

- 안전한 시민의 일상, 건강한 인천을 만들어 가는 -

대기오염물질 공간분포조사 및 체계적 관리방안연구



 **인천광역시**
<http://www.incheon.go.kr>

[보건환경연구원 환경조사과]

대기오염물질 공간분포조사 및 체계적 관리방안 연구

박진영*, 최종규¹⁾, 배유진, 김교영, 심우형, 권다솔, 최상인, 곽완순, 권문주
인천광역시보건환경연구원 대기환경연구부 환경조사과, ¹⁾대기평가과

A Study on the spatial distribution of air pollutants and their systematic management plan

Chin-Young Park*, Jong-Kyu Choi¹⁾, You-Jin Bae, Kyo-Yeong Kim, Woo-hyung Shim, Da-sol Kwon,
Sang-In Choi, Wan-soon Kwak, Mun-Ju Kwon

Environmental Research Division, Incheon Research Institutes of Health and Environment

¹⁾Air Quality Assessment Division, Incheon Research Institutes of Health and Environment

Abstract

The spatial distributions of air pollutants such as SO₂, NO₂, NH₃, VOCs the major causative substances of PM-2.5 were identified using a passive air sampler. For areas with high levels of pollution, the continuous research of air quality using a air measurement vehicles and analysis of fine dust components was conducted.

As a result of creating a spatial distribution map of air pollutants, NO₂ was high in the north port area affected by ship operation and port work, and in the vicinity of Gajwa small and medium-sized factories, and SO₂ was high in the Incheon Robot Land, North Port, LNG power plant, and the West Incheon Industrial Complex, so it is estimated that they are affected by power generation facilities, ports, and industrial complexes. PM-10 and PM-2.5 in the areas with high levels of pollution were high in 1.4 to 2.3 times and 1.6 to 2.5 times, respectively, than the average of the Incheon region during the same period.

As a result of the analysis of fine dust components, the ionic component accounted for the largest portion, with 43-79 % for PM-10 and 24-83 % for PM-2.5, followed by sulfate > ammonium salt > nitrate. In particular, in PM-2.5, the Gajwa wastewater treatment facility and the north port had very high ion, accounting for 83 % and 68 % of the total weight, and the concentration of sulfate and ammonium salts was high, which is judged to be the effect of surrounding pollutants.

In the future, in high-concentration areas, periodic monitoring should be performed to identify changes of air pollutant concentration. By identifying air pollutant emission sources by distance from survey point, the characteristics of pollutants and the emission materials and emission loads, and major targets are selected and managed. It is necessary to strengthen management such as compliance with the permissible standards.

Key words : Passive air sampler, PM-2.5, Air pollutants, spatial distribution

I. 서론

대기(Atmosphere)는 우주광선 및 태양광을 흡수하고, 생명체가 살아가는데 필요한 산소를 제공하며, 급격한 변화에 대한 완충 역할을 하는 등 우리 인간이 살아가는데 매우 중요한 환경 요소이다. 하지만 도시화와 산업화 등으로 대기오염이 심화되고 있다.

우리나라는 대기오염 개선을 위한 각종 대기환경 관련 법규의 개정, 대기환경개선 프로그램 확대, 저공해 에너지 도입 등과 같은 대기오염 관리를 위한 정책을 지속적으로 추진하고 있다. 그 결과, 대기환경 기준물질 중 미세먼지(PM-10), 초미세먼지(PM-2.5), SO₂와 CO 등의 항목은 장기적으로 개선되고 있는 추세이지만 시민들이 느끼는 체감 오염도는 감소하지 않아 시민들의 대기환경에 대한 불안은 여전하다.

특히, 현재 주요 관심사인 미세먼지는 화석 연료의 연소, 자동차 배출가스, 소각로 등과 같은 인위적 오염원에서 직접 배출되는 1차 에어로졸과 대기 중의 질소산화물, 황산화물, 암모니아, VOC의 화학반응에 의해 생성된 염과 유기물 등의 2차 에어로졸(secondary aerosol)로 구성되어 있다(황인조, 2010).

대기오염물질은 도로, 사업장, 공사장 및 생활주변 등과 같이 다양한 장소에서 발생되고 있으며, 지형, 풍향, 기후 등의 영향으로 다양한 형태로 발생되기 때문에 정확한 대기오염 수준을 파악하기 위해서는 대기오염에 영향을 미치는 요인들에 대한 면밀한 분석 및 평가가 필요하다. 이러한 도심의 대기질을 과학적으로 규명 할 수 있는 방법은 대기오염자동측정망이다.

인천시는 도심 지역의 대기질을 측정하기 위해 대기오염측정소를 30개소로 대폭 확대 설치·운영하여 대기질 측정 수준을 한층 강화하고 있다. 하지만, 해안 도시인 인천은 해륙풍과

국지풍 및 기상요인으로 인해 복잡한 영향을 보이고 있으며, 현재 측정소 간의 간격이 넓어 동네수준의 지역적 대기오염 특성을 자세하게 파악하는데 어려움이 있다.

본 연구는 과학적인 대기질 관리 방법을 모색하기 위해 대기질의 공간적 분포를 파악하고 오염도가 높은 지역에 대해서는 정밀 조사를 실시하여 지역 대기질에 미치는 오염원에 대한 정확한 진단평가를 통해 체계적인 관리 방안을 제시하고자 한다.

발전소, 소각장, 수도권매립지 및 산업단지 등 다양한 대기오염물질 배출원이 산재한 서구 지역을 대상으로 수동확산 포집기(passive air sampler)를 이용하여 대기오염물질의 공간적 분포를 파악하고 오염도가 높은 지역은 대기오염이동측정차량을 이용한 정밀 대기질 조사와 미세먼지 성분분석을 실시하여 지역 대기질에 영향을 미치는 오염원에 대한 정확한 진단평가를 통해 과학적인 관리 방안을 도출하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

2.1. 연구대상

본 연구 대상지역은 [Fig. 1]에 보듯이 다양한 배출오염원이 산재하여 체감오염도가 높을 것으로 판단되는 서구 지역을 대상으로 하였다.

인천은 중국의 오염물질 등 장거리 이동 영향을 받을 수 있는 지리적 위치에 있으며 특히, 서구 지역은 다양한 대기오염배출요인과 주거지역이 복합적으로 존재하고 있다. 서쪽 해안을 따라 북향과 물류단지, 발전소, 광역소각장이 있으며, 남쪽으로는 가좌산업단지, 수탁 처리업체, 중·소규모의 공장이 다수 존재하며, 중간 위치에는 서부산단이 그리고 북쪽에는 수도권매립지, 검단 산업단지가 각각 위치하고 있다. 서구지역의 주요 도로는 중봉대로, 봉수대로 및 경명대로가 있고, 서구 지역을 종으로 잇는

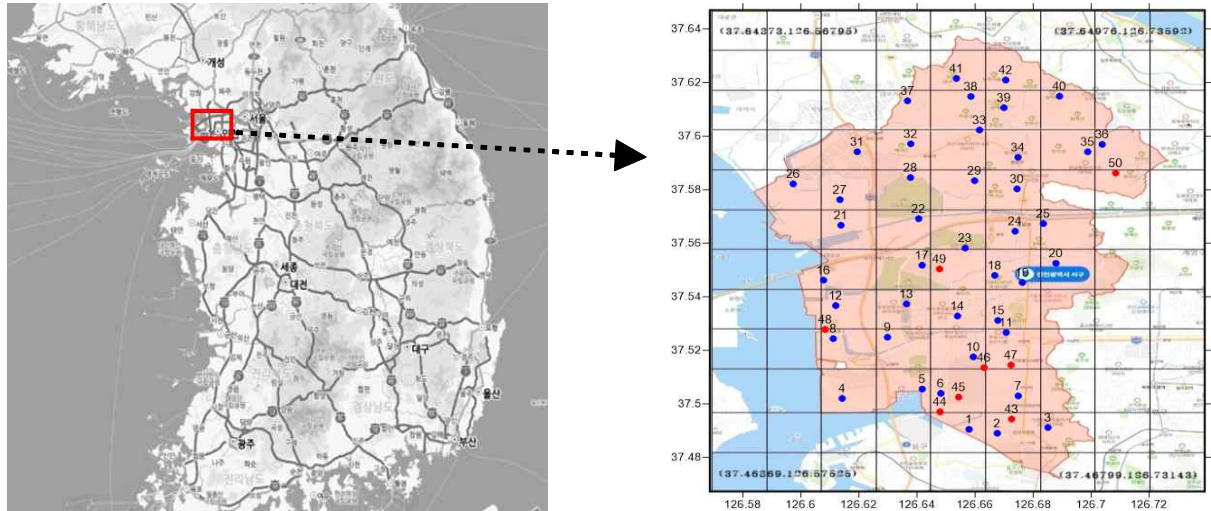


Fig. 1. Survey area and sampling sites.

Table 1 . Time schedule of research

성과지표	추진계획					가중치 (%)	측정 단위
	계	1분기	2분기	3분기	4분기		
조사지점 선정 및 자료조사	10	10	-	-	-	10	회
대기오염물질 공간분포 조사	150	50	50	50	-	30	건
대기오염 우심지역 정밀 진단평가	56	-	28	28	-	30	건
미세먼지 성분분석 조사	40	-	20	20	-	10	회
연구결과 평가분석/관리방안 제시	1	-	-	-	1	20	건
종합목표(누계, %)	100%	20%	50%	80%	100%	100	

서곶로와 수도권매립지 주변의 차량이 이용하는 드림로 등이 있다. 이와 같이 서구는 많은 도로와 다양하게 산재된 지역 오염원이 지역 대기질에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다.

2.2. 실험항목 및 방법

2.2.1 대기오염물질 공간분포 조사

대기오염물질의 공간적 분포를 동시에 정밀 분석 장비로 파악하기에는 고가의 장비가 필요하고 설치운영 및 관리 등에 어려움이 있다. 이에 비교적 설치가 간편하고 동시에 많은 지역의 조사가 가능하고 오염물질의 공간적인 분포를 평가하기 용이한 수동확산포집기(passive diffusion sampler)를 활용하였다.

공간분포 조사지점은 배출원, 공간적 분포 및

주거지역 밀집도 등을 고려하여 50개 지점(약 1.5 km × 1.5 km)을 선정하였다. 조사항목은 NO₂, SO₂, NH₃, VOCs 등 주요 대기오염물질로서 초미세먼지의 주요 구성 및 원인 물질을 대상으로 하였다.

해당 항목에 선택적 채취효율이 있는 수동확산포집기를 조사대상 지점에 기상여건을 고려하여 약 1주일간 설치 후 수거하였으며, 제조사의 설치·분석 guideline에 따라 시료를 채취·분석하였다. 사전조사를 실시하여 조사방법의 신뢰성을 검증하였고, 적절한 시료 채취기간 및 채취방법을 종합적으로 검토하여 조사 시 적용함으로써 측정분석 방법의 효율성과 신뢰도를 확보하고자 하였다.

공간분포 조사에 사용된 수동확산포집기 및 분석 방법은 다음 Table 2. 정리한 바와 같다.

조사 항목인 양이온(암모니아), 음이온(NO_x , SO_x) 및 VOCs 항목은 SKC사의 UME^x 300, UME^x 200, Ultra VOC로 채취지점에서 약 1주일 간 대기 중 노출하여 채취하였다. 채취 시료는 분석 전까지 냉동 보관을 하였다.

이온류 분석 시에는 증류수 10 ml를 주입하고, 초음파 추출기로 1 시간 추출하고 필터로 불순물을 제거한 다음 이온크로마토그래피로 분석하였다. 휘발성유기화합물질(VOCs)은 CS_2 2 ml를 넣고 1시간가량 shaking 하고 micro filter로 여과 한 후 GC×GC-TOF/MS로 분석하였다.

2.2.2 대기오염 정밀조사 및 미세먼지 성분조사

대기오염 정밀조사는 공간분포 조사에서 대기오염 물질이 전반적으로 높은 지역으로 분류된 4개소를 선정하여 대기오염이동측정차량으로 정밀 대기질 조사를 추진하였다. 정밀조사는 대기오염환경기준 항목(PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , CO, O_3)을 상반기, 하반기 각 1회씩 그리고 1회에 약 일주일간 조사를 진행하였다.

대기오염 정밀조사를 위한 미세먼지(PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) 시료는 5일간 일단위로 하이볼륨에어 샘플러 2대를 이용하여 시료를 채취하여 미세먼지 성분을 분석하였다.

