

중성자방사화분석법에 의한 국내 식품원재료의 무기질 분포 연구

조승연* · 홍우정 · 이정연¹ · 강상훈² · 정용삼²

연세대학교 환경공학과, ¹(주)뉴아이즈,
²한국원자력연구소 방사화분석연구실

A Study on Mineral Distribution in Korean Foodstuffs by Neutron Activation Analysis

Seung-Yeon Cho*, Woo-Jung Hong, Jung-Yeon Lee¹,
Sang-Hoon Kang² and Young-Sam Chung²

Department of Environmental Engineering, Yonsei University
¹NuEYES Inc.

²NAA Lab., Korea Atomic Energy Research Institute

Concentrations of minerals (Ca, K, Mg, Na, Se, Zn, Fe, and Mn) in 50 different Korean foodstuffs were determined through neutron activation analysis. To check the accuracy of this method, the U.S. NIST standard reference materials were analyzed. Anchovy, sesame, perilla, and laver were found to contain relatively higher concentrations of Ca, Mg, Fe, and Zn than the other foodstuffs.

Key words: neutron activation analysis (naa), mineral, trace element, standard reference materials (SRM)

서 론

점차적으로 토양의 노후화와 환경오염으로 인한 먹이사슬의 파괴로 인해 최근 30년 동안 지구상의 토양 및 자연식품 내 미네랄 성분이 최대 20~30% 이상 감소하고 있음이 보고되고 있다. 그로 인한 인체 영양분의 부족과 건강에 대한 문제가 증가하면서 식품을 통한 미네랄의 섭취에 많은 관심이 고조되고 있다⁽¹⁾. 미네랄은 인체 내에서 약 3.5% 존재하지만 생명현상을 유지하기 위해 매우 중요한 역할을 하며 그 대부분은 음식물의 섭취로 축적된다. Ca, K, Mg, Na 등의 다량원소들은 음식물의 섭취를 통해 인체 내에 직접적으로 작용을 하여 건강한 조직을 유지하는데 필수적이며, Se, Zn, Fe, Mn 등의 미량원소들은 대부분의 식품 내에 소량으로 들어있지만 섭취시 흡수, 축적, 배설 등의 여러 작용기전을 통해 체내의 여러 조직에서 호르몬이나 효소의 일부가 되거나 이것들과 같이 결합하여 다양한 기능을 발휘한다. 특히, Se는 효소구성과 지방대사에, Zn은 90여개의 효소와 인슐린의 구성소로, Fe은 헤모글로빈, 미오글로빈, 산화효소의 구성소

로 작용하며 Mn은 효소와 골격 구성에 중요하게 관여한다. 따라서 이들 미량원소들이 부족할 경우 비정상적인 생화학적 변화를 통해 결핍증이 잠재해 있거나 심할 경우 직접적으로 인체 조직에 영향을 미치게 된다^(2,3). 따라서 다량원소 및 미량원소의 결핍을 사전에 예방하고 건강한 조직을 유지하기 위해서는 국내에서 주로 소비하는 식품 내에 포함된 주요원소들에 대해 신뢰성 있는 정보 획득이 필요하며, 주요 미네랄이 함유되어 있는 식품을 찾아내어 부족한 영양분을 음식물의 섭취를 통해 보충해 주는 것이 가장 이상적이다^(4,5).

