pISSN 1229-1153 *J. Fd Hyg. Safety*
Vol. 28, No. 3, pp. 258~266 (2013)
http://dx.doi.org/10.13103/JFHS.2013.28.3.258

**Journal of Food Hygiene and Safety**
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

# 광자극발광법과 열발광법 분석을 통한 전자선과 감마선 조사식품의 비교 연구

**김규헌* · 곽지영 · 윤진호 · 박영은 · 이재황 · 박용춘[1] · 조태용[2] · 이화정[3] · 이상재 · 한상배**
식품의약품안전처 식품의약품안전평가원 식품위해평가부 신종유해물질팀, [1]식품의약품안전처 신소재식품과
[2]부산지방식품의약품안전청 유해물질분석팀, [3]식품의약품안전평가원 첨가물포장과

# Comparison of Irradiated Food with Electron Beam and Gamma-ray by PSL and TL Methods

Kyu-Heon Kim*, Ji-Young Kwak, Jin-Ho Yoon, Young-Eun Park, Jae-Hwang Lee, Yong-Chjun Park[1], Tae-Yong Jo[2], Hwa-Jung Lee[3], Sang-Jae Lee, and Sang-Bae Han
*New Hazardous Substances Team, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Ministry of Food and Drug Safety*
*[1]Novel Food Division, Ministry of Food and Drug Safety*
*[2]Hazardous Substances Analysis Team, Busan Regional Food and Drug Administration*
*[3]Food Additives and Packages Division, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation*
(Received July 25, 2013/Revised August 23, 2013/Accepted September 2, 2013)

**ABSTRACT** - This study was conducted to determine the PSL and TL properties of foods irradiated with electron beam and gamma-ray. 5 kinds of food including cereal, pulse, fish powder, dried vegetable and tea were irradiated at 0 to 10 kGy by electron beam accelerator or $^{60}$Co gamma-ray irradiator. The PSL analysis showed negative results for most of the non-irradiated samples. Non-irradiated shrimp powder showed intermediate result. Irradiated samples gave negative or intermediate or positive value which presented the limitation of PSL technique. In TL analysis, there were TL glow curves at around 300°C with low intensity on non-irradiated samples. Maximum peak in the range of 150-250°C was appeared on irradiated samples. TL ratio obtained by re-irradiation with 1 kGy was less than 0.1 on non-irradiated samples and higher than 0.1 on irradiated samples. Therefore, in PSL measurement, electron-beam irradiated samples could obtain more clear results. TL analysis showed obvious difference between non-irradiated and irradiated samples. But the identification was impossible for the sample of rice and lemon tea. Because of it's low contents of mineral.

**Key words:** Irradiated food, radiation sources, PSL, TL

## 서 론

식품조사 처리 기술이란 감마선, 전자선가속기에서 방출되는 에너지를 복사의 방식으로 식품에 조사하여 발아억제, 살균, 살충 또는 숙도조절의 목적으로 이용하는 기술이다[1]. 세계적으로 조사식품의 생산량은 2005년을 기준으로 총 약 40만 5천 톤에 달하며[2], 우리나라를 비롯해 52개국 250여 종의 식품류에 대하여 사용이 허가되는 등 전 세계적으로 식품조사 기술의 활용이 점차 늘어나고 있다[3]. 국내에서는 감자, 양파, 마늘, 밤, 생버섯 등 신선식품을 비롯하여 난분, 곡류, 두류, 건조식육, 건조향신료 등 26개 품목에 대해 0.15-10 kGy의 선량으로 조사가 허가되어 있으며, 곡류와 두류는 5 kGy 이하, 어패류 분말과 건조채소류는 7 kGy 이하, 다류는 10 kGy 이하로 살균 및 살충의 목적으로 허가되어 있으며 국제적으로 최고 10 kGy까지 조사가 허가되어 있다[1].

조사식품은 1960년대 군용 비축식량과 우주인 식사 프로그램에 이용되기 시작하여 1980년대 세계보건기구(WHO) 등 국제기구와 선진국 보건당국의 안전성을 인정받았다. 또한 1990년대 유엔환경위원회(UNEP)로부터 화학훈증제의 대체방안으로 권고되어 조사식품의 시험시판과 상업화가 시작되었다[4,5]. 그러나 감마선 조사는 원자력 관련 기술을 이용한다는 점에서 막연한 불안감이 조성되고 이에

*Correspondence to: Kyu-Heon Kim, New Hazardous Substances Team, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Ministry of Food and Drug Safety
Tel: 82-43-719-4453, Fax: 82-43-719-4450
E-mail : khkim95@korea.kr

따라 소비자 수용성이 낮은 실정이다. 미국에서는 2000년대 감마선을 내는 방사성 동위원소 이외에 전자선가속기, X선 발생장치가 식품산업에 도입되어 소비자 수용성을 높일 수 있도록 하였다[6]. 감마선 조사는 $^{60}Co$, $^{137}Cs$과 같이 방사성 동위원소를 사용하지만, 전자선 조사는 전자가속기에서 전기적으로 발생시키는 전자선을 이용한다. 따라서 전자선 조사는 방사성 동위원소를 이용하는 감마선 조사에 대한 막연한 불안감을 덜 수 있다. 전자선은 감마선에 비해 투과력이 약하지만 강도 (선량률)는 높으며 제품을 연속적으로 단시간에 처리할 수 있는 장점이 있다. 또한 처리 후 온도변화가 적기 때문에 신선식품이나 냉동식품 등에도 효과적으로 적용될 수 있다[6]. 이러한 장점들을 바탕으로 국내에서는 감마선뿐만 아니라 전자선을 추가 허용[식약청 고시 제2012-48호 (2012. 7. 30.)]하였으며 이에 따른 조사여부 확인시험법 적용 가능성과 그 데이터베이스 구축 마련이 필요하였다.

본 연구에서는 국내 조사 허용식품 중 곡류 (밀, 쌀, 옥수수, 율무, 기장), 두류 (강낭콩, 검은콩, 대두, 팥, 완두), 어패류분말 (새우분말, 멸치분말), 건조채소류 (당근, 호박, 양배추, 청경채) 및 다류 (녹차, 레몬홍차, 보리차, 생강차, 솔잎차)를 각각 선정하여 전자선과 감마선 조사 후 조사여부 확인을 위한 광자극발광법(Photostimulated Luminescence, PSL)과 열발광법(Thermoluminescence, TL)의 적용가능성 확인과 두 선종의 결과를 비교・분석 하였다.

