

- 깨끗한 대기환경 조성, 시민건강 보호를 위한 -

# 대기오염물질 공간분포조사 및 체계적 관리방안 연구

인천의   
대한민국의 미래



인천광역시보건환경연구원

<https://www.incheon.go.kr/ecopia>

[환경조사과]

# 대기오염물질 공간분포조사 및 체계적 관리방안 연구

심우형, 이경수, 진용균, 권다솔, 김교영, 이진숙, 최종규, 최상인, 박완순, 권문주  
인천광역시보건환경연구원 대기환경연구부 환경조사과

A study on the spatial distribution characteristic of air pollutants  
for their systematic management plan

Woo-Hyung Sim, Kyoung-Soo Lee, Yong-Gyn Jin, Kyo-Young Kim, Jin-Sook Lee, Jong-Kyu Choi,  
Sang-In Choi, Wan-Soon Kwak, Mun-Ju Kwon

Environmental Research Division, Atmospheric Environment Research Department,  
Incheon Metropolitan City Institutes of Health and Environment, Incheon, Republic of Korea

## Abstract

Particulate matter smaller than 2.5  $\mu\text{m}$ (PM-2.5) can affect human health, climate, and ecosystems. PM-2.5 concentration is increased by secondary formation rather than primary pollutant. However, Identifying precursors of secondary PM-2.5 are not easy in multiple sites. For identifying the spatial distribution concentration of air pollutants affecting secondary PM-2.5 formation, Passive samplers were used to identify PM-2.5 precursors( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , VOCs). As a result of creating a spatial distribution map of air pollutants,  $\text{NO}_2$  was high around the Incheon bridge reservoir affected by steel industry, around southern port area affected by ship operation and port work, and logistics complex in Yeong-Jong island.  $\text{SO}_2$  was high around the Unbuk sewage treatment plant, Urban renewal areas, and southern port.  $\text{NH}_3$  and VOCs were high in the Dong-gu area. For the four areas with high levels of precursors of PM-2.5, the detailed investigation of air quality using a air measurement vehicles and analysis of fine dust components was conducted. In particular, pollution levels were generally high at the Incheon bridge reservoir and the Incheon inner port Pier 8. PM-10 and PM-2.5 in the areas were higher in 1.1 to 1.9 times and 1.1 to 1.6 times, respectively, than the average concentration of the Incheon region during the same period.

As a result of the analysis of PM-2.5 components, the components were different on each survey sites and period. At each site, Secondary PM-2.5 formation was confirmed due to high carbon components ratio and ion components such as nitrate, sulfate and ammonium. By Ions and Heavy metals concentration in PM-2.5, we were able to determine the effect of surrounding sources.

In the future, in high-concentration areas, periodic monitoring should be performed to identify changes in concentration. Also, It is necessary to identify types of anthropogenic sources and emissions from nearby facilities and to strengthen management.

**Key words** : Passive sampler, PM-2.5, Air pollutants, Incheon

## I. 서론

우리나라는 1960년대 경제적 성장으로 산업이 발전하였으며, 산재되어 있는 공장, 산업단지 등에서 대기오염물질을 다량 배출해 왔다. 경제적 빈곤을 탈피하기 위해 이런 문제들은 등한 시되어 왔으나 경제성장과 삶의 질이 향상됨에 따라 대기환경에 대한 시민들의 인식이 높아졌다. 이런 사회환경에 맞추어 1990년대에는 대기환경보전법이 제정되었고, 미세먼지 측정과 함께 환경기준을 도입하였다. 하지만, 미세먼지 농도는 대기환경기준 내에서 정제되어 있었고, 수도권의 대기오염도는 심각한 수준이었다. 따라서 2000년대에는 수도권 특별법 제정, 미세먼지 환경기준 강화 등 대기오염도를 낮추기 위한 법이 제정되었다. 전 세계적으로 미세먼지의 인체 유해성에 대한 지속적인 연구로, 입자직경이  $2.5\mu\text{m}$  이하인 초미세먼지(PM-2.5)가 기관지, 순환계 등 인체 유해성이 크다고 보고되었으며, 2013년 WHO에서는 미세먼지를 1군 발암물질로 분류한 이후, 우리나라에서는 미세먼지를 입자 크기별로 미세먼지(PM-10), 초미세먼지(PM-2.5)로 구분하여 측정하고 예경보제를 실시하는 등 미세먼지 노출을 줄이기 위해 노력하고 있다. 2018년 한 차례 더 미세먼지와 초미세먼지 기준을 강화하고 각고의 노력을 기울여 미세먼지(PM-10)의 농도는 환경기준을 만족하나, 초미세먼지(PM-2.5) 농도는 아직 환경기준을 만족하지 못하는 상황이다. 따라서 유해성이 더 큰 초미세먼지(PM-2.5)에 대한 불안은 해소되지 않은 상황이며, 저감을 위한 대책이 필요한 실정이다. 초미세먼지(PM-2.5)는 생성기작에 따라 1차 생성 초미세먼지와 2차 생성 초미세먼지로 구분하는데, 1차 생성 미세먼지는 배출원에서 직접 발생되며, 2차 생성 초미세먼지는 배출된  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , VOCs 등 가스상 물질이 광화학 반응을 통해 형성된다. 국내 초미세먼지 중 70%가 2차 생성된다고 알려져 있으며, 호흡기 및 심혈관 질환을 유발하고 조기 사망률 발생 위험과 밀접한 연관이 있으며, 생성 기여율은 소규모 지역에서 크다고 알려져 있다. 또한 그 유해성은 농도보다는 구성성분에 의한 유해성이 높다고 보고되어 2차 생성 초미세먼지를 줄이는 방안이 필요하다. 따라서 초미세먼지의 농도를 줄이고 유해성을 줄이기 위한 정책을 제안하기 위해서는 소규모 단위지역의 2차 초미세먼지 생성 전구체의 공간적 분포를 알고, 전구체 농도가 높은 우심지역에서 초미세먼지의 주요 화학성분과 농도를 파악하는 것이 중요하다.

인천은 지역 특성상 편서풍의 영향으로 중국, 몽고 등 국외 미세먼지의 영향을 가장 크게 받으며, 해안지역 특성상 항만, 물류단지 등이 발달하고 국가산업단지, 공항 등이 위치하여 다수의 미세먼지 발생원이 위치한 지역으로 산업단지와 주거단지가 산재하여 주민들이 그 영향을 직·간접적으로 받고 있다. 인천시는 대기오염 수준을 전반적으로 파악하고 영향 요인들에 대한 면밀한 분석 및 평가를 위해 대기환경측정망을 확대 운영하고 있으나, 동네수준의 소규모 지역 단위지역의 대기오염도를 파악하기 위해서는 공간적, 경제적 한계가 있는 상황이며, 시민이 체감하는 대기오염도와 특성을 파악하는 데 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 소규모 지역(군·구)의 초미세먼지 전구체인  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , VOCs의 공간적 분포를 파악하고 오염도가 높은 지역에 대해서는 정밀 조사를 실시하여 지역 대기질에 미치는 오염원을 확인하고 맞춤형 대기질 관리 방안을 제시하고자 한다.

## II. 연구내용 및 방법

### 2.1. 연구대상

환경부 국가미세먼지정보센터 대기오염물질 배출량 통계자료에 따르면, 인천광역시의 대기오염물질 배출량은 서울특별시와 7대 광역시 비교 시, VOCs(3순위)를 제외한 배출량은 2순위였다. 구·군별 대기오염물질 배출총량은 서구에서 가장 높았으며, 중구가 두 번째로 높았다. 입자상 물질(TSP, PM-10, PM-2.5, BC)의 배출량은 서구, 남동구, 계양구, 부평구, 중구 순이었으며, 가스상 물질의 배출량(NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOCs, NH<sub>3</sub>, CO)은 서구, 중구, 옹진군, 남동구, 부평구 순으로 배출량이 높았다. 입자상 물질 중 위해성이 크다고 알려진 PM-2.5의 배출량은 서구, 중구에서 높았으며, 가스상 물질 중 PM-2.5의 전구체로 알려진 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOCs, NH<sub>3</sub>의 농도는 서구, 중구 순으로 높았다. 따라서 인천 서구와 중구는 PM-2.5의 배출량이 많고 PM-2.5의 잠재적 형성 가능성이 높아 지역 대기질이 주민건강에 위협을 줄 것으로 판단된다. 따라서 '21년 공간분포 조사를 한 서구를 제외하고 배출총량이 높은 중구와 인접 지역에 위치한 동구를 연구 대상 지역에 포함하여 선정하였다. 인천 중구는 내륙지역에 항만, 물류단지, 중소규모 사업장 등 대기오염물질 배출원이 산재해 있으며, 영종도에는 공항, 물류단지 등이 위치해 있으며, 동구에는 항만, 제철소 등 대규모 사업장이 위치해 있다. 또한, 영종도를 제외한 중·동구는 인천시 관내 군·구 중 가장 작은 면적을 차지하나 다양한 산업시설이 집중되어 있어, 단위 지역의 대기오염물질 공간분포에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

Table 1. Air pollutant emissions(2019, Source : National air emission inventory center, unit : ton/year)

지역	항목	TSP	PM-10	PM-2.5	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	VOC	NH <sub>3</sub>
인천광역시		20,605	2,548	7,203	11,301	52,899	52,915	6,676	39,248
강 화 군		1,343	145	493	26	1,457	977	1,000	1,876
옹 진 군		405	183	269	4,960	4,127	754	2,218	4,232
중 구		<b>1,488</b>	<b>484</b>	<b>821</b>	<b>2,591</b>	<b>11,988</b>	<b>14,996</b>	<b>93</b>	<b>10,708</b>
동 구		<b>489</b>	<b>122</b>	<b>220</b>	<b>1,413</b>	<b>1,720</b>	<b>1,132</b>	<b>28</b>	<b>467</b>
미추홀구		1,612	133	469	43	3,130	2,879	144	1,724
연 수 구		1,631	117	390	102	2,807	2,055	176	1,820
남 동 구		2,997	226	833	38	4,994	7,412	461	2,639
부 평 구		2,300	172	692	35	3,793	4,710	187	2,027
계 양 구		2,464	173	622	52	4,272	2,159	145	2,508
서 구		5,877	793	2,394	2,041	14,611	15,840	2,224	11,249
서울특별시		23,453	2,732	9,682	998	71,009	63,690	3,547	46,566
부산광역시		15,030	2,523	6,233	9,113	48,553	35,719	1,603	23,918
대구광역시		9,926	1,335	3,976	2,292	27,681	33,251	1,651	16,401
광주광역시		5,707	604	2,026	135	12,588	16,791	964	7,560
대전광역시		4,879	569	1,646	284	14,593	15,706	742	8,902
울산광역시		8,381	2,185	3,802	40,654	50,650	89,002	14,540	29,284

## 2.2. 실험항목 및 방법

### 2.2.1 대기오염물질 공간분포 조사

대기오염물질의 공간분포를 정밀하게 파악을 위해서는 고가의 장비가 필요하고 설치, 운영, 및 관리에 어려움이 있다. 이에 비교적 설치가 간편하고 동시에 여러 지역에 설치·조사가 가능하고 오염물질의 공간분포를 평가하기 용이한 수동확산포집기(passive diffusion sampler)를 활용하였다.

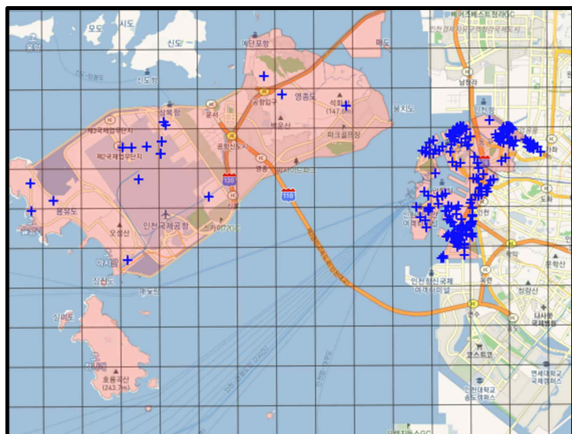


Fig. 1. Air pollutants emission sites of Jung-gu, Dong-gu

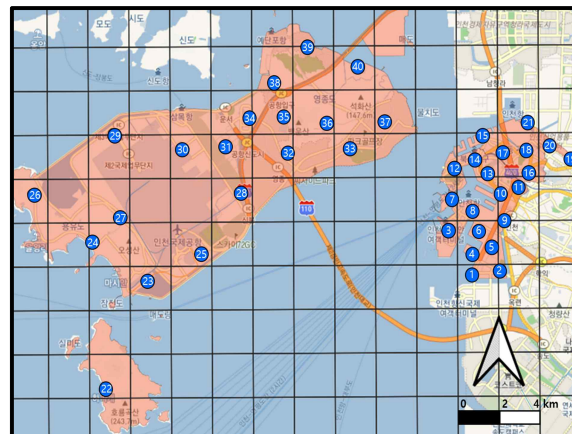


Fig. 2. Survey sites of spatial distribution(40 sites)

공간분포 조사지점 선정을 위해 인천시 중구, 동구의 대기오염물질 배출 사업장 238개소의 위치(위·경도 좌표)를 지도(Fig. 1.)에 표시하여 사업장 밀집 지역을 파악하고 배출원, 주거지역 및 공간분포를 고려하여 40개 지점(약 2.0 km × 2.0 km)을 선정(Fig. 2.)하였다. 조사항목은 2차 초미세먼지 생성 전구체로 알려진 이산화질소( $\text{NO}_2$ ), 이산화황( $\text{SO}_2$ ), 암모니아( $\text{NH}_3$ ), 휘발성유기화합물(VOCs)를 대상으로 하였다. 이산화질소( $\text{NO}_2$ )는 반응성이 크며, 적갈색의 자극성 냄새가 나는 유독한 기체로 도로이동오염원인 차량, 고온연소시설, 항공기 엔진 등에서 생성된다고 알려져 있다. 이산화황( $\text{SO}_2$ )은 불쾌하고 자극적인 냄새가 나는 무색의 불연성 기체로 황을 포함한 유류의 연소, 산업시설, 하수처리장 등에서 배출하는 것으로 알려져 있다. 암모니아( $\text{NH}_3$ )는 무색의 자극적인 냄새를 가진 기체로 주로 농·축산업 부분의 가축 사육과 분뇨처리, 비료 시비 등과 산업부분의 생산공정 등에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 휘발성유기화합물(VOCs)은 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물의 총칭으로 도장시설, 석유정제 및 석유화학제품 제조시설, 차량 등에서 배출되는 것으로 알려져 있다. 공간분포 조사는 1분기, 2분기, 3분기 각각 3회 조사를 하였으며, 대상물질을 선택적으로 채취가 가능한 패시브 샘플러로 기상을 고려하여 약 1주일간 설치 후 수거하였다. 시료의 채취·분석은 제조사의 guideline(SK Passiver sampler analysis instructions)에 따라 진행하였다.

