한국환경보건학회지, 제38권 제6호(2012)
J Environ Health Sci, 2012: 38(6): 482-492

http://dx.doi.org/10.5668/JEHS.2012.38.6.482
[원 저]

비산단지역 환경오염 수준 및 주민의 생체지표 모니터링

김대선 · 안승철† · 류정민 · 유승도
국립환경과학원 환경보건연구과

Monitoring Study on Exposure Levels of Environmental Pollutants in Residents of a Non-Industrial Area, Korea

Dae-Seon Kim, Seung Chul Ahn†, Jung Min Ryu and Seung Do Yu
Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research

ABSTRACT

Objectives: The main purpose of this study is to produce background data which can be compared with data on vulnerable areas such as industrial complexes in Ulsan, SihwaBanwol, Gwangyang, Yeosu, Pohang, Cheongju and Daesan in Korea.

Methods: This study was performed on 1,007 local residents in Gangneung using personal questionnaires and medical check-up. Environmental pollutants including heavy metals in blood and urine were analyzed and the results are as follows.

Results: According to the results of medical check-up, 705 subjects were "Normal (A and B)", 232 subjects were "Disease doubtful (R1)" and 70 subjects were "High blood pressure or Diabetes doubtful (R2)". Regarding geometric mean concentration, blood lead was 1.57 μg/dL, urine cadmium was 0.82 μg/g-cr, urine mercury was 0.98 μg/g-cr and urine arsenic was 15.78 μg/g-cr. In the analysis of 11 kinds of VOCs in blood, vinyl chloride, 1,3-butadiene and dichloroethylene were not detected, while the detection rate of other chemicals was above 70% except chloroform(49.7%) and trichloroethylene(19.0%). In analysis of 16 kinds of PAHs in blood, 10 kinds showed more than 80% in detection rate. Also, detection rate of 4 kinds of PCBs in blood ranged 52 to 78%.

Conclusions: Compared with industrial compelxes, the concentration of blood lead was lower, while urine cadmium and mercury levels were similar. Also, urine arsenic ranged at a significant level. Further study is required to find the cause of regional differences in concentrations of environmental pollutants.

Keywords: environmental pollutants, exposure levels, non-industrial area

I. 서 론

최근 국내에서는 환경오염 문제를 대기, 수질과 같은 매체 중심에서 수용체 중심으로 접근해야 한다는 주장이 증가하고 있다. 또한 환경오염과 질환 발생 간의 관련성에 대한 연구결과가 지속적으로 발표되고 있으며, 세계보건기구(World Health Organization, WHO)[1]에서도 산업국가에서 발생하는 질병의 25~33%는 환경요인에 의해 발생하고 있다고 하였다.[2]

국립환경과학원에서는 우리나라의 주요 산업단지를 대상으로 지역의 환경오염이 주민의 건강에 미치는 영향을 지속적으로 조사하였으나 대부분 단기간 연구로 진행되어 환경오염의 장기노출에 의한 건강영향을 확인하지는 못하였다.[3] 이에 저농도 환경오

†**Corresponding auth**or: Environmental Research Complex, Hwangyeong-ro 42, Incheon, Tel: +82-32-560-7124, Fax: +82-32-568-2035, E-mail: ahn1019@korea.kr
Received: 15 October 2012, Revised: 13 November 2012

염물질의 장기간 노출로 인한 건강영향을 지속적으로 조사 및 평가하기 위해 지난 2003년부터 「산단지역 환경오염 노출 및 건강영향 감시사업」(산단사업)이 시작되었다.

2009년 시행된 「환경보건법」 제15조에서는 어린이, 노인, 임산부 등 민감한 계층과 산업단지, 폐광지역, 교통밀집지역 등 환경유해인자로 인한 건강영향의 우려가 큰 지역에 거주하는 주민에 대하여 환경유해인자가 건강에 미치는 영향을 지속적으로 조사평가할 수 있다고 명시되어[4] 산단사업은 대상지역을 확대하여 2012년 현재 8개 주요 국가산업단지지역에서 조사를 수행하고 있다.

산단사업의 대상지역에 확대됨에 따라 외부비교군 조사에 대한 필요성이 제기되었으며, 전문가회의를 통해 산단사업 지역과 지리적, 인구학적, 경제적, 환경 조건이 비슷한 해안지역인 강릉이 선정되었다[2].

본 연구는 국가산업단지와 같은 대규모 오염원이 없는 지역의 주민을 대상으로 환경오염물질 노출수준에 대한 조사를 통하여 산단사업과 같은 환경오염 취약지역의 조사 결과와 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대기환경자료 분석

강릉지역 및 산업단지지역의 아황산가스(SO_2), 이산화질소(NO_2), 일산화탄소(CO), 미세분진(PM_{10}), 오존(O_3) 농도수준을 대기오염자동측정망 자료[5]를 활용하여 비교하였다.

2. 연구대상 및 조사기간

본 연구의 대상자는 국립환경과학원에서 수행하였던 「강릉지역 주민건강영향조사 사업」[2,6]의 참여자를 대상으로 하였으며, 이 중 참여를 거부하는 주민은 대상자에서 제외하였다. 조사는 2010년 3월부터 7월까지 건강검진을 위해 방문한 지역 의료기관에서 수행되었다. 대상자들에게 연구 목적 및 내용, 방법, 동의 철회권 등에 대한 설명을 한 후 참여를 동의한 주민들에게 동의서를 얻었으며, 국립환경과학원의 생명윤리심의위원회(IRB)로부터 검토 및 승인을 받았다.