## 재료 및 방법

### 검체

본 연구에서 사용된 검체는 5가지 식품유형으로 곡류 5종 (밀, 쌀, 옥수수, 율무, 기장), 두류 5종 (강낭콩, 검은콩, 대두, 팥, 완두), 어패류분말 2종 (새우분말, 멸치분말), 건조채소류 4종 (당근, 호박, 양배추, 청경채) 및 다류 5종 (녹차, 레몬홍차, 보리차, 생강차, 솔잎차) 이었다. 이는 국내 대형마트에서 구입하였으며, 저밀도 폴리에틸렌(Low Density Polyethylene, LDPE) 포장지에 각 600 g 단위로 포장하여 전자선과 감마선 조사용 검체로 사용하였다.

### 식품조사

포장된 검체의 조사 선원으로서 전자선과 감마선을 이용하였다. 실온에서 시간당 일정한 선량률로 각각 0-10 kGy의 흡수선량을 얻도록 하였다. 전자선 조사는 electron beam accelerator (ELV-4, 2.5 MeV, EB-Tech., Daejon, Korea)를 이용하였으며, 감마선 조사는 첨단방사선연구소의 $^{60}Co$ 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MSD Nordion International Co. Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하였다. 이 때 흡수선량의 확인은 alanine dosimeter (Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다.

### 광자극발광법(Photostimulated luminescence, PSL) 측정

전자선과 감마선 조사된 검체의 PSL 분석은 식품공전[7]에 준하여 실시하였다. 각 검체는 빛에 대한 노출을 최대한으로 줄이고 교차오염을 피하면서 1회용 페트리접시 (50 × 15 mm, Green Cross Medical, Inc., Seoul, Korea)에 검체를 약 7-10 g 정도 고르게 펼쳐 담은 후 광자극발광분석장치(SURRC Pulsed PSL irradiated food screening system, SURRC, Glasgow, U.K)의 검체챔버에 넣고 PSL 광자(photon count)를 측정하였다. 조사된 표준물질과 조사되지 않은 표준물질을 사용하여 기기의 상태 및 측정조건을 확인한 후 2회 이상 측정하였다. 측정 결과의 판정에 사용되는 threshold value는 $T_1$ = 700 counts/60s와 $T_2$ = 5000 counts/60s이며, $T_1$ 미만이면 음성검체(Negative)로, $T_2$ 초과이면 양성검체(Positive)로, $T_1$~$T_2$ 사이의 값을 나타내면 중간검체(intermediate)로 판정하였다. 양성검체와 중간검체는 최종 확인시험으로 열발광법(TL)에 따라 시험하여 그 결과의 판정에 따랐다[8-10].

### 열발광법(Thermoluminescence, TL) 측정

전자선과 감마선 조사된 검체의 TL 분석은 식품공전[7]에 준하여 실시하였다. 각 검체에 증류수를 가하여 혼탁액을 만든 다음 초음파장치(Power sonic 520, Hwashin, Korea)에서 5분간 처리하고 나일론 여과포로 여과, 세척한 후 정치하여 잔사를 모았다. 밀도 2.0 g/ml 의 텅스텐산나트륨(Sodium polytungstate) 용액을 첨가하여 무기물과 비중차를 이용하여 유기물을 제거한 뒤 증류수로 세척하였다. 그 다음 1 N 염산(HCl) 2 mL를 가하여 10분간 암소에 정치하고, 1 N 암모니아수($NH_4OH$) 2 mL를 가하여 중화시킨 후 증류수로 세척한 다음 아세톤(Merck, Germany)으로 충진한 후 건조시켰다. 건조된 광물질은 준비된 검체 용기에 옮겨 담고 50ºC 건조기에서 16시간 방치 후 열발광분석장치(TL/OSL SYSTEM, Riso N.L., Denmark)를 이용하여 질소(99.999%)를 흘러 보내면서 측정하였다[11]. 초기온도 50ºC에서 5ºC/sec 속도로 400ºC까지 가온하면서 글로우곡선($TL_1$)이 나타나는 온도범위와 curve 모양 및 재조사(1 kGy)에 의한 TL 비(글로우 1의 TL강도 면적값/글로우 2의 TL강도 면적값)를 산출하여 조사여부를 판단하였다[12-14]. 일반적으로 조사된 검체는 150~250ºC 부근에서 최대 강도를 보이는 글로우곡선을 나타내지만 조사되지 않은 검체는 특징적인 글로우곡선을 나타내지 않거나 300ºC 이상에서 자연 방사선에 의한 곡선을 나타낸다.

## 결과 및 고찰

### 광자극발광(PSL) 특성

전자선과 감마선 조사된 검체의 조사선원과 조사선량에 따른 광자(photon count)를 측정하였다. 전자선과 감마선

**Table 1.** Effect of irradiation sources and doses on photostimulated luminescence of cereals and pulses

| Sample | | Radiation source | Irradiation dose (kGy) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 3 | 5 |
| Cereal | Wheat | e-beam | 304 ± 53[1] (-) | 5994 ± 314 (+) | 6871 ± 830 (+) |
| | | γ-ray | | 1532 ± 19 (M) | 4384 ± 467 (M) |
| | Rice | e-beam | 305 ± 54 (-)[2] | 561 ± 11 (-) | 1612 ± 1163 (M) |
| | | γ-ray | | 396 ± 103 (-) | 491 ± 25 (-) |
| | Corn | e-beam | 275 ± 18 (-) | 7506 ± 998 (+) | 12695 ± 430 (+) |
| | | γ-ray | | 3032 ± 88 (M) | 5430 ± 34 (+) |
| | Adlay | e-beam | 325 ± 3 (-) | 4305 ± 337 (M) | 8545 ± 1151 (+) |
| | | γ-ray | | 1773 ± 197 (M) | 958 ± 134 (M) |
| | Millet | e-beam | 272 ± 46 (-) | 9152 ± 447 (+) | 16649 ± 9545 (+) |
| | | γ-ray | | 13713 ± 688 (+) | 8309 ± 1996 (+) |
| Pulse | Kidney bean | e-beam | 278 ± 10 (-) | 11321 ± 2238 (+) | 23738 ± 10716 (+) |
| | | γ-ray | | 1161 ± 463 (M) | 3745 ± 895 (M) |
| | Black bean | e-beam | 256 ± 117 (-) | 7911 ± 1468 (+) | 12279 ± 770 (+) |
| | | γ-ray | | 1377 ± 357 (M) | 2993 ± 874 (M) |
| | Soybean | e-beam | 276 ± 12 (-) | 19941 ± 11062 (+) | 46477 ± 7493 (+) |
| | | γ-ray | | 983 ± 39 (M) | 4356 ± 533 (M) |
| | Red bean | e-beam | 299 ± 4 (-) | 16605 ± 6750 (+) | 34504 ± 754 (+) |
| | | γ-ray | | 1649 ± 1056 (M) | 2354 ± 692 (M) |
| | Green pea | e-beam | 286 ± 4 (-) | 104239 ± 22679 (+) | 151496 ± 39261 (+) |
| | | γ-ray | | 4369 ± 196 (M) | 36113 ± 1964 (+) |

