

# 수원시 대기오염 변화추이 및 오염특성 분석

The Trend and Characteristics of the Criteria Air Pollutants  
Concentrations in Suwon City

2013

---

## 연구진

연구책임

● 강은하 / 도시환경연구부 연구위원

연구원

● 오미현 / 도시환경연구부 연구원

● 박미란 / 도시환경연구부 연구원

● 안현진 / 도시환경연구부 연구보조원

이 보고서의 내용은 연구진 개인의 견해로서  
수원시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

# 연구요약

본 연구에서는 수원시가 운영/운영예정 중인 9개 대기질 측정소의 최장기간 확보 가능한 대기환경기준물질 측정자료를 수집하여 데이터베이스화하고 수원시의 대기오염 변화추이 및 오염특성을 분석하였다. 제1절에서는 수원시 대기오염측정소 운영현황을 진단하고 공간분포 및 측정소별 농도차이를 분석하였다. 제2절에서는 역계적분석 및 풍향풍속 분석을 통해 수원시에 도달하는 공기권의 주요이동경로를 분석하였으며, 제3절에서는 수원시 대기환경기준물질에 장거리이동 배출원이 주는 영향을 파악하였다. 제4절에서는 각 대기환경기준물질의 과거농도 변화추이 및 일변화 및 요일변화 등의 특성분석을 하였다. 이러한 결과를 바탕으로 제 5절에서는 수원시 대기오염도의 특성을 종합적으로 분석하였으며 주요 결과 및 이에 따른 정책적 제언을 정리하면 다음과 같다.

수원시의 대기오염도는 대기환경보전법, 수도권 대기환경개선에 관한 특별법 등 관련 법규 제정하에 연료의 황함유 기준 설정, 연료사용 규제, 배출허용기준 설정, 사업장의 오염물질 관리강화 등의 적극적인 배출원 관리 정책으로 크게 개선되어 2000년대 이후 CO, SO<sub>2</sub>는 대기환경기준이하로 관리되고 있으며, PM10도 크게 감소하였다. 그러나 도시화에 의해 차량이 증가되고 인구가 밀집함에 따라 NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>의 농도는 증가추세에 있으며 환경기준초과 사례도 빈번하게 발생하고 있다. PM10의 경우는 1990년대에 비해서 농도는 감소하였으나 여전히 환경기준을 초과하고 있다.

수원시의 대기질은 주변지역이나 대륙간 장거리 이동 오염물질의 영향과 도심에서의 배출원이 같이 기여를 하는 특성을 갖고 있다. 대륙간 장거리 이동 오염물질은 중국 북동부 공업화 도시로부터의 미세먼지를 포함하는 오염공기 (pollution plume)와 중국 및 몽골 사막화 지역으로부터의 황사를 들 수 있으며 수도권 전역에 영향을 미치기에 수원시만의 대책을 마련하기가 사실상 쉽지 않다. 하지만 수원시와 중국 공업화 도시와의 상호 협력체계 구축방안 마련 등의 도시간 국제협력을 통하여 국가간 협력체계와 더불어 외부 오염물질 유입을

줄이는 데 기여할 수 있을 것이다.

수원시는 국내 도시 중 인구밀도 4위의 인구밀집 도시로 NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, PM10의 자체 배출원도 큰 비중을 차지하였으며 수원시 중에서도 도심지역과 비도심 지역에 따라 대기환경기준물질의 농도가 달랐다. 따라서 도심에서의 자동차 배출가스나 화석연료 연소 배출원의 저감 및 서수원 지역의 비산먼지 및 노지소각에 의한 생물성 연소 배출원 저감 등 지역에 맞는 배출원 관리정책이 필요하다.

# 목 차

<b>제1장 서론</b> .....	<b>3</b>
제1절 연구배경 .....	3
1. 대기질 국내외 환경기준의 변천사 .....	3
2. 대기질 관리정책의 변천사 .....	7
3. 국내 대기질 연구현황 .....	15
제2절 연구의 목적 .....	20
<b>제2장 연구방법</b> .....	<b>23</b>
제1절 연구 범위 및 방법 .....	23
1. 연구 범위 .....	23
2. 연구 방법 .....	23
<b>제3장 연구내용</b> .....	<b>29</b>
제1절 수원시 대기오염물질 측정 현황 .....	29
1. 대기오염물질 측정망 운영 현황 .....	29
2. 지점별 대기오염물질 측정자료 머지파일 취합 .....	38
3. 대기환경기준물질 공간분포 및 측정소별 농도차이 분석 .....	46
제2절 역궤적분석 및 바람장미를 이용한 수원시 도달 공기궤의 주요이동경로 분석 .....	50
제3절 수원시 대기환경기준물질에의 장거리 이동 배출원의 영향 ..	54
1. WPSCF를 이용한 대기환경기준물질 주요 배출원 파악 .....	54
2. Pollutant rose를 통한 오염물질 배출 특성 .....	58
제4절 수원시 대기환경기준물질의 농도추이 및 특성 .....	61
1. 이산화황(SO <sub>2</sub> ) .....	61
2. 일산화탄소(CO) .....	65

3. 이산화질소(NO <sub>2</sub> )와 오존(O <sub>3</sub> ) .....	69
4. 미세먼지 .....	77
5. 초미세먼지 관리 방향 .....	85
제5절 수원시 대기오염특성 종합분석 .....	87
<b>제4장 결 론 .....</b>	<b>91</b>
제1절 결론 및 정책적 제언 .....	91
<b>참고문헌 .....</b>	<b>95</b>
<b>영문요약(Abstract) .....</b>	<b>99</b>

# 표 목 차

<표 1> 국내 대기환경기준 변경현황 .....	4
<표 2> 국내외 대기환경기준 비교 .....	5
<표 3> 대기오염 자동측정망 및 전광판 현황 .....	11
<표 4> 천연가스 차량 보급대수 .....	13
<표 5> 오염저감장치 장착 현황 .....	13
<표 6> 수원시 대기오염측정소 현황 .....	30
<표 7> 측정항목별 환경부 공인 측정방법 (출처: 대기오염측정망 설치운영지침) ...	31
<표 8> 신평동 도시대기 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도 ...	39
<표 9> 인계동 도시대기 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도 ...	40
<표 10> 우만동 도시대기 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도 ·	41
<표 11> 영통동 도시대기 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도 ·	42
<표 12> 천천동 도시대기측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도 ...	43
<표 13> 동수원 도로변 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도 ...	44
<표 14> 고색동 도시대기측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도 ...	45
<표 15> WPSCF에 사용한 대기오염물질별 criterion .....	54
<표 16> 수원시 6개 도시대기 측정소의 NO <sub>2</sub> 와 O <sub>3</sub> 의 환경기준 달성 실태	77
<표 17> 연도별 수원 기상대 황사관측일수 .....	84

# 그림 목 차

<그림 1> 수원시 대기오염 측정소 위치 .....	31
<그림 2> 신평동 측정소 전경 .....	32
<그림 3> 신평동 측정소 측정 장비 .....	32
<그림 4> 인계동 측정소 전경 .....	33
<그림 5> 우만동 측정소 전경 .....	33
<그림 6> 영통동 측정소 전경 .....	34
<그림 7> 영통동 측정소 측정장비 .....	34
<그림 8> 동수원 측정소 전경 .....	35
<그림 9> 동수원 측정소 측정장비 .....	35
<그림 10> 고색동 측정소 전경 .....	36
<그림 11> 고색동 측정 장비 .....	36
<그림 12> 광교동 측정소 전경 .....	36
<그림 13> sampling inlet .....	37
<그림 14> 광교동 측정소 측정장비 .....	37
<그림 15> 대기환경기준물질의 2012년 월평균 농도 추이 .....	47
<그림 16> 2012년도 연평균 자료를 사용한 공간분포 (동수원 도로변 측정소 제외) .....	49
<그림 17> 2012년 월별 바람장미(막대길이: 풍속, 색깔: 빈도수) .....	50
<그림 18> 2012년 월별 역궤적 분석 (1월~6월) .....	52
<그림 19> 2012년 월별 역궤적 분석 (7월~12월) .....	53
<그림 20> 2012년 WPSCF 분석, (1) SO <sub>2</sub> , (2) CO .....	56
<그림 21> 2012년 WPSCF 분석, (3) NO <sub>2</sub> , (4) O <sub>3</sub> .....	57
<그림 22> 2012년 WPSCF 분석 (5) PM <sub>10</sub> .....	58
<그림 23> 대기환경기준물질의 2012년 Pollutant Rose .....	60
<그림 24> 수원시 SO <sub>2</sub> 의 연평균농도 변화추이 (1) 다른 도시와의 비교, (2) 백분위수 변화추이 .....	62

<그림 25> SO <sub>2</sub> 의 2012년도 월변화, 요일변화, 일변화. y축은 ppm 단위임. 실선은 평균값, 전체 농도 분포는 면으로 표시 .....	64
<그림 26> 수원시 CO의 연평균 농도 변화 추이. (1) 다른 도시와의 비교, (2) 백분위수 변화추이 .....	66
<그림 27> CO의 2012년도 월변화, 요일변화, 일변화. y축은 ppm 단위임. 실선은 평균값, 전체 농도 분포는 면으로 표시. ....	68
<그림 28> NO <sub>2</sub> 의 연평균농도 변화추이. (1) 다른 도시와의 비교, (2) 백분위수 변화 추이. ....	71
<그림 29> 수원시 자동차 등록대수와 질소산화물의 연간 농도 변화. ....	72
<그림 30> 수원시 O <sub>3</sub> 의 연평균농도 변화추이. (1) 다른 도시와의 비교, ....	74
<그림 31> NO <sub>2</sub> 와 O <sub>3</sub> 의 2012년도 월변화, 요일변화, 일변화. y축은 ppm 단위임. 실선은 평균값, 전체 농도 분포는 면으로 표시. ....	76
<그림 32> 수원시 PM <sub>10</sub> 의 연평균농도 변화추이. (1) 다른 도시와의 비교, ....	79
<그림 33> PM <sub>10</sub> 의 2012년도 월변화, 요일변화, 일변화. y축은 ppm 단위임. 실선은 평균값, 전체 농도 분포는 면으로 표시. ....	81
<그림 34> 수원기상대 황사관측일수(출처: 기상청) .....	82
<그림 35> 황사발생시 기상청 황사측정망의 먼지농도 그래프 (PM <sub>10</sub> ) ..	83
<그림 36> 우리나라 기상청 관리 황사관측소 .....	83



---

# 제1장

## 서론

제1절 연구배경

제2절 연구목적



# 제1장 서론

## 제1절 연구배경

### 1. 대기질 국내외 환경기준의 변천사

국가에서는 국민의 생활수준 향상과 리우환경회의 이후의 환경보호의식의 확산 등으로 대기질 개선에 대한 국민적 욕구가 증가됨에 따라 대기 오염에 의한 피해로부터 국민을 보호하기 위한 행정 목표치를 설정하였다. 이 기준은 인체와 동식물에 해로운 영향을 유발하는 폭로량을 기준으로 설정되었다.

2000년 이후부터 국내외 대기환경 기준현황을 살펴보면, 아황산가스(SO<sub>2</sub>)와 일산화탄소(CO)의 경우 대기환경을 개선하기 위한 정책 실행으로 농도가 감소했기에 환경기준은 2001년 1월 이후 변동사항이 없는 것으로 나타났다.

이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 그 자체가 호흡기에 영향을 주기도 하고 대기 중에서 산화제 역할을 하여 산성비를 만들며 오존이나 광화학스모그 생성에 중요한 역할을 하기에 2006년 연간 0.03ppm이하로 환경기준이 강화되었다.

미세먼지는 SO<sub>2</sub>와 함께 대도시의 스모그를 유발하는 주 원인물질이며, 기관지와 폐 등에 피해를 입히게 되어 1994년 기준이 추가되었으며, PM10은 인간이 호흡할 때 폐의 기관지 또는 폐포 부위에 침착되기 쉬운 크기의 입자상 물질이므로 인체에 미치는 영향이 더욱 심각하기에 기준이 강화되었다. 또한 2015년 1월부터는 PM2.5(초미세먼지)의 환경기준이 추가된다.

대기환경 기준의 강화 및 새로운 환경기준 항목 설정의 필요성이 제기됨에 따라 환경부에서는 대기환경기준을 선진국 수준으로 강화하기 위하여 환경정책기본법 시행령을 2006년 7월 개정하여 대기환경기준에 벤젠(Benzene, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)이 포함되었다. 벤젠(Benzene, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)은 발암성물질로서 인체 유해성 등으로 사회적 관심이 증가하고 적정 관리기준 제정의 필요성이 지속적으로 제기되어 연간 5 $\mu$ g/m<sup>3</sup>이하로 환경기준을 정하였다.

〈표 1〉 국내 대기환경기준 변경현황

구 분		대기환경기준				
		2000. 12. 31일까지	2001. 1. 1일부터	2006. 12. 4일부터	2015. 1.1일부터	
이황산가스 (SO <sub>2</sub> )	연간 평균치	0.03ppm 이하	0.02ppm 이하	좌동	좌동	
	24시간 평균치	0.14ppm 이하	0.05ppm 이하	좌동	좌동	
	1시간 평균치	0.25ppm 이하	0.15ppm 이하	좌동	좌동	
일산화탄소 (CO)	8시간 평균치	9ppm 이하	좌동	좌동	좌동	
	1시간 평균치	25ppm 이하	좌동	좌동	좌동	
이산화질소 (NO <sub>2</sub> )	연간 평균치	0.05ppm 이하	좌동	0.03ppm 이하	좌동	
	24시간 평균치	0.08ppm 이하	좌동	0.06ppm 이하	좌동	
	1시간 평균치	0.15ppm 이하	좌동	0.10ppm 이하	좌동	
먼 지	총먼지 (TSP)	연간 평균치	150 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	-	-	-
		24시간 평균치	300 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	-	-	-
	미세 먼지 (PM10)	연간 평균치	80 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	70 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	50 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	좌동
		24시간 평균치	150 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	좌동	100 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	좌동
	미세먼지 (PM2.5)	연간 평균치				25 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하
		24시간 평균치				50 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하
오존 (O <sub>3</sub> )	8시간 평균치	0.06ppm 이하	좌동	좌동	좌동	
	1시간 평균치	0.1ppm 이하	좌동	좌동	좌동	
납 (Pb)	연간 평균치	-	0.5 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	좌동	좌동	
	3개월 평균치	1.5 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	-	-	-	
벤젠	연간평균치	-	-	5 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	좌동	

주 : 1. 1시간 평균치는 999천분위수의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니되고,  
8시간 및 24시간 평균치는 99백분위수의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니된다.  
2. 미세먼지는 입자의 크기가 10 $\mu$ m 이하인 먼지를 말한다.

국내 대기환경 기준 변경현황을 살펴보면 아황산가스(SO<sub>2</sub>)는 대부분의 국가에서 1시간, 8/24시간, 년 평균 기준을 정하고 있으며 영국, WHO에서는 각각 15분, 10분 평균의 초단기간 기준치를 두고 있다. 우리나라는 현행 1시간 환경 기준치는 영국, WHO 등과 동일한 수준이나 년 평균 기준의 경우 우리나라는 0.03ppm, WHO는 0.021ppm을 나타낸다(표2).

PM2.5에 대하여 미국은 '97년 24시간, 년 평균 기준이 설정되었고, 벤젠(Benzene, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)의 환경기준은 영국과 EU가 5 µg/m<sup>3</sup>, 일본이 3 µg/m<sup>3</sup>으로 설정되었다.

〈표 2〉 국내외 대기환경기준 비교

항목	기준 시간	한국	미국	일본	영국	캐나다	호주	홍콩	EU	WHO
SO <sub>2</sub> (ppm)	10분									0.188
	15분				0.10 <sup>7)</sup>					
	1시간	0.15		0.10	0.132 <sup>11)</sup>		0.20 <sup>15)</sup>	0.30 <sup>17)</sup>	0.13 11)	
	24시간	0.05	0.14 <sup>1)</sup>	0.04	0.047 <sup>12)</sup>		0.08 <sup>15)</sup>	0.13 <sup>2)</sup>	0.047 <sup>12)</sup>	0.008
	1년	0.02	0.03				0.02	0.03		
CO (ppm)	15분									85.8
	30분									51.5
	1시간	25	35 <sup>1)</sup>					25 <sup>17)</sup>		25.7
	8시간	9	9 <sup>1)</sup>	20	8.6		9 <sup>15)</sup>	9 <sup>1)</sup>	8.6	8.6
	24시간			10						
NO <sub>2</sub> (ppm)	1시간	0.10			0.105		0.12 <sup>15)</sup>	0.11 <sup>17)</sup>	0.105 <sup>13)</sup>	0.105
	24시간	0.06		0.04~ 0.06				0.06 <sup>1)</sup>		
	연	0.03	0.053		0.021		0.03	0.03	0.021	0.021
O <sub>3</sub> (ppm)	1시간	0.1	0.12 <sup>5)</sup>	0.06 <sup>15)</sup>			0.10 <sup>15)</sup>	0.12 <sup>17)</sup>		
	4시간						0.0815)			
	8시간	0.06	0.075 <sup>6)</sup>		0.05 <sup>8)</sup>	0.065			0.06 <sup>14)</sup>	0.05

〈표 3〉 국내외 대기환경기준 비교\_ 계속

항목	기준 시간	한국	미국	일본	영국	캐나다	호주	홍콩	EU	WHO
PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1시간			200						
	24시간	100	150 <sup>6)</sup>	100	50 <sup>9)</sup>	50		180 <sup>1)</sup>	50 <sup>10)</sup>	50
	연	50			40		50 <sup>16)</sup>	55	40	20
PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24시간	50	35 <sup>4)</sup>			30 <sup>4)</sup>	25			25
	연	25	15 <sup>3)</sup>		25		8		25	10
Pb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	30일		1.5							
	3개월		0.15					1.5		
	연	0.5			0.25		0.5		0.5	0.5
Benzene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	연	5		3	5			5		
PAH ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	연				0.25					

- 주 1) 1년에 1회 이상 초과하면 안 됨
- 주 2) 최근 3년간 24hr 평균 PM10 농도가 150을 1회 이상 초과하면 안 됨
- 주 3) PM2.5의 연간 산술평균 농도의 3년 평균치가  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하면 안 됨
- 주 4) PM2.5의 24시간 농도의 98percentile의 3년 평균치가  $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하면 안 됨
- 주 5) 1시간농도가 0.12ppm을 초과하는 일수가 연간 1회를 초과하면 안 됨
- 주 6) 1년간 측정된 일중 8시간 평균 오존농도의 최고치중 4번째로 높은 농도의 3년 평균치가 0.08ppm을 초과하면 안 됨
- 주 7) SO<sub>2</sub> 15분 농도가 1년에 35회를 0.10ppm을 초과하면 안 됨
- 주 8) O<sub>3</sub> 8시간 농도가 1년에 10회 초과하면 안됨
- 주 9) PM-10 24시간 농도가 1년에 35회를  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하면 안 됨
- 주 10) PM-10 24시간 농도는 1년에 7회 이상 초과하면 안 됨
- 주 11) SO<sub>2</sub> 1시간 농도는 1년에 24회 이상 초과하면 안 됨
- 주 12) SO<sub>2</sub> 24시간 농도는 1년에 3회 이상 초과하면 안 됨
- 주 13) NO<sub>2</sub> 1시간 농도는 1년에 18회 이상 초과하면 안 됨
- 주 14) O<sub>3</sub> 8시간 농도는 1년에 25회 이상 초과하면 안 됨
- 주 15) 1년에 1일 이상 초과하면 안 됨
- 주 16) 1년에 5일 이상 초과하면 안 됨
- 주 17) 1년에 3회 이상 초과하면 안 됨
- 주 18) 오존 및 PAN과 같은 광화학 반응생성물  
- WHO, EC, 영국 의 환경기준 Conversion factor 는 20°C , 101.3kPa를 환산 적용한 값

## 2. 대기질 관리정책의 변천사

### 1) 우리나라의 대기환경 규제와 관리체계의 변천

정부수립 후 6·25 전쟁을 거쳐 경제개발계획이 시작되기 전까지 우리나라에서 대기 환경과 관련한 학술적 용어와 자료를 찾기는 힘들다. 그럼에도 1955년, 1962년 기사를 통해서 ‘대기오염’이라는 용어가 등장하게 되었다.

1980년 개정된 헌법 제35조에는 “모든 국민은 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 권리를 가지며, 국가와 국민은 환경보전을 위하여 노력하여야 한다”고 규정하고 있다. 즉, 현재 시행되고 있는 모든 환경관련법은 헌법에 의하여 보장된 환경권을 구체화한 법이라고 할 수 있다.

우리나라 환경부는 환경정책기본법에서 규정하고 있는 환경법의 개념을 광의의 개념으로 해석하여 환경문제를 토지정책, 에너지정책, 산업정책 등과 연계된 총체적인 환경의 보전 및 개선의 문제를 포함한 환경법으로 해석하고 있다. 그럼에도 국민의 환경권을 침해하는 각종 법률들이 입법되어 시행되고 있다.

#### ▣ 공해방지법 시대 (1963~1977)

1962년 제1차 경제개발 5개년 계획이 수립된 후 1963년 11월에 공해방지법이 제정되었다. 이 법은 대기오염, 수질오염, 소음 또는 진동으로 인한 보건 위생상의 위해와 생활환경의 피해를 방지하여 국민보건의 향상과 적정한 생활 환경을 구성함이 목적이었다.

이에 따라 환경전반을 규제할 수 있는 단일법이 탄생함으로써 매연, 먼지, 가스, 기타 대기 중에 배출되어 대기를 오염시킬 요인이 있는 물질을 대기오염 물질로서 보건사회부 장관이 정하였다.

