

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 : 2021. 1. ~ 2021. 12.(매월 둘째주 5일간)
- 조사지점



지점명	용도지역	사상구	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
 - 2021년 미세먼지(PM-10) 중 대기중금속 연평균 농도는 대기질이 좋아짐에 따라 전년과 최근 5년 대비 감소 추세를 나타냄(그림 1)

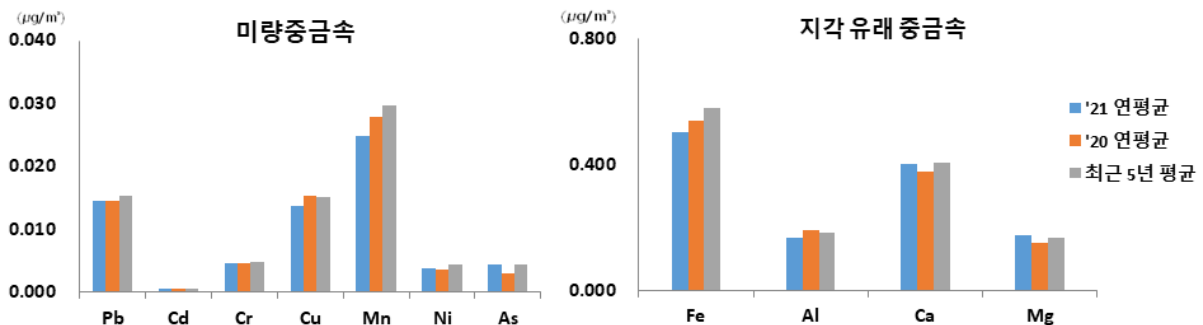


그림 1. 대기중금속 연평균 농도 변화

- PM-10 농도는 지속적인 감소 추세이며, 지각 유래 중금속과 미량 중금속에서 가장 많은 구성비율을 차지하는 망간(Mn), 철(Fe)이 뚜렷한 감소 추세를 나타냄(그림 1, 표 1)
- (환경기준) 납(Pb) 연평균 농도는 0.0144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 10.0%, 16.6% 수준으로 「만족」하였음(표 1)

표 1. 대기중금속 연평균 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)
대기환경기준 (WHO 권고기준)		0.5	- (0.005)	-	-	- (0.15)	-	-	-	-	-	-	-
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
2017년	43	0.0136	0.0004	0.0051	0.0156	0.0359	0.6537	0.0054	0.0045	0.0000	0.1944	0.3809	0.1496

- (항목별 농도비율) 전체 중금속 중 지각 유래 중금속 95.0%, 미량중금속 5.0%로 구성되어 있으며, 항목별 비율은 지각 유래 중금속 Fe(38.3%) > Ca(30.6%) > Mg(13.5%) > Al(12.6%) 그리고 미량중금속 Mn(1.9%) > Pb(1.1%) > Cu(1.0%) > Ni(0.3%), Cr(0.3%), As(0.3%) > Cd, Be(0.0%) 순으로 나타남(그림 2)
- 21년 중금속 항목별 비율은 전년과 최근 5년 대비하여 지각 유래 중금속(Fe, Al, Mg) 미량중금속(Mn)이 소폭 감소, 지각 유래 중금속(Ca) 소폭 증가한 것 외에 유사한 것으로 나타남(그림 2)

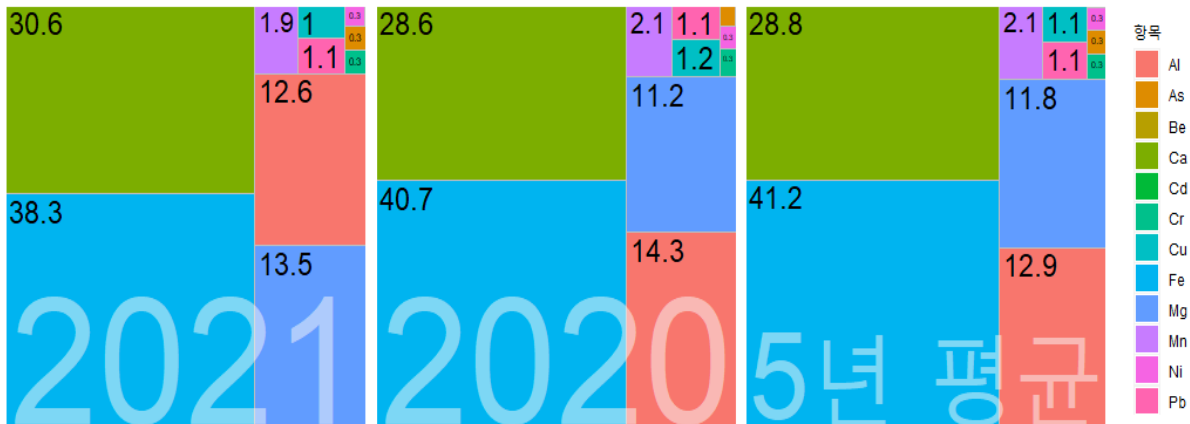


그림 2. 대기중금속 항목별 비율(%)