[1]Mean ± standard deviation (n = 2), [2]Threshold value : $T_1$ = 700(−); non-irradiated, $T_2$ = 5000(+); irradiated, $T_1$ < (M) < $T_2$; intermediate.

**Table 2.** Effect of irradiation sources and doses on photostimulated luminescence of fish powder and dried vegetables

| Sample | | Radiation source | Irradiation dose (kGy) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 4 | 7 |
| Fish powder | Shrimp powder | e-beam | 967 ± 163[1] (M) | 351084 ± 105957 (+) | 631366 ± 414200 (+) |
| | | γ-ray | | 641823 ± 103546 (+) | 705870 ± 136876 (+) |
| | Anchovy powder | e-beam | 280 ± 10 (-)[2] | 1178005 ± 138007 (+) | 1604686 ± 46341 (+) |
| | | γ-ray | | 427600 ± 33416 (+) | 1246070 ± 216454 (+) |
| Dried vegetable | Dried Carrot | e-beam | 393 ± 74 (-) | 3835041 ± 151206 (+) | 6822391 ± 439318 (+) |
| | | γ-ray | | 864736 ± 281315 (+) | 665642 ± 293087 (+) |
| | Dried young pumpkin | e-beam | 370 ± 162 (-) | 8268 ± 976 (+) | 51184 ± 52818 (+) |
| | | γ-ray | | 10486 ± 3296 (+) | 14089 ± 4318 (+) |
| | Dried cabbage | e-beam | 254 ± 148 (-) | 47195 ± 17396 (+) | 43466 ± 8445 (+) |
| | | γ-ray | | 9753 ± 291 (+) | 14854 ± 3994 (+) |
| | Dried pak choi | e-beam | 307 ± 4 (-) | 97421 ± 14276 (+) | 142606 ± 13842 (+) |
| | | γ-ray | | 27658 ± 481 (+) | 35035 ± 3598 (+) |

[1]Mean ± standard deviation (n = 2), [2]Threshold value: $T_1$ = 700(−); non-irradiated, $T_2$ = 5000(+); irradiated, $T_1$ < (M) < $T_2$; intermediate.

**Table 3.** Effect of irradiation sources and doses on photostimulated luminescence of tea

| Sample | | Radiation source | Irradiation dose (kGy) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 5 | 10 |
| Tea | Green tea | e-beam | 283 ± 1[1] (-) | 5954 ± 825 (+) | 12607 ± 1333 (+) |
| | | γ-ray | | 979 ± 134 (M) | 1776 ± 544 (M) |
| | Lemon tea | e-beam | 238 ± 21 (-)[2] | 296 ± 11 (-) | 248 ± 66 (-) |
| | | γ-ray | | 348 ± 95 (-) | 279 ± 25 (-) |
| | Barley tea | e-beam | 220 ± 85 (-) | 3658 ± 175 (M) | 2145 ± 1438 (M) |
| | | γ-ray | | 1693 ± 62 (M) | 1870 ± 262 (M) |
| | Corn tea | e-beam | 229 ± 18 (-) | 15726 ± 6952 (+) | 25670 ± 7049 (+) |
| | | γ-ray | | 1378 ± 37 (M) | 2282 ± 27 (M) |
| | Ginger tea | e-beam | 280 ± 9 (-) | 3394100 ± 658897 (+) | 8371230 ± 1006755 (+) |
| | | γ-ray | | 4588022 ± 218739 (+) | 7041423 ± 463926 (+) |

[1]Mean ± standard deviation (n = 2), [2]Threshold value: $T_1$ = 700(−); non-irradiated, $T_2$ = 5000(+); irradiated, $T_1$ < (M) < $T_2$; intermediate.

