

연구노트

국내 시중 유통 수산물에 대한 방사능 농도 조사

김창종* · 임충섭¹ · 이완로 · 장 미 · 지영용 · 정근호 · 강문자
한국원자력연구원, ¹과학기술연합대학원대학교

Survey Study on Radioactivity of Domestic Fishery Product

Chang-Jong Kim*, Chung-seop Lim¹, Wannoo Lee, Mee Jang, Young-Yong Ji, Kun-Ho Chung, and Mun-Ja Kang

Korea Atomic Energy Research Institute
¹University of Science and Technology

Abstract Samples of fishery products were tested for radioactivity by using the intake frequency data from Korea Health Statistics. The radioactivity of ⁴⁰K, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, and ¹³¹I was analyzed using gamma spectrometry with a simplified sample pre-treatment procedure. The radioactivity range for ⁴⁰K was 21.9-3050 Bq/kg, whereas the radioactivities of ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, and ¹³¹I were under minimum detectable activity which were in the range of 0.140-1.97, 0.0900-1.89 and 0.124-1.94 Bq/kg, respectively, for the three species. The results suggest that the Fukushima accident did not have a significant impact on domestic fishery products, which were analyzed during the period from 2013 to 2015. Additionally, there seemed to be no significant impact of additional exposure dose by the analyzed radionuclides.

Keywords: radioactivity, fishery product, ¹³⁷Cs, minimum detectable activity

서 론

2011년 3월 후쿠시마 원자력발전소 사고 발생 이후 국내에서는 각종 식품의 방사성 물질 오염에 대한 불안감이 야기되었다. 특히, 후쿠시마 사고는 대량의 방사성 물질이 해양으로 누출 됐다는 점에서 주변국들이 수산물에 대한 관리를 강화토록 하는 계기가 되었다. 우리나라는 현재 후쿠시마 등 8개현의 일본 수산물을 수입금지 하고 있으며, 일본산 수산물을 포함한 일본산 식품 중 방사성 세슘에 대해 좀 더 보수적인 방사능 농도 기준을 설정해서 관리하고 있다(1).

국내에는 1989년도에 식품의약품안전처가 제정한 식품공전 고시 89-19 식품 중의 방사능 농도 잠정 허용기준이 있으며, 방사성 요오드에 대해서 영·유아용식품 100 Bq/kg, 유 및 유가공품 100 Bq/kg, 기타식품 300 Bq/kg, 방사성 세슘에 대해서 모든식품 370 Bq/kg을 농도 기준으로 삼고 있다(1). 또한 후쿠시마 사고 이후에 일본산 수입식품 중 방사성 세슘에 대한 임시강화기준이 재설정되었으며, 사고 이후 일본산 수입식품에는 별도로 100 Bq/kg의 임시강화기준을 적용하고 있다. 이러한 기준에 의해 관리되고 있음에도 일본과 해양 인접국이라는 이유로 우리나라 국민들은 국내 수산물에 대해서 역시 불안감을 갖고 있다.

본 연구에서는 현재 국내에서 유통되는 수산물에 대해 신뢰성 있는 방사능 농도를 제시하고자 2013년부터 3년간 전국의 대형

수산시장의 수산물을 무작위로 채취하여 조사하였으며, 사고 상황에 맞는 신속하고 효율적인 분석 방법을 사용하여 국내 시중 유통 수산물의 후쿠시마 사고 영향에 대해서 조사하였다.

재료 및 방법

시료의 채취 및 전처리

시료 채취지점은 수도권 중 서울, 중부권 중 대전, 대천, 남부권 중 부산의 대형 수산시장을 대상으로 하였으며, 총 48종의 수산물 시료를 2013년부터 2015년까지 채취하였다(Table 1). 국민건강통계의 섭취빈도(2)를 참고로 하여 시료의 종류를 결정하였으며, 고등어, 조기, 명태, 멸치, 오징어, 패류 등 섭취빈도가 높은 품목에, 전복, 갈치, 우럭, 주꾸미, 콩치, 대구, 전어, 새우, 광어, 삼치, 낙지, 민어, 농어, 도미, 가자미, 병어, 멍게, 노래미, 해삼, 해조류 등 국내에서 많이 유통되는 품목을 추가하여 시료 선정에 반영하였다.

