

## 연구결과보고서

2018년도 연구개발사업에 따라 연구중인 안산시 미세먼지 발생원 파악 및 관리방안 마련에 관한 연구의 최종보고서를 붙임과 같이 제출 합니다.

붙임 : 최종보고서 130부 끝

연구기관 : 세종대학교산학협력단

연구책임자 : 전 의 찬

연구기관장 : 백 성 욱



안산녹색환경지원센터장 귀하



# 제 출 문

안산녹색환경지원센터장 귀하

본 보고서를 “안산시 미세먼지 발생원 파악 및 관리방안 마련”에 관한 최종보고서를 제출합니다.

연구기관명 : 세종대학교

연구책임자 : 전의찬 교수(세종대 환경에너지공간융합학과)

세부연구책임자 : 원호식 교수(한양대 화학분자공학과)

연구 원 : 김민욱, 조승현, 우지윤, 홍윤정, 조창상,  
강성민, 노준영, 김길훈, 이나영, 최민지



---

안산시 미세먼지 발생원 파악 및  
관리방안 마련

---

전 의 찬

안산녹색환경지원센터



# 요 약 문

## I. 연구개요

최근 여러 지자체에서 다양한 분야에서 발생하는 미세먼지에 대한 연구가 이루어지고 있으나, 국가산업단지 등 다양한 배출원이 위치해 있는 안산의 경우 정확한 원인 분석에 대한 연구가 이루어지지 않고 있음.

본 연구에서는 안산시 미세먼지 분야별(교통, 산업, 생활 등) 미세먼지 주요 배출원을 파악하고 발생하는 미세먼지 및 2차 생성물질을 분석하여 안산시에 적용 가능한 맞춤형 미세먼지 저감 대책 수립 및 실행방안 도출하고자 함.

## II. 연구의 필요성 및 목적

### · 미세먼지 분야

안산시 미세먼지의 유입경로 및 발생 원인을 파악·분석하여 체계적인 관리방안을 마련하여 미세먼지를 근본적으로 저감하고자 함.

안산시 미세먼지 분야별(교통, 산업, 생활 등) 배출원을 파악 및 분석하여 안산시에 적용 가능한 맞춤형 미세먼지 저감 대책 수립 및 실행방안 도출하고자 함.

### · 유해대기오염물질 분야

안산스마트허브의 경우 대기 유해물질에 대한 조사 및 관리가 필요함에도 불구하고 정확한 분석이 이루어지지 않고 있어 이에 대한 분석이 필요함.

본 연구에서는 업종별 대기 유해물질에 대한 원인 분석을 통해 공단 내 배출원 별 효율적인 관리방안을 마련하고자 함.

### III. 연구의 내용 및 범위

- 안산시 미세먼지 분야별(교통, 산업 등) 배출원 파악 및 분석
- 미세먼지 배출 사업장 주요 업종별 배출원 조사
  - 반월·시화산업단지 대기 유해물질 배출원 파악 및 분석
- 배출원별 발생 오염물질 현황파악
- 폐기물처리업, 페인트 제조업, 화학제품 제조업 등 주요 배출원의 대기유해물질 현황조사
- 기타 대기 유해물질 발생현황 분석
  - 유해대기오염물질 관리 및 저감방안 마련
- 정량 분석이 가능한 대기 유해물질 조사
- 배출량 조사
- 배출원별 저감방안 도출
- 산업단지 미세먼지 대책 마련
- 미세먼지 1차배출원 저감 대책 수립
- 미세먼지 2차배출원(VOCs, NOx 등) 저감 방안 수립 등
  - 안산시에 적용 가능한 맞춤형 미세먼지 저감 대책 수립 및 실행방안 도출

### IV. 연구결과

- 미세먼지 분야  
(1차년도) :
  - 안산시 미세먼지 분야별(교통, 산업 등) 배출원 파악 및 분석
  - 미세먼지 배출 사업장 주요 업종별 배출원 조사
  - 안산시 분야별 1차 미세먼지 및 2차 미세먼지 배출원 파악
  - 분야별 미세먼지 배출현황 조사
  - 분야별 미세먼지(PM-25, PM-10) 및 미세먼지 생성물질(NOx, SOx, VOCs) 실측(1차)

- (2차년도) : • 분야별 미세먼지(PM-2.5, PM-10) 및 미세먼지 생성물질 (NOx, SOx, VOCs) 실측(2차)
- 모델링에 의한 미세먼지 오염원규명
  - 모델링에 의한 미세먼지 저감 효과 분석
  - 산업단지 미세먼지 대책 마련
  - 미세먼지 1, 2차 배출원 저감 대책 수립
  - 안산시에 적용 가능한 맞춤형 미세먼지 저감 대책 수립 및 실행방안 도출

○ 유해대기유해물질 분야

- (1차년도) : • 대기오염, 악취실태 등 관련 선행 연구자료 및 문헌자료 조사
- 반월공단 내 유해대기오염물질 배출현황 조사
  - 주요업종 별 유해대기오염물질 배출시설 오염물질 측정 및 분석

- (2차년도) : • 사업장 및 배출원 유해대기 오염물질 (비소, 수은) 분석
- 업종별 유해대기오염물질 종류 및 배출량 정리
  - 안산시 대기오염물질관련 정책 및 관련 규정 조사
  - 유해대기오염물질 저감방안 모색

## V. 연구결과의 활용계획

- 안산시 미세먼지 정책수립을 통해 정부 정책 및 타 지자체에 선도적인 입지 구축이 가능하고, 안산시 대내외적인 홍보효과 및 이미지 제고 전략에 활용.
- 국가산업단지(반월, 시화산업단지)과 화력발전 등 다양한 원인을 가지고 있는 안산의 경우 정확한 원인 분석에 대한 연구가 이루어지지 않고 있음. 따라서, 미세먼지 배출원 파악 및 분석을 통해 관리 가능.

- 산업단지 내 주요 배출사업장에 대한 집중적이고 효율적인 관리방안 마련
- 주요 유해대기오염물질 배출업종 현황 및 특성 등 실태조사 자료 활용

# 목 차

요약문 .....	i
목차 .....	v
표 목차 .....	viii
그림 목차 .....	x
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1. 연구의 필요성 .....	1
1.1. 미세먼지 연구의 필요성 .....	1
1.2. 유해대기오염물질 연구의 필요성 .....	2
2. 안산시 현황 .....	4
2.1. 안산시의 지리적 특성 .....	4
2.2. 인구 및 가구 .....	5
2.3. 산업 및 교통 현황 .....	6
3. 안산시의 미세먼지 및 유해대기오염물질 현황 .....	8
3.1. 안산시 미세먼지 및 미세먼지 생성물질 농도 현황 .....	8
3.2. 안산시 유해대기오염물질 현황 .....	10
<b>제 2 장 국내·외 미세먼지 사업정책 현황 및 기술 현황 .....</b>	<b>17</b>
1. 국내 미세먼지 사업정책 .....	17
2. 국외 미세먼지 사업정책 .....	23
<b>제 3 장 미세먼지 현장조사 내용 및 결과 .....</b>	<b>31</b>
1. 연구대상 물질 및 사업장 .....	31
1.1. 미세먼지(PM-10, PM-2.5) .....	31
1.2. 미세먼지 생성물질(NOx, SOx, VOCs) .....	32
1.3. 연구대상 사업장 .....	33

2. 미세먼지와 미세먼지 생성물질 농도 분석방법 .....	36
2.1. 미세먼지 농도 분석 방법 .....	36
2.2. 미세먼지 생성물질 농도 분석방법 .....	42
3. 미세먼지와 미세먼지 생성물질 농도 측정 장비 .....	44
3.1. 미세먼지 측정 장비 .....	44
3.2. 미세먼지 생성물질 농도 측정 장비 .....	45
4. 현장측정 결과 .....	48
<b>제 4 장 안산시 교통분야의 미세먼지 배출량 .....</b>	<b>77</b>
1. 도로이동오염원 배출량 산정 방법 .....	77
2. 안산시 도로이동오염원의 미세먼지 배출량 현황 .....	81
<b>제 5 장 미세먼지 기여도 분석 .....</b>	<b>87</b>
1. 대기질 모델링 .....	87
1.1 대기질 모델링 시스템 .....	87
2. 기상 모델링 시스템 .....	88
3. 배출량 모델링 시스템 .....	89
4. 기여도 분석을 위한 화학수송 모델링 시스템 .....	90
<b>제 6 장 국내·외 유해대기오염물질 정책 및 기술 현황 .....</b>	<b>95</b>
1. 국내 .....	95
2. 국외 .....	96
<b>제 7 장 유해대기오염물질 현장조사 내용 및 결과 .....</b>	<b>101</b>
1. 유해대기오염물질 수은(Hg), 비소(As) 현장조사 .....	101
1.1. 연구대상 물질 .....	101
1.2. 연구대상 사업장 .....	102
2. 유해대기오염물질 분석방법 .....	103
3. 유해대기오염물질 분석장비 .....	104
4. 유해대기오염물질 분석결과 .....	104

<b>제 8 장 결 론</b> .....	<b>121</b>
1. 미세먼지 분야(1차년도) 결론 .....	121
2. 유해대기오염물질 분야(1차년도) 결론 .....	124
<b>제 9 장 2차년도 연구수행 계획</b> .....	<b>127</b>
1. 미세먼지 분야 추진현황 및 향후계획 .....	127
2. 유해대기오염물질 추진현황 및 향후계획 .....	127
<b>참고문헌</b> .....	<b>129</b>

## 표 목 차

표 1. 시화반월공단 내 주요 업종별 현황	2
표 2. 시화·반월공단기준 산단지역 및 주거지역의 유해대기오염물질 농도 비교	3
표 3. 연도별·성별 인구추이	5
표 4. 안산시 산업부문별 사업체 수와 종사자 수	6
표 5. 안산시 미세먼지 측정소 현황	8
표 6. 안산시 연평균 PM-10 농도현황	8
표 7. 안산시 연평균 PM-2.5 농도현황	9
표 8. 안산시 연평균 NO <sub>2</sub> 농도현황	9
표 9. 안산시 SO <sub>2</sub> 연도별 평균값	10
표 10. 업종별 유해대기오염물질 배출현황 조사결과(계속)	10
표 11. 안산시 미세먼지 저감 지원 사업 현황	18
표 12. 미국의 미세먼지 기준	24
표 13. 미세먼지의 국내 대기환경 기준	31
표 14. 전국 시도별 대기오염물질 배출량(2015년)	32
표 15. 연구대상 기업의 대기오염물질 연간 배출량(CleanSYS 측정결과)	34
표 16. 안산시 소재 제조업 중분류별 사업체수(2016년)	35
표 17. 미세먼지 측정 개요	36
표 18. 기기 점검 방법	38
표 19. VOCs 기기분석 조건	46
표 20. VOCs 최소검출한계	46
표 21. VOCs 농도 분석의 재현성 평가	47
표 22. A사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도	48

표 23. A사업장의 미세먼지 생성물질 농도 .....	49
표 24. A사업장의 VOCs 농도 .....	50
표 25. B사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도 .....	51
표 26. B사업장의 미세먼지 생성물질 농도 .....	52
표 27. B사업장의 VOCs 농도 .....	53
표 28. C사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도 .....	54
표 29. C사업장의 VOCs 농도 .....	55
표 30. D사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도 .....	56
표 31. D사업장의 미세먼지 생성물질 농도 .....	57
표 32. D사업장의 VOCs 농도 .....	58
표 33. E사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도 .....	59
표 34. E사업장의 미세먼지 생성물질 농도 .....	60
표 35. E사업장의 VOCs 농도 .....	61
표 36. F사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도 .....	62
표 37. F사업장의 미세먼지 생성물질 농도 .....	63
표 38. F사업장의 VOCs 농도 .....	64
표 39. G사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도 .....	65
표 40. G사업장의 미세먼지 생성물질 농도 .....	66
표 41. G사업장의 VOCs 농도 .....	67
표 42. H사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도 .....	68
표 43. H사업장의 미세먼지 생성물질 농도 .....	69
표 44. H사업장의 VOCs 농도 .....	70
표 45. I사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도 .....	71
표 46. J사업장의 배기가스의 입자상오염물질 농도 .....	73
표 47. 안산 자동차 등록현황표(2015년) .....	78

표 48. 안산시 1일 평균주행거리(2015년) .....	78
표 49. 안산시 연간 총 주행거리(2015년) .....	78
표 50. 도로이동오염원 PM 배출계수 .....	79
표 51. 안산시 도로이동오염원 승용차 PM 배출량(2015) .....	81
표 52. 안산시 도로이동오염원 승합차 PM 배출량(2015) .....	82
표 53. 안산시 도로이동오염원 화물차 PM 배출량(2015) .....	83
표 54. 안산시 도로이동오염원 특수차 PM 배출량(2015) .....	84
표 55. 일본에서 규제되는 물질의 종류와 규제항목 .....	97
표 56. 중국의 유해대기물질 규제농도 .....	97
표 57. 대기오염물질의 배출허용기준(15조 관련) .....	102
표 58. 1차 연구수행 대상 업체 목록 및 업종분류 .....	103
표 59. A업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	105
표 60. B업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	106
표 61. C업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	107
표 62. E업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	108
표 63. F업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	109
표 64. G업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	110
표 65. H업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	111
표 66. I업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	112
표 67. J업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	113
표 68. L업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	114
표 69. O업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	115
표 70. Q업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	116
표 71. U업체 시설운영현황 및 분석결과 .....	117
표 72. 업종별 입자상오염물질, 미세먼지 생성물질 측정결과 .....	121
표 73. 업종별 VOCs 농도 측정결과 .....	123

## 그 림 목 차

그림 1. 안산 반월단지 내 기업입주 및 악취 민원 발생 분포도 .....	2
그림 2. 안산시 위치도 .....	4
그림 3. 안산시 도로망 현황도 .....	7
그림 4. 안산시 미세먼지 특별대책상황반 구성 .....	18
그림 5. 미세먼지에 관한 종합대책(일본) .....	25
그림 6. 미세먼지에 대한 주의보 발령 지침(일본) .....	26
그림 7. 미세먼지 대책의 장단기 과제(일본) .....	27
그림 8. 연구대상 사업장 현황 .....	33
그림 9. 여과지 제작 과정 .....	37
그림 10. 여과지 건조 과정 .....	37
그림 11. 여과지 무게 측정 과정 .....	37
그림 12. 피토우관에 의한 배출가스 유속측정 .....	39
그림 13. Lung sampler를 이용한 간헐포집(EPA Method 18) .....	42
그림 14. 간헐포집 방법의 실험모식도 .....	43
그림 15. Cascade Impactor .....	44
그림 16. Stack sampler (ES 01301) .....	44
그림 17. Lung sampler (ACEN, KOREA) .....	45
그림 18. Gas analyzer (EUROTRON, GreenLine MK2) .....	45
그림 19. GC-MSD .....	47
그림 20. A사업장 측정 모습 .....	48
그림 21. A사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율 .....	49
그림 22. B사업장 측정 모습 .....	51
그림 23. B사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율 .....	52
그림 24. C사업장 측정 모습 .....	54

그림 25. C사업장 먼지농도와 입자크기별 분포	55
그림 26. D사업장 측정 모습	56
그림 27. D사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율	57
그림 28. E사업장 측정 모습	59
그림 29. E사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율	60
그림 30. F사업장 측정 모습	62
그림 31. F사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율	63
그림 32. G사업장 측정 모습	65
그림 33. G사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율	66
그림 34. H사업장 측정 모습	68
그림 35. H사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율	69
그림 36. I사업장 측정 모습	71
그림 37. I사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율	72
그림 38. J사업장 측정 모습	72
그림 39. J사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율	73
그림 40. 대기질 모델링 시스템	88
그림 41. WRF 수치모의 흐름도	89
그림 42. SMOKE 모델입력 배출량 산정 흐름도	90
그림 43. CAMx 시스템 개요	91
그림 44. 국내에서 개발 중인 유해화학물질 배출저감 시스템 LDAR21의 개요도	96
그림 45. ICP 장비 및 측정사진	104
그림 46. 업체 배출물질 자체분석결과	118
그림 47. 향후 연구수행 계획	128

## 제 1 장 서 론

---

1. 연구의 필요성 .....
  2. 안산시의 배출원 현황 .....
  3. 안산시의 미세먼지 및 유해대기오염물질 현황 .....
-



# 제 1 장 서 론

## 1. 연구의 필요성

안산시는 국가산업단지를 비롯한 다양한 배출원이 존재하는 것으로 파악되고 있다. 국가산업단지에 대한 악취와 대기 분석만 이루어지고 있으며, 미세먼지에 대한 정확한 원인 분석은 이루어지지 않고 있다. 안산시 미세먼지의 유입경로 및 발생 원인을 파악·분석하여 체계적인 관리방안을 마련하여 미세먼지를 근본적으로 저감하고자 한다.

유해대기오염물질에 대한 조사 및 관리가 필요함에도 불구하고 정확한 분석이 이루어지지 않고 있어 이에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 업종별 대기 유해물질에 대한 원인 분석을 통해 공단 내 배출원 별 효율적인 관리방안을 마련하고자 한다.

### 1.1. 미세먼지 연구의 필요성

미세먼지는 직경에 따라 PM-10과 PM-2.5 등으로 구분하며, PM-10은 1000분의 10 mm 보다 작은 먼지이며, PM-2.5는 1000분의 2.5 mm보다 작은 먼지로, 머리카락 직경 (약 60  $\mu\text{m}$ )의 1/20~ 1/30 크기보다 작은 입자이다.

이러한 미세먼지는 천식과 같은 호흡기계 질병을 악화시키고, 폐 기능의 저하를 초래하는 것으로 알려져 있다. 특히 PM-2.5 는 입자가 미세하여 코 점막을 통해 걸러지지 않고 흡입 시 폐포까지 직접 침투하여 천식이나 폐질환의 유병률과 조기사망률을 증가시키는 것으로 알려져 있다.

안산시는 대규모 공단과 주거지역이 밀접하여 대기오염과 악취와 관련된 민원이 자주 발생하고 있어 이와 관련된 연구는 지속적으로 진행되고 있으나, 미세먼지에 대한 주요 배출원 및 배출원인에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구를 통해 안산시에서 발생하는 미세먼지의 유입경로 및 발생 원인을 파악 및 분석하여 체계적인 관리방안을 마련하여 미세먼지를 저감할 필요가 있다. 또한 업종별 대기 유해물질에 대한 원인 분석을 통해 국가산업단지 내 배출원별 효율적인 관리방안이 필요하다.

## 1.2. 유해대기오염물질 연구의 필요성

경기도 내 조성된 반월·시화 공업단지는 2015년 기준, 약 19,000 개의 산업시설이 입주해 있으며, 업종별로 약 14,000 개소의 조립금속, 약 1,400 개소의 석유화학, 약 500 개의 섬유 의복 등 아래 표와 같으며, 공단 전체 산업시설의 약 85 %를 차지하고 있다(표 1. 참조).

표 1. 시화반월공단 내 주요 업종별 현황

(단위: 개소)

구분	합계	조립금속	석유화학	섬유의복	목재·종이·인쇄	폐기물처리
반월시화	16,032	13,858	1,382	534	251	7

자료 : 산업자원부고시 제 2015-283호

화학제품 제조 및 금속가공 등 업종들의 경우 공정과정에서 다양한 화학물질들이 사용 되는 특징을 가지고 있으며, 대량의 화학물질들이 악취와 대기환경에 심각한 영향을 주고 있다.

산업단지로부터 발생된 유해대기오염물질과 악취는 그림 1. 에서 보는 바와 같이 인근 주거지역으로 유입 및 확산되어 주민의 건강과 환경을 해치는 요인으로 민원이 자주 발생하고 있다. 2010년 악취관리지역 내 규제대상 사업장의 민원발생은 459 건이었으나, 2014년 기준 2,454 건으로 해마다 민원이 증가하는 추세이다.

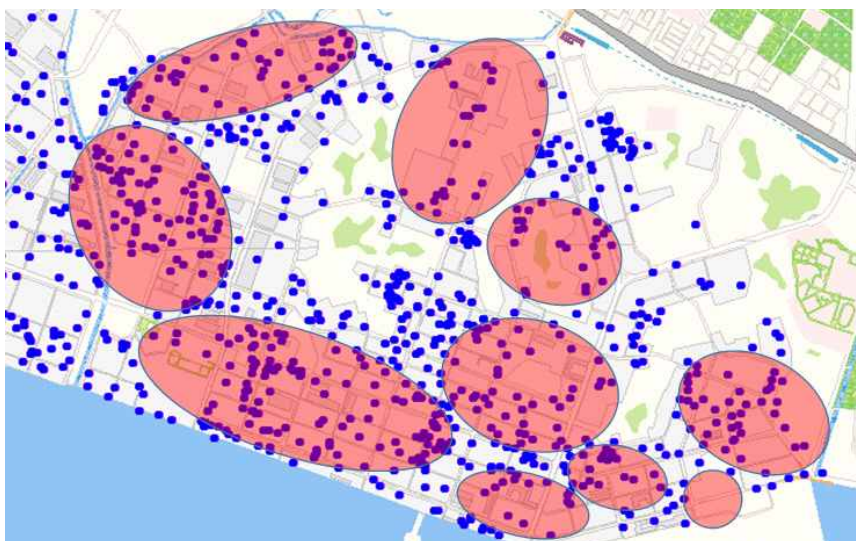


그림 1. 안산 반월단지 내 기업입주 및 악취 민원 발생 분포도

선행연구로 진행된 “시화·반월지역 유해대기오염물질 조사연구”에 의하면, 반월·시화 공업단지를 기준으로 산업단지와 주거지역의 대기 중 VOCs 물질들을 물질별 검출빈도와 평균농도로 나타냈을 때, 벤젠과 톨루엔은 전체 시료에서 100 %로 검출되었으며, 에틸벤젠, 자일렌, TCE 등은 약 80 % 이상이 검출되었다. 산단지역은 유해대기오염물질 중 톨루엔과 TCE의 평균 농도가 제일 높게 나타났으며, 주거지역의 경우 톨루엔과 m,p-자일렌이 높게 나타나고 있다(표 2. 참조).

표 2. 시화·반월공단기준 산단지역 및 주거지역의 유해대기오염물질 농도 비교

(단위: ppb)

구분	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	m,p-자일렌	o-자일렌	TCE
산단지역	0.81	16.15	1.82	3.50	1.03	4.67
주거지역	0.66	7.59	0.83	1.48	0.50	0.87

자료 : 시화·반월지역 유해대기오염물질 조사연구 (2005)

선행연구 이후에도 입주업체의 증가와 다양한 업종유형 별 공정과정의 적용으로 보다 많은 특정대기유해물질의 발생이 우려되어 지속적으로 반월·시화 산업단지 내 시설에서 발생하는 특정대기유해물질의 대해 조사가 이루어지고 있다. 그러나 오염원과 발생원 등 현황파악이 어렵고 뚜렷한 관리방안을 마련하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 전년도에 수행되었던 유해대기물질의 배출원 파악 및 조사연구를 보완하여 보다 체계적으로 악취 및 유해대기화학물질의 발생현황과 종합관리계획을 수립할 수 있도록 Database를 구축하고자 한다.

## 2. 안산시 현황

### 2.1. 안산시의 지리적 특성

안산시는 그림 2. 에서 보는 바와 같이 동쪽으로 군포시와 의왕시, 남쪽으로 화성시, 북쪽으로 시흥시에 접해 있으며, 서울의 인구 및 산업 분산정책의 일환으로 개발된 전원주택 도시이다. 서울의 30 km 반경 남서부에 위치하여 서해안과 접해 있으며, 지형은 내륙 쪽으로 비교적 완경사를 이루고 있다. 시흥시와 접한 북부에는 광덕산·마산, 남부에는 나봉산·칠보산 등 낮은 구릉선 산지가 연속적으로 이어진다. 반월천·안산천·화정천 등의 하천이 시내를 지나 그 주변 연안에는 비교적 넓은 충적지가 발달되었으며, 대부분이 논으로 이용되고 있다.



그림 2. 안산시 위치도

자료 : 2020 안산도시기본계획 재수립 일부변경

## 2.2. 인구 및 가구

안산시의 2016년 말 기준 인구는 표 3. 에서 보는 바와 같이 약 744,356명으로 2002년에 비해 약 16.7 %가 증가하였다. 안산시 인구 증가의 원인은 시 승격과 전철 개통, 시외 버스 노선 연장 등으로 서울과의 접근성이 좋아지고, 반월공단 및 주변지역의 개발에 의한 수도권 및 타 지역에서의 인구 유입 등 사회적 증가율이 높은 것에 따른 결과로 판단된다. 세대수는 2002년 223,529세대에서 2016년 말 280,524세대로 증가하였으며, 세대당 인구수는 3명에서 2.46명으로 감소하였다.

표 3. 연도별·성별 인구추이

연별	인구수			세대	세대당 인구
	소계(명)	남(명)	여(명)		
2002	637,660	328,950	308,710	223,529	3
2003	671,687	347,861	323,826	236,313	3
2004	686,873	355,002	331,871	244,608	3
2005	697,239	359,764	337,475	253,174	3
2006	723,075	373,513	349,562	264,603	3
2007	734,713	379,312	355,401	269,534	3
2008	741,073	382,024	359,049	273,025	3
2009	739,493	380,939	358,554	273,075	3
2010	753,862	389,878	363,984	280,919	2.54
2011	759,902	392,463	367,439	281,655	2.54
2012	758,573	391,349	367,224	282,006	2.54
2013	762,915	393,949	368,966	283,650	2.52
2014	761,631	393,436	368,195	283,527	2.50
2015	753,604	389,156	364,448	281,865	2.48
2016	744,356	384,233	360,123	280,524	2.46

주 : 인구수에 외국인 포함. 세대수에 외국인세대 제외  
 자료 : 안산시 통계연보(2017)

### 2.3. 산업 및 교통 현황

안산시의 산업현황은 표 4. 에서 보는 바와 같이 모두 53,134개의 사업체가 있으며, 종사자는 319,024명으로 나타났다. 산업부문별로 보면, 사업체수는 도매 및 소매업이 11,646개 (21.92 %), 종사자수는 제조업이 128,339명(40.23 %)으로 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

표 4. 안산시 산업부문별 사업체 수와 종사자 수

산업분류	사업체수 (개)	사업체 비중(%)	종사자수 (명)	종사자 비중(%)
계	53,134	100	319,024	100
농업, 임업 및 어업	7	0.01	62	0.02
광업	6	0.01	38	0.01
<b>제조업</b>	<b>9,150</b>	<b>17.22</b>	<b>128,339</b>	<b>40.23</b>
전기, 가스 증기 및 수도사업	21	0.04	758	0.24
하수·폐기물처리, 원료재생 및 환경복원업	135	0.25	1,593	0.50
건설업	1,828	3.44	12,959	4.06
<b>도매 및 소매업</b>	<b>11,646</b>	<b>21.92</b>	<b>36,839</b>	<b>11.55</b>
운수업	6,182	11.63	12,957	4.06
<b>숙박 및 음식점업</b>	<b>8,917</b>	<b>16.78</b>	<b>24,964</b>	<b>7.83</b>
출판, 영상, 방송 통신 및 정보서비스업	239	0.45	1,638	0.51
금융 및 보험업	484	0.91	6,567	2.06
부동산업 및 임대업	2,032	3.82	6,260	1.96
전문, 과학 및 기술 서비스업	1,121	2.11	9,574	3.00
사업시설관리 및 사업지원 서비스업	796	1.50	14,920	4.68
공공행정, 국방 및 사회보장행정	90	0.17	6,309	1.98
교육 서비스업	2,069	3.89	18,862	5.91
보건업 및 사회복지 서비스업	1,700	3.20	20,274	6.36
예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업	1,742	3.28	4,897	1.53
협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업	4,969	9.35	11,214	3.52

자료 : 안산시 통계연보(2017)

안산시의 주요 도로는 그림 3. 에서 보는 바와 같이 서해안고속도로와 영동고속도로가 있으며, 두 고속도로가 만나는 지점에 안산분기점(안산JC)이 있다. 국도는 3개 노선(국도 제 39번, 42번, 39번)이 있으며, 영동고속도로와 39번 국도가 만나는 지점에 서안산IC가 있다. 서안산IC 및 안산JC를 통해 영동고속도로로 진입할 수 있다. 그러나 영동고속도로 하행선

진입 시에는 서안산IC과 안산JC보다는 반월 인근의 군포IC의 이용이 비교적 많으며, 서해안고속도로 하행선 진입 시, 매송IC를 이용하기도 한다. 국도 제 42호선의 일부인 수인산업도로가 안산 동부지역을 지나가며 안산시의 주요 도로(중앙로, 용신로, 해안로)와 직접 연결된다. 이 때문에, 다수의 고속버스 및 시외버스 노선이 수인산업도로를 이용하고 있다.