근래에 들어 과학기술의 발전에 따라 ICP-MS, AAS, XRF, NAA 등 다양한 원소분석기술이 개발·발전되어가고 있으며, 이 중에서 중성자방사화분석법⁽⁶⁾은 원자핵 반응에 바탕을 둔 분석기술로서 현재 생체시료의 미량원소 분석, 의약품이나 반도체의 품질관리, 범죄수사 및 건강관리를 위한 모발분석, 지질조사 및 유물조사, 대기분진 모니터링 등 다양한 환경과 보건분야에 폭넓게 이용되고 있다. 특히 타분석법에 비해 전처리가 간단한 비파괴적인 기술이며 미세한 핵반응을 이용하기 때문에 음식물에 소량으로 존재하는 미량원소들까지도 정확하게 동시 다원소 분석할 수 있는 고도의 기술이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내의 주요 식품 및 원재료 50종을 선정·수집하여 균질화, 동결건조⁽⁷⁾, 분쇄, 체걸림 등의 전처리 과정과 중성자조사, 냉각, 방사능계측 및 함량계산 등의 분석과정^(8,9)을 통해 Ca, K, Mg, Na 등의 다량원소와 Se, Zn, Fe, Mn 등의 미량원소들을 정성·정량분석하여

*Corresponding author : Seung-Yeon Cho, Department of Environmental Engineering, Yonsei University, 234 Maejiri, Heungup-Myen, Wonju, Kangwondo 222-701, Korea
Tel: 82-33-760-2437
Fax: 82-33-766-2551
E-mail: sycho@dragon.yonsei.ac.kr

각 원소에 대한 식품 원재료의 농도분포 및 상관성을 알아냄으로서 한국인에게 부족한 영양소를 음식물을 통해 흡수·축적할 수 있는 기본자료로 활용할 수 있도록 하였다. 또한 실제 분석에 앞서 정밀도와 정확도에 대한 신뢰성을 입증하고 분석정도관리를 위한 예비실험으로 식품 및 생체시료와 관련된 표준시료인 2종의 표준비교물질(Standard Reference Material, SRM⁽¹⁰⁾)인 Total Diet(SRM1548)와 Oyster Tissue(SRM1566a)의 분석을 행하였다.

실험방법

시료수집 및 전처리

시료의 수집: 시료는 국내 주요 식품의 원재료로 이용되는 8종의 곡류, 11종의 채소류, 6종의 과일류, 9종의 어패류, 3종의 해조류, 그리고 6종의 가공식품류 등 총 50종을 선정하여 수집하였다. 중성자방사화분석을 위해서는 수백 mg 이내로 필요하지만 건조과정 및 균질화를 고려하여 각각 수십 g 이상 수집하여 전처리 과정을 실시하였다.

균질화: 식품 내에 들어있는 미량원소를 분석하기 위한 전처리 과정의 첫 단계로서, 50종의 각 식품을 mixer(JM-514C, Samsung)로 갈면서 유리막대를 이용하여 골고루 저어주면서 혼합한다. 이 때 여러 금속으로부터의 오염을 막기 위해 고순도의 티타늄 날이 장착된 mixer를 이용하며, 이 과정이 끝난 시료는 정확히 시료의 무게를 달아 폴리에틸렌 용기에 담아 저온에 보관하였다.

동결건조: 건조방법은 다른 방법들에 비해 원소의 손실을 최소화 할 수 있는 동결건조를 선택하였다. 특히 우리나라의 음식물에는 많은 수분을 포함하기 때문에, 그러한 시료들은 밀봉된 용기 내에 강한 압력이 가해져서 용기의 파손을 일으킬 수 있으므로 높은 중성자속밀도(neutron flux density)에서 오랜 시간동안 조사를 위해서는 조사전 동결건조 방법이 필수적이다. 본 실험에서는 우선 냉동기(DF8510, Ilshin)에서 -80°C로 3시간 동안 얼린 후 다시 동결건조기(DF5505, Ilshin)에서 -80°C로 48시간 동안 진공상태와 냉동상태를 유지하면서 동결건조의 과정을 거쳐서 고체 상태의 시료를 얻게 되는데 건조 전후의 무게를 재서 수분함량을 기록하였다.

