

대기중금속 조사

- 부산시의 미세먼지(PM-10) 중 대기중금속 농도에 대한 지속적인 모니터링 실시
- 오염변화 특성 분석을 통한 대기중금속 저감 및 대기질 개선을 위한 정책자료로 활용

1. 조사개요

- 조사기간 : 2022년 1월 ~ 12월(매월 둘째주 5일간)
- 조사지점



지점명	용도지역	구	위치
학장동	공업	사상구	학장초등학교 옥상
덕천동	주거	북구	부산하수관로 운영사무소 옥상
광안동	주거	수영구	한바다중학교 옥상
연산동	주거	연제구	시청 등대광장
부곡동	주거	금정구	부곡2동 주민센터 옥상

- 조사항목 : 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 비소(As), 베릴륨(Be), 알루미늄(Al), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 총 12항목

2. 조사방법

- 시료채취 : 고용량 공기시료채취기(High volume air sampler)로 석영여지에 24시간 간격, 5일 연속으로 미세먼지(PM-10) 시료를 채취
- 시료분석 : 대기오염공정시험기준에 따라 질산-염산혼합액에 의한 초음파 전처리를 실시하여 금속 성분을 추출한 후, 유도결합플라즈마 분광법으로 금속성분 정량분석
- 자료관리 : 각 측정소별 월 5회 측정값을 산술평균하여 지점별 월평균, 도시 월평균 및 연평균 농도를 산출

3. 조사결과

- 연평균 농도

- 2022년 미세먼지(PM-10) 중 대기중금속 연평균 농도는 전년과 최근 5년 대비 일부 항목(Pb, Cd, Ca, Mg)을 제외한 중금속 농도가 증가한 것으로 나타남(그림 1)

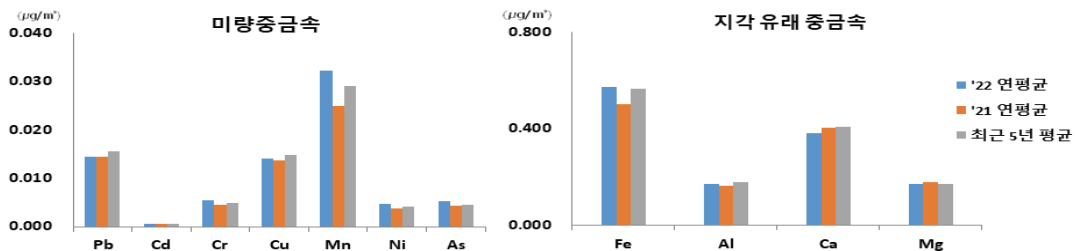


그림 1. 대기중금속 연평균 농도 변화

- PM-10 농도는 5년간 지속적인 감소 추세이나 전년과 동일하며, 지각 유래 중금속 중 철과 알루미늄이, 미량중금속에서는 크롬, 망간, 구리, 니켈, 비소의 농도가 증가한 것으로 나타남(그림 1, 표 1)
- (환경기준) 납(Pb) 연평균 농도는 0.0145 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 국내 대기환경기준(연평균 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 2.9% 수준이며, 카드뮴(Cd) 및 망간(Mn)의 농도는 WHO 권고기준(연평균 각 0.005, 0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 10.2%, 21.4% 수준으로 「만족」하였음(표 1)

표 1. 대기중금속 연평균 농도

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

항목	미세먼지 (PM10)	납 (Pb)	카드뮴 (Cd)	크롬 (Cr)	구리 (Cu)	망간 (Mn)	철 (Fe)	니켈 (Ni)	비소 (As)	베릴륨 (Be)	알루미늄 (Al)	칼슘 (Ca)	마그네슘 (Mg)
대기환경기준		0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(WHO 권고기준)		-	(0.005)	-	-	(0.15)	-	-	-	-	-	-	-
2022년	30	0.0145	0.0005	0.0054	0.0141	0.0322	0.5724	0.0047	0.0052	0.0000	0.1708	0.3809	0.1710
2021년	30	0.0144	0.0005	0.0045	0.0136	0.0249	0.5018	0.0037	0.0044	0.0000	0.1653	0.4018	0.1766
2020년	35	0.0146	0.0005	0.0046	0.0152	0.0278	0.5394	0.0035	0.0030	0.0000	0.1896	0.3790	0.1487
2019년	39	0.0183	0.0007	0.0057	0.0177	0.0349	0.6537	0.0049	0.0058	0.0000	0.1901	0.4814	0.1819
2018년	39	0.0159	0.0006	0.0043	0.0137	0.0250	0.5603	0.0040	0.0042	0.0000	0.1684	0.3886	0.1773