그림 3. 안산시 도로망 현황도

자료 : 안산시 교통정보센터(<http://its.iansan.net/>)

### 3. 안산시의 미세먼지 및 유해대기오염물질 현황

#### 3.1. 안산시 미세먼지 및 미세먼지 생성물질 농도 현황

안산시는 표 5. 에서 보는 바와 같이 경기도 보건환경연구원 관리 하에 총 8곳의 측정소에서 대기환경오염물질을 측정하고 있다.

표 5. 안산시 미세먼지 측정소 현황

고잔동	안산시 단원구 화랑로 110 (안산시청)
원시동	안산시 단원구 산단로 112 (민주노총 사무실)
본오동	안산시 상록구 각골길 97 (본오2동 주민센터)
원곡동	안산시 단원구 원선길 101(원곡2동 주민센터)
부곡동	안산시 상록구 성호길 346 (부곡동주민센터)
대부동	안산시 단원구 대부중앙로97-9(대부동 주민센터 옥상)
호수동	안산시 단원구 진흥4길 30 (양지중학교)
도로변 - 중앙대로(고잔동)	안산시 단원구 중앙대로 822 (안산P1펌프장)

자료 : 경기도 보건환경연구원

표 6.~표 9.는 경기도 보건환경연구원에서 측정/관리한 안산시의 연도별 PM-10, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>의 평균농도를 나타내고 있다. 2010년부터 2017년까지 총 8개년도의 값을 보여주고 있으며, 2016년도의 경우 경기도 보건환경연구원 DB 작업 관계로 누락되어있다.

표 6. 안산시 연평균 PM-10 농도현황

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

측정소	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
경기도 평균	58	56	49	54	54	53	-	51
고잔동	55	54	43	47	49	49	-	45
원시동	63	63	53	56	55	60	-	54
본오동	53	52	44	50	52	50	-	44
원곡동	50	57	48	51	53	55	-	51
부곡동	55	58	51	58	53	56	-	56
대부동	50	50	44	48	46	49	-	46
호수동	55	51	44	52	55	56	-	40
중앙대로 (고잔동)	57	56	45	49	52	56	-	43

자료 : 경기도 보건환경연구원

표 7. 안산시 연평균 PM-2.5 농도현황

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

측정소	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
경기도 평균	-	-	-	-	29	26	28	27
고잔동	-	-	-	-	-	-	-	38
원시동	-	-	-	-	34	32	33	30
본오동	-	-	-	-	-	-	-	38
원곡동	-	-	-	-	29	-	29	26
부곡동	-	-	-	-	31	23	26	29
대부동	-	-	-	-	28	24	27	23
호수동	-	-	-	-	-	-	-	21
중앙대로 (고잔동)	-	-	-	-	-	-	-	36

자료 : 경기도 보건환경연구원

표 8. 안산시 연평균 NO<sub>2</sub> 농도현황

(단위: ppm)

측정소	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
경기도 평균	0.03	0.03	0.028	0.029	0.029	0.029	-	0.027
고잔동	0.033	0.034	0.03	0.033	0.034	0.033	-	0.029
원시동	0.031	0.03	0.029	0.032	0.033	0.032	-	0.028
본오동	0.033	0.034	0.028	0.032	0.033	0.031	-	0.028
원곡동	0.033	0.034	0.032	0.033	0.035	0.033	-	0.03
부곡동	0.034	0.037	0.036	0.037	0.04	0.039	-	0.036
대부동	0.015	0.015	0.012	0.015	0.016	0.015	-	0.014
호수동	0.029	0.034	0.032	0.034	0.034	0.032	-	0.028
중앙대로 (고잔동)	0.042	0.046	0.04	0.041	0.041	0.041	-	0.035

자료 : 경기도 보건환경연구원

표 9. 안산시 SO<sub>2</sub> 연도별 평균값

(단위: ppm)

측정소	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
경기도 평균	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	-	0.005
고잔동	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	0.005	-	0.004
원시동	0.011	0.01	0.009	0.008	0.01	0.01	-	0.008
본오동	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	-	0.005
원곡동	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005	-	0.005
부곡동	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	-	0.005
대부동	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.005	-	0.005
호수동	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005	-	0.005
중앙대로 (고잔동)	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	-	0.004

자료 : 경기도 보건환경연구원

### 3.2. 안산시 유해대기오염물질 현황

화학물질배출량조사(TRI)자료를 근거로 대기 중으로 배출되는 주요 유해대기오염물질과, 업종을 조사하였으며, 본 과제에서 주요 분석물질로 선정된 수은(Hg)과 비소(As) 및 그 화합물을 배출하는 업종으로 고무제품 및 플라스틱 제조업(22), 1차 금속제조업(24), 전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업(26)이 확인되었다.

표 10. 업종별 유해대기오염물질 배출현황 조사결과(계속)

표준산업 분류코드	업종	배출물질
10	식품 제조업	- 염소 및 염화수소, 스티렌, 1,2-디클로로에탄, 불소화합물, 포름알데히드, 아세트산비닐, 니트로벤젠, 에피클로로하이드린 - (악취물질) 황화수소, DMS, DMDS, 톨루엔, 자일렌 등
11	음료 제조업	- 염소 및 염화수소, 스티렌, 1,2-디클로로에탄, 불소화합물, 포름알데히드, 아세트산비닐, 니트로벤젠, 에피클로로하이드린

표준산업 분류코드	업종	배출물질
13	섬유제품 제조업 (의복제외)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 디클로로메탄, 사염화탄소, 석면, 스티렌, 염소 및 염화수소, 클로로포름, 테트라클로로에틸렌, n-디메틸포름아미드, 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 아크릴아미드</li> <li>- 4,4'-디이소시안산시페틸메탄, 납 및 그 화합물, 아크릴로니트릴, 크롬 및 그 화합물</li> <li>- 벤젠, 톨루엔, mp자일렌 등</li> </ul>
14	의복, 액세서리 및 모피제품 제조업	-
15	가죽, 가방 및 신발제조업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (악취물질) 황화수소, 암모니아, 톨루엔, 메틸에틸케톤, 벤젠, 아세톤, 자이렌, 메틸메르캅탄, 저급지방산류</li> <li>- n,n디메틸포름아미드, 2-에톡시에탄올, 포름알데히드, 크롬 및 그 화합물, 4,4'-디이소시안산디페닐메탄, 아세트산비닐, 트리클로로에틸렌, 황산디메틸</li> </ul>
16	목재 및 나무제품 제조업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 디클로로메탄, 스티렌, 염소 및 염화수소, 페놀, 포름알데히드</li> </ul>
17	펄프, 종이 및 종이제품 제조업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 스티렌, 에틸벤젠, 염소 및 염화수소, 염화비닐, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 페놀, 포름알데히드, n,n-디메틸포름아미드, 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 아세트산비닐, 에피클로로히드린</li> <li>- 벤젠, 톨루엔, mp자일렌, 스타일렌</li> </ul>
18	인쇄 및 기록매체 복제업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 염소 및 염화수소, 크롬 및 그화합물 ,2-에톡시에탄올, 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 아세트산비닐</li> </ul>
19	코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 휘발성 유기화합물이 전체 90.5%차지. 톨루엔(15.9%), n,n-디메틸포름아미드(8.9%), 디클로로케탄(8.7%), 메틸에틸케톤, 프로필렌, 에틸렌, 자일렌, n-헥산, 벤젠, 알루미늄 및 그 화합물, 아연 및 그 화합물, 구리 및 그 화합물, 망간 및 그 화합물, 납 및 그 화합물, 크롬 및 그 화합물, 니켈 및 그 화합물</li> </ul>
20	화학물질 및 기타화학제품 제조업 (의약품제외)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 납 및 그 화합물, 니켈 및 그 화합물, 디클로로메탄, 스티렌, 아크릴로니트릴, 에틸벤젠, 염소 및 염화수소, 크롬및그화합물, 페놀, 포름알데히드, n,n-디메틸포름아미드, 2,4-다이소시안산톨루엔, 2-에톡시에탄올, 2-에톡시에탄올, 4,4'-디이소시안산디페닐메탄, 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 아세트산2-에톡시에틸, 아세트산비닐, 에피클로로히드린, 코발트 및 그 화합물</li> </ul>

표준산업 분류코드	업종	배출물질
21	의료용 물질 및 의약품 제조업	-
22	고무제품 및 플라스틱제품 제조업	- 트리클로로에틸렌, 디클로로메탄, 염소 및 염화수소, 불소화합물, 포름알데히드, n,n-디메틸포름아미드, 벤젠, 스티렌, 니켈 및 화합물, 페놀, 납 및 그 화합물, 클로로포름, 2-메톡시에탄올, 크롬 및 그 화합물, 비소 및 그 화합물, 시안화수소, 1,3-부타디엔, 수은 및 그 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 아크릴로니트릴, 코발트 및 그 화합물, 2-에톡시에틸아세테이트, 산화에틸렌, 아닐린, 에피클로로히드린
24	1차 금속 제조업	- 니켈 및 그 화합물, 에틸벤젠, 염소 및 염화수소, 크롬 및 그 화합물, 아세트산2-에톡시에틸 - 염소 및 염화수소, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 디클로로메탄, 납 및 그 화합물, 불소화합물, 벤젠, 아세트산2-에톡시에틸, 크롬 및 그 화합물, 에틸벤젠, 니켈 및 그 화합물, 시안화수소, 페놀, 코발트 및 그 화합물, 비소 및 그 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 4,4'-디이소시아산디페닐메탄, 수은 및 그 화합물, 2-에톡시에틸아세테이트, 히드라진, n,n-디메틸포름아미드
25	금속가공제품 제조업 (기계 및 가구 제외)-도금업	- 암모니아, 황화수소, 메틸머캅탄, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드, 트리메틸아민, 아세트알데하이드, i-발레르알데하이드, 휘발성유기화합물질 - 납 및 그 화합물, 니켈 및 그 화합물, 디클로로메탄, 불소화합물, 스티렌, 에틸벤젠, 염소 및 염화수소, 크롬 및 그 화합물, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, n,n-디메틸포름아미드, 2-에톡시에탄올, 4,4'-디이소시아산디페닐메탄, 아세트산2-에톡시에틸, 코발트 및 그 화합물 - 트리클로로에틸렌, 염소 및 염화수소, 디클로로메탄, 2-에톡시에탄올, 아세트산2-에톡시에틸, 테트라클로로에틸렌, 에틸벤젠, 페놀, 크롬 및 그 화합물, 불소화합물, n,n-디메틸포름아미드, 벤젠, 포름알데히드, 염화비닐, 스티렌, 니켈 및 그 화합물, 4,4'-디이소시아산디페닐메탄, 코발트 및 그 화합물, 납 및 그 화합물, 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 비소 및 그 화합물, 2-에톡시에틸아세테이트, 카드뮴 및 그 화합물, 톨루엔, 2,4-디이소시아네이트
26	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 -인쇄회로기판	- 트리클로로에틸렌, 디클로로메탄, 염소 및 염화수소, 불소화합물, 포름알데히드, n,n-디메틸포름아미드, 벤젠, 스티렌, 니켈 및 화합물, 페놀, 납 및 그 화합물, 클로로포름, 2-메톡시에탄올, 크롬 및 그 화합물, 비소 및 그 화합물, 시안화수소, 1,3-부타디엔, 수은 및 그 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 아크릴로니트릴, 코발트 및 그 화합물, 2-에톡시에틸아세테이트, 산화에틸렌, 아닐린, 에피클로로히드린

표준산업 분류코드	업종	배출물질
29	기타 기계 및 장비 제조업	- 니켈 및 그 화합물, 디클로로메탄, 불소화합물, 스티렌, 에틸 벤젠, 크롬 및 그 화합물, 트리클로로에틸렌
30	자동차 및 트레일러 제조업	- 납 및 그 화합물, 니켈 및 그 화합물, 디클로로메탄, 벤젠, 석면, 스티렌, 아닐린, 에틸벤젠, 염소 및 염화수소, 크롬 및 그 화합물, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, n,n-디메틸포 름아미드, 2,4-디이소시아나톨루엔, 4,4'-디이소시아나디페 닐메탄, 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 아세트산2-에톡시에틸 - 에틸벤젠, 트리클로로에틸렌, 디클로로메탄, 아세트산 2-에 톡시에틸, 스티렌, 포름알데히드, 염소 및 염화수소, 디(2-에 틸헥실)프탈레이트, 4,4'-디이소시아나디페닐메탄, 크롬 및 그 화합물, n,n-디메틸포름아미드, 석면, 아크릴로니트릴, 페 놀, 납 및 그 화합물, 니켈 및 그 화합물, 톨루엔 2,4-디이 소시아네이트, 벤젠, 2-에톡시에탄올, 2-에톡시에틸아세테이 트, 아닐린, 염화비닐
31	기타 운송장비 제조업	- 니켈 및 그 화합물, 스티렌, 에틸벤젠, 염소 및 염화수소, 크롬 및 그 화합물, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 아세 트산2-에톡시에틸
32	가구제조업	- 디클로로메탄, 스티렌, 트리클로로에틸렌, 아세트산2-에톡시 에틸, 아세트산비닐
33	기타제품 제조업	-
35	전기, 가스 증기 및 공기조절 공급업	- 염소 및 염화수소
37	하수, 폐수 및 분뇨처리업	- 암모니아, 트리메틸아민, 황화수소, 메틸머캅탄, 다이메틸설퍼 라이드, 다이메틸다이설파이드, 아세트알데히드, 프로피온알 데하이드, 뷰티르알데하이드, n-발레르알데하이드, l-발레르 알데하이드, 스타이렌
38	폐기물, 수집운반, 처리 및 원료재생업	- 1,3-부타디엔, 납 및 그 화합물, 디클로로메탄, 벤젠, 석면, 스티렌, 아크릴로니트릴, 에틸벤젠, 염소 및 염화수소, n,n- 디메틸포름아미드, 2-에톡시에탄올, 디(2-에틸헥실)프탈레이 트, 아세트산비닐



## 제 2 장 국내·외 미세먼지 사업정책 현황 및 기술 현황

- 
1. 국내 .....
  2. 국외 .....
-



## 제 2 장 국내·외 미세먼지 사업정책 현황 및 기술 현황

### 1. 국내 미세먼지 사업정책

#### 가. 안산

고농도 미세먼지 발생과 장기간 대기 악화 시 신속한 대기 개선조치를 위한 '미세먼지 대책 상황반'을 구성하여 운영 중이다. 미세먼지 농도가 높아짐에 따라 오염원에 대한 관리 대책을 수립하여 미세먼지 농도 감소화 추진으로 환경기준 대기질 개선사업을 추진 중에 있다.

① 미세먼지 특별대책상황반 구성·운영 : 2017. 5. 17 ~ 지속(그림 4. 참조).

#### - 주요기능

- 미세먼지 경보발령·해제 신속 전파 대응
- 고농도 미세먼지 발생에 따른 피해예방 조치
- 미세먼지 저감 조치 강화
- 시민 홍보 및 현장지도 관리

#### - 운영시기 : 비상근무 : 고농도 또는 장기간 경보(주의보)발령 ~ 해제 시까지

- 미세먼지 "경보단계" 발령시
- 주의보가 48시간 이상 지속시

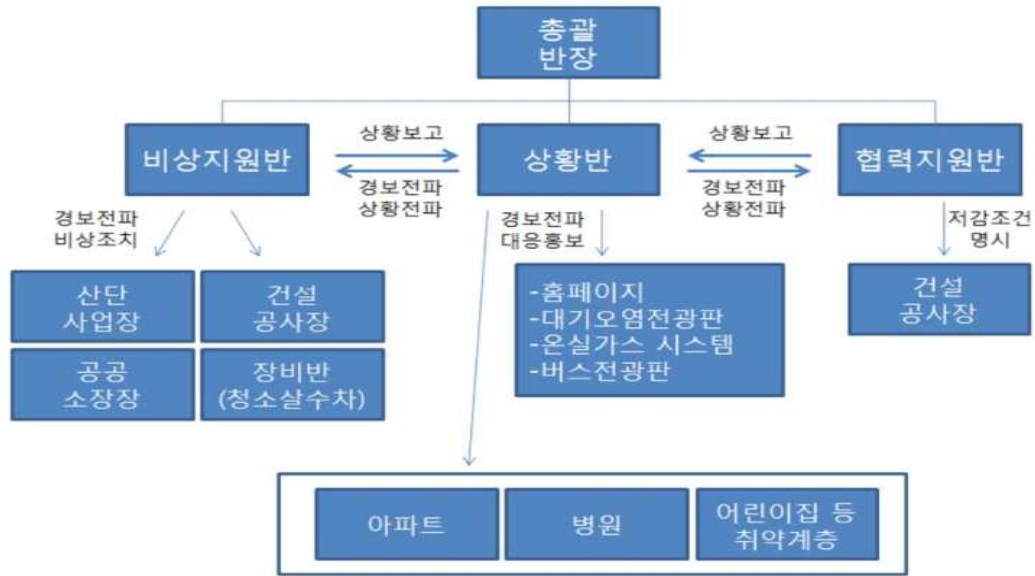


그림 4. 안산시 미세먼지 특별대책상황반 구성

자료 : 브라보안산

② 미세먼지 저감을 위한 지원 사업 현황

표 11. 안산시 미세먼지 저감 지원 사업 현황

구분	사업명	사업대상	사업내용
자동차 오염원	운행경유차 배출가스 저감사업	조기폐차 : 2005.12.31이전 매연저감장치 : 2007.12.31.이전	노후경유차 매연저감 보조금 지원 사업
	전기차 보급	공고일 이전 안산시 관내 시민 등	전기자동차 구매 보조금 지원 사업 (1,900만원 지원)
	천연가스버스 보급	관내 경유버스	경유버스에 대한 천연가스 버스 교체비 보조금 지원
사업장 오염원	저녹스버너 설치	중소기업, 비영리 단체, 업무·상업용건축물	저녹스버너 및 부대설비 설치보조금 지원
	배출시설 관리	대기배출시설 설치사업장	정기 및 수시 지도점검
	직화구이 음식점 방지시설 설치사업	연면적 300㎡ 이상 직화구이 음식점	방지시설 설치비 보조금 지원 (1,750만원)
기타 오염원	가정용 저녹스보일러 보급	가정에 설치하는 저녹스 보일러에 대한 보조금 지원	
측정망	측정망 관리	관내대기오염측정소 8개소 관리	미세먼지 농도, 예·경보 등 정보 제공

자료 : 브라보안산

③ 에너지정책 전환을 위한 지방정부협의회 운영(의장: 안산시장)

- 구 성 : 시도 및 시군구가 참여하는 광역협의체
- 추진사업 : 에너지계획 전환 필요성과 근거 마련을 위한 공동연구 추진
- 석탄화력발전소로 인한 환경 피해 연구, 다양한 친환경에너지정책 발굴 및 시행방안 마련
- 국가에너지계획 관련 법령 및 제도개선 활동
- 전국 순회 각종 심포지엄, 포럼 등 개최

안산시는 중소 영세사업장 내 노후시설에서 발생하는 미세먼지 유발물질 및 대기(악취) 오염물질 발생 저감사업을 통해 쾌적한 대기환경 조성하고자 한다. 비용 문제로 미세먼지, 악취(VOCs), 백연(유증기) 저감에 어려움을 겪는 중소 영세사업장을 대상으로 노후된 방지시설의 교체 및 개선에 모두 6억원을 지원하고 있다.

① 조기폐차 보조금 지원 정책

- 노후경유차에서 다량 배출되는 미세먼지 및 질소산화물 등 대기오염물질을 감소위함.
- 지난해에 이어 국·도비 25억여원을 지원해 약 2천400여대의 노후경유차의 조기폐차를 권고할 계획

② 노후경유자동차 저공해사업

- 배출가스 저감장치 부착 및 조기폐차 보조금 지원
- 노후화된 경유자동차에서 발생하는 매연, 미세먼지 등 대기오염의 주범인 배출가스를 줄이기 위함.
- 38억 원의 예산을 투입해 약 2,000여대의 노후경유차를 대상으로 저공해사업을 추진할 계획

③ 봄철 미세먼지 발생사업장 특별 지도·점검

- 황사 등 봄철 건조기에 미세먼지 농도가 높아짐에 따라 미세먼지 저감을 위함.
- 점검대상은 대기배출시설 설치사업장, 비산먼지발생사업장, VOCs 배출사업장 등 미세먼지 다량 발생 가능성이 높은 224개 사업장을 우선 점검

④ 저감장치 필터 합동 클리닝서비스

- 노후경유차로 인한 매연 및 미세먼지 발생을 억제해 우리시 대기환경이 개선 위함.
- 노후경유차에 부착하는 배출가스저감장치는 주기적(1종 기준, 16만Km 또는 10개월)으로 필터클리닝 등을 실시하지 않는 경우 자동차에서 나오는 배기가스가 원활하게 배출되지 않아 출력과 연비가 저하됨은 물론, 배기가스에 포함된 오염물질(매연, PM-10 등)의 처리효율이 현저하게 떨어지므로 이를 방지하기 위함.

⑤ 마스크 보급사업

- 어린이와 어르신들께 보급할 계획
- 경기도 미세먼지 예방 및 저감 지원조례에 의해 도비 30 %와 시비70 % 등 총 1억 5천 8백만 원의 사업가 책정

⑥ 자동차 공회전 제한 캠페인

- 공회전 저감 실천으로 CO(일산화탄소), HC(탄화수소), 매연, NOx(질소산화물) 등의 유해물질로 인한 미세먼지 등의 대기오염이 감소 위함.

## 나. 대구

① 건강악화 예방

- 건강악화 예방차원으로 초미세먼지 농도가 나쁨( $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 이상으로 올라갈 시, 어린이집과 노인요양시설 등 건강취약계층 관련시설 2,530개소에 문자 알림으로 실외활동 자제와 바깥공기 유입차단, 물걸레 청소 등 실내공기질 관리하도록 홍보

② 노후경유자동차 저공해사업

- 어린이 건강보호를 위해 노후된 통학버스를 폐차하고 친환경 LPG 차량으로 구입시 1대당 500만원의 보조금지원사업을 추진

③ 취약계층 황사마스크 지급

- 2018년 3월부터 황사 등으로 고농도 미세먼지 발생 시 어린이, 노약자 등 취약계층의 건강보호를 위해 주의보 발생시 황사마스크를 지급

④ 저감장치 필터 합동 클리닝서비스

- 도로에서 재비산되는 먼지농도를 실시간으로 측정해 오염도가 높을 경우 관할 구·군에 곧바로 알려 즉시 진공청소차 등으로 청소를 하도록 조치하는 '도로먼지 이동측정 시스템'을 도입

다. 부산

① 건강악화 예방

- 담장을 허물어 학교 숲을 조성해 자연체험 학습공간을 조성하고 올 연말까지 전체 어린이집 1,897개소에 공기청정기를 설치
- 내년에는 전체 628개 초·중·고등학교에 공기정화장치 설치를 완료해 운영예정

② 대중교통

- 버스와 도시철도 내부에 공기정화장치와 센스를 설치하는 에어클린 서비스도 강화
- 도시철도 1호선 객실 내 공기정화장치를 점진적으로 설치
- 시내버스 2,300대 내부에 미세먼지 차단 공기정화필터를 장착하고 차량 내·외부에 측정센서를 부착해 실시간을 시민들에게 미세먼지 정보를 제공

③ 공원

- 소공원에는 이끼 등 환경정화 식물을 이용해 중구와 수영구 2곳에 시범 설치
- 남포, 부전 등 6개 지하도 상가에 상시측정 시스템을 구축해 전광판으로 공개

라. 울산

① 미세먼지 저감 청소주간

- 사업장에 설치된 대기배출시설, 방지시설 및 부대시설 일제정비, 원료 저장시설, 사업장 통행도로를 일제 청소하고 차량통행이 집중되는 도로, 공단지역 내 도로 청소

② 저녹스버너 지원

- 질소산화물 저감으로 대기질 개선 및 중소기업장의 경제적 부담을 덜어주는 저녹스버너를 지원(사업장별로 3대까지 지원이 가능함. 보일러 용량에 따라 대당 최저 400만4천원부터 최고 1천429만4천원까지 지원)

③ 흙 운동장 먼지 억제

- 초·중·고교 흙 운동장 먼지발생 억제사업 실시

④ 자동차 공회전 제한

- 자동차공회전 제한장소에서 자동차의 불필요한 공회전을 합리적으로 규제하여, 연료 낭비와 대기오염 물질의 배출 억제로 환경 개선에 기여하여 시민 건강 보호

## 마. 인천

① 어린이 통학차량의 LPG차 전환 지원

- 노후된 어린이 통학 경유차량의 LPG차 전환 지원을 통해 취약계층인 어린이의 건강을 보호하고, 미세먼지 저감에 기여하고자 경유차 통학차량을 폐차하고 LPG신차 구입 시 보조금을 지원하는 사업을 시행

② 비산먼지 정책

- 도로 비산먼지, 나대지 등에서 PM-2.5의 배출비율이 높은 인천은 도로 재비산먼지 제거를 위해 살수차와 도로물청소를 4개 산단에 투입
- 도로 비산먼지 제거장비 확충을 위하여 분진흡입차 보급, 도로 청소차량의 효율적인 운영실태를 모니터링 하기 위하여 도로청소차량 정보화 시스템을 운영
- 나대지(학교운동장)에서 발생하는 비산먼지 저감을 위하여 초·중·고 122교에 먼지 억제제 살포사업을 시행.

