

미세먼지(PM2.5) 성분조사

- 환경에의 영향 및 인체 위해성이 상대적으로 큰 미세먼지의 구성성분 조사 필요
- 미세먼지 저감대책 마련을 위한 발생원 추적 및 위해도 평가 위한 기초조사 필요

1. 조사개요

- 조사기간 : 2014년 1월 ~ 12월(월별 7일간)
- 조사항목
 - 중량농도 : 측정망 자료
 - 이온성분 : Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}
 - 금속성분 : Al, As, Be, Cr, Co, Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Ti, V, Zn

2. 조사방법

- 시료 채취 : PM2.5 시료채취기(APM사, PMS-102), 직경 47 mm PTFE(테프론) 여과지 사용
- 분석 방법
 - 중량농도 : 미량 저울(Microbalance)을 이용한 중량농도법측정망 자료
 - 이온성분 : 이온크로마토그래프(IC)법(음이온), 흡광광도(UV)법(NH_4^+ 이온), 유도결합플라즈마(ICP-OES)법(양이온)
 - 금속성분 : 유도결합플라즈마(ICP-OES)법

3. 조사결과

- 부산지역 PM2.5 및 PM10 농도 추이
 - 2014년 부산지역 대기 중 PM2.5 및 PM10의 평균농도는 각각 29, 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM2.5/PM10 비는 60 %로 나타났음.
 - PM2.5 중량농도는 연산동 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 학장동 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났음.
 - PM2.5/PM10비는 연산동 68 %, 학장동 65 %로 부산평균 60 % 대비 다소 높게 조사되었음.

표 1. PM2.5 및 PM10 농도

(대기오염측정망 자료, 2014.1.1.~12.31.)

| 구분 | PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | PM2.5/PM10(%) | | |
|-------|------------------------------------|-----|-----|-----------------------------------|-----|-----|---------------|-----|-----|
| | 부산평균 | 연산동 | 학장동 | 부산평균 | 연산동 | 학장동 | 부산평균 | 연산동 | 학장동 |
| 2014년 | 29 | 32 | 36 | 48 | 47 | 55 | 60 | 68 | 65 |
| 2013년 | 29 | 26 | 38 | 49 | 49 | 61 | 59 | 53 | 62 |

○ 이온성분 분석결과

- PM2.5 중 이온성분 농도는 조사기간 중 연산동 및 학장동 각각 11.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5 중량농도의 35 %), 15.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5 중량농도의 42 %) 차지하였음.
- PM2.5 중 이온성분($\mu\text{g}/\text{m}^3$)은 연산동 $\text{SO}_4^{2-}(6.31) > \text{NH}_4^+(2.45) > \text{NO}_3^-(1.95) > \text{Cl}^-(0.16) > \text{Na}^+(0.13) > \text{K}^+(0.12) > \text{Ca}^{2+}(0.10) > \text{Mg}^{2+}(0.03)$ 이었으며, 학장동 $\text{SO}_4^{2-}(7.21) > \text{NO}_3^-(3.74) > \text{NH}_4^+(3.52) > \text{Cl}^-(0.58) > \text{Ca}^{2+}(0.14) = \text{Na}^+(0.14) > \text{K}^+(0.13) > \text{Mg}^{2+}(0.06)$ 로 나타나 두 지점 모두 황산염, 질산염, 암모늄염의 농도가 높게 나타났음.
- 월별 이온성분 농도는 연산동에서 1월, 12월, 학장동에서 1월, 11월에 높게 나타나 전반적으로 겨울철과 봄철이 다소 높게 나타났으며, 여름철이 낮게 나타났음.