탄소성분은 Semi-Continuous OC/EC analyzer (Sunset Lab, USA) 장비로 분석하였다. 이온성분은 이온분석용 시료를 초순수 20 mL에 담근 다음, 초음파추출기로 60분 동안 추출하고, 추출액은 주사기 필터($0.45 \mu\text{m}$)를 사용해 여액을 IC(Dionex, ICS-5000)로 분석하였다. 중금속 분석은 대기오염공정시험기준 ES 01209(환경대기 중 중금속화합물 동시분석-유도결합플라즈마분광법) 실험법에 따라 전처리와 중금속 분석을 실시하였다.

전처리는 마이크로웨이브(CN/TOPEX, Preekem) 장비를 이용한 마이크로파 산분해법을 적용하였고, 중금속 분석은 ICP-MS (Inductively Coupled Mass Spectrometry, JP-7800, Agilent) 장비를 사용하였다.

Table 2. Survey items of the spatial distribution of air pollutants

공간분포 조사항목	Passive sampler	전처리	기기분석	채취기간
암모니아(NH_3)	UME^x 300	증류수, Shaking	IC	5일
질소산화물(NO_x)	UME^x 200	증류수, Shaking	IC	5일
황산화물(SO_x)	UME^x 200	증류수, Shaking	IC	5일
휘발성유기화합물(VOCs)	Ultra VOC (690-105)	CS_2 추출	GC-TOF/MS	5일

※ VOCs(8종) : Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes, Styrene, TCE, PCE, Trimethylbenzene

Table 3. Analysis items of fine dust component

구 분	항목수	분석기기	세 부 항 목
무게농도	2 항목	전자저울	PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$
탄 소	2 항목	Lab OC/EC	OC, EC
이 온	6 항목	IC	Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}
중 금 속	18 항목	ICP-MS	Fe, Ca, Mg, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Cd, Pb

III. 결과 및 고찰

3.1. 대기오염물질 배출원 조사

3.1.1 인천시 대기오염물질 배출량

대기오염물질 배출량 통계자료(Table 4.)를 보면, TSP와 PM-2.5는 인천광역시가 서울특별시와 6대 광역시 중 가장 많았고, 가스상 물질 중 SOx 배출량은 공단이 밀집되어 있는 울산광역시 다음으로 많았다.

인천광역시 내 구·군별 배출량은 TSP, PM-10, PM-2.5 모두 계양구가 가장 많았으며 서구가 두 번째로 많았다. 그러나 가스상 물질에서 SOx는 영흥지역에 화력발전소가 있는 웅

진군이 가장 많았고, 서구는 두 번째 이었으며, NOx는 항만과 공항이 있는 중구 다음으로 높았다. VOC와 NH₃는 서구가 가장 많았다.

3.1.2 서구 대기오염물질 배출량

인천시 서구 관내의 대기오염물질 배출 사업장 1,473개소의 위치(경위도 좌표)와 SOx, NOx 배출량(2020년, 인천시 자료)를 이용하여 배출량 지도를 작성하였다. 많은 수의 소규모(5종) 사업장이 주로 가좌 산업단지에 위치하고 있지만, 대기오염물질 배출량이 많은 1종 사업장이 있는 지역의 배출농도가 높게 나타나고 있다.

Table 4. Air pollutant emissions(2017, Source : National air emission inventory center, unit: ton)

지역\항목	TSP	PM-10	PM-2.5	SOx	NOx	CO	VOC	NH ₃
인천광역시	25,501	9,676	3,131	13,302	61,522	47,228	56,110	7,461
강화군	2,795	507	140	35	1,074	1,714	857	1,041
계양구	6,184	3,369	762	64	11,520	6,260	3,013	192
미추홀구	2,149	737	200	56	4,483	2,694	3,148	150
남동구	3,115	971	335	44	5,858	6,660	9,345	299
동구	499	231	134	2,176	2,201	558	1,375	29
부평구	2,277	676	197	631	4,483	2,574	5,284	205
서구	4,952	1,702	560	2,684	11,990	10,040	15,730	2,833
연수구	1,577	408	125	86	3,113	2,079	1,982	223
옹진군	603	352	245	5,582	4,493	4,479	786	2,383
중구	1,348	723	431	1,943	12,307	10,169	14,591	107
서울특별시	24,904	10,553	2,926	1,493	77,096	56,994	66,948	3,804
부산광역시	16,667	6,958	2,617	9,526	51,870	26,433	42,945	1,686
대구광역시	10,056	3,696	1,267	3,489	27,198	18,335	31,490	1,714
광주광역시	5,602	2,054	645	222	13,864	9,371	17,184	937
대전광역시	4,897	1,702	619	702	15,694	11,307	24,861	796
울산광역시	8,846	4,022	2,229	46,018	48,630	31,218	93,686	15,182

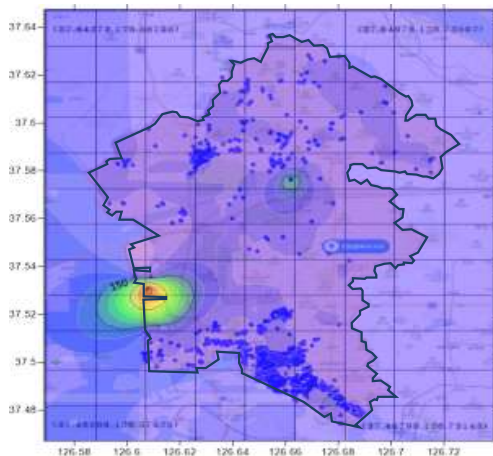


Fig. 2. SOx emission map

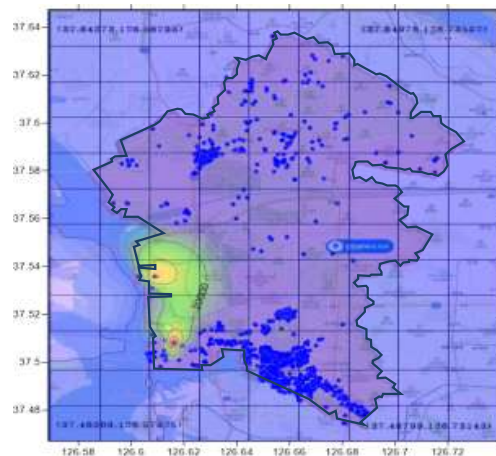


Fig. 3. NOx emission map

3.2. 대기오염물질 공간분포 조사

도시 전반의 대기오염 오염현상을 평가하는 기법으로서 passive air sampler의 활용은 대기오염 공간해상도 평가에 유용하게 활용 될 수 있다.

본 조사에서는 산업단지, 수도권매립지, 대규모 공장 등 대기오염물질 배출원이 산재해 있는 서구 지역을 대상으로 공간분포(1.5 km × 1.5 km)를 고려하여 42개 지점과 오염원 주변의 8개 지점으로 총 50개 지점에 수동확산포집기를 설치하여 동네지역 수준으로 촘촘하게 대기오염물질의 공간분포를 조사하였다.

3.2.1. 공간분포 1차 조사결과

대기오염물질 공간분포 1차 조사는 21년 3월 22일부터 3월 26일까지 4일간 각 지점에 설치 후 분석하였으며 각 항목별 대기오염물질 공간분포 지도를 작성하여 오염도가 높은 지역 주

변의 오염원을 추정하여 개선대책 수립 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

이산화질소(NO_2)의 경우, 가좌수탁처리업체가 위치한 45번 지점이 가장 높았으며 주변의 47번(신현원창동 행정복지센터), 46번(SK 인천석유화학 주변) 지점도 높게 나타났으며, 48번(청라광역생활폐기물소각장 주변), 30번(백석고 주변)지점도 높았다.

아황산가스(SO_2)는 49번(인천서부산업단지 동쪽)이 가장 높았으며 45번 지점도 높았다. 암모니아(NH_3)는 45번(가좌수탁처리업체)이 가장 높았으며 49번 지점도 높게 나타났다. VOCs는 45번이 가장 높게 나타났다.

각 지점의 항목별(NO_2 , SO_2 , NH_3 , VOCs) 고농도 순으로 순위를 정해 오염도가 높은 4개소를 우선지역으로 선정하였다.

Table 5. Air quality concern area

(단위 : ppb)

순번	명 칭	NO_2	SO_2	NH_3	VOCs	NO_2 순위	SO_2 순위	NH_3 순위	VOCs 순위
45	가좌공단 수탁처리업체	21.6	2.0	22.6	35.5	1	3	1	1
49	주물공단 동쪽(서부산단)	11.7	3.5	14.0	25.0		1	3	7
5	북 항	16.1	1.2	11.0	12.4	6		7	
31	금호동 복지센터	9.8	1.3	11.2	23.9			6	8

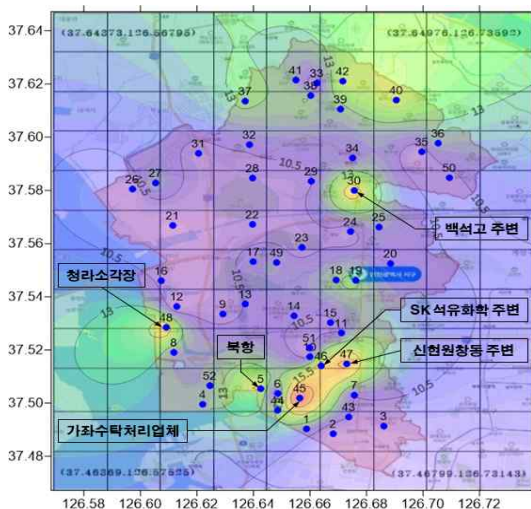


Fig. 4. Spatial distribution of NO_2

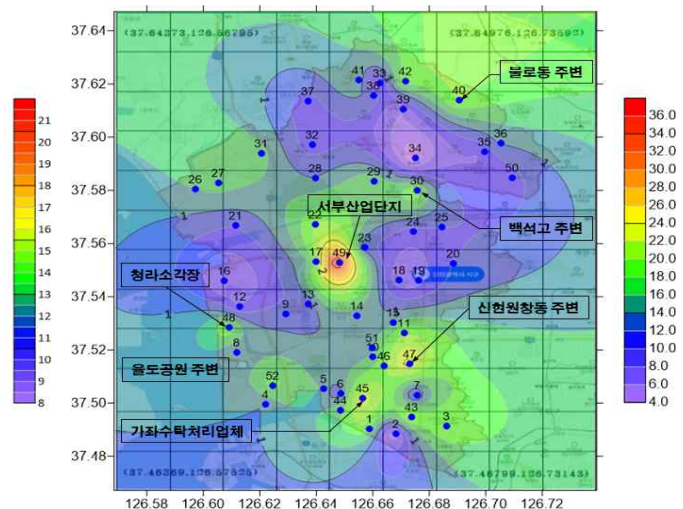


Fig. 5. Spatial distribution of SO_2

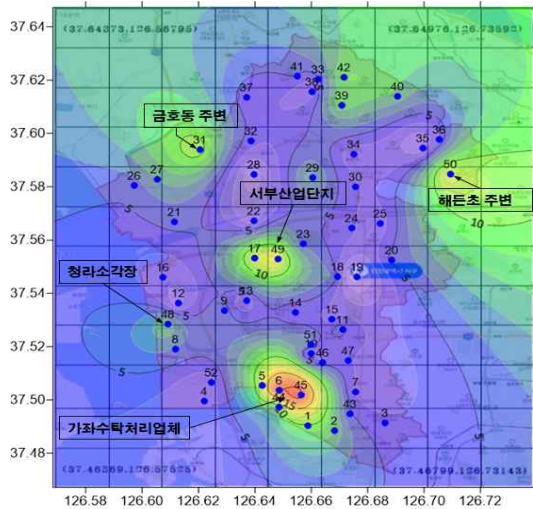


Fig. 6. Spatial distribution of NH_3

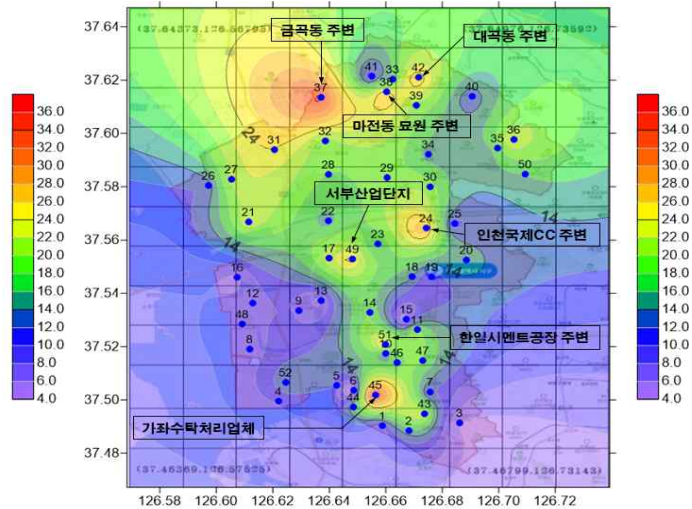


Fig. 7. Spatial distribution of VOCs

3.2.2. 공간분포 2차 조사결과

대기오염물질 공간분포 2차 조사는 21년 6월 7일부터 6월 11일까지 수동시료채취기를 설치 후 분석하였으며 각 항목별 대기오염물질 공간 분포 지도를 작성하여 오염도가 높은 지역 주변의 오염원을 추정하였다.

