

지역대기질 개선을 위한 미세먼지 중 오염성분 및 계절특성 조사

성지홍, 이정민, 이명진, 최종규, 민성은, 정일진, 김기문, 전용성, 방기인, 김주원, 김용희

인천보건환경연구원 환경조사과

Composition and Seasonal Characteristics of Fine Particles (PM₁₀, PM_{2.5}) at Cheongna and Shinhung Site of Incheon

Ji-Hong Seong, Chong-Min Lee, Myung-Jin Lee, Jong-Kyu Choi, Seong-Eun Min,
Il-Jin Jung, Ki-Moon Kim, Yong-Seong Jun, Ki-In Bang, Joo-Won Kim, Yong-Hee Kim

Division of Environment Research, Incheon Institute of Public Health and Environment

ABSTRACT

Presence of atmospheric particles in the Incheon area of fine particles(PM₁₀, PM_{2.5}) to investigate the contamination status and to configure the particles to determine the chemical properties of dust sources and the estimation of the contribution reduction of fine particles and dirt contamination of the management policy to provide the data for establishing the international city of Chungna and sinheung-dong performed by targeting regions were as follows. The average mass concentration of PM₁₀ in Cheongna $60.7 \pm 24.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} $30.6 \pm 15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ showed as, unhealthy contain high concentrations of PM_{2.5} have been. The concentration of the ionic component of PM₁₀ $16.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, the carbon content was about $14.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, trace metals component contained ratio is about 7.9%. The average mass concentration of PM₁₀ in sinheung-dong $59.0 \pm 26.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} was $36.1 \pm 16.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ levels. The concentration of the ionic component of PM₁₀ $18.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , etc concentration were higher in the three components, the carbon content were about $13.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, trace metals component ratio of about 5.6%.

Performed by PMF modeling results, the major source of PM₁₀ in the region Cheongna were motor vehicle, industry, sea salt, combustion, soil, secondary aerosol. The major source of PM_{2.5} were motor vehicle, secondary aerosol, road dust and soil, combustion, sea salt, ferrous related sources. The major source of PM₁₀ in the region Sinheung were sea salt, soil, secondary aerosol, motor vehicle, industry (Pb related), combustion (oil source), including 6, PM_{2.5} were residual oil combustion, motor vehicle and motor vehicle(Si related), coal combustion, secondary aerosol, road dust(soil) was the major source.

The result of the backward trajectory analysis indicate that particles(PM₁₀, PM_{2.5}) of Cheongna were high when air particles moved from direction of the north-west. PM₁₀ in the region Cheongna was highest when the north-west direction, PM_{2.5} was highest when the south-west direction. Both PM₁₀ and PM_{2.5} in the Sinheung region were much affected by the direction of the North-west.

Key Words : PM₁₀, PM_{2.5}, PMF, HYSPLIT, Cheongna, Sinheung

1. 서론

일반적으로 대기오염물질은 입자상 물질과 가스상 물질로 구분 할 수 있으며, 입자상 물질은 화산폭발에 의한 화산재, 식물의 꽃가루 등과 같이 자연적인 요인과 쓰레기 소각로, 화력발전소, 난방기구, 수송차량 등의 연료 연소나 산업 활동 등에 의한 인위적 요인에 의해 발생한다. 이렇게 대기 중에 배출된 입자상 물질은 짧게는 수일에서 수주 동안 머무르지만 길게는 수개월에서 수년 동안 체류하며 주변 환경에 지속적으로 영향을 미치게 된다.

우리나라의 경우 직경이 $10\mu\text{m}$ 이하인 먼지(PM10)에 대해 대기환경기준을 설정하여 미세먼지를 관리(1995년)하고 있다. 특히 PM10보다 입자가 작아 폐에 보다 깊숙이 쌓여 인체에 더 유해한 PM2.5(초미세먼지, 직경 $2.5\mu\text{m}$ 보다 작은 먼지)에 대해서는 2011년 3월에 대기환경기준을 마련하였으며, 2015년 기준 적용에 앞서 지금은 제반 시설 구축과 제도 마련을 추진 중이다.