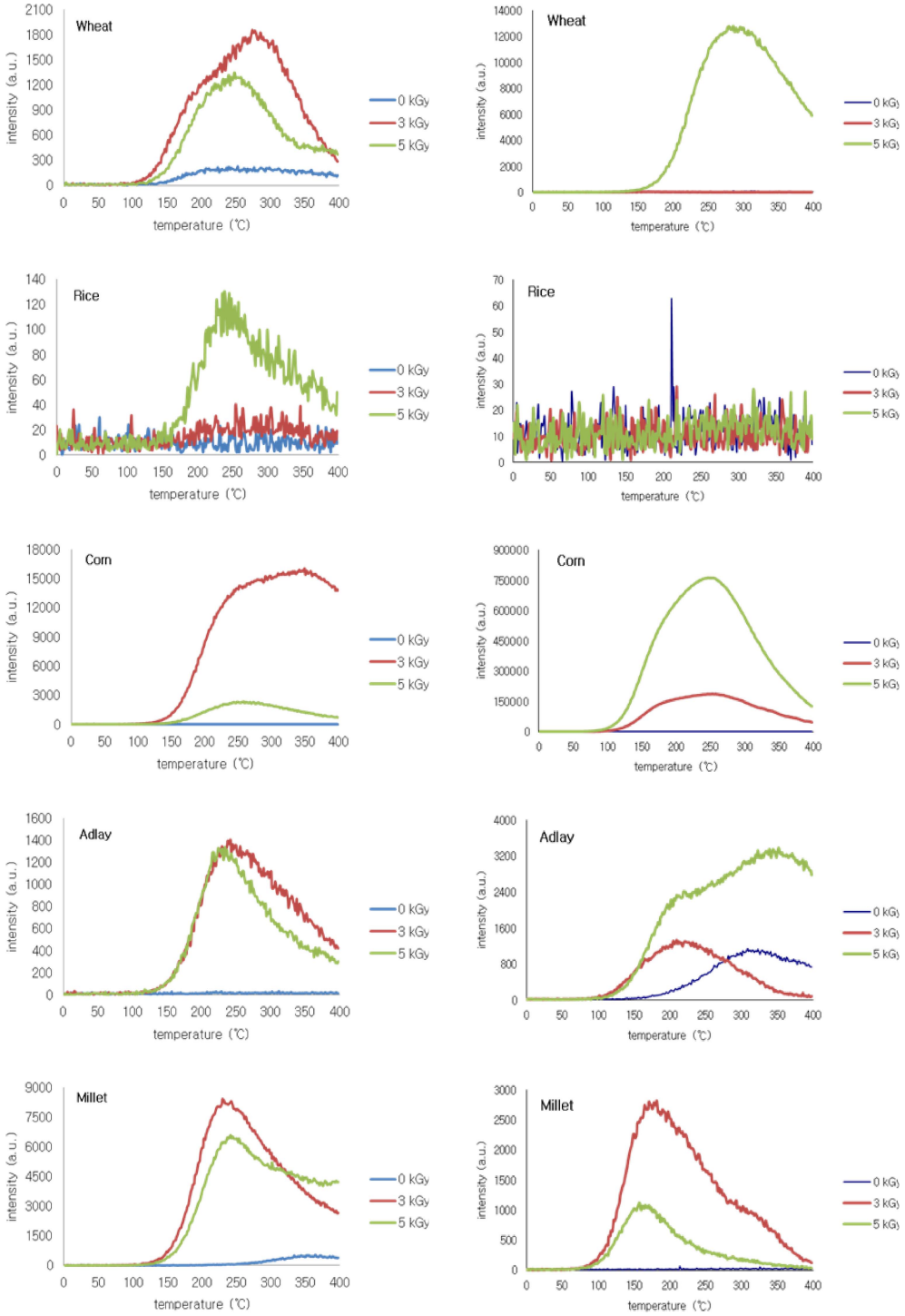


**Fig. 1.** TL glow curves of minerals separated from irradiated cereals (left: electron beam, right: gamma-ray).

조사된 곡류 5종, 두류 5종, 어패류분말 2종, 건조채소류 4종 및 다류 5종을 각각 7~10 g씩 취해 2회 반복 실험한 결과를 확인하였다(Table 1-3).

곡류와 두류 비조사 검체는 256-325 PCs로 모두 음성검체로 나타났으며, 곡류에서 전자선 조사된 검체는 561-16649 PCs, 감마선 조사된 검체는 396-13713 PCs로 중간검체 또는 양성검체로 나타났다. 특히, 쌀은 비조사 검체, 전자선과 감마선 조사된 검체 모두 음성검체 또는 중간검체로 나타나 적용 가능성이 매우 낮았다. 두류에서 전자선 조사된 검체는 7911-151496 PCs로 모두 양성검체, 감마선 조사된 검체는 983-3611 PCs로 중간검체 또는 양성검체로 나타나 감마선 보다 전자선 조사된 검체가 검지감

