방사선조사식품의 확인방법 및 응용

Application and identification methods for evaluating the irradiation foods

김병근, 이진원, 김청태*

Byeong-Keun Kim, Jin-Won Lee, Cheong-Tae Kim*

농심식품안전연구소

Food Safety Research Institute, NONGSHIM CO., LTD., Seoul, South Korea

1. 식품조사기술

식품산업에서는 식품의 보존성을 높이기 위해 쿠킹(cooking), 포장(packaging), 훈연(smoking), 냉각(chilling), 냉동(freezing), 탈수(dehydrating) 그리고 화학첨가제 등을 사용하여 왔다(Alberti *et al.*, 2007). 특히, 가열 처리나 화학첨가제의 사용은 식품의 열화나 독성학적인 문제를 일으킬 수 있다. 이에 비해 조사(照射) 기술은 식품보존을 위한 위생적인 측면이나 식품 가공의 기술적인 특성 개선에 사용되는 유용한 기술이다(Bayram *et al.*, 2004; Behere *et al.*, 1992; Bhatti *et al.*, 2008). 식품가공 공정에서의 방사선 조사는 1905년 식품보존 공정(food preservative process)에 관한 특허를 받으면서 미생물 사멸에 사용되어왔다. 특히, 식품조사는 병원성 미생물(*Salmonella spp.*, *Camphylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157:H7, 그리고 *Listeria monocytogens* 등)을 안정적으로 감균시키는 효과적인 기술이다(Blois, 1958; Brower *et al.*, 1970). 1980년 FAO/IAEA/WHO 공동전문가 위원회(joint expert committee on the wholesomeness of irradiated foods, JECFI)에서는 조사식품의 건전성과 관련하여 최대 10 kGy의 조사된 모든 식품은 독성학적 위해나 영양적 또는 미생물학적 문제를 일으키지 않는다고 결론지었다(Autio *et al.*, 1990). 방사선 조사의 주요이점은 처리목적(살균, 살충, 생장조절 등)에 따라 선택적 이용이 가능하다는 것이다(표 1). 특히, 감마선의 경우 우수한 투과력을 바탕으로 식품 내 미생물을 균질하게 살균시킬 수 있다. 감마선 살균효과는 1) DNA (deoxyribo nucleic acid)를 직접적으로 파괴시킬 수 있는 직접효과(direct effect)와 2) 방사선에 의한 분해로 생성되는 라디칼과 이온들이 DNA 파괴에 영향을 주는 간접효과(indirect effect)로 이루어 진다(Sanderson *et al.*, 1997).

방사선은 방사성 동위원소로부터 방출되는 α(알파), β(베타) 및 γ(감마)선 외에도 기계적으로 발생되는 X-선, 전자가속기에서 나오는 전자선, 원자로에서 만들 수 있는 중성자선

* Correspondence to: Cheong-Tae Kim
Food Safety Research Institute, NONGSHIM CO., LTD.
370-1, Shindaebang-Dong, Dongjak-Gu, Seoul, Korea (ZIP) 156-709
Tel: +82-2-820-8131 E-mail: kcheongt@nongshim.com

표 1. 조사 목적에 따른 흡수선량의 구분

Process	Approximate dose range (kGy)
Inhibition of sprouting	0.05-0.15
Delay ripening of various fruits	0.20-0.50
Insect disinfestation	0.20-1.00
Elimination of various parasites	0.03-6.00
Shelf life extension by reduction of microbial load	0.50-5.00
Elimination of non-sporing pathogens	3.00-10.0
Bacterial sterilization	Up to 50.0

등이 있다. 이들 중 X-선과 감마선은 매우 짧은 초단파장이고 높은 에너지를 갖는 전자기파이다. 감마선은 투과력이 강해서 제품을 완전 포장한 상태로도 처리할 수 있으나, 전자선은 감마선에 비해 투과력이 약해 활용 범위가 제한되어 곡류의 살충이나 표면살균, 의료 제품 및 제약 등의 분야에서 일부 사용되고 있으며, X-선은 진단용에 사용된다. 따라서 방사선 가운데 식품 및 의료산업에서 활용되고 있는 비율은 감마선이 약 80% 이상, 전자선이 20% 미만을 차지한다(Byun *et al.*, 1997; Byun *et al.*, 2003; Thayer, 1994).

식품조사 기술이란 특정 방사선 에너지를 피조사체 식품에 일정시간 노출시켜 살균, 살충, 생장조절 등의 효과를 거두는 기술이라고 할 수 있다(Webb and Lang, 1987). 현재, 관련 국제기구(FAO/WHO/IAEA)와 Codex 국제식품규격 위원회에서 식품조사에 이용될 수 있다고 밝힌 방사선은 감마선, 전자선 및 X-선이다. 즉, ^{60}Co 동위원소에서 방출되는 감마선이나 전자가속기에서 발생되는 10 MeV 이하의 전자선 및 기계적으로 발생되는 5 MeV 이하의 X-선이 식품조사에 이용될 수 있다(Autio *et al.*, 1990; Byun *et al.*, 2003; Schreiber *et al.*, 1994). 식품에 대한 방사선 조사는 숙도지연과 발아억제, 벌레 및 기생충, 해충의 사멸, 병원성 미생물을 살균하기 위한 다양한 목적을 가지고 전리방사선을 처리하는 것이다. 식품의 안전과 품질을 향상시키는 방법으로 복합조미식품과 건조식품 등에 대한 위생적 품질을 보장하기 위한 방법으로 대두되어왔으나, 한편으로는 방사선 조사 식품의 안전성 논란으로 그 사용이 제한되고 있다. 그러나 최근 권위 있는 국제기구와 세계 주요 국가의 보건당국에서 잇달아 방사선 조사식품의 안전성을 인정하고 있어서 향후 그 사용이 증가할 것으로 전망된다.