분쇄: 냉동건조의 과정이 끝난 시료는 고체 상태로 뭉쳐져 있기 때문에 막자사발에 넣고 뭉쳐진 시료를 잘게 뺏는다. 이 때 사용되는 막자 사발은 분석 대상 시료와 흡수·흡착 작용을 할 가능성이 있는 재질의 것은 피해야 하므로 본 실험에서는 agate mortar(12-950C, Fisher, USA)를 이용하였다. 그리고 외부의 오염물질이 혼합되지 않도록 clean room에서 작업을 하며, 특히 바람의 영향을 받지 않는 곳에서 작업을 수행해야 한다. 또한 한 시료의 분쇄과정이 끝날 때마다 아세톤과 2차 증류수로 막자사발을 깨끗이 세척하였다.

체질: 중성자방사화분석법에서 이용되는 시료량은 수~수백 mg 이내의 소량이므로, 시료 내의 모든 성분을 가장 고르게 분포시키기 위해 분쇄된 시료를 100 mesh 짜리 체(sieve)를 이용하여 걸러줌으로서 시료매질의 위치에 따른 오차를 최소화하였다.

저장: 조사 전 최종단계로 시료와 용기간의 흡착과 흡수, 증발 등으로 인해 시료의 농도변화를 일으키지 않도록 단기간 저장시에는 고순도의 폴리에틸렌 용기(01-816A, Fisher, USA)를 사용하고, 장기간 저장시에는 테플론 용기에 담아서 공기가 통하지 않도록 한 후 시료조사 전까지 -10°C 이하의 저온에서 보관하였다.

시료 조사 및 분석 검증

중성자 조사(Neutron Irradiation): 한국원자력연구소 내에 위치한 24MW HANARO 연구용원자로를 이용하여 중성자 방사화분석을 하였다. 이 때 분석대상시료를 방사화시키기 위해 중성자 조사를 하는데, 중성자속밀도, 매질의 상태, 시료무게, 분석대상원소의 반감기 등을 고려하여 조사시간을 조절하였다. Rabbit이라 불리는 조사용 캡슐은 80°C 정도의 온도에서 수 시간 가열해도 이상이 없는 고순도 폴리에틸렌을 사용하였다. 이와 같은 상태에서 $2.41 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 의 중성자속밀도(neutron flux density)에서 중성자 조사를 시켰다.

방사능 측정 및 함량계산: 조사된 시료를 방사능 측정장비를 사용하여 방사능 및 γ -spectrum을 측정하였다. 고순도 게르마늄 반도체 검출기의 검출부는 외부 방사능의 계수율을 최소로 줄이고 차폐체 및 주변 물질과 γ -선과의 상호작용을 고려하여 내부벽을 0.1 cm의 카드뮴과 동판으로 내장하여 제작한 10 cm 두께의 납벽돌로 만든 상자(75×90×90 cm)안에 설치된 것을 사용하였다. 검출기는 동축형으로 25 %의 상대효율과 ⁶⁰Co의 1332 keV에서 1.9 keV의 분해능(full width of the peak at one-half of the maximum height, FWHM)을 가지며 피크 대 콤프톤비는 45 : 1이었다. 이것을 NAA용 전산 프로그램이 내장된 개인용 컴퓨터와 8 K 다중채널분석기(8 K-Multichannel Analyser)를 연결하여 방사능 측정 및 분석을 위한 감마측정시스템으로 구성하였다. 측정이 끝난 시료는 방사능 생성식을 Microsoft사의 WINDOWS용에 적합한 그래픽코드로 자체 제작한 계산 프로그램에 입력하여 쉽게 함량계산을 할 수 있도록 하였다.