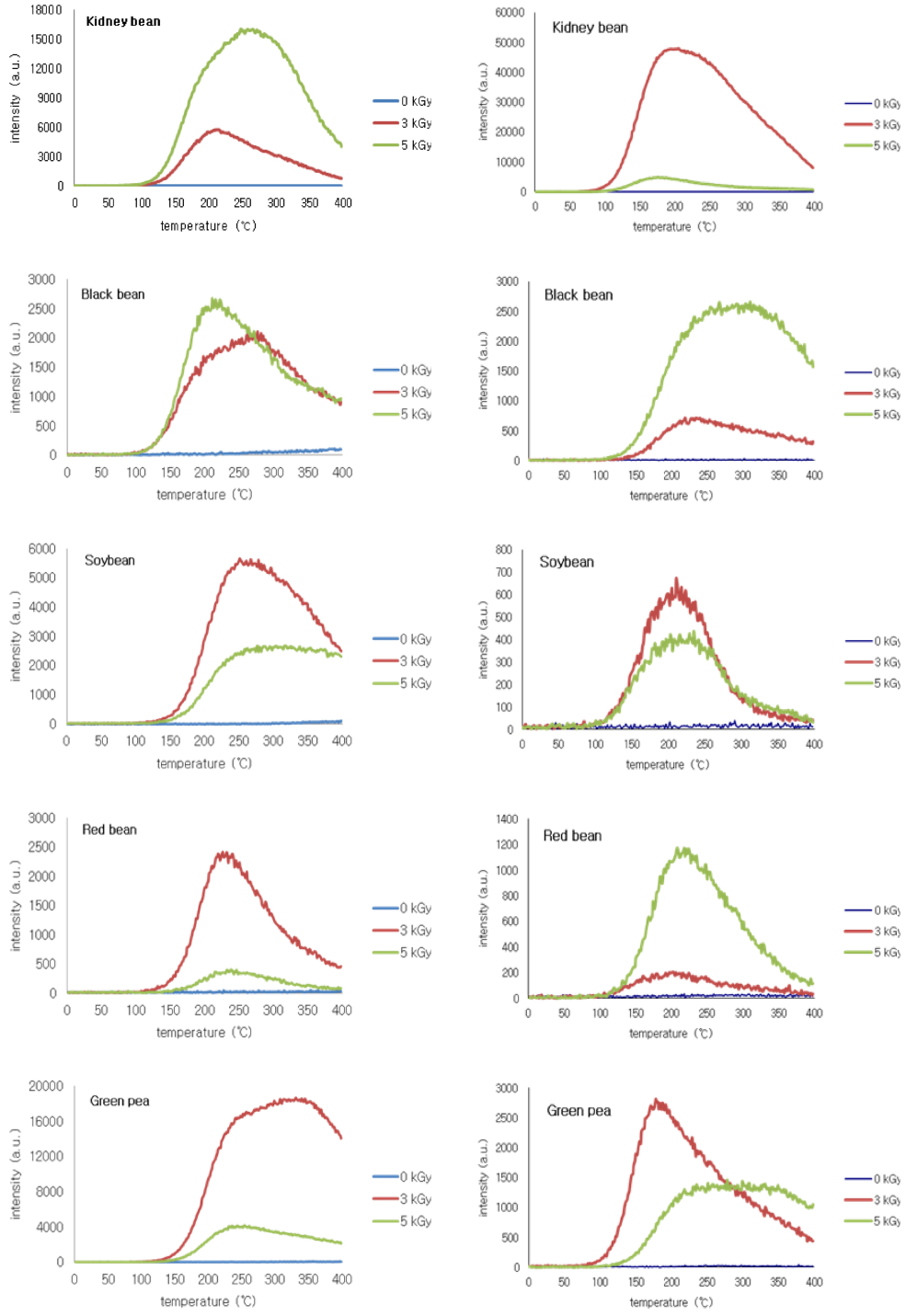


**Fig. 2.** TL glow curves of minerals separated from irradiated pulse (left: electron beam, right: gamma-ray).

도가 높았다. 비조사된 어패류 분말 중 새우분말은 중간검체, 멸치분말은 음성검체로 나타났으며, 전자선과 감마선 조사된 검체는 모두 양성검체로 나타났다. 건조채소류는 비조사 검체 모두 음성검체, 조사 검체는 모두 양성검체로 나타내 조사선원에 관계없이 적용 가능성이 매우 높았다. 다류에서 비조사 검체는 220-283 PCs로 모두 음성검체, 전자선 조사된 검체는 248-8371230 PCs, 감마선 조사된 검체는 279-7041423 PCs로 나타났다. 특히, 레몬홍차는 비조사 검체, 전자선과 감마선 조사 검체 모두 음성검체로 적용 가능성이 매우 낮았다. 녹차와 옥수수차의 경우, 전자선 조사된 검체는 양성검체로 나타났으나 감마선 조사된 검체는 중간검체로 나타나 감마선 보다 전자선 조사된 검체의 검지감도가 높았다. 이와 같이 PSL 시험법 적용 가능성과 조사선원 결과를 비교・분석한 결과 전체