이 시대 국민의 관심사는 오로지 빈곤의 탈피였기 때문에 환경오염의 문제는 거의 무시되어 경제개발과 외자도입에 필요한 절차와 입법의 구색을 갖춘데 지나지 않았다.

1970년대에 대기오염물질의 측정은 매연의 경우 링겔만 도표로, 분진의 경

우 극히 일부 연구소에서 측정된 부유분진(이것도 입자크기의 상한선이 없는 TSP로 사료됨)과 강하분진으로, 가스상 물질의 경우 CO와 SO<sub>2</sub> 위주로 진행되었다.

#### ■ 환경보전법 시대 (1977~1990)

경제개발계획의 성공적인 안착과 각종 환경오염 사건으로 국민들의 환경오염에 대한 인식이 커지자, 종합적·적극적으로 환경문제를 해결하고자 1977년 2월 ‘환경보전법’을 제정하였다.

환경보전법은 이전 오염매체별 관리체계를 벗어나 자연환경과 생활환경을 포함한 전반적인 환경문제와 사전예방적 관리기능을 포함한 전반적인 환경문제와 사전예방적 관리기능을 포함하고 있으며, 환경기준, 환경영향평가, 총량규제 등의 제도를 새로 채택하였다. 또한 이 법률에는 연료 사용 규제, 연료용 유류의 황함유 기준, 차량의 배출허용기준, 연료첨가제 규제, 악취발생물의 소각금지 등을 규정하였다. 환경정책면에선 획기적인 시도였으나 제도마련과 법의 시행이 여전히 형식적이며, 환경관련법간의 체계적 통일성의 결여라는 중대한 결함을 여전히 안고 있었다.

정부는 1978년 10월 자연보호헌장을 선포하며 자연사랑과 환경보호를 국민의 의무로 선언하였고, 경제성장과 더불어 환경보전의 조화가 필요하다는 인식이 확산되었지만 경제성장 위주의 편향적 조화주의에 그쳤다.

1984년 제 5차 경제사회발전 5개년계획의 실천계획을 수정하여 기본방향을 ‘경제발전과 환경보전의 조화’에 두고, 그동안 소홀하였던 환경보전에 역점을 두었다.

#### ■ 대기환경보전법 시대 (1990~현재)

정부는 보건사회부의 외청으로 1980년 1월 환경청을 신설하였다. 갈수록 다양화되는 환경문제에 대처하기 위해 1990년 1월에는 환경청을 환경처로, 환경지청을 지방환경청으로 승격하여, 새로운 입법화과정이 시작되었다.

이에 따라 국가환경보전 시책의 기본이념과 방향을 제시하고, 국가와 국민의

책임과 의무를 규정한 환경정책기본법이 1990년 제정되었다. 이 기본법을 중심으로 각 환경 매체별로 대기환경보전법, 수질환경보전법 등 6개 개별법이 각기 제정되었다.

대기환경보전법은 배출허용기준의 설정, 오염물질의 종류, 배출시간, 배출량 등을 고려한 배출부과금 제도의 수정변경, 연료사용의 조치, 연료의 황함유 기준의 설정, 생활악취의 규제, 자동차의 결함시정제 등을 규정하였다. 또한 배출 시설 및 방지시설의 설치 운영에 관한 강화된 규제도 포함시켰다.

1995년 6월에는 지방자치의 시대가 시작되어 환경처가 환경부로 승격되었지만, 압도적인 중앙집권적인 정치체제에 바탕을 둔 개발편향이 지배적이었다.

2003년 12월에는 당시 OECD 국가의 주요도시 중 최악의 대기질을 기록하고 있었던 수도권 지역의 대기환경개선을 목표로 “수도권 대기환경개선에 관한 특별법 (이하, ‘수도권특별법’)”을 제정하였다. 주요내용으로는 대기환경 개선목표 및 지역배출허용총량 할당 등을 포함하여, 수도권 대기환경관리 기본계획 수립, 사업장 오염물질 총량관리제, 저공해자동차 보급 활성화 및 운행자동차 배출가스 관리강화 등이 있다.

수도권특별법은 매 10년마다 질소산화물, 황산화물, VOC 및 먼지의 저감을 위한 ‘수도권 대기환경관리 기본계획’을 수립하도록 하여 2013년 현재 새로운 기본계획이 수립될 예정이다(김동술,2013).

## 2) 수원시 대기질 정책 추진 현황

(1) 비전 : "청정하고 푸른 대기환경 조성"

(2) 향후 전망과 기본방향

향후 전망	기본방향
자동차 및 에너지소비 증가로 인한 대기질 악화 실내오염물질에 의한 환경성질환 증대 기후변화대응에 따른 저탄소 수요증대	지속적이고 실천 가능한 대기환경관리 계획 추진 쾌적한 실내 생활환경 조성 마련 기후변화협약 대응활동 계획 수립

(3) 추진목표 및 세부사업

추진목표	세부사업
대기환경관리 체계 구축	대기오염 자동측정망 및 전광판 확충 대기오염물질 인벤토리 구축 및 배출량 산정 대기질 개선을 위한 바람길 조성 사업장 대기오염물질 관리 강화 PM-2.5 저감 관리방안 수립
자동차 배출가스 저감 방안	천연가스 시내버스(CNG) 보급사업 확대 운행차 저공해화 사업 운행차 배출가스 관리제도 개선
쾌적한 실내 생활환경 조성	실내공기질 관리대상 확대 및 상시 모니터링 구축 실내유해물질 관리 강화
기후변화 대응 활동 강화	지역온실가스 배출량 산정 및 DB 구축 기후변화 대응활동 계획 수립 시민/민간단체 기후변화 대응 참여 확대

## ▣ 대기환경관리 체계 구축

### ① 대기오염 자동측정망 및 전광판 확충

- 기존 설치 운영 중인 측정소간의 이격 거리를 감안한 대기오염 측정망 확충
- 지역배경 측정망과 유해대기오염물질 측정망을 신설하여 미세먼지와 오존 등 지역 대기질의 정확한 평가 및 대기질 관리를 위한 자료 구축
- 구축된 자료를 바탕으로 실무 담당자 및 전문기관 용역 사업을 통한 지역 대기질 분석
- 경기도 및 환경부와의 긴밀한 협의 하에 측정망 직접운영을 적극 추진
- 쾌적한 대기환경정보 제공 및 홍보를 위한 시내 주요지점에 대기오염 전광판 확충

〈표 3〉 대기오염 자동측정망 및 전광판 현황

구분		현황(2008년)	2010년	2013년
대기오염 측정망	도시대기	6	7	8
	도로변	1	2	3
대기오염 전광판		7	9	11

### ② 대기오염물질 인벤토리 구축 및 배출량 산정

- 배출원별, 격자별로 세분화하여 정확한 배출량 산출하여 시스템 자료 활용 및 지속적인 보완 추진
- 지역특성에 따른 발생원별 대기오염물질 배출 특성 분석
- 전문기관 용역사업을 통한 지속적인 지역 배출량 통계 조사 실시

### ③ 대기질 개선을 위한 바람길 조성(주관부서 : 환경국 / 협조부서 : 도시계획국)

- 도시계획 수립단계에서 바람길 조성개념과 내용이 고려되게 법제도

적인 장치 마련

- 바람길 조성을 위한 관련법 제도 내용 검토 및 바람길 조성 지침조례 조성
- 도시계획수립, 건축물허가, 공원 및 녹지계획 수립 등 각종 계획수립 시 반영토록 함

#### ④ 사업장 대기오염물질 관리 강화

- 배출허용기준을 잘 지키는 업체와 그렇지 않은 업체를 차등 관리하여 자체적으로 배출허용 기준을 준수할 수 있는 관리 기반 조성
- 대기환경 기준을 초과하거나 초과 우려가 있는 사업장에 대해 청정연료 및 저유황 사용 확대 추진
- 비산먼지 발생 사업장 및 유해대기오염물질 발생 사업장 관리 체계 강화
- 재정여건이 열악한 사업장에 대하여 방지시설 설비(저NOx 버너 설치 지원)를 설치할 수 있는 재정 지원 및 대기환경 전문가를 활용한 기술지원 추진

#### ⑤ PM-2.5 저감 관리방안 수립

- 하계 및 전문 연구기관 용역사업을 통한 저감 관리방안 수립

### ■ 자동차배출가스 저감 방안

#### ① 천연가스 시내버스(CNG) 보급사업 확대

- 천연가스 시내버스 보급 계획을 2009년 120대 보급 기준, 매년 10대씩 증가
- 천연가스 차량 보급 확충에 따른 정부 보조금 지원 확대 방안 마련
- 천연가스 충전소 설치에 관한 관련법 개정 및 관계기관과의 긴밀한 협조를 통해 가스충전소 보급 확대
- 저공해자동차 구입 소유자에 대하여 환경개선 부담금 감면 혜택 추진

〈표 4〉 천연가스 차량 보급대수

구분	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
보급대수	120대	130대	140대	150대	160대

② 운행차 저공해화 사업

- 경유차 오염저감 장치(DPF, DOC) 장착 의무화 사업 지속 추진
- 경유차 오염저감 장치 장착 의무화에 따른 정부 보조금 지원 확대 방안 마련

〈표 5〉 오염저감장치 장착 현황

구분	현황 (2007년)	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
DPF	1,931대	2,000대	2,050대	2,100대	2,150대	2,200대
DOC	2,204대	2,250대	2,300대	2,350대	2,400대	2,450대

자료 : 수원시, 수원시환경백서(2008)

③ 운행차 배출가스 관리제도 개선

- 운행차 배출가스 정밀검사 조례 제정
- 정밀검사가 원활히 시행 될 수 있도록 정밀검사 시설 증설 및 전문 인력 확보
- 정기검사와 혼동하지 않도록 다양한 홍보수단을 동원하여 시민 개개인이 본 제도의 필요성을 인식하도록 유도
- 차량 및 배출가스의 배출특성에 따른 검사주기 및 보증기간을 탄력적으로 운영

## ■ 쾌적한 실내 생활환경 조성

### ① 실내공기질 관리대상 확대 및 상시 모니터링 구축

- 유동인구가 많은 대규모 시설 및 지하공간, 교육시설에 대한 관리대상 확대 추진
- 주요 관리대상에 대한 측정결과의 DB화 및 측정기관의 교육·평가제도 도입 등을 통한 실내공기질 측정의 정확성과 신뢰성 확보
- 시민의 교육·홍보 강화를 위한 수원시 자체 실내환경정보센터(홈페이지) 운영 추진

### ② 실내유해물질 관리 강화

- 석면사용 건축물 안전관리 체계 구축 및 석면 피해자 보상, 지원대책 강구 등 석면 안전관리 강화
- 라돈지도 작성 및 측정서비스 인프라 구축, 고위험 건물 관리방안 보급 등 라돈 안전관리 강화
- 휘발성유기화합물과 포름알데히드를 다량 방출하는 가구 및 사무기기 등 생활용품과 방향제·살충제 관리 추진
- 실내공기질 평가항목 확대 등 친환경 건축물 인증제도 개선

## ■ 기후변화 대응 활동 강화

### ① 지역온실가스 배출량 산정 및 DB 구축

- 지역내 부문별·배출원별로 세분화하여 에너지 소비량과 온실가스 배출량 조사
- 배출량 조사를 통한 지역내 부문별·배출원별 온실가스 인벤토리 구축 및 감축량 산정
- 온실가스 저감대책 이행을 통한 평가 및 모니터링 시스템 구축
- 전문기관 용역사업을 통한 지속적인 지역 온실가스 배출량 조사 실시

## ② 기후변화 대응활동 계획 수립

- 기후변화 대응활동 계획 수립을 위한 연구용역 추진
- 「기후변화 대응 및 수원지역에너지계획 방안 모색을 위한 연구 (2009)」와 연계한 체계적이고 효율적인 기본계획 수립
- 5개년 단위로 목표 및 분야별 추진사항 수립
- 기후변화 대응활동의 실적분석을 통한 매년 세부계획 수립지침 마련

## ③ 시민/민간단체 기후변화 대응 참여 확대

- 주민, 환경단체, 전문가, 수원시의 협력체제 구축을 위한 추진협의체 구성
- 우수사례 공모전, 자전거 타기 날 지정 등 기후변화 관련 각종 이벤트 개최
- 쌍방향 커뮤니케이션을 위한 수원시 기후변화 관련 홈페이지 구축

# 3. 국내 대기질 연구현황

## ▣ 서울의 대기환경기준물질 농도 추이/ 김용표, 여민주

2003년 12월 ‘수도권 대기환경 개선에 관한 특별법’이 국회를 통과하면서 서울을 포함한 수도권 대기에서 미세먼지 농도를 저감하는 것을 주요 목표로 하는 ‘수도권 대기환경관리 기본계획’이 수립되었다.

이에 효과적인 미세먼지 저감 대책을 수립하기 위하여 정확한 추이와 현황, 그리고 주요 기여원을 알기위해 2006년 9월까지 국내외 학술지와 학술대회 등에서 발표된 연구 결과를 종합적으로 검토, 분석하였다.

본 연구에서는 서울 대기의 미세먼지에 대해 (1) 변화 추이를 파악 (2) 농도에 영향을 미치는 주요 변수 검토한 결과 서울 대기의 미세먼지 농도에 영향을 미치는 주요인자는 자체에서의 배출, 반응에 의한 생성, 외부로부터의 유입 등으로 나타났다.

효과적인 미세먼지 저감대책을 수립하기 위해서는 정확한 배출량 자료 구축, 배출원과 생성원의 상대적인 기여도, 그리고 외부 영향을 정량화한 대기질 시나리오 분석, 외부로부터의 영향 평가 및 저감방안 추진, 2차 오염물질(secondary pollutants) 관리를 위한 대기화학의 이해가 필요하다고 하였다.

■ 과거 30년 우리나라 광화학 오염과 연구 현황/ 한지현, 김학영, 이미혜, 김소영, 김세웅

대기 중 미량으로 존재하던 O<sub>3</sub>의 농도가 인위적인 요인으로 증가하며, 오염에 의한 대기질의 저하뿐 아니라 전 지구적인 환경 및 기후변화에도 기여하여 O<sub>3</sub>의 광화학적 생성에 대해 더 큰 관심이 커지고 있다.

O<sub>3</sub>과 전구물질을 비롯해 생성과정에 관여하는 여러 중간 생성물에 대한 측정 모델, 위성관측 등을 아우르는 종합적인 연구가 필요함에 따라 우리나라 광화학 오염과 연구 현황이 진해되었다.

본 연구는 1990년 이후부터 국내에서 수행된 O<sub>3</sub>과 관련 광화학 연구결과를 종합하고 관측소에서 측정된 O<sub>3</sub>의 농도를 분석하여 장기적인 변화 경향과 영향을 미치는 주요변수를 파악하였다.

그 결과 O<sub>3</sub>을 생성하는 광화학 과정에 대하여 종합적이고 장기적인 연구를 위해 연구기반의 측정연구와 측정자료를 이용한 이론 모델연구가 필요하다고 제안하였다.

■ 장기간 대기오염 및 기상측정 자료 (2000~2009)를 이용한 PM10과 NO<sub>2</sub>의 강수세정 기여율과 바람분산 기여율의 정량적 추정연구/ 임득용, 이태정, 김동술

우리나라의 대기오염농도는 점차 개선되고 있으며, 아황산가스(SO<sub>2</sub>)나 일산화탄소(CO), 납(Pb)과 같은 1차 대기오염물질(primary air pollutants)은 저항유 및 LNG 등 청정연료의 보급 확대와 난방연료의 대체 및 삼원촉매장치 부착을 의무화함에 따라 1990년대에 현저히 개선되고 있다.

PM10의 경우 1990년대 중반보다는 다소 개선되었으나 아직까지도 배출기

준이 마련되지 않아 제대로 된 관리가 이루어지지 않아 전국적으로 기준치를 초과하고 있다. NO<sub>2</sub>는 저감장치의 성능개선에도 불구하고 급속한 차량수의 증가로 감소경향이 나타나지 않아, 2000년부터 2009년까지 10년 동안 전국에 걸친 대기오염 자동측정망자료 및 기상자료를 이용하여 대기 중 오염물질농도와의 관계를 정량적으로 규명하였다.

본 연구에서는 PM10과 NO<sub>2</sub>의 강수량에 따른 흡수 및 세정효과와 더불어 풍속에 의한 확산 및 분산효과가 대기오염 저감에 미치는 영향 분석하였다. 그 결과 자연적 기상변수의 변화가 인위적 대기오염 저감활동 이상으로 큰 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었지만, 단지 강수와 풍속의 독립적 영향만을 검토하였기에 추후 상기 변수를 포함한 기타 기상변수들의 종합적인 영향 파악이 필요하다고 제안하였다. 또한 우리나라의 대기질 개선을 위해서는 대기오염물질과 오염원의 자연적 및 인위적 거동을 구분하여 정량적으로 파악하는 것이 우선적으로 필요하다고 제안하였다.

#### ▣ 서울시 고농도 미세먼지 오염현상의 원인분석 및 지역별 맞춤형 관리대책/ 김운수, 김정아

서울, 인천, 부산 등 교통량이 집중되거나 건설활동이 많은 대도시는 미세먼지 오염영향에 따른 건강 사망 위해도가 비교적 높기에 미세먼지에의 관심이 높아지고 있다.

현재 미세먼지 평균 농도 개선과 비교하여 국지 고농도 오염현상에 대한 과학적 원인분석과 대응방안이 뒷받침되지 못하며, 지역별 미세먼지 배출량, 농도 등의 지역별 편차 발생에 대한 분석과 대응이 미흡한 상태이다.

본 연구에서는 대기중에 부유하는 미세먼지를 저감하여 「제주공기를 서울서 체감」 하는 수준으로 대기질을 개선하기 위해 서울지역별 미세먼지 배출요인 및 고농도 미세먼지 오염현상 분석을 통한 지역별 배출특성을 도출하고, 선진도시의 미세먼지 배출원 분류체계 및 관리대책의 원용가능성을 분석하였다. 또한 서울의 지역별 맞춤형 미세먼지 관리 전략을 검토하고 전략 수립을 지원하였다.

그 결과 지역별 맞춤형 미세먼지 관리전략으로 지역 배출원 관리정보 확인 및 목표 관리를 시행하며, 생활주변 비산먼지 발생원 중점관리, 생물성 연소 배출원 특화관리를 제안하였다.

#### ▣ 수도권 대기질 개선대책 효과분석 및 사후관리방안 연구/선우영

수도권 대기질 개선을 위한 특별대책이 성공적으로 추진되기 위해서는 기본 계획에서 제시한 각종 저감대책의 효과 분석 및 제시된 저감대책들의 이행에 대한 우선순위 평가방법론이 마련되어야 한다. 또한 대기질을 평가할 수 있는 객관적이고 과학적인 평가지표와 특별대책의 추진에 대한 지자체의 이행실적 평가와 그에 따른 사후관리 방안의 마련이 시급히 요구된다.

본 연구에서는 「수도권 대기환경관리 기본계획」에서 제시된 이동오염원, 사업장, 면오염원에 대한 각종 대기오염물질 저감대책에 대한 효과를 분석하기 위해 수도권 지역의 대기오염 배출량을 상세히 현황과악 하였다. 또한 기존 연구결과들과 각종 통계자료를 통한 관련 활동도 전망 및 특별 대책에 따른 배출 저감효과를 분석하였다. 특히 면오염원에 대해서는 각 대책별로 시나리오를 세워 그에 따른 결과를 분석하여 그 효과를 분석하였다.

대기오염물질 배출 저감대책별 우선순위 평가 방법론을 개발하기 위해 NOx에 대해 배출원별 배출량 기여도와 모델링을 통한 배출원별 기여농도를 조사하여 배출원별 최소 배출 삭감량을 추정할 수 있는 방법론을 개발하였다. 배출저감대책별 시설비용 및 운영비용을 추정하여 배출 부문별 단위 배출 삭감량당 소요비용을 산출하였다. 또한 이들을 이용하여 배출량 대비 대기오염 기여도, 배출 저감량 대비 소요 비용, 배출 부문별 대기오염 저감단위농도 대비 저감 소요비용에 의한 대기오염 저감 대책의 우선순위를 분석하였다.

수도권지역의 대기질을 판단하는 판단 지표를 설정하기 위해 본 연구에서는 수도권지역의 배경농도에 대한 조사와 수도권 지역 내에 위치한 대기오염자동 측정망의 대표성, 목표 대기질 달성여부 판단지표 및 대기질 개선여부 판단지표에 대한 연구를 수행하였다.

## ▣ 수도권 대기환경영향요인 분석 및 총량관리 정책 개발/ 김동영

2015년 추진될 수도권 대기환경개선 특별대책 2단계 계획에 앞서 2005년부터의 수도권 대기환경개선 특별대책 추진 성과 및 문제점 분석을 통하여 개선 방향을 검토하였다. 수도권 특별대책에서는 미세먼지(PM2.5 포함), 질소산화물(NO<sub>x</sub>)와 오존의 환경기준달성을 목표로 설정하여야 할 것이며, 지역배출총량관리 대상물질은 미세먼지(PM2.5 포함), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>), 휘발성유기화합물(VOCs)로 하고 온실가스 CO<sub>2</sub>를 포함하는 방안을 제안한다. 또한 지역배출총량관리의 통합화, 관리지역 범위 조정안, 대기배출목록 CAPSS 보완, 지역배출허용총량 목표 설정을 위한 대기질 모델링 개선방안 마련 및 대기환경개선사업의 추진 및 관리 체계 보완 등의 방안을 제안하였다.

