

## 연구과제 최종보고서

과 제 명	국내 재배 아열대 과실의 수확 후 방사선처리 조사를 통한 안전관리 방안 연구				
총연구기간	2018년 1월 ~ 2018년 12월	당해연도 연구기간	2018년 1월 ~ 2018년 12월		
수행부서/ 세부수행부서	시험연구소 안전성분석과 (자체)	연구 책임자	구분	직위	성명
			정	과 장	김동호
			부	주무관	김대중
		참여 연구원	직위		성명
			팀 장		홍경숙
			주무관		김용경
		주무관		신희창	
참여부서					
사업구분	단년도 (✓) 다년도 ( )	총 ( 1 )개년 중 ( 1 )차 연도			
연구결과 요약	<p>○ 국내 방사선조사 비허용 품목 2점(패션후르츠, 망고)에 대하여 방사선 선원별(감마선, 전자선) 및 선량별(0, 0.4, 1 kGy) 대하여 방사선조사 여부 확인을 한 결과, 패션후르츠에서만 열발광(TL) 방법 적용이 가능할 것으로 판단됨</p> <p>○ 방사선 선원별(감마선, 전자선)로 방사선 선량을 증가시켰을 경우 패션후르츠와 망고의 경우는 0.4와 1 kGy에서 선량에 따라 경도가 감소하는 경향을 나타냄</p> <p>○ 방사선 선원별(감마선, 전자선) 및 선량별(0, 0.4, 1 kGy)로 색도와 당도를 측정된 결과, 패션후르츠와 망고에서 각각 선량이 증가하여도 비슷한 색도와 당도를 나타내었음</p> <p>○ 방사선 선원별(감마선, 전자선) 및 선량별(0, 0.4, 1 kGy)로 유리당, 유기산, 항산화 활성 및 항산화 성분 측정된 결과, 일부 선원 및 일부 선량에서 약간의 차이를 보였으며 나머지 결과에서는 0 kGy(비조사시료)와 비슷한 결과를 보임</p>				

# 국내 재배 아열대 과실의 수확 후 방사선처리 조사를 통한 안전관리 방안 연구

## 1. 연구배경 및 목표

### 가. 연구배경

방사선조사 기술은 20세기 초 기생물 사멸 특허발표 이후 Codex 일반규격으로 채택되어 현재 세계 58개국, 약 250 여종의 식품에 대하여 방사선조사가 허가되어 있다. 또한, 최근 국제 연합 식량 농업기구(FAO), 국제 원자력기구(IAEA), 세계보건기구(WHO) 등 여러 국제기구에서 식품 방사선조사 기술을 유용하며 안전한 살균 방법으로 공인하면서 방사선조사가 화학 훈증제를 대체할 검역기술로 대두되고 있는 실정이다. 최근 세계 시장 개방화와 더불어 다양한 품목의 교역으로 인한 대상 상품의 검역 및 품질보증의 중요성이 한층 더 증대되고 있으며 그 중 수입 의존도가 높은 농식품 산업에서는 살균, 살충 및 발아억제 등의 목적으로 방사선(감마선, 전자선)조사 기술이 주로 이용되고 있다.

지구의 온난화로 인하여 국내의 기후도 봄, 여름, 가을, 겨울의 뚜렷한 4계절에서 아열대 기후로 점점 변화됨에 따라 국내에서도 아열대 작물재배가 이루어지고 있다. 그 재배면적도 2015년 362ha, 2017년 428.6ha(채소 326.2ha, 과수 102.4ha)이었으며 2020년에는 1,000ha로 예상하고 있어 점점 재배면적 또한 증가하고 있는 추세에 있다. 2017년 국내 재배 주요 열대 과일의 재배면적은 패션프루트 44.4ha, 망고 32.5ha, 구아바 10.9ha, 용과 5.1ha, 파파야 4.6ha, 아보카도 2.9ha, 바나나 1.4ha의 순이었으며 점점 작물재배 면적이 증가할 것으로 보인다.

#### 1) 국내 연구현황

국내에서는 1987년 이래 총 26개 식품(군)에 대하여(Table 1) 감마선( $^{60}\text{Co}$ ) 조사 기술의 이용을 허가하였으며 상업적 감마선 조사시설 2기((주)그린피아기술, (주)소야)가 준공되어 현재 의료용품의 멸균 및 가공식품 제조용 원료들에 사용되면서 미생물학적 안전성 확보와 함께 품질경쟁력 향상에 기여하고 있다. 또한 방

사선조사 처리된 고춧가루, 마늘가루, 생강가루 및 복합조미료식품, 건조채소류 등의 물리적 관별법(PSL, TL) 등으로 방사선조사 처리여부 확인 연구가 진행되고 있으며, 감마선조사 건조과일(건포도, 건무화과, 건망고)에 대한 물리적관별(PSL, TL, ESR) 및 품질평가(총균수, 색도 등)에 대한 연구, 과일(키위, 오렌지, 배)에 감마선조사 처리 후 선량과 저장기간에 따른 comet assay 방법을 이용한 방사선조사 여부확인 및 전자선조사 오렌지의 저장에 따른 품질특성 등 방사선조사 미허용 품목에 대한 연구가 보고되어 있다.

Table 1. 국내의 감마선 및 전자선 조사 허가식품

허가선량 (kGy)	품 목	조사 목적
0.15 이하	감자, 양파, 마늘	발아억제
0.25 이하	밤	
1 이하	버섯(생 및 건조)	살충, 숙도조절
5 이하	난분, 곡류, 두류 및 그 분말, 전분	살균
7 이하	건조식육 및 어패류 분말, 된장/고추장/간장분말, 건조채소류, 효모, 효소식품, 조류식품, 알로에분말, 인삼(홍삼 포함) 제품류	
10 이하	건조향신료 및 이들 조제품, 복합조미식품, 소스류, 침출차, 분말차, 2차 살균이 필요한 환자식	

국내·외에서 실시하고 있는 방사선조사 식품의 분석 방법은 방사선조사 된 식품에서 일어날 수 있는 모든 변화를 검지 수단으로 이용하여 방사선조사 여부를 확인하는 것이다. 현재 국내 방사선조사 허용품목에 대한 방사선조사 식품의 확인 시험법은 광자극발광법(PSL), 열발광법(TL), 전자스핀공명법(ESR) 및 기체크로마토그래프/질량분석법(GC/MS)의 4종류로 식품공전상에 고시되어 있다(Table 2).

Table 2. 국내 방사선 조사식품의 확인시험법

분 석 법	대 상 식 품
광자극발광법 (Photostimulated luminescence, PSL)	건조향신료(단, 육두구, 후추, 정향 제외), 고춧가루, 마늘, 양파
열발광법 (Thermoluminescence, TL)	후추, 육두구, 정향, 밤, 버섯, 감자, 건조채소류, 곡류, 두류, 향신료조제품, 어패류분말, 된장분말, 고추장분말, 전분, 간장분말, 효모·효소식품, 알로에분말, 인삼(홍삼 포함) 제품류, 복합조미식품, 조류식품, 분말차, 침출차, 소스류, 2 종 이상이 혼합된 식품과 광물질(silicate minerals) 분리 가능한 식품
전자스핀공명법 (Electron Spin Resonance spectroscopy, ESR)	셀룰로오스 함유 식품 (피스타치오 껍질, 쌀기), 결정형 당 함 유 식품(건포도, 건과과야, 건망고, 건무화과), 뼈 함유 식품 (우육, 돈육, 계육 등의 뼈 함유 식품)
기체크로마토그래프 /질량분석법(GC/MS)	식육, 난분 등 지방 함유 식품

## 2) 국외 연구현황

식품에 대한 방사선조사는 기술적 타당성과 안전성이 국제적으로 인정되어 약 40개국에서 상업적 규모(총 수십만 톤)로 방사선조사 식품이 생산·유통되고 있으며 조사시설도 약 200여기 이상으로 매년 증가 추세에 있다. 식품의 방사선조사는 미국, 중국, 프랑스 등 주요 선진국에서 상업화가 활발하게 이루어지고 있으며 미국의 경우 신선 과일 및 채소류는 물론, 건조식품과 냉장·냉동 육류 등 다양한 품목에 대하여 방사선조사를 허용((1986-2008, US FDA)하고 있다. 그리고 중국의 경우는 수출용 농·식품에 방사선조사를 허용하고 연간 수십만 톤을 처리하고 있는 실정이다. 하여 우리나라에서는 농·식품의 수입시 체계적인 관리가 한층 더 요구되어져야 할 것이다.

