

환경·건강취약지역 대기중금속 조사

- 환경·건강취약지역의 PM-10 중 대기중금속을 파악하여 환경보건 기초자료 구축 및 시민건강 보호
- 부산지역 맞춤형 환경보건정책 수립 및 보안을 위한 근거 마련

1. 조사개요

- 조사지점 : 10개 지점
 - 환경오염노출지역(5지점) : 장림동, 녹산동, 덕포동, 당리동, 용수리
 - 건강취약지역(4지점) : 광복동, 수정동, 대신동, 청학동
 - 주거밀집지역(1지점) : 좌동
- 조사기간 : 2023년 1월 ~ 12월(매월 둘째 주, 7회)
 - (*5월 장비정도검사 및 소급성평가)
- 조사항목 : 미세먼지(PM-10) 내 중금속 성분 20종 분석
 - (Al, Ca, Fe, Mg, Si, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn)

2. 조사방법

- 로우볼륨샘플러를 이용한 PM-10 시료채취 후, 중금속 분석(유도결합플라즈마-질량분석법(ICP-MS))



구분	지점명	지역구	위치
환경오염 노출지역	장림동	사하구	장림1동 행정복지센터
	녹산동	강서구	부산환경공단 녹산사업소
	덕포동	사상구	덕포초등학교
	당리동	사하구	낙동초등학교
	용수리	기장군	정관읍 행정복지센터
건강취약 지역	광복동	중구	광복동 행정복지센터
	수정동	동구	동구청
	대신동	서구	부산국민체육센터
	청학동	영도구	청학동어울림마당
주거밀집	좌동	해운대구	좌1동 행정복지센터

그림 1. 환경·건강취약지역 대기중금속 조사지점

3. 조사결과

- 환경기준 만족 여부
 - (대기환경기준) 2023년 납(Pb) 평균농도는 0.01181 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 국내 대기환경기준(연평균 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 2.4% 수준
 - (WHO 권고기준) 2023년 카드뮴(Cd) 평균농도는 0.00068 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 망간(Mn) 평균농도 0.01572 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 각각 WHO 권고기준의 13.6% 및 10.5% 수준(연평균 Cd 0.005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn 0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

→ 대기환경기준 및 WHO 권고기준에 모두 「만족」하였음

○ 항목별 농도

- 2023년 미세먼지(PM-10) 평균농도는 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대기중금속 평균농도 합은 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM-10 농도의 5.0% 수준
- 지각유래금속 농도 합은 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM-10 농도의 4.5%, 대기중금속 농도의 약 90% 수준이며, Si(0.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Fe(0.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Al(0.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Mg(0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Ca(0.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 높게 나타남
- 기타미량금속의 농도 합은 0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM-10 농도의 0.5%, 대기중금속 농도의 약 10% 차지하며, Zn(0.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Mn(0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Pb(0.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Ti(0.008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 높게 나타남

표 1. 대기중금속 항목별 농도 및 기여율

		2023년 평균		연평균 (환경기준)
		평균농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	기여율 (%)	
PM-10		27		-
지각유래금속 (Crustal)	알루미늄(Al)	0.20319	0.74	-
	칼슘(Ca)	0.13540	0.50	-
	철(Fe)	0.32735	1.20	-
	마그네슘(Mg)	0.14775	0.54	-
	규소(Si)	0.42612	1.56	-
	합	1.2398	4.54	-
기타미량금속 (Trace)	비소(As)	0.00447	0.02	-
	베릴륨(Be)	0.00001	0.00	-
	카드뮴(Cd)	0.00068	0.00	0.005 (WHO 권고기준)
	코발트(Co)	0.00027	0.00	-
	크롬(Cr)	0.00770	0.03	-
	구리(Cu)	0.00781	0.03	-
	망간(Mn)	0.01572	0.06	0.15 (WHO 권고기준)
	몰리브덴(Mo)	0.00133	0.00	-
	니켈(Ni)	0.00369	0.01	-
	납(Pb)	0.01181	0.04	0.5 (대기환경기준)
	안티몬(Sb)	0.00357	0.01	-
	셀레늄(Se)	0.00091	0.00	-
	티타늄(Ti)	0.00842	0.03	-
	바나듐(V)	0.00157	0.01	-
	아연(Zn)	0.06483	0.24	-
합	0.13280	0.49	-	
대기중금속 합		1.37261	5.03	-

