

부산지역의 미세먼지 중 중금속 및 이온성분과 선박배출가스의 영향에 관한 연구

이승원 · 손이슬 · 김정권*

동의대학교 환경공학과

(2010년 12월 24일 접수; 2011년 1월 7일 수정; 2011년 1월 13일 채택)

A Study on the Metallic and Ion Elements by Fine Particle and Effects of Vessels Exhaust Emission in Busan City

Seung-Won Lee, Yi-Seul Son, Jung-Kwon Kim*

Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea

(Manuscript received 24 December, 2010; revised 7 January, 2011; accepted 13 January, 2011)

Abstract

The objectives of this study were to investigate the seasonal characteristics of metallic and ion elements of PM₁₀(Particulate matter with aerodynamic diameter $\leq 10 \mu\text{m}$) and the effects of vessels exhaust emission from ships harboring in Busan City. The PM₁₀ samples were collected from January 2010 to October 2010 at Dongsam-dong(coastal area), in Busan City. The particulate matters were analyzed for major water soluble ionic components and metals. The ranges of the PM₁₀ mass concentrations were from 29.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 47.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Dongsam-dong. The PM₁₀ mass concentrations in Dongsam-dong are very similar to Gwangbok-dong during same sampling periods. These results were understood by the effects of the shipping source emitted from ships anchoring and running. The concentrations of water-soluble ions and metals in the PM₁₀ had a level of as high as the order of $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ and $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, respectively. The correlation coefficients(R^2) for $\text{SO}_4^{2-}/\text{PM}_{10}$ and $\text{NH}_4^+/\text{PM}_{10}$ of were 0.7446 and 0.7784, respectively, and it showed the high correlation with each other.

Key Words : PM₁₀, Anions, Cations, Metals, Ships

1. 서론

우리나라는 2010년 올해 세계 7위의 수출 강국으로 예상되고 있는 등 최고 수출입의 증대에 따른 항만에서 선박 등에 의해 발생하는 환경 영향은 주변 지역에 직접적이고 광범위하게 나타날 것으로 예측된다. 특히 부산과 같이 비교적 오래전에 건설되어 주거지

역과 인접하고 있는 항구에서 발생하는 선박들에 의한 환경영향은 주변 대기질과 관련성이 높은 것으로 판단된다.

대기 중에 존재하는 입자상 물질의 배출원은 크게 자연적인 발생원과 인위적인 발생원으로 나눌 수 있다. 특히 미세입자는 화석연료의 연소, 자동차 배출가스, 화학물질의 제조과정으로부터 직접 대기 중에 배출되거나 대기 중에 배출된 가스 상 오염물질이 입자상으로 변환되어 생성되는데, 주요 성분은 SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , 중금속 등으로 알려져 있다(강 등, 1999; Chow 등, 1996; Wang 등, 2003).

*Corresponding author : Jung-Kwon Kim, Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea
Phone: +82-51-890-2077
E-mail: jungkim@deu.ac.kr

일반적으로 대기 중의 입자상 물질은 2.5 μm 보다 큰 입자를 조대입자, 2.5 μm 보다 작은 입자를 미세입자로 분류하며, 조대입자는 주로 기계적인 마모과정이나 자연적인 풍화현상 등에 의해 발생되며, 미세입자는 인위적인 연소과정에서 직접 배출되거나 배출된 후 대기 중에서 응집 및 응축 그리고 가스로부터의 고체로의 전환 등에 의해 생성되는 2차입자로 나눌 수 있다. 특히 해안지역에서는 해염입자로부터 생성되는 2차입자의 양도 무시하지 못할 수준이다(김, 2005; 전과황, 2007).

미세입자는 입자의 크기에 따라 공기역학적 직경이 10 μm 이하인 조대분진(Coarse particle, PM_{10})과 2.5 μm 이하인 미세분진(Fine particle, $\text{PM}_{2.5}$)로 나누어진다. $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ratio가 낮으면 PM_{10} 의 대부분이 토양입자로 이루어져있음을 의미한다(김 등, 2005; Donaldson 등, 2005; Hsiano 등, 2000).