식품산업에서 방사선 조사기술은 병원성 미생물 및 유해생물의 사멸에 의한 위생화, 식량자원의 장기보존 및 손실방지, 국가 간 식량교역에 따른 검역관리기술 등에 이용 되고 있다. 현재, 식품의 방사선 조사 현황을 보면 세계 57개국의 200여 개의 시설에서 약 230여 종의 식품군에 대하여 방사선 조사가 허가되어 있고(IAEA, 2006), 주요 방사선 조사 대상 식품은 향신료, 건조채소류, 근채류 등이다. 국내에서는 26개 식품군에 대해 방사선 조사를 허가하고 있다(표 2).

표 2. 국내의 감마선조사 허가식품

Approval dose (kGy)	Items	Purpose	Approval date
≤0.15	Potato, Onion, Garlic	Control germination	1987. 10. 16
≤0.25	Chestnut	Control germination	1987. 10. 16
≤1.00	Fresh or dried mushroom	Decontamination	1987. 10. 16
≤5.00	Egg powder, cereals, legumes, starch	Decontamination	1991. 12. 13
≤7.00	Dried meat and the powder of fish & shellfish as ingredient of food product, soybean paste powder, red pepper paste powder, soy sauce powder, dried vegetables as ingredient of food products, yeast & enzyme food, algae food, aloe powder, ginseng (including red ginseng) food	Decontamination	1995. 05. 19
≤10.00	Dried spice & its inferior article, composite seasoning products, sauces, leaching tea, powdered tea, sterile meals	Decontamination	2004. 05. 24

표 3. 조사된 식품에 대한 확인방법 (CODEX STAN 231-2001, Rev.1 2003)

Provision	Commodity	Method	Principle	Remark
Detection of irradiated food	Food containing fat	EN1784:1996	Gas chromatographic analysis of hydrocarbons	Type Ⅱ[1)]
	Food containing fat	EN1785:1996	Gas chromatographic/ spectrophotometric analysis of 2/alkycyclobutanones	Type Ⅲ[2)]
	Food containing bone	EN1786:1996	ESR spectroscopy	Type Ⅱ
	Food containing cellulose	EN1787:2000	ESR spectroscopy	Type Ⅱ
	Food containing silicate minerals	EN1788:2001	Thermoluminescence	Type Ⅱ
	Food containing silicate minerals	EN13751:2002	Photostimulated luminescence	Type Ⅲ
	Food containing crystalline sugar	EN13708:2001	ESR spectroscopy	Type Ⅱ
	Herbs, spices and raw minced meat	EN13783:2001 NMKL 137(2002)	Direct Epifluorescent Filter Technique/Aerobic Plate Count (DEFT/APC) (screening method)	Type Ⅲ
	Food containing DNA	EN13784:2001	DNA comet assay (screening method)	Type Ⅲ

[1)]Type Ⅱ: reference methods; [2)]Type Ⅲ: alternate approved methods.

국내 식품조사 영업은 1985년 대통령령(제11717호)에 의해 식품조사 처리업이 신설된 이래 1986년 식품위생법이 개정되었으며, 식품 품목별로 1987, 1988, 1991, 1995 그리고 2004년 5차에 걸쳐 26개 식품군의 목적선량 별 감마선 조사가 허용되었다. 우리나라의 감마선조사시설은 그린피아기술(1987)과 소야그린텍(2002)의 2기가 상업적으로 가동되어 일부 허가식품을 처리 생산하고 있다(Kwon, 2010). 한편, 2012년도에는 식품조사처리에 사용하는 선종으로 전자선 조사처리 방식을 포함하였으며, 목적선량 별 조사항목 중 제조 원료용 또는 2차 살균용 등으로 한정하였던 곡류, 두류, 전분, 환자식 등의 품목별 식품조사 용도 제한을 삭제하였다(KFDA, 2012).

소비자에게 방사선 조사식품에 대한 자유로운 선택권의 부여 및 방사선 조사 표시 부착 등과 같은 국내외적인 규제사항의 기술적 뒷받침 그리고 각 식품에 대한 방사선 조사선량의 제한 준수와 재조사를 방지하기 위하여 방사선 조사식품에 대한 확인방법이 요구되게 되었다.

FAO/IAEA의 방사선 조사식품 확인을 위한 국제연구프로젝트(1990-1994)에서는 다양한 확인 기술 개발이 이루어졌다. 이에 근거하여 Codex 위원회는 물리적 분석법(PSL, TL 및 ESR법), 화학적 분석법(GC-MS를 이용한 Hydrocarbon류 분석법, 2-ACB 분석법) 그리고 생물학적인 분석법(DNA comet assay 및 DEFT/APC법)을 Codex 표준 분석법으로 채택하고 있다(표 3).

이와 함께 방사선 조사 식품에 대한 확인법은 유럽연합(EU)을 중심으로 국제규격에 준한 확인 기술이 표준화되어 시행되고 있다. 국내의 경우에는 2004년도부터 2006년에 걸쳐 식품의약품안전청 연구과제인 "방사선 조사 식품의 확인 방법 확립 및 표준화"가 진행되었고, 도출된 연구내용을 바탕으로(KFDA, 2004-2006) 2007년 TL (thermo-luminescence, 열발광법) 및 PSL (photo stimulated luminescence, 광자극발광법)법이 고시되었다. 그리고 2008년도에는 ESR (electron spin resonance spectroscopy, 전자스핀공명법) 및 GC-MS법이 조사식품 확인 방법으로 고시되었다(KFDA, 2007; KFDA, 2008). 그리고 2010년 재개정 작업을 거쳐 현재의 공인시험

방법으로 사용되고 있다(KFDA, 2013).

