

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 : 2024년 1월~12월(매월 둘째 주, 7회)
 - ※ 5월 장비정도검사 및 소급성평가로 조사 제외
- 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)



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 지역	좌동	해운대구	좌1동 행정복지센터

그림 1. 환경·건강취약지역 대기중금속 조사지점

3. 조사결과

- 환경기준 만족 여부
 - (대기환경기준) Pb 평균농도는 $0.01161 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대기환경기준(연평균 $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 2.3% 수준임
 - (WHO 권고기준) Cd 평균농도는 $0.00066 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn 평균농도는 $0.01607 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 각각 WHO 권고기준의 13.2% 및 10.7% 수준임

○ 항목별 농도

- 미세먼지(PM-10) 평균농도는 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 대기중금속 평균농도 합은 $1.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM-10 농도의 4.5% 수준임
- 지각유래금속의 농도 합은 $1.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM-10 농도의 4.06%, 대기중금속 농도의 약 90%를 차지하며, $\text{Si}(0.351 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Fe}(0.275 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Al}(0.167 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Ca}(0.113 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Mg}(0.108 \mu\text{g}/\text{m}^3)$ 순으로 조사됨
- 기타 미량금속의 농도 합은 $0.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM-10 농도의 0.45%, 대기중금속 농도의 약 10% 차지하며, $\text{Zn}(0.049 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Mn}(0.016 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Pb}(0.012 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Cu}(0.007 \mu\text{g}/\text{m}^3)$ 순으로 조사됨

표 1. 대기중금속 항목별 농도 및 기여율

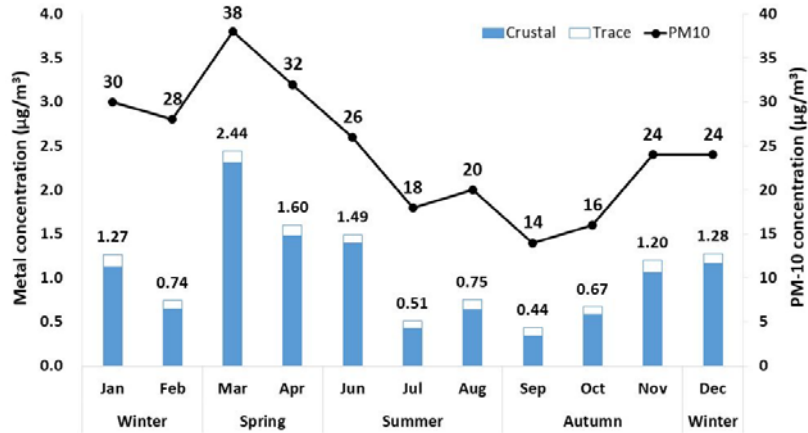
구분 항목		2024년 평균농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	기여율(%)	연평균(환경기준)
미세먼지(PM-10)		25		-
지각유래금속 (Crustal)	알루미늄(Al)	0.16723	0.67	-
	칼슘(Ca)	0.11344	0.45	-
	철(Fe)	0.27463	1.10	-
	마그네슘(Mg)	0.10823	0.43	-
	규소(Si)	0.35117	1.40	-
	합	1.01470	4.06	-
기타미량금속 (Trace)	비소(As)	0.00365	0.01	-
	베릴륨(Be)	0.00001	0.00	-
	카드뮴(Cd)	0.00066	0.00	0.005(WHO 권고기준)
	코발트(Co)	0.00017	0.00	-
	크롬(Cr)	0.00712	0.03	-
	구리(Cu)	0.00743	0.03	-
	망간(Mn)	0.01607	0.06	0.15(WHO 권고기준)
	몰리브덴(Mo)	0.00144	0.01	-
	니켈(Ni)	0.00309	0.01	-
	납(Pb)	0.01161	0.05	0.5(대기환경기준)
	안티몬(Sb)	0.00231	0.01	-
	셀레늄(Se)	0.00059	0.00	-
	티타늄(Ti)	0.00713	0.03	-
	바나듐(V)	0.00126	0.01	-
	아연(Zn)	0.04933	0.20	-
	합	0.11184	0.45	-
대기중금속 합		1.12654	4.51	-

