 마크와 "treated with radiation" 또는 "treated with



〈그림2〉放射線 照射食品에 대한 국제적 表示

irradiation"을 병기하도록 하고, 도매단계에서는 "treated with radiation—do not irradiate



again” 또는 “treated with radiation—do not irradiate again”을 필수사항으로 규정하고 있다.

## 5. 食品照射施設

### 1) 食品照射用 放射線(源)

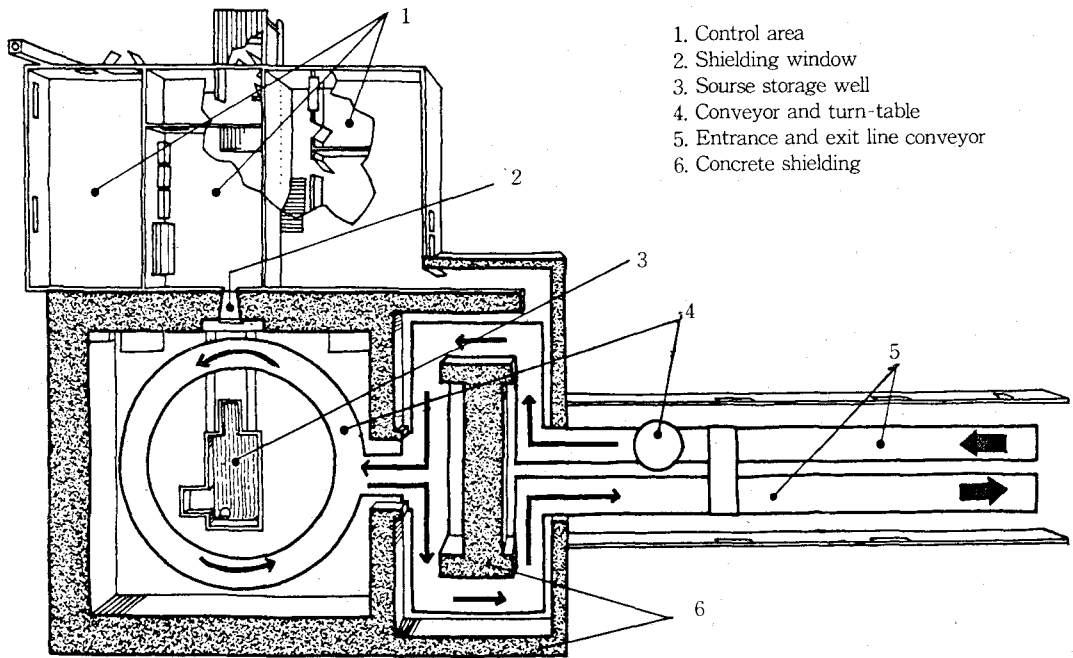
앞서 4항에서 국제식품규격위원회(CAC)의 일반기준이 밝힌 바 대로 식품照射用 放射線(源)은 i)  $^{60}\text{Co}$  또는  $^{137}\text{Cs}$  동위원소로부터의 감마선, ii) 5MeV 이하의 기계적 선원에서 발생하는 X선, 그리고 iii) 10MeV 이하의 전자선(electrons)이다. 이들 중 현재 광범위하게 이용되고 있는 것은  $^{60}\text{Co}$ (원자로 중에서  $^{59}\text{Co}$ 에 중성자를 照射하여 放射化시킨 것으로 캐나다, 미국, 영국등에서 공급가능) 감마선이고,  $^{137}\text{Cs}$ 은 원자로내의 우라늄등의 핵분열 생성물에서 분리되나 대량공급이 어려워 이용이 제한되어 있다. 그리고 전자선은 에너지의 강도와 공정의 제어가 간편하여 최근 이용이 확대되고 있으나 X선은 식품조사에 거의 활용되지 않고 있다.

### 2) 照射對象食品과 放射線

식품照射 처리의 특징 중의 하나는 연속처리가 용이하고 처리조건이 균일하다는 것이다. 감마선원의 경우 照射時間이나 콘베이어의 속도를 조절함으로써 照射線量(吸收線量)을 결정하게 된다. 그러나 실용화 단계에서는 照射費用이나 수송비, 유통시스템 등을 고려하여 照射施設을 선택하게 되는데 시설의 형태는 그 목적에 따라 단일(전용) 목적용과 다목적용, 그리고 이동식과 고정식으로 나눌 수 있다. 電子線의 경우에는 감마선에 비해 방사선 에너지의 출력이 커서 高線量率에 의해 신속처리가 가능하나 감마선에 비해 투과력이 약해 곡류등의 표면 살균이나 살충목적에 주로 쓰이고 있다.