공간분포 조사에 사용된 패시브 샘플러의 분석 방법은 Table 2.에 정리한 바와 같다. 조사항목인 이산화질소( $\text{NO}_2$ ), 이산화황( $\text{SO}_2$ ), 암모니아( $\text{NH}_3$ ), 휘발성유기화합물(VOCs)은 각각 SKC사의  $\text{UME}^X$  300,  $\text{UME}^X$  200, Ultra 690-105 로 채취 후 분석 전까지 냉동 보관하였다. 암모니아( $\text{NH}_3$ ), 이산화질소( $\text{NO}_2$ ) 분석은 정제수 10 ml를 주입하여 추출하였으며, 이산화황( $\text{SO}_2$ )는 정제수 10ml와 과산화수소(0.15%) 10ml를 넣어 추출하였다. 각 시료는 초음파로 1시간 추출 및 0.45 $\mu\text{m}$  필터로 여과하여 이온크로마토그래피(IC)로 분석하였다. 휘발성유기화합물(VOCs)은  $\text{CS}_2$  2ml를 넣고 1시간

shaking한 후 필터로 불순물을 여과한 다음 가스크로마토그래피-질량분석기(GC-MS)로 분석하였다.

Table 2. Analysis of air pollutants with passive sampler

공간분포 조사항목	Passive sampler	전처리	기기분석	채취기간
암모니아(NH <sub>3</sub> )	UMEX 300	증류수, 초음파	IC	5일
이산화질소(NO <sub>2</sub> )	UMEX 200	증류수, 초음파	IC	5일
이산화황(SO <sub>2</sub> )	UMEX 200	증류수 + 과수(0.15%), 초음파	IC	5일
휘발성유기화합물(VOCs)	Ultra 690-105	CS <sub>2</sub> 추출, shaking	GC-MS	5일

※ VOCs(6종) : Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes, Styrene, Trimethylbenzene

## 2.2.2 우심지역 정밀조사 및 초미세먼지 성분조사

대기오염물질 농도가 높은 지점의 정밀조사를 위해 1분기 공간분포 조사결과를 바탕으로 공간 분포 조사물질의 농도와 공간상 위치를 고려하여 우심지역 4개소를 선정하였다. 우심지역 정밀 조사는 대기환경이동측정차량을 이용하여 일반대기질 6항목(PM-10, PM-2.5, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>)을 우심지점마다 반기 1회, 7일간 조사하였으며, 초미세먼지 성분분석을 위해 하이볼륨샘플러를 활용하여 5일간 수동 채취하였다.

성분분석을 위해 하이볼륨샘플러로 채취한 여지는 하루 동안 항량 후 무게를 측정하였으며, 측정 후 -20℃에 냉동 보관하였다. 초미세먼지 성분은 탄소(2항목), 이온(6항목), 중금속(14항목) 성분을 분석하였으며 분석 방법은 Table 2.에 정리한 바와 같다. 초미세먼지 중 탄소성분 분석은 여지를 punching(1.41 cm<sup>2</sup>)한 후, Semi-Continuous OC/EC analyzer (Sunset Lab, USA) 장비로 분석하였으며, 이온 성분은 여지를 punching(391cm<sup>2</sup>)한 후 정제수 20 mL를 넣고 초음파추출기로 1시간 동안 추출한 후, 필터(0.45 μm)로 여과하여 이온크로마토그래피(IC, Thermo)로 분석하였다. 중금속 성분은 여지를 punching(391cm<sup>2</sup>)한 후 마이크로웨이브(CN/TOPEX, Preekem) 장비를 이용한 마이크로파 산분해법을 이용하여 전처리 후, 필터(0.45 μm)로 여과하여 유도결합플라즈마분광기-질량분석기(ICP-MS, Perkin Elmer)로 중금속 성분 분석을 실시하였다.

Table 3. Analysis of fine dust component

구 분	항목수	분석기기	전처리	세 부 항 목
탄 소	2 항목	Lab OC/EC	여지 punching	OC, EC
이 온	6 항목	IC	여지 punching 20ml 증류수 + 초음파 1hr + 필터(0.45μm)	Na <sup>+</sup> , NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
중 금 속	14 항목	ICP-MS	여지 punching 마이크로파 산분해법 + 필터(0.45μm)	Fe, Ca, Mg, Al, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, As

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 대기오염물질 공간분포 조사

소규모 지역의 대기오염을 평가를 위한 passive sampler는 지역의 일반적인 대기오염 평가에 유용하게 활용될 수 있으며 본 조사에서는 물류단지, 대규모 공장, 항만, 공항 등 대기오염물질 배출원이 산재해 있는 중·동구 지역을 대상으로 공간분포(2.0 km × 2.0 km)를 고려하여 40개 지점에 passive sampler를 설치하였으며, 조사 기간의 중·동구에 위치한 대기환경측정소 자료(NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>)와 비교하였다.

Table 4. Concentration of ambient air monitoring system (Jung-gu, Dong-gu) (unit : ppb)

지역	측정소	1분기		2분기		3분기	
		NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
중구	신흥	31	4	15	3	18	4
영종	영종	19	3	10	3	7	3
	운서	17	2	9	2	7	2
동구	송림	25	5	21	3	12	4
인천평균		25	4	12	3	12	3

##### 3.1.1. 공간분포 1분기 조사결과

대기오염물질 1분기 공간분포 조사는 '22. 3. 22. ~ 3. 25. 동안 각 지점에 NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, VOCs를 흡착할 수 있는 passive sampler를 설치하여 농도를 조사하였고, 각 항목별 대기오염물질 공간분포 지도를 작성하여 오염도가 높은 지역 주변의 오염원을 추정하였다.

이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 차량 배기가스 등 이동오염원에서 주로 배출되는 물질로 조사지점의 NO<sub>2</sub> 평균농도는 22.7 ppb로 인천평균(25 ppb) 대비 낮은 농도를 나타냈다. 지역별로는 동구 제철사업장이 인접하고 화물차 통행량이 많은 인천교 유수지 주변의 21번 지점이 가장 높은 농도를 나타냈다. 중구는 남향과 서해대로 주변의 5번 지점과 6번 지점, 영종도는 공항 활주로가 위치한 27번 지점과 인천공항 물류단지가 위치한 31번 지점에서 높은 농도를 나타냈다. 지역별 평균농도는 동구 31.5 ppb, 중구 28.2 ppb, 영종 15.4 ppb로 동구 지역이 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 동구에서 측정망 자료 대비 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.

아황산가스(SO<sub>2</sub>)는 연료연소, 화물차량 등에서 주로 배출되는 물질로 조사지점의 SO<sub>2</sub> 평균농도는 3.8 ppb로 인천평균(4 ppb) 과 비슷한 농도를 나타냈다. 지역별로는 중구 남향과 서해대로 주변에 위치하여 선박, 화물차 통행, 물류단지 등의 영향을 받는 6번 지점에서 가장 높은 농도를 나타냈다. 동구는 북향, 가좌 하수처리장, 제철사업장 주변지역인 21번 지점, 영종도에서는 물류단지가 위치한 31번 지점에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 지역별 평균농도는 동구 4.3 ppb, 중구 3.3 ppb, 영종 4.0 ppb 로 동구에서 높은 농도를 나타냈으며, 측정자료 값과 유사한 농도를 나타냈다.

암모니아(NH<sub>3</sub>)는 냉각수, 비료공업, 농업 등 다양한 오염원에서 배출되는 물질로 조사지점의 NH<sub>3</sub> 평균농도는 6.4 ppb 였으며, 동구 제철사업장, 가좌하수처리장 등이 주변에 위치한 21번 지점에서 가장 높은 농도를 나타냈다. 중구는 사료사업장, 제분사업장의 영향을 받는 14번 지점, 영종도는 낚시터가 위치한 40번 지점에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 지역별로는 동구 8.9 ppb, 중구 6.8 ppb, 영종 5.1 ppb로 동구에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.



휘발성유기화합물(VOCs)은 도장·도료 공업, 자동차 수리업, 공장 등에서 발생하는 물질로 조사지점의 VOCs 평균농도는 4.8 ppb로, 동구 인천의료원 주변에서 가장 높은 농도를 나타냈으며, 동구일원에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 중구는 서해대로, 시멘트업장이 주변에 위치한 1번 지점에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 영종도는 전반적으로 낮은 농도를 나타냈다. 지역별로는 동구 7.4 ppb, 중구 5.0 ppb, 영종 3.7 ppb로 동구에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.

1분기 공간분포 조사결과, 동구에서 NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, VOCs의 평균농도가 높았으며, 특히 제철사업장, 서구 인근 지역에서 높은 농도를 나타냈으며, 중구의 경우 공간분포상 높은 농도를 나타내는 지점이 있었지만 평균농도는 측정소 자료와 유사하였다.

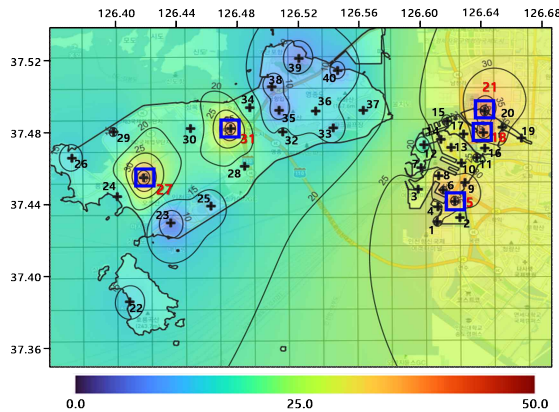


Fig. 3. NO<sub>2</sub> 22.7(5.3-42.4)ppb

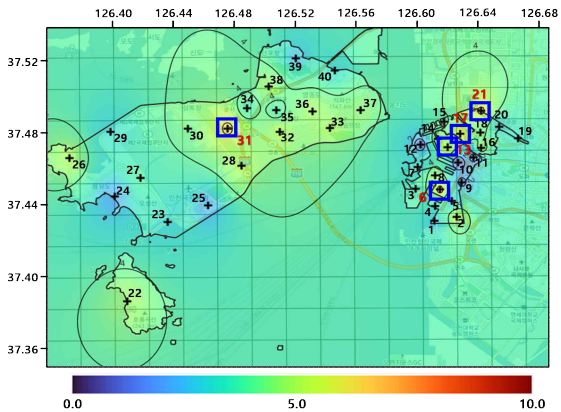


Fig. 4. SO<sub>2</sub> 3.8(0.7-6.7)ppb

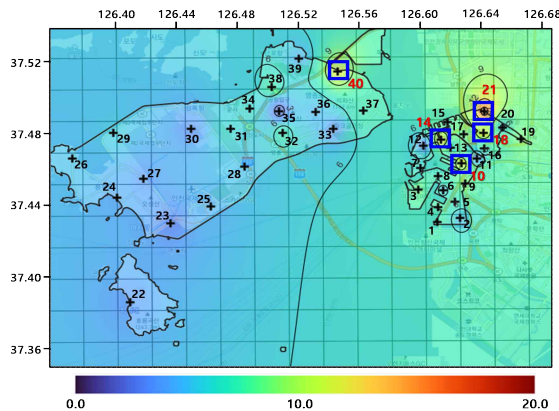


Fig 5. NH<sub>3</sub> 6.4(2.2-16.2)ppb

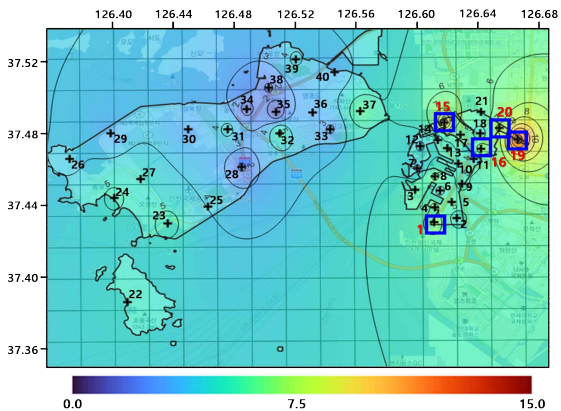


Fig. 6. VOCs 4.8(1.1-12.7)ppb

### 3.1.2. 2분기 공간분포 조사결과

대기오염물질 2분기 공간분포 조사는 1분기와 동일 지점에 passive sampler를 '22. 6. 10. ~ 6. 16. 동안 설치하여 각 항목별 대기오염물질 공간분포 지도를 작성하여 오염도가 높은 지역 주변의 오염원을 추정하였다.

