

대기중금속 조사

- 부산시의 미세먼지(PM-10) 중 대기중금속 농도에 대한 지속적인 모니터링 실시
- 오염변화 특성을 분석을 통한 대기중금속 저감 및 대기질 개선 수립자료로 활용

1. 조사개요

- 조사기간 : 2020. 1. ~ 2020. 12.(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 녹음광장
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
 - 2020년 미세먼지(PM-10) 중 대기중금속 연평균 농도는 전년에 비해 대기질이 개선되어 중금속 항목 대부분이 전년대비 감소하였음(그림 1)

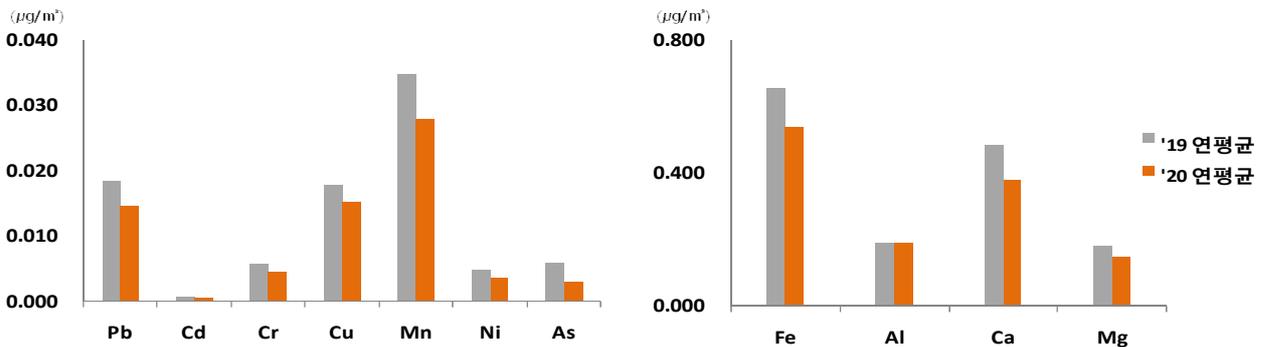


그림 1. 대기중금속 연평균 농도(2019~2020년)

- (환경기준) 납(Pb) 연평균 농도는 0.0146 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 9.7%, 18.5% 수준으로 「만족」하였음(표 1)
- (항목별 농도비율) 12개 금속항목의 비율은 Fe(40.7%) > Ca(28.6%) > Al(14.3%) > Mg(11.2%) 순으로 지각성분이 94.8%를 차지하여 주요 구성성분으로 나타났으며, 기타 미량 금속은 5.2%로 Mn(2.1%) > Pb(1.1%), Cu(1.1%) > Ni(0.3%) > Cr(0.3%), As(0.2%) > Cd, Be(0.0%) 순임

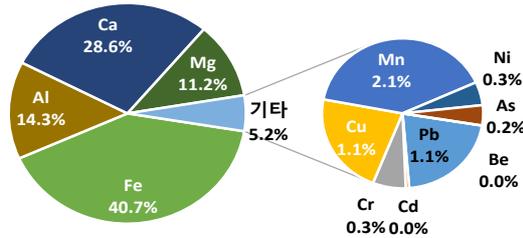


그림 2. 항목별 농도 비율

- (최근 5년간 추이) PM-10 농도는 '16년 이후 다소 감소하는 추세이나, PM-10 중에 포함된 미량 중금속 농도는 항목별로 비슷하거나 대체적으로 감소 추세를 나타내었음
- 지각에서 주로 유래하는 금속인 철(Fe)·칼슘(Ca)·알루미늄(Al)·마그네슘(Mg)은 최근 5년간 비슷한 농도 경향을 유지하고 있음(표 1, 그림 3)

표 1. 최근 5년간(2016~2020년) 대기중금속 연평균 농도 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

항목	미세 먼지 (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 (WHO 권고기준)		0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	(0.005)	-	-	(0.15)	-	-	-	-	-	-	-
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
2016년	46	0.0204	0.0009	0.0051	0.0192	0.0377	0.6737	0.0057	0.0058	0.0000	0.1631	0.4047	0.1326

