

## 방사선 조사된 터머릭의 혼합비율에 따른 Photostimulated Luminescence 및 Thermoluminescence 분석 특성

이지애 · 정형욱<sup>1</sup> · 권중호\*

경북대학교 식품공학과, <sup>1</sup>식품의약품안전청 식품기준부 식품기준과

### Detection of Different Ratios of Gamma-irradiated Turmeric by Photostimulated Luminescence and Thermoluminescence

Ji-Ae Lee, Hyung-Wook Chung<sup>1</sup>, and Joong-Ho Kwon\*

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

<sup>1</sup>Food Standards Division, Food Standards Department, Korea Food and Drug Administration

**Abstract** This study was performed to investigate PSL and TL characteristics for the detection of different ratios of gamma-irradiated turmeric. It was possible to determine PSL and TL of 1- and 10-kGy irradiated turmeric. The TL ratios (TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>) of non-irradiated samples were lower than 0.001, while those of irradiated samples were higher than 0.355. In the PSL results, blended samples containing irradiated ingredients showed intermediate values for a 1% blending rate. Furthermore, TL analysis of blended samples seems to offer a promising method for irradiation identification by TL glow curve form and temperature range. The 1- and 10-kGy irradiated samples were able to be detected above a 4% blending rate. However, the TL ratio appeared as a threshold value below 0.1 for irradiated samples. Overall, TL analysis identified 4% blended samples containing gamma-irradiated turmeric.

**Key words:** turmeric, gamma-irradiated, blending, ratio, PSL, TL

## 서 론

방사선 조사(irradiation)는 식품의 내부 또는 겉 표면에 어떠한 잔여물도 남기지 않고 환경공해를 발생하지 않는 환경 친화적인 기술로서, 방사선 조사 식품의 안전성은 관련 국제기구(FAO/IAEA/WHO)에 의해 “평균 10 kGy 이하로 조사된 모든 식품은 독성학적 장해를 전혀 일으키지 않으며, 독성실험은 더 이상 필요가 없고, 영양학적 및 미생물학적 문제도 일으키지 않는다.”고 발표하여 공식 인정되었고(1), 1984년 방사선 조사 식품에 대한 Codex 일반 규격이 채택되어 2003년에 개정(2)되었다. 현재 한국을 포함한 세계 52개국에서 250여종의 식품에 대하여 사용이 허가되어 있으며(3), 우리나라에서도 '87, '91, '95, '04년 등 4차례 걸쳐서 26개 품목에 대하여 확대 허가하였고, 최저 0.15 kGy에서부터 최고 10 kGy까지의 <sup>60</sup>Co 감마선이 발아·발근 억제, 숙도조절, 살충, 살균 등의 목적으로 허용되고 있다(4).

국내·외에서 일반적으로 많이 소비되고 있는 천연향신료의 경우 미생물의 오염도가 매우 높은 특성을 가지고 있으므로 방사선 조사 기술의 적용 가능성이 높아지고 있다. 식품공전(5)에

는 천연향신료 및 향신료 조제품의 미생물 기준 규격을 대장균군, 대장균 음성으로 규정하고 있다. 최근 세계 시장화와 더불어 교역 상품의 검역 및 품질 보증의 중요성이 증대되고 있으며, 방사선 조사기술의 이용 확대와 조사식품의 교역 가능성이 높아지고 있다(6). 특히 수출입식품은 가공 완제품뿐만 아니라 가공 원료로 사용되는 원재료의 다양한 형태로 이루어짐에 따라 방사선 조사된 식품은 제품에 일부 혼합되거나 비의도적으로 혼입될 가능성이 있고, 가공 후 저장되거나 유통과정이 길어질 수 있으므로 이에 대한 검지 기술의 확립이 필수적이라 할 수 있다. 또한 방사선 조사식품의 허가품목 및 관련 규정은 국가별로 서로 상이하므로 표시(labeling)규정의 준수와 조사식품의 엄격한 관리가 시급하게 요구되고 있으며, 특히 WTO 체제하에서 농수산물 등 식품의 교역이 크게 늘어나고 있는 실정이므로 방사선 조사식품의 수출입 관리와 유통질서 확립을 위한 기술적 관리 시스템이 요구되고 있다(7). 이에 따라 우리나라에서는 방사선 조사 허가 식품 26개 품목에 대하여 물리적 검지법으로 광자극발광법(photostimulated luminescence, PSL), 열발광법(thermoluminescence, TL), 전자스핀공명법(electron spin resonance spectroscopy, ESR), 화학적 검지법으로 GC/MS분석법(gas chromatography/mass spectroscopy)을 확립 고시하였다(8).