이산화질소(NO<sub>2</sub>)의 2분기 평균농도는 15.1 ppb로 인천평균(12 ppb) 대비 높은 농도를 나타냈다. 지역별로는 동구 제철사업장이 인접하고 화물차 통행량이 많은 중봉대로 주변의 21번 지점이 가장 높은 농도를 나타냈다. 중구는 남향과 서해대로 주변의 4, 5, 6번 지점, 영종도는 물류단지가 위치한 31번 지점에서 높은 농도를 나타냈다. 지역별 평균농도는 동구 20.7 ppb, 중구 19.3 ppb, 영종 10.0 ppb로 동구 지역이 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 중구에서 측정망 자료 대비 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.



아황산가스( $\text{SO}_2$ )의 2분기 평균농도는 3.1 ppb로 인천평균(3 ppb) 농도와 유사하였다. 지역별로는 영종도 주변에 운북하수처리장이 위치한 38번 지점이 가장 높은 농도를 나타냈다. 중구는 남항 주변에서 농도가 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 동구는 평이한 농도분포를 나타냈다. 지역별 평균농도는 동구 4.3 ppb, 중구 3.3 ppb, 영종 4.0 ppb로 동구에서 높은 농도를 나타냈으며, 대기환경측정망 자료와 유사한 농도를 나타냈다.

암모니아( $\text{NH}_3$ )의 2분기 평균농도는 12.0 ppb 였으며, 동구 제철사업장, 가좌하수처리장 등이 주변에 위치하여 영향을 받는 18번 지점에서 가장 높은 농도를 나타냈다. 중구는 남항 주변, 영종도는 22번 지점에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 지역별로는 동구 29.4 ppb, 중구 10.4 ppb, 영종 6.8 ppb로 동구에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.

휘발성유기화합물(VOCs)의 2분기 평균농도는 4.1 ppb로, 동구 18번 지점에서 가장 높은 농도를 나타냈으며, 동구일원에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 중구는 내항 주변의 7번 지점에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 영종도는 전반적으로 낮은 농도를 나타냈다. 지역별로 동구 7.4 ppb, 중구 5.0 ppb, 영종 3.7 ppb로 동구에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.

2분기 공간분포 조사결과, 간헐적인 강우로 인해 1분기 대비  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  VOCs의 평균농도가 낮았으나,  $\text{NH}_3$ 의 경우, 제철사업장 주변에서 상대적으로 농도가 높게 조사되어 1분기 대비 평균농도가 높았다. 지역별로는 1분기와 유사하게 동구에서  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , VOCs의 평균농도가 높았다. 동구의 경우, 서구 경계 지점에서 오염도가 높았으며, 중구는 남항 주변에서 오염도가 높았다.

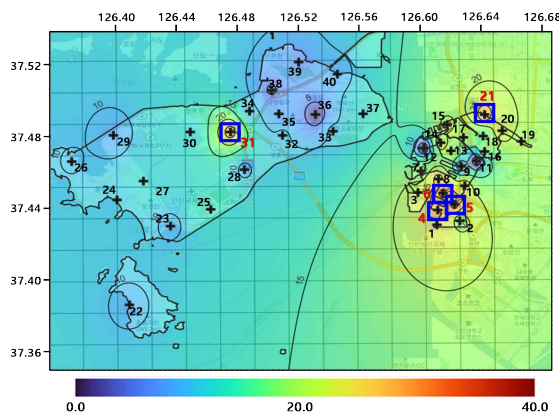


Fig. 7.  $\text{NO}_2$  15.1(0.0-32.6)ppb

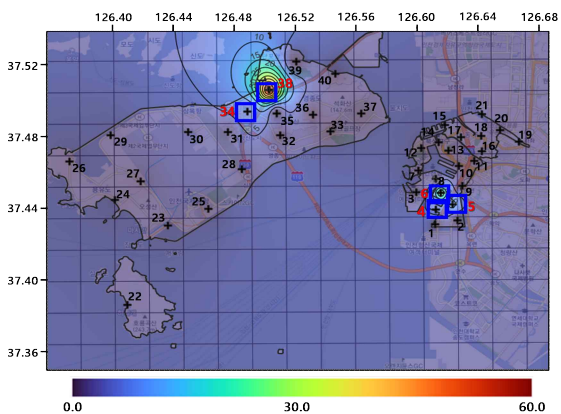


Fig. 8.  $\text{SO}_2$  3.1(0.0-51.4)ppb

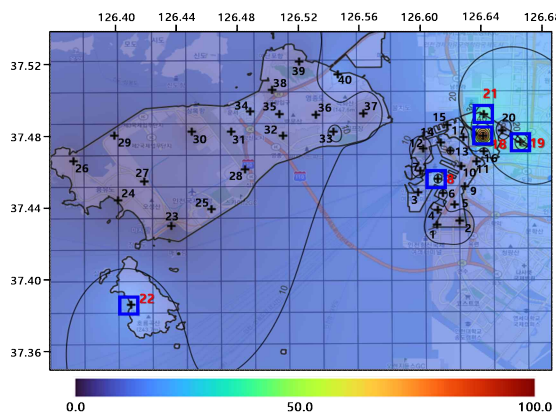


Fig. 9.  $\text{NH}_3$  12.0(1.7-94.8)ppb

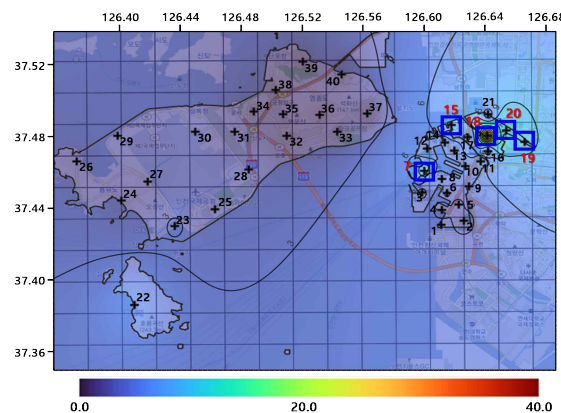


Fig. 10. VOCs 4.1(0.2-33.5)ppb

### 3.1.3. 공간분포 3분기 조사결과

3분기 공간분포 조사는 '22. 9. 15. ~ 21. 동안 passive sampler를 설치하여 각 항목별 대기오염물질 공간분포 지도를 작성하고 오염도가 높은 지역 주변의 오염원을 추정하였고 1분기, 2분기 결과와 비교하였다.

이산화질소( $\text{NO}_2$ )의 3분기 평균농도는 7.4 ppb로 인천평균(12 ppb) 대비 낮은 농도를 나타냈다. 지역별로는 중구는 남향과 서해대로 주변의 4, 5, 6번 지점이 높은 농도를 나타냈다. 동구는 제철사업장이 인접하고 화물차 통행량이 많은 중봉대로 주변의 18번 지점, 영종도는 물류단지가 위치한 31번 지점에서 높은 농도를 나타냈다. 지역별 평균농도는 동구 8.8 ppb, 중구 10.7 ppb, 영종 4.4 ppb로 중구 지역이 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 측정망 자료 대비 상대적으로 낮은 농도를 나타냈다.

아황산가스( $\text{SO}_2$ )의 3분기 평균농도는 6.3 ppb로 인천평균(3 ppb) 대비 높은 농도를 나타냈다. 지역별로는 동구 재개발 지역 주변의 16번 지점에서 가장 높은 농도를 나타냈다. 중구는 남향 근린공원 주변에 위치한 2번 지점, 영종도는 32번 지점에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 지역별로는 동구 8.3 ppb, 중구 6.7 ppb, 영종 5.3 ppb로 동구에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 중·동구 대기환경측정망 자료 대비 높은 농도를 나타냈다.

암모니아( $\text{NH}_3$ )의 3분기 평균농도는 8.0 ppb였으며, 중구 남향 주변의 8번 지점에서 가장 높은 농도를 나타내었다. 동구는 제철사업장 주변 지점인 21번, 영종도는 낚시터가 위치한 40번 지점에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 지역별로는 동구 9.0 ppb, 중구 12.2 ppb, 영종 4.5 ppb로 중구에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.

휘발성유기화합물(VOCs)의 3분기 평균농도는 5.2 ppb로, 동구 인천의료원 주변의 19번 지점에서 가장 높은 농도를 나타냈고, 동구 일원에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 중구와 영종도는 전반적으로 낮은 농도를 나타냈으며, 지역별로 동구 7.4 ppb, 중구 5.0 ppb, 영종 3.7 ppb로 동구에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.

3분기 공간분포 조사결과,  $\text{NO}_2$  평균농도는 1분기, 2분기 대비 낮았으나,  $\text{SO}_2$  평균농도는 1분기, 2분기 대비 높은 농도를 나타냈다.  $\text{SO}_2$ 는 동구 재개발 지역의 영향으로 판단되나, 분기별 혼합고, 강우 등 기상학적 요인과 자동차, 난방 등 배출량 변화에 의한 영향도 있을 것으로 판단된다. 지역별로 중구는  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ 의 평균농도가 높았으며, 동구에서는  $\text{SO}_2$ , VOCs의 평균농도가 높았다.

Table 5. Concentration of spatial distribution by quarters

(unit: ppb)

	1분기	2분기	3분기
$\text{NO}_2$	22.7 (5.3-42.4)	15.1 (0.0-32.6)	7.4 (1.7-17.4)
$\text{SO}_2$	3.8 (0.7-6.7)	3.1 (0.0-51.4)	6.3 (0.0-15.7)
$\text{NH}_3$	6.4 (2.2-16.2)	12.0 (1.7-94.8)	8.0 (0.3-36.2)
VOCs	4.8 (1.1-12.7)	4.1 (0.2-33.5)	5.2 (0.0-19.0)

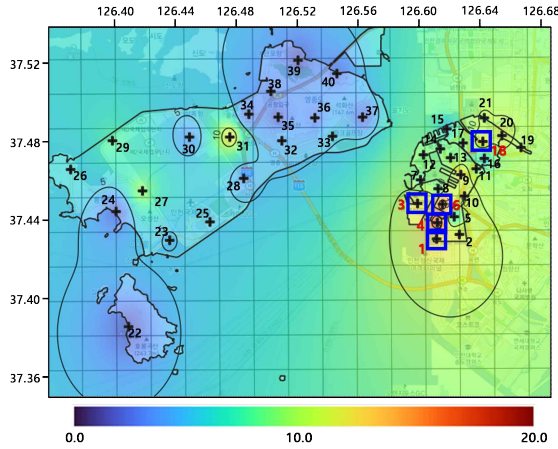


Fig. 11. NO<sub>2</sub> 7.4(1.7-17.4)ppb

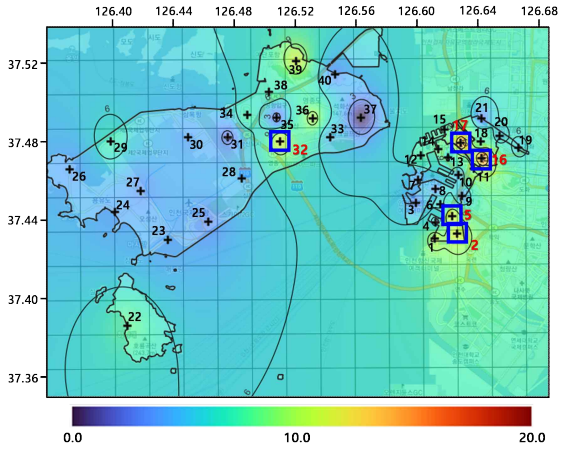


Fig. 12. SO<sub>2</sub> 6.3(0.0-15.7)ppb

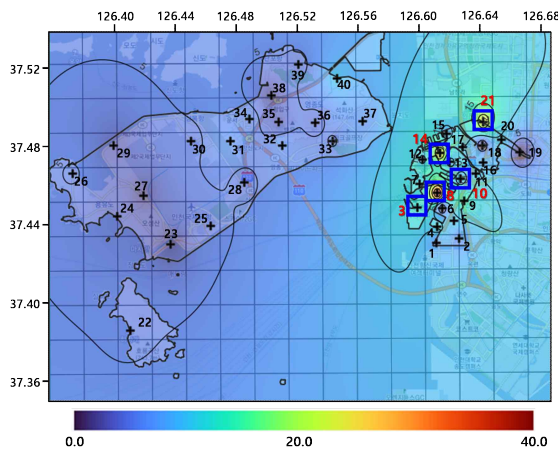


Fig. 13. NH<sub>3</sub> 8.0(0.3-36.2)ppb

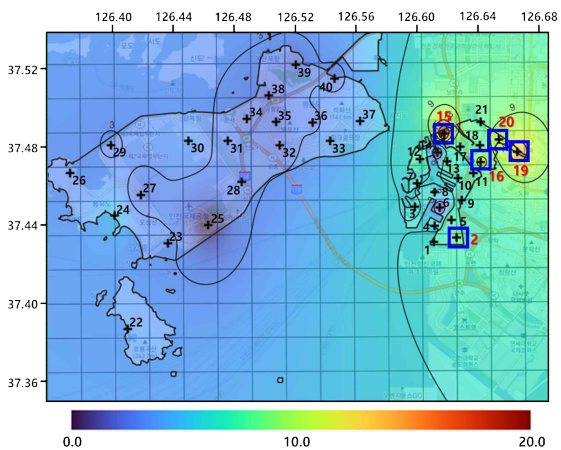


Fig. 14. VOCs 5.2(0.0-19.0)ppb

### 3.1.4 공간분포 조사결과 평균(1~3분기)

기상, 계절, 사업장 배출량 등에 따라 대기오염물질의 농도가 변화하므로 1~3분기의 평균적인 공간분포를 지도로 나타내었으며, 평균농도는 Table 6.과 같다. NO<sub>2</sub>는 산업단지, 물류단지 등이 위치하여 차량 통행량이 많은 지점인 중구 남항 주변, 동구 인천교 유수지 주변과 영종도 공항물류단지 주변에서 높은 농도를 나타냈다. SO<sub>2</sub>는 항만, 하수처리장, 건설현장 등이 주변에 위치한 중구 남항, 동구 재개발 지역, 영종도 운북하수처리장 주변에서 높은 농도를 나타냈으며, NH<sub>3</sub>는 동구 제철사업장, 중구 남항, 내항 주변, VOCs는 동구 소규모 제조업체(금속제조, 도장·피막 처리업)가 몰려있는 만석부두 주변과 서구 경계 지역에서 높은 농도를 나타냈다. 동구에서 NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 공간분포 평균농도는 대기환경측정망의 평균농도 대비 높은 농도를 나타냈으며, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, VOCs의 평균농도는 동구 > 중구 > 영종도 순으로 높았으며, SO<sub>2</sub>는 동구 > 영종도 > 중구 순으로 높았다.



