



## 새만금간척지 지역 대기 중 초미세먼지 (PM<sub>2.5</sub>) 오염 특성 평가

### Characteristics of Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) in the Atmosphere of Saemangeum Reclaimed Land Area

송지한<sup>a,†</sup> · 김정수<sup>a</sup> · 홍성창<sup>b</sup> · 김진호<sup>b</sup>

Song, Ji-Han · Kim, Jeong-Soo · Hong, Sung-Chang · Kim, Jin-Ho

#### ABSTRACT

To understand the distribution characteristics of PM<sub>2.5</sub> concentration in the Saemangeum Reclamation Area and nearby areas, three points of the background area, the occurrence area, and the affected area were selected and samples were collected for each season. The chemical composition was determined. As a result of analyzing the chemical composition contained in PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (7.2 μg/m<sup>3</sup>), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (4.3 μg/m<sup>3</sup>), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (4.3 μg/m<sup>3</sup>), OC (2.5 μg/m<sup>3</sup>), Si (1.3 μg/m<sup>3</sup>) and EC (0.5 μg/m<sup>3</sup>) seemed to be the main components, and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, which are components that form secondary particles, occupied a large proportion. The composition ratio of PM<sub>2.5</sub> was investigated in the order of ion component (56.8%) > Unknown (27.4%) > carbon component (11.8%) > heavy metal component (4.0%). During the PM<sub>2.5</sub> high concentration case days, the ionic component accounted for 90.7% during atmospheric stagnation cases, whereas the chemical composition ratio was in the order of ionic component (51.7%) > heavy metal component (41.5%) > carbon component (6.8%) during yellow dust cases. It was found that the characteristic of PM<sub>2.5</sub> in the Saemangeum reclaimed land and surrounding areas is mainly influenced by outside (domestic and overseas) throughout the year. Ion components accounted for the largest portion of PM<sub>2.5</sub> components in this area, but there were few sources of SOx and NOx emission in the Saemangeum area, which are precursors for secondary particle formation. Therefore, it is judged that most of these are generated and influenced as a secondary reaction in the atmosphere from the outside.

**Keywords:** Saemangeum reclaimed land; PM<sub>2.5</sub>; ions; metals; OC; EC

## 1. 서론

전북지역의 서해안에 위치하고 있는 새만금간척지 공사 대지 중 군산시 지역은 각종 공사가 상당한 부분 진척이 되었으며 인근에는 공업단지와 농경지에 접해 있다. 김제시 지역은 막바지 농·생명 용지 조성공사가 진행 중이거나 완료된 상태이며 벼, 감자를 재배하는 농경지에 인접해 있다. 부안군 지역은 주로 간척공사 후 배수로, 토지구획 정리 공사가 주로 이루어지고 있다 (Hong et al., 2021). 이처럼 새만금간척지 지역은 개발이 완료되기 전까지는 지표가 건조하고 식물의 피복이 빈약하여 비산먼지 발생의 가능성이 클 것으로 판단되며, 평탄한 임해 토지는 해풍의 영향을 많이 받는 개방형 지형

조건 때문에 농작물과 생활환경 전반에 있어서 바람의 피해를 직접 받기도 한다 (Hwang et al., 2009).

새만금 인근 계화도 사업지구에서는 간척개답공사 중에 비산 및 부유먼지 발생으로 인하여 조성된 논둑과 수로가 없어지고 메워지는 일이 있었다. 그리고 새만금 지역 간척지 및 인근 농경지에서 2006년 기준으로 지역별 PM<sub>10</sub> 변화를 보면, 군산은 점차 증가하고 있으며 2008년의 그 증가율을 보면 약 65%, 김제는 2007년 감소하여 2008년에 높은 폭으로 증가하는 것으로 나타났으며, 2007년과 비교하여 2008년은 약 65%의 증가율을 보였다. 부안은 매우 많은 부분이 증가한 것으로 나타났으며, 2006년 기준으로 2007년에는 93%, 2008년에는 97%가 증가하였다 (Hwang et al., 2009). 또한 간척 초기에 비산 및 부유먼지에 대한 민원 및 피해사례가 발생하고 있으며, 시화지구 포도 재배지에 대한 비산 및 부유먼지의 염분에 관한 피해사례가 있었다 (Hwang et al., 2009). 특히 농촌진흥청 연구 결과에 따르면, 온실 피복재에 먼지가 부착돼 일사량이 30% 감소하면 토마토 수확량은 27%, 오이 수확량은 39% 줄어드는 것으로 확인됐다.

