

## 인체보건 환경평가를 위한 모발의 중성자방사화분석

정용삼 · 강상훈 · 문종화 · 강영환 · 조승연\*

한국원자력연구소, \*연세대학교  
(2001. 3. 9 접수)

## Neutron Activation Analysis of Human Hair for Human Health Assessment

**Young-Sam Chung, Sang-Hoon Kang, Jong-Hwa Moon, Young Hwan Kang and Seung-Yon Cho\***

*Korea Atomic Energy Research Institute 150 Dukjin Dong, Yusong, Taejon, Korea, 305-600*

*\*Yonsei University, Wonju-si, Knagwon-do, Korea, 222-701*

(Received March 9, 2001)

**요 약:** 인체모발중의 각종 미량원소의 함량에는 개인차가 있으며, 개인의 성장환경, 음식물의 섭취, 혈통, 성별, 나이, 직업 등에 의해 함량의 차이를 보이고 있으므로 생활환경으로부터의 외부오염과 음식섭취 및 대사작용을 통한 모발조직내 축적의 정도를 비교하기 위해 인체 모발시료를 채취하여 IAEA의 추천 방법을 이용하여 세척 전후로 나눠 중성자방사화분석법을 이용하여 비파괴 분석하였다. 분석정도관리는 인증표준시료를 이용하였고 Cu, Cr, Na, Co, Mg, As, Se, Zn 등의 상대오차는  $\pm 5\%$  이내, Mn, Ca, Fe, Sr 등의 원소들은  $\pm 10\%$  이내였으며, 상대표준편차는 대부분  $\pm 10\%$  이내였다. 일반인 그룹의 모발을 전두부, 후두부, 좌우두부, 정두부 등 5개 부위에서 채취, 분석하여 개인편차와 부위편차를 추정하였다. 측정원소의 개인편차가 부위 편차보다 커졌으며, 최대 7배 까지인 것으로 나타났다. 정해진 분석조건에서 사무원과 공장근로자 그룹을 대상으로 두 그룹간의 함량 편차, 생활환경과 모발내 원소의 함량수준간의 연관성을 비교하여 인체 보건환경 평가를 위한 기초 자료로 이용할 수 있음을 확인하였다.

**Abstract:** There is personal difference in the concentrations of trace elements in human hair according to human life or history such as occupation, race, sex, age, food habit, social condition and so on. It is also found that the individual's deviation of elemental concentrations is reflecting the degree of environmental pollutants exposure to human body, intakes of food and metabolism. To compare the degree of accumulation in the hair tissue, human hair samples were collected from five positions of head and analyzed by non-destructive neutron activation analysis with and without washing according to IAEA's recommended method. Analytical quality control is performed using the certified reference material. The relative error of Cu, Cr, Na, Co, Mg, As, Se, Zn and those of Mn, Ca, Fe, Sr are within  $\pm 5\%$  and  $\pm 10\%$ , respectively and the relative standard deviation of elements are within  $\pm 10\%$ . The deviations between the individuals and hair sampling positions were estimated. The deviation of individual was seven times more than that of positions. Under the defined condition, the difference and the correlation of elemental concentrations were compared with two different groups, office and factory workers. The result can be used as a fundamental data for human health and environment assessment.

**Key words:** neutron activation analysis, human hair, environmental pollution, human health

\* Corresponding author

Phone : +82-(0)42-868-8412 Fax : +82-(0)42-868-8448

E-mail : yschung@kaeri.re.kr

## 1. 서 론

환경조사를 목적으로 생체 미량원소를 분석하는 경우에 정상환경에서 생활하는 다수의 검체에 대해서 기준값 또는 정상값을 밖혀둠으로써 이상환경에 대한 검체에 의한 원소섭취의 이상성을 밝히는 것은 인체 보건관리 측면에서 중요하다. 인체모발은 뼈나 손발톱과 같이 경조직이며 일종의 배설기관이다. Cd, Hg, Pb 등의 유해원소 및 Fe, Cu, Zn, Mn 등 필수원소의 과잉 량이 인체에 섭취되면, 이러한 원소들은 혈액을 경유하여 원소에 따라 그 양상의 차이는 있지만 경조직에 비교적 많이 축적되는 것으로 알려져 있다. 따라서 모발중의 미량원소 함량은 그 원소의 이상섭취를 나타내는 하나님의 지표가 될 수 있다. 인체모발의 양은 성인 대해서 남성은 약 20g, 여성은 약 30g이며, 1cm<sup>2</sup> 당 약 350가락, 그리고 총 갯수는  $9 \times 10^4$ - $1.4 \times 10^5$ 개이다. 성장속도는 1일 평균 약 0.35mm, 한달 평균 1cm 정도이며 10-12cm 길이는 약 일년간 성장분이며 그것의 절편분석에 의해 미량원소 이상섭취의 양상 및 오염의 추이를 추적할 수 있다.<sup>1,2</sup> 모발 미량원소의 유래를 대별하여 보면, 혈액을 경유한 모발조직내에 분포고정된 것, 오염, 정발제, 대기분진 등에 의해 모발표면에 흡착된 것 등이 있다. 따라서 외부 환경조전, 사회활동과 음식섭취에 의한 신체 대사활동 등을 통해 미량원소의 변동이 발생하여 모발중 미량원소 함량의 개인차가 개인의 생활환경의 차이를 반영한다고하면 그것을 환경오염의 지표로 확립할 수가 있다. 특히 모발은 시료수집이 용이하다는 장점을 갖고 있다.<sup>3</sup>

