

# 대기중금속 조사

- 우리시 미세먼지(PM-10) 중 대기중금속 농도에 대한 지속적·장기적 모니터링 실시
- 오염특성 및 변화 분석을 통한 대기중금속 저감 및 대기질 개선 수립 자료로 활용

## 1. 조사개요

- 조사기간 : 2019. 1. ~ 2019. 12. (매월 둘째 주 5일간)
- 조사지점

| 측정소 | 용도지역 | 위치                              | 비고                                 |
|-----|------|---------------------------------|------------------------------------|
| 학장동 | 공업   | 사상구 대동로 205 학장초등학교 옥상           |                                    |
| 덕천동 | 주거   | 북구 만덕대로155번길 81 부산하수관로 운영사무소 옥상 |                                    |
| 광안동 | 주거   | 수영구 광안로 21번가길 57 한바다중학교 옥상      |                                    |
| 연산동 | 주거   | 연제구 중앙대로1001 시청 녹음광장            |                                    |
| 부곡동 | 주거   | 금정구 부곡로 156번길 7 부곡2동 주민센터 옥상    | 2019. 10월말 신설                      |
| 전포동 | 상업   | 부산진구 전포대로175번길 22 경남공업고등학교 옥상   | 2019. 5월말 폐쇄<br>(사유: 측정소고도 20m 초과) |

- 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 12개 금속

## 2. 조사방법

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

## 3. 조사결과

- 연평균 농도
  - 2019년 미세먼지(PM-10) 중 대기중금속 연평균 농도는 대부분 항목이 전년대비 유사하거나 소폭 증가하였음(그림1)

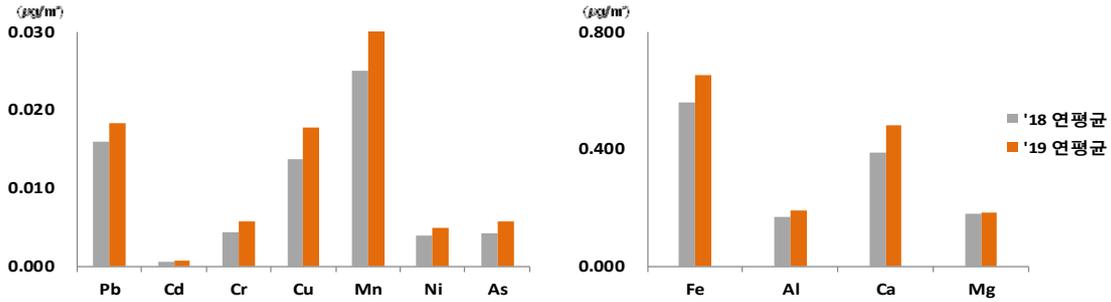


그림 1. '18 ~ '19년 대기중금속 연평균 농도

- (환경기준) 납(Pb) 연평균 농도는 0.0183 µg/m<sup>3</sup>으로 국내 대기환경기준(연평균 0.5µg/m<sup>3</sup>)의 3.7 % 수준이며, 카드뮴(Cd) 및 망간(Mn)의 농도는 WHO 권고기준(연평균 각 0.005, 0.15µg/m<sup>3</sup>)의 14.0%, 23.3 % 수준으로 「만족」하였음 (표1)

표 1. 최근 7년간('13~'19) 대기중금속 연평균 농도

(단위: µg/m<sup>3</sup>)

| 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)  | -      | -       | -       | -        | -         | -       | -         |
| '19년       | 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    |
| '18년       | 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    |
| '17년       | 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    |
| '16년       | 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    |
| '15년       | 44          | 0.0225 | 0.0007   | 0.0060  | 0.0176  | 0.0341  | 0.6511 | 0.0060  | 0.0040  | 0.0000   | -         | -       | -         |
| '14년       | 46          | 0.0231 | 0.0004   | 0.0055  | 0.0186  | 0.0339  | 0.5812 | 0.0049  | 0.0027  | 0.0000   | -         | -       | -         |
| '13년       | 46          | 0.0268 | 0.0004   | 0.0091  | 0.0223  | 0.0583  | 0.9753 | 0.0082  | 0.0024  | 0.0000   | -         | -       | -         |

