

미세먼지(PM2.5) 성분조사

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

1. 조사개요

- 조사기간 : 2015년 1월 ~ 12월(월별 3일간)
- 조사항목
 - 중량농도 : 대기오염측정망 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
- 조사지점

지점	측정소	용도지역	구, 군	위 치
S1	광복동	상 업	중구	광복동 주민자치센터
S2	장림동	공 업	사하구	장림1동 주민자치센터
S3	학장동	공 업	사상구	학장초등학교
S4	연산동	주 거	연제구	연제초등학교
S5	대연동	주 거	남구	부산공업고등학교 공동실습관
S6	청룡동	주 거	금정구	청룡노포동 주민자치센터
S7	기장읍	주 거	기장군	기장초등학교
S8	대저동	녹 지	강서구	대저차량사업소
S9	명장동	주 거	동래구	명장1동 주민자치센터
S10	녹산동	공 업	강서구	(주)삼성전기 부산사업장
S11	용수리	주 거	기장군	정관면 주민자치센터
S12	좌동	주 거	해운대구	좌1동 주민자치센터
S13	초량동	도로변	동구	윤흥신장군 동상 인근

2. 조사방법

- 시료채취 : 로우볼륨 에어샘플러법 (Low volume air sampler)
- 중량농도 : 대기오염측정망 자료 (베타선법)
- 이온성분 : 이온크로마토그래피법 (IC기기)
- 금속성분 : 유도결합플라즈마 원자발광분광법 (ICP-OES기기)



그림 1. 시료채취지점

3. 조사결과

○ 2015년 조사결과

- 2015년 미세먼지 성분조사 운영기간 중 PM10은 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5는 $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM2.5/PM10 비는 58.3 %로 나타났음
- 이온성분 농도는 SO_4^{2-} (5.8292) > NH_4^+ (2.5256) > NO_3^- (1.7206) > Na^+ (0.2763) > Cl^- (0.1956) > Ca^{2+} (0.1450) > K^+ (0.1332) > Mg^{2+} (0.0454) 로 나타났음. 미세먼지는 SO_2 , NO_x , NH_3 등 가스상 물질이 대기중 화학반응에 의해 입자로 전환되는 부분이 가장 많은 것으로 알려져 있으며, 이러한 영향으로 SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- 의 농도가 높게 나타난 것으로 사료됨
- 금속성분 농도는 Al(561.6) > Fe(146.9) > Zn(56.3) > Mn(23.7) > Pb(12.4) > Cu(8.8) > Cr(5.3) = Ni(5.3) = Ti(5.3) > V(4.9) > Se(3.9) > As(2.7) > Sr(1.0) > Mo(0.3) > Cd(0.2) > Co(0.1) > Be(0.0) 로 나타났으며, 토양기원 배출 지표인 Al, Fe 이 상대적으로 높은 값을 나타냄
- PM2.5 중 이온성분 농도는 $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM2.5 중량농도의 38.9 %, 금속성분 농도는 $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 3.0 % 차지하였음

표 1. 2015년도 미세먼지(PM2.5) 성분조사 결과

(이온성분 단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

PM10	PM2.5	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	이온합
48	28	0.1956	1.7206	5.8292	2.5256	0.2763	0.1332	0.1450	0.0454	10.8709

(금속성분 단위:ng/m³)

Al	As	Be	Cr	Co	Cd	Cu	Fe	Mo	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Ti	V	Zn
561.6	27	0.0	5.3	0.1	0.2	88	146.9	0.3	23.7	5.3	12.4	3.9	1.0	5.3	4.9	56.3