과거에는 1950년대 후반부터 법과학 분야의 범죄 수사 연구에 많이 이용되어 왔으며 국내에서도 동일성 식별을 위한 연구에 이용하였다.<sup>4,5</sup> 최근에는 영양 원소 및 독성원소의 축적을 통해 작업 환경 및 개인의 건강상태를 연구하는 방향으로 초점이 맞춰지고 있다.<sup>6,7</sup> 이 중에 Ca, Na, Mg, K, S, Zn 등의 영양원소들은 ppm 이상의 수준에서 평가되지만, As, Sb, Cr, Hg 등의 유독성 원소들은 ppm 이하의 수준에서 평가되기 때문에 타 분석법의 경우 한 번에 많은 양을 수집하는 데에 어려움이 따르는 모발 내 미량원소들을 소량의 시료로부터 높은 감도로 정성·정량 분석하기 위해서 중성자방사화분석법을 적용하였다.

중성자방사화분석법은 수십 mg 이하의 적은 시료량으로도 ppm 이하의 수준까지 분석이 가능하며, 동시에 다원소 분석법으로 모발 내 20여종의 원소 분석이 가능하며, 비파괴적인 방법으로 전처리시의 오차를 최소화 할 수 있고, 분석 후에 이를 다시 타 분석법으로 이용 가능하다.<sup>8</sup> 특히 C (46.0%), O (28.2%), N (13.6%), H (7.5%), S (4.1%) 등 모발의 주성분에 의한 간섭 현상이 없으며, 모발에는 중금속원소가 특이적으로 농축되어 있는 반면, 중성자방사화분석에 방해가 되는 Na, P, Cl, Br 등의 원소는 다른 장기, 혈액 및 뇨에 비해서 아주 농도가 낮기 때문에 중성자방사화분석에 가장 적합한 시료이다.

본 연구에서는 중성자방사화분석법을 이용한 모발 분석을 통하여 외부 오염과 섭취 및 대사활동 등을 통한 내부 축적의 정도를 정확히 비교하기 위해 먼저 일반인 3명의 모발시료를 무작위 채취하여 IAEA의 추천 방법을 이용하여 모발 세척 전후와 여러 단계로 나눠 분석하여 최적의 세척시간을 추정하였다. 또한 모발의 개인별 편차 및 위치에 따른 편차와 원소분포를 알아보기 위해 7명의 모발시료를 전두부, 후두부, 좌우두부, 정두부에서 각각 채취하여 분석하였다. 그리고 사무원 그룹과 공장근로자 그룹의 모발시료를 각각 5명씩 채취하여 비교 분석 및 상관성을 검토하여 인체 보건환경 평가를 위한 방법에 효과적으로 적용하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시료의 준비

#### 2.1.1. 인증표준시료 (CRM)

모발시료에 대한 중성자방사화분석법의 신뢰성 확인을 위한 비교검증을 위해 인증표준물질(human hair, GBW 09101, Shanghai Institute of Nuclear Research, China)을 이용하였으며, 보증서에 추천된 전처리 방법에 따라 90°C의 건조기에서 4시간 동안 건조시킨 후, 실온에서 테이블에 저장하였다. 모발 표준물질은 분말형태(120 mesh 이하)로서 시료병에 넣은 상태로 <sup>60</sup>Co 선원(2 M rad)에서 멀균시킨 것이다. 분석조건에 따라 10-100 mg을 화학저울(Mettler, readability 1 µg)로 칭량하여 뜰은 질산(1M)과 아세톤(Merck, GR)으로 미리 세척한 조사용 폴리에틸렌 캡슐에 넣고 가열

밀봉하여 준비하였다.