- (금속 구성 비율) Fe (41.0%) > Ca (30.2%) > Al (11.9%) > Mg (11.4%) 순으로 토양성분이 94.5%를 차지하여 주요 구성성분으로 나타났으며, 기타 미량 금속은 5.5 %로 Mn(2.2%) > Pb(1.1%), Cu(1.1%) > Ni(0.4%) > Cr(0.3%), As(0.3%) > Cd, Be(0.0%) 순임

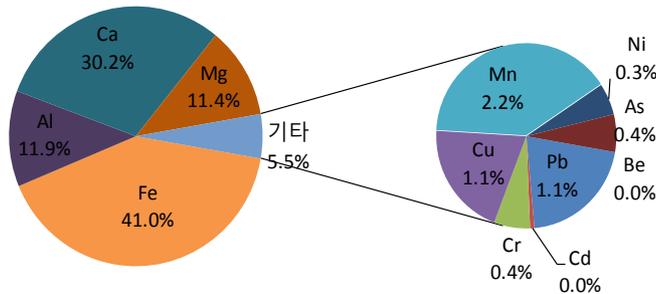


그림 2. 금속 구성 비율

- (최근 7년간 추이) '13년 이후 카드뮴(Cd)은 지속적으로 매우 낮은 농도를 유지하고 있으며, 납(Pb)·망간(Mn)·구리(Cu)·크롬(Cr), 니켈(Ni) 농도는 '13년 이후 감소하였다가 '18년~'19년 사이 소폭 증가하고 있으며, 주로 토양성분 유래인 철(Fe)·칼슘(Ca)·알루미늄(Al)·마그네슘(Mg)은 '16년 이후 비슷한 경향을 유지하고 있음 (그림3)

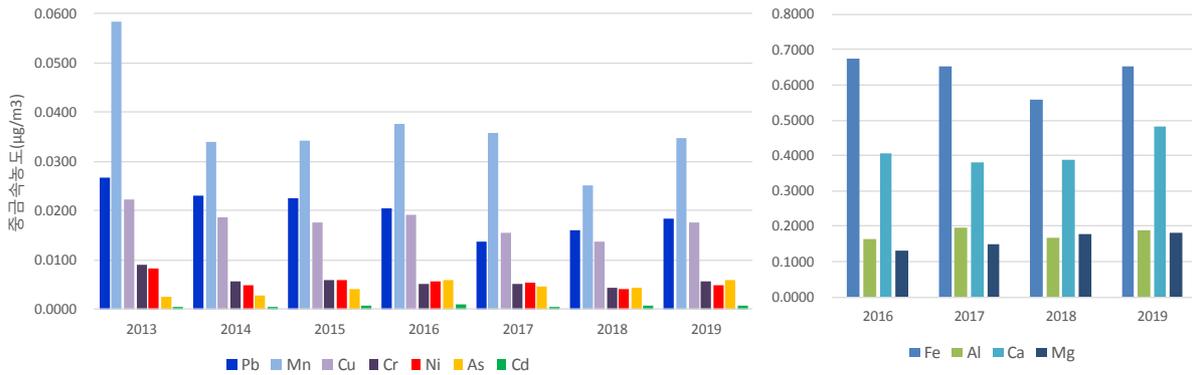


그림 3. 최근 7년간('13~'19) 항목별 중금속농도 추이

○ 월별·계절별 농도 특성

- 1월과 12월에는 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 니켈(Ni), 철(Fe), 알루미늄(Al), 칼슘(Ca) 등 다수 중금속이 최고 농도를 나타내었음
- 3월에는 국내 대기환경기준항목 및 WHO 권고기준 항목인 납(Pb)과 카드뮴(Cd)이 연중 최고 농도를 나타내었는데 이는 국내·외 유입 미세먼지 영향으로 미세먼지(PM-10) 농도가 가장 높았던 영향으로 추정됨.
- 6월에는 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 니켈(Ni) 등이 모두 최저 농도를 나타내었는데, 인위적인 배출원의 영향이 큰 항목이나 대기의 원활한 확산과 강수 등으로 인한 농도감소로 보임 (표2)