이산화질소(NO_2)의 경우, 가좌공단 내 위치한 지점들과 북향 지점이 높게 나타나 1차 조사결과와 동일한 경향을 보였다.

아황산가스(SO_2)는 7번(석남)이 가장 높았으며 NO_2 와 마찬가지로 가좌공단 내 지점들이 비교적 높게 나타났으나, 전반적으로 SO_2 의 농도

가 1분기에 비해 낮게 나타났다.

암모니아(NH_3)는 2번(연구원 별관)지점이 가장 높았으며 45번(가좌공단 수탁처리업체), 1번(시골집) 지점이 높게 나타나 가좌공단의 영향을 받는 것으로 보였다. VOCs는 31번(금호동 복지센터)이 가장 높았고, 다음으로 45번(수탁처리업체), 43번, 46번 지점 순으로 높게 나타났다.

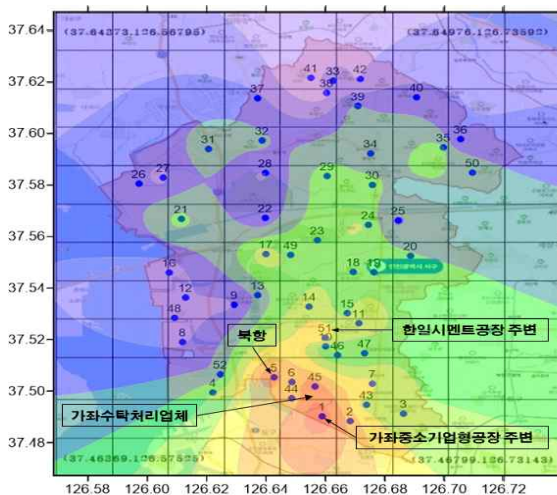


Fig. 8. Spatial distribution of NO_2

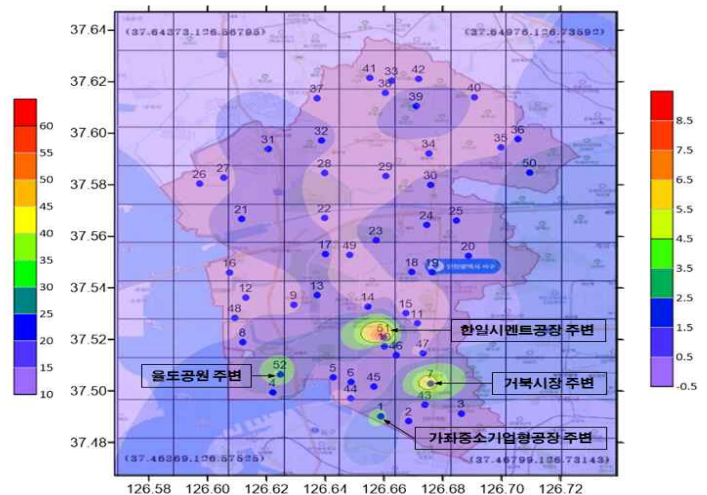


Fig. 9. Spatial distribution of SO_2

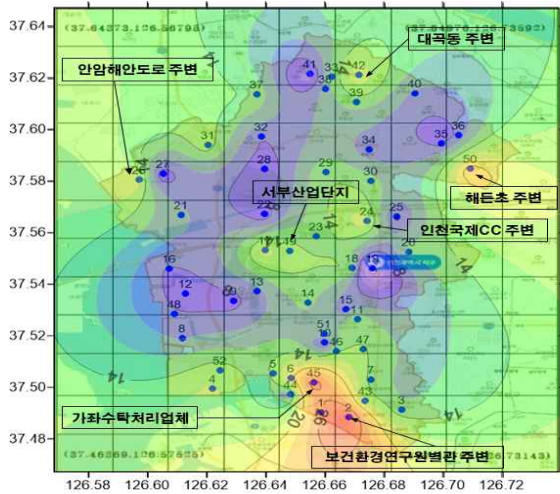


Fig. 10. Spatial distribution of NH_3

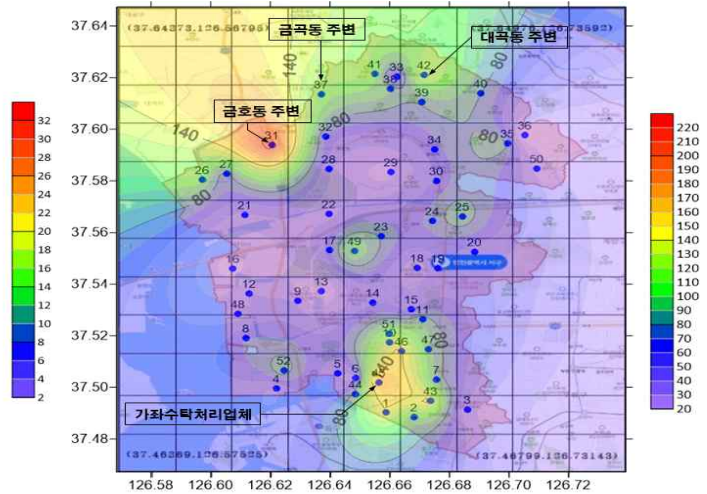


Fig. 11. Spatial distribution of VOCs

3.2.3. 공간분포 3차 조사결과

대기오염물질 공간분포 3차 조사는 21년 9월 3일부터 9일까지 수동확산포집기를 설치 후 분석하였다.

이산화질소(NO_2)의 경우, 북항 지점이 가장 높았으며 가좌공단 주변 지점들이 비교적 높게 나타나 2분기와 유사한 경향을 보였다. 아황산가스(SO_2)는 2분기에 평균 농도 1.0 ppb에서 3분기에 6.6 ppb로 6배 정도 높아졌으며 청라지역 외곽의 인천로봇랜드, LNG발전소 주변지점과 북항 지점이 높게 나타났다.

암모니아(NH_3)는 금호동 복지센터 지점이 가장 높았으며 2분기와 유사하게 가좌공단 주변 지점들과 가좌하수처리장 주변지점이 높게 나타났다.

VOCs는 공촌하수처리장 지점이 가장 높았으며 다음으로 김포 대곡산단의 영향을 받는 38번(마전금호어울림) 지점, 12번(LNG 발전소)지점 순으로 높게 나타났다.

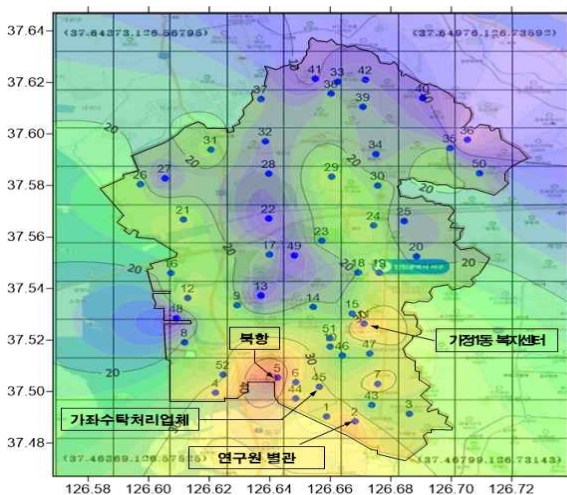


Fig. 12. Spatial distribution of NO_2

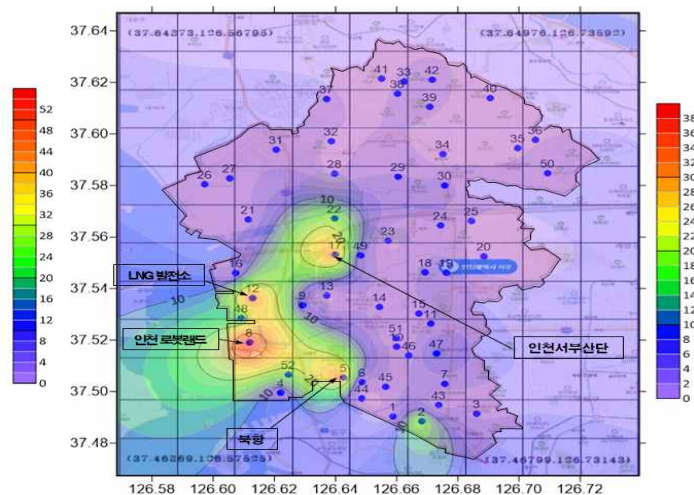


Fig. 13. Spatial distribution of SO_2

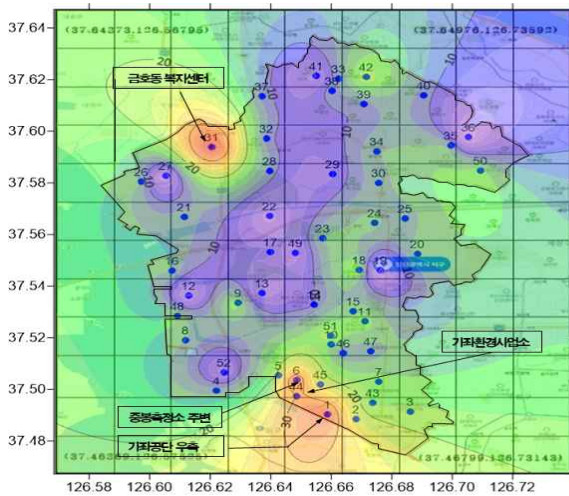


Fig. 14. Spatial distribution of NH_3

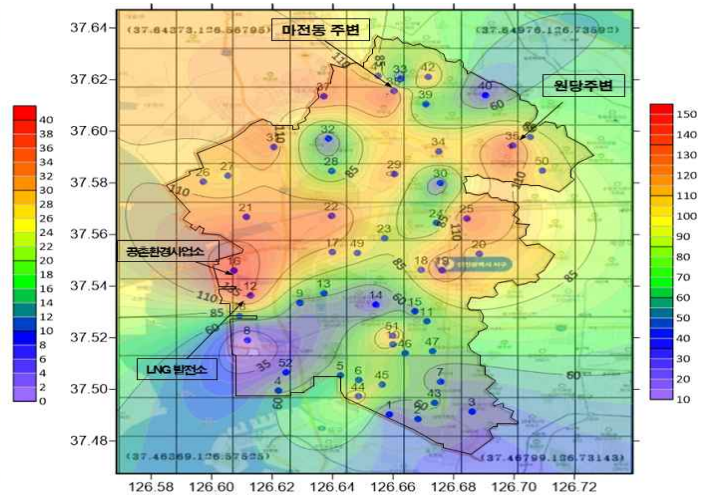


Fig. 15. Spatial distribution of VOCs

324 공간분포 조사결과 평균(1~3분기)

1분기부터 3분기까지 3회에 걸친 공간분포 조사결과를 평균하여 대기오염물질 공간분포 지도를 작성하였다. 시기별 농도의 차이는 있지만 농도가 높은 지역은 분기별 유사한 경향을 나타냈다. NO_2 는 선박 운항과 항만 작업 등의 영향을 받는 북항 지점과 폐수수탁처리업체, 중소규모 공장들이 밀집한 가좌중소기업형공장 주변지점이 높았으며, SO_2 는 인천로봇랜드 주변 지점, 북항 지점, LNG발전소, 인천서부 산업단지에 위치한 지점들이 높아 발전시설과, 항만, 산업단지의 영향을 받는 것으로 판단된다.