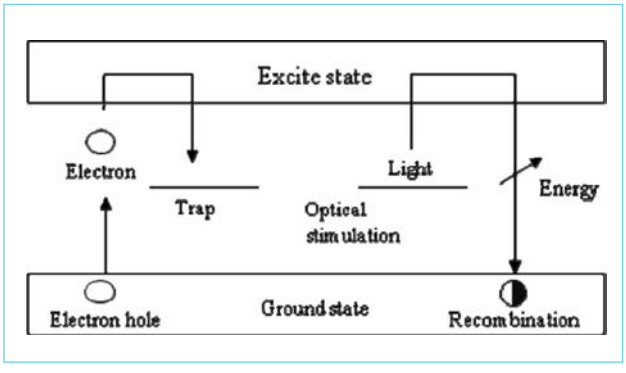
본 자료에서는 국내에서 사용되는 조사식품 확인방법인 PSL, TL, ESR 및 GC-MS 법에 대한 소개와 응용에 대해 논하고자 한다.

2. 조사식품 확인법 및 응용

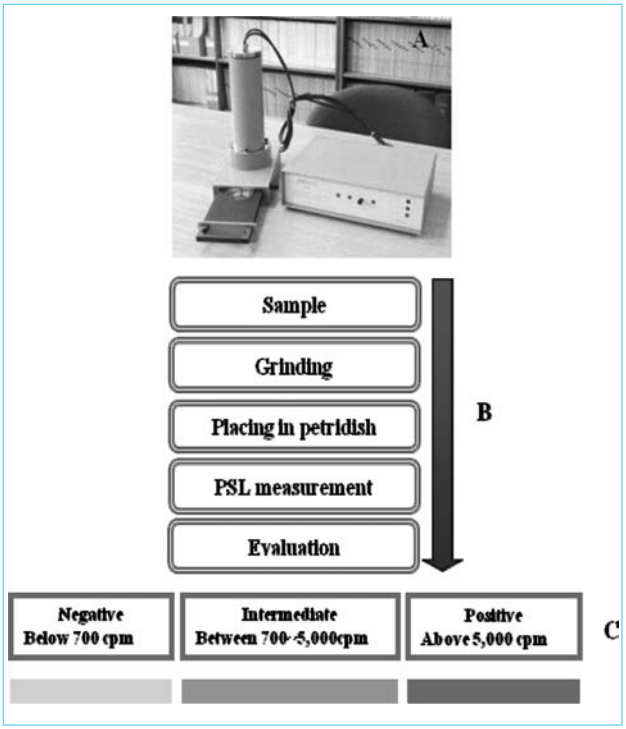
2-1. 광자극발광법 (Photostimulated Luminescence, PSL)

PSL 법은 토양유래의 식품에 잔류하는 무기성분(quartz, feldspar, silicate, carbonate 등)의 발광 특성을 이용하는 방법이다(Alberti *et al.*, 2007; Autio *et al.*, 1990; Bhatti *et al.*, 2008; Bortolin *et al.*, 2007; Carmichael and Sanderson, 2000; Clark and Sanderson, 1994; EN 13751, 2002; EN 1788, 2001; Khan *et al.*, 2002; Kwon *et al.*, 2002; Pinnioja *et al.*, 1993; Sanderson *et al.*, 1997). 즉, 무기성분이 방사선의 흡수에너지량에 의해 전자의 에너지 상태가 여기 상태로 변환되었다가 기저상태로 떨어지고, 일부 전자는 정공 상태에 갇히게 된다. 이들 전자는 적정 범위의 원적외선 파장을 통해 갇혀있던 전자의 에너지 상태가 기저상태로 되면서 흡수된 에너지의 양만큼 light emission 현상이 발생된다(그림. 1).

PSL법은 주로 식품에 대한 조사유무의 스크리닝 목적으로 적용 되었다(Sanderson *et al.*, 1998). 그 이유는 전처리(분말화)가 복잡하지 않고 분석시간이 1분으로 매우 빠르기 때문이다(그림. 2 B). PSL 결과에 대한 판정은 1분 동안의 측정된 광자극 수치가 700이하일 경우 조사되지 않은 것으로 하고, 5,000이상이면 조사된 것으로 한다. 만약 700-5,000 사이의 수치로 확인될 경우는 조사의심으로 판정하며(그림. 2C), 이들 검체에 대해서는 TL방법 등으로 재확인하게 된다.

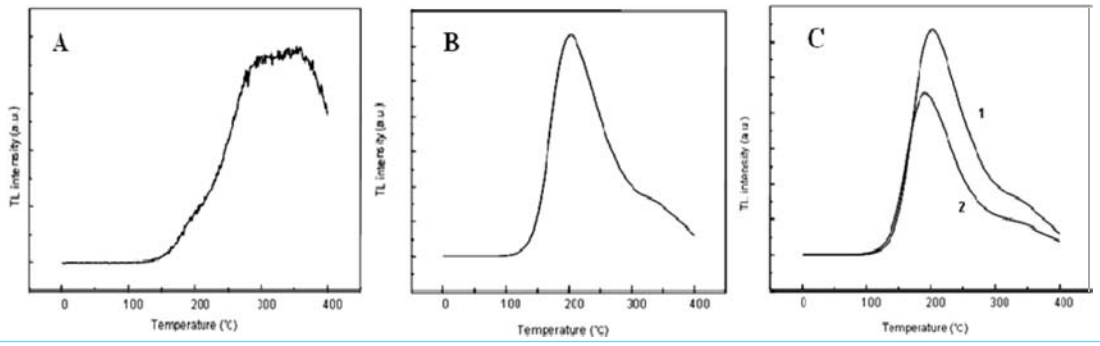


<그림 1> PSL 분석원리.