○ 월별(계절별) 농도

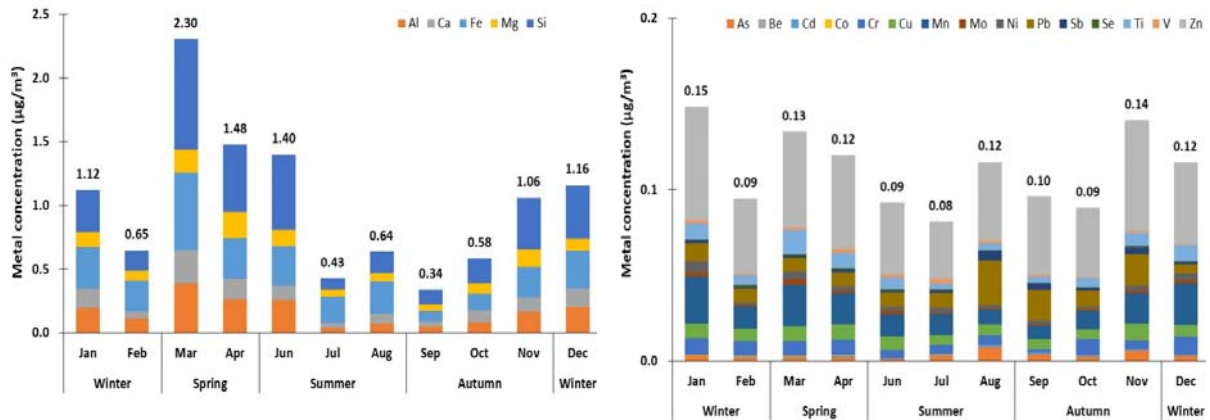
- PM-10 월평균 농도는 $14 \sim 38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (좋음~보통), 대기중금속 월평균 농도는 $0.44 \sim 2.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM-10 농도가 증가함에 따라 함께 증가하는 경향임
- PM-10 농도는 1~2월에 다소 높게 시작하여 3월 평균 $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최고치로 조사되었으며 이후 감소하여 9월 평균 $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 연중 최저농도로 나타남
- 대기중금속 월 평균 농도는 3월에 복서풍을 통해 유입된 국내외 미세먼지 영향으로 최고농도인 $2.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 9월에 원활한 대기확산 및 강우의 영향으로 최저농도인 $0.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되어 PM-10 농도와 유사한

경향을 보임

- 지각유래금속 농도 합은 $0.34 \sim 2.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 3월 평균농도는 $2.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최고농도, 9월 평균 농도는 $0.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최저농도로 조사됨
- 기타 미량금속 농도 합은 $0.08 \sim 0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 1월, 11월이 다소 높은 수준임



대기중금속 농도



지각유래금속 농도

기타미량금속 농도

그림 2. 월별 PM-10 및 대기중금속 농도

- 계절별로는 지각유래금속, Cr, Mn, Ti은 겨울~봄에 농도가 증가, 여름~가을에 농도가 감소하는 경향을 보인 반면, As, Pb은 겨울~봄에 농도가 감소, 여름~가을에 농도가 증가하는 경향을 보임

○ 조사지점 · 지역별 농도

- PM-10 농도는 환경오염노출지역 $22 \sim 29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 건강취약지역 $20 \sim 24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 주거밀집지역 $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 조사됨
- 대기중금속 농도 합은 환경오염노출지역 $0.83 \sim 1.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 $1.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 건강취약지역 $0.82 \sim 0.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 $0.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 주거밀집지역 $0.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사됨. 최고농도는 장림동에서 $1.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 최저농도는 좌동에서 $0.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타남
- PM-10 중 대기중금속 기여율은 $3.5 \sim 5.7\%$ 범위였으며, 환경오염노출지역(평균 4.9%) > 건강취약지역(평균 4.2%) > 주거밀집지역(3.5%) 순으로 나타남