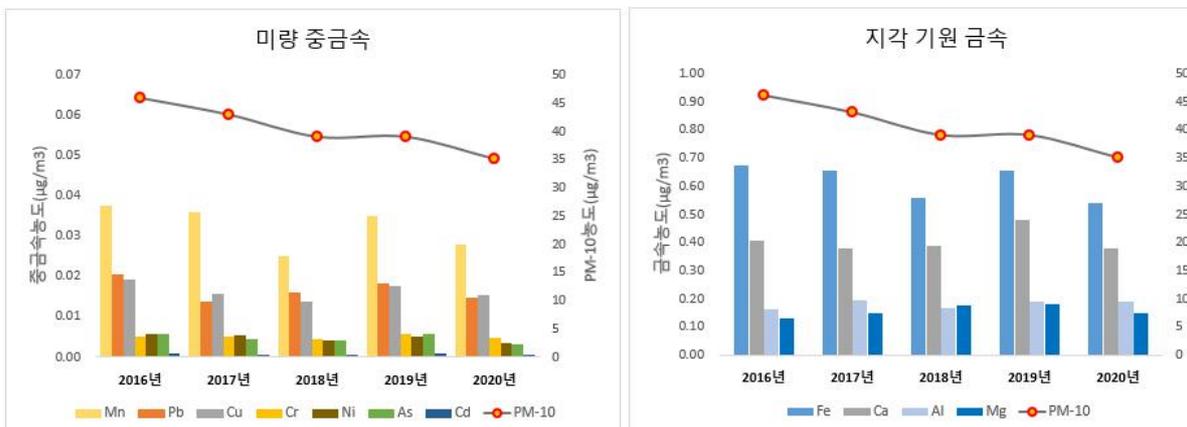


그림 3. 최근 5년간(2016~2020) 금속 농도 변화 추이

○ 월별·계절별 농도 특성

- 2월에는 국내 대기환경기준항목인 납(Pb)과 WHO 권고기준 항목인 카드뮴(Cd)과 망간(Mn)을 비롯해 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni) 등 배출원 기원 미량 중금속 대부분이 최고 농도를 나타내었음
- 4월에는 황사 등의 영향 등으로 지각 기원 또는 비산먼지에서 기인하는 철(Fe), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)이 최고치를 나타내었음
- 8월~9월 강우세정 및 남동풍에 의한 원활한 대기확산으로 대기가 청정하여 대부분의 금속농도가 연중 최저치를 나타내었음(표 2, 그림 4)

표 2. 2020년 월별 PM-10 및 대기중금속 월평균 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)
대기 환경기준 (WHO 권고기준)	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	(0.005)	-	-	(0.15)	-	-	-	-	-	-	-	-
1월	36	0.0134	0.0002	0.0045	0.0204	0.0295	0.4501	0.0041	0.0008	0.0000	0.1212	0.2744	0.1081
2월	45	0.0259	0.0010	0.0062	0.0230	0.0450	0.6681	0.0054	0.0030	0.0000	0.1620	0.3236	0.1269
3월	34	0.0162	0.0009	0.0041	0.0120	0.0325	0.5703	0.0031	0.0052	0.0000	0.2485	0.5044	0.1866
4월	48	0.0173	0.0006	0.0042	0.0114	0.0252	0.6124	0.0015	0.0040	0.0000	0.3063	0.7056	0.2534
5월	44	0.0100	0.0004	0.0055	0.0117	0.0268	0.7161	0.0045	0.0013	0.0000	0.4647	0.4543	0.2433
6월	30	0.0060	0.0000	0.0033	0.0153	0.0239	0.3984	0.0041	0.0007	0.0000	0.1975	0.3286	0.1180
7월	27	0.0087	0.0006	0.0031	0.0115	0.0200	0.3595	0.0027	0.0042	0.0000	0.0727	0.1857	0.0742
8월	23	0.0043	0.0000	0.0034	0.0092	0.0133	0.2840	0.0026	0.0008	0.0000	0.0863	0.1846	0.1878
9월	25	0.0120	0.0006	0.0016	0.0095	0.0125	0.2346	0.0006	0.0043	0.0000	0.0575	0.1617	0.0858
10월	29	0.0181	0.0004	0.0017	0.0130	0.0165	0.3838	0.0003	0.0058	0.0000	0.1274	0.3824	0.1382
11월	27	0.0186	0.0005	0.0017	0.0152	0.0096	0.3909	0.0006	0.0048	0.0000	0.1337	0.3535	0.1051
12월	36	0.0108	0.0002	0.0025	0.0157	0.0147	0.4080	0.0013	0.0005	0.0000	0.1304	0.4541	0.0926

