

Thermoluminescence 측정에 의한 조미분말식품의 방사선 조사유무 확인

정형욱 · 권중호
경북대학교 식품공학과

Detection of Irradiation Treatment for Seasoned-Powdered Foods by Thermoluminescence Measurement

Hyung-Wook Chung and Joong-Ho Kwon

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

Abstract

Thermoluminescence measurements were applied to the detection of seasoned-powdered foods such as shellfish extract powder, seasoned marine products, *Ramen* soup powder and sardine extract powder whether they are irradiated or not. Correlation coefficients (R^2) between irradiation doses and corresponding TL responses were more than 0.5966 in all samples and 0.9500 in *Ramen* soup powder. TL threshold value was pre-established for the detection of unknown *Ramen* soup powders by verifying TL responses with a re-irradiation step. Threshold values were maximum 1.37 for the nonirradiated samples and minimum 6.06 for the 2.5 kGy-irradiated samples. The samples showing values between 1.37 and 6.06 were subjected to a re-irradiation step for their detection, which results were reconfirmed by enumerating the total bacterial load of the detected samples. Pre-established threshold values were successfully applicable to the detection of 167 coded unknown samples, both nonirradiated and irradiated with gamma or electron-beam energy. In the assessment of irradiated doses, three calibration curves were pre-established by plotting TL intensity versus applied doses, of which a quadratic equation was obtained for the potential estimation of irradiated doses with some variations from the real doses.

Key words: Irradiated seasoned-powdered foods, detection, thermoluminescence

서 론

방사선 조사식품의 안전성은 관련 국제기구(FAO/IAEA/WHO)에 의해서 공식 인정되었고⁽¹⁾, Codex 일반 규격으로도 채택되어⁽²⁾ 현재 한국을 포함한 39개국에서 방사선 조사식품의 생산이 허가되어 있다⁽³⁾. 국내 방사선 조사식품 허가현황⁽⁴⁾은 감자, 양파, 마늘, 밤, 생 버섯 등의 신선식품류와 건조식품, 어패류분말, 장류분말, 전분, 인삼, 건채류(향신료 포함) 등 20여개 품목에 이른다. 조사선량은 최저 0.15 kGy에서부터 최고 10 kGy까지의 ⁶⁰Co 감마선이 받아들여져, 속도지연, 살충, 살균 등의 목적으로 허용되어 있다.

방사선 조사식품의 허가 품목 및 관련 규정은 국가별로 상이하다. 따라서 조사식품의 유통과 교역에 있

어서는 표시규정(labeling)의 준수와 조사기록 관련서류(documents)의 첨부는 장치 필수적인 사항이 될 전망이다. 이와 관련하여 식품의 방사선 조사여부 및 조사선량을 확인할 수 있는 방법이 개발된다면 허가규정 준수에 대한 당국의 관리 감독이 용이해지고, 특히 식품 안전에 대한 소비자들의 신뢰가 높아져 조사식품의 건전한 보급과 국가간 교역 증진에도 기여할 것으로 기대된다⁽⁵⁾. 특히 WTO 체제하에서 식품의 교역이 크게 늘어날 것을 전망한다면 방사선 조사식품에 대한 검지기술(detection techniques)의 개발은 시급히 요구되고 있다. Thermoluminescence (TL) 측정은 무기물을 함유하고 있는 식품에 대하여 방사선 조사유무를 확인하는 방법으로 연구가 진행되고 있으며, 시료의 측정이 비파괴적으로 가능하기 때문에 향후 간편한 방법으로 개발될 전망이다.

본 연구에서는 국내에서 감마선 조사가 허가된 식품 중 현재 상업적으로 감마선 조사되고 있는 몇가지

Corresponding author: Joong-Ho Kwon, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Sankyuk-Dong, 1370, Taegu 702-701, Korea

조미분말식품을 대상으로 TL 측정에 의한 방사선 조사유무의 확인과 흡수선량 예측가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 시료는 국내에서 ^{60}Co 감마선 조사가 허가된 조미분말식품으로서 조개추출물분말, 해물조미베이스, 라면분말수프, 정어리추출물분말, 고추가루 등을 G사로부터 구입하여 구입한 상태 그대로 감마선 및 전자선 조사용 시료로 사용하였다.