<그림 2> PSL 분석기기(A), 분석절차(B) 및 판정기준(C).

PSL분석의 경우 무기질의 포함이 적은 식품(백/흑 후추, 해산물 등)은 방사선 조사 되었더라도 비조사(700 cpm 이하)로 판정될 수 있으므로 추가적인 검증이 필요하다고 보고되었다(EN13751, 2002). 또한 crystal류가 포함된 비조사 검체는 자연 방사선에 기인된 수치의 증가현상이 나타날 수 있다. 반면, 조사된 검체의 경우 빛 노출 및 열처리 가공에 의해 PSL 수치가 낮아 질 수 있다. 국내 규격은 건조향신료(단, 육두구, 후추, 정향 제외), 고춧가루, 마늘, 양파 4종의 충분한 무기질을 가지고 있는 검체에 대해 PSL 법을 적용한다. 하지만 이들 검체들이 조사 또는 의심범위(700



<그림 3> 검체의 TL 글로우 곡선 A: 비조사 검체, B: 조사된 검체, C: 조사(1) 및 재(再) 조사된(2) 동일 검체

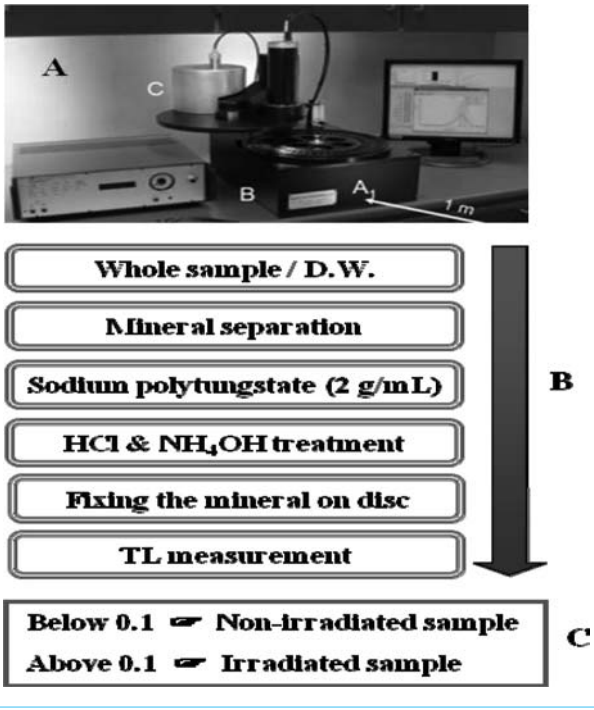
cpm 이상)로 나타나면 TL 분석결과에 따라 판정하도록 명시하고 있다(KFDA, 2013). PSL법의 경우 무기질이 많이 포함된 대량 수출입 농산식품원료의 조사유무 스크리닝에 매우 적합하며, 신속한 결과를 도출할 수 있기 때문에 다양한 식품군의 확대 적용을 위한 추가적인 세부연구가 필요한 실정이다.

2-2. 열발광법 (Thermo-luminescence, TL)

TL 법은 PSL 법과 마찬가지로 규산계 광물(석영, 장석 등)이 조사유무 확인에 이용된다. TL 법은 온도의 상승을 통해 정공상태에 갇혀있던 전자의 에너지가 가열에 의해 기저상태로 될 때 빛 에너지가 방출하게 되는 원리를 이용한 방법인데 방출되는 에너지 양만큼 발광곡선 형태로 나타난다(그림. 3).

즉, 조사된 식품의 경우에는 150-250°C 범위에서 발광곡선(glow curve)이 발생되는 특이성을 가진다. 1회 측정된 검체는 TL 특이성이 소멸되기 때문에 재조사(re-irradiation)를 실시하여 1, 2차 발광곡선 면적값(TL_1/TL_2)을 비교함으로써 조사유무의 판별을 보다 정확하게 할 수 있다. TL법은 PSL법에 비해 분석절차가 복잡하여(그림. 4 B) 시간이 많이 소요되지만 조사유무의 확인에 있어 PSL법 보다 정확하다. 이러한 이유는 PSL 분석에 적용되는 검체의 양(약 5 g) 보다 많은 100 g 이상의 검체가 분석에 사용되며, 전처리 과정을 통해 분석에 이용되는 무기물을 충분히 얻을 수 있기 때문이다. 하지만 일부 어패류(멸치, 가다랑어 등)에 포함된 유기성분으로부터 기인된 TL 발광곡선이 150-250°C 범위에서 발생될 수 있다. 이러한 현상은 산분해 방법 등을 통한 유기물 제거 과정을 거쳐, TL 결과를 보정할 수 있다.

국내에서 TL 판정은 TL 비(ratio)가 0.1이상인 경우 조사된 것으로, 0.1 미만인 경우는 조사되지 않은 것으로 판정한다(그림. 4 C). 단, 2개 이상의 원료가 혼합되어 있는 제품의



<그림 4> TL 분석기기(A), 분석절차(B) 및 단일식품의 판정기준(C).