일반적으로 감마선방출핵종의 방사능 농도를 분석하기 위한 시료의 전처리는 부피를 줄여 더 많은 양을 측정하기 위해서 건조와 회화단계를 거치게 되며, 이 과정에서 며칠간의 전처리 시간을 소요하게 된다. 하지만 본 연구에서는 신속한 분석을 위해서 전처리 과정 없이 생 시료를 분쇄한 후 직접 측정하였으며, 일반적인 식품분쇄기를 사용하여 측정 용기에 균질하게 들어갈 수 있도록 하였다. 모든 시료에 대해서 뼈, 내장, 껍질을 제외한 살 부위만을 시료로 하였으며, 살 부위만을 시료로 사용할 경우 시료 질량이 반 이상 줄어드는 것을 감안하여 각 시료의 채취량을 결정하였다. 이미 건조된 수산물 시료의 경우에는 별도의 처리 없이 바로 분쇄하여 측정하였다. 측정 용기는 직경 142 mm, 홀 직경 86 mm, 높이 98 mm, 용량 1 L의 마리넬리 비커(Marinelli beaker)로 하였다.

*Corresponding author: Chang-Jong Kim, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 34057, Korea
Tel: 82-42-868-8117
Fax: 82-42-863-1289
E-mail: cjkim@kaeri.re.kr
Received September 21, 2015; revised October 20, 2015;
accepted November 3, 2015

방사능 농도 분석

감마분광분석법을 통해 ^{40}K , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 의 핵종의 방사능 농도를 분석하였다. ^{40}K 은 천연방사성핵종으로 지각뿐만 아니라 사람을 포함한 생명체에 존재하는 핵종이며, 일반 성인의 ^{40}K 방사능 농도는 약 70 Bq/kg 정도이다(3). ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 은 인공방사성핵종으로 대표적인 핵분열 생성물이다. 측정에 사용된 검출기는 고순도 게르마늄 반도체 검출기(HPGe, ORTEC Advanced Measurement Technology Inc, Oak Ridge, TN, USA)로 상대 효율은 20%, 고압(high voltage) 2300 V일 때 에너지 분해능(FWHM)은 ^{60}Co 1333 keV에서 1.9 keV 이하이다. 두께 10 cm 이상의 납 차폐체에 의해 주변으로부터 검출기로 입사하는 백그라운드 감마선이 차단된다. 사용한 표준선원(100949, Eckert & Ziegler, Atlanta, USA)은 ^{241}Am (59.5 keV), ^{109}Cd (88.0 keV), ^{57}Co (122.1, 136.5 keV), ^{139}Ce (165.9 keV), ^{51}Cr (320.1 keV), ^{113}Sn (391.7 keV), ^{85}Sr (514.0 keV), ^{137}Cs (661.7 keV), ^{88}Y (898.0, 1836.1 keV), ^{60}Co (1173.2, 1332.5 keV)을 포함하며, 마리넬리 비커의 기하구조에 대한 에너지 및 효율로 농도를 분석하였다. 방사능 농도는 식 1에 의해 계산되었다(4,5).

$$A = \frac{N}{\varepsilon \cdot m \cdot I_{\gamma} \cdot t_s \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} \quad (1)$$

N: 순계수

ε : 효율

m: 시료량

I_{γ} : 감마방출률

t_s : 시료측정시간

K_1 : 농도 산출일에 대한 붕괴보정인자

K_2 : 측정시간 동안의 붕괴보정인자

K_3 : 동시합산효과 보정인자

최소검출가능농도(Minimum Detectable Activity, MDA) 및 측정시간

방사능 농도 분석에서 최소검출가능농도는 검출한계치(lower limits of detection, LLD)를 바탕으로 해서 결정된다. 검출한계치는 Currie에 의해 제안되었으며(6), 계측의 통계적인 부분만을 고려해서 방사능 존재 여부를 나타내는 개념이다. 현재 방사능 분석 분야에서는 검출한계치 중 검출한계(L_D : detection limit)에 효율, 시료량, 측정시간 등 방사능 농도에 영향을 주는 모든 인자가 들어가 있는 최소검출가능농도라는 값을 사용하여 방사능의 존재여부를 판단하는 것이 일반적이며, 이는 식 2에 의해 계산되었다.