- (항목별 농도비율) 전체 중금속 중 지각 유래 중금속이 94.4%, 미량중금속 5.6%로 구성되어 있으며, 항목별 비율은 지각 유래 중금속 Fe(41.7%) > Ca(27.8%) > Mg, Al(12.5%) 그리고 미량중금속 Mn(2.3%) > Pb(1.1%) > Cu(1.0%) > Cr, As(0.4%) > Ni(0.3%) > Cd, Be(0.0%) 순으로 나타남(그림 2)
- 22년 중금속 항목별 비율은 전년과 최근 5년 대비하여 Fe(■), Mn(■)은 소폭 증가, Ca(■), Al(■), Mg(■)은 소폭 감소하였으며, 나머지 항목은 유사한 것으로 나타남(그림 2)

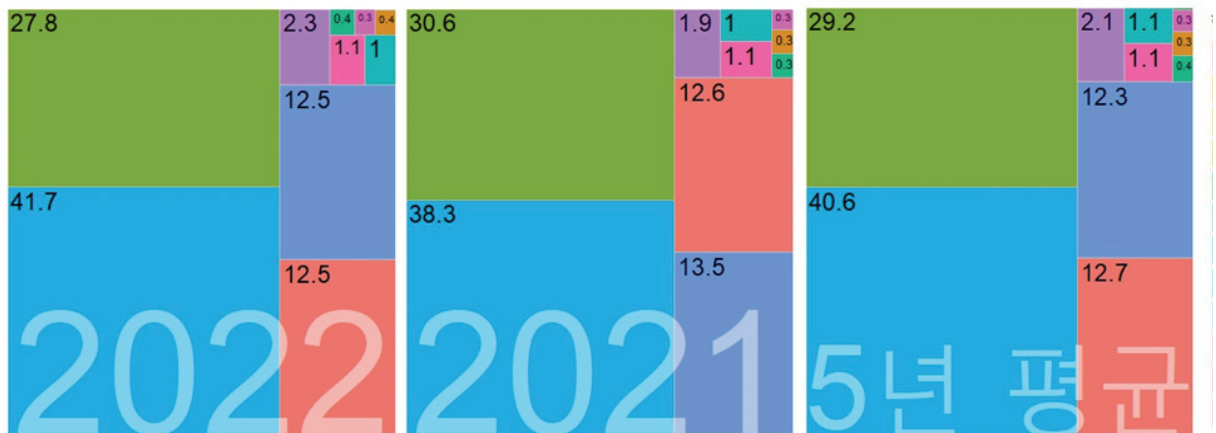


그림 2. 대기중금속 항목별 비율(%)

○ 월별 농도 특성

- 3월에 대기정체와 공업지역의 고농도 미세먼지 발생영향으로 지각유래중금속(Fe, Al, Ca, Mg)과 미량 중금속(Cr, Ni)이 최고농도를 나타내었음(표 2)
- *3/11, 8시~11시_학장동: 최대 201 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균 143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기타 4개 지점: 최대 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- 11월은 측정기간 중 발생한 지속적인 대기정체(4일) 영향으로 미량 중금속(Cu, Mn, As)가 최고농도를 나타

내었음(표 2)

- 6, 8, 9월은 원활한 대기확산*으로 대부분의 금속농도가 연중 최저치를 나타냄(표 2)

*4, 6, 8, 9월 시료채취기간 중 평균 대기정체일수: 0일 [2022년 연 평균: 1일, 최대: 4일(11월)]