경우 TL비가 0.1이하더라도 1차 발광곡선이 150-250°C 범위에서 나타날 경우 조사된 것으로 판정한다.

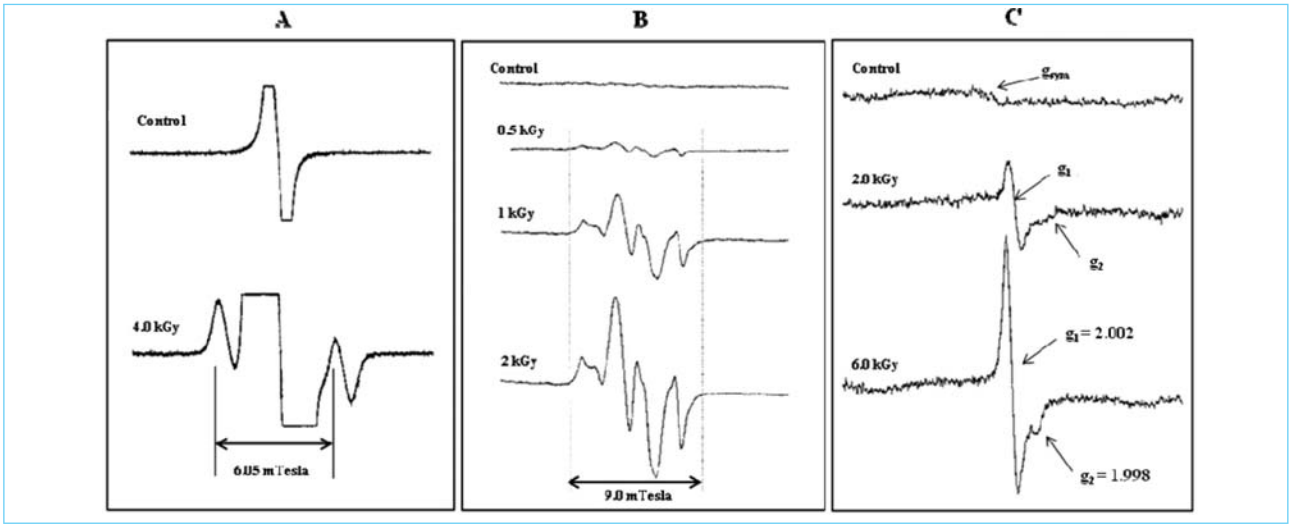
TL법의 국내적용은 광물질이 분리 가능한 식품(후추, 육두구, 정향, 밤, 버섯, 감자, 건조채소류, 곡류, 두류, 어패류 분말, 된장분말, 고추장분말, 간장분말, 전분, 효모 및 효소식품, 알로에분말, 인삼(홍삼 포함) 제품류, 복합조미식품, 조류식품, 분말차, 침출차, 소스류, 2종 이상이 혼합된 식품)으로 명시하고 있다.

TL분석에 의한 조사유무 평가는 정량화된 결과에 의한 것이 아니라 TL분석에서 발생되는 발광곡선(TL glow curve)에 의해 조사유무를 판정하기 때문에 시험자의 주관에 의해 결론지어 질 수 있다. 그리고 비의도적으로 조사원료가 미량 혼입되는 경우에는 무기질의 함유량에 따른 결과차이 및 시험자의 숙련도에 의한 결과차이가 나타날 수 있다(Kim *et al.*, 2011; Ahn *et al.*, 2013). 따라서 TL법이 조사유무의 기준법(defining method)이 되기 위해서는 무기질 회수 방법개선 및 표준화와 무기질의 특성에 따른 TL 발광곡선 변화 등에 관한 데이터 축적이 필요하다.

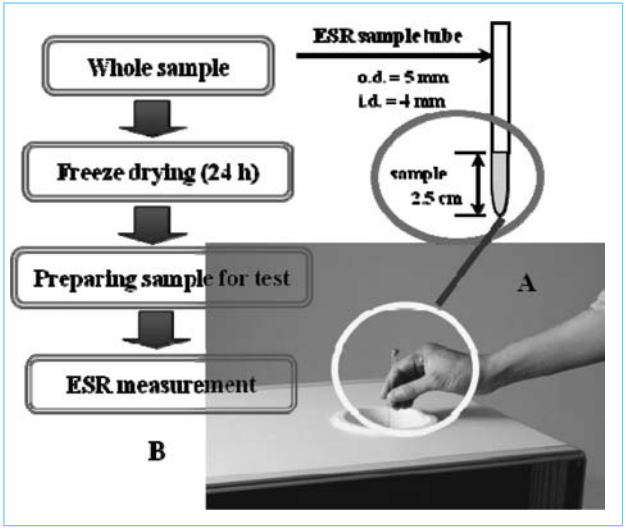
2-3. 전자스핀공명법 (Electron Spin Resonance, ESR)