### 2.1.2. 인체모발시료

세척 유무와 부위별 함량비교를 위한 일반인 그룹 모발시료는 서울거주 성인남자(20-40세) 7명의 대상인으로부터 두부의 5개 부위(전두부, 후두부, 좌우두부, 정두부)에서 무작위로 5-10 mg 채취하였으며, 직업별 함량비교를 위한 모발시료는 사무원과 주물공장 근로자(20-40세) 각각 5명으로부터 후두부에서 10 mg 이상을 무작위 채취하였고, 최근 6개월 이내의 상태를 분석하기 위해 모근으로부터 5-6 cm의 모발을 스테인레스 가위로 절단하여 채취하였다.

## 2.2. 모발시료의 세척 및 전처리

모발 조직내에 축적된 미량원소만을 측정하기 위해 채취한 모발시료를 IAEA의 추천 방법에 따라 비이커에서 25 mL 씩의 아세톤/증류수/증류수/아세톤의 과정으로 교반기를 이용하여 일정 시간동안 2회 반복하여 세척함으로서 오염, 세발제, 정발제, 대기분진 등 유기, 무기물로부터의 외부 오염성분을 제거하였다.

외부오염과 경조직내 축적된 미량원소의 농도를 비교하기 위하여 세척전과 세척후의 시료로 분리하였으며, 먼저 최적의 세척시간을 알아보기 위해 무작위 채취한 일반인 모발시료(남 1, 여 2)를 1분, 3분, 5분, 7분, 10분간 세척하였다. 세척후에는 여과지 위에서 1-2 시간 동안 자연 건조한 후 폴리에틸렌 캡슐에 넣고 가열밀봉하여 조사시료로 준비하였다.

## 2.3. 시료조사 및 방사능 계측

시료의 방사화를 위해 한국원자력연구소의 연구용 원자로인 HANARO의 PTS(pneumatic transfer system, 열중성자속밀도 :  $2.41 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )을 이용하여 시료를 조사하였으며, 모든 시료는 동일한 기하학적 조건에서 조사하여 조사시간동안의 중성자속의 변

화 등에 영향을 받지 않게 하여 분석오차를 최소화시켰으며, 정확한 중성자속을 측정하기 위하여 activation wire (Au, Cu, Mn, Fe : Reactor Exp. 회사의 순도 99.99%)를 사용하였다. Table 1에 나타낸 바와 같이 분석대상원소의 방사성 해종의 반감기에 따라서 조사, 냉각, 계측시간 등의 최적 분석조건을 설정하였다.

시료조사후에는 정해진 시간동안 냉각시킨 후 해종의 특성과 방사능의 세기가 잘 알려진 감마선 방출해종 표준선원(NEN사의 디스크형, 50-2000 keV)으로 에너지 및 검출효율을 교정한 감마분광분석시스템(HP-Ge Detector; 25% relative efficiency,  $^{60}\text{Co}$ 의 1332 keV에서 1.85 keV FWHM 및 Peak to Compton ratio가 45:1와 8 k 채널 multichannel analyzer, MCA, EG&G ORTEC)를 이용하여 계측하였다. 계측시간동안의 통계적 오차를 줄이기 위해 불감시간은 5% 이하로 유지하였으며 감쇠 및 pile-up의 보정은 MCA와 주증폭기에서 자동적으로 수행되도록 구성하였다. 계측된 데이터로부터 원소의 농도를 계산하기 위하여 Labview로 작성한 중성자방사화분석용 계산프로그램을 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 인증표준시료의 분석결과

정해진 분석조건에 의해 인증표준시료(human hair, CRM)를 5회 분석하여 21종의 원소를 검출하여 인증값이 알려진 14개 원소와 참고값이 주어진 7개의 원소를 비교할 수 있었으며 분석결과를 Table 2에 나타냈다. 측정값의 상대표준편차는 감마선 피크 면적이 작은 몇 가지 원소를 제외하고 대부분  $\pm 10\%$  이내였다. 인증표준시료의 보증값과 비교하여 Cu, Cr, Na, Co, Mg, As, Se, Zn 등의 상대오차는  $\pm 5\%$  이내, Mn, Ca, Fe, Sr 등은  $\pm 12\%$  이내를 보임으로서 모발시료에 대한 정해진 분석조건에서 중성자방사화분석법의 검

Table 1. Analytical condition of hair sample for neutron activation analysis

	Irradiation time	Cooling time	Counting time	Nuclide detected
Short-lived nuclides	10 min	5-10 min 0.5-1 hr	300 sec 800 sec	$^{28}\text{Al}$ , $^{49}\text{Ca}$ , $^{66}\text{Cu}$ , $^{27}\text{Mg}$ , $^{37}\text{S}$ , $^{52}\text{V}$ $^{38}\text{Cl}$ , $^{56}\text{Mn}$ , $^{128}\text{I}$ , $^{87m}\text{Sr}$ , $^{139}\text{Ba}$ , $^{80}\text{Br}$
Medium & Long-lived nuclides	3 hr	1-2 day 7-10 day	1000 sec 4000 sec	$^{24}\text{Na}$ , $^{42}\text{K}$ , $^{82}\text{Br}$ , $^{76}\text{As}$ , $^{122}\text{Sb}$ , $^{85}\text{Sr}$ , $^{65}\text{Zn}$ $^{131}\text{Ba}$ , $^{75}\text{Se}$ , $^{203}\text{Hg}$ , $^{51}\text{Cr}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{124}\text{Sb}$