3. 생체시료 중 환경오염물질 분석

건강검진 시 채취한 혈액 및 요 시료 중 환경오염물질 개인노출 수준을 파악하였다. 혈액(whole blood)은 Heparin이 첨가된 진공채혈관에 8 mL를 채취하여 응고되지 않도록 충분히 교반 한 후, 1.5 mL Micro Tube로 분주하였다. 요(spot urine)는 Specimen Cup에 채취한 후 15mL Conical Tube에 분주하였으며 모든 생체시료는 분석 전까지 냉동보관(−20°C) 하였고 실험 전에 1시간 이상 교반하여 주었다. 요중 중금속의 최종 결과는 크레아티닌 농도로 보정한 후 μg/g-cr으로 나타내었으며 크레아티닌 농도가 0.5~2.0 g/L의 범위[7]를 벗어나는 시료는 최종 결과에서 제외하였고 생체시료 중 환경오염물질 분석 결과 중 검출한계(LOD) 이하 값에 대해서는 통계처리 시 1/2×LOD 값을 적용하였다.

1) 중금속

혈중 납과 요중 카드뮴은 SpectrAA-800(VARIAN®, Australia)을 이용하여 비불꽃방법으로 분석하였으며 LOD는 각각 0.01 μg/dL, 0.041 μg/L였다. 요중 수은은 시료를 Micro-wave(Q-wave 2000®, Canada)로 전처리하여 자동수은분석기(M6000, CETAC®, USA)을 이용하였으며 LOD는 0.003 μg/L였다. 요중 비소는 HPLC-ICP/MS(VARIAN®, Australia)로 Arsenobetaine, As^{3+}, As^{5+}, MMA, DMA로 종별 분석 후 As^{3+}, As^{5+}, MMA, DMA 값을 취하였으며, 각각의 LOD는 0.01 μg/L, 0.03 μg/L, 0.02 μg/L, 0.03 μg/L, 0.02 μg/L였다.

2) 유기화합물

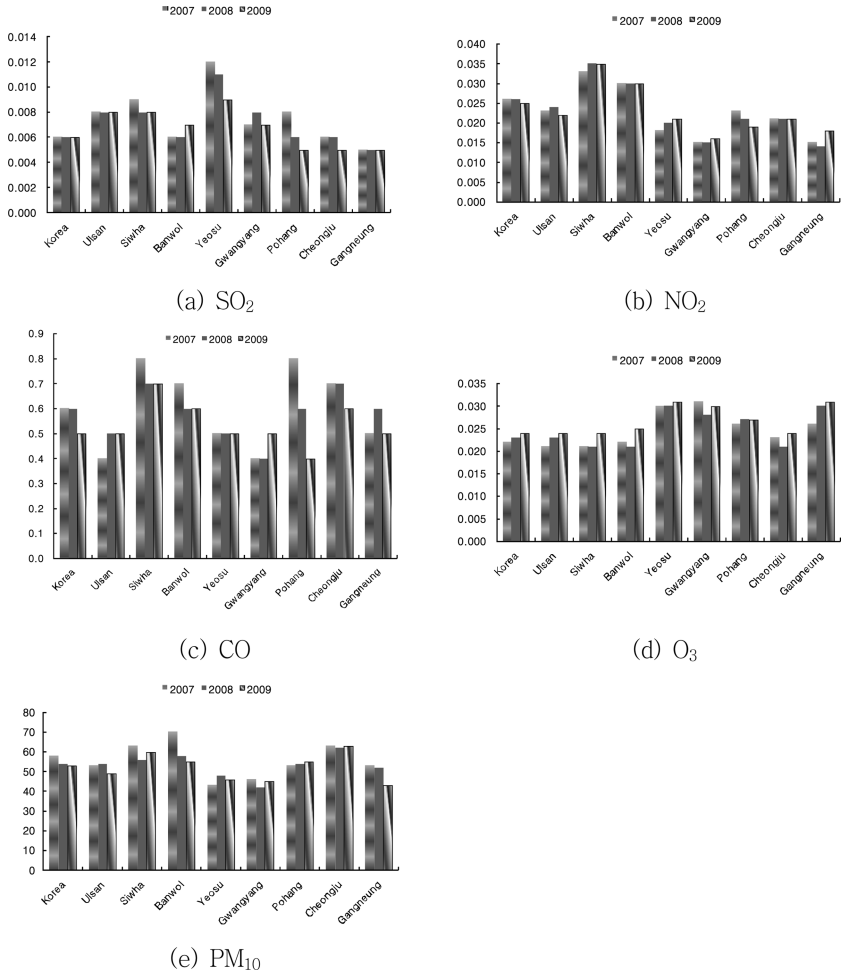
혈중 VOCs, PAHs, PCBs는 GC/MS(gas chromatography/mass spectrometer, Agilent®, USA)로 Headspace를 이용한 SPME(solid-phase micro extraction) 방법과 SIM(selected ion-monitoring) 방법으로 분석하였으며 각 분석물질은 다음과 같다.

● 휘발성 유기화합물(VOCs) : 11종

Vinyl Chloride, 1,3-Butadiene, Chloroform, Benzene, Trichloroethylene, Toluene, Dichloroethylene, Styrene, Ethylbenzene, m/p-Xylene, o-Xylene

● 다환방향족탄화수소류(PAHs) : 16종

Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene,



(a) SO_2 (b) NO_2

(c) CO (d) O_3

(e) PM_{10}

Fig. 1. Annual average concentration of air pollutants by study area.

Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(g,h,i)perylene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Dibenz(a,h)anthracene

• PCBs : 4종
IUPAC 118, IUPAC 138, IUPAC 153, IUPAC 180

4. 통계처리

설문조사, 건강검진 및 생체시료 중 중금속 분석 자료의 정리는 Excel(Microsoft office)을 이용하였으며, 통계분석은 SPSS program(ver. 13.0, SPSS Inc.)을 사용하였다. 측정된 변수들 사이의 관련성 분석에는 Chi-square test를 사용하였으며, 기대관측치 수가 5 미만인 cell이 있을 경우에는 Fisher의 정확도 검정(Fisher's exact test)을 시행하였다. 생체시료 중 환경오염물질 농도 평균의 차이검정은 log 변환 후 시행하였다.

III. 연구결과

1. 대기오염도 현황

대기오염자동측정망 자료 분석 결과, 2007년부터 2009년까지의 강릉지역의 연평균 SO_2 농도는 모두 0.005 ppm으로 변화가 없으며 울산, 시화반월, 여수, 광양 등 산업단지 지역에 비해 낮은 수준이었으며 연평균 대기환경기준인 0.02 ppm 이하였다. NO_2와 O_3의 경우에는 전국 및 산업단지 지역에 비해 낮았

Table 1. General characteristic of the study population

		Male	Female	Total
Study subject (N(%))	< 9	23 (5.2)	13 (2.3)	36 (3.6)
	10~19	79 (18.0)	84 (14.8)	163 (16.2)
	20~29	29 (6.6)	41 (7.2)	70 (7.0)
	30~39	39 (8.9)	93 (16.4)	132 (13.1)
	40~49	88 (20.0)	126 (22.2)	214 (21.3)
	50~59	72 (16.4)	116 (20.4)	188 (18.7)
	> 60	109 (24.8)	95 (16.7)	204 (20.3)
	Total	439 (100)	568 (100)	1,007 (100)
Age (year)	Children	10.48±1.98	10.75±1.75	10.62±1.87
	Youth	16.03±1.90	15.56±1.56	15.80±1.74
	Adults	50.45±13.63	47.34±12.41	48.64±13.01
	Total	41.64±20.05	41.40±17.34	41.50±18.56
Smoking* (N(%))	Current	118 (35.0)	9 (1.9)	127 (15.7)
	Stop	104 (30.9)	4 (0.9)	108 (13.4)
	None	115 (34.1)	457 (97.2)	572 (70.9)
Second hand smoking (N(%))	Yes	207 (47.2)	174 (30.6)	381 (37.8)
	No	232 (52.8)	394 (69.4)	626 (62.2)
Drinking* (N(%))	Current	266 (79.4)	235 (50.5)	501 (62.6)
	Stop	22 (6.6)	13 (2.8)	35 (4.4)
	None	47 (14.0)	217 (46.7)	264 (33.0)
Family income (month) (N(%))	< 2million won	138 (315.)	188 (33.3)	326 (32.5)
	2-4million won	214 (48.9)	260 (46.0)	474 (47.3)
	4-6million won	77 (17.6)	105 (18.6)	182 (18.1)
	> 6million won	9 (2.1)	12 (2.1)	21 (2.1)

* smoking and drinking : result of adults subject

으며 대기환경기준인 0.03 ppm, 0.06 ppm 이하였다. CO와 PM_{10}은 SO_2와 마찬가지로 거의 변화가 없었으나 PM_{10}의 경우, 2009년을 제외하고는 연간평균치인 50 $\mu g/m^3$를 초과하는 것으로 나타났다(Fig. 1).

2. 설문조사 및 건강검진 결과

1) 설문조사

본 연구에 참여한 강릉지역 주민은 총 1,007명으로 남성이 43.6%(439명)이었으며 여성이 56.4%(568명)로 여자가 약간 많았다(Table 1). 연령대별로는 40대가 21.3% (214명)로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 평균 연령은 41.5세였다.

성인 참여자의 15.7%인 127명은 현재 흡연 중이었으며, 62.6%인 501명은 현재 음주 중인 것으로 조사되었다. 조사참여자의 62.2%인 626명은 실내 간접흡연 경험이 없었으며, 월평균 가구수입은 47.3%가 200~400만원인 것으로 조사되었다(Table 1).

2) 건강검진

조사참여자의 현재 건강상태 파악을 위한 일반 건강검진 결과, 검진에 참여한 1,007명 중 70.0%인 705명은 정상A와 정상B, 23.0%인 232명은 일반질환의심인 R1, 7.0%인 70명은 고혈압, 당뇨병 질환의심인 R2였다. 각 임상검사 항목별 이상자 비율의 경우에는 2009년도 광양만[8]과 포항[9] 산단지역의 조사결과와 유사한 비율을 보여 강릉지역의 환경오염에 의한 이상 또는 질환이라고 판단되는 경우는 없었다.

3. 생체시료 중 환경오염물질 분석 결과

1) 혈액 및 요 중 중금속

Table 2. Results of heavy metal concentration in blood and urine

		Male	Female	Total	*p-value*‡
Pb in blood (μg/dL)	A.M±S.D*	1.89±0.83	1.71±0.75	1.79±0.79	0.003
	G.M†	1.66	1.49	1.57	
	Range	0.10~6.18	0.07~3.95	0.07~6.18	
	N	438	568	1,006	
Cd in urine (μg/g-cr)	A.M±S.D*	0.99±0.92	1.47±1.23	1.25±1.14	0.000
	G.M†	0.64	0.98	0.82	
	Range	0.07~5.77	0.07~6.29	0.07~6.26	
	N	287	382	669	
Hg in urine (μg/g-cr)	A.M±S.D*	1.35±1.13	1.63±2.19	1.51±1.82	0.126
	G.M†	0.91	1.03	0.98	
	Range	0.01~6.50	0.01~31.22	0.01~31.22	
	N	287	382	669	
As in urine (μg/g-cr)	A.M±S.D*	18.85±18.74	20.71±16.26	19.91±17.38	0.068
	G.M†	14.95	16.44	15.78	
	Range	1.82~252.44	1.29~128.79	1.29~252.44	
	N	287	382	669	