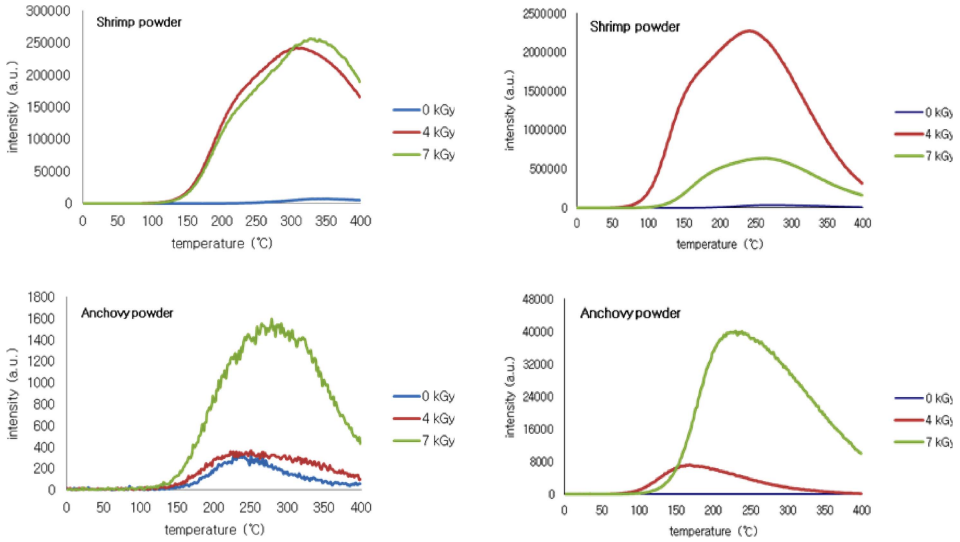


**Fig. 3.** TL glow curves of minerals separated from irradiated fish powder (left: electron beam, right: gamma-ray).

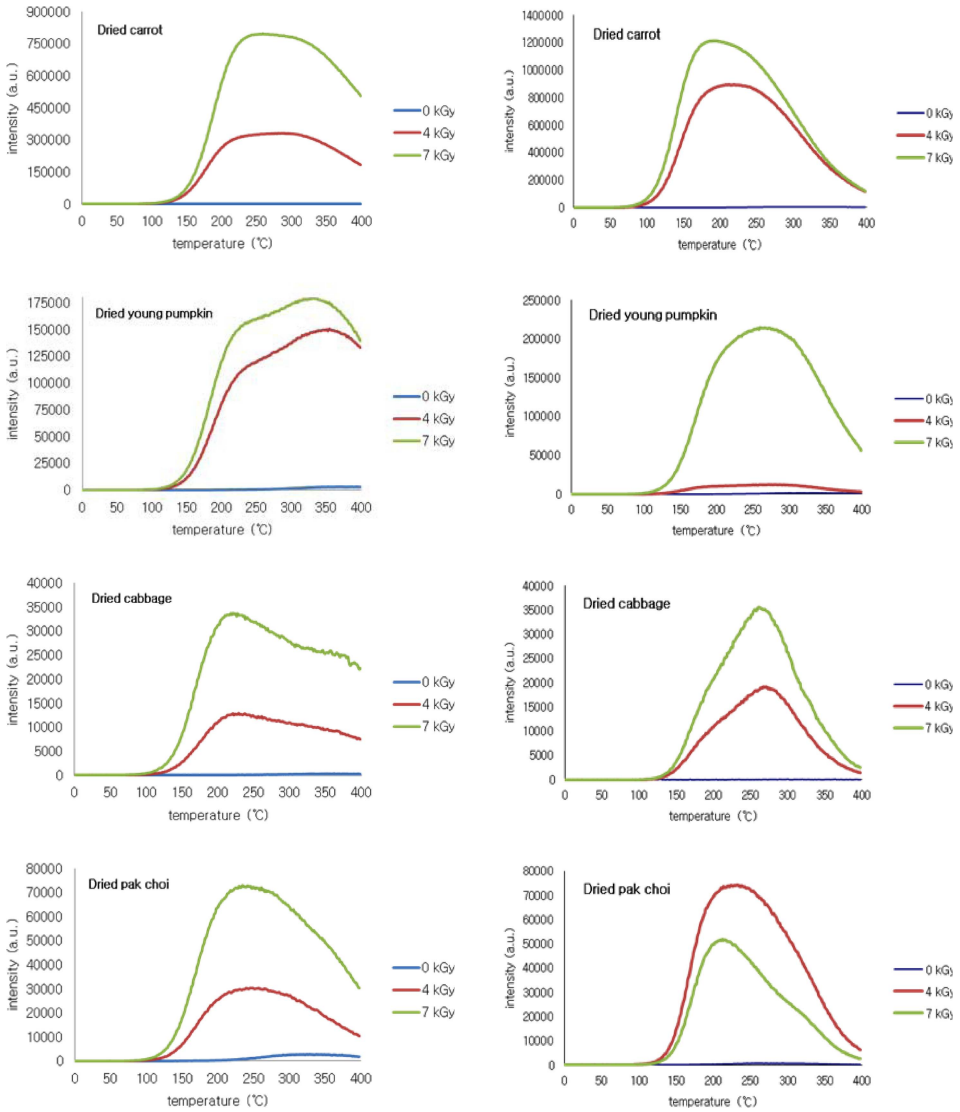


**Fig. 4.** TL glow curves of minerals separated from irradiated dried vegetable (left: electron beam, right: gamma-ray).

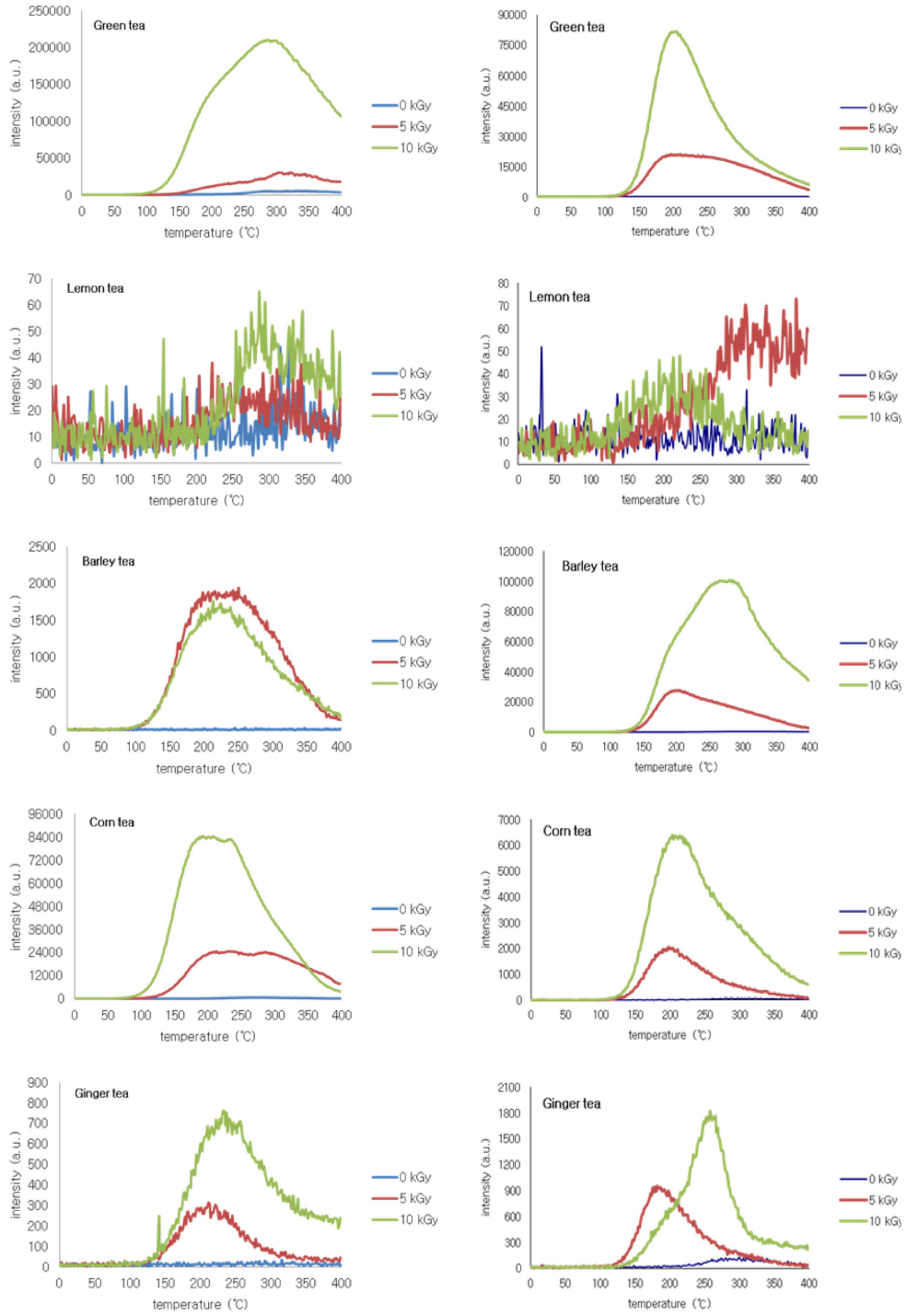


**Fig. 5.** TL glow curves of minerals separated from irradiated tea (left: electron beam, right: gamma-ray).

적으로 전자선이 감마선 보다 품목별 검지감도가 높음을 확인하였다.

위 결과는 전자선과 감마선 조사된 밀과 옥수수의 PSL 결과 선원에 관계없이 비조사 검체와 조사 검체 간의 뚜렷한 차이를 보였다는 김 등[15]의 결과와 다소 차이가 있었다. 따라서 보다 정확한 판정을 위해 TL 확인시험법을 활용하였다.[16]

### 열발광(TL) 특성

곡류 5종, 두류 5종, 어패류분말 2종, 건조채소류 4종 및 다류 5종에 대하여 전자선과 감마선 조사에 따른 조사 여부를 확인하기 위해 열발광 특성 분석을 실시하였다. 각 검체로부터 분리한 광물질의 TL 글로우곡선은 Fig. 1-5와 같았다.