### 3) 감마線專用 照射施設

이 照射施設은 단일품목을 대량으로 照射하도록 설계된 시설로서 그림3은 세계 최초로 食品照射가 산업화된 일본 북해도의 감자 照射施設의 평면도를 나타낸 것이다. 시설의 주요 구



〈그림3〉 감마線專用 照射施設의 평면도

성부분을 보면 (3)에 감마선 에너지를 내는  $C_{60}$  線源과 저장 pool이 있고 그 주위에는 감자를 대량으로 담는 수송용 콘테이너의 콘베이어와 균일한 照射를 위한 turn-table이 있으며 (4), 시설의 입구에는 照射 대상식품의 출입을 위한 콘베이어가 설치되어 있다(5). 그 밖에 시설의 (1), (2) 및 (3)은 운전실과 내부를 관찰할 수 있는 창, 그리고 방사선의 안전을 위한 遮蔽施設로 구성되어 있다. 이 시설은 1973년 이래 감자의 발아억제를 위해 가동되어 왔으며, 처리용량이나 관리, 정확성등에 있어서는 장점이 있으나 농산물의 수확시기가 제한되어 있어 시설의 가동율이 떨어진다. 따라서 양파나 마늘의 발아억제등 유사한 목적의 실용화가 이루어진다면 가동율을 높이는 데 도움이 될 것이다. 이와 유사한 시설은 이탈리아의 농협에서 건설하여 1987년 부터 가동을 시작한 것 등이 있다.

#### 4) 감마線 多目的用 照射施設

專用 照射施設에 대한 설명에서 언급되었듯이 감마선 조사시설의 개념은 비교적 간단하며 그 구성성분은 크게 放射線源, 콘베이어 시스템, 차폐시설, 그리고 운전관리실 등이다.

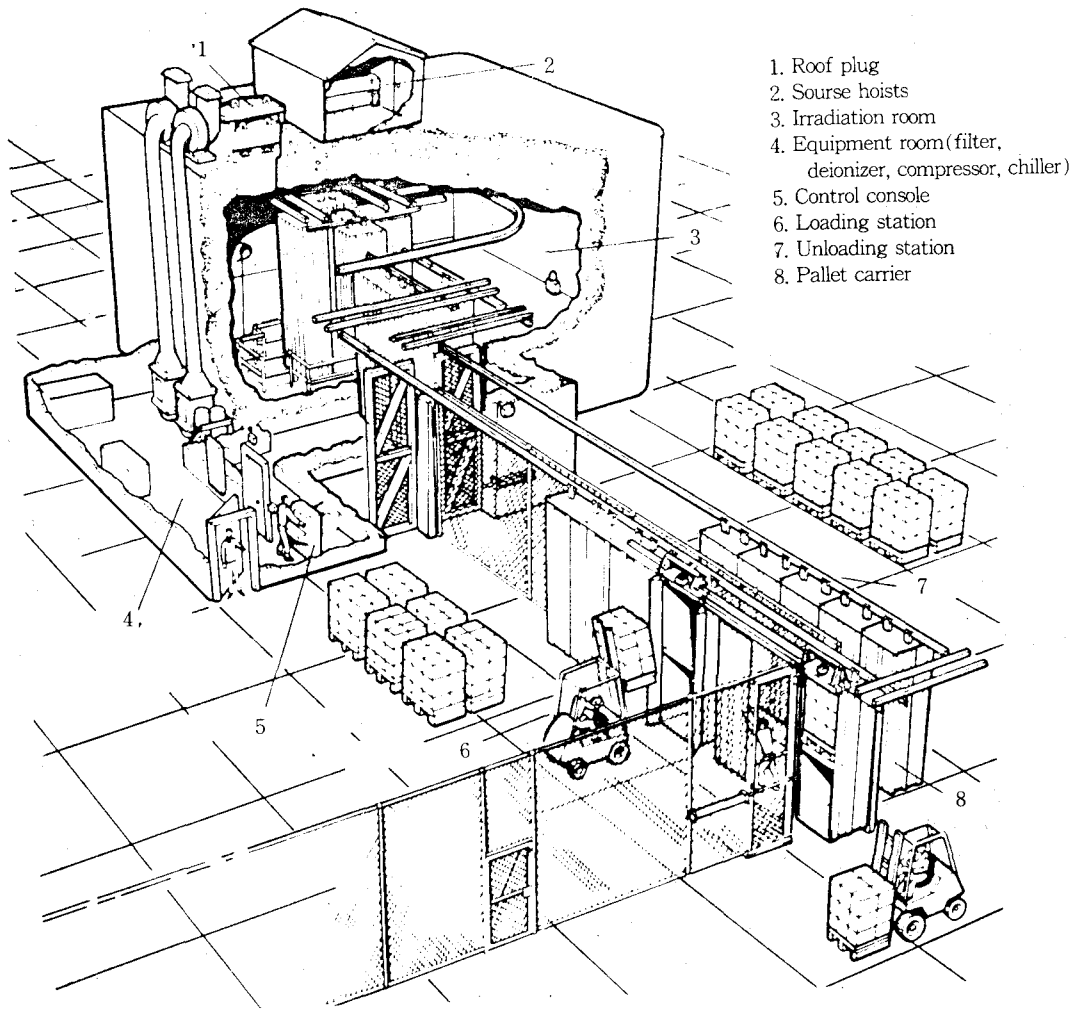
산업용 감마선 조사시설은 크게 네가지 형태로 구분할 수 있다. 즉, conveyor bed irradiator, carrier type irradiator, bulk irradiator 및 pallet box irradiator가 있는데 전자의 두가지 시설은 의료용품의 멸균용으로 적합하게 설계되었고, bulk irradiator는 옥수수, 밀, 곡류제품 등의 살충을 위해 대량 처리할 수 있도록 설계된 시설로서 일정 범위의 선량을 이용한다. 그리고 pallet box irradiator(累加線量式照射施設)은 食品照射와 같은 저선량 照射에 적합하도록 설계되어 있으며 신속하게 대량의 품목을 서로 다른 吸收線量으로 처리할 수 있도록 회전식 운반시설이 갖추어져 있다. 이 방식은 하향 조정식 운반기에 照射對象物이 담긴 두개의 pallet이 없어지면 특정한 선원 통과 메카니즘에 따라 네개의 운반기가 線源의 주위를 회전하면서 일정량의 방사선을 식품에 흡수시키게 된다. 이 메카니즘에서는 완전히 일회전이 끝나는 동