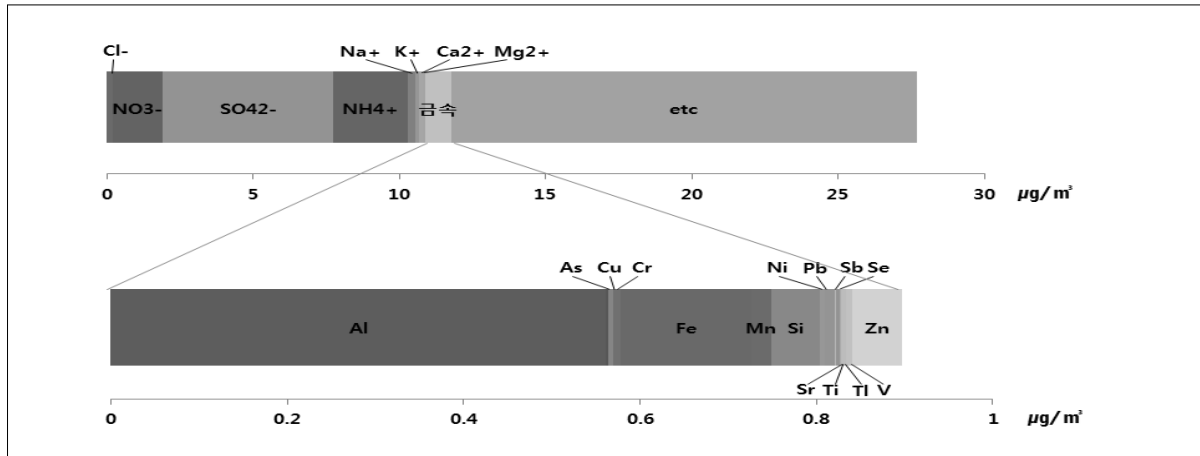


그림 2. 2015년도 미세먼지(PM2.5) 구성성분 농도

○ 월별 농도 특성

- 1월, 8월, 12월에 전반적으로 이온성분 농도가 다소 높았으며, 대기 확산이 원활하였던 9월, 10월, 11월에는 낮게 나타났음
- 1월에는 Cl⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, 8월에는 SO₄²⁻, NH₄⁺, 12월에는 NO₃⁻, NH₄⁺, Na⁺가 높게 나타나 겨울철에는 NO₃⁻, NH₄⁺, SO₄²⁻, 여름철에는 SO₄²⁻와 NH₄⁺가 미세먼지 농도를 증가시키는 주원인인 것으로 분석되었음

표 2. 월별 이온 농도

(단위 : µg/m³)

구분	PM10	PM2.5	비율	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	이온합
1월	46	29	0.62	0.6472	4.8651	5.6102	3.1179	0.1517	0.2042	0.2085	0.0472	14.8520
2월	60	30	0.50	0.4432	2.7936	4.2074	2.7044	0.4624	0.2143	0.2123	0.0835	11.1210
3월	53	29	0.54	0.1038	3.5752	2.9402	2.9963	0.0681	0.1357	0.1728	0.0276	10.0197
4월	54	26	0.48	0.2679	1.2346	5.0615	2.2384	0.1344	0.1197	0.2441	0.0615	9.3622
5월	59	33	0.55	0.1928	0.9856	7.3066	2.6896	0.1643	0.0988	0.2572	0.0412	11.7361
6월	53	33	0.62	0.0174	0.4452	8.1827	2.4118	0.6035	0.1417	0.1421	0.0284	11.9728
7월	38	22	0.57	0.1190	0.6770	7.1553	2.0547	0.0829	0.0228	0.0000	0.0005	10.1123
8월	36	25	0.69	0.0526	0.1327	9.3116	3.5045	0.2441	0.1821	0.0920	0.0587	13.5784
9월	28	15	0.55	0.1041	0.4342	2.9967	1.0964	0.0524	0.0000	0.0715	0.0291	4.7845
10월	48	32	0.67	0.1418	1.1608	4.4906	1.8636	0.0477	0.1917	0.1148	0.0582	8.0691
11월	34	23	0.67	0.1302	0.9806	2.8088	1.4446	0.4551	0.0953	0.0658	0.0635	6.0440
12월	57	41	0.73	0.2327	6.3423	6.8757	4.3314	0.692	0.2699	0.1742	0.049	18.9673

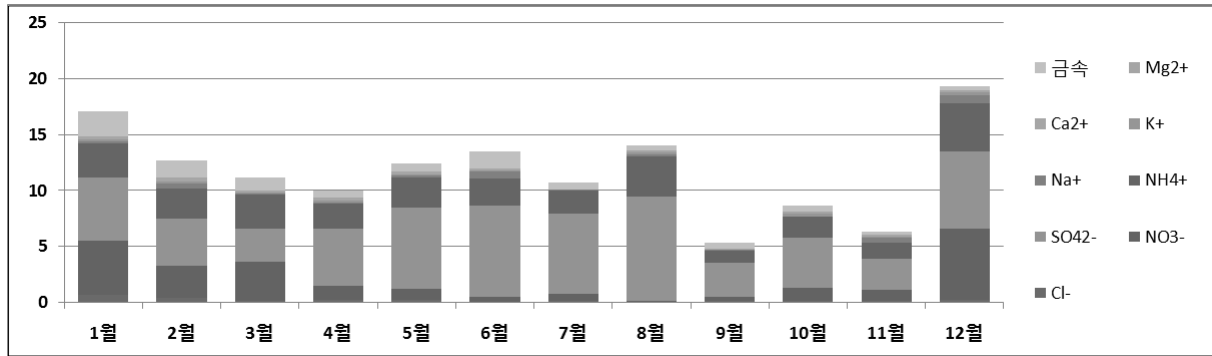


그림 3. 2015년도 미세먼지 성분조사 월별 이온농도 추이 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- 금속성분 농도는 2월, 5월을 중심으로 봄철에 전반적으로 다소 높았으며, 11월에는 낮게 나타났음. 봄철에는 황사 등 토양 배출원의 영향 등으로 금속성분 농도가 높게 나타난 것으로 판단됨