NH_3 의 주요 배출원은 주로 농·축산업 부분의 가축 사육과 분뇨처리, 비료 시비 등과 산업부분의 생산공정 등에서 발생하는 것으로 알려져 있다(신동원, 2018). 본 연구지역에는 가좌산업단지내에 위치한 지점들과 검단산업단지 주변지점에서 비교적 높아 주로 산업부분의 생산공정에서 발생하고 있는 것으로 판단된다. 특히 암모니아는 직접 배출되어 대기환경에 영향을 미칠 뿐 아니라 대기중에서 황산화물, 질소산화물 등과 광화학반응을 통해 황산암모늄과 질산암모늄과 같은 2차 초미세먼지를 생성하기 때문에 관리가 필요하다.

VOCs(휘발성유기화합물)은 대기 중으로 쉽게 증발되고, 대기 중에서 질소산화물과 공존시 광화학반응을 일으켜 오존 및 질산과산화아세틸(PAN, Peroxyacetyl nitrate) 등 광화학 산화성 물질을 생성시켜 광화학스모그를 유발하는 물질의 총칭이다. 주요 배출원은 유기용제를 사용하는 도장시설, 석유정제 및 석유화학제품 제조시설, 정유사 및 저유소의 저장시설과 출하시설 및 주유소, 세탁소 및 인쇄소 등에서 일부분 배출되고 자동차, 기차, 선박, 비행기 등의 배기가스에도 다량 포함되어 있다(유승성, 2006). 검단산업단지, 금곡산업단지 및 가좌수탁처리업체 주변 지점에서 높게 나타나 생산 활동의 영향을 받는 것으로 판단된다.

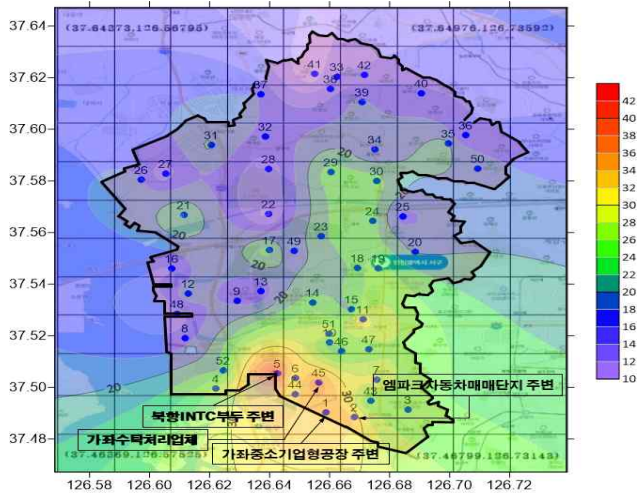


Fig. 16. Spatial distribution of NO₂(quater mean)

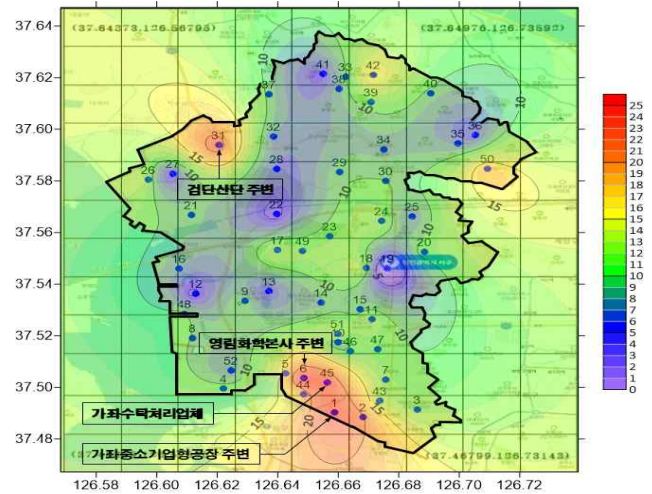


Fig. 18. Spatial distribution of NH₃(quater mean)

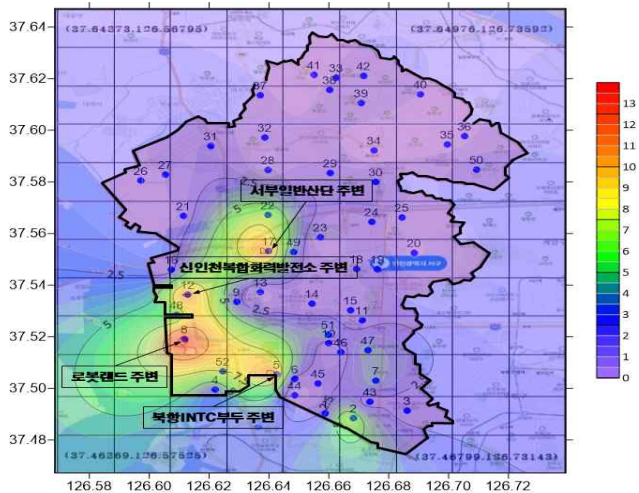


Fig. 17. Spatial distribution of SO₂(quater mean)

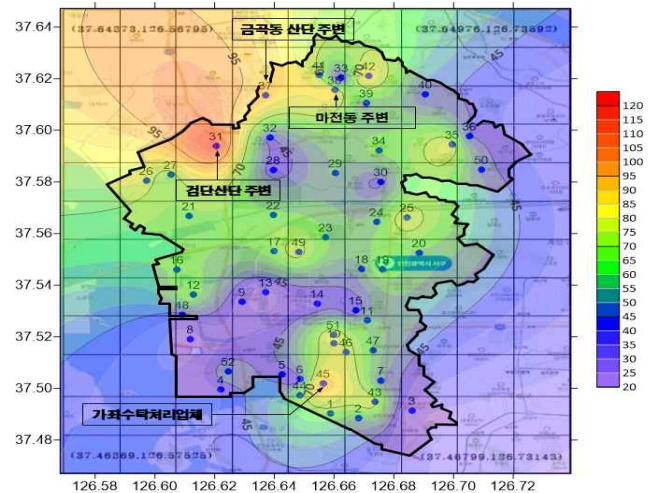


Fig. 19. Spatial distribution of VOCs(quater mean)

분기별 조사결과, 1분기에 모든 항목이 낮았으며, NO₂는 2분기에 가장 높았고 나머지 항목은 3분기에 가장 높게 나타났다. 수동확산시료채취기를 이용한 공간분포 조사결과와 동일 기간 서구 관내 5개 도시대기측정소의 평균농도와 비교하면 1~3분기 평균농도가 NO₂는

21.4 ppb, 23.7 ppb, SO₂는 2.8 ppb, 4.0 ppb로 도시대기측정소 평균이 높았지만, NH₃는 11.0 ppb, 4.3 ppb로 공간분포 조사결과가 더 높았다. VOCs 측정소는 서구 관내에 없기 때문에 비교하지 않았으며, NH₃는 청라측정소 1개소의 측정 자료를 사용하였다.

Table 6. The result of the spatial distribution survey(1~3 quater) (unit: ppb)

	공간분포 조사결과				서구 관내 5개 도시대기측정소(1~3분기 평균)
	1분기	2분기	3분기	1~3분기 평균	
NO ₂	11.7	30.6	22.0	21.4	23.7
SO ₂	1.1	1.0	6.6	2.8	4.0
NH ₃	6.2	12.6	14.3	11.0	4.3
VOCs	16.0	77.8	84.2	59.0	-

3.3. 대기오염우심지역 정밀조사

대기오염우심지역 정밀조사는 1차 대기오염 물질 공간분포 조사에서 오염물질 농도가 상대적으로 높은 지역으로 분류된 4개소(fig. 20.)를 선정하여 대기오염이동측정차량으로 대기오염환경기준 항목(PM-10, PM-2.5, SO₂, NO₂, CO, O₃)을 상반기, 하반기 각 1회씩 그리고 1회에 일주일간 조사하였다.

3.3.1 대기이동측정차량(상반기) 조사결과

우심지역으로 선정된 서부산업단지관리공단 등 4개 지점에 대하여 5.10 ~ 6.11 까지 대기이동측정차량을 이용하여 조사한 결과는 Table 8.과 같다.

우심지역의 항목별 평균값과 동일 기간 인천지역 도시대기측정소 24개소의 평균값을 괄호() 안에 나타내었다.

우심지역 네 개 지점의 PM-10, PM-2.5는 동일 기간 인천지역 평균보다 각각 1.4 ~ 2.1배, 1.6 ~ 1.9배 높았으며, PM-10은 북항지점이 인천평균 보다 2.1배, PM-2.5는 석남동 (주)평화환경 지점이 1.9배로 가장 높게 나타났다.

가스상 물질 중 SO₂는 우심지역 평균값과 인천지역 평균값이 비슷한 농도를 보였으나, NO₂는 석남동 (주)평화환경 지점은 0.029 ppm으로 인천평균 0.017 ppm보다 1.7배, 북항 지점은 0.029 ppm으로 인천평균 0.019 ppm 보다 1.4배 높았다.

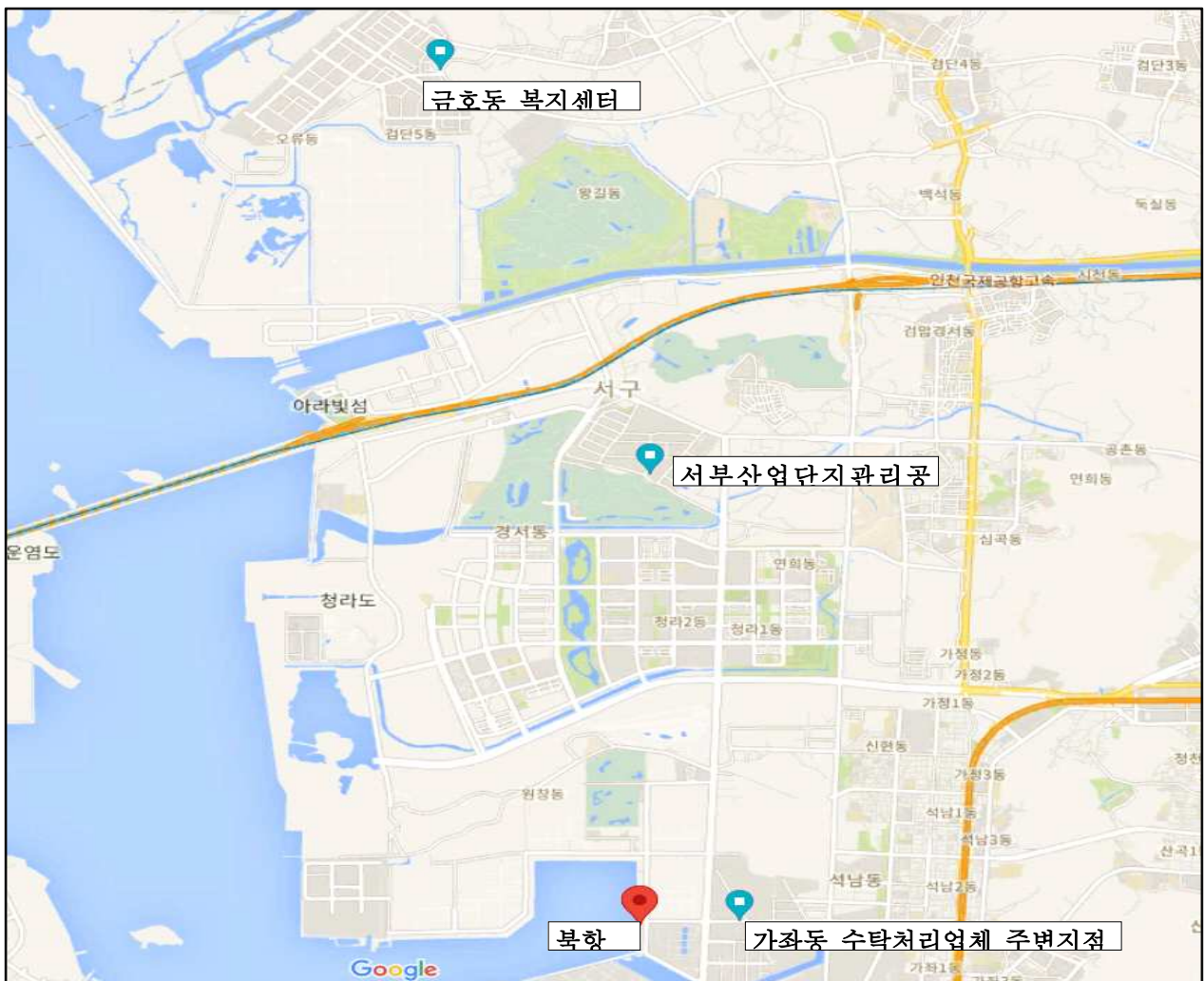


Fig. 20. The map of air quality concern site(4sites)

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 ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)
대기환경기준	100이하 (24시간)	35이하 (24시간)	0.05이하 (24시간)	0.06이하 (24시간)	0.06이하 (8시간)	9이하 (8시간)
서부산업단지 관리공단(5.10~17)	45 (33)	28 (18)	0.003 (0.003)	0.022 (0.023)	0.025 (0.040)	0.7 (0.4)
금호동 복지센터(5.19~25)	41 (28)	30 (18)	0.003 (0.003)	0.013 (0.016)	0.033 (0.048)	0.5 (0.4)
석남동 (주)평화환경(5.27~6.2)	55 (37)	37 (20)	0.004 (0.003)	0.029 (0.017)	0.035 (0.045)	0.5 (0.5)
북항(6.4~10)	102 (48)	44 (28)	0.003 (0.004)	0.026 (0.019)	0.045 (0.055)	0.6 (0.5)

O₃는 모든 지점이 인천평균보다 낮았는데, O₃은 자동차, 사업장, 가정 등에서 대기 중으로 직접 배출되는 1차 오염물질이 아니라 대기중 질소산화물이나 VOCs가 햇빛에 의한 광화학 반응으로 생성되는 2차 오염물질이다.

