

# 미세먼지 저감을 위한 지방자치단체 대응방안

| 박승규 · 김도형 |



KOREA  
RESEARCH  
INSTITUTE  
FOR  
LOCAL  
ADMINISTRATION

# 미세먼지 저감을 위한 지방자치단체 대응방안

| 박승규 · 김도형 |



KOREA  
RESEARCH  
INSTITUTE  
FOR  
LOCAL  
ADMINISTRATION

연구진

박 승 규 (연구위원)

김 도 형 (연구위원)

| KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR LOCAL ADMINISTRATION |

### 미세먼지 저감을 위한 지방자치단체 대응방안

발행일 : 2019년 12월 31일

발행인 : 윤태범

발행처 : 한국지방행정연구원

주소 : (26464) 강원도 원주시 세계로 21(반곡동)

전화 : 033-769-9999

판매처 : 정부간행물판매센터 02-394-0337

인쇄처 : 세일포커스(주) 02-2275-6894

I S B N : 978-89-7865-475-3

이 보고서의 내용은 본 연구진의 견해로서  
한국지방행정연구원의 공식 견해와는 다를 수도 있습니다.

※ 출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수는 있으나 무단전제나 복제는 금합니다.

# 서문

소득 증대와 함께 환경에 대한 가치의 비중은 점차 높아지고 있으며, 더불어 삶의 질 가치에 대한 중요성 고조로 국민들이 체감할 수 있는 환경계획에 대한 중요성 역시 점차 강조되고 있는 추세이다. 장래 환경의 불안정성에 대한 예측이 전망되고 있는 상황에서 국외 발생분에 대한 문제점 외에 국내 발생분에 대한 노력에 대한 필요성 역시 지속적으로 논의되고 있다. 반면 환경의 질을 평가할 수 있는 요인 중의 하나인 대기오염의 질은 갈수록 악화되고 있으며, 이로 인한 문제점이 정치·경제·사회·문화·보건 등으로 확대되어 나타나고 있다. 또한 환경의 질 악화로 인한 변화 흐름, 원인, 지방자치단체의 역할에 대해서는 포괄적인 방향이 제시되어있기는 하지만 보다 구체적인 측면에서의 원인 파악을 통한 지방자치단체의 역할 설정 및 대응방안에 대해서는 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구는 우선적으로 미세먼지의 영향에 대한 인지도 증대를 위하여 기존연구에 대한 정리를 통한 함의를 선행연구, 수범사례, 국가 및 지방정부의 정책으로 제시하였다. 또한 기존 대기오염에 대한 만족도 조사를 근거로 미세먼지에 대한 주민만족도를 파악하였으며, 미세먼지의 오염원인을 파악하였다. 더불어 미세먼지를 시계열을 기반으로 한 미세먼지( $PM_{10}$ )와 초미세먼지( $PM_{2.5}$ )로 구분하여 발생 및 원인 현황을 파악하였으며, 미세먼지의 지역 간 연계성 및 영향이 존재하는 근거를 시·도와 시·도를 연계한 권역별 자료를 구축하여 이에 대한 근거를 제시하였다. 이를 통해 계절성에 근거한 미세먼지의 발생 패턴을 도출하였으며 이에 영향을 미치는 국내·외 요인을 도출하였다. 더불어 미세먼지의 발생은 대기의 흐름으로 인해 상호 연계되는 지역의 도출이 가능하였으며, 이를 위해 지역 간 협업을 통한 미세먼지 저감 정책의 운영을 위한 근거를 파악하였다. 본 연구는 국외 선행연구에서 주로 사용하였던 방법을 국내에 적용하여 미세먼지의 지역 간 연계가 이루어져 상호 인과관계가 존재하는 특성을 파악하였으며, 국내 요인 외에 국외 요인에 의해 주도될 수 있는 근거를 보다 구체적으로 제시하여 기존의 연구와 차별화하였다.

본 연구는 지역 요인, 환경 요인, 국외 요인 등에 대한 영향을 모형에 기반한 실증

연구 분석 결과를 제시함으로써 효과적인 정책 운영의 근거와 현 정부의 정책을 뒷받침할 수 있는 객관적인 정보를 제공하였다. 더불어 보다 정밀한 방법에 근거한 정책적 함의 도출에 필연적으로 연계되어야 하는 시사점을 정책 대안으로 제시하였다. 아무쪼록 본 연구가 관련 정책 실무자 및 관련 분야를 연구하는 학계에도 유용한 참고자료로 활용되기를 바라며, 그동안 연구수행을 위해 힘써 온 연구진의 노고에 감사드린다.

2019년 12월

한국지방행정연구원 원장 *유재만*

## 요약

주민이 체감할 수 있는 만족도를 제고할 수 있는 지역에서 발현되는 대기환경(미세먼지) 측면에서의 정책적 방향이 제시되어야함에도 불구하고, 주민의 체감 만족도는 전반적으로 제시되고 있으나 이를 상향시킬 수 있는 대기환경 측면의 정책적 방향에 대한 연구가 필요하다. 대기환경 오염 물질 중 미세먼지에 대한 원인 및 대책을 논의하는 단계에 직면하였지만 지역차원에서의 원인 및 대응 방안은 미비한 실정이며, 따라서 대기환경 오염을 주민수요와 연계해 정책을 설정하여 주민의 삶의 질을 증대시킬 수 있는 방향성 제시 및 토대 구축이 필요하다. 또한 대통령 국정과제에 대한 실증적인 영향을 주민체감 차원에서 국민과 함께하는 정책의 영향을 실증적으로 제시할 수 있는 방향의 설정이 필요하다. 기존 국정과제 중 하나인 미세먼지 저감 대책에 대한 지방자치단체 차원에서의 대응방안을 모색함으로써, 대외 운영에서 제시되지 않았던 경제적인 효과측면을 고려한, 해당 정책 변화에 대한 타당성을 제시하였다. 환경변화에 대비한 지방자치단체의 대응 전략을 구축하기 위해서는, 환경변화 요인 중 미세먼지 발생으로 인한 영향이 증대되고 있어 지방자치단체 차원에서의 대응방안을 모색하여 지방자치단체 특성에 맞는 실전적인 대응전략을 마련하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구는 2010년부터 2016년까지 미세먼지의 영향 원인 파악 및 지역 간 연계성을 파악하였으며, 지자체의 효율적인 미세먼지 대응방안을 설정하기 위한 대응 방안을 제시하였다. 이를 위해 사전적으로 시·도별 및 국내·외 수범사례 및 정책 현황, 사회조사를 활용한 만족도조사 결과를 파악하였으며 미세먼지 대응정책과 주민만족도를 연계하였다.

미세먼지와 관련된 기존 연구에서는 미세먼지 발생 요인을 지역 내에서의 원인과 외부적인 영향으로 구분하고 있으나, 외부 요인에 의한 영향에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 더불어 미세먼지의 원인으로 산업화 및 산업활성화, 산업구조 변화 등이 논의되었으나 지역 내로 한정되었으며, 국외 요인에 대해서는 크게 도려되지 못하였다. 또한 지역 간 연계가 되어있는 미세먼지 흐름의 특성을 반영하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 미세먼지와 초미세먼지로 구분해 지역별 원인을 사전적으로 파악하였으며, 이를 통한 결정요인을 도출하였다. 그 결과 미세먼지의 지역별 연계에 대해서는 지역 간 연계가 이루어지는 것으로 나타났으며, 개별 지역별로 영향을 받는 지역

에 대한 파악이 가능하였다. 또한 특광역시를 권역별로 구분하여 초미세먼지의 상호 인과관계가 존재하는 정도를 권역별로 제시함으로써, 특정 지역 및 권역에서의 미세먼지와 초미세먼지가 변화하게 될 경우 영향을 받게 되는 지역 및 권역을 도출하였다. 미세먼지 및 미세먼지 발생의 원인을 파악하기 위한 패널자료를 활용한 모형 구축으로 인구밀도, 2차 산업 활성화, 지역의 발전정도가 영향을 주는 것으로 파악되었다. 더불어 외부에서의 영향을 파악하기 위하여 풍향, 풍속, 베이징의 농도 변화를 고려한 결과, 북향, 풍속 증대, 베이징 농도의 변화에 따라 국내의 미세먼지 및 초미세먼지 발생 정도는 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 미세먼지 저감을 위한 중앙정부의 역할로 국가 간 공동연구 및 협력 강화로 오염도 개선을 위한 기초연구 강화, 미세먼지 대응체계 제도기반 구축, 지역 및 권역별 맞춤형 미세먼지 정책 설정의 필요성 등을 제시하였다. 이를 위해 국외 및 국내 요인에 따른 유형별 정책을 제시하였으며, 실질적인 미세먼지 저감 관리체계 구축을 위한 역할을 제언하였다. 더불어 지방자치단체 차원에서의 대응방안으로 실질적인 저감 기본계획 및 조례 설정, 주민참여를 통한 미세먼지 저감, 지방자치단체 간 연계를 고려한 지방자치단체 협업형 미세먼지 대응방안 구축, 미기후를 고려한 도시계획 수립, 도시숲 확대 등을 제시하였다.



# 목 차

- 제1장 서론 ..... 1
- 제2장 환경오염 관련 정책, 이론 및 선행연구 ..... 9
  - 제1절 대기오염 관련 정책변화 및 이론 ..... 11
    - 1. 미세먼지의 영향에 대한 구분 ..... 11
    - 2. 미세먼지 대응 환경정책 변화 ..... 14
    - 3. 관련 이론 ..... 20
  - 제2절 선행연구 ..... 24
    - 1. 주제별 선행연구 구분 ..... 24
    - 2. 방법론 관련 선행연구 구분 ..... 31
    - 3. 연구흐름 변화 및 시사점 ..... 32
- 제3장 미세먼지 현황 및 정책 분석 ..... 37
  - 제1절 미세먼지 관련 현황 분석 ..... 39
    - 1. 미세먼지 변화 흐름 ..... 39
    - 2. 유형별 배출량 ..... 42
    - 3. 유발원인별 발생량 ..... 47
  - 제2절 미세먼지 대응 정책 현황 ..... 50
    - 1. 국가 미세먼지 대응 정책 ..... 50
    - 2. 특광역시도 미세먼지 대응 정책 ..... 56
    - 3. 해외 미세먼지 대응 정책 ..... 66
  - 제3절 대기오염에 대한 인지도 변화 ..... 77
    - 1. 인식 ..... 77
    - 2. 해결과제 ..... 79
    - 3. 원인 ..... 81

# 목 차

4. 대응방안 .....	83
<b>제4장 분석자료 및 방법론 .....</b>	<b>87</b>
제1절 분석자료 .....	89
제2절 기초분석 .....	91
1. 미세먼지 및 초미세먼지 지역별 원인 분석 .....	91
2. 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 분석 .....	94
제3절 가설설정 .....	96
1. 미세먼지 및 초미세먼지 지역 간 관계 분석 .....	96
2. 미세먼지 및 초미세먼지 지역별 원인 분석 .....	96
제4절 가설별 주요 모형 .....	98
1. 미세먼지 및 초미세먼지 지역별 관계 분석 .....	98
2. 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 분석 .....	101
<b>제5장 미세먼지 지역 간 영향력 분석 및 결정요인 분석결과 .....</b>	<b>103</b>
제1절 미세먼지 변화에 따른 지역 간 영향력 분석 .....	105
1. 미세먼지의 지역 간 영향력 분석 .....	105
2. 초미세먼지의 권역 간 영향력 분석 .....	119
제2절 미세먼지 오염 원인 분석 .....	122
<b>제6장 지자체별 대응방안 .....</b>	<b>125</b>
제1절 미세먼지 오염 대응 중앙정부 대응방안 .....	127
1. 미세먼지 문제 해결을 위한 국제협력 강화 .....	127
2. 미세먼지 대응체계 및 제도기반 구축 .....	131

3. 지역 및 권역 맞춤형 미세먼지 정책 설정 .....	134
4. 실질적인 미세먼지 저감을 위한 관리 체계 구축 .....	135
제2절 미세먼지 오염 대응 지방자치단체 대응방안 .....	138
1. 미세먼지 저감 및 관리를 위한 조례의 제정 .....	138
2. 지역특화형 조례의 운영 .....	140
3. 지방자치단체 간 협업 방안 구축 .....	144
4. 미기후를 고려한 도시계획 수립 및 적용 .....	146
5. 미세먼지 저감을 위한 도시숲 조성 확대 .....	151
제3절 연구의 기여점 및 한계 .....	156
참고문헌 .....	159
Abstract .....	165

# 표 목차

[표 2-1] 대기오염 물질의 국내 유해성 기준 .....	13
[표 2-2] 일(24시간) 평균 초미세먼지 국외 유해성 기준 .....	13
[표 2-3] 미세먼지 관리 패러다임 전환 .....	16
[표 2-4] 미세먼지 관련 선행연구의 시사점 .....	32
[표 3-1] 연도별 미세먼지 및 초미세먼지 발생량 .....	39
[표 3-2] 산업 및 가계 부문 미세먼지 배출량 .....	43
[표 3-3] 산업 및 가계 부문 초미세먼지 배출량 .....	44
[표 3-4] 소비목적별 가계부문 배출량 .....	45
[표 3-5] 지역별 미세먼지 배출량 .....	46
[표 3-6] 지역별 초미세먼지 배출량 .....	47
[표 3-7] 미세먼지 유발 원인 .....	48
[표 3-8] 초미세먼지 유발 원인 .....	49
[표 3-9] 대구광역시 미세먼지 저감대책 주요사업 .....	58
[표 3-10] 충청북도 미세먼지 저감대책 주요사업 .....	62
[표 3-11] 베를린시의 경유자동차 관리사례 .....	67
[표 3-12] 이탈리아 밀라노 Eco-pass 제도 .....	69
[표 3-13] 이탈리아 밀라노 Eco-pass 시행 첫 해의 성과 .....	69
[표 3-14] 일본 대기오염방지법상의 매년 배출기준 .....	71
[표 3-15] 중국 중앙정부의 대기오염 억제정책(2011~13년 3월) .....	72
[표 3-16] 베이징, 톈진, 허베이성 정책방향 및 내용 .....	75
[표 3-17] 「징진지 및 그 주변지역 대기오염방지행동계획실시세칙」 주요내용 .....	75
[표 3-18] 미세먼지 유입에 대한 인식 .....	78
[표 3-19] 환경문제 해결을 위한 과제(2018년) .....	79
[표 3-20] 미세먼지 오염도(2018년) .....	80
[표 3-21] 미세먼지 대응방안(2016년) .....	84
[표 4-1] 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 기초분석 .....	90
[표 4-2] 지역별 미세먼지 발생량 .....	91

[표 4-3] 지역별 초미세먼지 발생량 .....	92
[표 4-4] 권역별 미세먼지 발생량 .....	93
[표 4-5] 권역별 초미세먼지 발생량 .....	93
[표 4-6] 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 기초분석 .....	94
[표 5-1] 미세먼지 공적분 유무 검토 결과 .....	106
[표 5-2] 미세먼지 벡터자기회귀분석 결과 .....	107
[표 5-3] 미세먼지 지역 간 충격반응분석 결과 .....	110
[표 5-4] 권역 간 초미세먼지 공적분 분석 결과 .....	119
[표 5-5] 초미세먼지 권역 간 벡터자기회귀분석 결과 .....	120
[표 5-6] 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 기초분석 .....	123
[표 6-1] 대기질 개선을 위한 국제협력사업 .....	129
[표 6-2] 지방자치단체 미세먼지 관련 조례 사례 .....	141

# 그림 목차

[그림 1-1] 연구분석틀 .....	7
[그림 2-1] 국내 미세먼지 영향 구분 .....	12
[그림 2-2] 미세먼지에 대한 정책 변화 흐름 .....	14
[그림 2-3] 미세먼지 대응 비전 .....	16
[그림 2-4] 대기질 관리 추진체계 .....	17
[그림 2-5] 6·3 정책과의 차이점 .....	18
[그림 2-6] 단계별 이행계획 .....	19
[그림 2-7] 환경오염으로 인한 최적점 산출 .....	22
[그림 2-8] 환경부문을 결합한 산업연관모형 .....	23
[그림 3-1] 월별·지역별 미세먼지 발생량 .....	40
[그림 3-2] 월별·지역별 초미세먼지 발생량 .....	40
[그림 3-3] 월별·지역별·권역별 미세먼지 발생량 .....	41
[그림 3-4] 월별·지역별·권역별 초미세먼지 발생량 .....	41
[그림 3-5] 주요 유발 부문 변화 패턴 .....	49
[그림 3-6] 비전 및 추진체계 .....	70
[그림 3-7] 유입차 대책 .....	71
[그림 3-8] 미세먼지에 대한 인식 .....	77
[그림 3-9] 미세먼지 유입에 대한 인식 .....	78
[그림 3-10] 환경문제 해결을 위한 과제 .....	79
[그림 3-11] 미세먼지 오염도 .....	81
[그림 3-12] 대기오염에 영향을 끼치는 원인 .....	81
[그림 3-13] 미세먼지 발생 원인 .....	82
[그림 3-14] 미세먼지 발생 원인과 대응방안 .....	83
[그림 3-15] 미세먼지 대응방안(2016년) .....	83
[그림 3-16] 미세먼지 저감을 위한 중점추진사업 .....	84
[그림 3-17] 대책 우선순위 추진 분야 .....	85
[그림 5-1] 초미세먼지 권역간 충격반응분석 결과 .....	121

[그림 6-1] 미세먼지 대응 업무 수행체계 .....	132
[그림 6-2] 지역 및 권역별 미세먼지 대응 정책(안) .....	135
[그림 6-3] 중앙주도 미세먼지 저감을 위한 관리 체계 형성(안) .....	137
[그림 6-4] 시·도별 미세먼지 관련 조례 제정 기초지자체 수 현황 (2019년 10월 현재) .....	139
[그림 6-5] 미세먼지 대응 관련 법률체계(서울특별시) .....	140
[그림 6-6] 미세먼지 대응 지방자치단체 사업 운영 분야 .....	143
[그림 6-7] 지방자치단체 간 미세먼지 대응 기본 프레임 .....	145
[그림 6-8] 지방자치단체 간 협업을 위한 프로세스 .....	146
[그림 6-9] 신선한 공기의 유입이 차단되는 도시공간의 구조 .....	147
[그림 6-10] 도시기후지도 구축을 위한 기초 자료(독일의 슈투트가르트) .....	148
[그림 6-11] 중국 청두시의 바람길 활용 .....	149
[그림 6-12] 생태네트워크의 개념도 .....	153
[그림 6-13] 공간 단위(광역-도시-지구)별 생태네트워크 계획 .....	154
[그림 6-14] 녹지공간(비오톱) 형태에 관한 일반 원칙 .....	155



# 제1장



# 서론



# 제1장 서론

선성장 후분배에서 분배와 성장이 선순환되는 지역정책 현실 및 미래 지역·사회·경제 변화로 인해 지역의 가치가 변화하고 있는 추세이다. 이로 인해 지역에 대한 지역주민의 체감도, 지역 및 중앙에 대한 수요가 빠르게 변화하고 있다. 2019년 에너지밸리 포럼은 2015년 기준 연간 420만 명이 대기오염으로 사망했는데 이들 중 50%가 중국과 인도에서 발생하였으며, 더불어 한국은 2010년 기준 100만 명당 359명이 대기오염으로 사망해 2060년에는 1,000명 이상이 사망할 것으로 예측하여 대기오염으로 인한 부정적인 효과가 증대되는 것으로 발표하였다. 또한 주민이 체감할 수 있는 만족도를 제고할 수 있는 지역에서 발현되는 대기환경(미세먼지) 측면에서의 정책적 방향 제시가 필요하다. 반면 주민의 체감 만족도는 전반적으로 제시되고 있으나, 이를 상향시킬 수 있는 대기환경 측면의 정책적 방향에 대한 연구는 미비하다. 더불어 대기환경 오염물질 중 미세먼지에 대한 원인 및 대책을 논의하는 단계에 직면하였지만, 지역 차원에서의 원인 및 대응 방안은 미비하다. 따라서 대기환경 오염을 주민수요와 연계하여 정책을 설정하여 주민의 삶의 질을 증대시킬 수 있는 방향성 제시 및 토대 구축이 필요하다. 일반적으로 지역 차원에서의 대기오염물질은 일산화탄소( $CO$ ), 황산화물( $SO_x$ ), 질소산화물( $NO_x$ ), 미세먼지( $PM_{10}$ ), 초미세먼지( $PM_{2.5}$ ), 암모니아( $NH_3$ ), 포름알데히드( $VOC$ ) 등으로 구분된다. 국립환경과학원의 2015년 기준 전국 오염물질별 배출량 중 배출량이 많은 오염물질은 질소산화물, 포름알데히드, 일산화탄소가 각각 25.5%, 22.2%, 17.4%로 오염물질 중 배출량이 상대적으로 크며, 이들 중 미세먼지와 초미세먼지의 배출량은 각각 5.1%, 2.2%로 나타났다. 따라서 미래 변화 방향성과 미세먼지 영향을 고려한 맞춤형 정책 투입의 기준 파악이 필요하다. 또한 지역주민의 만족도 변화를 유도하는 지역의 미세먼지 변화에 대한 가치 정립과 지역주민이 체감할 수 있는

요인의 변화에 따라 만족도가 어떠한 방향으로 변화되는지에 대한 파악이 필요하다. 최근 2018년 통계청 사회조사는 미세먼지 및 초미세먼지에 대한 국민들의 체감도는 오염물질 배출량과 반비례하는 것으로 조사되어 미세먼지 오염의 현황 및 원인에 대한 정확한 이해를 통해 정책 적용을 위한 대응방안 설정이 필요한 실정이다.<sup>12</sup> 대통령 국정 과제에 대한 실증적인 영향을 주민체감 차원에서 제시하여 국민과 함께하는 정책의 영향을 실증적으로 제시할 수 있는 방향 제시가 필요하다. 기존 국정과제 중 하나인 미세먼지 저감 대책에 대한 지방자치단체차원에서의 대응방안을 구축함으로써, 대외 운영에서 제시되지 않았던 경제적인 효과측면을 고려함으로써 해당 정책 변화에 대한 타당성을 제시하였다.

이를 위해 환경변화에 대비한 지방자치단체의 대응 전략을 구축하기 위해서는, 환경 변화 요인 중 미세먼지 발생으로 인한 영향이 증대되고 있어 지방자치단체 차원에서의 대응방안을 모색하여 지방자치단체 특성에 맞는 실전적인 대응전략을 마련하는 것이 필요하다. 미세먼지 발생 오염원인에 대한 파악은 지난 10년간 중국의 도시화 및 산업화의 진전에서 대기오염 발생 원인을 찾는 국외의 연구(Xia et al., 2014; Hu et al., 2014; Huang et al., 2018) 외에 국내의 미세먼지 및 초미세먼지의 발생 원인의 경우 인구증가, 석탄 및 광산업, 제조업 생산에 대한 산업별 영향, 바람의 영향 및 강수량 변화에 대한 기후변화가 주요 요인으로 논의되어 왔다. 반면 최근 미세먼지 및 초미세먼지의 발생은 중국 산업발전과 편서풍에 영향을 받는 해당 국가 간의 문제가 아닌 범 국가적인 문제라는 의견이 제시되고 있어 향후 발생할 수 있는 국가 간 갈등을 사전에 방지하기 위해서도 미세먼지 및 초미세먼지 발생의 과학적인 근거가 필요한 실정이다. 특히 최근 급격하게 증가한 미세먼지 및 초미세먼지의 발생량 증가는 중국의 급격한 성장에 의한 산업별 영향으로 주로 고려되고 있다. 그럼에도 불구하고 명확한 근거가 없

---

1 미세먼지 측정을 위한 측정소의 설치 및 위치는 환경부의 2016년 대기오염측정망 설치·운영 지침에 따라 지상 1.5m이상, 10m이하의 높이에 대기오염측정소 시료채취구를 설치하는 것으로 규정하고 있다. 반면 대다수의 측정소는 10m이상의 건물 옥상에 설치되어 운영되고 있어 미세먼지 발생에 따른 국민들의 체감도에는 고정적인 격차가 존재하며, 미세먼지를 포함한 대기오염물질 발생에 따른 국민들의 만족도 역시 반비례하여 감소하고 있다.

2 2018년 통계청 사회조사를 통한 대국민 인식조사에서는 환경오염 문제 중 미세먼지에 대한 국민불안도가 82.5%인 것으로 조사되었으며, 미세먼지는 환경오염 문제가 아닌 사회문제로 확장된 것으로 보고되었다.

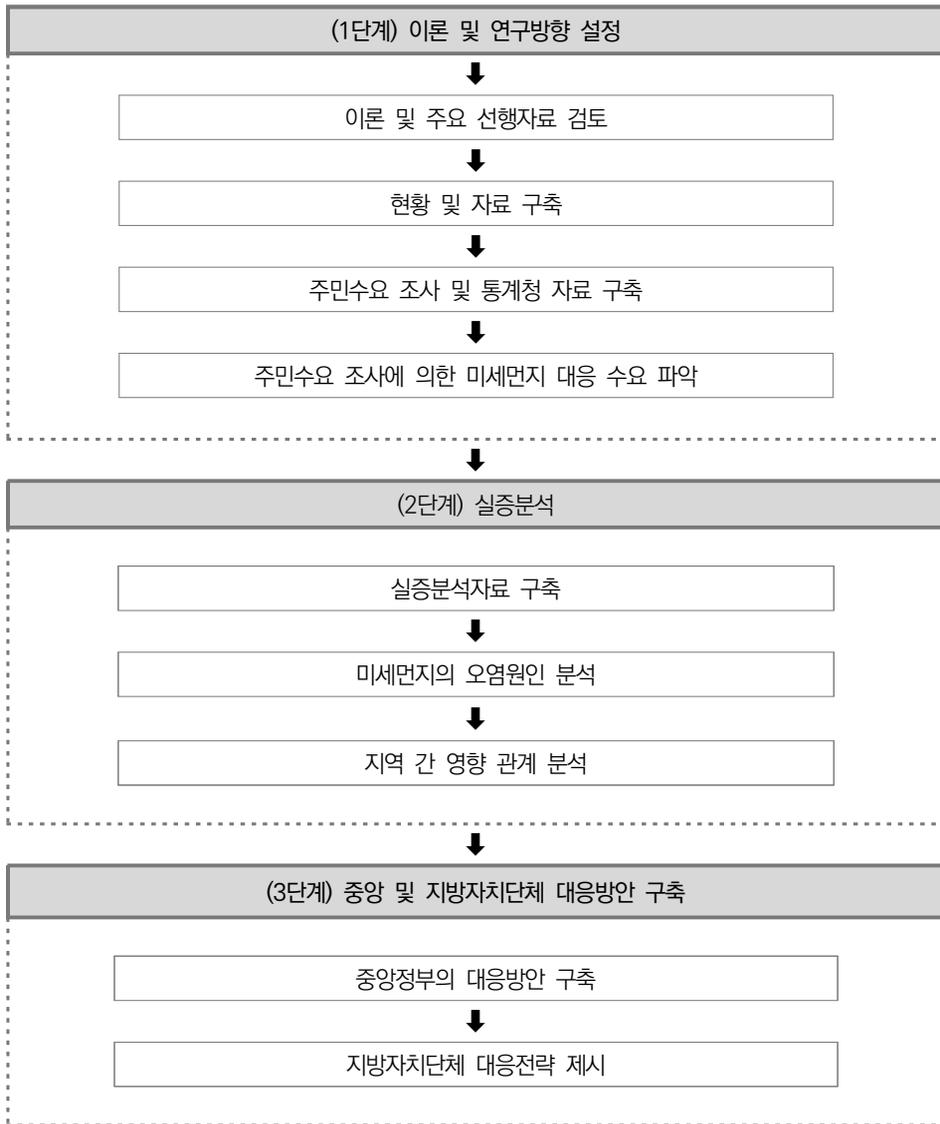
기 때문에 국내 미세먼지 및 초미세먼지의 발생은 국내 원인에 의한 의견에 반박하기는 쉽지 않은 실정이다. 또한 한국의 탈원전 후 미세먼지 및 초미세먼지의 발생량이 증가했다는 논의도 이루어지고 있어 이에 대한 영향 파악 역시 필요하다. 1차적인 오염원인은 국내 및 국외 발생에 의한 오염원인 파악에 있다. 더불어 오염원인을 원인별로 파악하여 국내·국외별 영향력(기여분)을 제시하였다. 최근 국내의 미세먼지 발생은 국내 발생분에 의존한다는 외부의 의견도 있지만, 불규칙하고 급격하게 증가한 미세먼지 증가의 원인은 외부 유입을 통해 미세먼지 오염이 증가한다는 의견이 지배적이다. 반면 미세먼지의 영향 정도에 대한 원인 규명이 이루어지지 않고 있으며, 미세먼지 발생에 대한 문제는 해당 오염물질 발생에 대한 원인을 과학적으로 파악하는 것이 가장 중요함에도 불구하고 국가 간 정치·사회적인 문제로 확산되고 있어 국내의 미세먼지 정책 설정에 장애물로 작용하고 있다. 더불어 국정과제로 선정되었으나 2018년 3월 이후 적극적인 대응이 이루어지지 않았던 미세먼지 대응을 위해서 정부는 2019년 4월 미세먼지 설립추진단의 운영으로 대통령직속 미세먼지 대응 범국가기구 설립이 추진되고 있다. 미세먼지는 특정 원인에 의해서 도출되는 것이 아닌 대기의 흐름에 의한 변화를 의미하는 것이 기존까지의 주요 연구 결과로 거론되었다. 따라서 다양한 원인을 총합적으로 고려했을 때의 미세먼지 발생에 대한 흐름도를 구축하는 것이 필요하다. 더불어 미세먼지 및 초미세먼지의 발생 원인을 국내 및 국외로 확대하여 어떠한 원인에 의해서 국내의 미세먼지 및 초미세먼지 발생량이 증가했는지에 대한 근거를 제시하는 것이 필요하다.

이를 위해서 본 연구는 2010년부터 2016년까지의 기초 및 광역지자체를 대상으로 연구범위를 설정하였다. 기본적인 시점은 광역 및 지방자치단체별로 시계열로 구축하였으며, 미세먼지 기준은 측정망별, 시·도별, 측정지점별로 2010년부터 2016년이며, 초미세먼지는 측정망별, 시·도별, 측정지점별 2011년부터 2016년까지이다. 시·도별 자료의 확보가 어려운 경우에는 월별 기준을 총합하여 시계열자료를 확보하였다. 또한 공간적인 범위는 17개 시·도를 기본적인 대상으로 하며, 측정망별, 시·도별, 측정지점별 기초를 분석의 기초 단위로 한정하였다.

본 연구는 미세먼지의 영향 원인 파악 및 지역 간 연계성을 파악하여 지자체의 효율적인 미세먼지 대응방안을 설정하기 위하여 전체적으로 환경과 지역발전, 삶의 질 증

대에 대한 선행연구, 대기환경 오염 물질 중 미세먼지 대응 수범사례 조사 및 국내 정책 현황 파악, 대기환경 변화에 대한 주민만족도 조사 결과의 재분석을 위해 통계청 자료 총합을 통한 승인통계를 적용하여 주관적인 측면은 설문 및 사회조사를 반영하였다. 더불어 중앙 및 지방의 미세먼지 대응 정책과 주민만족도와 연계하였으며, 미세먼지 오염 실태조사를 통해 미세먼지의 오염 원인을 분석하였다. 본 연구는 2장에서 지역의 현황, 기존문헌 고찰에 따른 선행 연구, 주민수요를 통해 미세먼지 변화에 따른 영향을 지역의 특성과 연구의 흐름을 제시하였다. 3장에서는 국내외 미세먼지 대응 정책 및 우수사례와 주민 체감도 분석 결과를 제시하였다. 4장에서는 미세먼지 발생의 결정요인 및 지역 간 연계에 대한 자료, 가설, 분석방법을 논하였으며, 5장에서 이에 대한 실증적인 결과를 제시하였다. 6장에서는 미세먼지 오염에 대응한 중앙과 지방의 역할 및 대응방안을 기술하였다.

[그림 1-1] 연구분석틀





## 제2장



# 환경오염 관련 정책, 이론 및 선행연구

제1절 대기오염 관련 정책변화 및 이론  
제2절 선행연구



## 제1절 대기오염 관련 정책변화 및 이론

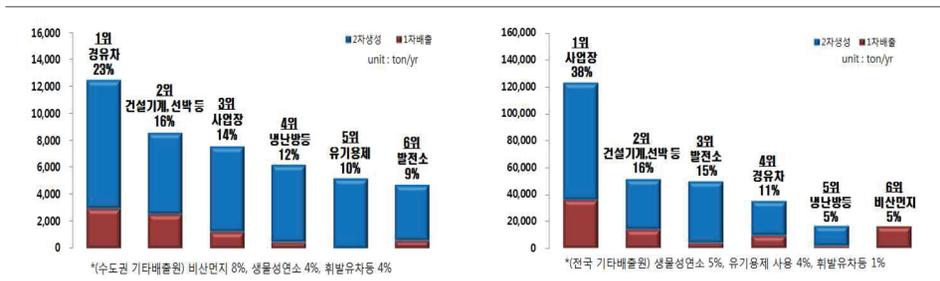
### 1. 미세먼지의 영향에 대한 구분

미세먼지는 산업 분야와 연계되어 영향이 반영되었다. 농업 부문에서는 대기 중 이산화황( $SO_2$ ) 및 이산화질소( $NO_2$ )가 많이 묻어있는 미세먼지가 산성비를 내리게 해 토양과 물을 산성화시키고, 토양황폐화, 생태계피해, 산림수목과 기타식생을 손상시키는 것으로 나타났다. 공기 중 카드뮴 등 중금속이 묻은 미세먼지는 농작물, 토양, 수생생물에 피해를 입히며, 더불어 미세먼지가 식물의 잎에 부착되면 잎의 기공을 막고 광합성 등을 저해하여 작물의 생육을 지연시키는 것으로 나타났다. 산업 부문에 대한 영향 중 반도체와 디스플레이 산업은 미세먼지에 노출될 경우 불량률이 증가하여, 가로·세로높이30cm 공간에 0.1 $\mu$ g의 먼지입자 1개만 허용된다(미세먼지관리종합대책, 2018). 자동차산업은 도장공정에서 악영향을 받을 수 있고, 자동화설비의 경우에도 미세먼지로 인한 오작동 등의 피해를 입을 수 있으며, 가시거리를 떨어뜨리기 때문에 비행기나 여객선 운항도 지장을 받는다(강광규, 2018).

계절별·시간별 미세먼지의 영향 역시 고려되고 있으며, 미세먼지의 오염도는 선진 주요 도시대비 높은 수준으로 최근 인체위해성이 더 큰 고농도 초미세먼지가 발생되고 있는 추세이다(미세먼지관리종합대책, 2018). 봄과 겨울철의 초미세먼지 평균농도상승, 주의보 발령 횟수가 증가하고 있으며, 전북, 경북, 충남·북의 나쁨일수는 전국 평균대비 약 2~3배 높은 수준이다(국회 미세먼지대책특별위원회, 2018). 국내 및 국외 영향을 구분할 경우, 배출원은 크게 국내 배출과 국외 영향으로 구분될 수 있다. 국내 배출을 대도시 지역과 전국으로 구분할 경우 배출량이 큰 1순위 배출원은 대도시는 경

유차, 전국적으로는 사업장이 이에 해당된다(‘14년 초미세먼지 배출량). 수도권 기준으로는 경유차(23%), 건설기계선박 등(16%), 사업장(14%) 등의 순이며, 전국 기준으로는 사업장(38%), 건설기계선박 등(16%), 발전소(15%) 등의 순으로 배출원을 구분할 수 있다. 국내 미세먼지의 영향 중 1차 배출의 원인은 경유차와 사업장으로 구분될 수 있으며, 이는 다시 2차 생성을 통한 영향으로 파생된다.

[그림 2-1] 국내 미세먼지 영향 구분



국의 영향의 비율은 계절, 기상 조건에 따라 상이하지만 정부는 평상 시 중국, 북한 등을 포함한 국외 영향이 연평균 30~50%, 고농도 시(‘15~‘16년 연간 18~29일)에는 60~80%로 추정하였다(산자부, 미세먼지관리 종합대책, 2018). 美항공우주국(NASA)과의 공동연구 결과(‘17.7월, 중간 발표) 역시 중국 등 국외영향 48%, 국내 배출 52%로 분석되었다(측정시점: ‘16.5~6월). 또한 서울시 등의 다양한 연구결과가 있으나, 정부 발표와 크게 다르지 않다(산자부, 미세먼지관리 종합대책, 2018). 미세먼지 배출기준은 한국의 경우(환경부)에는 일 평균 기준을  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 설정하고 있다. 반면 초미세먼지에 대한 대기질 기준은 국가별로 상이하다. 더불어 농도 및 풍향에 의한 기준 역시 상이하여 이에 대한 고려가 필요한 실정이다.

【표 2-1】 대기오염 물질의 국내 유해성 기준

구분	기준	측정방법
아황산가스 (SO <sub>2</sub> )	연간평균치 0.02ppm 이하	자외선형광법 (Pulse U.V. Fluorescence Method)
	24시간평균치 0.05ppm 이하	
	1시간평균치 0.15ppm 이하	
일산화탄소 (CO)	8시간평균치 9ppm 이하	비분산적외선분석법 (Non - Dispersive Infrared Method)
	1시간평균치 25ppm 이하	
이산화질소 (NO <sub>2</sub> )	연간평균치 0.03ppm 이하	화학발광법 (Chemiluminescent Method)
	24시간평균치 0.06ppm 이하	
	1시간평균치 0.10ppm 이하	
미세먼지 (PM <sub>10</sub> )	연간평균치 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	베타선흡수법 ( $\beta$ - $\gamma$ Ray Absorption Method)
	24시간평균치 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	
초미세먼지 (PM <sub>2.5</sub> )	연간평균치 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	중량농도법 또는 이에 준하는 자동측정법
	24시간평균치 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	
오존 (O <sub>3</sub> )	8시간평균치 0.06ppm 이하	자외선광도법 (U.V Photometric Method)
	1시간평균치 0.1ppm 이하	
납 (Pb)	연간평균치 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	원자흡광광도법 (Atomic Absorption Spectrophotometry)
벤젠	연간평균치 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	가스크로마토그래프법 (Gas Chromatography)

【표 2-2】 일(24시간) 평균 초미세먼지 국외 유해성 기준

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

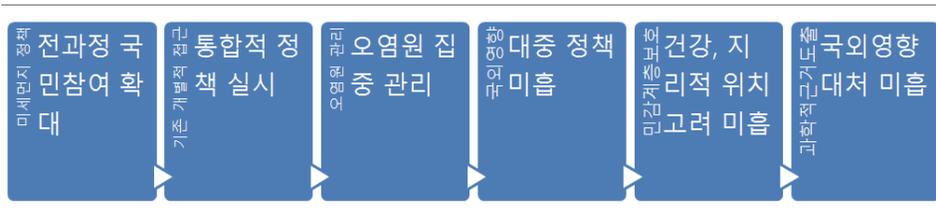
공기질 지표(AQI, Air Quality Index)	초미세먼지
좋음(Good)	0-12
중간(Moderate)	12.1-35.4
민감한 그룹에 유해(Unhealthy for sensitive groups)	35.5-55.4
전체적으로 유해(Unhealthy all)	55.5-150.4
매우 유해(Very unhealthy)	150.5-210.4
건강에 매우 위험(Hazardous)	210.5 이상

자료: Utah Department of Air Quality

## 2. 미세먼지 대응 환경정책 변화

2016년 6월 3일, 관계부처 합동으로 「미세먼지 관리 특별대책」이 수립되어 추진되었다. 반면 특별대책에도 불구하고, 금년 초 고농도 빈발 등으로 미세먼지 문제 해결에 대한 국민적 요구가 높아지고 있다. 더불어 2017년 5월 새정부 출범 시 미세먼지 문제 해결이 최우선 과제로 설정되었다. ‘3호 업무지시(‘17. 5. 15)’를 통해 미세먼지 응급대책으로써 노후 화력 섯다운(‘17. 6월 한달), 미세먼지 대책 기구 설립이 추진되었다. 이를 통해 미세먼지에 대한 대책 방향성이 정립되었으며, 1차적인 미세먼지 대응 정책은 국민참여를 통한 통합적 실시 및 오염원 관리로 확산되는 추세이다. 이후 대중(對中) 정책 수립을 통한 대응 미흡, 취약계층을 고려한 정책수립 부재, 국외영향 대처미흡으로 연계되어 진행되었다.

[그림 2-2] 미세먼지에 대한 정책 변화 흐름



정책 추진과정에서 미세먼지 정책 전 과정에 국민참여가 확대되고 있으나, 산업계, 일반국민 등 사회 전체가 함께 해결해야 하는 미세먼지 문제에 대책수립 및 집행 등 전 과정에서 의견수렴이 미흡하였다(행정안전부, 2018). 그간 정부의 주요 정책 역시 경제개발을 최우선적으로 고려하였으며, 저탄소차 협력금제 유예(‘14. 9월), 영흥화력 7·8호기 신설논란(‘14~’15) 등이 논의되었다(산업통상자원부, 2017). 또한 미세먼지 문제 해결에 개별적 접근이 실시됨으로써, 미세먼지와 기후변화에너지 정책 간의 연계성 고려가 미흡하였다(행정안전부, 2018). 또한 전체 발생량의 72% 정도를 차지하는 2차 생성 미세먼지에 대한 저감대책이 부족한 것으로 나타나 통합적인 관점에서 미세먼지 관리 대책 수립이 필요하다(환경부, 2017). 더불어 오염원 관리에 다양한 한계점이 노출되었다. 대규모 사업장 감시수단(TMS) 부족(대형사업장 굴뚝의 3.3%), 소규

모 사업장 관리 부실 문제 등 오염원 관리가 소홀하였다. 폭스바겐 사건('15. 9월)을 계기로 경유차의 인증조건 대비 실제 도로 주행조건에서의 질소산화물 과다 배출 문제가 제기되었다(산업통상자원부, 2017). 따라서 대규모 배출원 감시 강화 등을 통한 오염원 집중 관리 실시가 필요한 실정이다. 미세먼지 국외영향에 대한 대책 역시 고려가 미흡하였다. 한·중 간 연구협력('14. 7월 이후 한·중 대기측정자료 공유, 공동연구단 구성 등을 추진 중)을 추진 중이나, 실질적 오염도 개선에는 역부족인 실정이다(환경부, 2017). 환경장관회의 수준에서 미세먼지 문제를 논의 중이며, 아직 국가 차원의 제도화된 협력체계가 부재한 실정이다(환경부, 2017). 위해성을 고려한 민감계층 보호대책 역시 부족한 실정이다. 초미세먼지 환경기준 설정('15)이 美, EU 등 다른 나라에 비해 늦었으며, 그 수준 역시 WHO 24h 기준 대비 2배 높은 상황(한국  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 미·일  $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ , WHO  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이다. 미세먼지 건강영향, 단기간 내 오염도 개선이 어려운 상황이다(고경훈, 2018). 불리한 지리·기상여건(편서풍 지역, 기후변화로 인한 기상정체 심화, 봄철 강수량 부족) 속에서 국외영향이 존재, 국내 배출량도 단기간 내 감축 곤란)에도 불구하고 국가 차원의 적극적 대처는 미흡하다(고경훈, 2018). 과학적 대응 역량 역시 부족하여 2016년부터 2차 생성 초미세먼지 배출량을 산정하고 있으나, 배출량-농도-위해성 간의 정량적인 메커니즘 규명은 부족하다. 따라서 국외 영향, 국내 주요 오염원별 기여도(누락배출원 조사 등) 등에 대한 보다 체계적·과학적 연구가 필요하다. 더불어 체계적인 조사·연구 확대를 위한 과학적 기반의 대응역량 강화가 필요하다(고경훈, 2018).