인천광역시는 2012년 10월 녹색기후기금(Green Climate Fund, GCF) 사무국 유치 성공을 계기로 글로벌 녹색 경제수도가 되도록 박차를 가하고 있으며, 향후 2014년 인천아시아경기대회 등 다양한 국제행사 개최가 예정되어 있어 보다 쾌적한 대기환경조성을 위해 다방면으로 노력하고 있다. 특히 도로 물청소와 비산먼지 사업장의 엄격한 관리, 항만 에코호퍼 도입 등의 적극적인 미세먼지 저감사업을 진한 결과 미세먼지농도가 '07년 $64\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 '09년 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$, '11년 $55\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 지속적으로 감소하였으며, '12년 말에는 $47\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 국가환경기준($50\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 달성하는 성과를 이루었다.

그럼에도 불구하고 미세먼지는 수용성 이온성분과 산화된 형태의 금속성분, 유기탄소와 무기탄소를 포함한 탄소성분 그리고 수분 등 다양한 성분으로 구성되어 있어 지역별 먼지의 특성이 다르기 때문에 효율적인 먼지저감 정책을 수립하기 위해서는 해당 지역에 대한 충분하고 면밀한 자료를 근거로 한 정확한 이해가 필요하다. 따라서 먼지농도의 지속적인 측정과 함께 먼지를 구성하고 있는 이온성분이나 탄소성분 등 화학적 조성에 대한 분석도 병행 되어야 한다.

이에 본 연구에서는 아시안게임 주경기장과 인접하고 있고 경제자유구역 조성으로 현재 공사가 활발히 진행되고 있는 청라지역과 먼지 우심지역인 신흥동 지역을 대상으로 대기 중 존재하는 미세먼지와 초미세먼지의 오염성분 특성을 조사하였다. 또한 미세먼지 오염원별 기여도를 산정하고 그 자료를 제공함으로써 시민건강보호와 지역 대기질 개선을 위한 정책 수행에 기여하고자 한다.

2. 조사방법

2.1 조사대상

1) 청라지역(청라중학교)

청라지역에서의 시료채취는 인천광역시 서구의 청라국제도시에 위치한 청라중학교에서 실시하였고, 이 지역은 인천광역시 경제자유구역 중의 하나로서 국제도시로의 변모를 위해 다양한 변신을 꾀하고 있다. 특히 SOC를 바탕으로 도시시설 기반공사와 대규모 아파트 건설공사가 진행 중이며, 주변지역에는 수도권매립지, 주물공단, 북항, 발전소 등이 산재해 있다.

2) 신흥지역(보건환경연구원)

신흥지역에서의 시료채취는 인천시 중구 신흥동 소재 보건환경연구원에서 실시하였고, 주변 환경으로는 구도심과 인접한 곳으로 인근에 인천항만 및 물류단지, 그리고 다양한 산업단지 등과 연결되어 있다.

2.2 조사항목 및 방법

청라 및 신흥지역에서 수행되는 연구에서 조사항목은 크게 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5)를 대상으로 하였고, 세부적으로는 첫째, PM10, PM2.5의 지역별 질량(Mass) 농도, 두 번째는 이들 먼지의 성분조사를 위해 이온성분, 미량금속성분, 탄소성분을 조사하였다. 이온성분의 경우 양이온 5종(K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^+)과 음이온 3종(SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) 등 총 8종을 분석하였고, 미량금속성분의 경우 총 19(Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Ca, Cr, Al, Mg, Si, P, Ti, V, Ni, As, Se, Cd, Sn, Sb)을 분석하였으며, 탄소성분은 유기탄소(OC)와 무기탄소(혹은 원소탄소, EC) 등 총 2종을 분석대상으로 하였다. 또한 조사대상지역의 기상(풍향, 풍속, 온도, 습도 등) 상태를 파악하기 위하여 AWS(Automatic

Weather System)을 설치하였다.



<그림 1> 조사지점(청라지역과 신항지역)



<청라중학교>



<보건환경연구원>

<표 1> 조사항목 및 분석 방법

조사항목	세부항목	분석방법
PM10, PM2.5	질량농도-mass concentration of PM10, PM2.5	Gravimetric method
	이온성분-양이온(5종) : K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ 음이온(3종) : SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-	Ion Chromatography
	미량금속 : Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Ca, Cr, Al, Mg	ICP-MS
	탄소성분 : Organic Carbon(OC) Element Carbon(EC)	Thermal Optical Transmittance



<그림 2> 하이볼륨 에어샘플러(좌) 및 로우볼륨 에어샘플러(우)

3. 조사결과 및 고찰

청라국제도시 및 신항동지역에 대해 대기중 존재하는 먼지중 미세먼지(PM10)과 초미세먼지(PM2.5)에 대한 오염현황을 조사하고, 미세먼지를 구성하는 화학적 특성을 파악하여 미세먼지의 오염원과 기여도를 산정하여 미세먼지의 오염저감과 먼지 관리정책 수립을 위한 자료를 제공하기 위해 수행한 결과는 다음과 같다.