③ 노후건설기계 엔진교체 및 DPF 부착

- 인천의 대기질 개선을 위해 추진하고 있는 운행차 배출가스 저감사업의 추진을 위해 노후건설기계 엔진교체 및 DPF 부착 지원사업을 시행(교체: 450대, 부착: 500대)

## 2. 국외 미세먼지 사업정책

### 가. 중국

중국 북동부 공업지역의 대기오염지수는 전년 대비 약 40 % 증가하였다. 베이징 (PM-2.5 993  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , '13.1)의 미세먼지는 WHO 권고기준(25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 약 40배로 중국기 상국의 발표에 따르면 중국 전역의 스모그 일수는 52년 만에 최다 일수를 기록하고 있다. 환경부는 신장 지역을 제외하고는 모든 성들이 일정 규모 이상의 외부유입으로 인한 오염 이 나타났다고 밝혔다.

2015년도 전국 PM-2.5는 성(省)간 이동경로 분석에서 베이징 초미세먼지의 18 %, 텐진 초미세먼지의 20 %가 허베이성에서 유입된다고 밝혔다. 베이징의 초미세먼지는 자체 발생이 66 %였지만 외부유입 비율은 허베이 외에 텐진, 산둥이 각 4 %를 차지하고 있다. 텐진의 초미세먼지는 자체발생이 56 %였고 허베이 외에 산둥에서 10 %가 유입 허베이성 도 자체발생은 62 %에 그쳤고 38 %는 산둥, 허난, 산시 등 외부에서 유입되고 있다.

중국은 미세먼지와외의 전쟁에 돌입해 작년 '생태 환경보호 계획'을 발표하였다. 계획에 따르면 전국 주요도시 338곳의 초미세먼지 농도를 오는 2020년까지 현재보다 18 % 감소 하겠다고 밝혔다. 2016년 대기오염방지법을 개정하면서 배출시설의 관리·감독을 한층 강화하였다.

대기오염문제에 체계적으로 대응하기 위한 예·경보 시스템 도입, 중대 대기오염 관측 시 차량 2부제 시행, 산업시설 가동 중단 등을 포함한 중오염 긴급대응계획을 실행하는 것을 의무화하였다. 베이징 시는 800년 역사를 가진 탄광 세 곳을 모두 폐쇄하기로 결정하며 시 외곽에서 석탄을 이용한 난방과 취사를 사실상 금지하는 조치를 취하였다. 다양한 정책들의 수행성과는 매년 지자체별로 평가하며, 그 결과에 따라 국가 예산 지원을 차등화 하는 등 정책수행 동기를 부여하고 있다.

### 나. 미국

미국의 미세먼지 관리는 연방법인 「청정대기법(CAA: Clean Air Act)」<sup>5)</sup>을 근거로 한, 미세먼지 '국가대기질기준(NAAQS: National Ambient Air Quality Standards)'을 중심으로 이루어지고 있다.

국가대기질기준은 미세먼지를 포함, 모두 6개의 주요 대기오염물질인 일산화탄소(CO), 납(Pb), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 오존(O<sub>3</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>)을 기준물질로 지정하여 제한 값을 제시 하고 있는 방식이다.

표 12. 미국의 미세먼지 기준

구 분	1987		1997		2006		2013	
	연평균 <sup>1)</sup>	24시간 평균	연평균	24시간 평균	연평균	24시간 평균	연평균	24시간 평균
PM-10	50이하	150이하	50이하	150이하	폐지	150이하	-	150 이하
PM-2.5			15이하	65이하	15이하	35이하	12(15)	35이하

주: 1) 연평균 기준은 3년 평균 수치를 기준으로 하며, 24시 평균은 오염물질 총량의 98 %를 3년 평균 기초로 함.  
자료: EPA 홈페이지

SOx, NOx, 오존 및 먼지에 대한 규제로서 중요한 내용들은 산성비 프로그램(ARP), 주(州)간 대기오염 규제, 주(州)간 오염물질 이동 규제, 2008년 오존 기준 개정, 광역연무 (Regional Haze) 방지정책 등이 있다.

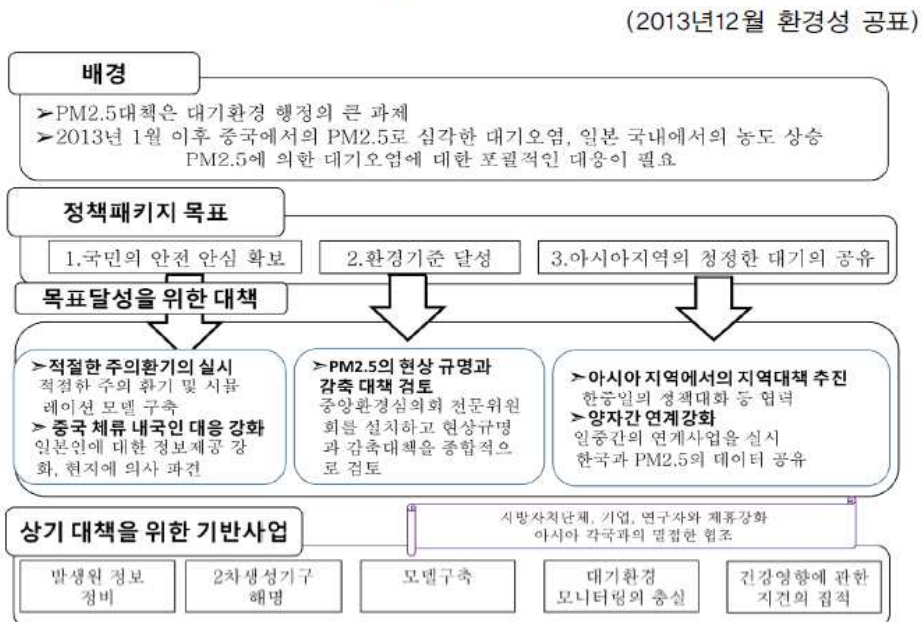
- 기존시설에 대한 탄소배출규제, 신규 시설에 대한 탄소배출규제
- 온실가스배출인가(GHG permission)
- 수은 및 유독성 대기오염물질 배출기준(Mercury and Air Toxics Standards, MATS)
- 주(州)간 대기오염 규제(Cross-State Air Pollution Rule)
- 오존기준(Revision of 2008 ozone standard)
- 시정 악화를 개선하기 위하여 각 주와 연방기관들이 협력하도록 하는 지역연무개선규칙 (Regional Haze Rule)를 발표함.

발전소에서 배출하는 SOx, NOx, PM-2.5 등은 주(州)간 대기오염 관련규정에 따라 각 오염원의 배출량 할당 및 거래를 통하여 오염물질 배출을 관리하고 있다.

## 다. 일본

일본정부는 미세먼지가 인체건강에 미치는 영향의 심각성을 인식하고 대기 중의 미세먼지와 건강영향과의 관련성을 밝히기 위해 1999년부터 「미소입자상 물질의 인체건강영향 조사」를 실시하고 있다. 축적된 미세먼지에 관한 정보를 토대로 2009년 9월에는 미세먼지(PM-2.5)에 대한 환경기준이 설정되었다.

2010년 3월에는 「대기환경 상시 감시 매뉴얼」을 개정하였고, 2011년 7월에는 「성분분석 가이드라인」을 마련하였으며 환경성 내에 미세먼지 전문가회의를 설치하는 등 미세먼지에 대한 상시 감시체제를 정비해 오고 있다. 2013년 1월, 중국 베이징의 미세먼지가 일본에도 큰 영향을 미치게 되자 일본 환경성은 같은 해 일일 평균치가 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과할 경우 국민들이 주의해야 할 행동지침을 마련하였고, 정부차원의 첫 미세먼지 대책이 발표되었다.



출처: 環境省大気環境課(2014)

그림 5. 미세먼지에 관한 종합대책(일본)

2013년 국민의 안전 및 안심 확보를 위한 대책으로 그림 6. 에서 보는 바와 같이 기준에 따라 주의보를 발령하기로 하였다.

**> 2013년 2월 "주의보 발령 위한 잠정적인 방침"(잠정 지침)을 책정.**

일평균치가 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘는다고 예상될 경우에 주의환기를 하고, 오전 중의 빠른 시간대의 판단에 이용하기 위한 수치로서, 5시부터 7시의 1시간 수치의 평균치가 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘을 경우

**> 2013년 11월 잠정 방침의 판단방법을 개선.**

오전 중의 빠른 시간대 판단 방법은 변경하지 않고 오후 활동에 대비한 판단에 이용하기 위한 수치로서 새로 5시부터 12시의 1시간 수치의 평균치가 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘을 경우를 설정. 그동안 파악하지 못한 일중의 농도 상승에도 일정 정도 대응이 가능.

**> 주의보 발령의 정보를 환경부 HP에 게재.**

광역자치단체에 의한 주의환기의 실시 정보를 환경부 HP에 일원적으로 게재하고 어느 자치단체에서 주의환기가 실시되었는지 확인

**> 향후 운용 개선 대책.**

이러 자치단체에 의한 주의환기의 실시상황을 지속적으로 파악하면서 겨울부터 봄까지 데이터에 대해서 해석하고"PM2.5에 관한 전문가회의"를 개최하고 새로운 운용 개선에 관한 검토를 실시. 그리고 향후 잠정지침 수치의 개정 필요 여부에 대해서도 아울러 검토.

레벨	잠정 지침치 일평균치( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	행동 기준	주의보 발령 판단 수치*3	
			오전중 빠른 시간대의 판단 5시~7시 1시간 수치 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	오후 활동에 대비한 판단 5시~12시 1시간 수치 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
II	70초과	불요불급한 외출이나 야외에서 장시간의 격렬한 운동을 가급적 줄임. (고감수성자*2는 컨디션에 따라서 신중하게 행동하는 것이 바람직하다.)	85초과	80초과
I	70이하	특히 행동을 제약할 필요는 없지만 고감수성자는 컨디션의 변화에 주의	85이하	80이하

\*1환경기준은 환경기준법 제16조 제1항에 근거한 사람의 건강을 보호하고 유지하는 것이 바람직한 기준  
PM2.5에 관련된 환경기준이 단기기준은 일평균치 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 일평균치가 연간 98퍼센타인것로 평가  
\*2고감수성자는 호흡기계나 순환기계 질환자, 소아, 고령자 등  
\*3잠정 지침치는 일평균치 초과 여부를 판단하기 위한 값

그림 6. 미세먼지에 대한 주의보 발령 지침(일본)

일본정부는 미세먼지 환경기준 달성을 위한 대책으로 그림 7. 과 같이 단기적 과제와 장기적 과제로 구분하여 실시하고 있다. 단기적 과제로는 미세먼지의 1차 생성 미세먼지(매연, 디젤 미립자 등)와 2차 생성 미세먼지의 원인이 되는 미세먼지 생성물질(NO<sub>x</sub>, VOCs 등)의 배출규제 상황 점검을 하고 있다.

장기적 과제로는 고정발생원으로부터의 1차 생성 미세먼지에 대한 적절한 측정방법의 개발을 비롯하여 발생원 정보 및 데이터의 분석방법을 정교화함으로써 보다 효과적인 대책 마련을 위한 기반을 정비 중에 있다. 특히 2차 생성 미세먼지에 대한 과학적 메커니즘을 규명하고 미세먼지 생성물질인 휘발성유기화합물질(VOCs) 등의 배출억제 가능성에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.



그림 7. 미세먼지 대책의 장단기 과제(일본)

### 라. 스웨덴

스웨덴에서는 3대 도시(Stockholm, Gothenberg, Malmoe)에서 1996년 부터 “환경우선지역(Environment Zone)”으로 불리는 규제를 실시하였다. 이 제도는 오염이 심한 도시의 중심부에 대형트럭이 진입하는 것을 규제하는 것이다. 차령이 15년을 초과한 오래된 트럭은 도시 중심부로의 진입이 금지되고, 8년 이하의 트럭은 규제가 면제된다. 9 ~ 15년인 트럭은 입자상물질을 80 % 이상, HC를 60 % 이상 저감시키고, NOx는 증가되지 않은 등 일정성능을 만족시키는 배출가스 저감장치를 부착했을 시에는 진입이 허용된다. 또한, 후처리장치는 DPF와 산화촉매를 결합한 장치로써 경우 중 황 함유량이 10 ppm 이하인 초저유황 경유를 사용하도록 하고 있다.

### 마. 벨기에

벨기에의 브뤼셀에서는 Blue Coupon을 발행하여 미부착 차량에 대하여 도심운행을 제한하고 있다. 자동차 운행제한은 주 2일 목요일과 일요일에 훌쩍제로 시행하고 있으며, 적용시간은 8시 30분부터 12시 30분까지, 그리고 14시 30분부터 19시 30분 까지 시행된다. 또한 Eco-Diesel을 제외한 경유 자동차의 도심운행을 제한하는데 월요일부터 토요일까지

7시 30분부터 9시 30분, 17시 30분부터 19시 30분까지 하루에 2차례 차량이 혼잡한 출퇴근시간에 적용한다. 정부에서는 이러한 제도의 실시 후 약 15 %의 교통량 감축효과를 달성할 것으로 보고 있다.

## 바. 노르웨이

노르웨이의 오슬로(Oslo)시는 다른 도시와 비교하여 미세먼지에 의한 오염이 높은 수준이 아니지만, 미세먼지 저감대책 추진에 매우 적극적인 자세를 취하고 있다. 예를 들어 다음날에 대한 대기오염 농도를 예측하였을 때 미세먼지 농도가  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 기준), 이산화질소의 농도가  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1시간 기준)을 초과할 것으로 예측되면 자동차의 통행제한과 같은 엄격한 조치를 취하고 있다. 또한 미세먼지 농도를 저감하기 위해 주요 간선도로를 대상으로 자동차 통행수요의 17 % 저감효과에 버금가는 자동차 통행속도(50 km/h) 제한하기도 한다.

## 사. EU

### ① 저공해 차량 사용 촉진을 위한 대책

- 영국의 런던에서는 3 ~ 4년 동안 정부가 지원금을 보조하여 2 ~ 3천여 대의 경유택시를 LPG 택시로 변경하였다. 그리고 독일의 베를린에서는 저유황유의 조기도입을 추진하고 전기자동차, 천연가스차와 같은 저공해 차량은 혼잡통행료를 면제시키면서 청정연료차의 이용을 활성화 하였다. 이탈리아 로마에서는 매주 수요일 15시 ~ 19시에 흡수차량만 운영을 허용하고, 전기 및 메탄연료 사용 차량은 규제대상에서 제외함으로써, 저공해차의 사용을 촉진시켰다.

### ② 선박 정박 시 전기 사용에 대한 대책

- 항구에 정박해 있는 선박은 정박 중 필요한 전기를 얻기 위해 엔진을 사용하는데, 이때 연료의 연소가 진행됨으로써 NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, VOCs 등 여러 대기오염물질이 발생한다. 이러한 대기오염물질 배출을 저감하기 위해서 항구에 배치되어 있는 전기를 사용할 것을 장려한다. 이 때 사용되는 전기는 가급적 재생에너지를 사용한다.

### 제 3 장 미세먼지 및 미세먼지 생성물질 현장조사 내용 및 결과

---

1. 연구대상 물질 및 사업장 .....
  2. 미세먼지와 미세먼지 생성물질 분석방법 .....
  3. 미세먼지와 미세먼지 생성물질 농도 측정 장비 .....
  4. 미세먼지와 미세먼지 생성물질 분석 결과 .....
-



# 제 3 장 미세먼지 현장조사 내용 및 결과

## 1. 연구대상 물질 및 사업장

### 1.1. 미세먼지(PM-10, PM-2.5)

먼지는 입자의 크기에 따라 100 µm 이하인 총먼지(TSP, Total Suspended Particles)와 입자크기가 매우 작은 미세먼지(PM, Particulate Matter)로 구분된다. 미세먼지는 다시 지름이 10 µm보다 작은 미세먼지(PM-10)과 지름이 2.5 µm보다 작은 미세먼지(PM-2.5)로 구분된다.

미세먼지의 국내 대기환경 기준은 표 13. 에서 보는 바와 같이 1983년 총먼지로 표기되었으나, 1993년에는 10 µm 이하의 미세먼지(PM-10)에 관한 기준이 추가되었으며, 2001년에 총먼지 기준을 폐지한 데 이어 2011년에 2.5 µm 이하의 미세먼지(PM-2.5)를 추가하였다. 2018년 5월 28일에는 PM-2.5의 연평균, 일평균 농도 기준이 강화되었다.

표 13. 미세먼지의 국내 대기환경 기준

항 목	구 분						
	1983	1991	1993	2001	2007	2011	2018
총먼지	150 µg/m <sup>3</sup> (연) 300 µg/m <sup>3</sup> (일)	150 µg/m <sup>3</sup> (연) 300 µg/m <sup>3</sup> (일)	150 µg/m <sup>3</sup> (연) 300 µg/m <sup>3</sup> (일)	(삭제)			
미세먼지 (PM-10)	-	-	80 µg/m <sup>3</sup> (연) 150 µg/m <sup>3</sup> (일)	70 µg/m <sup>3</sup> (연) 150 µg/m <sup>3</sup> (일)	50 µg/m <sup>3</sup> (연) 100 µg/m <sup>3</sup> (일)	50 µg/m <sup>3</sup> (연) 100 µg/m <sup>3</sup> (일)	50 µg/m <sup>3</sup> (연) 100 µg/m <sup>3</sup> (일)
미세먼지 (PM-2.5)	-	-	-	-	-	25 µg/m <sup>3</sup> (연) 50 µg/m <sup>3</sup> (일)	15 µg/m <sup>3</sup> (연) 35 µg/m <sup>3</sup> (일)

자료 : 환경정책 기본법 시행령 제2조 별표

## 1.2. 미세먼지 생성물질(NOx, SOx, VOCs)

2015년 우리나라 시도별 NOx, SOx, VOCs의 배출량 현황은 아래와 같다(표 14. 참조). 전국 및 해역에서 배출되는 질소산화물(NOx)은 2014년 기준 총 1,157,728 톤/년이고 황산화물(SOx)은 총 352,292 톤/년, 휘발성유기화합물질(VOCs)은 총 1,010,771 톤/년으로 조사되었다.

경기도에서 배출되는 질소산화물(NOx)의 배출량은 185,176 톤/년(전국배출량의 14.3%)으로 가장 많이 배출되었다. 황산화물(SOx)의 배출량은 14,811 톤/년(전국배출량의 4.5%)으로 총 17개 시도별 중 7번째로 많이 배출되었다. 또한 휘발성유기화합물질(VOCs)의 배출량은 188,801 톤/년(전국배출량의 18.7%)으로 전국에서 가장 많이 배출되었다.

표 14. 전국 시도별 대기오염물질 배출량(2015년)

(단위: 톤)

시도/오염물질	NOx	SOx	VOCs
서울특별시	63,197	5,509	62,916
부산광역시	43,755	10,659	42,207
대구광역시	26,193	4,185	31,216
인천광역시	49,460	12,854	54,211
광주광역시	10,552	399	15,629
대전광역시	13,897	957	16,057
울산광역시	47,506	47,979	98,781
세종특별자치시	6,201	176	6,176
<b>경기도</b>	<b>185,176</b>	<b>14,811</b>	<b>188,801</b>
강원도	78,689	16,379	22,488
충청북도	65,429	10,683	39,711
충청남도	135,487	77,465	69,545
전라북도	36,597	5,913	69,908
전라남도	104,037	64,649	85,226
경상북도	100,731	36,364	82,389
경상남도	94,311	31,434	101,232
제주도	14,296	1,703	9,319
바다	82,214	10,174	14,959
<b>합계</b>	<b>1,157,728</b>	<b>352,292</b>	<b>1,010,771</b>

자료 : 사업장대기오염물질관리시스템

### 1.3. 연구대상 사업장

환경부에서 관리하고 있는 사업장대기오염물질관리시스템에서는 안산시 소재 기업의 연간 대기오염물질 배출량을 확인할 수 있으며, 측정항목은 각 사업장별 먼지, 황산화물, 질소산화물, 염화수소, 불화수소, 암모니아, 일산화탄소이다. 안산시 소재 총 15개 사업장의 먼지, 황산화물, 질소산화물의 연간배출량은 각각 37,245 kg/년, 467,918 kg/년, 1,366,593 kg/년으로 나타나고 있다.

최초 15개 사업장을 대상으로 미세먼지(PM-10, PM-2.5) 분율 분석을 위한 시료 샘플링 현장조사 협조를 요청하였다. 총 15개 사업장 중 5개 사업장은 협조, 10개 사업장은 협조 받지 못하였다. 협조불가 사유로는 “회사 내부사정”, “법적으로 해야 하는 것이 아니면 힘들다”, “실측 하는 것이 부담스럽다” 등 이었다. 세종대에서 개별적으로 협조요청을 하는 것보다는 안산녹색환경지원센터, 안산시청, 수도권대기환경청, 경기도공단관리사무소를 통해 사업장에 협조요청 하는 것이 필요했다. 안산녹색환경지원센터와 안산시에 요청하여 5개 사업장을 추가 협조 받았다.

2017년 9월 3일부터 12월 7일까지 협조 된 10개사업장을 대상으로 현장측정을 실시하였다.(그림8. 참조).

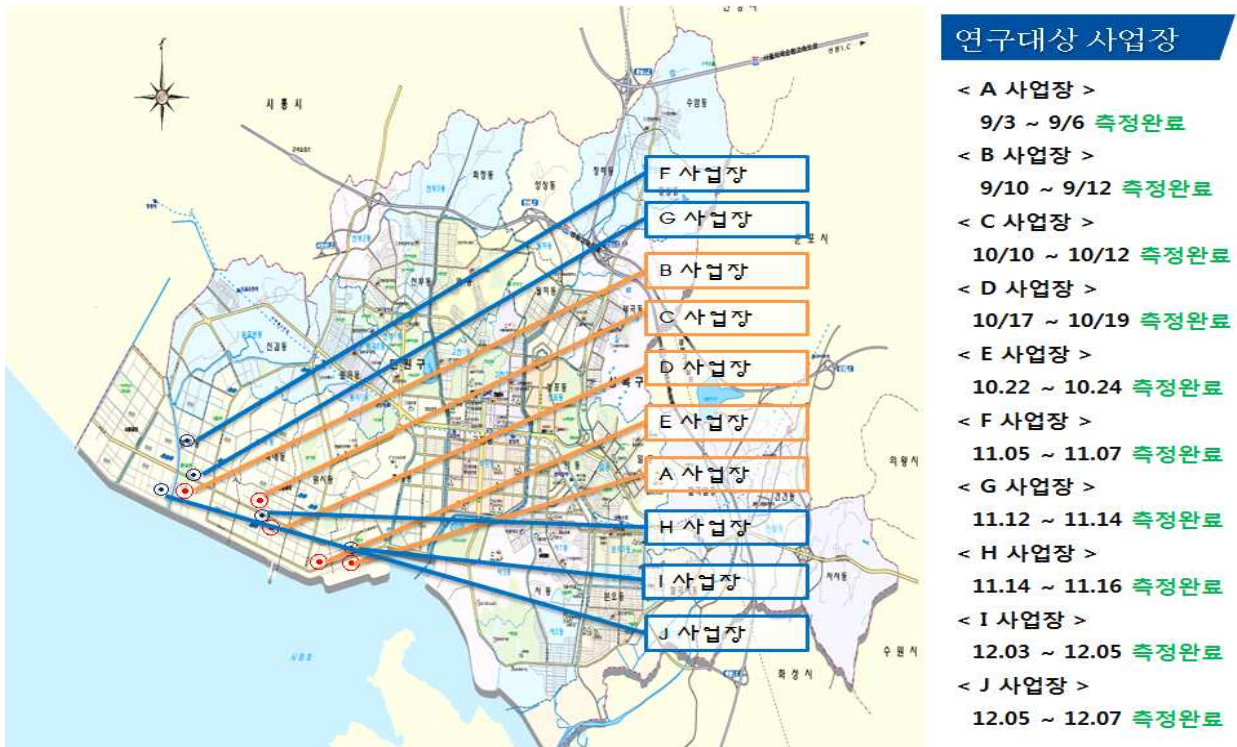


그림 8. 연구대상 사업장 현황

사업장대기오염물질관리시스템에서의 측정하고 있는 먼지는 TSP이므로 협조된 10개 사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)의 분율 분석을 위한 시료 샘플링을 하였다. 이 때, 2차 미세먼지의 미세먼지 생성물질(NOx, SOx, VOCs)도 동시에 측정하였다. 표 15. 은 협조된 사업장의 대기오염물질 배출량 현황이다.

표 15. 연구대상 기업의 대기오염물질 연간 배출량(CleanSYS 측정결과)

사업장명	대기오염물질 연간 배출량(kg/년)							소재지
	먼지	황산화물	질소산화물	염화수소	불화수소	암모니아	일산화탄소	
A사업장	941	-	24,181	1,454	-	-	1,671	초지동
B사업장	1,136	599	112,675	489	-	-	39,312	성곡동
C사업장	1,781	-	-	-	-	-	-	목내동
D사업장	3,389	15	43,934	420	-	-	9,894	성곡동
E사업장	3,798	4,296	78,309	5,328	-	-	5,525	원시동
F사업장	1,278	3,394	54,635	2,299	-	-	10,873	신길동
G사업장	1,699	2,789	76,296	5,523	-	-	8,086	성곡동
H사업장	65	64	6,765	466	-	-	1,044	성곡동
I사업장	해당 사업장 데이터 없음.							
J사업장								

자료 : 사업장대기오염물질관리시스템

안산시 통계연보에 따르면 안산시 소재 제조업 사업체수는 2,446개로 나타났다(표16. 참조). 1차년도 연구대상 사업장은 안산시, 공단관리사업소, 안산녹색환경지원센터 등 협의를 통해 10개 업체를 선정하였고, 2차년도에는 25개 업체를 대상으로 미세먼지(PM-10, PM-2.5)와 미세먼지 생성물질(NOx, SOx, VOCs)을 측정하고자 한다.

표 16. 안산시 소재 제조업 중분류별 사업체수(2016년)

산업분류	사업체 수(개)	사업체 비중(%)
계	2,446	100
식료품	49	2.0
음료	1	0.0
가죽, 가방 및 신발 제조업	21	0.9
목재 및 나무제품 : 가구제외	14	0.6
펄프, 종이 및 종이제품	60	2.5
담배	0	0.0
섬유제품 : 의복제외	109	4.5
의복, 의복액세서리 및 모피제품	9	0.4
인쇄 및 기록매체 복제업	36	1.5
코크스, 연탄 및 석유정제품	4	0.2
화합물질 및 화학제품 : 의약품 제외	138	5.6
의료용 물질 및 의약품	34	1.4
고무 및 플라스틱제품	152	6.2
비금속광물제품	22	0.9
의료, 정밀, 광학기기 및 시계	65	2.7
전기장비	138	5.6
기타 기계 및 장비	358	14.6
제1차 금속산업	137	5.6
금속가공제품 : 기계 및 가구제외	421	17.2
전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신 장비	502	20.5
자동차 및 트레일러	129	5.3
기타 운송장비	6	0.2
가구	20	0.8
기타 제품	11	0.4
산업용 기계 및 장비 수리업	10	0.4

자료 : 안산시 통계연보(2017)

## 2. 미세먼지와 미세먼지 생성물질 농도 분석방법

### 2.1. 미세먼지 농도 분석 방법

배출원 먼지 측정에 앞서 공정시험법과 장비의 매뉴얼의 속지가 요구되며, [대기오염공정 시험기준] 에 따라 작성된 표 17. 을 기본으로 측정 절차를 이행하여야 한다.