## 3) 연구의 필요성

국내 식품위생법(식품공전)에서는 2010년 1월 1일부터 방사선조사 식품에 대

한 전면 표시제(labeling regulation)의 시행과 더불어 조사식품 확인시험법이 발효됨에 따라 수입식품과 유통식품에 대한 신속·정확한 조사처리 여부의 관리시스템 구축과 운영이 필요하다. 또한 2012년 7월 30일부터 방사선조사 기준 개정에 따른 방사선조사 선원이 기존 감마선( $^{60}\text{Co}$ )외 전자선(전자가속기)이 추가됨에 따라 전자선조사 식품에 대한 분석법 연구도 필요한 실정이다. 현재 식품공전의 확인시험법은 PSL법, TL법, ESR법, GC/MS법 등 4 가지 방법이 있으며 PSL-TL 분석체계에 의한 미지 검체의 1차 스크링과 2차 확정(evaluation) 시스템의 적용이 가장 효과적인 판정체계로 인정되고 있다. 따라서 본 연구에서는 선종(감마선, 전자선)별 조사처리 식품에 물리적 확인 시험법인 광자극발광법(Photo-stimulated luminescence, PSL), 열발광법(Thermoluminescence, TL) 및 전자스핀공명법(Electron Spin Resonance spectroscopy, ESR)을 적용하여 방사선조사 미허용 품목인 열대과실 중 국내에서 재배되는 패션후르츠와 망고의 적용 가능성을 확인함으로써 향후 조사식품 확인시험법 확립에 기여하고자 하였다. 또한, 조사선종별 식품품질에 미치는 영향에 대한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 나. 연구목표

- 1) 아열대과실류중 방사선조사 미허용 품목에 대한 방사선조사 분석방법 구축
- 2) 수확 후 관리를 위한 방사선조사 처리된 농산물의 방사선조사여부 확인

## 2. 연구내용 및 방법

### 가. 연구내용

- 1) 선량별 감마선 및 전자선조사 후 아열대과실류의 방사선조사 여부 확인
- 2) 감마선 및 전자선 처리된 아열대과실류의 가공(건조)후 방사선조사 여부 확인

### 나. 연구방법

- 1) 실험 재료

국내에서 생산되는 아열대 과실류인 패션후르츠와 망고는 생산농가에서 직

접 구입하여 선원 및 선량별로 방사선조사를 실시하였다. 방사선조사 여부 및 품질평가를 위하여 과육과 과피로 분리하여 분석에 사용하였으며 일부는 동결 건조 후 분말화하여 시료로 사용하였다.

## 2) 방사선 조사

시료의 감마선조사는 한국원자력연구원 첨단방사선연구소의 선원 11.1 PBq, Co-60 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하여 25°C의 실온에서 분당 10 kGy의 선량률로 각각 0, 0.4, 1 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 또한, 전자선조사는 electron beam accelerator(ELV-4, 2.5 MeV, EB-Tech., Daejon, Korea)를 이용하여 설정한 선량(0, 0.4, 1 kGy)에 따라 조사하였다.

## 3) 방사선조사 여부 확인 방법

### 가) 광자극발광법(Photostimulated luminescence, PSL)

광자극발광법(PSL)은 식품공전에 준하여 실시하였다. 광자극발광법은 식품에 혼입된 이물질인 광물질의 발광 특성을 이용하는 방법으로서 광물질은 방사선조사에 의하여 에너지가 저장되고 일정온도의 적외선에 노출되면 에너지를 방출하는데 이때 방출하는 빛의 양을 측정하여 방사선조사 여부를 판정하는 방법이다. 시료는 최대한 차광조건에서 진행하였으며 측정은 약 3~5 g의 시료를 취하여 페트리 접시(50 x 15mm, Green Cross Medical, Inc., Yongin, Korea)에 바닥이 보이지 않을 정도로 고르게 펼쳐 담은 후 Scottish Universities Research and Reactor Center(SURRC) PSL irradiated food screening system(SURRC, Glasgow, UK)으로 60초 동안 초당 방출되는 빛의 양을 더한 측정값으로 나타내었다. 기기의 cycle time은 1초, cycle 횟수는 60이었다. 측정결과의 판정은 측정값(T)이  $T_1$ (700 count/60초) 미만이면 음성검체(Negative, 조사되지 않은 검체),  $T_2$ (5,000 count/60초) 초과이면 양성검체(Positive, 조사된 검체),  $T_1$ 과  $T_2$  사이의 값이면 중간검체(Intermediate, 조사여부를 판단할 수 없는 검체)로 판별하였다. 모든 시험은 시료당 3개의 검체를 조제하여 반복 측정하였다.

### 나) 열발광법(Thermoluminescence, TL)

열발광법(TL)은 적당량의 시료에 증류수를 첨가한 다음 5분간 초음파(Power

sonic 520, Hwashin, Seoul, Korea) 처리를 하여 표면에 붙은 광물질을 분리하였다. 초음파 처리 후 나일론 여과포(30 x 30 cm, 125 $\mu$ m)를 이용하여 광물질을 침전·분리하였다. 침전물을 튜브에 옮겨 담고 5 mL 폴리텡스텐산나트륨(Sodium polytungstate, 2 g/mL, TC-Tungsten, Grubam Forst, Germany)을 가하여 유기물을 제거한 뒤 증류수로 2회 세척하였다. 그 후 1 N 염산(HCl) 2 mL을 가하여 10분간 정치시켜 탄산염(carbonate)을 제거하고 1 N 수산화암모늄(NH<sub>4</sub>OH)(Junsei Chem., Kyoto, Japan) 2 mL을 가하고 10분간 방치하였다. 아세톤(J. T. Baker, Center Valley, PA, USA)으로 2~3회 세척한 후 건조된 광물질을 약 0.1~5 mg 취하여 TL 측정용 디스크에 옮겨 담고 실리콘스프레이(Electrolube, Ashby Park, UK)를 사용하여 고정시킨 뒤 50°C 건조기에서 하룻밤 예열한 후 측정하였다. 측정기기는 TLD system(Harshaw TLD-3500, Dreieich, Germany)을 이용하여 고순도 질소가스(N<sub>2</sub> gas, 99.9999%) 기류하에서 측정하였다. TLD기기의 분석조건은 초기 온도를 50°C로 하여 5초 동안 예열한 다음 최고온도 350°C, 가온율 5°C/sec로 하고 acquisition time 70초에서 측정하였다(Table 3). 측정된 시료의 TL 신호를 완전히 제거하기 위해 5초 동안의 annealing time을 설정하였다. 방사선조사 여부 확인은 조사된 시료에서 발견되는 특유의 곡선 영역에 대한 면적의 비(ratio)로 판단하였다. 즉, 150°C 전후에서 1차 측정된 TL glow curve를 TL<sub>1</sub>으로 나타내었으며, TL<sub>1</sub>의 정규화(normalization)을 위하여 측정된 미네랄에 1 kGy의 선량으로 감마선을 재조사하여 2차 TL glow curve(TL<sub>2</sub>)를 측정하였다. 그리고 150~250°C 범위의 TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub> 면적비(TL ratio)를 구하여 조사 여부 확인의 신뢰성을 높이기 위한 threshold value를 산출하였다. TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub> 면적비(TL ratio)가 0.1 이상인 것은 양성(방사선조사)으로 0.1 미만은 음성(비방사선조사)으로 판정을 하였다.

Table 3. 열발광 분석기의 분석 조건

Specification	Condition
Preheat temperature	50°C (5 sec)
Temperature rate	5°C/sec
Maximum temperature	400°C
Acquire time	70 sec
Anneal temperature	400°C (5 sec)

#### 다) 전자스핀공명법(Electron Spin Resonance spectroscopy, ESR)

시료의 주성분은 셀룰로오스, 결정형 당 및 빠인지를 확인하고 시료의 측정 부위를 분리(과육, 과피)하여 동결건조하였다. 건조한 시료는 분쇄 후 약 100 mg 을 ESR 시험관(석영, 내경 4mm)에 넣고 ESR spectrometer(JES-TE300 ESR spectrometer, Jeol Co., Japan)를 이용하여 분석하였다. 기기의 분석조건은 microwave power 1.00mW, modulation 100kHz, amplitude  $3.2 \times 10$ , time constant 0.1 sec, sweep time 2min의 조건으로 signal을 측정하였다.