대기 중의 입자상 물질들은 다양한 발생원으로부터 배출되고 있는데 이를 크게 나누면 토사의 재비산이나 해염 입자

<sup>a</sup> Research Professor, Department of Environmental Engineering, Hanseo University

<sup>b</sup> Senior Researcher, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: \*\*\* - \*\*\*\* - \*\*\*\* Fax: +82-504-487-3579

E-mail: songjh3004@naver.com

Received: January 12, 2022

Revised: March 18, 2022

Accepted: March 28, 2022

등의 자연적 발생원과 산업활동, 자동차, 난방용 연료 사용 등과 같은 인위적 발생원으로 구분할 수 있다. 이외에도 황산염이나 질산염과 같은 입자상 물질은 이미 배출된 가스상 물질로부터 대기 중에서 화학반응을 통하여 이차적으로 생성되기도 한다 (U.K Department of the Environment., 1995). PM<sub>2.5</sub> 입자상물질은 생성구조에 의해 발생원에서 대기 중으로 배출되었을 때 이미 입자가 되어 있는 1차 입자, 배출되었을 때는 기체였지만 대기 중에서 화학반응을 일으켜 입자화하는 이차 생성 입자로 발생 구조에 따라 인위 기원과 자연 기원으로 분류된다 그리고 PM<sub>2.5</sub>와 관련된 물리 화학적 특성들은 (예를 들어, 크기, 구성 성분, 농도분포 등) 입자의 독성과 인체에 미치는 영향을 파악하는 데 아주 중요한 단서를 제공한다 (Baek et al., 2007).

본 연구에서는 2020년 5월부터 2021년 4월까지 새만금간척지 및 인근 지역의 환경 대기 중 PM<sub>2.5</sub> 측정을 통해 계절적, 지역적 특성을 파악하고자 하였다. 또한 PM<sub>2.5</sub>에 함유된 각종 화학성분 분석자료를 이용하여 PM<sub>2.5</sub> 농도변동에 미치는 주요 영향인자 해석과 새만금간척지 및 인근 지역의 PM<sub>2.5</sub>의 특성을 발생원과 연관하여 평가하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시료 채취 장소 및 기간

본 연구에서는 새만금간척지 및 인근 지역의 PM<sub>2.5</sub>의 계절적, 지역적 농도분포 특성을 파악하기 위하여 배경 지역·발생 지역·영향 지역을 선정하여 계절별로 시료를 채취하였다. 배경 지역은 간척지의 영향을 거의 받지 않으리라고 예상되고 간척지 중심에서 약 25 km 떨어진 서해안의 군산 장자도이며, 발생지역은 간척지 내에서 새만금 개발 특성과 농촌환경 (논과 밭) 특성을 대변할 수 있는 평야 지역 내 국립식량과학원 (NICS; National Institute of Crop Science) 측정소 옥상을 선정하였다. 그리고 영향 지역은 간척지의 풍하방향에 있는 부안지역의 밀집된 주택지역 옥상을 선정하였다. 3개 측정 지점 주변은 모두 사방이 완전히 터져 있는 평야 지대로서 PM<sub>2.5</sub>의 확산 영향을 잘 파악할 것으로 판단된다. PM<sub>2.5</sub> 시료 채취 기간은 2020년 5월부터 2021년 4월이며 계절별 20일~30일 (봄철은 2020년 5월 20일~6월 12일, 가을철은 9월 13일~10월 8일, 겨울철은 12월 4일~23일, 그리고 이듬해 봄철은 3월 13일~4월 1일) 기간 동안 연속적으로 24시간 간격으로 채취

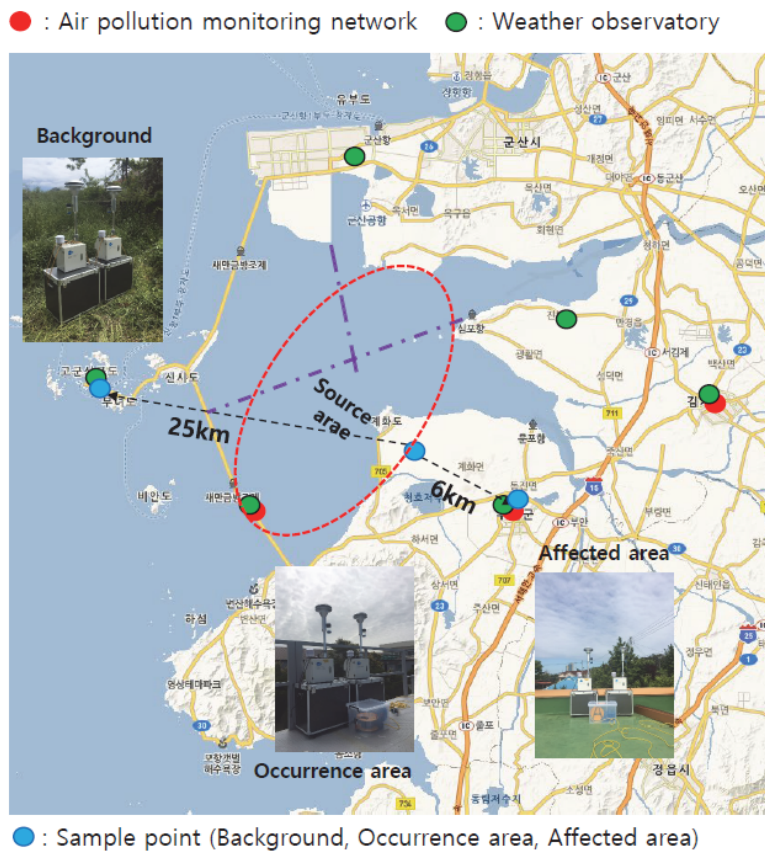


Fig. 1 Atmospheric PM<sub>2.5</sub> monitoring sites of Saemangeum reclaimed land area

하였으며 PM<sub>2.5</sub> 시료 수는 총 154개이다. 한편 2020년 여름철에는 집중호우와 긴 장마로 인하여 시료 채취를 하지 못하였고, 먼지 발생이 심한 2021년 봄철에 시료를 추가로 채취하였다.