방사선 조사

시료의 방사선 조사는 국내에서 사용이 허가된 감마선과 국제적으로 활용연구가 활발히 진행되고 있는 전자선으로 구분하여 실시하였다. 감마선조사는 ^{60}Co 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 일정한 선량률로 2.5~15 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter를 사용하였다($\pm 5.0\%$). 또한 전자선 조사는 electron-beam processing facility를 이용하여 가속전류 3.13~9.40 mA, beam dimension [98 cm(L) \times 7.5 cm(W)], table speed 10~20 m/min 등의 조건으로 실온에서 0.63 Gy \cdot sec $^{-1}$ 의 선량률로 2.5~15 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량은 cellulose triacetate dosimeter로 확인하였다($\pm 3.4\%$). 이상과 같이 방사선 조사된 시료는 비조사 대조시료와 함께 PVC 용기에 밀봉하여 실온에 보관하면서 실험에 사용하였다.

TL의 측정 방법

TL 측정을 위한 시료는 비파괴 분석의 일환으로 시료 자체를 검체로 하는 whole sample test^(6,7)를 사용하였다. 준비된 시료(whole sample)의 TL spectra 측정은 linear heating system ($^{\circ}\text{C}/\text{sec}$)이 부착된 TLD 4000 (Harshaw, Germany) detector 및 reading system을 이용하여 보고된 TL 측정법^(8,10)을 일부 변경하여 실온에서부터 400 $^{\circ}\text{C}$ 까지 검체의 온도를 상승시키면서 반복 측정하였다. 측정용 시료(10 mg)는 깨끗이 준비된 aluminum disc (직경 8 mm, 두께 0.5 mm)에 충전하고 planchette에 loading한 다음 TL emission의 glowcurve를 integration하여 TL intensity로 하였다.

Threshold value 설정시험

Threshold value 설정시험은 라면분말수프를 시료로

하여 실시하였다. 먼저 감마선 조사(2.5 kGy) 전후의 분말시료(n=20)에 대하여 peak area (TL₁, 처음의 TL glowcurve area)를 구한 다음, 비조사 시료의 평균 peak area로 각 측정치를 나누는 방법으로 방사선 조사유무를 확인하는 1단계 threshold value (TL₁ glowcurve peak area ratio)를 설정하였다. 그러나 시료의 처음 glowcurve (TL₁) 측정에 의해 방사선 조사유무의 확인이 분명하지 않을 때는 측정시료를 재조사(re-irradiation, 1 kGy)하여 처음의 glowcurve (TL₁)와 재조사 후 glowcurve (TL₂)의 면적비(TL₁/TL₂)를 이용하여 2단계 threshold value를 설정⁽¹¹⁾하여 조사유무를 확인하였다.

미지시료의 조사유무 확인 시험

본 실험에서 설정된 검지방법의 신뢰도를 확인하기 위하여 blind test의 일환으로 한국원자력연구소와 삼성중공업 중앙연구소로부터 무작위로 번호를 표기한 다수의 라면분말수프 미지시료(unknown samples)를 받아서 검지를 실시하고 그 결과를 미지시료 제공기관에 통지하여 조사유무에 대한 검지 결과를 확인하였다.

호기성 전세균

본 실험에서는 TL 측정에 의해 감마선 조사유무가 1차 확인된 시료 중 무작위로 일부 시료를 선택하여 APHA standard method⁽¹²⁾에 의해 호기성 전세균의 수를 검사함으로써 TL 검지 결과의 신뢰도를 높이고자 하였다.

흡수선량 예측 시험

식품에 대한 방사선 조사 유무 확인 뿐만 아니라 실제 방사선 조사선량(흡수선량, absorbed dose)을 시험 예측하고자 하였다. 라면분말수프(n=5)를 대상으로 2.5~15 kGy의 감마선과 전자선을 각각 조사한 다음 이들 시료의 TL intensity를 측정하여 dose-effect curve를 작성하고 3가지 회귀식을 도출하였다. 또한 흡수선량의 예측시험에서는 미지시료 검지 실험에 사용된 라면분말수프(n=10)를 대상으로 하여 이들 시료의 TL intensity 측정값을 각각의 회귀식에 대입함으로써 1, 2, 3차 회귀식의 적용가능성을 확인하였다^(13,14).

실험결과 분석

각 시료별 TL 측정은 5회 반복 실시하였으며, 측정 결과는 Origin⁽¹⁵⁾에 의해서 분석하였다.

결과 및 고찰

조미분말식품의 TL response

본 실험에 사용된 조미분말식품류에 대하여 조사선량과 TL response와의 상관관계를 R²로 구하여 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 고추가루를 제외한 나머지 시료에서 감마선 조사구는 0.6047 이상, 전자선 조사구는 0.5966 이상의 비교적 높은 R²를 각각 나타내었다. 특히 라면수프는 0.9500 이상의 아주 높은 R²를 나타내어 TL 방법의 적용가능성이 인정되었다. 고추가루의 경우에는 0.0018 이하의 매우 낮은 R²를 보임으로써 TL 방법의 적용이 불가능한 것으로 나타났다. 그러나 고추가루에 소금을 첨가하였을 때는 뚜렷한 TL glowcurve가 확인되어 소금이 TL glowcurve의 indicator임이 다시 한번 확인되었다⁽⁶⁾.

