

제주지역에서 소비되는 식품 중 ^{137}Cs 과 ^{40}K 방사능 농도

강태우* · 홍경애¹⁾ · 박원표²⁾ · 유장결²⁾

제주지방 방사능측정소, ¹⁾제주대학교 방사선응용과학연구소, ²⁾제주대학교 원예생명과학부
(2003년 12월 11일 접수, 2004년 3월 5일 수리)

^{137}Cs and ^{40}K Activities of Foodstuffs Consumed in Jeju

Tae-Woo Kang*, Kyung-Ae Hong¹⁾, Won-Pyo Park²⁾ and Zang-Kual U.²⁾ (Jeju Regional Radiation Monitoring Station, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea, ¹⁾Applied Radiological Science Research Institute, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea, ²⁾Faculty of Horticultural Life Science, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea)

ABSTRACT : This work was conducted to provide the reference data of radioactivity in the foodstuffs at a radiological emergency situation in Jeju Island. The sampled foodstuffs were agricultural (31), livestock (6), marine (12) and forest products (4), and processed foods (3) consumed by Jeju Islanders. ^{137}Cs and ^{40}K activities were determined by HPGe γ -ray spectrometry. The activity ranges of ^{137}Cs was <MDA (less than minimum detectable activity)~650 mBq/kg · fresh in the agricultural products, <MDA~131 mBq/kg · fresh in the livestock, <MDA~834 mBq/kg · fresh in the forest, <MDA~253 mBq/kg · fresh in the marine and 32.0~483 mBq/kg · fresh in the processed foods (tea). In case of ^{40}K , the activity was 16.6~542 Bq/kg · fresh in the agricultural products, 39.1~294 Bq/kg · fresh in the livestock, 85.5~116 Bq/kg · fresh in the forest, 50.1~657 Bq/kg · fresh in the marine, and 33.6~1,065 Bq/kg · fresh in the processed foods (tea). The highest activity of ^{137}Cs , 834 mBq/kg · fresh was observed in oak mushroom and ^{40}K , 1,065 Bq/kg · fresh in coffee. Annual effective doses of ^{137}Cs and ^{40}K by intake of foodstuffs per capita were the following order; agricultural products (66,543 nSv) > livestock products (19,311 nSv) > processed foods (6,648 nSv) > marine products (6,579 nSv) > forest products (860 nSv). Therefore, total annual effective dose was summed 99,941 nSv which is quite low level comparing to the annual effective dose by external exposure, 2,400,000 nSv. The data obtained in this study can be useful for monitoring whether the foodstuffs are contaminated or not at an emergency radiation accident, and showed that the foodstuffs consumed in Jeju are safe in terms of annual effective dose of ^{137}Cs and ^{40}K .

Key words: foodstuff, ^{137}Cs , ^{40}K , radiation activity, Jeju Island, annual effective dose.

서 론

우리가 생활하는 환경 중에 존재하는 방사성 핵종은 우주선과 지각방사선에 기인한 천연 방사성 핵종과 핵실험 및 원자력 발전소 사고 등에 의해서 환경에 존재하는 인공 방사성 핵종들로 구분될 수 있다. 천연 방사성 핵종과 인공 방사성 핵종 중 대표적인 것은 ^{40}K 과 ^{137}Cs 이 있는데 이중 ^{40}K 은 천연 칼륨 중 하나이고 인체에 필수원소이나¹⁾, ^{137}Cs 은 핵실험 및 원자력 발전소 사고 등에 의해서 주로 낙진(fallout) 형태로 환경에 존재하는 것으로 비교적 긴 반감기(30.2년)와 아주 강한 감마선(662 keV)을 방출하기 때문에 체내피폭을 평가하는

데 아주 중요한 방사능 핵종이다. 특히, 핵실험 및 원자력 발전소 사고 등에 의해 대기에 분포된 방사능 핵종들은 낙진 형태로 대기에 떠다니다가 기상환경의 변화에 의해서 대지나 해양으로 떨어져 토양에 흡착되거나 해수에 녹아 존재하게 된다²⁾.