표준 시료에 대한 분석 검증: 분석 절차의 정확도와 정밀도에 대한 검증을 하기 위한 예비실험으로 실제 분석 대상 시료와 비교적 유사한 함량 분포를 갖는 식품관련 표준물질인 NIST(National Institute of Standards and Technology)사의 표준비교물질(Standards Reference Material, SRM)의 분석을 행하였다. Total Diet(SRM 1548)와 Oyster Tissue(SRM 1566a)로 보증값(certified value)을 실험값과 비교하여 분석절차를 검증할 수 있으며 분석 결과는 오차 요인들을 보정하는데 이용할 수 있었다. 또한 아래의 Z-score 계산법에 의해 표준시료에 대한 측정값의 수용기준을 정할 수 있다.

$$Z = \frac{|X_{\text{cert}} - X_{\text{exp}}|}{\sqrt{\sigma_{\text{cert}}^2 + \sigma_{\text{exp}}^2}}$$

$Z \leq 2$: 측정값 채택
 $2 < Z \leq 3$: 수용 또는 재검토
 $3 < Z$: 측정값 기각

또한 표준시료 및 실제시료의 예비실험과 핵반응 계산식을 통해 시료량, 조사시간, 냉각시간, 측정시간 등의 최적의 분석조건 등을 정할 수 있다(Table 1).

결과 및 고찰

동결건조 전후의 수분제거율

수집된 50종의 식품 시료에 대해 밀가루, 라면, 김을 제외한 나머지 모든 시료들에 대해 냉동건조를 실시하였다. 냉동건조 후의 평균 수분제거율은 야채류가 90.1%로 가장 높았으며, 해조류(89.3%, “김”제외), 과일류(87.5%), 육류 및 유가공류(73.4%), 가공식품류(46.2%), 어패류(37%), 곡류(31.7%)의 순이었으며, 각 식품에 대한 수분제거율은 아래의 Table 2와 같다.

표준시료의 분석 결과

분말상태인 2종의 식품관련 표준비교물질을 건조기(dry oven)에서 60~70°C 정도로 수시간 동안 건조시킨 후에 $2.41 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 의 중성자속밀도 상태에서 시료별로 3-5회 이상 분석하여 Ca, K, Mg, Na의 4개 다량원소와 Fe, Mn, Se, Zn의 4개 필수원소 등 총 8개의 무기질 원소에 대해 표

Table 1. Analytical condition for neutron activation analysis

Sample Weight	Irradiation Time	Cooling Time	Counting Time	Target Elements
10 mg	2 min	5 min	300 sec	Ca, Mg Mn, Zn
		30 min	800 sec	
100 mg	2 h	4 day	1000 sec	K, Na Fe, Se, Zn
		15 day	4000 sec	

Table 2. Moisture removal by freeze drying in korean diet

Category	Food	Removal (%)	Category	Food	Removal (%)
Cereals	Cooked Rice	65.7	Meats	Beef	88.9
	Wheat Flour	¹⁾		Pork	88.6
	Kidney Bean	14.9		Chicken	59.4
	Barley	16.6		Ham	67.9
	Glutinous Rice	14.7		Milk	87.8
	Black Rice	18.4		Cheese	45.1
	Sesame Seed	49.3		Egg	76.1
	Perilla Seed	42.0		Anchovy	29.0
Vegetables	Spinach	94.8	Saury Pike	88.1	
	Lettuce	94.2	Hairtail	89.0	
	Sesame Leaf	87.6	Walleye Pollack	81.0	
	Welsh Onion	85.2	Mackerel	78.5	
	Tomato	94.1	Cuttlefish	78.8	
	Cucumber	93.9	Shrimp	6.99	
	Pumpkin	91.6	Oyster	36.8	
	Radish	94.2	Shellfish	8.84	
	Garlic	68.4	Laver	-	
	Unripe Red Pepper	92.3	Tangle	91.0	
Chinese Cabbage	94.6	Brown Seaweed	87.6		
Fruits	Watermelon	88.2	Ramyeon	-	
	Melon	87.0	Bread	25.5	
	Pear	88.8	Biscuit	15.4	
	Strawberry	87.8	Boiled Fish Paste	59.4	
	Orange	88.4	Bean Curd	84.3	
	Grape	85.0			