따라서 본 연구에서는 향신료 중에서 국내·외 이용도와 광물질(minerals)의 함량을 고려하여 감마선이 조사된 터머릭의 혼합비율에 따른 방사선 조사여부 확인을 위하여 물리적 방법(PSL, TL)을 이용하여 특성을 분석하였으며, 향후 방사선 조사된 원료를 일부 혼합하였거나 비의도적으로 혼입되었을 경우 식품산업에서 조사여부 판별 가능성을 확인하였다.

\*Corresponding author: Joong-Ho Kwon, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Tel: 82-53-950-5775

Fax: 82-53-950-6772

E-mail: jhkwon@knu.ac.kr

Received January 18, 2010; revised September 2, 2010;

accepted September 14, 2010

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용된 터머릭(천연향신료)은 E사에서 구입하였으며, 시료는 모두 분말상태로써, 포장된 상태를 그대로 사용하였다. 방사선 조사용 시료와 혼합시료는 low density polyethylene (LDPE) bag에 밀봉하여 사용하였다.

### 방사선 조사

시료의 감마선 조사는 한국원자력연구원 정읍 방사선과학연구소의 Co<sup>60</sup> 감마선 조사시설(100 kCi point source, AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 일정한 선량률로 0, 1, 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며 흡수선량은 ceric/cerous dosimeter를 사용하였다. 제조사(re-irradiation)는 동일한 조사시설을 이용하여 1 kGy의 흡수선량을 얻도록 하였다.

### 시료의 혼합

방사선 조사된 원료를 함유한 혼합시료를 조제하기 위하여 구입한 터머릭의 방사선 조사여부를 열발광법(TL)으로 먼저 확인한 후 무처리로 확인된 원료에 1 및 10 kGy의 감마선을 조사하였다. 1 및 10 kGy가 조사된 터머릭을 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10%의 비율로 비 조사시료와 혼합하여 총 50 g의 시료를 각각 조제한 후 균질화시켜 혼합시료를 조제하였다.

### 광자극발광(PSL) 분석

시료는 빛에 대한 노출을 최대한으로 줄인 조건 하에서 일회용 페트리디쉬(55×12 mm)에 바닥이 보이지 않을 정도로 고르게 펼쳐 담은 후 PSL system(pulsed PSL irradiated food screening system, SURRC, Scotland, UK)의 시료 챔버에 넣은 후 60초 동안 방출되는 광자를 측정하였다. 방사선 조사된 표준물질과 방사선 조사되지 않은 표준물질을 사용하여 기기의 상태 및 측정조건을 확인한 후 시료 당 2회 반복으로 측정하였다. 측정결과에 판정에서 threshold value는  $T_1=700$  count/60s와  $T_2=5,000$  count/60s(9-14), 측정값이  $T_1$  미만이면 음성시료(negative)로 판정하고  $T_2$  초과이면 양성시료(positive)로 판정하였다. 측정값이  $T_1$ - $T_2$ 의 값을 나타내면 중간시료(intermediate)로 하였고 양성시료와 중간시료는 열발광법(TL)에 따라 시험한 후 그 결과의 판정에 따랐다.