## 제2절 연구의 목적

수원시는 과거 2000년 이전에 비해 미세먼지, 황산화물, 일산화탄소 등을 기준으로 대기질이 크게 개선되었다. 그러나 수원시는 수도권 중 인구밀집도시로 미세먼지, 질산화물, 오존은 대기환경기준을 상회하는 경우가 있어 대기오염도 개선의 필요성이 대두된다. 효과적인 대기오염 저감을 위해서는 과거 대기오염 물질 농도 추이 및 지역적 오염물질 농도 분포 자료가 데이터베이스화 되어 있어야 하나 현재 광역지역 범위 (경기도, 서울 등)로만 되어 있어서 수원시 대기환경 현황에 대한 정확한 이해가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 수원시 대기오염도 변화추이 및 오염특성을 분석하여 수원시 대기질 개선정책마련의 기초자료로 사용하고자 한다.

---

## 제2장

## 연구방법

### 제1절 연구 범위 및 방법



## 제2장 연구방법

### 제1절 연구 범위 및 방법

#### 1. 연구 범위

##### 1) 공간적 범위

수원시 관내 지역

##### 2) 시간적 범위

대기오염측정소 최장기자료 보유시점-2012년 (예: 신평동 1991년~2012년)

#### 2. 연구 방법

##### 1) 수원시 대기질 측정소 운영현황 조사

수원시에서 운영중인 대기질 측정소를 방문, 현장조사를 통하여 대기질 측정소 운영 현황을 파악하였다.

##### 2) 대기환경기준물질 및 기상자료 수집

수원시에서 운영중인 7개 대기질측정소의 대기환경기준물질(CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM10) 측정자료와 수원시 기상대의 기상자료(과거~2012년), 미국 해양 대기청(NOAA)에서 제공하는 전지구규모자료동화시스템(GDAS: Global Data

Assimilation System)을 통하여 수원시에 도달하는 공기체에 대한 기상자료 (<ftp://arlftp.arlhq.noaa.gov/pub/archives/gdas1>)를 수집하였다. 장기간 자료에 대해서는 국립환경과학원의 대기환경연보 통계처리 기준(국립환경과학원, 2013)을 사용하여 유효한 통계자료를 산출하였다.

### 3) 통계분석 및 모델링을 통한 자료 분석

측정자료는 SPSS Modeler와 R을 사용하여 통계분석을 하였으며 HYSPLIT Backward Trajectory, WPSCF(Weighted Potential Source Contribution Function)을 사용 공기체의 이동경로 특성 및 배출원 분석을 하였다.

#### ▣ SPSS modeler 개요 및 자료처리 방법

SPSS modeler는 SPSS에서 개발한 예측적 분석 소프트웨어이다. 예측에는 대용량의 데이터가 필요한데, 그에 따라 대용량 자료를 처리하는데 있어 최적화 되어있는 프로그램이다. 다양한 자료처리방법, 로직을 통해 스트림을 제작하고, 그에 따라 다양한 원본 데이터 파일을 작업하여, 원하는 output으로 출력해 낼 수 있다. 이번 연구에 있어서 SPSS modeler는 통계프로그램 R을 사용하기 위한 데이터형식으로의 처리에 사용되었다.

#### ▣ R 개요 및 자료처리방법

통계프로그램 R은 통계자료 처리를 위해 제작한 프리웨어 프로그램([www.r-project.org](http://www.r-project.org))으로서 개발된 패키지를 사용하여 다양한 통계분석 및 그래프 도출이 가능하다. 본 연구에서는 openair ([www.openair-project.org/Default.aspx](http://www.openair-project.org/Default.aspx))라는 패키지를 사용하였는데, openair는 대기측정자료 분석에 특화되어 있어 일반적 통계프로그램에서는 간단하게 처리 할 수 없는 각종 장미그래프(wind rose, pollutant rose 등)을 간편하게 그릴 수 있으며, 각종 시계열 그래프들도 기본적인 데이터 세팅만 되어 있으면 월별, 요일별, 시간별로 상세하게 도출해 낼 수 있다.

## ▣ HYSPLIT 역궤적(Backward Trajectory) 분석 및 WPSCF 개요 및 분석방법

HYSPLIT backward trajectory는 미국 NOAA에서 제공하는 GDAS 기상자료를 사용하여 공기의 흐름 및 궤도를 역으로 추적하여 이동경로를 예측하는 프로그램이다. 본 연구에서는 Wang et al. (2009)이 개발한 TrajStat 프로그램을 사용하여 역궤적 분석 및 WPSCF 분석을 하였다.

Weighted Potential Source Contribution Function (WPSCF)는 어떤 지리적 격자지역을 지나는 궤적이 수용지점에 도달하여 기준치 이상의 높은 농도를 나타낼 확률을 나타낸 것으로 대기오염물질(주로 에어러솔)의 장거리 이동 영향에 따른 배출원을 살펴볼 수 있는 방법이다 (Hopke et al., 1993; Bang 2011). 12시간 단위로 추출한 backward trajectory와 신평동 측정소의 자료를 사용하여 2012년에 대해 대기오염물질의 장거리 이동 배출 특성을 살펴보았다.



---

## 제3장

### 연구내용

- 제1절 수원시 대기오염물질 측정 현황
- 제2절 역궤적분석 및 바람장미를 이용한 수원시  
도달 공기궤의 주요이동경로 분석
- 제3절 수원시 대기환경기준물질의 장거리 이동  
배출원의 영향
- 제4절 수원시 대기환경기준물질의 농도 추이 및 특성
- 제5절 수원시 대기오염 종합특성 분석



## 제3장 연구내용

### 제1절 수원시 대기오염물질 측정 현황

#### 1. 대기오염물질 측정망 운영 현황

수원시는 1986년 신평동 측정소를 시작으로 2013년 가동을 시작하는 금호동과 광고동 측정소를 포함하여 총 9개의 대기오염측정소에서 SO<sub>2</sub>, CO<sup>1)</sup>, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>를 측정 운영하고 있다 (표 6, 그림 1). 이 중 동수원 측정소는 도로변 측정소이며 나머지 8개소는 도시대기 측정소이다. SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>의 5개 항목은 대기환경기준물질로 측정소 개소와 함께 측정하기 시작하였으며 PM<sub>2.5</sub>는 지점마다 시작시기가 다르다.

현재 운영 준비중인 금호동 측정소를 제외한 8개 측정소를 방문하여 운영현황을 살펴보았다. 측정장비는 KNJ 테크놀로지에 위탁하여 운영하고 있으며 정기적인 보정, 필터 교환, 점검 등을 실시하고 있으며 대기오염측정망 운영지침에 따라 매년 1회 정도검사를 실시하고 있었다.

대기환경기준물질은 자동 측정되어 경기도보건환경연구원으로 전송되며 QA, QC 분석에 따른 환경부 승인 후 최종자료로 확정되며, 측정망 자료는 경기도 대기오염정보센터 및 수원시에 제공된다. 또한 수원시의 대기오염전광판 및 경기도대기오염정보센터 홈페이지 (<http://air.gg.go.kr>)를 통하여 대기환경기준물질 농도 및 CAI(대기오염 통합지수)가 표출된다.

---

1) 광고동 측정소의 경우 CO대신 CO<sub>2</sub> 측정.

■ 수원시 대기오염측정소 현장조사

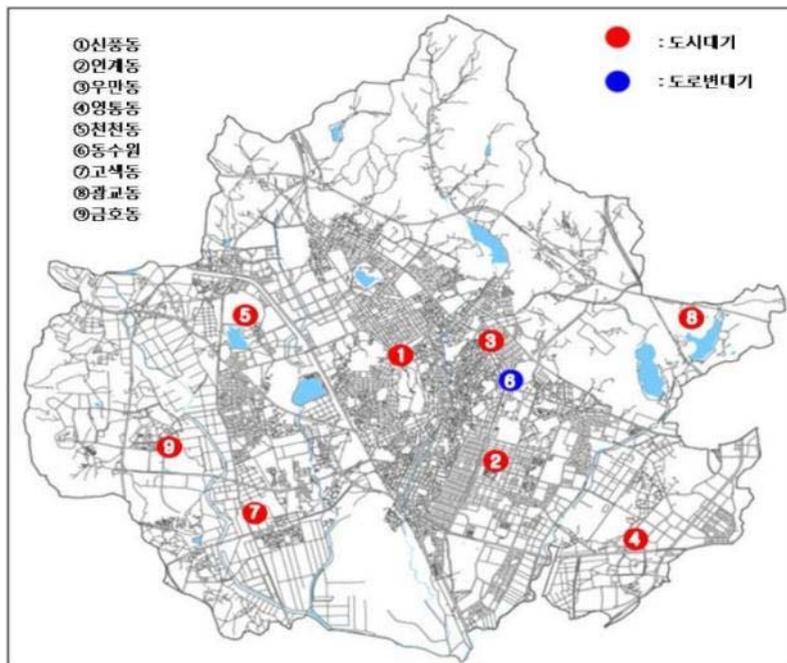
- 일시: 2013년 10월 22일
- 방문 측정소: 신평동, 인계동, 우만동, 영통동, 천천동, 동수원, 고색동 및  
                  광교동 측정소
- 현장조사단: 수원시 환경정책과 백영춘, KNJ 테크놀로지 기술부 이재욱,  
                  수원시정연구원 강은하
- 방문 내용: 측정소 위치 확인 및 운영현황 조사

〈표 6〉 수원시 대기오염측정소 현황

측정소명	주소	설치년도	측정항목
신평동 측정소 (도시대기)	장안구 신평동 123-69(선경도서관)	1986	SO <sub>2</sub> CO O <sub>3</sub> NO <sub>x</sub> PM <sub>10</sub> PM <sub>2.5</sub>
인계동 측정소 (도시대기)	팔달구 인계동 1111(수원시청)	1987	
우만동 측정소 (도시대기)	경기 수원시 팔달구 우만1동 506(우만1동 주민센터)	1994	
영통동 측정소 (도시대기)	경기 수원시 팔달구 영통동 977-3(영통2동 주민센터)	2001	
천천동 측정소 (도시대기)	경기 수원시 장안구 천천동 300(성대 제2공학관)	2003	
동수원 측정소 (도로변대기)	경기 수원시 팔달구 우만동 562-7번지 동수원 4거리 SK생명앞	2005	
고색동 측정소 (도시대기)	경기 수원시 권선구 고색동 886-70	2006	
금호동 측정소 (도시대기)	경기도 수원시 권선구 호매실동 415-2(금호동 주민센터)	2013	
광교동 측정소 (도시대기)	경기도 수원시 영통구 하동 215(이의중학교)	2013	

〈표 7〉 측정항목별 환경부 공인 측정방법 (출처: 대기오염측정망 설치운영지침)

측정항목	측정방법	측정주기	검출한계
이황산가스 (SO <sub>2</sub> )	자외선형광법 (Pulse U.V Fluorescence Method)	1시간 평균 (5분 주기 자동측정)	0.1 ppb
일산화탄소 (CO)	비분산적외선법 (Non-Dispersive Infrared Method)	1시간 평균 (5분 주기 자동측정)	0.05 ppm
이산화질소 (NO <sub>2</sub> )	화학발광법 (Chemiluminescent Method)	1시간 평균 (5분 주기 자동측정)	0.1 ppb
오존 (O <sub>3</sub> )	자외선광도법 (U.V Photometric Method)	1시간 평균 (5분 주기 자동측정)	2 ppb
미세먼지 (PM-10)	베타선흡수법 (β-Ray Absorption Method)	1시간 주기 자동측정	5 μg/m <sup>3</sup>
이산화탄소 (CO <sub>2</sub> )		1시간 평균 (30초 자동측정)	



〈그림 1〉 수원시 대기오염 측정소 위치

## ▣ 측정소별 현장 특성

### 1) 신평동

신평동 측정소는 1986년 신평동 선경도서관 옥상에 설치되었는데 2002년까지는 경기도 보건환경연구원에서 관리하다가 2003년 수원시로 관리 이관되었다. 수원시 중심 도심에 위치하고 있으며 선경도서관이 언덕에 있어서 도심대기질 측정으로 유의하다. 다만 측정소 바로 옆에 나무가 많아 자연적 VOCs 발생의 영향을 받을 가능성이 있다. 측정소 내부도 공간이 넓어 향후 에어러솔 성분분석이나 광학특성과 같은 집중측정이 필요할 때 활용가능성이 클 것이다.



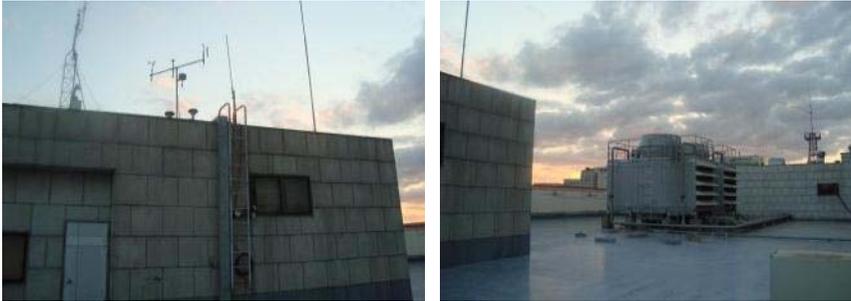
〈그림 2〉 신평동 측정소 전경



〈그림 3〉 신평동 측정소 측정 장비

## 2) 인계동

인계동 측정소는 수원시청 건물 옥상 위에 1987년도 설치하여 운영되는 측정소로 측정소를 따로 세우지 않고 최고층 건물 옥상을 통과하여 채집장치를 장착하였다. 주변에 큰 건물은 없으나 에어컨 실외기가 채집장치 바로 옆에 있어 고려해야 한다. 그러나 수원시청 건물 옥상에 위치하고 있기에 접근성 및 관리가 용이하다.



〈그림 4〉 인계동 측정소 전경

## 3) 우만동

우만동 측정소는 1994년에 설치되어 우만1동 주민센터 옥상에 위치하고 있는데 측정소 옆 상주 직원이 있는 가건물이 있으며 주변 건물과도 너무 가깝다. 또한 옥상에 정원이 조성되어 있어서 나무에서 발생하는 VOCs의 영향을 받을 가능성이 있다.



〈그림 5〉 우만동 측정소 전경

#### 4) 영통동

영통동 측정소는 영통 2동 주민센터 옥상에 위치하고 있다. 2013년 9월 장비를 새로 교체하였으며, 2013년 주민센터 증축공사 예정으로 측정 일시중단 및 이전 가능성이 있다.



〈그림 6〉 영통동 측정소 전경



〈그림 7〉 영통동 측정소 측정장비

#### 5) 천천동

천천동 측정소는 2003년에 설치되었으며, 성균관대학교 제2교육관에 위치하는데 측정소의 건물 높이가 5층 이상으로 높고 주변 가까이에 고층건물이 없

어서 공기흐름에 영향을 받지 않는 장소이다. 다만 수원시 중심이 아닌 북서쪽에 위치하고 있어서 중심도심과는 거리상의 차이가 있다.

## 6) 동수원

동수원 측정소는 도로변 측정소로서 2005년도에 설치되었으며, 우만동 동수원 사거리에 위치하고 있다. 자동차 통행량이 많은 대로변에 위치하고 있어 자동차의 영향을 잘 반영할 수 있다.



〈그림 8〉 동수원 측정소 전경



〈그림 9〉 동수원 측정소 측정장비

## 7) 고색동

고색동 측정소는 2006년 차량등록사업소 건물 옥상에 설치하여 운영되고 있다.



〈그림 10〉 고색동 측정소 전경



〈그림 11〉 고색동 측정 장비

## 8) 광교동

광교동 측정소는 2013년 7월 준공하여 이의중학교 옥상에 위치하여 운영중 이나 2012년까지의 자료는 없어서 결과분석에 사용하지 않았다.



〈그림 12〉 광교동 측정소 전경



〈그림 13〉 sampling inlet



〈그림 14〉 광고동 측정소 측정장비

## 9) 금호동

금호동 측정소는 호매실지구 입주와 함께 2013년에 설치되었으며, 금호동 주민센터에 위치하고 있으며 현재 운영 준비 중이다.

### ▣ 운영현황 종합 분석

수원시 대기오염측정소는 전반적으로 정기적인 관리 및 운영 매뉴얼에 따라 잘 관리되고 있으며 노후화된 장비에 대한 교체계획을 수립하여 체계적으로 운영되고 있다. 또한 신흥동 측정소 2002년을 시작으로 PM2.5 측정장비를 도입하여 현재 고색동을 제외한 8개소에서 PM2.5 측정을 실시/또는 예정중이다. 수원시의 PM2.5 측정소는 총 경기도 측정소 중 7%에 해당되고 나머지 10%는 타시군(성남, 안산, 부천, 의왕, 고양, 양평)에 해당되어 수원시가 PM2.5 측정에 매우 앞서고 있음을 볼 수 있었다 (2012년 경기도 대기오염 평가보고서).

그러나 수원시는 인구 110만이 넘는 규모이며 9개 측정소를 운영하고 있음에도 불구하고 기초지방자치단체로써 보건환경연구원의 부재로 매년 대기오염 평가 및 연구를 통한 수원시 대기오염평가보고서가 발간되지 못하고 있다. 즉 대기오염자료 측정에는 매우 앞서거나 측정자료에 대한 정확한 해석 및 정보공

개가 어려운 실정이다. 따라서 측정자료의 활용 및 향후 개선방안 모색을 위한 정기적인 수원시 대기오염평가 및 보고서 발간이 필요하다.

## 2. 지점별 대기오염물질 측정자료 머지파일 취합

2013년 개소한 금호동 측정소과 광고동 측정소를 제외하고 7개 측정소에 대해 보존되어 있는 최장기간 자료를 수집하였으며 자료 보유 현황 및 항목별 연평균 농도는 다음의 표와 같다. 대상기간 중 75%이상의 측정자료가 있을 시에만 유효자료로 인정하였으며(국립환경과학원, 2013) PM2.5는 2015년 대기환경기준물질 지정예정으로 본 보고서에서는 대기환경기준물질만을 대상으로 분석하였기에 포함시키지 않았다.

〈표 8〉 신풍동 도시대기 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도

연도 \ 측정항목	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM10 (μg/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )
1991	0.049	0.059	3.1	0.014	147	-
1992	-	-	-	-	-	-
1993	0.029	0.062	2.0	0.012	87	-
1994	0.043	0.081	1.8	0.013	82	-
1995	-	-	-	-	-	-
1996	0.025	0.059	1.6	0.013	67	-
1997	0.021	0.067	1.7	0.016	57	-
1998	0.012	0.056	1.5	0.019	53	-
1999	0.010	0.062	1.3	0.017	53	-
2000	0.010	0.080	1.2	0.020	68	-
2001	0.009	0.060	1.2	0.016	72	-
2002	0.005	0.059	0.8	0.021	63	보유 <sup>2)</sup>
2003	0.006	0.059	0.9	0.019	59	보유
2004	0.006	0.061	0.8	0.020	62	보유
2005	0.006	0.055	0.8	0.019	57	보유
2006	0.006	0.057	0.8	0.021	76	보유
2007	0.007	0.063	0.7	0.023	60	보유
2008	0.006	0.058	0.8	0.021	53	보유
2009	0.006	0.052	0.7	0.023	53	보유
2010	0.006	0.055	0.7	0.022	52	보유
2011	0.006	0.059	0.7	0.022	55	보유
2012	0.006	0.053	0.7	0.023	45	보유

2) 보유: 분석대상에 포함시키지 않은 PM2.5의 보유 유무, -: 측정자료 미보유 또는 무효처리된 자료, 값: 유효자료. 표 9~14에도 동일하게 해당됨.