붉은색: 최고농도, 푸른색: 최저농도

- 철(Fe)의 경우 주로 지각에서 기인하는 것 외 공업지역 배출원 등에서도 기원하므로 봄철(3월~5월) 뿐만 아니라 겨울(12월~2월)에도 증가하는 경향을 나타냄(그림 5)

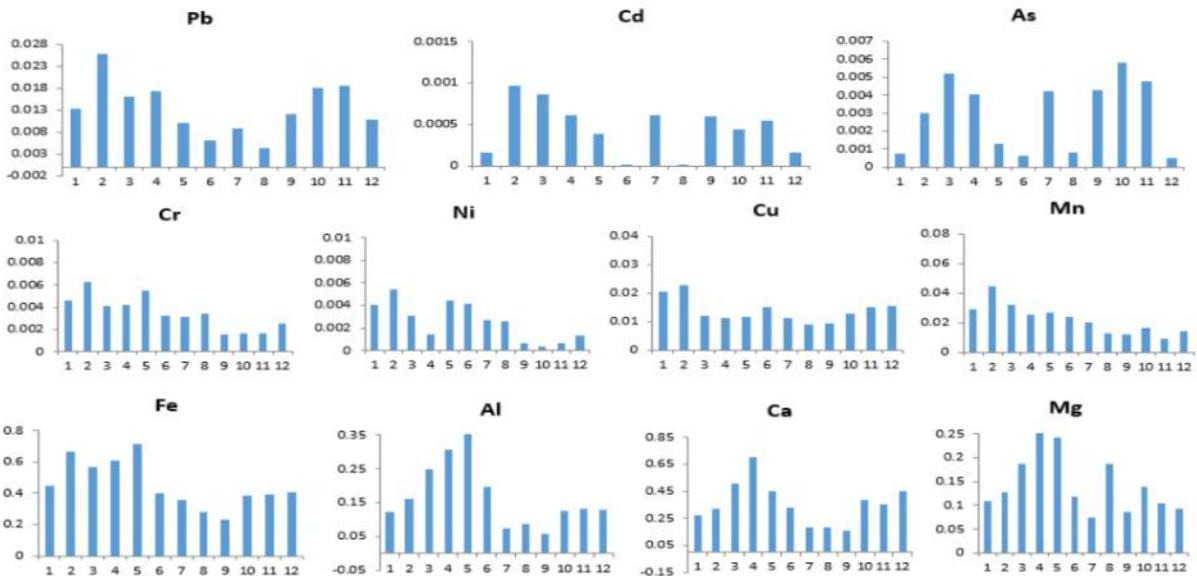


그림 4. 중금속항목 월별 농도 분포($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

○ PM-10과 금속 월별 변화 추이

- 미량 중금속은 대체적으로 동절기 PM-10 농도 최고인 2월에 최대치를 나타내고, 연중 PM-10 농도가 낮은 8월에 최저치를 나타냄. 단, 비소(As)의 경우 PM-10 경향과는 다르게 1월·12월에 낮고 3월·7월·9월~11월에 증가하여 경향성에 차이를 나타냄
- 봄철 PM-10 고농도 시기인 4월~5월에 금속의 대부분을 차지하는 지각 유래 금속(Fe, Al, Ca, Mg)이 최고농도를 나타냄(그림 5)