$$MDA = \frac{2.71 + 4.65 \cdot \mu_B}{\varepsilon \cdot m \cdot I_{\gamma} \cdot t_s} \quad (2)$$

μ_B : 백그라운드의 불확도

ε : 효율

m: 시료량

I_{γ} : 감마방출률

t_s : 시료측정시간

특정 시료에 대해서 같은 검출기로 분석을 할 경우, 최소검출가능농도에 영향을 주는 인자는 백그라운드의 불확도와 측정시간이다. 백그라운드 역시 같다고 가정한다면 측정시간이 길어질수록 최소검출가능농도가 작아지게 된다(Fig. 1). Fig. 1에서는 ^{137}Cs 을 예로 들어 측정시간에 따른 최소검출가능농도를 계산하

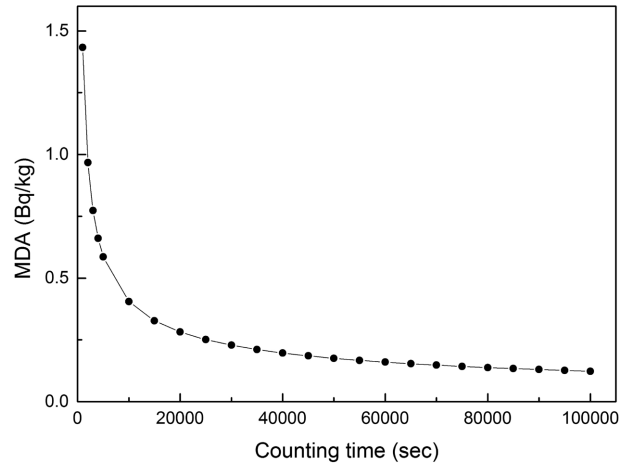


Fig. 1. MDA of ^{137}Cs for counting time.

였으며, 이를 위한 조건은 시료량 1 kg, 해당 에너지의 백그라운드 계수를 0.01 count/sec이다. 이는 시료에서 인공방사성핵종이 없고 ^{40}K 만 존재하며 그 농도가 약 100 Bq/kg이라고 가정했을 때의 값이다. 현재 수산물에 대한 $^{137}\text{Cs}+^{134}\text{Cs}$ 의 농도 기준은 국내산이 370 Bq/kg, 일본산이 100 Bq/kg이다. 본 연구에서는 일본산 기준의 백분율에 의해 해당하는 1 Bq/kg을 최소검출가능농도로 임의 설정하였으며, 이를 만족시키기 위한 측정시간은 Fig. 1의 결과를 참고하여 10,000초로 결정하였다.

결과 및 고찰

수산물 시료의 방사능 분석

2013년부터 2015년까지 채취한 수산물 시료의 방사능 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 모든 시료에서 ^{40}K 이 검출되었으며, 나머지 인공방사성핵종 ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 은 모두 최소검출가능농도 이하였다. 건조된 수산물 시료를 제외한 ^{40}K 방사능 농도는 21.9-154 Bq/kg의 범위를 나타내어 일반적인 수산물의 농도 수준을 나타내었다(7). 다만, 뼈나 내장에 비해 살 부위의 ^{40}K 의 농도가 상대적으로 높은 것을 고려 할 때(8), 본 연구에서 시료로 사용한 살 부위만의 농도는 전체 부위를 대상으로 했을 때 보다 높은 경향을 나타냈을 것으로 판단된다. 또한, 일부 건조된 수산물 시료의 ^{40}K 방사능 농도는 267-3050 Bq/kg의 범위를 나타내어 상대적으로 높은 경향을 보인다. 식품성분표를 참고한 건조된 수산물의 수분 함량(보리새우, 멸치, 명태, 다시마, 미역에 대해 각각 82.8, 73.4, 80.3, 91.0, 88.8%)을 통해(9), 건조 시료를 생 시료에 대한 값으로 환산한 ^{40}K 방사능 농도는 각각 59.9, 71.0, 75.8, 274, 234 Bq/kg이다. 해조류의 경우에는 일반적으로 어·패류 보다 ^{40}K 의 농도가 높은 것으로 조사되었다(10). ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 의 인공방사성핵종은 대표적인 핵분열 생성물로서 모든 시료에 대해서 방사능 농도가 최소검출가능농도 이하의 결과를 나타내어, 조사 대상 시료에 대해서는 후쿠시마 사고의 영향이 없는 것으로 판단할 수 있다.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)가 제시하는 세계 평균 자연방사선 피폭선량은 2.4 mSv 이다. 이는 라돈흡입, 지각감마선, 우주방사선 등을 포함한 양이며, 음식을 통한 방사능 섭취에 따른 내부 피폭은 약 14.6% 정도이다. 섭취에 의한 피폭량은 식사 습관에 따라 달라지며 우리나라 국민의 경우 약 12.3%로 세계 평균과