따라서 미세먼지 관리 종합대책 수립을 통한 패러다임의 전환이 필요하며, 기본방향은 오염도 높은 '우심지역'에 대한 중점관리로 수도권·대도시 중심에서 비수도권 지역 관리로 전환하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 통합적인 저감 대책 추진으로 2차 생성을 고려한 원인물질 관리 강화, 에너지 정책과의 정합성을 제고하고, 국제협력을 통한 공동노력 강화로 한·중 양자협력, 다자간 협력을 통해 미세먼지 문제에 공동 대응하는 것이 필요하다(행정안전부, 2018). 또한 인체위해성 관리에 중점을 두어 민감계층 활동공간 관리강화, 보호 서비스 강화 등을 집중 보호하고, 과학기반의 미세먼지 대응 역량 제고로 인벤토리 정교화, 위성·항공기 등을 통한 입체적 미세먼지 분석 등이 필요하다(행정안전부, 2018).

**[표 2-3] 미세먼지 관리 패러다임 전환**

구분	중전 패러다임		신(新) 패러다임
① 관리지역	수도권 및 대도시 중심	»	전국 우심지역 중심
② 관리방식	개별적 오염물질 관리	»	통합적 관리 추진
③ 국제협력	연구협력 단계	»	실질적 저감으로 전환
④ 중심정책	일반 대기오염물질 중심	»	인체위해성 저감 중심
⑤ 대응기반	개별, 분산된 연구	»	체계적, 통합적 연구

자료: 관계부처 합동(2017). 미세먼지 관리 종합대책

현재 미세먼지 대응 비전은 2022년까지의 국내 배출량 30% 감축을 목표로 하고 있다. 이를 통해 대기질 개선에 의한 건강피해 예방 및 연구기반 강화 추구로, 대기질 중 미세먼지에 대한 감축 목표를 설정하여 대응 체계를 세부적으로 시행하고 있다. 더불어 미세먼지 유발 요인 및 국제적인 관계를 파악하는 근간 마련에 대한 과학적인 체계 구축 측면의 강화에 중점적인 역할을 제시하였다. 또한 민감 계층에 대한 건강 부문을 고려함으로써 미세먼지로 인하여 유발될 수 있는 파급효과를 제시하였다.

**[그림 2-3] 미세먼지 대응 비전**

<b>비전</b>	<b>맑고 깨끗한 공기, 미세먼지 걱정 없는 대한민국</b>
<b>목표</b>	<b>2022년까지 국내 배출량 30% 감축</b> * 나쁨 이상 일수(전국) : '16년 258일 → '22년 78일 PM <sub>2.5</sub> 오염도(서울) : '16년 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ → '22년 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>추진 전략</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 대규모 배출원 집중 저감을 통한 감축목표 달성</li> <li>◇ 주변국과의 환경협력 강화로 동북아 대기질 개선</li> <li>◇ 민감계층 집중보호로 국민 건강피해 예방</li> <li>◇ 과학적인 연구기반 강화로 미세먼지 대응역량 제고</li> </ul>

자료: 관계부처 합동(2017). 미세먼지 관리 종합대책

[그림 2-4] 대기질 관리 추진체계

분야		중점 추진과제
국내 배출 감축	① 발전부문	① 노후 석탄화력 폐지 등 석탄발전 비중 축소 ② 발전용 에너지 세율체계 조정 검토 ③ 친환경적 제8차 전력수급계획 수립 ④ 재생에너지 보급 확대
	② 산업부문	⑤ 총량관리 대상지역 확대 및 먼지총량제 실시 ⑥ 질소산화물 배출부과금 신설
	③ 수송부문	⑦ 노후 경유차 저공해화 및 운행제한 확대 ⑧ LPG차, 전기차 등 친환경차 보급 확대 ⑨ 친환경차협력금 제도 시행 ⑩ 선박건설기계 미세먼지 관리 강화
	④ 생활부문	⑪ 공사장 불법소각 등 관리 사각지대 집중 관리 ⑫ 도로청소차 보급 및 도시 숲 확대
국제 협력	⑤ 한중, 동아시아 미세먼지 협력	⑬ 한중 정상회의를 통한 공동선언문 발표 추진 ⑭ 동아시아 미세먼지 저감 협력 체결 검토
민감 계층 보호	⑥ 민감계층 보호 인프라 및 서비스	⑮ 아이들을 위한 실내기준 마련 ⑯ 어린이집, 학교 주변 미세먼지 측정망 우선 설치 ⑰ 학교 실내 체육시설 확대 ⑱ 민감계층 대상 찾아가는 케어서비스
정책 기반	⑦ 과학적 관리 기반	⑲ 환경위성 등 활용한 측정 및 예경보시스템 강화 ⑳ 미세먼지 국가전략 프로젝트(R&D) 추진

자료: 관계부처 합동(2017). 미세먼지 관리 종합대책

더불어 기존 미세먼지 관련 정책을 보다 강화하고 있는 추세이다. 감축목표의 상향 조정은 발전, 산업, 수송, 민감계층, 국제협력으로 구분하여 미세먼지 저감을 정착시킬 수 있는 실현적인 전략으로 확대되고 있다. 부문별로 세분화하여 정책을 실시하는 실천 계획기인 반면, 계획별 영향 정도에 대한 대응은 이루어지지 않고 있다. 더불어 18년까지, 18년-20년, 21년-22년으로 구분하여 배출량저감, 국제협력강화, 민감계층 보호, 정책기반 인프라 구축 등을 목표로 설정하였다. 즉 미세먼지 저감을 위한 외생적인 노력을 위주로 추진하고 있으나, 중국의 도시성장 및 지속적인 화석에너지 사용으로 인한 영향을 배제하기는 어려운 실정이다.

[그림 2-5] 6·3 정책과의 차이점

구 분		종전 6·3대책	금번 종합대책
감축목표		• '21년 국내배출 14% ↓	• '22년 국내배출 30% ↓
발전	석탄 발전	• 신규 석탄발전 설치 원칙적 금지 • 신규 석탄발전 배출기준 강화	• 공정률 낮은 석탄발전(9기) 원점 계검토로 4기 LNG로 전환(강) • 노후발전소 봄철(3~6월) 가동 중단 및 임기내 조기폐지(新)
	재생 에너지	• '25년 11%로 확대	• '30년 20%로 확대(강)
산업	먼지관리	-	• 먼지총량제 시행(新)
	배출 부과금	• NOx 배출부과금 신설 검토	• NOx 배출부과금 신설(강)
	총량관리	• 수도권 총량관리	• 수도권 외 총량관리 지역 확대(충청·동남·광양만권)(강)
수송	친환경차	• 전기차 등 보급	• 친환경차 보급 확대(강) • 친환경차 협력금제(新)
	선박·건설기계·이륜차	• 건설기계 배출 저감	• 선박·항만 관리 강화(新) • 건설기계 저공해화 확대(강) • 이륜차 관리 강화 및 전기 이륜차 보급(新)
	노후 경유차	• 수도권 운행제한	• 운행제한 지역 확대(충청·동남·광양만권)(강)
민감계층	환경기준	-	• 미세먼지 환경기준 선진화(新) • 민감계층 살피미세먼지 기준 신설(新)
	인프라 확충	• 미세먼지 측정망 확대	• 교육시설 인근 측정망 확충(강) • 실내체육시설 설치(新)
	교육·환경 서비스	• 매뉴얼 마련 및 교육·홍보	• 어린이 통학차량 친환경차 전환(新) • 민감계층 찾아가는 케어서비스(新) • 미세먼지 청정관리구역 지정 제도 도입(新)
국제협력	의제 격상	• 한·중·일 환경장관	• 한·중 정상회담(강)
	협약 체결	-	• 미세먼지 저감 국제협약 체결 적극 검토(新)

자료: 관계부처 합동(2017). 미세먼지 관리 종합대책

[그림 2-6] 단계별 이행계획

	단계 1. 준비 '17~'18.上	단계 2. 이행 '18.下~'20	단계 3. 목표달성 '21~'22
국내 배출량 30% 저감	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪봄철 노후 火電 섀다운(17.6~)</li> <li>▪사업장 점검 강화(계속)</li> <li>▪다량배출 사업장(석탄발전, 철강 석유 등) 기준 강화(18.1)</li> <li>▪수도권 먼지총량제 시행(18.1)</li> <li>▪운행경유차 매연 배출허용 기준 강화(18.1)</li> <li>▪신규경유차 실도로 조건 NOx 배출기준 신설(17.9월)</li> <li>▪건설공사장 비산먼지 집중 점검(계속)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪SRF 관리기준 강화('18)</li> <li>▪발전용 에너지 세율체계 조정 검토</li> <li>▪수도권외 총량제 시행</li> <li>▪사업장 질소산화물 배출 부과제 신설(18.下)</li> <li>▪친환경차협력금제 시행방안 확정(19)</li> <li>▪수도권 대기관리구역 전역에 노후경유차 운행제한(20.下)</li> <li>▪선박 연료 황 함량기준 강화(20)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪노후 석탄발전소 7기 폐지(~'22)</li> <li>▪친환경차 200만대 보급(~'22)</li> <li>▪노후 건설기계 3.1만대 저공해화(~'22)</li> <li>▪항만내 이동식 하역 장비 LNG 전환(~'22)</li> <li>▪도로 청소차 보급 확대(~'22)</li> </ul>
국제 협력 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪한·중 공동연구 및 기술 지원(계속)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪한·중 정상회담 및 공동선언문 발표 추진(18~19)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪동아시아 미세먼지 협약 체결 적극 검토(21)</li> </ul>
민감 계층 보호	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪미세먼지 환경기준 강화(18)</li> <li>▪학교 주변 측정망 확충('22년까지 총 505개소)</li> <li>▪실내 체육시설 설치(~'19)</li> <li>▪어린이 마스크 지원(17~)</li> <li>▪민감질환 감시 및 알람서비스 체계 구축('18년 시범사업)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪민감계층시설 실내 미세먼지 유지기준 신설('20)</li> <li>▪비상저감조치 수도권외 확대('19)</li> <li>▪미세먼지 청정관리구역 지정('19)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪어린이 통학차량 친환경차(LPG차 등) 전환(~'22)</li> </ul>
정책 기반 및 인프라 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪미세먼지 국가전략프로젝트 추진('17~'19)</li> <li>▪한국형 대기질 예측시스템 개발('17~'22)</li> <li>▪배출량 조사 연구 강화(계속)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪미세먼지 종합정보센터 설치(19)</li> <li>▪환경위성 발사(20)</li> <li>▪「미세먼지의 저감 및 관리 특별법」 등 법령 제정 추진(18)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪환경위성 활용 미세먼지 측정('21)</li> <li>▪인공 지능(AI) 기반 미세먼지 예보시스템 구축(21)</li> </ul>

자료: 관계부처 합동(2017). 미세먼지 관리 종합대책

### 3. 관련 이론

#### 1) 성장과 환경: Environmental Kuznet curve(EKC)

미세먼지를 포함한 대기오염은 경제성장과 환경의 상호관계로 이해되고 있는 실정이다. 성장의 대리지표로 활용할 수 있는 소득과 환경의 관계를 제시하여 성장으로 인한 소득 변화는 환경을 역U자 형태로 제시하였다. 즉 경제성장으로 인하여 초기에는 환경오염이 증가하지만 일정기간 후 다시 환경오염 정도가 감소되었다. 이러한 역U자 형태는 대체로 소득 수준의 증가로 보다 나은 환경의 질에 대한 욕구 증대, 덜 오염적인 형태로의 생산과 소비 구성변화의 요구, 오염저감기술개발, 그리고 정부의 환경에 대한 규제 정도 변화 등에 그 원인이 있다(김지욱, 2010). 1993년에 세계은행은 이에 대해 ‘환경전환점’이라는 용어를 사용하였다. 환경전환점 가설에 따르면 경제가 저개발 상태일 때는 환경과 경제성장이 대부분 상충관계에 있으나, 경제가 발전하여 환경전환점을 지나면 경제성장과 환경은 상호보완관계로 바뀌게 되어 더 깨끗한 환경과 더 편리한 소비생활을 동시에 향유할 수 있다는 견해가 중심적이다(김정인·오경희, 2010). 즉 경제성장을 통해 환경을 더욱 개선할 수 있으며 동시에 환경보호를 통해 질적으로 바람직한 경제성장을 지속적으로 견인하였다(김정인·오경희, 2010). 초기 경제성장으로 인한 환경의 질 측면을 경제발전 단계별로 제시하였다. 초기 경제성장 단계에서는 환경의 질이 감소하며, 지속적인 경제발전으로 인한 경제성장 단계에서는 환경의 질을 개선하고자하는 노력으로 인한 기술개발로 환경의 질이 개선되었다. 이러한 특성을 환경쿠츠네츠곡선으로 지칭할 수 있다. 환경변화의 실증적인 적용 측면은 환경과 경제측면을 고려한 환경쿠츠네츠곡선이 다양한 측면에서 고려되었다. 특히, 대기오염 및 환경의 질 변화 정도를 수렴 및 발산으로 반영되었다. 수렴 및 발산의 측면은 경제변화로 인한 환경 측면을 Barro and Sala-i-Martin (1991), Munasinghe (1999), Andreoni and Levinson (2001)으로 고려할 수 있다. Barro and Sala-i-Martin (1991)은 경제성장 정도의 수렴 및 발산정도를 고려하여  $\alpha$  및  $\beta$  수렴으로 그 정도를 제시하였다. 더불어 Barro and Sala-i-Martin (2004)과 Acemoglu (2009)는 절대적인 수렴 (absolute convergence)에서의 경제 성장이 초기 소득 및 균제상태에서의 소득에도 의존함을 밝혀 절대적인 수렴보다 조건부 수렴(conditional convergence)의 사용 이유를

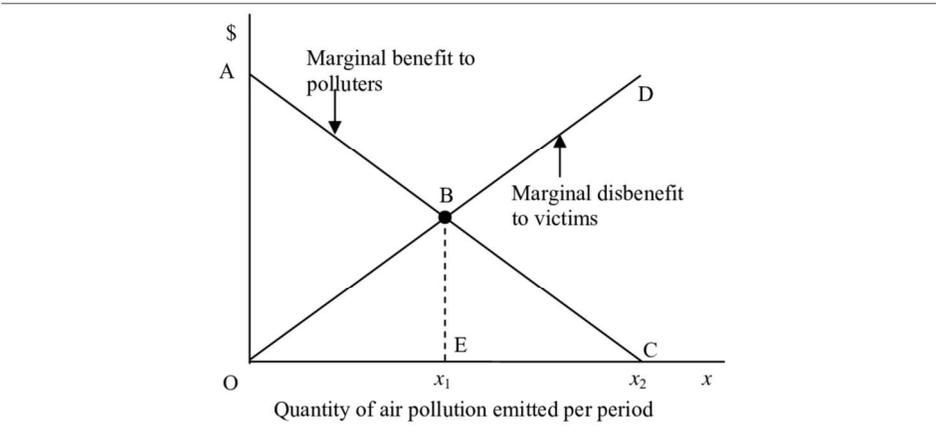
제시하여 확장하였다. Munasinghe(1999)의 환경쿠츠네츠곡선은 환경개선으로 인한 편익과 비용의 차이의 최적점을 파악하며, 편익과 비용은 환경과 소득에 의존하는 특성을 고려하였다. 최적점의 산출을 위하여 환경오염으로 인한 편익 및 비용을 활용하여  $\text{MaxNetBenefit} = E(\text{Env}, Y) - C(\text{Env}, Y)$ 을 도출하여, 환경에 대한 편익의 증대 ( $MB_E > 0$ ) 및 비용의 감소 ( $MB_E < 0$ )를 위한 정책의 필요성을 제시하였다. Andreoni and Levinson(2001)의 환경쿠츠네츠곡선은 소비와 오염으로부터 산출되는 효용을 고려하였다. 즉  $U = U(C, P)$ 의 관계를 통해  $U_C > 0$ ,  $U_P < 0$ 인 관계를 고려하였으며, 오염과 소비, 환경개선을 위한 노력을  $P = P(C, E)$ 로 고려하여 환경개선을 위한 노력의 관계를  $P_C > 0$ ,  $P_E < 0$ 으로 고려하였다. 궁극적으로 Andreoni and Levinson (2001)의 환경쿠츠네츠곡선은 소비와 환경오염감축을 위한 노력을 Cobb-Dogulas 해로 도출하여 역U자형의 곡선을 도출하는 근거를 제시하였다.

## 2) Coase theorem

경제성장과 자원의 관계 역시 Coase theorem으로 연구되어 이를 활용한 영향 관계가 연구되었다. 경제성장의 변곡점을 경험하고 있는 지역적인 특성은 지역 간 인과관계로 고려할 수 있다. 특히, 주변국 및 주변지역의 발전으로 인한 영향이 직접적·간접적인 경로로 인하여 영향을 받게 된다. 반면 현재는 원인에 대한 측면을 파악하기 어려운 실정이며, 특히 대기공학의 측면에서는 지리적 및 지역 간 영향에 의한 측면 외에 환경요인 간 화학적인 특성을 고려하는 것 역시 제시되고 있는 실정이다. 국가 및 지역 간 성장 단계 역시 반영되어, 지역 간 영향을 도출함에 있어 국가, 시도, 기초별 영향으로 산출하였다. 특히 지역 간 성장 단계와 환경오염 및 배출량을 상호 고려할 경우에는 상호 인과관계에 의하여 영향관계가 제시되었다. 외부로부터 발생할 수 있는 비효율성을 환경적인 측면에서 고려되었으며, 외부의 비효율성 해결이 관건인 것으로 나타났다. 경제적인 효율성 및 자산의 배분 정도를 환경을 개선하기 위한 노력이 반영되었으며, 환경을 개선하기 위한 정도를 지불의사금액(WTP)의 반영 정도가 제시되었다. 기업(company)과 수혜자(community)의 관계에 환경을 결합해 배출자(polluter)와 희생자(victim)로 구분하여, 배출자와 희생자의 관계를 통해 도출할 수 있는 편익과 비용의 관계를 통해 최저점을 파악하였다. 특히 환경오염물질 배출에 가격결정 과정을 추

가적으로 고려함으로써 주체 간 관계를 설정하였다.

**[그림 2-7] 환경오염으로 인한 최적점 산출**



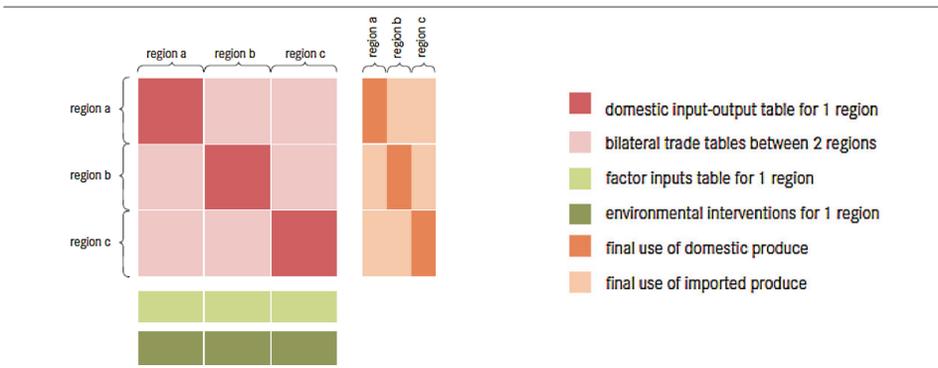
### 3) Environmental input-output (EIO/EEIO/EMRIO)

국가 및 지역 총생산에 미치는 환경부문의 영향을 도출할 경우에 지역의 부가가치는 산업 간 내생부분과 수출입 등에 대한 외생부분으로 고려되었다. 환경오염 등으로 인한 영향을 국가 및 지역의 산업관계와 융합함으로써 총생산의 증대를 위한 일시적인 오염물질의 투입과 환경의 질 개선을 위한 오염물질에 대한 저감이 논의되었다. 특히 외부적인 요인 및 부정적인 요인으로 고려될 수 있는 환경오염 및 오염물질의 발생은 장기적으로는 국가 및 지역 총생산에 구성하는 요인으로 고려되었다. 더불어 지역 및 산업의 관계를 최종수요를 구성하는 부분을 고려하여 환경오염 및 오염물질의 배출량 산정 및 배출의 영향을 반영( $X^P = D_{PM,j}^P (I - A)^{-1} F$ )하였다. 지역의 특성과 환경부문의 결합하여 환경오염 및 오염물질 유발을 지역의 특성에서 도출되었다. 환경오염 및 오염물질을 기존의 외생적인 부분에서 고려하는 것을 내생적인 부분으로 도입하였으며, 특히 환경오염 및 오염물질의 발생 부분에 대한 고려를 구체적으로 파악하였다. 더불어 환경오염 및 오염물질을 발생시키기 위하여 사용되는 에너지 사용에 대한 고려를 추가적으로 제시할 수 있는 특성이 존재하며, 국가를 대상으로 한 산업연관표에 에너지 및 환

경부분을 고려함으로써 환경에 부정적인 영향이 발생할 수 있는 오염물질의 효과를 사전적으로 제시하였다.

환경오염 및 오염물질 발생의 원인이 제시되었으며, 환경오염 및 오염물질의 발생 원인은 기후변화, 산업변화, 도시성장 등 환경, 사회, 경제적인 요인 등으로 구분이 가능하다. 이중 사회 및 경제적인 요인을 환경부문과 결합하여 국가 및 지역정책으로 활용하기 위한 기반으로 사용되었다. 국가를 사용할 경우에는 환경산업연관모형(EIO), 국가 간을 대상을 할 경우에는 국가간환경산업연관모형(ENIO), 환경오염이 지역에 미치는 영향은 지역간환경산업연관모형(EMRIO) 등으로 구분하여 제시되었다.

**[그림 2-8] 환경부문을 결합한 산업연관모형**



## 제2절 선행연구

### 1. 주제별 선행연구 구분

미세먼지에 대한 연구는 초미세먼지의 분포 변화, 지역 성장과 연계된 미세먼지 형성, 계절성, 시점별 영향, 미세먼지 발생원인 등에 대한 연구가 이루어졌다. 초미세먼지의 분포 특성을 도시성장과의 관계로 초미세먼지에 대한 연구가 이루어졌다(Shen et al., 2019; Yan et al., 2018; Mi et al., 2019; Yang et al., 2019; Yang et al., 2018). 또한 도시성장을 통한 도시화 정도(Xia et al., 2014)와 도시화로 인한 악영향을 상쇄시킬 수 있는 도시정책의 영향 정도를 고려한 연구(Cho and Choi, 2014) 역시 이루어졌다. Yang et al. (2018)은 도시성장과의 관계 변화를 공간의존성을 고려한 Moran's I 및 BiLISA를 이용하여 1998년부터 2015년까지의 지리적 분포, 시점별 분포, 시점별 변화 정도로 파악하였다. 특히 이 연구는 초미세먼지의 영향 관계를 산업과 경제성장과의 관계로 고려하여 초미세먼지가 증대되는 국가 및 감소하는 국가로 국가 간 관계를 고려한 점에서 차별화되었다. Wang et al. (2018) 역시 초미세먼지 발생의 원인을 도시화로 규정하여 135개 국가를 대상으로 도시화와 초미세먼지와의 관계를 고려하였다. 특히 개발정도에 따라 1998년부터 2014년까지 국가를 저개발(underdeveloped), 개발도상국(developing), 개발국(developed)으로 구분하여 국가 유형별 초미세먼지의 발생 원인을 파악하였다. 그의 연구에서는 초미세먼지 발생의 원인을 개발도상국과 개발국의 도시화 및 교통 관련 배출, 개발도상국의 산업화, 개발국의 도시화 감소, 제조업의  $CO_2$  증대, 교통 관련 산업의  $CO_2$ 는 초미세먼지를 증대시키는 원인임을 제시하였다. Shen et al. (2019)은 초미세먼지의 발생을 도시화와 급속한 경제성장과 연계하여 2014년부터 2018년까지의 초미세먼지 분포와 계절별 미세먼지의 변화를 지역별로 비교하였다. 특히 초미세먼지의 높은 지역 간 공간종속성은 내륙지역에서 발생하며, 낮은 지역 간 공간종속성은 연안지역으로 한정되어 나타나는 현상을 발견하여 도시화에 따른 초미세먼지 발생에 대한 대응 정책의 필요성을 역설하였다. Mi et al. (2019) 역시 도시화로 인해 초미세먼지 발생이 집적되는 현상에 대한 대기오염에 대한 집적 정도의 과학적인 근거를 제시하였다. 그 역시 공간자기상관을 사용하여 초미세먼지의 지리적인 분포의 집중 정도를 제시하였으며, 연도별·월별·일별

초미세먼지의 분포 특성을 지역별로 제시하여 차별화하였다. 미세먼지에 의한 영향 외에 미세먼지 배출의 원인을 보다 근본적으로 산업과 연계하여 제시한 연구 역시 이루어졌다. Takahashi et al. (2014)은 아시아 국가의 초미세먼지 배출량을 생산 및 소비기반으로 제시하였으며, 국가 간의 영향을 반영하였다. 정기호 외(2009) 역시 환경산업 연관모형을 구축하여 이산화탄소 배출량 변동에 따른 예측과 함께 최종수요 변화에 따른 영향을 제시하였다. Liang et al. (2018)은 생산기반을 통한 배출계수 산출로 총생산 및 소비기반의 대기오염물질의 배출량을 산정하였다. 김의준·문승운(2018)은 Liang et al. (2018)의 방법론을 적용한 지역별 산업연관표를 활용하여 미세먼지와 초미세먼지의 유발계수를 도출하였으며, 미세먼지 배출량을 생산기반과 소비기반으로 구분하여 제시하였다. 이 연구는 대기오염물질 중 미세먼지와 초미세먼지의 배출원 분류를 지역별 산업과 연계하여 제시함으로써 기존 연구와 차별되었다. 특히 지역별 배출원 분류에 따라 배출량이 존재하게 될 때 추가적으로 미세먼지 배출량을 산정(김윤경, 2011)해야 하는 과정이 생략되어 적용되었다.

경제성장을 대기오염의 영향으로 고려한 연구 역시 진행되었다. Lozano and Gutiérrez(2008)는 Non-parametric DEA를 사용하여 인구, GDP, 에너지소비,  $CO_2$  발생과의 관계를 규명하였다. 특히 최적 경제성장을 위한  $CO_2$  발생 정도를 제시하여 기존 연구와 차별되었다. 대기오염 변화에 따른 경제성장 변화 정도 역시 고려되었으며, Xue et al. (2014)은 이산화탄소 발생을 화석에너지 소비 및 경제성장과의 관계로 설정하여 이산화탄소 발생에 따른 경제성장의 관계를 VAR모형을 사용하여 분석하였다. 더불어 그의 연구는 개별 요인들의 지역별 관계를 파악하여 영향 요인간의 관계를 제시하였다. Guan et al. (2014) 역시 초미세먼지 발생에 미치는 사회경제적인 요인을 환경투입산출표를 사용하여 분석하였다. 이들은 특히 환경투입산출표를 구조분해하여 인구증가, 효율성, 생산구조, 소비구조, 1인당 GDP로 초미세먼지 발생의 주요 추동체를 추출하였다. 장경수·여준호(2015)는 한국과 중국의 경제성장이 한국의 미세먼지 발생에 미치는 영향을 오차수정모형을 사용하여 분석하였다. 이 연구는 한국과 중국의 실질 GDP 증가에 따른 미세먼지 농도의 심화 정도가 제시되었으며, 환경개선 노력 정도에 따라 감소하는 환경오염정도가 도출되었다. Wang et al. (2015)은 토지, 경제, 인구, 기반시설, 공공서비스, 환경부분으로 구분한 도시의 시계열 발전 지수를 산출하

여 도시 발전에 따른  $CO_2$  발생의 인과관계를 파악하였다. 그의 연구는 도시 발전 지수와  $CO_2$  발생량이 연계되어 있는 특성을 제시함으로써 장기적으로  $CO_2$  발생 저감을 위한 최적화된 도시화 규모 및 도시계획의 중요성을 피력하였다.

계절성에 대한 관계 역시 고려되어 Vellingirl et al. (2015)은 초미세먼지와 미세먼지의 일별 변화 패턴 관측을 통해 계절성이 존재하는 특성을 밝혔으며, 봄철과 겨울철 서울 용산구의 초미세먼지와 미세먼지가 상대적으로 높은 패턴을 제시하여 계절성이 존재하는 특성을 파악하였다. 더불어 풍속과 온도가 증가할 경우에 초미세먼지 및 미세먼지가 각각 감소 및 증가하는 관계를 제시하였다. Park et al. (2019)은 서울의 시간당 초미세먼지 발생의 원인을 풍속, 풍량, 강수량으로 구분하여 그 원인을 파악하였다. 특히 풍속, 풍량, 강수량을 단계별 및 권역별로 구분하여 초미세먼지 발생에 미치는 원인을 구분하였으며, 초미세먼지 구성요인의 변화를 공기전염, 자동차, 마모된 타이어 사용, 석탄 사용, 쓰레기 소각 등에 따른 이온성분(황산염, 질산염, 암모늄이온 등)과 금속화합물 등의 변화로 재구성하였다. 이들의 연구는 초미세먼지를 구성하는 요인들의 변화 정도를 기상변화와 연계한 점에서 차별적인 특성을 나타냈으나, 외부적인 요인에 의한 서울의 초미세먼지 변화를 제시하지는 못하였다.

시점별 영향을 중심으로 초미세먼지의 발생을 공간과 시점을 융합한 연구가 이루어졌으며, 시간에 대해서는 주로 월별 변화, 지리적인 특성에 대해서는 지역을 연계·반영하여 초미세먼지의 시공간적 분포 특성이 연구되었다. Vellingirl et al. (2015)은 서울 중심지인 용산을 대상으로 미세먼지 및 초미세먼지의 집중 정도를 일별자료를 활용하여 관측하였으며, 미세먼지,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ 의 집중은 교통 및 산업화에 기인한다고 주장하였다. 더불어 이 연구는 아시아의 먼지(dust), 화산폭발, 중국, 러시아, 일본의 산업화를 미세먼지의 주요 원인으로 설정하였다. Wang et al. (2016)은 미세먼지 발생을 대기질 및 건강과 연계하여 중요성을 피력하였으며, 경제, 도시화, 산업화에 따른 공간적인 집적 정도를 Moran's I를 적용하여 공간 및 시점 변화에 따른 미세먼지의 분포를 측정함으로써 도시화 및 건설업과의 양적인 인과관계를 규명하였다. Jin et al. (2017)은 경제발전이 따른 대기오염의 공간 및 시간상의 분포 변화를 카토그램(cartogram)을 사용하여 초미세먼지 발생의 공간적 자기상관을 제시해 과거 10년간 초미세먼지의 발생이 지역 간 연계되어 있다는 특성을 밝혔다. 특히 중국의 서부

(west) 및 동부(east) 지역의 초미세먼지 발생의 극명한 차이를 화력발전소, 바이오매스 연료(biomass burning), 초미세먼지 유발 건축자재 사용으로 그 원인을 지목하였다. Yan et al. (2018)은 지역 간 협력에 의해서 초미세먼지의 발생을 제어하기 위한 초미세먼지의 분포 특성을 파악하기 위하여 공간자기상관에 의한 미세먼지의 집적 정도를 파악하였다. 더불어 지리적인 연계성을 활용한 월별 초미세먼지의 분포를 제시하여 지리적인 특성과 함께 시점 간 특성을 연계하였다. 반면 월별 초미세먼지의 변화에 대한 연구를 통해 초미세먼지 분포의 시점별 변화를 파악하였으나, 어떠한 이유로 인하여 시점별 변화가 차별화되는지에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

공간적 분포에 대한 측면으로 Hu et al. (2014)은 차별화된 지역(북중국 평야, 양쯔강 지역, 주강 지역)의 33개 도시를 대상으로 3개월간의 시간별 미세먼지 및 초미세먼지 농도 자료를 활용하여 미세먼지 및 초미세먼지의 원인을 도시화 및 경제성장에서 탐색하였다. 이들은 미세먼지 및 초미세먼지의 집중이 250km 내 도시에서 관측되며 풍속과는 부(-)적 관계가 형성된다는 특성을 제시하였다.<sup>3</sup> 타 연구에서의 미세먼지 분포에 따른 영향 정도 및 원인 파악과는 달리, Rohde and Muller(2015)는 미세먼지를 포함한 대기오염 물질의 변화 정도를 지도화하여 지리적인 대기오염 물질의 근원을 제시하였다. Lin et al. (2015)은 초미세먼지의 공간적인 분포를 도출하였으며, 지리적으로 차별되는 지역에서 발생하는 초미세먼지의 발생 원인을 도출하였다. 특히 대상지역의 연별 초미세먼지의 분포를 1km×1km 격자로 구분하여 연도별 초미세먼지 분포의 흐름을 제시하여 기존 연구와 차별화하였다. 또한 초미세먼지 분포의 집중 정도를 인구분포, GDP 분포, 도시화면적과 우선 비교하였으며, 이후 모든 요인을 고려하여 지리적으로 차별되는 영향 정도를 도출하였다. Li et al. (2019)은 초미세먼지의 원천을 지역 차원에서 도출하여 기존 연구와 차별화하였으며, 자원에 의존한 지역경제 특성을 가지고 있는 Jing-Jin-Ji 지역을 대표적인 오염 유발 지역으로 구분하였다. 특히 지역 간 협치(collaborative governance)를 통한 오염발생량 저감 정책을 도입하는 것이 우선적으로 필요한 당위성을 제시하였으며, 초미세먼지 발생의 연계 정도를 지역을 고려하

<sup>3</sup> 풍속과의 부(-)적인 관계가 존재하는 것은 미세먼지 및 초미세먼지가 주변지역으로 파급될 때 풍속과 영향관계가 없다는 것을 의미하는 것이 아닌, 느린 풍속으로 인하여 미세먼지 및 초미세먼지가 발생 지역에 정체되는 것을 의미하는 것으로 판단된다.

여 일(day)변화에 따른 지역간 연계 특성을 제시하여 차별화하였다. Mi et al. (2019)은 초미세먼지 발생에 대한 공간적인 특성을 활용하여 도시화와 연계하였다. 특히 Hefei 시를 포함한 Anhui 성 내 지역들 간 초미세먼지 발생의 공간의존성을 반영하여 초미세먼지의 집적 정도를 제시하였으며, 특히 일별 초미세먼지의 분포에 대한 변화 정도를 고려하여 대상 지역의 초미세먼지의 분포 변화를 제시하였다. 초미세먼지의 시점별 분포와 유사하게 공간적 분포 역시 초미세먼지의 발생 정도를 지역별로 투영하여 반영하였다. 반면 지역별로 차별화하되 초미세먼지가 발생하게 되는 원인 파악은 이루어지지 않았다.

미세먼지 발생에 대한 결정요인 도출에 대하여 박순애·신현재(2017)은 시·도를 대상으로 초미세먼지 발생의 결정요인을 국내 및 국외 요인으로 구분하여 경유 소비량, 석탄화력 발전 거래량, 화학, 시멘트 제조업 생산지수를 국내요인으로 중국과의 거리 접근성, 월별 서풍계형 풍향일수 비율을 국외요인으로 구분하여 패널분석을 활용한 초미세먼지 발생의 결정요인을 도출하였다. Tai et al. (2010)은 초미세먼지와 기상변화와의 관계를 규명하였으며, 특히 월별 및 계절별 영향, 풍속, 풍향, 온도, 습도와의 인과관계 및 영향을 고려하여 지역별로 차별되는 초미세먼지 발생 정도를 파악하였다. 미세먼지로 인한 영향을 대기 내 수온과 연계하여 고려한 연구 역시 이루어졌으며, Nguyen et al. (2010)은 제주도 대기 내 수온 집중이 봄, 가을, 낮에 상대적으로 큰 특성과 한국의 산업화, 중국의 먼지, 일본의 화산활동으로 대기 내 수온 집중이 영향 받는 특성을 파악하였다. 특히 중국 먼지, 즉, 미세먼지가 대기내 수온 분포에 미치는 영향을 분석하여 기존 연구와 차별화하였다. Zhao et al. (2012)은 85개 도시를 대상으로 한 일별 모니터링으로 공기질에 대한 단계를 구분하고, Hierarchical partitioning method을 사용하여 공기질에 미치는 사회 및 경제적인 요인을 분석하였다. 특히 개발된 지역(area), 시점차이(lag), 영향요인 등을 그룹화하여 반영하여 기존 연구와 차별되었다. Fang et al. (2015)은 대기질에 미치는 도시화의 영향 및 공간적인 변이(variation)을 Global 및 Local Moran's I, OLS, SAR(spatial LG model), 그리고 GWR(geographically weighted regression)을 사용하여 분석하였다. 이들 연구는 지역의 차별적인 대기질에 미치는 지역적인 특성을 고려한 점에서 타 연구와 차별화되었다. Fang et al. (2015)과는 다르게, Han et al. (2014)은 초미세먼지 발생의 지역별

차이를 통한 공간적인 벨트(belt)를 구성하였으며, 더불어 인구, 도시화지역 규모, 2차 제조업 비율과 초미세먼지 발생의 양(+ )적인 관계를 제시하였다. Jin et al. (2017)은 중국 동서부 지역의 초미세먼지 발생에 대한 차이를 1인당 GDP와 연계한 Kuznets 곡선의 도출과 함께 초미세먼지의 결정요인을 산업별 요인으로 구분하였다. 또한 초미세먼지 발생에 영향을 미치는 요인으로 에너지소비, 바이오매스 사용, 교통, 화력발전소, 비철금속용해(non-ferrous metal smelting), 쓰레기소각, 화학제품, 건축재료, 금속 등으로 구분하여 산업별 특성을 반영하였다. Ledoux et al. (2017) 역시 초미세먼지 발생의 원인을 유리 및 금속 가공에 의한 금속 사용으로 지목하였다. 특히 유리 및 금속 가공 공장에 의한 초미세먼지 발생이 35km까지 영향을 미치는 결과를 통해 초미세먼지가 미치는 영향을 거리 기준으로 도출하였으며, Constrained weighted non-negative matrix factorization 모형의 사용으로 유리 및 금속 가공 공장이 초미세먼지 집중의 2.7%를 설명하지만 초미세먼지를 구성하는 금속의 구성에는 약 80% 영향을 미친다는 현상을 발견하였다. Yang et al. (2018)은 국가 간 초미세먼지의 분포 특성 외에 초미세먼지의 발생 원인을 산업별 부가가치, 도시화율, GDP 변화율로 고려하였다. Ji et al. (2018) 역시 79개 국가를 대상으로 초미세먼지 발생의 원인을 사회경제적인 요인인 도시화와 산업화에 기반한 소득, 에너지 집중도(energy intensity), 도시화에서 그 원인을 파악하였다. 특히 위도(latitude)를 사용한 국가의 초미세먼지 집중정도를 명확하게 산출하여 기존 연구와 차별화하였다. 더불어 초미세먼지 집중도에 영향을 미치는 경제적인 활동의 요인으로 인구, 1인당 GDP, 산업구조, 에너지 집중도(1인당 GDP 중 에너지 사용), 도시화정도, 지역 및 시간 더미등을 고려하였다. Yang et al. (2019)은 구조적인 분해방법을 사용하여 초미세먼지 발생의 원인을 산업적인 원인으로 구분하였으며, 국내 및 국외 영향 중 어떤 요인에 의해서 초미세먼지가 발생하게 되었는지를 제시하였다. 특히 초미세먼지 발생의 원인을 1인당 소비, 산업간 관계, 인구, 소비패턴, 초미세먼지 발생 집중도, 거주자의 소비로 인한 영향 등으로 구분하여 초미세먼지의 원인을 파악하는 기존 연구와 차별화하였다. 반면 초미세먼지의 발생 원인을 산업 등으로 확장하여 분석하였으나, 초미세먼지 발생 원인을 국가적 단위의 원인으로 국한하여 파악하였다.

초미세먼지의 발생 원인을 찾는 연구 외에 지역적인 특성을 반영하여 초미세먼지의

발생 및 분포 원인을 찾는 연구 역시 진행되었다. Huang et al. (2018)은 건기(dry season) 주강(Peral river)의 기상 변화로 인한 초미세먼지의 발생 원인을 도출하였다. 이들 연구는 지리적인 위치와 오염물질 발생의 상대적인 강도를 기준으로 광둥지방을 8개의 지역으로 구분하였으며, 초미세먼지 발생의 근원 중 산업적인 요인에 의한 영향이 가장 큰 것으로 제시하였다. 더불어 초미세먼지를 구성하는 구성요인에 미치는 지역적인 영향이 초미세먼지의 화학적인 구성원인과 유사한 특성을 도출하였다.

더불어 미세먼지에 대한 영향은 대도시를 중심으로 논의가 주로 되어왔으나, 점차 주변 지역으로 확대되는 오염 특성이 파악되었다(Hu et al. 2014). 특히 도시화로 인해 대기질이 악화되는 정도를 고려하였으나, 이와는 상반되는 결과 역시 고려되었다. Cho and Choi(2014)는 도시화 정도가 진척됨에 따라 변화되는 오염물질 분포와 녹지 변화를 고려하여 도시화 정도가 대기오염에 미치는 영향을 분석하였다. 이들 연구는 도시 중심에 집중된 오염물질 유발 원인으로 대기오염 정도에 미치는 영향이 절대적이지 않은 결과를 도출하여 기존 연구와 차별되었으며, 도시화가 대기질에 미치는 영향 역시 절대적이지 않은 결과를 도출하였다. Fang and Wang(2013)은 궁극적으로 도시화의 진전으로 인한 환경과의 문제점을 인식하며, 환경과 절충될 수 있는 도시화의 정도를 유도하였다. 즉 도시화로 인한 환경 악화를 방지하기 위한 절충점의 필요성을 제시하며 도시화 정도에 따라 변화하는 친환경 정도를 제시하였다.

미세먼지가 건강에 미치는 인과관계 및 영향에 대한 연구 역시 이루어졌다. Hackmann and Sjöberg(2017)는 초미세먼지 노출로 조산의 위험성이 증가하는 미세먼지로 인한 악영향을 유해임신결과(adverse pregnancy outcomes) 측면에서 제시하였다. Zhang et al. (2019)은 초미세먼지 발생으로 질병 유발 정도가 증가하였다고 주장하였으며, 기존 특정 지역을 대상으로 초미세먼지의 집중 정도를 연구한 기존 연구의 한계를 중국의 동부, 중앙, 서부지역으로 구분한 152개 도시로 확장한 로그평균디비지아지수(LMDI) 방법을 사용하여 초미세먼지 발생의 중요 요인을 도출하였다. 이들은 초미세먼지 발생의 원인을 경제적 성과, 에너지 집중도, 배출 집중도, 인구 등에서 그 원인을 파악하여 초미세먼지 저감을 위한 정책의 기반으로 사용할 것을 권고하였다.