표 3. 월별 금속 농도

구분	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al (ng/m^3)	As (ng/m^3)	Cr (ng/m^3)	Cu (ng/m^3)	Fe (ng/m^3)	Mn (ng/m^3)	Ni (ng/m^3)	Pb (ng/m^3)	Zn (ng/m^3)
1월	29	1864.9	0.9	11.0	6.5	75.9	22.5	2.5	5.1	55.0
2월	30	1106.0	0.5	9.4	11.8	258.7	31.4	7.5	19.3	85.9
3월	29	776.0	1.7	4.5	6.1	200.3	21.7	7.7	10.4	41.5
4월	26	312.6	0.2	5.6	8.7	128.8	30.9	3.8	14.9	37.9
5월	33	252.3	5.3	6.0	13.5	214.6	23.2	11.8	18.0	59.8
6월	33	1293.7	6.5	1.4	7.9	90.4	9.9	3.1	5.3	52.6
7월	22	278.5	0.4	12.3	8.9	135.7	53.0	9.6	8.6	65.7
8월	25	210.2	10.8	0.4	5.4	102.9	8.9	4.3	12.1	71.9
9월	15	347.7	0.3	3.5	10.9	93.0	24.7	4.1	8.4	20.7
10월	32	47.2	0.9	6.3	9.3	243.4	23.9	2.9	18.8	69.9
11월	23	7.9	0.3	2.0	8.5	142.9	17.1	1.3	13.3	58.5
12월	41	15.2	0.1	0.9	7.8	129.2	16.1	2.1	20.0	47.6

○ 지점별 농도 특성

- 지점별 이온성분 농도는 공업지역인 장림동과 학장동의 농도가 다소 높게 나타났음. 그 외 광복동, 용수리, 좌동이 다소 높았으며, 그 중 용수리와 좌동은 PM2.5의 농도는 낮게 나타나 탄소성분을 비롯한 타 항목의 분석이 요구됨(표 4)
- PM2.5, Cl^- , NO_3^- , Mg^{2+} 는 서부권역의 공업지역을 중심으로 다소 높게 나타났으며 NH_4^+ 는 서부권역의 공업지역과 함께 동부권역에서도 다소 높은 농도를 나타내었음(그림 4)
- SO_4^{2-} 는 해안지역 특히 동부권역을 중심으로 다소 높게 나타났으며 K^+ 는 서부 및 남부권

역을 중심으로 다소 높게 분석되었음(그림 4)

- Al을 제외한 금속성분은 공업지역을 중심으로 서부권역 농도가 높게 나타나고, 동부권역에서 낮은 형태를 보여주었음(표 5과 그림 5)

표 4. 지점별 이온성분 농도

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분	PM10	PM2.5	비율	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	이온합
광복	53	32	0.60	0.2911	1.9855	6.3376	2.5829	0.3350	0.1258	0.1543	0.0448	11.8571
장림	54	27	0.50	0.5108	2.2158	5.6338	2.4657	0.2868	0.1535	0.1761	0.1621	11.6046
학장	51	31	0.60	0.3086	2.4416	5.9826	2.6731	0.2044	0.1275	0.1434	0.0638	11.9450
연산	48	30	0.62	0.1448	1.6036	5.4688	2.2877	0.5450	0.1342	0.1377	0.0387	10.3606
대연	49	27	0.54	0.1169	1.0730	5.9789	1.9877	0.2449	0.1386	0.1651	0.0383	9.7435
청룡	44	27	0.61	0.0891	1.4129	4.5806	2.0730	0.1735	0.1167	0.1446	0.0306	8.6209
기장	37	25	0.69	0.0578	1.1352	5.5693	2.4096	0.2639	0.1100	0.1180	0.0282	9.6921
대저	58	26	0.46	0.3905	2.3184	4.6077	2.5368	0.2406	0.1444	0.1778	0.0247	10.4410
명장	50	29	0.59	0.1067	1.3947	6.1337	2.6472	0.3486	0.1532	0.1003	0.0294	10.9138
녹산	53	31	0.59	0.2206	1.3766	6.1174	2.5832	0.2637	0.1358	0.1517	0.0397	10.8887
용수리	37	20	0.55	0.0796	1.3290	7.5131	3.0868	0.1755	0.1289	0.1676	0.0326	12.5131
좌동	43	25	0.58	0.1579	2.1013	6.4407	2.9923	0.2618	0.1461	0.1151	0.0286	12.2439
초량	54	29	0.53	0.0788	2.0258	5.4595	2.4763	0.2503	0.1217	0.1567	0.0267	10.5958

