

인체 환경 연구를 위한 한약재, 작업장 공기 및 모발의 원소분석

강상훈[†] · 이상순 · 조승연 · 정용삼*

연세대학교 환경공학과
*한국원자력연구소 방사화분석연구실

Elemental Analysis of herbal medicine, Foundry Air and Hair for the Study of Human Surroundings

Sang Hoon Kang[†] · Sang Soon Lee · Seung Yeon Cho · Young Sam Chung*

Department of Environmental Engineering, Yonsei University

*NAA Laboratory, Korea Atomic Energy Research Institute

(Received 28 February, 2002; Accepted 7 August, 2002)

ABSTRACT

Hair provides important information about the body's mineral status. Therefore, we have studied the trace elemental distribution in human hair under different inhalation and ingestion environment using neutron activation analysis (NAA). NAA is a powerful analytical method which can be used successfully to determine trace elements in environmental and biological materials. Total diet and six different herbal medicine were analysed to study ingestion environment. Airborne dust in foundry was analysed and compared with outdoor dust to study inhalation environment. Human hairs of common person, herbal medicine taker and foundry worker were analysed to estimate the trace elemental distribution of people under different inhalation and ingestion environment. Analytical results show that herbal medicines contain higher micronutrients such as Ca, Mg, Mn and Cu that total diet and airborne dust in foundry has high Cr. The concentration of Ca, Mg and Mn in hair of herbal medicine taker is two times higher than in hair of common person and Cr concentration in hair of foundry worker is about three times higher than in hair of common person. These results show that NAA can be used importantly to monitor human health through biological and environmental samples.

Keywords : Neutron Activation Analysis(NAA), Trace element, Hair analysis, Standard Reference Materials(SRM)

I. 서 론

모발은 인체 내 미량원소가 가장 고르게 분포되는 조직이며, 미국 환경보호청(environmental protection agency, EPA)에서는 인체에 축적되어 있는 미량원소 연구를 위해 모발분석을 적극적으로 권고하고 있다. 특히 혈액으로 흡수된 미량원소는 요, 땀 등으로 빠른 시간에 분비·배설되는 반면, 모발은 일정한 기간(0.35 mm/day 성장)의 인체 미량원소 축적 정도를 알 수 있으며, 수집이 가장 쉬운 조직이다.^{1,2)} 최근 선진국에서는 HMA(hair mineral analysis)³⁾를 이용한 개인의 건강상

태와 질병 유무, 특정 환경의 독성원소 축적 등 건강과 보건을 위한 폭넓은 의학적, 환경보건학적 측면의 연구가 활발하게 이루어지고 있으며,^{4,5)} 우리 나라에서도 그동안 법과학 분야의 범죄수사 등에서 축적된 기술을 바탕으로 현재 다양한 분야에 적용하고 있다.^{6,7)}

본 연구에 이용된 중성자방사화분석법(neutron activation analysis, NAA)은 바닥상태의 안정한 원자핵에 중성자를 조사시켜 불안정한 원자핵으로 만들어주고, 들뜬 상태의 불안정한 원자핵이 안정한 원자핵으로 돌아오는 과정에서 각 에너지별로 발생하는 동위원소의 지발감마선을 측정하여 분석하는 방법으로, 수십 mg 이하의 적은 시료로도 20~30종의 미량원소를 ppm 이하의 수준까지 고감도로 동시 다원소분석이 가능하고, 화학 처리 과정이 전혀 없는 비파괴적인 방법으로 전 처리 시간의 절약과 오차를 최소화할 수 있기 때문에 대량의 환경 및 생체시료 분석에 매우 적절한 분석방

[†]Corresponding author : Indoor Air and Radiation Laboratory, Department of Environmental Engineering, Yonsei University
Tel : 016-232-2887, Fax : 042-868-8448
E-mail : indoor@hanmail.net

법이다.