표 2. 2019년 월별 PM-10 및 대기중금속 월평균 농도

(단위: µg/m³)

| 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                 | 57          | 0.0227  | 0.0007   | 0.0099  | 0.0381  | 0.0784  | 1.2901 | 0.0073  | 0.0055  | 0.0000   | 0.3666    | 0.9422  | 0.2491    |
| 2월                 | 50          | 0.0220  | 0.0007   | 0.0061  | 0.0213  | 0.0423  | 0.8819 | 0.0051  | 0.0045  | 0.0000   | 0.1910    | 0.5878  | 0.1961    |
| 3월                 | 71          | 0.0281  | 0.0014   | 0.0070  | 0.0206  | 0.0447  | 0.7790 | 0.0067  | 0.0095  | 0.0000   | 0.1882    | 0.6368  | 0.2508    |
| 4월                 | 30          | 0.0118  | 0.0002   | 0.0032  | 0.0100  | 0.0200  | 0.3523 | 0.0024  | 0.0033  | 0.0000   | 0.0897    | 0.2673  | 0.1308    |
| 5월                 | 52          | 0.0184  | 0.0010   | 0.0050  | 0.0191  | 0.0398  | 0.7929 | 0.0051  | 0.0102  | 0.0000   | 0.2642    | 0.6582  | 0.2262    |
| 6월                 | 26          | 0.0202  | 0.0005   | 0.0024  | 0.0086  | 0.0065  | 0.2412 | 0.0010  | 0.0064  | 0.0000   | 0.0531    | 0.2010  | 0.1145    |

| 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) |
|-----|-------------|--------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|----------|-----------|---------|-----------|
| 7월  | 24          | 0.0174 | 0.0006   | 0.0075  | 0.0110  | 0.0142  | 0.6221 | 0.0045  | 0.0038  | 0.0000   | 0.1522    | 0.5460  | 0.1740    |
| 8월  | 22          | 0.0092 | 0.0007   | 0.0042  | 0.0092  | 0.0215  | 0.3045 | 0.0032  | 0.0039  | 0.0000   | 0.0733    | 0.2000  | 0.1422    |
| 9월  | 26          | 0.0156 | 0.0009   | 0.0037  | 0.0113  | 0.0136  | 0.2365 | 0.0029  | 0.0038  | 0.0000   | 0.0458    | 0.1478  | 0.1418    |
| 10월 | 27          | 0.0134 | 0.0005   | 0.0049  | 0.0139  | 0.0342  | 0.5719 | 0.0054  | 0.0031  | 0.0000   | 0.2127    | 0.3021  | 0.1546    |
| 11월 | 35          | 0.0202 | 0.0012   | 0.0049  | 0.0195  | 0.0396  | 0.7996 | 0.0052  | 0.0114  | 0.0000   | 0.2691    | 0.6648  | 0.2263    |
| 12월 | 45          | 0.0196 | 0.0003   | 0.0103  | 0.0273  | 0.0591  | 0.9026 | 0.0099  | 0.0018  | 0.0000   | 0.3235    | 0.5512  | 0.1692    |

- 대기중금속 월별 농도 변화는 시료채취시기 미세먼지(PM-10) 농도와 대체적으로 경향을 같이 하였으나, 6월~7월은 PM-10이 낮은 시기임에도 납(Pb)의 농도가 일부 증가하는 등 특이점도 나타났음 (그림 4)