오존은 질소산화물과 VOCs 등의 전구물질 농도와 햇빛, 바람 등 기상조건에 의해 생성된다(수도권대기환경정보, 6월).

일반적으로 오존농도는 VOCs의 농도에 비례하지만 VOCs와 NO_x의 농도 분포도에 따라 NO_x가 오존 농도를 증가시키기도 하고 감소시키기도 하기 때문에 조사지점과 인천도시대기 측정소 평균을 직접 비교하기 곤란하다(유승성, 2006).

3.3.1.1 인천서부산업단지관리공단

조사지점 대기질에 영향을 미칠 수 있는 산업시설 가동, 교통량 변화 등의 영향을 파악하기 위해 각 지점의 시간대별 변화를 fig. 21.~24.에 나타내었다.

미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 모든 시간대에서 서부산업단지 지점이 인천평균 보다 높았으며,

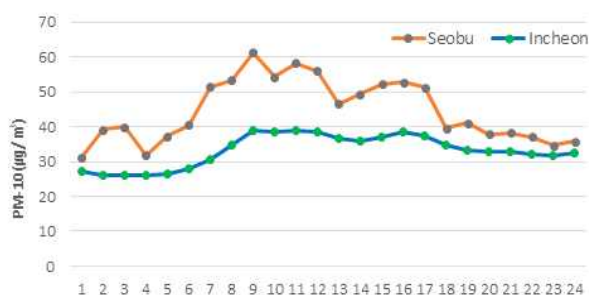


Fig. 21. PM-10 change over the 24-hour period

특히 PM-10의 경우, 조사지점과 인천평균 값의 차이는 7시부터 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 커지기 시작하여 9시에 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 컸으며 13시에 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 작아졌다가 다시 증가하여 17시까지 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높아진 후 그 차이는 조금씩 감소하여 23시에 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 차이로 가장 낮았는데 PM-2.5도 유사한 경향을 보였다. 주로 낮 시간대에 농도가 높았는데 이는 산업시설의 조업시간대 및 교통량이 증가하는 영향으로 판단된다.

SO₂경우에는 일평균으로는 조사지점의 농도와 인천 도시대기측정소 평균과 동일하지만 시간별로 비교 시에는 저녁과 새벽 시간대(19 ~ 07시)에는 조사 지점이 낮았고, 주간시간대인 아침과 낮 시간대에는 최대 2배(11시) 정도 높게 나타나 산업 활동과 교통량 증가에 의한 영향으로 판단된다.

NO₂도 SO₂와 유사한 경향을 보여 일평균으로는 동일하지만 시간별로 비교 시에는 저녁과 새벽 시간대에는 조사 지점이 낮았고, 주간 시간대(07~16시)에는 조사지점이 높게 나타나 주변 지역의 산업 활동과 교통량 증가에 의한 영향으로 추정된다.

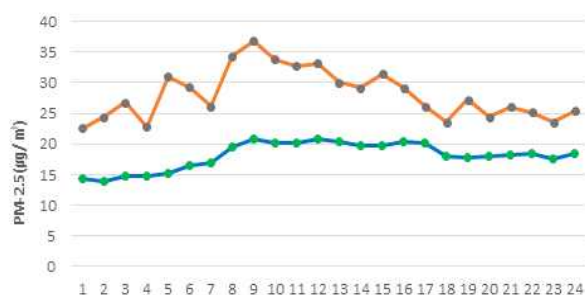


Fig. 22. PM-2.5 change over the 24-hour period

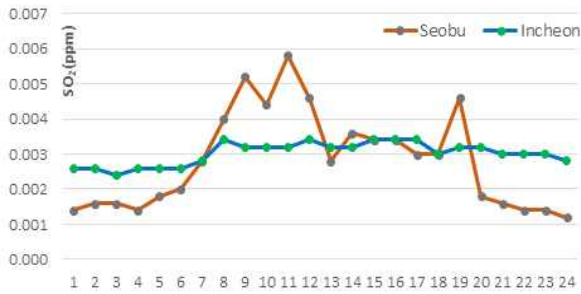


Fig. 23. SO₂ change over the 24-hour period

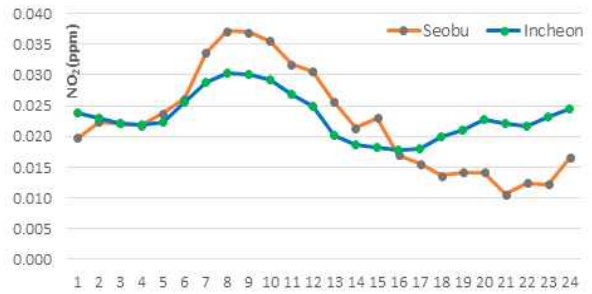


Fig. 24. NO₂ change over the 24-hour period

3.3.1.2 금호동 복지센터

미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 모든 시간대에서 조사지점이 인천평균 보다 높았으며 PM-10의 경우 7시~8시 사이에 가장 높았으며 PM-2.5는 4시와 8시에 농도가 높았는데 주변 오염원에 의한 산발적 영향을 받는 것으로 추정된다.

SO₂ 경우에는 일평균으로는 조사지점과 인천 도시대기측정소의 농도가 동일하지만 시간별 비

교 시, 8시부터 증가하여 10시에 가장 차이가 컸으며 11시까지는 차이가 있다가 12시부터는 동일한 농도를 보였다. NO₂는 인천평균이 0.016 ppm, 조사지점 0.013 ppm으로 높았으며 모두 6시부터 증가하여 8~9시에 가장 높았다가 감소하기 시작하여 13시부터 17시까지는 낮은 농도를 보이다 다시 증가하는 패턴을 보였다.

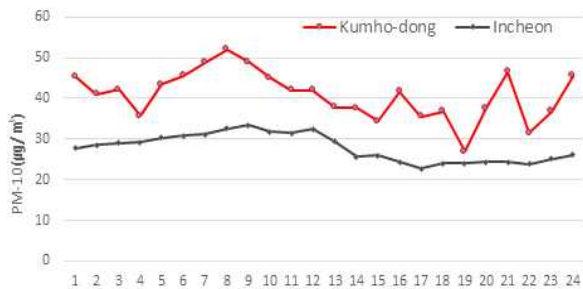


Fig. 25. PM-10 change over the 24-hour period

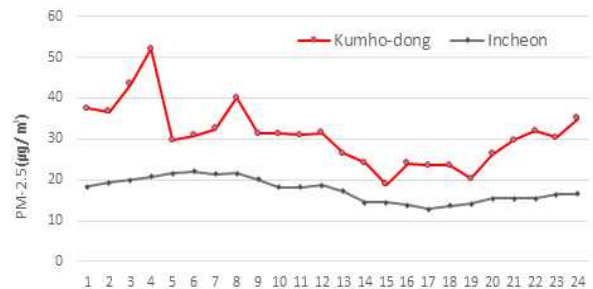


Fig. 26. PM-2.5 change over the 24-hour period

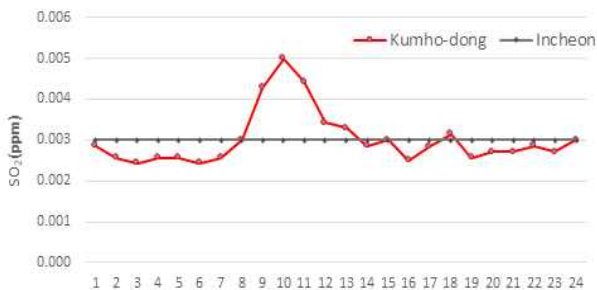


Fig. 27. SO₂ change over the 24-hour period

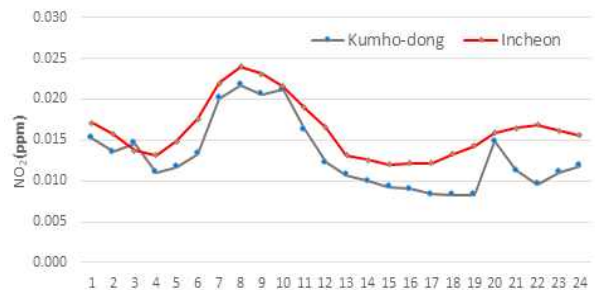


Fig. 28. NO₂ change over the 24-hour period

3.3.1.3 석남동 평화환경

중·소 규모의 공장들이 밀집해 있는 가좌공단 내 평화환경 지점은 미세먼지(PM-10, PM-2.5) 및 SO₂, NO₂ 등이 모든 시간대에서 인천평균 보다 높았다.

조사지점의 PM-10과 PM-2.5는 인천평균보다 각각 48.4 %, 83.3 % 높았으며 특히 10시부터 12시 사이에 높게 나타났으며 11시에 PM-10은 93 %, PM-2.5는 112.4 % 즉 두 배 이상이 높게 나타났다.



Fig. 29. PM-10 change over the 24-hour period

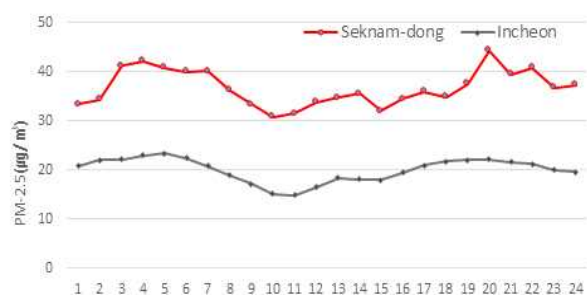


Fig. 30. PM-2.5 change over the 24-hour period

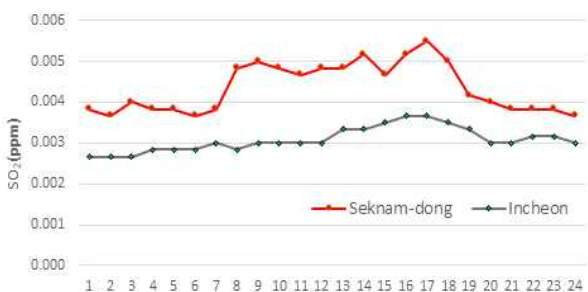


Fig. 31. SO₂ change over the 24-hour period



Fig. 32. NO₂ change over the 24-hour period

3.3.1.4 북항

북항 지점은 선박 운항과 부두 하역물의 운반 작업에 의한 날림먼지, 운반장비 등의 배출가스에 의한 영향을 받고 있으며 미세먼지 (PM-10, PM-2.5) 및 NO₂ 등이 모든 시간대에서 인천평균 보다 높았다. PM-10은 오전 8~10시, 14~16시에 인천평균보다 1.7 ~ 4배까지 높아져 인천평균이 52 µg/m³ 일 때 262 µg/m³를 나타내었다. 이는 조사지점 인근에서 발생하는 작업에 의한 영향을 직접 받는 것으로 판단된다.