미세먼지에 함유된 중금속 및 유해성 물질은 직접적인 인체영향을 유발하고 체감오염도(시정)와 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되고 있다(김과 김, 2008).

도시지역에서의 대기오염 농도를 지배하는 기상요소는 풍속, 강수량, 기온, 대기안정도 등으로 요약되어 왔으며, 이러한 연구 결과들은 특정 지역의 오염특성을 해석하는데 매우 중요한 정보를 제공한다(김 등, 1995; 김 등, 2007; 진, 2004; 최 등, 2003; Laakso 등, 2003, Vakeva 등, 2000). 특히 해양의 경우 이러한 요소가 중요한 변수로 등장하고 있다.

우리나라의 경우 조선 산업의 발달 및 해양에서의 선박활동을 통해 발생하는 미세먼지와 관련하여 발생원 및 저감대책에 관한 중장기적이고도 종합적인 연구 및 그에 따른 대책 수립이 요구된다. 따라서 장기적으로 선박의 왕래가 빈번한 해안지역의 대기질을 개선하기 위해서 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 등의 미세먼지 성상원인의 규명과 저감 대책수립을 목적으로 연구가 진행 될 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 장기적으로 해안지역의 대기 환경 중 미세먼지의 발생 경향 및 미세먼지 중의 중금속과 이온성분 등을 분석하여 오염물질의 계절적 특성 및 주변 선박 영향 여부 등도 함께 검토하여 해양 주변 대기질 개선에 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

본 연구에서 미세먼지(PM_{10}) 시료채취를 위하여 측정기기의 설치는 Fig. 1과 같이 선박의 영향과 연관된 부산광역시 소재 동삼동에 위치하고 있는 Y환경사업소 2층 옥상에서 실시하였다. 측정지점의 주변은 항만과 연결되어 있으며, 다수의 선박이 부두를 통해 이동하며 이로 인해 선박 등에서 발생하는 미세먼지 등의 영향을 받을 것으로 예측되는 지점이다. 시료채취는 겨울철(2010년 1~2월) 2회, 봄철(2010년 5월) 1회, 여름철(2010년 7~8월) 2회 및 가을철(2010년 10월) 1회로 분기별로 나누어 실시하였다. 측정일수는 총 84일(겨울 28일, 봄 14일, 여름 28일 및 가을 14일)로 주중에 강우가 없는 날을 대상으로 실시하였다. 측정은 24시간 연속으로 PM_{10} 의 측정이 이루어 졌다. 계절에 따른 미세먼지의 농도 변화를 살펴보기 위해 봄은 3~5월, 여름은 6~8월, 가을은 9~11월, 겨울은 12~2월로 분류하였다(김 등, 2000).

미세먼지 측정기기는 Dichotomous Air Sampler (Partisol R-Plus Model 2025 Sequential Air Sampler, Rupprecht & Patashnick Co., Inc) 이며, 총 흡입유량은 16.7 L/min이며 포집여과지는 석영필터(Whatman, Quartz Filter) 이 사용되며 금속분석을 위해서는 Teflon R membrane filter를 사용하였다.



Fig. 1. Location of sampling site.

2.2. 분석항목 및 방법

본 연구에서 분석방법은 Dichotomous Air Sampler를 이용하여 Table 1에 나타낸 것과 같이 흡입유속을

16.7 L/min(1.0 m³/day) 유량으로 24시간 연속 측정하였다. 분석항목으로는 PM₁₀, 중금속류, 음이온 및 양이온 등이며, PM₁₀, 중금속류 및 양이온과 음이온의 경우 측정 회당 7일간씩 포집 분석하였다. 또한 PM₁₀ 농도변화에 영향을 미치는 것으로 알려진 기온, 습도, 풍향 및 풍속을 측정하여 인자간의 상관관계를 고찰하였다(환경부, 2007; DeGaetano 등, 2004).