표 2. 2022년 월별 PM-10 및 대기중금속 농도

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

항목	미세먼지 (PM-10)	납 (Pb)	카드뮴 (Cd)	크롬 (Cr)	구리 (Cu)	망간 (Mn)	철 (Fe)	니켈 (Ni)	비소 (As)	베릴륨 (Be)	알루미늄 (Al)	칼슘 (Ca)	마그네슘 (Mg)
대기 환경기준 (WHO 권고기준)	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	(0.005)	-	-	(0.15)	-	-	-	-	-	-	-	-
1월	40	0.0124	0.0002	0.0068	0.0144	0.0393	0.6743	0.0065	0.0050	0.0000	0.2374	0.4542	0.1443
2월	34	0.0184	0.0005	0.0045	0.0169	0.0366	0.6696	0.0030	0.0054	0.0000	0.2003	0.4541	0.1151
3월	54	0.0144	0.0002	0.0109	0.0188	0.0446	1.0181	0.0108	0.0060	0.0000	0.3366	0.7175	0.2801
4월	24	0.0081	0.0001	0.0056	0.0103	0.0213	0.4327	0.0053	0.0014	0.0000	0.1346	0.2889	0.1905
5월	30	0.0221	0.0009	0.0048	0.0149	0.0279	0.4589	0.0041	0.0070	0.0000	0.1766	0.3362	0.1607
6월	16	0.0164	0.0010	0.0026	0.0106	0.0171	0.2454	0.0025	0.0054	0.0000	0.0499	0.1572	0.1006
7월	22	0.0153	0.0007	0.0059	0.0141	0.0301	0.4146	0.0056	0.0053	0.0000	0.0758	0.2389	0.1313
8월	21	0.0041	0.0001	0.0055	0.0115	0.0431	0.4936	0.0057	0.0065	0.0000	0.1199	0.2492	0.1940
9월	23	0.0201	0.0012	0.0011	0.0079	0.0025	0.1871	0.0014	0.0047	0.0000	0.0646	0.1717	0.2184
10월	17	0.0137	0.0005	0.0028	0.0121	0.0197	0.3733	0.0013	0.0065	0.0000	0.1238	0.2767	0.1528
11월	45	0.0175	0.0005	0.0084	0.0229	0.0591	0.9986	0.0064	0.0073	0.0000	0.2540	0.5979	0.1666
12월	36	0.0113	0.0001	0.0062	0.0154	0.0445	0.9022	0.0044	0.0020	0.0000	0.2755	0.6282	0.1971

붉은색: 연중 최고농도, 푸른색: 연중 최저농도

- (월별 변화 추이) 대기중금속은 PM-10 농도 경향과 유사한 것으로 나타났으며, 북서풍에 의한 미세먼지 유입과 대기정체(평균 2일) 영향을 받았던 1월·2월에 미량중금속과 일부 지각 유래 중금속(Fe) 농도가 높았으며, 3월은 고농도 미세먼지 발생(공업지역_학장) 영향으로 지각 유래 및 미량중금속 모두 높았던 것으로 나타났음(그림 3)

- 또한, 미량중금속은 대기정체 발생이 가장 많았던 11월, 지각 유래 중금속은 중국에서 발원한 국외 미세먼지 유입*영향을 받았던 11월과 12월에 높은 농도를 나타냈음(그림 3)