Table 1. Correlation coefficients (R²) between irradiated dose and thermoluminescent intensity in different items of irradiated foods approved in Korea

Irradiated sample (kGy)	Irradiation sources	R ²	TL response ¹⁾
Shellfish extract powder (2.5~15)	Gamma-ray	0.7555	+
	Electron beam	0.5966	
Seasoned marine powder (2.5~15)	Gamma-ray	0.7352	+
	Electron beam	0.8713	
Ramen soup powder (2.5~15)	Gamma-ray	0.9532	+
	Electron beam	0.9561	
Sardine extract powder (2.5~15)	Gamma-ray	0.6047	+
	electron beam	0.8141	
Red pepper powder (2.5~15)	Gamma-ray	0.0018	-
	Electron beam	0.0005	

¹⁾ -: TL is not applicable, +: TL is applicable with the whole

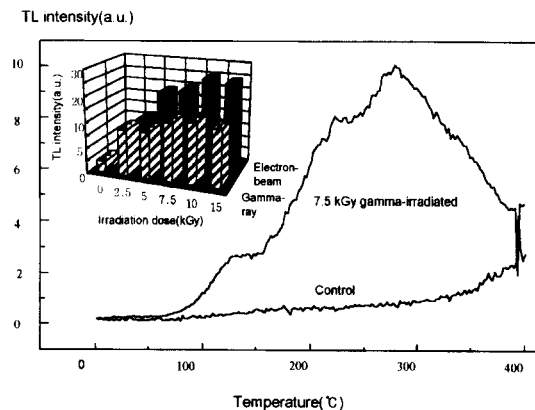


Fig. 1. TL intensity and TL glowcurve of irradiated shellfish extract powder exposed to gamma ray and electron beam.

Figs. 1~4는 감마선과 전자선 조사된 조개추출물분말, 해물조미베이스, 라면분말수프 및 정어리추출물분말에 대하여 조사선량에 따른 TL intensity의 변화와 감마선을 조사하였을 때 이들 각각의 시료가 나타내는 TL glowcurve를 나타내었다. 방사선 조사된 조개추출물분말의 TL intensity변화는 방사선 조사선량이 증가할수록 증가하였으나 비조사구에서도 어느 정도의 TL 값을 나타내었고, 전자선 조사구의 intensity가 감마선 조사구보다 크게 나타났다(Fig. 1). 해물조미베이스(Fig. 2)와 정어리추출물분말(Fig. 4)도 위와 유사한 결과를 나타내었으며, 200°C와 260°C 부근에서 최고의 피크를 나타내는 고유한 TL glowcurve를 각각 나타내었다. Fig. 3은 감마선과 전자선이 조사된 라면분말수프의 TL intensity 변화를 나타낸 것으로 방사선 조사선원에 관계없이 조사선량이 증가할수록 TL in-

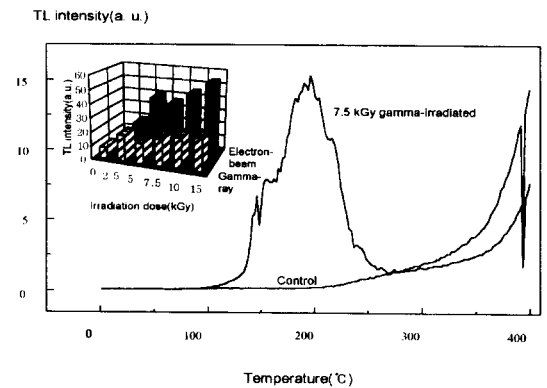


Fig. 2. TL intensity and TL glowcurve of irradiated seasoned marine products exposed to gamma ray and electron beam.

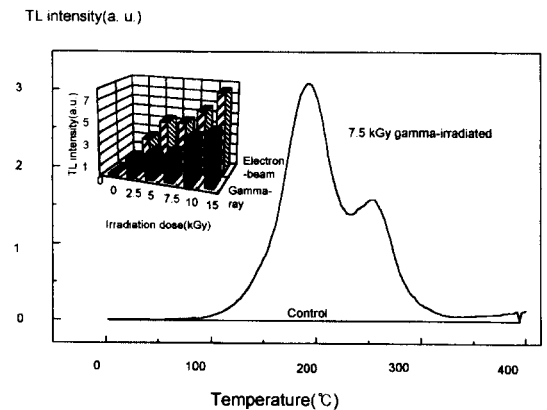


Fig. 3. TL intensity and TL glowcurve of irradiated Ramen soup powder exposed to gamma ray and electron beam.

