

# 食品産業과 原子力技術 — 役割과 展望 —

權 重 浩

韓國原子力研究所 食品照射研究室長 · 農博

## I. 序 論

식품산업에 있어서 核技術의 이용은 原子力의 평화적 이용의 전형적인 분야로서 放射性同位元素로부터 또는 기계적으로 발생되는 방사선 에너지를 식량의 장기저장, 가공식품의 안전성 향상, 통조림 식품의 제조공정에서 液面計로서의 이용 등 여러분야에 효과적으로 활용될 수 있는 기술이다.

식품의 방사선 조사, 즉 食品照射란 식품을  $^{60}\text{Co}$  혹은  $^{137}\text{Cs}$  등위원소에서 자연적으로 발생되는 감마선( $\gamma$ )이나 또는 기계장치에서 발생되는 電子線 및 X-線에 일정시간 동안 노출시킴으로써 대상식품에 생장억제, 저장수명 연장, 해충 및 기생충 구제, 병원성 미생물 사멸, 위생화를 위한 세균, 효모, 곰팡이 등의 살균효과 등을 가져와서 수확된 식량의 손실감소와 식품에 대한 화학약품(보존제, 훈증제 등)의 사용량을 줄이며, 나아가 가공식품의 부가가치를 향상시킬 수 있는 경제적인 기술로 주목되고 있다.

특히 식품조사 기술은 식품의 가열, 냉동, micro파 처리 등과 같은 물리적인 가공방법으로써 대부분 투과력이 강한 감마선이 이용되어 식품의 포장재나 포장방법에 관계없이 완 포장된 상태로 연속처리가 가능하여 제품의 2차오염 방지와 공정의 간소화를 이룰 수 있다. 그리고 방사선 조사법은 처리식품의 품온상승(국제적으로 건전성이 인정된  $10\text{kGy}$  조사로서 물과 동일한 열용량의 식품에 있어서 약  $2.4^\circ\text{C}$  상승)이 거의 없어 열에 의한 영양분의 파괴나 관능적 특성의 변화를 막을 수 있으며, 따라서 냉동된 식품에도 이용이 가능하다. 또한 방사선 조사법은 화학훈증제나 보존제와는 달리 처리에 따른 잔류성분이 없고 환경공해의 위험을 배제할 수 있다는 특징을 지니고 있다.

이상과 같이 방사선 조사기술은 식량의 간접증산 효과와 국제 식량교역에 있어서의

검역관리 수단 및 위생적 식품공급을 위한 안전하고도 경제적인 식품저장·가공기술로 평가되고 있다. 식품조사 기술은 거의 40여 년간 수행된 과학적인 연구결과와 이에 대한 국제기구 및 세계 보건단체들의 평가내용이 주요 국가들에 의해 점차 수용됨에 따라 식품공업에 있어서 본 기술의 역할이 크게 기대되고 있다. 이 자료에서는 국내에서도 12개 照射食品에 대한 보사부의 법적 허가에 따라 산업적 실용화가 추진중에 있는 식품조사 기술에 대하여 대표적인 역할과 이용전망, 그리고 몇가지 경제적 특성을 요약해서 소개함으로써 이에 대한 사회적 이해도를 높이고자 하였다.

## II. 食品照射 技術의 역할과 전망

식품에 대한 방사선 조사기술은 방사선에 에너지의 독특한 특성을 이용하는 분야로서 원자력 발전과 근본적인 개념을 달리하며, 특히 최근 문제시 되었던 식품중의 방사성 물질 오염과도 완전히 다른 내용이다.

따라서 저자는 세계적으로 연구개발이 활발하고, 최근에는 상업적 실용화를 위하여 37개국에서 식품의 방사선 조사를 허가하여 1990년 현재 24개국<sup>1)</sup>에서 방사선 조사식품을 실제적으로 판매하고 있는점을 감안해서 본 기술에 대한 원리와 응용분야<sup>2)</sup>, 안전성과 국제적 동향<sup>3)</sup> 및 실용화 과정과 방사선 조사시설<sup>4)</sup> 등에 대하여 기술적인 측면을 소개한 바 있다.

### 1. 식량공급 및 물가안정

세계 인구는 매년 1.9%씩 증가되고 있고 식량생산량은 이 보다 앞선 2.5%(개발도상국 3.2%/년) 수준으로 증산되고 있으나 식량문제는 날로 심각해 지고 있는 전 인류의 과제가 되고 있다. 특히 우리나라의 식량 자급도는 해마다 떨어져 그림 1에서와 같

