

## 한국인의 체내 비소오염도 조사 연구

이상기, 양자열, 김기욱, 이수연, 권태정, 유영찬\*.\*

국립과학수사연구소, \*충북대학교 약학대학

## Distribution of Arsenic in Korean Human Tissues

Sang Ki Lee, Ja Youl Yang, Ki Wook Kim, Soo Yeun Lee,  
Tae Jung Kwon and Young Chan Yoo\*.\*

National Institute of Scientific Investigation, Seoul 158-707, Korea

\*College of Pharmacy, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

### ABSTRACT

Humans are exposed to toxic element arsenic (As) from air, food and water. The current study was performed to investigate the levels of arsenic in the internal organs (liver, kidney cortex, lung, cerebrum, abdominal muscle and abdominal skin) and to find out correlation with age and interrelationship between tissues in Korean human bodies who had lived in Seoul or Gyeonggi Province and Honam district. The tissues from 43 Korean cadavers were digested with microwave digestion system and arsenic was determined by inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS). The mean recovery percentages of arsenic in liver were about 80% and arsenic concentrations in human tissues were almost uniform. The mean level of arsenic in internal tissues were as follow ; liver  $44.556 \pm 25.199$  ppb, kidney cortex  $42.652 \pm 22.082$  ppb, lung  $31.020 \pm 17.504$  ppb, cerebrum  $35.703 \pm 22.591$  ppb, muscle  $43.415 \pm 26.619$  ppb and skin  $42.106 \pm 25.831$  ppb. No significant difference was found in the levels of arsenic between sexes. Meanwhile significant differences between districts where they had lived were found in all tissues tested. The levels of arsenic in the tissues of cadavers who had lived in Seoul Gyeonggi Province were higher than those of Honam district. In addition a positive correlation between As concentration and age was observed only in the cerebrum ( $p < 0.05$ ). A significantly high correlations between tissues were observed in all tissues tested. This result also shows that the distribution of arsenic is uniform in internal tissues.

**Key words :** Korean, tissues, arsenic, distribution

### 서 론

인간은 환경에 노출되어 있으므로 음식물이나 공기, 토양 등을 통해 중금속류의 섭취는 항상 이루어진다고 볼 수 있다. 섭취된 중금속은 생체에

쉽게 침착되지는 않으나 금속에 따라 유기 혹은 무기화합물을 형성하게 되면 생체 내에서 이동이 용이하게 되어 여러 가지 영향을 미치게 된다. 중금속류의 인체에 대한 영향은 흡수된 양 뿐만 아니라 중금속류의 종류에 따라 다르며, 특이조직에 대한 친화성에 의해서도 달라지는 것이 일반적이다 (Cappon and Smith, 1981; Beijer and Jernelov, 1986; Friberg *et al.*, 1986; Hirano, 1996; Sugiyama

\* To whom correspondence should be addressed.

Tel: +82-2-2653-7277, E-mail: ycyoo41@hanmail.net

*et al.*, 1996; 衛生試驗法註解, 2000). 따라서 인체 장기조직 중 미량금속의 함량은 인체에 대한 필수성과 독성에 관한 관점, 질병과의 관련, 중금속과 환경오염과의 관계 등으로 인하여 많은 관심을 가져왔다. 이와 더불어 인체 장기조직 중 중금속류의 정상치 또는 정상치 범위의 산정은 이들의 기초자료로 매우 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 자료를 얻기 위하여 선진국에서는 자국민을 대상으로 한 많은 연구가 이루어져 왔으며, 시대의 변화에 따른 모니터링도 지속적으로 수행하고 있다(Tipton and Cook, 1963; Liebscher and Smith, 1968; Klinische *et al.*, 1985; Baumgardt *et al.*, 1986; Kondo *et al.*, 1997).

1960년대 이후 산업발달이 급격히 이루어진 우리나라로서는 이에 수반하여 환경으로부터 인체에 노출된 중금속 등의 양이 증가할 것으로 예상되고 있지만 이에 대한 조사는 거의 되어있지 않은 실정이다. 따라서 중금속류의 중독사 판정이나 중독 진단 기준이 될 수 있고, 환경 및 생활환경 동 생활환경 변화를 추정하기 위한 표준이 될 수 있는 인체 장기 내의 중금속류 정상치 등 기본자료의 확보가 절실히 요구되고 있다.