○ 월별(계절별) 농도

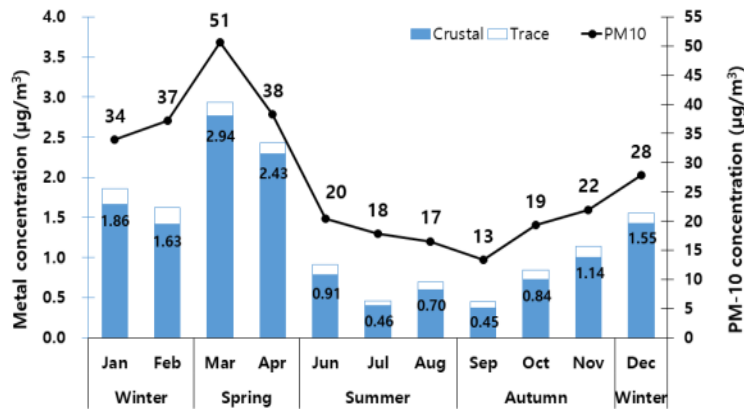
- PM-10 월평균농도는 13~51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (좋음~보통), 대기중금속은 0.45~2.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 PM-10 농도가 증가함에 따라 대기중금속 농도도 증가하는 경향을 보임
 - PM-10 농도는 1~2월에 증가하기 시작하여 3월 평균 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았으며, 6~8월 서서히 감소하여 9월 평균 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 연중 최저농도를 나타내고 이후 다시 증가하는 경향을 보임
 - 대기중금속 농도도 3월 평균 2.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최고농도, 9월 0.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최저농도를 나타내었으며, PM-10 농도 경향과 유사하였음
- (3월) 북서풍을 통해 유입된 국내의 미세먼지 영향으로 농도 높게 나타남

*조사기간 내 일평균 PM-10 최고농도 103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3월 11일)

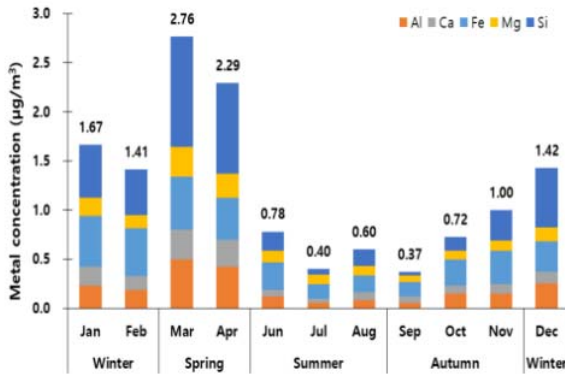
: 중국 동부에서 서해상을 통해 서쪽방향으로 유입되는 기류 (9월) 원활한 대기확산 및 강우의 영향으로 농도 낮게 나타남

*6~9월 : 조사일수 49일 중 강수발생 27일, 누적강수량 984.7 mm

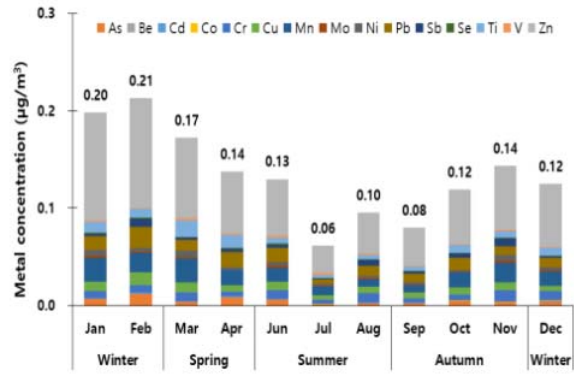
- 지각유래금속 농도 합은 0.37~2.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 PM-10 농도가 증가함에 따라 증가하였으며, 3월 평균 농도는 2.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대기중금속 농도의 약 94%를 차지함. 3월 대기중금속 항목별 농도는 연평균 대비 Si가 2.6배로 가장 크게 증가하였으며, Al(2.5배) > Ca(2.2배) > Mg(2.1배) > Fe(1.6배) 순으로 나타남
- 기타미량금속 농도 합은 0.06~0.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 PM-10 농도변화에 따른 농도 차이는 지각유래금속에 비해 미미한 것으로 나타남. 1~3월에 농도 다소 증가, 7~9월 농도 감소하는 결과가 나타났으나, 조사기간 중 기타미량금속의 농도는 거의 유사한 수준이었음