따라서 본 연구에서는 중성자방사화분석법을 이용하여 전체적인 미량원소의 생체 메카니즘 규명을 위한 1차 단계로, 흡입 및 섭취 환경에 따라 인체의 외부 추적기관인 모발에 미치는 영향 연구를 하였다. 일반인들에 비해 고농도의 금속에 노출 가능성이 높은 작업자들의 흡입환경 특성 연구를 위해서 주물작업장의 실내 분진을 전체 농도수준과 크기 분포 측정이 가능한 다단계의 cascade impactor로 채취하여 분석하였으며, 섭취환경 연구를 위해서 한국인의 1일 섭취 미량원소량 자료인 Korean total diet 분석자료^{8,9)}와 함께 특정 영양원소가 함유되어 있을 것으로 추정되는 황기, 백출, 시호, 택사, 후박, 향부자 등 총 6종의 주요 한약재를 국내산과 중국산 모두 수집하여 분석 후 비교하였다. 그리고 흡입과 섭취 환경에 따른 인체 추적연구를 위해서 6개월 이상 주요 한약재가 첨가된 한약을 복용한 10명과 주물작업자 10명의 모발을 채취하여 분석 후 비슷한 연령층인 40~60대 20여명의 자료와 비교함으로써 흡입 및 섭취 환경이 인체에 미치는 정도를 연구하였다.^{10,11)}

II. 실험방법

1. 한약재

6종의 대표 한약재인 황기, 백출, 시호, 택사, 후박, 향부자 등을 국내산과 중국산으로 나뉘 총 12종의 시료를 지정된 한약상을 통해 폴리에틸렌 백에 넣어 수집한 뒤, 건조기에서 50~60°C로 24시간 건조시킨 후, 청정실에 위치한 실험실에서 막자사발(12-950C, Fisher)과 고순도 티타늄 날이 달린 분쇄기(JM-513C, Samsung)로 분말화시켰다. 그리고 100mesh 체를 이용하여 균일한 입자의 시료로 준비하여 분석시 매질의 위치에 따른 오차를 최소화하도록 준비하였다. 그리고 중성자 조사 전까지는 수분이 발생하지 않도록 데시케이터에서 보관하였다.

2. 주물 작업장 공기

주물사업장의 공기중 분진농도를 입자크기별로 측정하기 위하여 8단계의 cascade impactor(Anderson sampler, Kanomax Co.)를 이용하였다. 시료 채집시간은 24시간, 채집시 유량은 28.3 l/min, 채집된 전체공기량은 40.8 m³이었다. 주물사업장의 공기중 미량원소를 정확히 분석하기 위하여 공시료 여과지에 함유되어 있는 미량원소를 5회 반복분석하여 보정하였다. 또한 여과지의 수분제거를 위해 건조기에서 24시간 건조 후, 채취된 시료를 고르게 수집하여 분석하기 위해 아래의

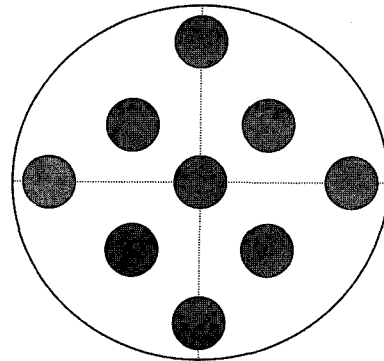


Fig. 1. Scheme of collected sample for analysis at a filter paper.

Fig. 1과 같이 여과지를 4등분하여 직경 1cm인 폴리에틸렌 편칭기를 이용하여 분석준비를 하였다.

3. 모발시료

최근 6개월 이상의 한약복용자 10명(평균연령 51세; 남성 4명, 여성 6명)과 주물작업자 10명(평균연령 45세; 남성 6명, 여성 4명)의 모발시료를 후두부에서 오염물질을 제거한 스테인레스 가위를 사용하여 모근으로부터 3~4cm에 해당하는 부분을 약 20mg 채취하여 최근 측정된 상태를 알아볼 수 있도록 하였다. 채집된 모발시료에서 표면의 땀이나 오염물질을 제거하기 위해서 국제원자력기구(international atomic energy agency, IAEA)의 추천방법에 따라 아세톤-증류수-증류수-증류수-아세톤의 순서로 각 10분씩 2회 반복 세척한 후, 외부오염방지를 위해 청정실에서 실온으로 자연건조시켰다.¹¹⁾ 건조가 끝난 시료는 폴리에틸렌 용기에 담아 중성자 조사 용기인 'rabbit'에 넣어 밀봉한 후 조사 준비를 하였다. 대상 모발시료에 사용된 주물사업장 근로자는 평균 근무년수가 9.6년(범위 4~25년)으로 조형 5명, 용해 후처리 3명, 중자 1명, 운반 1명 등 총 10명이었다.