SO₂는 인천평균과 비슷한 농도와 경향을 보였으나, NO₂는 PM-10과 비슷한 시간대에 높게 나타나 같은 오염원에 의한 영향으로 추정된다. 조사지점의 PM-10과 PM-2.5를 인천평균과 비교해 보면 북항지점은 PM-10이 112 %, PM-2.5가 56.1 %로 PM-10 더 높은 비율을 나타내 입자 크기가 커서 인근 지점의 오염원의 영향을 직접 받는 것으로 추정된다.

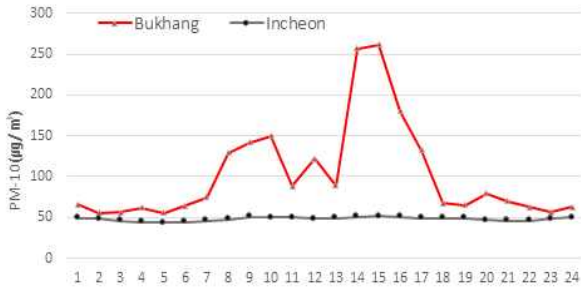


Fig. 33. PM-10 change over the 24-hour period

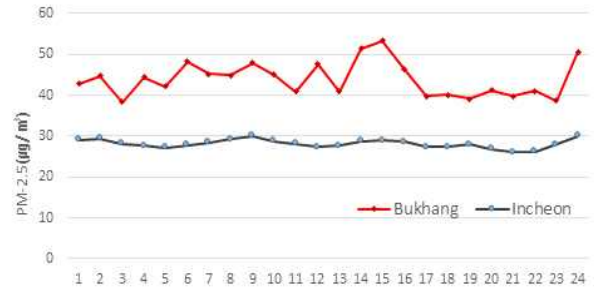


Fig. 34. PM-2.5 change over the 24-hour period

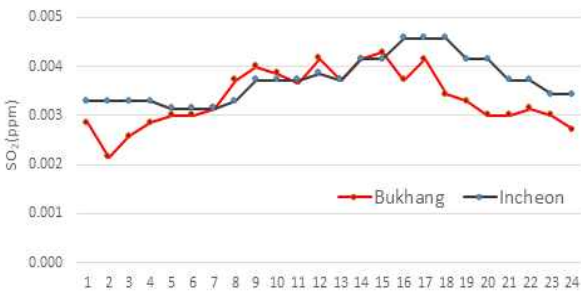


Fig. 35. SO₂ change over the 24-hour period

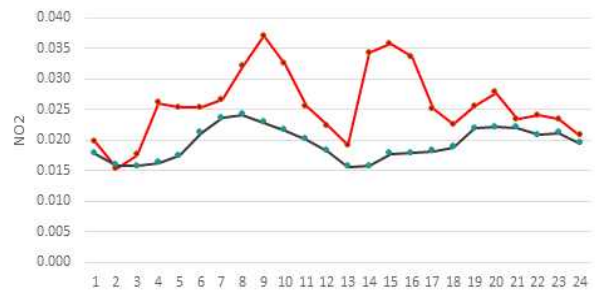


Fig. 36. NO₂ change over the 24-hour period

3.3.2 대기이동측정차량(하반기) 조사결과

대기질 우심지역 4개 지점에 대하여 8.18. ~ 9.16까지 지점별 일주일간 대기이동측정차량을 이용하여 조사한 결과는 table 9.와 같다. 지점별 항목별 평균값과 동일 기간 인천지역 도시대기 측정소 24개소의 평균값을 ()안에 나타내었다.

우심지역의 PM-10은 동일 기간 인천지역 평균보다 1.4 ~ 2.3배, PM-2.5는 1.8 ~ 2.5배 높았다. 조사지점과 인천평균과 비교 시, 북항지점은 PM-10이 2.3배, PM-2.5는 1.8배 높아 비교적 입

자가 큰 오염원이 주변에 있는 것으로 추정되며 나머지 3개 지점은 PM-2.5가 PM-10보다 더 높아 다른 경향을 보였다. 가스상 물질 중 SO₂는 석남동 평화환경지점은 인천평균보다 높았지만 나머지 지점은 같거나 낮게 나타났다. NO₂는 서부산업단지 관리공단 지점을 제외한 3개 지점에서 높았는데 석남동 지점이 0.031 ppm, 인천평균 0.017 ppm으로 약 2배 정도로 가장 높았다. O₃은 상반기 조사결과와 마찬가지로 인천지역 평균값이 우심지역 평균값보다 높았다.

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 ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)
대기환경기준	100이하 (24시간)	35이하 (24시간)	0.05이하 (24시간)	0.06이하 (24시간)	0.06이하 (8시간)	9이하 (8시간)
서부산업단지 관리공단(8.18~23)	31 (19)	22 (11)	0.003 (0.003)	0.015 (0.015)	0.031 (0.038)	0.4 (0.4)
금호동 복지센터(9.2~8)	23 (13)	15 (6)	0.001 (0.003)	0.015 (0.013)	0.026 (0.034)	0.4 (0.4)
석남동 (주)평화환경(8.25~31)	42 (30)	28 (16)	0.004 (0.003)	0.031 (0.017)	0.031 (0.039)	0.5 (0.5)
북항(9.10~16)	51 (22)	22 (12)	0.002 (0.003)	0.023 (0.016)	0.028 (0.037)	0.6 (0.4)

3.3.2.1 인천서부산업단지관리공단

조사지점 대기질에 영향을 미칠 수 있는 산업시설 가동, 교통량 변화 등의 영향을 파악하기 위해 각 시간별 변화를 그림으로 나타내었다.

미세먼지(PM-10)는 모든 시간대에서 서부산업단지 지점이 인천평균 보다 높았으며 그 차이가 5시까지는 $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 6시부터 $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하기 시작하여 7시에 $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 컸으며 12시까지는 등락을 반복하지만 타 시간대에 비해 높은 특징을 보였으며 PM-2.5도

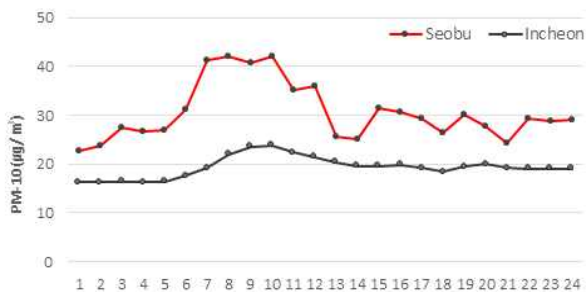


Fig. 37. PM-10 change over the 24-hour period

동일한 경향을 나타냈다.

SO₂는 일평균은 조사지점과 인천 평균이 동일하지만 시간별 비교 시에는 새벽 및 아침 시간대(4 ~ 8시)에는 1.2~1.5배 정도 높았고 다른 시간대에서는 같거나 조금 낮게 나타났다. NO₂는 인천평균과 동일한 경향을 보였다. 오존은 공간분포 조사지점이 인천평균 보다 20%정도 낮았으며 CO는 일평균 농도도 동일하고 시간대별 농도도 비슷한 경향을 보였다.

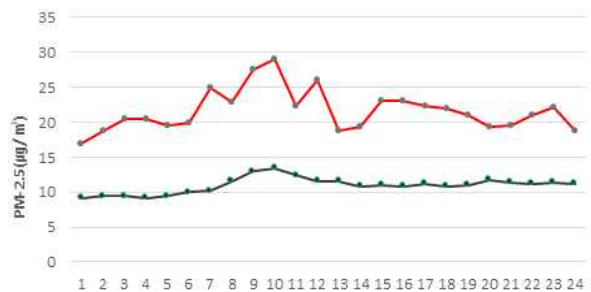


Fig. 38. PM-2.5 change over the 24-hour period

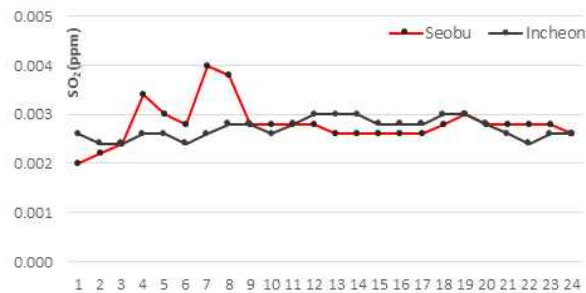


Fig. 39. SO₂ change over the 24-hour period

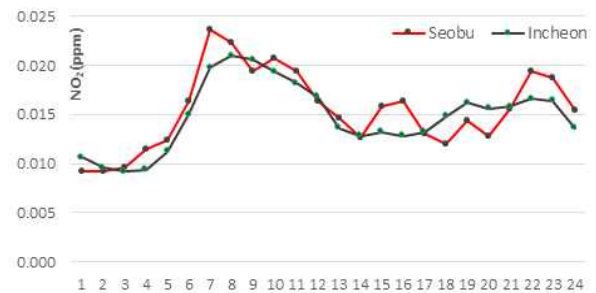


Fig. 40. NO₂ change over the 24-hour period

3.3.2.2 금호동 복지센터

미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 모든 시간대에서 조사지점이 인천평균 보다 높았으며 PM-10은 그 차이가 $4.0 \sim 17.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1.3 ~ 2.6배, PM-2.5는 $3.6 \sim 14.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1.6~3.2배 높았다.

NO₂는 조사지점이 0.015 ppm, 인천평균이 0.013 ppm으로 높았으며 6시부터 증가하여

8~9시에 가장 높았다가 감소하기 시작하여 15시까지는 낮은 농도를 보이다 16시부터 다시 증가하여 20~22시까지 높은 경향을 보여 차량운행에 의한 영향을 받는 것으로 판단된다.

오존은 조사지점이 인천평균 보다 32%정도 낮았으나, 시간별 농도 변화는 동일한 경향을 보였다. CO의 일평균 농도는 동일하고 시간대별 농도도 비슷한 경향을 보였다.



Fig. 41. PM-10 change over the 24-hour period



Fig. 42. PM-2.5 change over the 24-hour period

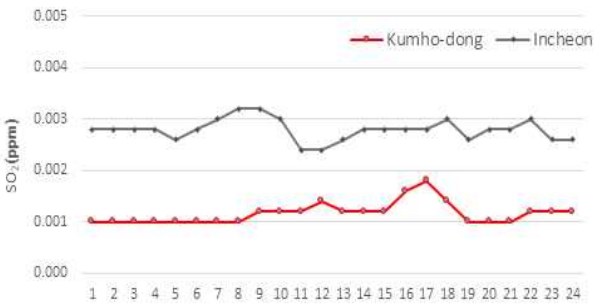


Fig. 43. SO₂ change over the 24-hour period

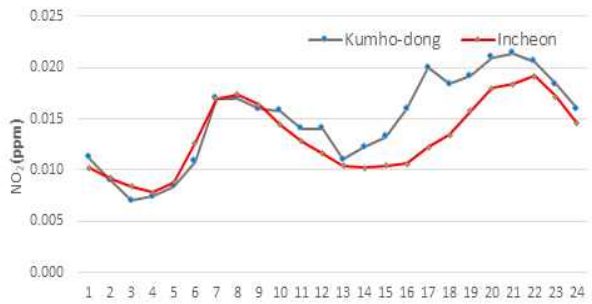


Fig. 44. NO₂ change over the 24-hour period

3.3.2.3 석남동 평화환경

상반기 조사결과와 마찬가지로 가좌공단 내 평화환경 지점은 미세먼지(PM-10, PM-2.5) 및 SO₂, NO₂ 등이 모든 시간대에서 인천평균 보다 높았다. PM-10과 PM-2.5는 인천평균대비 각각 43.8 %, 70.2 % 높았으며 PM-10은 7~19 시에 높았으며, PM-2.5도 주간시간대에 높은 농도를 나타냈다.

SO₂는 9~18시 사이에 농도가 높았으나 그 차가 크지는 않았다. NO₂의 농도는 0.021 ~ 0.046 ppm 범위이었으며 8시에 0.046 ppm으로 최대치를 보였으며 인천평균 대비 1.4~2.3배 높았으며 7~18시 사이에 높아 주변의 중·소규모 공장들의 조업에 의한 영향으로 판단된다.