(a) 대기중금속 농도



(b) 지각유래금속 농도



(c) 기타미량금속 농도

그림 2. 월별 PM-10 및 대기중금속 농도

- 계절에 따른 대기중금속 항목별 농도 결과를 보면, 지각유래금속은 겨울~봄 농도가 증가하고, 여름~가을에 농도 감소하는 경향을 보이는 반면, 기타미량금속은 계절에 따른 차이가 적은 것으로 확인

○ 용도지역별 농도

- 용도지역별 : (공업)장림동, 녹산동 (상업)광복동 (주거)덕포동, 당리동, 용수리, 수정동, 대신동, 청학동, 좌동
- PM-10 농도는 공업지역이 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 상업(24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 주거(27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비해 높았으며, 대기중금속 농도도 지각유래금속 1.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 기타미량금속 0.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나타남

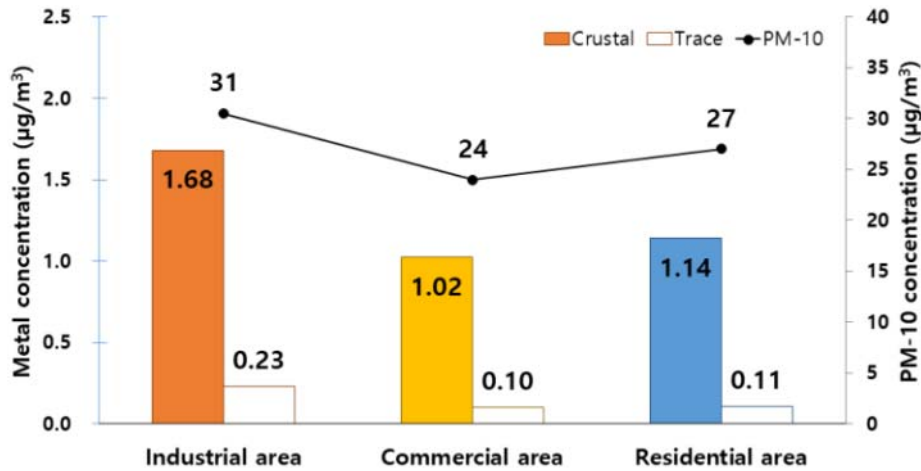


그림 3. 용도지역별 PM-10 및 대기중금속 농도

○ 조사지점 · 지역별 농도

- 조사지점 10개소는 환경보건학적 기준으로 환경오염노출지역, 건강취약지역 및 주거밀집지역으로 구분
- PM-10 농도는 환경오염노출지역 24~31 µg/m³(평균 29 µg/m³), 건강취약지역 24~29 µg/m³(평균 26 µg/m³), 주거밀집지역 26 µg/m³ 수준. 조사지점별 최고농도는 장림동 31 µg/m³, 최저농도는 용수리 및 광복동 24 µg/m³
- 대기중금속 농도 합은 환경오염노출지역 1.03~2.04 µg/m³(평균 1.55 µg/m³), 건강취약지역 1.13~1.27 µg/m³(평균 1.20 µg/m³), 주거밀집지역 1.15 µg/m³으로 나타났으며, 조사지점별 최고농도는 장림동 2.04 µg/m³, 최저농도 용수리 1.03 µg/m³. 중금속 항목에 따른 최고농도는 장림동(지각유래금속) 및 녹산동(기타미량금속), 최저농도는 용수리에서 대부분 확인되었음
- PM-10 중 대기중금속 기여율은 4.3~6.6% 범위이며, 환경오염노출지역(평균 5.4%) > 건강취약지역(평균 4.6%) > 주거밀집지역(4.4%) 순으로 나타남
- (환경오염노출지역) 대기중금속 농도는 장림동 > 녹산동 > 덕포동 > 당리동 > 용수리 순으로 높게 나타남. 공업지역인 장림동 및 녹산동의 농도가 높았으며, 이는 측정소 주변 사업장 등의 영향을 받았을 것으로 판단됨. 또한, 대기중금속 기여율도 장림동 6.6%로 가장 높게 나타남
- (건강취약지역) 대기중금속 농도는 대신동 > 청학동 > 수정동 > 광복동 순으로 나타남. 대기중금속 기여율은 청학동과 광복동이 각각 4.9% 및 4.7%로 높게 나타나 PM-10 농도 대비 대기중금속 농도가 높은 것으로 판단되며, 대신동의 경우 4.4%로 가장 낮은 기여율을 보임
- (주거밀집지역) 좌동(주거)의 대기중금속 농도는 1.15 µg/m³, 기여율은 4.4%로 환경오염노출지역 및 건강취약지역의 주거지역 농도와 유사하거나 다소 낮은 수준으로 나타남 [주거지역 평균 농도 1.27 µg/m³, 평균 기여율 4.7%]
- 조사지점별로 비교하였을 때 모든 지점에서 지각유래금속(Al, Ca, Fe, Mg, Si) 및 Zn이 높은 비율을 차지하였으며, 그 외 미량금속은 조사지점에 따른 차이를 보였으며 Cr, Mn 및 Pb 등의 성분들이 높게 나타남