환경정책 측면에서 Xia et al. (2014)은 도시화로 인하여 대기질이 악화되는 정도를 도시, 도농, 농촌 지역을 대상으로 분석하여 기존 연구와 차별화하였으며, 특히 대기

질을 완화시키기 위한 1990년대 이후 환경보호 정책으로 인하여 대기질이 개선되는 결과를 도출하였다. 또한 기준설정과 관련하여 Yuan et al. (2012)은 과거 10년간 중국 대도시의 초미세먼지 농도가 미국 기준을 상회하는 것을 지적하였으며, 초미세먼지 발생량에 대한 새로운 기준의 필요성을 주장하였다. 이를 위해 모니터링에 대한 중요성과 함께 초미세먼지 발생에 대한 부존량 조사의 필요성을 제시하였다.

## 2. 방법론 관련 선행연구 구분

시점별 변화(temporal variation)에 대한 대표적인 연구는 Xia et al. (2014)의 연구로 대기질을 결정할 수 있는 대기질 집중도 지수의 개발을 통해 지역의 특성에 따라 1인당 GDP와의 연계성을 연도별로 제시하였다. 시간의 변화에 대한 측면은 미세먼지의 시점별 흐름을 통해 변화 양상을 제시하였으며, 주로 연별·월별·일별 변화를 제시하였다. 대기오염물질의 집중도에 관련한 연구 중 Han et al. (2014)은 초미세먼지의 지역별 집중도 차이(concentration difference)에 따른 지역별 분류를 고려하였다. 이들 연구는 초미세먼지의 전체 분포 제시 외에 초미세먼지의 지역별 차이를 제시하였으며, 이를 반영하여 초미세먼지 집중에 따른 Beijing-Sichuan 및 Shanghai-Guangxi 벨트를 파악하였다. 더불어 미세먼지의 공간적 특성을 추가적으로 고려할 경우에는 공간계량을 활용한 Hotspot 분석에 대한 LISA, GMI(Global Moran's I), LMI(Local Moran's I)를 적용하였다. 공간적인 특성은 미세먼지를 구성하는 요인 파악에도 사용되었으며, 이 경우에는 SAR(Spatial autoregressive), SEM(Spatial error model), GWR(Geographically weighted regression)이 활용되어 지역 간 연계를 반영함으로써 기존 전통적인 회귀분석의 단점을 반영하였다. 결정요인의 파악 외에 기여도를 파악하는 경우 주로 구조분해(structural decomposition analysis, SDA)가 활용되었다. 이는 시점별 변화 및 역할 구분을 파악할 수 있는 장점이 있다. 지역별 및 산업별 산업연관표 역시 사용되었으며, 특히 환경투입산출표(Environmental Input-Output table)를 구축·적용하였다. Guan et al. (2014)은 환경투입산출표를 구조분해하여 미세먼지 발생에 미치는 영향을 도출하였으며, 최한주·이기훈(2006)은 산업연관표와 SDA를 혼합하여 사용함으로써 산업별  $CO_2$  유발계수 및 배출량을 산출하였다. Liang et al. (2018), 김의준·문승운(2018)

은 이를 좀더 확장하여 각각 국가 간 및 지역 간 다지역산업연관표를 기반으로 한 생산 및 소비 기반 대기오염 및 미세먼지의 배출량을 산정하였다. 또한 지역의 경제성장과 미세먼지의 발생을 연구한 장경수·여준호(2015)는 변수 간 공적분 상태를 고려한 오차 수정모형을 사용하여 경제성장에 따른 미세먼지 발생 정도를 연구하였다. 이외에 ARCH 및 Networking analysis를 기반으로 한 미세먼지 배출 관련 시계열적인 변화와 지역 간 연동을 고려한 모형이 사용되었다.

### 3. 연구흐름 변화 및 시사점

대기오염의 부정적인 영향이 주로 발생하였던 중국의 경우에도 초미세먼지에 대한 자료는 2014년부터 공급되고 있어, 기존의 연구들은 도시화와 연계되어 초미세먼지의 지리적인 집중도에 대한 변화를 제시하는 초미세먼지 연구의 한계가 파악되었다. 반면 이를 활용하여 어떠한 이유로 인하여 초미세먼지가 발생되었는지 또는 초미세먼지의 집중으로 인한 외부적인 영향이 무엇인지에 대한 영향 정도의 결과는 상대적으로 미흡하게 제시되었다. 더불어 초미세먼지 관련 산업의 발전 정도와 산업구조의 변화를 초미세먼지 발생의 원인으로, 즉 산업의 생산량 및 GDP 대비 부가가치 비율을 적용하여 산업 활성화에 대한 영향을 고려하였지만, 산업 간 연계에 대한 구체적인 영향 정도의 고려는 상대적으로 미흡하였다. 따라서 본 연구는 초미세먼지 발생으로 인한 집중 정도, 국가 간 및 지역 간 성장 정도와의 관련성, 초미세먼지 발생의 결정요인, 지역별 지리적인 관계를 이용한 지역 간 연계관계에 대한 근거를 제시함으로써 기존 연구와의 차별성을 고려하였다.

**【표 2-4】** 미세먼지 관련 선행연구의 시사점

구 분	목적 및 기여	주요 시사점
최한주·이기훈 (2006)	환경혼합 산업연관모형 개발 및 구조분해분석	• 이산화탄소 유발계수 산출 및 최종수요 변화에 따른 효과 제시
정기호 외 (2009)	환경산업연관모형 구축	• CO <sub>2</sub> 배출량 변동 예측 및 수요변화에 따른 파급효과 제시

구 분	목적 및 기여	주요 시사점
박필주 외 (2009)	산업별 이산화탄소 배출 원단위 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산업별 이산화탄소 배출량 산정</li> <li>• 추정된 배출량과 실제 배출량과의 관계 제시</li> </ul>
김윤경 (2011)	환경산업연관표의 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경산업연관표를 이용하여 이산화탄소 배출량 산정</li> </ul>
장경수·여준호 (2015)	한국과 중국의 경제성장이 한국의 미세먼지 농도에 미치는 영향 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한국과 중국의 경제성장에 따른 미세먼지의 증가</li> <li>• 환경쿠츠네츠 곡선의 도출</li> </ul>
박순애·신현재 (2017)	국내 및 국외 요인 구분	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내요인: 경유 소비량, 석탄화력 발전 거래량, 화학, 시멘트 제조업 생산지수</li> <li>• 국외요인: 중국과의 거리 접근성, 월별 서풍계형 풍향일수 비율</li> </ul>
김의준·문승운 (2018)	지역별 산업연관표를 활용한 미세먼지 배출계수 산출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼지 및 초미세먼지에 대한 지역별 생산기반 및 소비기반 배출량 산출</li> </ul>
Lozano and Gutiérrez (2008)	인구, GDP, 에너지 집중도와 연계하여 효율성, 최대 GDP, 최소 온실가스 산출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GDP가 극대화될 수 있는 인구, 온실가스, 기술력을 고려</li> </ul>
Nguyen et al. (2010)	대기 중 수은 집중에 미치는 요인 산출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한국, 중국, 일본의 영향 요인 도출</li> <li>• 대기 중 수은의 계절성 및 시간별 특성 제시</li> </ul>
Tai et al. (2010)	초미세먼지 발생에 미치는 영향요인 산출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지와 기상변화와의 관계 규명</li> <li>• 월별 및 계절별 영향, 풍속, 풍향, 온도, 습도와 의 인과관계 및 영향 제시</li> </ul>
Yuan et al. (2012)	초미세먼지 모니터링의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지 발생량 파악을 위한 모니터링 및 부존량 조사에 대한 필요성 제시</li> <li>• <math>SO_2</math>, <math>NO_x</math>, <math>CO</math>, <math>CO_2</math> 발생에 미치는 초미세먼지의 영향</li> </ul>
Zhao et al. (2012)	초미세먼지에 미치는 결정요인 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 그룹화(partition)된 결정요인의 영향 정도 분석</li> <li>• 광업 및 제조업의 부정적인 요인</li> <li>• 시차에 의한 영향 반영</li> </ul>
Chen et al. (2013)	기대수명과 대기오염과의 관계 규명	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화석연료를 사용하는 북중국 인구의 기대수명은 타 지역의 인구의 기대수명 대비 5.5세 적음</li> </ul>
Fang and Wang (2013)	도시화와 친환경성의 관계 제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시화와 친환경성의 단계별 관계 정립</li> </ul>
Han et al. (2014)	도시화와 초미세먼지 발생 관계 규명	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지 발생 지역의 농도가 주변 지역에 비해 높음</li> <li>• 도시화로 인한 초미세먼지 발생</li> </ul>

구 분	목적 및 기여	주요 시사점
Cho and Choi (2014)	대기오염과 도시화의 관계 설정	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대기오염의 질을 악화시키는 도시화의 영향에 대한 명확한 근거가 없음</li> <li>• 도시에 집중된 오염물질의 집중이 대기질을 악화시키는 근거가 없음</li> </ul>
Hu et al. (2014)	미세먼지의 시간별 변화 제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시간별 농도자료를 활용하여 대상 지역에서의 농도변화와 풍향과의 관계 제시</li> </ul>
Xia et al. (2014)	도시화와 대기질 관계 규명	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시화로 인한 대기질 악화</li> <li>• 환경정책 운영을 통한 대기질 안정세 전환</li> </ul>
Xue et al. (2014)	경제성장에 미치는 이산화탄소의 역할	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이산화탄소, 경제성장, 화석에너지 사용 간 시계열 관계 제시</li> </ul>
Takahashi et al. (2014)	생산 및 소비 기반 초미세먼지 배출량 산출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아시아 9개국의 초미세먼지 발생 인과관계 제시</li> </ul>
Guan et al. (2014)	초미세먼지 발생에 미치는 사회경제적인 요인 도출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OECD 국가에서의 중국 상품 소비로 인한 중국의 수출증대는 초미세먼지의 유발 견인</li> </ul>
Lin et al. (2014)	초미세먼지의 발생 원인을 공간접근성을 고려하여 도출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지의 집중과 공간적인 분포 제시</li> <li>• 초미세먼지 유발 요인으로 인구집중, 도시화, 경제성장 제시</li> </ul>
Rohde and Muller (2015)	초미세먼지, $SO_2$ , $NO_2$ , $O_3$ 발생 정도의 지리적인 매핑	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대기오염물질의 지리적인 매핑을 통한 대기오염정도의 변화 제시</li> </ul>
Vellingirl et al. (2015)	초미세먼지 및 미세먼지이 원인 및 관계 규명	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지 및 미세먼지 발생의 계절성 존재</li> <li>• 초미세먼지 및 미세먼지 발생 원인으로 교통, 산업화, 화산재, 먼지를 지목</li> </ul>
Fang et al. (2015)	대기질에 미치는 도시화의 영향 및 변이 정도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지역의 대기질은 공간적인 의존성이 존재함</li> <li>• 도시화로 인해 대기질은 악화되며, 지역별 도시화 정도에 따라서 대기질의 변화는 차별화되어 나타남</li> </ul>
Wang et al. (2015)	도시성장과 $CO_2$ 발생량과의 관계 제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시발전 정도에 대한 지수 산출</li> <li>• 패널분석을 활용한 도시발전지수와 공적분관계 제시</li> <li>• <math>CO_2</math> 발생 저감을 위한 도시계획의 중요성 피력</li> </ul>
Wang et al. (2016)	초미세먼지의 시간 및 공간적 분포 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지의 집중은 도시화 및 건설업과의 양(+)-적인 관계, GDP와는 부(-)적인 관계 형성</li> <li>• 가을, 겨울에 초미세먼지의 높은 집중이 이루어졌으며, 봄·여름에 상대적으로 낮은 집중</li> </ul>

구 분	목적 및 기여	주요 시사점
Hackmann and Sjöberg (2017)	미세먼지 노출과 유해임신결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지 노출로 인한 임신기간 단축 및 조산 위험성 증가</li> </ul>
Ledoux et al. (2017)	초미세먼지 발생의 원인은 유리 및 금속 가공에 의한 금속 사용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유리 및 금속 가공 공장에 의한 초미세먼지 발생이 35km까지 영향</li> <li>• 유리 및 금속 가공 공장은 초미세먼지 집중의 2.7%를 설명, 초미세먼지 구성요인인 금속에는 약 80% 영향</li> </ul>
Jin et al. (2017)	초미세먼지로 인한 연무(haze) 감소의 효과적인 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공간자기상관을 활용한 초미세먼지와 GDP, 인구와의 관계</li> <li>• 화력발전소, 바이오매스 연료(biomass burning), 초미세먼지 유발 원자재 사용을 원인으로 지목</li> </ul>
Liang et al. (2018)	MRIO를 사용한 지역 간 대기오염 배출량 산정 모형 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대기오염물질 배출량을 생산 및 소비기준으로 산출</li> <li>• 지역을 생산, 최종생산, 소비지역으로 구분할 수 있는 근거 제시</li> </ul>
Huang et al. (2018)	초미세먼지 발생 원인 규명	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산업적 및 지리적인 영향에 의해 초미세먼지 발생</li> <li>• 산업별 대기오염 발생 항목 추출</li> <li>• 대기오염 발생 원인을 산업, 전력, 교통, 농업, 주거로 한정</li> </ul>
Ji et al. (2018)	초미세먼지 발생의 사회경제적 결정요인 도출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지 집중도에 미치는 경제적인 활동의 영향을 인구, 1인당 GDP, 산업구조, 에너지 집중도(1인당 GDP 중 에너지 사용), 도시화정도, 지역 및 시간 더미로 구분</li> </ul>
Wang et al. (2018)	초미세먼지 발생 원인	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가를 발전단계에 따른 유형화로 초미세먼지의 원인을 파악</li> <li>• 산업, 교통, 도시화로 원인을 구분</li> </ul>
Yan et al. (2018)	초미세먼지의 시공간 분포	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지역별로 구분된 월별 초미세먼지의 분포</li> <li>• 월별 초미세먼지 집적이 이루어지는 지역의 파악</li> </ul>
Yang et al. (2018)	초미세먼지의 국가 간 분포 변화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지 발생을 산업과 경제성장과의 관계로 고려</li> <li>• 특히 산업별 부가가치, 도시화율, GDP 변화율을 결정요인으로 고려</li> </ul>
Shen et al. (2019)	도시성장속도와 연계 지역 간 공간중속	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공간중속성에 의한 내륙지역 미세먼지 발생</li> </ul>

미세먼지 저감을 위한 지방자치단체 대응방안

구 분	목적 및 기여	주요 시사점
Li et al. (2019)	지역 간 초미세먼지 흐름 파악	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지의 일변화에 기초한 지역 간 초미세먼지의 흐름 파악</li> <li>• 지역 간 협치를 통한 오염발생량 저감 정책의 필요성 제시</li> </ul>
Mi et al. (2019)	초미세먼지의 지역 간 집적	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 계절별로 초미세먼지 발생에는 지리적인 의존성이 발생</li> </ul>
Yang et al. (2019)	초미세먼지의 발생원인에 대한 구조분해	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조분해에 의한 초미세먼지의 발생 기여도 구분</li> <li>• 산업별·연도별 초미세먼지 발생의 원인 제시</li> </ul>
Zhang et al. (2019)	초미세먼지 유발 결정요인에 대한 구조분해	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초미세먼지의 부정적인 영향을 질병유발 측면에서 고려</li> <li>• 초미세먼지 발생의 원인을 경제, 인구, 에너지 집중, 배출 집중 등으로 구분</li> </ul>
Park et al. (2019)	도시 초미세먼지 발생의 원인 도출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 풍속, 풍량, 강수량의 기여 정도 파악</li> <li>• 초미세먼지 구성요인의 변화를 공기전염, 자동차, 마모된 타이어 사용, 석탄 사용, 쓰레기 소각 등에 따른 이온성분(황산염, 질산염, 암모늄이온 등)과 금속화합물 등의 변화로 재구성</li> </ul>

## 제3장



# 미세먼지 현황 및 정책 분석

제1절 미세먼지 관련 현황 분석

제2절 미세먼지 대응 정책 현황

제3절 대기오염에 대한 인지도 변화



## 제1절 미세먼지 관련 현황 분석

### 1. 미세먼지 변화 흐름

연도별 발생량을 기준으로 미세먼지와 초미세먼지는 급격한 증가세에 직면하고 있다. 미세먼지는 2015년을 기준으로 2005년 대비 230% 증가하였으나, 연도별 미세먼지 발생량에는 일정한 규칙이 존재하지 않는다. 반면 전년대비 미세먼지의 증가율을 고려한 결과 2009년, 2012년, 2014년을 제외하고 대부분 전년 대비 증가하는 것으로 나타났다. 2015년을 제외한 전년 대비 평균 증가율은 약 90%로 매년 미세먼지는 증가하는 것으로 나타났다.

【표 3-1】 연도별 미세먼지 및 초미세먼지 발생량

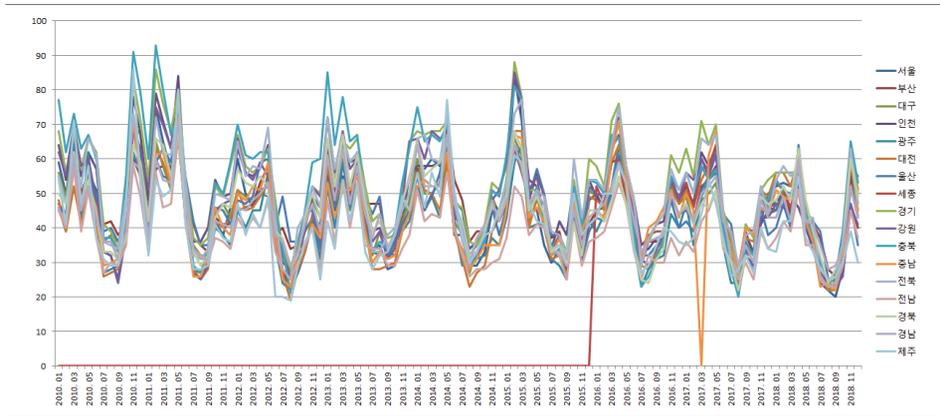
(단위: 천 톤)

구 분	미세먼지		초미세먼지	
	발생량	증가율	발생량	증가율
2005	67.3	-	-	-
2006	64.8	-4%	-	-
2007	97.8	51%	-	-
2008	110.5	13%	-	-
2009	103.4	-6%	-	-
2010	116.5	13%	-	-
2011	130.8	12%	-	-
2012	119.7	-8%	-	-
2013	121.3	1%	76.5	-
2014	97.6	-20%	63	-18%
2015	222.1	128%	96.9	54%

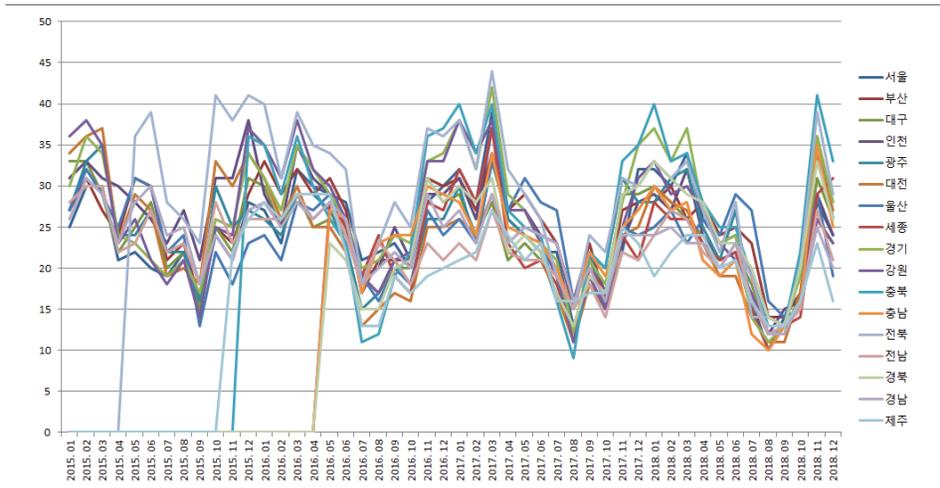
자료: 국립환경과학원(2019)

반면 월별·지역별 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 주기적인 패턴을 갖는 것으로 나타났다. 여름철은 미세먼지 및 초미세먼지 발생이 감소하며, 가을부터 봄까지 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 증가하는 것으로 나타났다.

[그림 3-1] 월별·지역별 미세먼지 발생량

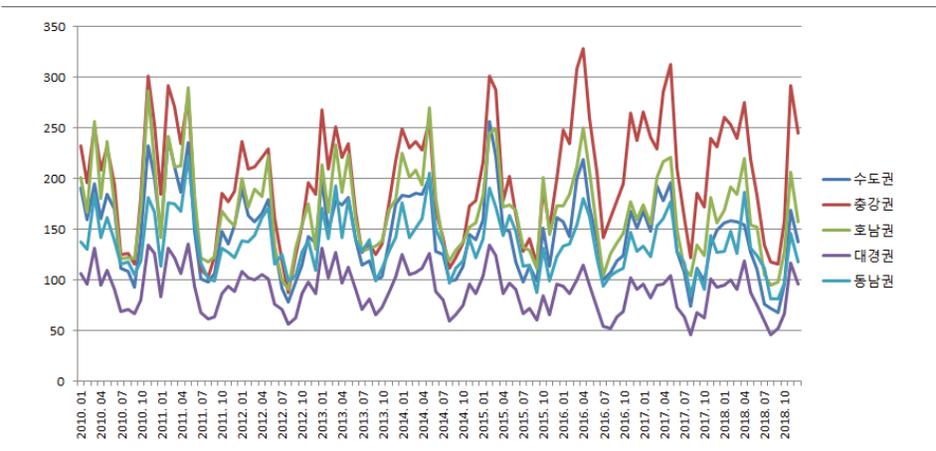


[그림 3-2] 월별·지역별 초미세먼지 발생량

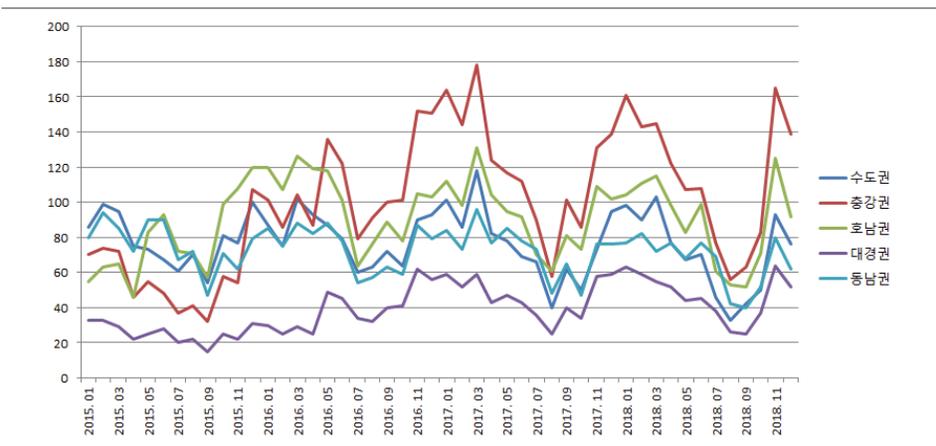


권역별로 미세먼지 및 초미세먼지 발생량을 총합하여 제시할 경우에는 보다 명확하게 미세먼지 및 초미세먼지의 발생 패턴을 파악할 수 있다. 일반적으로 8월에 가장 저점의 미세먼지 및 초미세먼지 발생량을 나타내며, 9월부터 급격히 증가하기 시작하여 6월까지 미세먼지 및 초미세먼지 발생이 증가하는 것으로 나타났다.

[그림 3-3] 월별·지역별·권역별 미세먼지 발생량



[그림 3-4] 월별·지역별·권역별 초미세먼지 발생량



## 2. 유형별 배출량

미세먼지 및 초미세먼지 발생량을 산업 및 가계 부문으로 확장할 경우에는, 2005년부터 2015년까지의 미세먼지 및 초미세먼지 발생이 산업부문에서 약 90% 이내, 가계 부문에서 10% 이내로 나타났다. 산업 부문에서의 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 지속적으로 90% 이상을 나타냈으며, 특히 2009년 이후부터는 미세먼지 및 초미세먼지 발생의 97% 이상이 산업부문에서 유발되었다. 산업 부문별 미세먼지 발생은 1차 및 3차 산업에서 감소하는 데 반해 2차 산업에서는 지속적으로 증가하였다. 또한 감소 추세에 있는 3차 산업의 미세먼지 발생은 주로 운수업인 것으로 나타났다. 반면 과거에 비해 운수업에서의 미세먼지 발생량은 상대적으로 감소 추세로 나타났다.

제조업을 중심으로 미세먼지 및 초미세먼지가 유발되어, 미세먼지와 초미세먼지는 제조업에서 각각 평균 61%, 56% 유발되는 것으로 나타났다. 특히 제조업 중 비금속 금속제품, 1차 금속제품 등의 생산으로 미세먼지가 유발되는 것으로 나타났다. 반면 제조업에서 유발되는 초미세먼지보다 미세먼지가 상대적으로 많이 유발되었다. 더불어 제조업 중 비금속 및 1차 금속제품의 생산 및 사용으로 인해 유발되는 발생량은 제조업 발생량 중 50% 이상 차지하고, 미세먼지와 초미세먼지는 각각 79.6%, 87%를 차지하였다. 비금속 제품, 1차 금속제품, 전기가스증기및수도사업, 운수업 중심으로 미세먼지 및 초미세먼지가 유발되었다. 제조업 중심으로 미세먼지 및 초미세먼지가 주로 유발되고 있으나, 전체 발생량 중 비금속 제품, 1차 금속제품, 전기가스증기및수도사업, 건설업, 운수업에서 발생하는 비율은 각각 평균 67.3%, 73.7%를 차지하였다. 반면 농업 부문에서의 발생량은 상대적으로 매우 적으며, 그 추이 역시 지속적으로 영향이 낮았다. 더불어 미세먼지보다는 초미세먼지의 농업부문 발생량은 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

[표 3-2] 산업 및 가계 부문 미세먼지 배출량

산업 및 가계별	(단위: 천 톤)													
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015			
합계	67.3	64.8	97.8	110.5	103.4	116.5	130.8	119.7	121.3	97.6	222.1			
산업 부문	61.1	55.9	92.7	106.2	100	112.9	127.7	117	118.8	95.1	208.3			
1. 농업, 임업 및 어업	2.9	3.4	2.6	2.4	2.8	2.8	2.4	2.6	2.5	4.2	36.9			
2. 광업	0.5	0.5	0.2	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5			
3. 제조업	23.7	21.7	60.9	80.7	71	83.8	98.1	86.9	88.8	68.3	84.2			
1) 석유, 화학 및 관련제품	4.4	3.8	7.6	9.1	5.9	10.3	11.1	5.3	5.1	2.5	4.3			
2) 비금속 광물제품	2.8	2.5	36.1	57	51.8	59.6	76.5	39.8	43.3	9	8			
3) 1차 금속제품	10.5	9.7	11.8	10	8	9.2	6.3	36.9	36.7	49.5	64.8			
4) 기타 제품	6	5.7	5.4	4.6	5.3	4.8	4.2	4.9	3.8	7.3	7.1			
4. 전기, 가스, 증기 및 수도사업	8.5	7.9	3.2	3.1	2.6	2.8	4.5	4.7	4.5	4.6	4.8			
5. 건설업	5.5	5	7.3	3.9	5	5.1	5.2	5.6	6.4	7.2	47.8			
6. 운수업	14.9	12.7	13.5	11.7	14.4	13.9	13.7	12.7	12.3	6	13.9			
7. 기타 산업	5.1	4.7	5.1	4	3.9	4	3.3	4.1	3.8	4.4	20.2			
가계 부문	6.2	8.9	5.1	4.3	3.4	3.6	3.1	2.7	2.4	2.5	13.8			

자료: 국립환경과학원(2019)

**[표 3-3] 산업 및 가계 부문 초미세먼지 배출량**

(단위: 천 톤)

산업 및 가계별	2013	2014	2015
합계	76.5	63	96.9
산업 부문	74.7	61.1	92.3
1. 농업, 임업 및 어업	2.2	3.8	16.9
2. 광업	0.3	0.3	0.2
3. 제조업	47.9	37.1	44.3
1) 석유, 화학 및 관련제품	3.1	1.9	2.3
2) 비금속 광물제품	22.7	4.5	4
3) 1차 금속제품	20.3	27	34.9
4) 기타 제품	1.8	3.6	3.1
4. 전기, 가스, 증기 및 수도사업	3.6	3.8	3.8
5. 건설업	5.9	6.6	11.2
6. 운수업	11.4	5.5	6.4
7. 기타 산업	3.4	4	9.4
가계 부문	1.8	1.9	4.6

자료: 국립환경과학원(2019)

가계 부문 유형별로는 소비목적별로 미세먼지는 난방, 초미세먼지는 수송 부문에서 발생하였다. 2015년 기준 미세먼지의 발생은 2005년 대비 난방 부문이 50% 감소한 반면, 수송으로 인해 유발되는 발생량은 232% 증가하였다. 따라서 난방연료 및 에너지 사용으로 인한 미세먼지 발생에 비해 수송 부문에서의 미세먼지 발생이 보다 크게 증가하였다. 초미세먼지의 발생 역시 난방 소비로 인한 초미세먼지 발생보다 수송 부문에서 발생하는 비율이 보다 크게 나타났다. 특히 수송 부문에서 유발되는 초미세먼지는 2013년 대비 2015년 311% 증가한 것으로 나타났다.

[표 3-4] 소비목적별 가계부문 배출량

(단위: 천 톤)

구 분	1. 난방		2. 수송		3. 기타	
	미세먼지	초미세먼지	미세먼지	초미세먼지	미세먼지	초미세먼지
2005	2.4	-	3.8	-	0	-
2006	2.8	-	6.1	-	0	-
2007	1.4	-	3.7	-	0	-
2008	1.5	-	2.7	-	0	-
2009	1.3	-	2	-	0	-
2010	1.6	-	2	-	0	-
2011	1.5	-	1.6	-	0	-
2012	1.4	-	1.2	-	0	-
2013	1.4	0.9	1	0.9	0	0
2014	1.2	0.8	1.2	1.1	0	0
2015	1.2	0.8	12.6	3.7	0	0

자료: 국립환경과학원(2019)

지역별 미세먼지 및 초미세먼지 배출량은 수도권에 비해 비수도권이 상대적으로 높게 나타났다. 발생 총량을 기준으로 할 경우 비수도권에서의 발생량이 수도권을 상회하였다. 미세먼지 및 초미세먼지의 수도권/비수도권 발생비는 2015년 기준으로 미세먼지는 2010년 대비 9.99배에서 3.8배, 초미세먼지는 2011년 대비 8.62배에서 5.11배로 큰 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 반면 수도권에서의 미세먼지 및 초미세먼지 발생의 급격한 증가로 수도권/비수도권 발생비는 수렴하는 특성을 나타냈다. 시·도별 미세먼지 및 초미세먼지 발생비는 큰 변화가 없이 지속적인 형태를 유지하였다. 일반적으로 광역시에 비해 광역도에서의 미세먼지 및 초미세먼지의 발생 정도가 높은 것으로 나타났다. 광역시 중에서의 미세먼지 발생은 서울, 부산, 인천 등의 순으로 상대적으로 증가가 크게 나타났다. 더불어 도시성장 정도가 큰 특성이 반영된 것으로 나타났고, 서울, 광주, 대전에서의 미세먼지 및 초미세먼지 발생 증가율이 상대적으로 크게 나타났다. 반면 광역도에서는 경기, 충남, 경북, 전남에서의 미세먼지 및 초미세먼지의 발생량이 상대적으로 크게 나타났으며, 충남에서의 발생량 증가가 373%로 2011년 대비 2016년 증가 정도가 가장 크게 나타났다. 발생 총량을 기준으로 할 경우 광역도에서의

발생량이 광역시를 상회하였다. 반면 미세먼지 및 초미세먼지의 광역시도 발생비는 2015년 기준으로 미세먼지가 2010년 대비 5.99배에서 5.46배, 초미세먼지가 2011년 대비 6.81배에서 6.53배로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

**[표 3-5] 지역별 미세먼지 배출량**

(단위: 천 톤)

구 분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
서울	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	9.2	8.6
부산	3.1	3.1	3.1	3.0	2.2	6.6	6.9
대구	1.3	1.2	1.4	1.3	2.5	3.9	4.0
인천	2.3	2.3	2.0	2.0	1.7	8.3	6.3
광주	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	1.9	2.0
대전	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	1.9	1.6
울산	7.1	3.1	3.5	3.6	3.7	5.9	4.7
세종	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	1.4	1.4
경기	6.4	5.8	6.0	6.4	6.8	33.1	32.9
강원	36.6	46.1	3.9	3.5	5.7	11.9	9.6
충북	5.1	5.0	3.6	3.2	4.7	11.0	9.6
충남	4.4	5.3	30.8	31.0	14.0	28.7	38.4
전북	3.9	3.5	1.7	1.6	1.4	9.9	10.3
전남	24.1	29.7	18.4	20.5	23.8	33.9	29.1
경북	15.8	18.3	32.9	33.1	22.8	44.3	46.3
경남	3.2	4.3	9.1	8.8	3.1	14.8	14.0
제주	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	3.6	4.0
바다	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	3.1	3.3
합계	116.8	131.2	120.0	121.6	97.9	233.2	233.1

자료: 국립환경과학원(2019)

[표 3-6] 지역별 초미세먼지 배출량

(단위: 천 톤)

구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016
서울	1.6	1.5	1.5	1.3	2.6	2.5
부산	2.8	2.8	2.7	1.8	2.5	2.5
대구	0.9	0.9	1.0	1.5	1.4	1.4
인천	1.9	1.7	1.7	1.4	2.7	2.2
광주	0.4	0.4	0.4	0.3	0.6	0.6
대전	0.5	0.4	0.4	0.3	0.7	0.6
울산	2.4	2.6	2.6	2.4	3.0	2.5
세종	0.0	0.3	0.3	0.1	0.4	0.4
경기	5.0	5.1	5.6	5.1	10.8	11.1
강원	24.3	2.3	2.2	3.2	5.2	4.0
충북	3.0	2.2	2.0	2.8	4.5	3.9
충남	4.3	17.7	17.7	9.3	13.8	18.8
전북	2.1	1.5	1.4	1.2	3.3	3.5
전남	17.5	11.6	12.4	13.8	16.1	13.6
경북	11.0	18.5	18.5	12.9	21.3	22.7
경남	3.7	6.1	5.9	2.7	6.1	5.5
제주	0.5	0.4	0.4	0.4	1.0	1.2
바다	0.0	0.0	0.0	2.7	2.9	3.1
합계	81.8	76.3	76.8	63.3	98.8	100.2

자료: 국립환경과학원(2019)

### 3. 유발원인별 발생량

유발부문별 미세먼지 및 초미세먼지 발생량 중 미세먼지 유발 부문은 OECD 기준 미세먼지의 발생량이 도로오염원으로부터의 발생량 및 산업 소비와 생산에 의해 주로 발생하는 것으로 나타났다. 도로오염원(승용차, 승합차 등)으로부터의 발생이 1999년 대비 2014년 51% 감소한 데 반해, 비도로오염원(선박, 항공, 건설장비 등)으로부터의 발생은 99% 증가하였다. 더불어 산업연소를 통한 미세먼지의 발생은 동기간 대비 206% 증가하여 산업생산을 통한 연소로부터 유발되는 미세먼지 비중이 큰 것으로 나타났다.

**[표 3-7] 미세먼지 유발 원인**

(단위: 천 톤, Kg/천USD)

구분	인적유발								총집중유발	
	소계	도로유발		고정유발			산업 공정	폐기물	인당 유발	GDP 대비 유발
		도로	비도로	발전소	연소					
					산업	기타				
1999	63.251	20.619	7.463	7.066	19.619	2.763	5.667	0.053	1.345	0.071
2000	61.719	21.749	7.732	6.606	16.895	2.589	6.079	0.07	1.302	0.063
2001	67.368	26.795	7.63	7.263	16.687	2.8	6.129	0.063	1.412	0.066
2002	65.1	27.225	8.679	5.196	14.881	2.665	6.378	0.075	1.356	0.059
2003	66.357	27.903	9.033	5.433	14.704	2.718	6.486	0.079	1.375	0.059
2004	62.491	28.898	7.977	5.032	10.903	2.861	6.738	0.082	1.289	0.053
2005	67.343	25.312	7.87	8.229	16	2.978	6.888	0.064	1.383	0.055
2006	64.795	23.911	8.604	7.701	14.349	3.577	6.37	0.284	1.325	0.05
2007	97.849	22.694	10.477	2.951	53.144	2.208	6.074	0.302	1.994	0.072
2008	110.477	17.937	7.4	3.08	73.441	2.307	5.971	0.34	2.245	0.079
2009	103.393	15.397	13.348	2.588	64.444	2.103	5.326	0.187	2.094	0.073
2010	116.52	15.255	13.401	2.816	76.011	2.421	6.451	0.165	2.351	0.077
2011	130.79	13.03	13.901	4.546	89.463	2.213	7.394	0.242	2.629	0.084
2012	119.709	12.969	14.332	4.582	77.833	2.062	7.6	0.33	2.396	0.075
2013	121.253	12.103	15.167	4.524	81.014	1.955	6.249	0.243	2.417	0.074
2014	97.646	10.019	14.861	4.508	59.975	1.629	6.407	0.247	1.938	0.058

자료: OECD STAT(2019)

초미세먼지 역시 미세먼지와 동일하게 도로오염원과 생산연소에 의해 주로 발생하는 것으로 나타났다. 특히 교통으로 유발되는 정도는 도로오염원보다는 비도로오염원에 의해 상대적으로 많이 발생되며, 산업연소로 인한 초미세먼지의 발생 비율은 전체의 약 50% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 경제성장을 고려한 경우 및 인구당 초미세

먼지의 발생 정도는 감소하는 특성을 나타냈다. 반면 2019년 기준으로 OECD 통계가 승인이 완료되지 않은 상태이기 때문에 발생량 감소에 대해서는 부가적인 확인이 필요할 것으로 판단된다.

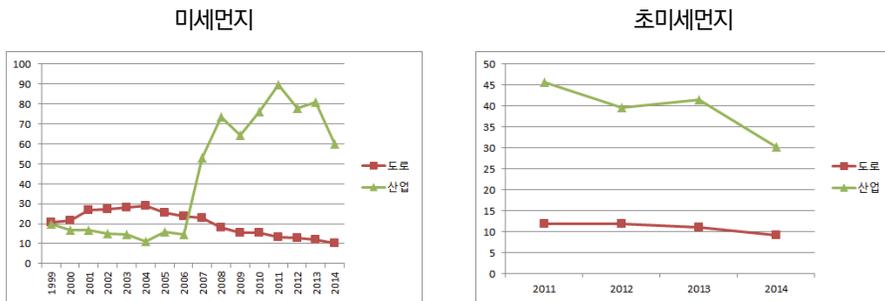
[표 3-8] 초미세먼지 유발 원인

(단위: 천 톤, Kg/천USD)

구분	인적유발								총집중유발	
	소계	도로유발		고정유발			산업 공정	폐기물	인당 유발	GDP 대비 유발
		도로	비도로	발전소	연소					
					산업	기타				
2011	81.446	11.988	12.792	3.534	45.721	1.326	5.876	0.209	1.637	0.052
2012	76.043	11.932	13.186	3.66	39.7	1.269	6.032	0.265	1.522	0.048
2013	76.523	11.135	13.953	3.573	41.606	1.226	4.829	0.202	1.525	0.047
2014	63.041	9.218	13.671	3.679	30.322	1.045	4.903	0.204	1.251	0.037

자료: OECD STAT(2019)

[그림 3-5] 주요 유발 부문 변화 패턴



자료: OECD STAT(2019)

## 제2절 미세먼지 대응 정책 현황

### 1. 국가 미세먼지 대응 정책

국가 주도 미세먼지 대응 정책은 미세먼지 관리 종합대책(2017.09)에 의해 추진되고 있다. 이를 통해 중점 추진과제로 2022년까지 미세먼지 국내 배출량 30% 저감을 목표로 설정하였으며, 핵심대책으로 4대 핵심 배출원(발전, 산업, 수송, 생활) 집중 감축을 설정하였다. 발전 부문에 대한 대책으로 공정률 낮은 석탄발전 재검토 등 석탄 발전 비중 축소, 재생에너지 확대 등 친환경 에너지원을 확대하였으며, 단기적으로 공정률 낮은 석탄화력의 재검토 및 신규 금지, 운영 중인 석탄화력 관리 강화, 고품연료 제품(SRF) 사용시설 관리 강화, 재생에너지 및 기후변화 대응 차세대 기술개발 강화를 설정하였다(환경부, 2017). 또한 중장기 대책으로 노후 석탄발전 임기 내 폐지, 새로운 패러다임(발전단가→환경·안전도 종합고려)에 기반한 에너지 계획으로의 전환, 발전용 에너지원 친환경적 세율체계 조정 검토, 도서지역 발전소, SRF 시설 등 관리 사각지대 관리 강화 등을 마련하였다(미세먼지관리종합대책, 2018). 산업 부문에 대한 대책으로는 총량제 확대, 감시 강화 등으로 집중 감축 및 관리 내실화를 위하여 단기적으로 사업장 오염물질 배출총량제(Cap & Trade) 내실화, 불법 행위에 대한 전방위적인 점검·감시 실시, 기술발전 등을 고려하여 사업장 관리체계 개선, 중소기업장 대상 환경개선 지원 대책 추진, 중장기대책, 사업장 오염물질 배출총량제 대상지역 확대, 질소산화물에 대한 대기배출부과금 부과, VOCs 비산배출 사업장 시설관리기준 강화 방안을 제시하였다(미세먼지관리종합대책, 2018). 수송 부문에 대한 대책으로는 노후 경유차의 저공해화 확대(2022년까지 221만대 저공해화 완료)와 함께, 전기차·하이브리드차 등 친환경차 보급 활성화를 위하여 단기적으로 경유차 미세먼지 배출 저감, 친환경차 보급 활성화, 교통 수요관리 강화, 선반·항만에 대한 획기적인 미세먼지 저감 대책 추진 등을 마련하였으며, 중장기대책으로 경유차 비중 축소 및 친환경차 대중화, 전기이륜차 보급 및 전기·수소차 충전소 설치 확대, 경유차·이륜차 배출가스 검사제도 강화, 배출가스 검사기관 일원화 및 임의 조작 근절, 선박 및 항만 배출관리 강화 정책 등을 제시하였다. 생활 부문에 대한 미세먼지 정책은 도로청소차 보급 확대, 도로 중 VOCs 함유기준 강화 등 생활주변 오염원 관리 강화를 위하여 단기적으로 도로 및 건설

공사장 비산먼지 저감, 미세먼지 저감 및 조기분산을 위한 ‘도시 숲’ 조성·관리, 중장기적으로 도로 재비산 먼지 집중 관리, 도로 중 VOCs 함유기준 강화 및 관리대상 확대, 주유소 유증기(VOCs) 관리 강화, 적극적 지원을 통한 불법소각 차단 정책 등을 마련하였다(미세먼지관리종합대책, 2018).