표 5. 지점별 금속성분 농도

구분	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al (ng/m^3)	As (ng/m^3)	Cr (ng/m^3)	Cu (ng/m^3)	Fe (ng/m^3)	Mn (ng/m^3)	Ni (ng/m^3)	Pb (ng/m^3)	Zn (ng/m^3)
광복	32	310.6	2.0	5.2	8.2	118.2	34.1	6.6	10.5	46.8
장림	27	600.2	2.2	1.8	8.8	199.3	23.5	5.4	17.0	99.9
학장	31	442.2	2.9	18.0	15.7	350.4	49.6	9.8	15.4	124.7
연산	30	317.5	2.4	1.7	7.2	70.1	15.5	5.6	6.6	49.5
대연	27	498.2	2.8	4.9	7.0	119.5	26.4	3.0	11.1	37.0
청룡	27	1057.2	3.4	4.3	5.4	108.6	13.9	2.7	10.6	41.9
기장	25	285.1	3.5	2.5	5.7	52.6	12.4	2.7	7.5	21.7
대저	26	1081.0	1.9	4.0	7.0	127.6	16.8	6.3	15.4	56.2
명장	29	307.6	3.5	1.9	5.7	88.2	11.0	2.2	14.6	42.3
녹산	31	385.0	2.0	11.9	21.1	321.8	54.9	11.7	17.0	79.1
용수리	20	1303.0	3.3	6.3	6.1	140.5	17.1	3.3	11.5	37.5
좌동	25	473.2	2.5	1.5	5.9	68.2	10.4	4.5	13.5	44.4
초량	29	410.6	1.7	4.7	12.3	164.1	25.0	5.9	11.9	53.2