Table 6. The average concentration of the spatial distribution survey(1~3 quarter)

(unit: ppb)

	1~3분기 평균 (범위)	중구(범위)	동구(범위)	영종도(범위)
NO <sub>2</sub>	15.1 (4.8-28.8)	19.4(0.0-37.1)	20.3(5.1-42.4)	9.9(0.7-38.0)
SO <sub>2</sub>	4.4 (1.6-21.0)	4.3(0.0-24.4)	4.8(1.3-15.7)	4.4(0.0-51.4)
NH <sub>3</sub>	8.8 (2.1-35.7)	9.8(1.5-36.2)	15.8(0.3-94.8)	5.5(1.5-17.0)
VOCs	4.7 (1.3-14.9)	5.0(0.0-11.4)	9.7(4.2-3.5)	2.6(0.0-5.8)

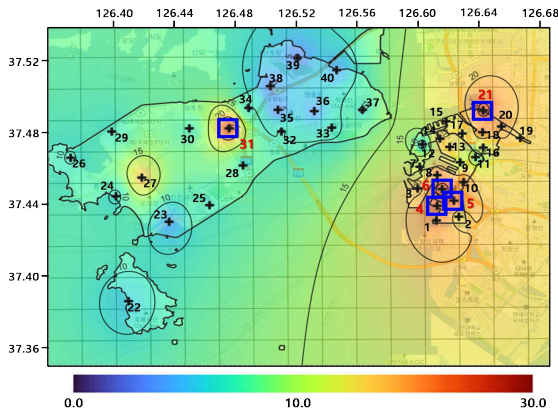
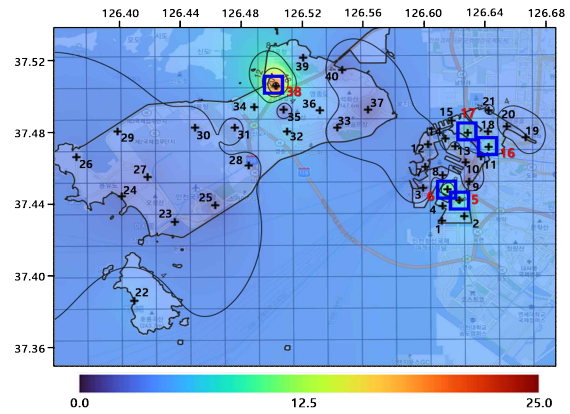
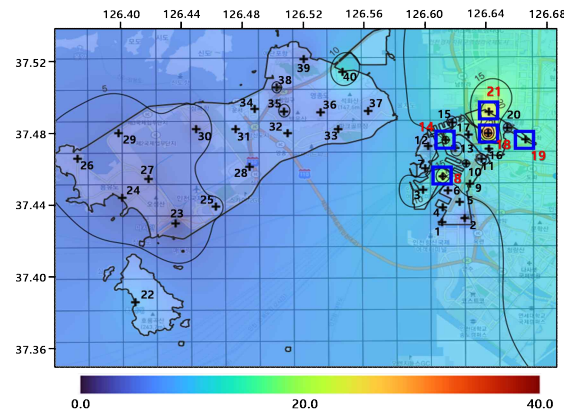
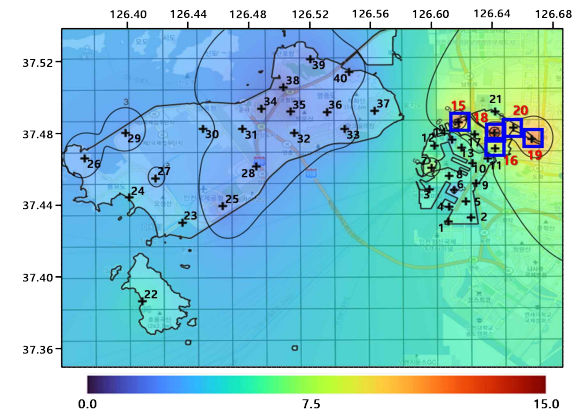
Fig. 15. NO<sub>2</sub> 15.1(4.8-28.8)ppbFig. 16. SO<sub>2</sub> 4.4(1.6-21.0)ppbFig. 17. NH<sub>3</sub> 8.8(2.1-35.7)ppb

Fig. 18. VOCs 4.7(1.3-14.9)ppb

### 3.2. 대기오염 우심지역 정밀조사

대기오염 우심지역 정밀조사는 공간분포 1분기 조사결과에 따라 각 지점의 항목별(NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, VOCs) 농도, 공간분포 및 현장 설치환경을 고려하여 우심지역\*을 4지점 선정하였다. 선정된 우심지역은 대기환경이동측정차량과 하이볼륨샘플러를 이용하여 일반대기질 6개 항목(PM-10, PM-2.5, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>)과 초미세먼지 성분조사를 연 2회(상·하반기) 조사하였다.

Table 7. Ranking of spatial distribution concentration (the first quarter)

지점	NO <sub>2</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	VOCs (ppb)	NO <sub>2</sub> 순위	SO <sub>2</sub> 순위	NH <sub>3</sub> 순위	VOCs 순위	종합순위	우심지점
21	42.4	6.3	16.2	5.6	1	2	1	11	1	인천교 유수지
17	28.2	5.7	8.0	5.4	15	4	9	12	2	
8	31.4	4.6	6.5	6.3	8	13	17	6	3	해양환경공단
19	28.4	3.1	8.5	12.7	14	27	7	1	4	인천교 유수지
31	38.0	6.3	5.9	4.2	3	3	20	24	5	인천공항 물류단지
6	36.8	6.7	5.3	4.7	6	1	25	18	5	해양환경공단
18	40.8	4.1	10.5	4.2	2	19	5	25	7	인천교 유수지
14	29.3	4.6	11.9	4.5	13	15	2	21	7	인천내항 8부두
15	23.7	3.9	7.1	9.8	20	20	12	2	9	인천교 유수지
4	29.4	3.3	7.5	6.2	12	25	10	7	9	해양환경공단

\*우심지역 : 동구(1지점) - 인천교 유수지(18번, 21번)

중구(3지점) - 인천내항 8부두(북성동\_14번), 해양환경공단(관공선 부두)(남항\_4, 6번)

인천공항 물류단지 주변(영종도\_31번)



Fig. 19. The map of air quality concern sites(4 sites)

### 3.2.1. 대기환경이동측정차량 조사결과

우심지역으로 선정된 인천교 유수지 등 4개 지점에 대하여 상반기(5.23 ~ 6.29), 하반기(8.16. ~ 10.4)에 대기환경이동측정차량을 이용하여 조사한 결과는 아래 표(Table 8.)와 같으며, 우심지역의 항목별 평균값과 조사기간의 인천지역 도시대기측정소 25개소의 평균값을 괄호()안에 나타내었다.

Table 8. The result of air quality concern site by air quality measurement system(the first half)

구분	PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	CO (ppm)
대기환경기준	100이하 (24시간)	35이하 (24시간)	0.05이하 (24시간)	0.06이하 (24시간)	0.06이하 (8시간)	9이하 (8시간)
인천교 유수지(5.23~6.2)	47(25)	23(14)	0.006(0.003)	0.022(0.013)	0.040(0.048)	0.5(0.4)
인천내항 8부두 주차장(6.2~10)	32(23)	19(13)	0.004(0.003)	0.016(0.012)	0.042(0.043)	0.4(0.4)
해양환경공단(관공선 부두) (6.13~21)	18(16)	12(9)	0.004(0.003)	0.016(0.013)	0.028(0.030)	0.4(0.3)
인천공항 물류단지(6.21~29)	20(24)	15(15)	0.003(0.003)	0.006(0.010)	0.036(0.033)	0.4(0.3)

Table 9. The result of air quality concern site by air quality measurement system(the second half)

구분	PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	CO (ppm)
대기환경기준	100이하 (24시간)	35이하 (24시간)	0.05이하 (24시간)	0.06이하 (24시간)	0.06이하 (8시간)	9이하 (8시간)
인천교 유수지(8.16~24)	33 (24)	17 (14)	0.004 (0.003)	0.016 (0.011)	0.035 (0.038)	0.2 (0.4)
인천내항 8부두 주차장(8.24~9.1)	25 (18)	12 (9)	0.005 (0.003)	0.017 (0.013)	0.030 (0.030)	0.5 (0.4)
해양환경공단(관공선 부두) (9.13~21)	29 (23)	12 (11)	0.005 (0.003)	0.016 (0.011)	0.028 (0.031)	0.2 (0.3)
인천공항 물류단지(9.26~10.4)	43 (47)	32 (33)	0.005 (0.003)	0.013 (0.023)	0.048 (0.040)	0.5 (0.6)

상반기 우심지역 조사결과, 인천공항 물류단지를 제외한 3곳의 PM-10, PM-2.5는 동일 기간 인천지역 평균보다 각각 1.1 ~ 1.9배, 1.3 ~ 1.6배 높았으며, 인천교 유수지 주변에서 높게 조사되었다. 가스상 물질 중 SO<sub>2</sub>는 우심지역 중 인천교 유수지 주변에서 인천평균보다 2배 높았으며, 우심지역 3곳의 농도는 인천평균과 유사하였다. NO<sub>2</sub>는 인천공항 물류단지 주변을 제외한 곳에서 인천평균 대비 높았으며, 인천교 유수지 주변에서 최대 1.7배 높았으며, O<sub>3</sub>, CO는 우심지역 4지점에서 인천평균과 유사하였다.

하반기 조사결과 우심지역 중 인천공항 물류단지를 제외한 3곳의 PM-10, PM-2.5, NO<sub>2</sub>는 동일 기간 인천지역 평균보다 각각 1.3 ~ 1.4배, 1.1 ~ 1.3배, 1.3 ~ 1.5배 높았으며, PM-10, PM-2.5는 인천내항 8부두 주변에서, NO<sub>2</sub>는 인천교 유수지, 해양환경공단(관공선 부두) 주변에서 상대적으로 높게 조사되었다. 가스상 물질 중 SO<sub>2</sub>는 우심지역 4곳에서 모두 높게 조사되었다.

이동차 상·하반기 조사기간 동안 우심지역 별 대기질에 영향을 미치는 시간대와 산업시설, 교통량 등의 영향을 파악하기 위해 각 지점의 시간별 변화를 그래프로 나타내었다.

### 3.2.1.1. 인천교 유수지

인천교 유수지의 상·하반기 미세먼지(PM-10), 초미세먼지(PM-2.5), 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 및 아황산가스(SO<sub>2</sub>)의 농도추이는 유사한 경향을 나타냈다. PM-10과 SO<sub>2</sub>는 모든 시간대에서 조사 지점이 인천평균보다 높은 농도로 조사되었으며, 특히 조업시작 시간(06:00~08:00)에 높아지기 시작하여 조업 마감 시간(17:00~18:00)에 감소하는 경향을 보였다. 이는 사업장 주변에 진출입하는 차량으로 인한 비산먼지, 차량 배기가스와 산업공정에서의 배출에 의한 영향으로 판단된다. PM-2.5와 NO<sub>2</sub>는 모든 시간대에서

인천평균보다 높았으며, 인천평균과 유사한 농도추이를 나타냈다. NO<sub>2</sub>의 경우 차량 통행량이 많은 출퇴근 시간에 농도가 높아졌으나 조업시간대에도 인천평균보다 높은 농도를 보여 산업 활동으로 인한 교통량 증가에 의한 영향으로 판단된다.