조사되지 않은 검체는 자연방사선에 의해 300°C 전후에

**Table 4.** TL ratio of minerals separated from irradiated cereals and pulses with different radiation sources

| Sample | | Radiation source | Irradiation dose (kGy) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 3 | 5 |
| Cereal | Wheat | e-beam | 0.0581[1)] | 0.4199 | 3.6965 |
| | | γ-ray | | 0.2009 | 0.2689 |
| | Rice | e-beam | 0.0165 | 0.0878 | 0.3113 |
| | | γ-ray | | 0.0196 | 0.0039 |
| | Corn | e-beam | 0.0010 | 0.2121 | 0.1991 |
| | | γ-ray | | 0.5079 | 0.6609 |
| | Adlay | e-beam | 0.0016 | 0.5212 | 0.4655 |
| | | γ-ray | | 0.2598 | 0.3882 |
| | Millet | e-beam | 0.0022 | 0.4911 | 0.5169 |
| | | γ-ray | | 0.2211 | 0.1964 |
| Pulse | Kidney bean | e-beam | 0.0014 | 0.1535 | 0.2829 |
| | | γ-ray | | 0.3352 | 0.2320 |
| | Black bean | e-beam | 0.0021 | 0.1004 | 0.2588 |
| | | γ-ray | | 0.2019 | 0.2136 |
| | Soybean | e-beam | 0.0006 | 0.2697 | 0.2116 |
| | | γ-ray | | 0.3509 | 0.1904 |
| | Red bean | e-beam | 0.0013 | 0.3733 | 0.3431 |
| | | γ-ray | | 0.1076 | 1.0199 |
| | Green pea | e-beam | 0.0017 | 0.2024 | 0.1894 |
| | | γ-ray | | 0.2090 | 0.2657 |

[1)]Integrated $TL_1$/integrated $TL_2$.

서 낮은 피크(peak)를 가지는 글로우곡선이 나타났고, 대부분의 조사 검체는 조사 선원에 관계없이 150-250ºC 부근에서 특유의 글로우곡선이 나타났으며, 조사선량이 증가할수록 강도(intensity)가 증가하였다. 하지만 일부 검체는 광물질 함량이 일정하지 않아 강도가 일정하게 증가하지 않았다. 쌀은 전자선 3 kGy와 감마선 3, 5 kGy 조사된 검체에서 특이적인 피크가 나타나지 않았다. 레몬홍차도 전자선과 감마선 조사에 따른 특이적인 피크가 나타나지 않았다. 이는 도정과 가공공정 등을 거치며 광물질이 손실됨에 따라 그 함량이 극히 적고, 이로 인해 광물질의 분리가 어려워 나타난 결과라 생각되었다[17)].

각 검체의 TL 비 (글로우 1의 TL 강도 면적값/글로우 2의 TL 강도 면적값) 산출 결과를 Table 4-6에 나타내었다. TL 비가 0.1 이하이면 비조사 검체로, 0.1 이상이면 조사 검체로 판정하는데[14)], 쌀과 레몬홍차를 제외한 비조사 검체는 0.0001-0.0728, 전자선과 감마선 조사된 검체는 0.1004-4.6748로 나타나 조사여부를 확인할 수 있었다. 전자선 3 kGy, 감마선 3, 5 kGy 조사된 쌀의 TL 비는 0.0039-0.0878, 전자선 조사된 레몬홍차는 0.0081-0.037로 0.1 이하로 나타나 글로우 1에서 확인한 것처럼 조사여부를 판단하기 어려웠다. 감마선 조사된 레몬홍차의 경우 TL 비는 0.1 이상으로 나타났지만 글로우곡선의 모양이 조사된 검체로 판정하기 어려웠다. TL 비 산출을 통해 조사여부 판별의 신뢰성을 높인다는 보고가 있으며[18,19)], Delincée[20)]는 TL을 이용하여 조사된 향신료, 과일, 채소의 조사여부 확인 실험에서 재조사 방법에 의해 신뢰성을 더욱 증가시켰다고 보고하였다. 이는 본 연구 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

**Table 5.** TL ratio of minerals separated from irradiated fish powder and dried vegetable with different radiation sources

| Sample | | Radiation source | Irradiation dose (kGy) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 4 | 7 |
| Fish powder | Shrimp powder | e-beam | 0.0005[1)] | 0.2391 | 0.1483 |
| | | γ-ray | | 0.9049 | 0.9466 |
| | Anchovy powder | e-beam | 0.0201 | 0.1104 | 0.4991 |
| | | γ-ray | | 0.2392 | 0.3005 |
| Dried vegetable | Dried Carrot | e-beam | 0.0001 | 0.1817 | 0.2434 |
| | | γ-ray | | 0.5511 | 0.6870 |
| | Dried young pumpkin | e-beam | 0.0002 | 0.1006 | 0.1500 |
| | | γ-ray | | 0.9877 | 0.6976 |
| | Dried cabbage | e-beam | 0.0004 | 0.3791 | 0.3627 |
| | | γ-ray | | 0.9173 | 0.6155 |
| | Dried pak choi | e-beam | 0.0023 | 0.1412 | 0.1525 |
| | | γ-ray | | 0.3393 | 0.2572 |

[1)]Integrated $TL_1$/integrated $TL_2$.

**Table 6.** TL ratio of minerals separated from irradiated tea with different radiation sources

| Sample | | Radiation source | Irradiation dose (kGy) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 5 | 10 |
| Tea | Green tea | e-beam | 0.0016[1)] | 0.3399 | 0.4774 |
| | | γ-ray | | 0.6110 | 0.9933 |
| | Lemon tea | e-beam | 0.0016 | 0.0370 | 0.0081 |
| | | γ-ray | | 0.1680 | 0.1105 |
| | Barley tea | e-beam | 0.0013 | 2.8519 | 1.3730 |
| | | γ-ray | | 0.9224 | 1.4365 |
| | Corn tea | e-beam | 0.0028 | 1.8405 | 4.6748 |
| | | γ-ray | | 0.6724 | 0.8292 |
| | Ginger tea | e-beam | 0.0017 | 0.2785 | 0.9039 |
| | | γ-ray | | 0.2381 | 0.1586 |

[1)]Integrated $TL_1$/integrated $TL_2$.