표 17. 미세먼지 측정 개요

과정	기간	내용	소요기간	비고
측정 전	1일자	여과지 선정 및 제작	1~2시간	
	2일자	여과지 무게 측정	24~48시간	날씨 및 주변환경에 영향을 받음
	3일자			
측정	측정 횟수 및 현지상황에 따라 기간 소요(2~5일 정도 소요)	동정압 측정	30분 내외	
		수분량 측정	30분 내외	
		대기압 측정	1분 내외	
		노즐크기 결정	10분 내외	
		먼지측정	-	측정시간이 현지 상황에 따라 변경이 필요함
		장비 정리	30분~1시간	
분석	측정 양에 따라 기간소요	여과지 무게 측정	24~48시간	
		여과지 농도 분석	24~48시간	

자료 : 국가법령정보센터(2018)

- 여과지 선정

일반 중량농도 측정 및 이온, 중금속 분석 시, 테프론재질의 여과지 사용을 권장하며 탄소분석용도의 여과지일 경우 Quartz재질의 여과지만 사용해야함.

- 여과지 제작 및 보관

여과지는 테프론재질, Quartz재질 등이 있으며 사용장비에 따라 알맞은 제작 및 보관해야함. 본 과정 중에는 외부의 먼지유입을 최소화 되어야함(그림 9. 참조).

테프론여과지는 110 °C 에서 1~3시간 건조시켜 전처리를 한 후 멸균된 페트리디시에 담아 실온 데시케이터에 보관하여 냉각시켜야 함(그림 10. 참조).

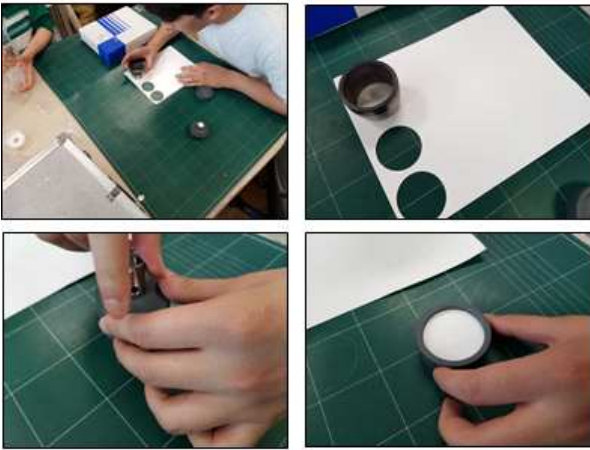


그림 9. 여과지 제작 과정



그림 10. 여과지 건조 과정

• 여과지 무게 측정

분석 저울은 여과지의 형태와 무게를 측정하는데 적절해야 하며 측정표준 소급성이 유지된 표준기에 의해 교정되어야 하며 0.01 mg까지 측정할 수 있는 저울을 사용해야 함.

분석 저울은 여과지의 형태와 무게를 측정하는데 적절해야 하며 측정표준 소급성이 유지된 표준기에 의해 교정되어야 하며 0.01 mg까지 측정할 수 있는 저울을 사용해야 함. 측정에 있어 질량을 측정할 수 있는 습도와 온도가 유지된 실험실에서 여과지를 취급하여 오차 발생을 최소화해야 함. 여과지의 무게는 핀셋을 이용하여 측정해야함. 외부노출 시간이 2분을 넘기지 않아야 하며 0.01 mg까지 측정해야함. 측정횟수는 3회 이상 실시해야 함 (그림 11. 참조).



그림 11. 여과지 무게 측정 과정

- 장비점검

측정장비는 수시로 점검하여야 하며, 이상 발생 시 교체 혹은 수리의 과정을 거친 후 재점검을 통하여 사용해야함(표 18. 참조).

표 18. 기기 점검 방법

장 비	점검 방법
Stack Sampler	펌프에 이상이 없는지 확인 마노미터의 액주가 충분히 있는지 확인 펌프의 오일이 잘 교환되어 있는지 확인 유량계 작동이 원활한 지 확인
리드선	전기연결이 잘 되는지 확인
여과지홀더	점검이 완료된 Stack Sampler에 연결하여 leak test 시행, leak 유무 판단. 파손의 유무 확인
노트북	작동여부 및 데이터 파일의 유무 확인
호수	새는 부분이 없는지 확인
임핀저	깨진 부분이 없는지 확인. leak test로 새는 부분이 없는지 확인
Gas analyzer	작동여부 확인. 센서 고장 여부 확인

- 배출가스의 유속측정

배출가스의 유속은 동압과 배출가스밀도를 이용하여 계산함. 장치 구성의 모습과 유속을 계산하기 위한 식 (1)은 아래와 같음.

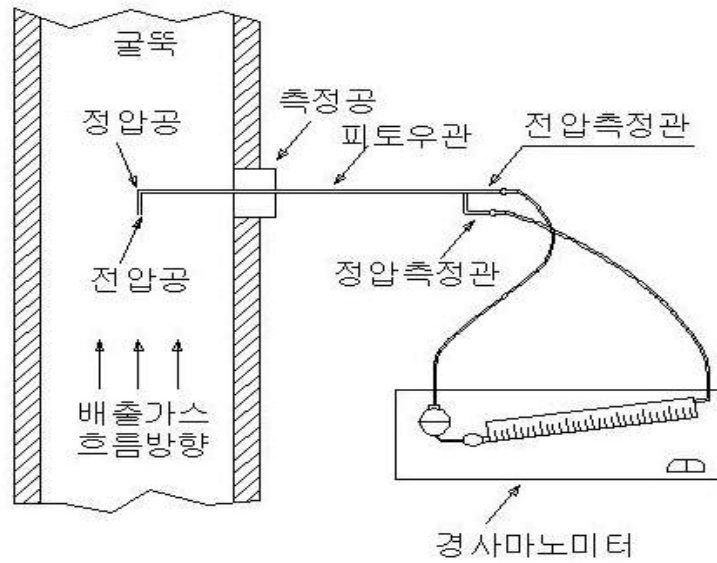


그림 12. 피토우관에 의한 배출가스 유속측정

$$V = C \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

여기서,  $V$  = 유속 (m/s)

$C$  = 피토관 계수

$\Delta P$  = 피토관에 의한 동압 측정치 (mmH<sub>2</sub>O)

$\rho$  = 굴뚝 내의 배출가스 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)

대기압(mmHg)은 기압계를 이용하여 측정함.

- 동압 측정

유체가 흐르는 방향을 바라보는 노즐을 마노미터의 ‘+’ 부분에 연결, 반대방향의 노즐을 ‘-’ 부분에 연결함. 마노미터의 변화가 없을 때 까지 측정한 후, 측정된 값을 측정 Sheet에 작성함.

- 정압 측정

유체가 흐르는 방향의 반대방향 노즐을 마노미터에 연결함. 측정소의 압력이 양압일 경우에는 마노미터의 ‘+’ 부분에, 음압일 경우에는 ‘-’ 부분에 마노미터의 변화가 없을 때 까지 측정한 후, 측정된 값을 측정 Sheet에 기록함.

- 전압 측정

측정값의 신뢰도를 파악하기 위해 전압을 측정함. 앞서 측정한 동압과 정압의 합을 구하여 전압의 속성(양수 혹은 음수)을 파악한 뒤 아래 절차를 진행함.

- 수분량 측정

수분량의 측정은 등속흡인을 맞추기 위함이며 건습구 온도차를 이용하여 측정함.

- 건구 및 습구온도 측정

장비의 건구 온도부분을 전용 프로브에 호수로 연결한 후 프로브를 측정구에 삽입함. 습구 온도부분은 펌프에 연결 한 후 펌프를 가동 시킴. 온도의 변화가 없을 때 까지 흡인시킨 후 온도를 기록함.

- 수분량 계산

건습구를 이용한 수분량 계산은 아래 식 (2)를 따름.

$$f = 216.7 \times \frac{6.1078 \times \exp\left(\frac{17.08085 \times t_f}{234.175 + t_f}\right) - 0.662 \times \frac{p}{1006.7} \times (t_{tr} - t_f)}{237.15 + t_{tr}} \quad (2)$$

여기서, f = 배출가스 중 수증기의 무게(g/m³)

t<sub>r</sub> = 습구온도(°C)

t<sub>tr</sub> = 건구온도(°C)

p = 측정점의 대기압(mbar)

- 노즐 크기 결정

노즐은 원하는 유량을 등속흡인할 수 있는 노즐을 선택하여야 하며, 노즐은 장비의 재질과 동일한 재질을 이용해야 함.

- PM홀더 노즐

측정 Sheet에 분당 흡인유량을 임의로 입력한 뒤 노즐크기를 바꿔가며 입력하여 등속흡인 부분의 백분율을 확인함. 일반적으로 1 m³의 유량을 필요로 하므로 (단, 먼지농도에 따라 변동이 가능함.)시간과 펌프의 성능에 맞춰서 분당 흡인유량 및 노즐크기를 결정함.

- 임핀저 설치

임핀저는 석영재질을 이용해야하며, 총 4개의 임핀저를 설치해야 함. 펌프와 가까운 순서로 첫 번째와 두 번째는 200~300 g 의 실리카겔을 넣고 세 번째 임핀저는 공병 상태로 설치함. 네 번째 임핀저는 약 100 g의 물을 넣어야 함. 먼지측정 프로브와 연결 전, Leak Test를 통해 Leak 여부를 확인해야 함.

- 여과지 홀더 준비

여과지를 끼우는 방법은 장비에 따른 차이가 거의 없음. 여과지를 끼우는 과정 중에는 외부 먼지 유입을 최소화 하여 진행해야함. 여과지 홀더에 넣을 여과지는 핀셋으로 조심스럽게 꺼낸 뒤 홀더에 삽입함. 여과지를 끼운 홀더는 먼지가 들어가지 않게 조심하여 프로브와 연결한다. 여과지 홀더가 연결된 프로브를 측정구에 삽입한 뒤, 보루로 측정구 주변을 기밀상태로 유지시킴.

- 먼지 채취

먼지측정은 등속흡인 조건을 만족해야 하며, 등속흡인이란 펌프의 흡인속도가 측정구 내부 유속의 95 % ~ 110 %인 것을 말함. 등속흡인을 위한 흡인량은 다음 식 (3)에 의하여 구함.

$$q_m = \frac{\pi}{4} d^2 v \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \frac{273 + \theta_m}{273 + \theta_s} \times \frac{P_a + P_s}{P_a + P_m - P_v} \times 60 \times 10^{-3} \quad (3)$$

여기서,  $q_m$  = 가스미터에 있어서의 등속 흡입유량 (L/min)

$d$  = 흡입노즐의 내경 (mm)

$v$  = 배출가스 유속 (m/s)

$X_w$  = 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

$\theta_m$  = 가스미터의 흡입가스 온도 (°C)

$\theta_s$  = 배출가스 온도 (°C)

$P_a$  = 대기압 (mmHg)

$P_s$  = 측정점에서의 정압 (mmHg)

$P_m$  = 가스미터의 흡입가스 게이지압 (mmHg)

- 먼지 채취 후

먼지를 채취한 후에는 여과지 제거와 세척을 실시함.

## 2.2. 미세먼지 생성물질 농도 분석방법

간헐포집에서 사용되는 방법은 EPA Method 18(US EPA, 2000)이다. 이 방법은 대기오염물질분석을 위한 가스시료 포집에 사용되고, 연소시설의 배기가스 중 온실가스를 분석하기 위한 기체시료 포집에도 사용된다(그림 13.참조).

간헐포집은 Lung sampler(ACEN, KOREA) 내부에 Tedlar bag(SKC,US)을 연결하고, Lung sampler의 펌프가 작동해 Lung sampler 내부를 부압(負壓)으로 만들어 시료를 펌프를 거치지 않고 포집하는 방법이다. 가스시료 포집방법 중 구성 장비가 가장 간단하다. 배기가스 내 수분제거를 목적으로 Lung sampler 앞에 빈 임핀저와 실리카겔을 담은 흡수병을 설치하여 수분을 사전에 제거하였다(그림 14 참조).

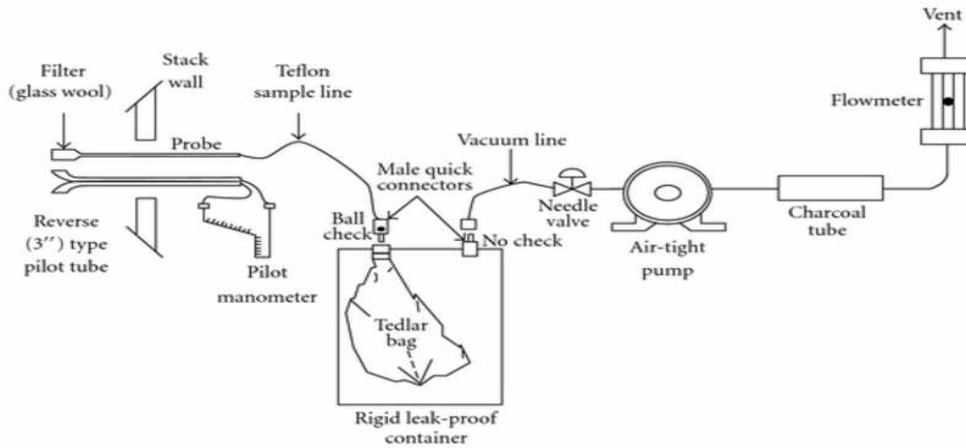


그림 13. Lung sampler를 이용한 간헐포집(EPA Method 18)

출처: US EPA, 2000

- ① 굴뚝시료채취용 관을 이용하여 채취되는 시료는 실리카겔을 통과시켜 수분을 제거하고 lung sampler의 시료유입구를 연결한다.
- ② 시료채취백(Tedlar bag 1 L)을 sampler에 넣고 시료 주입구에 연결한다.
- ③ 펌프를 작동하여 샘플러의 내부에 음압(-)을 걸어 준다.
- ④ 시료채취백에 시료가 약 80 %가 채워지면 펌프를 중지한다.
- ⑤ 시료채취백의 입구를 잠그고, 시료채취백과 시료 유입구를 분리시킨다.

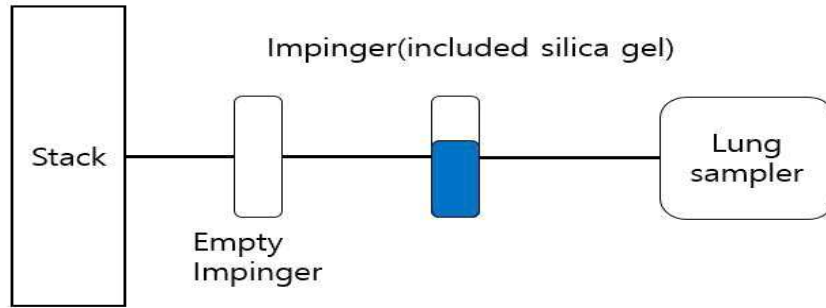


그림 14. 간헐포집 방법의 실험모식도

Tedlar bag에 포집된 가스시료는 가스분석장비인 GreenLine MK2를 이용하여 분석하게 된다.

### 3. 미세먼지와 미세먼지 생성물질 농도 측정 장비

#### 3.1. 미세먼지 측정 장비

중량농도법에 의한 미세먼지(PM-10, PM-2.5)의 측정 장비는 Cascade Impactor (PM-10, PM-2.5 Impactor, Johnas, Paul Gothe GmbH)으로, 이는 국제표준시험기준인 ISO 23210에 적용되는 방법이다. 측정에 쓰이는 시료채취 장치와 원리도는 그림 15. 먼지 흡인 장치(Stack sampler, CAE)의 모식도와 사진은 그림 16. 과 같다.

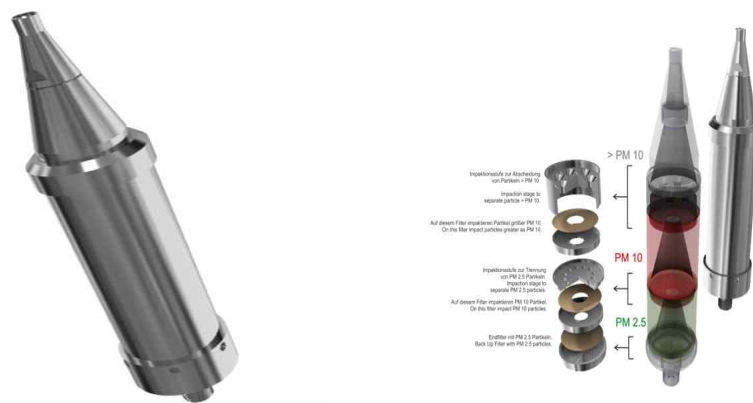
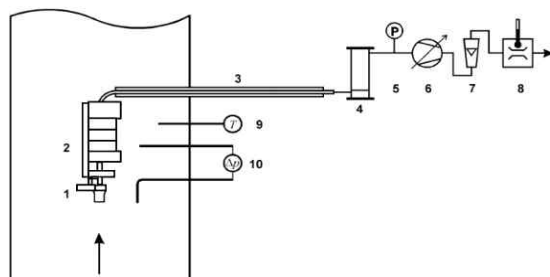


그림 15. Cascade Impactor



Components of the setup are given below:

1. Isokinetic nozzle
2. Two-stage impactor
3. Suction tube
4. Drying column
5. Manometer
6. Pump
7. Flow meter
8. Gas volume measurement device with thermometer
9. Temperature measurement device
10. Pitot tube with differential pressure meter

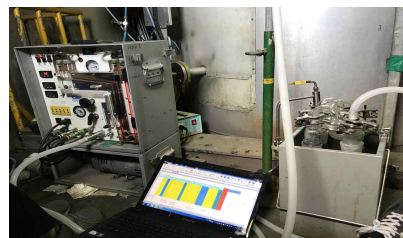


그림 16. Stack sampler (ES 01301)

### 3.2. 미세먼지 생성물질 농도 측정 장비

미세먼지 생성물질 중 황산화물(SO<sub>x</sub>)과 질소산화물(NO<sub>x</sub>)은 Lung sampler를 이용하여 Tedlar bag에 포집한다. Tedlar bag에 포집한 가스는 가스분석기(GreenLine MK2)를 이용하여 SO<sub>x</sub>과 NO<sub>x</sub>을 분석하게 된다.

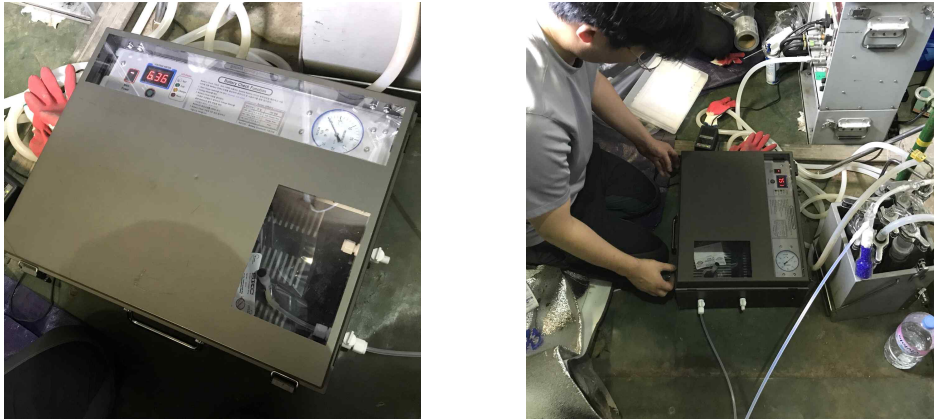


그림 17. Lung sampler (ACEN, KOREA)

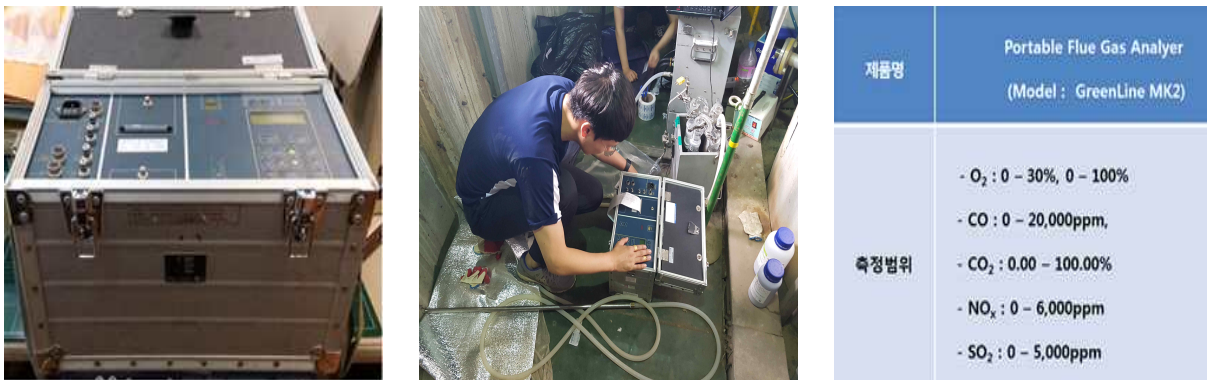


그림 18. Gas analyzer (EUROTRON, GreenLine MK2)

미세먼지 생성물질 중 VOCs는 배출구 후단에서 대부분 ppb 수준으로 존재함으로 실험실에서 정밀분석이 필요하다. 따라서, 시료의 채취는 Lung sampler를 이용하여 Tedlar bag에 포집 뒤, 차광상태로 보관 및 이송하여 GC/MS(6890/5975, Agilent, USA)로 분석을 진행하였다. 연구실로 이송한 시료는 고체흡착관을 적산유량펌프(Sibata MP-300, Sibata, Japan)에 연결하여 1,000 ml를 흡착 후, 열탈착 장치(Unity, Markers Ltd, UK)에서 저온 농축 및 탈착과정을 거쳐 GC/MS로 분석하였으며 분석조건은 표 19. 에 정리하였다. 본 실험기기의 검출한계 및 정밀도는 표 20. 과 표 21. 에 각각 제시하였다.

표 19. VOCs 기기분석 조건

TD		GC/MS		
Trap low Temp	5 °C	Oven	Initial	50°C (5 min)
Trap High Temp	300 °C		Ramp	5°C/min
Trap Hold Temp	5 min		Final	230°C (4 min)
Split Flow	10 ml/min		Total Time	45 min
Tube Desorb Temp	330 °C	MS Range		45~350
Tube Desorb Time	10 min	MS Source Temp.		230°C
C0arrier Pressure	20 psi	MS Quad Temp		150°C
Coldtrap	Tenax TA + Carboxpak B (1:1)	Column		DB-1, 60m × 0.25mm, 1.0µm

표 20. VOCs 최소검출한계

반복 측정 횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1	1,534,822	1,879,231	1,946,303	4,685,330	2,016,893
2	1,432,612	1,667,468	1,354,632	5,566,972	1,956,843
3	1,354,682	1,533,416	1,679,321	4,965,325	1,238,953
4	1,269,782	1,158,861	1,139,532	4,268,644	1,358,256
5	1,350,972	1,689,621	1,016,854	5,285,313	1,358,922
6	1,458,213	1,432,115	1,196,976	4,698,732	1,697,232
7	1,333,805	1,179,772	1,365,499	4,985,311	1,895,314
Mean	1,390,698	1,505,783	1,385,588	4,922,232	1,646,059
SD	89,274	268,400	325,096	425,560	324,002
MDL (ng)	0.68	1.54	1.57	1.15	1.76
MDL (ppb)	0.43	0.82	0.73	0.53	0.82

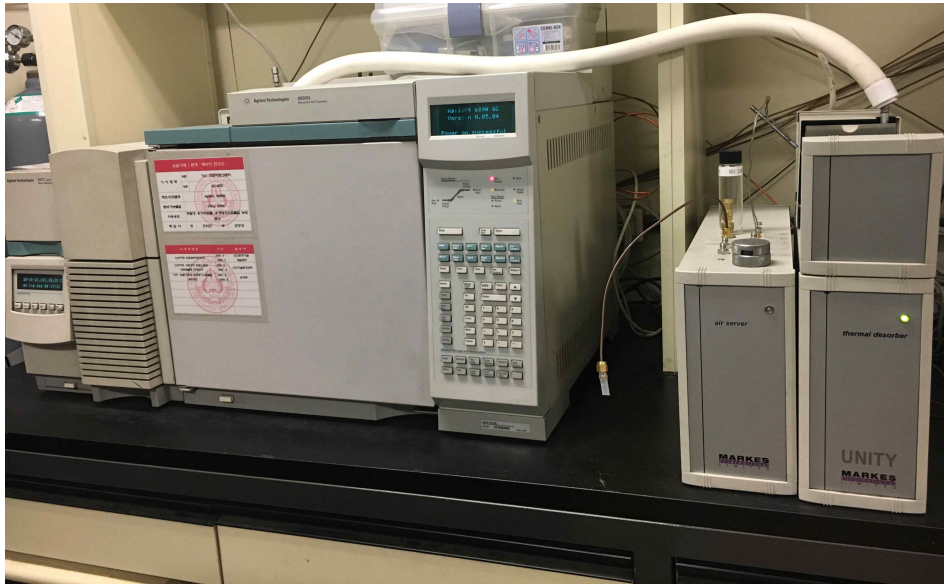


그림 19. GC-MSD

표 21. VOCs 농도 분석의 재현성 평가

반복 측정 횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1	164,646,146	250,331,286	330010276	617,369,535	279,433,025
2	139,066,040	217,312,929	291,820,450	551,287,763	241,563,268
3	158,240,572	243,465,361	322,389,261	613,095,788	262,274,422
Mass (ng)	348.0	410.5	464	1002.4	464.0
Average	153,984,253	237,036,525	314,739,996	593,917,695	261,090,238
SD	13,310,622	17,422,698	20,211,362	36,980,394	18,962,630
RSE (%)	4.99	4.24	3.71	3.59	4.19

## 4. 현장측정 결과

### ■ A사업장

A사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 5회 측정하여 분율분석하였다(그림 20. 참조). 등속흡인 조건에서 A사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자 크기별 분포율은 다음과 같다(표 22. 참조).



그림 20. A사업장 측정 모습

A사업장의 PM 평균 중량농도는  $7.96 \text{ mg/m}^3$ , PM-10은  $7.11 \text{ mg/m}^3$ , PM-2.5는  $5.79 \text{ mg/m}^3$  으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면,  $10 \mu\text{m}$  이상이 11 %,  $10 \mu\text{m} \sim 2.5 \mu\text{m}$  사이의 분포율은 17 % 그리고  $2.5 \mu\text{m}$  이하의 입자 크기는 73 %로 가장 높게 나타났다(그림 21. 참조).