이 근년에는 40% 수준에도 미치지 못하는 실정을 감안하여 볼 때 식량의 장기적인 공급방안은 국가정책의 중대 관심사가 아닐 수 없다. 이에 대한 가장 과학적이고 현실적인 대처 방안으로서 세계 주요 국가들은 지역에 따라 차이는 있으나 현재 20~50%에 이르는 수확원 식량의 손실량을 효과적으로 감소시켜 10~20%의 간접증산을 도모하려는 기술개발에 최선을 다하고 있으며, 관련 국제기구(FAO/WHO/IAEA)에서도 식량문제의 근본적인 원인과 해결방안에 있어서 이상과 같은 인식을 같이 하고 있다<sup>5,6)</sup> 수확된 식량(식품)의 손실원인은 크게 생물학적 요인(생리적 불균형, 외상에 의한 병해, 미생물, 위생동물 및 해충침해 등), 물리 화학적 요인(기계적 손상, 조직변화 퇴색, 갈변, 캐러멜화, melanosis, 지질산화, 단백질 변성 등), 생리적 요인(호흡, 숙성, 노화, 증산작용, 저온장해 등) 및 기타 수확 후 최종 소비자에 이르기까지의 취급, 수송, 가공, 저장과정에서 올 수 있는 복합적인 요인으로 구분되며, 이 같은 식량 손실 요인들은 식품의 성상과 특성에 따라 각각 다르게 적용된다.

또한 수확방법, 유통체계, 저장기간 및 조건, 저장방법, 포장상태, 초기의 위생상태, 가공방법 및 형태 등에 따라서도 손실량이 달라지므로 일정한 통계자료를 마련하기란 매우 어려운 실정이며, 표1은 1985년 국제 회의에 발표된 아프리카 지역의 수확 후 주요 식품의 손실량을 나타낸 것으로서 특히 근채류, 과채류 등의 손실량이 대단히 큰 것을 알 수 있다.<sup>7)</sup>

현재 주로 이용되고 있는 수확 후 식량손실 감소 방법으로는 화학 약품처리(여러가지 형태의 농약), 보존 및 방부제, 건조(탈수 포함), 염장, 발효, 냉장, 냉동, 가스포장, 열처리(통조림 등)등이 있으나 그 특성에 따라서 처리효과의 불충분, 잔류성분 및 환

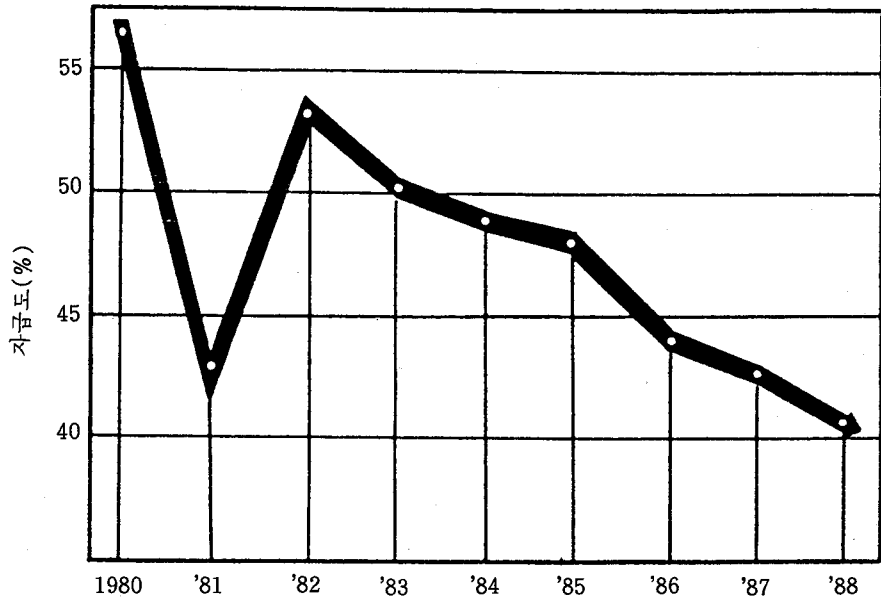


그림 1. 우리나라의 식량자급율(농림수산부 자료)

경공해, 공정의 복잡성, 제품의 품질열화와 영양분의 과다손실, 처리용량과 경제성 등에 있어서 문제점이 지적되어 왔다. 최근에는 특히 선진국에서 식품에 대한 화학약품의 사용을 금지시키는 추세에 있으므로<sup>8)</sup> 이상과 같은 문제점을 보완하거나 해결할 수 있는 효과적인 대체기술의 개발이 요구되어 왔다.

식품에 대한 방사선 에너지의 이용은 1950년대 이전부터 그 가능성이 확인되면서 연구의 대상이 되어 왔으며, 최근에는 선진국과 주요 연구기관이 수행한 연구 결과에서 안전성과 타당성이 과학적으로 확립됨으로써 산업적인 규모의 이용이 확대되고 있다<sup>9)</sup>.

