

부산시 주거지역과 공업지역 여성모발에서 검출된 중금속 농도에 대한 비교 연구

경남대학교 환경보호학과, 경성대학교 생물학과*, 동성중학교**

민병윤[†] · 안희정** · 윤명희*

국문초록: 부산시의 주거지역과 공업지역에서 거주하는 여성의 모발로부터 Zn, Ni, Fe, Mn, Cu, Cr, Pb 및 Cd에 대한 중금속의 농도를 분석한 결과, 전체 시료에서 모든 중금속이 검출되었다. 특히, 공장지역의 주구성원인 10대와 20대 여성 모발에서 필수원소인 Ni, Fe, Mn, Cu 및 독성원소인 Cr, Pb, Cd의 농도가 같은 연령의 주거지역 여성들의 모발에 비해 매우 높게 검출되는 점으로부터, 이 지역의 직업인이 이들 중금속 원소에 의해서 직접 노출되어 있음을 알 수 있었다. 즉 공장지역 여성 10대와 20대 모발 중의 Cr, Pb, Cd의 농도는 주거지역 같은 연령 여성 모발 중의 농도에 비해 높게는 Cr의 경우 110배 (20대 여성), Pb의 경우 92배 (10대 여성), Cd의 경우 23배 (20대 여성)까지 검출되어, 이 지역 환경이 극도로 오염되어 있음을 경고하고 있다. 주거지역 여성 모발 중의 독성원소인 Cr, Pb 및 Cd의 농도는 국외에 거주하는 외국인에서 검출된 농도와 거의 유사하였으나, 이들의 농도가 연령이 높아짐에 따라 높아지는 점으로부터 이들 원소들이 연령에 따라 체내에 점차 축적됨이 밝혀졌다.

서 론

산업 활동이 증대됨에 따라 화학 물질의 종류는 점차 다양해지고 이로 인한 유해 물질은 날로 증가하고 있는 실정이다. 특히 유해 중금속 등은 산업 활동의 부산물로서 생체에 축적이 되어 여러 가지 독성을 나타내고 있다^{5, 10, 14, 17}. 특히 Cr (크롬)은 필수원소 중의 하나이지만, 체내에 축적되면 호흡기장해, 피부장해 및 발암 등을 유발하며, Pb (납)은 급성중독시에는 복통, 토사와 위장염 등으로 사망까지 이르며 만성중독시에는 식욕부진, 시력 장애, 경련 등 혼수상태 등의 증상이 나타난다. 또한 Cd (카드뮴)은 신경통, 빈혈, 간장 및 신장에 장해를 일으키거나 골격의 변화를 일으켜 골연화증을 나타내며 만성중독시에는 이따이이따이병 등의 원인이 되고 있다^{7, 8, 13, 16}.

이러한 중금속의 환경오염은 결국 인체에 영향을 미치게 되므로 인체 시료에 대한 분석은 매우 중요하다. 그러나, 인체 시료에 대한 분석은 많은 제약이 따르기 때문에 비교적 채취가 용이한 혈액, 소변, 모유, 모발 등이 연구의 대상이 되고 있다¹⁾.

본 연구에서는 부산의 주거지역과 공업지역에 거주하는 여성들의 모발을 채취하여, 모발에 잔류하는 중금속의 농도를 10대에서 40대까지 연령별로 분석하여, 각 환경의 지역 주민들에 축적되어 있는 독성 중금속의 오염정도를 조사하고, 연령과 환경에 따른 중금속 농도의 차이에 대해 고찰하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험의 재료는 주거지역인 해운대와 남천동, 공업지역인 사상, 장림, 신평공단에 위치하는 미용실에서 10대에서 40대까지의 여성의 모발을 연령별로 채취하였다.

* 논문접수 1996년 11월 20일, 수정재접수 1997년 3월 3일.

[†] 별책요청저자

해운대 및 남천동의 주거지역에서는 10대 29명, 20대 33명, 30대 28명 및 40대 31명을 사상, 신평, 장림 등의 공단지역에서는 10대 23명, 20대 26명, 30대 27명 및 40대 25명의 모발을 채취하였다.