비슷한 수준으로 조사되었다(11). 식품군별 평균 섭취량 중 수산물은 약 3%의 비율을 차지하며(2), 전체 자연 방사선 피폭선량 중 수산물에 의한 부분은 극히 일부이다. 따라서, 본 연구에서 조

사한 ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ¹³¹I의 인공방사성 핵종에 의한 방사선 피폭 영향은 없다고 볼 수 있다. 또한, ⁴⁰K의 경우 체내에서 평형상태를 이루므로 UNSCEAR가 평가한 연간 170 μSv를 그대로 적용할 수

Table 1. Radioactivity concentration of domestic fishery product

No.	Sampling (date)	Region	Fishery product	Sample mass (kg)	Radioactivity concentration (Bq/kg), k=2			
					⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³¹ I
1	13.08.23	Daecheon	Abalone (<i>Nordotis discus discus</i>)	0.916	89.1±10.2	<0.275	<0.385	<0.346
2			Hanchi (<i>Photololigo chinesis</i>)	0.928	122±12	<0.252	<0.404	<0.345
3			Yellow croaker (<i>Larimichthys polyactis</i>)	0.938	50.9±7.9	<0.332	<0.388	<0.239
4			Hair tail (<i>Trichiurus lepturus</i>)	0.971	77.0±8.4	<0.407	<0.334	<0.246
5			Jacopever (<i>Sebastes schlegeli</i>)	0.913	123±12	<0.402	<0.325	<0.335
6	13.08.26	Busan	Webfoot octopus (<i>Octopus membranaceus</i>)	0.577	53.1±9.5	<0.574	<0.523	<0.340
7			Pacific saury (<i>Cololabis saira</i>)	0.807	92.6±10.9	<0.557	<0.432	<0.309
8			Alaska pollack (<i>Theragra chalcogramma</i>)	0.620	122±15	<0.620	<0.479	<0.336
9	13.10.14	Daejeon	Pacific cod (<i>Gadus macrocephalus</i>)	0.881	154±13	<0.500	<0.413	<0.157
10			Hanchi (<i>Photololigo chinesis</i>)	0.866	144±13	<0.521	<0.421	<0.401
11			Hard shelled mussel (<i>Mytilus coruscus</i>)	0.855	27.4±6.5	<0.286	<0.369	<0.428
12			Gizzard shad (<i>Konosirus punctatus</i>)	0.928	72.0±8.9	<0.140	<0.289	<0.196
13			Mackerel (<i>Scomber japonicus</i>)	0.924	63.8±8.2	<0.372	<0.373	<0.325
14	14.06.09	Daecheon	Tiger prawn (<i>Marsupenaeus japonicus</i>), Dried	0.379	348±29	<1.07	<0.862	<0.951
15			Anchovy (<i>Engraulis japonicus</i>), Dried	0.341	267±27	<0.605	<0.799	<0.901
16			Bastard halibut (<i>Paralichthys olivaceus</i>)	0.973	148±12	<0.377	<0.306	<0.243
17			Jacopever (<i>Sebastes schlegeli</i>)	0.961	104±10	<0.473	<0.278	<0.259
18			Little neck clam (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	0.973	92.4±9.2	<0.327	<0.193	<0.285
19			Turban shell (<i>Turbo cornutus</i>)	0.764	103±11	<0.358	<0.194	<0.390
20	14.07.15	Daejeon	Gizzard shad (<i>Konosirus punctatus</i>)	0.752	79.2±9.7	<0.394	<0.352	<0.236
21			Pacific saury (<i>Cololabis saira</i>)	0.895	68.8±8.3	<0.439	<0.328	<0.529
22			Hanchi (<i>Photololigo chinesis</i>)	0.789	109±13	<0.445	<0.223	<0.466