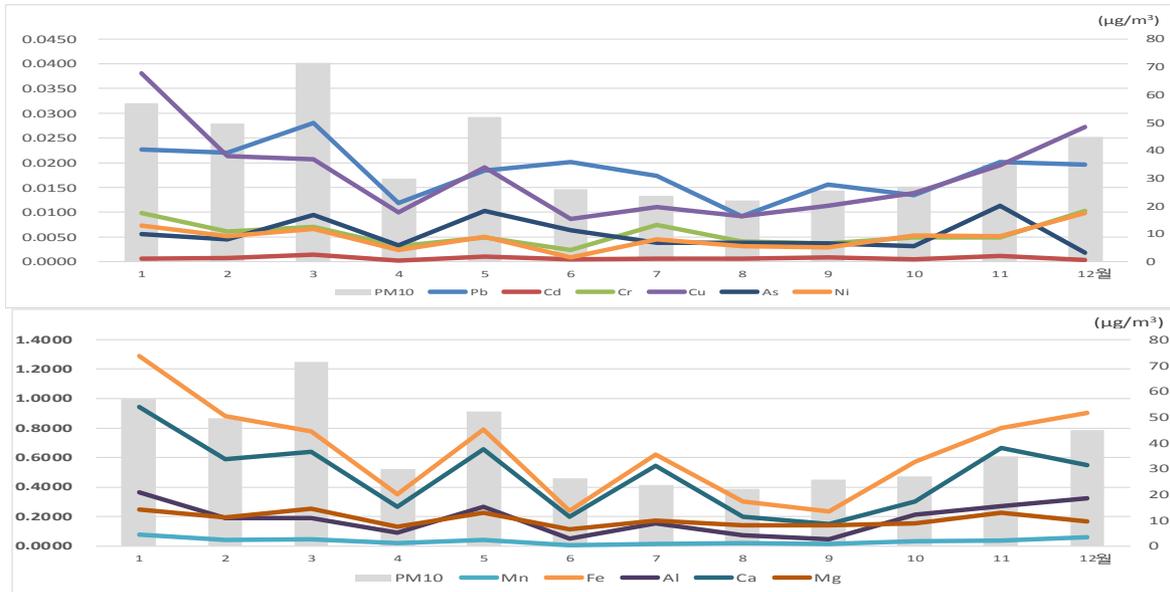


그림 4. 월별 PM-10농도 및 중금속 분포 비율

- 월별 각 중금속 농도 변화는 카드뮴(Cd)·비소(As) 그리고 크롬(Cr)·니켈(Ni)·구리(Cu)·망간(Mn)·철(Fe)이 각각 유사한 경향을 나타내었음 (그림5)

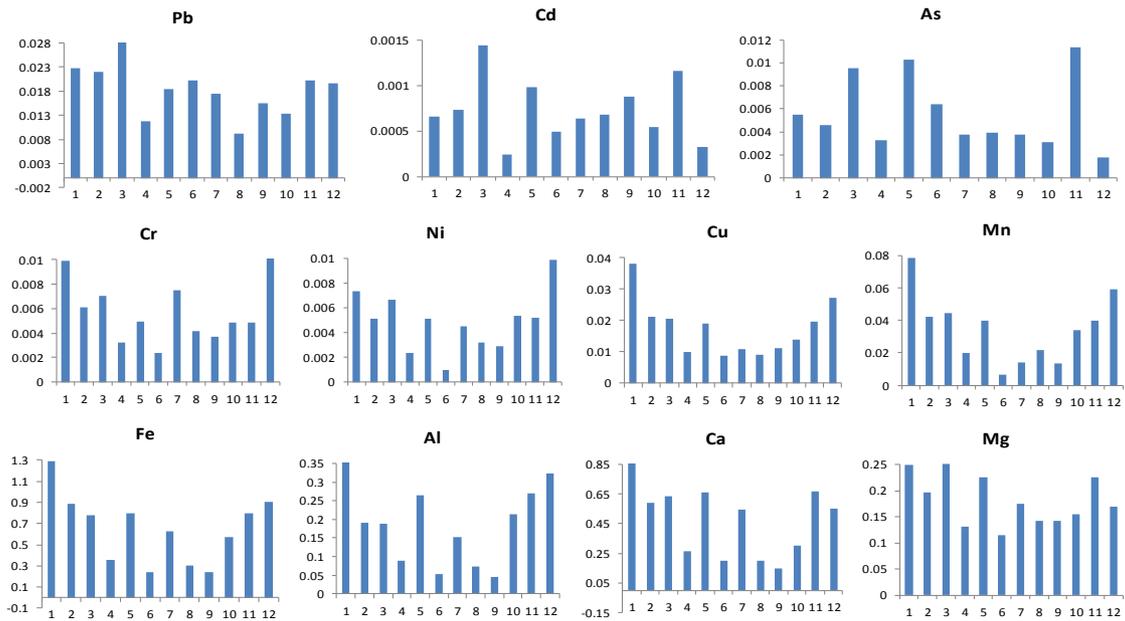


그림 5. 중금속항목 각 항목에 대한 월별 농도 분포(µg/m<sup>3</sup>)

- 계절에 따른 중금속 항목별 분포를 보면 대부분의 항목이 봄과 겨울에 높은 경향을 나타내었고, 주로 인위적인 배출원에서 기인하는 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni)은 특히 겨울철에 고농도를 나타내었음 (그림6)