¹⁾dried sample

준비교물질의 보증값과 상호 비교하였다. Table 3과 Fig. 1과 같이 표준비교물질인 SRM-1548(Total Diet)와 SRM-1566b (Oyster Tissue)의 분석결과 보증값과 실험값과의 비교를 통한 상대오차와 실험간 상대표준편차는 대부분의 원소들에서 $\pm 10\%$ 이내를 나타냄으로서 정확도를 확인할 수 있었으며, 측정값의 수용기준인 Z-score 계산법에 의한 값도 대부분 2 이내에 들어옴으로서 식품시료에 대한 분석법의 검증 및 신뢰성을 확인하였다. 또한 핵반응 계산식과 표준시료의 분석 과정을 통해 얻은 최적의 분석조건(시료조사량, 조사시간, 냉각시간, 계측시간 등)을 실제시료 분석시에도 일정하게 유지하여 중성자방사화분석법을 통한 식품 및 각종 생체시료 분석시 쉽고 정확하게 이용할 수 있도록 하였다.

국내 주요식품 및 원재료의 분석결과

중성자방사화분석법에 의한 국내 주요식품 50종의 8가지 미네랄에 대한 분석결과를 Table 4에서와 같이 그룹별로 나타내었다. 이 중 김과 라면은 건조상태의 결과이며, 나머지 식품들은 수분제거율을 다시 원래상태로 환산한 초기식품의 농도분포 함량이다.

다량원소 중 한국인에게 부족한 칼슘은 뼈 생성 및 근육 수축과 신경전달물질로 작용하며 멸치와 치즈 외에 참깨와 김 등에 다량 함유되어 있었으며, 라면에서는 검출되지 않았다. 또한 칼륨과 나트륨은 주로 동물성 식품에 높은 농도로 분포하였으며 적절한 섭취가 요구되는 다량원소들이다. 세포 내 중요한 영양물질로 작용하는 마크네슘은 김, 참깨, 들깨,

Table 3. Evaluation for the analytical results with u.s. nist standard reference materials

(unit: µg/g)

(1) Total Diet (SRM 1548)

Element	Certified Value (S.D. ¹⁾ (%)	Analytical Results		Cert./Exp. ²⁾	Z-score
		Range	Mean (S.D. %)		
Ca	1740 (4)	1676~1765	1735 (0.08)	1.00	0.07
K	6060 (5)	5049~5958	5621 (1.28)	1.08	1.41
Mg	556 (5)	521~568	551 (5.98)	1.01	0.12
Na	6250 (4)	6352~6605	6460 (2.00)	0.97	0.75
Fe	32.6 (11)	30.4~36.39	34.2 (12.4)	0.95	0.29
Mn	5.2 (8)	5.00~5.39	5.25 (0.40)	0.99	0.12
Se	0.245 (2)	0.245~0.272	0.257 (4.90)	0.95	0.88
Zn	30.8 (4)	32.5~36.3	34.2 (7.89)	0.90	1.15

¹⁾The square root of the quantity(sum of squares of deviations of individual results from the mean, divided by one less than the number of results in the set).

²⁾Certified value over experimental value.

(2) Oyster Tissue (SRM 1566b)

(unit: µg/g)

Element	Certified Value (S.D. %)	This Work		Cert./Exp.	Z-score
		Range	Mean (S.D. %)		
Ca	838 (2.4)	796~996	900 (9.7)	0.93	0.70
K	6520 (1.4)	6528~7219	7087 (13.4)	0.92	0.59
Mg	1085 (2.1)	1105~1383	1239 (8.7)	0.88	1.40
Na	3297 (1.6)	2769~3956	3377 (13.5)	0.98	0.17
Fe	206 (3.4)	196~201	199 (1.0)	1.04	0.99
Mn	18.5 (1.1)	18.5~19.6	18.8 (2.7)	0.98	0.60
Se	2.06 (7.3)	2.06~2.32	2.23 (4.5)	0.92	0.96
Zn	1424 (3.2)	1395~1450	1434 (1.5)	0.99	0.19