특히 비소는 지구 표면에서는 20번째로 많이 존재하고, 해수에서는 12번째로 많이 존재하고 있는 원소이며, 245개 이상의 광물 성분으로 함유되어 있는 금속이다. 이러한 비소화합물은 합금첨가제, 고순도 반도체, 적외선투과유리, 비소염류의 제조에 널리 사용되는 물질로 토양, 대기, 물 등의 자연계와 식품에 널리 분포되어 있다. 따라서 인체는 고독성 비소화합물에 항상 노출되어 있으며, 특히 타이완, 칠레, 인도 및 중국에서는 음용수에 독작용이 있는 수준의 비소가 함유되어 있다고 보고된 바 있다(Tseng, 1977; Borgono *et al.*, 1977; Guha Mazumder *et al.*, 1988; Taylor *et al.*, 1989). 또한 무기비소는 자연식품과 가공식품 모두에 존재하며, 해양식품, 가금류와 일부 곡물제품이 비소를 많이 함유하는 것으로 알려져 있다(Whitacre and Pearse, 1972; US EPA, 1975). 비소의 독성은 화학물질의 형태, 투여량, 투여경로, 노출기간, 축적정도, 동물의 종차 등에 따라 다르게 나타나고, 아직 분자레벨에서 발암효과에 대한 기전이 밝혀지지는 않았으나, 피부암, 간암, 폐암, 신장암 뿐만 아니라(Shannon and Strayer, 1989; Chen *et al.*, 1992; Morris, 1995; Chiou *et al.*,

1995), 심장질환, 신경질환 등의 질병을 유발시키는 물질로 알려져 있다(Wildfang *et al.*, 2000). 따라서 급격한 산업화가 이루어진 우리나라에서도 거주환경의 차이에 따라 음용수나 이를 이용하여 제조된 식품에서도 비소화합물이 검출될 가능성이 있으며, 이를 섭취한 사람에게는 장기조직내에 고농도의 비소가 축적될 수도 있다.

환경 및 식품중에 존재하는 비소화합물의 함량 측정과 동물실험 등의 모든 노력은 인체에 대한 비소화합물의 위해를 평가하기 위한 과정이므로 인체에 대한 노출평가도 병행되어야 한다고 생각된다. 저자 등은 한국인을 대상으로 중금속 함량의 정상치를 연구한 바 있으나(Yoo *et al.*, 2002a; Yoo *et al.*, 2002b; Yoo *et al.*, 2002c), 이러한 연구는 시대의 변화에 따른 모니터링을 위해 장기간 동안 계속해서 많은 수의 시료를 통해 한국인을 대표하는 자료를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 한국인 인체 장기조직중 비소의 분포도를 조사함으로써 인체에 대한 총 비소 오염도를 측정하고 이를 PBPK 모델에 적용하는 기초자료를 확보하는 것이 그 목적이다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료의 채취

2002년 4월부터 동년 10월까지 서울경기지역에 거주하다 사망한 사체와 호남지역에 거주하다 사망한 사체중 약물중독이나 내인성 질환이 없는 사체를 무작위로 선정하여 인체부위별 장기를 채취하였으며 서울에서는 남자 10구, 여자 13구, 호남지역에서는 남녀 10구씩 총 43구를 대상으로 하였다. 채취된 장기는 간장, 폐, 신장피질, 대뇌 등의 내부 장기와 비소의 함량이 비교적 높게 검출되는 부위인 근육 및 피부조직이었으며(Smith, 1967),  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 보관하면서 실험에 사용하였다. 채취된 각 시료의 지역에 따른 성별, 연령별 분포는 Table 1과 같으며, 연령은 서울경기지역은 22~64세 범위로 평균 39.4세, 호남지역은 20~55세 범위로 평균 35.5세였으며, 전체 시료에서는 평균 37.6세였다.

### 2. 시약 및 표준품

질산, 황산, 염산, 과염소산은 유해금속측정용을

**Table 1.** Distribution of age and gender of individual subjects

Age group	Seoul and Gyeonggi Province		Honam district		Total
	Female	Male	Female	Male	
Twenties	3	—	6	1	10
Thirties	6	3	2	5	16
Forties	3	5	2	1	11
Fifties	1	1	—	3	5
Sixties	—	1	—	—	1
Total	13	10	10	10	43

사용하였으며, 금속 표준액은 As의 1,000 ppm 표준액 (Junsei Chemical Co., Ltd., Japan)을 사용하였다.

### 3. 시료의 분해

인체장기 조직중에서 중금속류를 측정하기 위하여 유기물 분해방법을 검토하였다. 질산 등에 의한 습식회화법 및 microwave digestion system법 (Milestone s.r.l. Model mls 1200 Mega, Italy)에 의하여 각 시료를 분해하여 일정 용량으로 한 다음 원소를 측정하는 방법을 검토하였다.

#### 1) 습식회화법

시료 약 5g을 정밀하게 Kjeldahl flask에 취하고 물 약 5ml과 질산 10ml을 넣고 약 1시간 가열한 다음 냉각시킨 후 황산 약 10ml를 가하고 격렬하게 가열하여 유기물을 분해시켰다. 냉각 후 다시 질산 10ml을 가하고 가열하여 내용물이 투명하게 되면 냉각 후 100ml 용량 플라스크에 옮기고 증류수로 분해 플라스크를 씻어 100ml로 하여 시험용액으로 하였다.

#### 2) Microwave digestion system법

시료인 간장, 폐, 신장피질, 대뇌, 근육 및 피부조직은 실온이 될 때까지 방치한 다음 생리식염수로 표면에 묻은 혈액을 세척하고 여과지로 표면을 닦아 생리식염수를 제거한다. 조직 약 1~2g을 정확히 취하여 질산(유해금속측정용, 65%) 6ml와 과산화수소(특급, 35%) 1ml를 넣고 다음의 조건으로 분해한 다음 분해액을 20ml 용량플라스크에 옮기고 증류수를 가하여 정확히 20ml로 하여 중금속 측정용 시료로 하였다. 따로 질산 6ml와 과산화수소 1ml를 넣고 microwave digestion system으로 시

료와 동일하게 처리하여 대조용 시료로 하였다.