#### 4) 품질 평가

##### 가) 경도

시료의 물성은 texture analyzer(TA/XT2/25, Stable Micro System Co. Ltd., Surrey, UK)를 사용하였다. 지름 3 mm의 plunger를 이용하였고 측정 조건은 pre test speed 2.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s, post test speed 2.0 mm/s, strain 70% 로 하며 시료를 각각 3 x 3 x 1 cm 두께로 잘라서 5회 이상 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

##### 나) 색도

시료의 색도 측정은 Hunter 색도계(Chroma meter CR-300, Konica Minolta Sensing, Inc., Tokyo, Japan)로 시료를 각각 3 x 3 x 1 cm 크기로 자른 뒤 명도(L, lightness), 적색도(a, redness) 및 황색도(b, yellowness)를 나타내었으며 5회 이상 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

##### 다) 당도

시료를 착즙, 여과한 착즙액을 일정량 취하여 당도계(DR-A1, ATAGO, Japan)로 3회 이상 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

##### 라) 유기산

유기산 함량은 High Performance Liquid Chromatography(HPLC)(Thermo Separation Products, SanJose, CA, USA)로 분리·정량하였으며, 시료를 적당히 희석하여 0.45  $\mu$ m syringe filter(Millipore)로 여과하여 HPLC에 주입하였다. 표준물질로 oxalic acid, citric acid, malic acid, succinic acid, formic acid, acetic

acid(Sigma-Aldrich Chemical Co.) 등을 사용하였으며 칼럼은 Aminex Ion exclusion HPX-87H column(300×7.8 mm, Bio-Rad Lab., Hercules, CA, USA)과 Aminex Cation H guard cartridge(30×4.6 mm, Bio-Rad Lab.)을 사용하였으며, 검출기는 UV(215 nm) 검출기, 이동상은 0.008 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 유속은 0.6 mL/min로 하였다.

#### 마) 유리당

유리당 함량은 시료를 적당히 희석하여 0.25 μm syringe filter(Millipore, Billerica, MA, USA)로 여과하여 분석 시료로 사용하였다. 분석기기는 High Performance Liquid Chromatography(HPLC)(Waters e2695, Milford, MA, USA)를 이용하였고 칼럼은 Shodex Asahipak NH2P-50 4E(4.6mm I.D. x 250mm)를 사용하였으며 이동상은 75% acetonitrile(ACN), 검출기는 Evaporative Light Scattering Detector(ELSD, Waters 2424), 유속은 1.2 mL/min로 하였으며, 표준물질은 fructose, glucose 및 sucrose(Sigma-Aldrich Chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

#### 바) 항산화 활성

① DPPH 라디칼 소거능 : 0.2 mM DPPH 라디칼 용액에 일정 농도로 조정된 시료용액을 가한 후 충분히 혼합하여 반응을 진행시킨다. 또한 시료가 가진 색에 의한 간섭을 보정하기 위해 시료 대조구의 흡광도를 함께 측정한다. 정확히 10분 후 517 nm에서 반응액의 흡광도 변화를 측정한다. DPPH 라디칼 소거능은 Trolox를 이용하여 표준검량선을 작성하였다. 시료의 항산화력은 Trolox의 상당량(TEAC; Trolox equivalent antioxidant capacity)로 표시하였으며 mg TEAC /g sample로 나타내었다.

② ABTS 라디칼 소거능 : 7.4 mM ABTS(2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid))와 2.6 mM potassium persulphate를 12시간 이상 암소에 방치하여 청록색의 ABTS<sup>•+</sup> 라디칼을 형성시킨 후 냉장 보관한다. Radical stock solution은 734 nm에서 흡광도 값이 1.5가 되도록 몰 흡광계수( $\epsilon = 1.6 \times 10^4 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )를 이용하여 methanol로 희석한다. 이 용액에 시료 추출물 10~20 μL를 가한 후 상온에서 60분 방치하여 반응액의 흡광도 변화를 측정한다. ABTS 라디칼 소거능은 Trolox를 이용하여 표준검량선을 작성하였다. 시료의 항산화력

은 Trolox의 상당량(TEAC; Trolox equivalent antioxidant capacity)로 표시하였으며 mg TEAC/g sample로 나타내었다.

#### 사) 항산화 성분

① Total polyphenol(Polyphenolics) : Total polyphenol 화합물의 함량은 Folin-Ciocalteu reagent가 알칼리 조건에서 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 노란색에서 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석한다. 각 추출액 100  $\mu$ L에 알칼리 조건을 형성하기 위해 2 mL 2 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  용액을 가한 후 3분 방치 후 100  $\mu$ L 50% Folin-Ciocalteu reagent를 첨가한다. 30분 후 반응액의 흡광도 값을 720 nm에서 측정하고 표준물질로는 0.1 % gallic acid(Sigma Chemical Co., USA)를 사용하였다. 시료의 항산화 성분은 gallic acid의 상당량(GAE; gallic acid equivalent)로 표시하였으며 mg GAE/g sample로 나타내었다.

② Total flavonoid : Total flavonoid 함량은 Jia *et al.*(1999)의 방법을 약간 변형하였다. 즉, 각 추출액 250  $\mu$ L에 증류수 1.25 mL를 가하고 5%  $\text{NaNO}_2$  용액 75  $\mu$ L를 넣고 5분간 방치하였다. 10%  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  용액 150  $\mu$ L를 가하고 다시 6분간 방치하였다. 위 반응액에 1 M NaOH 500  $\mu$ L와 증류수 275  $\mu$ L를 가한 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 (+)-catechin hydrate를 사용하여 표준 검량선을 작성하였다. 시료의 항산화 성분은 catechin의 상당량(CA; catechin equivalent)로 표시하였으며 mg CA/g sample로 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 방사선조사 여부 확인 시험

##### 1) 광자극발광법(Photostimulated luminescence, PSL) 결과

광자극발광법(PSL)은 지각 및 대기에 광범위하게 존재하는 광물질(장석 및 석영)을 함유한 식품의 방사선조사 여부를 스크리닝하는 방법으로 본 연구에서는 국내에서 재배되는 열대과실 중 패션후르츠와 망고에 대하여 감마선과 전자선조사 여부를 확인하였다. 감마선조사 시료의 PSL 분석결과는 Table 4에 나타내었다. 패션후르츠에 대한 photon counts(PCS) 결과는 대조군(비조사, 0 kGy)에서  $258 \pm 53$ 을 나타내어 PCS가 700 이하임으로 감마선조사가 되지 않은 것으

로 판단할 수 있었으나 0.4 kGy와 1 kGy로 조사한 시료에 대해서는 각각  $1,274 \pm 401$  PCS,  $2,297 \pm 905$  PCS를 나타내어 700 이상 5,000 PCS이하의 중간값을 나타내어 광자극발광법으로는 방사선조사 여부를 판단할 수가 없었다. 또한 망고의 경우도 0, 0.4, 그리고 1 kGy로 조사하였을 경우 각각  $299 \pm 48$ ,  $458 \pm 202$ ,  $572 \pm 382$  PCS의 값으로서 700 PCS 이하임으로 광자극발광법으로는 방사선조사 여부를 판단할 수가 없었다. 또한 전자선조사된 패션후르츠와 망고에 대하여 조사한 결과는 Table 5와 같다. 전자선을 선량별(0, 0.4, 1 kGy)로 조사하였을 경우 패션후르츠에서는 0 kGy에서  $258 \pm 53$  PCS로 음성, 0.4와 1 kGy에서 각각  $1,479 \pm 457$ ,  $1,851 \pm 1,163$  PCS의 값으로서 중간값(700 이상 5,000 이하)이 나왔으며 망고의 경우 모든 선량에서 500 PCS 이하의 값을 나타내어 전자선조사된 패션후르츠와 망고에서는 조사여부를 확인할 수가 없었다. EN 13751에서는 미지시료의 경우 해당 시료의 PSL sensitivity를 측정하기 위해 처음 PSL(1<sup>st</sup> PSL) 측정 후 1 kGy로 조사하여 다시 PSL(2<sup>nd</sup> PSL, calibrated PSL)을 측정하도록 권고하고 있다. 또한 대조군에 대비하여 감마선 및 전자선조사 선량을 0.4 kGy와 1 kGy로 조사한 후 2<sup>nd</sup> PSL을 측정한 결과 Table 4-5에 나타내었다. EN 13751에서는 1<sup>st</sup> PSL 측정값은 음성(-)이지만 2<sup>nd</sup> PSL 값이 양성(+)이면 비조사 시료로 판정하고, PSL ratio가 10배 이내이면 PSL sensitivity가 낮아 PSL 적용이 어려운 시료로 열발광법(TL)이나 전자스핀공명법(ESR) 등 다른 판별방법을 적용하여 최종 판별토록 권고하고 있다. 본 연구의 분석시료인 패션후르츠와 망고의 PSL ratio(2<sup>nd</sup> PSL/1<sup>st</sup> PSL)는 모두 10 이하로 나타났으므로 위 기준을 적용하면 패션후르츠와 망고의 경우 PSL 방법 적용이 어려울 것으로 판단하였다. 감마선조사 패션후르츠와 망고의 R<sup>2</sup>값은 각각 0.987과 0.955이었으며 전자선조사 패션후르츠와 망고의 R<sup>2</sup>값은 각각 0.838과 0.907이었다. 선량에 따라 photon counts (PCS)는 증가하는 경향을 보여주었으나 종합적인 판단에서는 PSL 방법을 적용하기에는 적합하지는 않았다. Kim *et al.*(2012)은 망고와 건망고에 대해 PSL을 적용한 결과 1 kGy에서 방사선조사 여부를 확인 할 수 없다고 보고하였으며 Kim *et al.*(2006)에서도 1, 3, 5, 7 kGy 선량으로 감마선조사한 알로에 베라에서 선량의존적으로 photon counts가 증가하였으며 광자극발광법으로 확인 할 수가 있었다. 이와 같은 선량 의존적인 photon counts의 변화는 시료에 혼입된 미네랄의 중

류 및 양에 기인하는 것으로 알려져 있다.(Kwon *et al.* 2002) Yoon *et al.*(2014)도 동결건조된 사과와 동결건조된 감에 감마선을 1, 3, 5, 7, 10 kGy 선량으로 조사 후 측정한 결과 광자극발광법으로 확인을 할 수 가 없다고 보고한 바도 있다.

