



식품의 방사선 조사(照射)기술



이 철 호

고려대학교 생명공학원 교수

서론

인류의 생존을 위해서는 식품을 저장하는 기술이 필수적이며 이 기술은 시대의 변천에 따라 발전해 왔다. 아마도 인류가 사용한 가장 최초의 저장기술은 불의 사용법을 알게 되면서 불에 구운 고기가 생육보다 오래 저장될 수 있음을 발견한 것일 것이다. 실제로 태양열을 이용하거나 불에 쪄서 말리는 건조기술이 불과 200년 전까지 인류가 주로 사용한 식품 저장 기술이었다. 이 방법으로 신대륙 발견의 대항해가 이루어 졌으며 몽고인들의 유럽 침공이 가능했던 것이다. 18세기 중엽 개발된 통조림 기술은 1, 2차 세계대전의 군식량으로 이용되었고 전후 20세기 중엽까지 식품저장기술의 대표적인 방법으로 전세계에서 애용되었다. 새로운 에너지원으로 전력의 사용이 보편화되고 가정마다 냉장고가 보급된 20세기 중반부터 냉동 냉장에 의한 식품의 저장이 급속히 확산되었는데 이것은 통조림 제품보다 맛

이 우수한 신선식품의 상태로 오래 저장할 수 있기 때문이다. 남태평양에서 잡은 참치를 어선에 설치된 냉동기에 얼려 뒀다가 항구의 냉동창고에 보관하고 다시 식당 냉장고에서 녹여 신선한 참치회를 먹을 수 있는 콜드체인이 완성된 것이다. 요즘은 밥과 찌개와 나물을 일회용 쟁반에 담아 냉동한 포장식품을 슈퍼에서 구입하여 부엌 냉동기에 넣어 뒀다가 전자레인지에서 데워내면 그대로 한끼 식사가 해결되는 소위 TV식사 시대가 된 것이다. 지금 우리의 슈퍼마켓에는 통조림, 냉장 냉동식품들이 산처럼 쌓여있어 그야말로 풍요의 극치를 살고 있다. 이것은 모두 식품저장기술의 발달에 의한 것이다.

그러나 20세기를 지나면서 인류는 새로운 도전을 받고 있다. 무제한으로 공급될 수 있을 것으로 생각했던 에너지가 그 공급원이 점차 고갈되고 가격이 치솟고 세계경제가 에너지 가격에 좌우되는 것을 경험하였다. 한편으로는 완전히 정복했다고 생각한 식중독균들이

냉장 냉동식품에서도 자라는 변이종을 만들어 인간을 공격하기 시작한 것이다. 이제 종래의 저장기술과는 다른 새로운 식품저장기술이 요구되고 있는 것이다. 이러한 시대적 요구에 부응할 수 있는 방법이 방사선조사기술이다. 방사성 물질에서 나오는 강한 에너지를 식품에 쬐여 식품의 변질을 막고 부패균이나 식중독균을 사멸하여 식품을 안전하게 오래 보존하는 기술이다. 이 방법은 통조림처럼 막대한 열 에너지를 투입하지 않으며 금속이나 유리 같은 철저한 포장을 하지 않아도 되며 냉동 냉장처럼 계속해서 에너지를 투입해야하는 저장창고가 필요하지 않다. 방사선을 쬐어도 식품은 가열되지 않으므로 신선한 자연상태를 그대로 유지할 수 있다. 전력의 사용이 시작된지 2세기 후에 식품의 냉동냉장기술이 보편화 된 것처럼 원자력이 발견된지 1세기 후에 방사선 조사식품의 사용이 보편화되고 있다. 그러나 전기의 사용에 겁을 먹은 18세기 유럽인들이 후랑켄슈타인과 같은 공상 피기소설을 쓴 것처럼 원자탄의 위력을 본 20세기 인들은 원자력의 공포에서 아직 벗어나지 못하고 있다. 오늘날 전기를 사용하면서 후랑켄슈타인을 연상하는 사람이 없는 것처럼 원자력에 대한 공포도 점차 사라지고 있다. 우리가 현재 사용하는 전력의 40%가 원자력발전소에서 생산되고 있으며 X선 촬영이나 암의 방사선치료가 보편화되어있다. 따라서 방사선 조사에 의한 식품저장은 21세기를 대표하는 식품저장기술이 될 것이 분명하다.