○ 월별 농도 특성

- 1월에 국내·외 유입미세먼지와 황사 영향으로 지각 유래 중금속(Fe, Al, Ca, Mg)과 미량 중금속(Cu, Cr, Mn)이 최고농도를 나타내었음(표 2)
- 6월에는 대기정체 영향*으로 인위적 오염원(사업장 배출원 등)에서 기인하는 미량 중금속(Pb, Cd, As)가 최고농도를 나타내었음(표 2)

- *2, 3, 6, 10, 12월 시료채취기간 중 평균 대기정체일수 : 2일(2021년 연평균 : 1일)
- 7월~9월은 원활한 대기확산과 강수영향*으로 대부분의 금속농도가 연중 최저농도를 나타내었음(표 2)
- *7, 8, 9월 시료채취기간 중 강수일수 : 13일(2021년 전체 강수일수 : 16일)

표 2. 2021년 월별 PM-10 및 대기중금속 농도 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

항목	매세먼지 (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	63	0.0193	0.0004	0.0089	0.0214	0.0639	1.0229	0.0071	0.0022	0.0000	0.3839	1.3767	0.4142
2월	42	0.0178	0.0006	0.0041	0.0154	0.0324	0.6040	0.0020	0.0069	0.0000	0.2229	0.5545	0.1704
3월	36	0.0201	0.0007	0.0041	0.0129	0.0123	0.4805	0.0028	0.0032	0.0000	0.2253	0.3480	0.2245
4월	33	0.0116	0.0003	0.0022	0.0110	0.0181	0.4978	0.0023	0.0043	0.0000	0.2172	0.3910	0.2304
5월	26	0.0234	0.0009	0.0024	0.0139	0.0159	0.3742	0.0013	0.0048	0.0000	0.1696	0.3649	0.1710
6월	24	0.0264	0.0013	0.0046	0.0198	0.0194	0.5882	0.0039	0.0084	0.0000	0.2189	0.3698	0.1357
7월	20	0.0032	0.0000	0.0064	0.0120	0.0248	0.3576	0.0077	0.0035	0.0000	0.0470	0.1261	0.0949
8월	17	0.0069	0.0002	0.0018	0.0062	0.0131	0.1882	0.0008	0.0052	0.0000	0.0459	0.1739	0.1465
9월	21	0.0139	0.0008	0.0028	0.0112	0.0078	0.2729	0.0026	0.0007	0.0000	0.0496	0.1441	0.1201
10월	18	0.0095	0.0001	0.0043	0.0093	0.0211	0.3666	0.0036	0.0077	0.0000	0.1193	0.2429	0.1036
11월	24	0.0065	0.0001	0.0052	0.0104	0.0335	0.5604	0.0038	0.0042	0.0000	0.1454	0.3430	0.1415
12월	32	0.0136	0.0003	0.0076	0.0196	0.0357	0.6896	0.0071	0.0018	0.0000	0.1288	0.3664	0.1615

붉은색: 연중 최고농도, 푸른색: 연중 최저농도

- (월별 변화 추이) 대부분의 미량 중금속은 PM-10 농도 경향과 유사하나, 납(Pb), 비소(As)는 PM-10 농도 증감보다 시료채취기간 중 상대적으로 대기정체일수(평균 2일)가 길었던 2월·6월·10월에 농도가 높은 경향을 나타냄(그림 3)
- 지각 유래 중금속은 PM-10 농도 경향과 유사한 형태를 나타내며, 황사 영향을 받았던 1월에 가장 높은 농도를 나타냄(그림 3)