Table 4. 감마선조사 처리한 패션후르츠와 망고 광자극발광(PSL) 특성

(unit : photon count/60 sec)

Samples	Dose (kGy)	Average <sup>1)</sup> (Photon count/60 sec)	PSL ratio <sup>2)</sup> (2nd measured/1st measured)
Passion fruits	0	258 ± 53 (-) <sup>3)</sup>	-
	0.4	1,274 ± 401 (M)	5
	1	2,297 ± 905 (M)	9
Mango	0	299 ± 48 (-)	-
	0.4	458 ± 202 (-)	2
	1	572 ± 382 (-)	2

<sup>1)</sup> Average of PSL counts at 3 times. <sup>2)</sup> Calibrated PSL value/unknow PSL value. <sup>3)</sup> Threshold value: T<sub>1</sub>=700(non irradiated), T<sub>2</sub>=5,000(irradiated), (-) <T<sub>1</sub>, T<sub>1</sub> <(M) <T<sub>2</sub>, and (+) > T<sub>2</sub>

Table 5. 전자선조사 처리한 패션후르츠와 망고 광자극발광(PSL) 특성

(unit : photon count/60 sec)

Samples	Dose (kGy)	Average <sup>1)</sup> (Photon count/60 sec)	PSL ratio <sup>2)</sup> (2nd measured/1st measured)
Passion fruits	0	258 ± 53 (-) <sup>3)</sup>	-
	0.4	1,479 ± 457 (M)	6
	1	1,851 ± 1,163 (M)	7
Mango	0	299 ± 48 (-)	-
	0.4	400 ± 122 (-)	1
	1	449 ± 137 (-)	2

<sup>1)</sup> Average of PSL counts at 3 times. <sup>2)</sup> Calibrated PSL value/unknow PSL value. <sup>3)</sup> Threshold value: T<sub>1</sub>=700(non irradiated), T<sub>2</sub>=5,000(irradiated), (-) <T<sub>1</sub>, T<sub>1</sub> <(M) <T<sub>2</sub>, and (+) > T<sub>2</sub>

## 2) 열발광법(Thermoluminescence, TL) 결과

열발광법(TL)은 식품에 혼입된 광물질(silicate, felspar, quartz, carbonate 등)의 발광특성을 이용하는 방법으로 시료에서 분리한 광물질에 50 ~ 350 °C의 열을 가하면 발광곡선이 나타나는데 방사선조사 시료의 경우 150 ~ 250 °C에서 발광곡선이 나타나며 비조사 시료의 경우에는 특징적인 발광곡선을 나타내지 않거나 300 °C 이후에서 발광곡선을 나타낸다. 이러한 특성을 이용하여 발광피크의 온도범위로 조사여부 판별에 이용하며 미네랄의 방사선 흡수선량에 따라 일정 온도 범위에서 독특한 TL glow curve를 나타내게 된다. 즉, 비조사 시료의 경우 자연 방사선과 우주선에 의해 300 °C 부근에서 glow curve를 나타내지만, 조사 시료의 경우 200 °C 부근에서 glow curve를 나타낸다. 본 실험에 사용된 열대과실류중 패션후르츠와 망고의 열발광분석(TL) 특성 결과는 Table 6에 나타내었으며 TL ratio( $TL_1/TL_2$ )이 0.1이상이면 양성(방사선조사 시료)으로 판별을 하였다. 또한 감마선과 전자선조사 패션후르츠의 열발광곡선은 Fig. 1에 나타내었다. 감마선의 선량을 각각 0, 0.4, 1 kGy로 조사한 패션후르츠에서 TL ratio( $TL_1/TL_2$ )는 0.004, 0.398, 0.863로서 감마선 선량을 각각 0.4, 1 kGy로 조사한 TL ratio( $TL_1/TL_2$ )가 0.398, 0.863은 TL ratio가 0.1 이상으로서 열발광 분석법으로 방사선 조사 여부를 확인 할 수가 있었다. 또한 전자선조사를 각각 0, 0.4, 1 kGy로 조사한 패션후르츠에서 TL ratio( $TL_1/TL_2$ )가 0.004, 0.263, 0.635로서 TL ratio가 0.1 이상으로서 감마선조사와 마찬가지로 열발광분석법 적용이 가능할 것으로 판단하였다. 패션후르츠에 감마선과 전자선조사의  $R^2$ 값은 각각 0.995, 0.999로서 TL ratio 역시 선량 증가에 따라 유의적인 증가를 나타내었다. 하지만 망고의 경우 미네랄이 추출이 되지 않아 열발광분석법으로는 적용이 어려울 것으로 판단하였다. Yoon *et al.*(2014)도 동결건조된 사과와 동결건조된 감에 감마선을 1, 3, 5, 7, 10 kGy 선량으로 조사후 측정된 결과 열발광분석법으로 측정이 가능한 것으로 보고하였다. Kim *et al.*(2006)도 1, 3, 5, 7 kGy 선량으로 감마선조사한 알로에 베라에서 조사 후 측정된 결과 TL ratio가 0.5보다 크며 비조사시료는 0.1이하로 보고하여 열발광분석법으로 확인이 가능한 것으로 보고하였다. Jung *et al.*(2012)은 1, 3, 5 kGy 감마선조사 건망고의 열발광법의 적용은 어렵다고 보고하였다.

Table 6. 방사선조사 처리한 패션후르츠와 망고의 열발광(TL) 특성

Samples	Dose (kGy)	Gamma-ray		Electron Beam	
		Average of TL Ratio(TL <sub>1</sub> /TL <sub>2</sub> )	Result of TL ratio	Average of TL Ratio(TL <sub>1</sub> /TL <sub>2</sub> )	Result of TL ratio
Passion fruits	0	0.004 <sup>1)</sup>	N <sup>2)</sup>	0.004	N
	0.4	0.398	P	0.263	P
	1	0.863	P	0.635	P
Mango	0	N.D	-	N.D	-
	0.4	N.D	-	N.D	-
	1	N.D	-	N.D	-

<sup>1)</sup> Average of TL ratio(TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>) at 3 times. <sup>2)</sup> TL ratio > 0.1 ; Irradiated food(P), TL ratio < 0.1 ; Non-irradiated food(N)