### 열발광(TL) 측정을 위한 전처리 및 분석

시료에 증류수를 가하여 혼탁액을 만든 다음 5분간 초음파 처리하고 나일론 여과포(filtering mesh 125  $\mu$ m)로 여과, 세척한 후 정치하여 잔사를 모았다. 여기에 비중이 높은 텅스텐나트륨용액(sodium metatungstate, density 2.0 g/cm<sup>3</sup>)을 첨가하여 유기물을 제거한 뒤 증류수로 세척하였다. 그 다음 1 N HCl(Wako, Osaka, Japan) 2 mL을 가하여 10분간 암소에 정치하여 carbonate를 제거하였고, 1 N NH<sub>4</sub>OH(Wako) 2 mL을 가하여 중화시킨 후 증류수로 세척한 다음 아세톤(Merck, Darmstadt, Germany)으로 건조시켰다. 건조된 광물질을 준비된 시료 용기에 충전하여 50±5°C 건조기에서 16시간 동안 예열시킨 후, TL/OSL SYSTEM(Risø TL/OSL SYSTEM TL-DA-20, Roskilde, Denmark)을 이용하여 실온에서부터 500°C까지 5°C/sec의 속도로 검체의 온도를 상승시키면서 측정하였다. 이렇게 측정하여 얻어진 glow curve의 150-250°C 온도범위를 적분하여 TL intensity(TL<sub>1</sub>)로 하였고 대상 시료의

Glow 1을 측정한 뒤 1 kGy로 재조사하여 Glow 2를 측정(TL<sub>2</sub>)하고 TL ratio(TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>)를 구하여 0.1보다 작은 경우는 방사선이 조사되지 않은 것으로, 0.1보다 큰 경우는 조사된 것으로 확인하였으며, TL glow curve의 형태, 온도범위와 함께 시료의 조사여부를 판정하였다(14-19). TL 측정 시 검지결과에 대한 신뢰성을 얻기 위하여 blank test를 동시에 실시하여 이것의 TL glow curve 면적 값을 구해 blank 평균값에 표준편차의 3배수를 더하여 MDL(Minimal detectable integrated TL intensity level)을 구하였고, 각 시료의 TL<sub>2</sub> 값이 MDL의 10배를 넘으면 유효한 시험결과로 받아들였다.

### 실험결과 분석

각 식품군별 PSL 및 TL 측정은 2회 반복 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 시료의 광자극발광(PSL) 분석 특성

터머릭의 비 조사시료와 조사시료의 차이를 관찰하고 혼합시료의 PSL 분석 특성을 확인하기 위하여 시료를 약 2g씩 취해 실험한 결과, Table 1과 같다. 비 조사시료는 447 photon counts(PCs)로 negative를 나타내었으며, 1과 10 kGy로 조사된 시료에서는 각각 61884 PCs, 140354 PCs로 positive를 나타내어 방사선이 조사된 것을 확인할 수 있었다. 방사선 조사된 원료를 함유한 혼합시료는 1과 10 kGy 조사시료를 10% 미만으로 혼합하였을 때 312-14347 PCs 값을 나타내었으며, 0.7% 이상 혼합하였을 때 757 PCs값 이상을 나타내었다. 조사시료의 혼합비율 증가에 따른 혼합시료의 PCs는 시료를 혼합하는 과정에서 균질화의 차이로 인하여 유의적으로 증가하지 않은 것으로 보인다. 따라서 터머릭은 0.7% 이상 혼합하였을 때 intermediate 또는 positive의 결과를 나타내어 TL 확인시험으로 조사여부 확인이 가능할 것으로 사료된다.

**Table 1. Photostimulated luminescence determinations of different ratio of gamma-irradiated turmeric**  
(Unit : photon counts/60 sec)

| Blending rate (%) | Irradiation dose (kGy)                |                  |
|-------------------|---------------------------------------|------------------|
|                   | 1                                     | 10               |
| 0                 | 447±7 <sup>1)</sup> (-) <sup>2)</sup> | 447±7 (-)        |
| 0.1               | 312±6 (-)                             | 535±2 (-)        |
| 0.3               | 551±120 (-)                           | 738±295 (M)      |
| 0.5               | 497±113 (-)                           | 915±252 (M)      |
| 0.7               | 1372±49 (M)                           | 757±8 (M)        |
| 1                 | 742±49 (M)                            | 978±86 (M)       |
| 2                 | 1026±0 (M)                            | 1274±307 (M)     |
| 3                 | 1995±1177 (M)                         | 3420±877 (M)     |
| 4                 | 3144±56 (M)                           | 3209±635 (M)     |
| 5                 | 3482±844 (M)                          | 14347±6278 (+)   |
| 6                 | 2669±394 (M)                          | 4910±10 (M)      |
| 7                 | 7378±1373 (+)                         | 5980±457 (+)     |
| 8                 | 2978±1155 (M)                         | 11578±5998 (+)   |
| 9                 | 3775±608 (M)                          | 9527±520 (+)     |
| 10                | 5126±172 (+)                          | 12443±4832 (+)   |
| 100               | 61884±2510 (+)                        | 140354±18269 (+) |

<sup>1)</sup> Means±SD (n=2).