4. 시료조사 및 방사능 계측

시료의 중성자조사를 위해 한국원자력연구소 내에 위치한 24MW HANARO 연구용 원자로의 공압이송장치(pneumatic transfer system; PTS, 열중성자속밀도 : $2.41 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$)를 이용하였다. 이 때 분석대상시료를 방사화시키기 위해 중성자 조사를 하는데, 중성자속밀도, 시료 매질의 상태, 시료무게, 분석대상원소의 반감기 등을 고려하여 조사시간을 조절하였으며, 모든 시료는 동일한 기하학적 조건에서 조사하여 중성자 속의 변화에 영향을 받지 않도록 하여 분석오차를 최소

화하였다. Rabbit이라고 불리는 조사용 캡슐은 80°C 정도의 온도에서 수 시간 가열해도 이상이 없는 고순도 폴리에틸렌을 사용하였다.

중성자 조사된 시료는 방사능 계측장비를 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 ^{60}Co 의 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 8K 다중채널분석기(8K-Multichannel Analyser, MCA)를 연결하여 방사능 계측 및 분석을 위한 감마계측시스템으로 구성하였다. 계측이 끝난 시료는 방사능 생성식을 Microsoft사의 WINDOWS용에 적합한 그래픽코드로 자체 제작한 Labview program에 입력하여 쉽게 함량계산을 할 수 있도록 하였다.

이와 같이 방사능 계산식과 분석시의 여러 인자들을 고려하여 시료량에 따른 조사시간과 냉각시간, 계측시간 등 최적의 분석조건을 Table 1과 같이 설정하였다.

5. 표준물질의 분석

실제시료와 유사한 미국표준기술원(NIST)의 표준비교물질(Standard Reference Materials, SRM)인 SRM-1547(peach leaves)와 SRM-1648(urban particle)을 식품 및 실내분진의 비교를 위해 이용하였고, 중국 상하이 핵연구소의 인증표준물질(Certificate of Certified Reference Material, CRM)인 GBW-09101(human hair)를 모발분석 자료의 비교를 위해 준비하였다. 준비된 시료는 건조기에서 50~60°C로 수시간 이상 건조 후에 실제시료와 동일한 실험조건으로 분석하여 보증값과 비교함으로써 분석검증 및 보정, 신뢰성 확인 등에 이용하였다.

Table 1. Optimal analytical condition for neutron activation analysis

Sample	Nuclide	Sample weight	Irradiation time	Analytical element
Herb medicine	Short-lived nuclides	10 mg	2 min	Al, Ca, Cl, Cu, I, Mg, Mn, V
	Long-lived nuclides	200 mg	2 hr	As, Br, Cr, Fe, Na, Sb, Sr, Th, Zn
Air sampled filter	Long-lived nuclides	100 mg	2 hr	As, Br, Co, Cr, Fe, Sb, Sc, Sr, Zn
Human hair	Short-lived nuclides	20 mg	5 min	Al, Ca, Cl, I, Mg, Mn
	Long-lived nuclides	20 mg	4 hr	As, Br, Cr, Fe, Sb, Sc, Zn

III. 결과 및 고찰

1. 표준시료

(1) 식품관련 : NIST SRM 1547(peach leaves)

중성자방사화분석법에 의한 분석결과 총 20여종의 원소가 검출되었다. 표준비교물질의 보증값이 있는 원소들 중 Al, Ba, Ca, K, Mg, Mn, Sr, V, Zn 등은 $\pm 5\%$ 이내의 상대오차를, Na, Rb, Fe, Cl 등은 $\pm 10\%$ 이내의 상대오차를 나타내었다.

(2) 분진관련 : NIST SRM 1648(urban particle matter)

대기분진 관련 표준비교물질을 분석한 결과 총 30여종의 미량원소 검출이 가능하였다. 특히 Al, Br, Cr, Co, Cs, K, Mn, Na, Rb, Th, Ti, V 등은 $\pm 5\%$ 이내로, Ba, Ca, Cl, Fe, Mg, Cr, Sc 등은 $\pm 10\%$ 이내의 상대오차 및 상대표준편차를 나타내었다.