## 2. 시료 채취 및 분석 방법

대기 중 초미세먼지 시료는 Low Volume Air Sampler (KEMIK Corporation, Model KMS-2000)를 이용하여 2.5 µm 이하의 입자를 24시간 동안 연속 채취하였다. 측정 장비는 지점당 2대를 설치하여 총 6대를 운영하였다. PM<sub>2.5</sub> 채취 때 흡입유량은 16.67 L/min이며, 사용된 여지는 미국 Pall사에서 제조한 Teflon 재질 (47 mm, pore size : 2 µm)의 필터와 47 mm 지름의 Quartz 필터를 사용하였다. 채취된 시료 여지의 PM<sub>2.5</sub> 농도는 24시간 동안 항온·항습 데시케이터 내에 보관하여 항량시킨 뒤 0.1 mg 까지 무게를 잴며 전·후의 중량차에 의해 최종 먼지 농도를 산출하였다. 이때 항량 데시케이터의 상대습도는 45 ± 5%를, 온도는 20 ± 2°C의 범위로 유지하였다. 시료 여지는 화학분석 전까지 냉동 보관한 뒤 금속성분, 이온성분, 탄소성분과 같은 화학성분의 분석에 이용되었다 (Baek et al., 2007; Mainey et al., 1999).

중금속을 포함한 금속성분은 유도결합플라즈마 분광분석기 (ICP Atomic Emission Spectrometers, Shimadzu, Model ICPE-9800)를 이용하여 16개 항목 (Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Si, Ti, V, Zn, Se, As)에 대하여 분석하였으며, 이온성분은 이온크로마토그래피 (Ion Chromatography, Switzerland, Model IC Metrohm 883)를 이용하여 농도를 결정하였다. 그리고 탄소성분은 무기탄소를 포함하는 황사 등 토양 기원 원인이 크게 나타남을 고려하여 자료 해석 시 더 많은 기여를 할 수 있는 NIOSH5040 분석법 (National Institute of Occupational Safety and Health)을 이용하였다. 이 분석법은 1990년도 개발된 것으로서 무산소 조건에서 최대 온도를 800°C 이상으로 규정하며 PM<sub>2.5</sub> 내 존재할 수도 있는 무기탄

소 (inorganic carbon, IC)를 분석할 수 있는 장점이 있다. 데이터는 일자별·지역별 시료 채취 농도와 기상 (온도, 습도, 풍향, 풍속, 강우량) 및 현장 확인을 토대로 종합적으로 시계열 분석을 진행하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 새만금간척지 대기 중 PM<sub>2.5</sub>의 농도분포

새만금간척지 인근 지역 대기 중의 PM<sub>2.5</sub> 농도를 요약한 결과는 Table 1에 나타냈으며, 지역별·계절별 농도 자료 중 대기 정체 및 황사유입과 불법 소각을 반영한 농도분포를 Fig. 2에 나타내었다. 새만금간척지 인근 지역의 대기 중 PM<sub>2.5</sub>의 농도는 배경 지역 (장자도) 연간 평균치 19.2±15.6 µg/m<sup>3</sup>, 발생 지역 (새만금지역 내 국립식량과학원 측정소) 22.9±15.5 µg/m<sup>3</sup>, 영향 지역 (부안 주택) 26.3±16.4 µg/m<sup>3</sup>로 나타났다.

계절별로는 여름철 < 겨울철 < 봄철 순으로 높은 농도를 보이고 있으며, 2020년 대비 황사가 유입되었던 2021년의 봄철에는 PM<sub>2.5</sub> 농도가 약 36%~66% 정도 증가한 것으로 나타났다. 여름철에는 장마로 인하여 PM<sub>2.5</sub> 농도가 낮아지지만, 겨울철에 이루어지는 불법 소각과 겨울부터 봄 사이에 자주 발생하는 고농도 미세먼지 현상 (대기 정체, 황사) 때문에 높은 농도를 보인 것으로 판단된다. 이는 영농폐기물 및 부산물 소각인 농촌지역 특성과 외부 유입영향 및 계절에 따른 기상 요인을 반영한 계절적 특성을 보여주고 있다. Fig. 2에는 겨울철과 봄철 연구 기간 중 측정된 PM<sub>2.5</sub>의 일평균 농도 변화를 보여주고 있다.