시료 중 비소의 함량은 분해방법에 따라 동일한 시료에서도 원소의 측정값이 다를 수 있고 정량할 때의 농도, 회수율, 시료량 및 조작의 조건 등에 따라서도 결과에 영향을 줄 수 있으며, 많은 개수의 시료를 처리하기 위해서는 조작의 소요시간 등도 고려되어야 한다. 따라서 본 실험에서는 많은 수의 시료를 신속하게 분해하기 위하여 이미 확립된 microwave digestion system법에 의한 시험법 (Yoo *et al.*, 2002c)을 이용하여 모든 시료를 본 방법에 의하여 분해한 다음 ICP-MS법 (Varian Ultramass 700)으로 측정하였다.

### 4. ICP-MS에 의한 비소원소의 정량

#### 1) 표준용액의 조제

As 1,000 ppm 표준액을 2% HNO<sub>3</sub> 용액으로 단계적으로 희석하여 1, 5, 10 및 20 ng/ml의 표준용액을 조제하였다.

#### 2) 검량선의 작성

중금속류의 표준용액 1, 5, 10 및 20 ng/ml에 대해 내부표준물질로 이티륨 (Y) 5 ng/ml를 사용하여 자료전산시스템이 부착된 ICP-MS로 측정하여 검량선을 작성하였으며, 본 시험에 사용된 ICP-MS의 측정조건은 다음과 같다.

#### [ICP-MS의 측정조건]

Model : Varian Ultramass 700

Plasma

Plasma flow : 15.0 L/min

Auxiliary flow : 1.05 L/min

Nebulizer flow : 0.98 L/min

Sampling depth : 5.0 mm

Horizontal alignment : -1.1 mm

Vertical alignment : 0.3 mm

RF Power : 1.20 kW

Ion Optics

Extraction lens : -600 V

First lens : -260 V

Second lens : -11 V

Third lens : 0.0 V

Fourth lens : -60 V

Photon stop : -11.2 V

Entrance plate : 0.0 V

Exit plate : 0 V

#### Quadrupole

Detector : 2300 volts

Delta res hi : 1.895 volts

Delta res lo : -2.4 volts

High resolution : 0.81 AMU

Low resolution : 0.76 AMU

Pole bias : 0.000 volts

#### Sampling

Aerosol generation : Nebulizer

Source : Manual

Pump rate : 25 rpm

Fast pump during sample delay/rinse : Off

Enable device control : Off

Sample update delay : 20 sec

RF Generator : Frequency 40.68 MHz plasma

Mass range : 4 ~ 256 amu

#### 3) 회수율 측정

간장 약 1~2g를 정확히 취하고 비소 표준품을 200 ng 및 400 ng을 가한 다음 microwave를 이용하여 시료를 분해한 다음 내부표준물질로 이티륨(Y) 5 ng/ml를 사용하여 ICP-MS에 의하여 회수율을 측정하였다.

#### 5. 병리조직학적 검사

장기조직은 10% 포르말린으로 고정후 탈수, 파라핀 포매, 절편, 염색의 과정을 거쳐 조직검사를 시행하였다. 염색은 Hematoxylin and Eosin 염색을 일괄적으로 시행하였으며, 광학현미경으로 병리학적 변화를 관찰하였다.

#### 6. 통계학적 분석

각 인체 부위에서 측정된 비소의 함량에 대해 SPSS program을 이용하여 성별, 지역별, 장기별 평균, 표준편차, 함량범위 및 유의성 검정을 실시하였다. 또한 각 장기별 비소 함량간의 상관관계를 보기 위해 피어슨 상관계수를 측정하고, 이 상관계수에 대해 t-검정을 실시하였고, t-검정 결과 p값이 0.05 이하인 경우만 표기하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 병리조직검사

대상 시료의 내인성 질환 보유여부를 살펴보기 위해 각 시험장기의 병리조직을 검사한 바, 간조직은 간세포의 지방변성, 담즙울체, 간염, Kupffer 세포의 증식, 문맥역의 염증세포 침윤, 담관 상피세포의 변성 등 이상 소견은 볼 수 없었다. 폐조직은 구성요소인 기관지, 세기관지, 폐포관 및 폐포가 정상구조를 유지하고 폐포의 확장이나 무기폐를 볼 수 없었으며 일반 급사시에 흔히 볼 수 있는 부종 및 울혈 이외의 이상 소견은 볼 수 없었다. 신장에서 사구체, 세뇨관, 간질 및 혈관은 정상의 범주에 포함되었다. 근육 및 피부조직은 모두 형태학적 변화를 볼 수 없었다.