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

Element	Certified value ( $\mu\text{g/g}$ )	This work ( $\mu\text{g/g}$ )		Relative error (%)
		Range	Mean $\pm$ S.D.	
Zn	189 $\pm$ 8	175-183	179 $\pm$ 4	5.3
Se	0.58 $\pm$ 0.05	0.43-0.66	0.55 $\pm$ 0.16	5.2
Cr	4.77 $\pm$ 0.38	4.52-4.85	4.69 $\pm$ 0.17	1.7
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
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
Fe	71.2 $\pm$ 6.6	60.0-70.7	66.9 $\pm$ 6.0	6.0
Cu	23.0 $\pm$ 1.4	20.9-24.0	22.7 $\pm$ 1.6	1.3
Sr	4.19 $\pm$ 0.14	2.86-6.33	4.68 $\pm$ 1.74	11.7
Na	266 $\pm$ 12	249-275	258 $\pm$ 14	3.0
Al	13.3 $\pm$ 2.3	13.5-18.3	16.0 $\pm$ 2.4	20.3
Hg	2.16 $\pm$ 0.21	1.39-1.68	1.57 $\pm$ 0.16	27.3
Co	0.135 $\pm$ 0.008	0.113-0.153	0.131 $\pm$ 0.020	3.0
Br	(0.602)	0.512-0.604	0.568 $\pm$ 0.049	-
Sb	(0.21)	0.191-0.216	0.207 $\pm$ 0.014	-
S	(46900)	50100-58860	54190 $\pm$ 4409	-
Ba	(5.41)	6.60-7.24	6.97 $\pm$ 0.33	-
I	(0.875)	0.859-1.01	0.953 $\pm$ 0.082	-
V	(0.069)	0.041-0.065	0.054 $\pm$ 0.012	-
Cl	(152)	147-158	151 $\pm$ 6	-

\* Values in parenthesis refer to recommend value.

증 및 분석결과의 신뢰성을 확인하였다.

### 3.2. 세척 전후 및 시간의 변화에 따른 함량변화

대기 및 외부 환경에 따른 오염과 내부 측적량을 비교하고, 최적의 세척시간을 확인하기 위해 IAEA의 추천 방법에 따라 두부 5개 부위에서 무작위 채취한 일반인 모발시료(남 1, 여 2)를 6동분하여 세척전과 1분, 3분, 5분, 7분, 10분씩의 세척시간을 주어 교반기를 이용하여 세척 후 정량한 결과를 Table 3에 나타냈다. 세척 전후의 농도변화가 비교적 큰 Na, Cl, K, Br, Ca 등의 원소에 대해 세척 전의 농도를 기준으로 각 단계별 농도비를 구하여 Fig. 1에 나타냈다. 세척전과 비교하여 Na와 K은 세척 후에 80-95%, Cl은 60-80%, 그리고 Br과 Ca은 20-40%의 제거율을 보였다. 일반적으로 Na와 Cl 등의 원소들은 외부오염의 가능성성이 많고 증류수에 의해 쉽게 세정되기 때문에 높은 제거율을 나타내는 것으로 관찰되었다. 나머지 원소들에서

는 세척 전후나 세척시간의 변화에 따라 특별한 농도 변화를 나타내지 않았다. 따라서 모발의 세척시간은 급격한 농도의 감소가 나타나지 않는 시간인 3-5분이면 적당한 것으로 추정하였으며 10분 정도의 세척시간을 줄 때 안정한 것으로 판단하였고 문현에 보고된 결과와도 유사하였다.<sup>9</sup> 따라서 개인별, 부위별, 직업별 함량분석을 위한 시료에 동일하게 적용하였다.