*11월(측정 3~5일차): 중국 베이징 및 상하이 인근에서 발원한 기류 영향

12월(측정 2~5일차): 몽골 및 중국 내륙지역 발원한 기류 영향

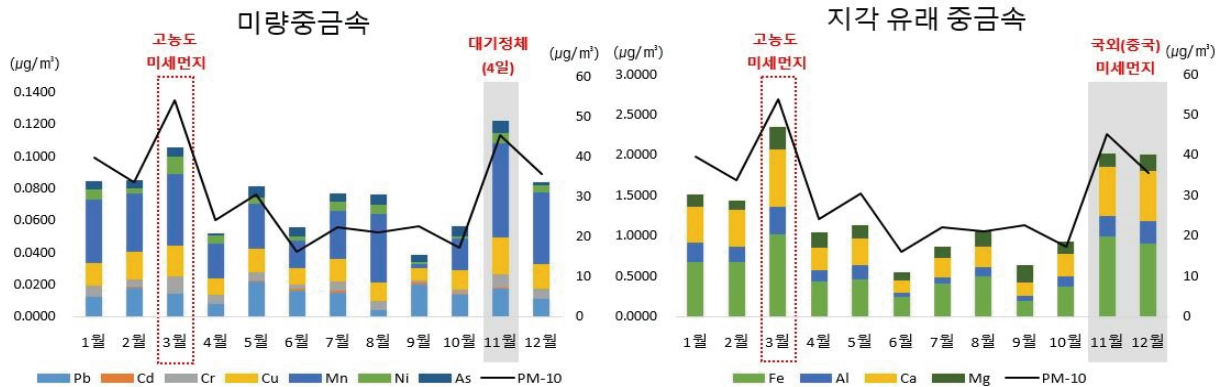


그림 3. 월별 PM-10 농도 변화에 따른 중금속 분포

○ 지점별 농도 변화

- 지점별 납(Pb) 연평균 농도는 공업지역인 학장동에서 최고 0.0213 µg/m³(기준의 4.3%)를 주거지역인 덕천동에서 0.0111 µg/m³(기준의 2.2%)로 최저를 나타내었음(표 3)
- 금속농도는 공업(학장) > 상업(연산) > 주거(덕천, 광안, 부곡) 지역순이며, 학장(공업)에서 대부분의 항목이 최고농도를 나타냈고, 부곡(주거)에서 대부분의 항목이 최저 농도를 나타냄(표 3)

표 3. 지점별 중금속 농도

(단위 : µg/m³)

항목	미세먼지 (PM-10)	납 (Pb)	카드뮴 (Cd)	크롬 (Cr)	구리 (Cu)	망간 (Mn)	철 (Fe)	니켈 (Ni)	비소 (As)	베릴륨 (Be)	알루미늄 (Al)	칼슘 (Ca)	마그네슘 (Mg)
대기 환경기준 (WHO 권고기준)	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			(0.005)			(0.15)							
부곡(주거)	26	0.0114	0.0004	0.0016	0.0090	0.0166	0.3077	0.0010	0.0043	0.0000	0.1304	0.2783	0.1395
학장(공업)	37	0.0213	0.0005	0.0198	0.0300	0.0832	1.4198	0.0183	0.0061	0.0000	0.2162	0.4256	0.2045
덕천(주거)	31	0.0111	0.0004	0.0020	0.0092	0.0208	0.3695	0.0017	0.0048	0.0000	0.1733	0.3431	0.1504
광안(주거)	29	0.0143	0.0006	0.0013	0.0100	0.0194	0.3319	0.0010	0.0061	0.0000	0.1543	0.3444	0.1730
연산(상업)	27	0.0144	0.0006	0.0024	0.0125	0.0207	0.4330	0.0017	0.0047	0.0000	0.1796	0.5131	0.1874

- 공업지역(학장) 소재 대기배출시설 배출원*에서 기인하는 주요 5개 중금속(Ni, Cr, Mn, Fe, Cu)의 평균농도는 상업 및 주거지역 대비 각각 5.7배, 7.8배 높았으며, 이는 공업지역의 나머지 중금속(Pb, Cd, As, Al, Ca, Mg) 평균농도가 1.1배(상업지역 대비), 1.4배(주거지역 대비) 보다 높은 것으로 나타남(그림 4)

*공업지역(학장) 소재 대기배출시설 현황(2022년 기준 190개소)

- 금속가공제품제조업 등 금속관련업 40개소(21.1%), 자동차수리업 36개소 (18.9%), 도금 35개소(18.4%), 강/선철(비철) 주물주조업 15개소(7.9%), 도장 및 기타 피막처리업 9개소(4.7%) 등
- Ni, Cr, Cu은 도금·도장, Mn, Fe은 주물·주조 및 금속가공시설과 관련된 항목