ESR 법은 뼈, 셀룰로오스 및 결정형 당(crystalline sugar)을 함유한 식품 등에 잔존하는 방사선 조사로 생긴 자유라디칼(free radical)을 분광학적으로 측정하는 방법으로서, 자장에 의하여 전자가 공명한 후 방출하는 에너지의 차이를 측정하여 방사선 조사 유무를 판정하는 방법이다(Bayram and Delincée, 2004; Bustos *et al.*, 1996; Desrosiers, 1996; Goodman *et al.*, 1994; Goulas *et al.*, 2008; Gray and Stevenson, 1989; Desrosiers and Simic, 1988; EN1786, 1996; EN1787, 2000). 즉, 원자나 분자 내에 있는 전자들은 서로 쌍을 형성하게 되며 한 특정궤도에서 하나의 전자는 스핀양자수(spin quantum number) Ms = −1/2을 가지며, 같은 궤도에 있는 다른 전자는 Ms = 1/2을 갖고 이러한 전자들이 서로 쌍을 이루게 되면 ESR 스펙트럼을 얻을 수 없다. 방사선 조사 등에 의해 쌍을 이룬 전자가 동일궤도 내에서 쌍을 이루지 않는 전자의 경우 스펙트럼을 얻을 수 있다. 얻어진 line 강도는 흡수곡선의 면적으로 주어지게 된다. 각 시그널에서의 면적은 검체의 무게(gram), 부피(mL), 길이(mm)당 쌍을 이루지 않은 스핀 수에 비례하게 된다. Line position의 경우에는 g값(외부자기장과 microwave frequency의 비로서 signal의 고유한 값)에 의해 특징 지워지게 되는 데, g값은 자기모멘트에 비례하여 궤도 각운동량으로 인한 상호작용에 의해서 unbond electron의 값인 2.002319로부터 변동되게 된다. 한편, line splitting은 쌍을 이루지 않은 전자가 외부자기장 하에 놓임으로써 에너지 준위의 수가 늘어나기 때문에 발생된다. 즉, 쌍을 이루지 않은 전자 부근에 자기 핵(magnetic nucleus: e.g. proton, ^{1}H)이 있게 되면, 전자의 자기모멘트는 핵의 자기모멘트 방향에 의해 영향을 받게 된다. 조사유무 판정에서 셀룰로오스를 함유한 식품이 조사된 경우는 중심부의 시그널의 왼쪽과 오른쪽에 한 쌍의 피크가 6.0 mT의 공간을 두고 나타난다(그림. 5 A). 결정형 당을 함유한 식품의 경우는 다성분(multi component) ESR 시그널이 나타나면 방사선 조사된 것으로 판정한다(그림. 5 B). 그리고 뼈를 함유한 식품에서 하이드록시아파타이트(hydroxyapatite, $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$)유래의 라디칼에 의한 g 값이 2.001-2.003 (g_1)과 1.997-1.999 (g_2)인 비대칭 시그널이 나타나면 조사된 것으로 판정한다(그림. 5 C).

국내 시험법 적용은 셀룰로오스를 함유한 식품(파스타치오 껍질, 딸기), 결정형 당을 함유한 식품(건포도, 건파파야, 건망고, 건무화과) 그리고 뼈를 함유한 식품(우육, 돈육, 계육 등)에 적용한다. ESR 법은 적은 양의 검체가 사용되고(약 150 mg/회), 분석절차가 간단하다는 이점(그림. 6 B)과 실험 결과의 재현성을 지닌다. 하지만 조사에 의해 발생된 라디칼의 검출가능 기간(6개월 이내)이 짧다는 단점이 있다. 이와 함께 검체의 저장기간 및 환경 그리고 건조가공에 따라 라디칼의 소멸이 이뤄질 수 있다.



<그림 5> 방사선 조사 전후 ESR 스펙트럼 (A; 셀룰로오스, B; 결정형 당, C; 뼈).



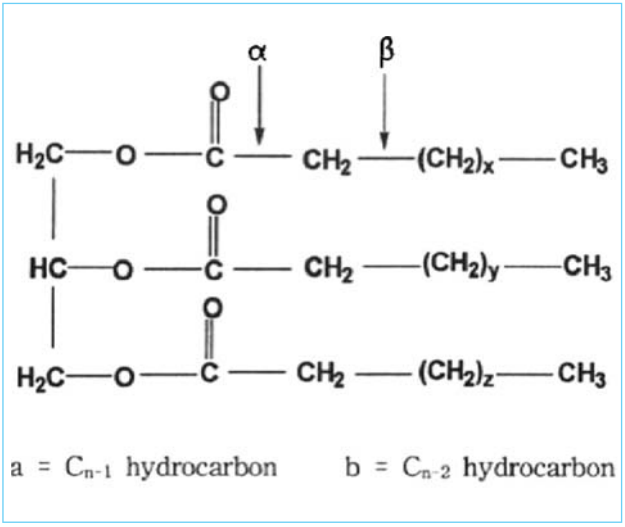
<그림 6> ESR 분석기기(A), 분석절차(B).

2-4. 기체크로마토그래프 질량분석법(Gas chromatography mass spectrometry)

식품에 함유되어 있는 지방질은 고 에너지의 방사선에 의해 지방분자 내 탄소 사이의 결합이 끊어 짐과 동시에 자동산화, 중합 및 재배열과 같은 반응이 이뤄지고 이를 통해 여러 종류의 방사선 분해생성물들이 생성된다. 한편, triglyceride는 방사선 조사에 의해 CO_2, CO, H_2, alkane류, alkene류, alkyne류, ester류, aldehyde류, acid류, 2-alkylcyclobutanone류 등이 생성된다. 방사선 조사식품의 화학적 확인방법에 이용되는 radiolytic 화합물인 hydrocarbon류의 생성경로는 다음과 같다. 즉, palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid 등의 여러 가지 지방산 조성을 나타내는 지방함유 식품에 방사선 조사시켰을 때, triglyceride내 carbonyl group의 α탄소와 β탄소 위치에서 결합이 끊어져 원래의 지방산 보다 탄소수가 1개 적은 C_{n-1} hydrocarbon류, 탄소수가 2개 적으면서 첫 번째 탄소위치에 새로운 이중결합을 가지는 C_{n-2} hydrocarbon류가 생성된다. 이러한 지방산 분해 패턴에 의하여 palmitic acid로부터 pentadecane ($C_{15:0}$)과 1-tetradecene ($C_{14:1}$), stearic acid로부터 heptadecane ($C_{17:0}$)과 1-hexadecene ($C_{16:1}$), oleic acid로 부터 8-heptadecene ($C_{17:1}$)과 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$), linoleic acid로부터 6,9-heptadecadiene ($C_{17:2}$)과 1,7,10-hexadecatriene ($C_{16:3}$)이 생성된다(그림. 7).