방사선조사식품의 발달과정

식품의 방사선조사기술에 관한 최초의 특허

는 1921년 미국에서 육류의 기생충오염 문제를 해결하는 방법으로 발명특허를 받은 것이 처음이다. 그 후 프랑스를 비롯한 유럽국가에서 식품의 장기저장을 위한 방법으로 일부 이용되었으나 2차 대전 중 원자폭탄의 가공할 살상능력과 핵물질 오염에 의한 원자병의 처참한 모습을 본 사람들은 방사능 물질의 안전성에 대하여 크게 우려하게 되었다. 1950년대부터 70년대까지 조사식품의 안전성에 대한 연구가 전 세계적으로 수행되었는데, 주로 방사선 조사과정에서 형성될 수 있는 유도방사선 물질의 생성조건, 조사에 의한 식품성분의 화학적 분해(radiolysis) 현상과 생성된 분해물질의 독성에 관한 문제, 조사에 의한 식품성분의 영양학적 변질에 관한 문제, 조사에 의한 식품미생물의 변이나 사멸현상, 조사식품을 장기 급여했을 때 발생하는 유전적 변이현상 등에 대하여 집중적으로 연구되었다. 전 세계적으로 30여 년간 수행된 엄청난 양의 연구 결과를 종합 분석한 WHO/IAEA/FAO 방사선 조사식품 안전성평가 공동전문위원회는 1980년에 "평균 10kGy 이하로 조사된 모든 식품은 독성학적 장해를 일으키지 않고 더 이상의 독성실험이 필요하지 않다"라고 발표하였다. 또한 1983년 조사식품에 대한 CODEX 일반규격과 조사시설 운전에 필요한 국제규격을 채택하였다.

이러한 결정에 근거하여 세계 각국은 자국의 필요에 따라 일부 식품의 방사선 조사를 조심스럽게 허용하기 시작하였다. 우리나라도 1987년 감자, 양파, 마늘, 밤의 발아 발근 억제와 버섯의 살충및 속도조절을 위한 방사선 조사를 처음 허용하였으며 그 후 1991년과 1995년에 추가하여 총 12개 품목군에 대하여

허용하고 있다(표 1 참조). 2001년 현재 한국을 비롯한 42개국이 식품조사를 허용하고 있

으며 총 230여종의 식품에 대한 방사선 조사가 허용되어 있다(표 2 참조).

표 1. 국내 조사식품허가 현황

품 목	조 사 목 적	허가선량(kGy)	허가일자
감자, 양파, 마늘	발아, 발근 억제	0.15이하	
밥	발아, 발근 억제	0.25이하	1987. 10. 16
버섯(생 및 건조)	살충, 속도 조정	1.0이하	
가공식품 제조원료용 건조식육	살균, 살충(위생화)	7.0이하	
및 어패류 분말			
된장, 고추장, 간장 분말	살균, 살충(위생화)	7.0이하	1991. 12. 14
조미식품용 전분	살균, 살충(위생화)	5.0이하	
가공식품 제조원료용 건조채소류	살균, 살충(위생화)	7.0이하	
전조향식료 및 이들 조제품	살균, 살충(위생화)	10이하	1995. 5. 19
효모, 효소식품	살균, 살충(위생화)	7.0이하	
알로에 분말	살균, 살충(위생화)	7.0이하	
인삼(홍삼포함) 제품류	살균, 살충(위생화)	7.0이하	
2차살균이 필요한 환자식	살균	10이하	