두 번째, 미세먼지 저감을 위한 중점 추진과제로 국제협력 강화를 제시하였다. 이는 협력채널 구축 및 연구협력으로 실질적 저감으로 전환하는 것을 목표로 하고 있으며, 한·중 양자협력 및 공동대응 강화를 핵심대책으로 하고 있다. 이를 위하여 한·중 정상회담 의제로 미세먼지 문제를 논의하였으며, 한·중 정상회담 계기로 미세먼지 협력방안 직접적 논의, 한·중 양국 간 미세먼지 협력의지 공동선언 추진(‘18~’19), 양국 간 공고한 환경협력체계 구축을 통한 중국 지역 대상 공동연구 및 기술이전 협력사업 강화 및 한·중 협력사업 기반 강화로 일관성·지속성 제고를 방안으로 제시하였다. 더불어 동아시아 차원의 국제적 노력 강화를 위하여 동아시아 국제협약 체결을 검토하기도 했다. 이를 위해 한·중·일 채널, 동아시아 다자 채널 등 활성화, NEACAP(동북아청정대기파트너십) 출범 추진으로 동북아 미세먼지 협약 체결 기반 마련, 장기적으로 유럽(CLRAP), 미국-캐나다의 대기질 협약모델을 바탕으로 한·중·일 미세먼지 협약 체결 등을 방안으로 제시하였다(산업통상자원부, 미세먼지관리종합대책, 2017).

※ 대기질 관련 해외 협약 모델(고경훈, 2018)

- 유럽 장거리 월경성 대기오염에 관한 협약(CLRAP, 1979년 채택)
  - (개요) 유럽 내 장거리이동 영향 저감을 위해 정보교류·공동연구 등 국제공조
  - (시사점) 1972년 기술협력을 시작으로 1979년 협약체결까지 단계적 접근
- 미국-캐나다 대기질 협약(U.S.-Canada Air Agreement, 1991년 채택)(고경훈, 2018)
  - (개요) 양국 대기오염문제 해결을 위한 공동대응책 마련
  - (시사점) 상대국에 심각한 대기오염을 야기할 수 있는 활동 등에 관해 ① 환경영향평가, ② 사전 통지, ③ 저감협의·정보제공 등 구체적 의무 규정

세 번째 중점 추진과제로는 미세먼지 민감계층 중점 보호 추진을 제시하였으며, 소극적, 사후적 대응대책에서 적극적, 선제적 알람·보호대책으로 시행하는 것을 목표로 설정하였다. 핵심대책으로는 기준강화, 측정망 확충에 의한 민감계층 보호기반 강화,

실내체육 시설 설치 등으로 활동공간 특별관리가 있으며, 환경기준 및 민감계층 보호 기준 강화를 위해 미세먼지 환경기준을 선진국 수준으로 향상, 경보기준의 단계적 강화(초미세먼지 환경기준: 50 ⇒ 35, 초미세먼지주의보 기준: 90 ⇒ 70~80)와 민감계층 이용시설의 실내 미세먼지 유지기준 신설 등이 있다. 더불어 어린이집, 학교 주변 등에 대한 공기질 측정 확대를 통하여 학교 인근을 중심으로 도시대기측정망을 확충하고, 발전소 주변 미세먼지 측정소를 확대하며, 간이측정기, 이동측정차량 등 학교 주변 측정설비를 추가 배치하여 학교별 일일공지 시스템 구축을 운영하고 있다(행정안전부, 2018). 민감계층 이용·활동공간 특별관리를 위해서는 고농도 미세먼지 발생 시 민감계층 이용시설 공기질 관리를 통해 체육관이 없는 초·중·고교에 대한 실내 체육시설의 설치 지원, 학교, 어린이집, 노인요양시설 등에 공기정화장치 설치 등의 지원이 이루어지고 있으며, 민감계층 활동공간 특별관리 실시를 통해 미세먼지 우심지역 중 민감계층 이용시설 집중지역을 미세먼지 청정관리구역(‘미세먼지 프리존’)으로 지정, 민감계층 활동공간(어린이집 등) 안심인증제 도입, 어린이집 통학차량의 친환경차(LPG·CNG차 등) 전환 등이 이루어지고 있다. 또한 민감계층의 미세먼지 대응역량 강화를 통해 고농도시 민감계층 대상 보호서비스 강화가 이루어지고 있으며, 독거노인 등 민감계층 대상 ‘찾아가는 케어 서비스’ 실시, 의료진·교사를 위한 진료·돌봄 가이드라인 개발과 예방지도 및 전문물품 개발, 영유아, 어린이 등 민감계층 대상 마스크 지원, 취약계층 대응 실무매뉴얼 제작·배포와 현장이행 능력 제고 등을 설정하여 운영 중이다(행정안전부, 2018). 고농도시 미세먼지 비상저감조치 강화 역시 이루어지고 있으며, 고농도 발생 시 수도권 지역에 3가지 유형(수도권 전체, 수도권 공공, 서울권역) 비상저감조치(차량부제, 사업중 운영 조정) 시행, 현행 수도권 공공부문 중심에서 민간 부문 및 수도권 외 지역으로의 확대·시행, 도로물청소차 운영 확대, 불법소각 집중 단속 등이 운영 중이다(환경부, 2017). 선제적 대국민 홍보·교육을 위해서는 매년 9월을 미세먼지 집중 홍보기간으로 설정, 선제적 홍보 실시, 학교 미세먼지 교육 강화 및 인식 제고, 유아·초·중학생 대상 ‘맞춤형 환경교육프로그램’을 운영 중이다. 네 번째 중점 추진과제는 정책기반 강화가 있으며, 이는 개별적·단편적 접근에서 체계적·종합적 연구로 전환되는 것을 의미한다. 핵심대책으로는 국가 R&D, 위성관측 등 과학기술 기반 대응역량 제고 외 특별법 제정을 통해 미세먼지 대응기반 강화 등이 마련되었다

(환경부, 2017). 과학기반의 미세먼지 대응역량 강화를 위해서는 미세먼지 생성메커니즘 연구 등 과학적 연구 강화를 통한 미세먼지 대응 역량 강화를 위한 국가 R&D 추진, 환경위성 등을 활용한 과학적인 분석 강화 등이 있으며, 인공지능(AI) 기반의 대기질 예·경보 시스템 구축을 위한 빅데이터 및 수치예보 결과와 머신 러닝(Machine Learning) 기술을 접목한 인공지능 예측시스템 구축, 단기(2일) 예측 시스템 개발, 시범예보 등을 거쳐 2021년까지 중기(약 7일) 예측 시스템 구축등을 방안으로 제시하였다(미세먼지관리종합대책, 2018). 또한 미세먼지 국가 배출량 정보의 체계적인 생산·관리를 위해서는 현재 배출량조사(CAPSS) 체계 보완을 위한 누락 배출원 발굴(생물성 연소 등), 국내 실정에 맞는 배출계수 개발 확대, 중장기적으로 ‘미세먼지 종합정보센터’를 설치, 국가 배출량 정보를 체계적으로 생산·관리하는 정책을 추진하고 있다. 더불어 미세먼지 특별 관리를 위한 입법과 관련하여 미세먼지 관리 강화를 위한 특별법 제정이 추진되었다. 이는 미세먼지 종합대책 이행 및 취약계층 보호·지원을 위한 「미세먼지의 저감 및 관리에 관한 특별법」(가칭) 제정 추진, 수도권 중심의 총량관리를 전국으로 확대하기 위한 「수도권 등 대기관리권역 대기질 개선에 관한 특별법」(가칭) 제정 추진을 포함하고 있다.

국가 주도의 비상·상시 미세먼지 관리 강화대책(2018. 11) 역시 마련되어 운영 중이다. 고농도 미세먼지 비상저감조치와 발령기준 추가 및 선제 대응체계 확립으로 이루어져 있고, 발령기준 확대를 통해 비상저감조치 발령 요건을 다양화하여 고농도 미세먼지에 보다 적극적으로 대응하며, 예비저감조치로 이틀 후 비상저감조치 발령 가능성이 높을 경우 공공 부문은 하루 전부터 도로청소, 차량 2부제 등을 방안으로 제시하였다. 또한 길거리 노출 미세먼지 집중 저감을 위하여 배출가스 5등급 경유차 운행 규제, 기존 공공부문 의무 2부제에 더하여 공용차량 운행 제한 등을 운영하고 있다. 또한 학원가·병원 등 취약계층 활동 공간, 차고지·물류센터 등 차량 밀집지역에서 자동차 배출가스를 집중 단속하고, 학교·어린이집 밀집구역 등을 중심으로 도로청소를 확대하며, 지하역사·승강장 등 환기장치 전면 가동 및 집중 물청소 등을 운영하고 있다. 미세먼지 다량 배출원 및 사각지대 관리 강화를 위해서는 당일  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상 및 내일 예보  $50\text{--}75\mu\text{g}/\text{m}^3$  초과 시 발전량 대비 배출량이  $0.1\text{kg}/\text{MWh}$  이상인 석탄발전소 및 증류발전소의 출력을 80% 이하로 제한하고 있으며, 사업장을 대상으로 굴뚝자동측정장비 부

착 사업장은 약품투입 강화 등을 통해 방지효율을 도모하고 있다. 또한 공사장을 대상으로 인근도로 청소, 살수량 증대 등 비산먼지 저감조치를 시행하고, 관급 공사장은 작업단축 의무화를, 민간 공사장은 작업시간을 조정하고 있다. 점검 및 감시에 대해서는 시·도 합동 특별점검반 및 환경부 기동점검반을 구성하고, 학교·어린이집 등 생활공간 주변 공사장, 소규모 공장 난립지역 등 운영실태를 집중 점검하며, 영농폐기물 수거·계도 및 노천 불법소각·매립·방치행위를 집중 감시하고 있다.

상시 미세먼지 추가 저감을 위해서는 경유차 등 도로수송 부문에 대하여 공용차량 친환경차 구매비율을 100% 달성하고, 2030년까지 공공 부문 보유 경유차 제로화를 목표로 설정하며, 저공해자동차로 인정받은 경유차의 인센티브 폐지 및 저공해경유차 인정기준을 삭제하였다. 또한 소상공인·저소득층이 노후경유차 폐차 후 LPG 1톤 트럭을 구매할 경우, 조기폐차 보조금(최대 165만 원)에 400만 원을 추가 지원하였으며, 광역 알뜰교통카드를 도입하여 정기권 할인 혜택과 보행·자전거 마일리지를 추가 지원하였다. 선박 등 비도로수송 부문에 대해서는 주요 항만 인근에 배출규제해역 및 저속운항해역을 지정하여, 일반해역보다 강화된 연료기준과 속도기준을 적용하여 공공 부문 친환경선박 확대 및 육상전원 공급장치 설치 확대를 통한 항만 친환경화와 건설·농업기계 및 항공 부문 관리 강화를 도모하였다. 발전 부문은 환경오염 비용을 반영하여 유연탄과 LNG에 적용되는 연료 부과세율을 조정하여 30년 이상 노후 석탄발전소에 대한 봄철(3~6월) 가동중지 대상을 실제 미세먼지 배출량을 고려하여 조정하였으며, 도서지역(백령도, 울릉도, 연평도) 발전용량 1.5MW 이상 등유 발전시설(18기)에 배출허용기준을 도입하였다. 산업 부문은 에너지시설 관리 강화, 유류저장시설 관리, 소규모 배출사업장 관리 정책 등을 추진하고 있다. 생활주변 미세먼지 관리에 대해서는 미세먼지를 적게 배출하는 가정용 저녹스 보일러 설치지원 대상을 전국으로, 유증기 회수설비 설치 의무지역을 수도권 이외 대기관리권역으로 확대하였으며, 영세사업자는 설치비를 지원하였다(관계부처 합동, 2018). 공공건축물 옥상에 수(水)공간, 습지 등 도시 소생태계를 조성하여 건축물 에너지 효율증대 및 도시 열섬효과 저감을 도모하였다. 또한 국제협력 강화를 위하여 다자협력에 의한 동북아청정대기파트너십(NEACAP)을 활용하여 미세먼지 정보 공유 플랫폼을 구축하고, 환경오염 건강영향 연구 강화를 위한 세계보건기구(WHO) 아시아 환경보건센터를 유치하였다(관계부처합

동, 2018). 한·중 간에는 한·중 환경협력센터를 거점으로 분야별 사업 시행 및 실증화 기술 수출 등 신규사업 발굴을 확대하고, 지방자치단체 네트워크도 구축하였으며, 한반도 통합대기질 관리를 위한 남북 공동조사연구 및 북한 내 대기측정망의 설치·운영 교육을 지원하고 있다.

국민 건강보호 및 정책기반 강화를 위해서는 취약계층 건강 보호를 위해 고농도 사전 대비 및 적극적인 비상저감조치 참여 유도를 위해 고농도 발생 전 사전안내 실시, 소규모 어린이집의 실내공기질 측정·분석, 컨설팅 지원, 실내공기질 관리자 전문자격 도입 등이 추진되었다. 미세먼지 원인규명 및 사전대응 역량 제고를 위해서는 기술개발 로드맵 업데이트('18.9, 과기부), 현장 수요기반 신규 R&D('19년~) 및 국민건강 보호를 위한 환경보건 R&D 추진, 배출량 산정방법 개선 로드맵('18~'21)에 따라 누락배출원 발굴, 미산정 배출량 보완 등을 추진하여 과학적인 배출저감 지원, 지상·해상·항공·위성 입체감시체계 구축, 예보관 확충 등 예보인프라 선진화로 예보정확도 향상 및 미세먼지 주간예보 실시가 이루어지고 있다. 민·관 거버넌스 구축은 미세먼지 정책 심의·조정을 위한 컨트롤타워이자 국민과의 소통 창구로 국무총리 소속 「미세먼지 특별대책위원회」 및 기획단이 연내 구성·운영되고 있으며, 미세먼지 원인물질·배출원·배출계수 등 과학적 분석·검증 및 국가배출량 통계 빅데이터 관리, 미세먼지 정책효과 분석·평가 등을 담당하는 「국가미세먼지정보센터」를 설치하였다. 더불어 환경·교통·소비자·여성단체, 전문가, 공공기관 등이 폭넓게 참여하는 미세먼지 줄이기 시민행동 네트워크가 구성·운영 중에 있다(www.me.go.kr).

「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」(2019.02)<sup>4</sup>은, 미세먼지 및 미세먼지 생성 물질의 배출을 저감하고 그 발생을 지속적으로 관리함으로써 미세먼지가 국민건강에 미치는 위해를 예방하고 대기환경을 적정하게 관리·보전하여 쾌적한 생활환경을 조성하는 것을 목적으로 하고 있다. 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」은 중앙정부와 지방자치단체가 미세먼지로부터 국민의 건강과 생명을 보호하기 위한 시책을 수립·시행하고, 사업자는 사업활동으로 발생하는 미세먼지를 최소화하기 위해 필요한 조치의 실행과 함께, 정부의 대책에 적극 협조하며, 국민은 미세먼지 배출을 저감 및 관리하기

<sup>4</sup> 국가법령정보센터(<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=204195&efYd=20190215#0000>). 최종 검색일: 2019.5.5.)

위하여 노력해야 한다. 중앙정부는 5년마다 미세먼지 저감 및 관리를 위한 종합계획을 수립·시행하여 시·도지사가 종합계획을 시행하기 위한 세부 시행계획을 장관에게 보고해 평가와 심의를 받으며 지방자치단체는 필요한 시책을 수립·협조하는 것으로 구성되어 있다. 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」에서는 미세먼지 전담 조직 강화를 위하여 국무총리 소속의 미세먼지특별대책위원회와 미세먼지개선기획단 설치를 규정하였으며, 환경부장관은 국가미세먼지정보센터를 설치하여 미세먼지 원인을 체계적으로 분석해야 함을 명시하고 있다. 더불어 미세먼지 민감계층 대응을 위하여 정부는 미세먼지로부터 취약한 계층의 건강 보호를 위한 대책을 마련하였으며, 어린이·노인 등이 이용하는 시설이 집중된 지역을 자치단체장이 집중관리구역으로 지정, 우선적인 지원을 확대하고 있다.

## 2. 특광역시도 미세먼지 대응 정책

### 1) 특광역시 미세먼지 대응 정책

국가에 의한 미세먼지 대응 외에 시·도를 대상으로 한 대응 정책 역시 추진 중이다. 서울특별시시는 시민참여 바탕의 미세먼지 저감 실천운동을 전개하고 있으며, 미세먼지 경각심 고취 및 줄이기 참여 확대를 위한 시민실천 캠페인 실시와 비상저감조치 발령일 차량 미운행·2부제 참여 시 인센티브 제공 정책을 추진 중이다. 또한 미세먼지 비상저감조치 시 서울형 공해차량 운행 제한을 시행하여 미세먼지 비상저감조치 발령 시 서울 대기질 개선을 위해 공해차량 운행 제한을 제한하고 있으며, 자동차 친환경등급제 및 녹색교통진흥지역 운행제한 실시로 배출가스 친환경등급 고시 및 시행, 녹색교통진흥지역 내 하위등급 차량 운행제한을 추진하고 있다. 마일리지 회원 승용차 미운행 참여시 인센티브를 제공하는 「비상저감조치 참여 마일리지」를 새롭게 도입하였으며, 이를 통해 연간 주행거리 감축 회원에게 지급하는 마일리지에 추가하여 비상저감조치 발령일, 자동차 미운행한 회원에게 마일리지를 지급하고 있다. 서울형 실내공기질 기준 마련 및 관리 강화는 어린이집, 지하철 등 다중이용시설의 서울형 실내공기질 관리 기준을 새롭게 설정하였으며, 어린이집 공기측정기 설치로 정보제공 및 적정관리를 위하여 서울시 내에 운영되는 전체 6,226개소 어린이집에 간이 측정시스템을 설치하였다. 미세먼

지 배출저감을 위해 오염물질 배출사업장·차량 및 주차장 폐쇄기관 주변 불법 주정차를 단속하고 있으며, 대기질 개선을 위한 국내·외 지속적 협력 강화로 환경부와 수도권 3개 시·도가 함께 비상저감조치 실효적 개선 협력, 「수도권 정책협의회」를 통한 수도권 대기질 개선 협력 강화를 시행 중이다.

부산광역시<sup>5</sup>는 미세먼지 30%를 저감 목표로 설정해 배출규제해역 지정·관리, 2022년까지 경유 야드트랙터 및 관공선 연료전환을 위해 친환경 자동차 확대, 자동차 배출가스 원격측정 장비 도입, 소규모 사업장 방지시설 25개소 시범사업, 사업장 점검강화, 도로 재비산먼지 제거차량 운행, 공사장 관리강화, 도시숲 확대 등을 추진하고 있다. 또한 미세먼지 제로존 형성을 위해 미세먼지 제로 스쿨존 표준 모델 지정 시범 운영(2개소), 부산광역시 내에 운영하는 어린이집 및 유치원의 공기청정기 설치, 부산광역시 내에 전 초등학교·중학교·고등학교의 공기정화장치 설치 등이 시행 중이다. 더불어 2022년까지 학교 숲(명상 숲) 30개소 조성, 스쿨존 내 노상주차장 폐지 등을 추진 중이다. 지하도 상가 구축과 관련하여 2022년까지 6개 지하도 상가에 상시측정 시스템 및 알리미 구축, 공공보도 청소 특수장비 구입, 녹색 휴게공간 9개소를 조성 중이다. 미세먼지 대응을 위해서 고농도 예측 시 비상저감조치 발령, 차량 운행제한, 배출시설 및 공사장 운영시간 조정 및 변경, 경보발령 시 관용차량 1/2 운행감축, 직원차량 2부제 의무화 추진, 도로 재비산먼지 제거차량 및 노면청소, 급수차 등 비상운영, 대형소각장 소각 물량 20% 감축, 대기오염 물질배출업소 연료 사용량 감축 등을 시행하고 있다. 또한 대기질 관리를 위해서 원클릭재난상황전파시스템 연계 정보 표출 시스템 확충, 지하철 역사 행선안내기 450여 개 표출, 대기측정소 7개소 추가 신설, 어린이집·학교·노인시설 등 미세먼지 취약계층 고농도 미세먼지 발생 통보 서비스를 실시 중이다.

대구광역시<sup>6</sup>는 정책기반, 시민건강보호, 배출감축분야로 구분하여 추진 중이며, 정책기반 분야은 체계적인 미세먼지 관리를 위한 미세먼지 조례 제정, 미세먼지 대책위원회 운영, 대기측정망 현재 16개소에서 2022년까지 19개소로 확충하여 정책을 시행

<sup>5</sup> 부산광역시 홈페이지(<http://www.busan.go.kr/cleanair001>, 최종 검색일: 2019. 5. 6.)

<sup>6</sup> 대구광역시 공식 블로그([https://blog.naver.com/daegu\\_news/221441732562](https://blog.naver.com/daegu_news/221441732562), 최종 검색일: 2019. 5. 6.)

하고 있다. 시민건강보호 분야로는 어린이집, 경로당 공기청정기 보급, 민감계층 미세먼지 마스크 보급, 미세먼지 예·경보제 운영, 미세먼지 비상 저감조치 시행 등이 이루어지고 있다. 배출감축 분야는 노후경유차 조기폐차 매년 4,000대 지원, 매연저감장치 부착지원사업 2022년까지 15,000대 지원, 어린이 통학차량에 LPG차량 구입비 매년 200대씩 정액 지원, 전기차 보급사업 확대(2022년까지 7만대), 도로 진공청소차 및 클린로드 시스템 운영 및 확대 등이 이루어지고 있다. 또한, 미세먼지 잡는 도시 숲 조성사업 등이 추진 중이다.

**【표 3-9】 대구광역시 미세먼지 저감대책 주요사업(대구광역시, 2017)**

분야	과제명		주요사업내용
관리 기반 구축	미세먼지 조례 제정		<ul style="list-style-type: none"> <li>시장, 사업자, 시민의 역할 규정</li> <li>차량운행 제한 대상지역, 대상차량 등 규정</li> </ul>
	미세먼지 위원회 구성		<ul style="list-style-type: none"> <li>전문가, 시민단체, 의회, 의료, 행정기관 등</li> </ul>
	미세먼지 측정망 확충		<ul style="list-style-type: none"> <li>측정망 신설, 노후측정망 교체</li> </ul>
	미세먼지 신호등 설치		<ul style="list-style-type: none"> <li>버스승강장 쉼터사업과 연계하여 추진</li> </ul>
시민 건강 보호	공기 청정기	어린이집	<ul style="list-style-type: none"> <li>2018년 1,181개소 보급완료</li> </ul>
		경로당	<ul style="list-style-type: none"> <li>2018년 1,497개소 보급완료</li> </ul>
	민감계층 마스크 지급		<ul style="list-style-type: none"> <li>어린이, 어르신, 임산부 등 213천명</li> </ul>
	실내공기질 관리대책		<ul style="list-style-type: none"> <li>어린이집, 의료기관 등 다중이용시설</li> <li>지하철 역사 공기질 개선사업 추진</li> </ul>
	민감계층 미세먼지 알림		<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지 나쁨 시 어린이집, 초·중·고등학교 등 시설관리자에게 문자 통보</li> </ul>
	예경보제 운영, 시스템 고도화		<ul style="list-style-type: none"> <li>원클릭 발령시스템으로 발령체계 개선</li> </ul>
	미세먼지 비상저감 조치		<ul style="list-style-type: none"> <li>자동차의 운행제한(대상차량은 조례 규정), 건설공사장의 공사시간 조정</li> </ul>
시민과 함께하는 미세먼지 감축(홍보)		<ul style="list-style-type: none"> <li>시민행동요령 홍보물 제작배부, 언론기관 홍보 홈페이지, SNS 활용, 대시민 캠페인 전개</li> </ul>	
배출 감축	자동차 저공해화 사업 확대		<ul style="list-style-type: none"> <li>경유차 조기폐차 지원, 매연저감장치 부착</li> </ul>
	어린이 통학차량 LPG차 지원		<ul style="list-style-type: none"> <li>대당 500만원 정액 지원</li> </ul>
	전기차 보급		<ul style="list-style-type: none"> <li>전기자동차, 충전인프라, 전기택시, 전기버스 보급</li> </ul>
	대중교통 활성화(자전거 포함)		<ul style="list-style-type: none"> <li>대중교통 탑시day 운동 추진</li> <li>자전거 이용 활성화 및 시설개선</li> </ul>

자료: 대구광역시 공식블로그 홈페이지

인천광역시<sup>7</sup>는 미세먼지 주요 발생원 관리를 위하여 도로먼지 제거 차량 확대, 학교 운동장 먼지억제제 살포, 대기오염물질 배출사업장 총량 할당·관리, 미세먼지 고농도 시 화력발전 상한제약 등이 시행 중이다. 또한 환경오염물질 배출사업장 체계적 관리를 위하여 산업단지 업종별 테마별 특별점검 실시, 자율환경업소 확대 지정 및 운영, 기업환경 멘토링 활성화 정책 등이 추진 중이며, 운행차 저공해 사업 확대 추진을 위하여 노후 경유차 배출가스 저감장치 부착 및 조기폐차 지원, 건설기계 엔진교체 및 저감장치 부착 지원, LPG화물차 신차전환 지원 등이 이루어지고 있다. 더불어 수도권지역 공해차량 운행제한지역(LEZ: Low Emissions Zone) 제도 시행을 위하여 노후경유차 운행제한 시스템 구축 및 운행제한 시행, 운행제한 무인단속카메라 추가 설치 등이 실시 중이다. 운행자동차 배출가스 저감사업 실시와 관련해서는 노후 어린이 통학 경유차 폐차 후 LPG 신차 구입시 보조금 지원, 운행차 배출가스 점검 강화, 고농도 미세먼지 비상저감조치시 자동차 운행제한 등이 추진 중이며, 쾌적한 녹색도시 조성을 위한 도시숲 조성을 위하여 미세먼지 차단 숲 등 시민체감형 생활권 녹지공간 확충 등이 이루어졌다.

광주광역시<sup>8</sup>는 미세먼지의 체계적인 관리를 위한 거버넌스 구축을 위하여 미세먼지 저감 조례제정 및 종합계획 수립, 미세먼지 저감 시민실천본부 구성 등이 시행 중이다. 미세먼지 수송 분야 발생량 감축을 위해서 경유차 배출가스 감축사업 지원 확대, 전기차 보급 확대 등이 추진 중이며, 미세먼지 발생원 관리강화 및 도시숲 조성을 위하여 미세먼지 배출사업장 환경감시 강화, 습식흡입청소차 보급 확대, 녹지 1평 늘리기 사업 확대 등이 추진되고 있다. 또한 시민들에게 미세먼지 바로알기 홍보 강화를 위하여 노인복지시설·산후조리원 공기청정기 및 건강취약계층 마스크 지원, 미세먼지 간이측정기 설치사업, 미세먼지 시민홍보 강화, 빅데이터 활용 미세먼지 지도 제작 등이 이루어지고 있다.

대전광역시는 관리·협력기반 강화를 위하여 미세먼지 공동대응을 위한 ‘충청권 푸른 하늘 포럼’ 구성·운영, 미세먼지 줄이기 민·관·산·학·연 거버넌스 구축 등을 시행하고

7 2019년 인천광역시 주요업무 추진계획(환경녹지국) 참고

8 미세먼지 없는 청정 광주 만들기(광주광역시 홈페이지)

있다. 미세먼지 저감을 위한 T/F팀 확대 구성·운영으로 키높이 미세먼지 측정망 확충 및 교체 정책이 실시 중이며, 건강 취약계층 보호를 위하여 취약계층 대응 대기오염 통합 정보관리시스템 구축, 학교 등 미세먼지 전담자 지정 및 신속한 전파체계 구축, 미세먼지 알리미(신호등) 시범사업 추진, 어린이, 노약자 등 취약계층 미세먼지 마스크 보급 등이 추진되고 있다. 미세먼지 저감 프로젝트로는 먼지먹는 하마플랜(분진흡입차 운영), 노후경유차 조기폐차 등 저공해화 사업, 전기차 및 전기이륜차 보급 확대 및 공공충전인프라 확대, 청정연료 확대, 중소기업장 저녹스 버너 설치사업 지원, 비산먼지 발생사업장 미세먼지 주의보 시 살수차 활용, 도시숲길 조성 등 푸른녹지 가꾸기 사업, 미니태양광 보급 및 에너지자립 시범마을 조성, 고농도 미세먼지 비상저감조치(차량2부제) 및 승용차 요일제 참여 확대, 대중교통·자전거 이용 활성화 등이 실시되고 있다.

세종특별자치시<sup>9</sup>는 배출원 관리를 위하여 비산먼지 발생사업장 지도·점검 강화 및 담당자 특별교육, 대기오염물질 배출사업장 점검 강화 및 대형 배출사업장 원격 감시, 재비산먼지 억제를 위한 도로청소체계 구축, 유희 부지 녹화 및 도시숲 조성 사업 등이 시행되고 있다. 교통 부문 관리를 위하여 전기차 보급 확대 및 충전시설 확충, 경유차 폐차, 통학차량 LPG 전환 및 친환경(CNG) 버스 보급 확대, 공공자전거(어울링) 확충 및 이용 활성화, 자동차 공회전 제한 사업 등이 추진되고 있다. 또한 미세먼지 취약계층 보호를 위하여 어린이집, 유치원·초·중·고등학교 공기청정기 보급, 실내공기질 관리 지도·점검 강화, 고농도 미세먼지 대응체계 확립, 아동, 어르신 등 취약계층 및 저소득 계층에게 미세먼지(황사) 마스크 지원 사업 등이 실행 중이다. 미세먼지 관리기반 강화를 위하여 시민단체와 협조, 민간 환경감시단 구성 및 운영 등을 통한 미세먼지 대응체계 구축, 세종·대전·충남·충북 등 4개 시도 공동대응 협의체 구성, 대기측정망 확충, 미세먼지 공개시스템 강화 등이 이루어지고 있다.

## 2) 광역도 미세먼지 대응 정책

경기도는 미세먼지 민감계층 보호를 위한 환경복지 사업 강화를 위하여 법정규모 미만 취약계층(어린이·어르신·장애인) 이용시설 실내공기질 무료측정 및 개선 컨설팅, 취약시설 실내공기질 개선을 위한 공기청정기 지원, 노후화된 취약계층 이용시설에 맑

<sup>9</sup> 세종특별자치시 내부자료(미세먼지 관리 종합계획) 참고

은습터 조성 사업 등이 추진되고 있다. 더불어 미세먼지 발생원 근본적 저감 및 해결방안 모색을 위하여 영세사업장 미세먼지 저감 방지시설 개선, 사업장 및 가정용 저녹스 보일러 설치 지원, 도로청소차차 확충, 전기차 확대 및 전기차 충전인프라 확충, 전기차 활성화 시범지구 지정 및 전기차 통행료·주차료 전액감면 등이 이루어지고 있다. 정확한 미세먼지 진단과 알림서비스 강화를 위해서는 국가 집중측정소 설치, 미세먼지 성분분석측정소 설치, 대기오염 안내전광판 설치, 중국 지방자치단체와 환경교류협력 확대, 경기환경산업전(에코페어 코리아) 개최 등이 시행되었다.

충청북도<sup>10</sup>는 미세먼지의 과학적 관리를 위하여 미세먼지 예보시스템 구축, 대기오염측정망 확충, 대기오염도 이동측정차량 운영, 미세먼지 대응 시도협의체 운영, 미세먼지 저감대책 연구사업, 미세먼지 대책협의회 구성 등이 시행되고 있다. 산업 측면에서의 미세먼지 저감을 위하여 대기오염사업장 자발적 협약, 지역난방공사 청정연료 전환사업, 굴뚝자동측정기 설치운영비 지원, 저녹스( $NO_x$ )버너 보급사업이 추진 중이며, 교통 측면에서는 전기차·수소차, 충전인프라 보급, 노후경유차 조기폐차 지원, 천연가스 자동차·전기버스·전기이륜차 보급, 노후경유차 DPF 부착 지원, 운행차 배출가스 단속 및 차량 2부제 시행, 대중교통·자전거 이용 활성화, 관용차 친환경차량 조기교체, 임대농기계 정기점검 강화 등이 이루어지고 있다. 민감계층 보호를 위해서는 어린이집·경로당 공기청정기 보급, 실내공기질 측정 지원, 대기오염 경보제 운영, 미세먼지 바로알기 프로그램 운영, 어린이 통학차량 LPG차 전환지원, 중부권 대기환경청 설립 및 유치 등이 실행 중이다. 생활 측면에서의 미세먼지 저감을 위해서 도시 숲 조성 및 정책 숲 가꾸기, 도로, 건설공사장 비산먼지 저감, 도로변 청소차 보급 확대 및 주요 지방도 노면청소차 운행, 농촌지역 불법소각 관리 강화, 깨끗한 축산농장 조성 사업 등이 추진되고 있다. 신재생에너지와 관련해서는 신재생에너지 지역 지원, 수상태양광 발전소 설치, 태양광발전시설 설치, 저소득층 태양광 발전사업, 청주·음성 친환경에너지 타운 조성, 조림사업 등이 시행되고 있다.

<sup>10</sup> 「2030 충청북도 미세먼지 관리 종합대책」 참고

**[표 3-10] 충청북도 미세먼지 저감대책 주요사업**

구 분	추진 상황(~'18)	향후 계획('19~'22)
국내배출 감축	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신재생에너지 지역 지원사업(338억)</li> <li>• 수상태양광발전소 설치사업(350억)</li> <li>• 태양광발전시설 설치사업(259억)</li> <li>• 저소득층 태양광 발전사업(81억)</li> <li>• 친환경에너지타운 조성(청주, 음성; 73.6억)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신재생에너지 지역 지원사업(96억)</li> <li>• 수상태양광발전소 설치사업(280억)</li> <li>• 태양광발전시설 설치사업(198억)</li> <li>• 저소득층 태양광 발전사업(168억)</li> <li>• 친환경에너지타운 조성(청주, 음성; 30.4억)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼지 자발적 감축 협약 추진 도관할 18개소</li> <li>• 굴뚝자동측정기 설치운영비 지원 10개 시설</li> <li>• 저녹스버너 보급사업: 450대</li> <li>• 목련공원 화장로 청정연료 전환 - 벙커C유→LNG</li> <li>• 1사 1도로 클린제 운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼지 자발적 감축 협약 추진 - 시·군관할 46개소</li> <li>• 지역난방공사 청정연료 전환 - 벙커C유→LNG</li> <li>• 굴뚝자동측정기 설치운영비 지원: 10개 시설</li> <li>• 저녹스버너 보급사업: 116대</li> <li>• 1사 1도로 클린제 운영</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 친환경자동차 보급                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전기자동차(버스) 및 이륜차: 1,273대</li> <li>- 전기자동차 충전인프라 구축: 979대</li> <li>- 천연가스자동차: 818대</li> </ul> </li> <li>• 노후 경유자동차 저감사업                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조기폐차: 3,265대</li> <li>- 매연저감장치 부착: 68대</li> <li>- 어린이 통학차량 LPG 교체: 34대</li> </ul> </li> <li>• 자동차 배출가스 단속</li> <li>• 공공기관 차량2부제 시행</li> <li>• 자전거 이용 활성화</li> <li>• 관용차 친환경차량 조기 교체: 10대</li> <li>• 임대 농기계 정기점검 강화(2억)</li> <li>• 카풀 주차장 운영 활성화: 4개소</li> <li>• 교통신호 연동체 시행: 14구간(청주)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 친환경자동차 보급                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전기자동차(버스) 및 이륜차: 4,224대</li> <li>- 전기자동차 충전인프라 구축: 2,000대</li> <li>- 수소자동차: 980대</li> <li>- 수소자동차 충전인프라 구축: 13대</li> <li>- 천연가스자동차: 80대</li> </ul> </li> <li>• 노후 경유자동차 저감사업                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조기폐차: 7,300대</li> <li>- 매연저감장치 부착: 276대</li> <li>- 어린이 통학차량 LPG교체: 412대</li> </ul> </li> <li>• 자동차 배출가스 단속</li> <li>• 공공기관 차량2부제 시행</li> <li>• 대중교통 및 자전거 이용 활성화</li> <li>• 임대 농기계 정기점검 강화(4억)</li> <li>• 카풀 주차장 운영 활성화: 4개소</li> <li>• 교통신호 연동체 시행: 14구간(청주)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시 및 정책숲, 조림사업(3,860억)</li> <li>• 도로 및 건설공사장 관리 강화</li> <li>• 도로변 청소차 보급 확대: 9대</li> <li>• 주요 지방도 노면청소차 운행 확대</li> <li>• 농촌지역 불법소각 관리 강화(61.5억)</li> <li>• 깨끗한 축사농장 조성</li> <li>• 대규모 직화구이 음식점 미세먼지 저감시설 시범사업: 5개소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시 및 정책숲, 조림사업(3,492억)</li> <li>• 도로 및 건설공사장 관리 강화</li> <li>• 도로변 청소차 보급 확대: 24대</li> <li>• 주요 지방도 노면청소차 운행 확대</li> <li>• 농촌지역 불법소각 관리강화(12억)</li> <li>• 깨끗한 축사농장 조성</li> <li>• 대규모 직화구이 음식점 미세먼지 저감시설 시범사업: 확대 설치</li> </ul>	

구 분	추진 상황(~'18)	향후 계획('19~'22)
<p>고농도 발생시 관리대책</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼지 익일 예보(24시간)가 '매우나쁨'일 때               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공공기관 차량2부제 시행</li> <li>- 생활환경 주변 분진흡입차 및 살수차 운행 확대</li> <li>- 생활폐기물 소각시설 운영시간 조정</li> <li>- 시멘트사 운영시간 조정, 청소, 광산채굴 중지 등</li> <li>- 소각시설 등 대기 1종 사업장 운영시간 조정, 사업장 및 인근도로 청소, 방지시설 점검(청소) 등</li> <li>- 비산먼지 발생사업장 억제시설 관리 강화</li> <li>- 지역난방공사 액체연료 사용량 조정 권고 등</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼지 익일 예보(24시간)가 '매우나쁨'일 때               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공공기관 차량2부제 시행</li> <li>- 생활환경 주변 분진흡입차 및 살수차 운행 확대</li> <li>- 생활폐기물 소각시설 운영시간 조정</li> <li>- 시멘트사 운영시간 조정, 청소, 광산채굴 중지 등</li> <li>- 소각시설 등 대기 1종 사업장 운영시간 조정, 사업장 및 인근도로 청소, 방지시설 점검(청소) 등</li> <li>- 비산먼지 발생사업장 억제시설 관리 강화</li> <li>- 지역난방공사 액체연료 사용량 조정 권고 등</li> </ul> </li> </ul>
<p>민감계층 보호 강화</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 어린이집 공기청정기 보급(22.8억): 899개소</li> <li>• 경로당 공기청정기 보급(95.3억): 4,143개소</li> <li>• 민감계층 실내공기질 측정 지원사업: 100개소</li> <li>• 대기오염 경보제 운영(15억)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 북부, 중부, 남부</li> </ul> </li> <li>• 미세먼지 바로알기 프로그램 운영               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 방진마스크 8만 개, 대응요령 교육 600회</li> </ul> </li> <li>• 중부권 대기환경청 설립·유치</li> <li>• 미세먼지 표출시스템 확충(신호등, 전광판): 26개소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 민감계층 실내공기질 측정 지원사업: 확대 지원</li> <li>• 대기오염 경보제 운영(15억)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 북부, 중부, 남부</li> </ul> </li> <li>• 미세먼지 바로알기 프로그램 운영               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 방진마스크: 32만개, 대응요령 교육: 2,400회</li> </ul> </li> <li>• 중부권 대기환경청 설립·유치</li> <li>• 미세먼지 표출시스템 확충(신호등, 전광판): 2식</li> </ul>
<p>정책기반 강화</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대기오염측정망 확충: 18개소</li> <li>• 대기오염 이동측정차량 운영: 1대</li> <li>• 미세먼지 대응 시·도 협의체 구성 운영: 2회/년 (충청권 푸른 하늘 포럼)</li> <li>• IoT 미세먼지 관리 솔루션 운영: 40대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼지 예보시스템 구축(32억)</li> <li>• 대기오염측정망 확충: 10개소</li> <li>• 미세먼지 저감대책 연구사업(5.5억)</li> <li>• 미세먼지 대응 시·도 협의체 구성 운영: 2회/년 (충청권 푸른 하늘 포럼)</li> <li>• 미세먼지 관리 민관협의회 구성 운영: 4회/년</li> <li>• IoT 미세먼지 관리 솔루션 운영: 40대</li> </ul>

충청남도는 에너지산업 연소 관리를 위하여 석탄화력발전소의 노후기준 단축(30년→25년)에 의한 조기 폐기, 배출허용기준 강화에 따른 대기오염물질 감축, 봄철 노후 석탄화력 일시 가동중단, 고농도 미세먼지 발생시 화력발전 상한 제약, 석탄화력 발전 연료의 저유황탄 전환, 옥외 저탄장 실시간 비산먼지 관리 등을 시행하고 있다(www.dsi.re.kr). 또한 산업 부문 저감을 위하여 대기오염물질 배출사업장 자발적 감축 이행 및 감축대상 확대, 사업장 대기오염물질 배출허용기준 강화, IoT 기반의 청정(Clean) 산업단지 프로젝트 추진, 저녹스 버너지원 및 컨설팅을 통한 배출량 개선, 지역별 배출량 산정을 위한 인벤토리 시스템 구축, 굴뚝자동측정기기(TMS) 관리 강화, 대기배출시설 사업장 등 지도·점검 등 관리 강화 등을 실시하고 있다(www.dsi.re.kr). 더불어 이동배출원 관리를 위하여 친환경차 및 인프라 시설 보급 추진, 경유버스를 친환경버스로 대전환, 도로분진 흡입차량 보급, 노후 경유차 순차적 폐차, IoT 기반의 이동배출원 미세먼지 관리, 석탄화력발전 부두 및 선박을 대상으로 한 육상전력 공급장치(Alternative Maritime Power, AMP)의 보급, 대형 건설차량 매연저감장치 부착, 항만 정박지 선박관리 조례 등을 추진하였다(www.dsi.re.kr). 또한 대기오염 총량관리제를 도입하여 총량제 체계관리 Task Force(T/F) 운영, 대기오염물질 총량관리제 등을 시행하고 있다. 과학적 관리기반 구축을 위해서는 공공 및 민간 측정소 통합관리와 효율적 운영, 충남형 대기질 분석·진단 시스템 구축, 미세먼지 경보제 3개권역 확대 운영, 대기오염측정소 확충, 집중측정소 및 종합대기측정소 설치, 도서지역에 미세먼지 장거리이동 측정소 설치 등을 실행하였다(www.dsi.re.kr). 더불어 건강 보호 등 생활환경 개선을 위해서 환경민감지역 주민건강 영향조사, 실내공기질 관리 및 환경성 예방사업 추진, 환경민감계층 실시간 실내공기 측정기 운영, 민감계층 미세먼지 마스크 보급사업, 미세먼지 저감 도시숲 조성, 고농도 미세먼지 비상저감조치 등을 시행하였다. 대외협력 및 정책건의로는 미세먼지 대책마련을 위한 협의체 운영, 이웃 지자체 및 대외 기관과의 협력 강화, 미세먼지 저감을 위한 국외협력 강화, 미세먼지 저감 관련법 제·개정 등이 거론되었다(www.dsi.re.kr). 또한 교육 및 홍보를 위해서 미세먼지 발생 예방교육 및 홍보, 학교 미세먼지 교육 강화, 미세먼지 정보 알림판 설치, 대기오염 정보 표출 확대 운영 등이 시행되고 있다.