### 3.3. 모발의 개인 및 부위별 비교분석

개인의 모발 미량원소농도는 일반적으로 휴지상(telogen)이 활동상(anagen)보다 높다. 특히 채취부위에 따라서도 변동하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 Cu, Zn 등과 같은 필수원소의 농도 변동폭( $\sigma < 20\%$ )은 비교적 작으며 균일한 것으로, As, Mn, Ag, Sb, La, Au, Hg 등과 같은 비필수원소의 농도 변동폭( $\sigma > 30\%$ )은 비교적 넓으며 불균일한 것, Se는 삼푸의 영향으로 보고된 바 있다. 따라서 인종, 혈통, 성별, 연령차 등에 의해서 변동하는 모발 미량원소 함량의 개인차는 클것으로 예상되며 동일인일지라도 채취부위에 따라서도 함량의 차이가 있을 것으로 예상할 수 있다.<sup>3</sup>

모발의 채취 위치에 따른 원소분포와 개인의 차이를 알아보기 위해 7명의 일반인 모발을 전두부, 후두부, 좌우두부, 정두부에서 무작위 채취하여 정해진 세척과정과 실험조건에 따라 분석한 결과를 Table 4에 나타냈다. 음식물의 섭취와 관련이 있는 Na, Cl, I, Cu, Mn, Zn 등의 개인편차가 비교적 큰 것으로 나타났으며 나머지 원소들은 큰 차이를 보이지 않았다. 모발의 주성분중의 하나인 S를 제외한 대부분의 원소들의 개인편차는 20-113% 범위에 있었으며, 반면 동일인의 모발위치에 따른 원소의 함량분포는 7-45% 범위로 Na와 Zn의 경우 미량원소의 개인편차가 부위편차보다 7배까지 큰 것으로 나타났다. 모발시료를 두부전체에서 고르게 채취하는 것이 좋으나 개인차를 고려할 때 일정부위에서 무작위적으로 채취할지라도 개인식별이 가능함을 알 수 있었다. 또한 측정된 모든 원소의 개인편차를 종합하여 통계적으로 처리하는 경우 식별을 위한 개인편차는 더 증가될 것이다. 추가로 부위별로 측정된 각 원소의 함량수준은 특정 목적을 위한 선택의 지표로도 사용할 수 있을 것이다.

Table 3. The analytical result of hair sample with washing time (unit : µg/g)

Element	Sample* number	non-washed	1 min washed	3 min washed	5min washed	7min washed	10 min washed
Na	# 1	41.2±1.0	9.32±0.57	6.44±0.49	4.40±0.29	7.46±0.55	9.49±0.65
	# 2	855±2	5.69±0.12	5.36±0.11	5.22±0.11	9.28±0.20	6.72±0.15
	# 3	540±2	42.8±0.3	32.0±0.3	30.9±0.2	30.2±0.2	27.3±0.2
Cl	# 1	449±4	266±3	231±2	196±2	232±3	209±3
	# 2	160±1	70.5±2.6	26.6±1.6	24.4±0.6	31.0±3.4	27.1±2.8
	# 3	2950±24	1387±10	1299±10	1063±8	1095±9	1083±8
K	# 1	26.9±1.7	10.4±1.1	8.81±1.27	3.96±0.48	9.24±1.36	5.95±1.24
	# 2	55.2±14.7	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
	# 3	763±23	79.2±4.6	60.6±4.0	58.2±4.1	66.9±3.7	52.2±4.1
Br	# 1	1.09±0.20	0.943±0.116	0.933±0.088	0.804±0.119	0.905±0.118	0.878±0.096
	# 2	47.9±0.7	33.2±0.2	34.4±0.2	34.7±0.3	33.2±0.3	35.2±0.3
	# 3	12.0±0.5	8.40±0.15	8.19±0.13	8.45±0.09	7.45±0.13	7.14±0.13
Ca	# 1	614±42	420±18	393±16	508±26	458±19	372±18
	# 2	6278±112	4834±301	5275±111	5311±64	4937±116	5017±109
	# 3	377±82	263±52	212±54	276±33	258±50	220±58
I	# 1	25.0±0.4	20.6±0.2	19.3±0.2	19.8±0.2	20.2±0.3	18.6±0.2
	# 2	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
	# 3	4.26±0.45	4.60±0.33	4.02±0.29	3.63±0.20	3.50±0.27	3.89±0.25
Al	# 1	9.16±0.88	6.29±0.29	7.54±0.24	8.80±0.56	8.20±0.22	8.56±0.28
	# 2	14.7±1.3	13.6±0.6	14.7±0.6	14.4±0.5	13.2±0.5	12.9±0.5
	# 3	15.8±2.6	8.26±1.24	10.0±1.0	11.6±0.9	10.7±0.6	10.3±0.8
Cu	# 1	10.5±3.1	14.8±0.7	14.2±0.6	19.5±1.0	18.7±0.6	14.0±0.6
	# 2	55.6±4.6	53.9±1.8	48.8±1.7	50.3±1.1	65.1±2.0	64.4±1.7
	# 3	16.9±4.2	10.8±2.6	12.1±2.1	9.93±1.92	13.4±1.5	14.4±1.8
Mg	# 1	52.8±21.9	56.4±9.8	53.0±8.3	59.3±12.2	47.3±9.8	55.9±8.6
	# 2	529±63	344±24	404±24	391±14	367±25	339±21
	# 3	48.2±13.5	47.9±8.2	44.1±8.5	50.7±29.1	41.1±5.4	35.2±6.0
S	# 1	54230±3260	49790±1590	43790±1350	44110±2380	44820±1410	40920±1440
	# 2	64560±3980	40960±2850	43950±2710	50010±1840	44220±2930	40610±2640
	# 3	45400±7770	45110±5320	48170±4770	48260±2870	49070±3630	51950±4310
Mn	# 1	0.127±0.008	0.104±0.041	0.158±0.032	0.120±0.004	0.127±0.006	0.152±0.063
	# 2	1.30±0.13	1.02±0.06	1.62±0.06	1.05±0.03	1.27±0.06	1.20±0.05
	# 3	0.380±0.040	0.343±0.126	0.347±0.018	0.335±0.016	0.394±0.016	0.365±0.017
Zn	# 1	232±22	223±22	209±16	219±9	217±16	194±34
	# 2	196±33	213±10	202±10	192±11	193±11	214±9
	# 3	104±20	101±5	102±5	105±6	105±5	90.3±4.5