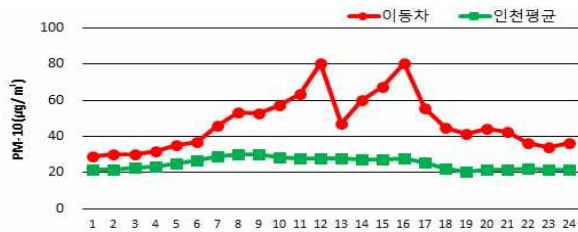


Fig. 20. PM-10 change over the 24-hour period(the first half)

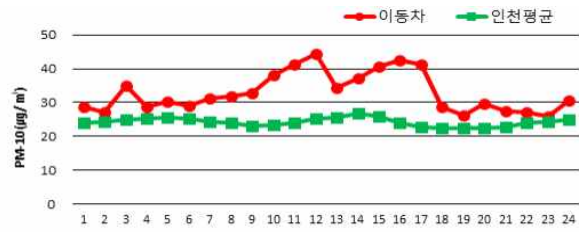


Fig. 21. PM-10 change over the 24-hour period(the second half)

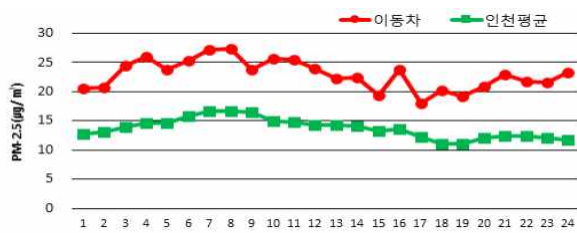


Fig. 22. PM-2.5 change over the 24-hour period(the first half)

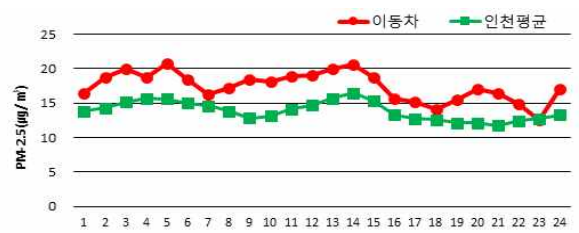


Fig. 23. PM-2.5 change over the 24-hour period(the second half)



Fig. 24. NO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the first half)



Fig. 25. NO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(second half)

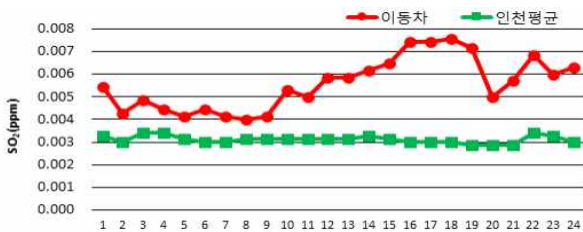


Fig. 26. SO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the first half)

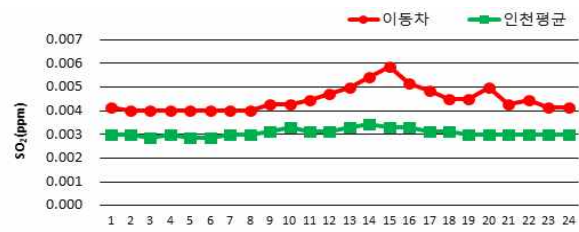


Fig. 27. SO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the second half)

### 3.2.1.2. 인천내항 8부두

인천내항 8부두의 상·하반기 모든 시간대에서 미세먼지(PM-10), 초미세먼지(PM-2.5), 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 및 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 조사지점의 평균농도가 높은 경향을 보였으나, 농도추이는 인천평균과 유사한 경향을 나타냈다. PM-10, PM-2.5 농도는 8부두 주변 공사장의 영향으로 높아진 것으로 추정되며, NO<sub>2</sub>와 SO<sub>2</sub>는 조사지점 주변 선박, 차량 등과 북쪽에 위치한 산업단지의 영향으로 추정된다.





Fig. 28. PM-10 change over the 24-hour period(the first half)

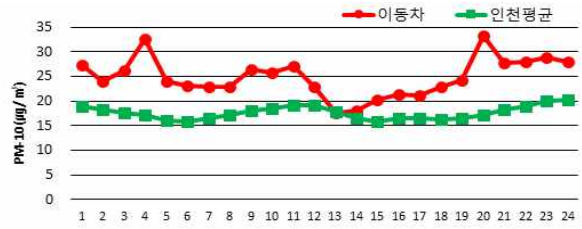


Fig. 29. PM-10 change over the 24-hour period(the second half)



Fig. 30. PM-2.5 change over the 24-hour period(the first half)



Fig. 31. PM-2.5 change over the 24-hour period(the second half)



Fig. 32. NO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the first half)

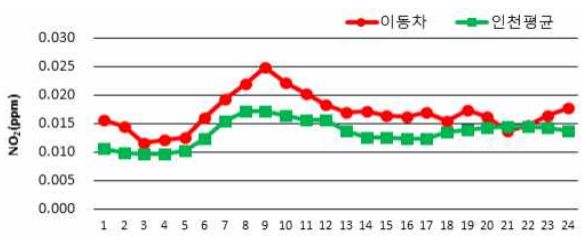


Fig. 33. NO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the second half)



Fig. 34. SO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the first half)

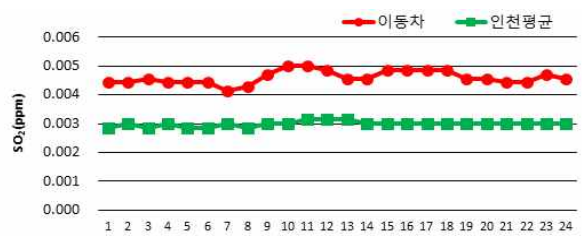


Fig. 35. SO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the second half)

### 3.2.1.3. 해양환경공단(관공선 부두)

관공선 부두의 상·하반기 모든 시간대에서 미세먼지(PM-10), 초미세먼지(PM-2.5), 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 및 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 조사지점의 평균농도가 높았으나, 농도추이는 인천평균과 유사한 경향을 나타냈다. PM-2.5와 NO<sub>2</sub>는 새벽 시간대에 증가한 경향을 보였으며, 이는 부두 특성상 이른 시간에 조업이 시작되기 때문으로 추정된다. SO<sub>2</sub>는 인천평균 대비 매시간 농도가 높았으며, 주변 선박과 화물차 등의 영향으로 판단된다.

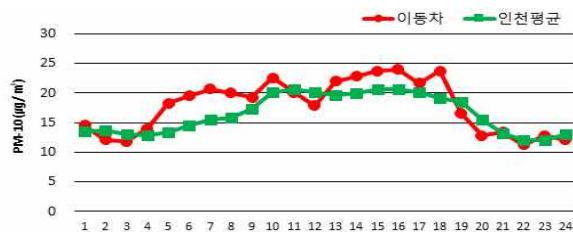


Fig. 36. PM-10 change over the 24-hour period(the first half)

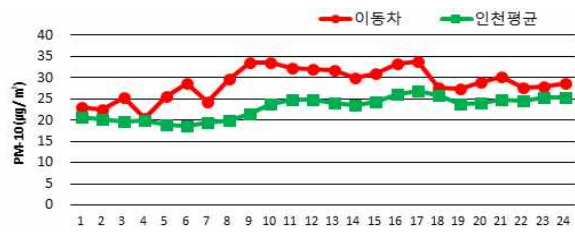


Fig. 37. PM-10 change over the 24-hour period(the second half)

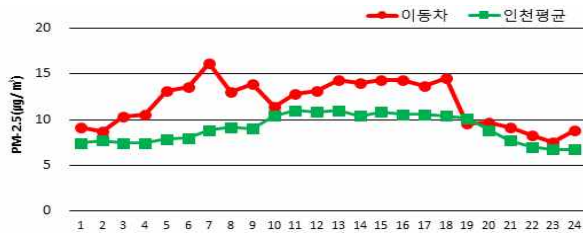


Fig. 38. PM<sub>2.5</sub> change over the 24-hour period(the first half)



Fig. 39. PM<sub>2.5</sub> change over the 24-hour period(the second half)

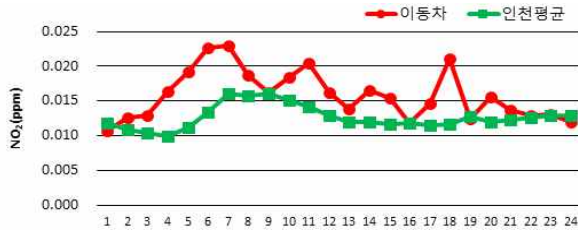


Fig. 40. NO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the first half)



Fig. 41. NO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the second half)

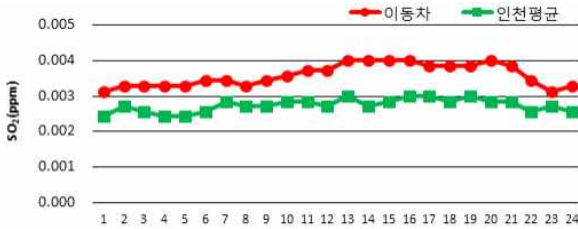


Fig. 42. SO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the first half)

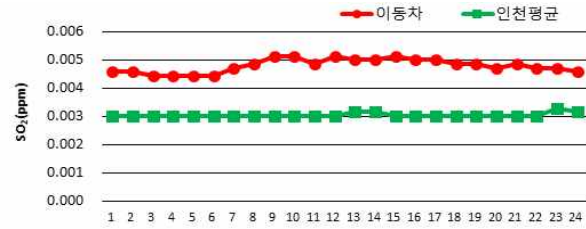


Fig. 43. SO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the second half)

### 3.2.1.4. 인천공항 물류단지

인천공항 물류단지의 상·하반기 모든 시간대에서 미세먼지(PM-10), 초미세먼지(PM-2.5)는 인천 평균과 유사한 농도추이를 나타냈다. 가스상 물질 중 NO<sub>2</sub>는 인천평균보다 낮은 농도추이를 나타냈으며, SO<sub>2</sub>는 인천평균보다 높은 농도추이를 나타냈다. 공항이 주변에 위치하여 NO<sub>2</sub>의 농도가 높을 것으로 예상되나, 상반기에는 남서풍이 불어 나대지, 주변 공사장의 영향과 하반기에는 남동풍, 북동풍이 불어 주변에 위치한 공항철도, 사업장 등의 영향으로 NO<sub>2</sub>보다 SO<sub>2</sub>의 농도가 높아진 것으로 판단된다.



Fig. 44. PM<sub>10</sub> change over the 24-hour period(the first half)



Fig. 45. PM<sub>10</sub> change over the 24-hour period(the second half)



Fig. 46. PM<sub>2.5</sub> change over the 24-hour period(the first half)



Fig. 47. PM<sub>2.5</sub> change over the 24-hour period(the second half)



Fig. 48. NO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the first half)



Fig. 49. NO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the second half)

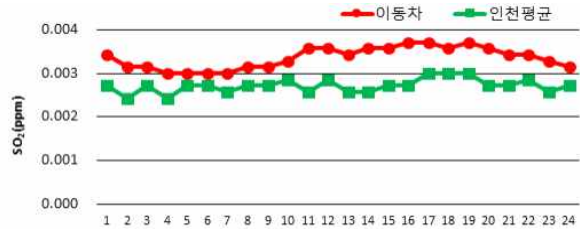


Fig. 50. SO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the first half)

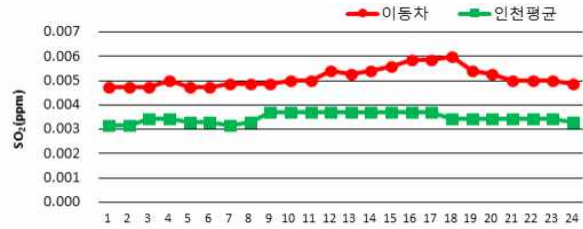


Fig. 51. SO<sub>2</sub> change over the 24-hour period(the second half)

### 3.2.2. 초미세먼지 성분조사 결과

우심지역으로 선정된 인천교 유수지 등 4개 지점에 대하여 상반기(5.23 ~ 6.29), 하반기(8.16. ~ 10.4)에 하이볼륨에어샘플러를 이용하여 초미세먼지(PM-2.5) 시료를 우심지점 당 5일간 시료를 채취하여 성분 분석을 실시하였다. 초미세먼지 성분은 탄소 2항목, 이온 6항목, 중금속 14항목을 분석하였다. 탄소 성분은 VOCs의 광화학 반응에 의한 2차 초미세먼지 형성 기여(OC/EC비\*)를 추정할 수 있는 항목이며, 이온성분은 대기 중 NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> 등이 산화·환원 반응하여 형성된 2차 초미세먼지의 생성을 추정할 수 있다. 중금속성분은 초미세먼지 성분 중 미량으로 분석되는 항목이나 주변 사업장의 영향을 추정할 수 있는 항목으로 인위적 배출원의 영향을 분석하기 위해 EFs\*\*인자를 분석하였다. 기타성분은 성분분석 시 유기물 내의 결합원소, 이온성분 중 미정량 항목, 중금속 중 Si 등 분석되지 않는 항목이다. 우심지점 4곳의 상·하반기 초미세먼지(PM-2.5) 농도를 Table 10.에 나타냈다.

\* OC/EC 비 > 2.5 : VOCs의 광화학 반응으로 초미세먼지 생성에 기여

\*\* EFs(Enrichment Factors) : 인위적 오염원을 추정할 수 있는 지표로 EFs > 10 : 인위적 오염원,

EFs ≤ 10 : 토양기원 오염원으로 판단

$$EFs = \frac{(C_i/C_R)_{sample}}{(C_i/C_R)_{crust}}$$

Table 10. PM-2.5 components of each concern area

(unit : μg/m<sup>3</sup>)

		PM-2.5	탄소	이온	중금속류	기타성분
인천교 유수지	상반기	26	5.1(19.6%)	6.8(26.0%)	2.6(9.9%)	11.6(44.5%)
	하반기	21	6.7(31.9%)	6.7(32.0%)	2.7(13.1%)	4.8(23.1%)
인천내항 8부두	상반기	22	6.0(27.5%)	5.3(24.3%)	0.6(2.8%)	9.9(45.4%)
	하반기	16	7.6(47.6%)	4.1(25.3%)	0.9(5.6%)	3.4(21.4%)
해양환경공단(관공선 부두)	상반기	14	3.5(25.0%)	3.1(22.2%)	0.4(2.9%)	7.0(49.9%)
	하반기	14	5.3(38.1%)	3.1(22.4%)	0.5(3.9%)	5.0(35.6%)
인천공항 물류단지	상반기	20	2.9(14.5%)	6.7(33.6%)	0.2(1.2%)	10.1(50.7%)
	하반기	33	8.3(25.0%)	15.0(45.5%)	0.8(2.3%)	9.0(27.2%)

우심지역의 오염도를 비교하기 위해 인천광역시 중구에 위치한 중금속 측정망 2곳(신흥, 영종)의 상·하반기 평균 조사결과를 아래 Table 11-13에 나타내었다.