실험방법

실험에는 deionized water를 사용하였고, 분해산은 WAKO사 (Japan)의 시약을 사용하였다. 분석을 위한 초자류는 HNO₃(1):H₂O(1) 용액에 24시간 담가둔 후, deionized water로 세척하여 사용하였다. 시료의 분해를 위해서 teflon 재질의 고온, 고압, 밀폐형 microwave vessel에 HNO₃ 20ml, HCl 7ml, H₂O₂ (30%) 3ml와 시료를 넣고 밀폐한 후 완전분해시켰다. 이의 실험에 사용된 microwave의 설정조건은 Table 1.에 나타내었다. 분해된 시료는 실온냉각하고 25ml 용량플라스크에 맞추었다.

측정

금속이온의 정량에는 Inductively Coupled Plas-

Table 1. The digestion conditions of microwave

Power (Watt)	Temperature (°C)	Digestion time (min)		Temp. limit (°C)	Pressure limit (psi)
		Ramp*	Dwell**		
900	160	10	20	200	200

Table 2. Comparison of content of heavy metals in women's scalp hair between locations and ages (µg/g)

Age	Location	Met-als No	Zn	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Pb	Cd
			10	Res.	29	329.0 257.3~365.7	5.9 3.6~7.7	51.1 36.2~69.1	8.3 5.4~10.1	10.3 8.7~12.6
19	Fac.	23	146.5 108.5~177.1	31.5 23.2~36.8	245.2 167.0~282.4	11.5 7.6~13.4	37.8 23.4~41.2	18.8 6.9~25.9	185.1 36.2~271.4	0.61 0.24~1.03
20	Res.	33	128.6 98.6~151.4	3.4 1.6~6.4	25.6 13.5~29.6	7.0 5.2~9.6	12.1 9.5~15.3	0.1 0.03~0.8	4.3 1.6~8.8	0.06 0.01~0.12
29	Fac.	26	158.0 132.6~176.3	36.8 18.8~51.2	76.2 58.8~81.2	14.0 11.3~16.2	30.3 18.6~41.4	11.0 2.3~17.1	79.8 25.2~127.6	1.37 0.74~1.69
30	Res.	28	251.7 226.4~267.8	10.3 6.4~13.8	40.1 29.6~51.1	17.8 14.6~19.1	13.4 11.2~15.6	1.0 0.1~2.8	5.2 1.8~9.7	0.12 0.06~0.25
39	Fac.	27	148.1 125.2~163.7	17.9 11.7~21.4	71.3 53.7~87.4	6.6 3.3~7.8	19.0 11.6~25.3	3.2 1.6~7.2	17.3 6.4~25.3	0.02 0.01~0.05
40	Res.	31	201.7 165.4~232.9	5.4 3.8~9.4	38.8 18.5~56.3	14.1 11.9~16.8	30.5 17.5~43.4	0.9 0.2~3.5	9.4 3.5~15.6	0.28 0.11~0.46
49	Fac.	25	63.9 47.6~74.0	5.0 3.5~8.2	57.0 39.6~67.1	10.9 8.2~13.6	15.2 9.6~27.1	1.5 0.3~4.2	37.7 12.4~51.3	0.29 0.15~0.52

Res. : Residential area ; Fac. : Factory area.

ma Spectrometer (ICP, JY24, France)를 사용하였다. 가스는 argon을 사용하였고, 분석파장의 기준은 193.031 nm의 carbon으로 설정하였으며, standard solution 은 SPEX社 (France)의 표준용액을 이용하여 조제하였다.

결 과

부산시의 주거지역과 공장지역에 거주하는 여성들의 전 모발 시료로부터 Zn, Ni, Fe, Mn, Cu 등의 필수원소와 Cr, Pb, Cd 등의 독성원소가 모두 검출되었다 (Table 2).

(1) 필수원소

Zn을 제외하면 공장지역의 10대와 20대 여성 모발의 필수 중금속 농도는 주거지역의 같은 연령의 여성모발 농도에 비해 매우 높았다 (Fig. 1). 한편 30대와 40대 여성 모발의 경우 지역간의 큰 차이는 보이지 않았다. 주거지역 여성 모발의 경우, Cu와 Mn은 일반적으로 연령이 높아짐에 따라 그 농도가 높아지는 경향을 보였으나, 그 외의 원소는 연령차에 따른 큰 차이를 보이지 않았다.

한편 공업지역 여성 모발의 경우, 거의 모든 원소의 농도가 10대와 20대에 비해 30대와 40대에서 대체적으로 낮은 경향을 보였다.