〈표 9〉 인계동 도시대기 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도

연도 \ 측정항목	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM10 (μg/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )
1991	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-
1993	0.029	0.056	1.7	0.013	83	-
1994	0.026	0.054	1.2	0.016	57	-
1995	0.024	0.062	1.2	0.015	75	-
1996	-	-	-	-	-	-
1997	0.019	0.053	1.2	0.018	99	-
1998	0.012	0.061	1.1	0.016	89	-
1999	0.009	0.070	1.1	0.015	93	-
2000	-	-	-	-	-	-
2001	0.009	0.072	1.3	0.021	80	-
2002	0.007	0.061	1.0	0.019	75	-
2003	0.006	0.058	0.8	0.019	73	-
2004	0.005	0.065	0.8	0.018	71	-
2005	0.006	0.053	0.9	0.019	69	-
2006	0.006	0.055	0.8	0.018	70	-
2007	0.007	0.062	0.8	0.017	61	-
2008	0.006	0.064	0.7	0.023	55	-
2009	0.005	0.059	0.8	0.023	56	-
2010	0.005	0.063	0.8	0.021	52	보유
2011	0.005	0.062	0.7	0.021	52	보유
2012	0.005	0.058	0.7	0.023	46	보유

〈표 10〉 우만동 도시대기 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도

연도 \ 측정항목	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM10 (μg/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )
1991	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-
1999	0.010	0.057	1.0	0.019	39	-
2000	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-
2002	0.005	0.070	0.9	0.016	62	-
2003	0.006	0.080	1.1	0.017	56	-
2004	0.006	0.081	0.9	0.019	57	-
2005	0.007	0.063	0.9	0.021	56	-
2006	0.007	0.071	1.0	0.020	61	-
2007	0.008	0.087	0.9	0.018	57	-
2008	0.007	0.083	0.9	0.019	49	-
2009	0.006	0.081	0.8	0.019	50	-
2010	0.005	0.071	0.8	0.018	46	-
2011	0.006	0.082	0.8	0.020	45	-
2012	0.006	0.072	0.8	0.022	44	보유

〈표 11〉 영통동 도시대기 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도

연도 \ 측정항목	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM10 (μg/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )
1991	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-
2003	0.005	0.049	0.5	0.017	44	-
2004	0.004	0.045	0.6	0.019	65	-
2005	0.006	0.040	0.5	0.022	63	-
2006	0.006	0.045	0.6	0.021	67	-
2007	0.007	0.038	0.6	0.021	65	-
2008	0.005	0.041	0.5	0.022	57	-
2009	0.005	0.061	0.5	0.020	54	-
2010	0.005	0.063	0.5	0.017	52	보유
2011	0.005	0.064	0.5	0.019	52	보유
2012	0.005	0.057	0.5	0.020	45	보유

〈표 12〉 천천동 도시대기측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도

연도 \ 측정항목	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM10 (μg/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )
1991	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-
2004	0.005	0.062	0.7	0.018	74	-
2005	0.005	0.063	0.6	0.019	61	-
2006	0.006	0.064	0.6	0.020	62	-
2007	0.006	0.062	0.6	0.021	63	-
2008	0.006	0.063	0.5	0.022	59	-
2009	0.006	0.060	0.5	0.021	55	-
2010	0.006	0.061	0.5	0.018	52	보유
2011	0.005	0.062	0.6	0.019	55	보유
2012	0.005	0.059	0.6	0.020	48	보유

〈표 13〉 동수원 도로변 측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도

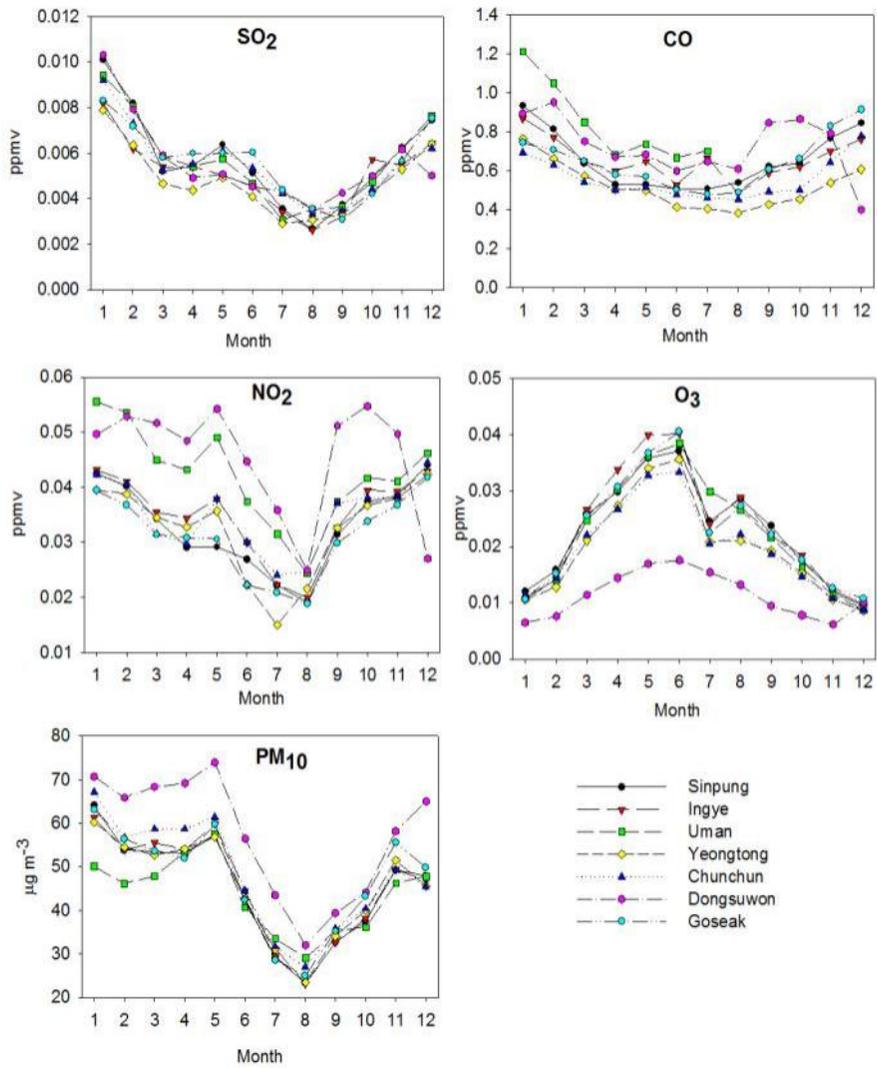
연도 \ 측정항목	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM10 (μg/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )
1991	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-
2005	0.007	0.089	0.9	0.016	70	-
2006	0.008	0.086	0.7	0.016	65	-
2007	0.009	0.090	0.6	0.016	57	-
2008	0.008	0.088	0.6	0.016	47	-
2009	0.008	0.091	0.5	0.017	55	29
2010	0.007	0.125	0.8	0.012	58	27
2011	0.007	0.124	0.7	0.012	65	35
2012	0.006	0.112	0.8	0.012	57	31

〈표 14〉 고색동 도시대기측정소 대기질 자료 보유현황 및 연평균 농도

연도 \ 측정항목	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM10 (μg/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )
1991	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-
2007	0.006	0.070	0.8	0.023	64	-
2008	0.007	0.065	0.7	0.021	53	-
2009	0.006	0.063	0.7	0.023	56	-
2010	0.005	0.066	0.7	0.021	58	-
2011	0.006	0.063	0.7	0.021	56	-
2012	0.006	0.063	0.6	0.022	47	-

### 3. 대기환경기준물질 공간분포 및 측정소별 농도 차이 분석

6개 도시대기 측정소와 1개 도로변 측정소(동수원)에 대한 2012년 대기환경기준물질 월평균 농도(그림 15)를 살펴보니, SO<sub>2</sub>, CO의 경우 측정소 간 농도차이 및 월별분포가 크게 다르지 않았다. NO<sub>2</sub>, PM10의 경우 도로변 측정소인 동수원 측정소의 농도가 다른 지역들보다 월등히 높았으며, 오존은 이와 반대로 동수원 측정소의 농도가 가장 낮았다. NO<sub>2</sub>는 우만동 측정소 농도가 다른 지역보다 특히 높은 등 지점간 차이가 다소 보였지만 다른 항목의 경우 큰 차이가 없었다. 동수원 측정소는 도로옆에서 자동차 배출의 국지적 영향을 직접적으로 측정하기에 주요 자동차 배출원인 NO<sub>2</sub>, PM10, CO의 경우 다른 지역보다 높게 나타난 것이며, 오존은 NO<sub>x</sub> 와 VOCs(휘발성유기화합물)와의 광화학반응에 의해 생성되고 NO<sub>x</sub>와 O<sub>3</sub> 사이에서 연쇄반응에 의해 생성과 소멸을 반복하기에 NO<sub>x</sub>가 높은 지점에서는 O<sub>3</sub>이 낮게 측정되는 것을 이해할 수 있다.

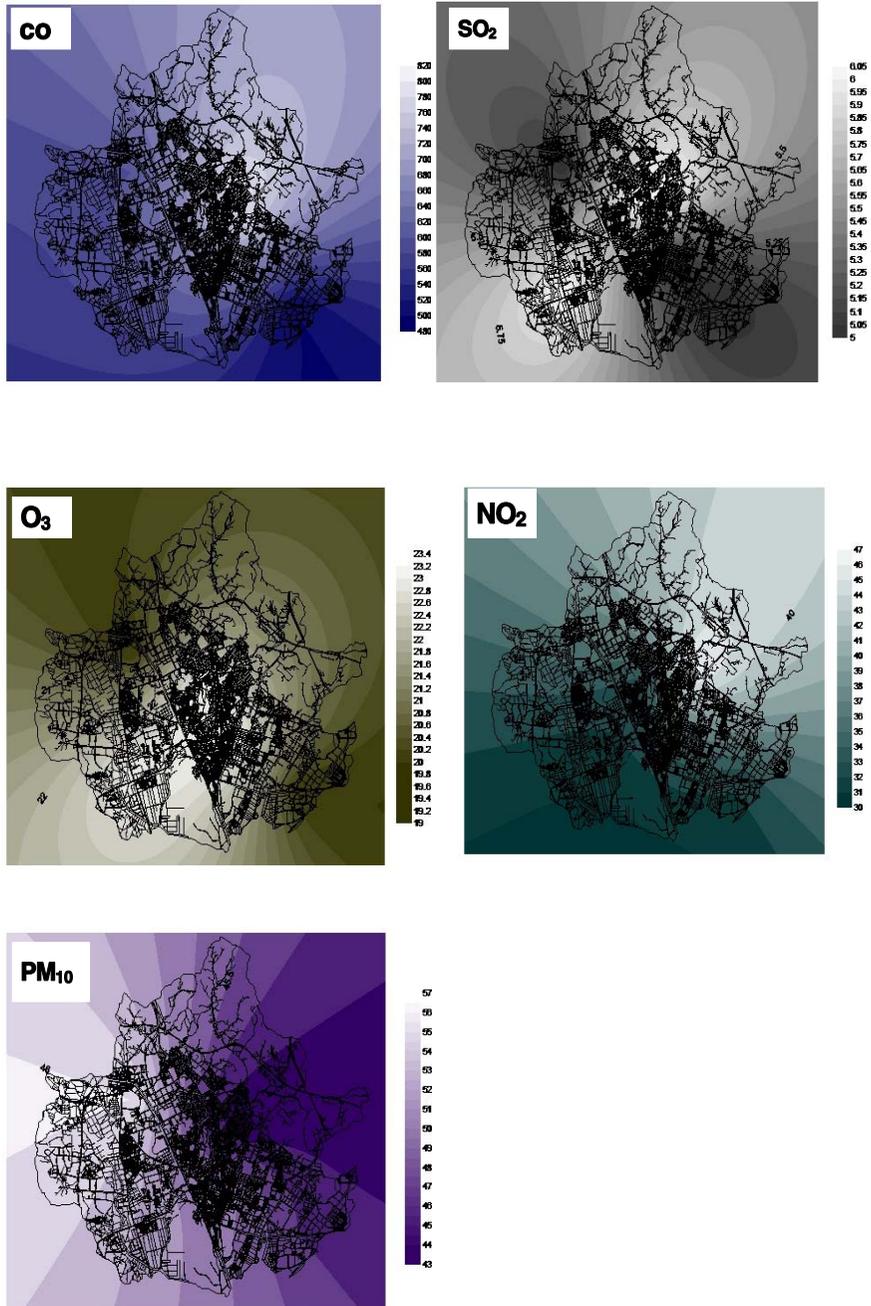


〈그림 15〉 대기환경기준물질의 2012년 월평균 농도 추이

동수원 도로변 측정소를 제외한 6개소 측정소의 2012년 연평균 오염도와 경·위도 좌표를 입력하여 surfer 프로그램을 사용하여 수원시 대기환경기준물질의 공간분포를 분석하였다(그림 16). 동수원 도로변 측정소는 자동차 배출원에 의한 영향을 직접 측정하기 위해 도로 옆에 설치하였는데 건물 높이 이상의 일정 높이에서 잘 혼합된 도시 대기질을 측정하는 도시대기 측정소의 측정값과 공간분포를 비교할 수 없어서 제외하였다.

다른 6개 도시대기 측정소와는 분석 결과, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>의 경우 도로가 밀집되어 있는 수원시 동쪽을 중심으로 농도가 다소 높은 것으로 보인다. 하지만 SO<sub>2</sub>는 최고지점과 최저지점의 농도 차이가 0.001 ppm밖에 되지 않아 지점간 차이는 미미하다고 보아야 한다. CO와 NO<sub>2</sub>는 차량통행량이 많은 수원시 중심에서 동쪽(우만동, 인계동 중심)으로 농도가 높아졌기에 이들 오염물질에 대한 국지적인 배출량 감소 노력이 필요하다는 것을 시사한다. PM10은 전반적으로 서쪽이 높았는데 그 이유로 황사나 중국대륙기원 오염물질의 장거리 이동 영향, 서수원 택지개발지역 공사장에서 비산먼지의 날림 및 노지소각에 의한 탄소성 미세먼지 발생영향과 같은 복잡한 영향이 있을 수 있을 것이며 여기에 대해서는 미세먼지 성분분석, PM2.5와의 농도차이 분석, 수원시 외 주변 다른 지역과의 농도 차이 분석 등의 연구가 더 필요할 것이다. 따라서 향후 연구에서는 주변도시의 수원시 근교 측정망 자료로 확대하여 공간분포 분석을 해야할 것이다. 실제로 김동영 외(2012)는 배출시설 관리가 부족하고 비산먼지와 생물성 연소에 의한 배출기여가 높은 경기도 교외지역이 도심지역보다 미세먼지 농도가 높았던 것을 확인하였다. O<sub>3</sub>은 NO<sub>2</sub>와의 광화학연쇄반응의 영향으로 NO<sub>2</sub> 분포와 역의 경향을 보인 것으로 보인다.

종합하면, 수원시 대기질은 주변지역이나 대륙간 장거리 이동 오염물질의 영향과 함께 도심에서의 배출원이 큰 기여를 하는 것으로 보이기에 도심에서의 자동차나 화석연료 연소와 같은 배출원 감소가 요구된다. 또한 서수원 지역의 비산먼지 및 노지소각에 의한 생물성 연소 배출관리도 복합적으로 필요하다.

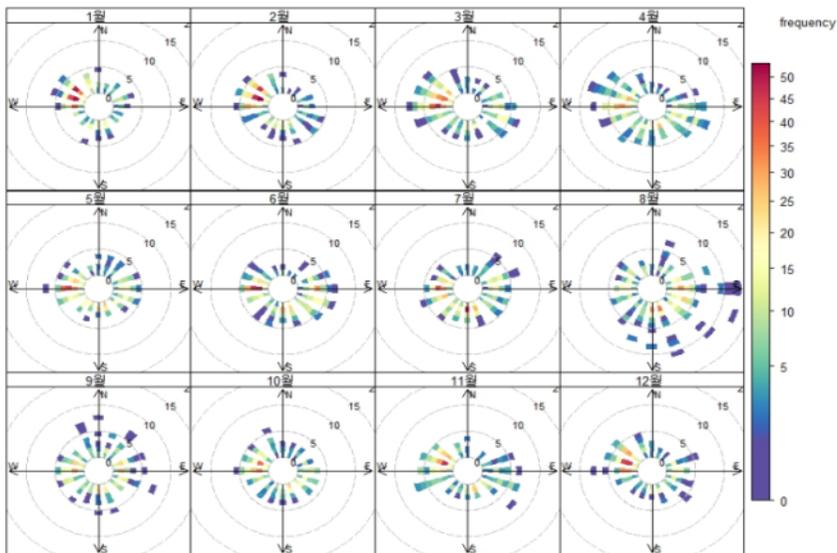


〈그림 16〉 2012년도 연평균 자료를 사용한 공간분포 (동수원 도로변 측정소 제외)

## 제2절 역궤적분석 및 바람장미를 이용한 수원시 도달 공기궤의 주요이동경로 분석

역궤적 분석 및 바람장미를 통하여 수원시 도달 공기궤의 주요 이동경로를 파악하였다. 수원시는 북동쪽 광교산과 서쪽 칠보산 아래 위치한 경사도 10% 미만인 완경사지가 전체의 70% 이상을 차지하는 분지형태로 공기가 모이는 특성이 있다.

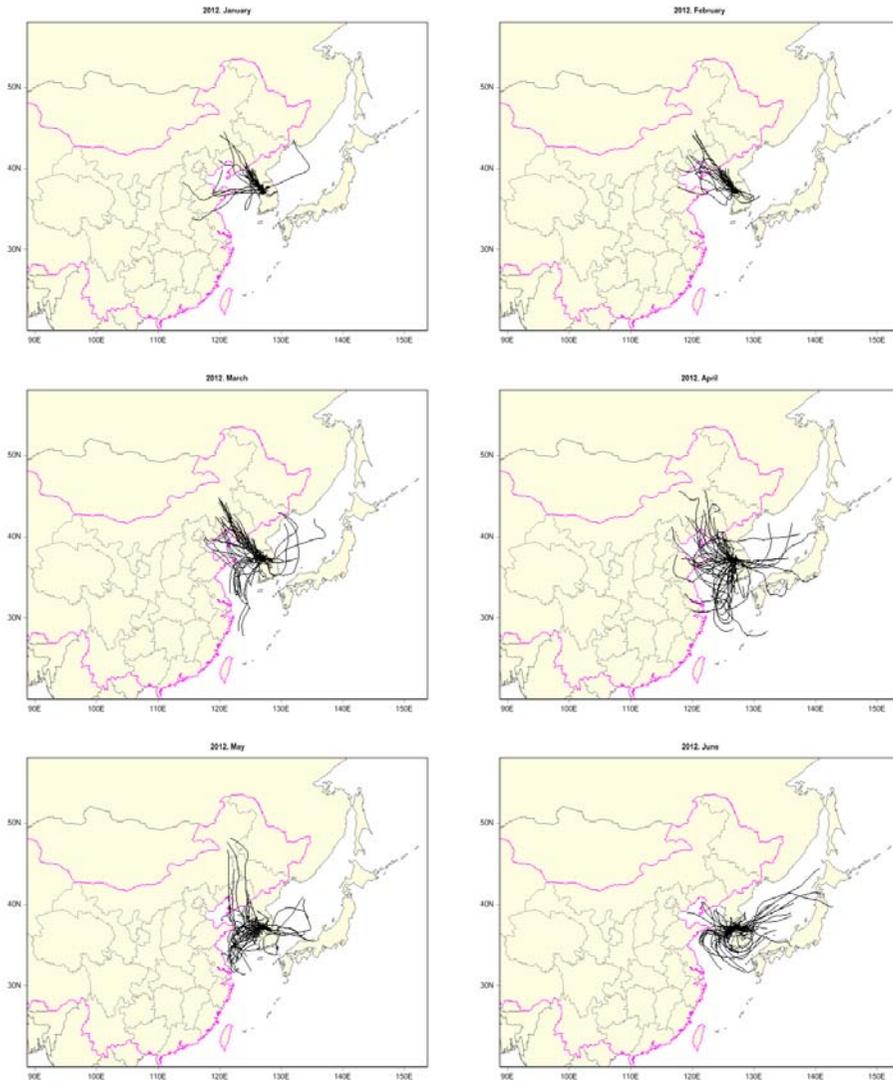
2012년 월별 바람장미를 살펴본 결과 수원시는 지속적으로 북서풍, 서풍 계열의 바람이 불었다 (그림 17). 여름에는 태풍의 영향을 받아서 매우 높은 풍속의 동풍계열 바람이 불어왔지만 그 빈도수는 낮았으며 겨울, 가을철의 경우 북서풍의 영향을 지속적으로 받았다. 또한 풍속이 5 m/s 이하의 잔잔한 바람의 빈도수가 많아서 분지형태의 수원시의 지형적 특징도 보여준다. 분지 형태의 지형에서는 공기가 모이는 특성으로 인해 이차오염물질 (오존, 초미세먼지)의 발생빈도가 크기 때문에 이에 대한 연구 및 저감정책이 특히 중요할 것이다.



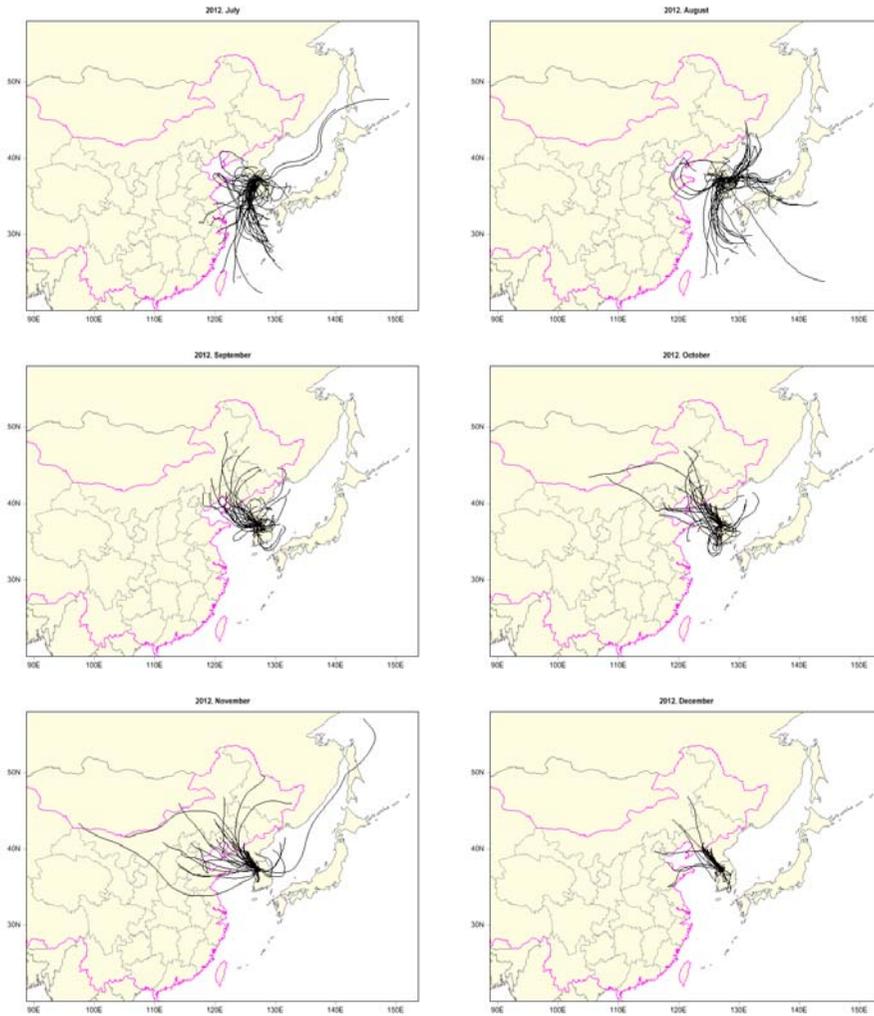
〈그림 17〉 2012년 월별 바람장미(막대길이: 풍속, 색깔: 빈도수)

월별 역궤적 분석 결과(그림 18. 19)는 계절 특성을 더 잘 보여준다. 겨울철인 1, 2월에는 대부분의 공기가 북서쪽, 즉 중국 북동부와 북한 해안가를 거쳐 이동해왔다. 3월이 되면서 5월까지의 한반도 동쪽, 일본 등지에서 이동하여 오는 공기의 영향도 일부 받았다. 4~5월에 간혹 보이는 몽고 부근에서부터 이동하는 공기의 흐름은 황사의 영향으로 보인다. 6~8월에는 공기가 주로 동쪽이나 남쪽, 즉 일본과 동남아시아에서 이동하여 왔다. 9월 이후 12월까지 다시 북서쪽으로부터의 공기 이동이 우세해 졌으며 11월에는 시베리아에서의 공기 이동도 볼 수 있었다. 또한 서해 부근에서 공기가 정체되면서 천천히 이동하여 오는 경우도 있었다.