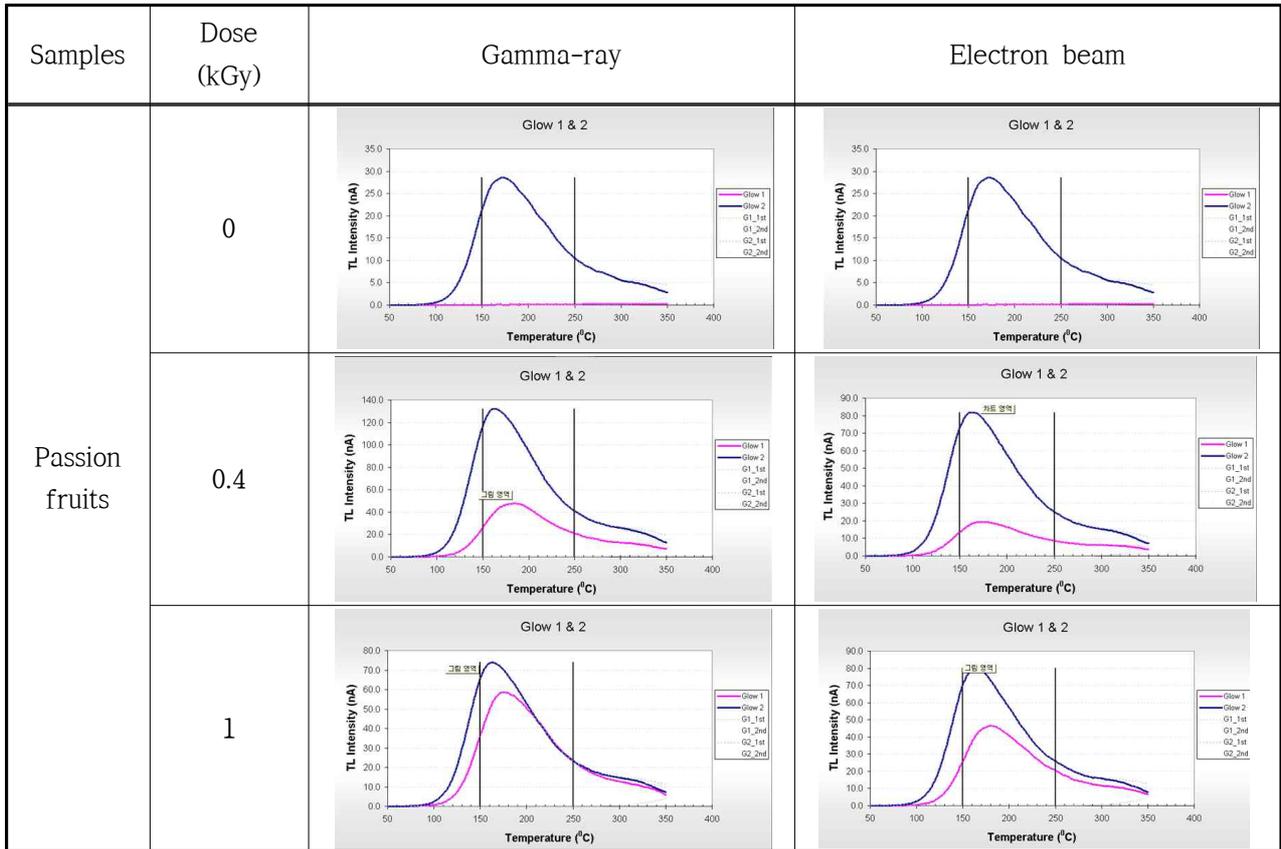


Figure 1. 패션후르츠의 방사선조사(감마선, 전자선) 처리 후 열발광 곡선

### 3) 전자스핀공명법(ESR) 분석 결과

감마선과 전자선조사 패션후르츠와 망고에 대하여 각각 과피와 과육을 분리하여 각각 동결건조를 하여 ESR 측정 결과를 Figs. 2-3에 각각 나타내었다. Figs. 2-3에 나타낸 바와 같이 실험구(과피, 과육) 모두 대칭적인 unspecific central ESR signal 형태를 확인 할 수 있었으나 일반적인 cellulose가 함유된 재료에서 나타나는 명확한 triplet 형태의 signal의 형태는 아닌 것으로 판단하였다. 또한 방사선조사 시료와 방사선 비조사 시료의 구분이 되지 않았으며 조사시료 간의 선량 의존적인 변화 양상들도 확인 할 수가 없었다. 이는 Yoon *et al.*(2014)에서 보고한 바와 같이 라이칼 생성에 영향을 줄 수 있는 다양한 인자들(수분함량 등)에 의하여 기인하며 대부분의 식품에서 생성된 라디칼들은 수분함량에 의해 빠르게 중화 되어지지만 건조물 중의 식품성분과 포장된 재료는 라디칼이 상대적으로 긴 수명을 갖고 갇히게 되는데 본 실험에 사용되어진 시료의 경우 cellulose내 충분한 라디칼들이 생성되거나 함유되어 있지 않아 이상과 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다.

이상의 결과를 통하여 볼 때 본 연구에 사용된 시료의 경우 ESR법으로 방사선 조사 유무를 확인 할 수 없는 것으로 나타나 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료되어진다. 이전의 연구에서는 Yoon *et al.*(2014)도 동결건조된 사과와 동결건조된 감에 감마선을 1, 3, 5, 7, 10 kGy 선량으로 조사 후 측정한 결과 전자스핀공명법으로 확인을 할 수 가 없었다고 보고한 바가 있다. Kim *et al.*(2006)도 1, 3, 5, 7 kGy 선량으로 감마선조사한 알로에 베라에서 조사 후 측정한 결과 triplet 형태의 ESR signal은 확인할 수 없었으나 조사선량이 증가함에 따라 signal의 크기가 증가하여 전자스핀공명법으로 확인을 할 수 가 있었다고 보고하였다. Jung *et al.*(2012)은 1, 3, 5 kGy 감마선조사 건망고의 ESR법 확인 결과 multi-component 신호를 보여주고 신호 강도 역시 조사선량에 따라 유의적으로 증가하여 ESR법 적용이 가능하다고 보고하였다.