3. 결과 및 고찰

3.1. PM₁₀ 농도특성

본 연구의 측정지점인 동삼동의 PM₁₀ 농도와 산업지역인 괘법동(전과 황, 2010) 및 상가지역인 광복동의(전과 황, 2010) PM₁₀ 농도를 비교하여 Table 2에 나타내었다. 동삼동 지점의 측정결과 계절별 PM₁₀ 농도는 봄철에서 가장 높은 평균값 47.0 µg/m³를 나타내었으며, 이때 최고 농도와 연평균은 84.2 µg/m³ 및 37.2 µg/m³이었다. 그리고 가장 낮은 평균농도는 여름철에서 29.8 µg/m³로 측정되었다.

도심지인 광복동의 경우는 봄철에 평균 최고농도 59.3 µg/m³를 나타내어 동삼동과 다소 유사한 경향을

보였으며, 연평균의 경우도 49.8 µg/m³로서 동삼동보다는 1.3배 정도를 나타내었다. 즉, 동삼동은 광복동의 약 74.7% 정도를 차지하였다.

그러나, 산업지역인 괘법동의 경우(전과 황, 2010) 연평균 71.6 µg/m³를 나타내어 동삼동보다 약 1.9배 정도 높게 측정되었다.

따라서, 주위에 자동차 통행량이 적으며 먼 오염원인 산업단지 및 고층건물이 없어 비교적 청정지역으로 생각되어진 측정지점에서 도심지인 광복동과 연평균 농도가 유사하게 나타났다는 것은 해안을 왕래하는 선박의 영향을 다소 받은 것으로 생각되어진다. 그러나, 연평균 71.6 µg/m³를 나타낸 괘법동의 경우 측정지점으로부터 남서쪽 약 3 km 떨어진 지역에 사상공업지역이 위치하고, 대형 유통단지가 입지함에 따라 자동차 통행량도 증가되고 있어 약 1.9배 정도 높게 측정되었다.

동삼동 지역은 우리나라 대기질 환경기준의 연간 기준치인 50 µg/m³를 모두 만족하는 농도로 측정되었으나, 괘법동 및 광복동은 다소 높거나 비슷한 농도를 나타내었다.

Table 1. Analytical methods used in this study

Species		Analytical methods	Instrument Model
Atmospheric particles		PM ₁₀	β-Ray Absorption Method
			Model 2025 Sequential Air Sampler
Metals		Mg, Al, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ba, Na, K, Ca, Cr, Fe, Co, As, Ag, Cd, Pb	ICP/MS (Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry)
			Model HP 4500 300 series
Ions	Cations	Ca ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺	IC
	Anions	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	(Ion Chromatography)
			Model ICS 2500 (Dionex LC25 module)
Meteorological elements		Temperature, Humidity, Wind direction, Wind speed	

Table 2. Comparison of seasonal PM₁₀ concentration at Dongsam-dong, Gwaebop-dong and Gwangbok-dong

(Unit : µg/m³)

Items	Dongsam-dong			Gwaebop-dong			Gwangbok-dong		
	Mean	SD	Max.	Mean	SD	Max.	Mean	SD	Max.
Winter	38.7	15.0	71.3	-	-	-	55.9	17.5	95.9
Spring	47.0	12.7	84.2	-	-	-	59.3	22.2	108.9
Summer	29.8	11.0	53.3	79.5	44.4	188.9	41.7	12.9	65.0
Fall	33.3	12.3	56.2	63.6	24.8	145.8	42.2	14.0	59.0
Average	37.2	12.8	63.8	71.6	34.6	167.4	49.8	16.7	82.2

Note) - : No data.

3.2. 금속성분의 특성결과

Table 3은 2010년 계절별 측정된 PM₁₀ 중 금속성분을 분석하여 나타난 것이다. 본 연구에서 선박 연료에서 발생하는 인위적 기원인 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb 등에 비하여 지각기원인 Al, Ca, Fe 성분의 농도가 높게 나타났다. 특히 Na는 대부분 평균 928.1~5,771.3 ng/m³의 범위로 높게 분석되었다. 19개 금속성분의 겨울 및 봄 평균 함은 각각 9.0 μg/m³, 11.9 μg/m³으로 PM₁₀ 대비 각각 23.3%, 25.3%를 차지하였다. 그러나 여름과 가을의 경우는 몇 개의 항목이 측정되지 않아 명확한 비율을 산정할 수 없었으나, 겨울과 봄에 비해서는 상당히 낮은 비율로 나타날 것으로 추측된다.