3.1. 청라지역

1) 미세먼지 오염현황

청라지역의 미세먼지(PM10) 오염도 수준은 평균 $60.7 \pm 24.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 초미세먼지(PM2.5)는 $30.6 \pm 15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 보였고, PM2.5/PM10 비율은 50.4%로서 미세먼지 중에는 건강에 더 좋지 않은 많은 양의 초미세먼지를 포함하고 있음을 알 수 있었다.

동기간 인천지역 전체 평균농도와 비교했을 경우 미세먼지는 약 16.2%, 초미세먼지는 약 13.8% 정도 높게 검출되었으며, 청라지역의 미세먼지 오염도가 약간 더 높음을 알 수 있었다.

계절별 오염도는 겨울을 제외하고, 황사 유입에 의한 오염증가도 원인으로 작용했지만, 기반 및 도로 등의 공사가 가장 활발하게 진행되었던 봄철이 가장 높았고, 강우에 의한 위상효과 및 도로 먼지 청소차량의 주기적 운영을 시작한 여름철이 가장 낮았다.

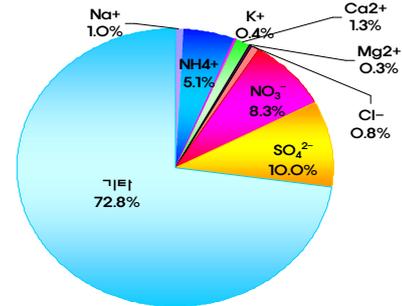
2) 이온성분 함유특성

미세먼지(PM10)중 이온성분의 함유농도는 $16.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 질량 비율로 약 27.2%가 이온성분으로 구성되어 있으며, 초미세먼지(PM2.5)는 $9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 약 31.5%의 질량 비율을 보였다. 이 결과로부터 미세먼지(PM10) 보다는 PM2.5가 더 많은 이온물질이 함유되어 있는 것으로 나타났다.

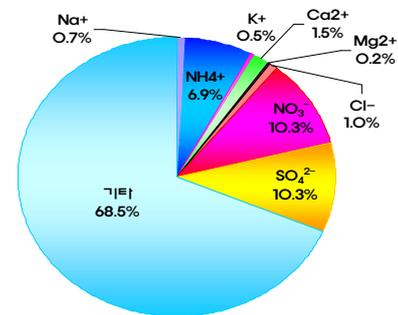
이온성분별로는 미세먼지(PM10)과 초미세먼지(PM2.5) 모두 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 그리고 NH_4^+ 의 농도가 가장 높게 검출되었으며, SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ 각 성분에 대한 질량 비율은 PM10의 경우 각각 10.0%, 8.3%, 5.1%, PM2.5의 경우 각각 10.3%, 10.3%, 6.9%로서 이들 세 가지 이온성분이 차지하는 비율이 PM10은 86.0%, PM2.5는 87.4%로 매우 높았으며, 산성을 나타내는 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 가 더 높게 함유되어 있었다.

계절에 따른 이온성분 함유농도는 미세먼지

(PM10)과 초미세먼지(PM2.5) 모두 봄철에 각각 $22.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 강우가 많은 여름에는 $12.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았으며, 가을이 $14.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $7.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 그 중간 수준으로 조사되었다.



a) PM10



b) PM2.5

<그림 3> PM 중의 이온성분 분율(청라)

3) 탄소성분 함유특성

청라지역의 미세먼지(PM10) 중 탄소성분은 약 $14.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준이었고, 이중 유기탄소(OC)는 $10.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 무기탄소(EC)는 $4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준이었다.

초미세먼지(PM2.5) 중의 탄소성분은 약 $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 이중 OC는 $4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, EC는 $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준을 보였다.

미세먼지 중의 OC/EC Ratio는 2.4를 보였고, 초미세먼지 중의 OC/EC Ratio는 2.1 수준을 보였다.