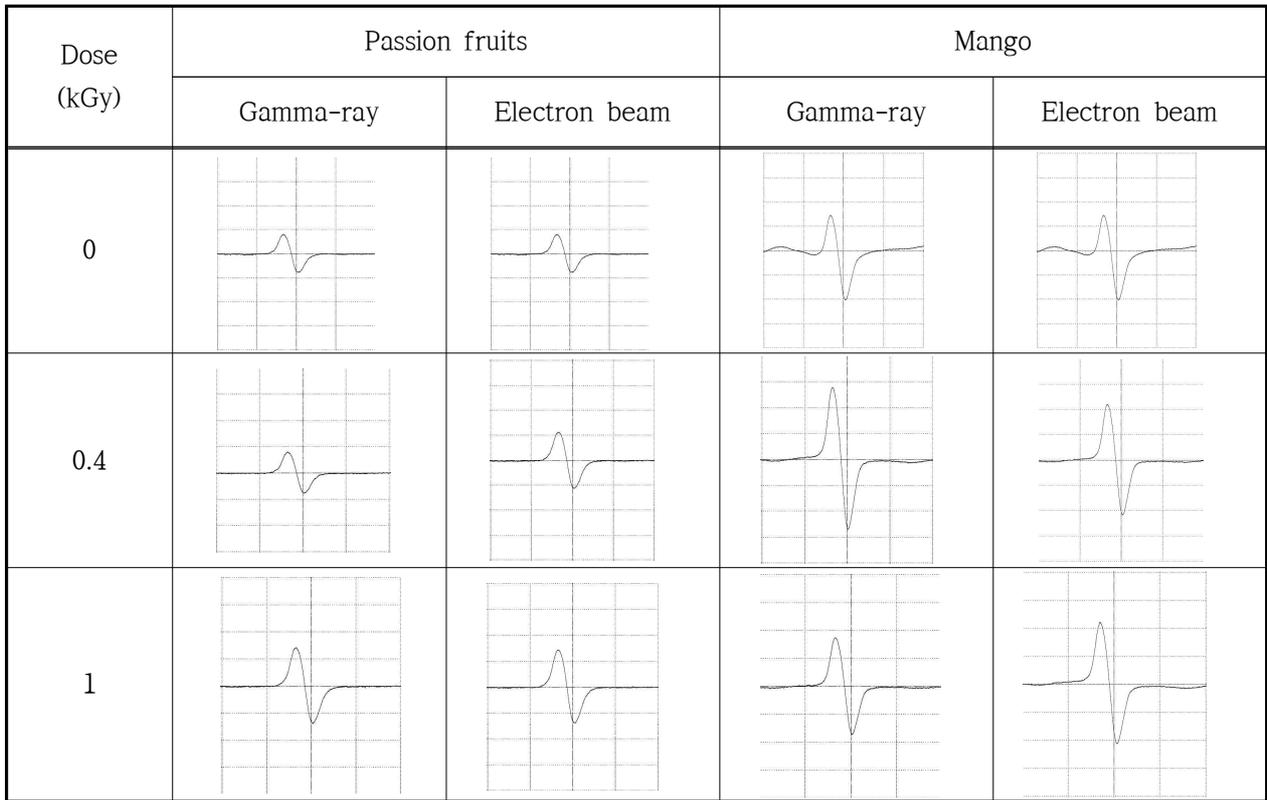


Figure 2. 패션후르츠(과피)와 망고(과피)의 방사선조사(감마선, 전자선) 처리 후 ESR 곡선

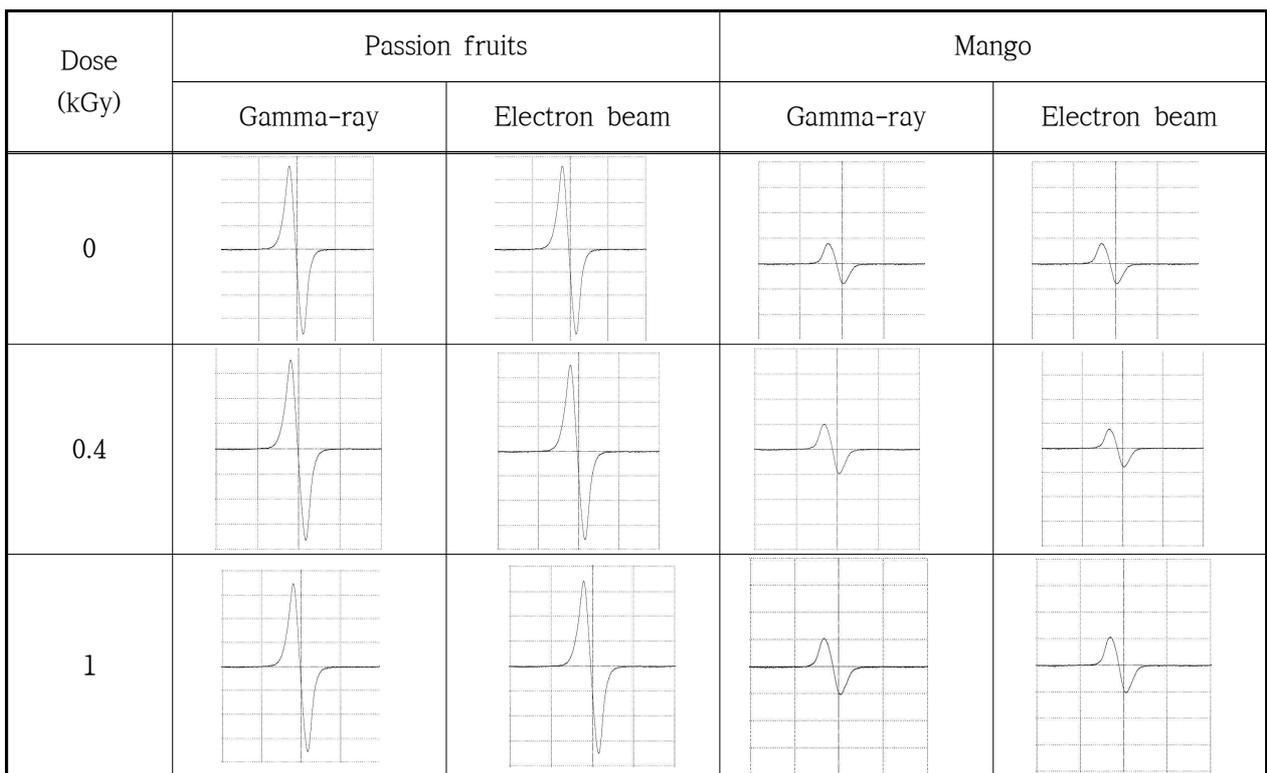


Figure 3. 패션후르츠(과육)와 망고(과육)의 방사선조사(감마선, 전자선) 처리 후 ESR 곡선

## 나. 방사선조사 처리한 시료에 대한 품질평가

### 1) 경도, 색도 및 무게 분석 결과

선량별 방사선(감마선, 전자선)조사 후 패션후르츠와 망고에 대한 경도, 색도 및 무게 분석결과를 Table 7-8과 같이 나타내었다.

감마선과 전자선을 각각 0, 0.4, 및 1 kGy로 조사한 패션후르츠의 경우 경도는 모든 선량에서 25.12 ~ 47.02의 범위로 나타내었으며 감마선과 전자선의 선량이 증가할수록 비조사 시료에 비하여 감소하는 경향을 보였다. 또한 1 kGy 감마선 조사와 전자선조사에서 약 46.57 %와 24.33 %으로 비조사 시료에 비하여 경도가 감소하는 경향을 나타내었다. 색도의 경우 L값(명도)은 23.38 ~ 27.22, a값(적색도)은 8.19 ~ 11.69, b값(황색도)은 2.03 ~ 2.79 로서 조사와 비조사 시료에서 모두 비슷한 값을 나타내었다. 무게 또한 68.77 ~ 75.60 g으로서 비슷한 값을 나타내어 패션후르츠의 경우 방사선조사시 경도에서만 차이를 보여주었다.

감마선과 전자선을 각각 0, 0.4, 및 1 kGy로 조사한 망고의 경우 경도는 감마선과 전자선의 선량이 증가할수록 경도가 약해지는 경향을 보였으며 경도의 값은 11.42 ~ 26.04의 범위를 나타내었다. 또한 1 kGy의 감마선조사와 전자선조사에서 약 56.14 %와 14.75 %으로 비조사 시료에 비하여 경도가 감소하는 경향을 나타내었다. 색도의 경우 L값(명도)은 30.86 ~ 32.64, a값(적색도)은 0.45 ~ 0.47, b값(황색도)은 0.43 ~ 0.44 로서 조사와 비조사 시료에서 모두 많은 변화를 나타내지는 않았다. 무게 또한 337.57 ~ 389.17 g으로서 비슷한 값을 나타내어 망고의 경우도 방사선조사시 경도에서만 차이를 나타내었다. 이는 Yun *et al.*(2008)이 방사선 조사에 의하여 과실 및 채소류의 경도가 저하될 수 있으며 이는 식물체의 조직과 수분함량에 따라 다양하게 나타난다고 보고하였으며 Cho *et al.*(2015)은 0.8 kGy 이하의 전자선은 오렌지 경도에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고한 바가 있다.

Table 7. 방사선조사 처리한 패션후르츠의 경도, 색도 및 무게 변화

Samples	Source	Dose (kGy)	Hardness	Average of Hunter's color values			Weight (g)
				L <sup>3)</sup>	a <sup>4)</sup>	b <sup>5)</sup>	
Passion fruits	C <sup>1)</sup>	0	47.02±4.33	23.38±0.72	9.32±2.78	2.30±0.79	68.77±10.22
	IR <sup>2)</sup>	0.4	37.28±5.89	23.78±1.43	8.59±2.21	2.03±0.53	75.60±9.35
		1	25.12±2.99	24.59±1.22	9.32±1.74	2.11±0.33	72.25±9.91
	EB <sup>3)</sup>	0.4	42.38±4.19	26.23±1.40	11.69±2.53	2.79±0.60	74.69±7.38
		1	35.58±4.35	27.22±0.57	8.19±2.46	2.17±0.42	70.59±6.15

<sup>1)</sup>C : Control. <sup>2)</sup>IR : Gamma-ray <sup>3)</sup>EB : Electron beam <sup>3)</sup>L : Degree of lightness. <sup>4)</sup>a : Degree of redness. <sup>5)</sup>b : Degree of yellowness. <sup>4)</sup>Mean±SD(n=5).

Table 8. 방사선조사 처리한 망고의 경도, 색도 및 무게 변화

Samples	Source	Dose (kGy)	경도	Average of Hunter's color values			Weight (g)
				L <sup>3)</sup>	a <sup>4)</sup>	b <sup>5)</sup>	
Mango	C <sup>1)</sup>	0	26.04±2.39	32.64±2.45	0.46±0.01	0.43±0.01	370.49±36.63
	IR <sup>2)</sup>	0.4	14.65±3.61	32.59±2.11	0.47±0.01	0.44±0.01	345.02±29.59
		1	11.42±3.43	32.38±1.87	0.46±0.01	0.44±0.01	348.16±21.43
	EB <sup>3)</sup>	0.4	25.64±3.52	30.86±1.97	0.46±0.01	0.43±0.01	337.57±23.92
		1	22.20±3.19	31.08±3.41	0.45±0.01	0.43±0.01	389.17±17.95

<sup>1)</sup>C : Control. <sup>2)</sup>IR : Gamma-ray <sup>3)</sup>EB : Electron beam <sup>3)</sup>L : Degree of lightness. <sup>4)</sup>a : Degree of redness. <sup>5)</sup>b : Degree of yellowness. <sup>4)</sup>Mean±SD(n=5).

## 2) 유리당 함량 및 당도

선량별 방사선(감마선, 전자선)조사 후 패션후르츠와 망고에 대한 유리당 및 당도 분석결과를 Table 9-10과 같이 나타내었다.

감마선과 전자선을 각각 0, 0.4, 및 1 kGy로 조사한 패션후르츠의 유리당 함량은 비조사시료에서 fructose, glucose 및 sucrose 함량이 각각 2.63, 2.47 및 4.01 % 이었다. 0.4 kGy 감마선조사의 경우 fructose, glucose 및 sucrose 함량이 각각 3.64, 3.71, 3.04 %이었으며 3종류의 유리당 합이 10.39 %이었다. 또한 1 kGy 감

마선조사의 경우 3종류의 유리당 합이 11.33 %이었다. 전자선조사의 경우 0.4 kGy 선량에서 fructose, glucose 및 sucrose 함량은 각각 3.78, 3.71, 2.71 %, 1 kGy 선량에서 fructose, glucose 및 sucrose 함량은 각각 3.79, 3.88, 2.65 %이었다. 0.4, 1 kGy 선량의 전자선조사의 유리당 합은 각각 10.20, 10.32 %로서 비슷한 함량을 나타내었다. 또한 선원 및 선량별로 조사한 패선후르츠의 당도는 13.3 ~ 15.0 brix로서 비조사시료와 조사시료 모두에서 비슷한 결과를 나타내었다.