(3) 모발관련 : GBW 09101(human hair, CRM)

모발과 관련된 인증표준물질을 분석한 결과 Table 2에서와 같이 인증값이 알려진 13종의 원소와 참고값이 알려진 7종의 원소 등 총 20종의 원소를 검출하였다. Cu, Cr, Co, Na, Mg, As, Se, Zn 등의 상대오차는 $\pm 5\%$ 이내, Fe, Sr, Mn, Ca 등은 $\pm 12\%$ 이내를 보임으로써 모발시료에 대한 정해진 분석조건에서 중성자방사화분석법의 검증 및 분석결과의 신뢰성을 확인하였다.

표준물질의 분석 결과에서 측정값과 인증값의 평균과 표준편차로부터 아래의 Z-score 계산법에 의해 표준시료에 대한 측정값의 수용기준을 정하는데 이용하였다.

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

$X_{cert.}$: 인증값의 평균

$X_{exp.}$: 측정값의 평균

$\sigma_{cert.}$: 인증값의 표준편차

$\sigma_{exp.}$: 측정값의 표준편차

여기서, $Z \leq 2$ 이면 측정값 채택이 가능하고, $2 < Z \leq 3$ 이면 측정값의 수용 또는 재검토, 또한 $Z > 3$ 이면 측정

Table 2. The analytical result of human hair, GBW 09101 by NAA

Element	Certified value ($\mu\text{g/g}$)	This work ($\mu\text{g/g}$)		Relative error (%)
		Range	Mean \pm S.D.	
Al	13.3 \pm 2.3	13.5-18.3	16.0 \pm 2.4	20.3
As	0.59 \pm 0.07	0.48-0.72	0.62 \pm 0.13	5.1
Ca	1090 \pm 72	917-999	957 \pm 41	12.2
Co	0.135 \pm 0.008	0.113-0.153	0.131 \pm 0.020	3.0
Cr	4.77 \pm 0.38	4.52-4.85	4.69 \pm 0.17	1.7
Cu	23.0 \pm 1.4	20.9-24.0	22.7 \pm 1.6	1.3
Fe	71.2 \pm 6.6	60.6-70.7	66.9 \pm 6.0	6.0
Mg	105 \pm 6	82.2-127	100 \pm 24	4.8
Mn	2.94 \pm 0.20	2.48-2.76	2.59 \pm 0.15	11.9
Na	266 \pm 12	249-275	258 \pm 14	3.0
Se	0.58 \pm 0.05	0.43-0.66	0.55 \pm 0.16	5.2
Sr	4.19 \pm 0.14	2.86-6.33	4.68 \pm 1.74	11.7
Zn	1898	175-183	179 \pm 4	5.3
Ba	(5.41)	6.60-7.24	6.97 \pm 0.33	
Br	(0.602)	0.512-0.604	0.568 \pm 0.049	
Cl	(152)	147-158	151 \pm 6	
I	(0.875)	0.859-1.01	0.953 \pm 0.082	
S	(46900)	50100-58860	54190 \pm 4409	
Sb	(0.21)	0.191-0.216	0.207 \pm 0.014	
V	(0.069)	0.041-0.065	0.054 \pm 0.012	

*Values in parenthesis refer to recommended value.

값을 기각하게 된다. 그런데, 분석결과로부터 3가지 표준물질 모두 측정값의 상대오차와 상대표준편차는 대부분의 원소에서 $\pm 10\%$ 이내였으며, 측정값의 수용기 준인 Z 값도 모두 2 이내로서 Table 1의 정해진 분석 조건에서 중성자방사화분석법의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 또한, 중성자방사화분석법에서 측정불확도¹²는 계측통계(U_{ST})와 반복측정(U_{OB})에 의해 생길 수 있는 A형 불확도와 시료칭량(U_{BW}), 시료조사(U_{NF}), 검출효율(U_{EF}), 표준물질(U_{RM}), 핵적상수(U_{PA}) 및 보정에서 생길 수 있는 B형 불확도를 모두 고려한 합성불확도(combined uncertainty, U_c)의 산정이 가능하며 다음의 간단한 수식의 설정에 의해 평가하였다.