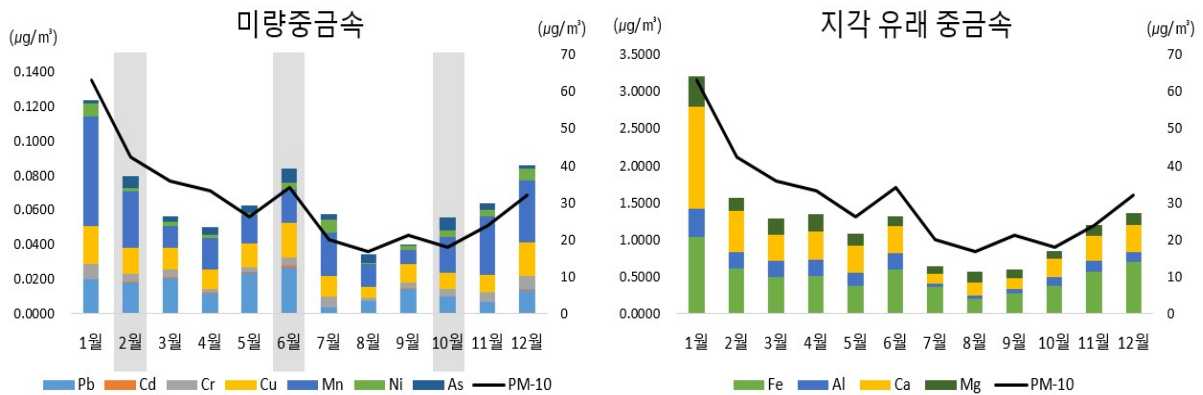


그림 3. 월별 PM-10 농도 변화에 따른 중금속 분포

○ 지점별 농도 변화

- 지점별 납(Pb) 연평균 농도는 공업지역인 학장동에서 최고 0.0202 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기준의 4.0%)를 주거지역인 덕천동에서 0.0116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기준의 2.3%)로 최저를 나타내었음(표 3)

- 금속농도는 공업(학장) > 상업(연산) > 주거지역(광안, 덕천, 부곡) 순이며, 학장(공업)에서 대부분의 항목이 최고농도를 나타냈고, 덕천(주거)에서 납(Pb)을 비롯한 대부분의 항목이 최저농도를 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)	27	0.0127	0.0005	0.0015	0.0100	0.0132	0.2937	0.0008	0.0044	0.0000	0.1326	0.3464	0.1548
학장(공업)	37	0.0202	0.0005	0.0160	0.0265	0.0675	1.2275	0.0146	0.0052	0.0000	0.2140	0.4837	0.2078
덕천(주거)	32	0.0116	0.0004	0.0019	0.0099	0.0150	0.3182	0.0013	0.0039	0.0000	0.1498	0.3434	0.1492
광안(주거)	30	0.0135	0.0005	0.0013	0.0092	0.0130	0.2896	0.0009	0.0042	0.0000	0.1546	0.3988	0.1823
연산(상업)	27	0.0141	0.0005	0.0021	0.0127	0.0162	0.3889	0.0013	0.0043	0.0000	0.1759	0.4371	0.1888

- 전체 중금속 중 공업지역(학장) 소재 대기배출시설¹⁾ 배출원에서 기인하는 5개 중금속(Ni, Cr, Mn, Fe, Cu)의 평균농도는 상업지역과 주거지역 대비 각각 7.3배, 5.6배 높고, 중금속 항목별 각 지점의 기여율에서도 Ni(77%), Cr(70%), Mn(54%), Fe(49%), Cu(39%)로 높은 것으로 나타냄(그림 4)

※ 공업지역의 기타 중금속(Pb, Cd, As, Al, Ca, Mg) 평균농도는 상업 및 주거지역 대비 각각 1.2배, 1.3배로 용도지역간 농도차이가 크지 않음