금속성분 발생량은 Na>Ca>Al>K>Fe>Mg>Pb>Cu>Cr>As>Ag>Co 순으로 전체적으로 지각기원의 성분이 인위적인 성분의 농도에 비해 상대적으로 높은 농도를 나타내었다. 이는 측정기간 동안에 불규칙적으로 발생했던 황사현상도 다소 작용했던 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 측정지점이 해안에 위치해 있기 때문에 Na의 농도가 매우 높게 나타난 것으로

판단된다.

3.3. 수용성 이온성분의 계절별 농도변화

3.3.1. 수용성 이온성분의 농도분포 및 기여율

Table 4는 측정지점인 동삼동에서 PM₁₀ 중 이온성 물질의 농도를 나타내었다. 이온성 물질의 경우 수용성 양이온 성분과 수용성 음이온 성분으로 나눈다. 수용성 양이온 성분 중 NH₄⁺의 평균 농도범위는 1.93~3.67 μg/m³으로 나타났으며, Na⁺는 0.91~1.82 μg/m³으로 다소 높게 나타났으며, 전체적인 양이온 성분의 농도는 NH₄⁺>Na⁺>Ca²⁺>K⁺>Mg²⁺ 순으로 나타났다. 이는 해안지역인 강화(최, 1997) 및 양양(최, 1997)에서와 유사한 결과를 나타내었다.

음이온 성분 농도의 경우 SO₄²⁻, NO₃⁻ 및 Cl⁻에서 각각 1.58~14.13 μg/m³, 0.35~2.31 μg/m³, 0.04~0.50 μg/m³의 범위를 보이면서 전체적으로는 SO₄²⁻>NO₃⁻>Cl⁻순으로 SO₄²⁻가 가장 높게 나타났다. 특히 봄 및 여름의 경우 SO₄²⁻ 및 NO₃⁻의 농도가 높게 나타났다. 이러한 SO₄²⁻ 및 NO₃⁻의 농도를 바탕으로 총 SO₄²⁻

Table 3. The results of seasonal metals concentration of PM₁₀ at Dongsam-dong

Items	Winter			Spring			Summer			Fall		
	Mean	SD	Max	Mean	SD	Max	Mean	SD	Max	Mean	SD	Max
PM ₁₀ (μg/m ³)	38.7	15.0	71.3	47.0	12.7	84.2	29.8	11.0	53.3	33.3	12.8	63.8
Na(ng/m ³)	3,240	3,008	9,515	5,771	4,305	11,077	-	-	-	928.1	842.1	2,200
Mg(ng/m ³)	560.3	488.6	1,550	604.9	394.3	1,137	-	-	-	155.2	124.2	299.9
Al(ng/m ³)	1,202	1,030	3,394	1,806	1,183	3,429	1,019	1,278	3,673	-	-	-
K(ng/m ³)	875.5	769.8	3,241	738.7	560.3	1,529	-	-	-	177.7	111.0	268.0
Ca(ng/m ³)	1,570	1,478	4,767	2,571	2,729	6,952	-	-	-	135.7	109.8	291.6
V(ng/m ³)	8.7	7.6	26.9	17.3	3.8	20.6	18.1	7.3	31.8	16.9	11.0	40.8
Cr(ng/m ³)	9.3	9.3	40.4	5.9	0.0	5.9	1.3	1.1	2.6	13.6	19.4	57.4
Mn(ng/m ³)	183.6	65.7	283.4	10.1	5.4	18.6	8.9	3.0	12.7	46.2	18.8	68.4
Fe(ng/m ³)	854.0	301.2	1,526	169.6	96.2	328.8	135.9	49.3	210.1	-	-	-
Co(ng/m ³)	0.3	0.1	0.6	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.2	0.3	0.2	0.7
Ni(ng/m ³)	11.7	6.0	27.2	4.8	2.7	8.7	4.9	4.2	12.8	15.4	9.1	34.6
Cu(ng/m ³)	25.3	11.6	56.7	1.9	1.4	4.2	24.2	14.2	34.2	10.6	3.6	18.2
Zn(ng/m ³)	345.1	148.9	648.8	27.5	0.0	27.5	62.3	28.5	111.0	178.5	63.4	244.4
As(ng/m ³)	0.0	0.0	0.0	3.2	4.3	8.2	3.8	0.0	3.8	10.5	8.1	28.2
Mo(ng/m ³)	2.0	1.2	4.5	0.8	0.6	1.9	0.9	0.6	2.2	1.5	0.8	2.6
Ag(ng/m ³)	0.3	0.2	0.6	0.2	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.4
Cd(ng/m ³)	15.4	45.8	145.8	0.3	0.2	0.5	0.3	0.3	0.9	0.7	0.8	2.6
Ba(ng/m ³)	125.2	130.1	362.5	213.8	161.3	407.3	99.1	96.3	245.0	41.6	42.3	102.2
Pb(ng/m ³)	31.8	17.3	59.4	13.0	5.9	20.4	12.1	5.7	19.0	16.4	11.6	38.6