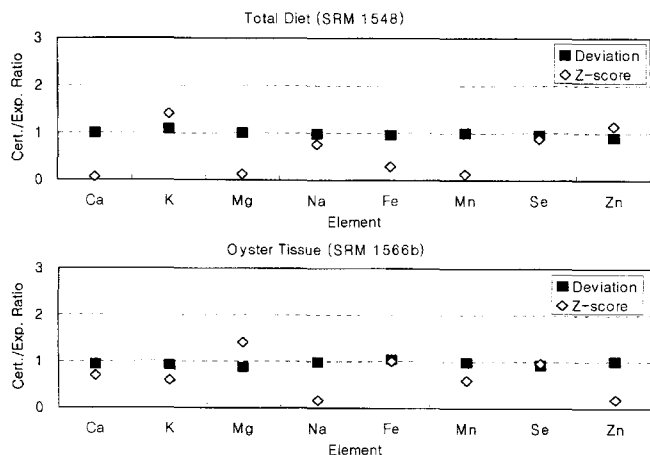


Fig. 1. Comparison of the analytical results of nist standard reference materials.

흑미 등에 1000 µg/g 이상 함유되어 있었다.

미량원소 중 최근에 각종 질병예방과 치료에 이용되고 있는 셀레늄은 주로 멸치, 굴, 바지락 등의 어패류에 높게 분포되어 있었으며, 식물성 식품 중에는 참쌀에 높은 농도를 나타내었다. 성적 기능 및 각종 효소와 면역 능력에 관여하는 것으로 알려진 아연은 멸치, 참깨, 들깨, 김, 굴의 순으로 나타났다. 뼈 생성 및 단백질 대사에 관여하는 망간은 상추, 들깨, 멸치, 김 등에 높게 분포하였다.

특히, 멸치는 칼슘, 셀레늄, 아연 등 대부분의 영양원소들이 골고루 다량 함유되어 있었으며, 기타 다른 어패류와 해조류에서도 고른 미네랄을 함유하고 있었다. 곡류 중에서는 참깨와 들깨가 다른 곡류에 비해 높은 칼슘, 마그네슘, 철분, 아연 등을 함유하고 있었다. 과일류는 다른 식품 그룹에 비해 낮은 미네랄 분포를 나타냈으며, 야채류는 그것보다 조금 높게 분포하였다. 가공식품류는 대부분 나트륨의 함량이 높은 반면 다른 미네랄 성분들은 낮게 분포했는데, 특히 라면과 라면스프에서는 칼슘 등이 전혀 검출되지 않았다.

본 연구결과와 더불어 현재 total diet에 의한 한국표준음식의 미량원소 분포 연구^(8,9)와 duplicate diet 방법에 의한 노인층의 일일섭취량 내 미량원소의 분포를 연구 중에 있으며, 한약재나 특정 집단의 미네랄 섭취연구 및 중금속 연구, 그리고 실내공기, 모발 및 인체장기 내 미량원소의 축적연구를 통해 흡입·섭취·축적의 상관성 연구에 중성자방사화분석법을 이용하고 있다.

요 약

핵분석기술의 하나인 중성자방사화분석법을 이용하여 국내 주요식품 및 원재료 50종에 대한 주요 무기질 성분 중 Ca, K, Mg, Na 등의 다량원소들과 Se, Zn, Fe, Mn 등의 필수원소들의 분포를 확인하고자 하였다. 원소손실을 최소화하기 위해 동결건조의 과정을 거쳤으며, 균일한 매질분포를 위해

Table 4. The result of mineral distribution in korean food by NAA

(wet basis, µg/g)