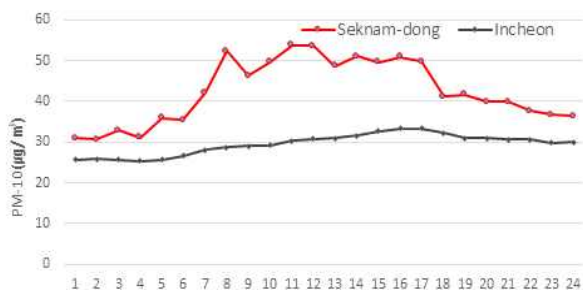


Fig. 45. PM-10 change over the 24-hour period



Fig. 46. PM-2.5 change over the 24-hour period

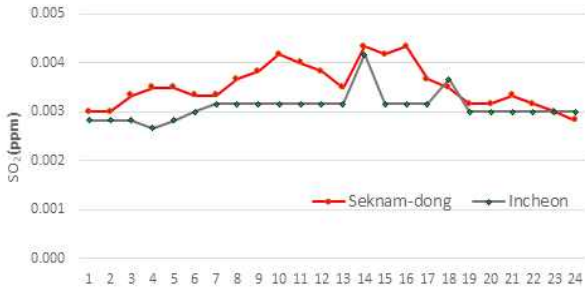


Fig. 47. SO₂ change over the 24-hour period

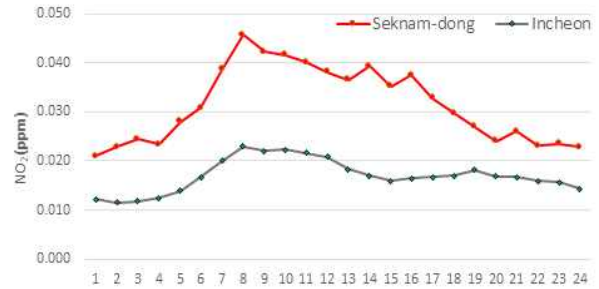


Fig. 48. NO₂ change over the 24-hour period

3.3.2.4 북항

북항 지점은 상반기와 동일하게 미세먼지 (PM-10, PM-2.5) 및 NO₂ 등이 모든 시간대에 서 인천평균 보다 높았다. PM-10은 29 ~ 122 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최대 최소의 차이가 4.3배로 시간대별 농도 차이가 크며 16시에 인천평균과의 차이가 최대 5.7배로 특정 시간대에 인근지역의 작업에 의한 영향으로 판단된다. PM-2.5는 16 ~ 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최대 최소의 차가 1.9배로 PM-10에 비해 낮았으며 오전 7시부터 16시 사이에 비교적 높은 농도를 보였다.

SO₂는 0.002 ppm, 인천평균은 0.003 ppm으로 인천평균보다 낮았으나 NO₂는 0.023 ppm

으로 인천평균 0.016 ppm 보다 높았으며 시간대 별로는 오전 6~11시까지 높았다가 12~13시에 낮아진 후 다시 증가하여 14시부터 19시까지 높은 후 감소하여 오전과 오후 특정 시간대에 높아져서 주변 영향에 의한 것으로 추정된다.

오존은 조사지점과 인천평균이 각각 0.029 ppm, 0.037 ppm으로 인천평균이 높으나 시간대 별 농도변화는 동일한 경향을 보였다. 일산화탄소는 조사지점이 0.6 ppm으로 인천평균 0.4 ppm 보다 높았으며 1~10시까지 0.7~0.8 ppm으로 높은 후 감소하는 추세를 19시까지 0.4 ppm으로 감소 한 후 다시 증가하는 패턴을 나타냈다.



Fig. 49. PM-10 change over the 24-hour period

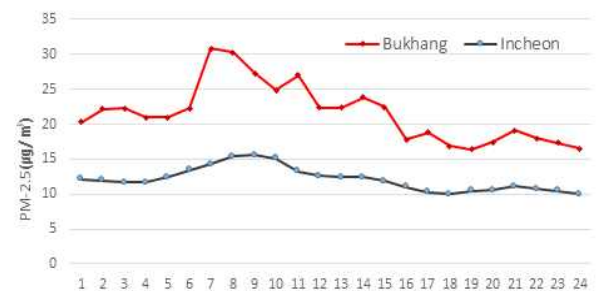


Fig. 50. PM-2.5 change over the 24-hour period

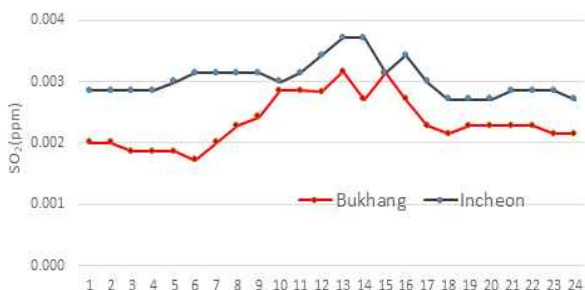


Fig. 51. SO₂ change over the 24-hour period

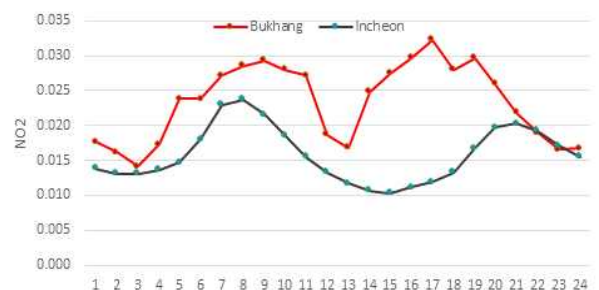


Fig. 52. NO₂ change over the 24-hour period

3.4. 미세먼지 성분조사 결과

대기질 우심지역 4개소 및 비교 지점으로 청라도시대기측정소에서 미세먼지(PM-10, PM-2.5) 시료를 하이볼륨 에어샘플러 2대를 이용하여 상·하반기 2회 시료를 채취하여 성분을 분석하였다.

3.4.1. PM-10 성분분석

대기 중 유기탄소(organic carbon; OC)는 오염원에서 입자형태로 직접 배출되거나, 광화학반응 등에 의해 입자로 변환된다. 반면에 원소탄소(elemental carbon; EC)의 경우는 대부분이 화석연료의 연소에 의해 대기중으로 직접 배출되는 1차 오염물질이다. 원소탄소는 일부가 토양, 도로분진, 공업 활동에 의해 대기중으로 배출된다. 자동차, 화석연료 연소 등에 의해 생성되는 질산염, 황산염, 암모늄염도 인위적인 오염물질로서 미세먼지 입자농도 증가에 기여한다.

미세먼지 성분을 탄소(유기탄소, 원소탄소), 이온(질산염 등 8종), 중금속류(철 등 20종), Unknown(미측정치로 일부 무기명, 유기물질 추정치 등)으로 분류하였을 때, 이온 > Unknown > 탄소 > 중금속류 순이었다.

이온성분은 가스상의 전구물질이 대기 중에서 변환되어 생성된 2차 오염물질인 질산염(NO_3^-), 황산염(SO_4^{2-}), 암모늄염(NH_4^+)등이 대부분을 차지하였으며 가좌수탁지점을 제외하고는 황산염 > 암모늄염 > 질산염의 순이었다. 조사지점별로 탄소 성분은 서부산단이 15%, 이온류는 가좌수탁 지점이 79%, 중금속류는 북항 지점이 10% 가장 높게 나타나 지점별 차이를 보였다.

북항지점의 중금속류 농도는 다른 4개 지점 및 배경농도로 조사한 청라측정소 지점보다 높게 나타났으며 특히 철의 경우 1차 조사 시 $5.4 \sim 38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2차 조사 시 $1.7 \sim 3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 일 최대 $38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 농도가 매우 높았으며, 1, 2차 평균 농도도 $8.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 배경농도인 청라측정소 평균 $0.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 22.7배 정도 높았다.

Table 10. PM-10 component analysis

	탄소	이온	중금속류	Unknown
서부산단	15%	43%	6%	36%
가좌수탁	11%	79%	4%	6%
금호마을	10%	46%	5%	39%
북항	7%	51%	10%	31%
청라측정소	15%	66%	2%	17%



Fig. 53. PM-10 component analysis

또한 티타늄, 바나듐, 크롬, 망간, 납 등도 가장 높았는데, V(바나듐)의 주 배출원은 중유연소, 발전소, 선박 등으로 북항지점에서 1차 $0.0085 \sim 0.0437 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2차 $0.0057 \sim 0.0132 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균 $0.0152 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 타지점 평균치 ($0.0010 \sim 0.0026 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 5.9 ~ 15.2배로 매우 높게 나타나 주 배출원인 선박, 중유연소, 발전소 등에 의한 영향을 받는 것으로 추정된다.

북항 지점뿐만 아니라 다른 지점들도 인위적 배출원에 의한 항목들인 Pb, Cr, Cu, Zn, As, Mn, V 등의 농도가 인근 배경지점보다 높게 나타났다.

Table 11. PM-10 component analysis(the mean of first and second half)

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

	PM-10	OC	EC	Cl	NO ₃	SO ₄	Na	NH ₄	K	Ca	Mg
서부산단	45	6.0	0.6	0.777	1.390	8.408	0.678	6.254	0.112	0.494	1.454
가좌수탁	58	5.5	0.7	1.652	11.679	17.246	1.139	11.280	0.305	0.725	1.931
금호마을	46	4.1	0.4	0.165	1.030	10.083	0.465	7.391	0.150	0.783	1.032
북항	94	6.2	0.8	0.598	7.644	19.057	0.957	14.797	0.154	1.345	3.525
청라측정소	21	2.8	0.3	0.117	1.131	7.079	0.542	4.193	0.095	0.147	0.622

Table 12. Heavy metals in PM-10

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

	서부산단	가좌수탁	금호마을	북항	청라측정소
Be	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Ti	0.0318	0.0309	0.0424	0.8430	0.0076
V	0.0011	0.0026	0.0010	0.0152	0.0017
Cr	0.0132	0.0126	0.0155	0.0117	0.0021
Mn	0.0684	0.0706	0.0920	0.1276	0.0130
Co	0.0010	0.0008	0.0011	0.0044	0.0001
Ni	0.0095	0.0121	0.0189	0.0105	0.0006
Cu	0.1335	0.0538	0.0384	0.0684	0.0212
Zn	0.5282	0.2955	0.1800	0.4746	0.0419
As	0.0038	0.0030	0.0025	0.0043	0.0015
Se	0.0036	0.0038	0.0029	0.0028	0.0004
Sr	0.0053	0.0059	0.0081	0.0107	0.0007
Mo	0.0043	0.0035	0.0034	0.0015	0.0002
Cd	0.0011	0.0013	0.0004	0.0003	0.0000
Sb	0.0065	0.0064	0.0043	0.0038	0.0010
TI	0.0077	0.0013	0.0001	0.0000	0.0000
Pb	0.0193	0.0268	0.0143	0.0255	0.0020
Fe	1.6908	1.7950	1.9627	8.0031	0.3528

3.4.2. PM-2.5 성분분석

초미세먼지(PM-2.5) 중량의 가장 많은 부분을 차지하는 것은 PM-10과 마찬가지로 이온 성분으로 지점별로 24 ~ 83 % 범위를 나타내었으며 황산염 > 암모늄염 > 질산염 순이었다.

특히 가좌수탁지점과 북항지점은 이온성분이 전체 중량의 3 %, 68 %로 매우 높았으며 황산염과 암모늄염의 농도가 높아 주변 오염원에 의한 영향으로 판단된다.

조사지점별로 탄소 성분은 서부산단이 16 %, 이온성분은 가좌수탁 지점이 83 %, 중금속류는 북항 지점이 5 % 가장 높게 나타나 지점별 차이를 보였는데 이는 PM-10의 성분 특성에도 동일한 결과를 보였다.

Table 13. PM-2.5 component analysis

	탄소	이온	중금속류	Unknown
서부산단	16%	43%	4%	37%
가좌수탁	13%	83%	2%	3%
금호마을	13%	24%	5%	58%
북항	10%	68%	5%	17%
청라측정소	19%	74%	1%	6%



Fig. 54. PM-2.5 component analysis

Table 14. PM-2.5 component analysis(the mean of first and second half)

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

	PM-2.5	OC	EC	Cl	NO ₃	SO ₄	Na	NH ⁴	K	Ca	Mg
서부산단	27	4.1	0.3	0.392	0.551	6.784	0.363	3.373	0.061	0.047	0.079
가좌수탁	31	3.5	0.4	0.602	3.583	12.464	0.485	8.405	0.073	0.018	0.044
금호마을	21	2.6	0.2	0.045	0.400	1.396	0.305	2.532	0.071	0.153	0.066
북항	45	3.9	0.5	0.198	2.887	15.461	0.372	11.446	0.083	0.167	0.191
청라측정소	10	1.7	0.2	0.022	0.276	4.183	0.308	2.541	0.049	0.003	0.007

북항지점의 중금속류 농도는 다른 4개 지점 및 배경농도로 조사한 청라측정소 지점보다 높게 나타났으며 철의 경우, 평균 농도도 $1.6414 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 배경지점인 청라측정소 평균 $0.0547 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 30배 높았으며 다른 지점보다 2.2 ~ 4.4배 높게 나타나 주변 지역에 의한 영향으로 보인다.