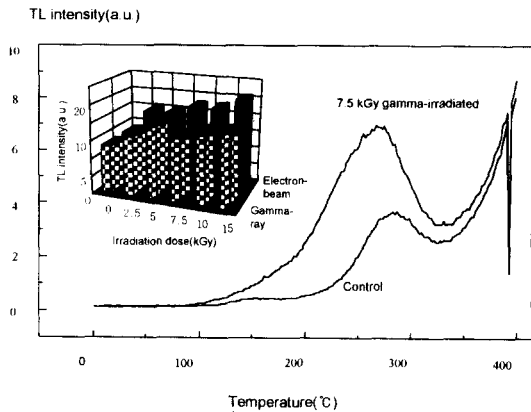


Fig. 4. TL intensity and TL glowcurve of irradiated sardine extract powder exposed to gamma ray and electron beam.

tensity가 증가하는 경향이었고, TL glowcurve는 200 °C 부근에서 최고 피크를 나타내었다. 방사선 조사된 라면분말수프의 특이한 발광특성(thermoluminescence)은 시료에 함유된 소금(약 30%)때문인 것으로 생각되었다⁽¹⁶⁾.

이상의 결과에서 볼 때 네가지 조미분말식품 중 라면분말수프는 조사선량에 따른 TL intensity의 변화에서 가장 높은 상관관계를 나타내었다. 따라서 라면수

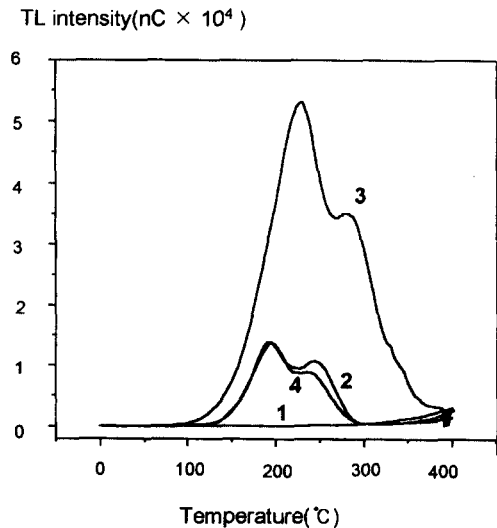


Fig. 5. Representative glowcurves of nonirradiated and gamma-irradiated (2.5 kGy) Ramen soup powder. 1: glowcurve of nonirradiated sample before re-irradiation step. 2: glowcurve of nonirradiated sample after re-irradiation at 1.0 kGy. 3: glowcurve of irradiated (2.5 kGy) sample before re-irradiation step. 4: glowcurve of irradiated sample after re-irradiation at 1.0 kGy.

프를 대상으로 re-irradiation step에 의한 TL response의 검증시험을 실시하였다.

TL response의 검증

라면분말수프는 whole sample test에 의해 비파괴적으로 TL glowcurve와 TL intensity를 간편하게 측정할 수 있었다. Fig. 5는 감마선 조사유무에 따른 라면수프의 대표적인 glowcurve를 보여주고 있다. Fig. 5에서 glowcurve 1은 감마선 조사되지 않은 대조시료이고, 2는 1번 시료를 재조사(1 kGy)하여 glowcurve를 측정 한 것이다. 또한 curve 3은 2.5 kGy의 감마선을 조사 한 시료이며, 4는 3번 시료를 재조사한 것이다. 이상의 glowcurve intensity에서 볼 때 조사선량(control, 1 kGy, 2.5 kGy)에 따른 glowcurve의 면적은 분명한 차이를 보였으며, 측정시료의 재조사 방법은 미지시료의 검지에서 그 신뢰성을 높일 수 있는 절차로 확인 되었다. 한편 분말식품의 상업적 조사의 목적을 고려해 최저 선량이라고 생각할 수 있는 2.5 kGy를 라면수프(n=10)에 조사하여 측정된 TL glowcurve를 대조구와 비교해 보았을 때 Fig. 6의 frequency histogram에 나타난 바와 같이 비조사구의 면적은 10² 미만이었으며, 조사된 모든 시료의 면적은 거의 10³ 이상으로 조사 유무에 따른 차이는 분명하였다. Autio와 Pinnioja⁽¹⁷⁾는 10 kGy의 감마선이 조사된 18개의 spice 시료들은 비 조사 시료들 보다 TL intensity에 있어서 적어도 100배 이상의 더 높은 값을 보였다고 보고하여 본 실험의 결과와 유사하였다. 또한 이와 같은 내용은 전자선(electron beam)이 조사된 대추야자에 대하여 재조사 방법을 이용하였을 때 방사선 조사유무의 분명한 확인이 가능하였다는 보고⁽¹¹⁾와 40여 종의 향신료로부터 mineral을 분리하여 재조사 방법을 이용하였을 때 미지시료의 확인이 가능하였다는 보고⁽¹⁸⁾를 잘 뒷받침 하