23			Spanish mackerel (<i>Scomberomorus niphonius</i>)	0.893	105±10	<0.361	<0.380	<0.350
24			Whip-arm octopus (<i>Octopus vulgare</i>)	0.837	66.2±8.5	<0.303	<0.286	<0.312
25			Mackerel (<i>Scomber japonicus</i>)	0.869	108±11	<0.427	<0.234	<0.324
26	14.08.06	Busan	Croaker (<i>Miichthys miiuy</i>)	0.913	131±12	<0.424	<0.250	<0.292
27			Common sea bass (<i>Lateolabrax japonicus</i>)	0.854	115±11	<0.302	<0.238	<0.350
28			Genuine porgy (<i>Pagrus major</i>)	0.991	99.9±9.5	<0.508	<0.289	<0.290
29			Yellow croaker (<i>Larimichthys polyactis</i>)	0.838	59.5±8.0	<0.506	<0.329	<0.397
30			Hair tail (<i>Trichiurus lepturus</i>)	0.708	88.3±10.6	<0.484	<0.389	<0.348
31	14.8.11	Seoul	Brown sole (<i>Pleuronectes herzensteini</i>)	0.800	106±111	<0.244	<0.349	<0.124
32			Pacific cod (<i>Gadus macrocephalus</i>)	0.930	104±10	<0.328	<0.241	<0.375
33			Harvest fish (<i>Pampus argenteus</i>)	0.733	90.2±10.5	<0.494	<0.416	<0.179
34			Sea tangle (<i>Laminaria japonica</i>), Dried	0.454	3050±110	<1.97	<1.75	<1.04
35			Sea mustard (<i>Undaria pinnatifida</i>), Dried	0.326	2090±90	<1.52	<1.89	<1.94
36			Alaska pollack (<i>Theragra chalcogramma</i>), Dried	0.209	385±41	<1.54	<1.19	<1.07
37	15.6.17	Daecheon	Common sea squirt (<i>Halocynthia roretzi</i>)	0.797	75.1±7.5	<0.389	<0.247	<0.281
38			Little neck clam (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	1.00	98.7±7.4	<0.191	<0.139	<0.145
39			Jacopever (<i>Sebastes schlegeli</i>)	0.852	129±9	<0.292	<0.101	<0.239
40			Common sea bass (<i>Lateolabrax japonicus</i>)	0.874	137±9	<0.287	<0.229	<0.179
41			Spottybelly greenling (<i>Hexagrammos agrammus</i>)	0.896	154±10	<0.333	<0.220	<0.271
42			Turban shell (<i>Turbo cornutus</i>)	0.960	120±9	<0.360	<0.169	<0.248
43	15.6.24	Daejeon	Whip-arm octopus (<i>Octopus vulgare</i>)	0.909	85.1±7.3	<0.171	<0.168	<0.175
44			Sea cucumber (<i>Stichopus japonicus</i>)	0.972	21.9±3.9	<0.191	<0.0900	<0.178
45			Yellow croaker (<i>Larimichthys polyactis</i>)	0.961	87.1±7.3	<0.317	<0.189	<0.219
46			Mackerel (<i>Scomber japonicus</i>)	0.969	119±9	<0.339	<0.210	<0.230
47			Hanchi (<i>Photololigo chinesis</i>)	0.980	111±8	<0.295	<0.220	<0.190
48			Spanish mackerel (<i>Scomberomorus niphonius</i>)	0.934	139±9	<0.361	<0.233	<0.232

<less than MDA (Minimum Detectable Activity) level

있으며, ^{40}K 방사능 농도에 따른 추가적인 피폭 역시 없다고 판단할 수 있다.