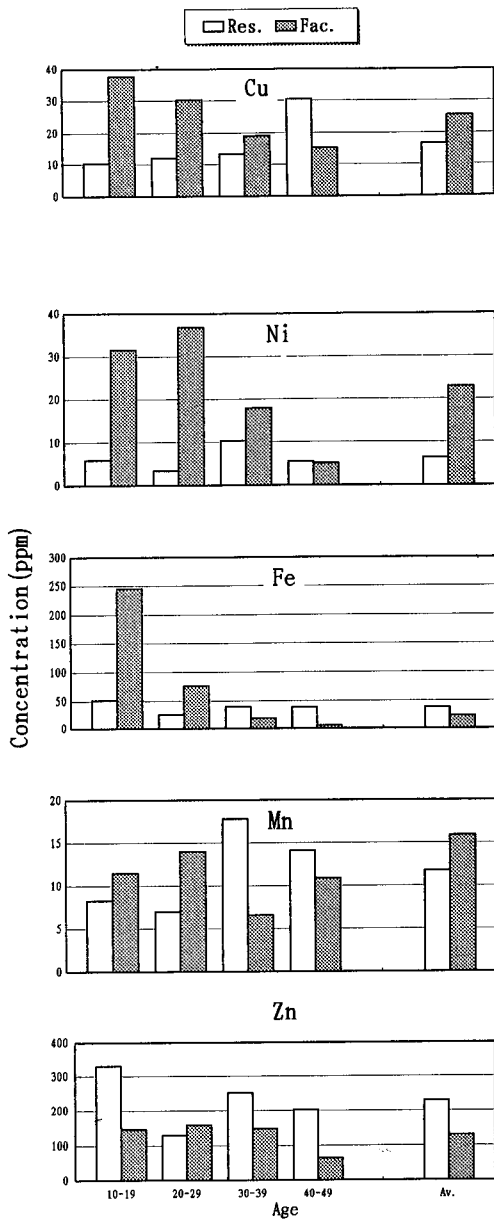


Fig. 1. Comparison of concentrations of essential heavy metals in women's scalp hair between the residential (Res.) and the factory (Fac.) areas.

(2) 독성원소

30대 여성 모발 시료의 Cd농도를 제외하면, 주거지역 여성의 모발에서 검출된 모든 독성원소의 농도는 공장지역 여성 모발의 농도보다 낮았다 (Fig. 2). 또한 주거지역 여성 모발의 독성원소의 농도는 연령이 높아짐에 따라 그 농도가 높은 점으로 미루어 이들 원소들은 점차 체내에 축적

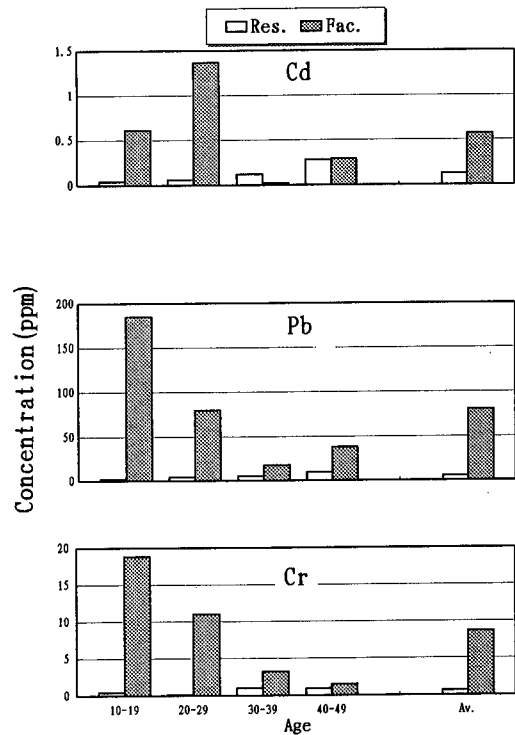


Fig. 2. Comparison of concentrations of toxic heavy metals in women's scalp hair between the residential (Res.) and the factory (Fac.) areas.

된다는 것을 알 수 있었다. 그러나, 공장지역 여성 모발에서 검출된 Cr, Pb 및 Cd의 농도는 30대와 40대 여성의 모발에 비해 10대와 20대 여성의 모발에서 매우 높게 검출되어, 주거지역과는 상반된 경향을 띄었다. 즉, Pb의 경우, 공장지역의 10대 여성 모발에서는 185 $\mu\text{g/g}$ 으로 주거지역 10대 여성모발 농도 2.0 $\mu\text{g/g}$ 의 약 92배의 농도가 검출되었고, 20대에서는 같은 연령의 주거지역 여성 모발에 비해 18.5배 (79.8 $\mu\text{g/g}$ / 4.3 $\mu\text{g/g}$)나 높게 검출되었으나, 30대에서는 3.3배 (17.3 $\mu\text{g/g}$ / 5.2 $\mu\text{g/g}$), 40대에서는 4배 (37.7 $\mu\text{g/g}$ / 9.4 $\mu\text{g/g}$)의 농도로 검출되었다.