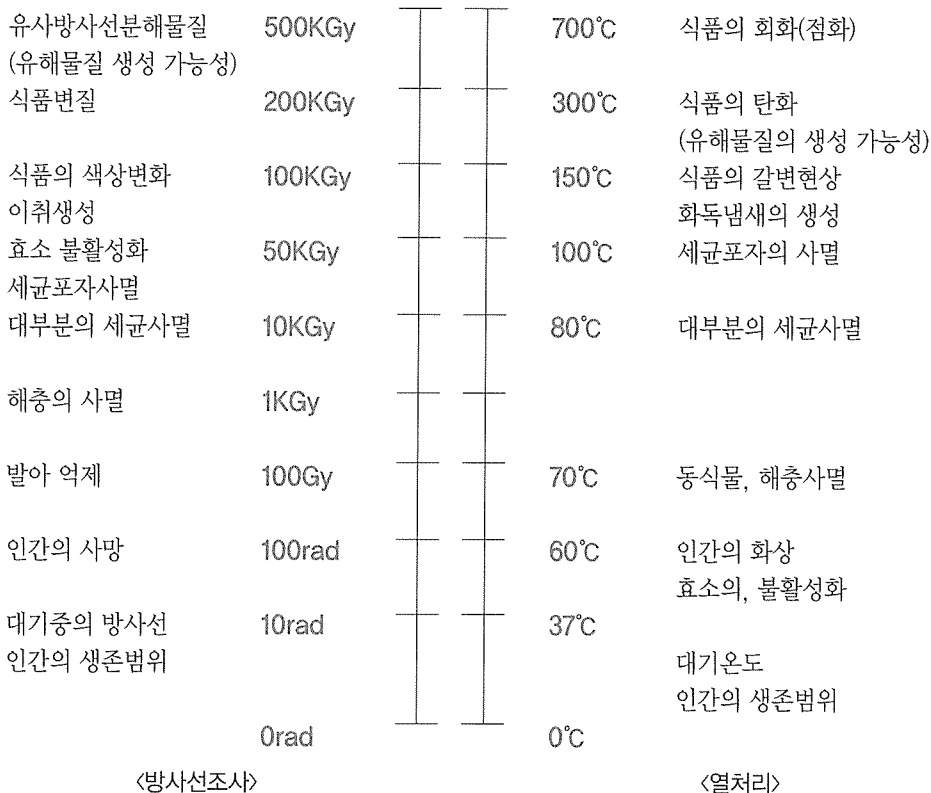
표 2. 세계 여러나라의 조사식품허가 현황

허가국	종류	허가국	종류	허가국	종류	허가국	종류
미국	55	체코	5	베트남	7	아르헨티나	12
벨기에	13	이탈리아	3	네덜란드	20	한국	16
유고	23	우루과이	1	스페인	2	파키스탄	24
크로아티아	30	영국	47	중국	22	인도	5
이란	18	덴마크	2	시리아	21	필리핀	5
브라질	24	헝가리	13	러시아	16	인도네시아	12
일본	1	이스라엘	26	프랑스	41	코스타리카	15
방글라데시	20	멕시코	34	핀란드	2	쿠바	16
캐나다	7	칠레	18	폴란드	6	우크라이나	16
노르웨이	3	태국	28	남아연방	92		

1980년대와 90년대에는 10kGy 이상의 고선량 방사선조사의 안전성에 관한 연구가 많이 이루어 졌다. 그 결과 1997년 제네바 WHO 본부에서 FAO/IAEA/WHO 합동회의로 열린 "고선량(10kGy-70kGy) 조사식품의 안전성에 관한 전문가 연구회의"가 열렸고 이곳에서 1980년 이후 세계 각국에서 연구된 수백편의 관련 논문을 화학적, 미생물학적, 영양학적 및 독성학적 관점으로 나누어 면밀히 검토하여 식품의 방사선조사 처리는 식품중의 유해미생물을 효과적으로 사멸하면서도 신선도나 영양가를 높이 유지하는 새로운 기술이며 더 이상의 독성학적인 연구가 필요 없다는

결론을 내렸다. 더 나아가 불을 너무 쪄이면 식품이 타서 못 먹게 되는 것처럼 방사선조사도 과량을 조사하면 유해물질이 생성되기 이전에 맛과 색깔이 변하므로 일반적으로 10kGy로 제한되어 있는 최대선량을 제시할 필요가 없다는 결론에 도달하였다. 이렇게 조사선량을 높일 수 있는 것은 그 동안 방사선조사 시설이 크게 개선되어 완벽한 안전성을 확보하게 되었으며 조사기술도 대단히 발전되어 불필요한 식품성분의 변화를 최소화할 수 있게 되었기 때문이다. 그림 1은 방사선 조사선량과 가열온도가 식품에 미치는 영향을 비교한 것이다.