전라남도<sup>11)</sup>는 도시대기 측정망 설치를 통해 대기측정망 신규 설치 및 노후 측정망 교

체로 대기질 관리와 미세먼지·오존 경보제 운영을 위한 대기 측정망이 유지·관리되고 있다. 전기차, 전기이륜차, 천연가스차 등 친환경 자동차의 보급 확대가 이루어졌으며, 경유자동차 폐차 지원과 경유사용 어린이집 통학차량 LPG사용 신차로 교체 지원 사업이 추진되고 있다.

경상남도<sup>12</sup>는 도로 살수차 긴급 지원 및 시내버스 공기정화필터 장착으로 도내 전 시·군에 60대의 임차료를 지원하여 도심권역 및 주요 국·지방도로를 집중적으로 살수하고 있으며, 대중교통을 이용하는 도민의 건강보호를 위해 시내버스 공기정화필터를 전 시·군 1,920대의 버스에 장착하는 데 재난관리기금을 지원하고 있다(www.newsis.com). 민감계층 보호를 위해서는 도내 전 어린이집과 경로당에 공기청정기 및 보건용 마스크를 보급하고, 미세먼지 관리 사각지대(어린이집·노인요양시설 등)에 실내공기질 무료측정과 컨설팅을 진행하고 있다. 고농도 미세먼지 도민과 함께 해결하는 방안으로는 미세먼지 저감방안 마련을 위해 도민 및 민간단체, 환경업체 등의 아이디어 공모, 자동차 공회전 및 급발진 금지를 통한 친환경 운전 습관 교육·홍보 등 고농도 미세먼지 저감을 위한 민간 부문 동참 분위기 조성을 위해 공공기관과 업무협약을 하는 등 미세먼지 줄이기 실천 범 도민운동을 확산·전개하고 있다(www.newsis.com). 또한 미세먼지 저감 숲 조성 사업 확대를 통해 ‘미세먼지 저감 숲’ 34,520ha(축구장 48,300여개 규모)를 조성하였으며, 친환경차 보급대수 대폭 확대 및 국비를 추가 확보하여 친환경차 구매보조금 지원 및 충전소 구축을 시행하고 있다. 더불어, 노후경유차 감축사업 투자 확대를 통한 노후경유차 폐차와 미세먼지 다량 배출 3대 핵심현장 강력 단속 추진을 통해 불법소각과 비산먼지 발생 건설공사장, 생활주변 대기배출사업장 등 대기배출사업장·공사장 1,500여 곳을 대상으로 단속을 강화하고 있다(www.newsis.com).

11 전라남도 동부지역본부 홈페이지(<https://dongbu.jeonnam.go.kr/contentsView.do?menuId=east0502000000>)

12 경상남도 보도자료(2019. 3. 14.)

### 3. 해외 미세먼지 대응 정책<sup>13</sup>

#### 1) 영국

영국 런던시의 가장 문제가 되는 오염물질은  $NO_2$ (이산화질소)와 미세먼지로 주 오염원은 도로교통과 가정 및 사업장에서의 연료사용에 기인하고 있다. 2008년 기준으로 미세먼지 배출량의 79%는 도로교통에 의해 배출되었고 이 중 35%는 타이어 마모와 브레이크 마모에 의해 배출되는 것으로 밝혀졌다. 런던 대기배출량에서 2008년 차종별 미세먼지, 초미세먼지의 배출비율은 택시, LGV와 승용차에서 높게 나타났다(정장표, 2015). 특히 초미세먼지 배출량의 분포를 보면 도로교통이 80%, 산업과 상업부문의 가스연소 등 비도로오염원이 20%를 차지하는 것으로 나타났다. 2008년 국민들의 ‘삶의 질’ 향상에 대한 환경보건학적 위해성 저감 차원에서 영국 법령에 법정 기준치와 노출농도를 의무화하는 내용을 가진 초미세먼지 기준치를 신규 설정·적용하였다. 런던의 대기질 모니터링은 통합·개선되고 있고, 측정 오염물질 범위와 측정소는 꾸준히 증가하여 100개 이상의 측정소에서 이루어지고 있다. 런던시의 도로먼지 저감전략은 도시 지역 (초)미세먼지의 주된 배출원이 도로교통 부문임을 감안하여, 런던시는 중앙정부의 협조를 받아 2012년까지 도심의 미세먼지 농도를 20~25% 줄인다는 목표를 설정하고 주된 오염원 관리를 위한 실천방안을 계획·추진하였다. 최상급의 대중교통 시스템 청정화를 촉진하였으며, 2012년부터 새로 출시되는 버스의 디젤 전기 차량 및 전기차 보급을 활성화하였다. 또한 플러그인 하이브리드차와 전기자동차의 Car clubs 이용을 장려하기 위한 용자를 제공하였다. 노면 마모로 인해 배출되는 미세먼지를 저감하기 위한 도로 유지보수 및 개선을 시행하였으며, 노후 차량, 대형 디젤 차량의 배출가스를 줄이기 위해 런던 저배출 지역의 운영을 확대하였다. 전기차량의 조달 및 홍보, 수송 차량을 친환경 차량으로 교체하였으며, 불필요한 화물 연비를 줄이고 화물의 효율성을 증가하기 위해 런던교통국에서 단계별로 배출저감을 이행하였다. 런던 대기 배출량 인벤토리(LAEI) 개선 지원, 대기질 모니터링 네트워크 개선 및 향상 지원, 국가 계획의 개발 및 실행을 위한 중앙정부와의 협력체계 구축 등을 더불어 혼잡통행료 실시로 교통

<sup>13</sup> 영국, 독일, 이탈리아는 정장표(2015)를, 일본은 공성용 외(2015)를, 중국은 대외경제정책연구원(2013)을 참조하여 정리하였다.

혼잡에 따른 문제를 해결하기 위하여 30년 이상의 논의를 거쳐 2003년 혼잡통행료를 도입하여, 앰블런스, 오토바이, 경찰 차량 등 특정 차량을 제외한 도심 통과 차량에 대해 평일 오전 7시부터 오후 6시 30분까지 통행 혼잡료를 부과하였다. 그 결과 교통량(2008년 모니터링)은 제도 시행 전 대비 차량 통행이 7만 대가 감소하였고, 진입차량은 21% 줄었으며, 승용차 차량도 크게 감소하였다. 도심혼잡통행료제 시행 이전 런던 도심 진입차량 중 50% 이상이 승용차였으나, 시행 이후 런던 도심으로 진입하는 승용차량(승용차와 택시)은 36% 감소한 것으로 나타났다. 교통 혼잡도는 약 30% 감소하였고, 승용차 통행을 포기한 수요 60%가 대중교통으로 이동하였으며, 질소산화물, 미세먼지, 이산화탄소 등 환경오염 배출량도 약 15% 정도 감소하였다. 특히 최대 혼잡 시간에는 약 30%의 배출량이 감소된 것으로 나타났다.

## 2) 독일

독일은 다른 국가들에 비해 상대적으로 기술에 의한 환경문제 해결을 시도하였다. 환경정책적인 측면에서는 국가 전체의 대기질 개선 대책을 수립하는 경향이 비교적 강했고, 도시의 경우에는 환경대책이 필요한 특정 지역에 대해 필요한 추가적인 대책들을 채택하는 경향을 나타냈다. 독일의 경우 시민 건강과 관련된 주된 논의는 미세먼지, 초미세먼지 성분으로 이루어졌다. 미세먼지 저감대책으로 경유자동차 대상 단계별 특화 관리로 독일의 경우 초미세먼지 배출량 중 도로이동오염원의 비중(30%)이 특히 큰 것으로 나타났다. 베를린시에서는 경유자동차를 대상으로 단계별 특화관리를 위해 다양한 제작차 및 운행차 관리대책을 도입하였다.

**[표 3-11] 베를린시의 경유자동차 관리사례**

관리대상 오염물질	제작차 관리	운행차 관리
$PM_{10}$ $PM_{2.5}$ $NO_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자동차·건설기계 배출허용기준 강화</li> <li>• 저공해자동차 보급</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경지역 운영: 기준의 단계적인 확대 및 강화, <math>NO_x</math> 기준 추가 검토, 배출등급과 연계하여 추진</li> <li>• 저공해화 유도</li> <li>• 속도 제한</li> <li>• 경유버스에 SCRT 시험장착 모델링</li> </ul>

자료: 정장표(2018)

또한 환경지역(Wmweltzonen)제도를 도입하여 차량들을 (초)미세먼지 배출량에 따라 배출등급을 부여하고 이 등급에 따라 색으로 구분된 스티커를 발부하여 배출등급 2 또는 그 이상 등급의 스티커를 발부 받은 차량만이 환경지역에 진입할 수 있게 조치하였다. 더불어 미세먼지의 오염원인·기여도 조사를 통해 베를린 도시개발위원회는 미세먼지 오염의 원인과 기여도에 대한 정확한 조사를 실시하고 그 조사결과를 실행계획의 기초자료로 활용하였다. 또한 청정대기질 계획 수립으로 베를린교통공사 버스에 단계적 먼지필터를 설치하였고, EEV(Enhanced Environmentally friendly Vehicle) 기준으로 단계적 전환(지역 수송 계획)을 추진하였으며, 베를린 정부 차량에 단계적 먼지 필터 설치 또는 천연가스 차량으로 교체하였다. 기타 폐기물 처리 회사에 먼지 필터 설치 또는 천연가스 차량으로의 교체에 대해 협상, 속도 제한, 먼지 예방을 위한 건물 부지 운영자용 정보 캠페인, 도심지역에서 사용되는 미세먼지 감소를 위해 디자인된 건설 장비의 가능성 조사를 실시하여 청정대기질 계획을 실시하였다. 또한 도심지역에서 배출 기준에 적합하지 않은 경유 차량의 진입을 제한하기 위하여 우회도로를 통한 도심 교통 전환, 유료 주차장의 단계적 확대, 대중교통, 자전거 이동 장려 등을 시행하였다.

### 3) 이탈리아

이탈리아의 밀라노는 유럽 대도시 중 세 번째로 (초)미세먼지 집중도가 높은 도시로서 2007년 이탈리아 환경단체의 연구 보고에 의하면, 밀라노의 연평균 및 일평균 미세먼지 집중도가 EU의 미세먼지 제한인  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 것으로 나타났다. 이탈리아는 기준 미달 차량의 도시 진입을 금지하기 위하여 배출량 기준을 통과하지 못한 차량 및 원동기를 도시 내로 진입하지 못하도록 규제하였다. 또한 Eco-pass 제도의 실시로 밀라노 중심지역을 둘러싼 도심  $8\text{km}^2$ 의 교통통제구역(ZTL: Zone a Traffico Limitato)에서 통행하는 차량에 대하여 통행료를 부과하는 제도를 운영하였다.

【표 3-12】 이탈리아 밀라노 Eco-pass 제도

항 목		적용사항
시행시간 및 통행료		• Am 7:30~Pm 7:30 간 약 0.35만 원~1.75만 원
통행료 면제 차량		• 대체연료 차량/Euro 3-4 기준 이상의 차량 ZTL 거주민 중 엔진이 좋고 배출량이 적은 차량
통행료 할인 차량		• ZTL 거주민 중 오래된 차량 소유자는 연간 이용권 구입 시 최대 약 44만 원까지 할인
금지 차량	연중 6개월 금지	• 오염물질 많은 차량
	Am 7:30~Pm 9:00	• 7m 이상 트럭

자료: 서울시정개발연구원(2010)

종전에 출입이 불가능하였던 오염 배출량이 심한 차량도 통행료만 지불하면 통행이 가능해졌다는 점에서 반대하는 견해도 있었으나, 자동차의 통행량 자체를 감소시켰다는 점에서 성공적이었다는 평가를 받았다. 특히 Eco-pass제도는 런던의 혼잡통행료 제도를 마케팅한 측면도 있지만, 교통량 감소와 함께 엔진 배출량에 따라 요금을 차등 부과함으로써 대기오염을 줄일 수 있다는 효과도 동시에 노릴 수 있기 때문에 런던의 혼잡통행료 제도보다 오히려 한 단계 업그레이드된 제도로 평가받았다.

【표 3-13】 이탈리아 밀라노 Eco-pass 시행 첫 해의 성과

항 목		적용사항	
ZTL 진입 차량		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 9.8만 대 → 8.2만 대로 감소</li> <li>• 11개월 평균 8.7만 대 운행(12.3% 5감소)</li> </ul>	
노면 대중교통서비스		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일평균 1.9만 명(7.3%) 승객 증가 → 1,300대 추가 차량 운행</li> </ul>	
유로 절감효과	혼잡도로 연장	25.1% 감소	• 연간 9.3백만 유로 절감
	평균통행속도	4.0% 증가	
차량 진입 대수		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일평균 21,274(56.4%) 감소</li> </ul>	
배출 계수	미세먼지 허용치 초과일수	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 125일(2002년) → 83일(2008년)</li> </ul>	
	미세먼지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 23% 감소</li> </ul>	
	초미세먼지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 18% 감소</li> </ul>	
	NH <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 47% 감소</li> </ul>	
	NO <sub>x</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15% 감소</li> </ul>	
CO <sub>2</sub>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 14% 감소</li> </ul>	

자료: 서울시정개발연구원(2010)

#### 4) 일본

일본은 넓은 사막이나 건조지대가 없고 숲이 무성한 가운데 사면이 바다로 둘러싸여 있어 다른 외국에 비해 대기오염물질 관련 환경이 상대적으로 유리하였다. 1990년대부터 교통이 밀집된 대도시지역에서 미세먼지와 초미세먼지에 의한 건강피해가 문제되면서 사회적 이슈로 등장하였다. 일본의 대기관리 정책은 매연의 배출규제, 휘발성유기화합물의 배출 규제, 유해대기오염물질대책 등 「대기오염방지법」에 따른 시설관리와 「자동차 NOx·PM법」, 저공해 자동차의 보급 촉진, 자동차 배출가스 규제 등과 자동차 배출가스 관리로 구분된다.

[그림 3-6] 비전 및 추진체계



자료: 공성용 외(2013)

일본의 대기오염방지법은 고정오염원에서 배출 또는 비산하는 대기오염물질에 대한 배출 기준이 정해져 있다. 2006년 4월부터 SPM 및 광화학 옥시던트 대책의 일환으로 VOCs를 규제하였다.

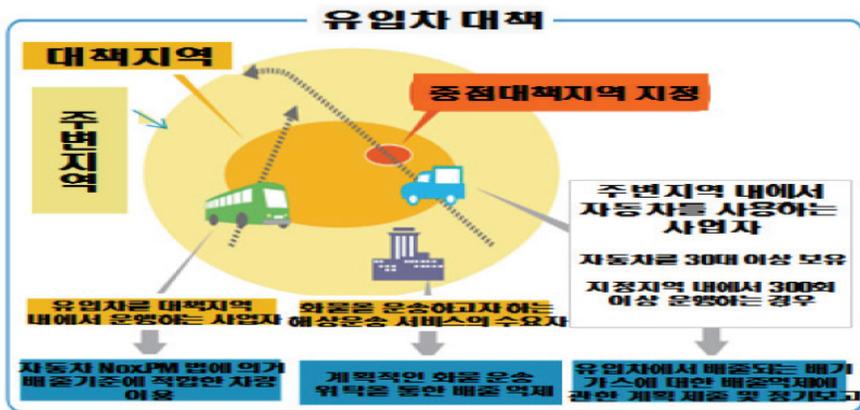
[표 3-14] 일본 대기오염방지법상의 매연 배출기준

구분	내용
일반 배출기준	• 매연발생시설에 대해 국가가 정한 기준
특별 배출기준	• 대기오염이 심각한 지역에서 신설되는 매연 발생 시설에 적용되는 보다 엄격한 기준(황산화물, 매연 등)
가산 배출기준	• 일반 배출기준, 특별 배출기준으로 불충분한 지역에서 도도부현이 조례에 의해 결정하는 더 엄격한 기준(매연, 유해대기물질 등)
총량 규제 기준	• 배출기준만으로는 환경기준 달성이 곤란한 지역에서 대형공장에 적용되는 공장별 기준(황산화물, 질소산화물 등)

자료: 공성용 외(2013)

또한 자동차배출가스 관리에 대한 자동차 Nox, PM법의 시행으로 국지적 오염대책과 유입차대책, 차종규제로 구분하여 유입차 대책은 대책지역 주변으로부터 중점 대책 지구 내의 지정 지구를 운행하는 자동차에 대해 유입차로부터 배출되는 오염물질 억제를 위한 계획의 작성·제출 및 정기보고를 의무화하였다. 차종규제는 대책지역 내에서 트럭·버스(디젤차, 가솔린 차, LPG 차) 및 디젤 승용차에 대해서 특별 NOx 배출기준 및 입차상 물질의 배출량이 보다 적은 차를 사용하도록 유도하였다.

[그림 3-7] 유입차 대책



자료: 공성용 외(2013)

이를 위해 저공해 자동차의 보급을 촉진하였고, 자동차 배출가스 규제와 함께 가솔린차와 디젤차의 배출 허용기준을 제시하였다. 굴삭기, 불도저, 지게차, 보통형 콤팩트인 등 특정 특수 자동차의 배출가스 규제를 신설하였으며, 스파이크 타이어 분진으로 발생하는 공해를 줄이기 위한 스파이크 타이어법을 시행하였다. 이는 국민에 대한 스파이크 타이어 분진 발생 방지의 책무와 국가 및 지방자치단체에 대한 책무를 규정하고, 주민의 건강 보호 및 생활환경의 보전이 필요한 지역을 환경성 장관이 지정하며 도도부현 지사가 해당 지역에 대한 조사 등의 대책을 실시할 책임을 규정하는 것을 의미한다. 또한 Eco-driving 제도의 시행을 위하여 일반 운전자에게 환경 친화적인 운전방법을 알리기 위한 ‘Eco-driving 강습회’를 개최하여 일반 국민의 참여를 유도하였다.

### 5) 중국

중국은 대기오염을 효과적으로 억제하기 위하여 1987년 「대기오염방지법」을 제정하였으나 실효성이 거의 없었다. 2000년대 들어 중국 경제의 공업화가 가속화되면서 관련된 오염물질이 과다하게 발생하였으며, 도시화가 추진되면서 오염원 또한 다양해졌다. 따라서 대기오염방지법에 대한 보완 및 개정 필요성이 대두되었다. 중국의 환경보호부와 공업정보화부를 중심으로 해마다 수차례 이상 장기 계획과 단기 대책을 발표하였으며, 이에 대한 내용은 [표 3-15]와 같다.

**[표 3-15] 중국 중앙정부의 대기오염 억제정책(2011~13년 3월)**

발표시기	관련 부처 및 정책	주요 내용
2011. 07	환경보호부, 「화력발전소 대기오염물질 배출 기준」	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2012년 1월부터 신규 건설되는 발전소의 분진 배출량 30mg/m<sup>3</sup> 이하, 이산화황배출 100mg/m<sup>3</sup> 이하, 질소산화물 100mg/m<sup>3</sup> 이하, 2014년 7월부터 전체로 확대 실시(단 이산화황의 경우 200mg/m<sup>3</sup> 이하)</li> </ul>
2011. 09	국무원, 「“12차 5개년” 에너지절약 및 오염물질 저감배출 종합업무방안」	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2015년까지 GDP 1만 위안당 에너지소비량 2012년 대비 16% 감소, “12차 5개년” 계획 기간 에너지 6.7억 표준탄(에너지의 석탄 환산량) 절약 등</li> </ul>
2011. 12	국무원, 「국가환경보호, “12차 5개년” 계획」	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2015년까지 주요 오염물질 배출 총량 감소</li> <li>• 도농 음용수 수질 기준 보장</li> <li>• 중금속 오염 등에 대한 통제 및 개선; 환경감독체계 완성 등</li> </ul>

발표시기	관련 부처 및 정책	주요 내용
2012.02	환경보호부, 「국가환경감독 “12차 5개년” 기획」	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2015년까지 현금 이상 지역 환경감독 기능 보유 등</li> </ul>
2012.03	공업정보화부, 「환경보호설비 “12차 5개년” 기획」	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5년간 환경보호설비산업 생산액 연평균 20% 증가 목표(2015년 5,000억 위안 달성)</li> <li>• 높은 수준의 환경보호설비기업 육성 등</li> </ul>
2012.06	국무원, 「“12차 5개년” 에너지절감산업 발전기획」	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5년간 환경보호산업 생산액 연평균 15% 이상 증가 목표</li> <li>• 에너지 절약 상품시장의 규모 확대</li> </ul>
2012.12	환경보호부, 발전개혁위원회, 재정부 「중점지역 대기오염방지 “12차 5개년” 기획」	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2015년까지 대기오염이 심각한 베이징, 톈진, 지안 등 117개 도시의 초미세먼지 등 대기상황 모니터링 및 개선, 대기오염 개선 프로젝트에 3,500억 위안 투자 등</li> </ul>
2013.02	환경보호부, 「공기 중 미세먼질 오염방지기술택(시행)」(의견수렴안)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼질 및 오염배출 중점영역에 대한 관리 강화</li> <li>• 석탄총량 통제 실시, 청정에너지 사용 발전</li> <li>• 대도시 중심지역에서 석탄 사용금지, 도시기능 최적화, 공공교통시스템 개선 등</li> </ul>
2013.02	공업정보화부, 「산업 폐기물 종합이용 선진활용기술 목록」(의견수렴안)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10대 분야 52개 기술의 기본원리, 공법, 경제지표, 사용현황 및 보급전망에 대한 소개</li> </ul>
2013.02	환경보호부, 「중점통제지역 대기오염물질 특별 방출 한도 실시」	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 19개 성, 시, 자치구내 지급 도시 47개를 통제구역으로 확정, 화력발전·철강·석유화학·시멘트·비철금속·화학공업 등 6대 오염 업종 등에 대해 특별 방출 한도 실시</li> </ul>

자료: 오종혁·김부용(2013)

중국 베이징시의 대기오염 주요 원인으로 꼽히는 자동차 배기가스 증가 억제를 위해 베이징시 정부는 향후 노후 차량을 폐차하고, 신에너지자동차 보급을 확대하며, 자동차 수 증가 억제와 배기가스 배출량 기준을 상향 조정하였다. 베이징시는 2013년에 오염물질 배출량이 많은 노후 자동차 18만 대를 폐차시키고, 2014~15년에 30만 대, 2016~20년에 90만 대를 폐차시킬 계획에 있다. 또한 신에너지자동차 개발을 위한 R&D를 확대하고, 버스 등 대중교통수단 및 정부기관에 우선적으로 신에너지자동차를

보급하며, 개인의 신에너지자동차 구매를 장려하였다. 더불어 석탄 위주의 에너지 소비구조를 청정에너지(전기, 천연가스 등)로 점차 전환하였으며, 전기, 천연가스, 태양 에너지와 같은 청정에너지 사용을 확대하여 석탄 소비량을 줄이고 에너지 소비구조를 최적화하였다. 석탄 보일러의 청정에너지로의 개조를 실시하고, 난방용 에너지를 석탄 대신 청정에너지로 전환하였으며, 산업구조 조정을 가속화하고 공업오염에 대한 처리를 강화하였다. 이를 위해 정유, 석유화학, 시멘트, 철강, 주조 및 건자재 등의 고(高)오염, 에너지 다(多)소비 기업의 신축과 개조 및 확장을 금지하고, 낙후 설비를 퇴출하였다. 이는 엄격한 공업기업 대기오염 배출기준을 시행하고 기업의 청정생산을 장려하며, 기업에 대한 감독과 관리를 강화하여 기준에 미달하는 기업에 대해서는 생산을 중지하는 것을 의미한다. 텐진시는 청정에너지 보급 확대에 주력하여 석탄 소비량을 억제하고 상주인구 규모를 제한하려 노력하였다. 2015년까지 신규 증가 상주인구 수를 300만 명으로 제한하였으며, 석탄을 사용하는 화력 발전소의 신규 건설을 엄격하게 통제하고, 도심지역과 빈하이(濱海)신구 등 지역에서 석탄으로 난방하는 주택의 신축이나 개조를 금지하며, 전기와 천연가스 보급을 보장하였다. 베이징과 마찬가지로 환경 기준을 높여 첨단산업을 발전시키고, 석탄 연소 보일러의 대체 및 개조를 실시하며, 공업오염에 대한 관리를 강화하고 오염유발이 심한 노후차량을 폐차하였다. 허베이성은 대기오염 억제와 관련하여 도시지역의 석탄 사용을 엄격히 통제하였다. 도시 중심구역에 위치한 공업기업을 도시 외곽지역으로 이전시키고 도시지역의 석탄사용을 엄격히 통제하였으며, 자동차 배기가스 배출기준을 강화하고 노후 차량 폐차를 가속화하였다. 대기오염이 매우 심각할 경우 긴급 대응 조치를 실시하는 등 대기오염에 대한 규제를 강화하였으며, 이를 위해 2013년 「공기 중(重)오염 응급관리방법」을 통과시켰다. 또한 각 시의 공동대응을 강조하고, 모니터링 및 정보 발표와 관련된 내용을 명확히 하였으며, 공기오염이 심각한 경우 정부가 주민들의 건강을 보호하기 위한 조치, 오염물질 배출을 감소하기 위한 제안성 및 강제성 조치의 실시 등을 제시하였다.

**[표 3-16] 베이징, 텐진, 허베이성 정책방향 및 내용**

지 역	주요 정책 방향과 내용
베이징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자동차 배기가스 억제               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2013년 노후자동차 18만 대 폐차, 신에너지자동차 보급 확대, 국제 기준 우선 적용</li> </ul> </li> <li>• 에너지 소비구조 전환               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 화석 에너지 사용 비중을 감소하고, 전기·천연가스 등 청정에너지 사용 비중을 확대</li> </ul> </li> <li>• 산업구조 조정               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고오염, 에너지 다소비 기업의 신축, 개조 및 확장 금지, 엄격한 대기오염 배출기준 시행 등</li> </ul> </li> </ul>
텐진	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 청정에너지 보급 확대               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 화력 발전소 신규 건설 통제, 전기와 천연가스 등 청정에너지 보급</li> </ul> </li> </ul>
허베이성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 석탄 사용 통제               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시 지역 내 위치한 공업기업 시외곽으로 이전, 자동차 배출기준 강화</li> </ul> </li> <li>• 대기오염에 대한 모니터링 및 대응방법 강화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 각 시별로 공동대응 강조, 공기오염이 심각할 경우 성정부에서는 강제성 조치를 실시할 것을 제시</li> <li>- 오염물 배출기업에 대해 엄격한 생산 및 배출 제한 실시 등</li> </ul> </li> </ul>

자료: 오종혁·김부용(2013)

또한 징진지 지역은 베이징을 포함한 중국의 수도권 지역으로 2013년부터 수도권 지역의 대기오염 저감대책으로서 「징진지 및 그 주변지역 대기오염 방지행동계획실시세칙」을 시행하였다. 이 계획의 대상지역은 베이징, 텐진, 허베이성, 산시성, 네이멍구 자치구 및 산둥성을 포함한다. 해당 지역들의 초미세먼지 농도 감축목표를 각각 20%, 10%로 정하여 관련 대책을 추진하였으며, 자동차에서 배출되는 배기가스 오염관리를 위하여 자동차 보유량을 제한하는 강력한 조치를 시행하였다.

**[표 3-17] 「징진지 및 그 주변지역 대기오염방지행동계획실시세칙」 주요내용**

구 분	중점임무	대 책
종합처리 및 오염물질 감축 강화	석탄 보일러 전면 퇴출	• 중앙 집중 시 열공급, 청정에너지로 전환
	중점업종 오염처리 강화	• 전력, 강철, 시멘트 등 기업 오염처리 시설건설 강화 • 2017년 말, 이상의 업종 등을 대상으로 청정생산심사 완성

미세먼지 저감을 위한 지방자치단체 대응방안

구 분	중점임무	대 책
		• VOC오염처리사업 실시
	면오염처리 심화	• 건설공사현장 먼지 관리 강화 • 도시 및 주변지역 녹화 및 도시녹지규모 확대
도시교통관리 및 자동차오염방지	도시교통관리 강화	• 도보, 자전거 교통체계건설 강화 • 차없는 날 실시를 통한 녹색교통운행비율 제고 • 베이징·텐진 대중교통의 비율 60% 이상 달성
	자동차보유량 규제	• 북경시, 자동차 보유량 규제 • 텐진 및 기타 지역, 자동차 보유량 증가속도 규제
	자동차 연료품질개선	• 텐진, 허베이, 산시, 네이멍구, 산둥성, 2013년 말까지 국가4급 휘발유 공급, 2014년 말까지 국가4급 기준 경유 공급 • 연료 품질 관리감독 강화
	황색표시차량 퇴출	-
	신에너지 차량 보급	-
	산업구조조정	산업진입엄격관리
석탄소비량 규제	낙후산업 퇴출	-
	석탄소비총량 규제	-
환경관리기반 역량강화	청정에너지 대체	• 천연가스, 액화석유가스, 태양에너지 등 청정에너지 공급확대
	환경모니터링 능력 강화	-
중앙정부 조정 및 관리감독 강화	고농도 대기오염 긴급예보 체계 수립	-
	전 지역 협력체계 수립	-
	관리감독심사 강화	-
	대중 참여	-

자료: 대외경제정책연구원, 2013

## 제3절 대기오염에 대한 인지도 변화

### 1. 인식

2018년 환경부가 발표한 「미세먼지 국민인식 조사」에 따르면, 우리나라 미세먼지의 심각정도에 대해 응답자의 90.0%가 심각한 편(‘매우 심각함’ 29.8%, ‘심각함’ 61.2%)으로 응답하였다. 미세먼지의 건강 위협정도에 대해 응답자의 83.2%가 ‘건강에 위협이 된다’라고 응답하여 대체적으로 건강에 위협된다고 생각하는 것으로 나타났다.

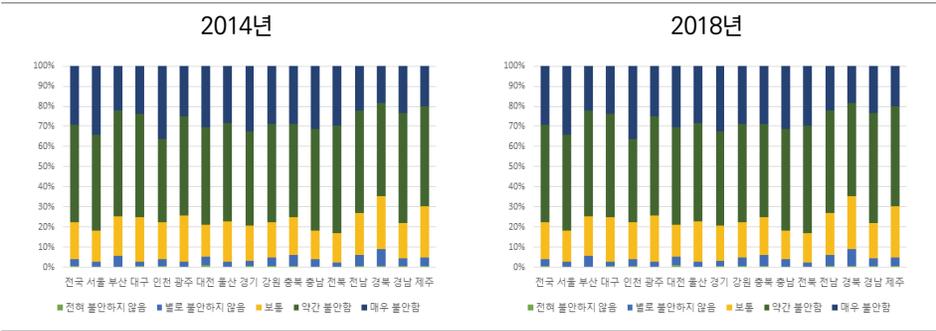
[그림 3-8] 미세먼지에 대한 인식

문제 심각성		건강 위협 정도	
응답	비중	응답	비중
매우 심각함	29.8%	전혀 위협이 되지 않음	1.1%
심각함	61.2%	걱정되는 수준은 아님	6.6%
보통	7.7%	보통	13.6%
심각하지 않음	1.2%	위협이 됨	63.1%
전혀 심각하지 않음	0.1%	치명적이라고 생각함	15.6%

자료: 환경부 보도자료(2018.10.12.), 미세먼지 국민인식 조사 결과 요약

또한 미세먼지 유입에 대한 인식으로 통계청의 「사회조사」에 따르면, 환경문제(황사, 미세먼지)에 대한 부정적인(약간 불안함+매우 불안함) 인식은 2014년 전국 77.9%에서 2018년 82.5%로 4.6% 증가하여 미세먼지에 대한 국민적 불안이 높아진 것으로 나타났다. 2014년 미세먼지 유입에 대한 부정적인 인식은 전북이 83.0%로 가장 높으며, 다음으로 서울 81.9%, 충남 81.9%로 나타났다. 반면 경북과 제주의 미세먼지 유입에 대한 부정적인 인식은 각각 64.6%, 69.7%로 나타나 가장 낮은 지역으로 조사되었다. 2018년 미세먼지 유입에 대한 부정적인 인식은 인천이 87.2%로 가장 높으며, 다음으로 광주 86.6%로 나타났다. 반면 부산과 전남의 미세먼지 유입에 대한 부정적인 인식은 각각 70.8%, 74.6%로 나타나 가장 낮은 지역으로 조사되었다.

[그림 3-9] 미세먼지 유입에 대한 인식



[표 3-18] 미세먼지 유입에 대한 인식

구분	2014년					2018년				
	전혀 불안하지 않음	별로 불안하지 않음	보통	약간 불안함	매우 불안함	전혀 불안하지 않음	별로 불안하지 않음	보통	약간 불안함	매우 불안함
전국	0.5	3.5	18.2	48.6	29.3	0.6	3.9	13.0	37.2	45.3
서울	0.3	2.4	15.4	47.8	34.1	0.6*	3.1	11.0	31.9	53.4
부산	0.3	5.3	19.5	52.6	22.2	0.8*	8.0	20.4	39.1	31.7
대구	0.6	2.3	21.9	51.7	23.6	0.6*	3.6	13.7	45.5	36.6
인천	0.6	3.5	18.1	41.6	36.2	0.5*	2.7	9.6	37.1	50.1
광주	0.3	2.6	22.8	49.3	25.0	0.5*	2.5	10.3	37.1	49.5
대전	0.9	4.3	16.0	48.5	30.2	0.7*	4.1	13.3	34.4	47.6
울산	0.2	2.5	20.1	48.9	28.3	0.5**	4.6	17.6	38.4	38.8
세종	-	-	-	-	-	0.6*	4.7*	9.3	35.4	50.0
경기	0.6	2.6	17.5	46.7	32.6	0.5	2.7	10.6	34.4	51.8
강원	0.8	3.9	17.8	48.8	28.7	1.1*	4.8	18.0	42.0	34.1
충북	0.6	5.3	19.0	46.2	29.0	1.0	4.0	13.5	36.5	45.0
충남	0.3	3.7	14.0	50.8	31.1	0.6*	3.3	15.3	37.8	43.0
전북	0.4	1.9	14.7	53.4	29.6	0.5*	4.4	12.6	41.8	40.7
전남	0.7	5.2	20.9	51.0	22.2	1.2	6.7	17.5	40.7	33.9
경북	0.8	8.0	26.7	46.4	18.2	0.7	5.4	13.4	45.6	34.9
경남	0.5	4.0	17.6	54.7	23.2	0.6*	5.4	14.6	42.2	37.2
제주	0.5	4.5	25.4	49.7	20.0	1.3*	3.2	19.8	42.6	33.2

자료: 통계청, 「사회조사」

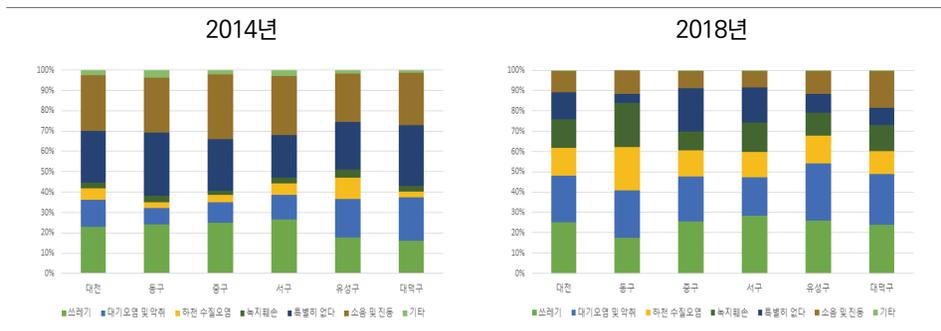
주: \* 상대표준오차가 25%~50% 미만인 경우 (신뢰도 다소 낮음)

\*\* 상대표준오차가 50% 이상인 경우 (신뢰도 낮음)

## 2. 해결과제

대전광역시의 사회조사에 따르면 환경문제 해결을 위한 과제 중 대기오염 및 악취는 2014년 13.6%에서 2018년 22.9%로 9.3%p 상승한 것으로 나타났다.

[그림 3-10] 환경문제 해결을 위한 과제



[표 3-19] 환경문제 해결을 위한 과제(2018년)

구분	2014년							2018년						
	쓰레기	대기 오염	하천 수질 오염	녹지 훼손	특별히 없다	소음 및 진동	기타	쓰레기	대기 오염	하천 수질 오염	녹지 훼손	특별히 없다	소음 및 진동	기타
대전	22.8	13.6	5.4	3	25.1	27.6	2.5	25.1	22.9	14.0	13.9	13.2	10.7	0.2
동구	24.1	8.2	2.9	3	31.2	26.8	3.9	17.5	23.2	21.6	21.4	4.8	11.4	0.0
중구	24.8	10.1	3.8	2.1	25.3	31.6	2.2	25.5	22.2	12.9	9.2	21.6	8.4	0.2
서구	26.7	12	5.5	3	21	29.1	2.8	28.5	18.9	12.3	14.7	17.2	8.2	0.2
유성구	17.7	18.9	10.6	3.9	23.4	23.7	1.8	25.9	28.1	13.6	11.5	9.4	11.1	0.3
대덕구	16.2	21.2	2.9	2.7	30	25.6	1.4	24.1	24.7	11.3	13.0	8.7	18.1	0.2

자료: 대전광역시, 「대전광역시 사회조사」

주: 2014년 '대기오염 및 악취'는 '대기오염'과 '악취'로 구분된 부문을 연구자가 합산하여 기술함

더불어 충청남도 2018년 사회조사에 따르면, 미세먼지 오염도는 ‘심각하다’가 56.3%, ‘심각하지 않다’가 16.2%로 ‘심각하다’의 응답이 ‘심각하지 않다’보다 3배 이상 많은 것으로 나타났다. 충남의 대부분 지역에서 미세먼지 오염도가 ‘심각하다’고 응답하였으며, 당진시 76.8%, 서산시 69.8%로 오염도가 ‘심각하다’는 응답이 가장 높은 지역으로 나타났다. 반면 금산군과 계룡시의 미세먼지 오염도는 ‘심각하지 않다’는 응답이 각각 37%, 36.6%로 가장 높은 지역으로 나타났다.

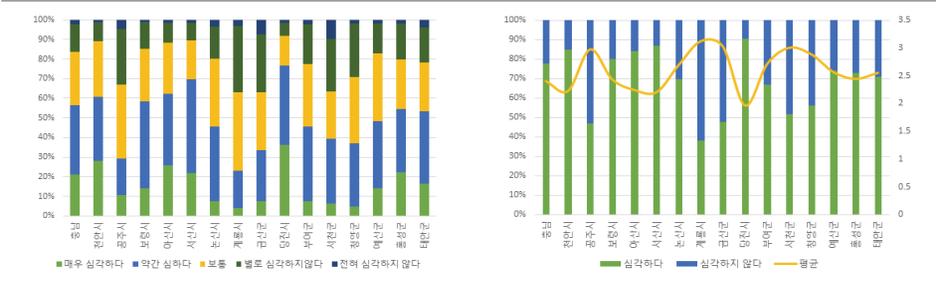
**【표 3-20】** 미세먼지 오염도(2018년)

구 분	매우 심각하다 ①	약간 심하다 ②	보통 ③	별로 심각하지 않다 ④	전혀 심각하지 않다 ⑤	심각하다 (①+②)	심각하지 않다 (④+⑤)	평균*
충청남도	21.1	35.2	27.5	14.1	2.1	56.3	16.2	2.41
천안시	28.1	32.8	28.3	9.8	1	60.9	10.8	2.23
공주시	10.4	18.8	37.9	28.4	4.5	29.2	32.9	2.98
보령시	13.9	44.3	27.1	13.4	1.2	58.3	14.6	2.44
아산시	25.6	36.9	25.8	10.4	1.3	62.5	11.7	2.25
서산시	21.7	47.9	19.9	9	1.5	69.6	10.5	2.21
논산시	7.6	37.9	34.7	16.4	3.4	45.5	19.8	2.7
계룡시	4.1	18.8	40.2	34	3	22.8	37	3.13
금산군	7.4	26	29.9	29.5	7.2	33.4	36.6	3.03
당진시	36.2	40.6	15.2	6.4	1.6	76.8	8	1.97
부여군	7.4	38.2	31.7	20.2	2.4	45.6	22.6	2.72
서천군	6.4	32.8	24.3	26.7	9.8	39.2	36.5	3.01
청양군	4.8	32.2	33.7	27.5	1.8	37	29.2	2.89
예산군	14	34.2	34.9	15.1	1.9	48.1	17	2.57
홍성군	22.1	32.6	25.1	18.6	1.7	54.7	20.2	2.45
태안군	16.5	36.8	24.9	18	3.9	53.2	21.9	2.56

자료: 충청남도, 「충청남도사회조사」

주: \* 응답의 평균 수치로 높을수록 심각하지 않음에 가깝고, 낮을수록 심각함에 가까움

[그림 3-11] 미세먼지 오염도



### 3. 원인

2016년 수원시가 실시한 온라인 설문조사<sup>14</sup>에 따르면 대기오염에 영향을 끼치는 가장 큰 원인으로 ‘중국으로부터 유입되는 미세먼지, 황사 등 대기오염물질’이 58%로 가장 높은 응답률을 나타냈다. 다음으로 ‘자동차 사용으로 발생하는 대기오염물질’이 34%로 나타났다.