앞에서도 언급된 바와 같이 食品照射에 관련된 방사선의 주요한 생물학적 작용은

근채류의 발아·발근억제와 살균, 살충효과를 들 수 있는데, 이와 같은 효과로서 감자, 양파, 마늘, 밤 등의 저장중 발아방지와 곡류, 과채류, 건조식품의 저장해충 구제 및 부패에 관련된 미생물을 사멸시킴으로써 식량의 손실감소와 이용률을 증대시킬 수 있게 된다. 이에 보건사회부에서는 1987년 한국원자력연구소(KAERI)의 연구결과와 세계적인 산업화 추세 등을 감안하여 감자, 양파, 마늘, 밤에 대한 발아억제와 건조버섯, 생버섯에 대한 살충 및 속도조정을 목적으로 방사선 조사를 허가한 바 있다.

세계적으로 감자의 생산량은 3억 8백만 톤 이상이고 양파는 약 2천 5백만 톤이 나 되며, 특히 감자는 밀, 옥수수, 쌀과 함께 4대 식량 작물의 하나이다. 감자를 포함한 양파, 마늘, 밤 등의 휴면기를 가지는 식품

표 1. 주요식품의 수확 후 손실량

식품군	손실량(%)
근채식	20-60
카사아	15-90
감	8-95
옥수수	10-30
기	6-40
바나나	10-50
선선	6-24
과실	35-100
과인애	20-50
파	20-35
아보카도	20-95
채소	20-70
양파	20-50
고추	40-100
상추	43
꽃양배추	20-50
양배추	16
당근	15
	62
	49
	37
	44

은 수확 후 휴면기가 타파됨에 따라 발아와 발근이 시작되어 자체 영양분의 소모, 수분 증산, 호흡작용 등의 생리적 현상에 의해 중량이 감소되고 미생물의 침입이 용이해지며, 위축되거나 부패되기가 쉬워진다. 따라서 이들 식품의 장기저장을 위해서는 효과적인 발아억제 방법이 필요하게 된다.

지금까지는 이와 같은 목적을 위하여 발아억제제(CIPC, MH 등 생장 조절제) 처리나 저온 저장법이 주로 이용되어 왔지만 안전성과 처리효과 등에서 기존의 한계를 여전히 지니고 있다. 국내에서 상업적 규모로 이용되고 있는 저장조건을 보면 감자(13℃), 양파(0℃), 마늘(-3℃) 및 밤(0℃)에

서와 같이 대부분 저온저장 시스템에 의존하고 있으며, 이러한 저장조건에 의해서도 그 저장효과가 완전하지 못하여 저장 10개월 이후에는 15~20% 이상의 손실량이 발생될 뿐만 아니라 저장경비의 부가에 따른 가격의 상승과 저장용량 부족 및 저장 관리의 까다로움 등으로 총 수확량의 1/4~1/3 이상이 이용되지 못하고 버려지고 있는 경제적인 손실을 초래하고 있다<sup>10)</sup>.

저자등<sup>11)</sup>은 '82~'83년도에 농어촌개발공사 식품연구소와 공동으로 “방사선을 이용한 發芽食品(감자, 양파, 마늘, 밤)의 저장실증 연구”를 수행한 바 있으며, 그 결과 감마선 조사방법은 이상의 네가지 품목에 대하여 뚜렷한 발아억제 효과와 더불어 저장기간 중 부패, 중량변화, 蟲害, 위축 현상 등 물리적인 품질특성과 화학성분에 있어서도 방사선을 처리하지 않은 대조시료 보다 여러 저장조건(상온, 2~25℃, 62~72% RH; 저온, 2~4℃, 70~90% RH; 율, 3~17℃, 75~85% RH; 방열, 7~17℃, 78~96% RH (감자), 10~23℃ 75~98% (밤, 양파))에서 우수한 상태로의 저장이 8~12개월 이상 가능하였고, 저장에 따른 손실량도 약 20~60% 정도 감소시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

한편 이상과 같은 발아억제 대상식품은 생산기가 편중되어 있고 이듬 해 수확기까지의 저장이 어렵기 때문에 물가변동이 매우 심하다. 그 원인은 쉽게 생각될 수 있듯이 생산기의 홍수 출하에 따른 가격폭락 현상과 효과적인 저장기술의 부재에서 비롯된 비생산기의 공급부족에서 야기되는 가격폭등 현상이다. 그리고 대부분 이용되고 있는 저장방법이 또한 저온시설을 요구하므로 물가의 상승요인은 크게 가중되기 마련이다. 따라서 국내의 이들 식품군의 연중 물가변동은 작게는 2~3배, 크게는 3~5배 정도에 이르며, 이 같은 현상은 그림 2에서와 같이