시료 채취지점의 기상 (풍속 0.1 m/s~0.9 m/s, 강우량 0 mm) 상황이 유지되면서 대기 정체가 발생한 2020년 12월 11일에는 전라북도 지역의 김제권·부안권·정읍권·전주권을 대상으로 PM<sub>2.5</sub> 주의보 (75 µg/m<sup>3</sup>가 2시간 이상 지속될 경우)가 발령된 것을 확인하였다 (에어코리아, <https://www.airkorea>).

**Table 1** Concentrations (µg/m<sup>3</sup>) of PM<sub>2.5</sub> at 3 sites around Saemangum reclaimed land area

Season	Jangjado (up-wind)			NICS site			Buan (down-wind)		
	#n	Mean ± SD	Range	#n	Mean ± SD	Range	#n	Mean ± SD	Range
Spring (2020)	42	17.3 ± 7.9	3.9~36.9	42	23.4 ± 9.4	9.0~43.2	42	25.6 ± 8.6	12.7~47.5
Fall	34	9.0 ± 4.4	3.2~21.0	34	9.9 ± 5.8	0.4~23.0	34	12.4 ± 4.7	4.6~22.6
Winter	38	22.2 ± 14.9	7.5~59.8	38	27.6 ± 14.5	9.1~56.5	38	28.4 ± 12.8	9.1~61.8
Spring (2021)	40	28.7 ± 22.4	5.8~104.2	40	31.9 ± 19.5	12.0~91.2	40	38.1 ± 21.9	9.9~91.1

#n : number of samplings



Fig. 2 Seasonal atmospheric PM<sub>2.5</sub> concentrations measured in monitoring sites around Saemangum reclaimed land area

or.kr). 그리고 2020년 12월 21일에도 시료 채취지점별로 고농도를 보이고 있으며, 이는 각 시료 채취지점 인근에서 영농부산물의 노천 소각 행위에 의한 것으로 현장 확인되었다.

2021년 03월 29일에는 전라북도 (김제, 군산, 부안, 고창)에 황사가 발생하여 PM<sub>10</sub> 경보 (PM<sub>10</sub> 300 µg/m<sup>3</sup> 이상이 2시간 이상 지속될 경우가 발령되었으며, 이 기간에 지역별 PM<sub>2.5</sub> 농도는 배경 지역 (장자도) 104 µg/m<sup>3</sup>, 발생 지역 (새만금지역 내) 94 µg/m<sup>3</sup>, 영향 지역 (부안) 89 µg/m<sup>3</sup>로 전반적으로 황사의 영향이 나타난 것을 확인할 수 있었다.

## 2. PM<sub>2.5</sub>에 함유된 화학성분 분포

새만금 간척지 및 인근 지역에서 채취한 계절별 PM<sub>2.5</sub>에 함유된 화학조성을 분석한 평균값은 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (7.2 µg/m<sup>3</sup>), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (4.3 µg/m<sup>3</sup>), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (4.3 µg/m<sup>3</sup>), OC (2.5 µg/m<sup>3</sup>), Si (1.3 µg/m<sup>3</sup>), EC (0.5 µg/m<sup>3</sup>)가 주요 성분으로 나타났다. 특히 이차 생성입자를 형성하는 성분인 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 이 큰 비중을 차지하고 있다. Fig. 3에 나타난 바와 같이, PM<sub>2.5</sub>의 성분 구성 비율은 이온성분 (56.8%) > Unknown (27.4%) > 탄소성분 (11.8%) > 중금속성분 (4.0%) 순으로 조사되었다.

PM<sub>2.5</sub>의 이온 성분 중 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 겨울철에 각각 14.8 µg/m<sup>3</sup>, 4.3 µg/m<sup>3</sup>로 가장 높지만, 가을철에는 각각 2.0 µg/m<sup>3</sup>,

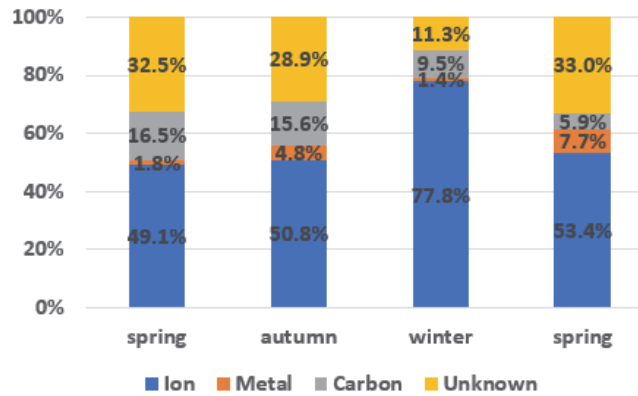
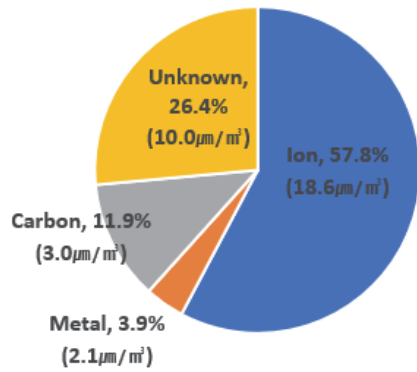