Note) SD : Standard deviation, - : No data.

중 해수에 의한 대기 중의 SO_4^{2-} 부분(Sea SO_4^{2-})을 제외한 순수 주변 선박 및 자동차 등에 기인하는 SO_4^{2-} 부분(NSS- SO_4^{2-}) 기여도를 추정해 Table 5에 나타내었다. 총 SO_4^{2-} 중 NSS- SO_4^{2-} 의 기여도는 봄, 여름 및 가을에서 95.0%, 93.2% 및 91.3% 정도로 높게 나타났다. 이는 최(2008) 및 이 등(1995)의 측정결과인 95%와 유사한 결과를 나타내었다. SO_4^{2-} 및 NO_3^- 는 대표적인 화석연료(정 등, 2008) 연소과정 등의 인위적으로 발생하는 물질로서 남동풍이 많이 부는 봄 및 여름에 기여도가 높은 것으로 분석되어 부두로 입·출항하는 선박의 영향이 일정부분 차지하는 것으로 판단된다.

PM_{10} 중 총 이온성 물질이 차지하는 질량농도는 계절별로 봄이 $22.85 \mu g/m^3$ 로 가장 높았으며, 여름 및 가을이 각각 $17.49 \mu g/m^3$ 및 $14.23 \mu g/m^3$ 를 나타내었다. PM_{10} 중 이온성분 기여율은 여름이 58.7%로 가장 높았으며, 봄 및 가을이 48.6% 및 42.7%, 정확한 분석 자료가 나오지 않았던 겨울을 제외하면 대부분 절반에 가까운 것으로 나타났다.

3.3.2. 상관관계 분석

Fig. 2~4는 PM_{10} 과 수용성 이온성분(SO_4^{2-} , NH_4^+) 간의 상관관계 분석결과를 나타낸 것이다. 상관계수는 각각 0.7446과 0.7784를 나타내어, PM_{10} 변화에 따른 SO_4^{2-} 및 NH_4^+ 는 유사한 비례관계가 형성됨을 알 수 있었다. Fig. 4는 NH_4^+ 와 NSS- SO_4^{2-} 의 상관관계를 나타낸 것으로, 상관도는 0.9270으로 나타내어 NH_4^+ 와 NSS- SO_4^{2-} 는 거의 정비례관계를 형성하고 있는 것으로 나타났다.

상관관계에서 상관성이 좋은 성분들은 동일발생원에서 배출되었거나 동일한 기상조건으로 대기 중 반응에 의하여 변환된 경합상태일 가능성이 큰 것으로 알려지고 있다(한 등, 1999). 특히 암모늄과 황산염, 질산염 이온들이 상관성이 높은 것은 이들 물질들이 대기 중의 질산 및 황산과 암모니아사이의 산-염기반응에 의해 형성된 것임을 의미한다. 대기 중에서 암모니아와 황산염의 결합은 다습 기후지역 및 건조기후 지역 모두에서 보고되었으며 이들은 $(NH_4)_2SO_4$ 형태로 존재한다고 알려져 있다(최 등, 1995; Jed, 1991).