종합하여 보면 수원시 공기는 중국 북경 지역을 비롯한 중국 북동부 지역으로부터의 외부 유입의 영향을 많이 받고 있으며 분지 형태로 인해 풍속이 낮아 공기가 정체되는 경우도 많이 있었다. 즉 대기오염물질의 외부 유입과 자체 배출 모두가 중요한 복잡 대기질 특성을 갖고 있음을 공기궤의 이동경로 분석을 통해서도 알 수 있다.



〈그림 18〉 2012년 월별 역궤적 분석 (1월~6월)



〈그림 19〉 2012년 월별 역궤적 분석 (7월~12월)

# 제3절 수원시 대기환경기준물질에의 장거리 이동 배출원의 영향

## 1. WPSCF를 이용한 대기환경기준물질 주요 배출원 파악

2012년 역레적에 대기환경기준물질 시간평균 농도자료를 사용하여 Weighted-Potential Source Contribution Function(WPSCF) 분석을 하여 대기환경기준물질별 주요 장거리 배출원을 파악하였다. WPSCF의 criterion(기준)은 아래 표에 기술한 바와 같이 백분위수 중 50percentile 값을 사용하였다. 대기환경기준물질은 신평동 측정소 자료를 사용하였다.

〈표 15〉 WPSCF에 사용한 대기오염물질별 criterion

	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM10 (μg/m <sup>3</sup> )
50percentile	0.006	0.028	0.600	0.020	40

### ▣ SO<sub>2</sub>

SO<sub>2</sub>의 주요 배출원은 한반도보다는 중국 해안가로 보이며 중국 산업화지역의 화석연료 연소 배출원의 영향으로 생각할 수 있다. 배출가능성이 가장 높은 곳이 서해로 나타나는 이유는 SO<sub>2</sub>가 서해를 통과하면서 서서히 움직여서 서해 상에서 체류시간이 길어졌기 때문에 나타나는 것으로, 실제 배출원은 중국 동쪽 해안지역으로 보아야 할 것이다. 그 외 북한의 황해도, 대한민국 경기 및 인천 지역의 SO<sub>2</sub> 배출 가능성도 있으나, 중국에 비해 우리나라 자체의 배출 영향은 매우 낮다고 볼 수 있다.

### ▣ CO

CO는 중국 북경 및 대련과 같은 북동부 지역, 북한의 황해도와 함께 대한민국 수도권 및 남쪽지역의 배출가능성을 보여 주어 대도시를 중심으로 배출가능

성이 크며 우리나라, 수도권 배출이 큼을 나타낸다. 이는 CO가 자동차 배출가스, 연료의 불완전 연소반응에 의해 배출되기 때문이다.

#### ▣ NO<sub>2</sub>

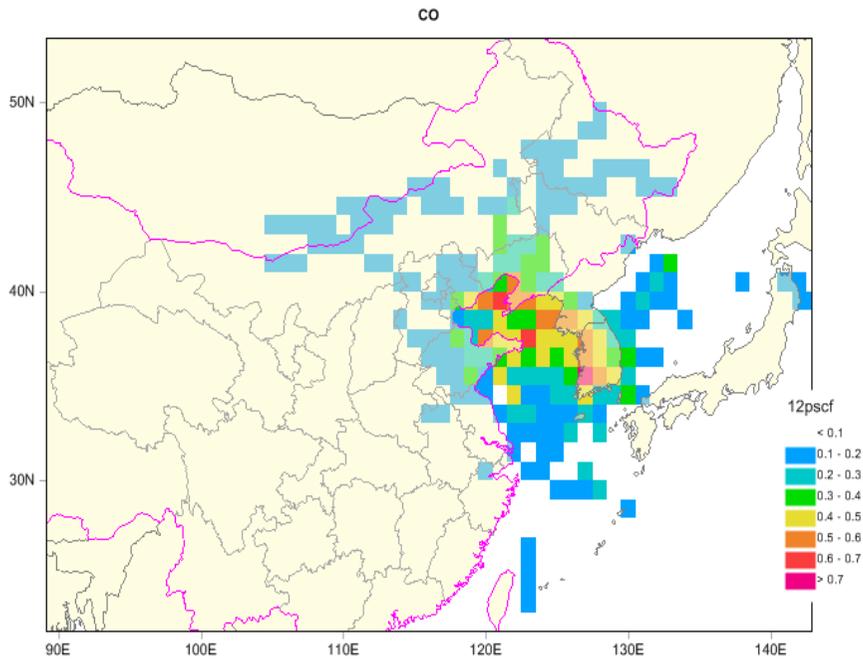
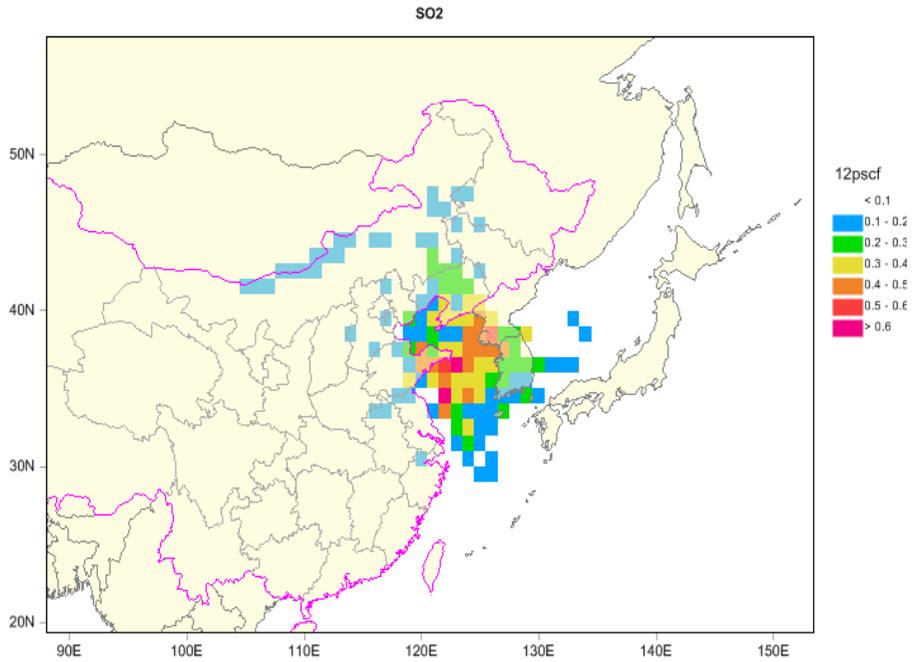
NO<sub>2</sub>는 중국 배출가능성과 함께 대한민국 전역에 걸친 배출가능성이 매우 큼을 보여준다. 또한 동해 및 남해 지역의 배출가능성이 높은 것을 보여주는데 그 이유는 일본으로부터의 공기가 이동하여 오다가 정체되면서 그 주변에서 머물러서 고농도 배출원으로 나타나기 때문이다. NO<sub>2</sub>의 서해 배출가능성이 크게 나타나는 이유도 SO<sub>2</sub>와 마찬가지로 중국 북경이나 베이징 근처 공기가 이동해 올 때 주로 서해상에서 체류하다가 천천히 이동하여 왔기 때문에 그렇게 표시되는 것이다.

#### ▣ O<sub>3</sub>

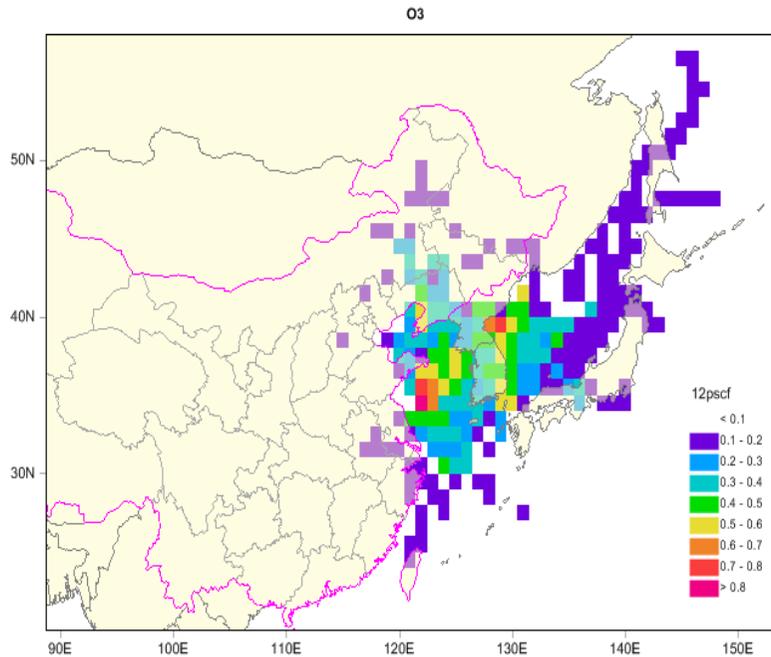
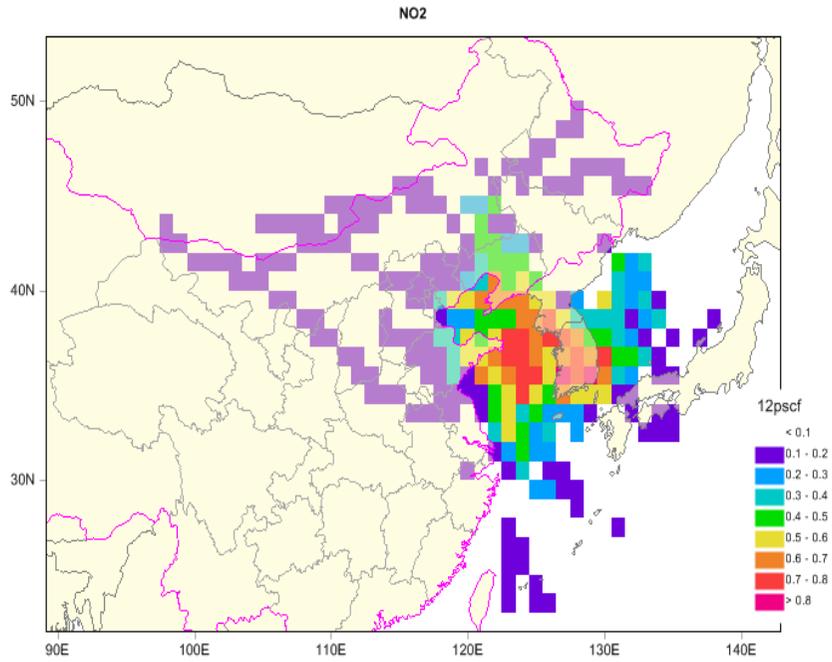
오존은 중국 북동부 및 대한민국의 서해상, 남동쪽 해안가 및 북한의 동해상이 주요 배출원으로 표현되며, 중국 북경지역에서의 배출가능성도 있음을 보여준다. 또한 다른 오염물질과는 다르게 전반적으로 배출원이 한반도, 서해, 동해, 서남쪽 해상으로 고르게 퍼져 있는 경향을 보여주는데 그 이유는 오존은 이차생성오염물질이기에 공기가 한반도 및 주변 해안에서 오래 머물면서 정체될 때 많이 생성되기 때문이다. 또한 NO<sub>2</sub>와는 다르게 우리나라 동쪽의 고농도 가능성을 보여주는 데 그 이유는 우리나라 동해안의 NO<sub>2</sub> 농도가 상대적으로 낮기 때문에 생성된 오존이 분해되지 못하기 때문이거나 여름철 동해안의 맑고 고온인 날씨로 인해 오존이 많이 생성되었기 때문 등 여러 가지 이유가 있을 수 있다. 이에 대해서는 보다 자세한 연구가 필요할 것이다.

#### ▣ PM10

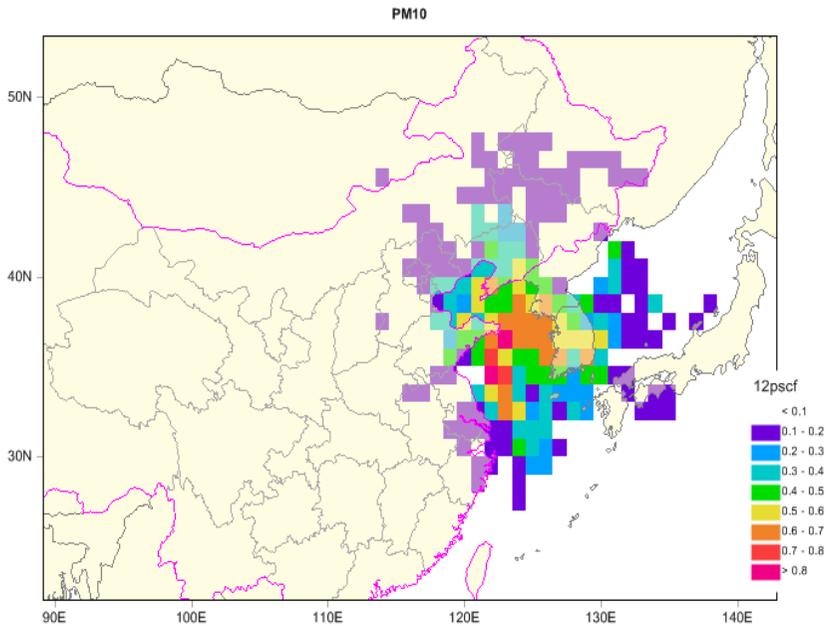
PM10은 중국 칭타오와 베이징 사이 해상에서 배출가능성이 가장 높은 것으로 보여주며 우리나라 배출가능성은 중국 및 서해상에 비해 그리 높지 않은 것을 볼 수 있다. 중국기원을 제외하고는 북한 함경도 지역, 대한민국 남동 및 남서 지역과 같은 공업지역 중심으로 배출가능성을 보여주는데 이러한 경향은 NO<sub>2</sub>의 한반도 배출 가능지역과 유사하다.



〈그림 20〉 2012년 WPSCF 분석. (1) SO<sub>2</sub>, (2) CO



〈그림 21〉 2012년 WPSCF 분석, (3) NO<sub>2</sub>, (4) O<sub>3</sub>



〈그림 22〉 2012년 WPSCF 분석 (5) PM10

## 2. Pollutant rose를 통한 오염물질 배출 특성

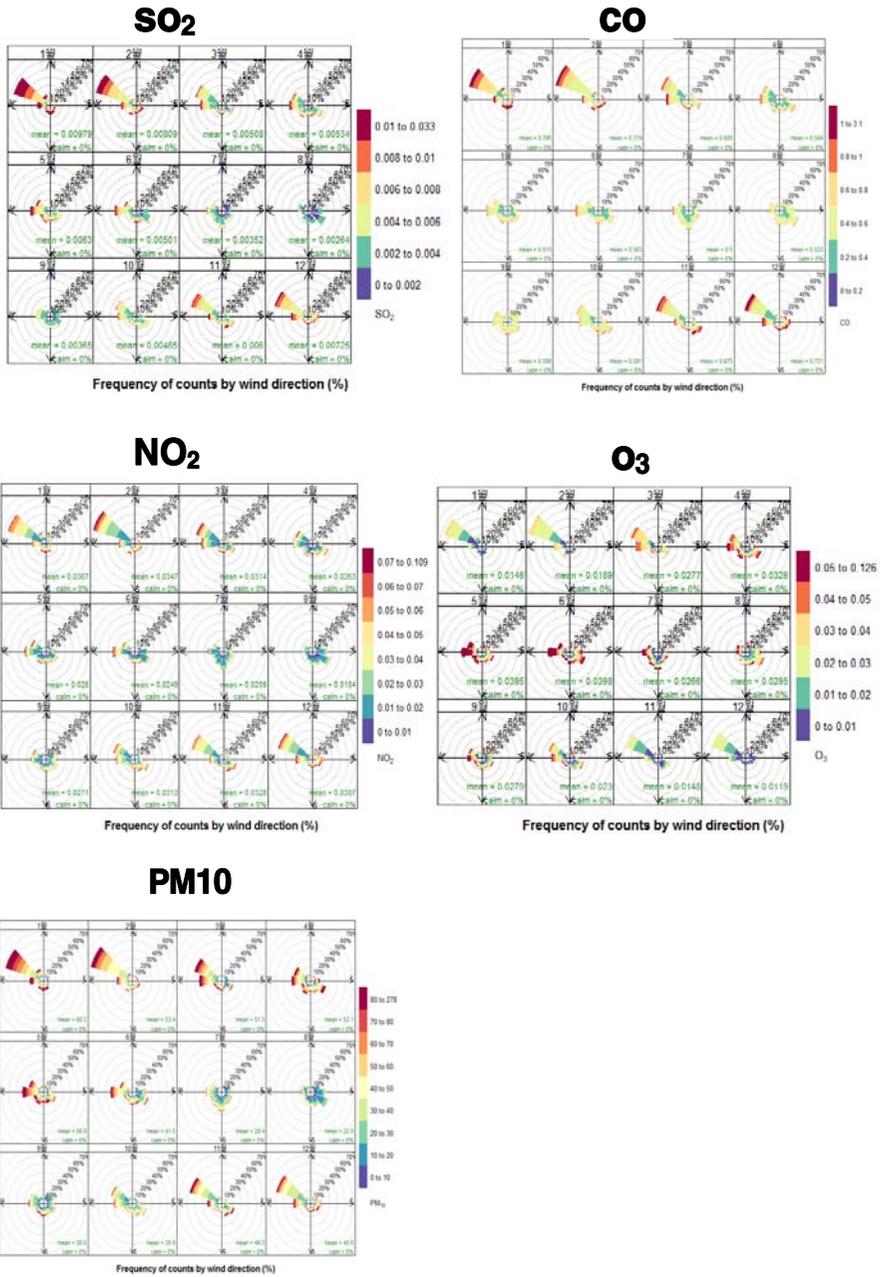
대기오염물질의 농도와 풍향과의 관계를 보여주는 Pollutant rose를 2012년 대기환경기준물질(신풍동 측정소 자료)에 대해 그려 보았다. 그 결과 CO, SO<sub>2</sub>는 겨울철 농도가 높게 나타났다. 북서풍이 강하여 중국대륙의 영향을 받을 때 고농도가 나타났으며 겨울철에는 풍속이 약해 국지적 배출원의 영향을 받을 때에도 고농도가 나타났다. 이는 난방을 위한 화석연료 연소시 CO, SO<sub>2</sub>가 많이 배출되기 때문이다. 동풍계열이 많이 부는 여름철의 경우에는 농도가 낮았다.

NO<sub>2</sub>의 경우 여름철을 제외하고는 대부분의 경우 풍향에 관계없이 농도가 높아 중국 뿐만 아니라 한반도에서의 배출원의 영향이 큼을 보여준다. 특히 풍속이 약해 공기가 정체되는 경우에도 고농도가 관측되어 수원이나 인접 지역의 국지 배출원이 큰 기여를 하는 것을 알 수 있다. 여름철 저농도는 잦은 비에

의한 습식제거와 동풍계열의 깨끗한 공기의 영향으로 설명될 수 있다.

오존은 대표적인 광화학스모그로 봄에서 여름까지 풍향에 관계없는 고농도를 나타내었다. 봄철 오존의 고농도 사례는  $\text{NO}_2$  고농도와 유사한 경향을 보이며 그 이유는 오존이 전구물질인 질소산화물과의 반응에 의해 생성되기 때문이다. 또한 풍속이 낮을 때 고농도가 많이 관측되어 공기가 정체될 때 국지적으로 많이 생성됨을 보여준다.

PM10의 경우도 북서풍 계열이 부는 겨울 및 초봄 고농도가 나타났는데 봄철에는 풍향에 관계없이 고농도 사례가 많이 나타났다. 특히 4, 5, 6월의 고농도 사례는 오존의 고농도와 유사하여 PM10이 중국대륙으로부터의 장거리 이동 뿐만 아니라 국지 배출원, 그리고 광화학반응에 의한 이차생성의 영향도 많이 받음을 보여준다. 즉, PM10은 일차 배출원, 이차 생성반응, 장거리 이동 및 국지 배출원과 같은 다양한 프로세스에 의해 나타나기 때문에 PM2.5, PM1.0 과 같은 다양한 크기의 에어로솔과의 농도 비교, 화학조성 분석 등 다양한 연구가 필요한 대기오염물질이다.



〈그림 23〉 대기환경기준물질의 2012년 Pollutant Rose

## 제4절 수원시 대기환경기준물질의 농도추이 및 특성

수원시 대기환경기준물질의 농도추이, 다른 지역과의 비교, 요일 및 일변화에 따른 물리화학적 특성을 파악하기 위하여 수원시에서 가장 장기간 자료를 보유하고 있으며 수원시 중심에 위치하고 있는 신평동 측정소의 자료를 수원 대표 자료로 사용하였다.