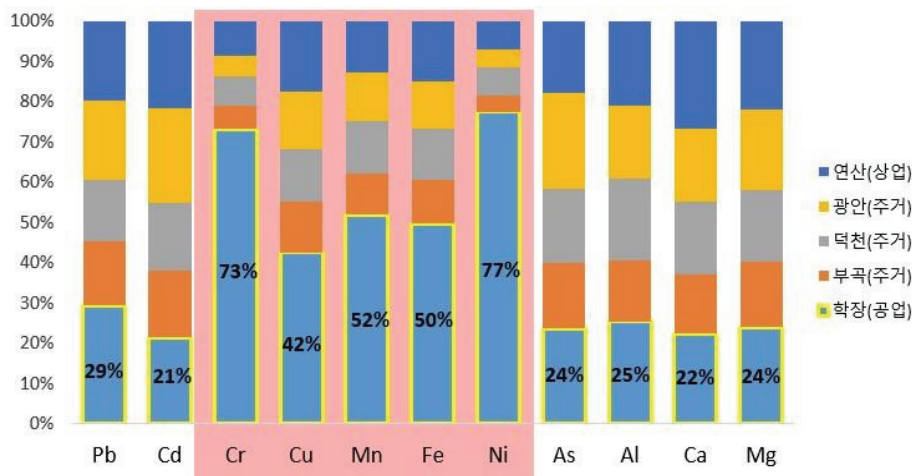


그림 4. 항목 · 조사지점별 농도 상대비교

○ 황사 시 특성

- 2022년 황사(12월 13일~14일) 시 대기중금속 분석결과

- (평상시) PM-10 평균농도 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 중 중금속 농도는 1.3717 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 지각 유래 중금속이 전체의 94.4%, 미량중금속 5.6%를 차지
- (황사시) PM-10 평균농도 201 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 중 중금속 농도는 15.3159 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 지각 유래 중금속이 전체의 98.9%, 미량중금속 1.1%를 차지
- 황사 시 지각 유래 중금속, 미량중금속 비율이 각각 11.7배, 2.1배 증가한 것으로 나타남(그림 5)

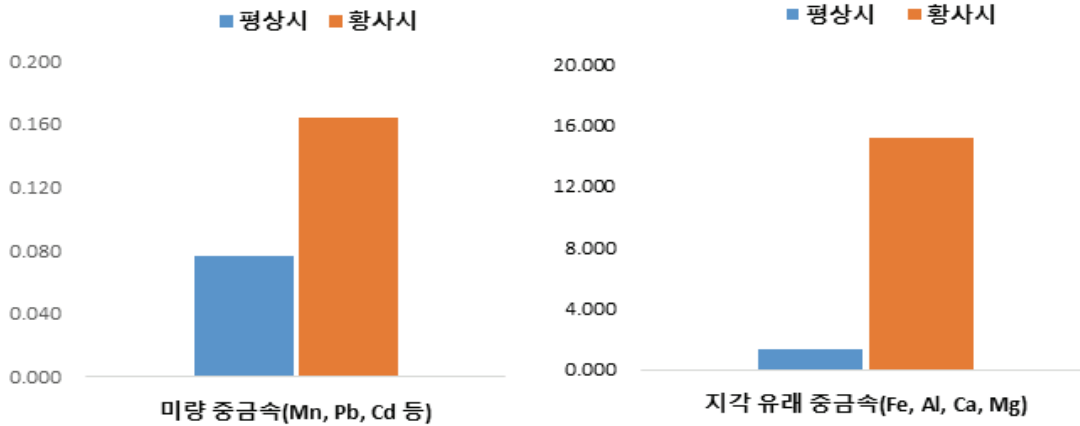


그림 5. 평상시와 황사 시 중금속 농도 비교

○ 7개 특광역시 농도 비교

- 7개 특광역시의 납(Pb) 연평균 농도는 최소 0.0075 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (광주) ~ 최대 0.0381 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (울산)으로 대기환경기준의 1.5 ~ 7.6% 수준인 것으로 나타났으며, 울산이 5항목(Pb, Cd, Mn, As, Mg)에서 최고농도를 나타냈고, 광주가 5항목(Pb, Cd, Cr, Cu, Ni)에서 최저농도를 나타냈음(표 4)

표 4. 2022년 7개 특광역시 대기중금속 농도 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