### 2. 분석 방법의 검토

시료의 분해방법은 많은 수의 시료들을 가장 신속하고 정확하게 분해할 수 있는 microwave digestion system법을 이용하였고 미량 원소의 측정에는 대부분의 원소를 극미량인 ppb 농도까지 측정할 수 있는 고감도를 가지고 있으며, 다른 원소의 간섭을 받지 않아 정확도가 높은 ICP-MS법을 이용하여 측정하였으며 correlation coefficient는 0.999 이상의 양호한 결과였다. 본 연구에서 비소분석에 사용된 ICP-MS의 검출한계는 0.06 µg/L으로 시료 중 극미량 함유되어 있는 비소분석에 적합하였다.

또한 간장에 비소 표준품을 200 ng, 400 ng을 첨가하여 질산과 과산화수소를 사용하여 microwave로 분해한 다음 회수율을 측정된 결과 Table 2에서 보는 바와 같이 약 80%로 양호하게 나타났으며, 대조용으로 표준품을 첨가하지 않은 시료를 동일하게 처리하여 원래 시료에 함유된 비소의 함량은 공제하고 산정한 것이다.

질산, 황산 등을 이용한 습식회화법도 수행하여 microwave를 이용한 분해방법과 비교하여보았는데 습식회화법은 microwave를 이용한 분해보다, 분해과정에 많은 시간이 소요되고 측정치의 편차가 컸으며, 회수율도 60% 정도로 낮았다. 또한 microwave를 이용한 분해에도 질산-과산화수소를 이용한 분해 이외에, 질산-과염소산-과산화수소를 이

**Table 2.** Recoveries of arsenic added to liver (n = 3)

Tissue	Added As amount (ng)	Found As amount (ng)	Recovery (%)	RSD (%)	Instrument
Liver	200	161.1±8.6	80.5±4.3	5.3	ICP-MS
Liver	400	316.8±11.5	79.2±2.9	3.6	ICP-MS

RSD : relative standard deviation

용한 분해, 질산-과산화수소를 이용한 분해, 분해시 사용된 산의 양을 조절하는 등 여러 가지 방법을 시도하여 보았으나, 질산-과산화수소를 이용하여 분해한 후 ICP-MS에 의한 비소측정법이 가장 회수율이 좋았다.

### 3. 인체 장기조직 중 중금속 함량의 측정

서울경기지역 및 호남지역에 거주하다 사망한 한국인 43명(남성 20명, 여성 23명)은 20~64세의 연령범위였으며, 내인성 질환이 없으며, 약물중독에 의해 사망하지 않은 사람을 선정하였다. 한국인 43명에 대한 내부 장기조직(간장, 신장피질, 폐, 대뇌, 근육 및 피부조직)에 함유된 비소의 함량은 Table 3 및 4와 같다. Table 3은 남녀별로, Table 4는 거주지역별로 구분하여 그 함량을 표시한 것이다. 비소에 대한 평균농도, 표준편차, 농도범위 및 95% 신뢰구간은  $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{wet weight}$ 로 표시하였다.

본 조사결과 한국인 장기조직 중 비소의 함량은 간장, 신장피질, 근육 및 피부조직 등에 대체로 고르게 분포되어 있는 것으로 나타났으며, 대뇌 및 폐에서는 이들보다 약간 낮았다. 이중 간장에서 평균  $44.556 \pm 25.199$  ppb로 측정되어 가장 많이 함유한 장기로 나타났으며, 근육, 신장피질 및 피부에서는 평균  $43.415 \pm 26.619$  ppb,  $42.652 \pm 22.082$  ppb 및  $42.106 \pm 25.831$  ppb, 대뇌와 폐에는 평균  $35.703 \pm 22.591$  ppb 및  $31.020 \pm 17.504$  ppb를 함유되어 있는 것으로 나타났다.

오 등은(오수창 등, 1968) 방사화 분석에 의해 한국인 간장에서의 비소 함량은  $0.01 \sim 0.152$  ppm 범위였다고 보고하였으며, 일본에서는 1975년 조직시료를 황산, 질산 및 과염소산으로 분해한 다음 흡광도법에 의해 비소의 함량을 측정하여 간장에서  $0.033 \sim 0.070$  ppm, 신장에서  $0.074 \pm 0.023$  ppm, 대뇌에서  $0.025$  ppm, 폐에서  $0.044 \sim 0.065$  ppm, 근육에서  $0.043 \sim 0.095$  ppm, 피부에서  $0.043$  ppm이 검출되었다고 보고하였으며(Sumino *et al.*, 1975),