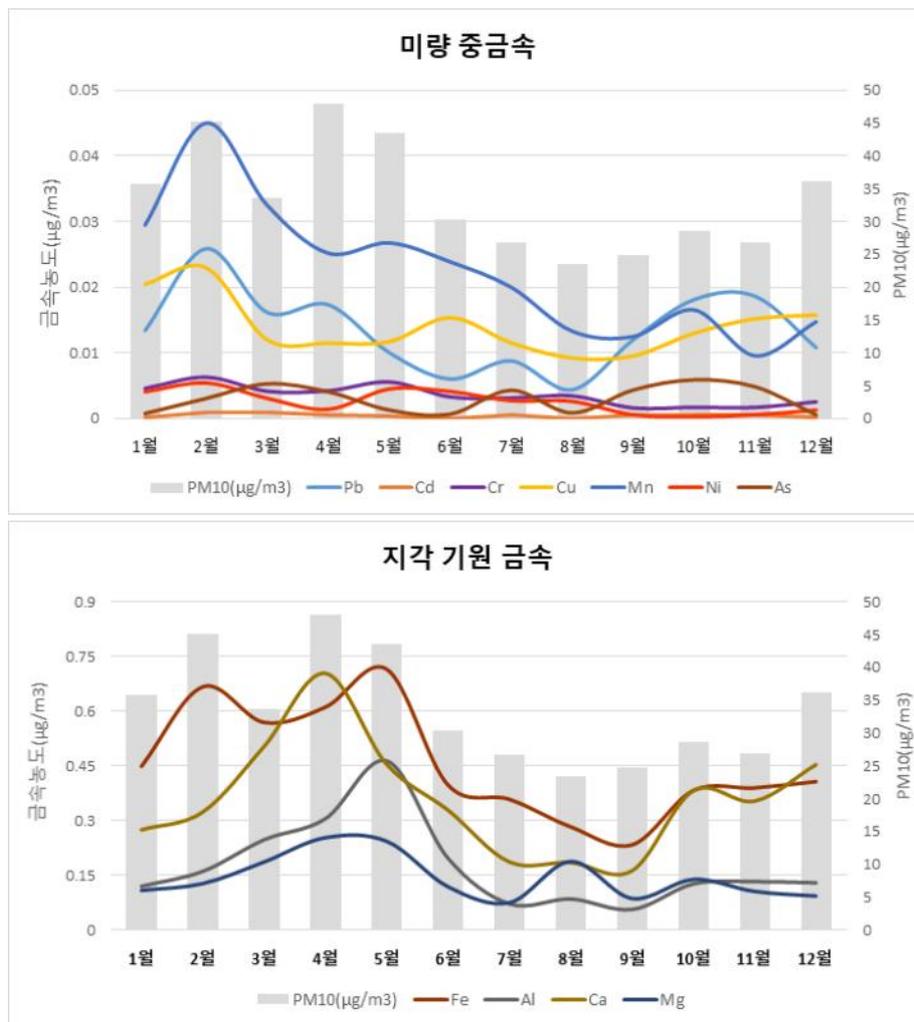


그림 5. PM-10 및 금속 중금속 농도 월별 분포

○ 지점별 농도 변화

- 지점별 납(Pb) 연평균 농도는 주거지역인 덕천동에서 0.0115 µg/m³(기준의 2.3%)로 최저를, 공업지역인 학장동에서 최고 0.0217 µg/m³(기준의 4.3% 수준)를 나타내었음
- 금속농도는 공업(학장) > 상업(연산) > 주거지역(덕천, 광안, 부곡) 순이며, 학장(공업)에서 모든 항목이 최고농도를 나타내었고, 덕천(주거)에서 납(Pb)을 비롯한 대다수 항목 최저 농도를 나타냄(표 3)

표 3. 지점별 중금속 농도

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

항 목	미세 먼지 (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)
대기 환경기준 (WHO 권고기준)		0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	(0.005)	-	-	(0.15)	-	-	-	-	-	-	-
부곡(주거)	32	0.0120	0.0005	0.0017	0.0112	0.0151	0.3357	0.0008	0.0034	0.0000	0.1556	0.3627	0.1271
학장(공업)	42	0.0217	0.0006	0.0154	0.0297	0.0769	1.2784	0.0128	0.0034	0.0000	0.2490	0.4557	0.1989
덕천(주거)	33	0.0115	0.0005	0.0021	0.0098	0.0144	0.3125	0.0013	0.0022	0.0000	0.1442	0.2701	0.1079
광안(주거)	34	0.0136	0.0004	0.0015	0.0106	0.0137	0.3372	0.0012	0.0026	0.0000	0.1795	0.3639	0.1544
연산(공업)	35	0.0140	0.0005	0.0023	0.0149	0.0196	0.4403	0.0015	0.0034	0.0000	0.2182	0.4393	0.1544