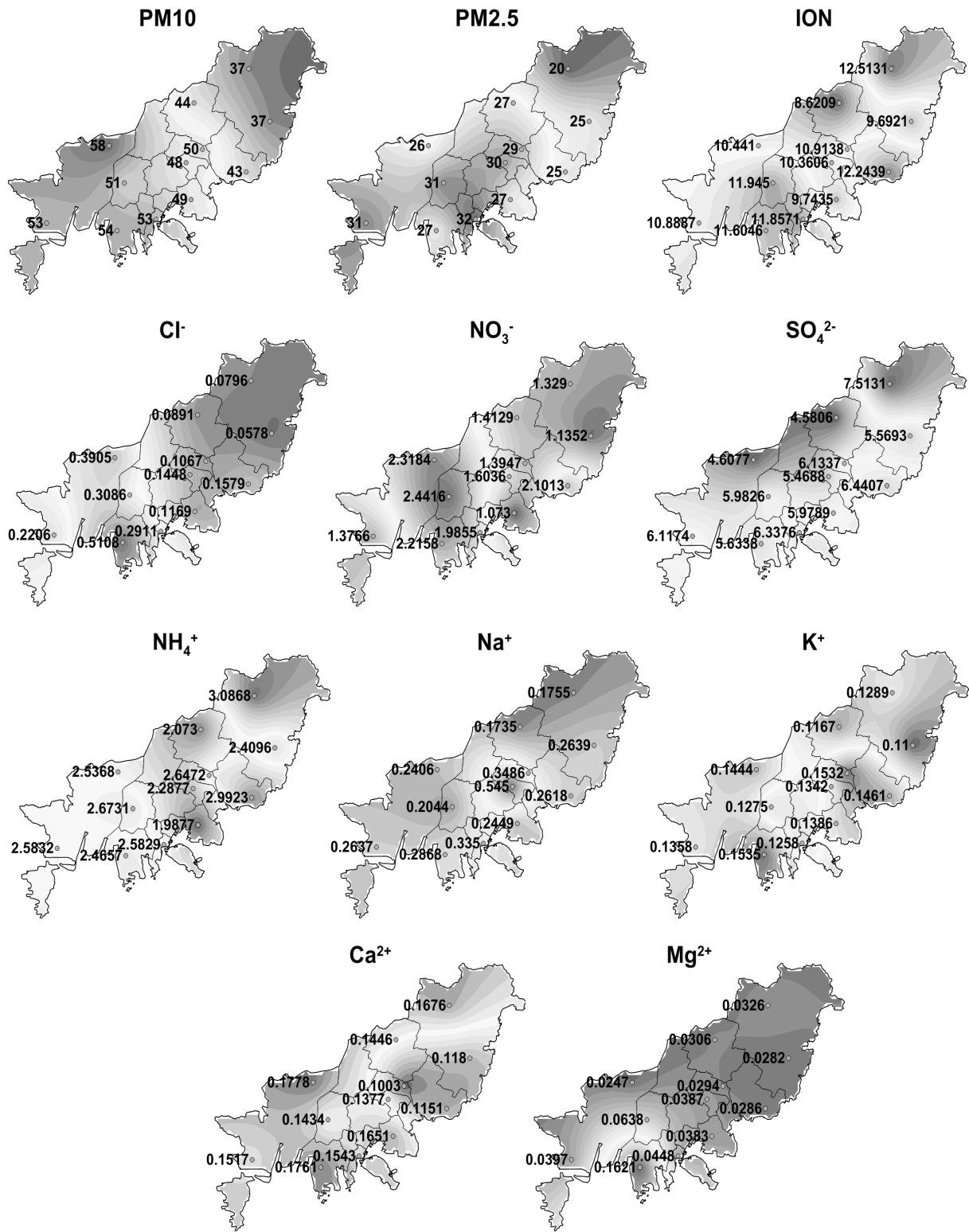


그림 4. 지점별 이온성분 농도 분포 (단위:ng/m³)

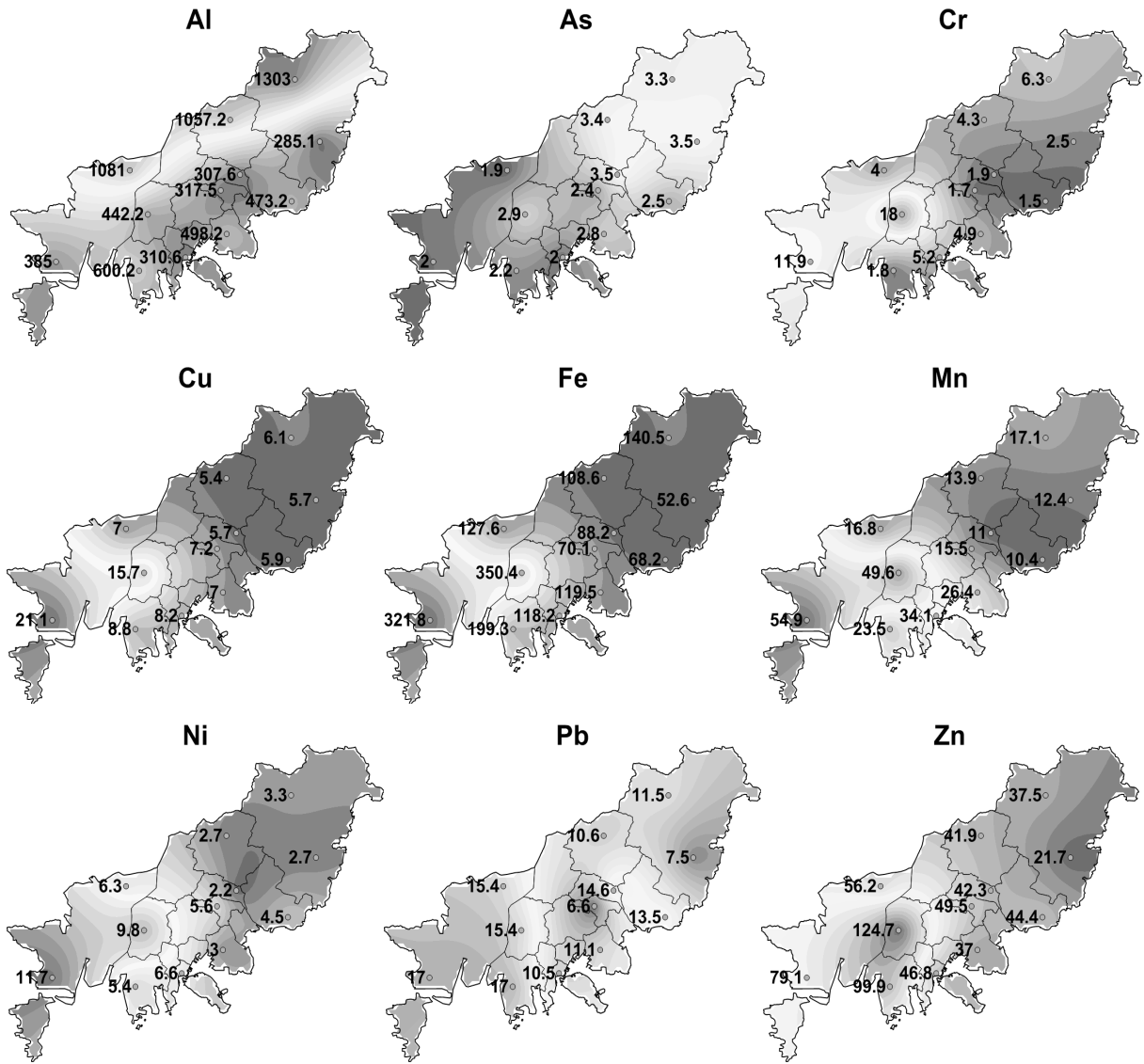


그림 5. 지점별 금속성분 농도 분포 (단위:ng/m³)