\* #1 : normal man, #2, #3 : normal women

### 3.4. 사무원과 작업자 그룹의 비교분석

일반 사무원과 주물공장 근로자 각각 5명씩을 후두부에서 모근으로부터 5 cm 내외의 모발을 채취하여 설정된 세척과정과 실험조건에 따라 분석한 결과를

Table 5에 나타냈다. 분석 결과 일반 사무원에 비해 주물공장 근로자의 Al과 Cr의 경우에 평균농도가 약 3배 가까이 높게 나타났다. As는 시료 W-4에서 일반 인보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 주물 작업장의

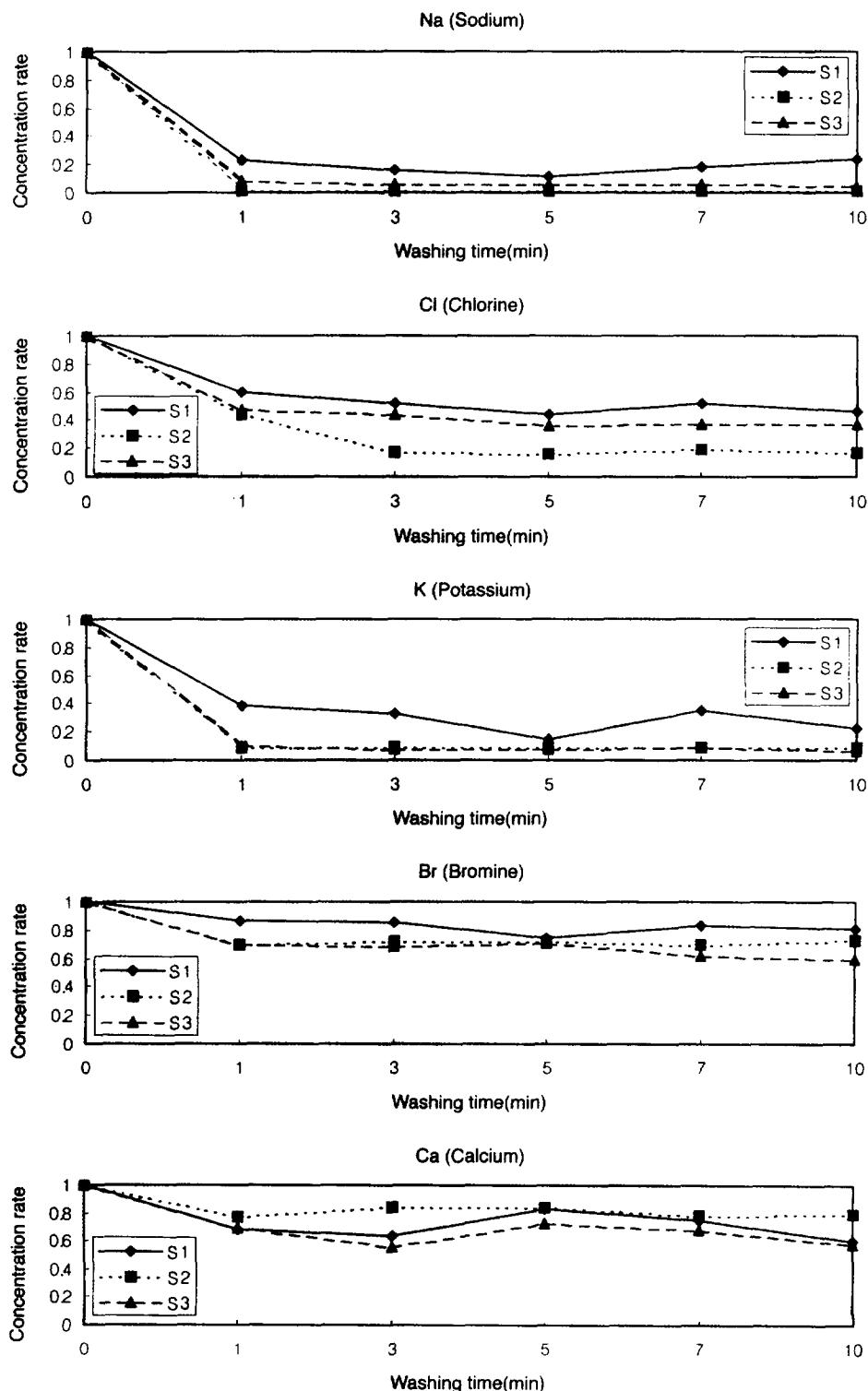


Fig. 1. The variation of the concentration in hair sample with washing time.

Table 4. Deviations of the elemental concentration with individuals and positions

Element	Range ( $\mu\text{g/g}$ )	Mean ( $\mu\text{g/g}$ )	Individual Deviation, ID (%)	Positional Deviation, PD (%)	ID / PD
I	0.27-6.65	2.46	1.42 (57.7)	1.11 (45.1)	1.28
Na	13-358	104	106 (102)	15.2 (14.6)	6.97
Cl	33-1632	403	375 (93.0)	102 (25.3)	3.68
As	0.11-1.03	0.39	0.15 (39.0)	0.13 (33.4)	1.17
Cu	2.31-12.8	6.39	2.77 (43.3)	1.24 (19.4)	2.23
Mn	0.1-14.8	2.97	3.37 (113)	0.66 (22.2)	5.11
Zn	61-564	272	118 (43.4)	18.7 (6.9)	6.31
Ca	232-971	447	99.8 (22.3)	126 (28.2)	0.79
Al	1.95-9.15	5.39	1.81 (33.6)	1.35 (25.0)	1.34
S	46120-56910	51020	1275 (2.5)	1710 (3.4)	0.75

Table 5. Elemental distribution in hair sample of officers and workers by neutron activation analysis