안에 pallet의 각 면은 2회씩 방사선에 노출하게 된다(그림4). 이 累加線量式 施設은 다목적의 서비스 조사시설로서 세계적으로 식품조사 및 의료제품의 멸균 등에 가장 많이 쓰여지고 있으며 국내에 설치된 대단위 상업용 조사시설도 이와 같은 형태이다.

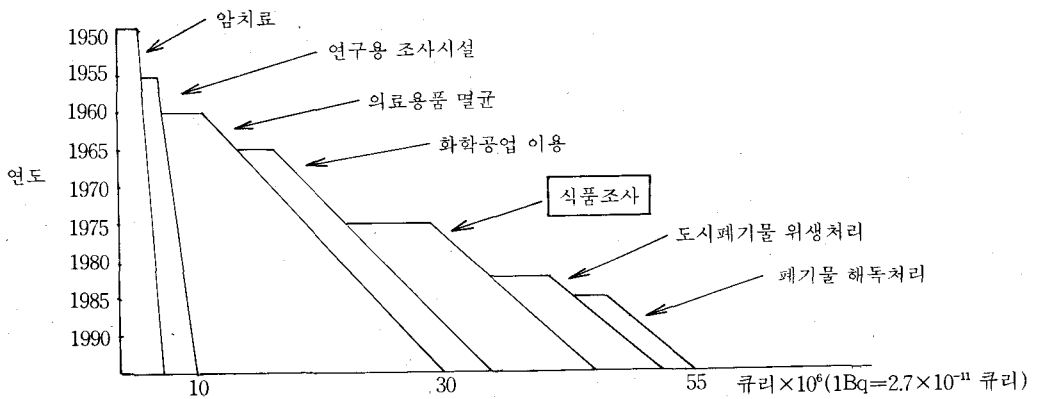
이상과 같은 감마선 조사시설에서 핵심이 될 수 있는것은 역시 감마선 에너지를 방출하는  $^{60}Co$ 이나  $^{137}Cs$  동위원소인데  $^{60}Co$ 은  $^{137}Cs$ 에 비해 반감기는 짧으나 생산이 용이하고 가격이 저렴하며, 특히 에너지의 강도에 있어서 3배 이상 앞서기 때문에 대부분  $^{60}Co$ 이 사용되고 있다. 그림 5는  $C_{60}$  동위원소의 응용분야 별 사용량을 나타낸 것으로서 의학적 용도 외에도 최근에는 의료제품의 멸균, 食品照射, 환경 폐수 처리 등 각 분야에 이용이 크게 늘어가고 있다.<sup>8)</sup>