Category	Food	Ca	K	Mg	Na	Fe	Mn	Se	Zn
Cereals	Cooked Rice	41.5	77.9	25.9	47.0	3.60	1.70	0.013	5.04
	Wheat Flour	164	1203	272	9.94	9.44	5.92	0.077	5.11
	Kidney Bean	254	5948	530	13.5	23.6	16.3	* ¹⁾	14.9
	Barley	272	2655	463	30.8	18.2	17.7	*	16.6
	Glutinous Rice	69	1095	383	6.79	3.37	11.6	0.600	14.7
	Black Rice ¹⁴¹	3049	1066	14.5	9.68	29.8	*	18.4	
	Sesame Seed	7851	4536	3107	12.9	74.3	16.7	*	49.3
	Perilla Seed	3467	6278	2374	4.9	52.3	119	*	42.0
	Mean	1532	3105	1028	17.5	24.3	27.3		20.8
Vegetables	Spinach	26.9	305	45.7	8.16	9.05	2.73	*	21.7
	Lettuce	859	3302	175	229	4.71	177	*	20.0
	Sesame leaf	1103	1594	413	<2.0	16.12	3.68	*	11.5
	Welsh Onion	780	8446	263	37.1	2.53	2.40	*	2.90
	Tomato	84.1	1951	87.7	10.4	1.86	0.451	*	1.03
	Cucumber	164	2360	142	2.09	4.75	0.860	*	3.37
	Pumpkin	150	2145	120	<2.0	2.73	0.865	*	2.66
	Radish	255	1443	86.8	218	1.42	0.708	*	1.63
	Garlic	30	5419	235	19	11.5	2.84	*	9.01
	Unripe Red Pepper	221	237	429	3.47	5.12	1.16	*	1.63
Chinese Cabbage	376	2205	73	35.5	3.53	0.64	*	3.02	
	Mean	368	2673	188	63	5.76	17.6	<0.05	7.13
Fruits	Watermelon	40.9	1745	127	2.89	2.29	0.473	*	1.10
	Melon	47.1	4389	148	1.57	3.03	0.360	*	3.37
	Pear	1.25	1767	68.8	0.956	0.701	0.673	*	0.66
	Strawberry	161	1725	105	17.0	0.87	1.87	*	0.96
	Orange	58	622	39	10.8	0.51	0.35	*	0.48
	Grape	69	1679	44	2.745	0.87	1.01	*	0.27
	Mean	63	1988	89	5.98	1.38	0.79	<0.05	1.14
Meets	Beef	8.94	606	84.0	112	12.8	0.038	0.092	30.2
	Pork	*	861	124	147	5.30	0.062	0.113	17.6
	Chicken	74.7	2521	391	548	14.1	0.149	0.269	31.0
	Ham	*	5146	*	9374	16.0	*	0.159	25.4
	Milk	799	1433	123	406	*	0.020	0.024	3.59
	Cheese	4808	495	217	10870	1.67	*	*	29.3
	Egg	364	1364	140	1357	16.8	0.270	0.258	11.4
	Mean	1211	1775	180	3259	11.1	0.108	0.152	21.2
Fishes & Shellfishes	Anchovy	23953	7273	832	24266	266	36.1	0.880	65.9
	Saury Pike	212	437	112	234	11.6	0.104	0.212	4.55
	Hairtail	*	1097	134	176	1.73	0.071	0.195	2.76
	Walleye Pollack	291	1379	251	386	6.08	0.153	0.317	5.85
	Mackerel	94.2	1453	230	176	12.2	0.070	0.409	7.76
	Cuttlefish	91.4	2302	350	9631	19.2	0.201	0.437	15.8
	Shrimp	822	581	982	7037	16.4	1.14	0.312	6.99
	Oyster	152	2064	201	1304	81.0	6.84	0.761	36.8
	Shellfish	153	1722	288	1305	166	6.09	0.638	8.84
	Mean	3221	2034	376	4946	64	5.64	0.462	17.2

¹⁾N.D. or lower limit of detection

분쇄 후 체걸림을 통해 시료를 준비하였다. 분석법의 검증을 위해 미국 NIST사의 표준시료를 이용하였는데, 실제시료와 가장 유사한 시료를 선택하여 조사시간, 냉각시간, 계측시간