표 2. 조사지점 및 지역별 대기중금속 농도

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

지역 항목	환경오염노출지역					건강취약지역				주거밀 집지역
	장림동	녹산동	덕포동	당리동	용수리	광복동	수정동	대신동	청학동	좌동
PM-10	29	29	29	27	22	22	22	24	20	22
Al	0.22515	0.20994	0.22945	0.18231	0.13267	0.14165	0.16065	0.13981	0.12703	0.11500
Ca	0.18428	0.13237	0.16779	0.12248	0.09144	0.09281	0.09589	0.08408	0.07834	0.07430
Fe	0.44352	0.51761	0.35387	0.26577	0.15941	0.22549	0.20458	0.21623	0.16973	0.15370
Mg	0.17146	0.11984	0.12416	0.09798	0.07982	0.10171	0.09991	0.09558	0.09826	0.09098
Si	0.44976	0.44194	0.45223	0.35813	0.28572	0.30568	0.34091	0.31475	0.26569	0.27150
As	0.00375	0.00355	0.00329	0.00286	0.00537	0.00346	0.00346	0.00322	0.00360	0.00345
Be	0.00001	0.00001	0.00001	0.00000	0.00000	0.00001	0.00000	0.00001	0.00000	0.00000
Cd	0.00068	0.00053	0.00067	0.00044	0.00108	0.00062	0.00061	0.00059	0.00061	0.00067
Co	0.00024	0.00038	0.00050	0.00013	0.00005	0.00009	0.00009	0.00010	0.00011	0.00005
Cr	0.00755	0.01539	0.01249	0.00664	0.00402	0.00480	0.00538	0.00550	0.00519	0.00436
Cu	0.01095	0.01085	0.01137	0.00770	0.00462	0.00633	0.00617	0.00680	0.00495	0.00454
Mn	0.02637	0.03257	0.02496	0.01450	0.00770	0.01343	0.01039	0.01176	0.01249	0.00623
Mo	0.00174	0.00612	0.00201	0.00105	0.00035	0.00071	0.00061	0.00069	0.00049	0.00036
Ni	0.00290	0.01121	0.00739	0.00219	0.00067	0.00162	0.00134	0.00153	0.00133	0.00069
Pb	0.01317	0.01572	0.01032	0.00837	0.01642	0.01060	0.00970	0.00926	0.01016	0.01073
Sb	0.00242	0.00231	0.00236	0.00181	0.00430	0.00189	0.00178	0.00202	0.00193	0.00186
Se	0.00067	0.00067	0.00068	0.00054	0.00060	0.00059	0.00055	0.00052	0.00053	0.00052
Ti	0.01024	0.00987	0.01040	0.00762	0.00504	0.00566	0.00591	0.00615	0.00514	0.00496
V	0.00148	0.00280	0.00127	0.00099	0.00056	0.00131	0.00119	0.00094	0.00124	0.00077
Zn	0.09362	0.09937	0.05062	0.03906	0.03290	0.03683	0.03548	0.03445	0.03563	0.03159
합	1.64996	1.63305	1.46583	1.12058	0.83274	0.95525	0.98462	0.93399	0.82245	0.77628
기여율	5.7%	5.6%	5.0%	4.1%	3.8%	4.4%	4.5%	4.0%	4.2%	3.5%

- (환경오염노출지역) 대기중금속 농도는 장림동 > 녹산동 > 덕포동 > 당리동 > 용수리 순으로 조사되었으며 공업지역인 장림동 및 녹산동의 농도가 높았는데 측정소 주변 사업장(장림동의 경우 인근 아파트 공사 포함)의 영향으로 판단됨. 대기중금속 기여율은 장림동이 5.7%로 높게 조사됨
- (건강취약지역) 대기중금속 농도는 수정동 > 광복동 > 대신동 > 청학동 순이었으며 대기중금속 기여율도 수정동과 광복동이 각각 4.5% 및 4.4%로 높게 나타남
- (주거밀집지역) 좌동의 대기중금속 농도는 $0.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 기여율은 3.5%로 환경오염 노출지역 및 건강취약지역의 농도보다 낮은 수준으로 나타남
- 모든 지점에서 지각유래금속(Al, Ca, Fe, Mg, Si) 및 Zn이 높은 비율을 차지하였으며 그 외 미량금속은 조사지점에 따른 차이를 보였으며 Cr, Mn, Pb의 성분들이 높게 나타남