항목	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	As	Be	Al	Ca	Mg
부산	0.0145	0.0005	0.0054	0.0141	0.0322	0.5724	0.0047	0.0052	0.0000	0.1708	0.3809	0.1710
서울	0.0176	0.0004	0.0024	0.0189	0.0177	0.5515	0.0015	0.0056	0.0000	0.1683	0.5709	0.1322
인천	0.0119	0.0003	0.0024	0.0116	0.0133	0.3261	0.0018	0.0045	0.0000	0.1580	0.2468	0.0675
울산	0.0381	0.0023	0.0024	0.0167	0.0394	0.5557	0.0045	0.0105	0.0000	0.1755	0.5145	0.1887
광주	0.0075	0.0000	0.0012	0.0053	0.0221	0.3965	0.0005	0.0013	0.0000	0.1549	0.3743	0.1337
대구	0.0167	0.0003	0.0034	0.0118	0.0196	0.3824	0.0025	0.0009	0.0000	0.0759	0.5535	0.1435
대전	0.0129	0.0002	0.0022	0.0116	0.0195	0.4726	0.0016	0.0025	0.0000	0.1993	0.4560	0.1349

※ 자료출처: 국가대기오염정보관리시스템(NAMIS)

- 부산은 공업지역(학장) 소재 대기오염 배출원 업종 특성에 기인한 크롬(Cr), 철(Fe), 니켈(Ni) 항목이 7개 특광역시 중 최고농도 수준을 나타냄(표 4, 그림 6)

- 크롬(Cr)과 니켈(Ni) 항목은 지난 몇 년 동안 부산이 최고농도를 나타낸 항목이며, 철(Fe)은 대기오염 배출원 외에 고농도 미세먼지(3월), 겨울철 국외 미세먼지 유입과 대기정체 영향도 농도 상승에 기여한 것으로 사료됨(그림 6, 7)
- 특광역시의 공업지역간 비교(서울은 공업지역이 없어 제외)에서도 부산은 타 공업지역 평균농도 대비 Cr(5.7배), Ni(5.6배), Mn(2.4배), Fe(2.4배)로 높은 농도를 나타내고 있음(그림 6, 7)