Table 11. PM-2.5 components ratio of Incheon heavy metals monitoring systems (unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

		PM-2.5	탄소	이온	중금속류	기타성분
중금속 측정망 평균	상반기	12	3.6(29.8%)	5.4(45.3%)	0.2(2.1%)	2.7(22.8%)
	하반기	12	3.9(32.3%)	5.6(46.7%)	0.3(2.2%)	2.3(18.8%)

Table 12. PM-2.5 components of Incheon heavy metals(the first half) (unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

상반기																									
탄소 (3.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				이온 (5.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																					
OC		EC		Cl <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Na <sup>+</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>											
3.25		0.33		0.07		0.83		3.13		0.12		1.27		0.03											
중금속 (0.2461 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																									
Mg		Cd		Pb		Ca		Ti		V		Cr		Mn		Fe		Ni		Cu		Zn		As	
0.0331		0.0002		0.0046		0.0208		0.0019		0.0024		0.0121		0.0055		0.1242		0.0033		0.0049		0.0320		0.0013	

Table 13. PM-2.5 components of Incheon heavy metals(the second half) (unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

하반기												
탄소 (3.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		이온 (5.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )										
OC	EC	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>					
3.43	0.45	0.04	1.32	2.92	0.14	1.16	0.03					
중금속 (0.2637 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )												
Mg	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
0.0203	0.0001	0.0105	0.0493	0.0092	0.0009	0.0095	0.0119	0.0897	0.0017	0.0050	0.0445	0.0112

### 3.2.2.1. 인천교 유수지

인천교 유수지의 초미세먼지 시료채취는 상반기(5.23~6.2), 하반기(8.16~24)에 실시하였으며, 상·하반기 풍향과 영향지역은 아래 그림(Fig. 52. ~ 54.)과 같다.



Fig. 52. Air pollutants emission sites around concern Area

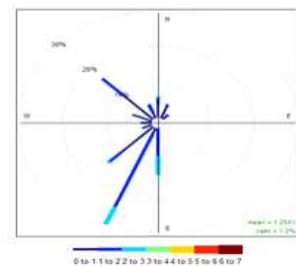


Fig. 53. wind rose(the first half)

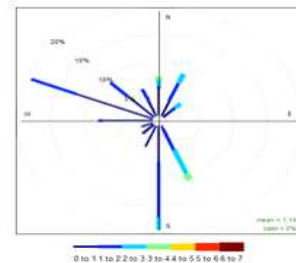


Fig. 54. wind rose(second half)



### 3.3.2.1.1. 상반기 인천교 유수지 조사결과

상반기 성분분석 결과, 이온 > 탄소 > 중금속 순으로 초미세먼지 성분농도가 높았다. 인천 중금속 측정망 결과 비교 시 이온성분 중 질소산화물의 구성비가 높고 황산화물의 구성비는 낮았으며, 중금속 성분 중 Fe, Ca, Zn 등의 구성비가 상대적으로 높았다. 조사기간 중 풍향은 남서풍, 북서풍이 불어 남서쪽에 위치한 건설기계 제조업, 음식료, 사료공장 등의 영향을 받았을 것으로 판단된다. 탄소성분의 경우, OC가 EC 대비 상대적으로 높게 검출되었고, OC/EC = 7.5로 높아 대기 중 VOCs의 2차 광화학 반응으로 초미세먼지 생성에 기여했을 것으로 추정된다. 이온성분은  $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+$  순으로 구성비가 높아 주변 산업단지, 화물차량 등에서 배출되는  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ 가 대기 중 산화 반응으로 생성된 황산염과 질산염의 초미세먼지 생성 기여도가 높은 것으로 추정된다. 중금속 성분은 Fe, Mg, Al 등의 토양기원 지표항목과 Zn, Cu, Pb 등의 금속산업시설 지표항목이 상대적으로 높게 검출되었다. 중금속의 인위적 배출원 영향을 파악하기 위한 EFs 인자는 Zn, Pb, Cu, Mn, As, Cd, Cr, Ni가 10 이상으로 조사지점 주변 제철사업장, 중소기계제조사업장 등의 영향을 많이 받은 것으로 판단된다.

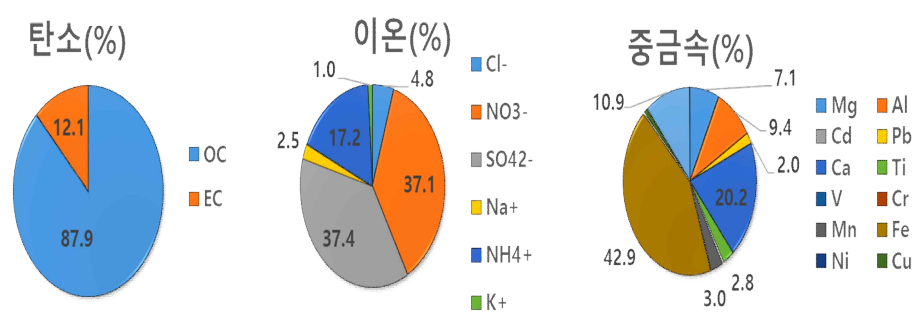
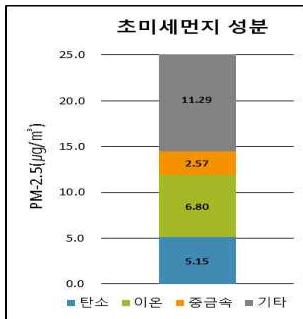


Fig. 55. components of PM-25      Fig. 56. Ratio of carbon, Ion, heavy metals components in PM-2.5

Table 14. Concentration of PM-2.5 components at Incheon bridge reservoir(the first half) (unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

인천교 유수지 (26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )													
탄소 (5.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				이온 (6.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )									
OC	EC			$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$				
4.52	0.62			0.32	2.52	2.54	0.17	1.17	0.07				
중금속 (2.5669 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
0.1834	0.2405	0.0003	0.0511	0.5189	0.0724	0.0023	0.0067	0.0776	1.1016	0.0049	0.0247	0.2787	0.0038

Table 15. EFs of Heavy metals at Incheon bridge reservoir(the first half)

중금속 EFs 인자													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
3.0	1.0	507.1	1,328.8	4.8	5.6	5.8	22.6	27.6	7.4	22.1	151.8	1,345.9	713.7

### 3.2.2.1.2. 하반기 인천교 유수지 조사결과

하반기 성분분석 결과, 이온 > 탄소 > 중금속 순으로 초미세먼지 성분농도가 높았다. 인천 중금속 측정망 결과와 비교 시 이온성분 중 황산염과 암모늄염의 구성비는 낮았고, 중금속성분 중 Fe, Ca, Zn 등의 구성비가 상대적으로 높았다. 조사기간 중 풍향은 남동풍, 북서풍이 불어 남동쪽에 위치한 중소 금속가공업체의 영향을 받았을 것으로 판단된다. 탄소성분은 OC가 EC 대비 높은 농도로 검출되었고, OC/EC = 5.8로 상반기 대비 광화학 반응에 의한 VOCs의 초미세먼지 생성 기여도는 낮은 것으로 판단된다. 이온성분은  $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+$  순으로 구성비가 높았고, 주변 산업단지, 화물차량 등에서 배출되는  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ 의 영향으로 판단된다. 중금속성분은 Fe, Mg, Al 등의 토양기원 지표항목과

Zn, Cu, Mn 등의 금속산업시설 지표항목이 상대적으로 높게 검출되었으며, EFs 인자 계산결과, Zn, Pb, Cu, Mn, As, Cd, Cr, Ni가 10 이상으로 상반기와 유사한 결과를 나타냈다.

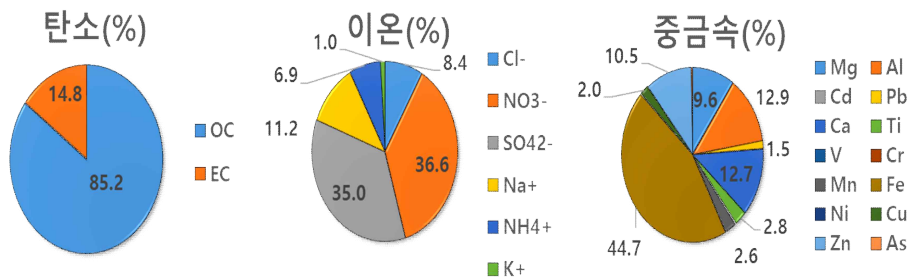
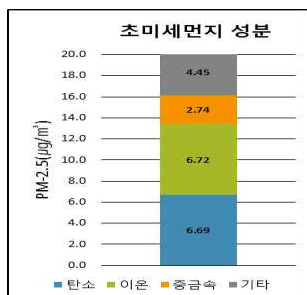


Fig. 57. Components of PM-25      Fig. 58. Ratio of carbon, Ion, heavy metals components in PM-2.5

Table 16. Concentration of PM-2.5 components at Incheon bridge reservoir(the second half) (unit : µg/m³)

인천교 유수지 (21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )															
탄소 (5.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				이온 (6.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )											
OC		EC		Cl <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Na <sup>+</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>	
5.70		0.99		0.56		2.46		2.35		0.75		0.46		0.13	
중금속 (2.5669 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )															
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As		
0.2642	0.3526	0.0001	0.0402	0.3480	0.0769	0.0015	0.0058	0.0715	1.2272	0.0032	0.0535	0.2890	0.0095		

Table 17. EFs of Heavy metals at Incheon bridge reservoir(the second half)

중금속 EFs 인자													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
2.9	1.0	70.6	712.6	2.2	4.0	2.5	13.4	17.3	5.7	10.0	224.4	951.7	1,220.4

### 3.2.2.2. 인천내항 8부두

인천내항 8부두 초미세먼지 시료채취는 상반기(6.2~10), 하반기(8.24~9.1)에 실시하였으며, 상·하반기 풍향과 영향지역은 아래 그림(Fig. 59. ~ 61.)과 같다.

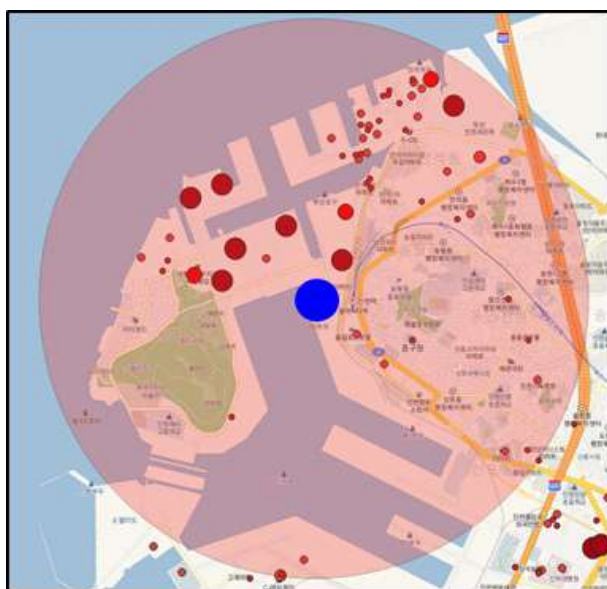


Fig. 59. Air pollutants emission sites around concern Area

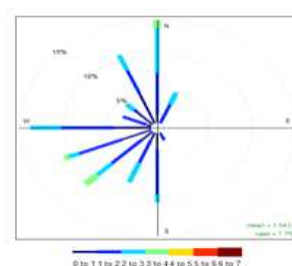


Fig. 60. wind rose(the first half)

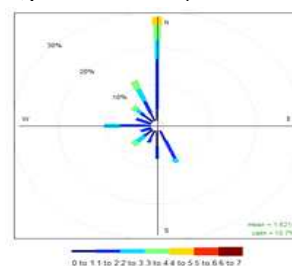


Fig. 61. wind rose(second half)

### 3.2.2.2. 상반기 인천내항 8부두 조사결과

상반기 성분분석 결과, 초미세먼지 성분은 탄소 > 이온 > 중금속 성분 순으로 초미세먼지의 성분 농도가 높았다. 인천 중금속 측정망 결과와 비교시 이온성분 중 황산화물의 구성비는 낮았으며, 중금속성분 중 Ca, Cu 등의 구성비가 상대적으로 높았다. 조사기간 중 풍향은 북풍, 서풍 계열의 바람이 불어, 목재, 식음료, 사료 사업장 등의 영향을 받았을 것으로 판단된다. 탄소성분의 경우, OC가 EC 대비 상대적으로 높게 검출되었고, OC/EC = 11로 광화학 반응에 의한 VOCs의 초미세먼지 생성기여도가 높았다. 이온성분은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+$  순으로 구성비가 높았고, 조사지점 주변의 선박, 사업장, 공장, 화물차 등에서 배출되는  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ 의 영향으로 판단된다. 중금속성분은 Fe, Mg, Al 등의 토양기원 지표항목이 상대적으로 높게 검출되어 주로 비산먼지의 영향을 주로 받았을 것으로 추정된다. EFs 인자 계산결과, Zn, Pb, Cu, Cr, Cd, As, Ni가 10 이상으로 인위적 오염원으로 판단되었다.