Table 4. The results of seasonal major ions concentration of PM_{10} at Dongsam-dong (Unit : $\mu g/m^3$)

Items	Winter			Spring			Summer			Fall		
	Mean	SD	Max	Mean	SD	Max	Mean	SD	Max	Mean	SD	Max
PM_{10}	38.7	15.0	71.3	47.0	12.7	84.2	29.8	11.0	53.3	33.3	12.8	63.8
Na^+	-	-	-	1.64	2.69	4.38	0.91	0.19	1.11	1.82	1.21	3.23
Mg^{2+}	-	-	-	0.12	0.10	0.28	0.13	0.02	0.15	0.20	0.23	0.60
K^+	-	-	-	0.25	0.22	0.54	0.08	0.02	0.12	0.45	0.41	1.28
Ca^{2+}	-	-	-	0.69	0.41	1.27	0.52	0.07	0.62	0.44	0.38	1.13
NH_4^+	-	-	-	3.67	2.15	7.88	2.93	2.59	7.16	1.93	1.66	5.17
Cl^-	0.50	5.80	5.65	0.04	0.04	0.10	0.06	0.15	0.39	0.10	0.06	0.23
NO_3^-	0.35	2.97	3.21	2.31	1.63	5.40	1.36	1.16	3.90	1.55	1.37	4.33
SO_4^{2-}	1.58	12.90	16.15	14.13	7.68	29.00	11.50	6.42	21.54	7.74	4.38	15.93
Total	2.43	21.67	25.01	22.85	14.92	48.85	17.49	10.62	34.99	14.23	9.70	31.90

Note) ND : No data.

Table 5. Sea sulfate concentration and contribution ratio of total sulfate

Season	Items	Total SO_4^{2-} ($\mu g/m^3$)	Sea SO_4^{2-} ($\mu g/m^3$)	*NSS- SO_4^{2-} ($\mu g/m^3$)	NSS- SO_4^{2-}/SO_4^{2-} (%)
Spring		14.13	0.70	13.43	95.0
Summer		11.50	0.79	10.71	93.2
Fall		7.74	0.68	7.06	91.3

Note) NSS- SO_4^{2-} : Non Sea Sulfate- SO_4^{2-}

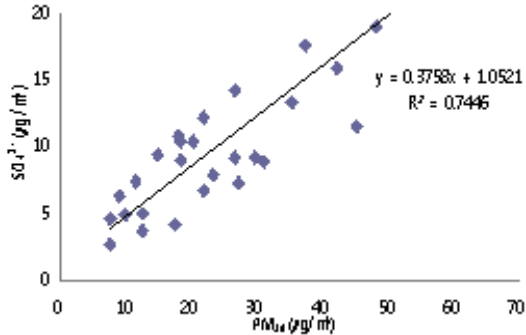


Fig. 2. Scatter plot of PM₁₀ vs. sulfate ion at Dongsam-dong.

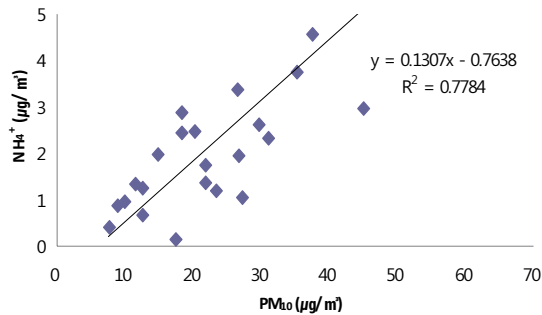


Fig. 3. Scatter plot of PM₁₀ vs. ammonium ion at Dongsam-dong.