환경 중에 존재하는 방사능 물질로 인하여 인체가 받는 내부피폭은 대기 중에 존재하는 방사성 물질이 인체의 호흡이나 피부 등을 통해 체내로 흡인되는 직접적인 노출과 방사성 물질로 오염된 토양에서 재배된 농작물과 목초를 섭취한 축산물 및 부산물 같은 식품 그리고 오염된 식수를 인간이 섭취함으로써 받는 간접적인 노출이 있다^{3,4)}. 따라서 내부피폭에 기인하는 방사성물질이 오염된 식품과 식수 등의 방사성 핵종분포와 이들의 섭취에 의한 내부 피폭선량의 평가는 매우 중요하다. 유엔 방사선 영향과학 위원회에 의하면 일반인이 자연방사선으로부터 1년간 받는 총 피폭선량은 2.4 mSv의

*연락처:

Tel: +82-64-754-3395 Fax: +82-64-756-3351
E-mail: cjpost@cheju.ac.kr

로, 우주선으로부터 약 0.38 mSv, 지각방사선을 구성하는 자연 방사성 핵종으로부터 외부피폭선량 약 0.41 mSv와 내부피폭선량 약 1.60 mSv, 그리고 특히 음식물 섭취로부터 기인하는 것은 약 0.29 mSv라고 보고하였다⁷⁾.

외국의 경우 식품 중 방사능 농도와 오염된 식품의 섭취로 인한 내부피폭의 영향에 관한 연구는 오래전부터 수행되어 이미 많은 자료가 확보되었고, 최근에는 자연 방사성 핵종에 의한 조사가 활발하게 진행되고 있는 반면 우리 나라의 경우는 일부 연구가 수행되고 있을 뿐 거의 이루어지지 않은 상태이다. 하지만, 최근 한국원자력안전기술원에서 원자력법에 근거하여 우리 나라 전국토의 환경 방사선/능 준위분포에 대한 체계적인 자료를 확보함으로써 국민의 건강과 환경을 보전하기 위하여, 소비식품 중 방사능 준위를 조사하고 있는 것은 아주 고무적인 일이다.

그러므로 본 연구는 제주지역에서 소비되는 각종 식품류 중 ¹³⁷Cs와 ⁴⁰K의 방사능 농도 분포와 우리 나라 국민의 식품 섭취에 따른 ¹³⁷Cs와 ⁴⁰K에 의한 내부피폭선량 값을 체계화시켜 만일의 원자력 사고로 인한 방사능 오염에 필요한 기초 자료를 확보하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시료

1997년부터 2003년까지 제주도내에서 소비되는 농·축·임·수산물과 가공식품(차류)을 대상으로 1997년도에는 쌀, 배추, 우유, 고등어, 1998년과 1999년은 밀가루, 쌀, 콩, 무, 배추, 계란, 우유, 닭고기, 돼지고기, 쇠고기, 가자미, 가리비, 소라, 마른 김, 마른 미역, 2000년과 2001년은 감, 굴, 배, 사과, 포도, 감자, 고구마, 고추, 마늘, 무청, 상추, 시금치, 양파, 콩나물, 파, 호박, 갈치, 고등어, 동태, 굴, 바지락, 오징어, 홍합을, 2002년과 2003년은 땅콩, 밤, 잣, 호두, 쌀, 들깨, 참깨, 배추, 느타리버섯, 양송이버섯, 팽이버섯, 표고버섯, 녹차, 인삼차, 커피 등을 산지 시장으로부터 직접 구입하거나 채취하여 공시 재료로 사용하였다. 식품군별로 살펴보면 농산물의 경우는 견과류 5, 곡류 2, 과실류 5, 두류 1, 전분류 2, 종실류 2, 채소류 11종류로 총 31종류, 축산물의 경우는 난(卵)류 1, 우유 2, 육류 3종류로 총 6종류, 수산물은 어류 4, 패류 6, 해조류 2종류로 총 12종류, 그리고 임산물과 가공식품은 각각 버섯류 4종류와 차류 3종류를 조합하여 총 56종류를 분석하였다. 시료 중 밀가루와 콩 그리고 육류에는 수입산이 포함되어 있다.

전처리

농산물 시료의 경우는 겉 표면에 이물질이 붙어 있기 때문에 물로 깨끗이 세척한 다음 물기를 제거하고 껍질이 있는 경우에는 껍질을 제거하여 가식부분에 대한 생중량을 측정하였다. 축산물은 물기가 많이 포함되어 있기 때문에 물기를 제거한 후에 생중량을 측정하였고, 수산물도 껍질과 물기를 제거하여 가식부분만을 분석시료로 하였다. 임산물의 경우는 불순

물을 제거하기 위하여 세척한 후 물기를 제거하였으며, 가공식품류는 구입한 시료의 생중량을 측정하여 사용하였다. 준비된 시료는 회화용 도가니에 넣어 ¹³⁷Cs의 손실을 피하기 위하여 450°C보다 낮은 온도에서 충분히 회화한 후⁸⁾ 계측용 시료용기(너비 50 mm, 높이 70 mm; Mizuho Chemical Co., Japan)에 충전하여 감마분광계에 넣어 시료 중의 방사능을 측정하였다.