1980년 neutron activation 분석에 의해 일본인 간장에서  $0.19 \pm 0.70$  ppm, 신장에서  $0.18 \pm 0.48$  ppm, 근육에서  $0.09 \pm 0.25$  ppm, 폐에서  $0.79 \pm 1.7$  ppm이 검출되었으며 대뇌에서는 검출한계 미만이었다고 보고하였고(Yukawa *et al.*, 1980), 중국인의 간장에서  $0.047$  ppm, 신장피질에서  $0.056$  ppm, 폐에서  $0.020$  ppm의 비소가 검출되었다고 보고가 있다(Zhuang *et al.*, 1990). 체코에서는 보헤미안 북부지역의 부검사체 70구의 간장과 신장을 질산과 과산화수소를 사용하여 microwave로 분해한 후 ICP-MS로 비소함량을 측정된 결과 간장에서는 평균  $0.033$  ppm, 신장에서는  $0.019$  ppm이 검출되며, 성별에 의한 함량차이 및 간장과 신장에서의 함량간에는 상관성이 없다고 보고하였다(Beneš *et al.*, 2000). 또한 독일에서는  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HNO}_3$  및  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 를 사용하여 폐조직을 분해한 다음 원자흡광광도계를 이용하여 비소의 함량을 측정하였는데 폐문부에서 평균  $14.7$  ng/g  $\cdot$  wet weight가 검출되어 좌우엽에서 검출된  $2.2 \sim 6.4$  ng/g  $\cdot$  wet weight보다 높게 검출되어 비소가 폐조직에서는 폐문부에 축적됨을 알 수 있었고, 연령, 흡연 및 폐질환과 비소 함량 사이에서는 통계학적으로 유의성있는 함량변화가 없다고 보고하였다(Kraus *et al.*, 2000). 영국에서는 Glasgow 지역에 거주하였던 사람의 조직내 비소함량을 측정된 결과 그 함량을  $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{dry weight}$ 로 발표하였는데 전혈에서는 평균  $0.147 \pm 0.270$  ppm, 뇌에서는 평균  $0.016 \pm 0.010$  ppm, 신장에서는 평균  $0.050 \pm 0.075$  ppm, 간장에서는 평균  $0.057 \pm 0.059$  ppm, 폐에서는 평균  $0.113 \pm 0.101$  ppm, 근육에서는 평균  $0.091 \pm 0.098$  ppm, 피부에서는 평균  $0.124 \pm 0.119$  ppm이 검출되었다고 보고하였으며(Smith, 1967; Liebscher and Smith, 1968), 네덜란드에서는 네덜란드에서 태어난 서유럽인을 대상으로 neutron activation 분석에 의해 조직내 비소의 함량을 측정하여 그 함량을  $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{dry weight}$ 로 표기하였는데 간장에서는 평균  $0.019 \pm 0.012$  ppm, 신장피질에서는

평균  $0.018 \pm 0.012$  ppm, 신장수질에서는 평균  $0.017 \pm 0.011$  ppm이 검출되었다고 보고하였다 (Aalbers *et al.*, 1987). 이와 같이 인체 장기조직 중

비소의 함량은 보고시기, 측정장비, 조사한 시료수 및 보고자에 따라서도 함량의 차이가 크게 나타나고 있으나, 이들과 비교할 때 본 연구결과 한국인

**Table 3.** Concentration of arsenic in Korean tissues according to sex ( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{wet weight}$ )

Tissue	Sex	Mean	SD	Range	95% CI	(No)
Liver	M	44.580	23.203	18.382 ~ 92.042	33.720 ~ 55.439	20
	F	44.536	27.336	11.512 ~ 104.761	32.715 ~ 56.357	23
	T	44.556	25.199	11.512 ~ 104.761	36.801 ~ 52.311	43
Kidney cortex	M	41.809	18.288	19.799 ~ 87.517	33.250 ~ 50.368	20
	F	43.384	25.316	12.163 ~ 108.796	32.437 ~ 54.332	23
	T	42.652	22.082	12.163 ~ 108.796	35.856 ~ 49.447	43
Lung	M	27.778	13.064	8.962 ~ 53.993	22.663 ~ 34.892	20
	F	32.971	20.712	1.421 ~ 79.867	24.014 ~ 41.927	23
	T	31.020	17.504	1.424 ~ 79.867	25.633 ~ 36.407	43
Cerebrum	M	38.368	22.211	7.612 ~ 79.323	27.973 ~ 48.763	20
	F	33.385	23.155	2.922 ~ 75.379	23.371 ~ 43.398	23
	T	35.703	22.591	2.922 ~ 79.323	28.750 ~ 42.655	43
Muscle	M	41.690	18.860	16.982 ~ 79.727	32.863 ~ 50.517	20
	F	44.915	32.256	3.608 ~ 120.789	30.966 ~ 58.863	23
	T	43.415	26.619	3.608 ~ 120.789	35.223 ~ 51.607	43
Skin	M	41.631	19.777	15.567 ~ 81.121	32.375 ~ 50.887	20
	F	42.518	30.589	5.835 ~ 114.089	29.291 ~ 55.746	23
	T	42.106	25.831	5.835 ~ 114.089	34.156 ~ 50.055	43

SD : standard deviation, M : male, F : female, 95% CI : 95% Confidence Interval, (No) : number of specimens

**Table 4.** Concentration of arsenic in Korean tissues according to district where cadavers had resided ( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{wet weight}$ )