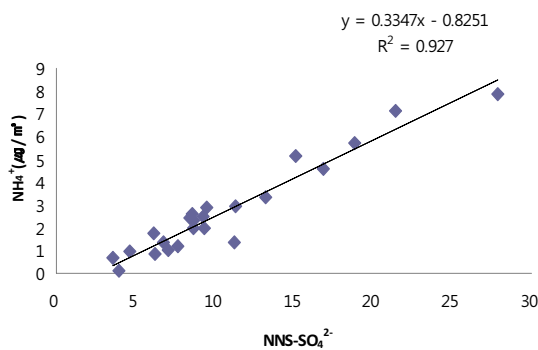


Fig. 4. Scatter plot of non sea sulfate vs. ammonium ion at Dongsam-dong.

4. 결론

본 연구에서는 부산지역 미세먼지 중 중금속 및 이온성분의 계절적 특성과 선박의 연계됨을 파악하기

위한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 부산지역 중 해안에 위치한 동삼동 지점의 계절별 PM₁₀ 농도를 측정된 결과 봄철에 가장 높은 47.0 µg/m³ 나타내었으며, 연평균 농도는 37.2 µg/m³이었다. 이는 도심지인 광복동의 연평균 농도인 49.8 µg/m³의 74.7% 정도를 차지하는 것으로 해안을 왕래하는 선박의 영향을 다소 받은 것으로 판단된다.
- 2) 19개 금속성분에 대한 겨울철 및 봄철의 평균 함량은 각각 9.0 µg/m³와 11.9 µg/m³으로, PM₁₀ 대비 각각 23.3% 및 25.3%를 차지하는 것으로 나타났다. 금속성분 발생량은 Na>Ca>Al>K>Fe>Mg>Pb>Cu>Cr>As>Ag>Co의 순으로 나타났다.
- 3) 수용성 이온성분 중 양이온의 농도는 NH₄⁺>Na⁺>Ca²⁺>K⁺>Mg²⁺ 순으로 나타났으며, 음이온의 경우 SO₄²⁻>NO₃⁻>Cl⁻순으로 SO₄²⁻가 가장 높게 나타났다. 총 SO₄²⁻중 NSS-SO₄²⁻의 기여도는 91.3~95.0% 정도로 높게 나타나, 부두로 입·출항하는 선박의 영향이 일정부분 차지하는 것으로 판단된다. PM₁₀ 중 이온성분 기여율은 겨울철을 제외한 나머지 계절에서 42.7~58.7% 정도의 범위를 나타내었다.
- 4) PM₁₀과 SO₄²⁻ 및 NH₄⁺간의 상관도는 각각 0.7446과 0.7784를 나타내어, PM₁₀ 변화에 따른 SO₄²⁻ 및 NH₄⁺는 다소의 비례관계가 형성됨을 알 수 있었다. 또한, NH₄⁺와 NSS-SO₄²⁻의 상관도는 0.9270을 나타내어, NH₄⁺와 NSS-SO₄²⁻는 거의 정비례관계를 형성하고 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국환경산업기술원의 지원(KEITI-2010-01002-0059-0)으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 강충민, 이승일, 조기철, 안준영, 최민규, 김희강, 1999, Annular Denuder System을 이용한 수도권지역의 산성오염물질 및 PM2.5 성분농도 특성, 한국대기환경학회지, 15(3), 305-315.
- 김경연, 2005, 제주지역 대기 중 해염입자의 분포특성, 석사학위논문, 제주대학교.
- 김성연, 정문호, 손부순, 양원호, 최경호, 2005, 서울시 일부 지역의 대기 중 미세먼지에 관한 연구, 한국환경보건학회지, 31(4), 301-308.
- 김성천, 송재중, 임성호, 강달신, 2000, 군산 지역에서 PM10의 농도 및 성분 특성에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 26, 18-24.
- 김신도, 김창환, 2008, 서울지역 미세먼지의 물리화학적 특성, 서울도시연구, 9(3), 23-33.
- 김우규, 전영신, 이현환, 김현미, 1995, 서울 부유분진 농도의 황사 특성에 관한 사례 연구, 한국대기보전학회지, 11(2), 199-209.
- 김지아, 진형아, 김철희, 2007, 부산 지역 미세먼지 농도의 시간변동 특성 및 기상인자 분석을 통한 먼지생성 해석, 한국환경과학회지, 16(10), 1157-1167.
- 이호근, 박경윤, 서명석, 장광미, 강창희, 허철구, 1995, 제주도 고산에서 수용성 에어로졸의 화학적 성분 분석, 한국대기보전학회지, 11(3), 245-252.
- 전병일, 황용식, 2010, 2006-2008년 봄철 부산지역 PM10과 PM2.5의 질량농도 및 금속성분의 화학적 특성, Korean Earth Science Society, 31(3), 234-245.
- 전병일, 황용식, 2007, 최근 5년간 부산지역의 미세먼지 (PM10)농도 특성에 관한 연구, 환경영향평가, 16(6), 533-542.
- 정진도, 황승민, 최희석, 2008, 아산지역 황사/비황사시 PM2.5, PM10 농도 특성에 관한 연구, 대기환경공학회지, 30(11), 1111-1115.
- 진윤하, 2004, 서울지역 PM10 농도 특성과 바람장과의 관계, 석사학위논문, 서울대학교.