#### 5) 電子加速器

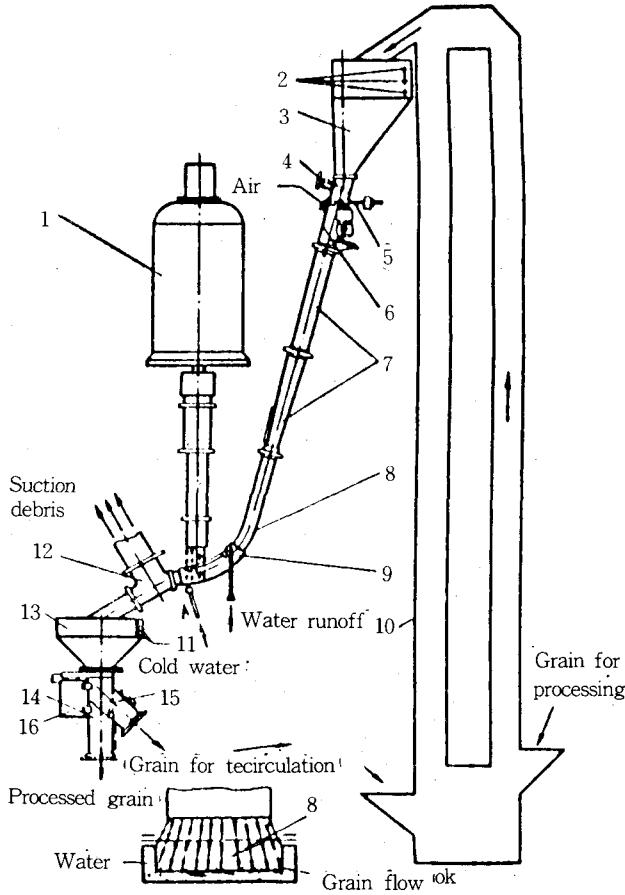
식품에 대한 電子線의 이용은 전자가속기에서 발생되는 10MeV 이하의 에너지를 사용할 수 있도록 규정되어 있으며, 전자선의 가장 큰 단점인 투과력 때문에 현재까지는 일부 식품의 살충과 표면살균 등의 목적에 주로 이용되고 있다. 그림 6은 소련에서 곡류의 살충을 위해 사용되고 있는 1.4MeV, 20kw의 전자 가속기 2대를 사용한 照射裝置로서 시간당 약 200톤의 처리용량을 가지고 있다. 이 시설은 수직형의 전자선과 수평형의 곡류 라인을 설치하고 약 7-9mm의 두께와 1.5m 넓이의 곡물을 초당 약 6m의 속도로 통과시키면서 살충을 실시하며, 이 때 생성된 열은 최종적으로 냉각장치에 의해 흡수되어 진다. 그리고 최근에는 10MeV 정도의 線型加速器가 개발되어 두께가 8cm 정도까지의 포장식품을 照射하는 방법이 실용화되고 있으며, 한편 전자선의 투과력에 대한 단점을 보완하기 위해 새롭게 개발되고 있는 線源이 있다. 이는 전자선을 원자번호가 큰 금속판에 통과시켜 이 때 발생하는 투과력이 큰 X선(Bremsstrahlung)을 이용하는 방법인데 현재로서는 전자선에서 X선으로의 전환효율이 낮아 문제점으로 지적되고 있다.



〈그림4〉累加線量式 多目的 照射施設



〈그림5〉 $^{60}\text{Co}$  감마선의 이용과 전망



1. Electron accelerator
2. Level sensors
3. Feed hopper
4. Flow-forming gate
5. High-speed gate
6. Spread chamber
7. Dispersion channel
8. Deflection plate
9. Water cooling
10. Bucket chain
11. Level sensors
12. Suction chamber
13. Output hopper
14. Diversion chamber
15. Diversion gate
16. Grain level control

〈그림6〉 電子線에 의한 곡물 照射裝置

### 6. 앞으로의 研究方向

食品照射에 있어서 앞으로의 연구방향은 크게 기술적인 분야와 照射食品의 품질과 안전성에 대한 분야로 나눌 수 있다. 먼저 식품조사의 산업화에 있어서 기술적인 분야로서 연구 개선되어야 할 내용은 식품에 대한 정확한 線量照射, 吸收線量の 均일성(dose uniformity), 照射線量 測定法(dosimetry), 照射食品 檢和方法, 照射條件 개선, 照射食品의 包裝, 再照射 관리, 소비자 수용성, 에너지 효율성 증대, 타 방법과의 소요 에너지 비교 등이다.