식품 중 ¹³⁷Cs 및 ⁴⁰K 방사능 분석

에너지 및 효율교정에 사용된 표준시료는 감마선 에너지가 100 keV에서 2 MeV 사이의 감마선을 방출하는 ¹⁰⁹Cd, ⁵⁷Co, ¹³⁹Ce, ²⁰³Hg, ¹¹⁵Sn, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ⁸⁸Y 그리고 ⁶⁰Co 감마 핵종이 혼합되어 있는 감마 교정용 표준 용적선원(QCY44, Amersham Co.)을 사용하였다. 조제된 표준시료는 고순도게르마늄 검출기(GEM-30185, EG&G Ortec, USA)와 다중과도분석기(Model 92X, EG&G Ortec, USA)로 구성된 감마분광계에서 각각 80,000 초 동안 계측한 후 Aptec software(Aptec Co.)로 에너지 교정 및 효율을 계산하였다.

회화된 식품 중 ¹³⁷Cs와 ⁴⁰K 방사능 분석은 감마분광계로 150,000~300,000초 동안 계측하였으며, 계측된 스펙트럼은 분석용 Aptec software를 사용하여 661.6 keV와 1460.8 keV의 감마 방출선을 이용하여 ¹³⁷Cs와 ⁴⁰K를 분석하였다. 이때 최소 검출 한한치(MDA: Minimum Detectable Activity)는 4.10 mBq/kg·fresh와 0.0397 Bq/kg·fresh이었다.

연간 유효선량 평가

연간 유효선량 평가는 음식물 섭취로 야기될 수 있는 방사능 핵종으로부터 체내피폭을 산정하기 위해서 수행되며, 방사능 핵종의 종류와 피폭 받는 인체의 조직에 따라 감수성이 아주 다르다. 그러므로 본 연구에서는 인체 조직의 감수성을 배제하여 식품 중 ¹³⁷Cs과 ⁴⁰K의 방사능 농도와 2001년도 우리나라 국민의 연간 식품 섭취량 그리고 국제 방사선 방호위원회에서 제시된 환산계수에 의해 아래 수식으로 연간 유효선량을 계산하였다^{7,8)}.

$$H(\text{mSv/y}) = A(\text{mSv/Bq}) \times B(\text{kg/y}) \times C(\text{Bq/kg} \cdot \text{fresh})$$

A : 경구섭취에 따른 선량당량 환산계수

$$(^{137}\text{Cs}: 1.3 \times 10^{-5}, ^{40}\text{K}: 6.2 \times 10^{-6})$$

B : 연간 섭취량

C : 식품 중 ¹³⁷Cs과 ⁴⁰K의 농도

결과 및 고찰

식품류 중 ¹³⁷Cs과 ⁴⁰K 방사능 농도

Table 1은 농산물, 축산물, 임산물, 수산물 그리고 가공식품 중 ¹³⁷Cs와 ⁴⁰K의 방사능 농도를 나타내었다. 각 시료 중 ¹³⁷Cs 방사능 농도범위는 농산물 MDA이하~650 mBq/kg·fresh, 축산물 16.6~542 Bq/kg·fresh, 임산물 MDA이하~131 mBq/kg·fresh, 수산물 39.1~294 Bq/kg·fresh, 그리고 가공

식품은 MDA이하~834 mBq/kg·fresh이었다. ^{40}K 방사능 농도범위는 농산물 85.5~116 Bq/kg·fresh, 축산물 MDA이하~246 mBq/kg·fresh, 임산물 50.1~657 Bq/kg·fresh, 수산물 32.0~483 mBq/kg·fresh 그리고 가공식품 33.6~1,065 Bq/kg·fresh 범위였다.

농산물 중 ^{137}Cs 은 도토리 가루, 쌀, 잣(견과류), 밀가루(곡류), 감귤(과실류), 대두콩(콩과류), 고구마(전분류), 들깨(종실류), 무청, 배추, 콩나물(채소류)에서만 검출되었고, 그 외 대부분의 시료에서는 검출되지 않았으며 잣이 650 mBq/kg·fresh로 가장 높게 나타났다. 축산물, 임산물, 수산물 그리고 가공

Table 1. Concentrations of ^{137}Cs and ^{40}K in agricultural, livestock, forest, marine products, and processed foods

Foodstuffs	^{137}Cs (mBq/kg·fresh)	^{40}K (Bq/kg·fresh)
Nuts		
acorn powder	102	16.6
peanut	^{a)}	212
chestnut	26.0	131
pine nuts	650	146
walnut	-	154
Grain products		
wheat flour ^{b)}	10.6	46.3
rice	-	26.2
Fruits		
persimmon	-	50.0
mandarin	14.4	39.3
pear	-	36.5
apple	-	38.6
grape	-	40.8
Pulses		
soybean ^{b)}	260	542
Starch roots		
potato	-	133
sweet potato	7.50	109
Seeds		
green perilla	47.7	185
sesame	-	163
Vegetables		
red pepper	-	78.7
garlic	-	152
radish	-	83.9
radish leaves	85.8	114
chinese cabbage	42.3	63.2
lettuce	-	79.8
spinach	-	220
onion	-	38.2
bean sprouts	34.1	56.8
welsh onion	-	69.2
young pumpkin	-	55.7
range	<MDA~650	16.6~542

^{a)}less than minimum detectable activity(<MDA), ^{b)}Including of imported sample.