<sup>2)</sup> Threshold value:  $T_1=700$ ,  $T_2=5000$ , (-)< $T_1$ ,  $T_1$ <(M)< $T_2$ , (+)> $T_2$ .

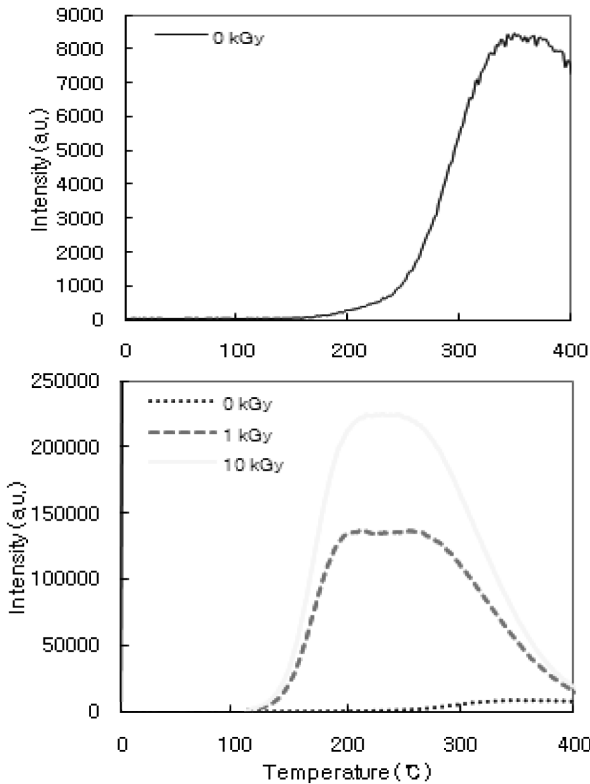


Fig. 1. TL glow curves of non-irradiated (top) and gamma-irradiated (bottom) turmeric.

Table 2. TL ratio (TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>) of gamma-irradiated turmeric at different blending rates

| Blending rate (%) | Irradiation dose (kGy)       |             |
|-------------------|------------------------------|-------------|
|                   | 1                            | 10          |
| 0                 | 0.001±0.001 <sup>1),2)</sup> | 0.001±0.001 |
| 0.1               | 0.001±0.000                  | 0.002±0.000 |
| 0.3               | 0.001±0.001                  | 0.016±0.022 |
| 0.5               | 0.012±0.012                  | 0.004±0.050 |
| 0.7               | 0.001±0.000                  | 0.001±0.001 |
| 1                 | 0.003±0.000                  | 0.004±0.002 |
| 2                 | 0.006±0.007                  | 0.016±0.002 |
| 3                 | 0.008±0.010                  | 0.027±0.017 |
| 4                 | 0.069±0.016                  | 0.018±0.020 |
| 5                 | 0.029±0.031                  | 0.060±0.028 |
| 6                 | 0.006±0.003                  | 0.083±0.077 |
| 7                 | 0.045±0.005                  | 0.107±0.103 |
| 8                 | 0.019±0.004                  | 0.139±0.074 |
| 9                 | 0.063±0.003                  | 0.158±0.098 |
| 10                | 0.128±0.060                  | 0.329±0.020 |
| 100               | 0.355±0.057                  | 0.923±0.126 |

<sup>1)</sup>TL<sub>1</sub> intensity/TL<sub>2</sub> intensity.

<sup>2)</sup>Means±SD (n=2).