Tissue	District	Mean	SD	Range	95% CI	(No)
Liver	S	52.980*	26.513	11.555 ~ 104.761	41.515 ~ 64.445	23
	H	34.869	20.125	11.512 ~ 92.042	25.450 ~ 44.287	20
	T	44.556	25.199	11.512 ~ 104.761	36.801 ~ 52.311	43
Kidney cortex	S	50.810**	23.949	17.203 ~ 108.796	40.454 ~ 61.166	23
	H	33.269	15.510	12.163 ~ 67.683	26.010 ~ 40.528	20
	T	42.652	22.082	12.163 ~ 108.796	35.856 ~ 49.447	43
Lung	S	39.020**	17.482	7.362 ~ 79.867	31.461 ~ 46.580	23
	H	21.821	12.524	1.424 ~ 51.802	15.959 ~ 27.682	20
	T	31.020	17.504	1.424 ~ 79.867	25.633 ~ 36.407	43
Cerebrum	S	47.967**	21.862	5.176 ~ 79.323	38.513 ~ 57.420	23
	H	21.599	13.539	2.922 ~ 52.974	15.263 ~ 27.935	20
	T	35.703	22.591	2.922 ~ 79.323	28.750 ~ 42.655	43
Muscle	S	55.960**	28.223	11.892 ~ 120.789	43.755 ~ 68.164	23
	H	28.977	15.310	3.608 ~ 63.273	21.823 ~ 36.153	20
	T	43.415	26.619	3.608 ~ 120.789	35.223 ~ 51.607	43
Skin	S	54.758**	27.994	10.069 ~ 114.089	42.652 ~ 66.863	23
	H	27.556	12.287	5.835 ~ 57.886	21.805 ~ 33.306	20
	T	42.106	25.831	5.835 ~ 114.089	34.156 ~ 50.055	43

SD : standard deviation, S : Seoul and Gyeonggi Province, H : Honam, 95% CI : 95% Confidence Interval, (No) : number of specimens

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$

**Table 5.** Correlation coefficient of arsenic concentration with age

	Liver	Kidney cortex	Lung	Cerebrum	Muscle	Skin
As	0.296	0.253	0.070	0.334*	0.256	0.236

Figures in the table are correlation coefficients between elemental concentration and age which are significant at 5% (\*).

**Table 6.** Correlation coefficient (r) of arsenic concentrations between tissues

	Liver	Kidney cortex	Lung	Cerebrum	Muscle	Skin
Liver	1	0.856**	0.654**	0.752**	0.707**	0.713**
Kidney Cortex		1	0.689**	0.763**	0.704**	0.732**
Lung			1	0.738**	0.750**	0.747**
Cerebrum				1	0.877**	0.889**
Muscle					1	0.920**
Skin						1

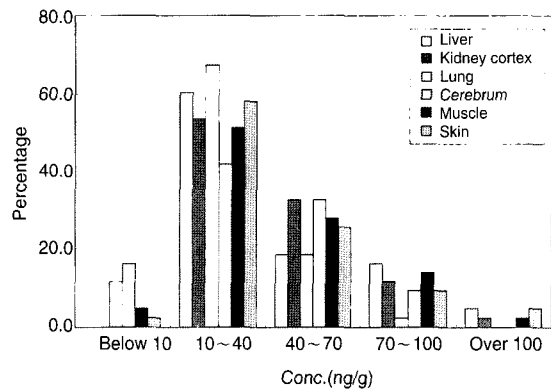
Figures in the table are correlation coefficients between tissues which are significant at 1% (\*\*).

장기조직 중 비소의 함량은 서구인에 비해 약간 높았으나, 일본인 및 중국인과는 유사하거나 약간 낮게 나타났다.

**4. 한국인 인체 장기조직 중 비소 분포의 특성**

한국인 인체 장기조직 중 비소 함량은 성별에 따른 차이점을 관찰할 수 없었으나 (Table 3), 거주지역별로 조사하여 보니, Table 4에서 보는 바와 같이 모든 장기조직에서 서울경기지역에 거주하다 사망한 사람이 호남지역에 거주하다 사망한 사람보다 통계학적으로 유의성있게 높게 나타났으며, 그 함량은 약 2배 가량 높았다. 이는 거주지역에 따른 환경오염의 정도 및 식품섭취의 차이에 의한 것으로 사료되나, 거주지역별 환경 및 식품 중 비소함량의 측정 등 역학조사를 거쳐야만 더욱 정확한 원인이 밝혀질 것으로 생각된다.

장기조직 중 비소의 함량과 연령과의 상관성을 측정한 결과 대뇌를 제외한 전 조직에서 유의성있는 상관성이 발견되지 않았다 (Table 5). 장기조직간 비소함량에 대한 상관성을 살펴보았는데 Table 6에서 보는 바와 같이 비소는 측정된 모든 장기조직에서 조직간 유의성있는 상관성이 나타났다. 이는



**Fig. 1.** The ratio (%) of subjects by the concentration of arsenic in Korean human tissues.

비소가 장기조직에 고르게 분포되어 있음을 나타낸다. 장기조직내 비소함량의 분포를 살펴보면 Fig. 1에서 보는 바와 같이 10~40 ppb 범위에서 대뇌 (42%)를 제외한 모든 장기조직에서 50% 이상의 높은 비율로 검출되었다.