* : Arithmetic Mean±Standard Deviation, † : Geometric Mean, ‡ : Independent-Samples t-test

Table 3. Exceeding rate for reference values by heavy metal concentration

	N	Exceeding rate (N,%)	Reference values
Pb in blood	1,006	-	HBM I*
Cd in urine	669	156 (23.3)	HBM I†
Hg in urine	669	15 (2.2)	HBM I‡
As in urine	669	50(7.5)	ACGIH BEI's§

* : Children ≤ 12 years and females in the reproductive age 10 μg/dL, Males and females > 45 years 15 μg/dL
† : Children, males and females < 25 years 1 μg/g-cr, Adults>25 years2 μg/g-cr
‡ : Children and adults 5 μg/g-cr
§ : Inorganic arsenic plus methylated metabolites 35 μg/L

조사참여자의 혈중 납, 요중 카드뮴, 수은 및 비소 분석결과는 Table 2에 나타내었다. 혈중 납 기하평균은 1.57 μg/dL로 남성은 1.66 μg/dL, 여성은 1.49 μg/dL로 남성이 통계적으로 유의하게 높게 조사되었다($p<0.01$). 요중 카드뮴의 경우에는 0.82 μg/g-cr(남성 0.64 μg/g-cr, 여성 0.98 μg/g-cr)로 여성이 유의하게 높은 수준이었다. 요중 수은은 0.98 μg/g-cr(남성 0.91 μg/g-cr, 여성 1.03 μg/g-cr), 요중 비소는 15.78 μg/g-cr(남성 14.95 μg/g-cr, 여성 16.44 μg/g-cr)로 여성이 남성에 비해 높은 수준이었으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다($p>0.05$).

각 중금속별로 독일연방환경청(German Federal Environmental Agency)의 HBM(Human Biological Monitoring) 값[10]과 미국산업위생가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 BEI's(Biological Exposure Indices) 값[11]의 초과율은 Table 3에 나타내었다. 혈중 납은 HBM 값 초과자가 없었으며, 미국질병관리본부(CDC)에서 권고하는 어린이의 혈중 납 농도수준(10 μg/dL)[12]을 초과하는 대상자 역시 없는 것으로 나타났다. 요중 카드뮴은 HBM I값 초과자가 156명(23.3%), 요중 수은은 15명(2.2%)이었으며 요중 비소는 50명(7.5%)이 ACGIH BEI's 값 초과자였다.

2006년과 2008년의 「강릉지역 주민건강영향조사

Table 4. Results of heavy metal concentration according to study year

		2006	2008	2010	p-value
Pb in blood (μg/dL)	N	1,032	634	1,006	
	A.M±S.D*	1.69±1.13	1.76±1.00	1.79±0.79	0.000‡
	G.M†	1.38[a]	1.56[a]	1.57[a]	
Cd in urine (μg/g-cr)	N	1,031	597	669	
	A.M±S.D*	1.62±1.76	1.43±1.05	1.25±1.14	0.000‡
	G.M†	1.03[b]	1.09[c]	0.82[b,c]	
Hg in urine (μg/g-cr)	N	1,031	597	669	
	A.M±S.D*	2.20±1.64	1.91±2.27	1.51±1.82	0.000‡
	G.M†	1.80[d]	1.22[d,e]	0.98[d,e]	
As in urine (μg/g-cr)	N	-	538	669	
	A.M±S.D*		8.87±5.64	19.91±17.38	0.000§
	G.M†		7.37	15.78	

* : Arithmetic Mean ± Standard Deviation, † : Geometric Mean, ‡ : One-Way ANOVA, § : Independent-Samples t-test

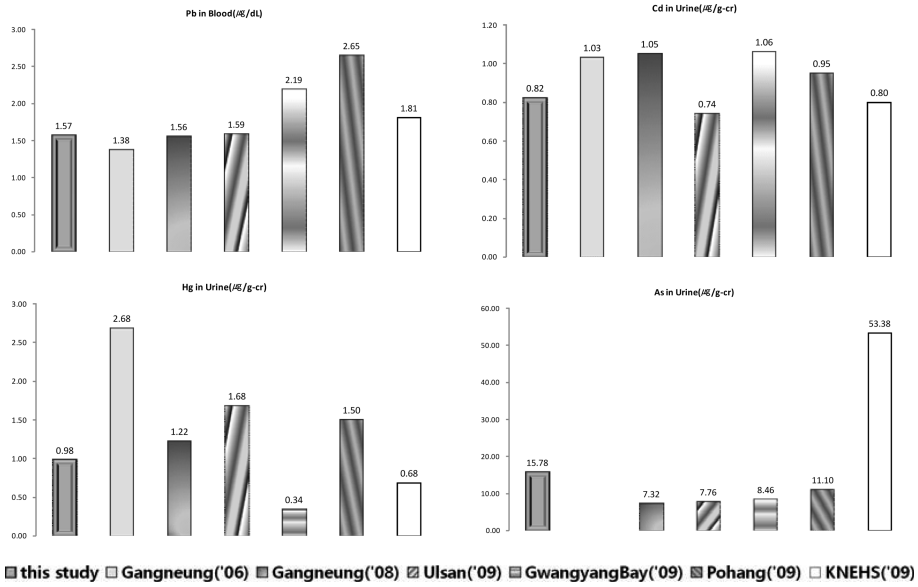


Fig. 2. Heavy metals concentration according to study area.