표 2. 이온성분 농도현황

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| 연월 | 연산동(주거) | | | | | | | | | | 학장동(공업) | | | | | | | | | |
|-----|---------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|---------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|
| | PM2.5 | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | 합계 | PM2.5 | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | 합계 |
| 1월 | 34 | 0.45 | 5.79 | 6.67 | 4.61 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 17.67 | 59 | 1.46 | 8.81 | 6.41 | 9.30 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.04 | 26.24 |
| 2월 | 14 | 0.20 | 1.63 | 2.49 | 2.18 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 6.57 | 20 | 0.56 | 1.74 | 2.24 | 1.61 | 0.05 | 0.02 | 0.08 | 0.01 | 6.31 |
| 3월 | 35 | 0.18 | 1.95 | 6.94 | 2.75 | 0.12 | 0.12 | 0.03 | 0.02 | 10.37 | 38 | 0.69 | 4.43 | 5.80 | 3.02 | 0.13 | 0.15 | 0.09 | 0.05 | 12.30 |
| 4월 | 38 | 0.04 | 1.04 | 7.66 | 2.27 | 0.20 | 0.37 | 0.11 | 0.03 | 11.71 | 41 | 0.41 | 5.83 | 6.25 | 3.63 | 0.19 | 0.17 | 0.20 | 0.05 | 16.75 |
| 5월 | 39 | 0.05 | 0.28 | 7.53 | 3.02 | 0.10 | 0.20 | 0.05 | 0.02 | 11.25 | 43 | 0.32 | 2.13 | 12.61 | 4.45 | 0.18 | 0.20 | 0.26 | 0.11 | 20.26 |
| 6월 | 35 | 0.05 | 0.15 | 11.89 | 3.39 | 0.14 | 0.07 | 0.20 | 0.05 | 15.94 | 56 | 0.11 | 1.01 | 15.03 | 5.02 | 0.16 | 0.11 | 0.20 | 0.08 | 21.72 |
| 7월 | 교정 | 0.10 | 0.75 | 4.08 | 1.50 | 0.29 | 0.04 | 0.12 | 0.05 | 6.93 | 교정 | 0.14 | 0.81 | 7.66 | 2.37 | 0.19 | 0.07 | 0.14 | 0.09 | 11.47 |
| 8월 | 교정 | 0.00 | 0.01 | 4.51 | 1.62 | 0.06 | 0.06 | 0.11 | 0.03 | 6.40 | 교정 | 0.00 | 0.70 | 4.94 | 1.82 | 0.07 | 0.07 | 0.13 | 0.06 | 7.78 |
| 9월 | 28 | 0.02 | 0.13 | 5.40 | 1.88 | 0.13 | 0.06 | 0.11 | 0.03 | 7.75 | 24 | 0.06 | 1.06 | 6.67 | 3.36 | 0.11 | 0.08 | 0.13 | 0.04 | 11.51 |
| 10월 | 29 | 0.14 | 0.71 | 5.58 | 1.10 | 0.17 | 0.13 | 0.12 | 0.02 | 7.97 | 24 | 0.28 | 0.67 | 5.94 | 1.36 | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.04 | 8.67 |
| 11월 | 37 | 0.30 | 3.30 | 6.34 | 2.12 | 0.14 | 0.19 | 0.13 | 0.02 | 12.54 | 33 | 1.30 | 10.73 | 7.78 | 3.77 | 0.23 | 0.29 | 0.16 | 0.09 | 24.34 |
| 12월 | 36 | 0.35 | 7.70 | 6.77 | 2.95 | 0.15 | 0.18 | 0.10 | 0.03 | 18.23 | 33 | 1.66 | 7.08 | 4.93 | 2.51 | 0.17 | 0.18 | 0.13 | 0.06 | 16.72 |
| 평균 | 33 | 0.16 | 1.95 | 6.31 | 2.45 | 0.13 | 0.12 | 0.10 | 0.03 | 11.25 | 37 | 0.58 | 3.74 | 7.21 | 3.52 | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.06 | 15.52 |

※ PM2.5 중량농도는 시료채취기간 중의 평균자료임.

○ 금속성분 분석결과

- PM2.5 중 금속성분 농도는 조사기간 중 연산동 및 학장동 각각 291 ng/m^3 (PM2.5 중량농도의 0.9 %), 996 ng/m^3 (PM2.5 중량농도의 2.7 %)으로 이온성분 대비 조성비 낮음.
- PM2.5 중 금속성분(ng/m^3)은 연산동 $\text{Al}(135.2) > \text{Fe}(73.6) > \text{Zn}(38.4) > \text{Pb}(11.9) > \text{Mn}(11.4) > \text{Cu}(5.2) > \text{Cr}(3.1) > \text{Ni}(2.8) > \text{Ti}(2.4) = \text{V}(2.4) > \text{As}(1.2) > \text{Se}(1.1) > \text{Sr}(0.8) > \text{Mo}(0.4) > \text{Cd}(0.2) > \text{Be}(0.1) > \text{Co}(0.0)$ 의 순이었으며, 학장동 $\text{Fe}(472.9) > \text{Zn}(185.4) > \text{Al}(174.9) > \text{Mn}(64.6) > \text{Pb}(26.0) = \text{Cu}(26.0) > \text{Cr}(18.8) > \text{Ni}(11.8)$