Fig. 3 Seasonal composition rate of chemical components associated with  $\text{PM}_{2.5}$  in Saemangum reclaimed land area

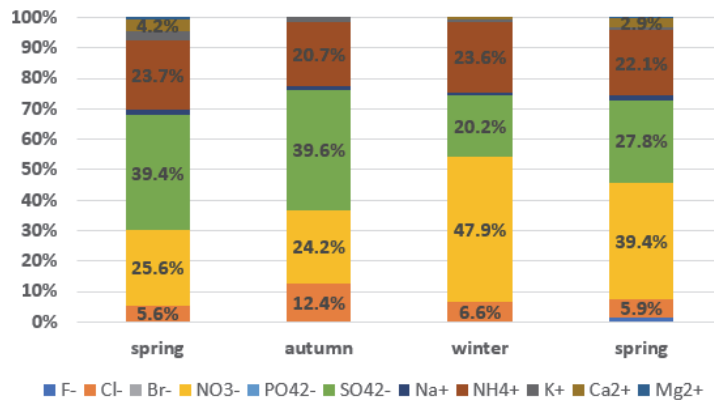
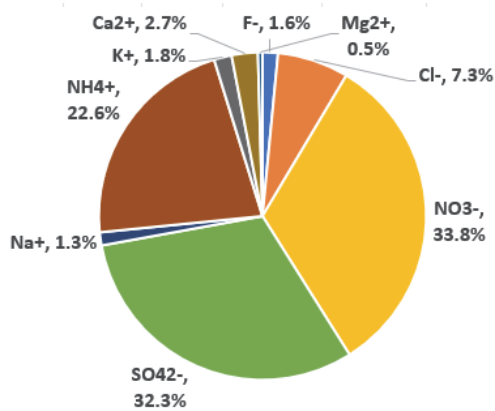


Fig. 4 Seasonal mean percentages of ion related to  $\text{PM}_{2.5}$  in Saemangum reclaimed land area

$3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 낮은 농도를 보였다. 특히 대기 정체가 이루어지는 겨울철에는  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$  농도가 평상시 대비 2~3배 정도 높은 것으로 나타났다. 겨울철  $\text{NH}_4^+$  경우 평상시 대비 대기 정체 시에는 약 2.3배 높은 농도를 보였다. 토사나 해염입자와 같은 자연적 발생원과 관련된 Ca, Mg, K 등의 화학성분과 해염입자와 연계된 화학성분인 Na이 지속해서 나타나는 것은 해안가에 인접한 영향을 받는 것으로 판단된다. 그리고  $\text{PM}_{2.5}$  성분에서  $\text{NO}_3^-$ 는 주로  $\text{HNO}_3$ 와  $\text{NH}_3$ 가 반응하여 생성된  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 또 해염 농도가 높은 조건에서  $\text{HNO}_3$ 은  $\text{NaCl}$ 과 반응하여 조대입자에서  $\text{NaNO}_3$ 을 생성하는 것으로 알려져 있다.

탄소 성분은 원소탄소 (EC)보다 유기탄소 (OC)가 약 4.6배 높은 농도를 보였다. OC/EC 비율은 대기 중 이차적으로 생성되는 미세먼지를 간접적으로 나타내는 지표이며, OC/EC 비율이 2.0을 넘으면 대기 중 화학반응에 의해 생성되는 유기탄소 (OC)가 많음을 시사한다 (Cho et al., 2016). 계절별 OC/EC

비율은 봄철 3.8, 가을철 5.3, 겨울철 5.4, 봄철 5.0으로 겨울철에 가장 높은 수준을 보였다. OC/EC의 비율을 이용하여 오염원의 추정에 활용하기도 한다. 예를 들어 OC/EC 비율이 1.0~4.2일 경우 자동차 등의 연소과정에서 기인하는 것으로 알려져 있고, 2.4~24.0일 경우 생물성 연소에서 기인하는 것으로 보고되었다 (Jo et al., 2018). 본 연구에서 OC/EC의 비율은 4.6으로 분석되었고, 새만금간척지  $\text{PM}_{2.5}$  내 탄소성분이 주로 생물성연소에서 기원했을 가능성을 보여준다. Ram et al., (2010) 연구사례에서 인도 북부 농촌지역의 OC/EC 비율이 평균  $7.8 \pm 2.4$ 이며, 바이오매스 연소원 (농촌 폐기물 및 목재연료)의 기여가 우세한 것으로 판단하고 있다.