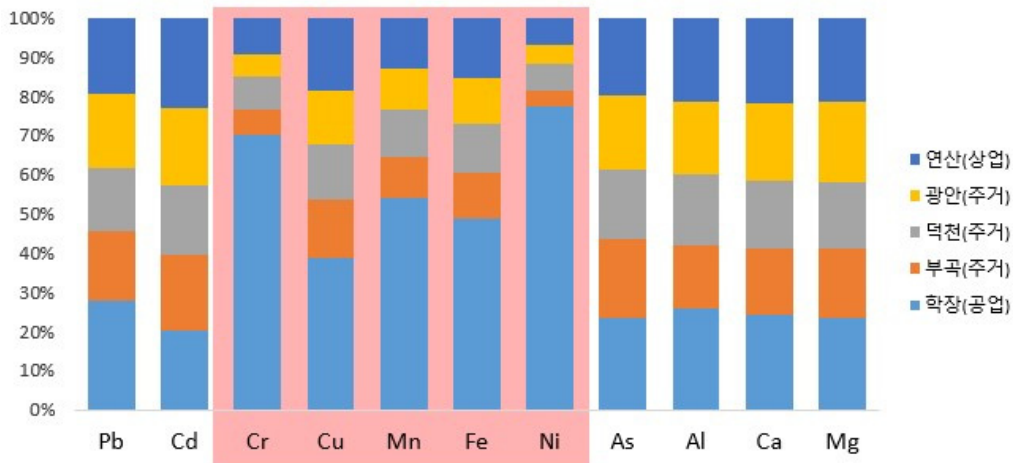


그림 4. 항목·조사지점별 농도 상대비교

○ 황사 시 특성

- 2021년 황사(3월 29일~30일, 5월 8일~9일) 시 대기중금속 분석결과
- (평상시) PM-10 평균농도 30 µg/m³ 중 중금속 농도는 1.3115 µg/m³ 이며 지각 유래 중금속이 전체의 95.0%, 미량 중금속 5.0%를 차지

1) 학장동 소재 대기배출시설 현황(2021년 기준 199개소)

- 금속가공제품제조업 등 금속관련업 41개소(20.6%), 도금 38개소(19.1%), 자동차수리업 38개소 (19.1%), 강/선철(비철) 주물주조업 15개소(7.5%), 도장 및 기타 피막처리업 9개소(4.5%) 등
- Ni, Cr, Cu은 도금·도장, Mn, Fe은 주물·주조 및 금속가공시설과 관련된 항목임

- (황사시) PM-10 평균농도 376 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 중 중금속 농도는 30.8274 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 지각 유래 중금속이 전체의 98.8%, 미량 중금속 1.2%를 차지
- 황사 시 지각 유래 중금속, 미량 중금속 비율이 각각 24.5배, 5.5배 증가한 것으로 나타남(그림 5)

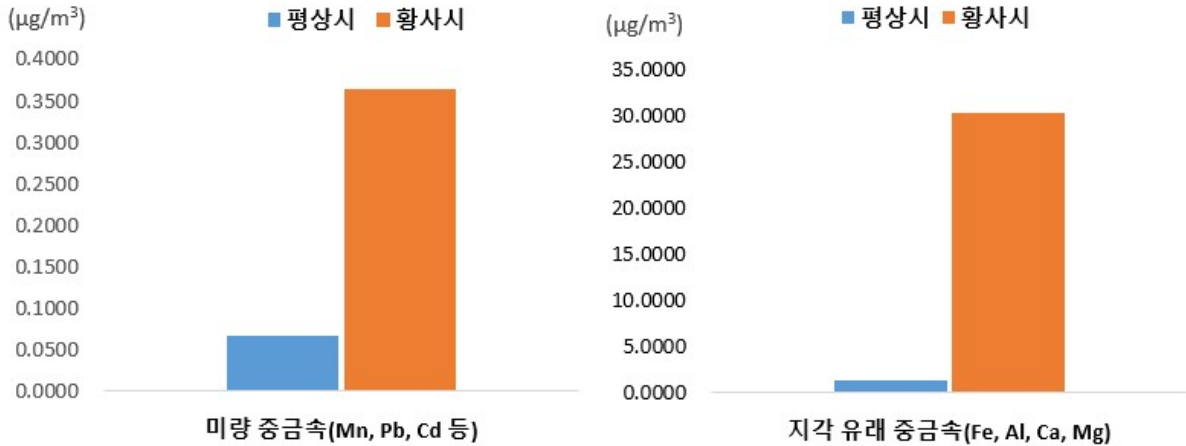


그림 5. 평상시와 황사 시 중금속 농도 비교

○ 7개 특광역시 농도 비교

- 7개 특광역시의 납(Pb) 연평균 농도는 0.0055 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (광주) ~ 0.0370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (울산)으로 대기환경기준의 1.1 ~ 7.4% 수준이며, 울산이 5개 항목(Pb, Cd, Mn, As, Mg)에서 최고농도를 나타냈고, 광주는 대부분의 항목에서 최저농도를 나타냈음(표 4)