Table 1. To be continued

Foodstuffs	^{137}Cs (mBq/kg·fresh)	^{40}K (Bq/kg·fresh)
Egg products		
egg	^{a)}	39.1
Milk products		
processed milk	65.1	51.7
whole dried milk	131	294
Meat products		
chicken ^{b)}	14.4	57.3
pork ^{b)}	55.0	79.2
beef ^{b)}	63.1	74.7
range	<MDA~131	39.1~294
Mushrooms		
oyster	-	85.5
western	5.55	116
winter	44.9	101
oak	834	96.0
range	<MDA~834	85.5~116
Fishes		
flatfish	131	94.9
hair tail	253	104
mackerel	86.1	95.6
frozen pollack	246	105
Shellfishes		
scallop	-	57.4
oyster	14.1	51.4
shortneck clam	28.4	50.1
topshell	-	59.0
squid	9.55	62.5
sea mussel	22.8	55.6
Seaweeds		
dried laver	-	657
sea mustard	-	134
range	<MDA~253	50.1~657
Tea		
green tea	72.4	562
ginseng tea	32.0	33.6
coffee	483	1,065
range	32.0~483	33.6~1,065

^{a)}less than minimum detectable activity(<MDA), ^{b)}Including of imported sample.

식품은 계란, 느타리버섯, 가리비, 소라, 마른김과 마른미역을 제외한 모든 시료에서 검출되었으며, 표고버섯이 834 mBq/kg·fresh로 가장 높게 나타났다. 국내산과 수입산의 밀가루, 대두콩과 육류의 경우는 밀가루는 수입산에서만 검출이 된 반면에 대두콩은 국내산에서만 검출되었고, 육류의 경우는 국내산이 수입산 보다 더 높았다. 또한 콩나물에서도 ^{137}Cs 이 검출된 것은 원료를 대두콩을 사용하였기 때문이라 생각된다.

^{40}K 은 모든 식품류에서 검출되었는데 농산물에서는 대두콩이 542 Bq/kg·fresh로 가장 높은 반면 도토리 가루가 16.6 Bq/kg·fresh로 낮았고, 축산물, 임산물, 수산물 그리고 가공

식품 중에는 커피가 1,065 Bq/kg·fresh로 높았고 인삼차가 33.6 Bq/kg·fresh로 낮았다.

이러한 결과들은 일본화학분석센터에서 85개 식품류 중 방사능농도를 조사한 결과와 비슷한 수준이었으며⁹⁾, 특히 ¹³⁷Cs인 경우는 우리 나라 식품 중 방사능 잠정허용 기준치인 370 Bq/kg을 초과하는 시료는 없었다¹⁰⁾.

Djingova and Kuleff¹¹⁾이 불가리아 원자력 발전소 주변 농산물시료(양파, 배추, 감자, 고추, 포도)와 Gomaa 등¹²⁾과 Badran 등¹³⁾이 이집트인들이 섭취하는 식품류의 밀, 시금치, 감자, 오렌지, 양파, 호박과 고구마 시료 중 ¹³⁷Cs의 방사능 농도는 본 연구 결과보다 10배에서 20배 정도 높았으나, ⁴⁰K은 불가리아에서 생산된 양파인 경우에만 10배 정도 낮았으며, 그 이외의 식품류들은 비슷한 결과를 보였다. Badran 등¹³⁾은 잎이 넓은 채소류가 칼륨을 더 많이 흡수하고 식물체 부위간에는 잎에서 더 많이 농축된다고 하였으나, 본 조사에서의 ⁴⁰K의 방사능 농도는 식품 종류별로 특별한 경향을 보이지 않았다.