- > Ti(4.5) > V(3.8) > As(1.9) > Mo(1.5) > Se(1.0) > Sr(0.9) > Cd(0.4) > Co(0.0) = Be(0.0)로 나타나, 두 지점 모두 Al, Fe, Zn이 상대적으로 높은 값을 나타내었음.
- 특히, 학장동 지점은 제련, 주물 등 금속관련 사업장의 영향으로 전반적으로 연산동보다 높은 농도로 나타남.

표 3. 금속성분 농도 현황

(unit : ng/m³)

| 지점 | 월 | Al | As | Be | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Mn | Mo | Ni | Pb | Se | Sr | Ti | V | Zn |
|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|-----|------|------|-----|-----|------|-----|-------|
| 연산동 | 1월 | 62.8 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 1.6 | 9.6 | 105.0 | 13.3 | 0.0 | 3.4 | 28.6 | 0.0 | 1.0 | 3.0 | 3.7 | 57.5 |
| | 2월 | 68.9 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 4.1 | 6.1 | 31.1 | 14.2 | 0.0 | 1.7 | 11.1 | 0.0 | 0.6 | 1.7 | 1.0 | 88.1 |
| | 3월 | 144.3 | 4.8 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 4.5 | 4.7 | 120.9 | 11.0 | 0.2 | 11.7 | 14.8 | 0.0 | 0.4 | 6.2 | 4.1 | 30.8 |
| | 4월 | 42.1 | 2.4 | 결측 | 0.0 | 결측 | 1.5 | 8.7 | 50.1 | 10.4 | 결측 | 결측 | 16.3 | 2.0 | 결측 | 1.4 | 1.3 | 43.0 |
| | 5월 | 37.6 | 1.1 | 결측 | 0.0 | 결측 | 3.1 | 2.0 | 46.5 | 3.8 | 결측 | 결측 | 7.7 | 0.4 | 결측 | 2.1 | 0.4 | 18.6 |
| | 6월 | 5.1 | 2.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 1.9 | 0.0 | 8.5 | 0.0 | 3.7 | 6.7 | 3.8 | 0.1 | 0.3 | 5.4 | 32.1 |
| | 7월 | 115.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 2.0 | 16.1 | 3.8 | 0.0 | 1.7 | 4.4 | 0.5 | 0.0 | 1.5 | 2.0 | 15.2 |
| | 8월 | 91.7 | 2.4 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 2.1 | 2.5 | 36.5 | 8.8 | 0.0 | 2.5 | 8.2 | 0.0 | 0.1 | 1.0 | 3.7 | 21.3 |
| | 9월 | 272.7 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 3.9 | 7.1 | 7.6 | 0.0 | 0.6 | 12.7 | 3.4 | 0.0 | 1.3 | 1.9 | 19.3 |
| | 10월 | 414.4 | 0.0 | 0.6 | 0.6 | 0.0 | 9.3 | 9.5 | 232.3 | 14.9 | 1.9 | 3.0 | 8.0 | 0.1 | 1.9 | 5.5 | 3.0 | 32.7 |
| | 11월 | 231.1 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 1.2 | 4.8 | 107.9 | 10.4 | 1.0 | 0.3 | 1.4 | 2.8 | 1.6 | 2.7 | 1.0 | 28.5 |
| | 12월 | 137.6 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 7.1 | 6.6 | 138.3 | 30.3 | 1.1 | 0.5 | 23.4 | 0.6 | 2.6 | 2.6 | 1.3 | 72.9 |
| | 평균 | 135.2 | 1.2 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 3.1 | 5.2 | 73.8 | 11.4 | 0.4 | 2.8 | 11.9 | 1.1 | 0.8 | 2.4 | 2.4 | 38.4 |
| 학장동 | 1월 | 77.8 | 0.6 | 0.0 | 1.3 | 0.2 | 27.0 | 31.2 | 995.5 | 145.0 | 0.6 | 17.9 | 53.2 | 0.0 | 1.1 | 6.8 | 2.6 | 452.9 |
| | 2월 | 13.3 | 0.9 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 11.5 | 17.2 | 271.0 | 34.1 | 0.0 | 9.3 | 35.6 | 0.0 | 0.1 | 1.3 | 0.9 | 249.3 |
| | 3월 | 41.9 | 5.3 | 0.0 | 0.6 | 0.1 | 23.2 | 20.9 | 528.7 | 62.5 | 1.4 | 11.9 | 27.7 | 0.2 | 0.3 | 7.8 | 2.8 | 160.1 |
| | 4월 | 41.3 | 0.8 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 30.0 | 49.3 | 517.9 | 42.2 | 0.9 | 15.4 | 42.3 | 4.2 | 0.4 | 10.8 | 4.9 | 102.9 |
| | 5월 | 593.6 | 6.1 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 15.0 | 17.5 | 322.9 | 64.2 | 0.0 | 11.9 | 28.9 | 2.7 | 1.3 | 2.9 | 7.5 | 206.8 |
| | 6월 | 51.3 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.5 | 6.8 | 32.8 | 21.5 | 0.0 | 7.1 | 8.3 | 4.3 | 1.4 | 0.2 | 4.2 | 65.4 |
| | 7월 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.6 | 10.3 | 181.8 | 44.9 | 0.0 | 10.0 | 8.3 | 0.0 | 0.1 | 1.0 | 7.3 | 98.1 |
| | 8월 | 95.2 | 2.7 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 14.5 | 12.0 | 348.9 | 49.1 | 1.3 | 8.5 | 19.6 | 0.0 | 0.0 | 3.9 | 4.4 | 129.4 |
| | 9월 | 212.7 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 | 13.9 | 244.1 | 35.1 | 0.0 | 11.5 | 26.7 | 0.8 | 0.0 | 1.6 | 2.0 | 173.1 |
| | 10월 | 393.4 | 0.5 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 20.3 | 22.7 | 646.5 | 69.7 | 4.6 | 13.9 | 10.2 | 0.0 | 1.8 | 6.1 | 4.8 | 154.5 |
| | 11월 | 370.6 | 0.6 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 32.5 | 33.6 | 834.8 | 100.3 | 6.1 | 13.0 | 19.9 | 0.1 | 2.3 | 7.1 | 1.5 | 245.3 |
| | 12월 | 189.2 | 0.1 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 26.3 | 75.3 | 757.6 | 106.1 | 3.3 | 11.8 | 31.2 | 0.0 | 2.2 | 5.2 | 2.2 | 183.7 |
| | 평균 | 174.9 | 1.9 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 18.8 | 26.0 | 472.9 | 64.6 | 1.5 | 11.8 | 26.0 | 1.0 | 0.9 | 4.5 | 3.8 | 185.4 |