사업」[2,6]과 비교한 결과(Table 4), 혈중 납은 2006년에 비해 2008년과 본 연구의 결과가 유의하게 높은 수준이었으며, 요중 카드뮴과 수은은 본 연구의 결과가 유의하게 낮았다. 요중 비소의 경우에는 2008년에 비해 본 연구가 유의하게 높은 수준이었다.

조사 지역에 따른 혈액 및 요중 중금속 농도는 Fig. 2에 나타내었다. 혈중 납은 2009년도 국민환경보건기초조사[13]의 전국 평균(1.81 μg/dL)과 유사한 수준이었으며, 2009년도 광양만(2.19 μg/dL) 및 포항(2.65 μg/dL)에 비해서는 낮았다. 요중 카드뮴과 요중 수은은 전국 평균(각각 0.80 μg/g-cr, 0.68 μg/g-cr)과 유사했으며 요중 비소는 전국 평균에 비해 낮았으나, 울산,[14] 광양만, 포항에 비해서는 높았다.

2) 혈액 중 유기화합물

혈액 중 유기화합물은 조사참여자 1,007명 중 300

Table 5. Results of VOCs concentration in blood (Unit : μg/L)

	A.M±S.D*	G.M†	Range	Detection rate (N (%))	LOQ
Chloroform	0.10±0.17	0.02	N.D‡~1.39	149(49.7)	0.01
Benzene	0.26±0.22	0.18	N.D~1.69	292(97.3)	0.01
Trichloroethylene	0.01±0.02	0.01	N.D~0.30	57(19.0)	0.01
Toluene	0.62±0.75	0.21	N.D~6.33	247(82.3)	0.01
Styrene	0.13±0.06	0.12	0.05~0.49	300(100)	0.01
Ethylbenzene	0.13±0.21	0.04	N.D~1.45	222(74.0)	0.01
m/p-Xylene	0.25±0.21	0.18	N.D~1.39	298(99.3)	0.01
o-Xylene	0.24±0.19	0.17	N.D~1.44	295(98.3)	0.01
Vinyl Chloride			N.D		0.01
1,3-Butadiene			N.D		0.01
Dichloroethylene			N.D		0.01

* : Arithmetic Mean ± Standard Deviation, † : Geometric Mean, ‡ : Not Detected

Table 6. Results of PAHs and PCBs concentration in blood (Unit : μg/L)

	A.M±S.D*	G.M†	Range	Detection rate (N (%))	LOQ
Naphthalene	0.29±0.36	0.15	N.D‡~2.78	293(97.7)	0.01
Fluorene	0.84±0.68	0.60	N.D~3.72	299(97.7)	0.01
Phenanthrene	1.18±0.92	0.86	N.D~4.72	299(99.7)	0.01
Anthracene	0.11±0.08	0.08	N.D~0.50	298(99.3)	0.01
Fluoranthene	0.39±0.35	0.25	N.D~1.95	298(99.3)	0.01
Pyrene	0.84±0.71	0.57	N.D~3.64	299(99.7)	0.01
Benzo(a)anthracene	0.02±0.07	0.01	N.D~0.80	25(8.3)	0.02
Chrysene	0.15±0.20	0.09	N.D~2.20	279(93.0)	0.02
Benzo(b)fluoranthene	0.12±0.33	0.06	N.D~4.09	254(84.7)	0.02
Benzo(k)fluoranthene	0.09±0.24	0.04	N.D~3.10	206(68.7)	0.02
Benzo(a)pyrene	0.04±0.12	0.02	N.D~1.46	136(45.3)	0.02
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.58±1.97	0.32	0.02~30.79	300(100)	0.02
Dibenz(a,h)anthracene	2.36±10.00	1.00	N.D~151.90	300(100)	0.02
Benzo(g,h,i)perylene	0.14±0.83	0.03	N.D~12.57	170(56.7)	0.02
Acenaphthylene			N.D		0.01
Acenaphthene			N.D		0.01
PCB 118	0.01±0.01	0.004	N.D~0.07	235(78.3)	0.001
PCB 138	0.02±0.03	0.005	N.D~0.20	181(60.3)	0.001
PCB 153	0.01±0.02	0.003	N.D~0.12	157(52.3)	0.001
PCB 180	0.01±0.02	0.005	N.D~0.17	221(73.7)	0.001

* : Arithmetic Mean±Standard Deviation, † : Geometric Mean, ‡ : Not Detected

명(남자 150명, 여자 150명)을 무작위 추출하여 총 300건의 혈액 시료를 분석하였다. 11종의 혈중 VOCs 분석 결과 Chloroform(49.7%)과 Trichloroethylene (19.0%)을 제외하고는 70% 이상의 검출률을 보였고 Vinyl Chloride, 1,3-Butadiene, Dichloroethylene 3종은 불검출 되었다(Table 5).

혈중 PAHs와 PCBs 분석결과는 Table 6에 나타내었다. 혈중 PAHs 16종 분석 결과, Acenaphthylene과 Acenaphthene은 불검출 되었고 Benzo(a)anthracene이 8.3%(25명)으로 가장 낮은 검출률을 보였으며 나머지 13종은 높은 검출률을 보였다. 혈중 PCBs 4종은 52.3~78.3%의 검출률을 보였으나 낮은 농도 수준이었다.