표 4. 2021년 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	0.0144	0.0005	0.0045	0.0136	0.0249	0.5018	0.0037	0.0044	0.0000	0.1653	0.4018	0.1766
서울	0.0201	0.0005	0.0037	0.0255	0.0214	0.6993	0.0021	0.0042	0.0000	0.2003	0.7103	0.1855
인천	0.0161	0.0006	0.0031	0.0196	0.0196	0.5029	0.0023	0.0026	0.0000	0.2628	0.3970	0.1204
울산	0.0370	0.0018	0.0018	0.0184	0.0341	0.5167	0.0025	0.0088	0.0000	0.2165	0.6006	0.2196
광주	0.0055	0.0000	0.0005	0.0047	0.0188	0.4254	0.0000	0.0008	0.0000	0.1433	0.4612	0.1374
대구	0.0157	0.0002	0.0027	0.0111	0.0190	0.4583	0.0019	0.0009	0.0000	0.1829	0.4952	0.1634
대전	0.0112	0.0002	0.0015	0.0117	0.0189	0.4746	0.0012	0.0018	0.0000	0.2110	0.4726	0.1496

※ 자료출처: 국가대기오염정보관리시스템(NAMIS)

- 부산은 공업지역(학장) 내 대기오염 배출원의 영향으로 최근 몇 년간의 중금속 농도 특성과 유사하게 크롬(Cr), 니켈(Ni) 항목이 7개 특광역시 중 최고농도 수준을 보이고 있음(표 4, 그림 6)
- 특광역시의 공업지역간 비교(서울은 공업지역이 없어 제외)에서도 부산은 타 공업지역 평균농도* 대비

Ni(7.1배), Cr(6.0배), Mn(2.2배), Fe(2.1배)로 확연하게 높은 농도를 나타내고 있으며, 해당 항목에서 부산이 특광역시 중 상위 농도수준을 나타내는데 큰 영향을 주고 있음(그림 6, 7)

* 5개 광역시(부산, 서울 제외) 공업지역의 평균 중금속 농도



그림 6. 7개 특광역시 대기중금속 농도

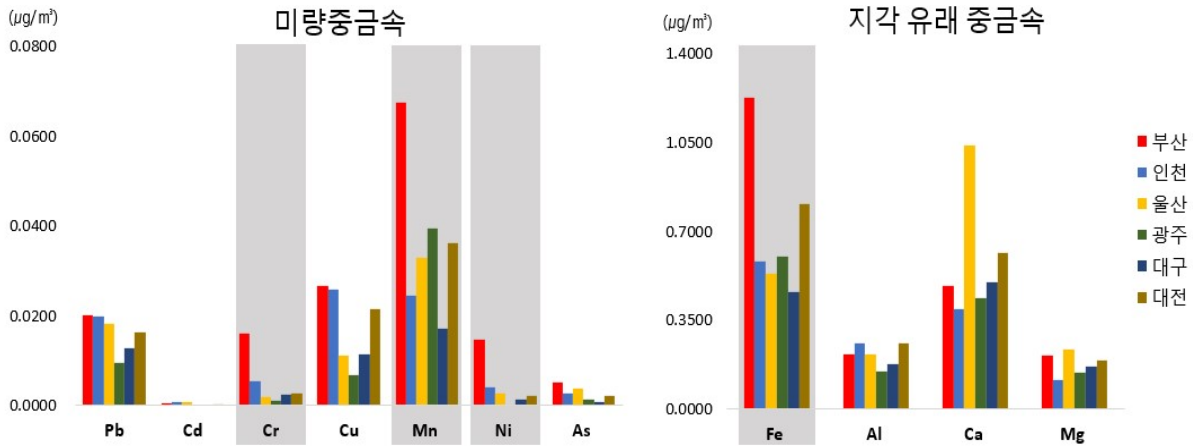


그림 7. 광역시 공업지역간 중금속 농도분포

○ 건강위해도 평가결과

- 건강위해도 평가는 대기 중 호흡으로 인해 발암 또는 비발암(독성)을 일으킬 수 있는 중금속을 대상으로 용도지역별로 수행
- 발암위해도는 2021년 공업지역 6.1×10^{-6} , 상업지역 4.2×10^{-6} , 주거지역 3.9×10^{-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)