한편, 공장지역 여성 모발의 Cr과 Cd 농도는 10대보다 20대여성에서 매우 높게 검출되어, 공업지역 20대 여성 모발의 Cr 농도는 주거지역에 비해 무려 110배 (11.0 $\mu\text{g/g}$ / 0.1 $\mu\text{g/g}$), Cd의 경우 23배 (1.37 $\mu\text{g/g}$ / 0.06 $\mu\text{g/g}$)나 높게 검출되었다.

고 찰

조사한 공업지역 여성의 전 모발시료에서 독

성원소인 Cr, Pb, Cd이 주거지역의 여성모발에 비해 매우 높은 농도로 검출되어, 공업지역의 오염의 심각성을 나타내었다. 조사지역인 사상, 신평 및 장림지역은 주로 경유를 사용하는 화물차량들의 교통량이 많은 공업지역으로, 이 지역의 여성 근로자의 경우, 일반적으로 10~20대 여성으로 구성되어 있다. 따라서 이 지역의 미용실에서 수집된 10~20대 여성들의 모발은 이 지역 근로자들의 모발이 상당량 포함되어 있으리라 생각되며, 이들 모발 중의 중금속 함량은 이 지역의 환경을 대변할 수 있으리라 생각된다. 한편, 해운대 및 남천동 지역은 대표적인 주거지역으로서 위의 공장지역에 비해서 대체로 오염이 심하지 않은 지역이라고 할 수 있다.

본 연구에서 10~20대의 공장지역 여성 모발에서 거의 모든 필수 및 독성 원소가 매우 높게 검출된 것은 이 지역의 직업에 종사하는 직업인이 이들 중금속 원소에 직접 노출되어 있음을 시사한다. 또한 유해원소의 경우 30대 여성모발의 Cd 농도를 제외하고는 공장지역의 모든 연령층의 여성 모발에서 주거지역 여성보다 높은 농도가 검출되어, 직접 공장일에 종사하지 않는 연령층도 주거지역 주민들에 비해 오염물질에 간접적으로 노출되어 있음을 알 수 있다. 유해원소중 Cr은 필수 원소중의 하나로 이것이 결핍되면 glucose, lipid, protein 대사계에 이상을 초래한다. 그러나 Cr⁶⁺은 LD₅₀이 50~500mg/kg으로서, 매우 독성이 강한 원소로 구분되어 있다⁶⁾. Cr은 주로 입, 피부 및 기도를 통해 흡수되며, 앞에서 언급한 데로, 만성독성으로 비중격천공, 피부장해 및 폐암, 췌장암, 소화관의 암 등을 유발함이 일찌기 알려져 있어, 환경오염물질로서의 관심의 대상이 되고 있다. 생체내에 흡수된 Cr은 rat의 체중 100g당 100mg의 투여군에서는 뼈, 비장, 고환 및 부고환에 많이 축적되며 혈액, 간장, 신장, 장관의 순으로 장기친화성이 높다고 알려져 있다²⁰⁾. 부산시 주거지역에 거주하는 여성모발의 평균 Cr농도는 0.1~1.0ppm (평균 0.6ppm)으로 미국인 1.5ppm, 일본인 1.4ppm보다 낮은 농도를 보였으나, 소련의 Moscow 남 0.59ppm, Leningrad 남 0.42ppm과는 비슷한 농도를 보였다¹⁾. 그러나 공장지역의 여성 모발에서 검출된 농도는 평균 8.6ppm으로 이 지역의 오염의 심각함과 인체건강에 악영향을 미칠 수 있는 농도로 사료된다. Pb의 주된 오염원은 자동차 배기가스로서 자동차의 노