**조사시료의 열발광(TL) 분석 특성**

TL 분석에서 실험의 신뢰도를 높이기 위해 미네랄의 분리과정에서 시료를 담지 않은 blank test를 수행하여 MDL(minimum detectable integrated TL-intensity level; 최저검출한계)을 설정하였다. 시료의 방사선 조사 여부에 따른 TL glow curve의 특성을 관찰하기 위하여 시료를 1 kGy와 최고선량 10 kGy로 조사한 후 비

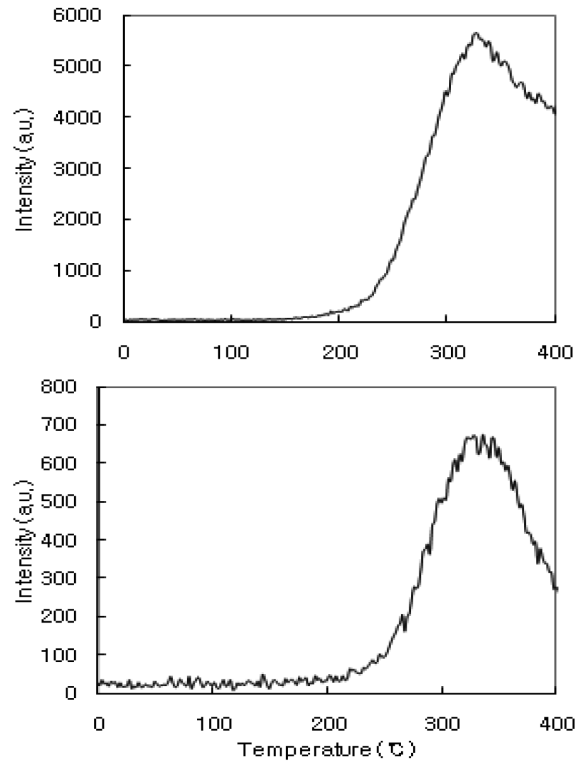


Fig. 2. TL glow curves for samples containing 0.1% of 1 kGy-irradiated (top) and 10 kGy-irradiated (bottom) turmeric.

조사시료를 대조구로 하여 TL 실험을 하였다. 시료 15 g을 water rinsing 하여 0.2-0.3 mg의 미네랄을 추출하여 TL을 측정된 결과 Fig. 1에서와 같이 나타났다. 방사선 조사되지 않은 시료는 자연 방사선에 의해서 300°C 부근에서 peak를 가지는 glow curve를 나타내었고, 1과 10 kGy 조사구에서는 150-250°C의 부근에서 특유의 glow curve를 나타내었다. 이러한 결과를 볼 때 방사선이 조사되지 않은 시료와 조사된 시료에서 나타나는 TL glow curve의 형태와 온도범위가 다르고 TL glow curve가 나타내는 intensity도 많은 차이를 나타내어 비 조사구와 조사구를 명확하게 구별할 수 있었다. 또한 1 kGy 조사시료에 비해 10 kGy 조사시료에서 TL intensity가 더 높게 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 방사선 조사식품은 TL에서 선량의존성의 특징을 나타내는데(20), 이것은 방사선에 의해 전자가 excitation 상태로 변화하여 일정한 규칙에 의해 포획(trap), 재조합(recombination)이 되기 때문으로 알려져 있다.

TL ratio(TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>)의 산출 결과 Table 2에서와 같이 비 조사시료에서는 0.001보다 작은 값을, 조사시료에서는 0.355보다 높은 값을 나타내어 이미 설정한 비조사구(0.1 이하)와 조사구(0.1 이상)의 TL ratio 기준에 따라 조사여부 확인이 가능하였으며 1 kGy 조사시료보다 10 kGy 조사시료에서 TL ratio가 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다(Table 2). Delincée(21)는 TL을 이용한 방사선 조사된 향신료, 과일과 채소 검지 실험에서 재조사 방법에 의한 normalization이 결과의 신뢰성을 더욱 증가시켰다고 보고하였고 본 실험에서도 일치하는 결과를 보였다.