등의 분석조건을 일치시킴으로서 분석법에 대한 검증 및 정밀도와 정확도 측정에 이용하였다. 표준시료의 보증값에 대한 상대오차와 합성불확도는 대부분 10% 이내였으며, Z값도

Table 4. Continued

Category	Food	Ca	K	Mg	Na	Fe	Mn	Se	Zn
Seaweeds	Laver	3854	26059	4246	3075	117	30.4	*	37.6
	Tangle	285	7536	320	1967	14.5	0.419	0.047	0.46
	Brown Seaweed	978	*	823	13074	13.5	1.06	*	2.70
	Mean	1706	16798	1796	6039	48.3	10.6	0.047	13.6
Processed Food	Ramyeon	*	1672	95	3459	3.29	3.77	0.094	2.98
	Ramyeon Soup	*	*	*	112869	16.6	4.68	*	6.35
	Bread	245	1081	381	2840	17.6	3.20	0.207	11.2
	Biscuit	2378	767	76.9	6173	10.2	4.78	*	4.34
	Boiled Fish Paste	1010	2056	123	6038	8.93	3.02	0.190	4.14
	Bean Curd	695	1218	351	66.9	17.9	6.70	0.044	10.1
	Mean	1082	1359	205	21908	12	4.36	0.13	6.51

2 이내로 측정값의 수용한계로 인정할 수 있었다. 분석결과 근육 수축 및 뼈 생성 등에 작용하는 Ca은 일반적으로 알려진 멸치나 치즈 외에 참깨와 김 등에 높은 농도를 나타냈으며 라면 등에는 검출되지 않았다. K와 Na는 해조류 및 동물성 식품에 주로 분포하였으며, 세포 내 주요 영양물질로 작용하는 Mg은 곡류 및 김 등에 높은 농도를 나타냈다. 또한 성장촉진 및 효소의 구성성분으로 알려진 Se은 어패류에, Fe, Zn 등 기타 원소들은 멸치 등 특정 식품에 다량 함유되어 있음을 확인할 수 있었다.

문 헌

1. WHO: Trace Elements in Human Nutrition and Health, World Health Organization Geneva, Switzerland (1996)
2. Parr, R.M. Trace Elements in Human Nutrition and Health. Nutritional and Health- Related Environmental Studies Section. IAEA, (1996)
3. Seung, J.J. Nutrition of Trace Elements. Mineumsa, Seoul (1983)
4. IAEA Report. CRP on Ingestion and Organ Content of Trace Ele-

- ments of Importance in Radiological Protection. Project Formulation Meeting for Reference Asian Man Project. Hitachinaka, Japan (1995)
5. Cho, S.Y. A Study on Health, Environment and Medical Care by Neutron Activation Aanalysis of Biological Materials. A Consignment on Technical Development Using NAA, Korea Atomic Research Institute, Daejeon (2000)
6. Amiel, S. Nondestructive Activation Analysis, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands (1981)
7. Zaichick, V. and Zaichick, S.A. Search for losses of chemical elements during freeze drying of biological materials. J. Radioanal. Nucl. Chem. 218-2: 249-253 (1997)
8. Kang, S.H. A study on trace elemental distribution in Korean total diet using neutron activation analysis. M.S. thesis, Yonsei University, Seoul (1998)
9. Cho, S.Y., Lee, J.K., Kang, S.H., Chung, Y.S. and Lee, J.Y. Daily dietary intake of elements of nutritional and radiological importance by adult Koreans. J. Radioanal. Nucl. Chem. 249-1: 39-45 (2001)
10. Shu-De, T., Hanf, W. and Lieser, K.H. Monostandard INAA of Chinese biological standard reference materials using short-lived radionuclides. J. Radioanal. Nucl. Chem. 83-2: 283-290 (1984)

(2002년 2월 21일 접수)