미세먼지 중의 OC와 EC의 계절별 수준은 가을>봄>여름 순이고, 초미세먼지의 경우도 OC는 미세먼지와 동일한 경향을 보였고, EC는 봄>가을>여름 순이었다.

4) 중금속성분

청라지역의 미세먼지(PM10) 중 미량금속 성분의 비율은 약 7.9% 수준이고, 검출된 주요 미량금속 성분의 수준은 Fe>Ca>Al>Si>Mg>Zn>Cu 등 순을 보였다. 초미세먼지(PM2.5) 중의 미량금속은 약 3.3% 수준으로 조사되었고, 검출된 미량금속은 P>Fe>Mg>Ca>Si>Al>Zn>등 순을 보였다.

계절별 미량금속 성분의 수준을 살펴보면, 미세먼지의 경우 봄이 가장 높았고, 다음이 여름, 가을 순이었고, 초미세먼지의 경우도 같은 경향을 보였다.

3.2. 신흥동지역

1) 미세먼지 농도

신흥지역의 미세먼지(PM10) 오염도는 평균 $59.0 \pm 26.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준이었고, 초미세먼지(PM2.5)의 경우는 $36.1 \pm 16.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준을 보였고, PM2.5/PM10 비율은 61.2%를 보였다. 이는 동기간 인천지역 전체 평균농도보다 PM10은 약 13.0%, PM2.5는 약 29.9% 높은 수준이었다.

계절별로는 겨울을 제외하고, 봄철이 가장 높았고, 다음이 가을, 여름 순이었다.

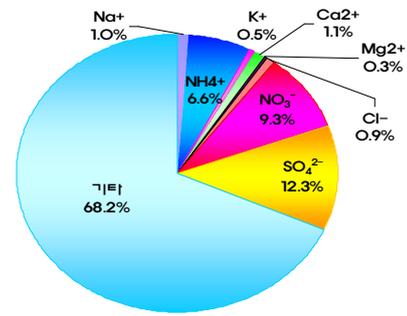
2) 이온성분

미세먼지(PM10) 중 이온성분의 농도는 $18.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전체 PM10 중 약 31.8%를 차지하였으며, 초미세먼지(PM2.5)는 $13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 38.6%의 질량 분율을 나타내었다.

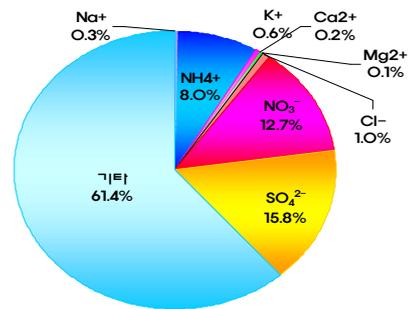
PM10과 PM2.5 모두 SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ 등 세 가지 성분의 농도가 가장 높았으며, 이들 개별 성분이 차지하는 비율은 PM10은 각각 12.3%, 9.3%, 6.6%, PM2.5는 각각 15.8%, 12.7%, 8.0%로서 이온성분의 대부분(PM10은 88.4%, PM2.5는 94.6%)을 차지하였다.

PM10과 PM2.5 모두 산성이온인 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 를 중화시키는 NH_4^+ 의 농도가 가장 높은 것으로 나타났다.

계절별로는 PM10과 PM2.5 모두 날씨가 건조한 봄이 각각 $26.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $20.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았으며, 그 다음으로 여름($15.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $11.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 가을($11.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순이었다.



a) PM10



b) PM2.5

<그림 4> PM 중의 이온성분 분율(신흥)

3) 탄소성분

신흥지역의 미세먼지(PM10) 중 탄소성분은 약 $13.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준이었고, 이중 유기탄소(OC)는 $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 무기탄소(EC)는 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준이었다.

초미세먼지(PM2.5) 중의 탄소성분은 약 $5.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 이중 OC는 $3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, EC는 $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준을 보였다. PM10 중의 OC/EC Ratio는 2.4를 보였고, PM2.5 중의 OC/EC Ratio는 2.9 수준을 보였다.

PM10 중의 OC와 EC의 계절별 수준은 봄>가을>여름 순이고, 초PM2.5의 경우도 OC는 미세먼지와 동일한 경향을 보였고, EC는 봄>여름>가을 순이었다.