표 2. 조사지점 및 지역별 대기중금속 농도

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	환경오염노출지역					건강취약지역				주거 밀집
	장림동	녹산동	덕포동	당리동	용수리	광복동	수정동	대신동	청학동	좌동
PM-10	31	30	30	28	24	24	27	29	25	26
Al	0.27404	0.23733	0.21011	0.20337	0.17300	0.16647	0.20372	0.19562	0.18950	0.17680
Ca	0.23459	0.15414	0.15295	0.13817	0.10118	0.11406	0.10805	0.11338	0.11178	0.11723
Fe	0.57140	0.49491	0.41282	0.33420	0.21638	0.24938	0.24228	0.26869	0.24526	0.22645
Mg	0.21064	0.17009	0.13691	0.14100	0.11336	0.14186	0.13114	0.13386	0.14707	0.14740
Si	0.54405	0.46916	0.44239	0.43256	0.32463	0.35005	0.42533	0.45785	0.41922	0.38829
As	0.00500	0.00407	0.00411	0.00412	0.00544	0.00375	0.00411	0.00438	0.00446	0.00518
Be	0.00001	0.00001	0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Cd	0.00069	0.00056	0.00066	0.00058	0.00089	0.00061	0.00062	0.00055	0.00068	0.00094
Co	0.00032	0.00071	0.00041	0.00023	0.00036	0.00018	0.00013	0.00014	0.00016	0.00012
Cr	0.00840	0.01864	0.01231	0.00730	0.00570	0.00516	0.00486	0.00504	0.00534	0.00486
Cu	0.01061	0.01200	0.01185	0.00772	0.00539	0.00694	0.00604	0.00647	0.00513	0.00596
Mn	0.02347	0.03182	0.02172	0.01504	0.01019	0.01230	0.01006	0.01124	0.01263	0.00899
Mo	0.00159	0.00592	0.00180	0.00104	0.00050	0.00061	0.00051	0.00063	0.00051	0.00051
Ni	0.00358	0.01511	0.00785	0.00248	0.00111	0.00155	0.00144	0.00152	0.00145	0.00165
Pb	0.01524	0.01655	0.01084	0.01036	0.01304	0.01049	0.00885	0.00943	0.01087	0.01235
Sb	0.00381	0.00287	0.00354	0.00326	0.00411	0.00433	0.00270	0.00275	0.00356	0.00462
Se	0.00099	0.00155	0.00094	0.00084	0.00086	0.00081	0.00076	0.00073	0.00080	0.00086
Ti	0.01211	0.00998	0.01004	0.00861	0.00679	0.00675	0.00734	0.00804	0.00729	0.00700
V	0.00190	0.00264	0.00156	0.00151	0.00088	0.00161	0.00134	0.00124	0.00181	0.00127
Zn	0.11388	0.13962	0.06847	0.05993	0.04572	0.04915	0.03953	0.04365	0.04813	0.04148
합	2.03631	1.78769	1.51128	1.37231	1.02953	1.12607	1.19881	1.26521	1.21564	1.15196
기여율	6.6%	6.0%	5.1%	4.8%	4.3%	4.7%	4.5%	4.4%	4.9%	4.4%