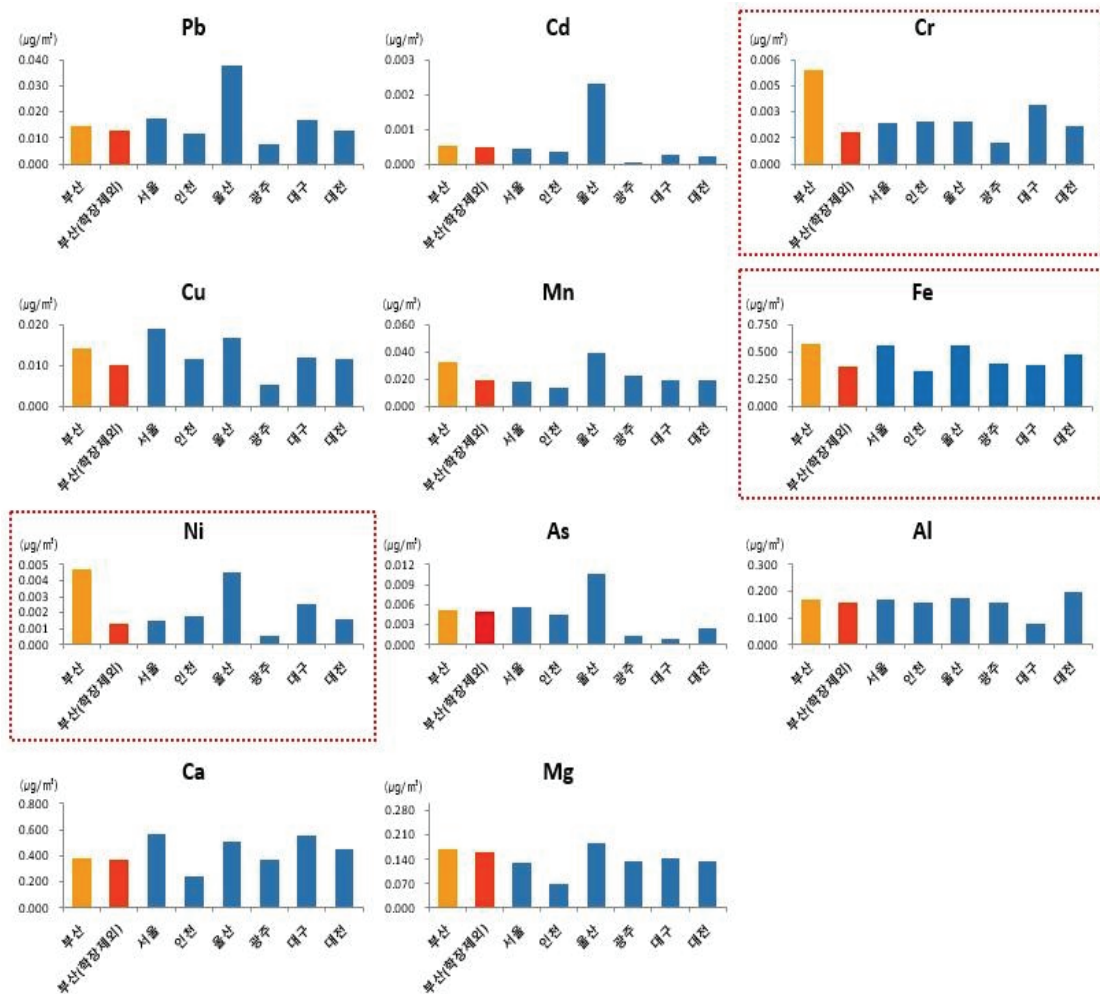


그림 6. 7개 특광역시 대기중금속 농도

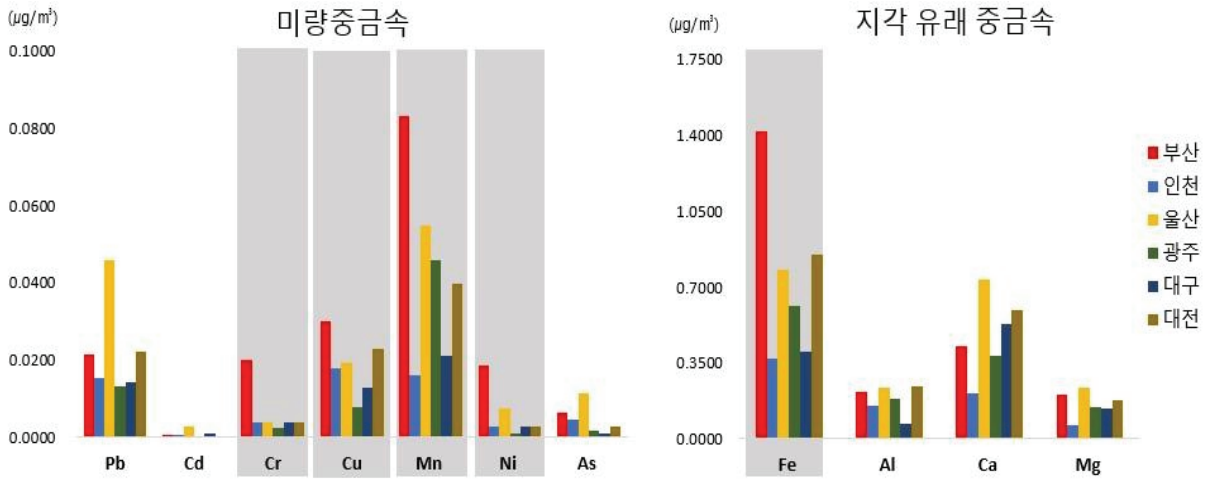


그림 7. 광역시 공업지역간 중금속 농도분포

○ 건강위해도 평가결과

- 건강위해도 평가는 대기 중 호흡으로 인해 발암 또는 비발암(독성)을 일으킬 수 있는 중금속을 대상으로 용도지역별로 수행
- 발암위해도는 2022년 공업지역 8.2×10^{-6} , 주거지역 6.6×10^{-6} , 상업지역 5.4×10^{-6} 으로 위해 없는 수준 10^{-6} (백만명당 1명의 초과발암확률)을 넘겼으나, 위해 있는 수준(10^{-4}) 보다는 훨씬 낮은 허용 가능한 수준으로 나타남(그림 8)