Table 9. 방사선조사 처리한 패선후르츠의 유리당 함량 및 당도

Sample	Sauce	Dose (kGy)	Concentration (%)				Sugar contents (Brix)
			Fructose	Glucose	Sucrose	Sum	
Passion fruits	C <sup>1)</sup>	0	2.63 ± 0.04	2.47 ± 0.04	4.01 ± 0.05	9.11	13.3 ± 0.08
	IR <sup>2)</sup>	0.4	3.64 ± 0.13	3.71 ± 0.17	3.04 ± 0.14	10.39	14.5 ± 0.13
		1	3.65 ± 0.34	3.61 ± 0.34	4.07 ± 0.42	11.33	13.6 ± 0.16
	EB <sup>3)</sup>	0.4	3.78 ± 0.33	3.71 ± 0.31	2.71 ± 0.24	10.20	14.3 ± 0.13
		1	3.79 ± 0.11	3.88 ± 0.12	2.65 ± 0.04	10.32	15.0 ± 0.22

<sup>1)</sup>C : Control. <sup>2)</sup>IR : Gamma-ray <sup>3)</sup>EB : Electron beam

감마선과 전자선을 각각 0, 0.4, 및 1 kGy로 조사한 망고의 유리당 함량은 비조사시료에서 fructose, glucose 및 sucrose 함량이 각각 3.54, 3.16 및 1.75 %이었다. 0.4 kGy 감마선조사의 경우 fructose, glucose 및 sucrose 함량이 각각 4.02, 3.65 및 1.33 %이었으며 3종류의 유리당 합이 9.00 %이었다. 또한 1 kGy 감마선조사의 경우 3종류의 유리당 합이 6.37 %이었다. 전자선조사의 경우 0.4 kGy 선량에서 fructose, glucose 및 sucrose 함량은 각각 4.19, 4.12 및 0.24 %, 1 kGy 선량에서 fructose, glucose 및 sucrose 함량은 각각 4.30, 3.40 및 0.93 %이었다. 0.4, 1 kGy 선량의 전자선조사의 유리당 합은 각각 8.55, 8.63 %로서 비조사 시료의 유리당의 합과 비슷한 함량을 나타내었다. 하지만 1 kGy 감마선조사 망고에서는 비조사 시료에 비하여 약간 낮은 수치를 보여주었다. 또한 선원 및 선량별로 조사한 망고의 당도는 16.7 ~ 18.0 brix로서 비조사시료와 조사시료 모두에서 비슷한 결과를 나타내었다.

Table 10. 방사선조사 처리한 망고의 유리당 함량 및 당도

Sample	Sauce	Dose (kGy)	Concentration (%)				Sugar contents (Brix)
			Fructose	Glucose	Sucrose	Sum	
Mango	C <sup>1)</sup>	0	3.54 ± 0.08	3.16 ± 0.07	1.75 ± 0.11	8.45	17.5 ± 0.26
	IR <sup>2)</sup>	0.4	4.02 ± 0.08	3.65 ± 0.06	1.33 ± 0.06	9.00	18.0 ± 0.22
		1	3.11 ± 0.05	1.99 ± 0.05	1.27 ± 0.10	6.37	16.7 ± 0.24
	EB <sup>3)</sup>	0.4	4.19 ± 0.12	4.12 ± 0.08	0.24 ± 0.03	8.55	17.0 ± 0.13
		1	4.30 ± 0.13	3.40 ± 0.07	0.93 ± 0.06	8.63	17.8 ± 0.11

<sup>1)</sup>C : Control. <sup>2)</sup>IR : Gamma-ray <sup>3)</sup>EB : Electron beam

### 3) 유기산 함량

선량별 방사선(감마선, 전자선)조사 후 패션후르츠와 망고에 대한 유기산 분석 결과를 Table 11-12와 같이 나타내었다.

감마선과 전자선을 각각 0, 0.4, 및 1 kGy로 조사한 패션후르츠의 유기산 분석은 oxalic acid, citric acid, malic acid, succinic acid, formic acid, acetic acid 등 6종류에 대하여 분석을 하였다. 비조사시료의 6 종의 유기산 함량은 27.233 mg/mL 이었으며 감마선조사 0.4, 1 kGy의 총 유기산 함량은 33.500, 13.958 mg/mL, 전자선조사 0.4, 1 kGy의 총 유기산 함량은 27.791, 29.544 mg/mL을 나타내었다. 1 kGy 감마선 조사한 시료를 제외하고는 비조사시료와 비슷한 결과를 나타내었다. 또한 망고의 경우 비조사시료 총 유기산 함량은 2.888 mg/mL이었으며 0.4, 1 kGy 감마선조사 망고의 총 유기산 함량은 4.184, 4.692 mg/mL, 0.4, 1 kGy 전자선조사 망고의 총 유기산 함량은 5.517, 4.517 mg/mL을 나타내었다. 전반적으로 비조사시료에 비하여 방사선조사 시료에서 약간 높은 결과를 나타내었다.

Table 11. 방사선조사 처리한 패선후르츠의 유기산 함량

Sample	Sauce	Dose (kGy)	Concentration (mg/mL)						
			Oxalic acid	Citric acid	Malic acid	Succinic acid	Formic acid	Acetic acid	Sum
Passion fruits	C <sup>1)</sup>	0	0.317	26.183	0.511	0.059	0.113	0.051	27.233
	IR <sup>2)</sup>	0.4	0.541	32.034	0.526	0.282	0.075	0.042	33.500
		1	0.181	13.394	0.200	0.074	0.033	0.076	13.958
	EB <sup>3)</sup>	0.4	0.301	26.705	0.513	0.084	0.121	0.067	27.791
		1	0.528	28.256	0.521	0.040	0.109	0.090	29.544

<sup>1)</sup>C : Control. <sup>2)</sup>IR : Gamma-ray <sup>3)</sup>EB : Electron beam

Table 12. 방사선조사 처리한 망고의 유기산 함량

Sample	Sauce	Dose (kGy)	Concentration (mg/mL)						
			Oxalic acid	Citric acid	Malic acid	Succinic acid	Formic acid	Acetic acid	Sum
Mango	C <sup>1)</sup>	0	0.202	0.949	0.078	1.649	0.004	0.005	2.888
	IR <sup>2)</sup>	0.4	0.196	1.736	0.124	2.119	0.000	0.009	4.184
		1	0.180	2.045	0.134	2.303	0.008	0.022	4.692
	EB <sup>3)</sup>	0.4	0.289	2.025	0.130	3.042	0.010	0.021	5.517
		1	0.241	1.661	0.099	2.497	0.004	0.017	4.517

<sup>1)</sup>C : Control. <sup>2)</sup>IR : Gamma-ray <sup>3)</sup>EB : Electron beam

#### 4) 항산화 성분 및 활성

선량별 방사선(감마선, 전자선)조사 후 패선후르츠와 망고에 대한 항산화 성분 (polyphenolics, flavonoid) 및 항산화 활성(ABTS 라디칼 소거능, DPPH 라디칼 소거능) 분석결과를 Table 13-14와 같이 나타내었다.

0, 0.4, 및 1 kGy의 선량으로 감마선조사한 패선후르츠의 항산화 성분인 polyphenolics의 함량은 23.105, 22.571, 21.236 mg gallic acid/g, flavonoid의 함량은 6.336, 7.038, 6.485 mg catechin/g이었다. 또한 0.4, 1 kGy 전자선조사 패선후르

츠의 항산화 성분인 polyphenolics의 함량은 24.529, 25.835 mg gallic acid/g, flavonoid의 함량은 7.481, 7.540 mg catechin/g이었다. 항산화 활성인 ABTS 라디칼 소거능과 DPPH 라디칼 소거능의 경우 비조사시료에서 각각 40.763과 12.310 mg Trolox/g을 나타내었으며 1 kGy 전자선조사 시료 46.672과 15.219 mg Trolox/g을 제외하고는 다른 선량, 다른 선원에서는 비슷한 경향을 나타내었다. 감마선조사한 망고의 항산화 성분인 polyphenolics의 함량은 0, 0.4, 및 1 kGy의 선량에서 각각 9.508, 8.006, 7.877 mg gallic acid/g, flavonoid의 함량은 각각 0.799, 1.027, 1.578 mg catechin/g으로서 비슷한 값을 나타내었다. 또한 0.4, 1 kGy 전자선조사 망고의 항산화 성분인 polyphenolics의 함량은 16.218과 7.963 mg gallic acid/g, flavonoid의 함량은 5.714과 1.000 mg catechin/g으로서 0.4 kGy 전자선조사에서 비조사시료에 비하여 항산화 성분은 약간 높게 나타났다. 항산화 활성인 ABTS 라디칼 소거능과 DPPH 라디칼 소거능의 경우 비조사시료에서 각각 25.769과 10.452 mg Trolox/g을 나타내었으며 0.4와 1 kGy 전자선조사 시료가 14.172와 19.789 mg Trolox/g을 나타내어 비조사시료에 비하여 낮게 측정된 것을 제외하고는 모든 시료에서 비슷한 경향을 나타내었다.