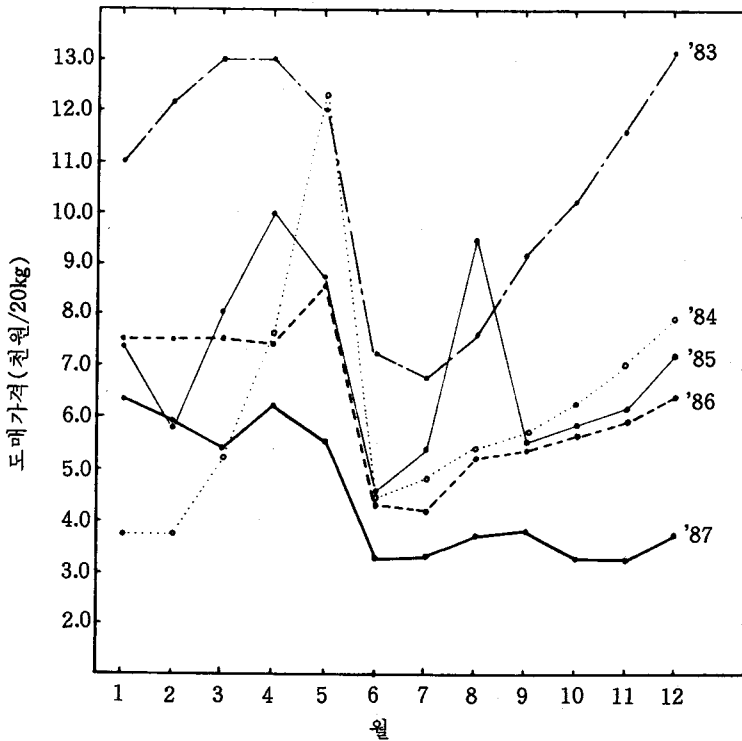


그림 2. 감자의 연중 물가동향.

거의 매년 되풀이되고 있어 반드시 해결되어야만 생산자인 농어민이나 소비자들에게 물가 안정에 따른 이익을 나누어 가지도록 유도할 수 있을 것이다.

한 예로서 일본에서는 세계 최초로 1972년에 후생성에 의해서 허가된 감자의 방사선 조사를 1973년 북해도에 준공된 감자 전용 감마선 조사시설에 의해 산업적 규모로 처리하기 시작하였으며, 그 목적은 감자의 주산지인 북해도 지방에서 수확된 감자를 감마선 조사한 뒤 일정한 조건에 저장하였다가 생감자 및 식품가공 원료로 주요 소비도시에 공급함으로써 물가의 안정과 안정된 가공원료의 일정한 공급에서 기대할 수 있는 제품의 품질을 높이고자 함이었다. 그림 3에 나타난 바와 같이 감마선 조사시설이 이용되기 이전인 '69~'70년도의 감자가

겨울 생산기인 7월을 물가지수 1로 하였을 때 이듬 해 단경기인 2~5월의 물가는 최고 3배까지 상승하였으나 照射된 감자가 출하되기 시작한 '74~'75년도의 동경 중앙시장의 연중 감자가 가격은 거의 변동 없이 안정된 수급이 가능하였다 하며<sup>12)</sup>, 최근에는 연간 3만톤의 감자를 照射하고 있다. 이와 같은 물가안정 효과는 국내에서도 쉽게 가능하리라 예상되며, 특히 방사선 조사기술은 발아억제를 위한 근채류 식품에 있어서 조사 처리후 저장조건이 까다롭지 않기 때문에 상대습도만 잘 유지시킬 수 있다면 기존의 저장고도 그대로 이용이 가능하다고 생각된다. 그리고 방사선 조사기술에 의하여 저장중 손실량을 크게 줄일 수 있는 식품군은 수산식품, 곡류, 건조식품류 등이다. 수산식품은 국제 식량교역량의 10% 이상을

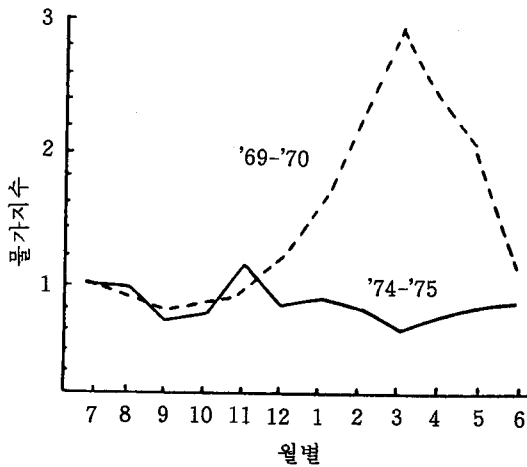


그림 3. 감자의 연중 가격변동  
(일본동경 중앙시장, 7월 물가를 지수 1로함)

차지하며, 생선은 특히 쉽게 변질, 부패되기 때문에 저장 및 유통상에 어려움이 많다. 따라서 건조나 염장 등의 방법에 의해 보존성을 높이고 있으나, 개발도상국에서 주로 이용되고 있는 건조법에 의해 수산식품을 저장할 경우 태국에서는 60~70%가 해충의 피해를 입었고, 남아프리카에서는 저장중 25~30%가 손실되었다고 보고된 바 있다<sup>13)</sup>. 또한 곡류나 건조식품의 경우에도 저장해충에 의한 손실이 막대하여 효과적인 살충법 이용이 요구되고 있으며, 인도에서는 쌀 생산량의 10%가 저장중에 손실되며 그 양은 연간 20억불에 해당된다고 알려져 있다<sup>14)</sup>. 세계적으로 곡류 및 건조식품류에 대한 방사선 조사량이 증가되고 있음은 본 기술이 현행 방법의 문제점을 보완하여 식량이용률 향상에 효과적이라는 사실을 간접적으로 말해주고 있다고 하겠다.