4. 결 론

- 조사대상 지점인 PM2.5 및 PM10 농도는 연산동 32, 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 학장동 36, 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 공업지역인 학장동의 PM2.5 및 PM10 농도가 높게 나타났으며, PM2.5/PM10의 농도비는 연산동 68 %, 학장동 65 % 로 연산동의 PM2.5 농도비율이 소폭 높게 나타났음.
- PM2.5 중 이온성분은 연산동 및 학장동에서 각각 11.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5 중량농도의 35 %), 15.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5 중량농도의 42 %)을 차지하였으며, 두 지점 모두 SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- 등 가스상물질(SO_2 , NH_3 , NO_x) 기원의 2차 생성입자의 기여율이 높게 나타났음.
- PM2.5 중 금속성분은 연산동 및 학장동에서 각각 291 ng/m^3 (PM2.5 중량농도의 0.9 %), 996 ng/m^3 (PM2.5 중량농도의 2.7 %)으로 학장동의 금속성분 비율이 약 3배정도 높게 나타났으며 특히, 학장동은 제련, 주물 등 금속관련 업종이 주를 이루는 공업지역의 특성 등으로 금속성분의 비율이 높게 나타난 것으로 판단됨.
- PM2.5는 학장동과 같이 인근의 오염발생원에 의해 농도 상승요인도 있으나 장거리 이동에 따른 외적인 요인도 작용하며 특히, PM2.5의 주요 성분인 SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- 등 2차 생성입자의 기원인 가스상 물질(SO_2 , NH_3 , NO_x)의 저감이 필요함.