중금속 성분의 경우 다른 성분비해 매우 낮은 농도 양상을 보였다. Si의 경우  $1.333 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 큰 농도를 보였으며, Fe ( $0.508 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), K ( $0.322 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Ca ( $189 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Mg ( $0.154 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Ti ( $0.141 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순서로 낮은 값이 분석되었

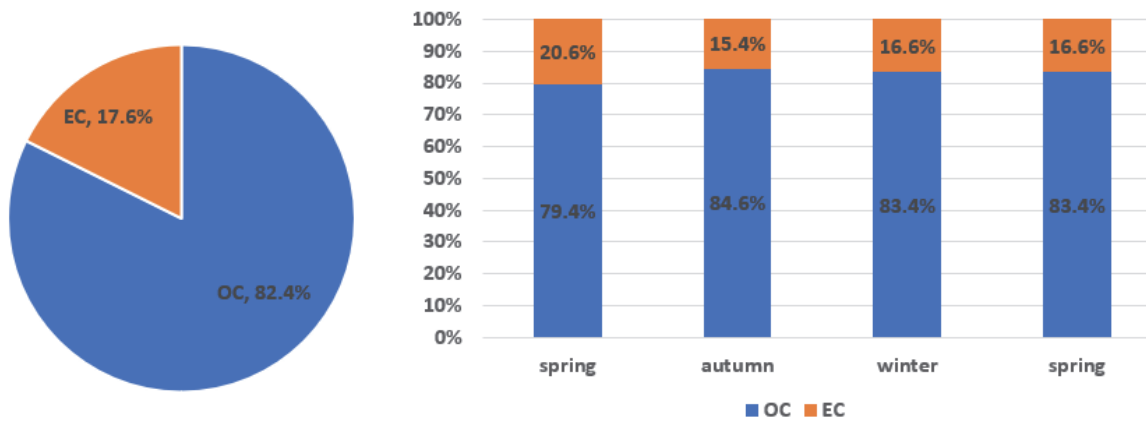


Fig. 5 Seasonal mean percentages of carbon related to PM<sub>2.5</sub> in Saemangum reclaimed land area

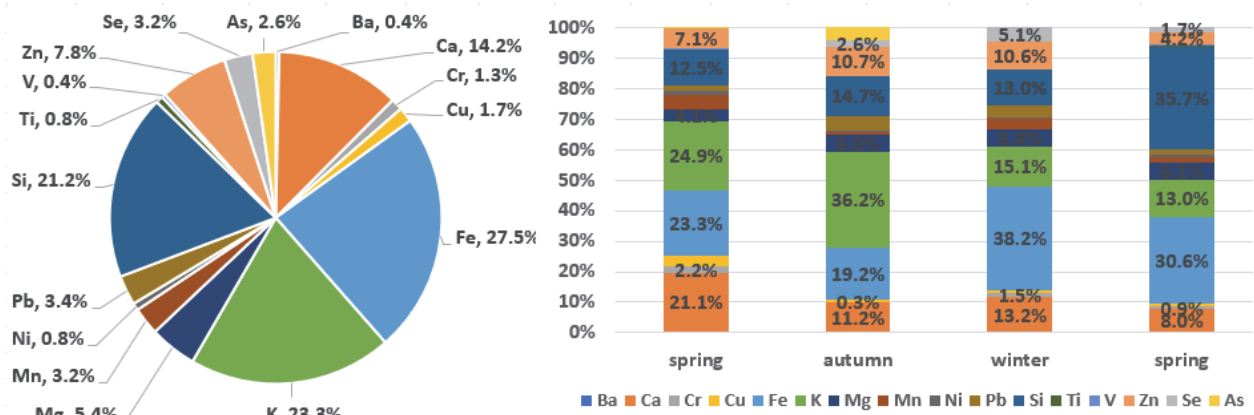


Fig. 6 Seasonal mean percentages of heavy metals related to PM<sub>2.5</sub> in Saemangum reclaimed land area

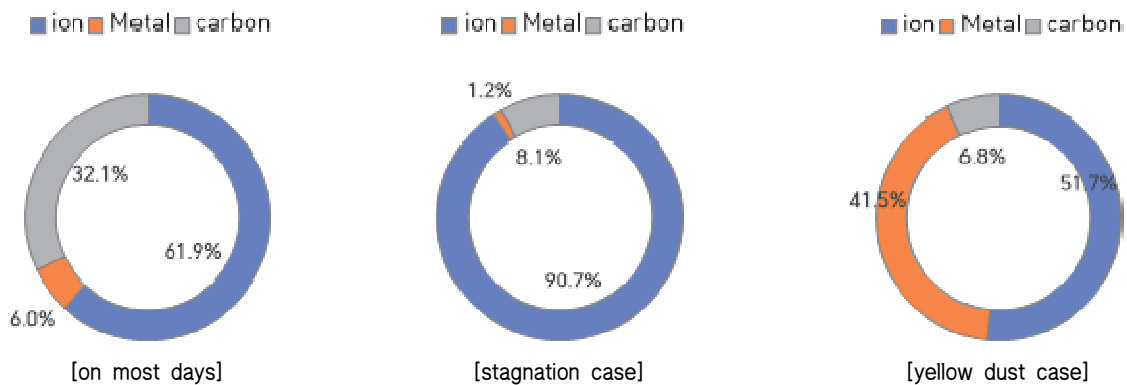


Fig. 7 Chemical composition (%) in case of Atmospheric stagnation and yellow dust case

며, 중금속 평균 농도 값을 구성성분 (%)으로 계산하여 Fig. 6에 나타냈다.