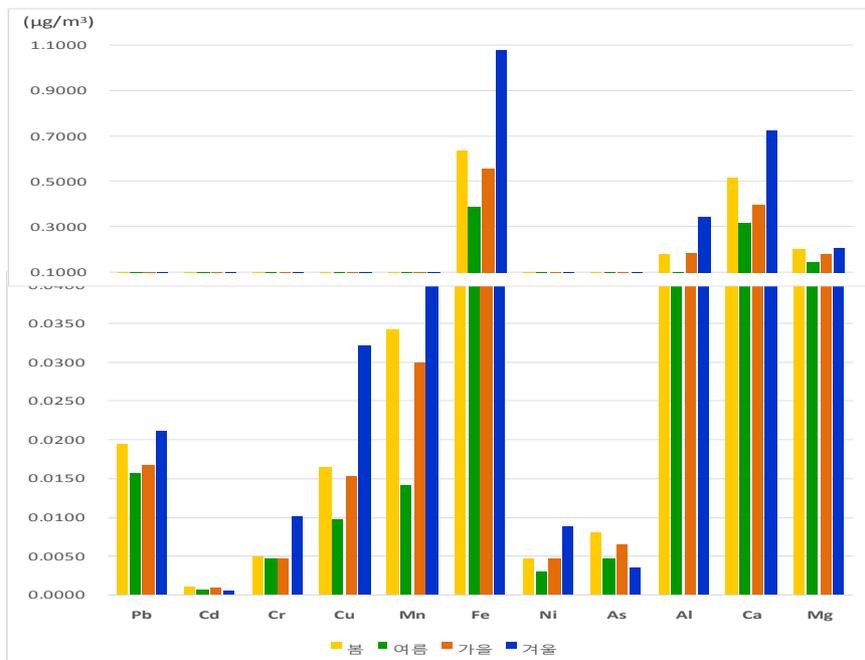


그림 6. 중금속항목 계절별 농도분포

## ○ 지점별 농도

- 지점별 Pb 연평균 농도는 최저 0.0142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (덕천), 최고 0.0228  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (학장) 수준을 나타내었으며, WHO 권고기준 중금속인 Cd과 Mn의 연평균 농도는 지점별로 각각 0.006(덕천)~0.008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (학장), 0.0179(덕천)~0.0748  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (학장)의 농도 분포를 나타내었음
- 학장동(공업지역)에서 납(Pb) 등 7개 항목이 최고농도를 보였고, 광안동(주거지역)에서는 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni), 비소(As)항목이, 덕천동(주거지역)에서 납(Pb)을 비롯한 9개 항목이 가장 낮은 수준이었음(표3)

표3. 지점별 중금속 농도

| 항 목              | (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |           |          |         |          |         |        |         |         |          |           |         |           |
|------------------|---------------------------------|-----------|----------|---------|----------|---------|--------|---------|---------|----------|-----------|---------|-----------|
|                  | 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           | -                               | 연평균 0.5   | -        | -       | -        | -       | -      | -       | -       | -        | -         | -       | -         |
| WHO 권고기준         | -                               | 연평균 0.005 | -        | -       | 연평균 0.15 | -       | -      | -       | -       | -        | -         | -       | -         |
| 학장(공업)           | 46                              | 0.0228    | 0.0008   | 0.0174  | 0.0345   | 0.0748  | 1.3350 | 0.0134  | 0.0057  | 0.0000   | 0.2258    | 0.5237  | 0.2179    |
| 연산(상업)           | 36                              | 0.0179    | 0.0008   | 0.0025  | 0.0143   | 0.0239  | 0.4851 | 0.0026  | 0.0065  | 0.0000   | 0.1866    | 0.5001  | 0.1786    |
| 덕천(주거)           | 26                              | 0.0142    | 0.0006   | 0.0021  | 0.0112   | 0.0179  | 0.3473 | 0.0020  | 0.0054  | 0.0000   | 0.1315    | 0.3010  | 0.1225    |
| 광안(주거)           | 36                              | 0.0180    | 0.0008   | 0.0016  | 0.0106   | 0.0189  | 0.4063 | 0.0020  | 0.0054  | 0.0000   | 0.1821    | 0.4694  | 0.1878    |
| 전포(상업) (1~5월)*   | 57                              | 0.0186    | 0.0007   | 0.0030  | 0.0140   | 0.0347  | 0.5929 | 0.0031  | 0.0062  | 0.0000   | 0.2089    | 0.6049  | 0.1942    |
| 부곡(주거) (11~12월)* | 34                              | 0.0143    | 0.0006   | 0.0030  | 0.0166   | 0.0311  | 0.5634 | 0.0034  | 0.0057  | 0.0000   | 0.2551    | 0.6706  | 0.1820    |