## 2. 보건 및 식품안전성

선진국의 식품산업에 있어서 방사선 조사 기술의 가장 큰 역할은 식품에 기인된 질병 발생 방지와 식품의 안전성을 높이기 위한 위생적 측면에서의 이용이라 할 수 있다.

최근 세계보건기구의 추산에 의하면 개발도상국에서는 오염된 식품이나 물에 의하여 연간 10억원 이상의 5세 미만 어린이 설사병 환자가 발생되었고 이 중 5백만명이 사망하였다고 보고되었다<sup>13)</sup>. 식품에 기인된 질병은 매년 세계적으로 증가하며 육류식품이 가장 주된 원인이 되고 있다. 미국에서는 돼지고기에 오염된 기생충으로 인해 발병되는 질병(선모충병, 주혈원충병 등)때문에 연간 2~3억불의 경제적 손실을 가져오며, 닭고기와 쇠고기에 오염되어 있는 식중독균인 *Salmonella*와 *Campylobacter*에 의해서도 매년 4백만명이 발병되어 12~20억불의 경제적 손실을 초래하게 된다고 보고되어 있다<sup>13)</sup>.

이상과 같은 여러나라들의 보고가 공식적으로 확립됨에 따라 1983년 FAO/IAEA 공동 식품안전성 전문가회의에서는 식품에 기인된 질병이 인류건강에 가장 큰 위협이며, 이로 인해 경제적 생산성이 크게 저하된다고 발표하게 되었다. 따라서 각국 정부와 세계보건기구에서는 이와 같은 건강에 대한 위협으로부터의 해방을 위하여 식품군별 오염 제거방법을 모색하고 있다.

식품에 기인된 질병은 동물성 식품에 있어서의 병원성 미생물(*Salmonella*, *Campylobacter*)과 기생충(*Toxoplasma*, *Trichinella*) 오염이 가장 문제시 되고 있으며, 또한 국가간 교역량이 많은 건조향신료와 같은 가공 식품 부원료의 높은 미생물 오염도 국민건강의 차원에서 매우 중요하게 다루어지고 있다.

지금까지 액상식품에 있어서는 가열살균법이 효과적으로 개발 이용되고 있으나 육류나 고체식품의 경우에는 새로운 기술개발이 요구되어 왔다. 미국 FDA에서는 1985년 돼지고기의 선모충 제거방법으로써 방사선조사(0.3~1.0kGy)를 허가한 바 있고, 1990년에는 가금육에 대하여 *Salmonella*를

포함한 병원성 미생물의 제거방법으로써 방사선 조사(3kGy)를 추가로 허가하였으며<sup>1)</sup>, 캐나다, 프랑스, 네덜란드 등 주요 선진국에서도 가금육의 위생처리와 신선도 연장을 위하여 방사선 조사기술을 실용화하거나 추진단계에 있다.

그리고 향신료 등 건조야채류 및 분말식품의 경우에는 대부분 미생물 오염(부패 및 병원성 미생물)이 높아 식품가공에 이용되기 전 반드시 살균처리가 되어야 한다. 지금까지 이용되어 오던 살균방법은 표 2에 그 특성과 영향인자를 비교 소개한 가열, 가스 훈증법, 방사선 조사법 외에도 건조, 자외선 및 micro파 조사 등이 있으나, 이들 중 ethylene oxide와 같은 화학약품의 사용이 가장 보편적인 방법이다.

그러나 식품의 살충, 살균 목적으로 이용되어 오던 phosphine, methyl bromide, ethylene oxide, ethylene dibromide, propylene oxide, methylene chloride 등의 화학훈증제 가운데는 발암성 등 인체에 대한 유해성 때문에 사용이 금지된 약제가 많이 있다. 특히 과일의 살충에 이용되던 ethylene dibromide가 미국 환경보호국(EPA)에 의해

1984년 9월 1일 사용 금지 되었고, ethylene oxide와 methyl bromide도 그 안전성에 대한 의구심 때문에 일본과 일부 EC국가들은 사용 금지 하였거나 잔류량을 엄격히 규제하고 있는 실정이다.<sup>15)</sup>

하지만 국내의 식품공업에서는 ethylene oxide의 사용이 가장 보편화되어 있으나 잔류량 분석법이나 그 2차 반응 물질등에 대한 구체적인 허용기준이 마련되어 있지 않은 상태여서 식품의 안전성 측면에서 시급히 다루어져야 할 문제로 지적되고 있다.