표 22. A사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도

A사업장	중량 농도( $\text{mg/m}^3$ )					
	1회	2회	3회	4회	5회	평균
PM	7.046	7.135	10.263	7.944	7.423	7.962
PM-10	6.409	6.186	9.100	7.279	6.596	7.114
PM-2.5	5.302	4.544	7.512	6.063	5.530	5.790

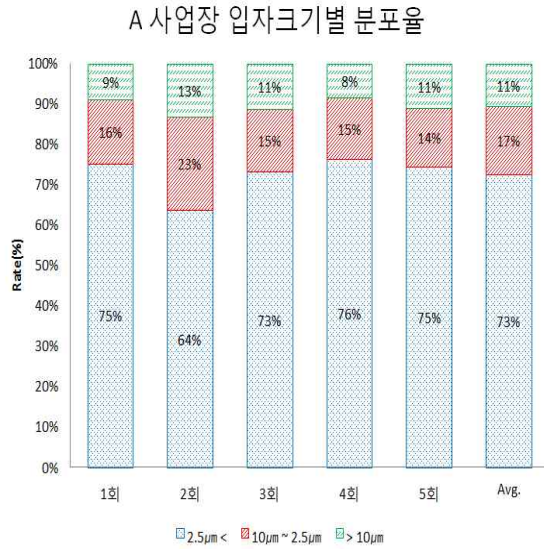


그림 21. A사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율

A사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질(NOx, SOx) 측정은 총 8회 실시하였다. NOx의 평균 농도는 27.32 ppm이며, 표준편차는 4.06 %로 나타났다(표 23. 참조). A사업장에서 SOx는 검출되지 않았다.

표 23. A사업장의 미세먼지 생성물질 농도

횟수	NOx (ppm)	SOx (ppm)
1회	31.58	불검출
2회	30.47	
3회	31.06	
4회	25.42	
5회	30.19	
6회	23.66	
7회	25.57	
8회	20.60	
평균	27.32	-
표준편차(SD)	4.06	-

A사업장에 배출되는 VOCs(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene) 측정은 총 4회 실시하였다. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene의 평균 농도는 각각 2.90 ppb, 2.59 ppb, 2.81 ppb, 1.63 ppb, 1.06 ppb이며, 표준편차는 0.86 %, 1.70 %, 1.50 %, 0.59 %, 0.11 %로 나타났다(표 24. 참조).

표 24. A사업장의 VOCs 농도

(단위 : ppb)

횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1회	2.44	1.36	1.32	0.98	1.11
2회	3.26	1.27	2.05	1.36	0.90
3회	3.91	2.85	3.10	1.84	1.08
4회	1.97	4.90	4.77	2.33	1.15
<b>평균</b>	<b>2.90</b>	<b>2.59</b>	<b>2.81</b>	<b>1.63</b>	<b>1.06</b>
<b>표준편차(SD)</b>	<b>0.86</b>	<b>1.70</b>	<b>1.50</b>	<b>0.59</b>	<b>0.11</b>

■ B사업장

B사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 8회 측정하여 분석하였다(그림 22 참조). 등속흡인 조건에서 B사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자 크기별 분포율은 다음과 같다(표 25. 참조).



그림 22. B사업장 측정 모습

B사업장의 PM 평균 중량농도는 51.874 mg/m<sup>3</sup>, PM-10은 48.777 mg/m<sup>3</sup>, PM-2.5는 44.822 mg/m<sup>3</sup> 으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면, 10 μm 이상이 6 %, 10 μm ~ 2.5 μm 사이의 분포율은 8 % 그리고 2.5 μm 이하의 입자 크기는 87 %로 가장 높게 나타났다(그림 23. 참조)

표 25. B사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도

B사업장	중량 농도(mg/m <sup>3</sup> )								
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균
PM	53.202	49.793	52.765	46.891	48.639	52.947	53.903	56.852	51.874
PM-10	49.380	46.746	50.885	44.988	46.979	49.053	49.402	52.787	48.777
PM-2.5	45.403	43.061	48.083	42.610	44.887	44.596	42.968	46.968	44.822

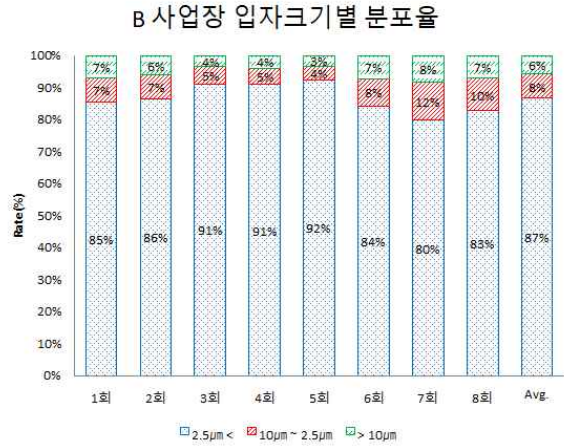


그림 23. B사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율

B사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질(NOx, SOx) 측정은 총 8회 실시하였다. NOx의 평균 농도는 76.69 ppm이며, 표준편차는 4.92 %로 나타났다(표 26. 참조). B사업장에서 SOx는 검출되지 않았다.

표 26. B사업장의 미세먼지 생성물질 농도

횟수	NOx (ppm)	SOx (ppm)
1회	67.42	불검출
2회	76.49	
3회	75.81	
4회	78.38	
5회	80.21	
6회	78.46	
7회	73.26	
8회	67.48	
평균	76.69	-
표준편차(SD)	4.92	-

B사업장에 배출되는 VOCs(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene) 측정은 총 3회 실시하였다. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene의 평균 농도는 각각 3.79 ppb, 1.70 ppb, 2.27 ppb, 1.56 ppb, 1.05 ppb이며, 표준편차는 0.60 %, 0.92 %, 0.72 %, 0.25 %, 0.08 %로 나타났다(표 27. 참조).

표 27. B사업장의 VOCs 농도

(단위 : ppb)

횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1회	4.14	1.23	1.74	1.45	0.97
2회	3.10	2.76	3.09	1.38	1.04
3회	4.14	1.11	1.97	1.84	1.13
<b>평균</b>	<b>3.79</b>	<b>1.70</b>	<b>2.27</b>	<b>1.56</b>	<b>1.05</b>
<b>표준편차(SD)</b>	<b>0.60</b>	<b>0.92</b>	<b>0.72</b>	<b>0.25</b>	<b>0.08</b>

## ■ C사업장

C사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 8회 측정하여 분석하였다(그림 24. 참조). 등속흡인 조건에서 C사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자 크기별 분포율은 다음과 같다(표 28. 참조).



그림 24. C사업장 측정 모습

C사업장의 PM 평균 중량농도는  $10.771 \text{ mg/m}^3$ , PM-10은  $10.320 \text{ mg/m}^3$ , PM-2.5는  $8.414 \text{ mg/m}^3$  으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면,  $10 \mu\text{m}$  이상이 4 %,  $10 \mu\text{m} \sim 2.5 \mu\text{m}$  사이의 분포율은 18 % 그리고  $2.5 \mu\text{m}$  이하의 입자 크기는 78 %로 가장 높게 나타났다(그림 25. 참조).

C사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질의 경우, 사업장 사정으로 측정하지 못하였다.

표 28. C사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도

C사업장	중량 농도( $\text{mg/m}^3$ )								
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균
PM	10.337	11.915	10.405	11.329	10.309	10.853	10.341	10.679	10.771
PM-10	9.917	11.358	9.981	10.888	9.925	10.458	9.873	10.162	10.320
PM-2.5	8.341	8.815	8.152	8.046	8.034	8.896	8.299	8.733	8.414

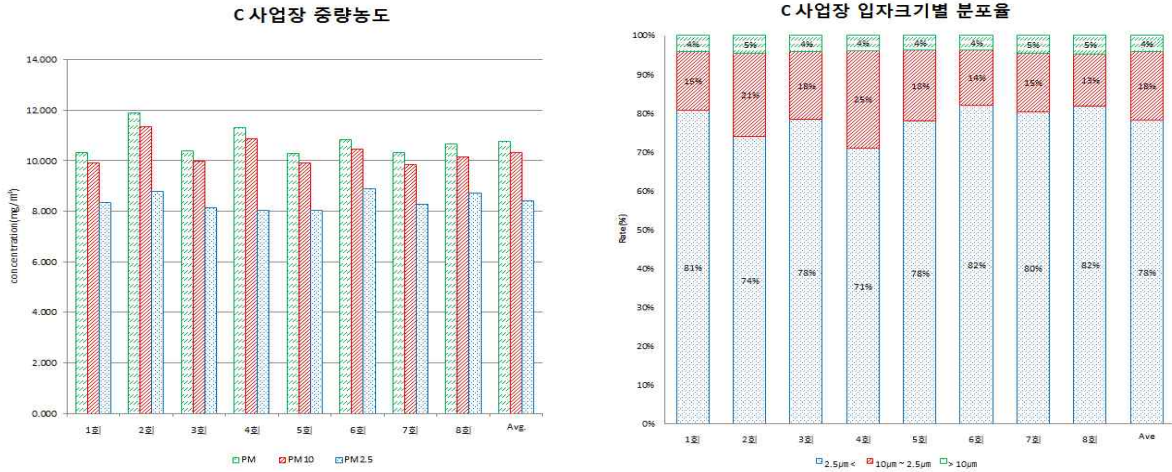


그림 25. C사업장 먼지농도와 입자크기별 분포

C사업장에 배출되는 VOCs(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene) 측정은 총 3회 실시하였다. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene의 평균 농도는 각각 1.72 ppb, 32.63 ppb, 4.32 ppb, 17.36 ppb, 2.02 ppb이며, 표준편차는 0.14 %, 5.39 %, 2.44 %, 4.26 %, 0.68 %로 나타났다(표 29. 참조).

표 29. C사업장의 VOCs 농도

(단위 : ppb)

횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1회	1.60	27.54	5.50	12.79	1.35
2회	1.68	38.28	5.95	18.07	2.00
3회	1.88	32.07	1.51	21.22	2.70
<b>평균</b>	<b>1.72</b>	<b>32.63</b>	<b>4.32</b>	<b>17.36</b>	<b>2.02</b>
<b>표준편차(SD)</b>	<b>0.14</b>	<b>5.39</b>	<b>2.44</b>	<b>4.26</b>	<b>0.68</b>

■ D사업장

D사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 8회 측정하여 분율분석하였다(그림 26. 참조). 등속흡인 조건에서 D사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자 크기별 분포율은 다음과 같다(표 30. 참조).



그림 26. D사업장 측정 모습

D사업장의 PM 평균 중량농도는  $3.326 \text{ mg/m}^3$ , PM-10은  $2.423 \text{ mg/m}^3$ , PM-2.5는  $1.265 \text{ mg/m}^3$  으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면,  $10 \mu\text{m}$  이상이 27 %,  $10 \mu\text{m} \sim 2.5 \mu\text{m}$  사이의 분포율은 35 % 그리고  $2.5 \mu\text{m}$  이하의 입자 크기는 38 %로 가장 높게 나타났다(그림 27. 참조).

표 30. D사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도

D사업장	중량 농도( $\text{mg/m}^3$ )								
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균
PM	3.265	3.625	3.443	2.902	3.165	3.613	3.231	3.362	3.326
PM-10	2.419	2.619	2.551	2.022	2.265	2.751	2.350	2.407	2.423
PM-2.5	1.319	1.270	1.179	0.928	1.193	1.711	1.253	1.268	1.265

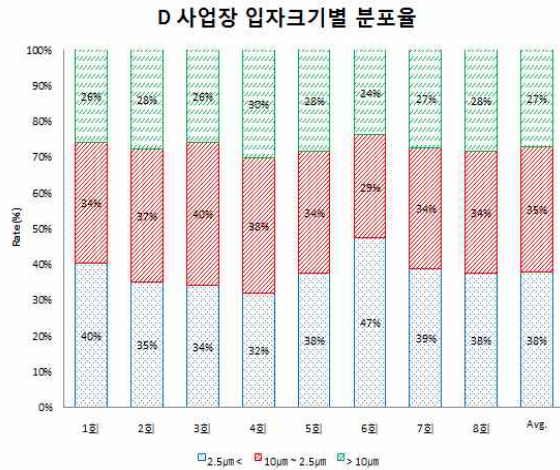


그림 27. D사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율

D사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질(NOx, SOx) 측정은 총 8회 실시하였다. NOx의 평균 농도는 32.27 ppm이며, 표준편차는 7.09 %로 나타났다(표 31. 참조). SOx의 평균 농도는 0.02 ppm이며, 표준편차는 0.03 %로 나타났다.

표 31. D사업장의 미세먼지 생성물질 농도

횟수	NOx (ppm)	SOx (ppm)
1회	26.32	-
2회	39.32	0.03
3회	25.52	-
4회	26.24	0.07
5회	28.13	-
6회	37.36	0.02
7회	44.11	0.05
8회	31.12	-
평균	32.27	0.02
표준편차(SD)	7.09	0.03

D사업장에 배출되는 VOCs(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene) 측정은 총 3회 실시하였다. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene의 평균 농도는 각각 0.98 ppb, 9.87 ppb, 3.15 ppb, 2.79 ppb, 1.06 ppb이며, 표준편차는 0.21 %, 3.28 %, 0.37 %, 0.56 %, 0.07 %로 나타났다(표 32. 참조).

표 32. D사업장의 VOCs 농도

(단위 : ppb)

횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1회	0.81	7.10	2.81	3.13	1.12
2회	0.92	9.03	3.55	3.09	0.98
3회	1.21	13.49	3.10	2.15	1.08
<b>평균</b>	<b>0.98</b>	<b>9.87</b>	<b>3.15</b>	<b>2.79</b>	<b>1.06</b>
<b>표준편차(SD)</b>	<b>0.21</b>	<b>3.28</b>	<b>0.37</b>	<b>0.56</b>	<b>0.07</b>

## ■ E사업장

E사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 6회 측정하여 분율분석하였다(그림 28. 참조). 등속흡인 조건에서 E사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자 크기별 분포율은 다음과 같다(표 33. 참조).



그림 28. E사업장 측정 모습

E사업장의 PM 평균 중량농도는  $14.243 \text{ mg/m}^3$ , PM-10은  $10.132 \text{ mg/m}^3$ , PM-2.5는  $5.243 \text{ mg/m}^3$  으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면,  $10 \mu\text{m}$  이상이 29 %,  $10 \mu\text{m} \sim 2.5 \mu\text{m}$  사이의 분포율은 34 % 그리고  $2.5 \mu\text{m}$  이하의 입자 크기는 37 %로 가장 높게 나타났다(그림 29. 참조).

표 33. E사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도

E사업장	중량 농도( $\text{mg/m}^3$ )						
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	평균
PM	15.267	14.075	12.648	13.858	14.813	14.795	14.243
PM-10	10.823	10.058	8.791	9.850	10.679	10.594	10.132
PM-2.5	5.556	5.202	4.414	5.243	5.561	5.479	5.243

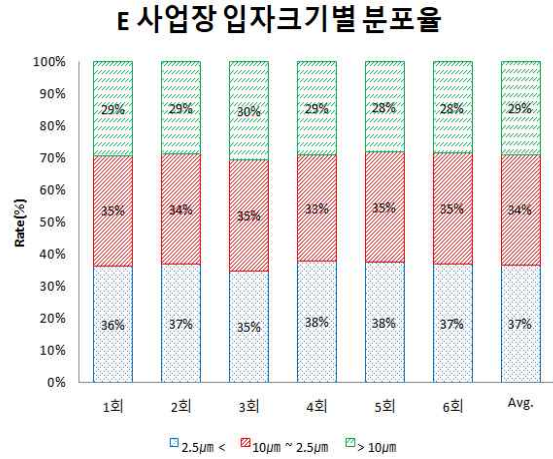
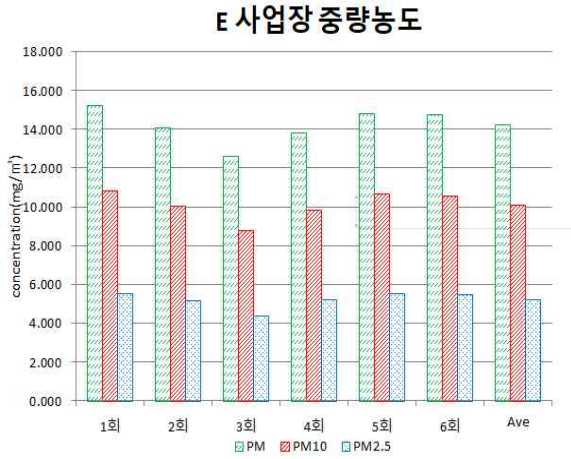


그림 29. E사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율

E사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질(NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) 측정은 총 8회 실시하였다. NO<sub>x</sub>의 평균 농도는 39 ppm이며, 표준편차는 2.97 %로 나타났다(표 34. 참조). SO<sub>x</sub>의 평균 농도는 0.99 ppm이며, 표준편차는 0.32 %로 나타났다.

표 34. E사업장의 미세먼지 생성물질 농도

횟수	NO <sub>x</sub> (ppm)	SO <sub>x</sub> (ppm)
1회	40.42	0.57
2회	35.21	0.91
3회	43.28	0.92
4회	35.42	0.86
5회	38.37	0.69
6회	41.15	1.55
7회	36.90	1.14
8회	41.23	1.26
<b>평균</b>	<b>39.00</b>	<b>0.99</b>
<b>표준편차(SD)</b>	<b>2.97</b>	<b>0.32</b>

E사업장에 배출되는 VOCs(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene) 측정은 총 3회 실시하였다. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene의 평균 농도는 각각 7.28 ppb, 5.91 ppb, 5.76 ppb, 7.68 ppb, 6.43 ppb이며, 표준편차는 0.64 %, 0.20 %, 0.67 %, 1.72 %, 0.54 %로 나타났다(표 35. 참조).

표 35. E사업장의 VOCs 농도

(단위 : ppb)

횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1회	7.83	6.16	5.55	7.10	6.31
2회	7.76	5.92	6.76	10.23	7.23
3회	7.06	5.88	5.38	6.99	6.15
4회	6.49	5.66	5.34	6.41	6.04
<b>평균</b>	<b>7.28</b>	<b>5.91</b>	<b>5.76</b>	<b>7.68</b>	<b>6.43</b>
<b>표준편차(SD)</b>	<b>0.64</b>	<b>0.20</b>	<b>0.67</b>	<b>1.72</b>	<b>0.54</b>

## ■ F사업장

F사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 4회 측정하여 분석하였다(그림 30. 참조). F사업장의 경우, 측정 당시 미세먼지 비상저감조치 발령에 따라 공장 가동이 중지되었던 관계로 측정 횟수가 타 사업장에 비해 적다. 등속흡인 조건에서 F사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자 크기별 분포율은 다음과 같다(표 36. 참조).



그림 30. F사업장 측정 모습

F사업장의 PM 평균 중량농도는  $2.434 \text{ mg/m}^3$ , PM-10은  $1.808 \text{ mg/m}^3$ , PM-2.5는  $0.989 \text{ mg/m}^3$  으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면,  $10 \mu\text{m}$  이상이 26 %,  $10 \mu\text{m} \sim 2.5 \mu\text{m}$  사이의 분포율은 34 % 그리고  $2.5 \mu\text{m}$  이하의 입자 크기는 41 %로 가장 높게 나타났다(그림 31. 참조).

표 36. F사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도

F사업장	중량 농도( $\text{mg/m}^3$ )				
	1회	2회	3회	4회	평균
PM	2.249	2.401	2.496	2.589	2.434
PM-10	1.634	1.800	1.895	1.905	1.808
PM-2.5	0.976	0.940	1.019	1.019	0.989

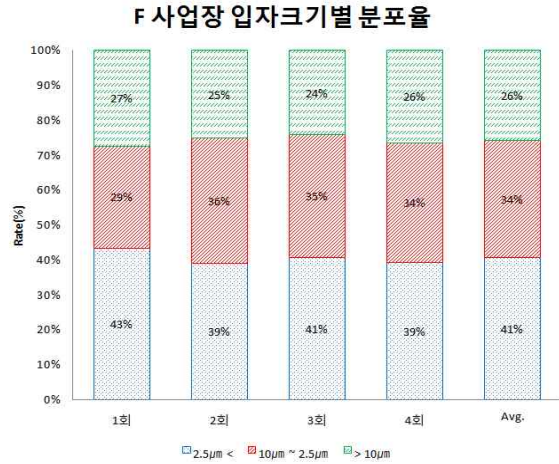


그림 31. F사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율

F사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질(NOx, SOx) 측정은 총 8회 실시하였다. NOx의 평균 농도는 34.56 ppm이며, 표준편차는 2.96 %로 나타났다(표 37. 참조). SOx의 평균 농도는 0.22 ppm이며, 표준편차는 0.24 %로 나타났다.

표 37. F사업장의 미세먼지 생성물질 농도

횟수	NOx (ppm)	SOx (ppm)
1회	37.70	0.33
2회	37.57	0.45
3회	35.37	0.20
4회	37.14	-
5회	34.74	0.13
6회	30.17	-
7회	31.02	-
8회	32.77	0.66
<b>평균</b>	<b>34.56</b>	<b>0.22</b>
<b>표준편차(SD)</b>	<b>2.96</b>	<b>0.24</b>

F사업장에 배출되는 VOCs(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene) 측정은 총 3회 실시하였다. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene의 평균 농도는 각각 10.17 ppb, 8.14 ppb, 6.36 ppb, 2.90 ppb, 1.41 ppb이며, 표준편차는 6.38 %, 1.54 %, 1.40 %, 0.97 %, 0.44 %로 나타났다(표 38. 참조).

표 38. F사업장의 VOCs 농도

(단위 : ppb)

횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1회	12.38	9.12	4.76	2.71	1.02
2회	15.15	6.36	6.90	2.04	1.90
3회	2.97	8.95	7.40	3.94	1.32
평균	10.17	8.14	6.36	2.90	1.41
표준편차(SD)	6.38	1.54	1.40	0.97	0.44

■ G사업장

G사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 8회 측정하여 분율분석하였다(그림 32. 참조). 등속흡인 조건에서 G사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자 크기별 분포율은 다음과 같다(표 39. 참조).



그림 32. G사업장 측정 모습

G사업장의 PM 평균 중량농도는 6.867 mg/m<sup>3</sup>, PM-10은 5.125 mg/m<sup>3</sup>, PM-2.5는 2.544 mg/m<sup>3</sup> 으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면, 10 μm 이상이 25 %, 10 μm ~ 2.5 μm 사이의 분포율은 38 % 그리고 2.5 μm 이하의 입자 크기는 37 %로 입자 분포율이 비슷하게 나타났다(그림 33. 참조).

표 39. G사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도

G사업장	중량 농도(mg/m <sup>3</sup> )								평균
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	
PM	6.864	7.262	7.541	7.221	6.949	6.101	6.892	6.103	6.867
PM-10	5.128	5.499	5.807	5.456	5.055	4.686	5.026	4.345	5.125
PM-2.5	2.170	2.920	3.017	2.913	2.269	2.481	2.531	2.049	2.544

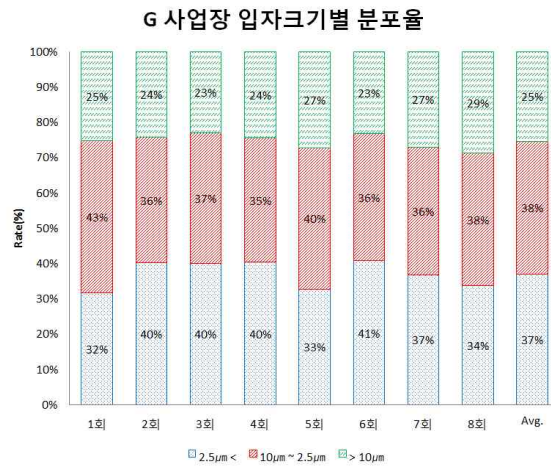
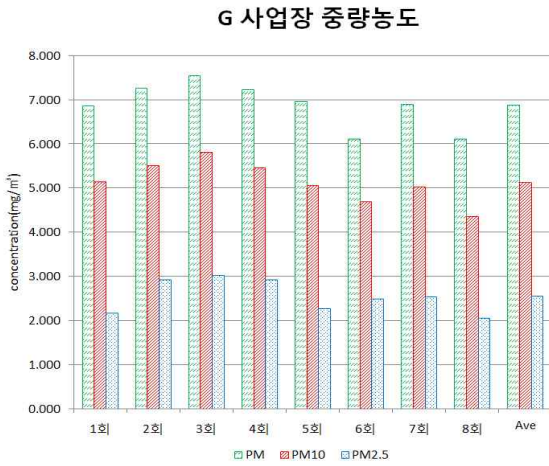


그림 33. G사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율

G사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질(NOx, SOx) 측정은 총 8회 실시하였다. NOx의 평균 농도는 48.45 ppm이며, 표준편차는 6.18 %로 나타났다(표 40. 참조). G사업장에서 SOx는 검출되지 않았다.

표 40. G사업장의 미세먼지 생성물질 농도

횟수	NOx (ppm)	SOx (ppm)
1회	45.78	불검출
2회	58.68	
3회	51.63	
4회	39.48	
5회	49.65	
6회	52.11	
7회	48.91	
8회	41.36	
평균	48.45	-
표준편차(SD)	6.18	-

G사업장에 배출되는 VOCs(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene) 측정은 총 4회 실시하였다. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene의 평균 농도는 각각 22.10 ppb, 17.39 ppb, 10.01 ppb, 5.23 ppb, 4.64 ppb이며, 표준편차는 2.86 %, 1.48 %, 1.25 %, 0.57 %, 1.38 %로 나타났다(표 41. 참조).

표 41. G사업장의 VOCs 농도

(단위 : ppb)

횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1회	18.59	17.88	8.32	4.57	3.47
2회	22.66	19.19	10.13	5.51	3.94
3회	25.51	16.74	11.32	5.87	4.54
4회	21.65	15.75	10.27	4.99	6.60
<b>평균</b>	<b>22.10</b>	<b>17.39</b>	<b>10.01</b>	<b>5.23</b>	<b>4.64</b>
<b>표준편차(SD)</b>	<b>2.86</b>	<b>1.48</b>	<b>1.25</b>	<b>0.57</b>	<b>1.38</b>

■ H사업장

H사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 8회 측정하여 분율분석하였다(그림 34. 참조). 등속흡인 조건에서 H사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자 크기별 분포율은 다음과 같다(표 42. 참조).



그림 34. H사업장 측정 모습

H사업장의 PM 평균 중량농도는 1.428 mg/m<sup>3</sup>, PM-10은 1.041 mg/m<sup>3</sup>, PM-2.5는 0.520 mg/m<sup>3</sup> 으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면, 10 μm 이상이 27 %, 10 μm ~ 2.5 μm 사이의 분포율은 36 % 그리고 2.5 μm 이하의 입자 크기는 37 %로 나타났다(그림 35. 참조).