\* 전포와 부곡동측정소는 측정소 폐쇄 및 신설로 각각 5개월, 2개월만 조사되어 지점 간 비교는 하지 않음

- 중금속 각 항목에 대해 지점별 기여율을 보면 학장동(공업지역) 지점이 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni)농도에 대해 50% 이상 매우 높은 비율을 차지하는 것을 보여주고 있음(그림7)
- 공업지역인 학장동 지점은 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni) 농도가 주거(덕천·광안) 및 상업(연산)지역 평균농도에 비해 3~8배 가량 고농도를 나타내고 있었음. 토양유래금속 중 Al, Ca, Mg 은 타지역에 비해 학장이 1.2배 정도이나, Fe은 3.2배 수준으로 인위적 배출원 영향이 더 있음을 보여주고 있음(그림8). 학장지역은 학장동 소재 대기배출시설 주요 업종인 금속가공제품제조업, 도금·도장업, 주물·주조업 등\*의 중금속 배출원의 영향을 받아 Cr, Cu, Mn, Fe, Ni 농도가 높은 것으로 판단됨

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

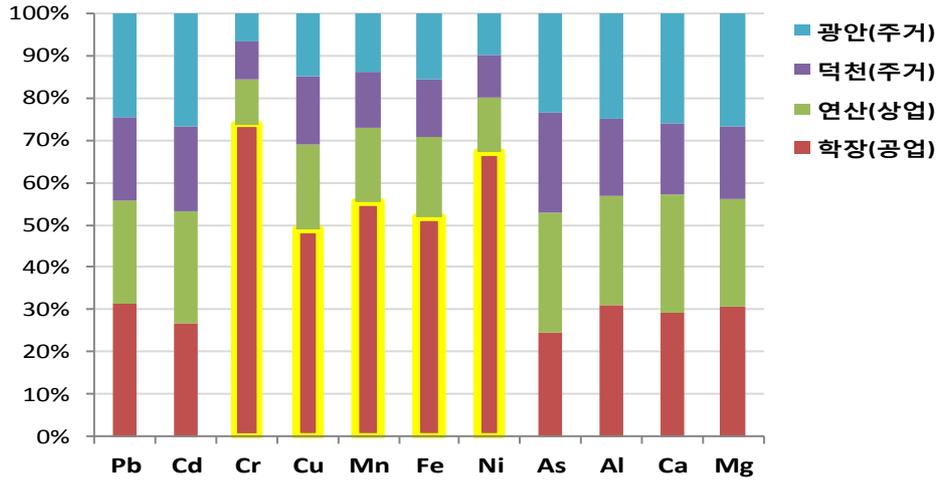


그림 7. 중금속 각 항목에 대한 지점별 분포

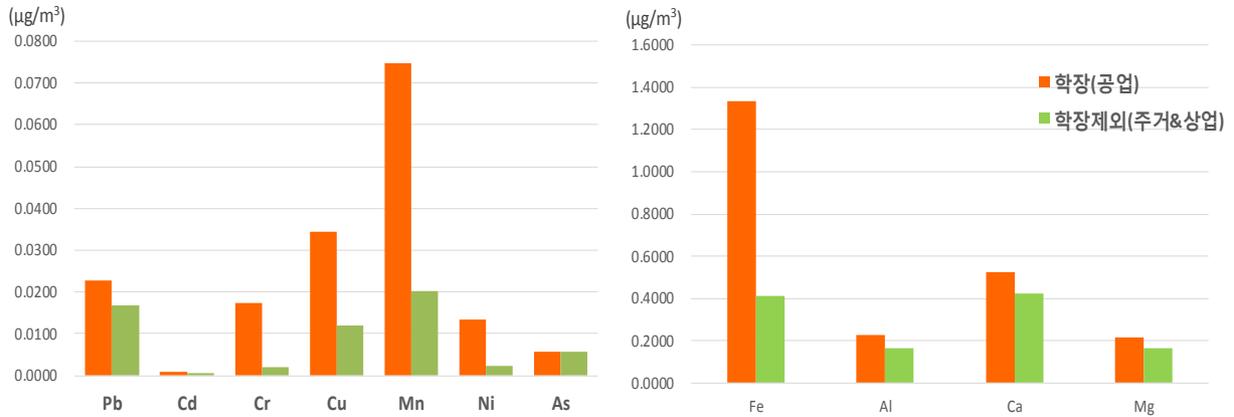


그림 8. 공업(학장) 및 주거 및 상업(학장제외) 지점 간 중금속 농도

※ 학장동 소재 대기배출시설 현황 ▶ 210개소 (2019년)