* 붉은색: 최고농도, 푸른색: 최저농도

- 전체 중금속농도에 대한 각 지점별 기여율(그림 6)을 비교해 보면 미량 중금속에 대해 학장(공업) 지점의 니켈(73%), 크롬(67%), 망간(55%), 철(47%)이 전 지점 중 중금속에 대해 가장 높은 기여를 하고 있음. 이는 학장동 소재 대기배출시설 주요 업종인 금속가공제품제조업, 도금·도장업, 주물·주조업 등이 *Cr, Mn, Fe, Ni에 대한 주요 배출원이기 때문임

*Cr, Cu, Ni은 도금·도장 등, Mn과 Fe은 주물·주조 및 금속가공시설과 관련된 항목임

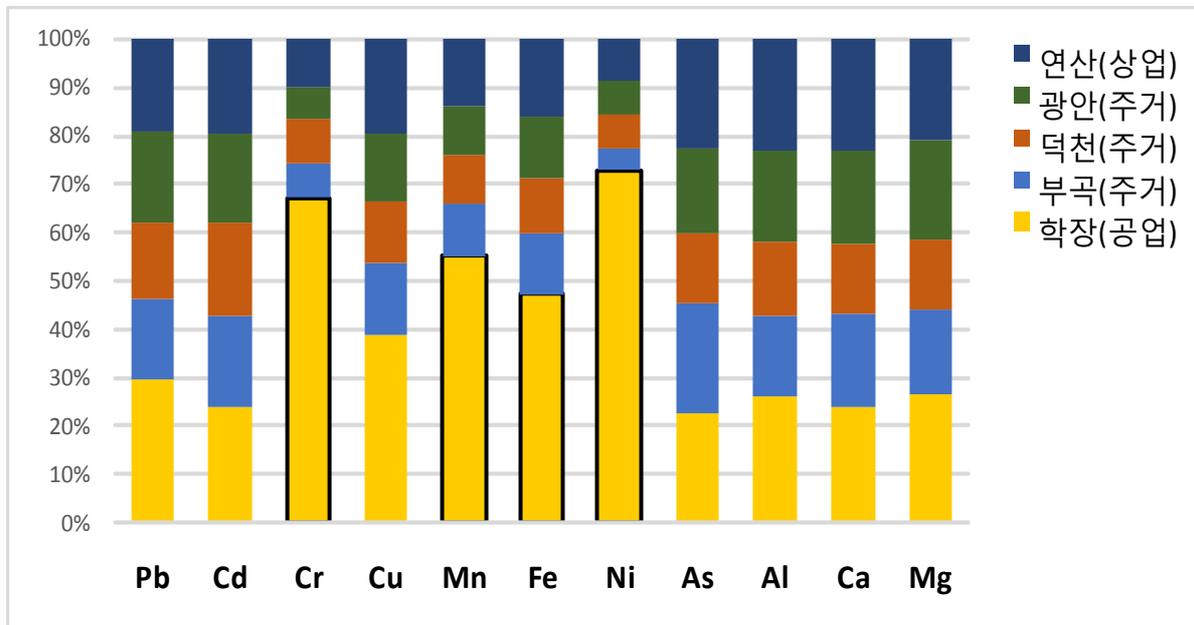


그림 6. 전체 중금속농도에 대한 지점별 기여율

※ 학장동 소재 대기배출시설 현황 ▶ 205개소 (2020년)

- 금속가공제품제조업 등 금속 관련업 41개소(20.0%), 도금 39개소(19.0%), 자동차수리업 37개소(18.0%), 강/선철(비철) 주물주조업 15개소(7.3%), 도장 및 기타 피막처리업 9개소(4.4%) 등

○ 황사 시 특성

- 2020년 부산시 황사 시 대기중금속 분석(2020. 5. 14.) 결과 기준

(PM-10 농도 시간당 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 시료채취 실시, $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만으로 감소되는 경우 시료채취 종료)

- (비황사 시) PM-10 평균농도 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 중 중금속농도 $1.3258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 Fe, Al, Ca, Mg이 중금속농도 전체의 94.8%, 기타중금속 5.2% 차지

- (황사 시) PM-10 평균농도 $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 중 중금속농도 $5.9873 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 Fe, Al, Ca, Mg이 중금속농도 전체