4) 중금속성분

신흥지역의 미세먼지(PM10) 중 미량금속 성분의 비율은 약 5.6% 수준이고, 검출된 주요 미량금속 성분의 수준은 Fe>Ca>Si>Al>Mg>Zn 등 순을 보였다.

초미세먼지(PM2.5) 중의 미량금속은 약 4.2% 수준으로 조사되었고, 검출된 미량금속은 Si>Fe>Ca>Zn>Mg>Pb 등 순을 보였다.

계절별 미량금속 성분을 살펴보면, PM10의 경

우 봄이 가장 높았고, 다음이 가을, 여름 순이었 고, PM2.5지의 경우도 같은 경향을 보였다.

<표 2> 조사대상 지역의 미세먼지(PM10, PM2.5) 구성성분 농도 및 비율

		농도	이온성분	탄소성분	미량금속	
청라 지역	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	60.7	16.5	14.9	4.8
		%	100.0%	27.2%	24.6%	7.9%
	PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	30.6	9.6	6.5	1.0
		%	100.0%	31.5%	21.2%	3.3%
신흥 지역	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	59.0	18.7	13.3	3.3
		%	100.0%	31.8%	22.5%	5.6%
	PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	36.1	13.9	5.1	1.5
		%	100.0%	38.6%	14.1%	4.2%

3.3. PMF 모델링

1) 청라지역 미세먼지

청라지역의 미세먼지(PM10)에 대한 모델링을 수행한 결과 주요 배출원으로는 motor vehicle, industry, sea salt, combustion, soil, 그리고 secondary aerosol 등 6개로 추정되었다.

6가지 배출원에 대한 기여율은 각각 secondary aerosol이 27.5%, 차량오염원이 24.9%, 석탄, 석유, 천연가스등에 의한 연소가 22.5%, 산업시설에 의한 오염원이 11.1%, 토양오염원이 10.1%, 해염에 의한 오염원이 3.9% 순으로 나타났다.

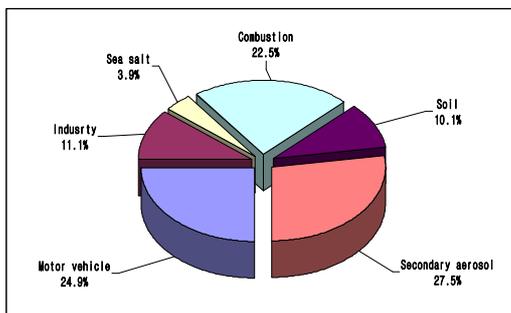
다중회귀 분석을 통해 예측된 미세먼지의 질량과 실제로 측정된 미세먼지의 질량에 대한 상관 계수(R)가 0.90이었다.

2) 청라지역 초미세먼지

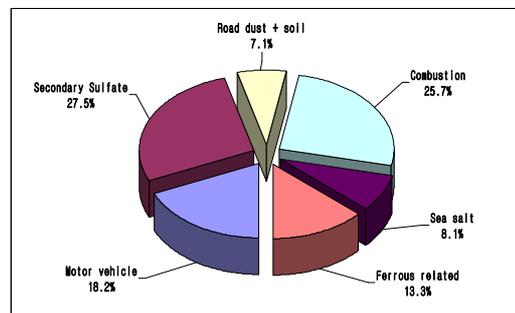
초미세먼지(PM2.5)에 대한 모델링 수행결과 주요 배출원은 motor vehicle, secondary aerosol, road dust와 soil, combustion, sea salt, 그리고 ferrous related 오염원 등 6개로 추정되었다.

각각의 배출원에 대한 기여율은 secondary aerosol이 27.5%, 석탄, 석유, 천연가스등에 의한 연소가 25.7%, 차량 오염원이 18.2%, 철과 관련된 오염원이 13.3%, 해염이 8.1%, 그리고 도로먼지와 토양오염원이 7.1%로 나타났다.

다중회귀 분석을 통해 예측된 미세먼지의 질량과 실제로 측정된 미세먼지의 질량에 대한 상관 계수(R)가 0.95이었다.



a) PM10



b) PM2.5

<그림 5> 청라지역 PM10, PM2.5 오염원별 기여도 산정결과

3) 신흥지역 미세먼지

신흥지역의 미세먼지(PM10)에 대한 모델링 수행결과 sea salt, soil, secondary aerosol, motor vehicle, industry(Pb related), combustion(oil source) 등 6개가 주요 배출원으로 나타났다.