- 금속가공제품제조업 등 금속관련업 40개소(21.9%), 도금 40개소(19.0%), 자동차수리업 36개소 (17.1%), 강/선철 주물주조업 11개소(5.2%), 도장 및 기타 피막처리업 9개소(4.3%) 등

○ 황사 시 특성

- 2019년 부산시 황사 대기중금속 분석 대상일\*(2019. 10. 29.)에 대한 분석결과  
 (\*PM-10 농도 시간당 200µg/m³ 이상 시료채취 실시, 150µg/m³ 미만으로 감소 시 시료채취 종료)
- (비황사시) PM-10 평균농도 39µg/m³ 중 금속농도 1.5951µg/m³ 이며 Fe, Al, Ca, Mg이 금속농도 전체의 94.5%, 기타금속 5.5% 차지
- (황사시) PM-10 평균농도 96µg/m³ 중 금속농도 6.9422µg/m³ 이며 Fe, Al, Ca, Mg이 금속농도 전체의 98.3%, 기타금속 1.7% 차지
- 황사 시 토양유래 중금속인 Fe, Al, Ca, Mg의 비율이 큰 폭(4.5배) 증가하고 Mn, Pb, Cr, Ni 등

기타 미량 금속은 소폭(1.3배) 증가하는 것으로 나타남(그림9)

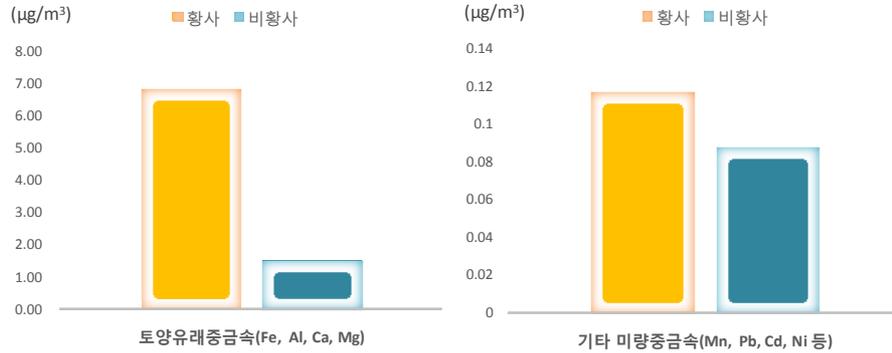


그림 9. 황사와 비황사 중금속 농도 비교

○ 7대 대도시 농도 비교

- 7대 대도시의 Pb 연평균 농도는 최소 0.0110µg/m³(광주) ~ 최대 0.0274µg/m³(울산) 으로 대기환경기준의 2.2 ~ 5.5% 수준임(표 4)
- 부산시는 Cr, Mn, Fe, Ni 항목이 7대 대도시 중 최고농도를 나타내었음. 이는 학장동(공업)지역 중금속 고농도 항목이 반영된 결과로 추정되어, 학장(공업)지역 제외 평균 비교 결과 Cr, Mn, Fe, Ni 농도에 대해 부산은 중등도 수준이었음 (표4, 그림10)

표 4. 2019년 7대 대도시 대기중금속 농도

(단위:µg/m³)

|    | Pb     | Cd     | Cr            | Cu     | Mn            | Fe            | Ni            | As     | Be     | Al     | Ca     | Mg     |
|----|--------|--------|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 부산 | 0.0183 | 0.0007 | <b>0.0058</b> | 0.0177 | <b>0.0346</b> | <b>0.6497</b> | <b>0.0050</b> | 0.0058 | 0.0000 | 0.1867 | 0.4721 | 0.1810 |
| 서울 | 0.0266 | 0.0008 | 0.0033        | 0.0249 | 0.0217        | 0.6409        | 0.0030        | 0.0052 | 0.0000 | 0.2213 | 0.5859 | 0.1636 |
| 인천 | 0.0218 | 0.0007 | 0.0048        | 0.0227 | 0.0242        | 0.5790        | 0.0046        | 0.0033 | 0.0000 | 0.2397 | 0.3576 | 0.1179 |
| 울산 | 0.0274 | 0.0017 | 0.0009        | 0.0199 | 0.0246        | 0.5924        | 0.0030        | 0.0071 | 0.0000 | 0.2543 | 0.4381 | 0.1917 |
| 광주 | 0.0110 | 0.0003 | 0.0005        | 0.0058 | 0.0181        | 0.3180        | 0.0012        | 0.0042 | 0.0000 | 0.1501 | 0.4499 | 0.1491 |
| 대구 | 0.0216 | 0.0006 | 0.0026        | 0.0126 | 0.0184        | 0.5277        | 0.0027        | 0.0025 | 0.0000 | 0.1902 | 0.5225 | 0.1934 |
| 대전 | 0.0218 | 0.0003 | 0.0010        | 0.0087 | 0.0143        | 0.4051        | 0.0014        | 0.0024 | 0.0000 | 0.2743 | 0.4897 | 0.1661 |