표 42. H사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도

H사업장	중량 농도(mg/m <sup>3</sup> )								
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균
PM	1.601	1.765	1.519	1.593	1.093	1.003	1.293	1.556	1.428
PM-10	1.179	1.296	1.074	1.074	0.842	0.773	0.920	1.172	1.041
PM-2.5	0.491	0.556	0.486	0.630	0.394	0.411	0.548	0.648	0.520

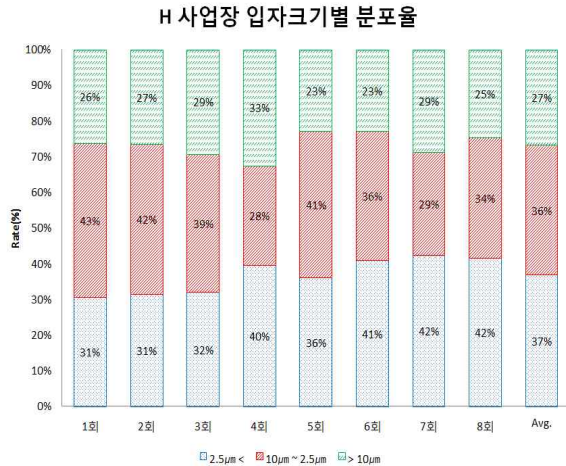
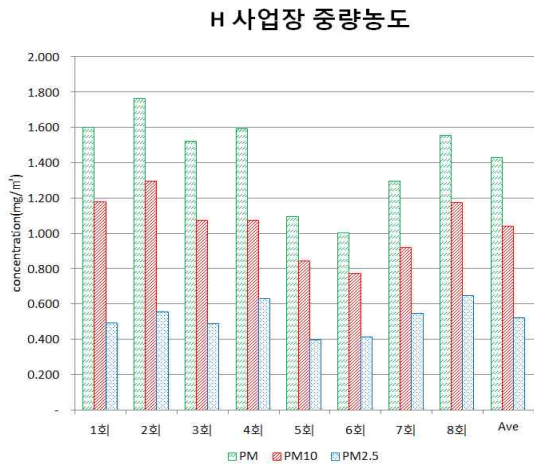


그림 35. H사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율

H사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질(NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) 측정은 총 8회 실시하였다. NO<sub>x</sub>의 평균 농도는 32.91 ppm이며, 표준편차는 5.30 %로 나타났다(표 43. 참조). H사업장에서 SO<sub>x</sub>는 검출되지 않았다.

표 43. H사업장의 미세먼지 생성물질 농도

횟수	NO <sub>x</sub> (ppm)	SO <sub>x</sub> (ppm)
1회	28.43	불검출
2회	34.00	
3회	30.48	
4회	36.24	
5회	29.29	
6회	43.77	
7회	33.32	
8회	27.73	
평균	32.91	-
표준편차(SD)	5.30	-

H사업장에 배출되는 VOCs(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene) 측정은 총 4회 실시하였다. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Strene의 평균 농도는 각각 8.73 ppb, 13.14 ppb, 8.08 ppb, 5.11 ppb, 9.73 ppb이며, 표준편차는 3.02 %, 6.13 %, 3.41 %, 1.24 %, 5.49 %로 나타났다(표 44. 참조).

표 44. H사업장의 VOCs 농도

(단위 : ppb)

횟수	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
1회	5.13	6.93	5.17	3.96	3.19
2회	7.88	9.42	6.91	4.11	16.32
3회	9.55	20.45	7.23	6.07	8.26
4회	12.34	15.77	13.02	6.28	11.16
<b>평균</b>	<b>8.73</b>	<b>13.14</b>	<b>8.08</b>	<b>5.11</b>	<b>9.73</b>
<b>표준편차(SD)</b>	<b>3.02</b>	<b>6.13</b>	<b>3.41</b>	<b>1.24</b>	<b>5.49</b>

## ■ I사업장

I사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 8회 측정하여 분율분석하였다(그림 36. 참조). 등속흡인 조건에서 I사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자 크기별 분포율은 다음과 같다(표 45. 참조).



그림 36. I사업장 측정 모습

I사업장의 PM 평균 중량농도는  $4.714 \text{ mg/m}^3$ , PM-10은  $3.653 \text{ mg/m}^3$ , PM-2.5는  $2.556 \text{ mg/m}^3$  으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면,  $10 \mu\text{m}$  이상이 23 %,  $10 \mu\text{m} \sim 2.5 \mu\text{m}$  사이의 분포율은 23 % 그리고  $2.5 \mu\text{m}$  이하의 입자 크기는 54 %로 가장 높게 나타났다(그림 37. 참조).

표 45. I사업장 배기가스의 입자상오염물질 농도

I사업장	중량 농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ )								
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균
PM	4.514	4.656	4.463	4.248	4.074	5.978	5.458	4.321	4.714
PM-10	3.232	3.427	3.427	3.517	3.206	4.727	4.358	3.328	3.653
PM-2.5	2.066	2.336	2.336	2.490	2.308	3.428	3.337	2.147	2.556

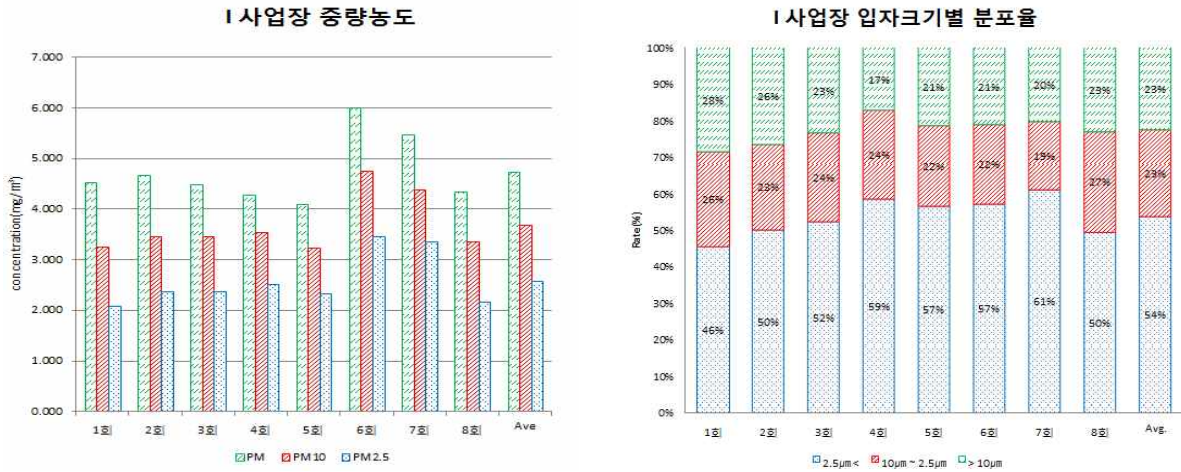


그림 37. I사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율

I사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질과 VOCs의 경우, 사업장 사정으로 측정하지 못하였다.

### ■ J사업장

J사업장의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 총 8회 측정하여 분율분석하였다(그림 38. 참조). 등속흡인 조건에서 J사업장의 입자상오염물질 중량농도, 입자크기별 중량농도, 입자크기별 분포율은 다음과 같다(표 46. 참조).



그림 38. J사업장 측정 모습

J사업장의 PM 평균 중량농도는 6.221 mg/m<sup>3</sup>, PM-10은 5.029 mg/m<sup>3</sup>, PM-2.5는 3.491 mg/m<sup>3</sup> 으로 분석되었다. 중량농도의 분석 값을 토대로 산정된 입자 크기별 분포율을 살펴보면, 10 μm 이상이 19 %, 10 μm ~ 2.5 μm 사이의 분포율은 25 % 그리고 2.5 μm 이하의 입자 크기는 56 %로 가장 높게 나타났다(그림 39. 참조).

표 46. J사업장의 배기가스의 입자상오염물질 농도

J사업장	중량 농도(mg/m <sup>3</sup> )								
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균
PM	6.261	6.557	5.754	5.472	6.674	6.990	5.670	6.394	6.221
PM-10	5.345	5.584	4.838	4.642	5.327	5.534	4.241	4.725	5.029
PM-2.5	3.730	3.638	3.465	3.197	3.622	3.786	3.098	3.389	3.491

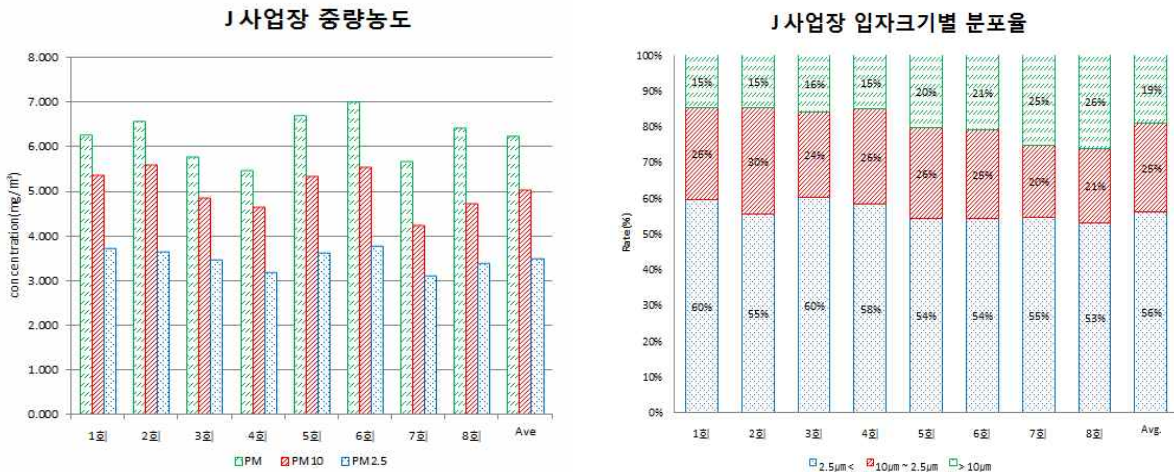


그림 39. J사업장 먼지농도와 입자크기별 분포율

J사업장에 배출되는 미세먼지 생성물질과 VOCs의 경우, 사업장 사정으로 측정하지 못하였다.



## 제 4 장 안산시 교통분야의 미세먼지 배출량

---

1. 도로이동오염원 배출량 산정방법 .....
  2. 안산시 도로이동오염원 미세먼지 배출량 현황 .....
-



## 제 4 장 안산시 교통분야의 미세먼지 배출량

### 1. 도로이동오염원 배출량 산정 방법

안산시 교통분야의 미세먼지 배출원 파악 및 배출량을 확인하고자 한다. 교통분야의 미세먼지 배출량 산정은 “도로이동오염원 대기오염물질 배출량 산정 가이드라인”을 따른다. 일반적으로 도로이동오염원 배출량은 다음의 식으로 계산한다.

$$\text{배출량(차종, 도로)} = \text{배출계수(차종, 도로)} \times \text{주행거리(차종, 도로)}$$

도로별 교통량은 모든 도로에 대하여 관측되지 않기 때문에 차종별 차량 등록대수와 평균 주행거리를 이용하여 차량 총 주행거리(Total VKT)를 산정한다. 차종별 연간 총 주행거리(VKT)는 다음과 같은 산정식으로 계산한다.

$$\text{VKT} = \text{안산시 차량등록대수} \times \text{1일 평균주행거리} \times \text{365일}$$

산정된 차종별 연간 총 주행거리(VKT)는 차종별 배출계수에 적용하여 안산시 도로이동 오염원 배출량을 산정하게 된다. 도로이동오염원 배출량 산정의 위한 활동자료는 다음과 같다.

#### ① 안산시 자동차 등록대수(2015년)

2015년 기준, 안산시 자동차 등록대수는 다음과 같다(표 47. 참조). 전체 284,245대 중 승용차(221,481), 승합차(15,691), 화물차(46,378) 그리고 특수차(695) 비중은 각각 78 %, 5 %, 16 %, 0.3 % 순으로 나타났다.

표 47. 안산 자동차 등록현황표(2015년)

연도	승용차				승합차			
	계	관용	자가용	영업용	계	관용	자가용	영업용
2015	221,481	220	216,984	4,277	15,691	164	13,362	2,165
연도	화물차				특수차			
	계	관용	자가용	영업용	계	관용	자가용	영업용
2015	46,378	242	40,416	5,720	695	14	221	460

자료 : 안산시 통계연보(2017)

② 안산시 1일 평균주행거리(2015년)

2015년 기준, 안산시 1일 평균주행거리는 다음과 같다(표 48. 참조). 승용차 35.4 km/대, 승합차 57.8 km/대, 화물차 58.7 km/대, 그리고 특수차는 78.3 km/대 로 나타났다.

표 48. 안산시 1일 평균주행거리(2015년)

행정구역	안산시 1일 평균주행거리(km/대)			
	승용차	승합차	화물차	특수차
안산시	35.4	57.8	58.7	78.3

자료 : 한국교통안전공단(2016)

③ 안산시 연간 총 주행거리(VKT)

안산시 차종별 연간 총 주행거리(VKT)는 다음과 같다(표 49. 참조). 안산시의 차종별 연간 총 주행거리를 산정한 결과, 승용차가 68 %로 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다으며, 다음으로 화물차 23 %, 승합차 8 %, 특수차 0.5 % 순으로 나타났다.

표 49. 안산시 연간 총 주행거리(2015년)

행정구역	안산시 1일 평균주행거리(km/대)			
	승용차	승합차	화물차	특수차
안산시	2,956,880,403	320,463,430	1,001,770,678	21,005,933

④ 차량별 배출계수

표 50. 도로이동오염원 PM 배출계수

분류		SCC	연식	PM 배출계수		
승용차	경형 (1000cc미만)	07010100	'04~'05년	$k \times 0.0839 \times V^{(-0.3420)}$		
			'06년 이후	$k \times 0.0420 \times V^{(-0.3420)}$		
	소형 (1000~1600cc)	07010200	'04년 이전	$V \leq 65\text{km/h}$	$k \times 0.3861 \times V^{(-0.5093)}$	
				$V > 65\text{km/h}$	$k \times (1E-05) \times V^2 + 0.026 \times V^{(-0.0618)}$	
			'05년	$k \times 0.0839 \times V^{(-0.3420)}$		
			'06년 이후	$k \times 0.0420 \times V^{(-0.3420)}$		
	중형 (1600~2000cc)	07010300	'04년 이전	$V \leq 65\text{km/h}$	$k \times 0.3861 \times V^{(-0.5093)}$	
				$V > 65\text{km/h}$	$k \times (1E-05) \times V^2 + 0.026 \times V^{(-0.0618)}$	
			'05년	$k \times 0.0723 \times V^{(-0.3420)}$		
			'06년 이후	$k \times 0.0396 \times V^{(-0.3420)}$		
	대형 (2000cc)이상	07010400	'04년 이전	$V \leq 65\text{km/h}$	$k \times 0.3861 \times V^{(-0.5093)}$	
				$V > 65\text{km/h}$	$k \times (1E-05) \times V^2 + 0.026 \times V^{(-0.0618)}$	
'05년			$k \times 0.0723 \times V^{(-0.3420)}$			
'06년 이후			$k \times 0.0391 \times V^{(-0.3420)}$			
승합차	소형 (15인승 이하)	07030200	'90년 이전	$k \times 1.1412 \times V^{(-0.4324)}$		
			'91~'95년	$k \times 0.5999 \times V^{(-0.3294)}$		
			'96~'97년	$k \times 0.6408 \times V^{(-0.3596)}$		
			'98~'99년	$k \times 0.5168 \times V^{(-0.3596)}$		
			'00~'02년	$k \times 0.2894 \times V^{(-0.3596)}$		
			'03~'05년	$k \times 0.2067 \times V^{(-0.3596)}$		
			'06년 이후	$k \times 0.3111 \times V^{(-0.5125)}$		
	중형 (16~35인승)	07030300	'95년 이전	$k \times 5.4886 \times V^{(-0.5911)}$		
			'96~'99년	$k \times 1.6593 \times V^{(-0.3935)}$		
			'00~'01년	$k \times 1.2848 \times V^{(-0.4715)}$		
'02년 이후			$k \times 1.0457 \times V^{(-0.4527)}$			
승합차	대형 (36인승 이상)	07030400	'95년 이전	$k \times 5.2158 \times V^{(-0.5048)}$		
			'96~'97년	$k \times 2.4911 \times V^{(-0.4149)}$		
			'98~'99년	$k \times 1.4432 \times V^{(-0.3870)}$		
			'00~'01년	$k \times 0.9375 \times V^{(-0.3910)}$		
			'02년	$k \times 1.1507 \times V^{(-0.4804)}$		
			'03~'07년	$V \leq 80\text{km/h}$	$k \times 0.4657 \times V^{(-0.5634)}$	
				$V > 80\text{km/h}$	$V > 80\text{km/h}$	$k \times 0.0014 \times V^{(0.7970)}$
			'08년 이후	$V \leq 80\text{km/h}$	$k \times 0.2986 \times V^{(-0.5711)}$	
	$V > 80\text{km/h}$	$V > 80\text{km/h}$		$k \times 0.0001 \times V^{(1.2263)}$		
	특수	07030500	'95년 이전	$k \times 5.4886 \times V^{(-0.5911)}$		
			'96~'99년	$k \times 1.6593 \times V^{(-0.3935)}$		
			'00~'01년	$k \times 1.2848 \times V^{(-0.4715)}$		
			'02년 이후	$k \times 1.0457 \times V^{(-0.4527)}$		

자료 : 국립환경과학원(2014)

분류		SCC	연식	PM 배출계수
화물차	소형 (적재량 1톤 이하)	07050200	'90년 이전	$k \times 0.8117 \times V^{(-0.4071)}$
			91~95년	$k \times 0.6188 \times V^{(-0.454)}$
			96~97년	$k \times 0.7037 \times V^{(-0.5357)}$
			98~99년	$k \times 0.6157 \times V^{(-0.5357)}$
			00~03년	$k \times 0.4838 \times V^{(-0.5357)}$
			04~06년	$k \times 0.3079 \times V^{(-0.5357)}$
			07년 이후	$k \times 0.1759 \times V^{(-0.5357)}$
	중형 (적재량 1~5톤 미만)	07050300	95년 이전	$k \times 3.6772 \times V^{(-0.5514)}$
			96~97년	$k \times 3.5285 \times V^{(-0.5962)}$
			98~99년	$k \times 1.4444 \times V^{(-0.4824)}$
			00~02년	$k \times 1.0432 \times V^{(-0.4992)}$
			03년 이후	$k \times 0.2979 \times V^{(-0.4008)}$
	대형 (적재량 5톤 이상)	07050400	95년 이전	$k \times 7.6212 \times V^{(-0.4183)}$
			96~97년	$k \times 6.0264 \times V^{(-0.4627)}$
			98~99년	$k \times 4.873 \times V^{(-0.4382)}$
00~02년			$k \times 3.7541 \times V^{(-0.4055)}$	
03년 이후			$k \times 2.6847 \times V^{(-0.6112)}$	
특수	구난차	07060100	95년 이전	$k \times 3.6772 \times V^{(-0.5514)}$
			96~97년	$k \times 3.5285 \times V^{(-0.5962)}$
			98~99년	$k \times 1.4444 \times V^{(-0.4824)}$
			00~02년	$k \times 1.0432 \times V^{(-0.4992)}$
			03년 이후	$k \times 0.2979 \times V^{(-0.4008)}$
	견인차	07060200	95년 이전	$k \times 3.6772 \times V^{(-0.5514)}$
			96~97년	$k \times 3.5285 \times V^{(-0.5962)}$
			98~99년	$k \times 1.4444 \times V^{(-0.4824)}$
			00~02년	$k \times 1.0432 \times V^{(-0.4992)}$
			03년 이후	$k \times 0.2979 \times V^{(-0.4008)}$
	기타	07060300	95년 이전	$k \times 3.6772 \times V^{(-0.5514)}$
			96~97년	$k \times 3.5285 \times V^{(-0.5962)}$
			98~99년	$k \times 1.4444 \times V^{(-0.4824)}$
			00~02년	$k \times 1.0432 \times V^{(-0.4992)}$
			03년 이후	$k \times 0.2979 \times V^{(-0.4008)}$

자료 : 국립환경과학원(2014)

## 2. 안산시 도로이동오염원 미세먼지 배출량 현황

안산시 도로이동오염원에서 발생하는 승용차의 PM 총배출량은 767 kg/yr으로 나타났다. 승용차는 크게 소형, 중형, 대형으로 구분되고 있다. 승용차 소형의 PM 배출량은 295 kg/yr, 중형 353 kg/yr, 대형 119 kg/yr으로 나타났다.

표 51. 안산시 도로이동오염원 승용차 PM 배출량(2015)

(단위: kg/yr)

행정구역	배출원 대분류	배출원 중분류	배출원 소분류	연료	PM 배출량
안산시 상록구	도로이동염원	승용차	소형 <sup>1)</sup>	경유	150
안산시 상록구	도로이동염원	승용차	중형 <sup>2)</sup>	경유	164
안산시 상록구	도로이동염원	승용차	대형 <sup>3)</sup>	경유	61
안산시 단원구	도로이동염원	승용차	소형	경유	145
안산시 단원구	도로이동염원	승용차	중형	경유	189
안산시 단원구	도로이동염원	승용차	대형	경유	58
<b>합 계</b>					767

주: 1) 1000cc 이상 1600 cc 이하  
 주: 2) 1600 cc 이상 2000 cc 이하  
 주: 3) 2000 cc 이상

자료 : 국립환경과학원(2015)

안산시 도로이동오염원에서 발생하는 승합차의 PM 총배출량은 4,214 kg/yr으로 나타났다. 승합차는 크게 소형, 중형, 대형 그리고 특수로 구분되고 있다. 승합차 소형의 PM 배출량은 2,890 kg/yr, 중형 831 kg/yr, 대형 213 kg/yr 그리고 특수는 280 kg/yr으로 나타났다.

표 52. 안산시 도로이동오염원 승합차 PM 배출량(2015)

(단위: kg/yr)

행정구역	배출원 대분류	배출원 중분류	배출원 소부류	연료	PM 배출량
안산시 상록구	도로이동염원	승합차	소형 <sup>1)</sup>	경유	1,187
안산시 상록구	도로이동염원	승합차	중형 <sup>2)</sup>	경유	543
안산시 상록구	도로이동염원	승합차	대형 <sup>3)</sup>	경유	127
안산시 상록구	도로이동염원	승합차	특수	경유	173
안산시 단원구	도로이동염원	승합차	소형	경유	1,703
안산시 단원구	도로이동염원	승합차	중형	경유	288
안산시 단원구	도로이동염원	승합차	대형	경유	86
안산시 단원구	도로이동염원	승합차	특수	경유	107
<b>합 계</b>					4,214

주: 1) 15인승 이하  
 주: 2) 16인승 이상 35인승 이하  
 주: 3) 35인승 이상

자료 : 국립환경과학원(2015)

안산시 도로이동오염원에서 발생하는 화물차의 PM 총배출량은 67,250 kg/yr으로 나타났다. 화물차는 크게 소형, 중형, 대형, 특수, 덤프트럭, 그리고 콘크리트믹서트럭으로 구분되고 있다. 화물차 소형의 PM 배출량은 22,238 kg/yr, 중형 11,721 kg/yr, 대형 27,567 kg/yr, 특수는 2,223 kg/yr, 덤프트럭은 2,641 kg/yr 그리고 콘크리트믹서트럭은 860 kg/yr으로 나타났다.

표 53. 안산시 도로이동오염원 화물차 PM 배출량(2015)

(단위: kg/yr)

행정구역	배출원 대분류	배출원 중분류	배출원 소분류	연료	PM 배출량
안산시 상록구	도로이동염원	화물차	소형 <sup>1)</sup>	경유	9,782
안산시 상록구	도로이동염원	화물차	중형 <sup>2)</sup>	경유	7,060
안산시 상록구	도로이동염원	화물차	대형 <sup>3)</sup>	경유	16,566
안산시 상록구	도로이동염원	화물차	특수	경유	1,296
안산시 상록구	도로이동염원	화물차	덤프트럭	경유	1,784
안산시 상록구	도로이동염원	화물차	콘크리트믹서트럭	경유	540
안산시 단원구	도로이동염원	화물차	소형	경유	12,456
안산시 단원구	도로이동염원	화물차	중형	경유	4,661
안산시 단원구	도로이동염원	화물차	대형	경유	11,001
안산시 단원구	도로이동염원	화물차	특수	경유	927
안산시 단원구	도로이동염원	화물차	덤프트럭	경유	857
안산시 단원구	도로이동염원	화물차	콘크리트믹서트럭	경유	320
<b>합 계</b>					<b>67,250</b>

주: 1) 적재량 1톤 이하

주: 2) 적재량 1톤 이상 5톤 미만

주: 3) 적재량 5톤 이상

자료 : 국립환경과학원(2015)

안산시 도로이동오염원에서 발생하는 특수차의 PM 총배출량은 595 kg/yr으로 나타났다. 특수차는 크게 구난차, 견인차, 그리고 기타로 구분되고 있다. 구난차의 PM 배출량은 60 kg/yr, 견인차 232 kg/yr 그리고 기타 175 kg/yr으로 나타났다.

표 54. 안산시 도로이동오염원 특수차 PM 배출량(2015)

(단위: kg/yr)

행정구역	배출원 대분류	배출원 중분류	배출원 소분류	연료	PM 배출량
안산시 상록구	도로이동염원	특수차	구난차	경유	30
안산시 상록구	도로이동염원	특수차	견인차	경유	232
안산시 상록구	도로이동염원	특수차	기타	경유	107
안산시 단원구	도로이동염원	특수차	구난차	경유	30
안산시 단원구	도로이동염원	특수차	견인차	경유	128
안산시 단원구	도로이동염원	특수차	기타	경유	68
<b>합 계</b>					595

자료 : 국립환경과학원(2015)

## 제 5 장 미세먼지 기여도 분석

---

1. 대기질 모델링 .....
  2. 기상 모델링 시스템 .....
  3. 배출량 모델링 시스템 .....
  4. 기여도 분석을 위한 화학수송 모델링 시스템.....
-



# 제 5 장 미세먼지 기여도 분석

## 1. 대기질 모델링

### 1.1 대기질 모델링 시스템

대기 중 미세먼지 농도를 모사하기 위해서는 가스상 및 입자상 대기오염물질 배출량, 기상 요소, 광분해, 지형 및 토지피복, 직접적으로 배출되는 미세먼지 생성물질과의 관계를 모두 고려할 수 있는 화학수송모델을 이용한다.

국내외에서 O<sub>3</sub>, 미세먼지 등을 예측하기 위해 주로 이용되는 화학수송모델은 CMAQ(Community Multiscale Air Quality Modeling System), CAMx(The Comprehensive Air quality Model with extensions) 등이 있으며, CAMx는 지역 및 배출원별 기여도를 평가할 수 있는 PSAT(Particulate matter Source Apportionment Technology) 도구를 제공하고 있다.

그림 40. 은 본 연구에서 구축하여 이용하고자 하는 대기질 모델링 시스템을 간략하게 나타낸 것이다. 먼저 대기질 모델링 입력자료를 준비하기 위하여 국내외 배출량 자료와 식생자료를 이용하여 SMOKE(The Sparse Matrix Operator Kernel Emissions), MEGAN(Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) 등의 배출량 모델을 수행하고, 모델 입력 배출량 산출, 전구기상자료, 지형, 토지피복 등을 이용하여 WRF(Weather Research Forecast) 모델을 수행하며, 모델 입력 기상자료 산출, 오존 칼럼 자료를 이용하여 광해리율 자료를 산출하게 된다. 준비된 입력자료를 이용하여 화학반응기구, 기여도 분석을 위한 지역 및 배출원 설정 등 적절한 옵션을 선택하여 CAMx 대기질 모델링을 수행한다. CAMx에서 산출된 결과는 후처리 프로그램을 이용하여 결과 추출 및 시계열/공간분포 그래프 작성 등 가시화 작업을 거쳐서 대기질 평가 및 저감 대책 효과 분석 등에 활용한다.