### 1. 이산화황(SO<sub>2</sub>)

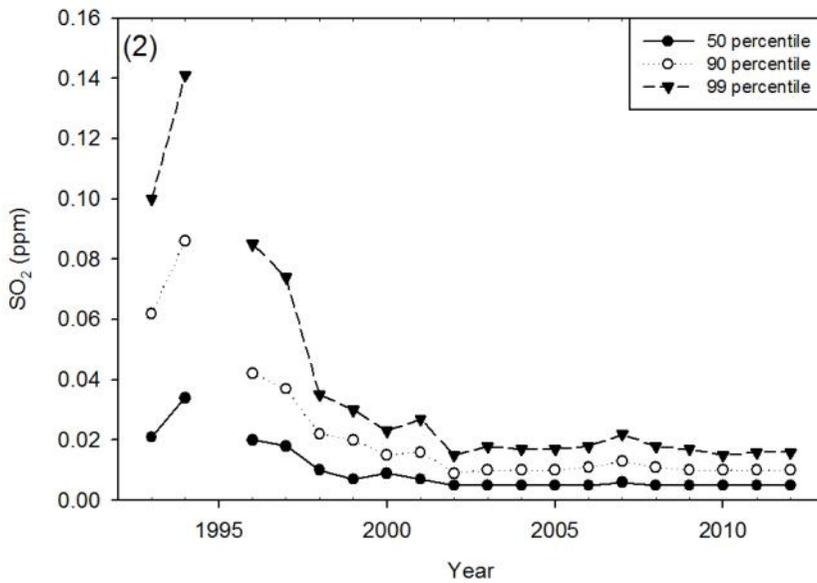
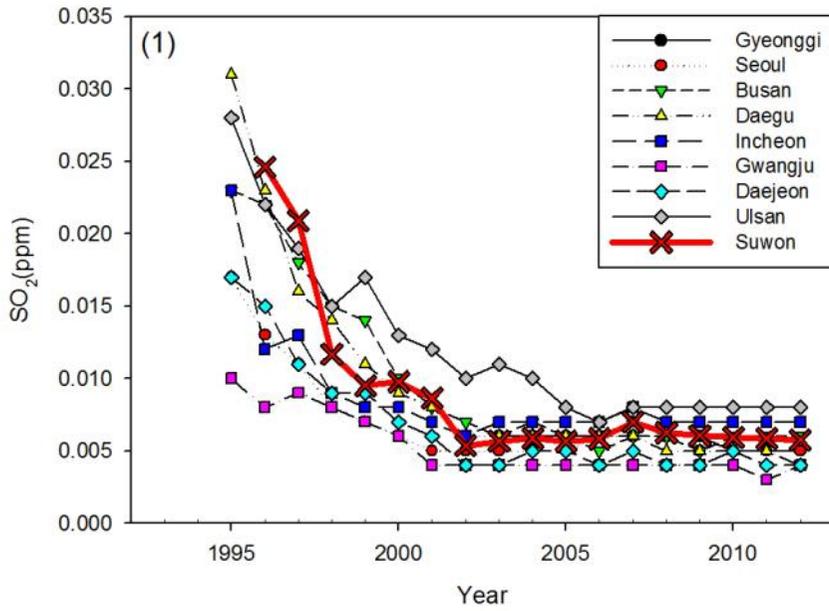
배출원에서 직접 배출되어 측정되는 일차대기오염물질인 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 연평균 농도 추이 및 타 도시와의 비교 분석과 함께 고농도 사례의 특성을 알 수 있는 농도 순위 특성(50 percentile, 90 percentile, 99 percentile)을 알아보았다.

#### 1) 시간변화 추이 및 타시군 농도추이 비교

수원의 SO<sub>2</sub>는 울산과 같은 대표적인 공업단지를 제외하고 전국 다른 지역과 유사한 경향을 보인다 (그림 24). 1990년대에 비해 2000년대 들어와서 급격한 감소를 보였으며 그 이유는 1981년부터 시작한 저황유연료유 사용제도가 해가 갈수록 확대되고 황함유기준이 강화되었기 때문이다. 즉 1981년에는 연료유의 황함유기준을 중유 4.0 → 1.6% 이하, 경유 1.0 → 0.4% 이하로 강화하였으며 1996년에는 중유 1.0% 이하, 경유 0.1% 이하로 더욱 강화하고 대상 지역도 전국규모로 확대하였다 (김용표, 여민주, 2013).

백분위수인 50, 90, 99 percentile도 연평균과 유사한 경향을 보이며 전반적으로 감소하였다. 2002년 이후로는 더 이상의 변화는 없이 저농도로 유지되었다.

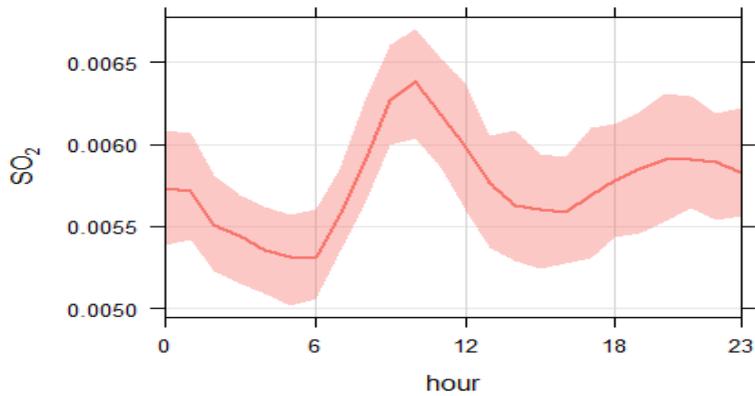
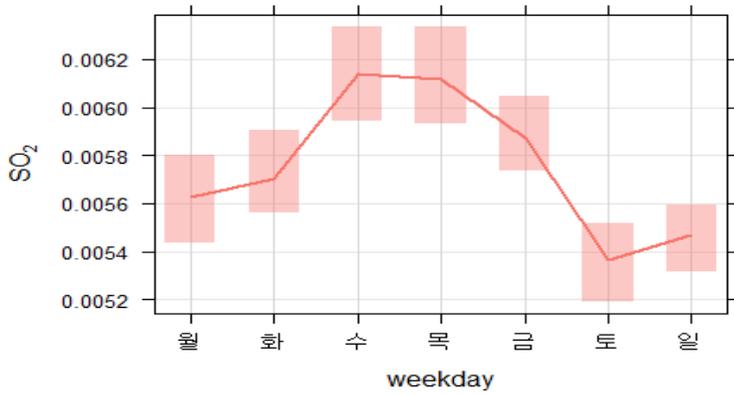
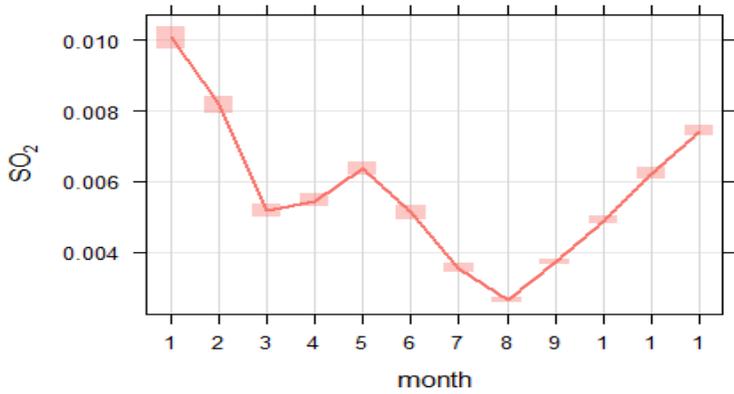
## SO<sub>2</sub>



〈그림 24〉 수원시 SO<sub>2</sub>의 연평균농도 변화추이 (1) 다른 도시와의 비교,  
(2) 백분위수 변화추이

## 2) 요일 및 일변화에 따른 물리화학적 특성

2012년 SO<sub>2</sub>의 월별 농도 분포, 일변화, 요일변화 결과에서 난방을 위한 화석연료를 많이 연소시키는 겨울철 농도가 높았으며 하루 중에는 출퇴근시간에 농도가 높아 도로이동 오염원도 일부 기여하고 있음을 알 수 있었다. 요일별로는 공장이 가동하는 주중이 주말에 비해 높았다. 여름철, 한낮에 SO<sub>2</sub>의 농도가 낮은 이유는 광화학반응에 의한 SO<sub>2</sub>의 황산염으로의 변환, 강수에 의한 습식제거효과, 한낮에 높아지는 대기 boundary layer에서의 희석효과 등을 들 수 있다. 봄철 SO<sub>2</sub> 농도의 상승은 북서풍의 우세에 의한 중국발 대기오염물질의 유입영향으로 설명될 수 있다.



〈그림 25〉 SO<sub>2</sub>의 2012년도 월변화, 요일변화, 일변화. y축은 ppm 단위임.  
 실선은 평균값, 전체 농도 분포는 면으로 표시

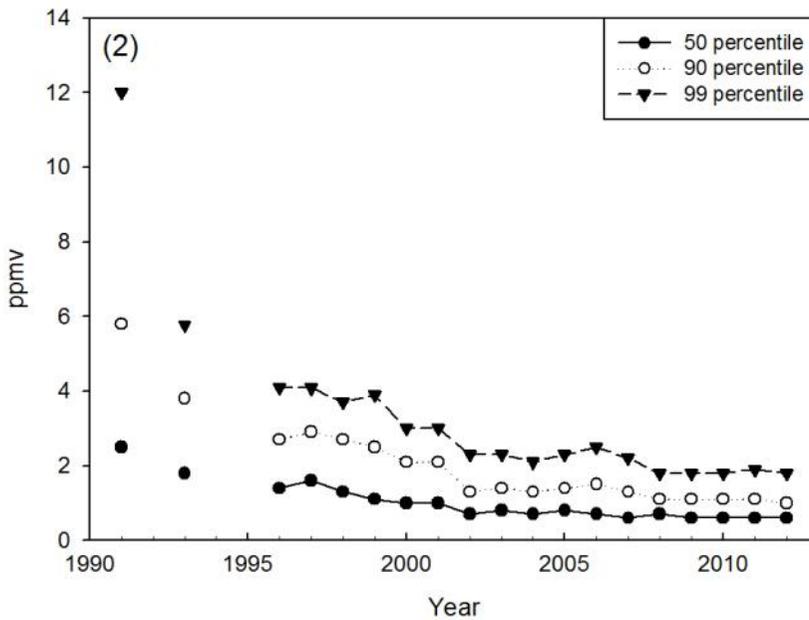
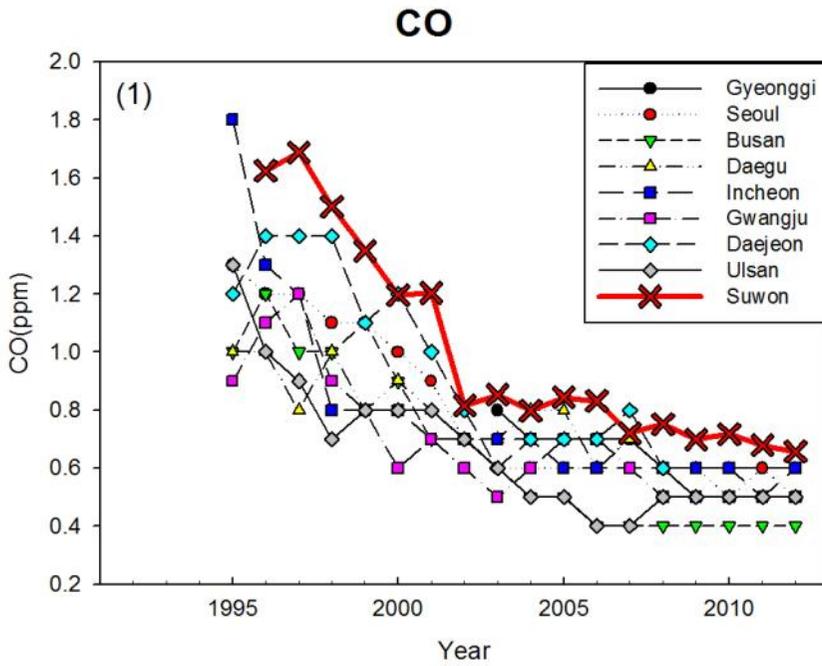
### 3) 환경기준 달성 실태 및 향후 관리 방향

SO<sub>2</sub>의 대기환경기준은 연평균으로 0.020 ppm로 1998년 이후 달성하여 연평균농도 0.010 ppm 이하로 유지되고 있으며 2012년에는 수원시 모든 측정소 뿐만 아니라 산업단지 시흥시를 제외한 경기도 전역에서 24시간 평균 대기환경기준도 단 1회도 초과하지 않았다(2012년 경기도 대기오염평가보고서). 따라서 SO<sub>2</sub>를 대기환경기준 달성여부를 판단하는 항목으로의 측정은 사실상 무의미하여 수원시의 경우도 9개 모든 측정소에서 SO<sub>2</sub>를 측정할 필요는 없을 것이다. 그러나 SO<sub>2</sub>는 산업체에서의 누출사고시 배출될 수 있는 유해물질이며, 대기 중 화학반응에 의해 이차 에어러솔로 변환되어 미세먼지의 농도를 증가시키며 에어러솔의 광학특성을 변환시켜 기후변화에도 영향을 주는 물질이면서, 중국대륙으로부터의 공기 이동시 우리나라로 유입되는 장거리 이동 오염물질이다. 따라서 수원시 대표 대기질 측정소와 대기화학반응을 연구할 수 있는 집중 측정소에서 측정을 할 수 있을 것이다. 또한 누출사고가 발생할 수 있는 산업체의 경우 자체 측정망 보유 및 측정정보 공개로 시민안전에 기여하여야 할 것이다.

## 2. 일산화탄소(CO)

### 1) 시간변화 추이 및 타시군 농도추이 비교

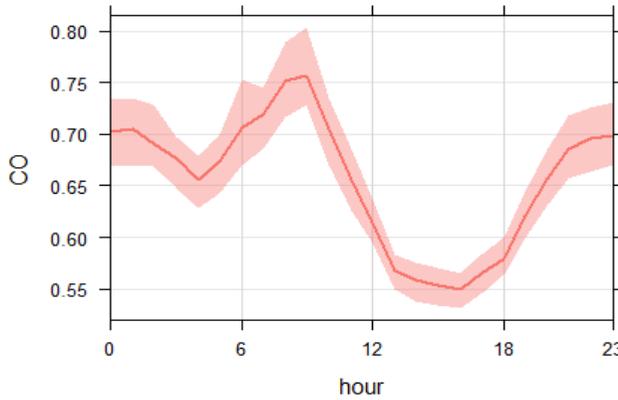
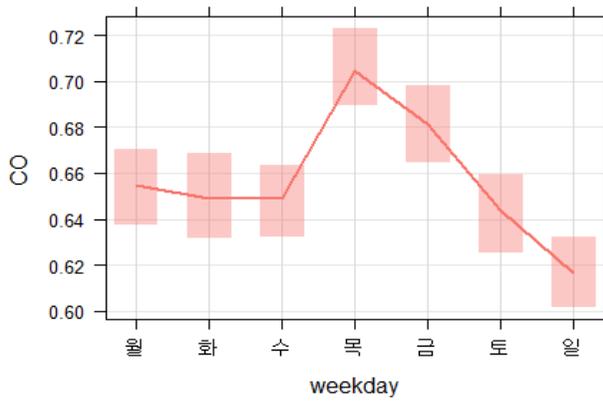
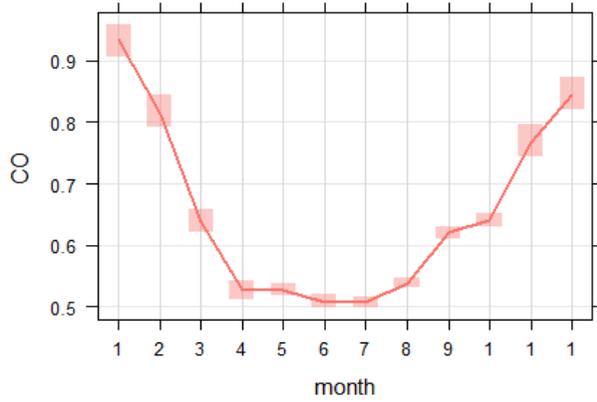
CO는 2000년대 초반까지의 시행된 대기오염저감 정책들로 0.8 ppm까지 크게 감소하였다. 수원시의 CO는 우리나라 부산, 대구, 울산 등과 같이 한반도 남쪽 도시보다 다소 높은 농도를 보이며 이러한 경향은 NO<sub>x</sub>도 유사하다. 그 이유로는 수원시가 서울과 유사하게 인구밀도가 높아 자동차와 같은 이동수단에 의한 대기오염물질 배출이 매우 높은 대도시 대기질의 특성을 보이기 때문일 것이다.



〈그림 26〉 수원시 CO의 연평균 농도 변화 추이. (1) 다른 도시와의 비교,  
(2) 백분위수 변화추이

## 2) 일변화, 요일변화 및 월변화에 따른 물리화학적 특성

CO는 자동차와 같은 도로이동수단의 배출가스와 연료의 연소에서 배출되기에 겨울철 농도가 가장 높고 봄, 여름은 매우 낮았다. 또한 일변화에서도 밤시간에 높았으며 아침 출근시간에 최고농도를 보였는데 이 또한 밤시간대의 난방과 출근시간대의 자동차 배출의 증가에 의한 영향으로 보인다. 요일변화에서도 주말에 낮은 농도를 보여 주중 자동차 사용량 증가와 공장가동률 증가의 영향을 보여주었다.



〈그림 27〉 CO의 2012년도 월변화, 요일변화, 일변화. y축은 ppm 단위임. 실선은 평균값, 전체 농도 분포는 면으로 표시.

### 3) CO 환경기준 달성실태 및 향후 관리 방향

CO는 이미 대기환경기준(8시간 기준 9ppm, 1시간 기준 25 ppm이하)보다도 매우 낮게 유지되고 있어 대기환경기준 달성여부를 판단하기 보다는 자동차 배출가스나 화석연료 연소와 같은 국지배출원에서의 배출량 증가나 중국발 미세먼지와 같은 장거리 대기오염물질의 이동을 표시하는 지시자로 사용되어야 할 것이다. 그러기 위해서는 현행 CO의 검출한계인 0.05 ppm으로는 국지 배출이나 장거리 대기오염물질의 이동을 판별하기에는 오차범위가 너무 크다. 따라서 수원시를 대표할만한 측정소 한 두 지점 내에서만 초정밀장비를 설치하여 측정하는 것이 효과적일 것이다.

## 3. 이산화질소(NO<sub>2</sub>)와 오존(O<sub>3</sub>)

NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>은 광화학반응에 의해 서로 생성과 소멸을 반복하며 농도변화에 상관성이 크기에 본 장에서 합쳐서 분석하였다.

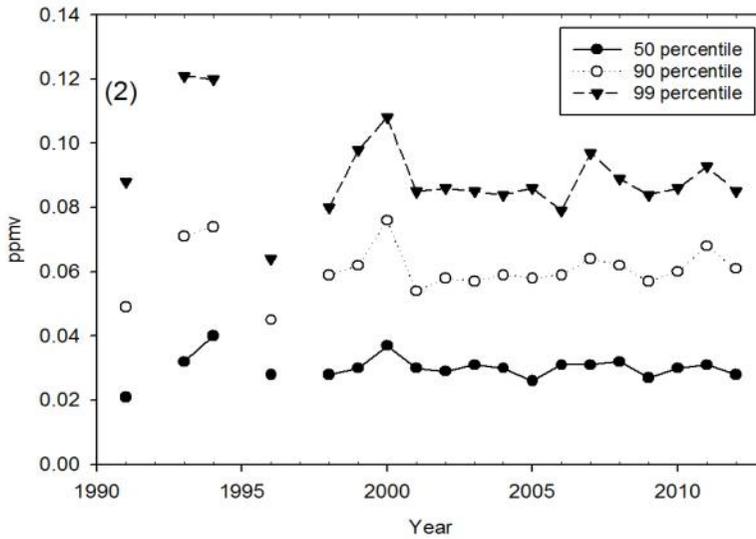
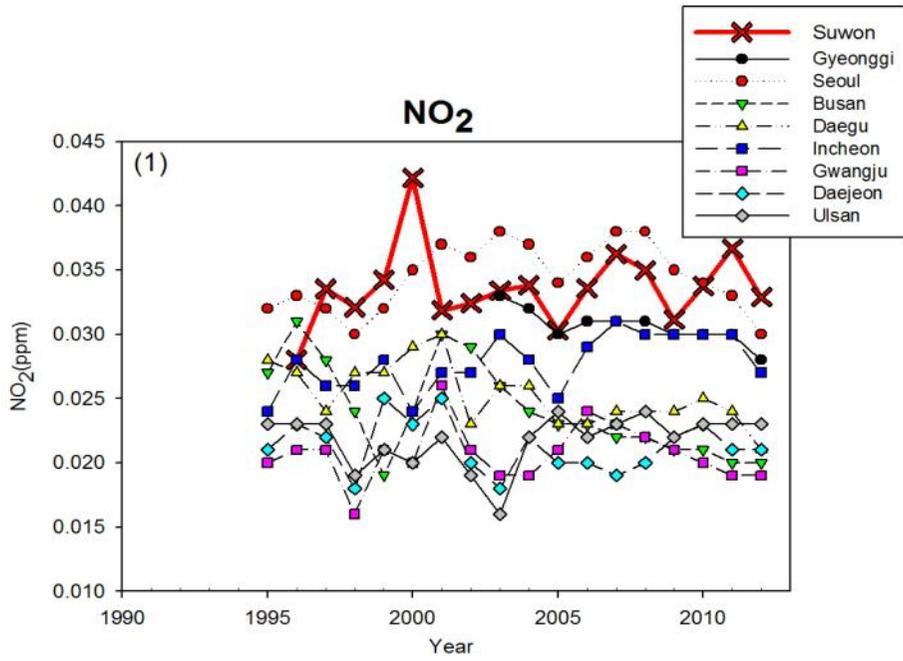
### 1) 시간변화 추이 및 타시군 농도추이 비교

이산화질소(NO<sub>2</sub>)의 주요 배출원은 이동오염원이며, 따라서 자동차의 이산화질소 배출허용기준을 강화함에도 불구하고 차량등록대수가 지속적으로 증가하였기에 연평균농도는 크게 감소하지 않았다(그림 28). 이러한 특성은 서울시와 같은 대도시, 그리고 우리나라 다른 지역과 유사한 경향을 보였다. 수원시의 경우 서울, 경기도 전체, 인천과 함께 전국에 비해 NO<sub>2</sub> 농도가 매우 높았는데 그 이유는 수도권 차량이 전국과 비교하여 월등히 많기 때문이다.