Ethylene oxide의 생물학적 작용은 해충이나 미생물 세포의 단백질과의 반응, 즉 OH<sup>-</sup>, COOH<sup>-</sup>, NH<sub>2</sub><sup>-</sup>, SH<sup>-</sup>기의 불안정한 수소원자가 hydroxy ethyl기에 의해 치환이 일어나면서 살균, 살충효과를 나타내게 되는 것으로 밝혀져 있다. 그리고 본 훈증제는 식품성분과의 반응이 일어나서 2차산물을 생성하게 되는데 그 대표적인 예로는 훈증제가 식품중의 염화무기물이나 브롬화 물질과 반응하여 ethylene chlorohydrin 또는 ethylene bromohydrin을 생성하고, 또한 수분과의 반응에 의해서는 ethylene glycol 및 diethylene glycol이 생성되어 인체에 유해한

표 2. 살균방법 별 특성과 영향인자

항 목	건열살균	습열살균	가스살균(EO)	방사선살균
온도	+	+	+	-
시간	+	+	+	+
압력	-	+	+	-
습도	-	NA	+	-
처리후조건또는탈기	NA	+	+	NA
물질과의작용	산화적 분해	가스분해	히드록시에틸화	방사선 분해
잔류독성	Nil	Nil	Yes	Nil
환경공해	Nil	Nil	Yes	Nil
물질의밀도	+	+	+	+
포장방법	Narrow	Narrow	Narrow	Wide
완장포장	NA	NA	NA	A
처리형태	Batch	Batch	Batch	연속

(+) 영향을 줌,

(-) 영향을 주지않음,

(NA) 적용되지 않음,

(A) 적용됨.

(Nil) 무, 없음.

특성을 나타내게 된다. 이와 같은 화학혼증제는 잔류성분 자체로서도 유해성이 있을 뿐 아니라 식품의 화학성분, 물리적·관능적 특성을 변화시킴으로써 처리식품의 안정성을 크게 저하시키며, 작업자의 건강이나 환경보전의 측면에서도 문제점이 지적되고 있다. 화학혼증제에 대한 이와 같은 국내외적 상황에서 새로운 대체기술의 개발은 절실히 요구되었고, 국제기구와 주요 선진국에서는 방사선 조사기법의 이용효과와 잠재력을 인정하여 대체방안으로서의 권장과 실용화의 확대를 적극 뒷받침하게 되었다. 국내에서도 보건사회부의 법적허가에 따라 (1988. 9) 화학혼증제 대신 엄격히 규제된 감마선이 건조향신료(고추, 후추, 양파, 마늘, 생강, 파)의 위생처리에 이용될 수 있어 식품의 안전성과 보건향상의 측면에서 건전하게 활용되기를 기대하며, 특히 식품에 오염되어 질병을 유발시키는 병원성 미생물이나 기생충은 방사선에 상당히 민감하여 비교적 낮은 선량에 의해서도 완전사멸이 가능하므로 국민 건강관리의 차원에서 그 이용이 요망된다 하겠다.

### 3. 식량교역 및 경제적 측면

국가간 식량교역은 세계경제의 균형을 유지시켜 주고 있으며, 그 시장은 날로 확대되고 있다. 따라서 각국은 국제교역에 있어서의 안전을 극대화하기 위하여 공중보건법과 검역관리(guarantine treatment)를 엄격히 다루고 있다. 그러므로 식량교역에 있어서의 가장 큰 어려움은 수출입 식품의 안전성, 즉 생물학적 및 화학적 측면에서의 안전성을 확보하는데 있는 것이며, 서로 상이한 무역국들의 규정을 포괄적으로 충족시킬 수 있는 식품가공 기술의 개발, 이용은 모든 수출국가들의 공통된 바램이라 할 수 있다.

전 항에서도 밝혔듯이 건강장해가 확인된

일부 화학혼증제들은 미국, 일본을 포함한 여러나라에서 사용이 금지되었고, 금지된 약품으로 처리된 식품은 이들 국가에 수출될 수 없게 된다. 따라서 공중보건에 관련된 무역장벽이 점차 높아가고 있는 추세이다.

특히 경제가 농업에 주로 의존하고 있는 개발도상국들은 무역상 규제에 있어서 가장 어려움을 맞고 있으며, 세계 농산물 수입의 30%, 세계 새우 공급량의 54%와 신선 원예산물의 약 35%를 공급하고 있는 이들 국가에게는 수확된 식량의 손실방지 기술과 수출입시 요구되는 검역관리 방법으로서의 새로운 식품가공 기술의 필요성이 더욱 크다고 할 수 있다.