*측정소별 상위 8개 중금속 항목, 중금속 항목별 **최고농도**, **최저농도**

- 조사지점에 따른 대기중금속 농도 분포는, 공업지역인 장림동과 녹산동에서 높고, 나머지 조사지점은 유사하게 나타남. 기타미량금속의 경우 특히 공업지역의 농도가 높게 확인되었으며, 공업지역과 인접한 덕포동 및 당리동에서도 농도가 높은 경향을 보였음 (*장림동은 신평·장림공단, 녹산동은 녹산공단 내에 위치)
- 주요 기타미량금속(As, Cd, Mn, Ni, Pb)을 비교해본 결과,
- (As, Cd) 모든 조사지점에서 유사한 농도 수준이었으며, 용수리와 좌동의 경우 다소 높은 경향을 보임. As 농도는 부산평균 $0.00447 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 용수리와 좌동은 각각 $0.00544 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $0.00518 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, Cd 농도는 $0.00068 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 용수리와 좌동은 각각 $0.00089 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.00094 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타남
- (Mn) 장림동($0.02347 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 녹산동($0.03182 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 타 조사지점에 비해 높게 나타났으며, 나머지 지점은 유사한 수준
- (Ni) 녹산동($0.01511 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 가장 높은 농도 값을 확인하였으며, 이는 녹산공단의 영향 뿐만 아니라 부산신항 인근에 위치한 지리적인 특성으로 생각됨 (*Ni는 선박 등에 사용되는 중유연소에서 발생)
- (Pb) 전 지점의 농도가 유사한 수준이었으며, 장림동($0.01524 \mu\text{g}/\text{m}^3$)과 녹산동($0.01655 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 다소 높게 나타남. Pb는 자동차관련 오염배출물질로 공업지역의 경우 자동차관련 배출원 외에 사업장 배출원의 영향으로 농도 높은 것으로 생각됨