질소산화물(NO<sub>x</sub>)은 이산화질소와 일산화질소의 합으로 배출원에서 배출된 일산화질소가 대기중에서 빠르게 산화되어 이산화질소로 변환되고 광화학 오존 생성반응에서 일산화질소로 되돌아가는 식의 연쇄반응이 일어나기에 두 성분의 구분이 어려워 질소산화물을 측정하기도 한다. 아래 그림에서 보면 질소산화물

농도는 이산화질소와는 다르게 다소 감소되는 것으로 보이는데 실제 질소산화물 배출량은 감소하지만, 이산화질소의 농도가 질소산화물과 다른 농도차이를 보이기 때문인 것으로 보인다(그림 29). 가능한 원인으로서는 복잡한 광화학반응에 의한 농도 교란 또는 파악되지 못한 이산화질소 형태의 질소산화물 배출원의 존재를 들 수 있다(김용표 여민주, 2013).

수원시의 연평균 농도는 1997년 이래로 0.030 ppm 이상으로 지속되어 연평균 대기환경기준 0.030 ppm을 달성하지 못하고 있다. 또한 백분위수 내 percentile 비교를 하면 2000년 이후 NO<sub>2</sub>의 50percentile 농도는 정체를 보여 주나 90percentile이나 99percentile의 값은 2006년이후 다소 증가하였다. 즉, 이산화질소의 평균농도 뿐만 아니라 고농도사례가 점점 증가한다는 의미로 보다 강력한 규제정책이 필요하다는 점을 시사해준다.



〈그림 28〉 NO<sub>2</sub>의 연평균농도 변화추이. (1) 다른 도시와의 비교, (2) 백분위수 변화 추이.

〈그림 29〉 수원시 자동차 등록대수와 질소산화물의 연간 농도 변화.

(출처: 통계로 보는 수원)

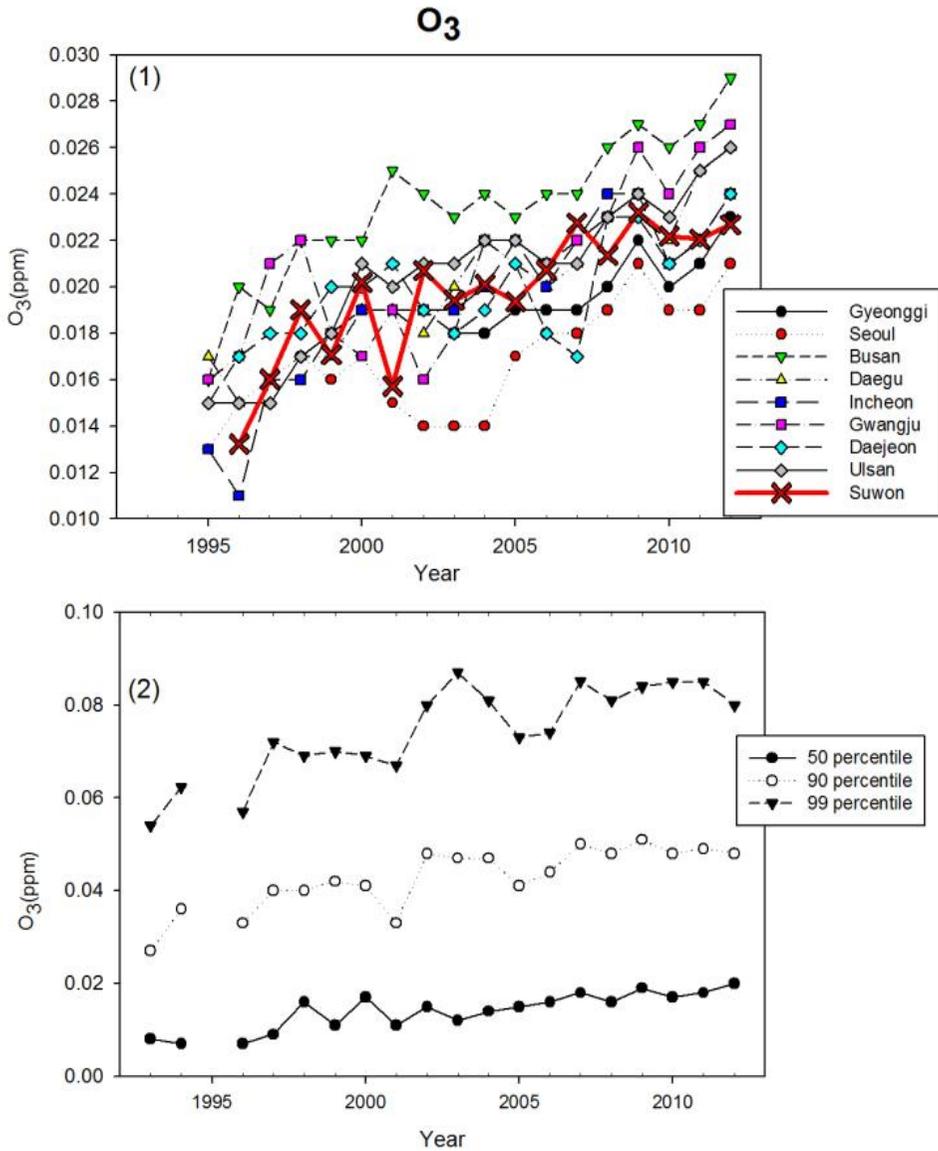
오존의 연평균농도는 1996년 이후 지속적인 증가추세에 있는데 이는 전국 대도시도 유사한 경향을 보였다. 이는 수원시 뿐만 아니라 전국 주요 시군에 걸쳐 유사한 경향으로 도시화됨에 따라 자동차배출가스에서 배출되는 NO<sub>x</sub>의 농도가 늘면서 VOCs와의 광화학반응에 의해 이차오염물질인 오존의 생성이 증가한 것으로 보인다.

오존은 NO<sub>x</sub>와 VOCs와의 광화학반응에 의해 생성되는 이차오염물질이기에 온도와 태양빛 조사에 영향을 미친다. 또한 VOCs는 공장이나 자동차 배출가스 뿐만 아니라 나무, 숲과 같은 자연에서도 배출되는 매우 복잡한 배출특성이 있는데, VOCs의 농도가 높으면 오존의 생성이 증가한다.

주요 대도시의 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 연평균 농도 분포를 보면 오존이 높은 지역은 부산, 광주, 울산인데 반대로 NO<sub>2</sub>에서는 이 세 지역이 가장 낮은 분포를 보였다. 수원은 타시군과 비교하여 NO<sub>2</sub>는 상대적으로 높았으며 오존은 중하위를 보였

다. 그 원인으로는 NO<sub>x</sub>와 O<sub>3</sub>의 연쇄반응에 의한 두 물질간의 역의 상관성, 부산, 광주, 울산이 남부지방에 위치하고 있어서 높은 기온으로 인한 광화학반응 활성화, 공장지대가 근처에 위치하고 있어서 고농도의 VOCs 배출 등을 들 수 있다.

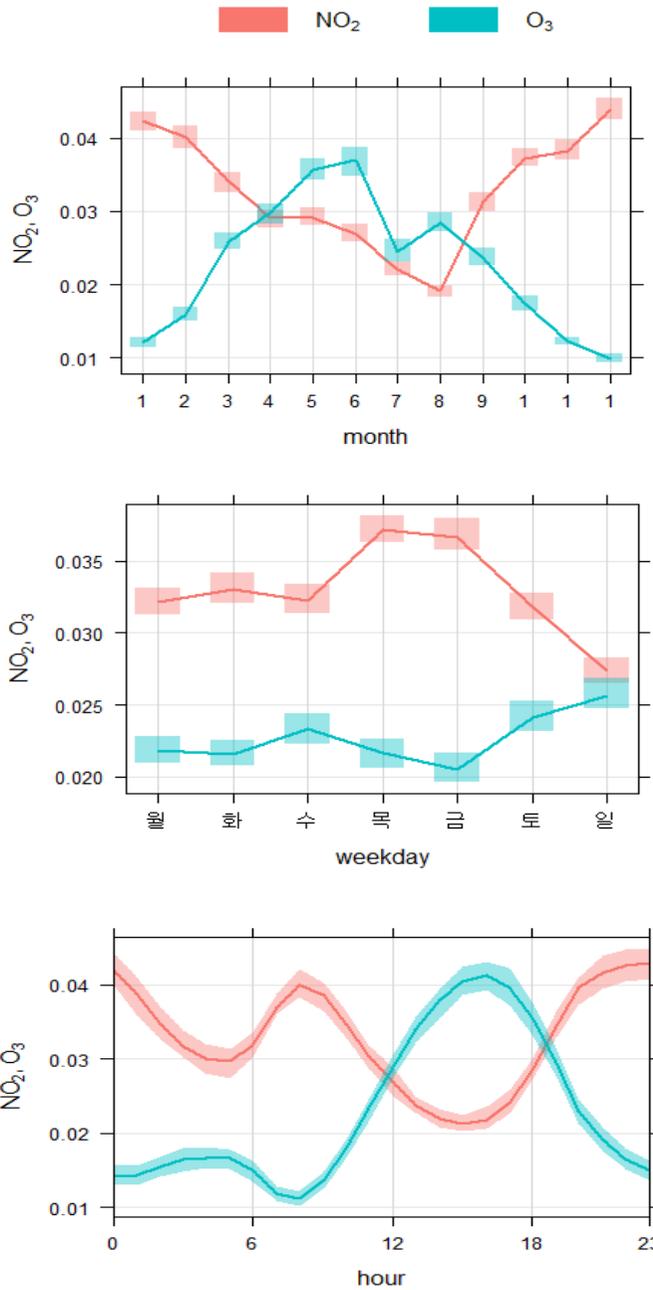
오존의 백분위수 90, 99percentile도 감소와 증가를 반복하였지만 장기간 추이로 볼 때에는 전반적인 증가추세에 있다. 오존은 고농도시 피부나 눈에 직접적으로 해를 주는 건강유해물질이기에 오존주의보 및 예보제를 발령하는 등 평균농도보다는 고농도 사례에 대한 피해방지정책을 추진하고 있으며 도시화에 따른 고농도 오존의 증가로 인하여 보다 강력한 규제 정책 및 대책마련이 필요한 시점이다.



〈그림 30〉 수원시 O<sub>3</sub>의 연평균농도 변화추이. (1) 다른 도시와의 비교,  
(2) 백분위수 변화추이

## 2) 요일 및 일변화에 따른 물리화학적 특성

NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>은 일변화, 요일변화, 월변화 모두에서 역의 상관관계를 보였는데 이는 앞서 언급한 두 물질간의 광화학연쇄반응에 의한 것이다. 따라서 일변화에서도 출퇴근시간에 고농도가 검출된 NO<sub>2</sub>에 비해 오존의 농도는 태양빛 조사가 강력한 낮시간에 가장 높았으며 NO<sub>2</sub> 농도가 낮은 주말에 농도가 높았다. 월변화에서도 가을, 겨울에 NO<sub>2</sub> 농도가 높았으며 O<sub>3</sub>은 5, 6월에 농도가 높아 이 시기에 광화학반응에 의한 O<sub>3</sub> 생성이 활발했음을 보여준다.



〈그림 31〉 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 2012년도 월변화, 요일변화, 일변화. y축은 ppm 단위임. 실선은 평균값, 전체 농도 분포는 면으로 표시.

### 3) NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 환경기준 달성실태 및 향후 관리 방향

환경기준 달성실태는 수원시 총 6개 도시대기 측정소 포함 경기도 내 총 유효측정소 68개소에 대해 조사한 것으로, 수원시 총 6개소의 초과횟수를 모두 더하여 집계하였다 (2012년 경기도 대기오염평가 보고서). NO<sub>2</sub>는 2012년 24시간 평균 초과횟수는 115회로 경기도 31개 시군 중 가장 많았다. 오존의 경우는 1시간 평균 초과횟수는 67회로 경기도 31개 시군 중 5위에 달했다. NO<sub>2</sub>와 오존 모두 환경기준을 초과한 횟수가 경기도 시군 중 상위권에 들어 특히 수원시의 NO<sub>2</sub>, 오존 저감대책이 시급한 것을 보여준다.

〈표 16〉 수원시 6개 도시대기 측정소의 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 환경기준 달성 실태

	NO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>	
	1시간 평균치	24시간 평균치	1시간 평균치	8시간 평균치
초과횟수 <sup>3)</sup>	150	115	67	273
경기도 31개시군 중 순위	2	1	5	2

## 4. 미세먼지

### 1) 시간변화 추이 및 타시군 농도추이 비교

미세먼지(PM10)은 직경 10 μm 이하의 분진(또는 먼지, 에어러솔 등 여러 이름으로 불림)을 나타내는 말로 1990년대에 비해 그 농도가 감소하였다. 하지만, 2000, 2001, 2006년에는 다른 년도와 다르게 매우 높은 연평균값을 보였는데, 그 이유는 우리나라 미세먼지는 우리나라 배출원 뿐만 아니라 중국발 미세먼지의 영향을 매우 크게 받기 때문이다. 표 12를 보면 2000, 2001,

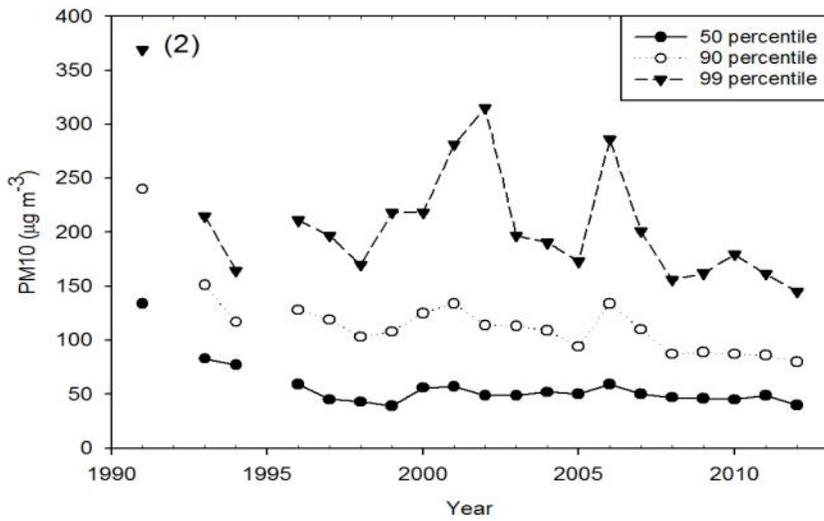
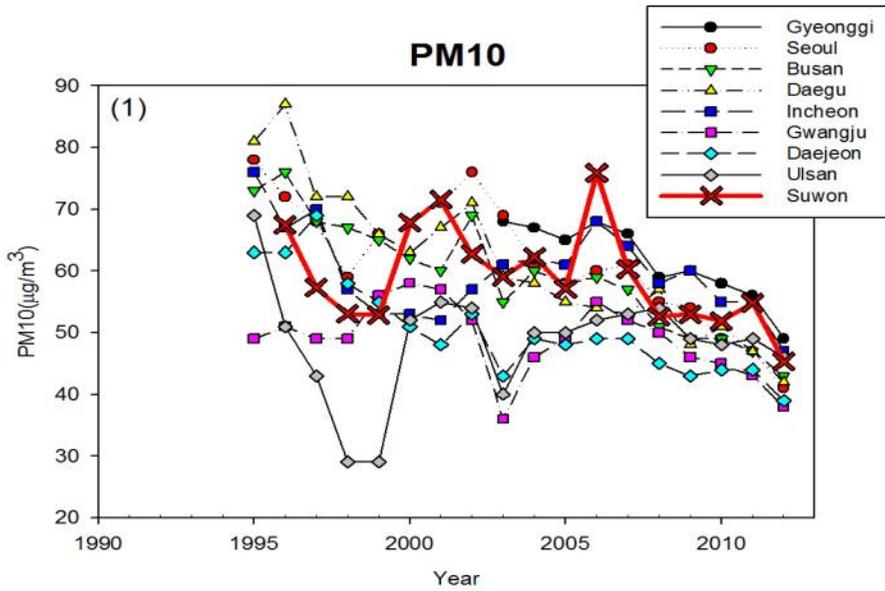
3) 수원시 6개소의 총 초과횟수를 나타냄.  
출처: 2012년도 경기도 대기오염평가 보고서

2005, 2007, 2010년등은 황사발생일수가 연간 12일 이상으로 우리나라에서 황사가 많이 관측되었다. 2006년의 경우 1시간 평균 미세먼지 농도가 최고 1800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 관측된 기록적인 황사가 발생하였으며 이 때 1시간평균 농도 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상 초과 시간이 24시간을 넘는 날이 여러 날 있었다. PM10은 황사입자를 포함하기 때문에 황사의 영향을 포함하여 해석되어야 한다. 즉, 중국 내몽골 등 중국 북부지역에서 발원하여 북서풍을 타고 한반도로 이동 후 강하하는 황사의 경우 한반도 서쪽에 위치하는 수도권 중 특히 수원, 인천 등에서 등에서 큰 영향을 받은 것을 볼 수 있다.

고농도 사례인 황사를 구분하기 위해서 50, 90, 99percentile 값을 살펴본 결과 (그림 32), 황사의 영향으로 여겨지는 99percentile 의 연간 추이가 수원시 연평균 경향과 유사하였다. 따라서 수원시 PM10의 연평균 농도는 황사의 영향을 크게 받았음을 보여주며, 국내에서 제어가 불가능한 국가간 이동물질인 황사에 대한 국제정책의 필요성을 다시 확인시켜 준다. 또한 황사를 분리한 미세먼지의 농도 변화를 볼 수 있는 황사를 포함하지 않는 PM2.5(초미세먼지) 도입 타당성을 뒷받침해준다.

황사와 같은 고농도사례를 제외한 50percentile값은 1991년 이후 1995년을 제외하고 1999년까지 지속적으로 감소하였으나 2000년 이후 더 이상 감소되지 않고 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 정체되어 있다. 따라서 1999년까지는 효과적인 감축이 이루어졌으나 그 이후 PM10의 연간 대기환경기준 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 달성은 쉽지 않았음을 보여준다.

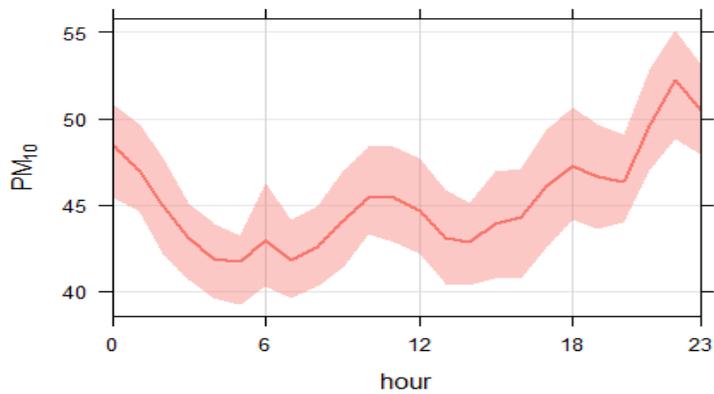
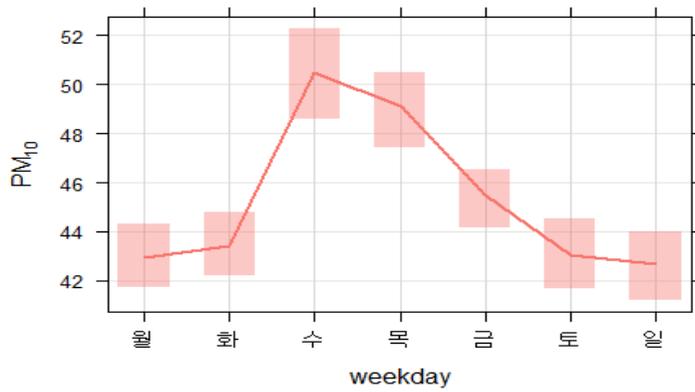
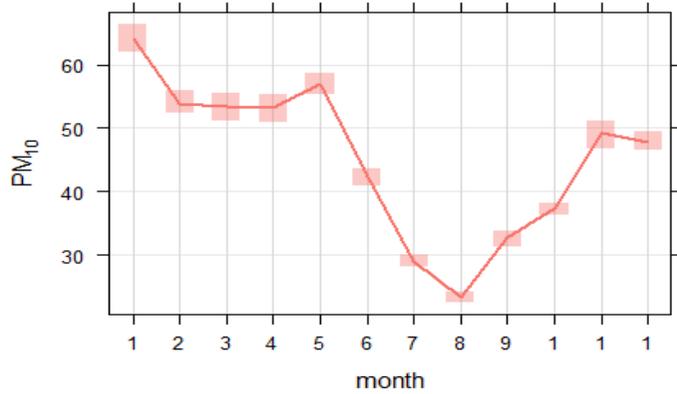
PM10은 배출원에서 직접 배출되더라도 크기가 작아 공기중에 오래 부유하게 되며 탄소성분도 많이 포함하고 있어 도로변 살수차를 이용한 청소와 같은 물리적인 방법으로는 제거하는 데 한계가 있다. 따라서 배출원이나 생성경로를 차단하는 방식을 통하여 제어를 하여야 하는데 여기에는 광화학반응에 의한 이차에어로졸 생성 등의 복잡한 반응이 관여하며 휘발성유기화합물(VOCs)와 같은 가스상 탄소성분과의 복합 연구가 필요하다.