그림 1. 가열과 방사선조사 에너지의 영향 비교



방사선 조사기술의 이용

방사선조사에 의하여 식품의 발아 발근 억제, 해충 기생충 방제, 숙도조절, 신선식품의 저장수명 연장, 병원균 살균(pasteurization), 완전살균(sterilization), 식품물성의 개선 등 여러 가지 효과를 얻을 수 있다. 표 3

은 용도에 따른 적정 조사선량과 사용되는 식품의 종류를 열거한 것이다. 이 기술을 사용하면 현재 화학적 첨가물로 사용되는 식품보존제나 훈연제의 사용량을 크게 낮출 수 있으며 통조림 등 지나친 가열살균에 의한 맛의 저하나 영양가의 손실을 방지할 수 있다.

표 3. 식품의 방사선조사 이용 분야

방사선 조사의 이용	조 사 효 과	조사선량
발아의 억제	감자, 고구마, 양파, 마늘, 생강, 밤 등의 발아억제	0.05~0.15KGy
해충제거	저선량(0.5KGy이하)의 감마선은 유충, 난을 포함하여 모든 경우의 저장 해충을 살충 또는 불임화	0.15~0.50KGy
과실야채의 숙도지연	저선량의 감마선을 조사하면 숙도가 지연되어 보존성이 연장됨	0.05~1.00KGy
식중독의 억제	동물성의 고체식품이나 건조식품을 살균할 수 있음. 저선량 조사는 이들 미생물에 의한 중대한 공중위생상의 문제를 해결하는데 유용	1~10KGy
식품의 멸균	통조림과 같은 장기보존 멸균식품	50KGy

실제로 장기간 우주여행을 한 우주인들은 주로 방사선조사에 의하여 장기간 저장된 식품을 우주공간에서 먹었으며 이들은 지구에 돌아온 후에도 조사식품을 계속 먹기를 원한다고 한다. 미국이나 유럽에서는 병원에 입원한 면역결핍증 환자들의 음식으로 고선량의 방사선조사로 멸균된 식품을 공급하고 있다. 일부 국가에서는 등산이나 특수 스포츠인들의 음식으로 멸균 포장된 조사식품을 판매하고

있다.

최근 미국에서는 플로리다주의 한 채소상점에서 과일의 보존기간을 늘이기 위해 방사선 조사된 딸기를 판매한 결과 소비자의 반응이 좋았으며 이를 여러 다른 과채류에 확대하고 있다. 또 하와이의 신선한 과실을 본토로 운송하기에 앞서 해충(fruit fly) 제거를 위해 훈증제 대신 방사선 조사를 하고 있다. 2000년 3월 Colorado Boxed Beef(CBB)라는 회사에서

처음으로 방사선 조사된 분쇄고기와 닭고기를 시판하기 시작했다. 이 회사는 지난 5년 동안의 소비자 조사를 통해 방사선처리가 소비자를 병원균으로부터 보호할 수 있는 최적의 방법임을 확신하게 된 것이다. 현재 미국에는 연간 6억 파운드의 육류와 가금육을 방사선 조사할 시설과 능력을 갖추고 있다.

국제교역에의 기여

1) 식품 훈증제 대체기술

현재 곡물이나 과채류 무역에서 훈증제로 사용되는 Methyl bromide(MB)는 오존층 파괴 인자로 판명되어 그 사용이 제한되고 있으며 1997년 몬트리올협약에서 아래와 같이 점차적으로 사용을 금하도록 되어있다.

선진국가들 : 1999년까지 25%감소
2001년까지 50%감소
2003년까지 70%감소
2005년까지 사용억제
(필수적 일부 용도에는 예외적으로 면제할 수 있음)

개발도상국들 : 2005년까지 20%감소
2015년까지 사용억제

검역목적과 훈증을 위한 MB의 사용은 몬트리올 협약의 사용억제계획에서 면제되었다. 그러나 미국은 Clean Air Act에 의하여 오존층고갈가능지수(ODP) 0.2 이상인 물질의 사용을 금하고 있으며 MB는 ODP 0.7이다. 따라서 미국환경청(U.S. EPA)은 2000년 12월

31일까지 MB의 생산과 소비를 끝내도록 규정하고 있다. 이 규정에서는 MB의 사용금지에 대한 예외적 사항이 없다. 결국 MB는 앞으로 사라질 물질이고 조만간 식품과 농업 생산물의 해충 구제에 더 이상 사용할 수 없게 된다.