또한 PM-10과 마찬가지로 티타늄, 바나듐, 망간, 납 등도 가장 높았는데, V(바나듐)의 주 배

출원은 중유연소, 발전소, 선박 등으로 북항지점에서 평균 $0.0041 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 타지점 평균치 ($0.0011 \sim 0.0022 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 높게 나타나 주 배출원인 선박, 중유연소, 발전소 등에 의한 영향을 받는 것으로 추정된다.

북항 지점뿐만 아니라 다른 지점들도 인위적 배출원에 의한 항목들인 Pb, Cr, Cu, Zn, As, Mn, V 등의 농도가 인근 배경지점보다 높게 나타났다.

Table 15. Heavy metals in PM-2.5

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

	서부산단	가좌수탁	금호마을	북항	청라측정소
Be	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ti	0.0095	0.0059	0.0095	0.1086	0.0113
V	0.0015	0.0011	0.0022	0.0041	0.0003
Cr	0.0046	0.0078	0.0055	0.0066	0.0042
Mn	0.0361	0.0359	0.0520	0.0524	0.0061
Co	0.0001	0.0001	0.0001	0.0007	0.0000
Ni	0.0029	0.0038	0.0123	0.0056	0.0005
Cu	0.0780	0.0186	0.0256	0.0297	0.0079
Zn	0.3268	0.1361	0.2129	0.2565	0.0257
As	0.0023	0.0014	0.0023	0.0008	0.0003
Se	0.0006	0.0016	0.0006	0.0019	0.0004
Sr	0.0006	0.0008	0.0009	0.0018	0.0000
Mo	0.0010	0.0008	0.0018	0.0008	0.0000
Cd	0.0000	0.0006	0.0001	0.0002	0.0000
Sb	0.0019	0.0028	0.0022	0.0020	0.0005
Tl	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Pb	0.0102	0.0144	0.0110	0.0150	0.0020
Fe	0.5116	0.3712	0.7373	1.6414	0.0547

3.5. 대기질 우심지역 주변 배출업소 현황

대기오염물질 배출업소에 대한 행정기관(시, 서구청)의 자료를 이용하여 우심지역 4개 지점 반경 1km 범위내의 배출업소를 표시하였다.

북향 주변의 배출업소는 많지 않지만 PM-10, SO₂ 등의 오전 오후 특정시간대에서 높은 후 다시 낮아지는 등 시간별 변화, 미세먼지 성분분석결과 철, 바나듐 등이 높아 선박 운항 및 주변 항만주변 적재물(철광석 등)

작업에 따른 영향으로 판단된다. 가좌수탁처리 업체 주변에는 우심지역 4지점 중 가장 많은 대기오염물질 배출원이 산재해 있으며, 금호마을, 서부산단 지점 주변에도 배출원이 많이 있는 것을 확인할 수 있다. 조사지점의 대기질 특성과 주변 배출원의 배출오염물질과 배출량 등을 파악하여 주요 점검대상을 선정하여 체계적으로 관리할 필요가 있다.

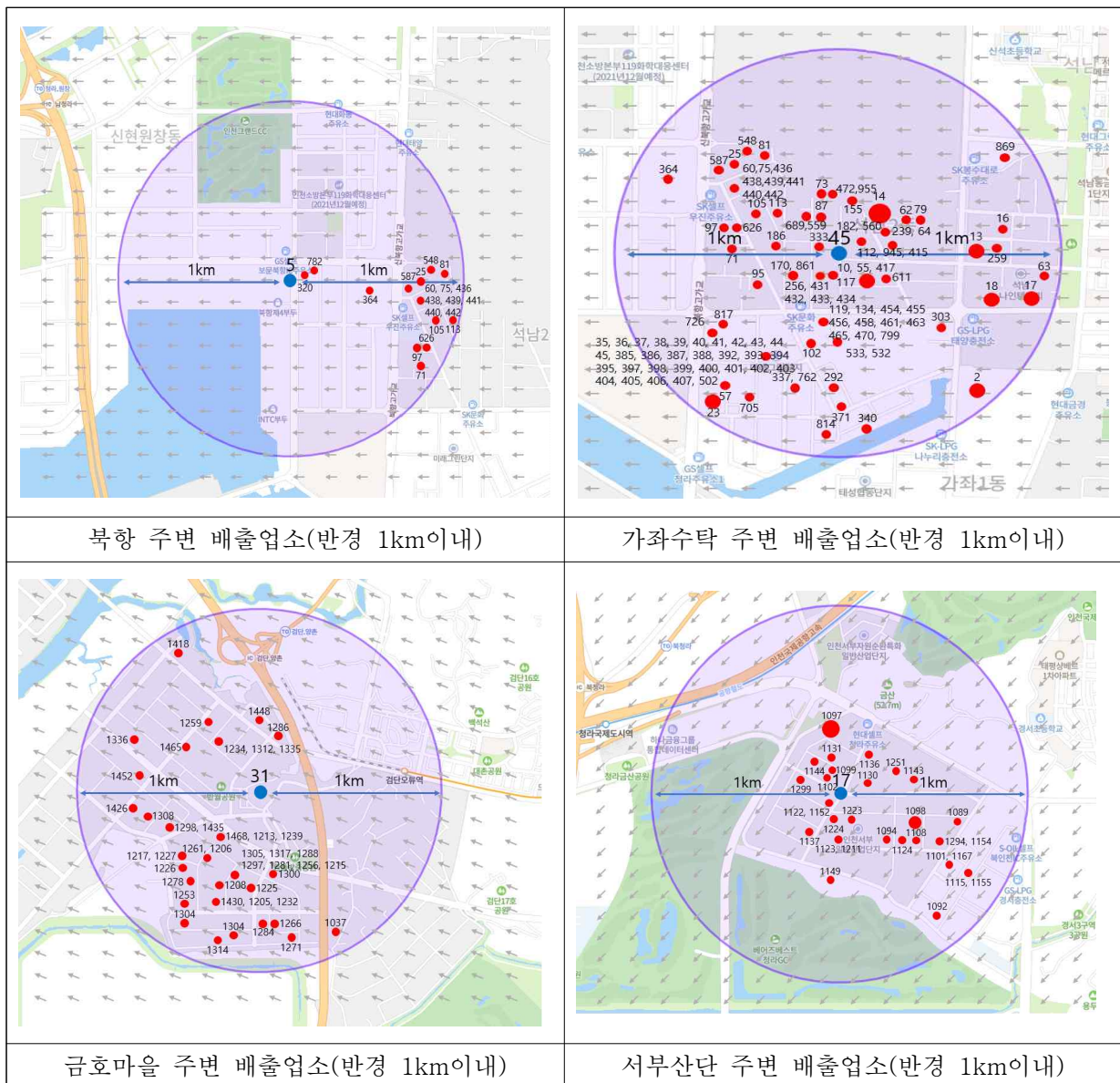


Fig. 55. Air pollutant emission sources in 1km radius of air quality concern sites.

IV. 결론

발전소, 소각장, 매립지 및 산업단지 등 다양한 대기오염배출원이 산재한 서구지역을 대상으로 수동확산 시료채취기를 이용해 대기오염 물질의 공간적 분포를 파악하고 오염도가 높은 우심지역에 대해서는 대기이동측정차량 연속 조사 및 미세먼지 성분분석 등 지역 대기질에 영향을 미치는 오염원에 대한 정밀조사를 실시한 결과는 다음과 같다.

대기오염물질 공간분포지도를 작성하여 자료를 시각화하여 고농도 지역을 쉽게 파악할 수 있게 한 결과, 조사 시기별 농도의 차이는 있지만 고농도 지역은 매번 높게 나타났으며 NO₂는 선박 운항과 항만 작업 등의 영향을 받는 북항지점과 폐수수탁처리업체, 중소규모 공장들이 밀집한 가좌중소기업형공장 주변지점이 높았으며, SO₂는 인천로봇랜드, 북항 지점, LNG발전소, 인천서부산업단지에 위치한 지점들이 높아 발전시설과 항만, 산업단지의 영향을 받는 것으로 추정되며 NH₃는 가좌산업단지 내에 지점들과 검단산업단지 주변지점에서 비교적 높아 주로 산업부분에서 발생하고 있고 VOCs는 검단산업단지 및 가좌수탁처리업체 주변지점에서 높게 나타나 생산 활동의 영향을 받는 것으로 판단된다.

대기질 우심지역의 PM-10, PM-2.5는 동일 기간 인천지역 평균보다 각각 1.4 ~ 2.3배, 1.6 ~ 2.5배이었으며 북항지점이 가장 높았고 가스상 물질 중 SO₂는 우심지역 평균값과 인천지역 평균값이 비슷한 농도를 보였으나, NO₂는 석남동 (주)평화환경, 북항 지점이 인천 평균보다 높게 나타났다. 그러나 지점별 시간대별 농도변화를 보면 출퇴근에 의한 교통량 증가, 생산시설 가동 등에 의한 영향을 유추할 수 있는 특정시간대에 높아지는 경향을 보였다.

미세먼지 성분 분석결과, 가장 많은 부분을 차지하는 것은 이온성분으로 PM-10은 43~79 %,

PM-2.5는 24~83 % 범위로 황산염 > 암모늄염 > 질산염 순이었다. 특히 PM-2.5는 가좌수탁지점과 북항지점은 이온류가 전체 중량의 83 %, 68 %로 매우 높았으며 황산염과 암모늄염의 농도가 높아 주변 오염원에 의한 영향으로 판단된다. 중금속중 철은 북항 지점이 배경지점인 청라 측정소보다 PM-10은 23배 PM-2.5는 30배로 매우 높았으며 티타늄, 바나듐, 망간, 납 등도 높았는데 이는 주 배출원인 선박, 중유연소, 발전소 등에 의한 영향을 받는 것으로 추정된다. 북항 지점뿐만 아니라 다른 지점들도 인위적 배출원에 의한 항목들인 Pb, Cr, Cu, Zn, As, Mn, V 등의 농도가 인근 배경지점보다 높게 나타났다.

공간분포 조사결과, 고농도 지역은 주기적 모니터링으로 농도 변화를 모니터링하고 대기질 우심지역은 주변 배출시설의 오염물질 종류, 배출량 등을 파악하여 주요 관리대상을 선정하여 배출시설 허용기준 준수여부 등 관리를 강화해야 하며, 북항지점은 미세먼지 저감을 위한 선박배출 오염물질 관리, 날림먼지 비산 방지 등 항만 대기질 개선 사업추진 상황을 지속적으로 점검할 필요가 있다.

V. 참고문헌

1. 황인조, 이승묵, 박진수(2010) EPA-PMF 모델을 이용한 집중측정소 24시간 PM-2.5 자료에 대한 오염원 기여도 추정, 한국대기환경학회, 36(5), 620-632.
2. 구태완, 홍민선, 문수호, 김호정(2019) PMF 모델을 이용한 도심지역 PM-2.5 오염원 기여도 분석, 한국대기환경학회, 36(3), 905-914
3. 신동원(2018), 미세먼지(PM-2.5)개선을 위한 암모니아 관리 필요성과 정책방안, KEI(한국환경정책·평가 연구원) 포커스
4. 국가미세먼지정보센터/국가 대기오염물질 배출량 서비스(airemiss.nier.go.kr)
5. 수도권대기환경정보 (6월)

6. 유승성, 김홍주, 김홍기, 허미숙, 임성철, 선우영, 정권, 김주형(2006) 종로 지역 VOCs와 NOx의 오존생성 기여도에 대한 평가, 한국대기환경학회 2006 추계학술대회 논문집, 314-316.
7. 유희중, 김현주, 송영재, 이충대, 하현섭(2009), 인천시 미세먼지(PM-10) 발생 특성 평가, 인천보건환경연구원 환경조사과
8. 2019년 서울시 초미세먼지 성분분석보고서, 서울시보건환경연구원