또한 照射食品의 품질과 안전성에 대해서는 어떤 한 照射食品에 대한 지식과 경험을 타 식품에 과학적으로 적용하는 일, 照射線量を 감소시키는 연구로서 현행방법과의 병용처리, 照射食品의 전반적 품질유지와 평가, 10kGy 이

상 照射食品에 대한 건전성 검토, 식품첨가물과 방사선과의 관계, 새로운 照射 대상식품의 개발등의 분야라고 볼 수 있다. 따라서 식품照射 기술을 만능의 수단으로서가 아니라 현재 이용되고 있는 여러가지 식품보존 및 가공방법의 새로운 보완 방법으로 인식하면서 그 장점을 최대한 활용할 수 있는 방향의 연구가 바람직하다.

### 맺 음 말

식량자원의 확보와 위생적 식품생산을 위한 방사선의 이용 연구는 재래적으로 이용되어 오던 식품저장 및 가공방법의 문제점을 보완하거나 해결할 수 있는 대체방안으로서 그 터전을 닦아 왔다. 그러나 식품에 대한 방사선의 이용 연구에는 엄연한 제한이 확인된 바, 그 예로서

유제품이나 육류에 고선량의 방사선을 실온에서 照射하였을 때 照射臭(irradiation odor)가 발생되며, 어떤 과채류는 곰팡이의 제거를 위한 방사선 조사가 과육의 연화를 이르게 텍스처의 변화를 초래하게 되고, 경우에 따라서는 식품의 변색을 유발하여 관능적 품질을 저하시키게 된다. 따라서 食品照射 技術은 반드시 특정한 목적에서 선별된 식품에 이용될 수 있는 것이며 그 효과도 항구적일 수 없다.

세계적으로 食品照射는 수확된 식량의 손실 감소와 화학약품에 대한 의존도를 줄이며, 나아가서 식품저장에 사용되는 에너지의 절감 등에 근본적인 목적을 두고 있다. 照射食品의 健全성과 經濟性 研究가 장기간 수행되어 그 타당성이 입증됨에 따라 각국에서 食品照射의 實用化가 확대되고 있으며, 국가간의 무역에 있어서도 照射食品의 비중이 늘어가고 있다.

이 같은 상황에서 食品照射에 대한 우리의 입장은 지금까지의 국내의 연구결과와 국제기관의 의견을 바탕으로 하여 식품산업의 건전한 발전을 위해 보다 공격적이고 적극적인 자세를 가짐으로써 소비자의 안전과 이익을 보장할 수 있고 나아가 우리 실정에 알맞는 새로운 기술의 정착을 기대할 수 있을 것이다.

### 參 考 文 獻

1. 權重浩 : 食品에 대한 放射線의 利用(제1회), 食品工業, 제93호, p.77(1988).
2. 權重浩 : 食品에 대한 放射線의 利用(제2회), 食品工業, 제94호, p.58(1988).
3. Meyer, E. : Chilean fruitculture and market development for export of irradiated fruits from Chile, A paper prepared for the meeting of the task force on marketing / public relations on food irradiation of the international consultative group on food irradiation of the IAEA / FAO, Ottawa, 8-12 September(1986).
4. Brynjolfsson, A. : Food; energy; developing countries; food irradiation, In "Combination Processes in Food Irradiation," proceedings of a symposium, Colombo, 24-28 November 1980, jointly organized by IAEA / FAO, IAEA, Vienna, p.421(1981)
5. Moore, P.W. : Consideration of radiation effects in the choice of food packaging materials, In Commercialization of Ionizing Energy Treatment of Food," proceedings of International Atomic Energy Agency Regional Workshop, Lucas Heights, New South Wales, Australia, 29 April-10 May (1985).
6. FAO / IAEA : Food Irradiation Newsletter, 11(2), September(1987).
7. 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).
8. Ouwerkerk, T. : An overview of the most promising industrial applications of gamma processing, A paper presented at the international symposium on applications and technology of ionizing radiations, Riyadh, Saudi Arabia, 12-17 March(1982).

한 방울의 물, 한 등의 전기를 아껴쓰는 마음은  
곧 나라를 부강하게 하는 마음입니다.