신선식품은 수확후 1/3정도가 손실되며, 식품조사 기술은 이들 식품의 저장 중 손실 감소로서 간접증산을 유도하고 식량교역에 있어서도 그 역할의 가능성이 인정되고 있다. 그 예로서 방글라데시, 버마, 중국, 인도, 인도네시아, 파키스탄, 필리핀, 스리랑카, 태국 등 아시아 개발도상국에서는 '74~'84사이에 돼지고기, 닭고기, 계란이 50~350% 증산되었고, 수산물은 '73~'83년 사이에 30~100% 증산효과를 가져 왔는데, 이는 안전한 저장기술이 점차 이용 가능해짐에 따라 가져올 수 있는 경제적 이익이라 하겠다. 또한 이들 국가들은 같은 기간에 무역량이 매년 증가하여 곡류의 수입은 75%, 수산물의 수출은 214% 증가했고, 방사선 조사기술과 같은 경제적인 방법이 식량의 저장과 품질향상에 활용된다면 교역량은 더욱 증가될 전망이다.<sup>16)</sup>

한편, 식품조사가 국가경제에 미치는 영향의 측면에서 볼 때 식품의 방사선 조사비용(표 3)<sup>17)</sup>과 조사시설 설치비용 등은 부가적인 이익으로서 충분히 상쇄되고 남음이 있다. 왜냐하면 식량의 저장중 부패 등에 의한 경제적 손실량은 더욱 크며, 미국 FDA의



표 3. 몇가지 식품군에 대한 방사선 조사비용

식품	처리목적	예상비용 (US\$)
곡물	살충	3-6/톤
과일	살충 및 저장기간 연장	2-6/톤
어류	저장기간 연장	40-70/톤
코코아	살충·살균	60-75/톤
닭고기	살모넬라 제거	40-70/톤
향신료	미생물 감소 또는 살균	100-150/톤

발표에 의하면<sup>6)</sup> 식품에 기인된 질병으로 인한 의료비와 생산성 저하를 고려한다면 연간 50~170억불의 경제적 손실을 초래한다고 하므로 본 기술의 상업적 이용은 국가 경제 및 국민보건적 관점에서 추진되어야 하겠다.

식품의 방사선 조사기술의 경제적 특성은 타 식품제조 및 가공방법과 근본적으로 유사하다. 본 란에서는 시설의 건설과 운영에 관련된 사항은 다루지 않고 본 방법의 이용에 따라 얻어질 수 있는 금전적 이익의 예상과 다른 식품가공법과의 소요에너지 비교로서 그 특성을 소개하고자 한다.

다음은 방사선 조사기술을 이용할 경우 국가적 차원에서의 이익과 순 금전적 이익을 數式으로 나타내 보았다. 계산에 필요한 요인으로는 아래에 나타난  $X_i$ ,  $X_c$ ,  $C_p$ ,  $C_s$  및  $C_i$ 이며, 이들은 다음의 계산식에 대입하여 보면 식품 품목별 이익을 산출할 수 있다.

국가적 측면에서의 이익

$$\text{식(1)} \dots \frac{X_i - X_c}{X_i \cdot X_c} \times 100\%$$

식(1)은 식량저장중 손실감소로서 이용률 증대와 간접 증산효과

$$\text{식(2)} \dots \frac{X_i - X_c}{X}$$

식(2)는 수확된 식량의 저장비용 절감과 물가안정

순 금전적 이익

$$\text{식(3)} \dots \frac{X_i - X_c}{X_i \cdot X_c} (C_p + C_s) - \frac{1}{X_i} C_i$$

이때

- $X_i$  = 방사선 조사후 현행 방법에 의해 저장한 뒤의 상품량
- $X_c$  = 照射하지 않고 현행 방법에 의해 저장한 후의 상품량
- $C_p$  = 저장용 식품의 구매비용/톤
- $C_s$  = 저장비용/톤
- $C_i$  = 저장전 방사선 조사비용/톤

먼저 국가적 차원에서는 수확된 식량의 저장기간 중 손실을 감소시킴으로써 이용률을 증대시켜 경제적 이익을 도모할 수 있고, 나아가 지금까지 이용되어오던 저온저장법 등을 효과적으로 대체하여 저장비를 절감하고 단경기에도 충분한 식품을 공급함으로써 물가안정의 간접적인 이득을 생산자와 소비자에게 돌릴 수 있다 하겠다.

이와 같은 계산방식의 한 예로서 마늘 1톤을 주어진 저장조건에 7개월간 저장하였을 시 얻어지는 금전상의 순 이익을 계산해보면 방사선 조사로 인하여 60만원 정도의 이익이 얻어짐을 아래의 계산에서 알 수 있다.