○ 위해성 평가

- 위해성 평가는 실외 활동시간 동안 미세먼지 흡입으로 인한 중금속 노출에 대한 평가로 결과값은 50% 수준으로 산출함
- (발암성 평가) 부산지역 초과발암위해도는 As $1.7\text{E}-6$, Cd $1.1\text{E}-7$, Ni $7.2\text{E}-8$, Pb $2.0\text{E}-8$ 수준이었음. As는 위해가 없는 수준($1.0\text{E}-6$)을 초과하였으나 허용가능한 수준($1.0\text{E}-5$)임을 확인하였고, Cd, Ni 및 Pb은 위해가 없는 수준으로 조사됨

- (비발암성 평가) Al, As, Cd, Mn, Ni, Ti, V 항목에 대한 부산지역 HI 값은 0.028로 위해가 없는 수준(1 이하)이었으며, 각 항목에 대해서도 모두 위해가 없는 수준으로 나타남

표 3. 조사지점별 대기중금속 초과발암위해도

지역 \ 항목		As	Cd	Ni	Pb
부산평균		1.7E-6	1.1E-7	7.2E-8	2.0E-8
환경오염 노출지역	장림동	2.1E-6	1.5E-7	1.2E-7	2.7E-8
	녹산동	2.0E-6	1.3E-7	3.3E-7	3.8E-8
	덕포동	1.8E-6	1.7E-7	2.9E-7	2.1E-8
	당리동	1.6E-6	9.1E-8	1.0E-7	1.7E-8
	용수리	2.1E-6	1.3E-7	3.2E-8	2.1E-8
건강취약 지역	광복동	1.5E-6	8.9E-8	5.3E-8	1.7E-8
	수정동	1.6E-6	9.7E-8	5.8E-8	1.8E-8
	대신동	1.4E-6	1.0E-7	6.3E-8	1.6E-8
	청학동	1.6E-6	9.5E-8	5.2E-8	1.8E-8
주거밀집	좌동	1.6E-6	1.9E-7	3.1E-8	1.6E-8

표 4. 조사지점별 대기중금속 비발암위해도

지역 \ 항목		Al	As	Cd	Mn	Ni	Ti	V	HI
부산평균		0.002	0.014	0.001	0.003	0.001	0.005	0.001	0.028
환경오염 노출지역	장림동	0.004	0.017	0.002	0.006	0.002	0.009	0.001	0.041
	녹산동	0.003	0.017	0.002	0.008	0.007	0.008	0.001	0.046
	덕포동	0.003	0.015	0.002	0.006	0.006	0.008	0.001	0.041
	당리동	0.002	0.013	0.001	0.004	0.002	0.006	0.001	0.029
	용수리	0.001	0.018	0.001	0.002	0.001	0.004	0.000	0.028
건강취약 지역	광복동	0.001	0.013	0.001	0.003	0.001	0.004	0.001	0.024
	수정동	0.002	0.014	0.001	0.003	0.001	0.004	0.001	0.026
	대신동	0.001	0.012	0.001	0.003	0.001	0.004	0.001	0.024
	청학동	0.001	0.014	0.001	0.003	0.001	0.004	0.001	0.024
주거밀집	좌동	0.001	0.014	0.002	0.002	0.001	0.003	0.000	0.023

4. 활용방안

- 환경보건법 개정 시행에 따른 지역 특성이 고려된 지역환경보건계획 수립에 활용

5. 기대효과

- 수용체 중심의 환경보건 기초자료 구축을 통한 시민건강보호 및 사전 피해 예방
- 지역 주민건강과 연계한 환경보건학적 기초자료 확보