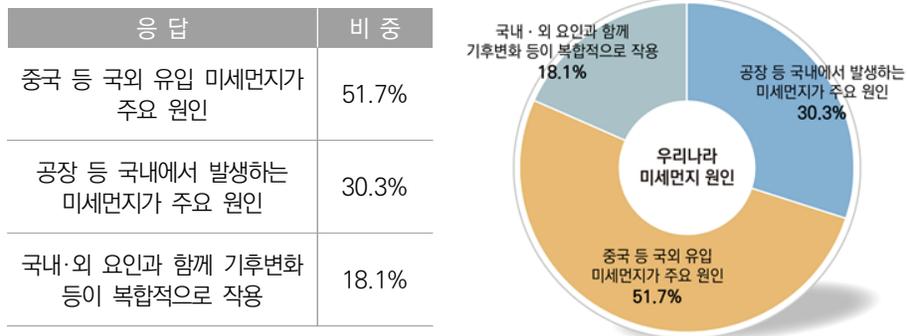
[그림 3-12] 대기오염에 영향을 끼치는 원인



<sup>14</sup> 수원시 “미세먼지저감 및 대기오염 예·경보제 인식도 조사” [http://www.suwon.go.kr/web/poll/BD\\_pollView.do? q\\_searchKey = &q\\_currPage = 1&q\\_sortName = &q\\_sortOrder = &q\\_rowPerPage = 10&q\\_seq = 25&q\\_searchKeyType = &q\\_title](http://www.suwon.go.kr/web/poll/BD_pollView.do?q_searchKey=&q_currPage=1&q_sortName=&q_sortOrder=&q_rowPerPage=10&q_seq=25&q_searchKeyType=&q_title)

또한 환경부 조사에 따르면 우리나라 미세먼지의 발생 원인으로 ‘중국 등 국외 유입 미세먼지가 주요 원인’이라는 응답이 51.7%로 가장 높았으며, 다음으로 ‘공장 등 국내에서 발생하는 미세먼지가 주요 원인’ 30.3%, ‘국내·외 요인과 함께 기후변화 등이 복합적으로 작용’ 18.1% 등의 순으로 나타났다(환경부, 2018).

[그림 3-13] 미세먼지 발생 원인

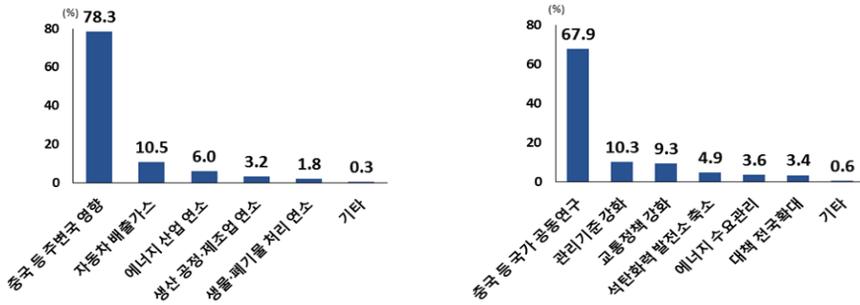


자료: 환경부 보도자료(2018.10.12.), 미세먼지 국민인식 조사 결과 요약

2019년 현대경제연구원이 시행한 설문조사<sup>15</sup>에 따르면, 미세먼지의 가장 큰 원인으로서는 ‘중국 등 주변국 영향’이 78.3%의 응답으로 국외 요인에 의한 영향을 지목하였다. 미세먼지를 줄이기 위해서는 ‘중국 등 국가의 공동연구를 통한 대기오염 상호영향 과학적 규명’이 필요하다는 응답이 67.9%로 가장 높게 나타났다.

<sup>15</sup> 민지원 (2019), 미세먼지에 대한 국민 인식 조사-미세먼지로 인한 경제적 비용 연간 4조 원으로 추정. 한국경제주평, 833, 1-16.

[그림 3-14] 미세먼지 발생 원인과 대응방안

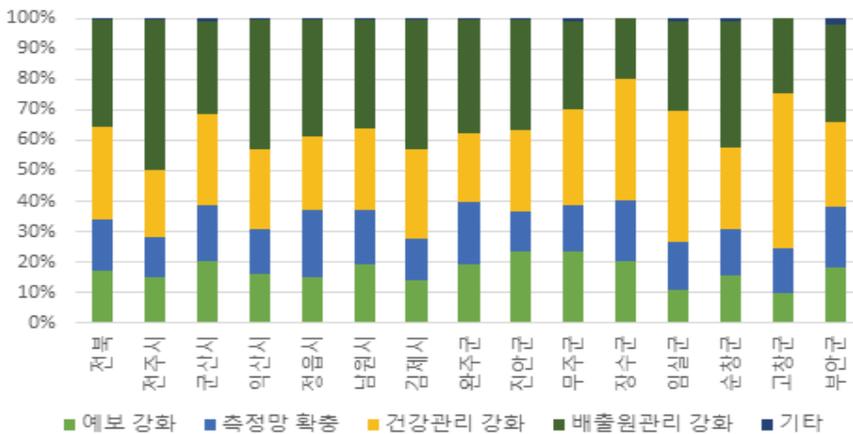


자료: 현대경제연구원(2019), 미세먼지에 대한 국민 인식 조사

#### 4. 대응방안

2016년 전라북도의 사회조사에 따르면, 미세먼지 대응방안으로 ‘배출원관리 강화’가 34.8%로 가장 높았으며, 다음으로 ‘건강관리 강화’ 30.7%, ‘예보 강화’ 17.3%, ‘측정망 확충’ 16.6% 등의 순으로 나타났다.

[그림 3-15] 미세먼지 대응방안(2016년)



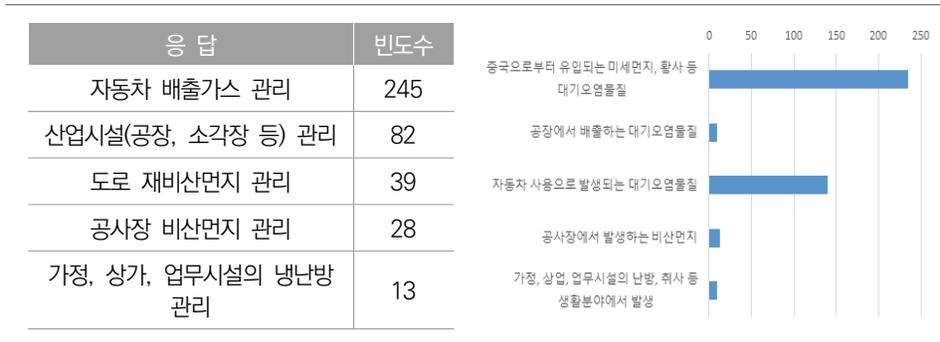
**[표 3-21] 미세먼지 대응방안(2016년)**

구 분	예보 강화	측정망 확충	건강관리 강화	배출원관리 강화	기타
전라북도	17.3	16.6	30.7	34.8	0.7
전주시	15.2	13.0	22.1	49.1	0.6
군산시	20.3	18.4	29.6	30.8	0.8
익산시	15.9	15.0	26.3	42.3	0.5
정읍시	15.3	21.7	24.5	38.3	0.2
남원시	19.5	17.5	26.6	35.7	0.6
김제시	14.0	13.8	29.0	42.7	0.5
완주군	19.5	20.0	22.9	37.2	0.4
진안군	23.2	13.1	27.2	36.2	0.2
무주군	23.6	14.9	32.0	28.7	0.9
장수군	20.5	19.7	40.2	19.6	-
임실군	10.7	16.1	42.8	29.2	1.2
순창군	15.5	15.2	27.1	41.4	0.9
고창군	10.0	14.3	51.4	24.3	0.1
부안군	18.4	19.6	28.2	31.6	2.2

자료: 전라북도, 「전라북도사회조사」

2016년 수원시가 실시한 온라인 설문조사에 따르면, 수원시의 미세먼지 저감을 위해 중점적으로 추진해야 할 사업은 ‘자동차 배출가스 관리’가 60%로 가장 높았고, 다음으로 ‘산업시설(공장, 소각장 등) 관리’가 20%, ‘도로 재비산먼지 관리’가 10% 등의 순으로 나타났다.

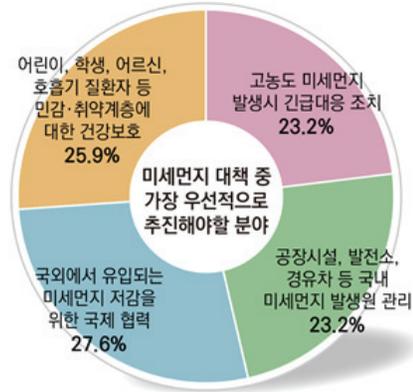
**[그림 3-16] 미세먼지 저감을 위한 중점추진사업**



또한 2018년 환경부의 조사에 따르면, 미세먼지 해결을 위한 우선순위 추진 분야에 ‘국외에서 유입되는 미세먼지 저감을 위한 국제협력’이 27.6%로 가장 높은 우선순위 대책으로 나타났다. 다음으로 ‘어린이, 학생, 어르신, 호흡기 질환자 등 민감·취약계층에 대한 건강보호’가 25.9%, ‘공장시설, 발전소, 경유차 등 국내 미세먼지 발생원 관리’ 23.2%, ‘고농도 미세먼지 발생 시 긴급대응 조치’ 23.2% 등의 순으로 나타났다 (환경부, 2018).

**[그림 3-17] 대책 우선순위 추진 분야**

응답	비중
국외에서 유입되는 미세먼지 저감을 위한 국제협력	27.6%
어린이, 학생, 어르신, 호흡기 질환자 등 민감·취약계층에 대한 건강보호	25.9%
공장시설, 발전소, 경유차 등 국내 미세먼지 발생원 관리	23.2%
고농도 미세먼지 발생시 긴급대응 조치	23.2%



자료: 환경부 보도자료(2018.10.12.), 미세먼지 국민인식 조사 결과 요약



## 제4장



# 분석자료 및 방법론

제1절 분석자료

제2절 기초분석

제3절 가설설정

제4절 가설별 주요 모형



## 제1절 분석자료

한국의 미세먼지는 국내에서의 발생량이 더 크며 중국에서의 영향은 확인할 수 없다는 의견이 제시되고 있다. 반면 기존 연구에서의 연구 결과와 같이 미세먼지는 지역으로 파악되며, 특히 국내의 미세먼지는 국외에서의 영향 또한 지대한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구는 미세먼지를 미세먼지( $PM_{10}$ )와 초미세먼지( $PM_{2.5}$ )로 구분하여 입자크기에 대한 영향과 지역 간 연계가 어느 정도인지를 밝히는 데 분석의 목적이 있다. 이를 위해서 본 연구는 국내와 국외(중국)로 구분하여 미세먼지에 대한 자료를 구축하였으며, 국내에서 발생하는 미세먼지 발생량의 결정요인을 파악하기 위한 원인 분석을 실시하였다. 이를 위한 자료는 [표 4-1]과 같다.

주요 통계는 승인통계인 통계청의 지역통계를 사용하였으며, 대기오염 관련 자료는 국립환경과학원 및 AirKorea의 자료를 사용하였다. 더불어 통계청의 대기오염 자료를 사용하여 보간하였다. 특히 통계청의 자료는 광역을 중심으로 한 연별자료의 생성과 기타 지역통계와의 연계가 우수하였다. 반면 월별 및 일별 자료에 대해서는 국립환경과학원 및 AirKorea의 자료를 사용하여 통계청 자료와 상호보완을 하였다. 또한 산업별 자료는 한국은행의 자료를 사용하였으며, 국외의 영향을 고려하기 위한 자료로는 중국환경관측총람의 자료를 사용하였다. 또한 중국의 주요 도시는 74개로 축약되었으나, 국내의 대기오염 자료 시계열이 상대적으로 짧아 중국 도시의 수를 분석에 맞게 제한하여 적용하였다.

**[표 4-1] 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 기초분석**

구 분		출 처	
미세먼지	톤	국립환경과학원 AirKorea	
초미세먼지			
인구	명	통계청	
농가인구			
도시화인구			
면적	km <sup>2</sup>		
도시화면적			
전체 인구밀도	명/km <sup>2</sup>		
도시인구밀도			
1차 산업부가가치	십억		
2차 산업부가가치			
3차 산업부가가치			
GRDP	천원		
1인당 GRDP			
2차 부가가치비율	%		
1인당 자동차수	대		
평균기온	℃		
평균합계강수량	mm		
평균일조율	%		
평균풍속	m/s		
평균최다풍향	방위		
산업별 생산, 고용, 부가가치, 중간투입액		한국은행	
미세먼지	주요도시 소계	mg/m <sup>3</sup>	중화인민공화국생태환경부 중국환경관측총람
	베이징시		
	톈진시		
	상하이시		
	광저우시		
초미세먼지	주요도시 소계		
	베이징시		
	톈진시		
	상하이시		
	광저우시		

## 제2절 기초분석

본 연구에서는 미세먼지 저감 조치의 토대를 구축하기 위하여 미세먼지 발생의 원인과 미세먼지의 지역 간 연계를 파악하고자 했다. 이를 위해서 원인 및 연계에 대해서 각각의 분석을 시행하였다.

### 1. 미세먼지 및 초미세먼지 지역별 원인 분석

본 연구에서는 미세먼지를 입자 크기에 따라 미세먼지와 초미세먼지로 구분하여 지역별 자료를 구축하였다. 대체적으로 미세먼지는 비슷한 수준이지만, 평균을 기준으로 할 경우 광역시는 인천, 울산, 부산, 광역도는 경기, 충북, 전북에서의 미세먼지가 높은 것으로 나타났다. 광역시에서의 미세먼지 발생량이 높은 인천은 서해안 인접으로 인한 지역적 특성과, 부산 및 울산은 조선산업이 집적된 지역으로 미세먼지의 발생량이 큰 것으로 판단된다.

**[표 4-2] 지역별 미세먼지 발생량**

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구 분	평 균	표준오차	최대값	최소값
서울	44.96	13.41	84.00	20.00
부산	45.65	9.54	76.00	26.00
대구	44.57	10.73	70.00	22.00
인천	49.07	12.80	84.00	24.00
광주	41.36	11.32	70.00	22.00
대전	43.05	12.21	71.00	19.00
울산	45.24	10.06	75.00	25.00
세종	14.98	22.18	64.00	-
경기	52.54	14.36	88.00	24.00
강원	47.40	14.38	85.00	22.00
충북	51.08	16.47	93.00	20.00
충남	43.30	12.24	72.00	-
전북	49.59	13.39	77.00	23.00
전남	37.79	8.90	67.00	23.00
경북	45.20	11.33	69.00	22.00
경남	44.69	9.36	71.00	28.00
제주	40.94	12.12	86.00	19.00

초미세먼지 발생량은 미세먼지에 비해 최대값에서의 편차가 큰 것으로 나타났다. 초미세먼지는 광역시의 경우 서울, 인천, 대전, 세종에서의 초미세먼지 발생량이 큰 것으로 나타났으며, 광역도에서는 전북, 경기, 충북에서의 초미세먼지 발생량이 큰 것으로 나타났다. 반면 평균 초미세먼지를 기준으로 할 경우에는 미세먼지에 비해 표준오차가 근소하지만 감소하여 분포를 형성하고 있는 것으로 나타났다. 더불어 최대값과의 차이가 적어 초미세먼지 발생 정도가 미세먼지 발생량에 비해 좀더 위험도가 높은 것으로 판단된다.

**[표 4-3] 지역별 초미세먼지 발생량**

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구 분	평 균	표준오차	최대값	최소값
서울	24.19	6.06	39.00	10.00
부산	25.29	5.19	34.00	14.00
대구	23.73	5.51	33.00	12.00
인천	25.71	5.86	38.00	12.00
광주	24.40	5.74	36.00	13.00
대전	23.40	6.89	37.00	11.00
울산	23.94	4.98	33.00	13.00
세종	14.96	11.82	37.00	-
경기	26.52	7.45	42.00	11.00
강원	25.65	7.72	38.00	11.00
충북	20.90	14.02	41.00	-
충남	15.46	12.08	35.00	-
전북	26.98	11.30	44.00	-
전남	22.35	4.46	30.00	12.00
경북	15.60	12.22	33.00	-
경남	23.27	4.40	31.00	12.00
제주	16.48	9.52	29.00	-

시·도별 미세먼지 및 초미세먼지가 자료 확보 및 가용도가 높지 않고 지역에서의 미세먼지 및 초미세먼지는 지역 간 연계가 되어 나타나기 때문에 권역별 미세먼지 및 초미세먼지 발생량을 구축하였다. 권역별로 구성할 경우 미세먼지의 발생량은 대전, 충남, 충북, 강원으로 이루어진 충청권, 광주, 전북, 전남, 제주로 이루어진 호남권에서 발생량이 상대적으로 크게 나타났다. 더불어 초미세먼지의 발생량을 구축할 경우에도 미세먼지와 유사하게 충청권, 호남권, 수도권 등의 순으로 미세먼지 발생량이 크게 나타났다. 따라서 미세먼지 및 초미세먼지는 개별 시·도뿐만 아니라 권역별로 형성하였을 때 발생량에 대한 분포를 보다 명확하게 파악할 수 있다.

**[표 4-4] 권역별 미세먼지 발생량**

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구 분	평 균	표준오차	최대값	최소값
수도권	146.57	40.17	256.00	68.00
충강권	199.81	56.75	328.00	88.00
호남권	169.68	43.69	290.00	91.00
대경권	89.78	21.72	135.00	46.00
동남권	135.58	28.39	222.00	81.00

**[표 4-5] 권역별 초미세먼지 발생량**

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구 분	평 균	표준오차	최대값	최소값
수도권	76.42	18.63	118.00	33.00
충강권	100.35	38.52	178.00	32.00
호남권	90.21	22.86	131.00	46.00
대경권	39.33	13.71	64.00	15.00
동남권	72.50	13.82	96.00	40.00

## 2. 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 분석

미세먼지 및 초미세먼지 발생이 어떤 원인에 기인하고 있는지에 대한 분석은 기존 연구의 연구결과와 이론적인 측면에서의 인과관계를 토대로 시·도가 가지고 있는 인구, 지역, 경제, 대기, 국외 미세먼지 및 초미세먼지 발생량에 의존하는 측면을 고려하였다. 이를 위해서 인구 측면은 농가, 도시화인구, 전체 인구, 전체인구밀도, 도시인구밀도 등을, 행정구역에 관해서는 면적과 도시화면적 등을 고려하였다. 또한 경제적인 측면으로 산업별 부가가치와 GRDP, 1인당 GRDP 등을 반영하였다. 특히 2차 산업의 영향을 고려하기 위하여 GRDP 중 2차 산업 부가가치의 비율을 적용하였다. 더불어 환경 측면은 1인당 자동차수를 통해 자동차로부터 유발되는 오염인자를 고려하였다. 또한 대기와 관련하여 평균기온, 합계강수량의 평균치, 평균일조율, 평균풍속, 평균풍향 등을 고려함으로써 대기변화로 인한 영향을 분석하였다. 또한 중국 미세먼지 및 초미세먼지의 영향을 분석하기 위하여 4개 지역의 미세먼지 및 초미세먼지를 반영하였다.

**[표 4-6]** 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 기초분석

구 분		평 균	표준오차	최대값	최소값
미세먼지	톤	9,325.64	11,661.00	46,290.00	354.00
초미세먼지	톤	5,089.52	5,993.81	24,306.00	318.00
인구	명	3,195,474	3,151,395	12,716,780	571,255
농가인구	명	175,014	152,375	491,225	8,689
도시화인구	명	3,020,460	3,133,275	12,392,218	456,716
면적	km <sup>2</sup>	6,263.88	6,074.06	19,031.42	501.15
도시화면적	km <sup>2</sup>	1,098.67	739.65	3,367.49	453.17
전체 인구밀도	명/km <sup>2</sup>	2,292.28	3,991.79	17,038.45	91.53
도시 인구밀도	명/km <sup>2</sup>	3,190.94	3,675.80	16,996.13	871.48
1차산업 부가가치	십억	2,107.99	1,816.92	5,669.91	40.46
2차산업 부가가치	십억	31,842.89	31,596.47	165,238.74	1,306.28

구 분		평 균	표준오차	최대값	최소값	
3차산업 부가가치	십억	53,011.98	72,173.28	324,411.74	7,379.58	
GRDP	십억	86,962.86	90,211.20	376,356.77	10,390.86	
1인당 GRDP	천원	29,208.18	10,855.21	62,938.00	15,558.00	
2차 부가가치 비율	%	38.70	17.76	76.28	8.38	
1인당 자동차수	대	0.42	0.07	0.73	0.29	
평균기온	℃	12.94	1.33	16.63	10.50	
평균합계강수량	mm	1,345.50	370.08	2,206.40	519.10	
평균일조율	%	49.06	3.82	57.02	39.53	
평균풍속	m/s	2.20	0.66	4.10	1.37	
평균최다풍향	방위	237.81	47.93	312.50	50.00	
미세먼지	중국전체	mg/m <sup>3</sup>	313.33	195.68	584.00	142.00
	베이징시	mg/m <sup>3</sup>	166.00	34.30	214.00	142.00
	톈진시	mg/m <sup>3</sup>	190.00	34.30	214.00	142.00
	상하이시	mg/m <sup>3</sup>	159.67	39.61	214.00	123.00
	광저우시	mg/m <sup>3</sup>	153.67	45.74	214.00	105.00
초미세 먼지	중국전체	mg/m <sup>3</sup>	458.67	284.17	853.00	217.00
	베이징시	mg/m <sup>3</sup>	246.67	42.40	306.00	217.00
	톈진시	mg/m <sup>3</sup>	276.33	42.40	306.00	217.00
	상하이시	mg/m <sup>3</sup>	235.00	52.75	306.00	182.00
	광저우시	mg/m <sup>3</sup>	223.67	65.36	306.00	148.00

## 제3절 가설설정

### 1. 미세먼지 및 초미세먼지 지역 간 관계 분석

미세먼지 및 초미세먼지 발생은 지역별 및 권역별 일정한 인과관계가 존재할 것으로 예상된다. 즉 인접한 지역의 미세먼지 및 초미세먼지 발생이 증가할수록 해당 지역의 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 커질 것으로 판단된다. 이에 대해서는 순차적인 영향이 있을 경우에 보다 극명하게 인과관계를 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 더불어 타 지역에서의 시간적인 차이에 의해서 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 영향을 받을 것으로 예상된다.

### 2. 미세먼지 및 초미세먼지 지역별 원인 분석

시·도의 미세먼지 및 초미세먼지 발생의 원인을 파악하는 데 있어서는 기본적으로 기존 연구에서 사용한 변수들과 현재 인과관계가 논의되었던 변수들을 시·도 기준으로 재구축함으로써 원인을 파악하였다. 더불어 이를 위한 가설을 다음과 같이 설정하였다.

#### 1) 국가적인 차원에서 중국의 영향 존재

시·도의 미세먼지 및 초미세먼지는 국내 원인에 의해서 증감하지만 국외의 영향이 존재할 것으로 예상된다. 특히 중국 주요도시의 미세먼지 및 초미세먼지 발생으로 국내 미세먼지 및 초미세먼지 발생량은 증감하게 된다.

#### 2) 도시발전 차원에서 도시화된 지역의 영향 존재

도시화를 통해서는 인구가 상대적으로 더 집약되는 것을 의미하며, 산업 발전과 더불어 미세먼지 및 초미세먼지에 미치는 영향이 좀더 클 것으로 판단된다. 따라서 도시화가 상대적으로 더 이루어진 지역에서의 미세먼지 및 초미세먼지 발생이 좀더 유발될 것으로 예상된다.

### 3) 지역별 차원에서 서해안권의 시·도에 의한 영향 존재

국내의 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 시·도에서 차별적으로 발생할 수 있지만, 특히 서해안에 인접한 지역에서의 미세먼지 및 초미세먼지 발생이 좀 더 클 것으로 판단된다.

### 4) 성장적 관점에서 2차 산업 발전 지역의 영향 존재

국내의 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 주로 2차 산업에 의해서 미세먼지 및 초미세먼지 발생량이 좀 더 높을 것으로 판단된다. 특히 산업을 1·2·3차로 구분할 경우에는 상대적인 기여 정도가 2차 산업이 클 것으로 판단된다.

### 5) 풍속, 강수량, 기온, 풍향에 의한 영향 존재

국내의 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 대기변화와 관계가 클 것으로 판단된다. 특히 중국 미세먼지 및 초미세먼지 발생 시 풍속이 빠를 경우 국내의 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 좀더 증가하며, 강수량에 의해서는 미세먼지 및 초미세먼지 감소할 것으로 예상된다. 또한 기온이 높은 여름철 미세먼지 및 초미세먼지 발생이 감소하는 측면으로 기온과는 부(-)적인 관계가 형성될 것으로 판단된다. 또한, 중국으로부터의 풍향이 형성될 경우에는 미세먼지 및 초미세먼지의 발생이 증가할 것으로 예상된다.

## 제4절 가설별 주요 모형

### 1. 미세먼지 및 초미세먼지 지역별 관계 분석

Huang et al. (2018)은 전체 대기오염 및 초미세먼지 총량을 지역별로 구분하였다. 즉 지역별로 전체 대기오염 및 초미세먼지에 기여할 수 있는 기여율이 도출되어, 어떠한 대기오염 물질 및 초미세먼지가 발생하였는지가 고려되었다. 이를 통해 지역에서 발생하는 대기오염 물질 및 초미세먼지의 근원적인 발생량 외에 타 지역에서의 영향에 의해서 발생이 전이되는 특성 역시 파악할 수 있다. 기존의 연구에서는 풍속 및 풍향을 고려하였으나, 지역을 고려하여 어느 정도 영향을 미치는지를 제시한 연구는 상대적으로 많지 않았다. 따라서 본 연구는 대기오염 및 초미세먼지에 영향을 주는 기존 연구결과를 토대로 풍속 및 풍향을 기반으로 하였을 때, 지역의 산업으로 인해 특징되는 지역적인 차별성을 고려하여 초미세먼지 발생에 중점적으로 기여하는 지역(contributor)을 도출하는 데 연구의 목적이 있다.

더불어 미세먼지 및 초미세먼지는 해당 지역의 발생량에 의한 대기오염 외에 주변지역의 발생량에 의한 대기오염의 전이로도 이해할 수 있다. 따라서 본 연구는 시·도의 미세먼지 및 초미세먼지 발생량과 이를 유발하는 국내 요인, 그리고 국외 요인으로 중국의 미세먼지 및 초미세먼지 발생량을 고려하였다. 시·도별로 구분되는 미세먼지 및 초미세먼지의 발생량에 대한 원인 파악과 함께 중국 발생량과의 인과관계를 파악하기 위해서는 공통적인 시점을 추출하는 것이 필요하다. 이를 위해 미세먼지는 2010년부터 2016년 12월까지 자료를 사용하였으며, 초미세먼지는 2011년부터 2016년 12월까지의 자료를 사용하였다. 더불어 미세먼지 및 초미세먼지의 공표는 전체 시·군·구 중 각각 117개, 114개 시·군·구<sup>16</sup>에서의 도시별 대기오염도가 공표되는 특성을 반영하여 17개 시·도의 대표 시·군·구를 도출하여 17개 시·도의 미세먼지 및 초미세먼지에 대한 자료

---

<sup>16</sup> 환경부 대기오염현황에서 제공하고 있는 미세먼지 및 초미세먼지 발생량은 각각 117개 지자체(광역시 7, 시·군·구 110), 114개 지자체(광역시 7, 시·군·구 107)로 그 지역이 상이하다. 더불어 기상청의 종관기상관측 관측 지점은 131개이지만 이를 지역별로 재구분하여 분류하였을 때는 광역시 7개, 시·군·구 82개로 분류가 가능하다. 따라서 미세먼지 및 초미세먼지에 대한 현재의 가능한 자료 구축은 총 89개의 광역 및 기초지자체를 대상으로 구축이 가능하다.

를 구축하였다. 더불어 국외 요인으로 구분되는 중국의 미세먼지 및 초미세먼지에 대한 자료는 74개 지역에 대해 중화인민공화국 생태환경부의 2014년 11월부터 2016년 12월까지 자료를 사전적으로 구축하였으며, 한국에 미치는 풍향 및 인접 지역을 대상으로 중국의 대표 도시를 추출하였다.

관측지점별 국내 미세먼지 및 초미세먼지의 국내·외 지역 간 영향관계와 지역 간 및 요인별 인과관계를 파악하기 위해 사전적으로 Granger causality test를 사용하였으며, 시계열의 안정성에 대한 검정은 단위근 검정을, 불안정한 변수 간의 장기 안정적인 균형이 존재 여부는 공적분 검정을 통해서 사전적인 인과관계 및 모형의 적용 가능성을 확인하였다. 이후 불안정하지만 안정적인 장기균형이 존재할 경우에는 오차수정모형(error correction model, ECM)을 적용하였으며, 불안정한 자료를 사용할 경우에는 안정적인 시계열로 변형하여 자기회귀모형(vector autoregressive model, VAR)을 적용하였다. 더불어 본 연구의 모든 자료는 지역과 시계열 자료를 혼용하는 패널자료를 사용하였기 때문에 패널모형(panel vector error correction model & panel autoregressive model)으로 변형하여 적용하였다.

일반적인 벡터자기회귀모형을 패널자료를 사용하여 변형시킬 경우의 패널벡터자기회귀모형은 패널자료의 안정성을 고려하여 내생변수의 시차<sup>17</sup>를 반영함으로써 다음과 같이 기술이 가능하다. 따라서 패널벡터자기회귀모형은 미세먼지의 지역 간 및 발생원인들 간 체계 구축이 가능하며 확률교란(random disturbance)의 충격을 분석하게 된다.

$$y_{i,t} = \alpha_i y_{i,t-1} + \beta_i x_{i,t} + e_{i,t} \quad (1)$$

$y$  : 미세먼지 및 초미세먼지 발생에 대한 내생변수

$x$  : 외생변수

$e$  : 확률적 교란항

패널자기회귀모형의  $\alpha_i$ 는 지역  $i$ 의 자기회귀추정계수로서,  $\alpha_i < 1$ 일 때는 약추세정상(weakly trend stationarity)적이며  $\alpha_i = 1$ 일 경우에는 단위근을 갖는 것을 의미한다. 또한 개별 지역에 대한 내생 및 외생변수는 각각  $(N \times 1)$ 이고 확률적 교란항 오차

<sup>17</sup> 시차의 선택은 AIC(Akaike information criteria) 및 SIC(Schwartz information criteria) 통계량에 의하여 반영하였다.

항 역시  $(N \times 1)$ 인  $e \sim N(0, \sigma^2 I_n)$ 이며 이때  $I_n$ 은 단위행렬이다. 더불어 동일 기간의 지역  $i$ 의 내생 및 외생자료는 동일한 시차가 필요하다. 또한 지역  $i$ 에서 발생하는 미세먼지 발생의 시간적 안정성을 고려하기 위해서는 단위근 및 공적분에 대한 검토가 선행되는 것이 필요하다. 패널단위근검정(panel unit root test)은 시차와 차분 여부를 통해 시계열의 안정성을 확보하며, Breitung t-stat, ADF-Fisher Chi-square, PP-Fisher Chi-square가 사용된다. 패널공적분검정(panel cointegration test)은 벡터자기회귀모형 및 오차수정모형의 선택 여부를 결정할 때 사용되며, 공적분 유무에 대한 검정은 Westlund (2006)의 패널 공적분 검정을 사용하였다. 패널 공적분 검정은 Ga, Gt, Pa, Pt 통계량에 대한 공적분 관계가 고려되며, 개별 패널에 대한 공적분과 전체 패널에 대한 공적분은 Ga와 Gt 통계량, Pa와 Pt 통계량으로 구분되어 적용된다. 반면 오차수정모형을 사용할 경우에는 분석에 사용되는 자료의 충분한 고려가 이루어지지 않는 특성이 있다. 한편 Dumitrescu and Hurlin(2002)은 시계열 변수에 대한 기존 그랜저 검증을 변수  $i$  및 시간  $t$ 에 대한 패널변수를 대상으로 확장하여 식(2)의 패널 그랜저 검증인 Dumitrescu-Hurlin test를 개발하였다. 따라서 본 연구는 시·도를 대상으로 구축된 2000년-2013년 변수들의 인과관계를 패널 그랜저 검증을 사용하여 분석하였다. 패널 그랜저 검증에서 필요한 시차 및 차분은 AIC 및 SIC 최소 기준을 적용하여 반영하였다.

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_{ik} y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^K \gamma_{ik} x_{i,t-k} + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

$y$  : 미세먼지 및 초미세먼지 발생에 대한 내생변수

$x$  : 외생변수

$e$  : 확률적 교란항

## 2. 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 분석

국내의 미세먼지 및 초미세먼지에 대한 결정요인의 도출은 사전적인 관계를 기존 연구 분석결과를 사용하여 설정하였다. 특히 자료의 한계를 극복하기 위하여 시·도별 자료를 활용한 패널자료를 구축하여 분석하였으며, 패널모형의 설정은 하우스만테스트를 사용하여 사전 검토하였다. 본 연구에서 고려된 분석 방법은 GLS에 기반한 확률효과 모형을 사용하여 분석 모형을 설정하였다.

$$y_{p,i,t} = \alpha_1 + \beta_2 \text{popden}_{i,t} + \beta_3 \text{1stIndVal}_{i,t} + \beta_4 \text{2ndIndVal}_{i,t} + \beta_5 \text{3rdIndVal}_{i,t} + \beta_6 \text{GRDPpc}_{i,t} + \beta_7 \text{CARpc}_{i,t} + \beta_8 \text{Temp}_{i,t} + \beta_9 \text{Rain}_{i,t} + \beta_{10} \text{WS}_{i,t} + \beta_{11} \text{WD}_{i,t} + \beta_{12} \text{BeijingPM}_{p,i,t} + \mu_i + e_{i,t} \quad (3)$$

$y$	: 미세먼지 및 초미세먼지 발생에 대한 내생변수
$p$	: 미세먼지 및 초미세먼지
$\text{popden}$	: 인구밀도
$\text{1stIndVal}$	: 1차산업 부가가치
$\text{2ndIndVal}$	: 2차산업 부가가치
$\text{3rdIndVal}$	: 3차산업 부가가치
$\text{GRDPpc}$	: 1인당 지역내총생산
$\text{CARpc}$	: 1인당 자동차수
$\text{Temp}$	: 평균온도
$\text{Rain}$	: 평균합계강수량
$\text{WS}$	: 풍속
$\text{WD}$	: 풍향
$\text{BeijingPM}_p$	: 베이징 미세먼지 및 초미세먼지 발생량
$\mu, \epsilon$	: 확률적 교란항



## 제5장



# 미세먼지 지역 간 영향력 분석 및 결정요인 분석결과

제1절 미세먼지 변화에 따른 지역 간 영향력 분석  
제2절 미세먼지 오염 원인 분석



## 제1절 미세먼지 변화에 따른 지역 간 영향력 분석

본 연구의 목적은 미세먼지 및 초미세먼지의 중앙 및 지방의 대응 정책을 보고, 이를 좀더 개선하기 위하여 미세먼지 및 초미세먼지의 지역 간 연계 유무를 검토하는 데 있다. 특히 특정 지역의 미세먼지 및 초미세먼지 발생은 단순히 개별 지역에서의 미세먼지 및 초미세먼지 발생량에만 의존하는 것이 아니라, 주변 지역에서의 영향에 의해서도 미세먼지 및 초미세먼지가 발생하는 정도를 규명하는 데 있다. 따라서 지역 간 영향력 분석에 의하여 미세먼지 및 초미세먼지의 지역 간 인과관계를 살펴보고, 발생 원인을 지역 및 국가 차원에서 파악하고자 한다.

### 1. 미세먼지의 지역 간 영향력 분석

미세먼지 및 초미세먼지의 지역 간 인과관계를 규명하기 위해서는 일반적으로 그랜저분석에 의한 지역 간 인과관계 분석이 사용된다. 그랜저분석이 인과관계를 도출하는데 유용하게 사용될 수 있으나, 특정 지역의 미세먼지 및 초미세먼지가 변화하게 될 때를 고려하는 것에는 한계가 존재한다. 따라서 본 연구는 미세먼지 및 초미세먼지의 발생 정도가 주변 지역에서 유발될 수 있다는 가정하에 벡터자기회귀분석을 사용하여 분석을 시도하였다. 미세먼지를 대상으로 할 경우에는 상대적으로 장기의 패널 구축이 가능하여 17개 시·도를 대상으로 지역 간 미세먼지의 인과관계 파악이 가능하였다. 따라서 불안정한 패널 및 시계열의 확보를 통해 단위근이 존재하더라도 공적분이 검토되고 이때의 오차수정모형의 적용이 가능한 반면, 해당 미세먼지의 패널 및 시계열 모형은 공적분으로 17개 시·도의 미세먼지 간 인과관계가 상호존재하여 불안정한 패널 및

시계열이라도 사용이 가능한 벡터자기회귀모형을 적용하여 분석을 시도하였다. 그 결과 17개 시·도의 미세먼지에는 공적분이 존재하는 것으로 나타나 일정한 패턴이 존재하는 것으로 나타났다.

**【표 5-1】** 미세먼지 공적분 유무 검토 결과

t-Statistic	Prob.
-9.47391	0
Residual variance	2.20642
HAC variance	0.229773

벡터자기회귀모형에 의하여 시·도의 미세먼지 인과관계를 파악한 결과 전반적인 유의도는 높은 것으로 분석되었다. 반면 벡터자기회귀모형의 사용 목적은 미세먼지의 인과관계를 파악하는 것이기 때문에 이에 대한 인과관계를 설정하면, 서울의 미세먼지 발생정도는 대구, 인천, 광주, 세종, 울산, 충북 등에서의 미세먼지 발생에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 서해안권에 위치하며 미세먼지 발생 정도가 높은 인천은 도시 내의 미세먼지 발생에 의해서 가장 크게 영향을 받지만, 이 외에 세종, 대전 등 충청도지역에서의 영향에 의해 영향을 받으며 강원도의 미세먼지에 의해서도 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 미세먼지 발생 정도가 높은 전북은 인천, 대전, 세종, 경기도, 강원도의 미세먼지 발생에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히, 타 시·도의 미세먼지 발생에 영향을 주게 되는 경기도의 미세먼지 발생은 인천, 대전, 세종, 경기도, 충남의 미세먼지에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다.

즉 지역의 미세먼지 발생은 해당 지역에서의 미세먼지 발생에 의해서 주로 영향을 받게 되지만, 인근 지역에서의 미세먼지 발생에 의해서도 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면 이러한 특성은 시·도가 17개이며, 시·군·구별 미세먼지 발생에 대한 자료가 없는 이유로 지역의 근접성을 고려하지 못하였다. 그러나 지역의 인접성이 고려가 될 경우에는 보다 상세한 결과가 도출될 것으로 파악된다. 더불어 벡터자기회귀모형은 인과관계를 밝힐 뿐이며, 지역별 영향을 도출하기 위해서는 추가적인 과정이 필요한 것으로 판단된다.