**혼합시료의 열발광(TL) 분석 특성**

방사선 조사된 식품은 가공 및 유통하는 과정에서 제품에 일부 혼합되거나 비의도적으로 혼합될 가능성이 있으므로 이에 대

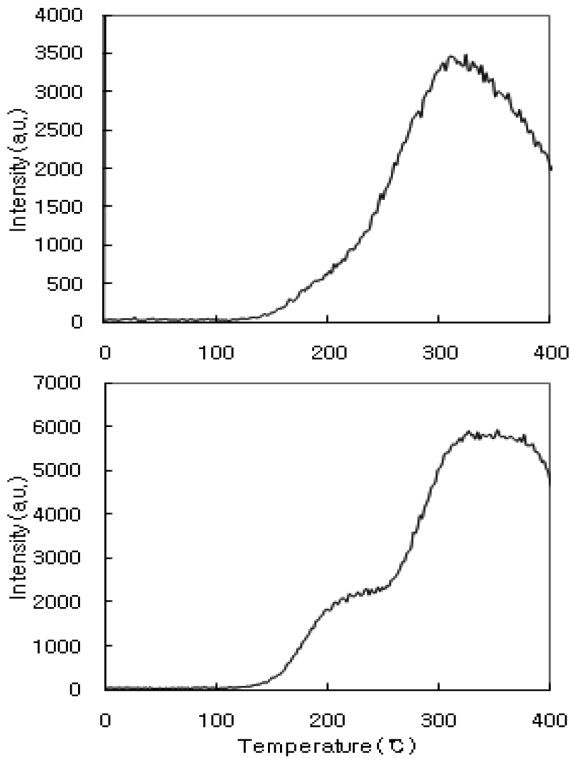


Fig. 3. TL glow curves of the samples containing 2% of 1 kGy-irradiated (top) and 10 kGy-irradiated (bottom) turmeric.

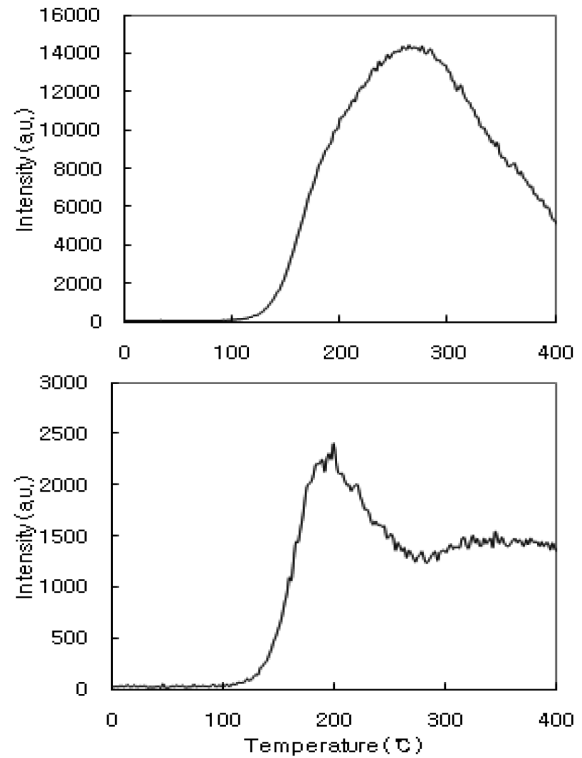


Fig. 4. TL glow curves of the samples containing 4% of 1 kGy-irradiated (top) and 10 kGy-irradiated (bottom) turmeric.

한 TL 적용 가능성을 알아보기 위하여 혼합시료의 TL 분석을 실시하였다. 특히 건조식품은 건조 및 분쇄 과정 중에 무기물의 혼입이 가능하므로 TL 방법에 의한 검지 방법이 다른 방법에 비하여 효율적이라고 사료된다고 보고하였다(22). 방사선 조사된 원료를 함유한 혼합시료의 검지 특성은 Fig. 2-4에서 보는 바와 같이 조사시료를 0.1% 혼합하였을 때에는 비조사구와 유사한 glow curve를 나타내어 조사구 특유의 glow curve를 확인할 수 없었으며, 조사시료를 2% 혼합하였을 때 1 kGy 시료는 비조사구의 glow curve를 나타낸 반면 10 kGy 시료에서는 조사구 특유의 glow curve를 나타냈다. 그리고 4% 이상 혼합하였을 때에는 1과 10 kGy 시료에서 모두 조사구의 glow curve를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 혼합시료의 경우 150-250°C 부근에서 조사시료의 glow curve를 나타낼 때 온도범위는 단일시료와 동일하게 나타나지만, glow curve의 형태와 intensity는 다소 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 또한 TL intensity는 조사선량과 혼합비율의 증가에 따라 유의적으로 증가하지는 않은 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 5).