※ 자료출처: 국가대기오염정보관리시스템(NAMIS)

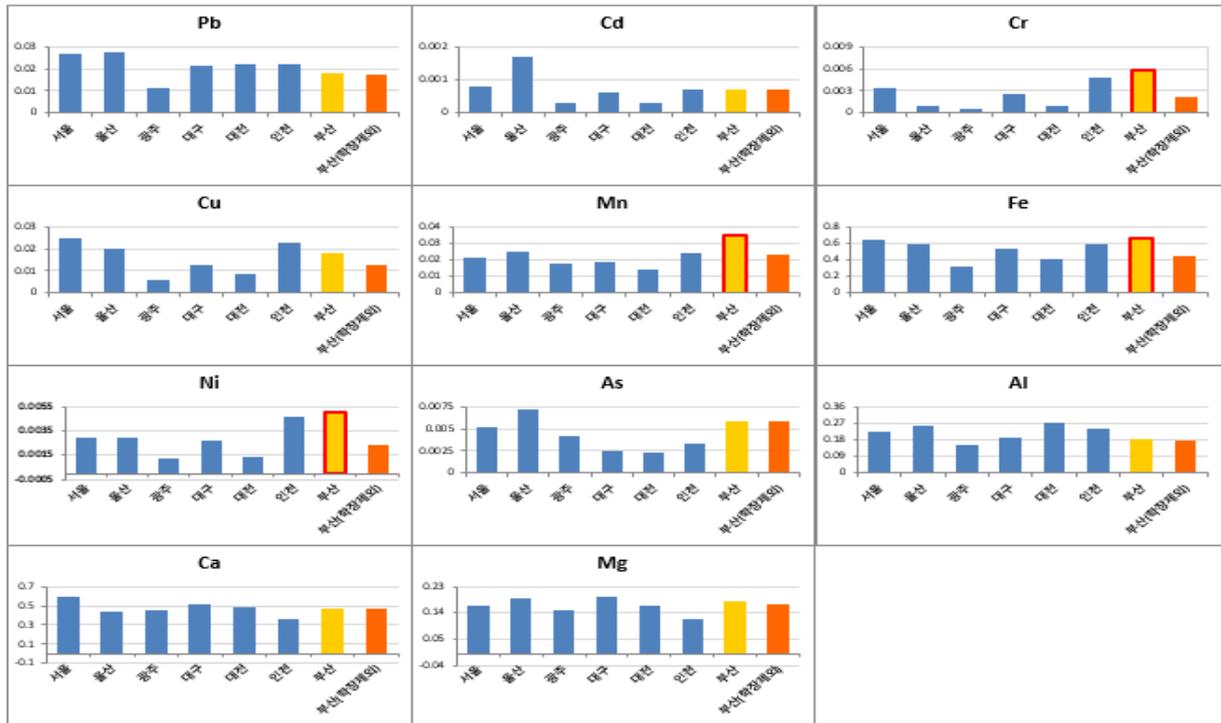


그림 10. 2019년 7대 대도시 대기중금속 농도(μg/m³)

#### 4. 활용방안

- 축적된 데이터 활용으로 대기중금속 위해도 평가자료 등으로 재생산
- 우리시 미세먼지 저감대책 및 보완책 마련을 위한 근거자료로 활용

#### 5. 기대효과

- 대기중금속 지속적 모니터링으로 오염 실태파악을 위한 장기 데이터 확보
- 대기중금속 오염현황 파악 및 부산지역에 적합한 대기질 관리 대책 마련
- 유해 미세먼지저감 등 대기환경개선으로 시민건강증진에 기여