Element	Officers group ( $\mu\text{g/g}$ )						Workers group ( $\mu\text{g/g}$ )					Worker/ Officer	
	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5	Mean	W-1	W-2	W-3	W-4	W-5	Mean	
Al	4.35	5.12	4.08	3.28	4.21	9.73	10.2	11.8	12.9	11.5	11.2	2.66	
As			0.051	0.052	0.061	0.055				0.882		0.882	16.0
Ca	1001	1235	372	630	493	746	776	1102	1161	1391	1078	1102	1.48
Cr	0.28	0.50	0.29	0.52	0.19	0.36	1.02	1.94	0.99	0.76	0.36	1.02	2.87
Cu	28.8	19.4	15.0	17.4	12.5	18.6	9.29	9.05	10.4	10.0	5.63	8.87	0.48
I	1.43	0.33	4.32	1.22	1.84	1.83				1.00	0.14	0.57	0.31
Mg	399	132	59.2	47.1	91.0	146	134	126	185	133	230	162	1.11
Mn	5.63	1.30	0.109	0.15	0.04	1.44	2.59	2.20	1.24	1.02	0.76	1.56	1.08
Na	4.77	73.7	24.3	14.9	3.96	24.3	20.3	23.2	11.2	6.55	15.1	15.3	0.63
S	45351	41508	45918	46161	46134	45014	43470	52080	56895	52345	51825	51323	1.14
Zn	162	169	176	200	206	183	220	206	258	253	233	234	1.28

환경에 의해 흡수기를 통해서 어느 정도 체내로 내부 축적이 되었을 것으로 추정할 수 있다. 미량원소의 인체보건에 대한 영향으로 모발이나 뇌에 Al의 농도가 높을 경우 노인성 치매인 알츠하이머 병과 관련이 있다. 증가된 Cr은 조직 내 원소과잉과 관계가 있는 것으로 추정할 수 있으며, 특히 Cr(+6)의 농도가 높은 경우 발암성과 관련이 있기 때문에 혈액이나 뇌분석을 통해 가장 최근의 상태를 재확인할 수 있을 것이다.