○ PMF를 이용한 미세먼지(PM2.5) 발생원 추정

- 미 환경청 PMF(Positive Matrix Factorization, 양행렬 인자분석) 5.0을 이용하여 미세먼지(PM2.5) 발생원을 추정하였으며, S/N(Signal/Noise)비가 1이하인 항목은 모델링 분석에서 제외하였음
- 이론적인 Q값을 이용하여 인자(오염 발생원)의 수를 결정하였으며, 그 결과 4개의 인자를 그림 6과 같이 추출하였고, 각 인자에 대한 배출원 추정 내용과 기여도를 표 6에 나타내었음
- 제 1요인은 2차 황산염과 연소관련 발생원이 혼합되어 있었으며, 기여도는 60.5 %로 분석되었음. 특히 제 1요인에서는 V와 Ni이 다소 높게 나타나 기름 연소가 포함된 것으로

- 판단됨. 제 2요인은 2차 질산염과 연소관련 발생원으로 기여도 29.5 %를 차지하였음
- 연소관련 발생원으로는 자동차 연소, K⁺를 지표성분으로 하는 생물연소, V, Ni를 지표성분으로 하는 기름 연소 등이 있으며, 현재로는 EC(Elemental Carbon)와 OC(Organic Carbon) 항목이 제외되어, 제 1요인과 제 2요인에 함께 나타나 있음
 - 제 3요인으로는 산업활동과 관련된 발생원으로 2.9 % 기여도를, 제 4요인으로는 토양 관련 발생원으로 7.1 %의 기여도를 나타내었음