Haselwandter¹⁴⁾는 버섯류가 방사성 핵종의 축적이 잘 된다고 보고하였으나, Eckl 등¹⁵⁾은 버섯류 품종과 재배 매질에 따라 영향을 받는다고 하였다. Wang 등¹⁶⁾은 태국에서 16개종의 버섯류 중 ¹³⁷Cs와 ⁴⁰K 방사능 농도를 조사한 결과 각각 MDA이하~7.3과 MDA이하~1,230 Bq/kg·dry라고 보고하였고, Muramatsu 등¹⁷⁾도 일본에서 25종의 버섯류를 조사하였는데, 이는 본 연구의 임산물중 버섯류들의 결과보다 모두 높게 나왔다. 이러한 것은 Wang 등¹⁶⁾에 의해 야생버섯보다 인공재배된 버섯이 방사성세슘(¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs)이 더 낮다고 보고하였듯이 본 연구에서도 최근에 인공재배가 많이 이루어지고 있는 느타리, 양송이 그리고 팽이버섯 보다 참나무 등과 같은 나무를 이용하여 재배하는 표고버섯에서 ¹³⁷Cs이 높게 검출된 것으로 생각되어진다.

Kim 등¹⁸⁾은 한국산 수산물의 방사능 오염에 관한 연구 결과에서 ¹³⁷Cs와 ⁴⁰K 방사능 농도는 어류인 경우 각각 MDA이하~0.63과 0.70~145 Bq/kg·fresh 이었고, 패류는 MDA이하~0.22와 5.44~114 Bq/kg·fresh, 해조류는 MDA이하~0.10과 16.7~459 Bq/kg·fresh로 보고하였는데 본 연구 결과와 이들의 농도는 비슷한 범위를 나타냈으며, Yu 등¹⁹⁾에 의해 홍콩에서 섭취되는 여섯 종류의 어류 중 ¹³⁷Cs 방사능 농도 범위인 0.01~0.19 Bq/kg·fresh와 ⁴⁰K 범위 41.2~111 Bq/kg·fresh와도 비슷한 결과를 보였다.

본 연구에서 일부 식품류 중 ¹³⁷Cs이 검출되었는데 이는 1950년에서 1980년 초 사이에 대기권 핵실험들과 1986년 Chernobyl 원전사고로부터 유래된 핵종으로써, 일본의 경우 1990년 토양 중에 0.6~98 Bq/kg 정도의 농도를 나타내었고²⁰⁾, Kim 등²¹⁾은 한국 토양 중에도 4.5~145 Bq/kg 정도 함유하고 있다고 하였다. 또한, 한국원자력안전기술원에서 우리나라 주변해역 21개 지점에서 표층해수 중 ¹³⁷Cs를 조사한 결과 1.40~4.62 mBq/kg 정도의 농도 범위를 나타내어²²⁾ 토양과 해수 중에 존재하는 ¹³⁷Cs이 식물체를 통해 흡수되거나, 어패류 및 해조류에 의해 축적되었기 때문에 일부 식품류에서

¹³⁷Cs이 검출된 것으로 생각되어진다. 반면, ⁴⁰K은 천연칼륨 중 하나로써 모든 생물체의 필수원소이기 때문에 모든 시료에서 검출되었다.

대부분 동물성 식품이 견과류, 콩류, 차류를 제외한 농산물 식품과 버섯류의 임산물에 비해 ¹³⁷Cs의 검출 빈도가 높은 것은 생태계 먹이연쇄에서 ¹³⁷Cs이 생물학적 농축이 이루어졌기 때문이고, 또한 견과류, 콩류와 차류의 경우도 토양 중 ¹³⁷Cs이 뿌리를 통해 흡수되어 식물체 부위 중 일부에 농축되어 있다가 식용부위로 이동된 생물학적 농축에서 비롯된 것이라고 생각되어진다. 그러므로 식품류 중 ¹³⁷Cs의 방사능 농도를 정확히 평가하기 위해서는 ¹³⁷Cs의 기원인 토양과 해수 중 방사능 농도 분포에 대한 조사가 이루어져야 하고 또한 식품의 원산지가 정확히 파악되어야만 체내피폭 평가가 효율적으로 이루어 질 수 있을 것이다.

연간 유효선량 평가

Table 2는 농산물, 축산물, 임산물, 수산물 그리고 가공식품의 연간 섭취량과 ¹³⁷Cs와 ⁴⁰K에 의한 연간 유효선량과 총 유효선량(¹³⁷Cs+⁴⁰K)을 나타내었으며, 연간섭취량은 쌀이 78.8 kg으로 가장 많았고, ¹³⁷Cs에 의한 연간 유효선량은 가공우유가 21.8 nSv로, 그리고 ⁴⁰K에 의한 경우는 쌀이 12,801 nSv로 가장 높았으며 그리고 총 연간 유효선량 값은 쌀이 12,801 nSv로 가장 높았다.