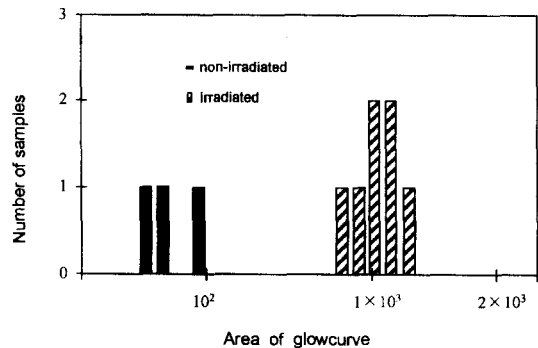


Fig. 6. Frequency histogram for TL responses of Ramen soup powder (n=10).

였다. 따라서 본 연구에서는 미지시료의 검지시험에 적용될 threshold value의 설정을 시도하였다.

Threshold value 설정

감마선 조사 전후의 라면스프 시료(n=20)를 대상으로 TL glowcurve를 측정하고 아래 식에 의해서 TL threshold value (peak area ratio)를 산출하였다. 그 결과 Table 2와 같이 비조사 시료들의 glowcurve (TL₁) peak area ratio는 최대값이 1.37이었고, 감마선 조사된 (2.5 kGy) 시료에서는 최저값이 6.06이었다. 그리하여 glowcurve peak area ratio가 1.37보다 작을 경우에는 감마선 조사되지 않은 것으로 간주하고, 6.06보다 클 경우는 감마선 조사된 것으로 판단키로 하였다. 그러나 미지시료의 glowcurve (TL₁) peak area ratio가 1.37에서 6.06 사이일 경우에는 검체를 400°C까지 가열시켜 TL emission 방해물질을 제거시킨 다음 다시 1 kGy의 감마선을 재조사(re-irradiation)하고 재조사된 시료에 대해 다시 glowcurve (TL₂)를 측정하여 TL₁/TL₂ 비를 산출함으로써 방사선 조사 유무의 재확인에 필요한 re-irradiation threshold value를 설정할 수 있었다.

TL threshold value (Peak area ratio)

$$= \frac{\text{비조사 시료의 최대 TL peak area}}{\text{비조사 시료의 평균 TL peak area}}$$

Table 2. TL glowcurve peak area ratio of Ramen soup powder (n=20) before and after gamma-irradiation

Sample No.	Peak area ratio ¹⁾	
	Before-irradiation	Post-irradiation ²⁾
1	1.02	6.82
2	1.04	9.12
3	0.73	10.05
4	0.70	8.36
5	1.01	9.25
6	0.64	8.56
7	0.59	9.91
8	0.65	9.90
9	0.96	7.78
10	1.29	10.48
11	1.37	9.32
12	1.20	9.12
13	1.30	7.32
14	1.31	6.70
15	1.08	6.06
16	1.11	9.62
17	0.98	9.04
18	0.75	8.38
19	0.82	10.06
20	0.89	9.91

¹⁾Each peak area/mean peak area of non-irradiation samples.

²⁾2.5 kGy.

미지시료의 조사유무 확인

이상에서 설정된 비조사구와 조사구에 대한 threshold value를 바탕으로 미지시료에 대한 조사유무 확인시험(blind test)을 실시하였다. 한국원자력연구소에서 제공된 82개의 라면수프 미지시료(감마선군)와 삼성중공업 중앙연구소에서 제공된 85개의 동일 미지시료(전자선군)를 대상으로 TL 측정을 실시하고 각각의 glowcurve peak area ratio를 산출하였다. Table 3은 감마선군의 TL 측정 결과이며, 본 실험에서 설정한 threshold value(비조사군 max. 1.37, 조사군 min. 6.06)를 적용하여 1차 조사유무를 판정하여 보았다. 그 결과 82개의 감마선군 미지시료 중 67개 시료의 TL₁ glowcurve peak area ratio가 6.06보다 크게 나타나 감마선 조사된 것으로, 나머지 15개는 peak area ratio가 1.37과 같거나 작아서 감마선 조사되지 않은 것으로 각각 판정하였다(Table 3). 또한 Table 4의 전자선군에서는 85개 미지시료 중 77개의 TL₁ glowcurve peak area ratio가 6.06보다 크게 나타나 전자선 조사된 것

Table 3. TL₁ glowcurve peak area ratio of gamma-irradiated Ramen soup powder for blind test¹⁾