[표 5-2] 미세먼지 벡터자기회귀분석 결과

구분	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	경북	경남	전북	전남	제주
서울(-1)	-1.516	-0.745	-0.869	-1.743	-0.939	-1.518	-0.903	-0.628	-2.226	-1.593	-2.060	-0.598	-1.021	-0.777	-1.540	-0.734	-0.744
서울(-2)	-0.255	-0.213	-0.402	-0.274	-0.477	-0.262	0.174	-0.366	-0.443	-0.418	-0.314	0.201	-0.205	-0.230	-0.693	-0.237	0.338
부산(-1)	-0.456	0.108	-0.129	-0.521	0.014	-0.257	0.616	-0.309	-0.209	-0.718	-0.615	-0.476	-0.105	-0.361	-0.132	-0.269	-0.336
부산(-2)	0.605	0.719	0.538	0.605	0.746	0.468	-0.669	0.888	0.456	0.376	0.532	0.367	0.449	0.596	0.533	0.574	0.777
대구(-1)	-0.434	-0.323	-0.368	-0.602	-0.841	-0.713	0.501	-0.526	-0.649	-0.394	-0.712	-0.846	-0.622	-0.518	-0.830	-0.434	-0.477
대구(-2)	1.148	0.222	0.757	1.188	0.949	1.150	-0.355	0.101	1.256	1.216	1.697	1.165	0.423	0.317	1.291	0.421	0.729
인천(-1)	0.776	0.632	0.722	1.243	1.068	1.261	-0.132	0.764	1.100	0.791	1.342	1.138	0.651	0.699	1.320	0.609	0.373
인천(-2)	-0.081	-0.109	0.082	-0.105	-0.163	-0.051	0.638	0.098	-0.075	-0.039	-0.331	-0.442	0.052	-0.055	-0.063	0.045	-0.540
광주(-1)	0.031	0.081	-0.088	0.149	0.094	0.078	-0.109	0.091	0.074	0.133	0.103	0.726	-0.124	-0.016	-0.083	-0.078	-0.048
광주(-2)	-0.423	-0.260	-0.207	-0.622	-0.544	-0.412	0.375	-0.347	-0.491	-0.536	-0.592	-1.224	-0.172	-0.123	-0.546	-0.418	-0.648
대전(-1)	-0.242	-0.136	0.001	-0.191	0.114	0.181	0.063	-0.039	-0.378	-0.431	-0.427	-0.172	-0.174	-0.075	-0.028	0.145	-0.147
대전(-2)	0.599	0.169	0.196	0.480	0.376	0.693	0.181	0.275	0.659	0.583	0.463	0.500	0.422	0.185	0.244	0.229	0.428
대전(-2)	0.599	0.169	0.196	0.480	0.376	0.693	0.181	0.275	0.659	0.583	0.463	0.500	0.422	0.185	0.244	0.229	0.428
대전(-2)	0.599	0.169	0.196	0.480	0.376	0.693	0.181	0.275	0.659	0.583	0.463	0.500	0.422	0.185	0.244	0.229	0.428
세종(-1)	0.042	0.117	0.084	0.034	0.165	0.138	0.702	0.074	0.030	0.027	0.064	0.178	0.080	0.142	0.055	0.133	0.166
세종(-2)	0.159	-0.007	0.033	0.114	0.048	0.084	0.267	0.028	0.182	0.126	0.143	-0.057	0.026	-0.013	0.193	0.000	-0.165
울산(-1)	0.035	0.188	-0.156	0.323	0.283	-0.117	-0.865	0.438	-0.154	-0.005	-0.160	0.420	-0.313	0.074	-0.071	0.258	0.418
울산(-2)	-1.109	-0.951	-0.644	-1.186	-1.271	-0.876	-0.124	-0.939	-1.146	-0.927	-0.885	-0.858	-0.692	-0.728	-1.308	-0.797	-1.122
경기(-1)	1.157	0.288	0.182	0.842	0.319	0.648	1.456	0.144	1.541	0.945	0.700	0.273	0.465	0.132	0.564	0.357	0.812
경기(-2)	-0.127	0.138	0.218	0.147	0.001	-0.077	-0.996	0.147	0.181	0.032	0.102	-0.379	-0.057	0.158	0.252	-0.095	-0.092
강원(-1)	0.349	0.215	0.169	0.429	-0.117	0.003	-0.219	0.282	0.327	0.871	0.405	-0.379	0.230	0.338	0.223	0.143	0.356
강원(-2)	0.192	0.225	0.078	0.155	0.567	0.285	0.497	0.247	0.160	-0.009	-0.078	0.603	0.030	0.184	0.683	0.196	0.059
충북(-1)	0.529	0.310	0.630	0.668	0.535	0.539	-0.419	0.473	0.638	0.484	1.038	0.729	0.535	0.422	0.517	0.361	0.235

미세먼지 저감을 위한 지방자치단체 대응 방안

구분	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	경북	경남	전북	전남	제주
총복(-2)	-0.288	-0.037	-0.186	-0.349	-0.030	-0.370	0.085	-0.201	-0.321	-0.354	-0.157	-0.441	-0.141	-0.134	-0.436	0.047	-0.039
총남(-1)	0.164	0.115	0.083	0.152	0.139	0.087	-0.032	0.098	0.176	0.169	0.146	0.073	0.151	0.110	0.165	0.084	0.117
총남(-2)	-0.218	-0.072	-0.128	-0.170	-0.197	-0.257	-0.173	-0.160	-0.231	-0.264	-0.225	-0.343	-0.178	-0.089	-0.191	-0.150	-0.056
경북(-1)	-0.086	-0.013	0.296	-0.328	0.335	0.509	0.369	-0.200	0.193	-0.129	0.542	0.250	0.739	0.093	0.444	-0.134	-0.609
경북(-2)	0.342	0.545	0.030	0.437	0.285	0.126	-0.192	0.742	0.137	0.661	0.137	-0.115	0.509	0.443	0.342	0.555	0.654
경남(-1)	0.145	-0.550	-0.313	0.086	-0.343	0.199	-0.708	-0.486	0.117	0.495	0.237	0.012	-0.167	0.047	-0.150	-0.240	0.196
경남(-2)	-0.478	-0.268	-0.380	-0.497	-0.566	-0.501	0.708	-0.510	-0.246	-0.646	-0.778	-0.398	-0.463	-0.301	-0.533	-0.458	-0.906
전북(-1)	-0.417	-0.180	-0.205	-0.551	-0.410	-0.454	-0.142	-0.350	-0.447	-0.333	-0.386	-0.638	-0.200	-0.191	-0.248	-0.353	-0.124
전북(-2)	0.238	0.176	0.220	0.180	-0.078	0.168	-0.020	0.349	0.192	0.356	0.340	0.694	0.109	0.094	0.187	0.049	-0.222
전남(-1)	-0.475	-0.403	-0.366	-0.305	-0.733	-0.728	0.162	-0.053	-0.579	-0.740	-0.553	-0.545	-0.378	-0.394	-0.422	-0.129	-0.968
전남(-2)	-0.089	-0.082	-0.240	0.043	0.389	-0.163	-0.077	-0.088	-0.039	0.086	-0.048	0.345	-0.010	-0.214	0.123	0.272	0.799
제주(-1)	0.446	0.316	0.365	0.358	0.382	0.324	0.182	0.248	0.453	0.446	0.421	0.117	0.345	0.344	0.289	0.337	0.776
제주(-2)	-0.017	-0.096	0.001	-0.012	0.004	0.010	-0.162	-0.124	-0.035	-0.039	0.042	0.249	-0.099	-0.074	0.014	-0.082	-0.027
C	24.774	31.723	34.528	30.451	32.916	26.882	13.115	30.591	27.478	25.159	31.675	35.307	32.852	33.691	33.332	26.447	36.957
R-squared	0.740	0.607	0.669	0.731	0.658	0.719	0.934	0.623	0.769	0.821	0.817	0.554	0.723	0.618	0.732	0.592	0.559
Adj. R-sq	0.733	0.596	0.660	0.724	0.648	0.711	0.933	0.613	0.763	0.816	0.812	0.542	0.716	0.607	0.724	0.581	0.547
Sum sq.resi	59.307	45.970	48.302	55.655	56.188	53.680	41.038	48.995	60.364	47.019	61.896	85.709	45.484	42.993	61.664	41.161	82.153
S.E.equation	6.924	6.096	6.249	6.708	6.740	6.588	5.760	6.292	6.986	6.165	7.074	8.324	6.064	5.895	7.060	5.768	8.149
F-statistic	103.590	56.084	73.509	99.083	69.865	93.096	518.516	60.089	121.277	166.544	162.646	45.164	95.166	58.805	99.260	52.787	46.183
Log likelihood	-4.248	-4.086	-4.118	-4.208	-4.214	-4.185	-4.014	-4.127	-4.260	-4.101	-4.276	-4.483	-4.080	-4.044	-4.273	-4.016	-4.456
Akaike AIC	6.735	6.480	6.530	6.671	6.681	6.635	6.367	6.543	6.753	6.503	6.778	7.103	6.470	6.413	6.774	6.370	7.061
Schwarz SC	6.877	6.622	6.671	6.813	6.823	6.777	6.508	6.685	6.894	6.645	6.919	7.245	6.611	6.555	6.916	6.511	7.203
Mean dependent	44.783	45.651	44.425	48.887	41.340	43.038	15.264	45.245	52.358	47.189	50.736	43.311	45.142	44.717	49.566	37.689	40.811
S.D. dependent	13.398	9.588	10.714	12.769	11.362	12.260	22.191	10.107	14.346	14.364	16.322	12.294	11.375	9.407	13.449	8.909	12.111

벡터자기회귀모형에 의한 결과를 이용하여 타 지역에서의 미세먼지 발생에 의해 해당 지역의 미세먼지 발생에 미치는 영향을 도출하였다. 즉 특정 지자체에서의 미세먼지 발생은 타 지자체에 영향을 미치게 되는 근거로 사용될 수 있다. 서울의 경우 서울의 1, 2시차에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 더불어 인천으로부터는 2~5 시차에 의해서 영향을 받으며, 경기도와 강원도로부터의 영향 역시 서울보다는 늦은 시차에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉 서울의 미세먼지 발생은 서울의 미세먼지로부터 영향을 우선적으로 받지만, 이외 지역의 미세먼지 발생에 의해서 영향을 받기도 했다. 즉 서울은 서울의 미세먼지 발생 다음으로 경기, 인천의 미세먼지 발생에 의해 서울의 미세먼지 발생이 주도되며, 이후 경남, 제주의 미세먼지 발생에 의해서도 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면 해당 모형은 1년을 주기로 한 모형이기 때문에 통합되어 그 결과를 해석할 수 있지만, 월별 미세먼지에 대한 자료가 가능할 경우에는 월별 변화에 대한 근거를 확보할 수 있다. 더불어 부산은 부산의 미세먼지 발생에 의해서 영향을 받지만 이외에 울산, 경남으로부터의 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 광역시 중 미세먼지의 발생이 높은 인천의 경우에는 인천과 서울에 의해서 인천의 미세먼지 발생이 영향을 받는 것으로 나타나, 향후 미세먼지 대응을 위한 상호 협력이 필요한 근거가 마련되었다. 더불어 인천의 미세먼지는 경기, 강원도의 미세먼지에 의해서 영향을 받는 것으로 나타나 이 경우에는 국외분보다 국내분에 의한 미세먼지 발생 영향이 존재하였다. 경기의 경우에는 서울과는 다르게 모든 특광역시와 경기의 미세먼지 발생에 의해서 영향을 받는 것으로 나타나, 특정 시·도가 아닌 다수 시·도의 미세먼지 발생에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 더불어 대기오염 정도가 나쁜 강원도의 미세먼지 발생은 경기, 울산, 서울의 미세먼지 발생에 의해서 영향을 받는 것으로 나타남으로써 인근 지역의 미세먼지 발생에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 지역 간 미세먼지 발생에 대한 결과는 [표 5-3]과 같다.

**[표 5-3] 미세먼지 지역 간 충격반응분석 결과**

Response of 서울:																	
Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	6.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.44	-1.60	-0.50	1.69	0.32	-0.01	-0.91	0.72	1.13	1.19	0.97	0.81	-1.10	-0.10	-0.52	0.25	1.40
3	-0.01	-0.21	2.04	1.21	0.12	-0.21	0.02	-0.74	1.31	1.62	0.45	-0.64	-0.26	-0.41	-0.19	0.45	0.75
4	-0.84	-0.37	2.61	0.43	-0.36	0.19	-0.39	-1.13	1.06	0.70	0.70	0.11	0.27	0.36	0.10	0.46	1.11
5	-1.23	-0.70	2.90	0.04	0.25	-0.24	-0.14	-1.21	0.98	-0.03	0.56	0.41	0.44	0.19	0.08	0.81	0.75
6	-1.13	-0.51	1.40	-0.07	0.52	-0.16	-0.24	-0.47	0.46	-1.04	0.54	0.65	0.55	-0.06	0.06	0.71	0.53
7	-1.29	-0.28	-0.05	-0.15	0.52	-0.39	-0.16	0.06	-0.13	-1.44	0.27	0.58	0.27	-0.04	-0.45	0.49	0.17
8	-1.14	0.06	-1.34	-0.53	0.28	-0.51	-0.10	0.42	-0.65	-1.29	-0.15	0.26	0.05	0.01	-0.83	0.08	-0.17
9	-0.40	0.44	-1.98	-0.79	-0.04	-0.55	-0.10	0.72	-0.85	-1.07	-0.47	-0.02	0.04	0.03	-1.15	-0.19	-0.32
10	0.47	0.65	-2.05	-0.69	-0.18	-0.38	-0.15	0.89	-0.82	-0.63	-0.56	-0.29	0.12	0.01	-1.20	-0.41	-0.31

Response of 부산:																	
Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	4.57	4.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.42	-0.59	-0.99	1.24	0.18	0.22	-0.02	0.61	0.36	0.66	0.28	0.49	-0.74	-0.50	-0.27	-0.54	1.00
3	0.59	-0.22	0.38	0.41	-0.10	-0.17	-0.11	-0.60	1.16	1.00	0.11	-0.22	-0.21	-0.45	0.24	-0.14	0.01
4	-0.39	-0.30	1.22	0.25	-0.38	-0.07	-0.54	-0.74	0.84	0.71	0.44	0.31	0.10	0.26	0.38	-0.01	0.58
5	-0.52	-0.27	2.07	-0.16	0.12	-0.13	-0.26	-0.92	0.82	0.32	0.55	0.31	0.39	0.21	0.25	0.47	0.38
6	-0.55	-0.36	1.28	-0.14	0.24	-0.05	-0.43	-0.46	0.50	-0.32	0.67	0.56	0.44	0.17	0.40	0.45	0.40
7	-0.81	-0.27	0.59	-0.17	0.32	-0.25	-0.34	-0.11	0.17	-0.61	0.50	0.51	0.29	0.09	0.05	0.40	0.20
8	-0.83	-0.10	-0.31	-0.43	0.20	-0.30	-0.33	0.16	-0.25	-0.68	0.25	0.34	0.12	0.12	-0.15	0.13	-0.03
9	-0.49	0.14	-0.82	-0.63	0.02	-0.35	-0.30	0.39	-0.46	-0.69	-0.01	0.16	0.09	0.16	-0.42	-0.05	-0.17
10	0.03	0.35	-1.08	-0.65	-0.07	-0.23	-0.31	0.56	-0.56	-0.53	-0.12	-0.06	0.10	0.15	-0.52	-0.25	-0.22

Response of 대구:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	5.18	2.57	2.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.85	-1.17	-0.19	1.34	0.28	0.62	-0.61	0.33	0.44	0.93	1.11	0.45	-0.81	-0.19	0.01	-0.27	1.15
3	-0.05	-0.43	1.29	1.13	0.01	-0.25	-0.17	-0.47	1.26	0.95	0.38	-0.36	-0.07	-0.55	-0.06	0.22	0.53
4	-1.04	-0.19	1.92	0.32	-0.31	0.10	-0.56	-0.63	0.62	0.35	0.61	0.11	0.14	0.21	0.20	-0.02	0.73
5	-0.96	-0.52	2.05	-0.20	0.06	-0.17	-0.23	-0.91	0.56	-0.25	0.44	0.34	0.38	0.26	0.03	0.41	0.37
6	-0.79	-0.24	0.85	-0.24	0.28	-0.09	-0.40	-0.22	0.24	-0.99	0.47	0.45	0.48	0.10	0.04	0.26	0.30
7	-0.75	-0.03	-0.20	-0.19	0.33	-0.22	-0.31	0.24	-0.21	-1.22	0.25	0.35	0.33	0.01	-0.40	0.15	0.06
8	-0.55	0.16	-1.19	-0.38	0.12	-0.27	-0.28	0.51	-0.55	-1.03	-0.03	0.15	0.11	0.04	-0.62	-0.17	-0.20
9	-0.06	0.37	-1.56	-0.51	-0.15	-0.34	-0.26	0.67	-0.63	-0.72	-0.30	-0.06	0.06	0.04	-0.82	-0.36	-0.29
10	0.54	0.51	-1.45	-0.44	-0.27	-0.21	-0.30	0.72	-0.53	-0.34	-0.34	-0.27	0.13	0.03	-0.81	-0.49	-0.25

Response of 인천:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	6.48	0.14	-0.09	1.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.10	-1.38	-0.92	2.30	0.28	-0.03	-0.96	1.08	0.82	1.28	1.09	0.66	-1.27	-0.05	-0.70	0.17	1.13
3	-0.14	-0.66	1.59	1.37	-0.37	-0.48	-0.13	-0.40	1.07	1.54	0.36	-0.63	-0.59	-0.13	-0.43	0.38	0.50
4	-0.68	-0.39	2.49	0.33	-0.64	0.06	-0.65	-0.77	0.96	0.66	0.75	-0.16	0.20	0.68	-0.15	0.32	0.90
5	-0.75	-0.68	2.70	0.20	0.09	-0.15	-0.45	-0.78	0.90	-0.18	0.70	0.19	0.56	0.36	-0.18	0.74	0.69
6	-0.62	-0.46	1.29	0.30	0.41	-0.01	-0.50	-0.04	0.49	-1.09	0.71	0.47	0.61	0.00	-0.11	0.59	0.47
7	-0.95	-0.33	-0.11	0.28	0.34	-0.27	-0.39	0.34	-0.03	-1.30	0.38	0.44	0.23	-0.04	-0.50	0.30	0.13
8	-0.95	-0.03	-1.19	-0.16	0.05	-0.44	-0.32	0.54	-0.44	-1.11	-0.06	0.15	0.02	0.02	-0.82	-0.09	-0.20
9	-0.32	0.32	-1.64	-0.49	-0.23	-0.48	-0.33	0.74	-0.61	-0.94	-0.33	-0.09	0.08	0.09	-1.09	-0.30	-0.31
10	0.48	0.51	-1.65	-0.44	-0.30	-0.32	-0.39	0.88	-0.58	-0.61	-0.37	-0.29	0.21	0.08	-1.12	-0.44	-0.29

Response of 광주:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	5.50	2.65	1.14	0.69	2.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.90	-0.78	-1.53	1.83	0.24	0.85	0.00	0.94	0.36	0.44	0.73	0.66	-1.40	-0.69	0.04	-0.30	1.20
3	-0.59	0.33	1.30	0.72	-0.26	-0.29	0.10	-1.06	1.07	1.59	0.29	-0.81	-0.99	0.16	0.10	-0.28	0.32
4	-1.13	-0.17	1.98	-0.22	-0.34	0.18	-0.28	-1.19	0.65	0.81	0.39	-0.06	0.06	0.35	0.22	0.09	0.82
5	-0.31	-0.08	2.63	-0.39	0.28	0.11	-0.11	-0.87	0.76	-0.55	0.72	0.32	0.49	0.21	0.27	0.65	0.47
6	-0.58	-0.21	1.17	-0.00	0.68	0.30	-0.24	-0.28	0.20	-1.03	0.79	0.54	0.36	0.07	0.40	0.38	0.39
7	-0.93	-0.12	-0.16	-0.04	0.51	-0.03	-0.04	0.05	-0.14	-1.13	0.38	0.45	0.07	-0.16	-0.10	0.23	0.06
8	-1.01	0.22	-1.00	-0.45	0.17	-0.22	-0.04	0.31	-0.57	-0.99	-0.01	0.15	-0.17	-0.02	-0.35	-0.18	-0.21
9	-0.42	0.45	-1.31	-0.79	-0.05	-0.25	-0.01	0.42	-0.73	-0.84	-0.28	-0.07	-0.06	0.07	-0.65	-0.33	-0.32
10	0.36	0.62	-1.40	-0.70	-0.09	-0.08	-0.07	0.59	-0.68	-0.62	-0.31	-0.24	0.07	0.05	-0.66	-0.45	-0.30

Response of 대전:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	5.76	1.87	1.15	0.86	1.19	1.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.44	-1.00	-0.48	2.15	0.35	0.80	-0.26	0.54	0.71	0.84	0.99	0.51	-1.38	-0.42	0.25	0.28	1.02
3	-0.40	-0.17	1.77	1.52	-0.09	0.23	0.28	-0.71	1.11	1.46	0.19	-0.84	-0.65	-0.53	0.22	0.21	0.56
4	-1.16	-0.45	2.29	0.38	-0.37	0.35	-0.17	-1.21	0.75	0.69	0.45	0.01	-0.19	0.12	0.43	0.37	0.72
5	-1.10	-0.57	2.56	0.01	0.25	-0.00	0.14	-1.11	0.70	-0.32	0.37	0.35	0.15	0.02	0.37	0.77	0.42
6	-1.04	-0.26	1.12	-0.07	0.60	0.16	0.01	-0.40	0.18	-1.21	0.47	0.52	0.23	-0.12	0.28	0.59	0.30
7	-1.19	-0.10	-0.36	-0.12	0.57	-0.10	0.14	0.05	-0.34	-1.45	0.17	0.42	-0.02	-0.16	-0.23	0.38	-0.02
8	-1.02	0.27	-1.49	-0.50	0.30	-0.25	0.18	0.39	-0.78	-1.27	-0.23	0.14	-0.21	-0.11	-0.61	-0.03	-0.31
9	-0.33	0.58	-1.94	-0.76	0.01	-0.29	0.19	0.61	-0.94	-0.99	-0.52	-0.13	-0.19	-0.07	-0.89	-0.28	-0.41
10	0.50	0.74	-1.91	-0.66	-0.11	-0.13	0.14	0.72	-0.84	-0.57	-0.57	-0.36	-0.06	-0.08	-0.91	-0.45	-0.37

Response of 세종:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	0.78	1.16	0.02	-0.50	0.86	1.01	5.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-0.16	0.31	0.23	0.42	1.24	0.78	4.25	-1.37	1.32	-0.47	-1.03	-0.16	-0.59	0.15	0.29	-0.74	0.57
3	-1.16	0.03	0.27	0.72	1.46	0.64	4.26	-1.95	1.06	0.07	-0.78	-0.84	-0.16	-0.19	0.57	-0.06	0.24
4	-1.20	0.12	0.46	0.74	1.33	0.47	3.84	-2.12	0.76	-0.22	-0.56	-0.08	-0.31	0.10	0.19	0.71	0.23
5	-1.73	0.02	0.65	0.37	1.49	0.07	3.84	-1.83	0.30	-0.12	-0.49	0.05	-0.85	0.05	0.13	1.02	0.07
6	-1.60	0.09	0.18	-0.07	1.38	-0.02	3.66	-1.44	-0.02	-0.44	-0.48	0.03	-0.84	-0.05	-0.16	1.20	0.11
7	-1.61	0.20	-0.31	-0.25	1.38	-0.10	3.41	-1.03	-0.37	-0.62	-0.49	-0.14	-0.85	-0.02	-0.48	1.16	0.12
8	-1.36	0.33	-0.80	-0.39	1.34	-0.09	3.30	-0.74	-0.66	-0.63	-0.68	-0.27	-0.81	-0.14	-0.75	1.06	0.05
9	-0.95	0.49	-1.14	-0.43	1.19	-0.05	3.20	-0.52	-0.80	-0.57	-0.87	-0.38	-0.83	-0.24	-0.87	0.86	-0.00
10	-0.61	0.56	-1.24	-0.34	1.06	-0.00	3.11	-0.45	-0.79	-0.34	-1.03	-0.51	-0.82	-0.34	-0.91	0.68	0.01

Response of 울산:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	4.80	3.67	0.27	-0.17	-0.26	0.11	-0.07	1.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.78	-1.27	-1.21	1.39	0.21	0.26	-0.34	0.96	0.19	0.77	0.57	0.35	-0.92	-0.10	-0.42	-0.48	0.78
3	0.70	-0.51	-0.01	1.00	-0.15	-0.04	-0.05	-0.11	1.20	1.15	0.03	-0.71	-0.17	-0.32	0.18	-0.13	-0.12
4	-0.25	-0.11	1.35	0.66	-0.61	0.12	-0.55	-0.45	0.82	0.81	0.42	0.00	-0.02	0.42	0.28	-0.10	0.52
5	-0.36	-0.42	2.24	0.23	-0.03	0.05	-0.14	-0.87	0.85	0.54	0.50	0.06	0.20	0.32	0.36	0.40	0.23
6	-0.33	-0.47	1.44	0.27	0.14	0.13	-0.37	-0.39	0.70	-0.29	0.71	0.45	0.33	0.17	0.51	0.44	0.34
7	-0.79	-0.36	0.80	0.27	0.31	-0.08	-0.28	-0.06	0.31	-0.62	0.60	0.40	0.14	0.09	0.19	0.40	0.15
8	-0.92	-0.21	-0.16	-0.09	0.19	-0.15	-0.25	0.14	-0.14	-0.73	0.36	0.30	-0.01	0.14	-0.04	0.16	-0.10
9	-0.66	0.08	-0.72	-0.42	0.00	-0.27	-0.23	0.38	-0.39	-0.79	0.09	0.13	-0.06	0.18	-0.35	-0.03	-0.24
10	-0.13	0.35	-1.04	-0.54	-0.06	-0.17	-0.25	0.59	-0.55	-0.70	-0.04	-0.09	0.00	0.18	-0.50	-0.23	-0.30

Response of 경기:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	6.84	0.13	0.23	0.47	0.41	0.29	0.12	0.27	1.18	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.11	-1.47	-0.71	2.24	0.39	-0.02	-1.08	0.69	1.68	1.37	1.20	0.91	-1.28	-0.18	-0.21	0.22	1.43
3	-0.34	-0.29	2.07	1.57	0.10	-0.32	0.05	-0.78	1.78	1.68	0.62	-0.57	-0.29	-0.35	-0.17	0.66	0.64
4	-1.19	-0.49	2.69	0.46	-0.41	0.05	-0.58	-1.17	1.32	0.73	1.00	0.30	0.14	0.61	0.20	0.59	1.00
5	-1.39	-0.81	2.99	-0.03	0.23	-0.41	-0.27	-1.14	1.14	-0.09	0.82	0.53	0.44	0.37	0.07	1.02	0.65
6	-1.18	-0.50	1.37	-0.16	0.53	-0.22	-0.46	-0.24	0.51	-1.19	0.87	0.72	0.59	0.12	0.02	0.82	0.47
7	-1.30	-0.29	-0.18	-0.19	0.52	-0.45	-0.36	0.32	-0.16	-1.53	0.51	0.61	0.29	0.10	-0.53	0.54	0.10
8	-1.08	0.09	-1.52	-0.58	0.22	-0.54	-0.30	0.69	-0.69	-1.34	0.02	0.25	0.05	0.11	-0.90	0.03	-0.26
9	-0.28	0.48	-2.10	-0.82	-0.14	-0.55	-0.29	0.95	-0.89	-1.06	-0.35	-0.08	0.05	0.13	-1.20	-0.30	-0.39
10	0.64	0.69	-2.07	-0.69	-0.28	-0.35	-0.34	1.07	-0.81	-0.58	-0.45	-0.36	0.16	0.09	-1.20	-0.53	-0.36

Response of 강원:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	5.63	1.03	0.62	-0.21	-0.36	-0.23	-0.66	0.45	0.12	2.00	-	-	-	-	-	-	-
2	1.21	-1.98	-0.10	1.36	-0.05	-0.58	-1.37	0.87	0.91	2.25	1.01	0.88	-0.89	-0.30	-0.59	0.63	1.40
3	0.18	-0.73	2.65	1.08	-0.11	-0.50	-0.50	-0.24	1.41	2.01	0.57	-0.63	0.16	-0.24	0.04	0.69	0.77
4	-0.86	-0.86	3.07	0.41	-0.51	0.02	-0.99	-1.00	1.06	1.14	0.87	0.24	0.48	0.63	0.31	0.57	1.18
5	-1.26	-1.07	3.14	0.10	0.11	-0.41	-0.55	-1.09	1.03	0.28	0.60	0.45	0.58	0.34	0.29	0.93	0.73
6	-1.18	-0.67	1.60	-0.05	0.37	-0.26	-0.66	-0.30	0.46	-0.94	0.60	0.71	0.63	0.12	0.23	0.74	0.53
7	-1.29	-0.44	0.02	-0.16	0.41	-0.43	-0.52	0.20	-0.18	-1.40	0.33	0.60	0.29	0.13	-0.30	0.50	0.09
8	-1.04	-0.01	-1.43	-0.53	0.17	-0.51	-0.46	0.61	-0.70	-1.34	-0.08	0.29	0.05	0.14	-0.71	0.06	-0.27
9	-0.27	0.44	-2.11	-0.77	-0.14	-0.51	-0.43	0.95	-0.93	-1.12	-0.40	-0.04	0.00	0.12	-1.06	-0.25	-0.43
10	0.65	0.68	-2.20	-0.67	-0.30	-0.31	-0.46	1.11	-0.89	-0.64	-0.48	-0.32	0.07	0.08	-1.10	-0.50	-0.43

Response of 충남																	
Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	6.29	1.16	1.51	-0.04	0.58	0.99	-0.69	0.63	0.82	0.46	1.95	-	-	-	-	-	-
2	1.21	-1.61	0.19	2.09	0.38	0.14	-1.43	0.93	1.12	1.89	2.14	0.86	-1.19	-0.03	0.19	0.34	1.32
3	-0.65	-0.28	3.16	1.06	-0.14	-0.12	-0.39	-0.29	1.57	1.73	1.40	-0.46	-0.11	-0.26	0.06	0.31	0.85
4	-1.50	-0.60	3.59	-0.01	-0.50	0.26	-0.92	-1.06	1.01	0.67	1.41	0.07	0.30	0.83	0.65	0.08	0.98
5	-1.52	-0.78	3.43	-0.37	0.18	-0.09	-0.56	-1.03	0.92	-0.53	1.11	0.48	0.82	0.57	0.38	0.53	0.66
6	-1.24	-0.29	1.49	-0.33	0.57	0.10	-0.67	-0.06	0.21	-1.73	1.02	0.62	0.76	0.27	0.31	0.27	0.34
7	-1.22	-0.06	-0.44	-0.30	0.49	-0.13	-0.49	0.52	-0.49	-2.01	0.56	0.51	0.36	0.20	-0.30	-0.03	-0.11
8	-0.89	0.38	-1.93	-0.66	0.12	-0.25	-0.42	0.90	-0.98	-1.70	0.03	0.11	0.01	0.20	-0.73	-0.55	-0.50
9	0.01	0.78	-2.45	-0.86	-0.27	-0.27	-0.41	1.15	-1.11	-1.26	-0.34	-0.26	-0.00	0.19	-1.05	-0.83	-0.62
10	1.03	0.95	-2.26	-0.67	-0.42	-0.04	-0.46	1.22	-0.93	-0.66	-0.39	-0.53	0.12	0.14	-1.02	-0.99	-0.54

Response of 충남																	
Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	6.29	1.35	0.98	0.95	0.75	1.17	-0.32	-0.54	-0.85	0.25	0.29	4.78	-	-	-	-	-
2	2.16	-1.07	-1.00	1.54	0.96	0.28	0.38	1.11	0.41	-0.02	1.07	0.29	-1.67	-0.56	0.17	0.04	0.37
3	-0.71	-0.58	0.67	1.17	-0.67	0.16	-0.30	-0.31	0.63	1.00	0.42	-1.24	0.28	0.53	-0.46	-0.20	1.17
4	-1.19	-0.37	2.30	-0.21	-0.57	0.04	-0.49	-1.41	0.39	1.16	0.33	-0.56	0.44	0.73	-0.51	0.31	0.73
5	-0.11	-0.50	2.54	-0.26	0.02	-0.17	-0.15	-0.70	0.46	-0.13	0.14	0.36	0.66	0.10	0.03	0.72	0.54
6	-0.06	-0.28	1.38	0.16	0.50	0.12	-0.19	0.00	0.24	-1.04	0.42	0.48	0.50	-0.19	0.04	0.47	0.49
7	-0.77	-0.44	-0.30	0.41	0.46	-0.08	-0.08	0.10	-0.12	-0.93	0.12	0.28	0.13	-0.20	-0.25	0.21	0.18
8	-0.98	-0.05	-1.09	-0.03	0.06	-0.38	-0.00	0.23	-0.38	-0.77	-0.33	0.10	-0.06	-0.15	-0.65	-0.04	-0.09
9	-0.48	0.30	-1.22	-0.49	-0.16	-0.43	-0.00	0.35	-0.58	-0.66	-0.53	-0.10	-0.05	0.00	-0.83	-0.20	-0.24
10	0.32	0.40	-1.27	-0.49	-0.16	-0.27	-0.05	0.47	-0.52	-0.50	-0.49	-0.20	0.13	0.02	-0.87	-0.23	-0.21

Response of 전북:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	6.07	1.11	1.03	1.07	1.67	0.99	0.14	0.23	0.68	-0.28	0.51	0.18	2.20	-	-	-	-
2	1.22	-1.56	-1.04	2.36	0.09	0.61	-0.71	0.57	0.75	1.11	0.96	0.86	-0.90	-0.23	0.23	-0.11	0.91
3	-0.80	-0.69	1.93	1.22	-0.54	-0.77	0.20	-0.98	1.32	2.41	0.08	-0.50	-0.47	-0.01	0.20	0.16	0.35
4	-1.21	-0.65	2.73	-0.07	-0.66	-0.18	-0.47	-1.26	0.98	1.23	0.45	0.08	0.27	0.56	0.32	0.38	0.87
5	-0.83	-0.85	3.10	-0.16	0.18	-0.34	-0.25	-1.02	0.95	-0.10	0.68	0.41	0.70	0.50	0.29	1.01	0.60
6	-0.86	-0.61	1.43	0.06	0.64	-0.04	-0.38	-0.25	0.37	-0.98	0.78	0.66	0.61	0.22	0.25	0.79	0.46
7	-1.15	-0.41	-0.19	0.04	0.51	-0.33	-0.20	0.24	-0.18	-1.22	0.38	0.55	0.13	0.06	-0.25	0.53	0.06
8	-1.11	0.04	-1.31	-0.44	0.17	-0.47	-0.15	0.55	-0.67	-1.09	-0.08	0.19	-0.15	0.12	-0.63	0.04	-0.26
9	-0.38	0.40	-1.79	-0.78	-0.12	-0.44	-0.14	0.74	-0.86	-0.91	-0.38	-0.12	-0.09	0.17	-0.94	-0.22	-0.39
10	0.55	0.63	-1.83	-0.66	-0.20	-0.22	-0.19	0.90	-0.79	-0.60	-0.42	-0.35	0.05	0.11	-0.96	-0.41	-0.37

Response of 전남:

Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	4.71	2.60	0.64	0.53	1.18	-0.03	-0.04	-0.21	-0.16	-0.10	0.31	0.06	0.33	1.41	-	-	-
2	0.52	-0.83	-0.93	1.32	0.31	0.52	-0.00	0.63	0.24	0.53	0.50	0.36	-0.91	0.04	-0.44	-0.20	1.06
3	0.46	0.15	0.86	0.58	-0.23	-0.14	-0.01	-0.42	0.90	0.98	0.34	-0.73	-0.51	0.20	0.11	-0.03	0.14
4	-0.39	-0.22	1.45	0.31	-0.27	0.22	-0.41	-0.56	0.54	0.60	0.52	-0.04	-0.01	0.46	0.11	0.09	0.68
5	-0.15	-0.25	1.95	0.08	0.19	0.13	-0.12	-0.56	0.66	-0.08	0.62	0.11	0.20	0.17	0.19	0.49	0.30
6	-0.39	-0.25	1.06	0.24	0.31	0.23	-0.26	-0.16	0.33	-0.60	0.66	0.33	0.17	0.10	0.34	0.29	0.31
7	-0.76	-0.17	0.30	0.12	0.30	0.01	-0.11	0.00	0.05	-0.75	0.41	0.26	0.02	-0.01	-0.02	0.20	0.08
8	-0.78	0.04	-0.45	-0.20	0.12	-0.09	-0.11	0.20	-0.29	-0.79	0.15	0.12	-0.08	0.05	-0.19	-0.06	-0.13
9	-0.40	0.27	-0.82	-0.43	-0.01	-0.14	-0.09	0.36	-0.46	-0.77	-0.06	-0.01	-0.04	0.08	-0.44	-0.19	-0.23
10	0.12	0.42	-1.04	-0.43	-0.06	-0.04	-0.12	0.51	-0.51	-0.62	-0.13	-0.16	0.02	0.07	-0.50	-0.33	-0.26

Response of 경북																	
Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	5.18	2.45	1.32	-0.28	0.05	0.20	-0.37	0.46	0.10	0.56	0.24	0.20	-0.27	0.25	1.10	-	-
2	1.12	-1.22	-0.32	1.09	0.12	0.41	-0.75	0.28	0.68	1.29	1.12	0.88	-0.87	-0.04	0.51	-0.11	1.09
3	0.06	-0.49	1.29	0.73	0.10	-0.09	-0.43	-0.55	1.30	1.39	0.59	-0.28	-0.37	-0.22	0.83	0.19	0.27
4	-0.82	-0.28	2.17	0.04	-0.31	0.23	-0.75	-0.81	0.74	0.63	0.86	0.35	0.02	0.47	0.90	0.20	0.63
5	-0.92	-0.41	2.47	-0.44	0.18	0.09	-0.44	-0.99	0.59	-0.00	0.84	0.42	0.16	0.47	0.81	0.51	0.27
6	-0.82	-0.23	1.22	-0.45	0.39	0.17	-0.54	-0.31	0.19	-0.85	0.83	0.59	0.27	0.24	0.75	0.39	0.22
7	-0.88	0.04	0.10	-0.45	0.44	0.05	-0.42	0.20	-0.31	-1.21	0.59	0.45	0.07	0.12	0.29	0.19	-0.07
8	-0.72	0.26	-1.00	-0.68	0.23	0.01	-0.36	0.48	-0.74	-1.12	0.24	0.22	-0.15	0.14	-0.00	-0.20	-0.36
9	-0.19	0.56	-1.50	-0.84	-0.04	-0.03	-0.30	0.68	-0.88	-0.91	-0.07	-0.04	-0.18	0.12	-0.28	-0.47	-0.48
10	0.49	0.75	-1.51	-0.76	-0.17	0.12	-0.30	0.78	-0.84	-0.57	-0.17	-0.29	-0.11	0.09	-0.32	-0.67	-0.46

Response of 경남																	
Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	4.73	3.04	1.00	-0.10	0.22	-0.22	-0.24	0.05	-0.23	0.14	0.50	0.16	0.28	0.54	-0.07	1.10	-
2	0.58	-1.10	-0.59	1.18	0.20	0.24	-0.28	0.58	0.13	1.11	0.84	0.59	-0.63	-0.11	-0.22	0.12	1.08
3	0.32	-0.51	0.73	0.44	-0.12	-0.46	-0.23	-0.32	0.98	1.40	0.19	-0.20	-0.34	-0.42	0.13	0.37	0.22
4	-0.60	-0.46	1.55	0.08	-0.40	-0.19	-0.56	-0.48	0.58	0.82	0.43	0.22	0.04	0.25	0.33	0.23	0.68
5	-0.60	-0.47	2.08	-0.27	0.11	-0.15	-0.27	-0.82	0.60	0.26	0.44	0.24	0.35	0.27	0.22	0.58	0.40
6	-0.59	-0.39	1.11	-0.17	0.28	-0.04	-0.39	-0.34	0.32	-0.44	0.50	0.46	0.39	0.15	0.34	0.48	0.38
7	-0.75	-0.19	0.31	-0.15	0.35	-0.19	-0.26	0.01	-0.03	-0.74	0.30	0.40	0.21	0.03	-0.01	0.37	0.14
8	-0.71	-0.02	-0.62	-0.37	0.19	-0.23	-0.22	0.24	-0.40	-0.74	0.05	0.24	0.00	0.05	-0.20	0.07	-0.11
9	-0.34	0.22	-1.07	-0.55	-0.01	-0.28	-0.18	0.42	-0.55	-0.66	-0.19	0.06	-0.04	0.07	-0.46	-0.11	-0.23
10	0.18	0.42	-1.20	-0.55	-0.10	-0.16	-0.20	0.55	-0.58	-0.45	-0.26	-0.14	0.01	0.06	-0.52	-0.28	-0.25

Response of 제주:																	
Period	서울	부산	대구	인천	광주	대전	세종	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	5.73	3.48	0.21	1.44	2.13	-0.33	-1.31	-0.07	-0.73	0.17	0.45	0.28	-0.19	1.15	-0.92	0.20	3.15
2	0.97	-1.14	-1.59	1.36	0.48	-0.04	-0.29	1.03	0.49	0.80	0.43	0.61	-0.52	-0.52	-1.40	0.37	2.44
3	0.24	-0.41	0.68	0.02	-0.32	-0.83	-1.04	-1.05	0.92	1.09	-0.15	-0.13	-0.72	0.42	-0.50	-0.09	0.94
4	-0.45	-0.43	1.81	-0.58	-0.25	-0.39	-0.88	-1.17	0.71	0.53	-0.07	0.16	0.39	0.43	-0.47	0.42	1.17
5	0.21	0.06	2.06	-0.50	0.27	-0.08	-0.86	-0.82	0.75	-0.60	0.43	0.38	0.83	0.15	-0.34	0.79	0.89
6	-0.19	-0.22	0.78	0.09	0.54	-0.08	-0.83	-0.21	0.30	-0.83	0.43	0.63	0.63	-0.17	-0.22	0.61	0.72
7	-0.59	-0.19	-0.35	-0.01	0.30	-0.40	-0.65	0.11	0.01	-0.78	0.08	0.61	0.28	-0.42	-0.54	0.38	0.32
8	-0.73	-0.03	-0.99	-0.40	-0.07	-0.63	-0.63	0.28	-0.31	-0.60	-0.26	0.35	0.07	-0.23	-0.69	0.02	0.05
9	-0.28	0.18	-1.13	-0.73	-0.25	-0.64	-0.61	0.35	-0.42	-0.47	-0.43	0.13	0.25	-0.08	-0.92	-0.10	-0.04
10	0.39	0.30	-1.15	-0.64	-0.26	-0.48	-0.67	0.50	-0.37	-0.30	-0.39	-0.00	0.40	-0.05	-0.89	-0.17	-0.03

## 2. 초미세먼지의 권역 간 영향력 분석

미세먼지에 대한 시·도의 지역 간 영향은 상대적으로 많은 시계열로 인하여 전체 시·도를 대상으로 분석이 가능하였다. 반면 초미세먼지에 대한 권역 간 영향을 상호 분석하기 위해서는 자료의 통합이 필요하다. 따라서 초미세먼지의 지역 간 연계를 고려하기 위하여 권역으로 17개 시·도를 재구성하였다. 그 결과 5개 권역 간 인과관계에 대한 파악이 가능하였다. 더불어 사전에 5개 권역의 인과관계가 존재하는지에 대한 분석을 실시하였다. 그 결과 5개 권역에는 자료의 부족으로 패널자료를 사용하였을 경우 공적분이 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 벡터자기회귀모형을 적용하여도 큰 무리가 없는 것으로 나타났다. 물론 단위근 및 공적분 결과에 따라 오차수정모형을 쓸 수 있으나, 단위근에 대한 불안정성으로 벡터자기회귀모형을 사용하였다. 단, 변수의 차분을 통해 안정화를 검토하였으며 시차를 반영하여 안정된 모형을 우선 고려하였다.

**[표 5-4]** 권역 간 초미세먼지 공적분 분석 결과

구 분	Statistic	Prob.	Weighted Statistic	Prob.
Within				
Panelv-Statistic	-1.83	0.9664	-1.83	0.9664
Panelrho-Statistic	-2.19254	0.0142	-2.19254	0.0142
PanelPP-Statistic	-3.97248	0	-3.97248	0
PanelADF-Statistic	-3.8474	0.0001	-3.8474	0.0001
Between				
Group rho-Statistic	-1.00714	0.1569		
Group PP-Statistic	-3.82314	0.0001		
Group ADF-Statistic	-3.66968	0.0001		

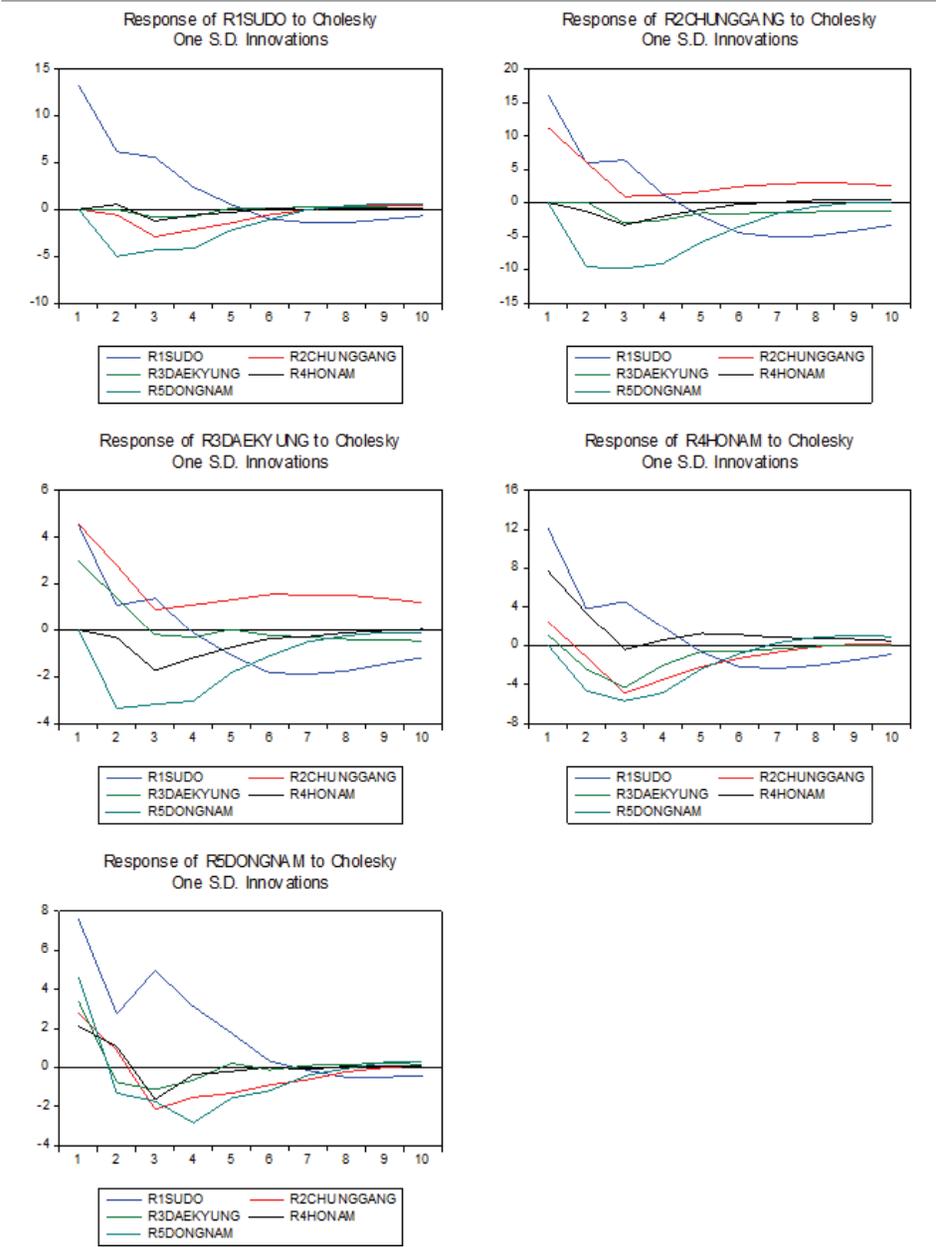
권역별 인과관계에 대한 분석 결과, 초미세먼지는 권역별로 상호 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 또한 지역 간 영향을 미치는 주요 권역의 파악이 가능하였다. 분석결과 5대 권역의 초미세먼지 발생에 영향을 주는 권역은 수도권인 것으로 분석되었다. 또한 충청도 및 강원도는 수도권, 충청권, 대경권, 호남권에 의해서 영향을 받으며, 동남권의 초미세먼지에 의해서는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 대경권은 수

도권, 대경권, 호남권의 전기에 의해서 영향을 받으며, 동남권에 의해서는 상대적으로 후기에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 호남권은 수도권, 호남권에 의해서, 동남권은 수도권, 충청권, 호남권에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 시·도를 권역으로 연계했을 경우에는 조금 더 스프레드되어 영향을 받게되기는 하지만 지역 간 연계 정도는 확보되는 것으로 나타났다.