Table 6은 병원 및 연구소, 상업적인 실험실에서 측정해 놓은 정상인의 모발내 미량원소의 농도범위이다.<sup>10-12</sup> 각각의 값들은 같은 전처리나 분석방법에 의

한 결과치는 아니며, 일부 원소들의 값은 실험실에 따라 커다란 차이를 나타내고 있다. 이러한 결과는 국내 표준인의 모발 내 미량원소 범위를 설정할 때 참고하여 일반인의 모발분석 자료와 식품 및 환경학적인 상태의 연관성이나 영향평가를 하는데 이용할 수 있을 것이다. 추가적으로 정확한 상관성 연구를 위해서는 성별이나 연령과 같은 주요 인자들과 인체내 원소별 축적 메카니즘을 고려하여 앞으로 보건·환경학적인 진단 및 질병과의 관계 등 기초연구 차원에서 이용될 수 있을 것이다.

Table 6. Normal range or tolerated limit value for trace elements in human hair (unit :  $\mu\text{g/g}$ )

Element	Doctor's Data <sup>11</sup>	MineraLab <sup>11</sup>	Clinice-Centro de Medicina Avancada <sup>12</sup>	University Students Group in Korea <sup>10</sup>
Al	2.9-82.5	20-40	< 17.0	6.57-85.3
As	< 0.4	2.0-3.0	< 1.10	0.078-0.769
Ca	204-712	200-600	220-1600	176-2084
Cr	0.80-1.25	0.50-1.50	0.011-0.370	-
Cu	17-67	12-35	5.48-40.0	7.69-31.5
K	4.2-40	75-180	5-40	5.13-49.1
Mg	29-137	25-75	20-130	27.0-395
Mn	0.62-1.97	1.0-10	0.070-1.00	0.207-9.92
Na	346-1080	150-350	10-130	5.10-104
Zn	104-288	160-240	142-248	159-765
Cd	< 1.6	1.0-2.0	< 0.750	-
Co	not established	0.20-1.00	0.004-0.300	-
Fe	21-50	20-50	5.46-13.7	-
Hg	< 3.0	2.5-5.0	< 1.30	-
Mo	0.59-2.55	0.1-1.0	0.04-0.32	-
Se	0.08-0.64	3.0-6.0	0.20-5.46	-
V	not established	0.5-1.0	0.07-0.30	-

\* &lt; : tolerated limit value

#### 4. 결 론

작업 또는 생활환경에 의한 모발내 미량원소의 함량차이는 개인에 따라 특성을 보였으며, 모발시료의 미량원소 분석에 의한 인체 보건환경 평가에 중성자 방사화분석법이 유용하게 이용될 수 있음을 확인하였다. 특히 분석품질관리를 위한 인증표준물질의 분석을 통해 데이터의 신뢰성을 확인하였으며, 미량성분의 함량분포에 크게 영향을 미치는 주요인자인 시료의 채취, 세척방법, 분석조건 등을 확립함으로서 대상의 선정, 시료의 일상분석, 결과의 해석에 이용할 수 있는 기초자료를 얻었으며 향후 활용도를 높이는 기반을 마련하였다. 한편 데이터의 통계적처리를 위해서는 표본의 수를 증가시킬 필요가 있었으며 그 결과를 통해 좀 더 명확한 비교값을 얻을 수 있을 것이다.

#### 사 사

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

#### 참고문헌

- IAEA Adversory Group on Applications of Nuclear Methods in Environmental Research, Vienna, Mar. 22-26 (1976); 日本原子力學會誌, 19, 649 (1977); Int. Conf. on Nuclear Activation techniques in the Life Sciences, Vienna (1978).
- M. Saiki, M. B. A. Vasconcellos, L. J. de Arauz and R. Fulfar, *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 236(1-2), 25-28 (1998).
- 日本同位元素協會, 放射化分析による環境調査, 1980.
- S. Y. Cho, S. G. Jang and Y. S. Chung, *J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters*, 229(1-2), 143-147 (1998).
- 정용삼, 조승연, 정영주, 모발분석에 의한 개인 식별 연구, 한국원자력연구소 용역보고서, 1991.
- R. Georgescu, A. Pantelica, D. Craciun and R. Grovescu, *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 231(1-2), 3-9 (1998).
- W. Y. Feng, C. F. Chai and Q. F. Qian, *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 212(1), 61-68 (1996).
- S. Y. Cho, O. D. Awh, Y. S. Chung and Y. J. Chung, *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 217(1), 107-

- 109(1997).
9. IAEA Technical Document, IAEA-TECDOC-330, 1985.
10. Howard H, Sky-Peck, *Clin. Physiol. Biochem.*, **8**, 70-80 (1990).
11. A. Katz, *J. Appl. Toxicology*, **12**, 79 (1992).
12. Analise Mineral de Tecido Capilar, Clinice-Centro de Medicina Avancada-Rua Martins Ferreira 75, CEP 22 271-010, Botafogo-Rio de Janeiro, RJ, Brasil.