Sample No.	Peak area ratio	Sample No.	Peak area ratio	Sample No.	Peak area ratio
1	10.91	29	34.02	57	11.84
2	11.64	30	23.15	58	42.63
3	14.71	31	16.96	59	19.36
4	11.35	32	7.66	60	8.93
5	2.30	33	28.12	61	7.76
6	15.13	34	9.59	62	7.45
7	50.77	35	31.89	63	20.80
8	15.38	36	37.51	64	47.00
9	16.47	37	1.27	65	16.57
10	22.50	38	8.57	66	1.14
11	9.81	39	15.56	67	22.28
12	0.96	40	23.40	68	22.58
13	1.36	41	21.44	69	26.60
14	19.66	42	11.51	70	22.14
15	52.93	43	7.76	71	0.99
16	14.93	44	0.78	72	17.58
17	0.85	45	14.37	73	33.48
18	18.92	46	39.08	74	8.38
19	27.74	47	7.69	75	14.98
20	32.87	48	15.35	76	38.15
21	1.37	49	32.37	77	1.02
22	13.76	50	0.83	78	1.10
23	14.51	51	9.26	79	39.54
24	0.91	52	6.06	80	9.16
25	13.68	53	32.50	81	12.86
26	1.20	54	15.20	82	1.27
27	1.30	55	42.46		
28	10.81	56	30.73		

¹⁾Each peak area/mean peak area of non-irradiated control.

Table 4. TL_i glowcurve peak area ratio of electron beam-irradiated Ramen soup powder for blind test¹⁾

Sample No.	Peak area ratio	Sample No.	Peak area ratio	Sample No.	Peak area ratio
1	58.08	30	59.09	59	119.80
2	72.27	31	122.17	60	58.84
3	48.46	32	41.06	61	1.01
4	38.88	33	66.34	62	34.85
5	48.77	34	0.60	63	3.11
6	45.24	35	41.82	64	111.77
7	66.52	36	0.65	65	90.99
8	49.15	37	1.04	66	52.08
9	42.65	38	52.74	67	27.72
10	84.77	39	38.97	68	81.58
11	103.51	40	57.24	69	93.92
12	87.38	41	49.71	70	44.26
13	114.08	42	0.70	71	44.20
14	39.33	43	47.42	72	72.28
15	29.76	44	38.59	73	86.47
16	84.63	45	26.18	74	116.80
17	55.90	46	0.64	75	42.93
18	83.05	47	41.09	76	36.86
19	0.70	48	45.52	77	52.17
20	55.31	49	137.86	78	50.86
21	59.13	50	47.91	79	62.78
22	34.77	51	71.46	80	20.55
23	141.75	52	61.15	81	57.13
24	84.48	53	27.73	82	58.70
25	151.56	54	46.10	83	56.49
26	50.93	55	0.74	84	43.88
27	100.21	56	40.90	85	48.18
28	96.23	57	110.04		
29	38.25	58	225.59		

¹⁾Each peak area/mean peak area of non-irradiated control.

로, 나머지 8개 시료의 peak area ratio는 1.37보다 작아서 전자선 조사되지 않은 것으로 각각 판정하였다 (Table 4).

이상과 같이 방사선 조사유무가 잠정 확인된 시료를 대상으로 그 검지결과를 1차 검증하기 위하여 감마선군과 전자선군에서 각각 시료 일부(n=6)를 무작위로 추출하여 시료의 호기성 전세균 수를 검사하였다. Table 5에 나타난 바와 같이 감마선 조사된 것으로 판정된 시료군(sample No. 1, 25, 39, 56)에서는 호기성 전세균이 $10^2 \sim 10^3$ /g 수준으로 비교적 낮게 나타났고, 비조사군으로 판정된 시료군(sample No. 12, 17)에서는 호기성 전세균이 10^6 /g 이상으로 매우 높게 나타났다. 또한 전자선 조사된 것으로 판정된 시료군(sample No. 1, 12, 17, 25, 39, 56)에서는 호기성 전세균이 10^3 /g 수준으로 나타났다. 이들 무작위 시료에서 확인된 미생물 수준은 대상시료들의 조사유무 판정결과를 뒷받침해 주었으며, 방사선 조사에 따른 이같은 호기

Table 5. Total bacterial counts of selected unknown Ramen soup powder for blind test

Selected sample No.	Bacterial load (CFU/g)	
	Gamma-irradiated	Electron beam-irradiated
1	8.7×10^3	3.7×10^3
12	3.2×10^6	1.2×10^3
17	8.6×10^6	3.6×10^3
25	4.6×10^2	0.6×10^3
39	3.6×10^2	6.8×10^3
56	2.0×10^3	4.1×10^3

성 전세균의 감소는 식물성 혼합조미료⁽¹⁹⁾, 즉석라면수프⁽²⁰⁾ 등에 대한 연구결과에서도 보고된 바 있다.