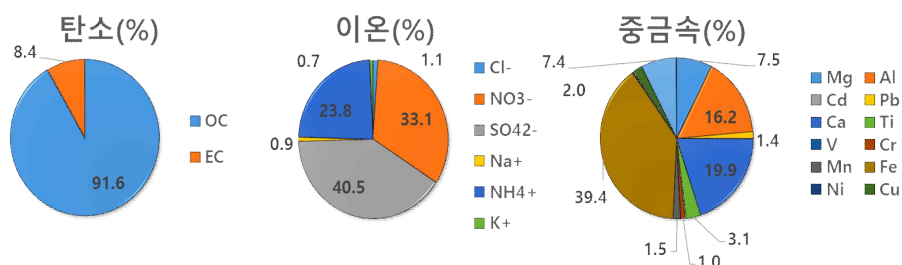
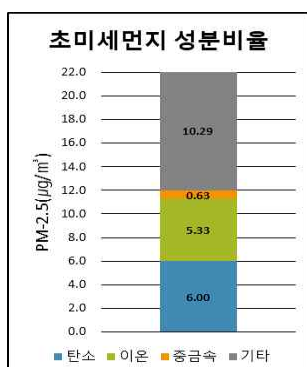


Fig. 62. Components of PM-2.5

Fig. 63. Ratio of carbon, Ion, heavy metals components in PM-2.5

Table 18. Concentration of PM-2.5 components at Incheon inner port pier 8(the first half) (unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

인천내항 8부두 (22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )													
탄소 (6.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		이온 (5.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )											
OC	EC	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>						
5.50	0.50	0.06	1.76	2.16	0.05	1.27	0.04						
중금속 (0.6250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
0.0468	0.1010	0.0002	0.0088	0.1241	0.0193	0.0010	0.0064	0.0097	0.2463	0.0020	0.0123	0.0461	0.0009

Table 19. EFs of Heavy metals at Incheon inner port pier 8(the first half)

중금속 EFs 인자													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
1.8	1.0	805.0	544.9	2.8	3.5	6.0	51.5	8.2	4.0	21.5	180.0	530.1	402.5

### 3.2.2.2. 하반기 인천내항 8부두 조사결과

하반기 성분분석 결과, 초미세먼지 성분은 이온 > 탄소 > 중금속 순으로 초미세먼지의 성분농도가 높았다. 인천 중금속 측정망 결과와 비교시 이온성분 중 2차 초미세먼지 영향성분인  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ 의 구성비는 낮았고, 1차 배출오염원인  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ 의 성분과 중금속성분 중 Fe, Mg, Ca 등의 구성비는 상대적으로 높았다. 조사기간 중 북풍의 영향을 많이 받아, 목재 사업장과 중소규모 제조사업장의 영향을 주로 받았을 것으로 판단된다. 탄소성분의 경우, OC가 EC 대비 상대적으로 높게 검출되었고, OC/EC = 8.5로 광화학 반응에 의한 VOCs의 초미세먼지 생성기여도가 높았다. 이온성분은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+$  순으로 구성비가 높았으나, 상반기 대비 영향 지역의 1차 배출원 기여도가 증가한 것으로 판단된다. 중금속성분은 Fe, Ca, Al 등의 토양기원 지표항목이 상대적으로 높게 검출되어 주로 비산먼



지의 영향을 주로 받았을 것으로 추정되며, EFs 인자 계산결과, Zn, Pb, Cu, As, Cr, Cd, Ni가 10 이상으로 상반기와 유사한 결과를 나타냈다.

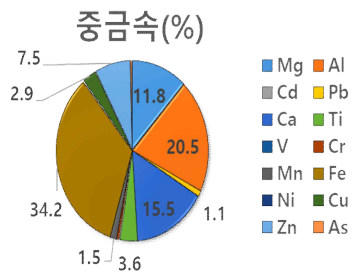
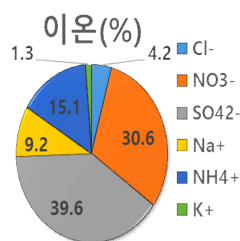
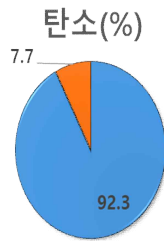
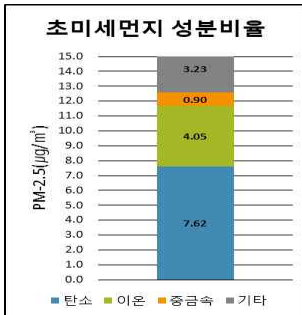


Fig. 64. Components of PM-25      Fig. 65. Ratio of carbon, Ion, heavy metals components in PM-2.5

Table 20. Concentration of PM-2.5 components at Incheon inner port pier 8(second half) (unit : µg/m³)

인천내항 8부두 (16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )															
탄소 (6.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				이온 (5.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )											
OC		EC		$\text{Cl}^-$		$\text{NO}_3^-$		$\text{SO}_4^{2-}$		$\text{Na}^+$		$\text{NH}_4^+$		$\text{K}^+$	
6.82		0.80		0.17		1.24		1.61		0.37		0.61		0.05	
중금속 (0.6250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )															
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As		
0.1060	0.1837	0.0000	0.0101	0.1389	0.0327	0.0006	0.0051	0.0132	0.3066	0.0023	0.0262	0.0675	0.0036		

Table 21. EFs of Heavy metals at Incheon inner port pier 8(second half)

중금속 EFs 인자													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
2.2	1.0	19.8	342.7	1.7	3.3	2.0	22.4	6.2	2.7	13.5	211.1	426.7	882.8

### 3.2.2.3. 해양환경공단(관공선 부두)

해양환경공단의 초미세먼지 시료채취는 상반기(6.13~21), 하반기(9.13~21)에 실시하였으며, 상·하반기 풍향과 영향지역은 아래 그림(Fig. 66. ~ 68.)과 같다.

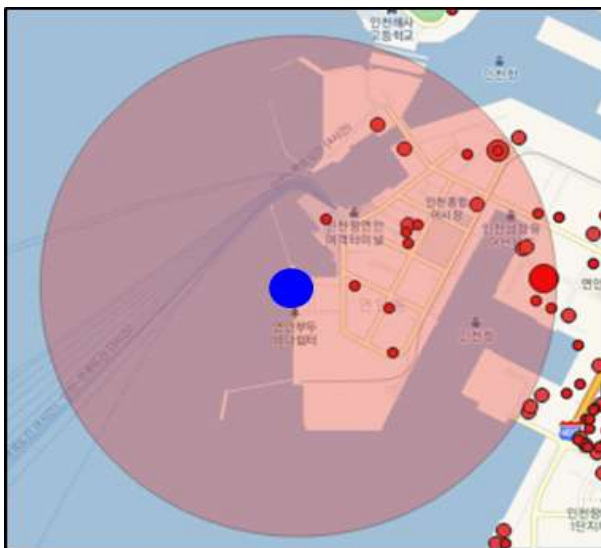


Fig. 66. Air pollutants emission sites around concern Area

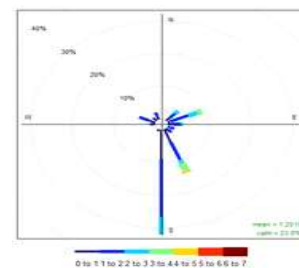


Fig. 67. wind rose(the first half)

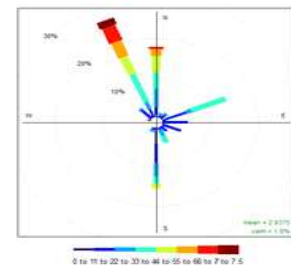


Fig. 68. wind rose(second half)

### 3.2.2.3.1. 상반기 해양환경공단(관공선 부두) 조사결과

상반기 성분분석 결과, 초미세먼지 성분은 탄소 > 이온 > 중금속 순으로 초미세먼지의 성분농도가 높았다. 인천 중금속 측정망 결과와 비교 시 이온성분 중 황산염과 암모늄 이온의 구성비는 낮았고, 중금속성분 중 Fe, Ca, V 등의 구성비가 상대적으로 높았다. 조사기간 중 풍향은 남풍, 남동풍 계열의 바람이 불어, 인천항 석탄부두, 컨테이너 터미널, 남항 주변 사업장의 영향을 받았을 것으로 판단된다. 탄소성분의 경우, OC가 EC 대비 상대적으로 높게 검출되었고, OC/EC = 6.0으로, 다른 지점 대비 VOCs의 광화학 반응에 의한 2차 초미세먼지 생성 기여도가 낮았을 것으로 판단된다. 이온성분은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+$  순으로 구성비가 높아 선박, 화물차 등의 영향으로 판단된다. 중금속 성분은 Fe, Ca, Al 등의 토양기원 지표항목이 상대적으로 높게 검출되었으며, EFs 인자 계산결과, Zn, Pb, Cu, Cr, Mn, V, As, Cd, Ni가 10 이상으로 인위적 오염원으로 판단되었다. 특히, V이 인위적 오염원으로 판단되어 중유연소(선박)의 영향을 받는 것으로 판단된다.

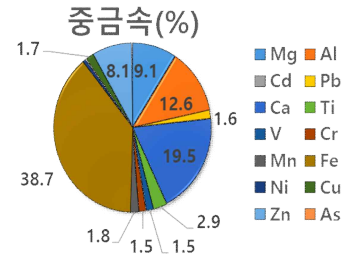
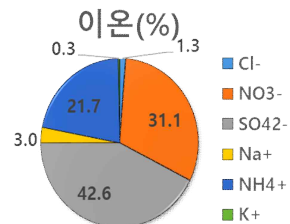
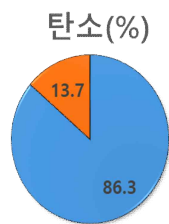
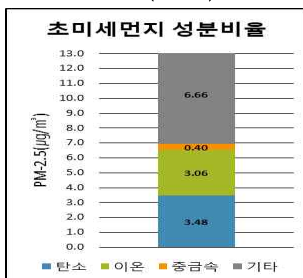


Fig. 69. Components of PM-2.5

Fig. 70. Ratio of carbon, Ion, heavy metals components in PM-2.5

Table 22. Concentration of PM-2.5 components at KOEM in incheon(the first half)

(unit : µg/m³)

해양환경공단(관공선 부두) (14 µg/m³)															
탄소 (5.14 µg/m³)				이온 (3.06 µg/m³)											
OC		EC		Cl <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Na <sup>+</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>	
3.00		0.48		0.04		0.95		1.30		0.09		0.66		0.01	
중금속 (0.4039 µg/m³)															
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As		
0.0367	0.0509	0.0001	0.0066	0.0787	0.0116	0.0060	0.0061	0.0071	0.1565	0.0030	0.0070	0.0325	0.0010		

Table 23. EFs of Heavy metals at KOEM in incheon(the first half)

중금속 EFs 인자													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
2.8	1.0	798.6	810.9	3.5	4.2	71.0	97.4	11.9	5.0	63.9	203.3	741.6	887.4

### 3.2.2.3.2. 하반기 해양환경공단(관공선 부두) 조사결과

하반기 성분분석 결과, 초미세먼지 성분은 탄소 > 이온 > 중금속 순으로 초미세먼지의 성분농도가 높았다. 인천 중금속 측정망 결과와 비교 시 탄소성분의 구성비가 높았고, 이온성분의 구성비는 낮았다. 중금속성분 중 Fe, Ca, V 등의 구성비가 상대적으로 높았다. 조사기간 중 풍향은 북풍, 북서풍의 영향으로, 선박, 여객터미널, 남항 주변 사업장의 영향과 해염입자의 영향을 많이 받는 것으로 판단된다. 탄소성분의 경우, OC가 EC 대비 상대적으로 높게 검출되었고, OC/EC = 5.8로 상반기와 유사하였다. 이온성분은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+$  순으로 구성비가 높았고, 상반기 대비  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  농도가 높아 1차 배출원의 영향이 증가한 것으로 판단된다. 중금속 성분은 Fe, Ca, Al 등의 토양기원 지표항목이 상대적으로 높게 검출되었다. EFs 인자 계산결과, Zn, Cu, Pb, V, As, Cd, Cr, Ni가 10 이상으로 인위적 오염원으로 판단되었으며, 상반기와 유사하게 V이 인위적 오염원으로 판단되어 중유연소(선박)의 영향을 받는 것

으로 판단된다.

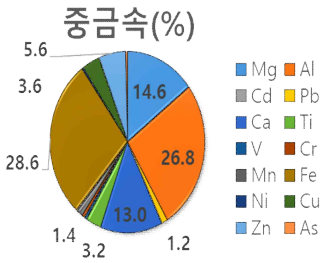
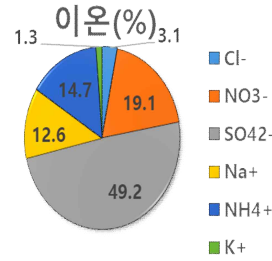
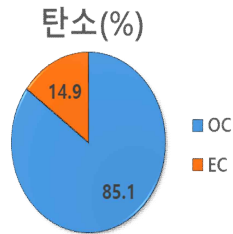
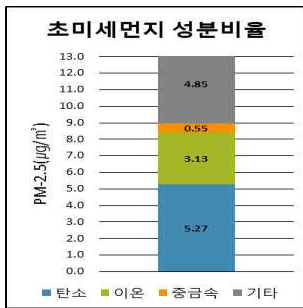


Fig. 71. Components of PM-25      Fig. 72. Ratio of carbon, Ion, heavy metals components in PM-2.5

Table 24. Concentration of PM-2.5 components at KOEM in incheon(second half) (unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

해양환경공단(관공선 부두) (14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )															
탄소 (5.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				이온 (3.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )											
OC		EC		Cl <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Na <sup>+</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>	
4.55		0.78		0.10		0.60		1.54		0.39		0.46		0.04	
중금속 (0.4039 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )															
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As		
0.0804	0.1469	0.0000	0.0069	0.0711	0.0175	0.0027	0.0038	0.0078	0.1572	0.0020	0.0199	0.0305	0.0024		

Table 25. EFs of Heavy metals at KOEM in incheon(the first half)

중금속 EFs 인자													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
2.1	1.0	15.0	291.7	1.1	2.2	11.0	21.3	4.5	1.7	14.9	199.9	241.3	742.5

### 3.2.2.4. 인천공항 물류단지

인천공항 물류단지의 초미세먼지 시료채취는 상반기(6.21~29), 하반기(9.26~10.4)에 실시하였으며, 상·하반기 풍향과 영향지역은 아래 그림(Fig. 73. ~ 75.)과 같다.