각 배출원에 대한 기여율은 secondary aerosol 이 34.9%, 석탄, 석유, 천연가스 등에 의한 연소가 16.9%, 차량 오염원이 18.3%, 산업관련 오염원이 14.2%, 토양오염원이 11.4%, 그리고 해염이 4.2%로 나타났다.

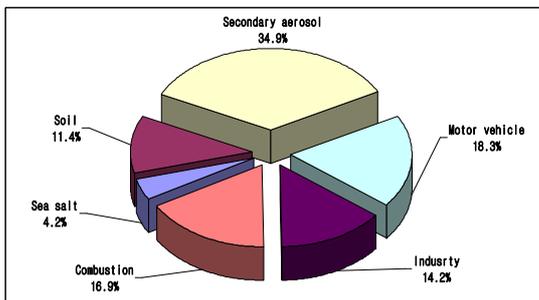
다중회귀 분석을 통해 예측된 미세먼지의 질량과 실제로 측정된 미세먼지의 질량에 대한 상관계수(R)가 0.93이었다.

4) 신흥지역 초미세먼지

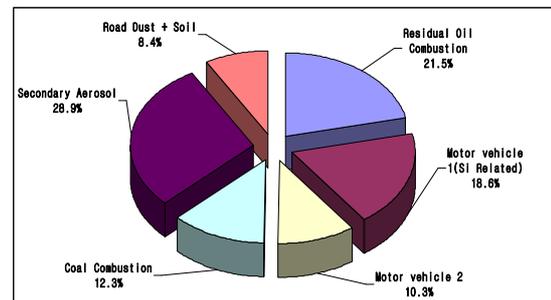
초미세먼지(PM2.5)에 대한 주요 배출원은 residual oil combustion, si related motor vehicle 과 motor vehicle, coal combustion, secondary aerosol, road dust+soil 등 6개로 나타났다.

각 배출원에 대한 기여율은 secondary aerosol 이 28.9%, 잔류 오일등에 의한 연소가 21.5%, 차량 오염원 중에서 규소와 관련된 오염원으로 18.6%, 석탄연소와 관련된 오염원이 12.3%, 일반 차량오염원이 10.3%, 도로먼지 및 토양관련 오염원이 8.4%로 나타났다.

다중회귀 분석을 통해 예측된 미세먼지의 질량과 실제로 측정된 미세먼지의 질량에 대한 상관계수(R)가 0.96이었다.



a) PM10



b) PM2.5

<그림 6> 신흥지역 PM10, PM2.5 오염원별 기여도 산정결과

3.4. HYSPLIT 모델링

1) 청라 및 신흥지역 모델링 결과

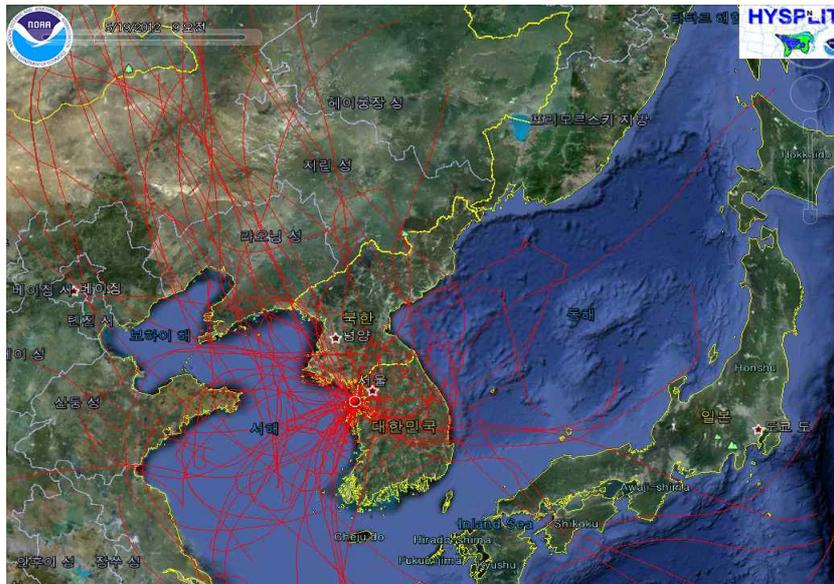
청라 및 신흥지역의 조사지점으로 이동되어오는 기류경로를 HYSPLIT-4 모델에 의해 두 조사지점의 오염원을 추정해 본 결과, 청라지역의 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5)는 북서방향에서의 이동기류가 전체 이동기류 중 약 30.4와 34.1% 차지하였다. 이동기류별 먼지오염도 수준을 보면, 청라지역의 미세먼지의 경우 북서방향 기류일 때 미세먼지 평균 농도가 75.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 타 방향 기류보다 높게 나타났다.