이상의 판정결과를 미지시료의 제공기관인 한국원자력연구소와 삼성중공업 중앙연구소에 통보하여 방사선 조사 기록과 대조하여 본 결과, 판정의 정확도는 100%로 확인하였다. 이와 같이 threshold value 설정에 의한 whole sample TL 측정법은 라면분말수프의 방사선 조사유무 확인에 적용이 가능한 것으로 확인되었고, TL 측정 진후에 검지 대상시료의 미생물 농도(총세균)를 측정하는 절차는 TL 측정시료의 수를 줄이거나 TL 측정결과의 신뢰도를 높일 수 있는 방안이라 생각된다. 또한 TL 측정시료의 소금농도는 TL intensity에 영향을 줄 수 있으므로 미지시료의 소금농도를 측정하여 측정값 계산에 이용한다면 보다 정확한 검지 결과가 기대된다⁽¹⁶⁾. 따라서 본 TL 측정법이 실용화되기 위해서는 여러가지 시료에 대한 적용실험이 확대 실시되어야 할 것이며, 나아가 정부 관련기관 및 해외 전문기관과의 inter-laboratory study 등의 보다 구체적인 실증연구가 필요하다고 생각된다.

흡수선량의 예측

미지시료 중 방사선 조사된 것으로 판명된 시료, 즉

Table 6. Three mathematical fits for estimating irradiated doses of Ramen soup powder

Irradiation source	Three mathematical fits	R ²
Gamma-ray	Y=214.52743X+376.49317	0.9650
	Y=-8.23080X ² +337.98943X+119.28067	0.9969
	Y=0.59964X ³ +21.7227X ² +410.69585X+68.686	0.9990
Electron-beam	Y=520.66309X+785.43943	0.9561
	Y=-9.25326X ² +659.46194X+496.27514	0.9629
	Y=5.43620X ³ +131.56780X ² +1318.60140X+37.59562	0.9918

감마선 조사군 각 10개(3, 5 kGy)와 전자선 조사군 각 10개(3, 7 kGy)의 TL 측정 데이터를 Table 6의 3가지 예측모델식에 대입하여 보았다. 먼저 1차회귀식을 적용해서 흡수선량을 예측하여 본 결과, 감마선의 경우 1.18 및 5.31 kGy, 전자선의 경우 3.87 및 8.27 kGy의 선량으로 예측되었다. 그리고 3차회귀식을 적용한 경우는 감마선이 1.48 및 4.69 kGy, 전자선이 2.78 및 8.54 kGy로 상당히 오차가 큰 조사선량으로 예측되었다. 그러나 실제 조사된 선량과 가장 가까운 예측값을 얻을 수 있었던 것은 2차회귀식이었으며, 이때 예측된 선량은 감마선의 경우 1.57 및 4.90 kGy, 전자선의 경우 3.68 및 7.82 kGy이었다. 이와 같이 Table 6의 2차회귀식을 적용하였을 경우 미지시료의 흡수선량 예측이 어느 정도 가능하다고 말할 수 있지만 아직은 실제 측정치와 상당한 오차를 보였다. Stevenson과 Stewart⁽³⁾는 ESR을 이용한 방사선 조사된 Norway lobster의 검지연구에서 흡수선량을 예측하기 위하여 재조사 방법을 적용하였으나 실제 선량과는 상당한 차이가 있었다고 하였다. 현재 TL 측정에 의해 방사선 조사 유무의 확인은 어느정도 적용 가능한 단계에 이르렀다고 여겨진다. 그러나 정확한 흡수선량의 예측을 위해서는 방사선 조사후 시료 조건, 선량률, 무기질 성분 등 TL 영향인자들에 대한 보다 체계적인 연구가 필요하다고 생각된다⁽⁴⁾.

요 약

조개추출물분말, 해물조미베이스, 라면분말수프, 정어리추출물분말 등 조미분말식품에 대한 TL 검지방법의 적용가능성을 확인하였다. 이들 시료의 방사선 조사선량과 TL response 간의 R^2 는 0.5966 이상을 보여 주었고, 특히 라면수프는 0.9500 이상의 상관계수를 보이면서 방사선 조사선량이 증가할수록 TL intensity도 증가하였다. 따라서 라면수프 시료를 대상으로 re-irradiation step에 의한 TL response의 검증을 실시하였고, 미지시료의 검지에 필요한 역치(threshold value)를 측정하였다. 이때 비조사 시료의 역치는 최고 1.37 이하였고, 감마선 조사시료(2.5 kGy)의 역치는 최저 6.06 이상이었다. 그리고 1.37과 6.06 사이의 역치를 나타내는 미지시료는 재조사하여 방사선 조사유무를 검지하였고, 검지시료의 호기성 전세균의 수를 측정함으로써 검지결과를 검증하였다. Blind test의 일환으로 실시한 미지시료 검지실험에서는 본 실험에서 설정한 역치의 적용으로 총 167개 시료(감마선 82, 전자선 85)의 방사선 조사유무를 정확하게 확인할 수 있었다.