$$U_c = \sqrt{(U_{ST})^2 + (U_{OB})^2 + (U_{BW})^2 + (U_{NF})^2 + (U_{EF})^2 + (U_{RM})^2 + (U_{PA})^2}$$

A형 불확도인 계측통계와 반복측정에 의한 표준불확도는 각각 5%와 0.3% 이내였고, B형 불확도인 표준물질, 검출효율, 시료칭량, 시료조사, 핵적상수 등에 의한 표준불확도는 각각 2.0%, 2.0%, 0.01%, 0.85%, 2.5% 이내로서, 이것들을 모두 고려한 합성불확도는 보정값에 대한 오차가 크거나, 감마선 피크 면적이 작아서 정밀도가 높지 않은 일부 원소를 제외하고는 10% 이내

로 평가됨으로써 분석시 발생할 수 있는 모든 불확도 요인의 합을 수량화하여 제시할 수 있다.

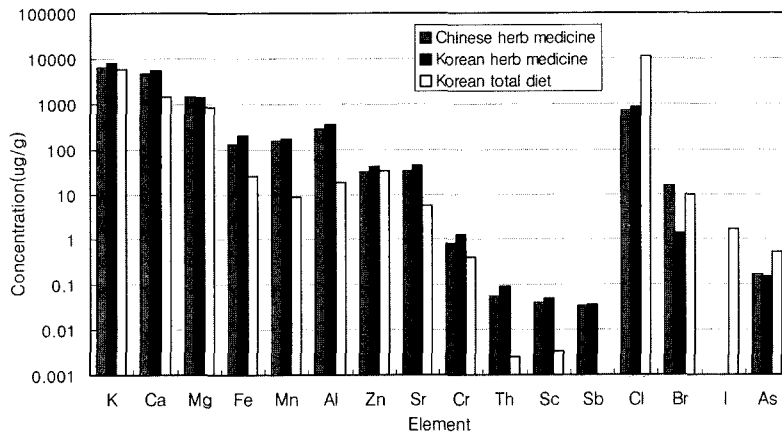
2. 한약재의 분석결과

중성자방사화분석법을 이용하여 6종의 주요 한약재에 대해 각각 3회씩 분석하여 Al, As, Ca, Cu, Mg, Mn, Zn 등 16종의 미량원소를 정량하여 Table 3과 Fig. 2에 한국산과 중국산 한약재의 평균농도, 그리고 이전의 연구^{8,10)}에서 보인 국내 거주 한국인 100여명으로부터 일일섭취량을 조사하여 실제시료를 수집·분석한 Korean total diet의 결과를 요약해서 나타내었다. 전체 한약재에 대한 한국산과 중국산의 평균 농도를 비교해 볼 때, 대부분의 원소들이 한국산에서 높은 농도로 분포하였으나, Br은 중국산에서 10배 이상 높게 나왔다. 그리고, 동일한 한약재에 대한 한국산과 중국산의 차이보다는 한약재의 종류에 따른 농도분포의 차이가 크게 나타났다.

또한, 한약재와 Korean total diet의 결과를 비교했을 때, 한약재에서 As, Br, Cl 등의 농도는 낮은 반면, Ca, K, Mg, Fe, Mn 등의 영양원소들이 높은 농도로 분포하였다. 하지만, 토양성분 등에 직접 노출되어 있는 뿌리 이용 한약재에서는 Al, Cr, Th 등의 성분이

Table 3. Comparison of elemental concentration between herb medicine and total diet

Element	Herb medicine ($\mu\text{g/g}$)				Korean total diet ($\mu\text{g/g}$)	
	Total range	Korean mean	Chinese mean	Total mean	Range	Mean
Al	25~1344	340	274	307	16.1~18.3	17.6
As	0.03~0.46	0.15	0.17	0.16	0.49~0.60	0.53
Br	0.53~46.4	1.35	15.2	8.29	9.59~10.6	9.95
Ca	474~15493	5411	4614	5012	1358~1496	1418
Cl	159~2180	827	691	759	10870~11780	11353
Cr	0.27~3.60	1.29	0.82	1.09	0.35~0.42	0.39
Fe	49~556	201	129	165	23.7~26.0	25.2
I	N.D				1.50~1.77	1.64
K	1665~12290	7776	6509	7143	5394~5706	5579
Mg	471~2554	1341	1457	1399	807~896	850
Mn	8~509	168	155	162	8.46~8.78	8.65
Sb	0.029~0.042	0.036	0.034	0.035	N.D	
Sc	0.002~0.073	0.051	0.039	0.048	0.0032~0.0036	0.0034
Sr	18.6~79.7	44.0	33.3	38.6	5.30~5.80	5.55
Th	0.040~0.203	0.091	0.056	0.070	0.0024~0.0028	0.0026
Zn	8.9~98.8	40.1	31.0	35.6	31.6~33.7	32.5