### 3. PM<sub>2.5</sub> 고농도 사례일에 화학조성 비교

PM<sub>2.5</sub> 고농도 사례는 여러 요인에 의해 발생할 수 있는데 주로 배출량과 기상 조건, 황사와 같은 외부 영향에 의해 좌우된다. 즉 대기오염물질의 배출량이 일시적으로 비정상적으로 많은 경우 그리고 바람이 약하거나 미세먼지가 정체할 수 있는 조건의 대기 패턴이 형성되었을 때 고농도 현상이 발생할 가능성이 높다 (Ko et al., 2014; Ko et al., 2016; Lee et al., 2018; Park et al., 2013; Park et al., 2018; Ryoo et al., 2019).

PM<sub>2.5</sub> 고농도 사례일을 대기 정체와 황사를 구분하여 이온성분 · 중금속성분 · 탄소성분을 분석하여 화학조성을 파악하였다. 본 연구에서 2020년 12월 11일에는 PM<sub>2.5</sub>를 정체시키는 대기 조건 (평균풍속 0.1 m/s)이 형성되면서 부안권과 김제권 · 정읍권 · 전주권이 PM<sub>2.5</sub> 주의보가 발령되었으며, 2021년 3월 29일에는 전라북도 (부안, 김제, 군산, 고창)에 황사경보가 발령되었다. 이처럼 대기 PM<sub>2.5</sub>는 기상현상에 따라 물리적 특성이나 화학조성이 다르게 나타나며, 시료 채취 시의 PM<sub>2.5</sub> 고농도 사례에 따라 PM<sub>2.5</sub> 화학조성을 상호 비교하였다. 대기 정체 때에는 이온성분이 90.7%를 차지했지만, 황사 유입 때에는 이온성분 (51.7%) > 중금속성분 (41.5%) > 탄소성분 (6.8%) 순으로 PM<sub>2.5</sub> 화학조성 비율이 서로 다른 양상을 보인다.

## IV. 결론

본 연구에서는 새만금간척지의 대기 환경 중 PM<sub>2.5</sub>에 대한 오염도 측정과 지역적, 계절별로 PM<sub>2.5</sub>의 물리 · 화학적 성분 분석을 통하여 PM<sub>2.5</sub>의 오염 특성을 평가하고자 하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

새만금간척지의 대기 중 PM<sub>2.5</sub>의 농도는 배경지역 (장자도) 19.2 µg/m<sup>3</sup>, 발생지역 (국립식량과학원 측정소) 22.9 µg/m<sup>3</sup>, 영향지역 (부안) 26.3 µg/m<sup>3</sup> 순으로 높은 농도를 나타내며, 대기 정체 및 황사 유입과 주변 지역 소각 발생 때 고농도 현상이 일어났다. 그리고 3개 시료 채취지점의 PM<sub>2.5</sub> 농도의 변동 양상은 거의 유사한 형태를 보여주고 있었다. 따라서 3개 시료 채취지점이 해당 지점의 고유한 발생원 특징보다 외부로부터의 공통적인 영향을 많이 받고 있음을 추정할 수 있었다.

PM<sub>2.5</sub>의 화학조성을 살펴보면, 이온성분 (56.8%) > Unknown (27.4%) > 탄소성분 (11.8%) > 중금속성분 (4.0%) 순으로 나타났다. 이온성분 중 이차생성입자를 형성하는 성분인 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>가 주요한 성분으로 분석되었다. 원소탄소 (EC)보다 연소과정에서 주로 발생하는 유기탄소 (OC)의 구성비가 높고 OC/EC의 비율은 4.6인 것으로 비추어 볼 때, 새만금간척지 PM<sub>2.5</sub> 내 탄소성분이 생물성연소에서 기원했을 가능성을 보여주며 대기 중 2차 반응으로 생성된 것이 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

높은 유기탄소 (OC)와 K<sup>+</sup>는 불법 소각 및 농업 소각과 관련된 성분으로 장자도 < 새만금지역 내 < 부안 순으로 증가하였으며, 휘발유 경유 등의 차량용 연소로 직접적인 영향을 받는 니켈 (Ni) 성분은 내륙으로 갈수록 증가하는 것으로 나타났다.

PM<sub>2.5</sub> 고농도 사례 일을 대기 정체와 황사를 구분하여, PM<sub>2.5</sub> 화학조성 비율을 비교하였다. 대기 정체 때에는 이온성분이 90.7%를 차지했지만, 황사 유입 때에는 이온성분 (51.7%) > 중금속성분 (41.5%) > 탄소성분 (6.8%) 순으로 PM<sub>2.5</sub> 화학조성 비율이 서로 다른 양상을 나타냈다.