## 감사의 글

본 연구는 식품의약품안전평가원 2012년도 연구개발사업 지원비 (12161식품안038)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 요 약

곡류, 두류, 어패류분말, 건조채소류 및 다류 등 5가지 식품유형에 대하여 전자선과 감마선 0-10 kGy 조사 후 광

자극발광법(PSL)과 열발광법(TL) 분석을 통해 적용 가능성을 확인하고 두 선종의 결과를 비교·분석 하였다. PSL 분석 결과, 새우분말을 제외한 비조사 검체는 700 이하의 PCs, 음성검체로 나타났다. 전자선과 감마선 조사된 곡류, 두류 및 다류는 양성검체뿐만 아니라 중간검체, 음성검체로도 확인되어 적용 가능성이 낮았다. 특히, 두류는 감마선보다 전자선 조사된 검체가 더 명확한 판별이 가능하였다. 전자선과 감마선 조사된 어패류분말과 건조채소류는 모두 양성검체로 나타나 조사선원에 관계없이 조사여부 확인이 가능하였다. TL 분석 결과 조사되지 않은 검체는 자연방사선에 의해 300ºC 전후에서 낮은 peak를 가지는 글로우곡선이 나타났고, 대부분의 조사 검체에서는 150-250ºC의 부근에서 특유의 글로우곡선이 나타났다. 하지만, 쌀과 레몬홍차는 조사에 따른 특이적인 peak가 나타나지 않아 조사여부 확인이 어려웠다. 또한 TL 비를 산출해본 결과, 쌀과 레몬홍차를 제외한 대부분 비조사 검체는 0.0001-0.0728, 전자선과 감마선 조사된 검체는 0.1004-4.6748로 나타나 조사여부를 확인할 수 있었다. 쌀과 레몬홍차의 TL 비는 0.1 이하로 나타나 글로우 1에서 확인한 것처럼 조사여부를 판단하기 어려웠다. 따라서 조사 선원에 따른 곡류와 두류의 PSL 측정 결과는 전자선 조사된 검체가 더 명확한 판별이 가능하였고, TL 측정 결과는 쌀과 레몬홍차를 제외하고 모든 검체에서 조사 선원에 관계없이 조사여부 판별이 가능하였다. 본 연구를 통해 전자선 조사에 따른 확인시험법 적용 가능성을 확인하고 선종에 따른 PSL 시험법에 대한 검지감도의 차이를 확인하였다. 연구결과는 전자선 추가 허용에 따른 데이터베이스 구축 및 조사식품 관리체계 마련에 기초자료로 활용될 계획이다.

## 참고문헌


1. KFDA.: Food Code. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea, pp. 2-1-10-2-1-11 (2012).
2. Kume, T., Furuta, M., Todoriki, S., Uenoyama, N. and Kobayashi, Y.: Status of food irradiation in the world. *Radiat. Phys. Chem.,* **78**, 222-226 (2009).
3. IAEA. International Atomic Energy Agency homepage, http://nucleus.iaea.org/NUCLEUS/nucleus/Content/Applications/FICdb/FoodIrradiationclearances.jsp?module=cif. Accessed on July 5. (2008).
4. Kwon, J.H.: Safety and Understanding of Irradiated Food. Food Safety Research Institute, Seoul, Korea, pp. 11-180 (2010).
5. WHO/FAO.: Food irradiation - A technique for preserving and improving the safety of food. World Health Organization, Geneva, Switzerland (1988).
6. Loaharanu, P., Kava, R. and Choi, E.H.: Irradiated Foods. 6th Ed. American Council on Science and Health, New York, pp. 5-50 (2007).
7. KFDA.: Food Code. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea, pp. 10-8-40-10-8-45 (2010).
8. EN 13751.: Detection of irradiated food using photostimulated luminescence. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (2002).
9. Johnston, D.E. and Stevenson, M.H.: Food Irradiation and the Chemist: The proceedings of an International Symposium Organized by the Food Chemistry Group of The Royal Society of Chemistry as Part of the Annual Chemical Congress. Royal Society of Chemistry, cambridge Special publication No. 86 (1990).
10. Schreiber, G.A.: Thermo-luminescence and photo-stimulated luminescence techniques to identify irradiated foods. *In Detection Methods for Irradiated Foods*. (McMurray, Stewart C.H., Gray, E.M. and Pearce, J. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp. 121-123 (1996).
11. Schreiber, G.A., Hoffmann, A., Helle, N. and Bőgl, K.W.: Methods for routine control of irradiated food-determination of the irradiation status of shellfish by TL analysis. *Radiat. Phys. Chem.,* **43**, 533-544 (1994).
12. Schreiber, G.A., Ziegelmann, B., Quitzch, G., Helle, N. and Bogl, K.W.: Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing irradiation. *Food Struct.,* **12**, 385-396 (1993).
13. Schreiber, G.A., Hoffmann, A., Helle, N. and Bogle, K.W.: An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs, and spice-herb mixtures by thermo-luminescence analysis. *J. AOAC International*, **78**, 88-93 (1995).
14. EN 1788.: Foodstuffs - detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated, method by thermoluminescence; European Committee for standardization, Brussels, Belgium (2001).
15. Kim, G.R., Lee, J.W., Kim, J.S. and Kwon, J.H.: Physical detection properties of irradiated wheat and corn treated with different radiation sources. *Korean J. Food Preserv.,* **16**, 211-216 (2009).
16. Kwon, J.H., Jeong, J.Y., Lee, E.Y., Jo, D.J., Noh, J.E. and Lee, J.E.: Multiple detection to identify irradiated brown rice of different origins. *Food Sci. Biotechnol.,* **11**, 215-219 (2002).
17. Schreiber, G.A., Ziegelmann, B., Quitzsch, G., Helle, N. and Bőgl, K.W.: Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing irradiation. *Food Struct.,* **12**, 385-396 (1993).
18. Kwon, J.H., Jeong, J.Y. and Chung, H.W.: Thermoluminescence characteristics of minerals separated from potatoes of different origins of production. *Radiat. Phys. Chem.,* **63**, 415-418 (2002).
19. Beneitez, P., Correcher, V., Millan, A. and Calderon, T.: Thermoluminescence analysis for testing the irradiation of spices. *J. Radioanal Nucl. Chem.,* **185**, 401-140 (1994).
20. Delincée, H.: Control of irradiated foods: recent developments in analytical methods. *Radiat. Phys. Chem.,* **42**, 351-357 (1993).