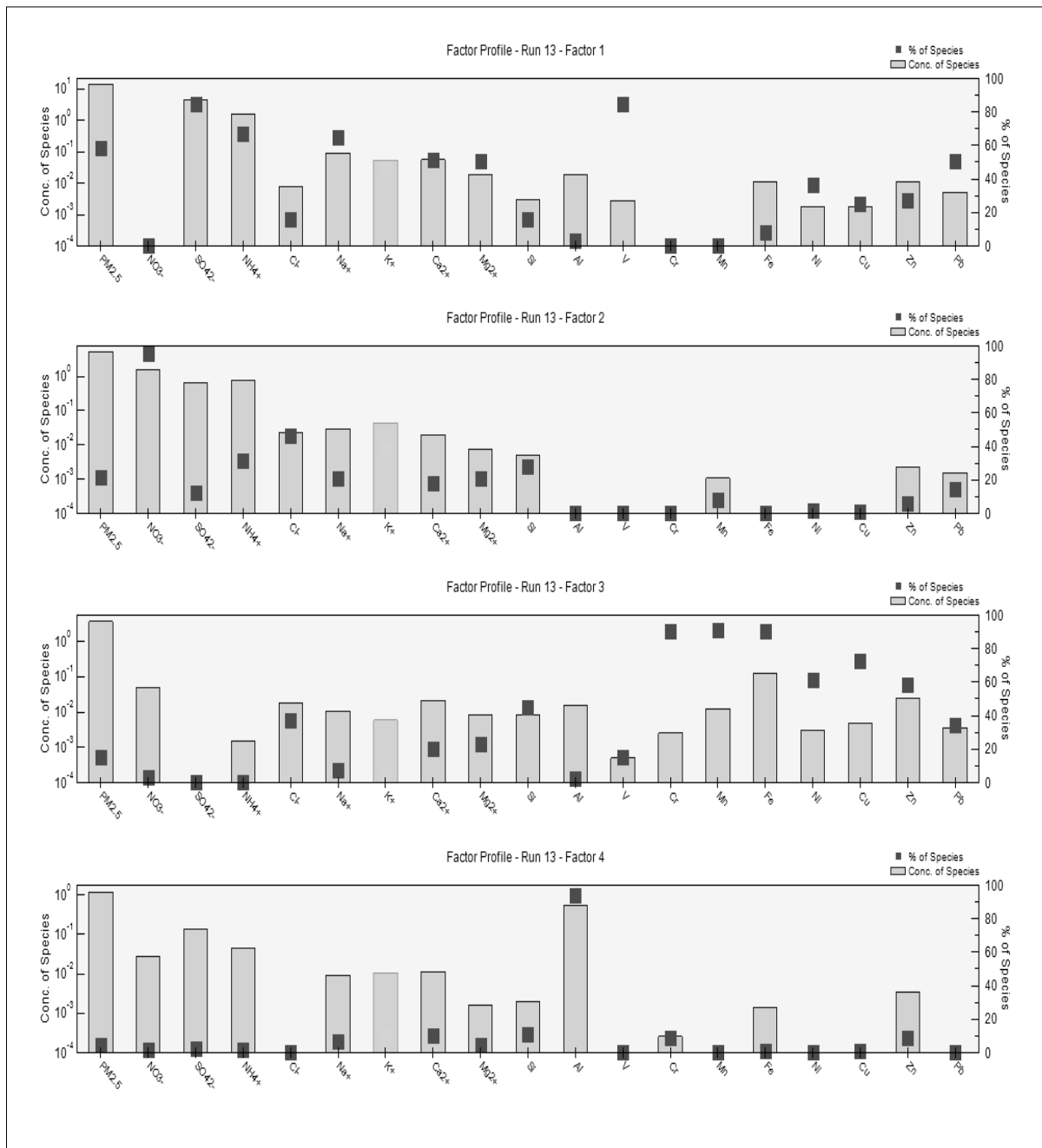


그림 6. PMF 모델을 이용한 발생원 분류

표 6. 발생원별 지표 성분

분류	발생원	지표성분	기여도(%)
제 1요인	2차 황산염 + 연소	SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , V, Pb	60.5
제 2요인	2차 질산염 + 연소	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , Na ⁺ , K ⁺	29.5
제 3요인	산업활동	Cl ⁻ , Si, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb	2.9
제 4요인	토양	Al	7.1

○ 산성강하물

- 미세먼지 성분조사 시료채취기간 중 광복동과 기장읍 지점에서 산성강하물을 채취하여 성분 분석하였음(학장동은 기기고장으로 산성 강하물 채취 불가)
- 광복동에서 강수일의 PM2.5 농도는 11~30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 기장읍은 10~26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 나타내어 2015년도 시료채취기간 중 PM2.5 평균 농도인 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 비슷하거나 그 이하인 것으로 나타났음. 기장읍의 3월 18일 ~ 19일의 산성강하물 성분 농도는 강수량 53.5 mm 대비 다소 높게 나타났으며, 당시 미세먼지 성분농도도 다소 높게 나타났음(그림 7~8)
- 주로 강수량이 적을수록 산성강하물 성분농도는 높게 나타나고 있었으며, 장마철과 가을철의 산성강하물의 성분농도 및 미세먼지 성분농도 모두 다소 낮게 나타났음