**Fig. 2.** Scheme of elemental distribution of herb medicine and total diet.

높게 검출됨으로써, 앞으로 한약재의 용출시험에 의한 인체 내 흡수 연구가 추가로 진행된 후에 Ca, Mg, Fe 등 일반식품에 부족한 일부 영양소를 특정 한약재를 통해 보충이 가능할 것으로 본다.

3. 주물사업장 공기 중 미량원소 분석결과

분진이 채집된 필터를 분석하기 전에 공시로 여과지를 5회 분석한 결과 As, Ba, Ce, Cr, Hf, La, Lu, Sb, Sc, Sm, Th, Yb, Zn 등의 13종의 미량원소가 검출되었으며, 대부분의 원소들에서 ng/g 수준으로 분포하였다. Cascade impactor를 이용하여 주물공장 내

실내분진을 24시간 동안 채집한 결과 분진의 입경별로 나뉜진 #1~#8단의 총부유분진(total suspended particulate, TSP)의 양은 각각 0.38, 0.15, 0.06, 0.04, 0.03, 0.03, 0.02, 0.02 [μg]으로 나타나므로 1단에서 8단으로 갈수록 분진의 양이 감소되었다. 그리고 중성자 방사화분석법으로 분석한 결과 Table 4에서와 같이 As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Sb, Sc, Sm, Sr, Th, Yb, Zn 등 총 18종의 원소가 검출되었다. 특히, Fe, Ce, La, Co, Sr, Th 등은 분진입경이 큰 1-2단(4.7-9.0 μm)에서, Br과 Sb은 분진입경이 작은 6-8단(1.1 μm 이하)에서 주로 분포하였다. 전체적인 농

Table 4. Distribution of trace elements in sampled filter

(unit: $\mu\text{g/g}$)

Element	#1 (5.8-9.0)	#2 (4.7-5.8)	#3 (3.3-4.7)	#4 (2.1-3.3)	#5 (1.1-2.1)	#6 (0.7-1.1)	#7 (0.4-0.7)	#8 (0-0.4)	Total
As	0.019	-	0.021	0.028	0.020	0.020	0.019	0.035	0.163 \pm 0.012
Ba	-	0.445	2.75	2.56	2.99	3.30	2.55	1.98	16.6 \pm 0.669
Br	-	-	-	-	-	0.040	0.051	0.042	0.133 \pm 0.012
Ce	0.214	0.21	0.043	0.063	0.045	0.050	0.032	0.032	0.689 \pm 0.055
Co	0.023	0.019	-	-	-	-	-	-	0.049 \pm 0.004
Cr	0.227	0.223	0.164	0.179	0.192	0.169	0.186	0.173	1.51 \pm 0.059
Eu	0.004	-	-	-	-	-	-	-	0.004 \pm 0.001
Hf	0.024	0.024	0.054	0.057	0.052	0.053	0.048	0.057	0.369 \pm 0.108
La	0.098	0.092	0.017	0.019	0.018	0.016	0.014	0.014	0.289 \pm 0.211
Lu	0.002	0.001	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.022 \pm 0.008
Sb	-	-	-	-	-	0.007	0.018	0.015	0.04 \pm 0.002
Sc	0.031	0.030	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.074 \pm 0.005
Sm	0.021	0.026	0.009	0.012	0.007	0.007	0.012	0.012	0.106 \pm 0.005
Th	0.042	0.041	0.007	0.007	0.007	0.006	0.005	0.006	0.121 \pm 0.010
Yb	0.009	0.006	0.011	0.011	0.010	0.013	0.015	0.008	0.083 \pm 0.004
Fe	87.2	33.7	7.82	8.18	9.87	-	-	-	147 \pm 0.256
Sr	3.16	3.52	-	-	-	-	-	-	6.68 \pm 0.477
Zn	2.63	1.88	3.10	3.31	3.52	4.57	4.42	3.40	26.8 \pm 0.877

“-” : N.D.