**결 론**

2002년 4월부터 동년 10월까지 서울의 국립과학수사연구소 본소에 부검의뢰된 서울경기지역에 거주하다 사망한 사체 (남 10구, 여 13구)와 전라남도 장성군에 위치한 국립과학수사연구소 서부 본소에 부검 의뢰된 호남지역에 거주하다 사망한 사체 (남녀 각 10구) 중 약물중독이나 내인성 질환이 없는 사체를 무작위로 선정하여 인체부위별 장기 (간장, 폐, 신장피질, 대뇌, 복부근육 및 복부 피부조직)를 채취하여 장기조직내 비소의 함량을 측정하였다. 장기조직 중 비소의 함량은 습식회화법과 microwave를 이용한 분해법 등의 시험법에 대해 시험에 소요되는 시간 및 시험방법에 따른 회수율 등을 검토한 결과 질산-과산화수소를 사용하여 microwave로 분해하는 방법이 가장 좋은 결과를 보여주었다. 이 방법에 의해 한국인 장기조직중 비소의 함량을 측정한 결과 비소의 함량은 간장, 신장피질, 근육 및 피부조직 등에 대체로 고르게 분포되어 있는 것으로 나타났으며, 대뇌 및 폐에서는 이들보다 약간 낮았다. 이 중 간장에서 평균 44.556

±25.199 ppb로 측정되어 가장 많이 함유한 장기로 나타났으며, 근육, 신장피질 및 피부에서는 평균 43.415±26.619 ppb, 42.652±22.082 ppb 및 42.106±25.831 ppb, 대뇌와 폐에는 평균 35.703±22.591 ppb 및 31.020±17.504 ppb를 함유되어 있는 것으로 나타났다. 이 수치는 서구인에 비해 약간 높았으나, 일본인 및 중국인과는 유사하거나 약간 낮게 나타났다. 한국인 인체 장기조직중 비소 분포의 특성을 살펴보면, 한국인 인체 장기조직 중 비소 함량은 성별에 따른 차이점을 관찰할 수 없었으나, 거주지역별로 조사하여 보니 모든 장기조직에서 서울경기지역에 거주하다 사망한 사람이 호남지역에 거주하다 사망한 사람보다 통계학적으로 유의성있게 높게 나타났는데, 이는 거주지역에 따른 환경오염의 정도 및 식품섭취의 차이에 의한 것으로 사료되나, 거주지역별 환경 및 식품 중 비소함량의 측정 등 역학조사를 거쳐야만 더욱 정확한 원인이 밝혀질 것으로 생각된다.

장기조직 중 비소의 함량과 연령과의 상관성을 측정된 결과 대뇌를 제외한 전 조직에서 유의성있는 상관성이 발견되지 않았다. 장기조직간 비소함량에 대한 상관성을 살펴보았는데 비소는 측정된 모든 장기조직에서 조직간 유의성있는 상관성이 나타났다. 이는 비소가 장기조직에 고르게 분포되어 있음을 나타낸다.

### 감사의 말씀

이 연구는 국립독성연구원/식품의약품안전청 2002년도 독성물질국가관리사업 연구비에 의해 수행되었습니다. 지원에 감사 드립니다.

### 참고 문헌

오수창, 유영찬, 심창무. 방사화 분석에 의한 한국인의 인체장기 특히 간장 중에서의 비소함량 제측에 관하여, 국립과학수사연구소연보 1968; 7: 209-212.  
 衛生試驗法註解, 日本藥學會編, 金原出版(株), 2000.  
 Aalbers TG, Houtman JP and Makkink B. Trace-element concentrations in human autopsy tissue, Clin. Chem. 1987; 33: 2057-2064.  
 Baumgardt B, Jackwerth E, Otto H and Toelg G. Trace