킹을 제거하기 위해 4-에틸납이 휘발유에 첨가되므로써 대기 중에 배출된다^{2,7,11)}. 이들은 혈액을 통해서 이동되며 일차적으로 각 조직과 기관에 축적되고 최종적으로 뼈에 저장된다. 또한 골화(ossification)될 때 뼈에 축적되므로 골화가 진행된 개체일수록 그 농도는 높아진다¹⁸⁾. 사람의 경우 Pb의 전 체내 함량의 90%가 뼈에서 검출되고 있고, 중대백로의 경우 Pb는 뼈와 잇몸에 절대량의 40~70% 이상이 포함되어 있으며, 연령이 증가함에 따라 그 농도가 증가함이 알려져 있다⁹⁾. 주거지역의 여성모발의 경우 연령이 증가함에 따라 Pb의 농도가 높아지고 있어 같은 경향을 보이고 있다. 한편, Pb의 농도는 일반적으로 산업화에 따른 자동차 배기가스의 양에 비례하여 증가한다고 할 수 있고, 실제로 고속도로 주변의 생물에서 다량의 Pb이 검출되고 있다^{4,15)}. 본 연구에서 시료를 수집한 공업지역에는 주거지역에 비해 특히 화물자동차의 통행량이 매우 많은 곳으로, 이 지역에 배기가스에 의한 Pb의 오염이 매우 심각함을 시사하고 있다.

조 등³⁾에 의하면 한국 도시인과 농촌인 모발의 Pb함량은 각각 평균 7.6ppm과 8.0ppm이며, 미국 EPA¹⁹⁾에서 조사한 미국인의 성인 모발 중의 Pb 함량은 10.3ppm이다. 본 연구에서는 부산의 주거지역에서 거주하는 여성 모발의 Pb의 평균 농도는 5.2ppm으로 낮은 농도를 보이고 있으나 공장 지역에 거주하는 여성의 평균 농도는 80ppm으로 조 등³⁾이 조사한 납 농도보다 약 10배, 미국인 보다 약 8배 정도 높게 오염되어 있는 것을 알 수 있다. Cd은 안료, 도료, 염화비닐 안정제, 알카리 전지, 합금, 도금 등의 재료로 사용되며, 이러한 제품들의 제조 과정 및 노후 제품의 폐기 과정을 통해서 생활 환경이 오염된다고 알려져 있다. 인체의 경우 구강을 경유해서 흡수된 Cd의 대부분은 간장과 신장에 축적되며, 이러한 Cd의 축적은 뼈의 골화에 영향을 미쳐 골연화증을 유발하는 것으로 알려져 있다¹²⁾. 특히 부산시 공장지역 여성의 20대 모발에서 검출된 Cd은 1.37ppm으로서, 소련 남자의 Cd농도인 0.51ppm, 0.34ppm, 소련 여자 0.39ppm, 0.35ppm, 일본인 0.20ppm, 미국인 0.47ppm 보다 매우 높고¹⁾, 또한 미국 EPA 보고서에 의한 New Jersey 주민 모발 중의 Cd 0.75ppm보다 약 2배 정도 더 높아¹⁹⁾ 우리 나라 공장 지역에서 생활하는 여성에게 고농도의 Cd이 축적되어 있음을 시사하고

있다. 따라서 공장 지역에서 생활하는 여성에게 고농도의 Cd이 축적되어 악영향을 줄 가능성이 높으므로 앞으로 이에 대한 조사 연구가 필요하다고 생각된다.