IV. 고 찰

환경오염에 의한 건강영향의 규모를 추정하는 방법은 단기노출과 장기노출로 인한 영향을 모두 고려해야 하는 것으로 알려져 있다.[15] 우리나라 산업단지 주민을 대상으로 저농도 환경오염물질의 장기간 노출에 의한 건강영향을 지속적으로 조사 및 평가하기 위한 산단사업의 외부비교군 조사는 지난 2006년 시작되었으며, 본 연구는 강릉지역의 3차년도 연구로 강릉지역 주민의 혈액 요 중 중금속 및 유기화합물의 농도수준을 조사하였다.

납은 신경세포 사이의 자극전달속도를 감소시키며, 소아의 중추신경계 발달에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 성인은 혈중 납 농도가 50 μg/dL 이상일 때 신체적 이상이 나타나는데 비해 소아의 경우에는 10 μg/dL 수준에서도 신경행동기능이 감소하고 10 μg/dL씩 증가함에 따라 지능지수가 2~6씩 감소하는 것으로 알려져 있으며,[16] 미국 질병관리본부(CDC)의 소아 혈중 납 농도 허용기준[12]도 10 μg/dL 이다. 본 연구의 혈중 납은 1.57 μg/dL 수준으로 독일 HBM I값 초과자는 없었으며, 2009년도 국민환경보건기초조사[13]의 전국 평균인 1.81 μg/dL와 유사하였고 국내의 일반 인구의 혈중 납 농도범위인 2.0~4.0㎍/dL[17,18]보다 낮았다. 그러나 최근 독일 HBM 값에서 혈중 납 기준이 보류(suspended)되는 것[19]과 같이 권고기준이 계속 낮아지고 있어 어린이, 임산부 등과 같은 민감계층에 대해서는 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

카드뮴은 인체 내에서 반감기가 10~30년으로 길고,[20] 저농도 노출에서도 독성 영향이 나타나는 것[21]으로 알려져 있다. 장시간 카드뮴이 축적되면 신장의 세뇨관에 영향을 미쳐 재흡수 기능이 저하되며 카드뮴의 증가는 신장 세뇨관의 질환을 초래하고,[22] 칼슘, 비타민 D 등의 대사활동을 방해하며 골밀도를 감소시킨다고 알려져 있다.[23] 본 연구의 요중 카드뮴 농도는 0.82 μg/g-cr로 독일(0.178 μg/g-cr),[24] 미국(0.281 μg/g-cr)[25]에 비해 높은 수준이었으나, 전국 평균과 유사한 수준이었으며 산업단지 지역과도 큰 차이를 보이지 않았다. 우리나라 일반 인구집단 내 카드뮴 유입 경로는 쌀로 알려져 있으며,[26] 쌀 소비가 적은 서부 아시아인보다 한국, 일본, 중국과 같이 쌀 소비가 많은 북동부 아시아인들의 카드뮴 농도가 높은 것으로 알려져 있다.[27]

수은은 금속수은, 무기수은, 유기수은의 3가지 형태로 존재하며, 수은을 취급하지 않는 일반인에게서는 소화기계가 주요 노출 경로로 알려져 있다.[28] 독일의 GerES Ⅲ(German Environmental Survey) 등에 따르면 어패류 섭취 빈도가 높을수록, 아말감 충진 치료를 한 치아가 많을수록 체내 수은 농도가 증가한다고 하였다.[29-32] 본 연구의 요중 수은 농도는 0.98 μg/g-cr로 울산과 포항산업단지의 조사결과에 비해서는 낮은 수준이었으며 환경조건과 식습관이 다른 이탈리아 도시들에 거주하는 400명을 대상으로 한 연구결과인 0.78 μg/g-cr과 유사하였다.[33] 또한 2010년 우리나라 경남지역 성인 약 2,000명을 대상으로 한 연구에서는 1.56 μg/g-cr 수준이었으며 통계적으로 유의한 수준은 아니었으나, 어패류 섭취량에 따라 요중 수은 농도가 증가하는 경향을 보였다[34]. 직업적 노출이 아닌 일상생활에서의 수은 노출은 대부분 생선 섭취로 인한 유기 수은 형태로 노출한다고 알려져 있다.[34] 요중 수은은 6개월 이상 만성적 무기수은 노출을 반영할 수 있는 지표로 후속연구에서는 생선 섭취와 관련된 식이사항과 혈중 수은에 대해 조사하여 강릉지역 주민의 수은 노출 수준에 대해 평가할 필요할 것으로 사료된다.

비소는 지각 중의 자연부존 함량이 20번째로 많이 존재하는 물질로 지역에 따라 자연적으로 지표면에 1.5~2 ppm 정도 존재하는 것으로 알려져 있다.[35] 비소 노출에 의한 급성독성은 피부, 점막 및 결막에 대한 국소자극작용이며 만성노출은 피부, 호흡기계, 신경계, 간, 심순환계 및 조혈계에 부작용을 초래하며, 피부와 호흡기계에 암을 유발할 수 있다. 비소의 주요 인체 노출원인 해산물 중의 비소는 대부분 유기비소로서 인체에 무독한 것으로 알려져 왔으나 최근에 일부 유기비소는 DMA(dimethylarsenic acid)로 변환되어 인간에게 잠정적인 독성을 나타낸다고