Table 13. 방사선조사 처리한 패션후르츠의 항산화 성분 함량 및 항산화 활성

Sam ple	Sau ce	Dose (kGy)	Concentration				
			Polyphenolics <sup>4)</sup> (mg GAE/g sample)	Flavonid <sup>5)</sup> (mg CA/g sample)	ABTS <sup>6)</sup> (mg TEAC/g sample)	DPPH <sup>6)</sup> (mg TEAC/g sample)	
Passi on fruits	C <sup>1)</sup>	0	23.105 ± 0.089	6.336 ± 0.254	40.763 ± 1.634	12.310 ± 0.588	
		0.4	22.571 ± 0.541	7.038 ± 0.128	40.210 ± 1.155	13.340 ± 1.127	
	IR <sup>2)</sup>	1	21.236 ± 0.496	6.485 ± 0.079	38.676 ± 1.254	11.959 ± 0.783	
		EB <sup>3)</sup>	0.4	24.529 ± 0.356	7.481 ± 0.358	41.216 ± 1.111	13.219 ± 0.847
			1	25.835 ± 0.506	7.540 ± 0.547	46.672 ± 1.969	15.219 ± 0.676

<sup>1)</sup>C : Control. <sup>2)</sup>IR : Gamma-ray <sup>3)</sup>EB : Electron beam <sup>4)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg gallic acid equivalents per 1 g of sample(dry weight bassis). <sup>5)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg (+)-catechin equivalents per 1 g of sample(dry weight bassis). <sup>6)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg Trolox equivalents per 1 g of sample(dry weight bassis).

Table 14. 방사선조사 처리한 망고의 항산화 성분 함량 및 항산화 활성

Sam ple	Sau ce	Dose (kGy)	Concentration (mg/g)			
			Polyphenolics <sup>4)</sup> (mg GAE/g sample)	Flavonid <sup>5)</sup> (mg CA/g sample)	ABTS <sup>6)</sup> (mg TEAC/g sample)	DPPH <sup>6)</sup> (mg TEAC/g sample)
Man go	C <sup>1)</sup>	0	9.508 ± 0.522	0.799 ± 0.040	25.769 ± 1.124	10.452 ± 1.309
	IR <sup>2)</sup>	0.4	8.006 ± 0.335	1.027 ± 0.023	20.009 ± 0.494	9.533 ± 2.492
		1	7.877 ± 0.675	1.578 ± 0.141	23.672 ± 1.917	11.300 ± 2.376
	EB <sup>3)</sup>	0.4	16.218 ± 4.102	5.714 ± 0.648	14.172 ± 0.367	9.218 ± 3.762
		1	7.963 ± 0.983	1.000 ± 0.145	19.789 ± 1.321	9.944 ± 1.950

<sup>1)</sup>C : Control. <sup>2)</sup>IR : Gamma-ray <sup>3)</sup>EB : Electron beam <sup>4)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg gallic acid equivalents per 1 g of sample(dry weight basis). <sup>5)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg (+)-catechin equivalents per 1 g of sample(dry weight basis). <sup>6)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg Trolox equivalents per 1 g of sample(dry weight basis).

#### 다. 고찰 및 요약

방사선조사 여부 확인을 위한 미지시료에 대한 검지시험법으로 광자극발광법(PSL)의 photon counts(PCS) 측정에 의한 스크리닝방법과 열발광법(TL)에 의한 검증방법은 매우 효과적인 검지결과를 얻을 수 있는 다중검지법이라고 보고 된바가 있으며 본 연구에서는 PSL-TL외에 ESR법을 추가하여 국내에서 재배되고 있는 열대과실류 중 패션후르츠와 망고에 대하여 선량별(0.4, 1 kGy)로 방사선(감마선, 전자선)조사 후 방사선조사 여부 확인 및 품질특성도 연구를 하였다.

패션후르츠와 망고에 대하여 감마선과 전자선을 각각 선량별로 조사하였을 경우 다중검지법 PSL-TL-ESR 중에서 방사선조사(감마선, 전자선)된 패션후르츠에 대하여 열발광법(TL)만 방사선조사 여부를 적용할 수 있을 것으로 판단하였다.

이전의 보고에서는 Kim *et al.*(2012)은 1 kGy 감마선조사 망고와 건망고에 대하여 PSL 분석으로 확인이 되지 않으며 망고(냉동)에서는 시료에 미네랄이 없거나 양이 적어 열발광법(TL)적용 가능성이 낮다고 보고하였다. 또한 1, 3, 5, 10 kGy 선량으로 감마선조사한 망고(건, 냉동)에 대하여 ESR법이 가능하다고 하여 본 연구에서 1 kGy의 방사선(감마선, 전자선)의 과육과 과피에서 ESR법 적용이

낮은 결과와 상이하게 보고하였다. 또한 방사선을 조사에 따라 선량이 증가할수록 경도가 감소하는 경향을 나타내었으며 그 외의 품질특성(색도, 당도), 유기산, 항산화 성분 및 항산화 활성에 대하여 일부 선량 및 선원의 시료에서만 약간 차이가 보일뿐 대부분의 선량 및 선원에 대하여는 비조사시료와 비슷한 경향을 나타내었다.

#### 4. 기대성과 및 활용방안

##### 가. 기대성과

- 감마선 및 전자선 조사된 농산물의 방사선조사 분석방법 확대
- 방사선조사 농산물 표시규정 준수를 위한 과학적 관리시스템 구축자료 제공
- 방사선조사 농산물의 신속한 검지기술체계 구축을 위한 기초자료 제공

##### 나. 활용방안

- 방사선조사 미허용 품목인 아열대과실류의 신속한 검지기술체계 구축에 필요한 기초자료 제공
- 연구결과 국내 학회 발표 및 논문 투고
  - (가제) 물리적 방법(PSL-TL-ESR)을 이용한 선종별 조사처리 패션후르츠의 검지특성

#### 5. 참고문헌

- Cho YJ, Kim KH, Yook HS. Quality characteristics of low-dose electron beam irradiated-imported navel orange during storage at low temperature(3°C). *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 44, 128-136.(2015)
- CEN. Detection of irradiated food using photostimulated luminescence. European Committee for Standard. English version of EN 13751, Brussels, Belgium, p7-8.(2002)
- CEN. Detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated method by thermoluminescence. European Committee for

Standard. English version of EN 1788, Brussels, Belgium, p6-9.(2001)

- Ham HM, Woo KS, Park JY, Lee BW, Choi YH, Lee CW, Kim WH, Lee JS, Lee YY. Antioxidant and anti-proliferative activities of oats under different solvent extraction conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 45, 918-922.(2016)
- Jia Z, Tang M, Wu J. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64, 555-559.(1999)
- Jung JH, Jung YM, Jo DJ, Kwon JH. Quality evaluation and physical identification of irradiated dried fruits. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 41, 1559-1564.(2012)
- Kim BJ, Kim HS, Koh JS, Kang YJ. Carotenoid, color value, UV spectrum, organic acid and free sugar contents of citrus varieties produced in Cheju. *Korean J Post-Harvest Sci Technol Agric Products.* 3, 23-32.(1996)
- Kim BK, Lim SY, Song HP, Yun HJ, Kwon JH, and Kim DH. Detection characteristics of irradiated aloe vera by the analysis of PSL, TL and ESR. *Korean J Food Preserv.* 13, 61-65.(2006)
- Kim KH, Choi EJ, Chang HW, Shin CS, Kim MY, Hwang CR, Kim EJ, Jo TY, Park GS, Kang MH, Kim JI, Kim JS, Park SN, Seong RS, Jang YM, Yoon HS, Han SB. Studies on the applications of PSL, TL and ESR methods for the detection of irradiated foods not allowed to be irradiated in Korea. *J Fd Hyg Safety.* 27, 233-246.(2012)
- Kwon JH. Jeong JY and Chung HW. Thermoluminescence characteristics of minerals from irradiated potatoes of different origins of production. *Radiat. Phys. Chem.*, 63, 415-418.(2002)
- KFDA, Food code. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea. 10-8-40~10-8-60.(2012).

- Yi SD, Woo SH, and Yang JS. Pulsed photostimulated luminescence of irradiated importation sesame and perilla seeds. *Korean J. Food Sci. Tech.* 33, 173-177.(2001)
- Yoon YM, Park JN, Choi SJ, Park JH, Kim JK, Byun EB, Lee JW, Han IN, Park JG. Detection properties of irradiated dried fruits by using photo-stimulated luminescence, thermoluminescence, and electronspin resonance methods. *Journal of Radiation Industry.* 8, 11-15.(2014)
- Yun HJ, Lim SY, Hur JM, Lee BY, Choi YJ, Kwon JH, Kim DH. Changes of nutritional compounds and texture characteristics of peches(*Prunus persica* L. Batsch) during post-irradiation storage at different temperature. *Korean J Food Preserv.* 15, 377-384.(2008)