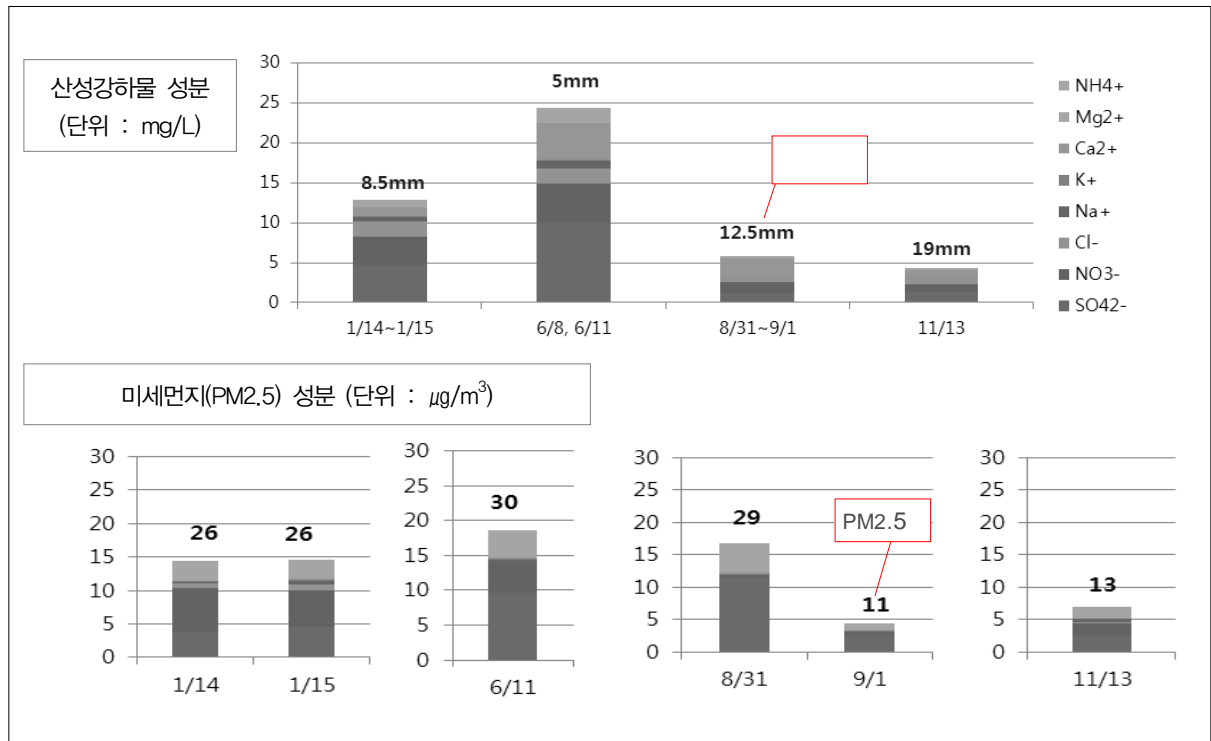


그림 7. 광복동 지점의 일별 미세먼지와 산성강하물 성분 농도

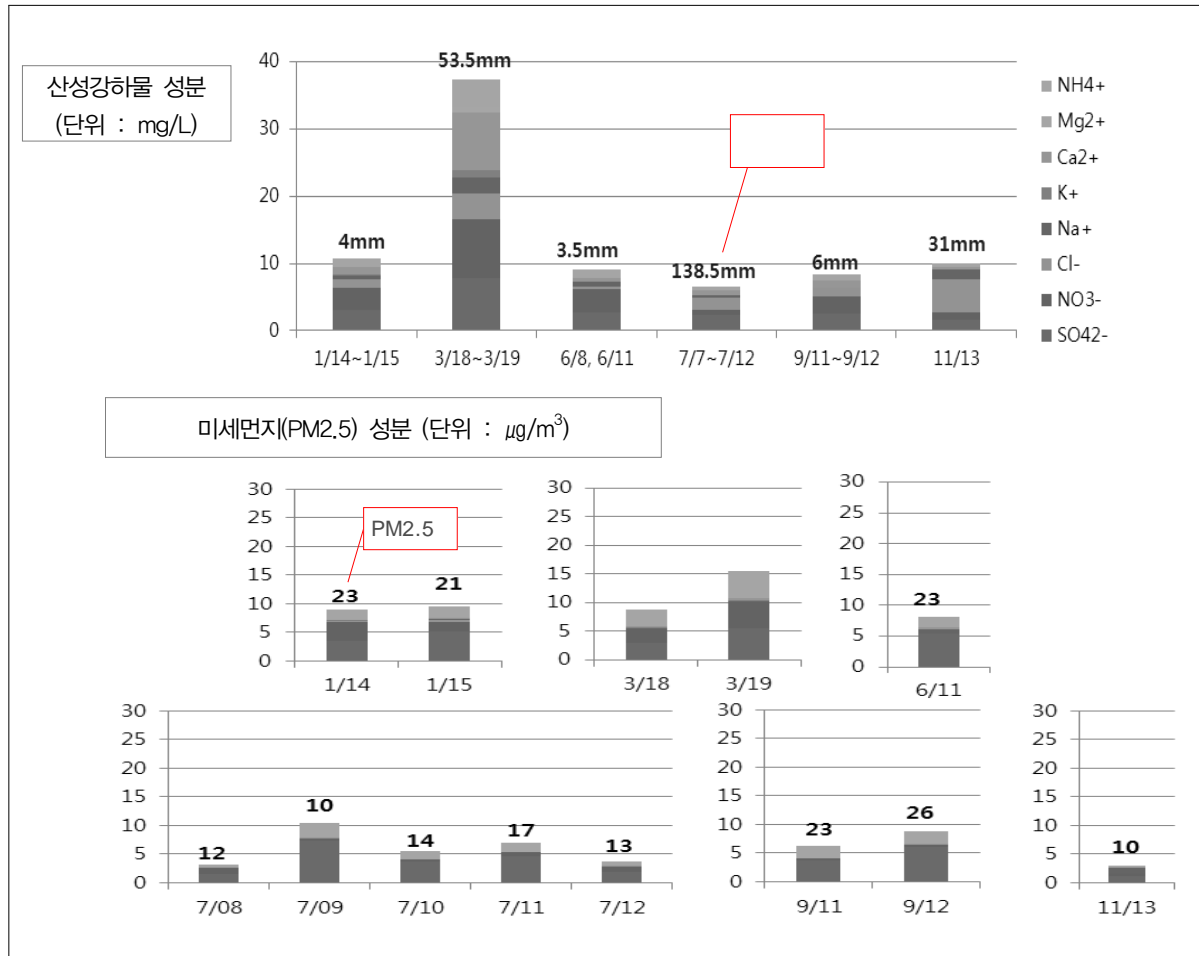


그림 8. 기장읍 지점의 일별 미세먼지와 산성강하물 성분농도

4. 활용방안

- 미세먼지 발생원 추적 및 위해도 평가, 대시민 환경정보 제공, 초미세먼지 관리 대책 마련

5. 기대효과

- 초미세먼지 구성성분 파악으로 발생원 추적 및 관리 대책 수립으로 대기질 개선
- 부산지역 초미세먼지 성분 자료 공개로 대시민 환경정보 보급 및 알권리 충족