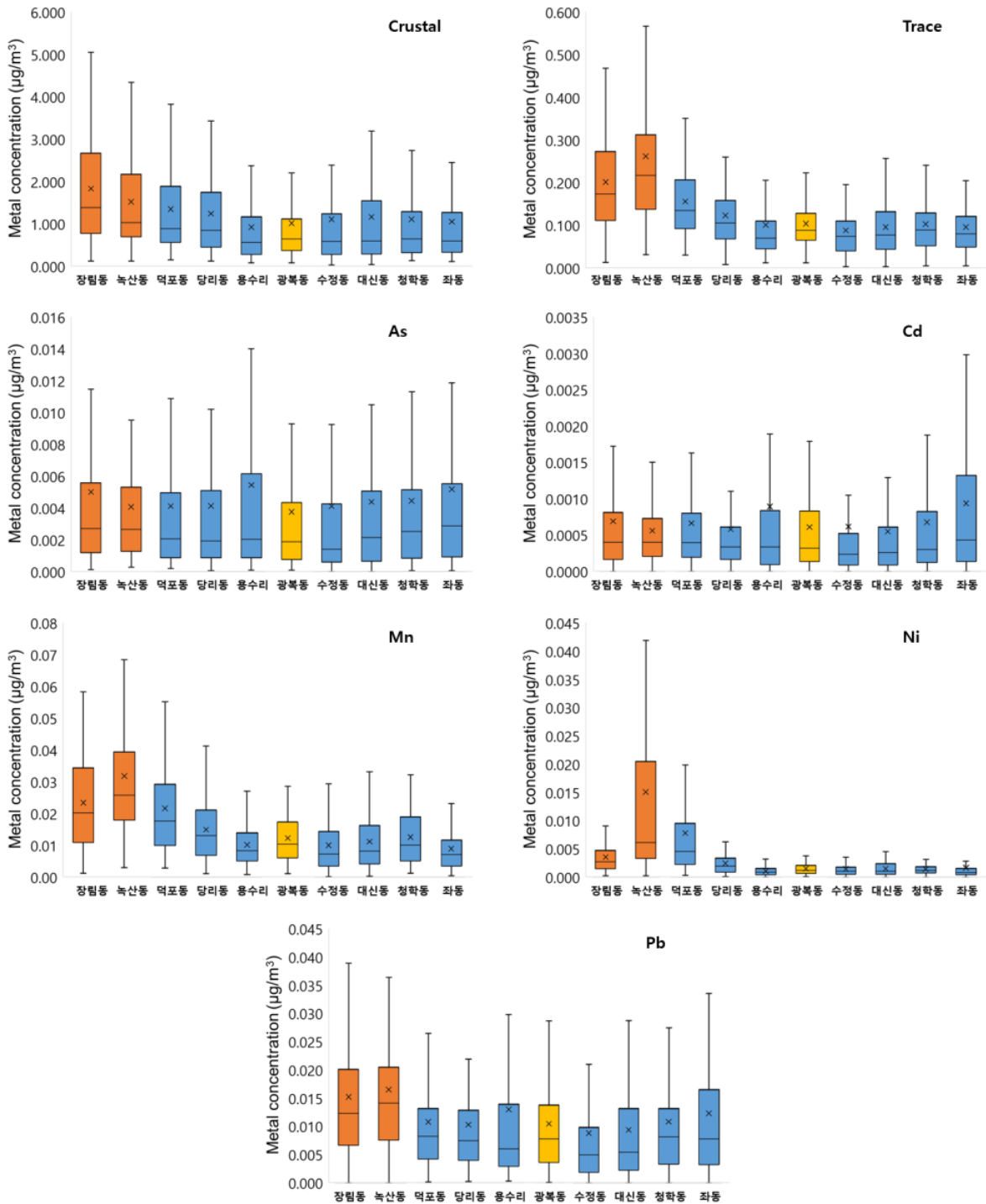
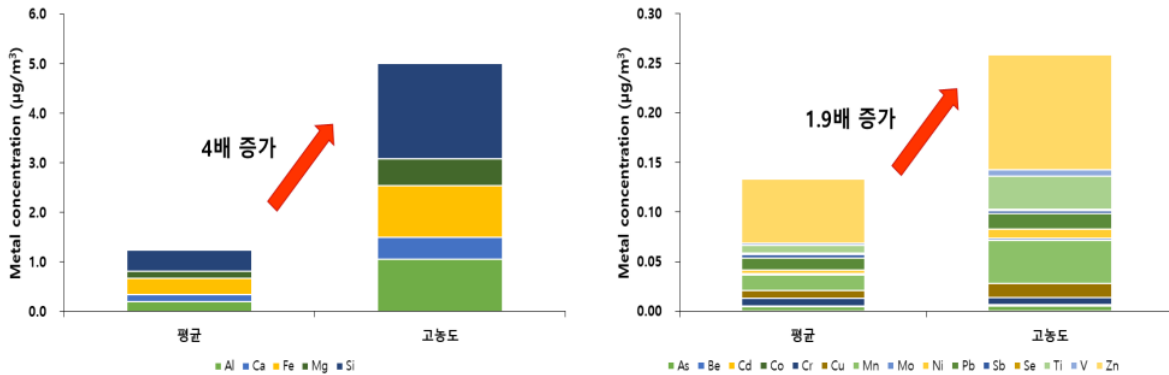


그림 4. 조사지점에 따른 대기중금속 항목별 농도 분포

○ 고농도 사례

- (3월 10일~11일) PM-10 일평균 농도는 83~103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사기간 내 가장 높은 농도로 나타났으며, 대기 중금속 농도도 4.7~5.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 평상시 대비 3.8배 증가하였음
- 북서풍을 통해 유입된 국내외 미세먼지의 영향으로 농도 높게 나타남

- 지각유래금속 농도는 평상시 대비 4배, 기타미량금속은 1.9배 증가하여 지각유래금속이 기타미량금속에 비해 크게 높아지는 경향을 보임
- 지각유래금속 중 Al(5.2배) > Si(4.5배) > Mg(3.6배) > Ca(3.3배) > Fe(3.2배) 순으로 평상시 대비 농도가 증가
- 기타미량금속 중 Cu, Mn, Ni, Ti, V 및 Zn는 평상시 대비 1.8~4배 정도 증가하였으나, As, Cd, Cr 및 Pb는 0.9~1.3배 수준으로 평상시와 유사하여 PM-10 농도가 증가하여도 큰 변화 없음
- 대기중금속 기여율을 비교하면 평상시 지각유래금속과 기타미량금속은 각각 90% 및 10%를 차지하였으나, 고농도 시에는 지각유래금속이 95%, 기타미량금속 5%로 지각유래금속의 비율이 증가하였음