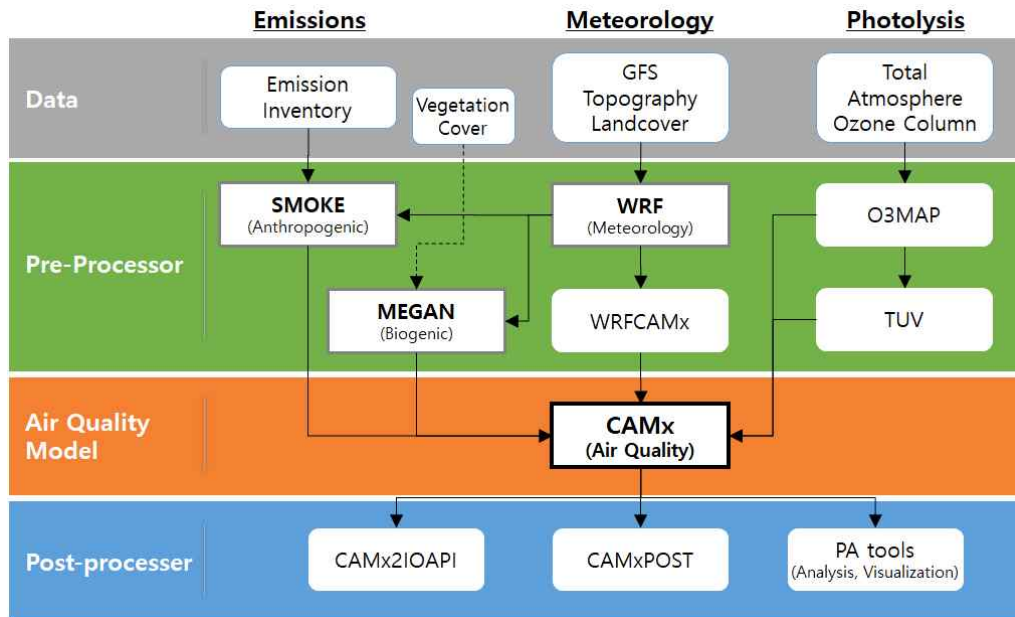


그림 40. 대기질 모델링 시스템

## 2. 기상 모델링 시스템

WRF(The Weather Research and Forecasting) 모델은 중규모 기상 예측 시스템으로 1990년대 후반부터 개발이 시작되었으며, 미국 NCAR(National Center for Atmospheric Research), NCEP(National Centers for Environmental Prediction), FSL(Forecast Systems Laboratory), AFWA(Air Force Weather Agency), FAA(Naval Research Laboratory, the University of Oklahoma, and the Federal Aviation Administration) 등 다양한 기관이 협력하고 있다.

WRF 모델의 전반적인 체계는 아래 그림 41. 과 같다. WPS (WRF Preprocessing System)는 WRF 모델에 입력자료를 제공하기 위한 전처리자로서 격자를 규정하고, 기본 맵을 생성하며 고도와 지형 정보를 제공한다. 또한 다른 모델의 실측/예보 자료를 취하고, WRF 격자로 자료를 보관하는 기능을 가진다. WRF-Var는 모델의 초기조건으로서 측정자료를 동화하기 위한 부분이다.

한편 WRF 모델링에서 physics option은 여러 단계의 sensitivity test를 거쳐서 안정성과 정확성이 확보된 Unified Noah land-surface model, RRTM radiation scheme, Kain-Fritsch cumulus, YSU PBL scheme을 적용하였다.

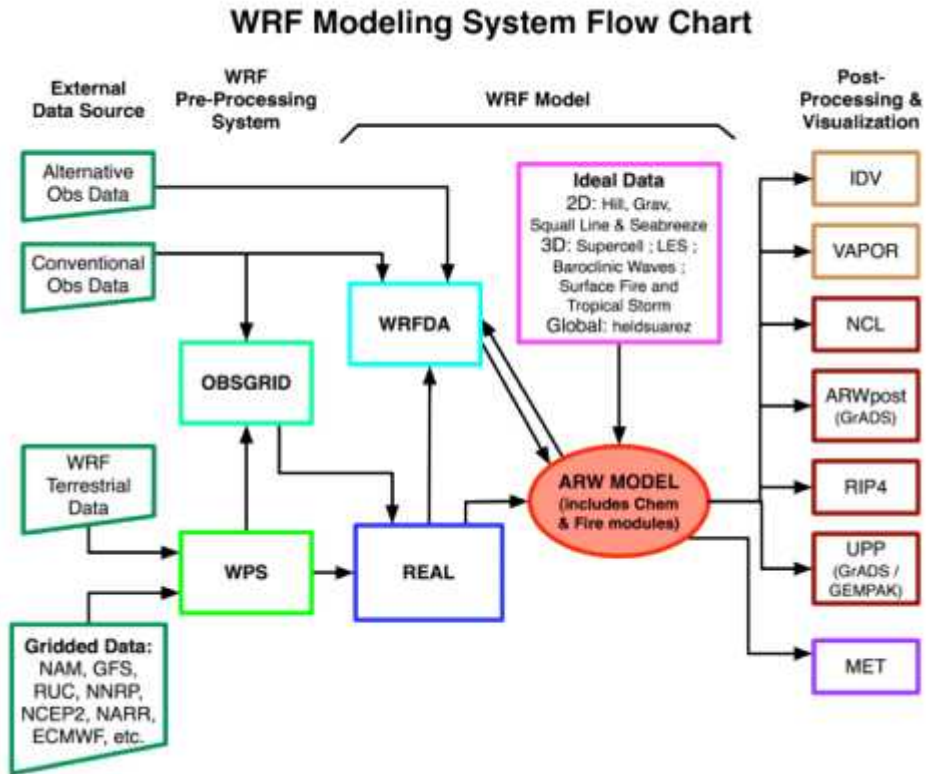


그림 41. WRF 수치모의 흐름도

### 3. 배출량 모델링 시스템

화학수송모델링의 배출량 입력자료를 생성하기 위하여 미국 환경보호청(US EPA)에서 제공하는 SMOKE(Sparse Matrix Operator Kernel Emissions)를 사용하였다.

SMOKE는 미국의 Environmental Modeling Center(EMC)에서 개발된 것으로 모델링에 필요한 배출량을 고효율로 계산할 수 있도록 배출량을 Matrix 구조체로 생성하는 배출량 Modeling System이다.

SMOKE에서는 동아시아, 국내 배출량 인벤토리와 WRF에서 생성된 기상자료를 이용하여 화학수송모델링에서 이용할 수 있는 화학종별/격자별/시간별 배출량을 생성한다.

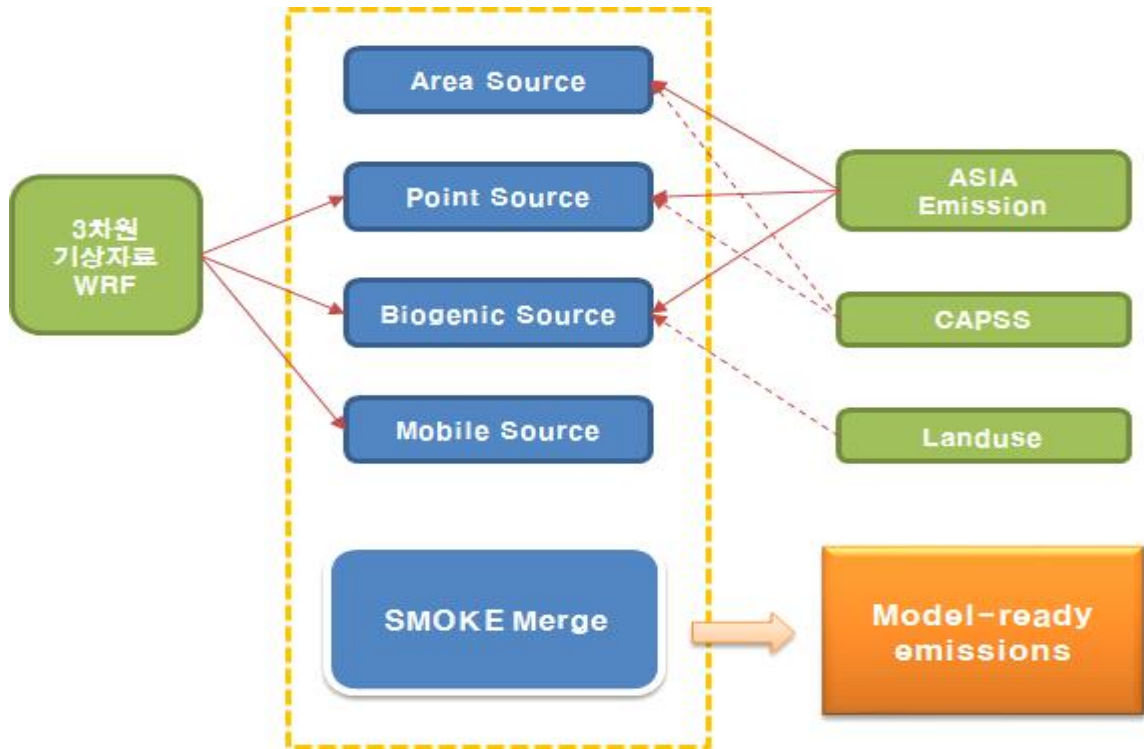


그림 42. SMOKE 모델입력 배출량 산정 흐름도

#### 4. 기여도 분석을 위한 화학수송 모델링 시스템

기상 모델링은 시간별 격자별로 바람장, 온·습도장을 비롯한 3차원 기상자료를 생성하여 배출량 모델링과 화학수송 모델링의 입력자료로 이용된다. 배출량 모델링에서는 기상자료와 각 배출원의 특성에 따라 대기질 모델링에 적용할 수 있는 화학종, 시간별, 공간별 배출량을 생성하게 된다. 또한, 최종적으로는 생성된 기상 및 배출량 입력자료를 바탕으로 화학수송 모델링을 수행하여 대기오염의 원인 파악, 미래 대기질의 예측, 정책의 효과 분석 등에 이용하게 된다.

CAMx는 가스상, 입자상 대기오염물질을 통합하여 평가를 할 수 있는 오일러리안 화학수송 모델로 기상 모델링 자료, 배출량 모델링 자료, 광분해 모델 자료 등을 입력자료로 대기 중 오염물질의 화학반응과 이동 및 확산을 계산한다.

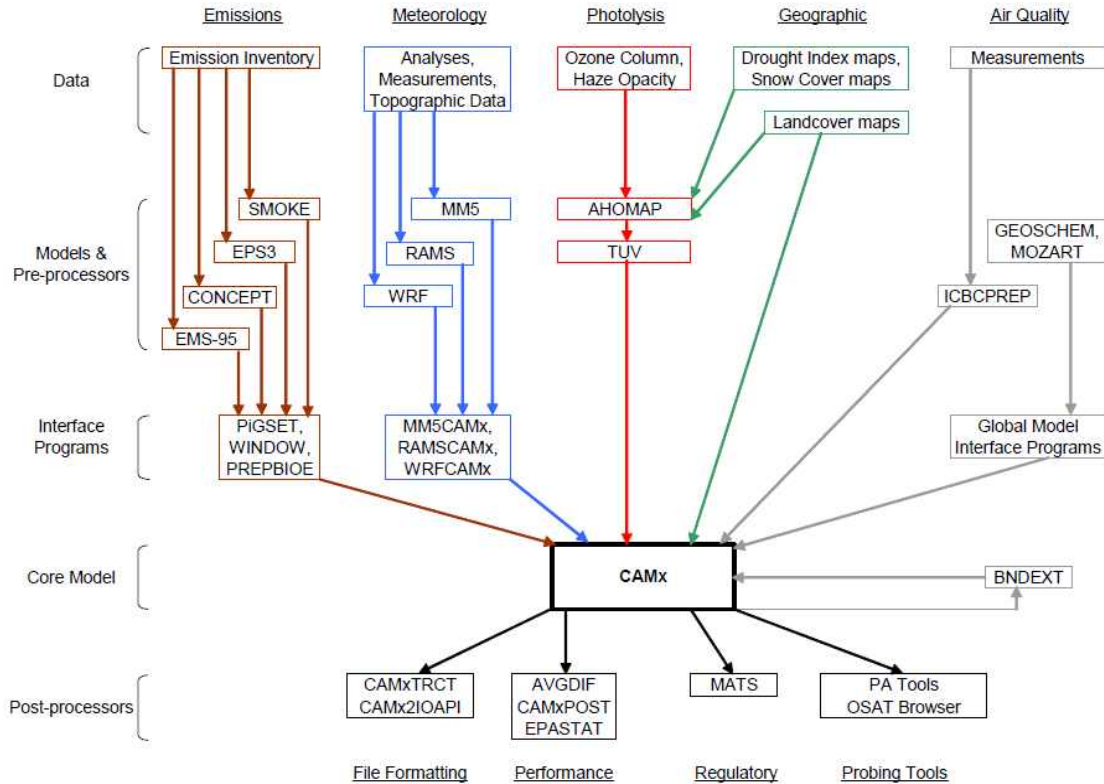


그림 43. CAMx 시스템 개요

CAMx는 two-way nesting을 지원하며 기여도 분석도구가 잘 갖추어져 있다는 장점이 있다. CAMx에는 OSAT/PSAT(Ozone Source Apportionment Technology/Particulate matter Source Apportionment Technology)와 같은 배출원 기여도 분석 도구(Source Apportionment)가 포함되어 있으며, 기여도 분석도구는 계산 효율을 높이기 위해 tagging species를 이용하고 있다.

기여도 분석 도구를 이용하면 특정 격자의 오염물질에 대한 지역별, 배출원별 기여농도를 구할 수 있으며 이렇게 도출된 결과로 지역별, 배출원별 배출량에 따른 기여농도 변화율을 구할 수 있고 이를 이용하여 특정배출원의 기여도 평가에 활용할 수 있다.

CAMx v6.40 을 이용하였고 horizontal advection은 PPM, vertical diffusion은 K-theory, dry deposition은 WESELY89, chemistry solver는 EBI, gas phase chemistry는 CB6r2, particulate matter chemistry는 M2/CF 옵션을 적용하였다.



## 제 6 장 국내·외 유해대기오염물질 사업정책 현황 및 관련기술 현황

- 
1. 국내 .....
  2. 국외 .....
-



# 제 6 장 국내·외 유해대기오염물질 정책 및 기술 현황

## 1. 국내

대기오염물질로 인한 악취 및 환경성질환 등이 사회 이슈화됨에 따라 정부에서는 대기정책 목적에 부합되는 대기오염물질군의 분류체계 개선을 통해 국민건강 보호정책을 강화시키려고 노력하고 있다. 현행 대기관리체계는 환경정책기본법의 대기환경규제물질(7종), 대기환경보전법의 대기오염물질(61종), 기후생태계변화유발물질(7종), 특정대기유해물질(35종) 및 휘발성 유기화합물질(37종), 악취방지법의 지정악취물질(22종) 등이 관리되고 있다. 대기환경보전법에서 특정대기유해물질(HAPs)과 VOCs 물질에 대해 일반오염물질보다 상대적으로 엄격히 관리하고 있으며, 유해대기오염물질 배출량 관련 DB 구축도 화학물질배출량조사(TRI), 대기배출원조사(SODAM) 등 경로를 통하여 자료조사 및 구축이 이루어지고 있지만, 선진국의 체계적인 유해물질 관리와 비교하면 걸음마 단계이다. 이에 따라 대기 중으로 배출되는 유해대기오염물질을 효과적으로 제어하기 위하여 이러한 물질들의 DB 구축뿐만 아니라 유해대기오염물질의 생성 및 반응 메커니즘을 규명하고, 이들의 유해성을 평가하며, 산업시설의 방지시설에 따른 배출량 산정 및 목록화를 통해 유해대기오염물질의 효과적인 저감 기술과 관리방안에 대한 종합적인 연구가 시급히 요구되고 있다.

TRI 제도와 유해대기오염물질 배출저감기술의 시설투자로 굴뚝, 소각로 등의 점오염원의 배출량을 관리하며, non-seal type의 밸브나 펌프 등 누출방지장치를 사용하거나 LDAR(배출탐지) 시스템을 활용하여 주기적인 모니터링과 누출장치에 대한 보수 활동으로 비산배출원을 관리하는 기술이 적용되고 있으나, 기술선진국에 비해 관련 기술에 대한 연구가 미흡하지만, 환경부의 지원으로 국내 T사에서 지속적으로 비산배출원에 대한 관리시스템을 개발과 개선을 진행하고 있다. 이외에도 광투과 방식을 이용한 대기오염 측정기기 개발과, 탄소나노튜브를 이용한 대기오염물질 검출용 고감도 나노센서 개발의 원천기술 및 나노복합체를 이용한 가스센서의 개발(경북대학교), 파장가변용 다이오드 레이저 시스템을 이용한 비접촉식 광계측 기법의 개발(한국생산기술연구원) 등 차세대 대기오염 측정기 개발에 필요한 핵심요소기술의 연구 등이 진행되고 있다.

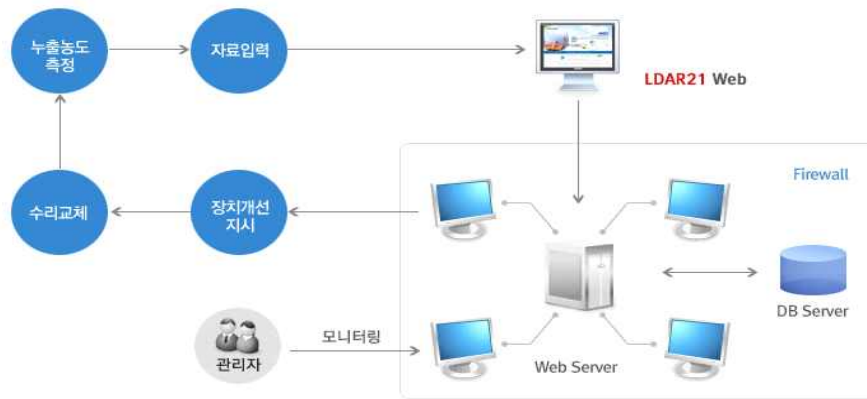


그림 44. 국내에서 개발 중인 유해화학물질 배출저감 시스템 LDAR21의 개요도

## 2. 국외

유해대기오염물질 및 기타 악취물질에 대한 방지와 규제를 위한 정책과 관련기술 확보를 위해 다수의 국가가 노력하고 있다.

일본의 경우 총 면적의 55.8 %를 지방정부에 의해 인구 및 지리적 조건에 따라 규제지역을 설정하고, 유해대기오염물질 및 악취발생에 대한 산업 활동이 규제 된다. 대기오염물질로 톨루엔, 자일렌 등 대표적인 VOCs 화학종을 포함한 22개 물질을 규제대상물질로 지정하여 관리하고 있으며, 이러한 물질을 포함하여 배출하는 가스는 배출 허용농도 이외에도 해당 사업장 부지경계선(boundary line)을 중심으로 부지경계선 지표, 연돌 또는 기타 가스 배출구, 부지경계선 밖의 폐수(waste water) 등 3가지 형태의 규제기준이 적용받고 있다. 그러나 생활환경을 보전하는 것이 충분하지 않다고 인정되는 구역에서는 사업장 부지경계선 지표에서의 규제기준은 대기의 악취지수의 허용한도로 규제하며, 배출구 규제기준은 악취배출강도 또는 배출가스의 악취지수의 허용한도로 규제한다.

중국은 80년대 개혁과 개방 이후 현재까지 20년 간 악취오염 규제에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 중국 정부의 환경보호국 (National Environment Protection Bureau)은 국가 차원의 악취오염조사 및 생산 활동에 의한 악취 영향을 분석하는데 많은 관심을 기울여 왔다. 5종의 주요 악취오염물질(암모니아, 황화수소, 메틸 메르캅탄, 이황화메틸, 트리메틸아민)을 환경기준과 배출기준으로 나누어 규제하였다. 이 법에 의하여 아스팔트, 고무, 플라스틱물질의 소각이 금지되었으며, 소각과 관련된 승인 및 강화된 절차와 기준이 마련되었다.

표 55. 일본에서 규제되는 물질의 종류와 규제항목

규제물질	부지경계 기준	배출구 기준	폐수 기준
암모니아	○	○	
메틸메르캅탄	○		○
황화수소	○	○	○
황화메틸	○		○
이황화메틸	○		○
트리메틸아민	○	○	
아세트알데하이드	○		
알데하이드류	○		
이소부탄올	○	○	
에틸아세테이트	○	○	
메틸이소부틸케톤	○	○	
톨루엔	○		
스티렌	○		
자이렌	○	○	
산류	○		

표 56. 중국의 유해대기물질 규제농도

(단위: mg/m<sup>3</sup>)

규제물질	1급	2급		3급	
		개정 후	현행	개정 후	현행
암모니아	1.0	1.5	2.0	4.0	5.0
트리메틸아민	0.05	0.08	0.15	0.45	0.80
황화수소	0.03	0.06	0.10	0.32	0.60
메틸메르캅탄	0.004	0.007	0.01	0.020	0.035
메틸에테르	0.03	0.07	0.15	0.55	1.10
이황화메틸	0.03	0.06	0.13	0.42	0.71
황화메틸	2.0	3.0	5.0	8.0	10
스티렌	3.0	5.0	7.0	14	19

유럽에서 대기오염물질의 규제를 공식적으로 시도한 나라는 스위스, 독일, 네덜란드, 영국 등이다. 이들 국가들은 샘플링과 연간 대기오염물질로 인한 악취에 기초하여 관리하고 있으며, 네덜란드에서는 분산모델링과 악취농도기준을 결합한 역치를 이용하여 특성을 규명하고 있고, 독일, 덴마크, 프랑스의 경우 후각측정기에 기초한 정량적 방법의 이용이 점점 증가하고 있다.

미국 환경보호청(U.S. EPA)은 대기오염물질로 인한 악취는 지역적인 문제로 중앙정부 차원의 오염매체가 아니라고 주장하며, 지역적인 문제와 규제에 깊숙이 관여하지 않고 있다. 이에 따라 주정부 및 지방정부에 따라 지역적으로 다양한 형태의 규제가 이루어지고 있다.

대기환경규제물질의 측정진단 기술로, 배출시설에 광범위하게 설치된 IR 이미지를 통해 비산배출을 효과적으로 방지하기 위한 지능형 배출탐지(LDAR, leak detection and repair) 기술과 특정 파장의 적외선을 흡수하는 배출가스의 특성을 이용하여 가스구름의 이미지화나 영상화를 통해 가스혼합물의 정성/정량 측정과 동시에 배출감지를 수행하는 광투과 방식의 적외선(IR, Infra-red)기술, 이외에도 레이저 이미징(Laser imaging)기술과 금속나노입자와 탄소나노튜브를 결합하여 다양한 종류의 화학물질을 탐지할 수 있는 높은 감도의 가스센서 개발 기술이 진행되고 있다.

## 제 7 장 유해대기오염물질 현장조사 내용 및 결과

---

1. 유해대기오염물질 현장조사 .....
  2. 유해대기오염물질 분석방법 .....
  3. 유해대기오염물질 분석장비 .....
  4. 유해대기오염물질 분석결과 .....
-



## 제 7 장 유해대기오염물질 현장조사 내용 및 결과

### 1. 유해대기오염물질 수은(Hg), 비소(As) 현장조사

#### 1.1. 연구대상 물질

조사된 안산시 주요 배출물질을 바탕으로 특정유해대기물질을 주요 조사대상 물질로 선정하였으며, 경기도에서 진행 중인 유해대기 오염물질 관리방안 사업에 근거하여 2017년도 안산녹색환경지원센터 연구 과제를 통해 일부 특정대기유해물질의 조사가 진행되었다, DB구축을 위해 추가적으로 조사가 필요한 수은(Hg)과 비소(As)를 연구대상물질로 선정하여 진행하였으며, 개정된 수은과 비소의 배출허용기준은 다음과 같으며, 배출시설의 종류에 따라 허용기준이 다른 점을 참고하여 각 업종별 배출량을 산정하고자 한다.

표 57. 대기오염물질의 배출허용기준(15조 관련)

특정대기유해물질	단위	주요 배출시설	배출허용기준
수은 및 그 화합물 (Hg 로서)	mg/Sm <sup>3</sup>	1) 폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설(소각보일러를 포함) 및 고형 연료제품 사용시설  2) 발전시설(고체연료 사용시설)  3) 1차 금속 제조시설 중 소결로  4) 시멘트·석회·플라스터 및 그 제품 제조시설 중 시멘트 소성시설  5) 그 밖의 배출시설	0.03(12) 이하  0.03(6) 이하  0.03(15) 이하  0.05(13) 이하  1 이하
비소 및 그 화합물 (As 로서)	ppm	1) 폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설 (소각보일러를 포함한다) 및 고형 연료제품 사용시설  2) 시멘트제조시설 중 소성시설  3) 그 밖의 배출시설	0.15(12) 이하  0.15(13) 이하  1 이하

## 1.2. 연구대상 사업장

현재 시화·반월단지 중 화학제품 제조, 약취배출사업장, 폐기물 소각장 등 대기오염물질 발생이 가능한 업종을 아래와 같이 분류하였으며, 업체들이 밀집한 공단 내부와 경계 지역, 민원이 많이 발생하는 인근 주거지역을 등을 참고하여 유해대기 오염물질 중 수은과 비소 및 그 화합물을 배출하는 23개 업종에 대하여 각각 3개소씩 총 69개 업체를 선정하였다. 실측장소 선정 및 측정업체 협조 등 행정사항과 관련하여 안산시, 공단관리사업소, 안산녹색환경지원센터 등 기관과 협조하여 원활하게 진행되었으며, 업체의 정보 보호를 위하여 업체명 전체를 표시하지 않았다. 기존 측정된 23개 업체 중 폐업 3업체, 추가 공문요청 및 측정거부 3 업체를 제외한 17개에 대한 배출시설 실측 및 현장방문을 수행하였으며, 작성 당시 13개 업체에 대한 분석이 완료되었다. 남은 연구기간동안 4개 업체에 대한 조사를 완료하여 2019년 8월까지 각 절기별 23개 업체씩 지속적으로 유해화학물질 배출량 산정을 위한 실측 및 조사연구를 수행할 계획이다.