건조식품 특히 조미료와 향신료의 해충과 미생물 오염을 제거하기 위해 사용하던 훈증제 ethylene oxide(ETO)는 1991년 1월 1일부터 EU에 의해 사용이 금지되었다. 미국환경청은 1996년 3월 가공조미료를 훈증하기 위한 ETO의 사용을 금지하는 최종 법안을 공포했다.

방사선 조사는 위에서 언급한 훈증제를 대신하는 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다. 0.2~0.7 kGy의 저선량 방사선조사로 곡류와 저장 식품의 병충해를 효과적으로 규제할 수 있다. 훈증과는 달리 방사선 조사는 식품의 내부 또는 겉표면에 어떠한 잔여물도 남기지 않는다.

미 농무부(USDA)는 1995년 5월 수입과실로부터 과수의 병충해 전염을 막기 위하여 과일과 야채의 검역처리 방법으로 방사선 조사를 허용하는 조례를 발표하였다. 전세계적으로 방사선 조사 조미료와 건조 향신료의 생산은 1990년 약 10,000톤에서 1996년에는 60,000톤으로 증가하였다.

2) 식품 무역에서의 위생 기준 충족

날 가금육, 적색육 및 해조류의 표면에 오염되어있는 Salmonella, Campylobacter, E. coli O157:H7, Listeria monocytogenes, Vibrio spp. 등 유해 미생물을 방사선조사로 쉽게 사멸시킬수 있다. 1997년 8월 미국에서

E.coli O157:H7에 의해 오염된 냉동 햄버거 10,000톤이 대량 회수되는 사건이 발생함에 따라 식품의 위생적 품질을 보장하기 위한 방사선 조사의 이용에 대해 미국 식품업계, 정치가와 미국 대중의 관심이 고조되었다. 이런 여론에 힘입어 1997년 12월 2일 미국 식품의약 안전청(FDA)은 적색육에 대한 방사선 조사를 허용하였다.

맺는말

오늘날의 사회가 풍요롭고 편리한 것은 과학기술의 덕택임을 모두가 알고 있다. 그러나 새로운 과학기술의 수용에는 항상 어려움이 따르고 조심스럽게 접근하는 것이 인간의 본성인 것 같다. 그 기술이 사람들의 생활에 직접적으로 밀접히 관여되고 획기적인 기술일수록 받아들이는데 신중을 기하게 된다. 특히 음식물에 대한 신기술 도입은 대단히 보수적이며 배타적인 경향을 보인다. 예를 들면 우유를 거의 주식으로하는 유럽에서 18세기를 전후

하여 폐결핵이 크게 만연하였다. 1861년 파스퇴르의 미생물 발견으로 그 원인이 밝혀졌는데 감염된 소에서 우유를 통해 결핵균이 사람에게 전염되는 것을 알게 되었고 이것을 차단하기 위해서는 생우유를 먹지 말고 가열처리(소위 Pasteurization)하여 우유에 오염된 결핵균을 사멸한 후 먹어야 한다고 과학자들이 주장하였다. 그러나 19세기 유럽의 소비자들은 팔다 남은 상한 우유를 다시 끓여서 파는 것이라고 생각하고 저온살균우유 불매운동을 벌였다. 그 결과 오늘날 너무도 당연히 먹고있는 저온살균우유의 유통이 기술개발이 된 후 거의 반세기 동안 빛을 보지 못했던 것이다. 요즘 과학자와 소비자의 견해차로 논란을 거듭하고있는 방사선조사식품의 안전성과 유전자재조합식품의 안전성 문제도 과학기술사의 관점에서 보면 새로운 기술을 수용하기 위한 과정으로 보여진다. 새로운 기술에서 파생되는 부작용이나 문제점은 이를 극복하기 위한 새로운 기술발전으로 이어지기 때문이다.

KRIA