수산물 시료의 최소검출가능농도

인공방사성핵종 ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 은 모든 수산물 시료에 대해서 최소검출가능농도 이하였으며, 대부분의 시료 분석 결과에서 본 연구에서 설정한 최소검출가능농도 1 Bq/kg를 만족시키는 결과를 얻었다(Table 1). 일부 건조된 수산물 시료의 최소검출가능농도는 1 Bq/kg을 넘었으나, 이는 작은 시료량과 ^{40}K 에 의한 백그라운드 증가 때문이다. 건조된 수산물의 경우 1 L의 시료용기에 들어갈 수 있는 시료량이 건조되지 않은 수산물에 비해 두 배 이상 작아 최소검출가능농도가 커진다. 또한, ^{40}K (1460.8 keV) 보다 낮은 에너지에 주 피크가 존재하는 ^{137}Cs (661.7), ^{134}Cs (604.7 keV), ^{131}I (364.5 keV)은 ^{40}K 의 컴프턴 연속에 의해 높아진 백그라운드의 영향으로 최소검출가능농도가 커진다. 본 연구에서 임의 설정한 1 Bq/kg의 최소검출가능농도는 수산물 시료 중 ^{40}K 의 농도가 100 Bq/kg, 측정시간 10000 초 일 때 기대되는 값이므로 건조된 수산물 시료에 대해서 1 Bq/kg의 최소검출가능농도를 만족시키기 위해서는 측정시간을 늘려야 할 것으로 판단된다. 하지만 일반적인 수산물 생 시료의 경우에는 본 연구의 실험 조건으로 ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 에 대해서 1 Bq/kg 이하의 최소검출가능농도를 만족시키는 분석이 가능하였으며, 이보다 측정시간을 줄이는 것이 가능할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 국내에서 유통되는 수산물에 대한 방사능 농도 조사 결과를 바탕으로 평상시 수산물의 방사능 농도에 대한 기초 자료 생산을 목표로 수행되었으며, 그 과정에서 사고 상황에 맞는 신속한 분석 방법과 최소검출가능농도 설정에 대해 고찰하였다. 국민건강통계의 섭취빈도를 참고로 하여 수산물 시료의 종류를 결정하였고, 전처리 과정을 간소화하여 ^{40}K , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 의 방사능 농도를 분석하였다. 그 결과 ^{40}K 는 21.9-3050 Bq/kg의 방사능 농도 범위를 나타내었으며, 인공방사성 핵종인 ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 의 방사능 농도는 최소검출가능농도 이하였다. 따라서, 2013년부터 2015년까지 조사한 국내 유통 수산물에 대해서는 후쿠시마 사고의 영향이 없는 것으로 판단할 수 있으며, 선량적인 측면에

서 역시 분석한 핵종에 의한 추가적인 방사선 피폭 영향이 없다고 볼 수 있다. 최소검출가능농도의 경우 ^{137}Cs 0.140-1.97, ^{134}Cs 0.0900-1.89, ^{131}I 0.124-1.94 Bq/kg의 범위를 나타내었으며, 시료량 및 ^{40}K 의 농도에 최소검출가능농도 변동을 확인할 수 있었다. 측정시간, ^{40}K 의 농도, 검출기 종류 등의 인자에 따른 최소검출가능농도 설정에 관한 논의가 추후 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(농림수산식품부)의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Korea ministry of food and drug safety. Standard of radioactivity safety management. Available from: <http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=1253>. Accessed Sep. 18, 2015
2. Lim CM. Korea Health Statistics 2011: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES V-2). Ministry of Health & Welfare, Sejong, Korea (2012)
3. Samat SB, Green S, Beddoe AH. The ^{40}K activity of one gram of potassium. *Phys. Med. Biol.* 42: 407-413 (1997)
4. IAEA. Measurement of radionuclides in food and the environment. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (1989)
5. IAEA. Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (1989)
6. Currie LA. Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Anal. Chem.* 40: 586-593 (1968)
7. Kwon KS, Hong JH, Han SB, Lee EJ, Kang KJ, Chung HW, Park SG, Jang GH, An JS, Kim DS, Kim MC, Kim CM, Chung KH, Lee CW. Monitoring on radioactivity in foodstuffs. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 183-187 (2004)
8. Byun JI. Radioactivity concentration of ^{40}K for some of marine fish. p. 60. In: 2010 Conference of Korean Society of Environmental Biology. June 18-19, KAERI, Daejeon, Korea. Korean Society of Environmental Biology, Seoul, Korea (2010)
9. Jeong GY. Food composition table. 8th ed. National Academy of Agricultural Sciences, Jeonju, Korea (2011)
10. KINS. Marine Environmental Radioactivity Survey. Korea Institute of Nuclear Safety, Daejeon, Korea (2014)
11. KINS. Radiation Environment of Korea. Korea Institute of Nuclear Safety, Daejeon, Korea (2009)