청라지역 초미세먼지의 경우, 북서방향에서의 기류가 가장 빈도가 높았지만, 초미세먼지 농도수준은 남서방향 기류일 때 40.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났다.

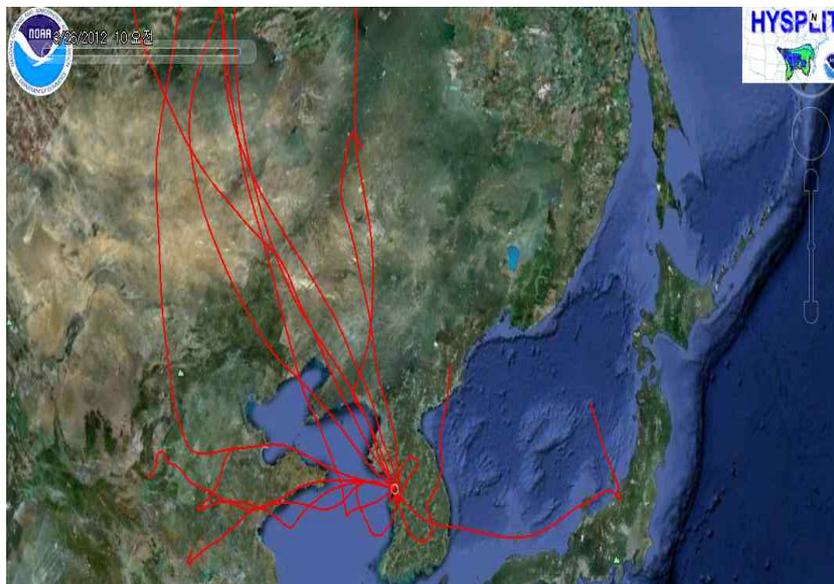
신흥지역의 경우는 미세먼지와 초미세먼지가 북서방향의 기류 영향이 가장 컸다. 즉 신흥지역에서 미세먼지의 경우 약 32.7%가 북서기류에 의한 영향을 받았고, 이때 미세먼지의 평균 농도가 76.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준이었다. 초미세먼지의 경우는 약 34.9%가 북서기류의 영향을 받았으며, 이때 초미세먼지의 평균농도는 44.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

2) 고농도 모델링 결과

미세먼지(PM10)가 대기오염기준인 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{hr}$ 이상이고, 초미세먼지(PM2.5)가 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{hr}$ 이상인 경우를 HYSPLIT-4 모델링 하였을 때 청라 및 신흥지역의 이동기류 방향은 모두 북서방향에서 가장 높은 빈도(35.7%)를 보였다. 즉, 주로 중국의 북서 내륙일대에서 기원한 기류가 가장 영향을 많이 미친 것으로 판단되었다.



<그림 7> 조사기간동안 장거리 이동경로(기류이동) 결과



<그림 8> 고농도 모델링 시 장거리 이동경로(기류이동) 조사 결과

4. 결론

1) 청라지역은 미세먼지(PM10)와 토양기원 성분 함량이 높았으며, 경제자유구역 건설시 공사 등의 토양 오염원과 차량 그리고 이들 개별 오염원의 반응에 의한 2차 분진의 영향이 큼을 알 수 있다.

2) 신흥지역은 초미세먼지(PM2.5)와 인위적 오염성분의 함량이 높았으며, 대규모 물류 이동 차량 및 도로먼지 오염원과 이들 개별 오염원에 의

한 2차 분진의 영향이 크다.

3) 미세 및 초미세먼지의 장거리 이동경로 조사 결과 중국의 북서 내륙일대에서 기원한 기류의 영향을 가장 많이 받는 것으로 나타났다.