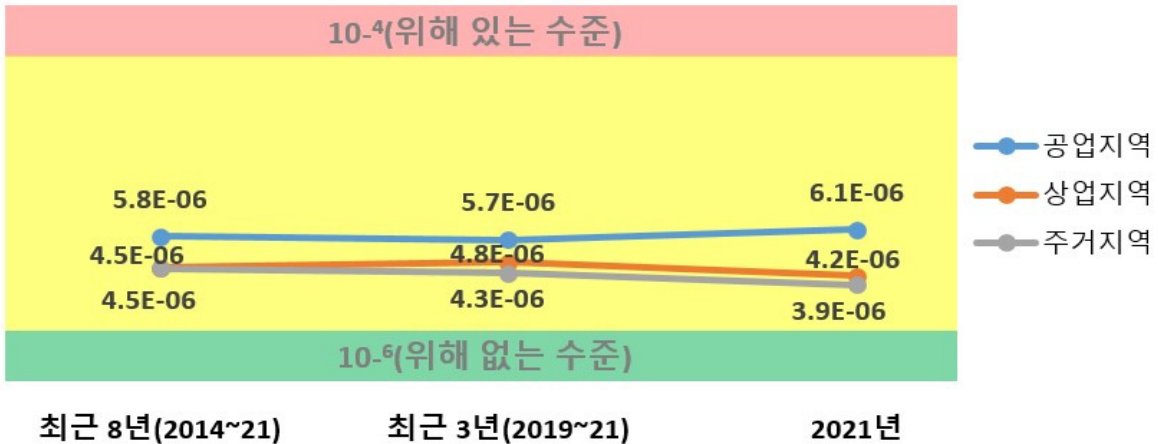


그림 8. 발암위해도 수준

- 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)위해도²⁾는 2021년 공업지역 1.2×10^{-3} , 상업지역 9.3×10^{-4} , 주거지역 8.6×10^{-4} 로 각 용도지역별 위해도지수(HI)가 1 이하로 위해영향 발생 가능성이 낮음으로 나타남

2) 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 나타남

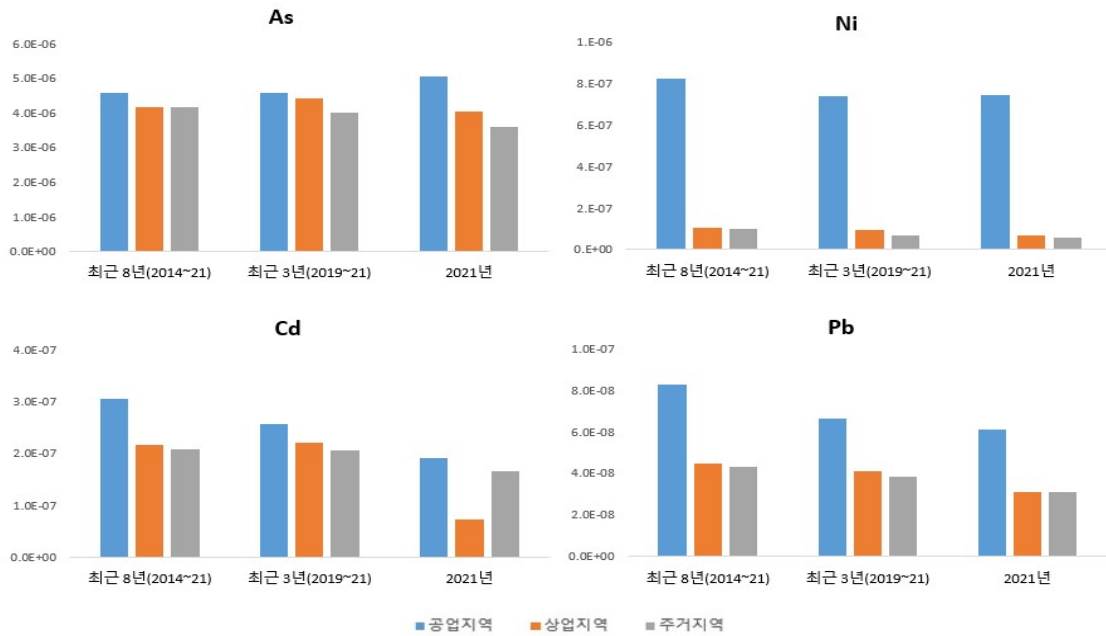


그림 9. 용도지역 및 평가대상별 발암위해도 수준

4. 활용방안

- 지속적인 모니터링을 통한 미세먼지(PM-10) 내 대기중금속 오염도 경향 파악
- 장기간 축적된 데이터를 시민 건강영향 관련 건강위해도 평가 자료로 활용
- 22년 연구사업(부산시 미세먼지 내 유해중금속 발생특성에 관한 연구)의 기초자료로 활용

5. 기대효과

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