이상과 같은 연구 결과로부터, 새만금간척지 및 주변 지역의 PM<sub>2.5</sub> 발생특징은 연중이 지역 외부 (국내 및 국외)로부터 주로 영향을 받고 있음을 추정할 수 있었다. 이 지역의 발생원 특징은 새만금 개발과정에서 발생하는 토양 비산과 농업 관련 생체 소각 및 농업잔재물 소각에 의한 것이 대부분이었다. 아울러 이 지역 PM<sub>2.5</sub> 성분 중 가장 많은 부분을 차지하는 이온성분의 경우는 입자화의 원인물질인 SO<sub>x</sub> 및 NO<sub>x</sub> 배출원이 이 지역 내에 거의 없는 것으로 미루어 대부분 외부에서 대기 중 2차 반응으로 생성되어 유입되는 것으로 추정된다. 또한 새만금지역 내 오염원 기여도를 파악하기 위하여 수용모형을 수행할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 논문은 국립농업과학원의 “수용모형을 활용한 전북지역 미세먼지 발생 특성 및 원인 구명 연구” 과제 (과제번호: PJ014910)의 지원을 받아 수행된 연구임.

## REFERENCES

- Baek, S. O., Y. K. Heo, and Y. H. Park, 2007. Characterization of concentrations of fine particulate matter in the atmosphere of pohang area. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 30(3): 302-313. (in Korean).
- Cho, S. H., P. R. Kim, Y. J. Han, H. W. Kim, and S. M. Yi, 2016. Characteristics of ionic and carbonaceous compounds in pm<sub>2.5</sub> and high concentration events in Chuncheon. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*

- 32(4): 435-447. (in Korean).
3. Hong, S. C., M. W. Kim, and J. H. Kim, 2021. Annual distribution of atmospheric ammonia concentration in saemangum reclaimed land area. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 40(4): 330-334. (in Korean).
  4. Hwang, I. J., and D. S. Kim, 2003. Source identification of ambient pm-10 using the pmf model. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 19(6): 701-717. (in Korean).
  5. Hwang, H. S., I. B. Lee, M. H. Shin, S. W. Hong, I. H. Seo, J. I. Yoo, J. P. Bitog, K. S. Kwon, and Y. H. Kim, 2009. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineer* 51(2): 59-67. (in Korean).
  6. Hwang, H. S., I. B. Lee, M. H. Shin, G. Y. Lee, S. W. Hong, I. H. Seo, J. I. Yoo, J. P. Bitog, K. S. Kwon, and Y. H. Kim, 2009. Monitoring of the fugitive and suspended dust dispersion at the saemangeum reclaimed land and neighboring farm areas. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineer* 51(5): 9-17. (in Korean).
  7. Kim, K. J., S. H. Lee, D. R. Hyeon, H. J. Ko, W. H. Kim, and C. H. Kang, 2014. Composition comparison of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> fine particulate matter for Asian dust and haze events of 2010-2011 at Gosan site in Jeju Island, *Analytical Science & Technology* 27(1): 1-10. (in Korean).
  8. Ko, H. J., J. Song, J. Cha, J. Kim, S. Ryoo, and C. Kang, 2016. Chemical composition characteristics of atmospheric aerosols in relation to haze, Asian Dust and Mixed Haze-Asian Dust episodes at Gosan Site in 2013. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 32(3): 289-304. (in Korean with English abstract).
  9. Mainey, A., and T. William, 1999. US Environmental Protection Agency EPA/625/R-96/010a, 1-27.
  10. Ram, K., and M. M. Sarin, 2010. Spatio-temporal variability in atmospheric abundances of EC, OC and WSOC over Northern India. *Journal of Aerosol Science* 41(1): 88-98.
  11. Ryoo, J. Y., T. H. Kwon, I. S. Kang, K. S. Lee, C. W. Jo, J. S. Kim, H. H. Kim, W. Jang, J. J. Park, and T. S. Yoo, 2019. A study for characteristics of fine particulate matter and atmospheric stagnation considering elevation and backward. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 35(6): 701-712. (in Korean).
  12. Jo, G. G., D. W. Kim, and M. J. Song, 2018. PM<sub>2.5</sub> concentrations and chemical compositions in jeonju from 2017 to 2018. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 34(6): 876-888. (in Korean).
  13. Lee, H. J., Y. M. Jeong, S. T. Kim, and W. S. Lee, 2018. Atmospheric circulation patterns associated with particulate matter over South Korea and their future projection. *Journal of Climate Change Research*. 12: 423-433. (in Korean).
  14. Park, S., and G. Yu, 2018. Effect of air stagnation conditions on mass size distributions of water-soluble aerosol particles. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 34(3): 418-429. (in Korean with English abstract).
  15. Park, R. S., K. M. Han, C. H. Song, M. E. Park, S. J. Lee, S. Y. Hong, J. Kim, and J. H. Woo, 2013. Current status and development of modeling techniques for forecasting and monitoring of air quality over East Asia. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 29(4): 407-438. (in Korean with English abstract).
  16. U.K. Department of the Environment., 1995. "Expert panel on air quality standards: Particles" United Kingdom of HMSO, London.