이상과 같이 부산시의 공장지역에 거주하는 여성 모발에서 독성 원소인 Cr, Cd, Pb 등이 매우 고농도로 검출되어 이 지역이 유해 중금속에 의해 매우 오염되어 있음을 알 수 있다. 이들 원소에 의한 오염은 특히 10대, 20대에서 매우 심각해 이들 여성이 임신 및 출산을 할 경우 태아 및 신생아에 미칠 악영향이 우려된다. 따라서 앞으로 공장지역인 사상, 신평, 장림 지역의 무기적 환경 (대기, 수질, 토양 등)의 중금속에 대한 오염 현황을 정확히 조사하여, 이에 대한 대책을 강구하여 공장지역 주민들의 건강 증진에 힘써야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 권영택 (1990): 한국, 소련, 일본, 미국인의 모발중 중금속 함량에 관한 비교연구, 경남대학교 부설 환경연구소. 연구보고, **12**: 65-77.
- 노재식 (1988): 대기오염, *綠苑출판사*, pp. 29-43.
- 조운승, 박재주, 정성웅, 신동영, 이만석, 조재홍, 한영미 (1984): 대구시 주민의 모발중 미량중금속 함량에 관한 조사연구. 국립환경연구소보, **6**: 239-249.
- Donald RC (1979): Lead concentrations; bats vs. terrestrial small mammals collected near a major highway. *Environ Sci Tech*, **13**: 338-341.
- Donald RC, Laval RK and Krynskiy AJ (1980): Dieldrin and heptachlor residues in dead gray bats Franklin Count, Missouri - 1976 versus 1977 *Pesticiden Monitoring Journal*, **13**: 137-140.
- Gleason MN, Gosselin RE, Hodge HC and Smith RP (1969): *Clinical Toxicology of Commercial Products: Acute Poisoning*, 3rd. Ed., The Williams and Wilkins Co., Baltimore.
- 古木隆太郎 (1979): 水病 -20年の研究と今日の課題, pp. 120-121, 青淋舎.
- 不波敬一郎 (1988): 生體と中金屬, pp. 143-199, 講談社,
- Honda K, Min BY and Tatsukawa R (1985): Heavy metal distribution in organs and tissues of the Eastern Great White Egret *Egretta alba modesta*. *Bull Environ Contam Toxicol*, **35**: 781-789.
- 井村伸正 (1979): 水銀 - 動物體內での挙動と毒性 -, pp. 71-79, 環境汚染物質と毒性, 南江堂.
- 井村伸正, 中尾 填, 鈴木繼美 (1980): 中毒學における生物學的アプローチ -重金屬を中心に-, pp. 682-691, 海文社.
- 厚生省 (1965): 副腎におけるいたいたい病に關する厚生省の見解. 日本.
- Kwun YT (1986): 哺乳動物の乳および腎組織に無機成分元素に對する分析化學的研究. 博士學位論文, 東京大學.
- Lee DP, Honda K and Tatsukawa R (1987): Comparison of tissue distributions of heavy metals in birds in Japan and Korea. *J Yamashina Inst Ornith*, **19**: 103-116.
- Lee DP, Honda K, Tatsukawa R and Won PO (1989): Distribution and residue levels of mercury, cadmium and lead in Korean birds. *Bull Environ Contam Toxicol*, **43**: 550-555.
- 野見山一生 (1979): カドミウム-環境汚染物質と毒性. pp. 83-98, 南江堂.
- Tatsukawa R, Matsuda M, Fukushima M, Tanabe S, Honda K, Nanri N, Takahashi U, Izumi K and Wakimoto T (1975): Occurrence and distribution of environmental pollutants in wild birds. *Ehime Prefecture Japan*, pp. 82.
- Underwood EJ (1971): Trace element in human and animal nutrition, 3rd ed., *Academic Press, New York*.
- US EPA (1978): Human Scalp Hair, An environmental exposure index for trace elements: 11. Seventeen trace elements in four New Jersey Communities, EPA-60011-78-0376.
- 山根 弘, 高 英悟, 内山充 (1979): 環境汚染物質と毒性無機物質篇, pp. 207-208, 南山堂.

=Abstract=

Comparison of Heavy Metal Contents in Women's Hair Collected from Residential and Factory Areas in Pusan

Byung-Yoon Min[†], Hee-Jung An^{} and Myung-Hee Yoon^{*}**

Department of Environmental Protection, Kyungnam University, Masan, Kyungnam, 631-701, Korea; ^{}Department of Biology, Kyungsung University, Pusan, 608-736, Korea; ^{**}Dongsung Middle School, Pusan, Korea*

The concentrations in women's hair of essential and toxic elements such as Zn, Ni, Fe, Mn, Cu, Cr, Pb and Cd in residential and factory areas in Pusan were determined, and all the elements were detected from all the samples. It was apparent that employees working in factory areas in Pusan were exposed directly to the essential and toxic heavy metals. This is based on the fact that average concentrations of Ni, Fe, Mn, Cu, Cr, Pb, and Cd in hair samples from women aged 10 to 29 in factory area, who were considered to be main members among women employees, were much higher than those of residential areas. That is, the highest concentrations found in the hair samples taken from women 10 to 29 years old living in factory areas were 110 times higher in Cr (in the women in their 20's), 92 times higher in Pb (in the women in their teens) and 23 times higher in Cd (in the women in their 20's) than those living in residential areas. Furthermore, it was suggested that the heavy metals may be accumulated gradually in human bodies as humans get older, based on the fact that the concentrations of Cr, Pb, and Cd in women living in residential areas were higher in older age groups, although the average contents of these elements in residents from residential areas were similar with those of several foreign countries.

Key Words: Heavy metal, Women's hair, Age groups

[Korean J. Biomed. Lab. Sci., 3(1): 37-42, June, 1997]

[†] Corresponding author