(a) 지각유래금속 농도 (b) 기타미량금속 농도
그림 5. 고농도 시 대기중금속 농도 비교

○ 위해성 평가

- 위해성 평가는 실외 활동시간 동안 미세먼지 흡입으로 인한 중금속 노출에 대해 평가하였으며, 결과값은 50% 수준으로 산출
- (발암성 평가) 부산지역 초과발암위해도는 As 1.5E-6, Cd 1.2E-7, Ni 8.5E-8, Pb 2.0E-8 수준이었음. As는 위해가 없는 수준(1.0E-6)을 초과하였으나 허용가능한 수준(1.0E-5)임을 확인하였고, Cd, Ni 및 Pb은 위해가 없는 수준으로 나타남
- 조사지점에 따라 As 초과발암위해도는 9.4E-7(수정동)~1.8E-6(장림동, 녹산동)로 허용가능한 수준이었으며, Cd, Ni 및 Pb은 모두 위해가 없는 수준으로 확인됨
- (비발암성 평가) 비발암성 평가는 Al, As, Cd, Mn, Ni, Ti, V 항목에 대해 평가하였으며, 각 항목의 합을 비발암위해도(HI)로 나타내었음. 부산지역 HI 값은 0.028로 위해가 없는 수준(1 이하)이었으며, 각 항목에 대해서도 모두 위해가 없는 수준으로 나타남
- 조사지점에 따라 HI 값은 0.019(수정동)~0.044(녹산동)로 모두 위해가 없는 수준으로 확인되었음

표 3. 조사지점별 대기중금속 초과발암위해도

		As	Cd	Ni	Pb
부산평균		1.5E-6	1.2E-7	8.5E-8	2.0E-8
환경오염 노출지역	장림동	1.8E-6	1.5E-7	1.3E-7	3.0E-8
	녹산동	1.8E-6	1.5E-7	3.9E-7	3.3E-8
	덕포동	1.6E-6	1.6E-7	2.4E-7	2.0E-8
	당리동	1.5E-6	1.3E-7	9.9E-8	1.9E-8
	용수리	1.5E-6	1.2E-7	4.8E-8	1.6E-8
건강취약 지역	광복동	1.2E-6	1.2E-7	6.4E-8	2.0E-8
	수정동	9.4E-7	8.1E-8	5.1E-8	1.2E-8
	대신동	1.3E-6	8.4E-8	5.8E-8	1.4E-8
	청학동	1.5E-6	1.2E-7	6.4E-8	1.8E-8
주거밀집	좌동	1.7E-6	1.4E-7	4.6E-8	1.9E-8

표 4. 조사지점별 대기중금속 비발암위해도

		Al	As	Cd	Mn	Ni	Ti	V	HI
부산평균		0.002	0.013	0.001	0.004	0.002	0.005	0.001	0.028
환경오염 노출지역	장림동	0.003	0.016	0.002	0.006	0.003	0.009	0.001	0.040
	녹산동	0.003	0.015	0.002	0.008	0.008	0.007	0.002	0.044
	덕포동	0.002	0.013	0.002	0.005	0.005	0.007	0.001	0.036
	당리동	0.002	0.012	0.001	0.004	0.002	0.006	0.001	0.029
	용수리	0.002	0.012	0.001	0.002	0.001	0.004	0.001	0.023
건강취약 지역	광복동	0.001	0.011	0.001	0.003	0.001	0.004	0.001	0.023
	수정동	0.002	0.008	0.001	0.002	0.001	0.004	0.001	0.019
	대신동	0.002	0.011	0.001	0.003	0.001	0.005	0.001	0.023
	청학동	0.002	0.013	0.001	0.003	0.001	0.004	0.001	0.026
주거밀집	좌동	0.001	0.015	0.002	0.002	0.001	0.004	0.001	0.026

4. 활용방안

- 환경보건법 개정 시행에 따른 지역 특성이 고려된 지역환경보건계획 수립에 활용

5. 기대효과

- 지역 주민건강과 연계한 환경보건학적 기초자료 확보
- 기존 용도지역별 중심 조사에서 벗어나 수용체 중심 환경보건 기초자료 구축을 통한 시민건강보호 및 사전 피해 예방에 기여