〈그림 32〉 수원시 PM10의 연평균농도 변화추이. (1) 다른 도시와의 비교, (2) 백분위수 변화추이

## 2) 요일 및 일변화에 따른 물리화학적 특성

PM10은 겨울, 봄철에 높고 여름에 낮았으며, 주중이 주말보다 높았으며 밤 시간대가 낮보다 높았다. 월별 변화는 SO<sub>2</sub>와 유사하나 PM10은 봄철 농도가 겨울 못지 않게 높았는데 황사나 중국기원 미세먼지 유입의 영향을 고려할 수 있으며 6~10월을 제외하고는 7개월 동안 월평균농도가 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상으로 측정되어 PM10 저감정책의 시급함을 시사한다. 주중 농도가 주말 농도가 높은 것은 주중 이루어지는 활동인 자동차 운행량의 증가, 공장가동률 증가가 원인으로 보인다. 또한 밤 시간대 농도가 아침이나 낮 시간대보다 높았는데 출퇴근 시간인 아침, 저녁이나 사업장 활동시간인 낮시간보다 밤 시간에 농도가 높아지는 이유는 대기 확산가능 높이인 boundary layer가 밤 시간에 낮아져서 오염물질이 축적되기 때문이라고 생각할 수 있다. 또한 밤낮의 농도변화폭이 그리 크지 않아 한번 고농도의 PM10이 측정되면 비가오거나 공기흐름이 크게 바뀌지 않는 한은 지속시간이 길 수 있음을 의미한다. 따라서 밤낮의 변화가 큰 오존과는 다르게 미세먼지 예보제 발령이나 고농도 미세먼지 사례시 장시간 지속성에 대비한 적절한 피해방지대책을 추진하여야 할 것이다.

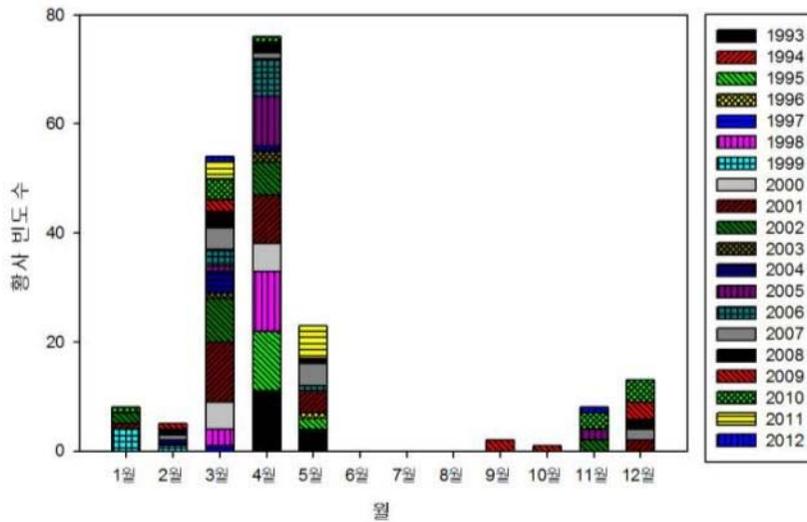


〈그림 33〉 PM10의 2012년도 월변화, 요일변화, 일변화. y축은 ppm 단위임. 실선은 평균값, 전체 농도 분포는 면으로 표시.

### 3) 황사에 의한 장거리 이동 미세먼지 영향 분석

수원 기상대에서 관측한 황사관측일수를 보면 최근 20년간 3~5월에 가장 많았으며 12월에도 황사가 관측되었다(그림34). PM10의 99 percentile 고농도 연간추이에서의 피크값을 나타내는 1995, 2001, 2002, 2005, 2010년의 경우 황사관측일수도 연간 10일 이상으로 높아서 PM10 해석에 있어서 황사의 영향이 매우 큼을 다시 한번 보여준다.

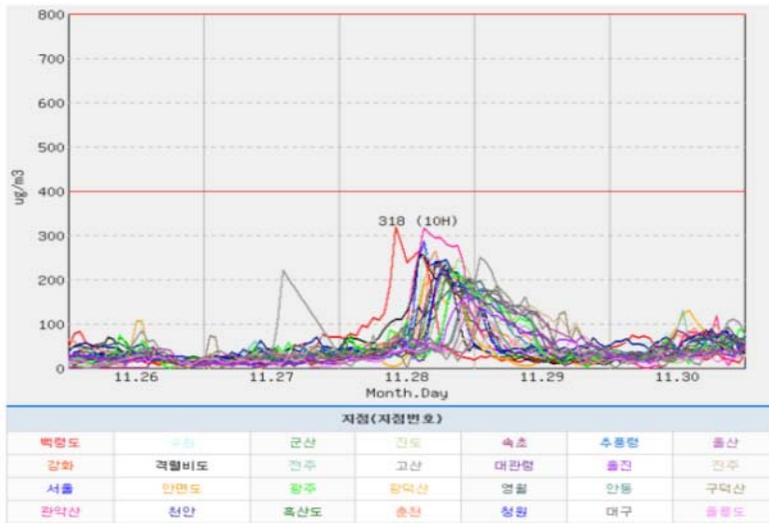
황사는 중국과 몽고의 사막지대에서 강한 모래폭풍이 발생하여 공중에 부유하였다가 북서풍을 타고 우리나라로 이동하여 영향을 주며 수도권 전역에 걸쳐 영향을 주기에(그림35<sup>4)</sup>) 수원시에만 해당되는 특별한 경향이나 관리대책은 없다. 하지만, 수원 기상대는 경기도 유일 황사관측망이 위치해 있는 곳(그림 36<sup>5)</sup>)으로 수원시 대기질 측정망의 PM10 자료와 연계한 황사 감시 연구가 가능하다.



〈그림 34〉 수원기상대 황사관측일수(출처: 기상청)

4) <http://www.kma.go.kr/weather/asiandust/graph.jsp?area=0&stnId=0&view=1&tm=2012.11.30.&x=30&y=8>

5) <http://www.kma.go.kr/weather/asiandust/density.jsp>



〈그림 35〉 황사발생시 기상청 황사측정망의 먼지농도 그래프 (PM10)



〈그림 36〉 우리나라 기상청 관리 황사관측소

〈표 17〉 연도별 수원 기상대 황사관측일수 <sup>6)</sup>

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총합
2012년	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	2
2011년	.	.	3	.	6	.	.	.	.	.	.	.	9
2010년	1	.	4	1	.	.	.	.	.	.	3	4	13
2009년	.	1	2	.	.	.	.	.	2	1	.	3	9
2008년	.	1	3	2	1	.	.	.	.	.	.	2	9
2007년	.	1	4	1	4	.	.	.	.	.	.	2	12
2006년	.	.	3	7	1	.	.	.	.	.	.	.	11
2005년	.	.	1	9	.	.	.	.	.	.	2	.	12
2004년	.	1	4	1	.	.	.	.	.	.	.	.	6
2003년	.	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	3
2002년	2	.	8	6	.	.	.	.	.	.	2	.	18
2001년	1	.	11	9	4	.	.	.	.	.	.	2	27
2000년	.	.	5	5	.	.	.	.	.	.	.	.	10
1999년	4	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
1998년	.	.	3	11	.	.	.	.	.	.	.	.	14
1997년	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
1996년	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1
1995년	.	.	.	11	2	.	.	.	.	.	.	.	13
1994년	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0
1993년	.	.	.	11	4	.	.	.	.	.	.	.	15
1992년	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	4
1991년	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	1	1	7

6) 출처: <http://www.kma.go.kr/weather/asiandust/observday.jsp?type=1&stnId=119&x=31&y=10>

#### 4) 환경기준 달성실태 및 향후 관리 방향

PM10의 환경기준 달성현황은 우만동을 제외한 모든 측정소에서 2011년까지는 연평균 기준까지 초과하다가 2012년에는 동수원 도로변 측정소를 제외 모든 측정소에서 연평균  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하를 달성하였다. 2012년에는경기, 서울, 인천과 같은 수도권 뿐만 아니라 다른 대도시까지 전국적으로 PM10의 농도가 감소하였다. 이와 유사하게  $\text{NO}_2$ 도 수도권, 서울, 인천, 대구에서 전년도에 비해 농도가 감소하여 전국적인  $\text{NO}_2$ 와 PM10의 감소현상을 보였다. 운행차 저공해화, 천연가스 버스 보급, 사업장 대기오염물질 관리 강화, 사업장 비산먼지 관리 강화와 같은 대기오염저감정책의 효과일 수 있으며, 2012년 황사 발생일수가 전년도 9일에 비해 2일로 줄었으며 여름철 강우일수와 강우량도 증가하였기에 기상학적인 원인에 의한 것도 포함될 수 있다. 따라서 그 영향을 판단하기 위해서는 정확한 배출량 분석 및 미세먼지의 조성 분석, PM2.5와의 비교분석을 통하여 평가가 가능할 것이다. 하지만 여전히 PM10의 24시간 평균치는 수원시 측정소 6개소에서 총 51회 대기환경기준을 초과하였고 경기도 전체 시군 중 7위에 해당하는 높은 농도를 보였다. 여름을 제외하고는 전 계절의 농도가 높았기에 보다 적극적인 저감대책이 요구될 것이다.

#### 5. 초미세먼지 관리 방향

초미세먼지는 PM10보다 작은(입경이  $2.5\mu\text{m}$  이하인 에어러솔) 에어러솔로 황사나 공사장 비산먼지도 다량 포함하고 있는 PM10과는 달리 화석연료의 연소, 자동차 배출가스, 노지 소각과 같은 인위적 배출원에 의해 주로 배출되거나 대기 중 광화학스모그와 함께 생성된다. 크기가 작을수록 호흡을 통해 인체에 흡입될 가능성이 높으며 대기 중에서도 체류시간이 길어 지속적인 영향을 미쳐 인체 위해도가 더 크다 (Seinfeld and Pandis, 2009). 따라서 우리나라는 2015년 1월부터 초미세먼지를 대기환경기준에 도입할 계획으로 준비중이다.

수원시는 신평동 측정소에서 2002년 PM2.5(초미세먼지)를 측정하기 시작하여 현재는 고색동을 제외한 8개 측정소 모두에서 PM2.5를 측정하고 있다. 초

미세먼지의 측정결과에 대한 분석은 후속연구에서 이루어 질 것이나, 보유 자료를 중심으로 측정지점별 연평균을 살펴본 결과, 2012년을 제외하고는 측정 지점 및 측정기간 모두 2015년 시행될 대기환경기준(연평균  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)을 달성하지 못했다. 따라서 2015년 대기환경기준 시행에 대비하여 미세먼지, 초미세먼지의 저감대책을 보다 적극적으로 강구하여야 할 것이다.

초미세먼지는 탄소성분을 다량 포함하고 있으며 이차생성 에어러솔의 비중도 커서 이러한 특성을 고려하여 미세먼지와는 다른 관리정책이 이루어져야 할 것이다. 즉, 초미세먼지의 무게농도 뿐만 아니라 집중측정소를 선정, 화학조성 및 중금속 측정 및 초미세먼지의 이차생성물을 평가할 수 있는 에어러솔의 입경분포 측정, 초미세먼지의 이차생성 원인물질이 되는 휘발성 유기화합물(VOCs) 측정을 통하여 종합적인 이해가 필요할 것이다. 이러한 연구를 선행한 후 생성 원인물질 및 환경에 대한 배출규제정책이 마련되어야 할 것이다.

## 제5절 수원시 대기오염특성 종합분석

수원시에서 측정하고 있는 대기환경기준물질의 변화추이 및 오염특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 수원시는 경기도 남부에 위치한 인구밀집 도시로서 경기도 내에서도 특히 도시 대기질의 특성(고농도 NO<sub>2</sub>, CO 및 PM<sub>10</sub>, 뚜렷한 요일변화 및 일변화 등)을 보였다.
- 수원시 공기는 중국 북동부 지역 도시와 산업화 지역으로부터의 외부유입의 영향을 많이 받고 있으며 분지 형태의 도심으로 공기가 정체되어 수원 시내 자체 배출원도 큰 기여를 하는 외부유입과 자체배출 모두 중요한 복합 오염 특성을 보였다.
- 수원시의 대기오염도는 CO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> 항목에 있어서 과거에 비해 크게 개선되었다. 특히 CO, SO<sub>2</sub>는 2000년대 이후 대기환경기준이하로 잘 관리되고 있었다. 그러나 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>은 오히려 농도가 증가하고 있고, PM<sub>10</sub>은 감소하고는 있으나 대기환경기준을 달성하지 못하는 실정이다. 특히 이들 세 항목은 경기도 31개 시군 중 환경기준초과 순위가 모두 10위권 안으로 매우 높았다.



---

## 제4장

## 결론

제1절 결론 및 정책적 제언



# 제4장 결론

## 제1절 결론 및 정책적 제언

본 연구에서는 수원시가 운영/운영예정 중인 9개 대기질 측정소의 최장기간 확보 가능한 대기환경기준물질 측정자료를 수집하여 데이터베이스화하고 수원시의 대기오염 변화추이 및 오염특성을 분석하였다.

수원시의 대기오염도는 대기환경보전법, 수도권 대기환경개선에 관한 특별법 등 관련 법규 제정하에 연료의 황함유 기준 설정, 연료사용 규제, 배출허용기준 설정, 사업장의 오염물질 관리강화 등의 적극적인 배출원 관리 정책으로 크게 개선되어 2000년대 이후 CO, SO<sub>2</sub>는 대기환경기준이하로 관리되고 있으며, PM10도 크게 감소하였다. 그러나 도시화에 의해 차량이 증가되고 인구가 밀집함에 따라 NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>의 농도는 증가추세에 있으며 환경기준초과 사례도 빈번하게 발생하고 있다. PM10의 경우는 1990년대에 비해서는 농도는 감소하였으나 여전히 환경기준을 초과하고 있다.

수원시의 대기질은 주변지역이나 대륙간 장거리 이동 오염물질의 영향과 도심에서의 배출원이 같이 기여를 하는 특성을 갖고 있다. 대륙간 장거리 이동 오염물질은 중국 북동부 공업화 도시로부터의 미세먼지를 포함하는 오염공기 (pollution plume)와 중국 및 몽골 사막화 지역으로부터의 황사를 들 수 있으며 수도권 전역에 영향을 미치기에 수원시만의 대책을 마련하기가 사실상 쉽지 않다. 하지만 수원시와 중국 공업화 도시와의 상호 협력체계 구축방안 마련 등의 도시간 국제협력을 통하여 국가간 협력체계와 더불어 외부 오염물질 유입을 줄이는 데 기여할 수 있을 것이다.

수원시는 국내 도시 중 인구밀도 4위의 인구밀집 도시로 NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO,

PM10의 자체 배출원도 큰 비중을 차지하였으며 수원시 중에서도 도심지역과 비도심 지역에 따라 대기환경기준물질의 농도가 달랐다. 따라서 도심에서의 자동차 배출가스나 화석연료 연소 배출원의 저감 및 서수원 지역의 비산먼지 및 노지소각에 의한 생물성 연소 배출원 저감 등 지역에 맞는 배출원 관리정책이 필요하다.

수원시는 대기질 측정소의 확대, 초미세먼지 측정망 확보 등 대기질 측정에 있어서 앞서가는 정책을 추진하고 있으나, 수원시 측정자료에 대한 체계적인 해석은 부족한 실정이다. 따라서 수원시 대기환경개선 정책의 실효성 및 이에 따른 대기질 개선 효과 평가를 통해 향후 관리방향을 점검하기 위해서는 대기질 측정자료에 대한 정기적인 점검 및 학술적 해석, 정책 추진 효과를 평가하기 위한 수원시 대기오염도 종합보고서 발간이 필요할 것이다.

---

## 참고문헌



## 참고문헌

- 환경부: <http://www.me.go.kr/web/68/me/news200board/news200BoardUserView.do?no=20100081&decorator=me>)
- 에어코리아: <http://www.airkorea.or.kr/>
- 미국 해양대기청: GDAS <ftp://arlftp.arlhq.noaa.gov/pub/archives/gdas1>
- 기상청: [www.kma.go.kr/weather/asiandust/graph.jsp?area=0&stnId=0&view=1&tm=2012.11.30.&x=30&y=8](http://www.kma.go.kr/weather/asiandust/graph.jsp?area=0&stnId=0&view=1&tm=2012.11.30.&x=30&y=8)
- 수원시 환경보전기본계획 보고서, 수원시, 2007
- 2012 국가대기환경연보, 국립환경과학원, 2013
- 2012년 경기도 대기오염 평가 보고서, 경기도보건환경연구원, 2013
- 김동영 외, 경기도 교외지역의 미세먼지 특성 분석 및 관리방안, 경기개발연구원, 2012
- 김용표 여민주, 서울의 대기환경기준물질 농도 추이, 한국대기환경학회지, 29(4), 369-377, 2013
- 한지현 외, 과거 30년 우리나라 광화학 오염과 연구 현황, 한국대기환경학회지, 29(4), 390-406, 2013
- 임득용 외, 장기간 대기오염 및 기상측정 자료 (2000~2009)를 이용한 PM10 과 NO<sub>2</sub>의 강수세정 기여율과 바람분산 기여율의 정량적 추정연구, 한국대기환경학회지, 28(3), 325-347, 2012
- 김운수 김정아, 서울시 고농도 미세먼지 오염현상의 원인분석 및 지역별 맞춤형 관리대책, 서울연구원, 2011
- 선우영 외, 수도권 대기질 개선대책 효과분석 및 사후관리방안 연구, 환경부, 2006
- 김동영 외, 2단계 수도권 대기환경관리계획 수립을 위한 정책방향, 경기개발연구원, 2011
- Wang et al., TrajStat: GIS-based software that uses various trajectory statistical analysis methods to identify potential sources from long-term air pollution measurement data. Environmental Modelling

- & Software, 24: 938–939, 2009
- Hopke et al., Combining chemical and meteorological data to infer source areas of airborne pollutants, *Chemometrics and Intelligent laboratory Systems*, 19, 187–199, 1998
- 방병조, characteristics of OC and EC in PM<sub>2.5</sub> at Gosan, Jeju and their source identification, *고려대학교 석사학위논문*, 2011
- Seinfeld and Pandis, *Atmospheric chemistry and physics*, JohnWiley and Sons, Inc., New York, 997-1000, 1139-1143, 1998

---

## 영문요약(Abstract)



## The Trend and Characteristics of the Criteria Air Pollutants Concentrations in Suwon

The temporal and spacial trend and characteristics of the criteria air pollutants concentrations in Suwon was reviewed to understand the overall characteristics of air quality over Suwon and to construct fundamental background for the air quality improvement policy. We examined the long-term data of the criteria air pollutants measured from 9 air pollution measurement stations in Suwon City. The air quality in Suwon have been improved since 2000, and the air pollution category in Suwon has been transformed from developing country-style which was characterized to high sulfur dioxides ( $\text{SO}_2$ ) and dust (TSP, PM10) to developed country-style characterized to high nitrogen oxides ( $\text{NO}_2$ ) and ozone ( $\text{O}_3$ ). In detail, CO and  $\text{SO}_2$  were maintained under the national ambient air quality standard due to the strict government regulations. On the other hand,  $\text{NO}_2$  and  $\text{O}_3$  concentrations were in the increasing trend due to the fast urbanization of the city with heavy traffics and high populations. PM10 concentration has been greatly decreased since 1990, however it often exceeded the air quality standards. The overall characteristics of the air quality in Suwon can be categorized to the combination of the long range transport of continental air pollutants from China and the local emission from urban areas. Thus the long range transported air pollutant management policy should cover the entire Gyeonggi province and Seoul not Suwon inside, but the international collaboration with urban or industrial cities in China as a local government can help the air pollution reduction in developing cities. As one of the highly populated cities, Suwon has a

great local contribution of NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, and PM10, but their concentrations were different for urban centrals and rural regions inside of the city. Therefore the management policy should be customized to the urban and rural regions for instance, the fossil fuel combustion regulation for automobiles and residential areas for urban regions and the dust management in construction fields and the biomass burning source management in open fields.

Keywords: Criteria air pollutants, air pollutants measurement station in Suwon, temporal and spacial trend of air pollutants, developed country-style air pollution, air quality improvement policy

키워드: 대기환경기준물질, 수원시 대기오염측정소, 대기오염물질의 시공간 추이, 선진국형 대기오염, 대기질 개선정책





## 수원시 대기오염 변화추이 및 오염특성 분석

---

**발행인** 손혁재

**발행일** 2014년 2월 17일

**발행처** 수원시정연구원

(443-810)경기도 수원시 영통구 매영로 345번길 111

전화 031-220-8001 팩스 031-220-8000

---

비매품 ISBN 979-11-952339-0-8

본 출판물의 저작권은 수원시정연구원에 속합니다.