- 박일수, 이덕길, 강인구, 1991, 서울지역 겨울철 SO2 농도를 지배하는 기상인자, 한국대기보전학회지, 7(2), 96-104.
- 최규훈, 김기현, 강창희, 이진홍, 2003, 황사와 비황사기간의 중금속 농도 분포 특성: 2001년 황사기간에 대한 비교연구, 한국대기환경학회지, 19(1), 45-56.
- 최민식, 이성기, 최재천, 이민영, 1995, 소백산 대기중 입자상 물질의 화학적 특성에 관한 연구(II) - 금속원소의 계절적인 변화와 기원을 중심으로, 한국대기보전학회지, 11(2), 191-198.
- 최민규, 1997, 청정지역에서 입자상물질(PM10)의 특성에 관한 연구, 석사학위논문, 건국대학교.
- 최희석, 2007, 아산지역에서 관측된 PM2.5, PM10 농도 특성에 관한 연구, 석사학위논문, 호서대학교.
- 환경부, 2007, 대기오염공정시험방법, 환경부고시 제 2007-145호.
- Chow, J. C., Watson, J. G., Lu, Z., Lowenthal, D. H., Frazier, C. A., Solomon, P. A., Thuillier, R. H., Magliano, K., 1996, Descriptive analysis of PM2.5 and PM10 at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX, Atmos. Environ., 30(12), 2079-2112.
- DeGaetano, A. T., Doherty, T. O. M., 2004, Temporal, spatial and meteorological variations in hourly PM2.5 concentration extremes in New York City, Atmospheric Environment., 38, 1547-1558.
- Donaldson, K., MacNee, W., 2001, Potential mechanism of adverse pulmonary and cardiovascular effects of particulate air pollution(PM10), International Journal of Hygiene and Environmental Health, 203, 411-415.
- Hsiano, W., Mo, Z. Y., Fang, M., Shi, X. M., Wang, F., 2000, Cytotoxicity of PM2.5 and PM2.5~10 ambient air pollutants assessed by the MTT and the Comet assays, Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 471, 45-55.
- Jed, M. W., Chris, L., Liroy, P., Thurston, G. D., Lippman, M., 1991, Measurement of sulfate aerosol and its acidity in the SO2 source region of Chestnut Ridge, PA, Atmospheric Environment, 25(A), 1327-1333.
- Laakso, L., Hussein, T., Aarnio, P., Kpompulla, M., Hiltunen, V., Viisanen, Y., Kulumala, M., 2003, Diurnal and annual characteristics of particle mass and number in urban, rural and Arctic environment in Finland, Atmos. Environ., 37(19), 2629-2641.
- Vakeva, M., Hameri, K., Puhakka, T., Nilson, E., Hohti, K., Makela, J., 2000, Effects of meteorological process on aerosol particle size distribution in an urban background area, J. Geophys. Res., 105(9), 807-821.
- Wang, G., Wang, H., Yu, Y., Gao, S., Feng, J., Gao, S., Wang, L., 2003, Chemical characterization of water soluble components of PM10 and PM2.5 atmospheric aerosols in five locations of Nanjing, China, Atmos. Environ., 37, 2893-2902.