보고되었다.[36,37] 비소에 대한 인체 노출평가는 고농도 비소에 오염된 지하수를 사용하는 주민들을 대상으로 한 연구가 많이 진행되었으며[38] 본 연구 결과인 15.78 μg/g-cr보다 높은 수준이었다. 우리나라에서는 산단사업과 함께 폐금속광산 지역주민을 대상으로 한 건강영향조사사업에서 본 연구와 동일한 요중 비소(As^{3+}, As^{5+}, MMA, DMA)를 조사하였으며 본 연구결과에 비해 낮은 수준이었다. 그러나 우리나라의 20세 이상 성인 약 4,000명에 대한 조사결과에서는 41.1 μg/g-cr 수준으로 본 연구에 비해 높은 수준이었다.[39] 우리나라 조사결과에서 이러한 차이가 보인 것은 분석방법의 차이에 기인한 것으로 사료되는데 본 연구에서는 HPLC-ICP/MS를 이용하여 종별 분리 분석법을 사용하였으며, 다른 조사에서는 대부분 측정이 간편하고 경비가 저렴한 수소화물 증기발생기가 부착된 원자흡수분광광도계(atomic absorption spectrometry coupled to hydride generation, HG-AAS)를 이용하였다.[37,40] 또한 HG-AAS를 이용한 요중 비소 분석은 사용하는 이동산의 종류와 그 농도에 따라 측정값과 회수율에 차이가 나타난다는 보고도 있다.[37] 그러나 분석방법의 차이 외에도 조사 대상자의 인구학적 특성, 식이사항 등에 따라 차이가 발생할 수도 있으므로 이와 같은 차이를 확인하기 위한 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

혈액 중 유기화합물 분석 결과, 일부를 제외하고는 모두 50% 이상의 검출률을 보였으나, 2009년도 광양만과 포항산단지역의 조사결과와 유사한 수준이었다. Toluene, Ethylbenzene, Trichloroethylene 등 일부 혈중 VOCs의 경우에는 ACGIH의 잠정적인 최대허용농도(Tentative Maximum Permissible Concentration, TMPC)를 초과하는 대상자는 없었으며, 혈중 PCBs는 독일연방환경청의 일반인 참고치[31]를 초과하는 대상자는 없었다.

본 연구의 혈액 중 유기화합물 농도는 국외의 일부 관련 연구결과[31,41,42]와 산단사업의 결과와 비교했을 때 낮은 수준이었으나, 일부 대상자의 혈액시료 분석결과로 강릉지역의 대푯값으로 제시할 수 있을지에 대한 고려가 필요하다. 또한 낮은 농도수준이라도 검출되고 있는 것을 볼 때 인체 내 독성이 높으며, 생체 내 안정성 및 잔류성 등을 고려하여 이들 물질의 생체 내 대사물질 조사를 병행할 필요가 있을 것이다.

V. 결 론

본 연구는 강릉지역 주민 1,007명을 대상으로 건강검진과 혈액 및 요중 환경오염물질을 분석하여 산단지역 조사결과와 비교하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

건강검진 결과, 대상자의 70.0%가 정상A와 정상B였으며, 강릉지역의 환경오염에 의한 이상 또는 질환이라고 판단되는 경우는 없었다. 혈액 및 요중 중금속 분석 결과, 혈중 납, 요중 카드뮴과 요중 수은은 산단지역보다 약간 낮았으며, 요중 비소는 약간 높았으나 전국 평균에 비해 낮았다. 혈중 유기화합물 분석 결과, 일부를 제외하고는 50% 이상의 검출률을 보였으나 산단지역과 유사한 비율을 보였다. 생체시료 중 환경오염물질 농도는 지역의 환경영향뿐 아니라 식이, 흡연, 직업력 등 개인적인 요인에 의해서도 다양한 영향을 받을 수 있어 지역간의 차이를 확인할 수 있는 지속적인 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

1. World Health Organization. The world health report 2002 - Reducing Risks, Promoting Health Life. 2002
2. National Institute of Environmental Research. Monitoring on Exposure Levels and Biomarker Exposed Environmental Pollutants for Residents (Gangneung, 1st Year). 2006.
3. Ministry of Environment. Report on Health Surveillance Project for Inhabitants in the Vicinity of Industrial Complex Area (1980-1994), 1994.
4. Ministry of Environment. Environmental Health Act. 2009.
5. Ministry of Environment. Annual report of ambient air quality in Korea. 2007~2009.
6. National Institute of Environmental Research. Monitoring on Exposure Levels and Biomarker of Environmental Pollutants in Gangneung (The 2nd year). 2008.
7. Arndt T. Urine-creatinine concentration as a marker of urine dilution: Reflections using a cohort of 45,000 samples. *Forensic Sci Int.* 2009; 186(1-3): 48-51.
8. National Institute of Environmental Research. A Prospective Cohort Study of Environmental Pollutants: a study in industrial complex area (Gwangy-