방사선 조사선량을 예측하기 위하여 3가지 예측모델식을 설정하고 조사선량을 예측하여 본 결과, 2차회귀식이 가장 적합하였으나 실제 조사선량과는 상당한 오차를 보였다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 과학재단 핵심전문연구과제(과제번호 961-0605-039-2)의 일부이며, 연구비를 지원하여 준 과학재단에 깊이 감사드립니다.

문 헌

1. WHO: Wholesomeness of Irradiated Food "report of a joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee," Technical Report Series-659, 7 (1981)
2. Codex Alimentarius Commission: Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods. CAC/VOL XV, FAO, Rome (1984)
3. Kwon, J.H.: The international approval state and practical application of food irradiation. *Food industry*, **133**, 18-49 (1996)
4. The Ministry of Health and Welfare in Korea.: Food Standard Code, Seoul, p.100 (1997)
5. Beison, J.: IOCU's position on food irradiation. Paper given to the UNDP/FAO/IAEA Workshop on Public Information of Food Irradiation, Bangkok, 27-31 May (1991)
6. Heide, L. and Bogl, K.W.: "Report of the Institute for Radiation Hygiene of the Federal Health Office," Bundesgesundheitsamt(BGA), Berlin, ISH-Heft 58 (1984)
7. Mamon, A., Abdul-Fattah, A.A. and Abulfaraj, W.H.: Thermoluminescence of irradiated herbs and spices. *Radiat. Phys. Chem.*, **44**, 203-206 (1994)
8. IAEA: Analytical detection methods for irradiated foods. A review of current literature. IAEA-TECDOC-587, p. 172 (1991)
9. Schreiber, G.A., Hoffman, A., Helle, N. and Bogl, 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)
10. Pinnioja, S., Autio, T., Niemi, E. and Pensala, O.: Import control of irradiated foods by thermoluminescence method. Paper presented at 9th IMRP, Istanbul, Turkey, 11-16 Sept. (1994)
11. Khan, H.M. and Delincee, H.: Detection of irradiation treatment of dates using thermoluminescence of mineral contaminants. *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 717-720 (1995)
12. APHA: Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, M. Speck(ed), American Public Health Association, Washington, D.C. (1976)
13. Stevenson, M.H. and Stewart, E.M.: Identification of irradiated Norway lobster using ESR spectroscopy and estimation of applied dose using re-irradiation. Paper pre-

- sented at 9th IMRP, Istanbul, Turkey, 11-16 Sept. (1994)
14. Kiyak, N.: Application of thermoluminescence technique to identify radiation processed foods. *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 721-723 (1995)
 15. Origin: Origin tutorial manual, version 3.5, Microcal Software, Inc., Northampton, MA. p.45 (1994)
 16. Chung, H.W.: Identification of irradiated Korean traditional foods containing salts by thermoluminescence measurement. M.S. Thesis, Kyungpook National Univ., Seoul, Korea (1996)
 17. Autio, T. and Pinnioja, S.: Identification of irradiated foods by thermoluminescence of mineral contamination. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, **191**, 177 (1990)
 18. Wagner, U., Jakob, M., Leffke, A., Helle, N., Bogl, K. W. and Schreiber, G.A.: Methods for routine control: viscosity analysis on pepper-thermoluminescence analysis on minerals of spices, herbs, fruit and vegetables. In: Recent advances on the detection of irradiated food. Edited by: Leonardi, M. and Belliardo, J.J. BCR Information. EUR/14315/EN (Commission of the European Communities, Brussels, Luxembourg), pp.152 (1992)
 19. Kwon, J.H., Byun, M.W., Cha, B.S., Yang, J.S. and Cho, H.O.: Improvement of hygienic quality of vegetable mixed condiments using gamma-irradiation in Korean. *Kor. J. Food Hygiene*, **3**(4), 233-239 (1988)
 20. Byun, M.W., Kwon, J.H., Cha, B.S., Cho, H.O. and Kang, S.S.: Radiation of the condiment for soup of instant noodle (*Ramen*) in Korea. *J. Korean Soc. Food Nutr.*, **18**(1), 14-18 (1989)

(1998. 2. 28 접수)