즉, 1톤의 마늘을 7개월간 동일 조건에 저장시 손실량을 무처리 대조군은 40%, 방사선 조사군은 20%로 가정하였을 때  $X_i = 0.8$ 톤,  $X_c = 0.6$ 톤이다. 그리고 이때 저장용 마늘의 구입비( $C_p$ )는 1,500천원/톤, 방사선 조사비( $C_i$ )는 27천원/톤이며, 동일 조건에 저장시 저장비용( $C_s$ )은 54천원/톤이다. 따라서 식(3)으로부터 금전상의 이익을 계산할 수 있다.

※금전상의 이익=

$$\frac{0.2}{0.48} (1,500 + 54) \frac{1}{0.8} \times 27 = 614,000\text{원/톤}$$

이 계산에서는 그 동안 저자등<sup>11, 12)</sup>이 수행한 연구의 결과와 최근 4년간의 물가자

표 4. 식품가공 방법별 소요에너지 비교

가 공 방 법	에너지값 (KJ/kg)
방사선 발아억제 (0.10 kGy, 조사)	2
방사선 살충 (0.25 kGy, 조사)	7
방사선 부분살균 (2.5 kGy, 조사)	21
방사선 멸균 (30 kGy, 조사)	157
냉 장 (0°C, 5.5일간)	318
냉 장 (0°C, 10.5일간)	396
가열에 의한 멸균	918
조 리 (93°C)	2558
냉 동 (-25°C, 3.5주)	5149
송풍동결 (4.4°C—-23.3°C)	7552

료 및 국내의 현행 저장비 및 방사선 조사 비용을 근거하여 계산하였다.

한편 식품공업에 이용되는 여러가지 가공 및 저장 방법들의 소요 에너지를 비교해 보면 표4에 나타난 바와 같이<sup>19)</sup> 방사선을 이용한 발아억제에서 부터 고선량 조사가 요구되는 방사선 멸균에 이르기까지 약 2~157KJ/kg의 에너지가 소요되나 현행 방법인 냉장, 가열살균, 조리, 냉동 등의 기술은 이 보다 수배에서 몇 백배에 이르는 에너지가 더 소요되며, 따라서 식품의 품질에 미치는 영향도 그 만큼 클 것으로 예상되고 직접적인 경비도 훨씬 부가될 것이다. 특히 방사선 조사기술은 앞서도 언급되었듯이 완포장된 제품을 연속 처리하여 시설의 가동률을 높임으로써 상대적으로 조사비용을 낮출 수 있고 가공공정을 개선함으로써 생산성을 향상시킬 수 있으며, 타 기술에 비해 직접적인 경비절감 외에도 제품의 위생적 품질향상 등으로 부가가치를 높일 수 있는 방안이 되기도 한다.

### Ⅲ. 결 론

식품산업에 있어서 방사선 조사기술의 실용화가 세계적으로 확대되고 있는 것은 1980년대에 이르러 국제기구(FAO/WHO/

IAEA, Codex식품규격위원회 등)와 선진국의 보건당국(미국 FDA 등)이 조사식품의 안전성과 식품조사 기술의 필요성 및 경제적 타당성을 공식 인정하였기 때문이다. 본 기술은 식품산업에서 재래적으로 이용되어 온 식품저장 및 가공법의 문제점을 해결하거나 보완할 수 있는 대체방안으로서, 국가간 식량교역에서의 검역관리, 수확된 식량의 안전저장, 식품의 위생적 생산과 유통 등에 기여할 수 있는 경제적인 기술로 기대되고 있어 국내 식품산업의 발전을 위한 실체적인 기술로 개발되어야 할 것이다.

국내에서는 KAERI에서 수행된 연구결과를 바탕으로 근채류 식품을 비롯한 건조화신료에 대하여 감마선 조사가 허가('87, '88)된바 있으나 본 기술에 대한 일반소비자와 관련기관의 이해 부족으로 본격적인 실용화가 지연되고 있는 실정이다. 그러나 위생적이고 경제적인 식품가공·저장기술로 인정되어 세계적으로 실용화가 확대되고 있고, 또한 국제무역에 있어서도 照射食品의 비중이 날로 증가되고 있는 점을 감안하여 볼 때, 방사선 조사 기술의 실용성과 照射食品의 안전성을 소비자에게 인식시킬 수 있는 정부 주도의 지속적인 연구개발은 물론, 국가적 차원에서의 새로운 인식으로 우리 실정에 알맞는 기술 자립과 식품산업에서의 핵심적 이용 기반을 마련해야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. International Atomic Energy Agency (IAEA) : IAEA Newsbriefs, 5(4), May (1990).
2. 권중호 : 식품에 대한 방사선의 이용, 食品照射技術의 원리와 응용, 식품공업, 제93호, p.77(1988).
3. 권중호 : 식품에 대한 방사선의 이용, 食品照射의 안전성과 국제적 평가, 식품