ang bay, 3rd year). 2009.
9. National Institute of Environmental Research. A Prospective Cohort Study of Environmental Pollutants: a study in industrial complex area (Pohang, 4th year). 2009.
10. Ewers U, Krause C, Schulz C, Wilhelm M. Reference values and human biological monitoring values for environmental toxins: Report on the work and recommendations of the commission on human biological monitoring of the german federal environmental agency. *Int Arch Occup Environ Health.* 1999; 72: 255-260.
11. American Conference of Governmental Industrial Hygienist. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. 2006.
12. Centers for Disease Control and Prevention. Screening young children for lead poisoning: Guidance for state and local public health officials. 1997.
13. National Institute of Environmental Research. The First Satge ('09~'11) 1st Year Annual Report on Korean National Environmental Health Survey. 2009.
14. National Institute of Environmental Research. A Prospective Cohort Study of Environmental Pollutants: a study in industrial complex area (Ulsan, 6th year). 2009.
15. Lee JT, Cho YS, Son JY, Lee JW, Lee SJ, Chung YH, et al. A study of monitoring method on exposure level and biomarkers of environmental pollutants -focused on ulsan industrial complex area-. *J. Env. Hlth. Sci.* 2008; 34(3); 188-198.
16. Hayes EB. The hazard of lead to children: In environmental medicine Mosby-Year Book. St. Louis. 1995; 383-397.
17. Park SW, Kim KY, Kim DW, Choi SJ, Kim HS, Choi BS, et al. The relation between blood lead concentration and epidemiologic factors and body iron status. *J Environ Toxicol.* 2006; 21: 153-162.
18. Park JU, Oh SW, Kim SH, Kim YH, Park RJ, Moon JD. A study on the association between blood lead levels and habitual tobacco and alcohol use in Koreans with no occupational lead exposure. *Korean J Occup Environ Med.* 2008; 20: 165-173.
19. The German Federal Environment Agency. Health and Environmental Hygiene. Available: www.umweltdaten.de/gesundheit-e/monitor/tab-hbm-values.pdf[accessed 31 October 2012].
20. Staessen JA, Roels HA, Emelianov D, Kuznetsova T, Thijs L, Persson B, et al. Environment exposure to cadmium, forearm bone density, and risk of fractures: prospective population study. *The Lancet.* 1999; 353: 1140-1144.
21. Noonan CW, Sarasua SM, Campagna D, Kathman SJ, Lybarger JA, Mueller PW. Effects of exposure to low levels of environmental cadmium on renal biomarkers. *Environ Health Perspect.* 2002; 110(2): 151-55.
22. Jrup L, Hellstrm L, Alfvn T, Carlsson MD, Grubb A, Persson B, et al. Low level exposure to cadmium and early kidney damage: the OSCAR study. *Occup Environ Med.* 2000; 57(10): 668-672.
23. Jrup L, Alfvn T, Persson B, Toss G, Elinder CG. Cadmium may be a risk factor for osteoporosis. *Occup Environ Med.* 1998; 55(7): 435-439.
24. Becker K, Schulz C, Kaus S, Seiwert M, Seifert B. German environmental survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in the urine of the German population. *Int J Hyg Environ Health.* 2003; 206(1): 15-24.
25. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention. Forth National Report on Human Exposure to Environmental Chemical. Atlanta. 2009.
26. Moon CS, Zhang ZW, Shimbo S, Watanabe T, Moon DH, Lee CU, et al. Dietary intake of cadmium and lead among the general population in Korea. *Environ Res.* 1995; 71(1): 46-54.
27. National Institute of Environmental Research. Health Effects Survey of Abandoned Metal Mines(Chungnam, Chungbuk). 2011.
28. World Health Organizatio. Environmental health criteria 1-Mercury. Geneva. 1976.
29. Brune D, Nordberg GF, et al. A review of normal concentrations of mercury in human blood. *Sci Total Environ.* 1991; 100; 235-282.
30. Mahaffey K, Donna Mergler D, Blood levels of total and organic mercury in residents of the upper st. lawrence river basin, qubec: Association with age, gender, and fish consumption. *Environ Res.* 1998; 77(2): 104-114.
31. Becker K, Kaus S, et al. German environmental survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in blood of the German population, *Int J Hyg Environ Health.* 2002; 205(4): 297-308.
32. Gundacker C, Komarnicki G, et al. Whole blood mercury and selenium concentrations in a selected Austrian population: Does gender matter? *Sci Total Environ.* 2006; 372(1): 76-86.
33. Apostoli P, Cortesi I, et al., (2002), Assessment of reference values for mercury in urine: the results of an italian polycentric study. *Sci Total Environ.* 2002;

289: 13-24.
34. National Institute of Environmental Research. Survey of Mercury Exposure Level and Related Factors in Gyeongnam Province(I). 2010.
35. Murphy EA, Aucott M. An assessment of the amounts of arsenical pesticides used historically in a geographical area. *Sci Total Environ.* 1998; 218: 89-101.
36. Brima EI, Jenkins RO, Haris PI. Understanding arsenic metabolism through spectroscopic determination of arsenic in human urine. *Spectroscopy.* 2006; 20: 125-151.
37. Lee JW, Lee US, Hong SC, Jang BK. A study on the optimal analytical method for the determination of urinary arsenic by hydride generation-atomic absorption spectrometry. *J. Env. Hlth. Sci.* 2009; 35(5): 402-410.
38. National Institute of Environmental Research. Korea National Survey for Environmental Pollutants in Human Body. 2008.
39. Lee JW, Lee CK, Moon CS, Cho IJ, Lee KJ, Yi SM, et al. Korea national survey for environmental pollutants in the human body 2008: Heavy metals in the blood or urine of the Korean population. *Int J Hyg Environ Health.* 2012; 215: 449-457.
40. Lindberg AL, Goessler W, Grander M, Nermell B, Vahter M. Evaluation of the three most commonly used analytical methods for determination of inorganic arsenic and its metabolites in urine. *Toxicology.* 2006; 168(3); 310-318.
41. Buck GM, Vena JE, Greizerstein HB, Weiner JM, McGuinness B, Mendola P, et al. PCB congeners and pesticides and female fecundity. New york state angler prospective pregnancy study. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2002; 12: 83-92.
42. Ashley DL, Bonin MA, Cardinali FL, McCraw JM, Wooten JV. Blood concentrations of volatile organic compounds in a nonoccupationally exposed US population and in groups with suspected exposure. *Clin Chem.* 1994; 40(7): 1401-1404.