¹³⁷Cs에 의한 연간 유효선량 값이 가공우유가 가장 높은 것은 ¹³⁷Cs가 일부 식품류에서만 검출되었기 때문이지만, 총 유효선량 값이 쌀이 가장 높은 것은 ⁴⁰K에 의한 연간 유효선량 값이 가장 높았기 때문이다. 그러므로 총 연간 유효선량 값은 식품의 연간 섭취량과 ⁴⁰K 방사능 농도가 지배적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 1은 식품군별로 총 연간 유효선량 분포를 나타낸 것으로, 농산물이 66,543 nSv로 가장 높았고 그 다음이 축산물 19,311, 가공식품(차류) 6,648, 수산물 6,579 그리고 임산물이 860 nSv 순으로 낮았으며 그리고 모든 식품류로 인한 총 연간

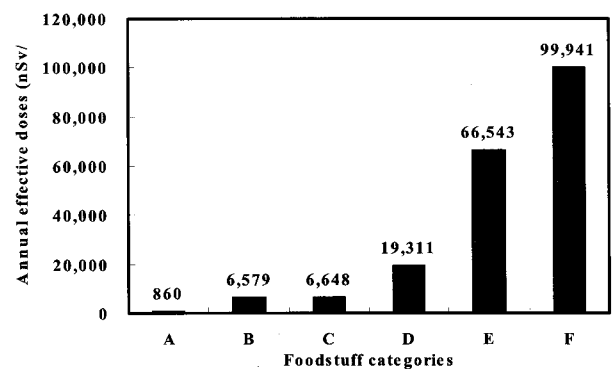


Fig. 1. Distribution of total annual effective dose according to foodstuff categories. (A, forest products; B, marine products; C, processed foods; D, livestock products; E, agricultural products; F, all foodstuffs).

유효선량 값은 99,941 nSv 이었다.

이러한 결과들은 유엔방사선영향과학위원회에 의해 보고 된 것과 비교하면 일반인이 자연방사선으로부터 1년간 받는 총 피폭선량 2,400,000 nSv에 비해 약 4.2%에 불과하고, 특히 음식물 섭취로부터 기인하는 피폭선량 290,000 nSv 보다 3배 적은 값을 보였다⁵⁾. 하지만, Wang 등¹⁶⁾이 대만에서 채집된 16개종의 버섯류 중 ¹³⁷Cs에 의해 받는 총 피폭선량 0.4 nSv, Djingova and Kuleff¹¹⁾이 불가리아 원자력 발전소 주변

Table 2. Annual consumption per person of agricultural, live-stock, forest, marine products, and processed foods and their annual effective dose from ¹³⁷Cs and ⁴⁰K

Foodstuffs	A ^{a)} (kg)	B ^{b)} (nSv)	C ^{c)} (nSv)	D ^{d)} (nSv)
Nuts				
acom powder	0.01	0.01	0.47	0.47
peanut	0.15	- ^{e)}	192	192
chestnut	0.48	0.16	385	386
pine nuts	0.04	0.31	33.0	33.3
walnut	0.04	-	34.9	34.9
Grain products				
wheat flour	1.86	0.51	534	534
rice	78.8	-	12,801	12,801
Fruits				
persimmon	18.4	-	5,697	5,697
mandarin	30.4	5.68	7,390	7,396
pear	8.91	-	2,013	2,013
apple	11.6	-	2,774	2,774
grape	0.80	-	203	203
Pulses				
soybean	0.99	3.33	3,312	3,315
Starch roots				
potato	5.18	-	4,274	4,274
sweet potato	3.76	0.37	2,529	2,529
Seeds				
green perilla	0.11	0.07	126	126
sesame	0.15	-	148	148
Vegetables				
red pepper	1.61	-	784	784
garlic	2.19	-	2,057	2,057
radish	11.1	-	5,770	5,770
radish leaves	2.23	2.48	1,577	1,580
chinese cabbage	4.31	2.37	1,689	1,691
lettuce	1.24	-	614	614
spinach	3.83	-	5,216	5,216
onion	6.21	-	1,470	1,470
bean sprouts	5.77	2.56	2,029	2,032
welsh onion	4.42	-	1,893	1,893
young pumpkin	2.85	-	982	982

^{a)}The results of annual consumption investigated by Ministry of Health and Welfare in 2001, ^{b)}Annual effective dose from ¹³⁷Cs, ^{c)}Annual effective dose from ⁴⁰K, ^{d)}Total annual effective dose(B plus C), ^{e)}less than minimum detectable activity(<MDA).