표 58. 1차 연구수행 대상 업체 목록 및 업종분류

번호	사업장명	업종분류	업종	비고
A	A 업체	10	식료품 제조업	-
B	B 업체	13	섬유제품 제조업	-
C	C 업체	15	가죽, 가방 및 신발제조업	-
D	D 업체	16	일반 제재업	측정거부
E	E 업체	17	펄프, 종이제품 제조업	-
F	F 업체	18	제관 및 조판업	-
G	G 업체	19	윤활유 및 그리스 제조업	-
H	H 업체	20	계면활성제 제조업	-
I	I 업체	21	완제 의약품 제조업	-
J	J 업체	22	산업용 비경화고무제품 제조업	-
K	K 업체	23	포장용 유리용기 제조업	측정거부
L	L 업체	24	1차 금속 제조업	-
M	M 업체	25	도금업	-
N	N 업체	25	도금업	-
O	O 업체	26	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	-
P	P 업체	26	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	측정거부
Q	Q 업체	27	광학렌즈 및 광학요소 제조업	-
R	R 업체	28	전기장비 제조업	-
S	S 업체	29	탭, 밸브 및 유사장치 제조업	-
T	T 업체	30	그 외 기타 자동차부품 제조업	보류
U	U 업체	32	가구 제조업	-
V	V 업체	38	폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업	폐업
W	W 업체	95	자동차 종합 수리업	폐업

## 2. 유해대기오염물질 분석방법

유해대기오염물질 중 해당 연구과제의 주요 분석물질인 수은과 비소 및 그 화합물에 대한 분석방법으로 비휘발성 물질인 비소의 대기 중 방출우려가 없으므로 질산-과산화수소 전처리방법과, 중금속류 시료분석 많이 분석되는 대기오염공정시험방법(ES 01454.2)을 적용시켜 분석을 진행하였다.

### 시료 포집 및 전처리과정

- ① 포집 전 흡착필터, 여과지 전처리
  - 입자포집여지를 사용, 중금속 분석용이므로 칭량 생략
- ② High pressure pump + filter holder로 배출시설 시료 흡착
- ③ 포집 후 여지칭량 생략
- ④ 분석 전까지 냉암소 보관

- ⑤ 여과지를 적당한 크기로 자른 후 질산, 과산화수소 첨가, 환류 가열
- ⑥ 상층액을 여과지(5A)로 여과 후 (2+98) 질산으로 여과지를 세척
- ⑦ 여과용액과 씻은 액을 농축

### 3. 유해대기오염물질 분석장비

분석시료의 채취 및 전처리 후, 수은과 비소의 정량분석을 위해 교내에서 보유중인 PerkinElmer사의 AVIO™200 유도결합플라즈마(Inductively Coupled Plasma / ICP)기기를 활용하여 분석연구를 수행하였다.



그림 45. ICP 장비 및 측정사진

### 4. 유해대기오염물질 분석결과

본 연구과제의 배출시설 측정 대상 업체를 방문하여 배출 및 방지시설에 대한 정보 등 운영현황과 분석결과를 아래 요약하였다.

표 59. A업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		A 업체		
주소		안산시 단원구 시화로		
업종대분류		10		
업종		식료품 제조업		
배출시설현황		건조시설		
방지시설현황		원심력집진시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		600.0		
배출시설 높이 (m)		3.5		
측정온도 (℃)		16.0		
대기압 (mmHg)		760.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		특이사항 없음		
배출시설사진		측정사진		
				

표 60. B업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		B 업체		
주소		안산시 단원구 별망로		
업종대분류		13		
업종		섬유제품 제조업		
배출시설현황		텐타시설		
방지시설현황		흡수시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		640.0		
배출시설 높이 (m)		25		
측정온도 (°C)		20		
대기압 (mmHg)		760.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		본사 배출시설 측정(공장과 본사가 별도 위치)		
배출시설사진		측정사진		
				

표 61. C업체 시설운영현황 및 분석결과



업체명		C 업체		
주소		안산시 단원구 별망로		
업종대분류		15		
업종		가족, 가방 및 신발제조업		
배출시설현황		도장시설 외 1개		
방지시설현황		세정 및 흡착 스크러버		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		500		
배출시설 높이 (m)		8		
측정온도 (°C)		18		
대기압 (mmHg)		760.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		특이사항 없음		
배출시설사진		측정사진		
				

표 62. E업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		E 업체		
주소		안산시 단원구 신원		
업종대분류		17		
업종		펄프, 종이 및 종이제품 제조업		
배출시설현황		소각시설 외 1개		
방지시설현황		1차 - 선택적 비촉매 환원장치 2차 - 원심력 집진장치 3차 - 배연탈황시설 4차 - 여과집진시설 5차 - 흡수시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		1차 - 4,600 2차 - 2,000 3차 - 1,900 4차 - 1,800 5차 - 1,645		
배출시설 높이 (m)		35		
측정온도 (°C)		15		
대기압 (mmHg)		760.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		자체 배출검사를 통한 지속적인 관리중		
배출시설사진		측정사진		
				

표 63. F업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		F 업체		
주소		안산시 단원구 강촌		
업종대분류		18		
업종		제판 및 조판업		
배출시설현황		탈지시설 외 4개		
방지시설현황		흡수시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		400		
배출시설 높이 (m)		3		
측정온도 (℃)		20		
대기압 (mmHg)		760.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		자체 배출검사를 통한 지속적인 관리중		
배출시설사진		측정사진		
				

표 64. G업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		G 업체		
주소		안산시 단원구 원시로		
업종대분류		19		
업종		윤활유 및 그리스 제조업		
배출시설현황		용해시설 외 2개		
방지시설현황		1차 - 원심력 집진시설 2차 - 흡착시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		1차 - 15 2차 - 120		
배출시설 높이 (m)		3		
측정온도 (°C)		13		
대기압 (mmHg)		760.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		특이사항 없음		
배출시설사진		측정사진		
				

표 65. H업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		H 업체		
주소		안산시 단원구 해안로		
업종대분류		20		
업종		계면활성제 제조업 등		
배출시설현황		반응시설 외 10개		
방지시설현황		흡착시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		200		
배출시설 높이 (m)		7		
측정온도 (°C)		22		
대기압 (mmHg)		762.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		특이사항 없음		
배출시설사진		측정사진		
				

표 66. I업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		I 업체		
주소		안산시 단원구 별망로		
업종대분류		21		
업종		완제 의약품 제조업		
배출시설현황		혼합 시설 외 2개		
방지시설현황		1차 - 여과 집진시설 2차 - 흡착시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		1차 - 60 2차 - 60		
배출시설 높이 (m)		25		
측정온도 (°C)		22		
대기압 (mmHg)		760.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		특이사항 없음		
배출시설사진		측정사진		
				

표 67. J업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		J 업체		
주소		안산시 단원구 첨단로		
업종대분류		22		
업종		산업용 비경화고무제품 제조업		
배출시설현황		연마시설		
방지시설현황		여과시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		80		
배출시설 높이 (m)		2		
측정온도 (℃)		12		
대기압 (mmHg)		765.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		특이사항 없음		
배출시설사진		측정사진		
				

표 68. L업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		L 업체		
주소		안산시 단원구 신원로		
업종대분류		24		
업종		1차 금속 제조업		
배출시설현황		용융로		
방지시설현황		1차 - 중력 집진시설 2차 - 원심 집진시설 3차 - 여과 집진시설 4차 - 흡수시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		1차 - 750 2차 - 750 3차 - 580 4차 - 480		
배출시설 높이 (m)		10		
측정온도 (°C)		21		
대기압 (mmHg)		767.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	0.03 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	0.15 이하
기타 사항		공정 과정 중 연소 시 비소(As) 검출사례		
배출시설사진		측정사진		
				

표 69. O업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		O 업체		
주소		안산시 단원구 강촌로		
업종대분류		26		
업종		전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업		
배출시설현황		도금시설 외 65		
방지시설현황		흡수 세정탑		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		800		
배출시설 높이 (m)		7		
측정온도 (℃)		12		
대기압 (mmHg)		761.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		특이사항 없음		
배출시설사진		측정사진		
				

표 70. Q업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		Q 업체		
주소		안산시 단원구 범락길		
업종대분류		27		
업종		광학렌즈 및 광학요소 제조업		
배출시설현황		건조시설 외 1		
방지시설현황		흡착시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		140		
배출시설 높이 (m)		3		
측정온도 (°C)		11		
대기압 (mmHg)		760.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		특이사항 없음		
배출시설사진		측정사진		
				

표 71. U업체 시설운영현황 및 분석결과

업체명		U 업체		
주소		안산시 단원구 번영2로		
업종대분류		32		
업종		가구 제조업		
배출시설현황		도장시설 외 1개		
방지시설현황		흡착시설		
방지시설 용량 (Sm <sup>3</sup> /min)		600		
배출시설 높이 (m)		6		
측정온도 (℃)		10		
대기압 (mmHg)		760.0		
분석결과	수은 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		mg/Sm <sup>3</sup>	불검출	1 이하
	비소 및 그 화합물	단위	분석농도	배출허용기준
		ppm	불검출	1 이하
기타 사항		특이사항 없음		
배출시설사진		측정사진		
				

각 업종별 업체의 공정과정에서 발생하는 배출물질을 시설로부터 채집하여 수은 및 비소 중금속의 포함 여부를 분석한 결과, 모두 불검출로 나타났다. 표준 기압에서 수은의 끓는점은 357 °C 비소는 613 °C 로, 일반 배출시설에서 배출되는 가스의 온도보다 높으며, 공정과정상 수은 및 비소원료를 사용하지 않는 업종이 대부분이기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

업종 중 L 업체의 경우 금속제조공정과정 중 소각공정과정에서 비소가 검출된 사례가 있으나, 채취된 시료에서는 검출되지 않았다. 검출 가능성을 고려하여 동종 업종 및 해당 업체에 대하여 과제기간 동안 지속적으로 시료를 채취하여 분석을 수행하고자 한다.

현재 안산시에서 각 업체의 배출시설의 자가 검사 및 측정을 하도록 관리하고 있으며, 일부 업체에서는 환경측정업체나 자체적으로 시료를 채취하여 배출물질에 대한 지속적인 관리를 수행하고 있었다.

측정항목	단위	측정기준	측정결과
총먼질	mg/Sm <sup>3</sup>	2018 / 10 / 23	0.0020
가스온도 (%)		0.5 이하	5.29
유속 (m/sec)		30.0	4.00
이력		여백	

그림 46. 업체 배출물질 자체분석결과

## 제 8 장 결 론

---

1. 미세먼지 분야( 1 차년도) 결론.....
  2. 유해대기오염물질 분야( 1 차년도) 결론.....
-



# 제 8 장 결 론

## 1. 미세먼지 분야(1차년도) 결론

세종대에서는 2017년 9월 3일부터 12월 7일까지 총 10개 사업장을 대상으로 미세먼지 (PM-10, PM-2.5)의 중량농도와 분율을 측정하였고, 동시에 미세먼지 생성물질(NOx, SOx, VOCs)도 함께 측정하였다. 10개 사업장의 업종은 다음과 같다. ‘가’, ‘나’ 업종은 각각 3개 사업장, ‘다’~‘바’ 사업장은 각각 1개 사업장으로 나타났다.

A~J 사업장 별 TSP 배출허용기준과 세종대에서 측정한 입자상오염물질 중량농도 평균 값은 다음과 같다(표 72. 참조). 사업장 별 입자상오염물질을 분석한 결과, B사업장을 제외한 모든 사업장에서 배출허용기준을 초과하지 않았다. B사업장의 경우 입자상오염물질 농도가 먼지 배출허용기준을 초과하여 2차년도에 추가 측정을 통해 데이터의 정확성을 확보할 계획이다. NOx는 10개 사업장 중 7개 사업장은 NOx배출허용기준 보다 낮게 측정되었다. 3개 사업장은 사업장 사정으로 측정하지 못했다. SOx의 경우, 3개 사업장은 SOx배출허용기준보다 낮게 측정되었으며 4개 사업장에서는 불검출 되었다. 나머지 3개 사업장은 사업장의 사정으로 측정하지 못했다.

1~2차년도 현장측정을 통해 축적된 미세먼지 자료는 향후 대기질 모델링을 이용하여 안산시 미세먼지 기여도 분석 시 사용하게 된다.

표 72. 업종별 입자상오염물질, 미세먼지 생성물질 측정결과

업종	사업장명	먼지 배출허용기준 (mg/Sm³)	중량농도 평균 값 (mg/㎥)		NOx (ppm)	SOx (ppm)
			PM			
‘가’ 업종	A	26	PM	7.962	27.32	불검출
			PM-10	7.114		
			PM-2.5	5.790		
	B	39	PM	51.874	76.69	불검출
			PM-10	48.777		
			PM-2.5	44.822		
	D	26	PM	3.326	32.27	0.02
			PM-10	2.423		
			PM-2.5	1.265		

'나' 업종	E	26	PM	14.243	39.00	0.99
			PM-10	10.132		
			PM-2.5	5.243		
	F	26	PM	2.434	34.56	0.22
			PM-10	1.808		
			PM-2.5	0.989		
G	20	PM	6.867	48.45	불검출	
		PM-10	5.125			
		PM-2.5	2.544			
'다' 업종	C	50	PM	10.771	사업장 사정으로 측정 못함	
			PM-10	10.320		
			PM-2.5	8.414		
'라' 업종	H	20	PM	1.556	32.91	불검출
			PM-10	1.172		
			PM-2.5	0.648		
'마' 업종	I	-	PM	4.714	사업장 사정으로 측정 못함	
			PM-10	3.653		
			PM-2.5	2.556		
'바' 업종	J	-	PM	6.221	사업장 사정으로 측정 못함	
			PM-10	5.029		
			PM-2.5	3.491		

A~J 사업장 별 VOCs 농도 측정 결과는 다음과 같다(표 73 참조). '가' 업종 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Styrene의 평균 농도는 각각 2.56 ppb, 4.72 ppb, 2.74 ppb, 1.99 ppb, 1.06 ppb로 나타났다. '나' 업종의 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, mp-Xylene, Styrene의 평균 농도는 각각 13.18 ppb, 10.48 ppb, 7.38 ppb, 5.27 ppb, 4.16 ppb로 나타났다. '다' 업종은 1.72 ppb, 32.63 ppb, 4.32 ppb, 17.36 ppb, 2.02 ppb로 나타났으며 '라' 업종은 8.73 ppb, 13.14 ppb, 8.08 ppb, 5.11 ppb, 9.73 ppb로 나타났다. '마', '바' 업종의 사업장 VOCs농도는 사업장의 사정으로 측정하지 못했다.

표 73. 업종별 VOCs 농도 측정결과

(단위: ppb)

업종	사업장명	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	mp-Xylene	Styrene
‘가’ 업종	A	2.90	2.59	2.81	1.63	1.06
	B	3.79	1.70	2.27	1.56	1.05
	D	0.98	9.87	3.15	2.79	1.06
	평균	2.56	4.72	2.74	1.99	1.06
‘나’ 업종	E	7.28	5.91	5.76	7.68	6.43
	F	10.17	8.14	6.36	2.90	1.41
	G	22.10	17.39	10.01	5.23	4.64
	평균	13.18	10.48	7.38	5.27	4.16
‘다’ 업종	C	1.72	32.63	4.32	17.36	2.02
‘라’ 업종	H	8.73	13.14	8.08	5.11	9.73
‘마’ 업종	I	사업장 사정으로 측정 못함				
‘바’ 업종	J	사업장 사정으로 측정 못함				

안산시 교통분야 미세먼지의 배출원 파악 및 배출량을 확인하였다. 2015년 기준, 안산시 자동차 등록대수는 전체 284,245대로 나타났다. 승용차(221,481), 승합차(15,691), 화물차(46,378) 그리고 특수차(695) 비중은 각각 78 %, 5 %, 16 %, 0.3 % 순으로 나타났다.

안산시 1일 평균주행거리는 승용차 35.4 km/대, 승합차 57.8 km/대, 화물차 58.7 km/대, 그리고 특수차는 78.3 km/대 로 나타났다. 또한, 차종별 연간 총 주행거리(VKT)는 승용차가 2,956,880,403 km/대 로 약 68 %로 가장 많은 비중을 차지하였다. 다음으로 화물차 1,001,770,678 km/대 로 약 23 %, 승합차 320,463,430 km/대 로 약 8 %, 그리고 특수차 21,005,933 km/대 로 약 0.5 % 순으로 나타났다.

안산시 도로이동오염원에서 발생하는 승용차의 PM 총배출량은 767 kg/yr이며 승합차는 4,214 kg/yr, 화물차는 67,250 kg/yr 그리고 특수차는 595 kg/yr으로 나타났다.

## 2. 유해대기오염물질 분야(1차년도) 결론

산업공정은 대표적인 대기유해오염물질의 배출원으로 대기오염 관리 측면에서 굴뚝과 같은 점배출원에서 배출가스규제를 통해 관리하고 있으며, 실내오염 방지에 의한 작업자 건강 보호, 원료 누출 방지에 의한 비용절감 등의 목적을 달성하기 위해 산업공정의 유해 대기오염물질을 체계적으로 관리할 필요성이 한층 더 높아지고 있다.

17개 업체의 배출시설로부터 채취된 가스의 수은(Hg), 비소(As) 및 그 화합물의 포함여부를 알기 위해 시료 전처리 후 ICP장비를 이용한 분석결과, 두 중금속이 측정된 업체는 없었으며, 이는 기기의 검출한계인 1  $\mu\text{g/L}$  보다 낮은 양이거나, 업종의 특성 상, 식료품제조업이나 화장품 제조업 등 대부분의 업종이 공정과정에서 위의 두 중금속을 사용하지 않는 업종이기 때문에 배출가스 내에 수은(Hg), 비소(As) 화합물이 포함되지 않는 것을 알 수 있다. 1차 금속제조업의 경우 재료 소각과정에서 비소(As)의 검출사례가 있으며, 이를 참고하여 향후 재측정과 다른 금속제조업종의 배출가스 중 중금속 검출여부를 판단하고자 한다. 검출 한계가 낮은 장비를 통해 측정을 하거나, 표준시약을 통한 검량곡선을 통해 보다 정확한 측정을 할 수 있으나, 검출한계보다 낮은 농도는 배출허용기준 미만이기 때문에 추가적인 측정은 필요하지 않을 것으로 판단된다.

선행 연구조사에서 선정되어 시료의 채취 및 분석이 이루어진 기존 69개 중 23개 업체를 대상으로 안산시와 연계하여 공문발송 등 적극적으로 협조를 요청하였으나, 폐업 및 업종변경과 측정거부 등 측정 자체가 불가능한 문제 등이 발생하였으며, 이는 측정이 가능한 업체를 우선적으로 연구를 진행한 후, 대안을 모색하기로 협의하였다. 향후 2019년 1월~4월까지 23개 업체와 5월~8월까지 23개 업체에 대한 협조와 실측도 이와 같은 방법으로 진행하여 반월·시화 산업단지의 유해대기오염물질 발생 현황분석 및 종합 관리계획 수립을 위한 기초자료로써 활용할 수 있는 업종별 유해화학물질의 측정 Database의 구축을 기대한다.

## 제 9 장 2차년도 연구수행 계획

---

1. 미세먼지 추진현황 및 향후 계획 ······
  2. 유해대기오염물질 추진현황 및 향후 계획·····
-



## 제 9 장 2차년도 연구수행 계획

### 1. 미세먼지 분야 추진현황 및 향후 계획

1차년도에는 총 10개 사업장을 대상으로 미세먼지(PM-10, PM-2.5)의 종량농도와 분율 분석을 측정하였고, 동시에 미세먼지 생성물질(NOx, SOx, VOCs)도 함께 측정하였다. 2차년도에는 1차년도에서 측정하지 않았던 업종을 대상으로 현장측정을 하고자 한다. 25개 사업장을 목표로 하고 있으며, 사업장 협조가 어려울 시 10개의 사업장 대상으로 2회씩 20회, 5개 사업장 대상으로 1회씩 5회 측정하는 방법도 고려하고 있다. 그럼에도 불구하고 사업장 협조가 안 될 경우, 1차년도에 측정했던 10개 사업장 중 미세먼지 배출농도가 높았던 사업장을 대상으로 1회씩 추가 측정하여 데이터의 신뢰성을 확보 하고자 한다. 안산녹색환경지원센터와 감독관과 상의 후 2차년도 연구대상 사업장을 최종 선택하고자 한다.

1~2차년도 현장측정을 통해 축적된 자료는 향후 대기질 모델링을 이용하여 미세먼지 기여도 분석 시 사용하게 된다. 미세먼지 기여도 분석을 통해 1차, 2차 배출원 미세먼지 저감방안을 도출할 예정이며, 그 결과를 바탕으로 안산시에 적용 가능한 맞춤형 미세먼지 저감 대책 수립 및 실행방안을 도출하고자 한다(그림 47. 참고).

### 2. 유해대기오염물질 추진현황 및 향후 계획

현재까지 배출시설에서 수은과 비소의 분석이 검출된 업체는 없었으며, 12월까지 대상 업체 23 업체 중 폐업 및 측정거부 업체를 제외한 나머지 4개 업체에 대한 현장방문 및 시료채취 및 분석이 수행될 예정이다. 선행 연구조사에서 선정되어 시료의 채취 및 분석이 이루어진 기존 69개 업체의 재방문에 대한 협조가 원활하게 진행되지 않고 있으나, 안산시와 연계하여 필요시 공문을 발송하는 등 지속적으로 업체에 협조를 요청하고 있다. 업체의 배출시설이 높은 곳에 위치하여 안전문제로 측정이 불가능하다고 판단되는 경우와 폐업 및 측정거부 업체의 대체 방안에 대하여 감독관과 상의 후 향후 대안을 모색하고자 한다.

금속제조업 및 소각공정을 포함하는 업체의 경우 1회 분석이 아닌 과제수행기간동안 지속적으로 방문하여 수시로 시료를 채취하여 수은 및 비소의 중금속 검출여부를 판단하고

자 한다. 또한 제안기관으로부터 대기오염물질의 분석법 및 배출시설에 대한 조사양식 등 구체적인 항목이 추가적으로 요구되는 경우 반영하고자 한다. 2019년 1월~4월, 5월~8월까지 약 3개월의 간격으로 각 분기별 23개의 나머지 업체들에 대한 실측이 진행될 예정이며, 2019년 9월 조사된 시료의 분석결과를 종합하여 보고하는 것을 주요 목표로 설정하여 연구를 수행하고자 한다. 제안기관과의 지속적인 협의와 의견반영을 통해 보다 체계적인 연구조사수행과 및 데이터 확보를 바탕으로 반월산업단지와 시화산업단지 등 주요 권역별 유해대기오염물질 현황파악과 배출시설의 집중적이고 효율적인 관리방안을 도출하고자 한다.

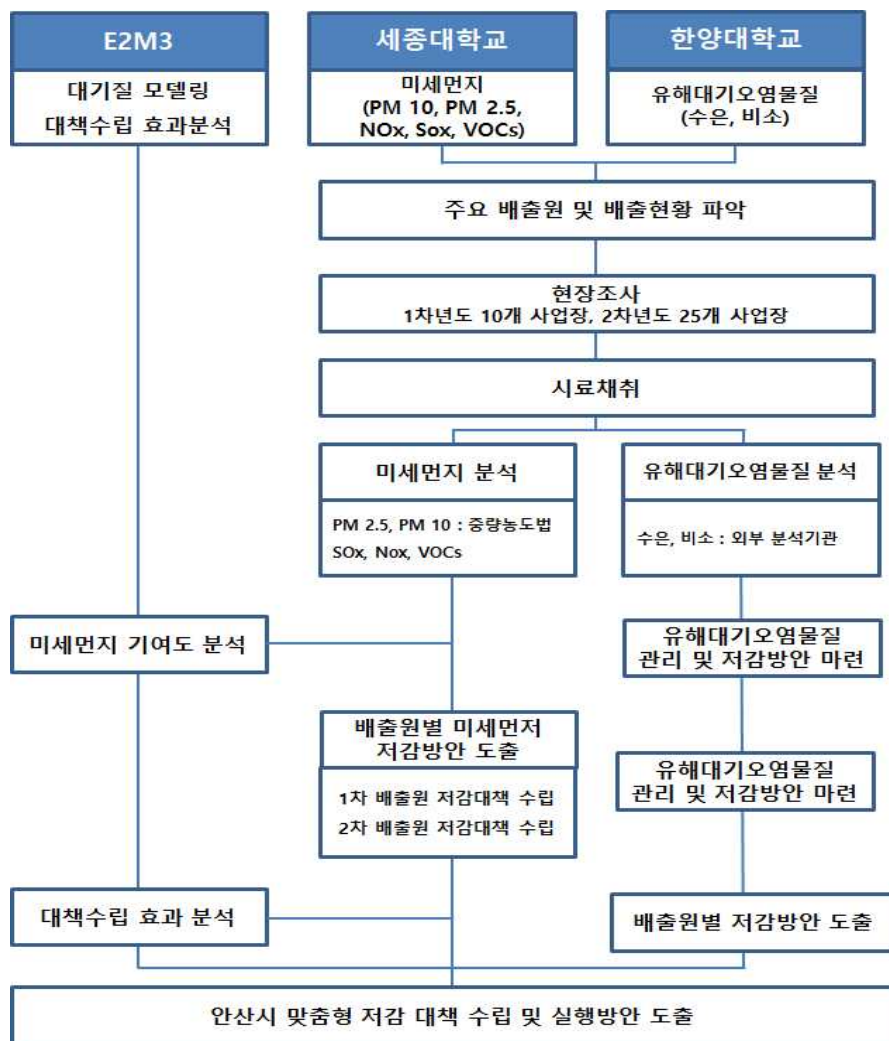


그림 47. 향후 연구수행 계획

## 참 고 문 헌

---

1. 국가산업단지 관리기본계획 개정고시(2015), 산업자원부고시 제 2015-283
2. 환경부(2008), 시화·반월지역 유해대기오염물질 조사연구
3. 안산시(2017), 안산시 통계연보
4. 국가법령정보센터(2018), 대기오염공정시험기준
5. US EPA(2000), EPA Method 18
6. 한국교통안전공단(2016), 안산시 1일 평균주행거리
7. 환경부(2011), 환경기술 기술동향보고서
8. 국립환경과학원(2012), 도시지역 유해대기오염물질(HAPs) 관리 전략수립연구 최종보고서
9. 국립환경과학원(2008), 환경대기 중 유해대기오염물질(HAPs) 모니터링
10. 국립환경과학원(2009), 고정오염원에서의 유해대기오염물질(HAPs) 배출원 조사
11. 경기도(2014), 경기도 유해화학물질 관리계획
12. 경기도보건환경연구원(2013), 2013년 대기오염 평가보고서
13. 안산시 교통정보센터, <http://its.iansan.net>
14. 경기도 보건환경연구원, <http://air.gg.go.kr/airgg/>
15. 브라보 안산, <http://bravoansan.net/index.php>
16. EPA, <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
17. 사업장대기오염물질시스템, <http://airemiss.nier.go.kr>
18. 환경정책 기본법, 2018, 법률 제 2조
19. NCAR(2008), ARW Version 3 Modeling System User's Guide
20. The University of North Carolina at Chapel Hill(2010), SMOKE v2.7 User's Manual

21. ENVIRON(2017), User's Guide Comprehensive Air Quality Model with Extensions v6.4
22. Kurokawa, J., et al(2013), Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000–2008: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 2

# 주 의 문

최종보고서 (18-09-02-40-41)

안산시 미세먼지 발생원 파악 및 관리방안 마련

---

발행인 : 센터장 김 문 일

발행일 : 2019년 1월

발행처 : 안산녹색환경지원센터

주 소 : 경기 안산시 상록구 한양대학로 55, 2공학관 513호

전 화 : 031-400-4236, 436-8141~5

팩 스 : 031-400-4237

e-mail : agec@agec.or.kr

---

## ※ 주 의

1. 이 보고서는 안산녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 안산녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.