Fig. 73. Air pollutants emission sites around concern Area

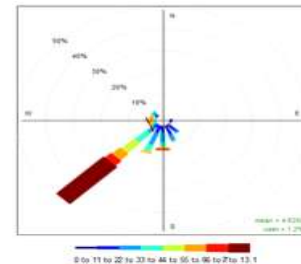


Fig. 74. Wind rose(the first half)

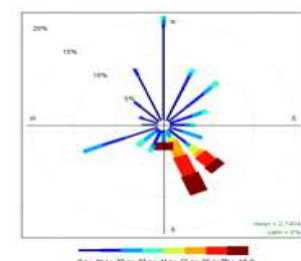


Fig. 75. Wind rose(second half)

#### 3.2.2.4.1. 상반기 인천공항 물류단지 조사결과

상반기 성분분석 결과, 초미세먼지 성분은 이온 > 탄소 > 중금속 순으로 초미세먼지의 성분농도가

높았다. 인천 중금속 측정망 결과와 비교 시 탄소성분의 구성비는 낮았고, 이온성분 중  $\text{NO}_3^-$ 의 구성비가 상대적으로 높았다. 조사기간 중 풍향은 남서풍이 강하게 불어 공항시설, 공사장의 영향을 일부 받았을 것으로 판단된다. 탄소성분의 경우, OC가 EC 대비 상대적으로 높게 검출되었고,  $\text{OC}/\text{EC} = 8.7$ 로 광화학 반응에 의한 VOCs의 초미세먼지 생성기여도가 크다고 판단된다. 이온성분은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+$  순으로 구성비가 높았으며, 남서쪽에 위치한 공사장, 사업장 등의 영향을 받은 것으로 판단된다. 중금속 성분은 Fe, Ca, Al 등의 토양기원 지표항목이 상대적으로 높게 검출되어 비산먼지의 영향을 주로 받은 것으로 판단되며, EFs 인자 계산결과, Zn, Mn, Cu, Cr, Pb, As, Cd, Ni가 10 이상으로 인위적 오염원으로 판단되었다.

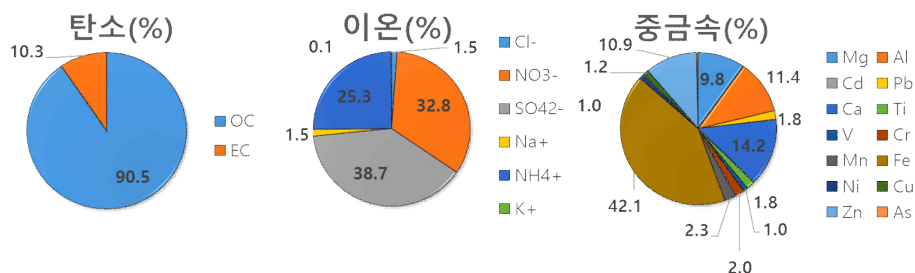
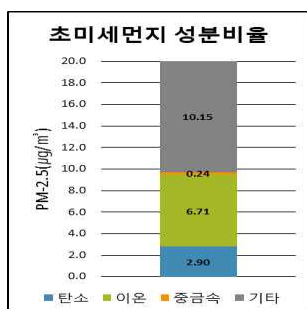


Fig. 76. Components of PM-2.5      Fig. 77. Ratio of carbon, Ion, heavy metals components in PM-2.5

Table 26. Concentration of PM-2.5 components at Airport Logistics Complex(the first half) (unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

인천공항 물류단지 주변 (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )													
탄소 (2.82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		이온 (6.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )											
OC	EC	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>						
2.55	0.27	0.08	2.22	2.59	0.09	1.66	0.01						
중금속 (0.2410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
0.0237	0.0275	0.0001	0.0045	0.0343	0.0044	0.0023	0.0047	0.0057	0.1014	0.0024	0.0030	0.0263	0.0009

Table 27. EFs of Heavy metals at Airport Logistics Complex(the first half)

중금속 EFs 인자													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
3.4	1.0	14782	10234	2.8	3.0	50.4	138.9	17.7	6.0	94.6	161.3	1,110.7	14782

### 3.3.2.4.2. 하반기 인천공항 물류단지 조사결과

하반기 성분분석 결과, 초미세먼지 성분은 이온 > 탄소 > 중금속 순으로 초미세먼지의 성분농도가 높았다. 인천 중금속 측정망 결과와 비교 시 이온성분 중  $\text{NO}_3^-$  구성비가 높았으며, 중금속 성분 중 Fe, Mg, Ca, As 등의 구성비가 상대적으로 높았다. 하반기 조사기간 중 풍향은 남동풍의 영향으로, 북, 북동, 남서풍의 바람도 불어, 공항, 골프장, 차량 테스트 시설 등의 영향을 받았을 것으로 판단된다. 탄소성분의 경우, OC가 EC 대비 높게 검출되었으며,  $\text{OC}/\text{EC} = 12.1$ 로 도심지점 중 가장 높아, 다른 지점 대비 VOCs의 광화학 반응에 의한 2차 초미세먼지 생성 기여도가 큰 것으로 판단된다. 이온성분은  $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+$  순으로 구성비가 높았으며,  $\text{NO}_3^-$  농도 대비  $\text{SO}_4^{2-}$  농도가 높아 이동오염원의 영향의 영향을 주로 받은 것으로 판단된다. 중금속 성분은 Fe, Ca, Al 등의 토양기원 지표항목이 상대적으로 높게 검출되었으며, 중금속의 인위적 배출원 영향을 파악하기 위한 EFs 인자 계산결과, Zn, Pb, Cu, As, Cd, Ni, Cr가 10 이상으로 인위적 오염원으로 판단되었다.

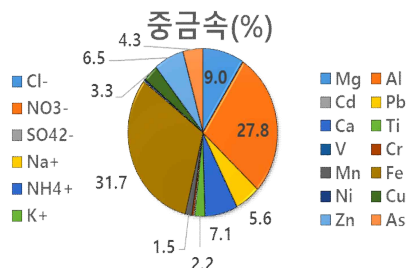
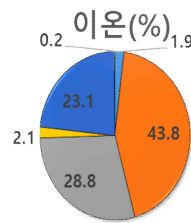
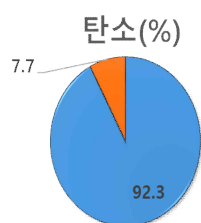
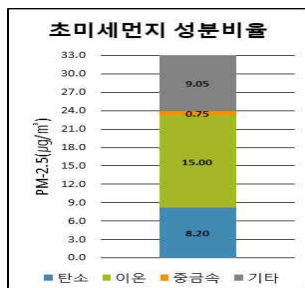


Fig. 78. Components of PM-25 Fig. 79. Ratio of carbon, Ion, heavy metals components in PM-2.5

Table 28. Concentration of PM-2.5 components at Airport Logistics Complex(the second half) (unit : µg/m³)

인천공항 물류단지 주변 (33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )															
탄소 (2.82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				이온 (6.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )											
OC		EC		Cl <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Na <sup>+</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>	
7.63		0.63		0.29		6.57		4.32		0.32		3.47		0.03	
중금속 (0.2410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )															
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As		
0.0680	0.2099	0.0000	0.0420	0.0534	0.0163	0.0009	0.0039	0.0112	0.2393	0.0031	0.0250	0.0489	0.0324		

Table 29. EFs of Heavy metals at Airport Logistics Complex(the second half)

중금속 EFs 인자													
Mg	Al	Cd	Pb	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As
1.3	1.0	39.6	1,251.2	0.6	1.4	2.6	15.1	4.6	1.9	15.9	176.4	270.6	6,966.2

## IV. 결론

항만, 물류단지, 제철사업장 등 다양한 대기오염배출원이 산재한 중·동구 지역을 대상으로 수동 확산 시료채취기를 이용해 대기오염물질의 공간적 분포를 파악하고 오염도가 높은 우심지역은 대기 환경이동측정차량 연속조사 및 초미세먼지 성분분석 등 지역 대기질에 영향을 미치는 오염원에 대한 정밀조사를 실시한 결과는 다음과 같다.

초미세먼지 전구체인  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , VOCs 농도를 공간분포지도로 작성하여 자료를 시각화한 결과, 조사 시기별 농도의 차이는 있지만  $\text{NO}_2$ 는 제철사업장, 물류단지, 남항 주변에 농도가 높았으며, 주변 사업장의 영향과 사업장 내로 진출입하는 차량의 영향을 받는 것으로 추정된다.  $\text{SO}_2$ 는 운북하수처리장, 동구 재개발 구역, 남항 주변에서 높아 하수처리장, 공사장, 항만, 산업단지의 영향을 받는 것으로 추정된다.  $\text{NH}_3$ 와 VOCs는 제철사업장이 위치하고 서구 산업단지와 인접한 동구 일원에서 농도가 높아 제철사업장, 서구와 동구 경계 주변의 중소규모 사업장의 영향을 받는 것으로 판단된다. 인천공항 물류단지를 제외한 대기질 우심지역 3곳의 대기질은 인천평균 대비 높은 농도를 나타냈으며, 인천공항 물류단지는 인천평균과 유사하거나 낮은 농도를 나타냈다. 우심지역 중 인천교 유수지와 인천내항 8부두에서 상대적인 대기오염도가 높았으며, 지점별 시간대별 농도변화를 보면 출퇴근 시간대의 교통량 증가, 생산시설 가동 등에 의한 영향을 유추할 수 있는 특정시간대에 높아지는 경향을 보였다.

초미세먼지 성분 분석결과, 지점별로 탄소, 이온, 중금속 구성비가 달랐으며, 조사시기의 풍향에 따라 영향사업장이 달라져 성분비가 달라지는 특징을 나타냈다. 우심지역 4지점에서 탄소성분 중 OC, 이온 성분 중 질산염, 황산염, 암모늄염의 성분비가 높아 2차 초미세먼지 생성 기여를 확인할 수 있었다. 중금속 중 Fe, Ca, Al 등 토양 기원 성분의 농도가 상대적으로 높았으며, 주변 제철사업장과 사업장 비산 먼지가 많이 날리는 인천교 유수지 지점에서 철 항목이 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 특히, 해양 환경공단 지점의 경우, 중금속 배출원 추정결과, V이 확인되어 선박, 중유연소 등에 의한 영향을 받는 것으로 추정되었다.

향후 고농도 지역은 주기적 대기질 조사로 주기적으로 데이터를 확보할 필요성이 있으며, 주변 배출시설의 오염물질 종류, 배출량 등을 파악하고 배출허용기준 준수 여부 등 관리강화가 필요하다. 군·구 경계에서 비산먼지, 사업장 등의 관리를 위해 군·구간 협의와 영향 산업단지에 따른 대기질 관리방안을 점검하고 검토할 필요가 있다.



## V. 참고문헌

1. WHO, IARC : Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths(2013)
2. David Hu, Juyuan Jiang, A study of smog issues and PM2.5 Pollutant control strategies in china, Scientific Research, Vol. 4 No. 7(2013)
3. Urban PM-2.5 levels under the EU clean Air Policy package, 2014
4. 미세먼지! 무엇이든 물어보세요, 2019. 1
5. 배현주, 이승민, 정다운, 오규림, 김시진, 이종태(2019), 인체위해 저감방안 마련을 위한 미세먼지 구성성분별 건강영향 연구, KEI(한국환경정책·평가 연구원)
6. 국가미세먼지정보센터/국가 대기오염물질 배출량 서비스(airemiss.nier.go.kr)
7. 신동원(2018), 미세먼지(PM-2.5)개선을 위한 암모니아 관리 필요성과 정책방안, KEI(한국환경정책·평가 연구원) 포커스
8. 유승성, 김홍주, 김홍기, 허미숙, 임성철, 선우영, 정권, 김주형(2006) 종로 지역 VOCs와 NOx의 오존생성 기여도에 대한 평가, 한국대기환경학회 2006 추계학술대회 논문집, 314-316.
9. 유희중, 김현주, 송영재, 이충대, 하현섭(2009), 인천시 미세먼지(PM-10) 발생 특성 평가, 인천보건환경연구원 환경조사과
10. 2019년 서울시 초미세먼지 성분분석보고서, 서울시보건환경연구원
11. George D. Thurston, kazuhiko Ito, Ramona Lall, A source appointment of U.S. fine particulate matter air pollution, Atmospheric Environment, 45(2011)3924-3936
12. David Acevedo Figueroa, Carlos J Rodriguez-Sierra, Braulio D jimenez-Velez, Concentrations of Ni and V, other heavy metals, arsenic, elemental and organic carbon in atmospheric fine particles(PM<sub>2.5</sub>) from Puerto Rico, Toxicology and industrial health 22(2006)87-99
13. Nicholas Clements, jenny Eav, Mingjie Xie, Michael P. hannigan, Shelly L. Miller, William Navidi, Jennifer L. Peel, James J. Schauer, Martin M. Shafer, Jana B. Milford, Concentrations and source insights for trace elements in fine and coarse particulate matter, Atmospheric Environment, 89(2014) 373-381
14. John J. koranda, Jerry J. Cohen, Craig F. Smith, Frank J. Ciminesi, Geotoxic Materials in the Surface Environment, December 7, 1981
15. 변진여, 조성환, 김현웅, 한영지, 춘천시 대기 중 PM2.5 및 금속성분의 장기간 농도 특성, Journal of Korean society for Atmospheric Environment, Vol. 34, No. 3, June 2018, PP.406-417