Table 2. To be continued

Foodstuffs	A ^{a)} (kg)	B ^{b)} (nSv)	C ^{c)} (nSv)	D ^{d)} (nSv)
Egg products				
egg	7.59	- ^{e)}	1,842	1,842
Milk products				
processed milk	25.8	21.8	8,252	8,274
whole dried milk	0.04	0.06	66.4	66.5
Meat products				
chicken	4.82	0.90	1,711	1,712
pork	8.07	5.76	3,959	3,964
beef	7.45	6.08	3,448	3,454
Mushrooms				
oyster	0.66	-	348	348
western	0.18	0.01	131	131
winter	0.29	0.17	182	182
oak	0.33	3.56	195	199
Fishes				
flatfish	0.26	0.43	150	151
hair tail	0.91	3.00	586	589
mackerel	2.04	2.29	1,212	1,214
frozen pollack	1.93	6.17	1,253	1,260
Shellfishes				
scallop	0.04	-	13.0	13.0
oyster	0.40	0.07	128	128
shortneck clam	0.73	0.27	227	227
topshell	0.04	-	13.4	13.4
squid	2.23	0.28	863	863
sea mussel	0.11	0.03	37.7	37.8
Seaweeds				
dried laver	0.48	-	1,933	1,933
sea mustard	0.18	-	151	151
Tea				
green tea	0.04	0.03	127	127
ginseng tea	0.04	0.02	7.60	7.62
coffee	0.99	6.18	6,507	6,513

^{a)}The results of annual consumption investigated by Ministry of Health and Welfare in 2001, ^{b)}Annual effective dose from ¹³⁷Cs, ^{c)}Annual effective dose from ⁴⁰K, ^{d)}Total annual effective dose(B plus C), ^{e)}less than minimum detectable activity(<MDA).

농산물 시료로부터 44,700 nSv, 그리고 Badran 등¹³⁾이 이 집트인들이 10개 식품류를 섭취하여 ¹³⁷Cs와 ⁴⁰K에 의해 받는 총 피폭선량 1,540 nSv 보다 높게 조사되었다. 이러한 것은 다른 연구자들의 연구에 사용된 식품 종류 수보다 많았고 특히, 본 연구에 사용된 식품들은 2001년 국민 건강·영양 조사 결과⁷⁾에서 섭취비율이 약 60%를 차지하는 다소비 식품이 대부분 포함되어 있었기 때문이며, 식품의 1인당 연간 섭취량이 연간 총 식품 섭취량의 60%임을 감안해도 자연환경 중에서 이루어지는 외부피폭에 의한 연간 유효선량 2,400,000 nSv에 비하면 무시할 정도로 정상 시 식품섭취에 의한 방사선 내부피폭은 매우 미미한 것으로 판단되었다.

그러므로 본 연구에서 조사된 식품의 섭취로부터 받을 체내 피폭 영향은 일반인이 자연 방사선으로부터 받는 선량에 비하면 무시할 수 있는 수준이었으나 우리 나라 국민이 섭취하는 모든 식품류에 대한 ^{137}Cs 와 ^{40}K 의 방사능 농도에 대한 조사결과가 없기 때문에 총 내부피복선량을 평가하기에는 충분하지가 않아 앞으로 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 제주지역에서 소비되는 식품류 중의 ^{137}Cs 과 ^{40}K 방사능 농도를 조사하여, 식품 섭취에 따른 ^{137}Cs 와 ^{40}K 에 의한 내부피폭 선량의 값을 평가함으로써 만일의 원자력 사고로 인한 방사능 오염에 대처할 수 있는 기초 자료를 확보하고자 수행하였다. 시료로 채취한 식품류는 농산물 31, 축산물 6, 수산물 12, 임산물 4 그리고 가공식품(차류)이 3종류였고, 방사능 분석은 고순도 게르마늄검출기가 장착된 감마선분광계로 수행하였다.

시료 중 ^{137}Cs 방사능 농도범위는 농산물이 MDA이하~650 mBq/kg·fresh, 축산물 MDA이하~131 mBq/kg·fresh, 임산물 MDA이하~834 mBq/kg·fresh, 수산물 MDA이하~253 mBq/kg·fresh, 그리고 가공식품은 32.0~483 mBq/kg·fresh 이었다. ^{40}K 의 경우는 농산물 16.6~542 Bq/kg·fresh, 축산물 39.1~294 Bq/kg·fresh, 임산물 85.5~116 Bq/kg·fresh, 수산물 50.1~657 Bq/kg·fresh 그리고 가공식품 33.6~1,065 Bq/kg·fresh 범위였다. 시료 중 ^{137}Cs 방사능 농도가 가장 높은 것은 표고버섯으로 834 mBq/kg·fresh 이었으며, ^{40}K 은 커피가 1,065 Bq/kg·fresh로 가장 높았다.