의 97.8%, 기타금속 2.2% 차지

- 황사 시 Mn, Pb, Cr, Ni 등 미량 중금속은 소폭 증가(1.9배)하는 반면 지각 기원 금속인 Fe, Al, Ca, Mg의 비율이 큰 폭 증가(4.7배)한 것으로 나타남(그림 7)

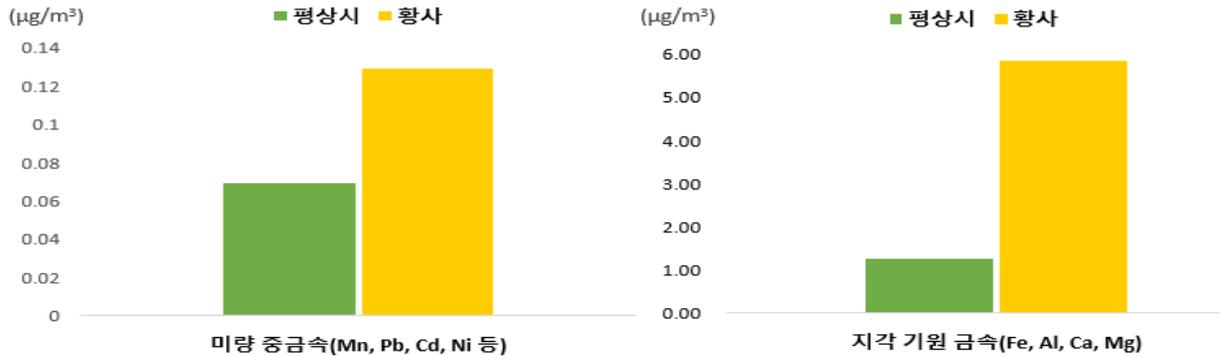


그림 7. 평상시와 황사 시 중금속 농도 비교

○ 7대 대도시 농도 비교

- 7대 대도시의 Pb 연평균 농도는 최소 0.0084 µg/m³(광주) ~ 최대 0.0384 µg/m³(울산)으로 대기환경기준의 1.7 ~ 7.7% 수준임. 울산광역시 Pb 외에도 Cd, Cu, Mn, Ni, As 등 미량 중금속 농도가 대도시 중 최고농도를 나타내었고, 광주가 대부분 항목에서 최저농도를 나타내었음(표 4)
- 부산시는 Cr, Ni 항목이 7대 대도시 중 최고농도 수준을 나타내었는데, 이는 학장동(공업)지역 도금, 금속업종 관련 중금속 고농도 수준이 반영된 결과임(표 4, 그림 8)
- 부산시 평균 Ni* 농도는 최근 6년간 7대 대도시 중 지속적으로 높은 수준을 나타내어 주민건강 영향이 우려되었으나, 최근 6년간 자료를 토대로 발암위해도 평가결과 미국 EPA가 정한 허용위해도(십만명당 1명이 암에 걸릴 확률)보다 훨씬 낮은 수준(천만명 중 7명이 암에 걸릴 확률)임을 확인하였음(별도 연구사업결과**)

* Ni(니켈) : IARC(국제암연구기구) 1급 발암물질

** 출처: '20년 환경보건팀 연구사업-공단지역 PM-10, PM-2.5 중 유해중금속 및 위해성평가

표 4. 2020년 7대 대도시 대기중금속 농도

(단위: µg/m³)

항목	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	As	Be	Al	Ca	Mg
부산(1~12월)	0.0146	0.0005	0.0046	0.0152	0.0278	0.5394	0.0035	0.0030	0.0000	0.1896	0.3790	0.1487
서울(1~11월)	0.0197	0.0005	0.0024	0.0203	0.0193	0.6140	0.0015	0.0100	0.0000	0.2152	0.5965	0.1569
인천(1~12월)	0.0240	0.0008	0.0035	0.0220	0.0244	0.7228	0.0032	0.0081	0.0000	0.3901	0.5220	0.1612
울산(1~11월)	0.0384	0.0023	0.0027	0.0231	0.0448	0.7773	0.0035	0.0100	0.0000	0.3334	0.5698	0.2297
광주(1~12월)	0.0084	0.0002	0.0009	0.0060	0.0150	0.2969	0.0006	0.0014	0.0000	0.1377	0.3028	0.1213
대구(1~12월)	0.0215	0.0006	0.0031	0.0117	0.0165	0.4281	0.0015	0.0025	0.0000	0.1740	0.4224	0.1300
대전(1~11월)	0.0165	0.0003	0.0023	0.0133	0.0258	0.5724	0.0022	0.0031	0.0000	0.2651	0.5280	0.1723