방사선 조사된 혼합시료의 TL ratio는 Table 2에서와 같이 방사선 조사된 시료에서도 0.1 이하의 threshold value를 나타내었다. 방사선 조사 여부 판정에 있어서 2개 이상의 원료가 혼합되어 있는 제품의 경우 TL비가 0.1 이하로 나타나도 glow 1의 모양이 방사선 조사된 것으로 나타날 경우 방사선 조사된 것으로 판정한다(14,19). Hwang 등(22)은 라면 수프 재료 중 방사선 조사한 재료를 사용할 경우 충분한 무기물만 분리할 수 있으면 TL에 의한 배합 수프의 방사선 조사 여부 검지가 가능할 것으로 사료된다고 보고한 바 있으며 본 연구에서는 방사선 조사된 혼합시료는 TL glow curve 형태와 온도범위로서 방사선 조사여부를 확인할 수 있었고, 터머릭의 경우 4% 이상 혼합하였을 때 조사 여부 확인이 가능하였다. 이와 같은 결과는 시료의 혼합하는 과

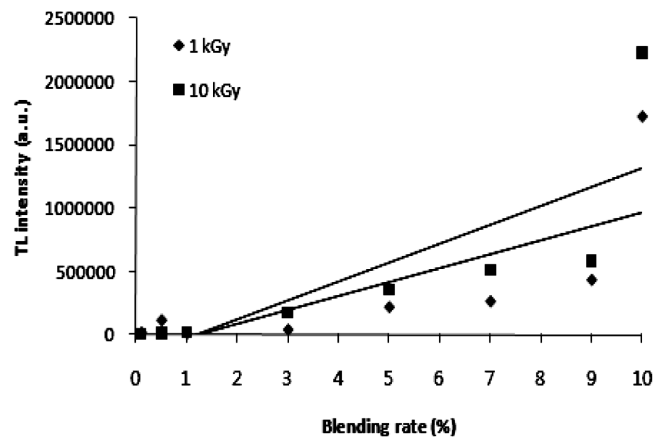


Fig. 5. TL intensity of different ratio of gamma-irradiated turmeric.

정에서의 균질화와 시료 자체의 광물질의 함량에 따라 TL 특성에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

### 요 약

방사선 조사된 터머릭의 혼합비율에 따른 조사여부 확인을 위하여 물리적 방법(PSL, TL)을 이용하여 검지특성을 분석하였다. PSL 분석 결과, 비 조사시료와 조사시료의 PCs값이 명확하게 구분되어 방사선 조사여부를 판별할 수 있었으며, 방사선 조사된 원료를 함유한 혼합시료는 1과 10 kGy 조사시료를 0.7% 이상 혼합하였을 때 intermediate 또는 positive의 결과를 나타내어 TL 확인시험으로 조사여부 확인이 가능할 것으로 사료된다. 시료의 TL

분석 결과, 방사선 조사되지 않은 시료는 자연방사선에 의해서 300°C 부근에서 최고 peak를 가지는 glow curve를 나타낸 반면, 1과 10 kGy 조사구에서는 150-250°C의 부근에서 특유의 glow curve를 나타내었다. TL ratio의 산출 결과 비 조사시료에서는 0.001보다 작은 값을, 조사시료에서는 0.355보다 높은 값을 나타내어 이미 설정한 TL ratio 기준에 따라 조사여부 확인이 가능하였다. 혼합시료의 TL 특성은 glow curve의 온도범위는 조사시료와 동일하게 나타나지만, glow curve의 형태와 intensity는 다소 차이를 보였다. 조사시료를 2% 혼합하였을 때 1kGy 시료는 비 조사구의 glow curve를 나타낸 반면 10kGy 시료에서는 조사구 특유의 glow curve를 나타냈다. 그리고 4% 이상 혼합하였을 때에는 1과 10kGy 시료에서 모두 조사구의 glow curve를 나타내었다. 방사선 조사된 혼합시료의 TL ratio는 0.1 이하의 threshold value를 나타내어 방사선 조사된 혼합시료는 TL glow curve 형태와 온도범위로서 방사선 조사 여부를 확인할 수 있었다.