방사선 조사에 의해 유도된 hydrocarbon류의 정성 및 정량 분석은 그림. 8 B에서와 같은 절차로 진행된다.

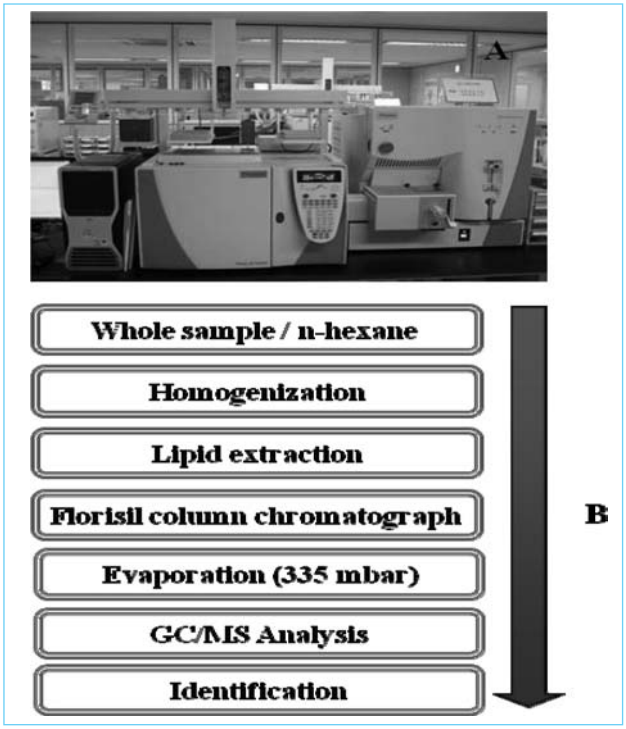
국내 판정규정은 지방을 방사선 조사시키면 2 가지 형태의 탄화수소 (Cn-1 탄화수소와 Cn-2:1)가 생성되는데 이들의 존재여부로서 방사선 조사유무를 판단하며, 식육 등의 경우 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)이



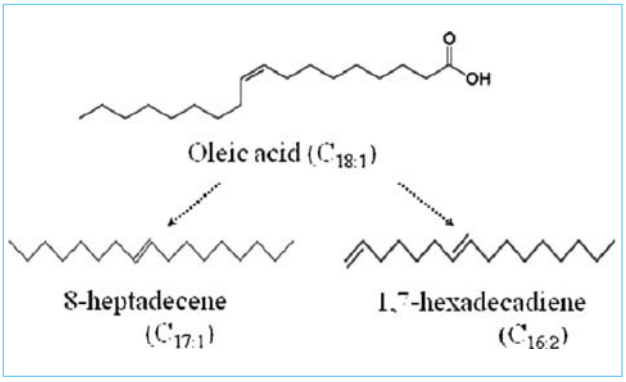
<그림 7> 방사선 조사에 의한 지방(트리글리세리드)의 hydrocarbon류 생성원리.

존재하면, 난분의 경우 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)이 존재하면 방사선 조사된 것으로 판단한다(그림. 9).

GC-MS법은 지방함량이 많은 식품에 적용 가능하여, 지방함량이 적거나 특정 지방산이 존재하지 않으면 조사유무의 판정에 어려움이 있을 수 있다. 비록 지방이 존재하는 식품이더라도 다양한 원료가 포함되는 복합조미식품류에는 적용하기 어려움이 있다.



<그림 8> GC/MS 분석기기(A), 분석절차(B).



<그림 9> 방사선 조사에 의해 생성된 oleic acid의 hydrocarbon류.

국내의 경우는 식육, 난분 등 지방함유식품에 한해서 적용되고 있다. GC-MS법 또한 검체에 따라 생성되는 hydrocarbon류의 데이터베이스 구축과 각각의 생성비율 등에 대한 많은 연구가 이루어져야 다양한 식품에 대하여 보다 명확하게 조사유무를 판단할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1.Ahn J. J., Akram K., Kim B. K., Baek J, Y., Kwak J. Y., Park E. J., Kim H. Y., Kim C. T., Jeong I. Y., Lee J. W., Han S. B., Kwon J. H. 2013. Applicability of thermoluminescence techniques to identify irradiated seafoods using different methods of mineral separation: An interlaboratory blind trial. Food Sci. Biotech. 22: 931-935.

2. Alberti A., Corda U., Fuochi P., Bortolin E., Calicchia A., Onori S. 2007. Light-induced fading of the PSL signal from irradiated herbs and spices. Radiat. Phys. Chem. 76: 1455-1458.

3. Autio T., Pinnoja S. 1990. Identification of irradiated food by the thermoluminescence of mineral contamination. Z. Leberns. Unters. Forsch. 191: 177-180.

4. Bayram G., Delincée H. 2004. Identification of irradiated Turkish foodstuffs combining various physical detection methods. Food Control. 15: 81-91.

5. Behere A., Padwol Desai S. R., Rao S. M. D., Nair P. M. 1992. A simple method for identification of irradiated spices. Radiat. Phys. Chem. 40: 27-30.