Table 5. Determination of elemental concentration in human hair by NAA

(unit: $\mu\text{g/g}$)

Element	Tonic taker		Foundry worker		Common person	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Al	6.3~41.2	20.7	9.7~31.1	14.6	1.2~15.0	7.0
As	0.09~0.54	0.23	0.02~0.80	0.15	0.02~0.16	0.06
Br	7.5~93.3	29.7	0.79~3.54	1.76	2.7~62.1	20.2
Ca	157~4032	2190	776~1582	1097	266~5359	1211
Cl	65~2473	597	267~1432	598	189~1980	589
Cr	N.D	-	0.03~1.94	1.01	0.03~0.98	0.31
Fe	<20.0	-	15.7~98.0	67.9	11.0~50.1	14.4
I	0.15~8.82	1.63	0.09~4.40	1.50	0.27~8.50	1.71
Mg	249~580	396	126~230	175	105~465	190
Mn	0.55~8.47	2.13	0.31~2.59	1.20	0.03~8.90	1.13
Sb	N.D	-	0.03~0.19	0.08	0.01~0.35	0.06
Sc	<0.05	-	0.04~0.07	0.06	<0.05	-
Zn	93~413	205	206~332	241	118~406	206

도분포에서는 주물작업장의 특성상 Cr과 Fe 등이 일반적인 대기농도¹²⁾에 비해 높은 수준으로 검출되었다.

4. 모발시료의 분석결과

한약복용자(평균연령 51세)와 주물작업자(평균연령 45세), 그리고 일반인(40대 이상) 등 세 그룹의 모발분석 결과를 Table 5에 나타내었고, Fig. 3에서는 일반인의

모발 내 각 농도값을 1로 했을 때의 한약복용자와 주물작업자 모발농도의 상대비를 나타낸 그림이다. 한약복용자 모발의 경우 나머지 두 그룹에 비해 Ca, Mg, Mn의 평균농도가 2배 정도로 높았는데, 최근 6개월 이상 한약을 복용한 사람들로서 한약재 내의 높은 영양원소들이 내부 축적되었을 것으로 추정할 수 있다. 주물작업자 모발의 경우는 일반인에 비해 Cr과 Fe의 평

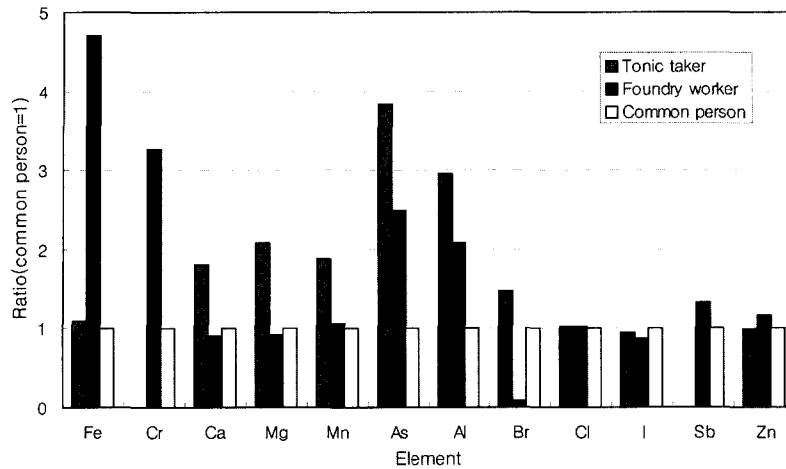


Fig. 3. Ratio of elemental concentration in hair among tonic taker, foundry worker and common person.

균농도가 각각 3.3배와 4.7배 정도 높았는데, 이것은 주물 공정에서 발생하는 일부 금속성분이 호흡기를 통해 내부축적이 되었을 것으로 추정할 수 있다. Al과 As가 한약복용자에서 가장 높은 이유는 토양과 가장 가까운 뿌리를 주로 하는 한약재 섭취에 의한 영향으로 볼 수 있다. 모발분석 대상자에 따라 Br의 개인별 농도 편차가 심한 이유는 탈색 및 염색약에 의한 영향으로 볼 수 있으며, 상대적으로 염색상태가 적었던 주물 작업자들에게서 낮은 농도를 나타내었다. 나머지 원소들에서는 정도의 차이는 있지만 모발 내 일반범위에 속하는 농도로 분포하였다.