붉은색: 최고농도, 푸른색: 최저농도

* 자료출처: 환경부 국가대기오염정보관리시스템(NAMIS)

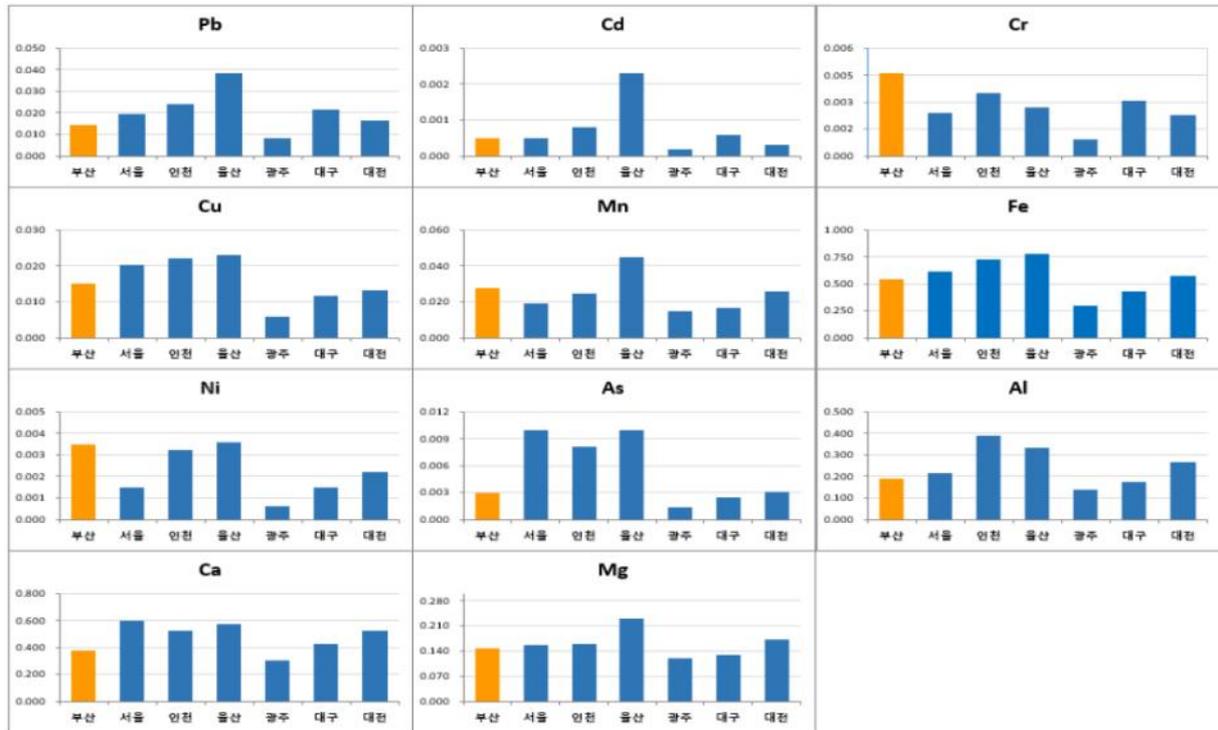


그림 8. 2020년 7대 대도시 대기중금속 연평균 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

4. 활용방안

- 장기적인 모니터링('13년~)으로 PM-10 대기중금속 오염도 추이파악
- 축적된 데이터 활용하여 건강관련 해석 자료로 재생산
⇒ 사상공단 미세먼지 중 발암중금속 위해도 평가('20년 연구과제)
- 부산시 미세먼지저감 대책 및 보완책 마련 근거자료로 활용

5. 기대효과

- 대기중금속 오염현황 파악 및 부산지역에 적합한 대기질 관리 대책 마련
- 유해 미세먼지저감 등 대기환경개선으로 시민건강증진에 기여