6. Bhatti I. A., Kim B. K., Kim M. Y., Lee J., Kim H. K., Kwon J. H. 2008. The screening and/or identification of different types of irradiated eggs by analyzing phto-stimulated luminescence and thermoluminescence. Food Control. 19: 587-591.

7. Blois M. S. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. Nature. 4617: 1198-1199.

8. Bortolin E., Boniglia C., Calicchia A., Alberti A., Fuochi P., Onori S. 2007. Irradiated herbs and spices detection: Light-induced fading of the photo-stimulated luminescence response. Inter. J. Food Sci. Tech. 42: 330-335.

9. Brower J., Tilton E. W. 1970. Insect disinfestation of dried fruit by using gamma irradiation. Food Irradiation. 11: 10-14.

10. Bustos M. E., Romero M. E., Gutiérrez A., Azorin J. 1996. Identification of irradiated mangoes by means of ESR spectroscopy. Applied Radiation and Isotopes. 47: 1655-1656.

11. Byun M. W. 1997. Application and aspect of irradiation technology in food industry. Food Sci. Indu. 30: 89-100.

12. Byun M. W., Lee J. W. 2003. Application of irradiation technology for food safety and security. Food Sci. Indu. 36: 25-41.

13. Carmichael L. A., Sanderson D. C. W. 2000. The use of acid hydrolysis for extracting minerals from shellfish for thermoluminescence detection of irradiation. Food Chemistry. 68: 233-238.

14. Clark R. J., Sanderson D. C. W. 1994. Pulsed photostimulated luminescence excitation spectroscopy of feldspars and micas. Radiat. Measure. 23: 641-646.

15. Desrosiers M. F. 1996. Current status of the EPR method to detect irradiated food. Appl. Radiat. Isot. 47: 1621-1628.

16. Desrosiers M. F., Simic M. G. 1988. Post-irradiation dosimetry of meat by electron spin resonance spectroscopy of bones. J. Agric. Food Chem. 36: 601-603.

17. EN 13751. 2002. Foodstuffs-detection of irradiated food using photostimulated luminescence. European Committee of Standardization, Brussels.

18. EN 1788. 2001. Foodstuffs-thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. European Committee of Standardization, Brussels.

19. EN 1786. 1996. Foodstuffs-detection of irradiated food containing bone-method by ESR spectroscopy. European Committee of Standardization, Brussels.

20. EN 1787. 2000. Foodstuffs-detection of irradiated food containing cellulose by ESR spectroscopy. European Committee of Standardization, Brussels.

21. Goodman B. A., Deighton N., and Glidewell S. M. 1994. Optimization of experimental parameters for the EPR detection of the 'cellulosic' radical in irradiated foodstuffs. Int. J. Food Sci. Tech. 29: 23-28.

22. Goulas A. E., Stahl M., Riganakos K. A. 2008. Effect of various parameters on detection of irradiated fish and oregano using the ESR and PSL methods. Food Control. 19: 1076-1085.

23. Gray R., and Stevenson M. H. 2006. Detection of irradiated deboned turkey meat using electron spin resonance spectroscopy. Radiat. Phys. Chem. 34: 899-902.

24. IAEA. 2006. Food and Environmental Protection Newsletter. 9: 21-59.

25. KFDA. 2012. Notification on the detection methods for irradiated food. No. 2012-48.

26. KFDA. 2013. Korea food standard code. Korea Food & Drug Administration.

27. KFDA. 2007. Notification on the detection methods for irradiated food. No. 2007-22.

28. KFDA. 2008. Notification on the detection methods for irradiated food. No. 2008-51.

29. Khan H. M., Bhatti I. A., Delincee H. 2002. Thermoluminescence of contaminating minerals for the detection of radiation treatment of dried fruits. Radiat. Phys. Chem. 63: 403-406.

30. Kim B. K., Akram K., Kim C.T., Kang N. R., Lee J. W., Ryang J. H., Kwon J. H. 2012. Identification of low amount of irradiated spices (red pepper, garlic, ginger powder) with luminescence analysis. Radiation Physics and Chemistry 81: 1220-1223.

31. Kwon J. H., Jong J. Y., Chung H. W. 2002. Thermoluminescence characteristics of minerals from irradiated potatoes of different origins of production. Radiat. Phys. Chem. 63: 415-418.

32. Kwon J. H. 2010. Safety and understanding of irradiated food. Korea Food Safety Research Institute, Seoul. Korea.

33. Pinnioja S., Autio T., Niemi E., Pensala O. 1993. Import

control of irradiated food by the Thermoluminescence method. Z. Lebensm Unters Forsch 196: 111-115.

34. Sanderson D. C. W., Carmichael L. A, Fisk S. 1997. An international collaborative blind trial of photostimulated luminescence detection of irradiated herbs, spices and seasonings. Final Report, MAFF IB073.

35. Sanderson D. C. W., Carmichael L. A, Fisk S. 1998. Establishing luminescence methods to detect irradiated foods. Food Sci. Tech. Today. 12: 97-102.

36. Schreiber G. A., Hoffmann A., Helle N., Bögl K. W. 1994. Methods for routine control of irradiated food: Determination of the irradiation status of shellfish by thermoluminescence analysis. Radiat. Phys. Chem. 43: 533-544.

37. Thayer D. W. 1994. Wholesomeness of Irradiated Foods. Food Technol. 48: 132-136.

38. Webb T., Lang T. 1987. In: Food Irradiation - The Facts. Thorsons Publishing Group, London.