각 식품류 중 ^{137}Cs 와 ^{40}K 에 의한 연간 유효선량은 농산물이 66,543 nSv로 가장 높았고, 축산물 19,311, 가공식품(차류) 6,648, 수산물 6,579 그리고 임산물 860 nSv 순으로 낮았으며, 이것을 모두 합한 총 연간 유효선량 값은 99,941 nSv 이었다. 본 연구에 포함된 식품의 1인당 연간 섭취량이 연간 총 식품 섭취량의 60%임을 감안해도 자연환경 중에서 이루어지는 외부피폭에 의한 연간 유효선량인 2,400,000 nSv에 비하면 무시할 정도여서 평상시 식품섭취에 의한 방사선 내부피폭은 매우 미량이었다.

이상의 자료는 유사시 방사선에 의한 식품류 오염정도를 식별하는데 필수불가결할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 1997년도에서 2003년도 한국원자력안전기술원 운영과제 "제주지방 환경방사선/능 감시조사"의 연구결과 중 일부임.

참고문헌

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations (1982) Ionizing radiations: Sources and biological Effects, United Nations, New York.
2. International Commission on Radiological Protection (1978) Radionuclide release into the environment: Assessment of doses to man, ICRP Publication 29, Pergamon Press, Oxford, p.2-10.
3. International Atomic Energy Agency (1982) Genetic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine release, Safety Series No. 57, IAEA, Vienna, p.61-65.
4. International Atomic Energy Agency (1994) Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments, Technical Report Series No. 364, IAEA, Vienna, p.14-26.
5. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000) UNSCEAR 2000 report to the general assembly, with scientific annexes, Vol. I, Annex B: Exposures from natural radiation sources, United Nations, New York.
6. Carpenter, R. C., Sanders, T. W., Vernon, L. M., Toole, J., Morrison, R. T. and Alderson, S. P. (1995) The determination of low levels of radiocaesium and fadioruthenium in foodstuffs, *The Science of the Total Environment* 173/174, 169-178.
7. 보건복지부 (2002) 2001년도 국민건강·영양조사, p.105.
8. International Commission on Radiological Protection (1994) Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers, ICRP publication 68, Pergamon Press, Oxford.
9. Japan Analysis Chemistry Agency (1997) Foodstuff radioactivity survey.
10. 식품의약품안전청 (2003) 식품공전.
11. Djingova, R. and Kuleff, I. (2002) Concentration of caesium-137, cobalt-60 and potassium-40 in some wild and edible plants around the nuclear power plant in Bulgaria, *Journal of Environmental Radioactivity* 59, 61-73.
12. Gomaa, M. A., Abdel-Fattah, A. T., Essa, M. W. and El-Shinawy, R. M. K. (1995) Radioactivity in foodstuffs in Egypt. *Appl. Radiat. Isot.* 46(6-7), 607-608.
13. Badran, H. M., Sharshar, T. and Elnimer, T. (2003) Levels of ^{137}Cs and ^{40}K in edible parts of some vegetables consumed in Egypt, *Journal of Environmental Radioactivity* 67, 181-190.
14. Haselwandter, K. (1978) Accumulation of the radioactive nuclide ^{137}Cs in fruitbodies of basidiomycetes, *Health Physics* 34, 713-715.
15. Eckl, P., Hofmann, W. and Turk, R. (1986) Uptake of natural and man-made radionuclides by lichens and

- mushrooms, *Radiation and Environmental Biophysics* 25, 43-54.
16. Wang, J. J., Wang, C. J., Lai, S. Y. and Lin, Y. M. (1998) Radioactivity concentrations of ^{137}Cs and ^{40}K in basidiomycetes collected in Taiwan, *Appl. Radiat. Isot.* 49(1-2), 29-34.
 17. Muramatsu, Y., Yoshida, S. and Sumiya, M. (1991) Concentrations of radiocesium and potassium in basidiomycetes collected in Japan, *The Science of the Total Environment* 105, 29-39.
 18. Kim, W. J., Lim, C. N. and Jung, K. J. (1998) Radioactive contamination of the coastal marine product of Korea, *Bull. Yosu Nat'l. Univ.* 13(2), 917-927.
 19. Yu, K. N., Mao, S. Y., Young, E. C. M. and Stokes, M. J. (1997) A study of radioactivities in six types of fish consumed in Hong Kong, *Appl. Radiat. Isot.* 48(4), 515-519.
 20. National Institute of Radiological Science (1979-1997) Radioactivity survey data in Japan, Nos. 48-112, NIRS, Chiba.
 21. Kim, K. H., Yun, J. Y. and Yoo, S. H. (1995) Distribution of Cs-137 and K-40 in Korean soils, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 28(1), 33-40.
 22. Korean Institute Nuclear Safety (2002) Environmental radioactivity survey data in Korea, KINS/ER-28, 34.
-