5. 미세먼지 저감방안 및 대책

청라지역 및 신흥동지역의 미세먼지는 이차에 어로졸, 차량, 연소, 산업공정, 토양, 해염 등 다양한 오염원에 의해 발생하는 것을 확인하였으며,

이에 대한 먼지저감 대책으로 다음과 같은 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다.

- 1) 먼지발생 사업장 및 공사장 관리 강화
 - ① 비산먼지 대량 발생사업장(신고대상 기준의 10배)의 특별관리 지정관리
 - ② 공사단계별 먼지저감 이행계획서를 시방서와 별도로 작성 관리
- 2) 도로변 및 나대지에서의 먼지저감
 - ① 도로재비산먼지의 관리강화
 - ② 나대지에 대한 관리강화
- 3) 수송차량의 관리강화
 - ① 화물운반차량에 대한 관리 강화
 - ② 세륜시설의 설치 및 운영강화
- 4) 야적 및 하역과정에서의 먼지저감
 - ① 야적 방치물에 대한 관리 강화
 - ② 항만하역시설에서의 먼지저감
 - ③ 이동식 집진장치의 적용 확대
- 5) 인천시의 미세먼지 정책강화 및 지원강화 방안
 - ① 2015년부터 적용될 초미세먼지(PM2.5) 기준에 대한 선제적 적용을 통해 오염원 관리 강화
 - ② 인천시 미세먼지 및 초미세먼지의 주요한 배출원을 파악하여 지속적으로 정확한 배출량 산정 수행
 - ③ 선박이나 기차 혹은 이와 관련된 하역 및 야적 작업 등 상대적으로 배출허용기준 적용이 쉽지 않은 오염원들에 대한 관리 감독 강화
 - ④ 물 청소차나 진공흡입 차량 등을 통한 포장/비포장 도로의 비산먼지 저감노력과 이 도로를 운행하는 수송차량에 대한 관리 강화
 - ⑤ 경제자유구역 처럼 대규모의 건설활동시 살수나 세륜, 방진시설 등이 적절히 운영되도록 철저한 관리 감독
 - ⑥ 배출허용기준에 취약할 수 있는 4~5종의 대기배출시설들에 대한 기술지원 및 시설보완에 필요한 예산지원 확대

6. 참고문헌

1. 환경부, 환경백서(2011),
2. 환경부, 환경통계연감(2011)
3. 인천광역시, 환경백서(2011)

4. 인천광역시보건환경연구원(2012), 2011 대기질 평가보고서
5. 국립환경과학원(2011), 대기오염물질 배출량 2009
6. 국립환경과학원(2005), 대도시 대기질 관리방안 조사연구
7. 국립환경과학원(2005), 배경농도지역 장거리 이동오염물질 집중조사
8. 경기개발연구원(2006), 수도권 미세먼지 모델링 연구
9. 공부주(2005), 한반도 배경지역의 미세입자 특성 및 PMF 수용모델을 이용한 발생원 추정, 서울시립대학교
10. 김신도 등(2003), 서울지역 미세먼지의 화학적 특성, 한국대기환경학회
11. 김유정(2010), 이동패턴에 따른 동북아시아에서의 장거리이동 입자상 물질의 특성에 관한 연구, 한국대기환경학회
12. 문광주 등(2011), 2010년도 서울시 대기 중 PM2.5의 성분특성 및 발생원 추정에 관한 연구, 한국대기환경학회
13. 박지연 등(2006), 대구지역 겨울철과 봄철 미세먼지의 수용성 이온성분 특성
14. 박진수 등(2005), 서울과 인천지역 PM10과 PM2.5 중 2차생성 탄소성분 추정, 한국대기환경학회
15. 임세희 등(2010), 제주도 고산 PM10, PM2.5, PM1.0 중 OC와 EC의 계절적 변화 특성, 한국대기환경학회
16. 이형우 등(2008), PMF모델을 이용한 용인·수원경제지역에서 PM10 오염원의 확인과 상대적 기여도 추정, 한국대기환경학회
17. 황인조 등(2001), PMF 방법론을 이용한 수원지역의 PM10의 오염원 확인, 한국 대기환경학회
18. U.S.EPA(2004), Particulate Matter Research Program ; Five Years of Progress
19. Bilkis A et al(2011), Sources of carbonaceous materials in the airborne particulate matter of Dhaka, Atmospheric Environment