IV. 결 론

본 연구를 통해 한약재, 공기 중 분진 및 모발시료에 대해서 최적의 분석조건을 확립함으로써 다양한 환경시료에 존재하는 미량원소와 독성원소를 비파괴로 동시다원소분석이 가능한 중성자방사화분석법을 환경보건과 관련된 연구에 적극적으로 이용할 수 있도록 하였다.

일반식품에 비해 한약재에서 수배 이상 높게 분포하는 Ca와 Mg 등의 영양원소들이 모발시료에서도 일반인에 비해 한약재 복용자들이 2배 가량 높게 분포하였고, 주물작업자의 모발 내 Cr과 Fe이 일반인에 비해 3배 이상 높게 분포함으로써 실내 환경에 따른 흡입과 음식물의 섭취에 의해 특정 미량원소들이 인체조직을 대표하는 모발에 축적되는 것을 확인할 수 있었다. 이처럼 모발분석은 인체영양 및 질병발생 전 선연구 차원에서 이용 가능하며, 모발이 의학 및 환경보건학적

모니터링에 유용하게 이용될 수 있음을 확인하였다.

본 연구결과를 토대로 특정 미량원소에 대한 흡입, 섭취, 축적의 생체 메카니즘 연구를 위해 다양한 지역별, 연령별 흡입 및 섭취상태와 실제 축적되는 인체 내부조직 연구를 수행 중에 있다.

참고문헌

- Sato, T.: Activation analysis of biological materials, Activation Analysis Volume II. CRC Press Inc, 334-335.
- Cho, S. Y., Awh, O. D., Chung, Y. S. and Chung, Y. J.: Trace element exposure in man by instrumental neutron activation analysis of hair. J. Radioanal. Nucl. Chem., **217**(1), 107-109, 1997.
- http://www.balanceyournutrition.com/analysis_bioanalysis.html, Nogales, Arizona, USA.
- Georgescu, R., Pantelica, A., Craciun, D. and Grosescu, R.: J. Radioanal. Nucl. Chem., **231**(1-2), 3-9, 1998.
- Feng, W. Y., Chai, C. F. and Qian, Q. F.: J. Radioanal. Nuclear Chem., **212**(1), 61-68, 1996.
- 정용삼, 조승연, 정영주: 모발분석에 의한 개인식별연구. 한국원자력연구소 위탁과제, 1991.
- Cho, S. Y., Jang, S. G. and Chung, Y. S.: J. Radioanal. Nucl. Chem., **236**(1-2), 25-28, 1998.
- 강상훈: 중성자방사화분석을 이용한 한국표준음식의 미량원소 분포에 관한 연구. 연세대학교 대학원 석사논문, 1998.
- 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.
- 조승연, 강상훈, 이상순, 나경원, 박신영: 생물학적 시료의 중성자방사화분석에 의한 보건·환경 및 의료

- 연구. 중성자방사화분석이용기술개발, 한국원자력연구소 위탁과제, 2000.
11. 조승연, 강상훈, 박병환, 박신영, 나경원 : 모발 내 미량원소의 중성자방사화분석법에 의한 건강 모니터링 방법 연구. 하나로공동이용활성화사업, 과학기술부 위탁과제, 2000.
 12. 정용삼, 문종화, 정영주, 강상훈, 조승연, 김낙배, 이길용 : 방사화분석 이용 연구. 방사선 및 방사성동위원소 이용연구 과제, 한국원자력연구소, 1997.
 13. Cucera, J., Bode, P. and Stepanek, V. : Uncertainty evaluation in instrumental and radiochemical neutron activation analysis. IAEA, Vienna, 1999.
 14. 정용삼, 강상훈, 문종화, 강영환, 조승연 : 인체보건 환경평가를 위한 모발의 중성자방사 화분석. 분석과학 학회지, **14**(2), 131-139, 2001.
 15. 김종윤 : 인체와 무기원소. 영남대학교출판부, 2000.
 16. IAEA Technical Document, IAEA-TECDOC-330, 1985.
 17. Howard H. Sky-Peck : Distribution of trace elements in human hair. Clin Physiol Biochem, **8**, 70-80, 1990.