## 문 헌

1. WHO. Wholesomeness of Irradiated Food (report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee), Technical Report Series-659, pp. 7-34, Geneva, Switzerland (1981)
2. Codex Alimentarius Commission. Codex General Standard for Irradiated Foods. CODEX STAN 106-1983, REV.1-2003 (2008)
3. International Atomic Energy Agency(IAEA). Food Irradiation Clearance Database. Available from: <http://nucleus.iaea.org>. Accessed February 17, 2009.
4. KFDA. Food Code. Korea Food and Drug Administration. pp. 2-1-9-10. Seoul, Korea (2008)
5. KFDA. Food Code. Korea Food and Drug Administration. pp. 5-21-8. Seoul, Korea (2008)
6. Kwon JH. Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. Food Ind. Nutr. 36: 50-55 (2003)
7. Kwon JH, Chung HW, Kwon YJ. Infrastructure of quarantine procedures for promoting the trade of irradiated foods. Annual Meeting and Symposium of Korean Post-Harvest Sci. Technol. Agric. pp. 209-254, October 13, Daejeon, Korea (2000)
8. KFDA. Notification on the Detection Methods for Irradiated Food. No. 2009-44. Food and Drug Administration, Seoul, Korea (2009)
9. Sanderson DCW. Luminescence detection of irradiated foods. pp. 25-56. In: Food Irradiation and the Chemist. Johnston DE, Stevenson MH (eds). Royal Society of Chemistry, Cambridge, MA, USA (1990)
10. Sanderson DCW, Carmichael LA, Naylor JD. Photostimulated luminescence and thermoluminescence techniques for the detection of irradiated food. J. Food Sci. Technol. 9: 150-154 (1995)
11. Sanderson DCW, Carmichael LA, Naylor JD. Recent advances in thermoluminescence and photostimulated luminescence detection methods for irradiated foods. pp. 124-138. In: Detection Methods for Irradiated Foods. McMurray CH, Stewart EM, Gray R, Pearce J (eds). Royal Society of Chemistry, Cambridge, MA, USA (1996)
12. Sanderson DCW, Carmichael LA, Fisk S. Establishing luminescence methods to detect irradiated foods. J. Food Sci. Technol. 12: 97-102 (1998)
13. CEN. Detection of irradiated food using photostimulated luminescence. English version of EN 13751. European Committee for Standard. Brussels, Belgium (2002)
14. KFDA. Food Code. Korea Food and Drug Administration. pp. 10-25-1-5. Seoul, Korea (2008)
15. Schreiber GA, Hoffmann A, Helle N, Bogl KW. Methods for routine control of irradiated food: Determination of the irradiation status of shellfish by TL analysis. Radiat. Phys. Chem. 43: 533-537 (1994)
16. Pinnioja S, Autio T, Niemi E, Pensala O. Import control of irradiated foods by the thermoluminescence method. Z. Lebensm. Unters. For. 196: 111-115 (1993)
17. IAEA. Analytical Detection Methods for Irradiated Foods. A review of current literature. IAEA-TECDOC-587. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (1991)
18. Heide L, Bögl KW. Detection methods of irradiated foods luminescence and viscosity measurements. Int. J. Radiat. Biol. 57: 201-219 (1990)
19. 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 (2002)
20. Chen R, Kirsh Y. The Analysis of Thermally Stimulated Processes. Pergamon. Oxford, England. p. 276 (1981)
21. Delincée H. Control of irradiated foods: Recent developments in analytical methods. Radiat. Phys. Chem. 42: 351-357 (1993)
22. Hwang KT, Byun MW, Wagner U, Dehne LI. Detection of post-irradiation of dry soup base ingredients in instant noodle by thermoluminescence technique. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 759-766 (1998)