그림 8. 발암위해도 수준

- 발암위해도에 대한 용도지역별 수준은 공업지역이 가장 높고, 평가대상 중금속 중에서는 비소(As)의 위해도가 10^{-6} 이상으로 가장 높은 수준을 나타내며, 니켈(Ni)과 납(Pb)은 용도지역별 큰 차이를 나타냄(그림 8, 9)
- 비발암(독성)위해도¹⁾는 2022년 공업지역 1.6×10^{-3} , 주거지역 1.4×10^{-4} , 상업지역 1.2×10^{-3} 로 각 용도지역별 위해도지수(HI)가 1 이하로 위해영향 발생 가능성이 낮음으로 나타남

1) 비발암위해도는 일정용량 이상으로 노출될 시 유해한 영향(독성)을 일으키는 물질을 대상으로 하며, 위해도는 위해도지수(HI)로 나타내며, HI가 1을 초과할 시 위해영향 발생 가능성이 있고, 1 이하인 경우 위해영향 발생 가능성이 낮음으로 나타냄

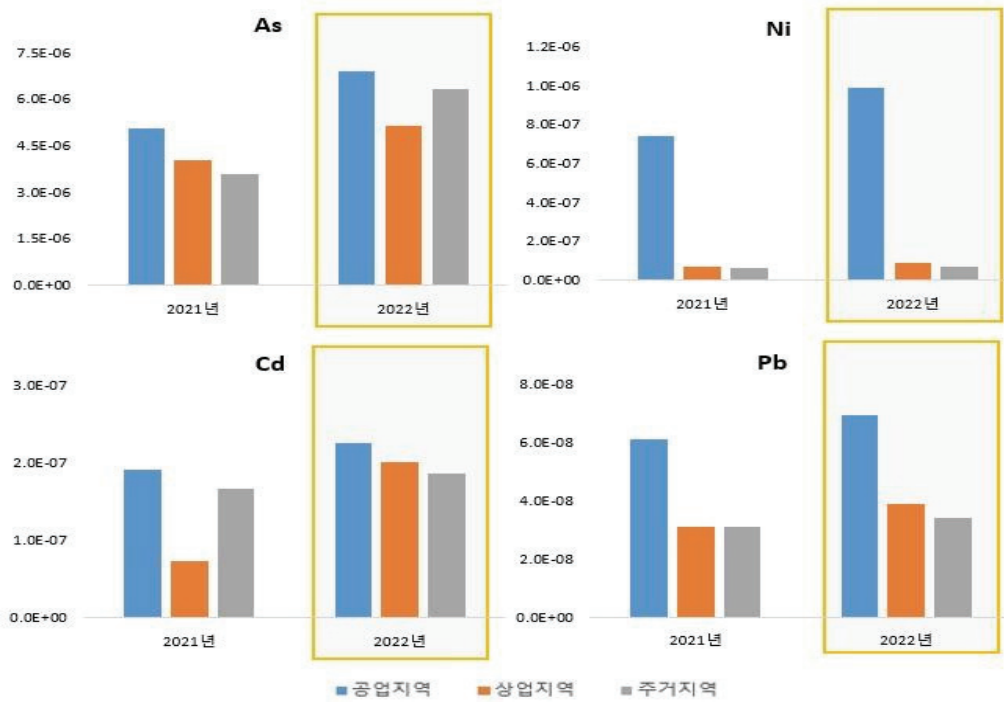


그림 9. 용도지역 및 평가대상별 발암위해도 수준

4. 활용방안

- 지속적인 모니터링을 통한 미세먼지(PM-10) 내 대기중금속 오염도 경향 파악
- 장기간 축적된 데이터를 시민 건강영향 관련 건강위해도 평가 자료로 활용

5. 기대효과

- 대기중금속 오염현황 파악 및 부산지역에 적합한 대기질 관리 대책수립의 기초자료 제공
- 유해 미세먼지저감 등 대기환경개선으로 시민건강증진에 기여