analysis to determine heavy metal load in lung tissue, Int. Arch. Occup. Environ. Health 1986; 58: 27-34.  
 Beijer K and Jernelov A. Sources, transport and transformation of metals in the environment, Handbook of the Toxicology of Metals, 2nd ed., General Aspects. Vol 1, In Friberg L., Nordberg G.F. and Vouk V.B. (eds), Elsevier, Amsterdam 1986; pp. 68.  
 Beneš B, Jakubec K, Šmid J and Spěváčková V. Determination of thirty-two elements in human autopsy tissues, Biological Trace Elements Research 2000; 75: 195-203.  
 Borgono JM, Vicent P, Venturino H and Infante A. Arsenic in the drinking water of the city of Antofagasta: epidemiological and clinical study before and after the installation of a treatment plant, Environ. Health Perspect. 1977; 19: 103-105.  
 Cappon CJ and Smith JC. Mercury and selenium content and chemical form in human and animal tissue, J. Anal. toxicol. 1981; 5: 90-98.  
 Chen CJ, Chen CW, Wu MM and Kuo TL. Cancer potential in liver, lung, bladder and kidney due to ingested inorganic arsenic in drinking water, Br. J. Cancer 1992; 66: 888-892.  
 Chiou HY, Hsueh YM, Liaw KF, Horng SF, Chiang MH, Pu YS, Lin JS, Huang CH and Chen CJ. Incidence of internal cancers and ingested inorganic arsenic : a seven-year follow-up study in Taiwan, Cancer Res. 1995; 55: 1296-1300.  
 Friberg L, Elinder CG, Kjellstrom T and Nordberg GF. Cadmium and Health, A toxicological and Epidemiological Appraisal. General Aspects. Effects and Response. vol. 1, 2, CRC Press, Boca Raton, FL 1986.  
 Guha Mazumder DN, Chakraborty AK, Ghose A, Gupta JD, Chakraborty DP, Dey SB and Chattopadhyay N. Chronic arsenic toxicity from drinking tubewell water in rural West Bengal, Bull. World Health Organ. 1988; 66: 499-506.  
 Hirano S. Evaluation of pulmonary toxicity of heavy metal compounds, Jpn. J. Hyg. 1996; 50: 1013-1025.  
 Klinische MH, Wernisch J, Lill W, Fuchsjaeger E and Watzekr G. Heavy metal deposits in pathologically modified hard tissues. Clinical and experimental studies, Wien Med Wochenschr. 1985; 135: 523-525.  
 Kondo N, Ota N, Nakai I and Sasaki A. Synchrotron radiation-induced total-reflection X-ray fluorescence analysis of Cu and Zn in carcinoma tissues obtained by a biopsy, Bunseki Kagaku 1997; 46: 957-964.  
 Kraus T, Quidenus G and Schaller KH. Normal values for arsenic and selenium concentrations in human lung tis-



- sue, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2000; 38: 384-389.
- Liebscher K and Smith H. Essential and nonessential trace elements. A method of determining whether an element is essential or nonessential in human tissue, *Arch. Environ. Health* 1968; 17: 881-890.
- Morris RD. Drinking water and cancer, *Environ. Health Perspect.* 1995; 103(8): 225-231.
- Shannon RL and Strayer DS. Arsenic-induced skin toxicity, *Hum. Toxicol.* 1989; 8: 99-104.
- Smith H. The distribution of antimony, arsenic, copper and zinc in human tissue, *J. Forensic Sci. Soc.* 1967; 7: 37-45.
- Sugiyama S, Noda H, Tatsumi S, Yamaguchi M, Furutani A, Yasui M and Yoshimura M. Comparison of heavy metal concentrations in human umbilical cord in 1980 and 1990, *Jpn. J. Legal Med.* 1996; 50: 412-415.
- Sumino K, Hayakawa K, Shibata T and Kitamura S. Heavy metals in normal Japanese tissues. Amounts of 15 heavy metals in 30 subjects, *Arch. Environ. Health* 1975; 30: 487-494.
- Taylor PR, Qiao YL, Schatzkin A, Yao SX, Lubin J, Mao BL, Rao JY, McAdams M, Xuan XZ and Li JY. Relation of arsenic exposure to lung cancer among tin miners in Yunnan Province, China, *Br. J. Ind. Med.* 1989; 46: 881-886.
- Tipton IH and Cook MJ. Trace elements in human tissue: II. Adult subjects from the United States, *Health Physics* 1963; 9: 103-145.
- Tseng WP. Effects and dose-response relationships of skin cancer and blackfoot disease with arsenic, *Environ. Health Perspect.* 1977; 19: 109-119.
- US Environmental Protection Agency, Interim Primary Drinking Water Standards, *Fed. Reg.* 1975; 40: pp. 990.
- Whitacre RW and Pearse CS. Arsenic and Environment, *Mineral Industries Bulletin, Colorado, School of Mines* 1972; pp. 1.
- Wildfang E, Healy SM and Aposbjan HV. Arsenic, In *molecular biology and toxicology of metals* (ed. Zalups R.K. and Koropatnick J.), Taylor and Francis, London and New York 2000; pp. 75-112.
- Yoo YC, Lee SK, Yang JY, Kim KW, Lee SY and Chung KH. Interrelationship between the concentration of toxic and essential elements in Korean tissue, *J. Health Sci.* 2002a; 48: 195-200.
- Yoo YC, Lee SK, Yang JY, In SW, Kim KW, Chung KH, Chung MG and Choung SY. Organ distribution of heavy metals in autopsy material from normal Korean, *J. Health Sci.* 2002b; 48: 186-194.
- Yoo YC, Lee SK, Yang JY, Kim KW, Lee SY and Chung KH. Relationships in Cd, Hg, Pb and Zn concentrations between hair and internal organs of Korean, *Kor. J. Environ. Toxicol.* 2002c; 17: 21-27.
- Yukawa M, Amano K, Suzuki-Yasumoto M and Terai M. Distribution of trace elements in the human body determined by neutron activation analysis, *Arch. Environ. Health* 1980; 35: 36-44.
- Zhuang GS, Wang YS, Tan MG, Zhi M, Pan WQ and Cheng YD. Preliminary study of the distribution of the toxic elements As, Cd, and Hg in human hair and tissues by RNAA, *Biol. Trace Elem. Res.* 1990; 26: 729-736.