**[표 5-5] 초미세먼지 권역 간 벡터자기회귀분석 결과**

구분	수도권	충청권	대경권	호남권	동남권
수도권(-1)	0.750771	0.435461	0.062996	0.233329	0.049392
수도권(-2)	0.509659	0.574169	0.247135	0.715733	0.67637
충청권(-1)	-0.303869	0.062007	-0.102356	-0.038908	0.104871
충청권(-2)	0.135772	0.635074	0.198668	0.091299	-0.062432
대경권(-1)	1.089305	2.240245	1.227945	0.07116	-0.011353
대경권(-2)	-0.76379	-2.09038	-0.640483	-0.472547	-0.209147
호남권(-1)	0.367581	0.403455	0.155516	0.720804	0.215816
호남권(-2)	-0.256414	-0.22303	-0.164215	-0.099378	-0.262868
동남권(-1)	-1.086429	-2.085503	-0.727876	-1.00969	-0.285358
동남권(-2)	0.09398	-0.089948	0.006699	-0.570361	0.024602
C	45.09222	90.03809	36.18722	87.68982	43.57876
R-squared	0.496913	0.744547	0.742656	0.574246	0.454005
Adj.R-squared	0.487614	0.739825	0.737899	0.566376	0.443913
Sum sq.resids	94753.35	208557.3	27030.28	114939.8	55280.09
S.E. equation	13.23423	19.63424	7.06849	14.57594	10.10848
F-statistic	53.4361	157.6807	156.1242	72.96874	44.98524
Log likelihood	-2203.408	-2421.154	-1857.216	-2256.712	-2054.681
Akaike AIC	8.023217	8.812153	6.768897	8.216348	7.484352
Schwarz SC	8.109175	8.898112	6.854856	8.302306	7.570311
Mean dependent	75.71739	101.587	39.6087	91.56522	71.86957
S.D. dependent	18.48843	38.49298	13.80677	22.13503	13.55547

[그림 5-1] 초미세먼지 권역간 충격반응분석 결과



## 제2절 미세먼지 오염 원인 분석

지역에서의 미세먼지 및 초미세먼지의 발생은 해당 지역 및 타지역의 미세먼지 및 초미세먼지 발생량에 의해서도 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면 전체 지역의 미세먼지 및 초미세먼지 발생에 미치는 영향을 도출하기 위하여 개별 미세먼지 및 초미세먼지의 결정요인을 파악하였다. 더불어 국내의 미세먼지 및 초미세먼지 발생과 지역통계와의 일치성을 고려하기 위해 연간 자료를 사용할 수밖에 없는 국내 지역통계의 특성상 연간 자료를 활용한 미세먼지 및 초미세먼지의 결정요인을 파악하였다. 따라서 적은 관측수를 보정하기 위하여 패널화된 자료로의 재구축을 통해 미세먼지 및 초미세먼지의 영향 요인을 파악하였으며, 패널모형의 분석 방법을 선택하기 위하여 Wu-Hausman test가 사용되었다. 분석 결과 미세먼지 및 초미세먼지의 결정요인을 도출하기 위한 모형은 유의수준 0.0026하에서 fixed 모형이 보다 적합한 것으로 판단되었다. 반면 fixed 모형을 사용했을 경우에는 주어진 자료의 정합성이 떨어지는 것으로 나타나 지역 간 및 시점 간 특성을 활용해 GLS를 사용한 random 모형을 적용하였다.

분석 결과 지역의 미세먼지 및 초미세먼지의 결정요인은 인구밀도, 산업별 부가가치, 지역내총생산, 자동차수, 기온, 강수량, 풍속, 풍향, 국외 미세먼지 및 초미세먼지 발생량 등에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 2차 산업의 영향이 타 산업보다 클 것이라는 가정과는 다르게 1차 산업의 활성화에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 서비스업에 대한 3차 산업은 상대적으로 미세먼지 및 초미세먼지 발생에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 더불어 지역의 발전 정도를 나타내는 1인당 지역내총생산과 인구밀도에 의해서는 미세먼지 및 초미세먼지 발생이 증가하는 것으로 나타났다. 자동차 수 역시 양(+ )적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 기온이 낮을수록 미세먼지 및 초미세먼지가 증가하는 것으로 나타난 점은 연간 자료를 사용한 한계로 인하여 보다 극명하게 월별 특성을 밝히는 데 미약하게 적용되었다. 또한 강수량은 미세먼지 및 초미세먼지를 감소시키는 풍속은 미세먼지 및 초미세먼지를 증대시키는 역할을 하는 것으로 나타났다. 또한 바람의 방향이 북향일수록, 즉 중국에서 한반도로 바람이 불수록 미세먼지 및 초미세먼지가 증가하는 인과관계가 형성되었으며, 중국 국가 중 대표 도시인 베이징의 미세먼지 및 초미세먼지 농도가 증가할수록 국내의 미세

먼지 및 초미세먼지 발생이 증가하는 것으로 분석되었다.

미세먼지 및 초미세먼지의 영향 요인을 비교할 경우에는 미세먼지의 결정요인이 초미세먼지의 결정요인에 비해서 보다 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면 1인당 자동차수의 경우에는 미세먼지보다는 초미세먼지의 발생에 보다 많은 영향을 주는 것으로 분석되었다. 더불어 기온 역시 미세먼지보다는 초미세먼지의 발생에 크게 영향을 주는 것으로 분석되었다.

**[표 5-6]** 미세먼지 및 초미세먼지 결정요인 기초분석

구 분	미세먼지	초미세먼지
인구밀도	1.1605 (1.351)	1.2546** (0.620)
1차산업 부가가치	4.1903*** (1.137)	2.4616*** (0.493)
2차산업 부가가치	0.1126 (0.104)	0.0786* (0.047)
3차산업 부가가치	-0.0590 (0.076)	-0.0625* (0.035)
1인당 GRDP	0.0997 (0.159)	0.0648 (0.069)
1인당 자동차수	1,223.9340 (23,073.879)	9,540.4015 (11,324.281)
평균기온	-611.3615 (1,312.264)	-679.8547 (575.380)
평균합계강수량	-2.3172 (2.329)	-0.7416 (1.169)
평균풍속	1,193.3840 (2,587.200)	458.0662 (1,139.209)
평균최다풍향	-18.0849 (22.082)	-2.2703 (10.874)
베이징 미세먼지 농도	19.9779 (13.641)	-
베이징 초미세먼지 농도	-	5.0301 (4.538)

미세먼지 저감을 위한 지방자치단체 대응방안

구 분	미세먼지	초미세먼지
상수	5,240.8398 (18,256.782)	37.9990 (8,104.946)
Observations	112	112
Number of region	16	16
within	0.16	0.1746
between	0.803	0.8654
overall	0.5663	0.5876
wald chi2(11)	47.2	60.98
prob>chi2	0	0

## 제6장



# 지자체별 대응방안

제1절 미세먼지 오염 대응 중앙정부 대응방안

제2절 미세먼지 오염 대응 지방자치단체 대응  
방안

제3절 연구의 기여점 및 한계



## 제1절 미세먼지 오염 대응 중앙정부 대응방안

### 1. 미세먼지 문제 해결을 위한 국제협력 강화

미세먼지는 국외에서 발생해 국내로 들어오는 대기오염물질과 국내에서 발생하는 대기오염물질로 구성된다. 이들 두 유형의 미세먼지에 대한 해결 방법은 각기 다르게 접근해야 하는 문제이다. 미세먼지의 오염원이 국내인 경우 발전소, 공장, 교통수단 등 인간의 다양한 활동에서 발생하기 때문에 이를 저감하기 위해서는 중앙정부와 지자체, 기업과 국민이 모두 합심해야 한다. 미세먼지 저감을 위해 노력하는 주체와 혜택을 보는 주체가 동일하므로 이를 위해 노력해야 하는 인센티브가 명확하다. 반면에 국외에서 발생한 미세먼지는 국경에 인접했거나 미세먼지와 관련한 이해당사국과의 협력으로 저감할 수 있는 문제다. 국경을 넘어 유입하는 대기오염물질의 저감이 국내에서 발생한 대기오염물질의 배출보다 어려운 점은, 노력하는 주체와 혜택을 입는 주체가 불일치하는 경우가 많기 때문이다. 노력하는 주체 입장에서는 투입한 노력으로 얻는 혜택이 없다면 노력의 필요성을 인식하기 어렵다(주현수, 2018). 우리나라는 중국, 일본과 함께 이들 국가의 연구기관이 참여하는 ‘동북아시아 장거리이동 대기오염물질 공동연구(LTP)’를 지속적으로 수행해왔다. 1995년부터 10년 동안의 대기 모델링 방안 논의 및 시스템 구축을 거쳐 2005년부터는 황산화물, 질소산화물, 미세먼지에 대한 공동연구를 점차 확대해왔다. 2016년부터 2017년까지 진행된 초미세먼지(2013년 대상)의 상호영향에 관한 연구에서 우리나라는 중국의 영향을 연평균 40% 정도로 산정하고, 그 영향이 계절에 따라 58%(3월)에서 27%(7월) 수준으로 분석하였다. 그러나 이 연구결과를 미세먼지의 국가 간 상호작용 수준이라고 규정할 수는 없다. 한편 한일 공동

연구에서 동북아시아를 중국 5개 권역, 남한, 북한, 일본 등 8개 권역으로 구분하여 배출원-수원지의 관계를 분석했을 때 권역에 따라 많게는 2배 차이를 나타냈다. 대기 화학적·기상학적 조건에 민감하게 반응하는 미세먼지의 확산형태를 분석하는 것은 과학적으로 많은 불확실성을 내포한다. 또한 매년 기상조건에 따라 미세먼지의 확산 조건이 크게 달라지기 때문에 특정 연도를 대상으로 한 연구결과가 국가 간 상호작용의 일반적 수준을 대표할 수도 없다. 결과적으로 각국의 책임 범위, 특히 중국발 미세먼지 수준의 정량화에는 지속적인 연구가 필요하다. 미세먼지 발생의 국외영향에 대해 근거 확보 및 중국 내에서의 미세먼지 저감을 위한 국제협력 사업에 국제적 공조를 강화할 필요가 있다. 정부는 미세먼지의 발생 원인을 규명하여 국내로 들어오는 미세먼지의 저감을 위해 한·중 대기질 공동연구단(청천 프로젝트), 동북아 청정대기 파트너십(NEACAP: North-East Asia Clean Air Partnership), 동북아장거리이동 대기오염물질 공동조사사업(LTP: Long-range Transboundary air Pollutants research project), 한·중 공동 미세먼지저감 환경기술실증 협력사업 등 여러 국제협력사업을 추진하고 있다.

대기오염물질은 국가 간에 영향을 미치므로 국가 간 공동연구와 협력은 원인분석에 대한 연구결과와 대기질 측정자료 등을 공유해 실질적 오염도 개선, 대기질의 개선과 예보 정확도의 제고 등에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 인접국 영향에 대해 근거를 확보하는 등 국가 간에 인정하는 자료의 생산을 위한 기초연구의 기능도 갖는다. 국가 간 국제협력 및 공동연구 사업을 다양하게 추진하고 있지만, 연구결과의 보고가 지연되거나 일부 사업에서 계획대로 이행되지 못하는 등 성과가 미흡한 점도 나타난다. 한·중 대기질 공동연구단(청천 프로젝트)은 대기질 예보모델 비교 및 대기오염 원인규명을 목적으로 중국과 한국 주요 도시의 미세먼지 자료를 공유하는 사업이다. 종합대책에서는 대기질 측정자료 공유 도시를 기존 한국 3개 도시, 중국 35개 도시에서 한국 17개 도시, 중국 74개 도시로 확대하고자 했지만, 중국 정부의 부정적 입장으로 확대되지 못하고 한·중 대기질 예보정보 교류사업으로 전환하여 추진 중에 있다(국회 예산정책처, 2019). 동북아시아 장거리이동 대기오염물질 공동조사사업(LTP)은 질소산화물, 황산화물 등 장거리이동 대기오염물질의 모니터링과 대기오염물질이 발생원으로부터 배출되어 장거리 이동한 경우 수용지의 농도가 어느 지역에서 어느 정도 영향을

받았는지 분석하여 연구의 결과를 공유하는 국제 공동연구 사업으로, 1995년 한·중·일 3국 공동연구에 관한 합의 후 2000년부터 2017년까지 4단계에 걸쳐 연구를 수행하였다(국회예산정책처, 2019). 연구가 종료된 후 2018년에 보고서를 발간하고 한·중·일 환경장관회의(TEMM: Tripartite Environment Ministers Meeting)에서 보고하기로 합의(2017년)하였으나, 중국의 반대로 요약보고서를 수정하여 2019년 11월에 잠정 발간하기로 변경되는 등 사업추진이 원활하지 못한 측면이 있다(국회예산정책처, 2019). 한·중 공동 미세먼지 저감 환경기술 실증 협력사업은 국내 기업의 수출 확대 및 중국 내에서의 미세먼지 저감 등을 목적으로 국내 대기오염의 방지기술을 중국에서의 제철·발전소·중형보일러 등에 적용하는 사업이다. 중국의 기업이 우리 기술을 이용해 대기오염 방지 시설을 설치하는 경우 우리 정부가 20%, 중국 정부 및 기업이 80% 부담하는 구조이다. 2016년에 모두 5건 650억 원의 계약을 체결했지만, 2017년에는 실적이 없고, 2018년에는 8건 190억 원 계약 체결로 축소되는 등 처음에 계획한 성과가 나오지 않고 있다. 2018년 동북아시아의 대기오염 저감을 위한 공동 협력체제인 ‘동북아 청정대기파트너십(NEACAP)’을 공식적으로 출범하기로 합의하는 등 동아시아 차원의 국제 협력은 진척되고 있다. 미세먼지 발생의 국외영향과 관련하여 과학적 근거 등 양국이 인정하는 객관적인 자료를 확보하는 것이 중요하나, 일부 사업들에서 사업추진이 원활하지 않은 사례가 있으므로 국제적 공조를 강화하여 미세먼지 발생에 대한 원인분석과 예보모델의 개선, 국외영향 분석, 주변국의 미세먼지 개선 등에 기여할 수 있도록 노력해야 한다(국회예산정책처, 2019).

**[표 6-1] 대기질 개선을 위한 국제협력사업**

(단위: 백만 원)

구분	한중 대기질 공동연구단 (칭천 프로젝트)	동북아장거리이동 대기오염물질 공동조사사업 (LTP)	동북아 청정대기 파트너십 (NEACAP)	한중 공동 미세먼지 저감 환경기술 실증 협력사업
목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>중국 주요 지역의 대기질 조사를 통한 대기오염물질 발생 원인규명 및 대기질 예보 모델 개선을 위해 한·중 공동연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>동북아 장거리이동 대기오염물질 조사와 대책 마련을 위해 한·중·일 공동연구 진행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>동북아지역 내 환경 협력 증진을 위한 정보공유, 과학·기술·정책 분야 공조 (한·중·일·러·몽·북 6개국)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중국 내 미세먼지 저감과 국내기업 수출 확대</li> </ul>

미세먼지 저감을 위한 지방자치단체 대응방안

구분	한중 대기질 공동연구단 (청천 프로젝트)	동북아장거리이동 대기오염물질 공동조사사업 (LTP)	동북아 청정대기 파트너십 (NEACAP)	한중 공동 미세먼지 저감 환경기술 실증 협력사업
연혁	<ul style="list-style-type: none"> <li>MOU 체결 ('15.12)</li> <li>한·중 공동연구단 사무실 개소 ('16.6, 베이징)</li> <li>한·중 공동연구 '청천 프로젝트' 착수 ('17.5~)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>공동연구 및 워크숍 개최에 합의 ('95)</li> <li>'00년부터 주요 오염물질에 대한 단계별 공동연구 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제22차 NEASPEC 고위관리회의 계기 NEACAP 출범 ('18.10)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>한·중 정부 간 실증사업 추진 합의 ('14.7, 한·중 정상회담)</li> <li>5건 650억 원 계약 체결 ('16)</li> <li>8건 190억 원 계약 체결 ('18)</li> </ul>
사업 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>중국 주요도시(베이징 등 4개 도시) 초미세먼지 지상측정 및 분석, 대기질 예보모델 비교 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대기오염물질의 관측 및 지역 간 상호 영향 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대기오염 저감 기술 등에 대한 정보 교류, 국가별 환경정책 관련 정보 등 공유</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내 대기오염 방지기술을 중국 내 제철·발전소·중형보일러 등에 적용</li> </ul>
추진 체계	<ul style="list-style-type: none"> <li>한국 국립환경과학원 (환경부)과 중국 환경과학연구원 대기오염 방지연구소 간 공동연구 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>각국 과학원을 사무국으로 지정하여 연구 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UNESCAP 동북아 지역사무소를 사무국으로 하여 협력사업 추진 (외교부 주관)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>한국 환경부 (환경산업기술원) - 중국 지방성 정부 (대외합작센터) 등 공동 추진</li> </ul>
차이 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>한·중 양자 협력</li> <li>중국 주요도시 대기질 관측, 대기오염 원인 규명 등 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>한·중·일 협력</li> <li>미세먼지 등 장거리 이동 대기오염물질에 대한 지역 간 상호 영향 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>한·중·일·러·몽·북 6개국 협력 - 정책, 기술 교류 등 동북아 지역 내 대기오염 저감 공조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>한·중 양자 협력</li> <li>국내 기술을 중국 현지 사업장에 적용하여 미세먼지를 실질적으로 저감</li> </ul>
예산	<ul style="list-style-type: none"> <li>591 ('17) → 1,100 ('18) → 2,916 ('19)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>215 → 178 → 218</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>115 → 113 → 220</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10,000 → 10,000 → 10,000</li> </ul>
성과 ('17~'18)	<ul style="list-style-type: none"> <li>중국 주요도시 집중 관측 연구 착수 ('17.5~)</li> <li>2차년도 연구사업 추진 ('18.4~'19.3)</li> <li>'18년 공동연구 결과보고서 발간 ('18.12)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>17차, 18차 연차보고서 발간 ('17.6, '18.11)</li> <li>제20차, 21차 LTP 전문가회의 개최 ('17.10, '18.11)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>NEACAP 출범 ('18.10)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>('17) 한·중 관계 영향으로 성과 없음</li> <li>('18) 한·중 기업 간 8건 190억 원 규모 계약 체결</li> </ul>

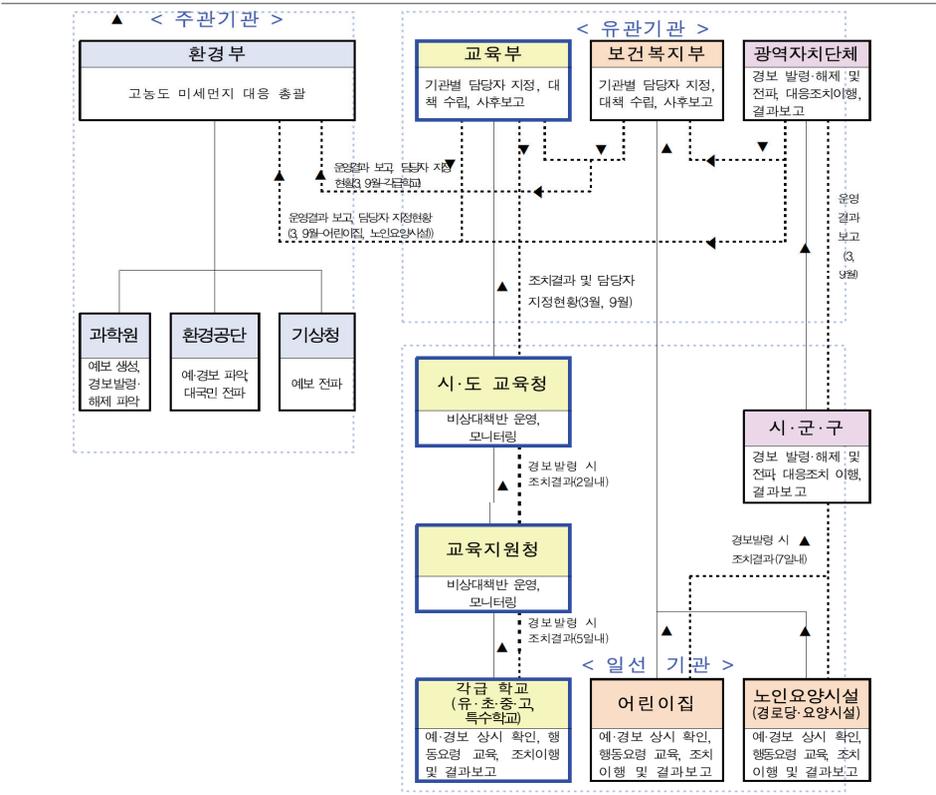
자료: 환경부 내부자료; 국회예산정책처(2019: 92-93)에서 재인용

## 2. 미세먼지 대응체계 및 제도기반 구축

미세먼지가 시민 건강을 위협하는 중요한 문제로 부상하면서 정부는 법정계획 이외의 미세먼지 종합대책(2013년), 미세먼지 관리특별대책 및 세부 이행계획(2016년), 미세먼지 관리종합대책(2017년), 비상·상시 미세먼지 관리 강화대책(2018년), 중국과의 공동대응 협력 및 고농도 미세먼지 긴급조치 강화(2019년) 등 미세먼지 관리를 위한 특별 대책들을 발표하고 각종 정책을 시행하여 왔다(김운수, 2019). 그러나 이러한 정책들이 일시적인 방안에 해당한다는 부정적인 평가도 나오고 있다. 이와 함께 법이 아닌 행정 재량에 의존하고 있어 제도 시행의 강제성을 보장할 수 없다는 문제도 안고 있다. 미세먼지 대응체계와 관련하여 시급한 과제는 국가와 지방자치단체 간 역할을 명확히 분담하는 일이다. 이러한 배경에서 중앙정부는 법·제도 준비를 통해 지자체가 미세먼지 해결을 위하여 적극적인 역할을 할 수 있도록 지원할 필요가 있다. 비상저감 조치 실효성 확보를 위해 교육부장관, 환경부장관, 여성가족부장관, 시·도지사가 협의하여 지정할 수 있도록 정보시스템 공유 및 협의체 구성 방안을 모색하도록 한다. 비상저감 조치 대상지역 지정은 환경부와, 시차출퇴근제 및 재택근무제 등은 여성가족부와, 학교 및 어린이집 휴교와 휴원 등은 교육부와 협의할 수 있는 종합 협의기구 신설 및 정보시스템의 공동활용 방안을 마련할 수 있을 것이다(한국행정학회, 2018). 특히 지자체에 미세먼지 문제 해결을 위한 전담조직과 인력을 충원해주는 것도 필요하며, 광역지자체에 환경부지사 제도 등을 도입해 미세먼지뿐만 아니라 환경문제 전반에 대해 중앙정부와 지자체가 협력할 필요가 있다. 또한 중앙정부는 지자체가 집행기관으로서 미세먼지 문제를 해결할 수 있도록 법·제도적 준비뿐만 아니라 각종 행·재정 지원을 추가해야 할 것으로 판단된다. 가령 노후 보일러 교체, 미세먼지 저감을 위한 경유차 교체 등에 따른 비용은 중앙정부의 지원이 요구된다. 또한 인력 증원이 어렵더라도 지자체가 조직개편을 통해 대응체계를 갖출 수 있도록 중앙정부가 지원하며, 이는 지자체 유형별 맞춤형으로 추진되어야 할 것으로 판단된다. 가령 광역자치단체에는 환경부지사 제도를 도입하고, 이에 기초해 산하에 미세먼지 전담조직을 지자체 유형별로 설치하는 방안을 검토할 수 있다. 중앙정부와 지방자치단체 간 협업은 법·제도 관점뿐만 아니라 현 수준의 지방분권 현실을 감안해 실질적인 도움이 될 수 있도록 변경되어야 할 것이다. 현재 제정된 특별법을 토대로 지자체가 행정 환경과 지역의 실정을 고려한

조례를 제정하여 신속하게 대응할 수 있는 법적 근거를 마련할 필요가 있다.

[그림 6-1] 미세먼지 대응 업무 수행체계



자료: 환경부(2019: 7)

가능하면 미세먼지 대응을 위한 표준조례를 개발해 지자체에 전파해 미세먼지에 대응한 제도적 기반을 보완하도록 한다. 그러나 표준조례는 미세먼지 심각성을 기준으로 자치단체를 유형화해서 제시해줄 필요가 있다. 예를 들어 수도권 및 디젤선박이 드나들어 미세먼지 농도가 높은 부산과 같은 항구도시와 화력발전소가 위치하여 미세먼지 농도가 높은 지역들 같이 국소적 오염원이 위치한 지역은 보다 강력한 규제가 필요한 유형으로 분류하되, 상대적으로 미세먼지 농도가 낮고 발생일수가 적은 지역은 완화된

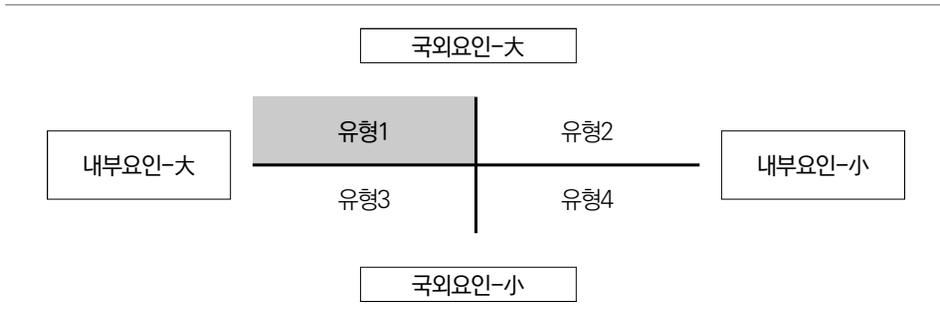
규제를 적용할 수 있도록 지자체를 유형화할 수 있을 것으로 판단된다(한국행정학회, 2018). 한편 국무총리실 소속의 ‘미세먼지특별대책위원회’와 대통령 소속의 ‘국가기후환경회의’는 기능적으로 유사한 측면이 있으므로 이들 두 조직의 차별성을 명확하게 구별할 필요가 있다. 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」은 미세먼지의 저감 및 관리를 효율적으로 추진하기 위하여 국무총리 소속으로 미세먼지특별대책위원회를 두도록 규정하고 있다. 위원회는 종합계획의 수립·변경, 시행계획 추진실적의 점검·평가, 미세먼지 등의 배출저감 및 관리, 미세먼지로 인한 국민 건강관리, 국제협력 등을 심의하는 기구로 미세먼지 대책의 컨트롤타워 기구라 할 수 있다(국회예산정책처, 2019). 정부는 2019년 4월 「미세먼지 문제 해결을 위한 국가기후 환경회의의 설치 및 운영에 관한 규정」(대통령령)을 제정하고, 이 규정에 따라 대통령 소속의 ‘국가기후환경회의’를 설치하였다. 국가기후환경회의는 국민 의견을 수렴해 미세먼지 문제에 관한 범국가적 대책 마련을 목적으로 하며, 지자체, 시민사회, 정당, 학계, 산업계 등이 참여하는 범국가기구이다. 국가기후환경회의는 국민소통·참여에 기반하여 의제를 발굴하고 공론화를 거쳐 정부에 정책 제언을 하는 역할과 국민 또는 산업계가 자발적으로 미세먼지 저감에 참여할 수 있도록 국제기구를 통한 미세먼지 관련 국가 간 협약체결 기반 마련, 동북아 국가 양자협력·다자협력, 국민행동 변화를 권고하는 역할 등 국제네트워크 구축을 담당한다. 국가기후환경회의는 국민의 의견을 수렴해 미세먼지 문제에 대한 대책을 마련하기 위해 2019년 7월 현재 500명의 국민정책참여단을 운영하고 있다. 이와 같이 국가기후환경회의는 미세먼지 대책에 대한 국민들의 요구를 반영하는 등 대국민 거버넌스 측면에서 긍정적으로 평가된다(국회예산정책처, 2019). 또한 반기문 전 UN 사무총장을 위원장으로 임명함으로써 국가 간 협력에 있어서도 중요한 역할을 수행할 것으로 예상된다(국회예산정책처, 2019). 법적인 기능으로 살펴보면 국가기후환경회의에서 대책을 제안하고, 행정부처가 대책을 수립하며, 미세먼지특별대책위원회에서 심의·의결하는 형태로 기구별 역할에 차이를 두고 있다. 그러나 국가기후환경회의와 미세먼지특별대책위원회는 모두 미세먼지 대책 마련의 정책 제안자로서 위상을 갖고, 위원의 경우 유사한 정부부처로 이루어져 있다는 점에서 조직의 기능상 차이가 불명확하다. 따라서 미세먼지 대책 수립에 있어서 두 기구의 역할이 유사한 측면이 있으므로 각 기구의 역할과 컨트롤타워를 명확히 하고, 의사결정에 있어서 충돌이 발생하지 않도록 운영할 필요가 있다(국회예산정책처, 2019).

### 3. 지역 및 권역 맞춤형 미세먼지 정책 설정

미세먼지에 대한 현황조사를 통하여 미세먼지에 집중적으로 영향을 받는 지역에 대한 파악이 가능하다. 권역별로 구분할 경우 미세먼지는 충청권 → 호남권 → 동남권 → 수도권 → 대경권, 초미세먼지는 충청권 → 호남권 → 수도권 → 동남권 → 대경권으로 나타났다. 미세먼지와 초미세먼지는 공통적으로 충청권, 호남권에서의 발생량이 큰 반면, 발생량이 상대적으로 낮은 지역은 대경권으로 나타났다. 따라서 미세먼지는 충청권, 호남권, 대경권으로 유형 구분이 가능하다. 이중 충청권 중 충청권과 호남권은 중국과의 인접성으로 인한 대외적인 변화에 영향을 많이 받는 지역 특성이 있으며, 대경권은 거리의 영향을 인하여 상대적으로 미세먼지 발생량이 낮은 것으로 이해할 수 있다. 따라서 계절별로 미세먼지 발생에 대한 지역의 설정이 가능하며, 이는 크게 외부영향 의존형, 내부원인 의존형에 따라 국외 요인과 국내 요인으로 기준 설정을 통한 구분이 가능하다.

유형 1은 국내와 국외 요인이 강한 국외에서 유입되는 미세먼지 저감을 위한 국제협력, 공장시설, 발전소, 경유차 등 국내 미세먼지 발생원 관리 중심 사업을 통한 국내·외 갈등 완화 및 국내 원인의 적극적인 해소를 위한 대응이 요구된다. 유형 2는 국내 요인 외에 국외 요인에 의한 영향을 많이 받는 지역에서의 사업으로, 국제협력 사업을 통한 미세먼지 완화 정책과 함께 어린이, 학생, 어르신, 호흡기 질환자 등 민감·취약계층에 대한 건강보호 등 생활속 미세먼지 저감을 위한 사업이 필요하다. 유형 3은 내부요인이 국외요인에 비해 강한 지역으로, 자동차 배출가스 관리, 산업시설(공장, 소각장 등) 관리, 공사장 비산먼지 관리, 도로 재비산먼지 관리 관련 사업을 통한 미세먼지 저감 사업이 추진되는 것이 타당하다. 유형 4는 국내·외 요인이 상대적으로 적은 지역에서의 미세먼지 사업을 의미하며, 주로 가정, 상가, 업무시설의 냉·난방 관리와 예보 강화, 배출원관리 강화 등 미세먼지 저감 기반 형성 관련 사업의 시행이 필요하다. 반면 유형 구분 외에 모든 유형에서의 사전조사를 통한 미세먼지 발생 현황과 대응정책과의 매칭을 통한 대응 정책 파악이 필요하다.

[그림 6-2] 지역 및 권역별 미세먼지 대응 정책(안)



#### 4. 실질적인 미세먼지 저감을 위한 관리 체계 구축

미세먼지에 대해서는 중앙정부 중심의 특별법 제정을 통한 저감 및 관리가 이루어지고 있다. 구체적으로는 특별법, 특별법 시행령, 시행규칙으로 구성되며, 이는 미세먼지 문제 해결을 위한 국가기후환경회의의 설치 및 운영에 관한 규정과 연계되어 있다. 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(미세먼지법)은 특별법 제1조에서 미세먼지와 초미세먼지를 미세먼지로 정의하며 미세먼지가 국민건강에 미치는 위해를 예방하고 대기환경을 적정하게 관리·보전하여 쾌적한 생활환경을 조성하는 것을 목적으로 한다(법제처, 2019). 더불어 특별법 제3조에서 국가와 지방자치단체는 미세먼지가 국민에게 미치는 영향을 파악하고, 미세먼지로부터 국민의 건강과 생명을 보호하기 위하여 필요한 시책을 수립·시행해야 하는 것을 국가 및 지방자치단체의 책무로 규정하고 있다(법제처, 2019). 반면 현재까지의 미세먼지에 대한 관리는 대국민 교육 및 홍보로 이루어지고 있으며 국제적인 노력과 협력에 의한 방안을 제시하고 있지만 이는 실질적으로는 운영되고 있지 않다. 더불어 사업자와 국민에 대한 책무로 구분함으로써 국가 및 지방자치단체 시행 관리 시책에 대한 협조 강화와 미세먼지 배출 저감 및 관리를 위한 국민의 책무가 권고되고 있다. 따라서 구체적인 미세먼지 관리 대상에 대한 설정이 필요하다. 현재 국가에서 규정하고 있는 미세먼지 관리 대상은 집중관리대상을 설정하고 지방자치단체와의 협업을 통해 살수차·진공청소차의 집중 운영, 어린이 등 통학차량의 친환경

경차 전환, 학교 등에 공기 정화시설 설치, 수목 식재 및 공원 조성 등을 통해 저감 정책을 추진하고 있다(www.legalherald.co.kr). 반면 미세먼지의 경우에는 국내발생량 외에 국외발생량이 있어 국제적인 협력을 위한 구체적인 방안 설정이 필요하다. 이를 위해서는 우선 중앙의 역할이 무엇인지를 파악하는 것이 필요하며 실천적인 미세먼지 저감을 위한 노력 여부가 무엇이고 어떻게 이를 추진할 것인가에 대한 구체적인 안이 필요하다.

우선 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 시행령에는 5년 단위 미세먼지관리종합계획 수립에 대한 지침이 제시되어 있다. 반면 저감을 위한 연구 및 기술개발을 실제에 적용하기 위한 구체적인 안의 제시가 필요하다. 더불어 각 부처 장관으로 구성된 미세먼지특별대책위원회의 운영을 보다 확장할 수 있는 실질적인 대안이 필요하며, 이는 미세먼지연구·관리센터와의 협업을 통해 운영되는 것이 보다 타당할 것으로 판단된다. 또한 현재 가장 문제가 되고 있는 구체적인 미세먼지에 대한 현황파악이 이루어지지 않는 점을 고려할 경우에 실태조사를 통한 플랫폼 구축이 필요하며, 이를 위해 환경부 및 통계청, 각 권역의 지방통계청을 활용하는 방안을 고려할 수 있다. 따라서 통계에 기초하여 종합계획 및 관리계획을 수립할 필요가 있다. 더불어 이는 미세먼지위원회의 지침에 준하는 것이 정책의 단기적인 운영에 있어서 편의성이 확보될 것으로 판단되며, 종합계획에 근거하여 장기적인 비전 및 달성 목표를 제시하는 것이 필요하다. 또한 종합계획에 의한 관리계획은 지방자치단체에 대한 실천운동 가이드라인 및 미세먼지 관리 매뉴얼을 작성하고, 이를 토대로 지방자치단체 평가를 통해 관리가 이루어져야 한다. 미세먼지에 대한 관리 및 평가는 실질적으로 운영되어야 하는 것을 전제로 하기 때문에, 연평가가 아닌 분기별 및 미세먼지 발생 시점에 대응하는 것이 필요하며 이는 종합계획 및 환경부의 지침에 따라 실시한다. 미세먼지의 발생에 대한 관리체계의 형성 외에 구체적인 미세먼지 저감을 위한 생활화를 위하여 사업장과 주민에 의한 미세먼지 저감 생활화가 필요하며, 이는 환경공단 및 주민자치회와의 협업에 의하여 실시하고 미세먼지위원회 및 종합계획에 준하여 관리하도록 한다. 반면 현재까지도 필요한 사항이지만 구체적인 미세먼지에 대한 정의와 기여도에 대한 영향 파악이 우선적으로 필요하며, 이를 근거로 국제협력을 위한 토대를 구축하는 것이 필요하다.

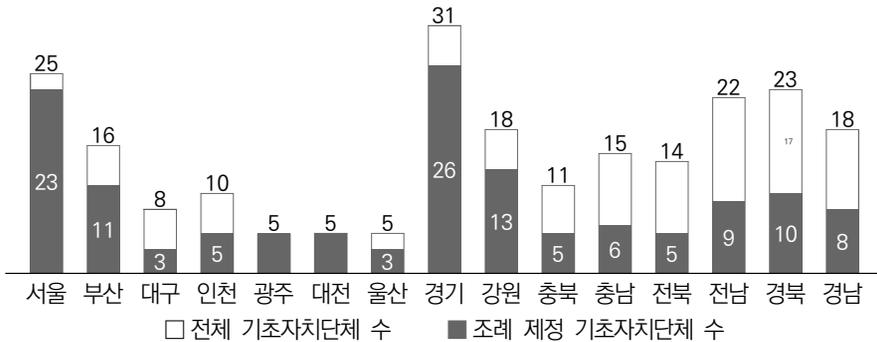


## 제2절 미세먼지 오염 대응 지방자치단체 대응방안

### 1. 미세먼지 저감 및 관리를 위한 조례의 제정

지방자치단체가 미세먼지 저감 및 관리에서 역할과 추진 역량을 강화하기 위한 첫 번째 단계는 ‘미세먼지 저감 및 관리 기본조례’ 제정이다. 기본조례는 시민 건강 피해 예방, 환경복지 증진, 환경자치 기반 실행능력 확보 등을 포괄적으로 규정해야 한다(김운수, 2019). 두 번째 단계는 미세먼지법 시행에서 예견되는 문제점에 ‘일대일’로 대응하고 기본조례 법규의 추진방법과 절차를 더 구체화하는 실행체계 마련을 서둘러야 한다. 이를 위해 지방자치단체 내 미세먼지 배출원 분포와 배출정보를 파악할 수 있는 미세먼지 관리정책 지원 시스템(Local\_CAPSS) 구축, 지역 대기질 예·경보 시스템 설치, 운행자동차 배출가스 측정 및 관리, 고농도 재난관리와 비상저감조치 이행, 통합·융합의 미세먼지 관리 ‘아카이브(archives)’ 운영, 민감·취약계층 건강영향 모니터링, 시민과의 협치사업 전개 등 전 방위적 대응 시스템을 구축하는 것이 핵심적으로 필요하다(김운수·김정아, 2019). 미세먼지와 관련한 전국 지자체의 조례 현황을 살펴보면, 2019년 10월 현재 총 17개 시·도, 137개 시·군구, 14개 교육청에서 미세먼지와 직접적으로 관련한 조례를 제정·시행하고 있다. 미세먼지와 관련한 지방자치단체의 조례는 미세먼지로부터 시민들의 피해를 감소 또는 예방하고자 하는 목적으로 주로 ‘예보 및 경보에 관한 조례’, ‘피해저감 및 지원에 관한 조례’, ‘저감 및 관리에 관한 조례’ 등의 명칭이 있다. 구체적으로는 시민들에게 알 권리를 제공하는 피해 저감 및 지원, 예방 및 저감 지원, 예보 및 경보 등의 내용이 포함되어 있다. 지방자치단체들은 고농도 미세먼지로부터 어린이·노약자 등 취약계층을 보호하기 위한 문자 알림 서비스 제공, 차량 2부제, 경유차 운행금지 조례 제정 이외에도 자체적으로 미세먼지에 대응하기 위한 다양한 시도를 하고 있다(김운수, 2019).

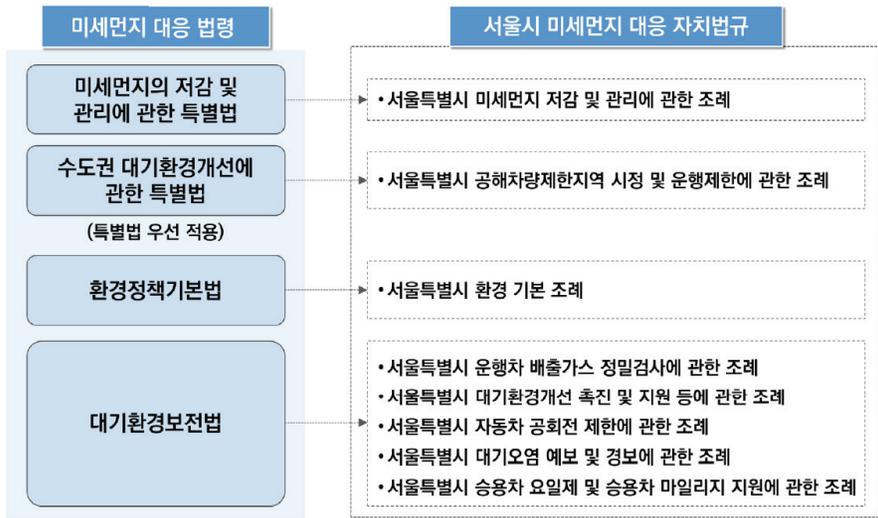
[그림 6-4] 시도별 미세먼지 관련 조례 제정 기초지자체 수 현황(2019년 10월 현재)



자료: 자치법규정보시스템 [elis.go.kr](http://elis.go.kr)

정부와 지방자치단체는 현행 「환경정책기본법」, 「대기환경보전법」, 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」, 「실내공기질관리법」, 「미세먼지의 저감 및 관리에 관한 특별법」 등에 따라 미세먼지를 관리하고 있다. 미세먼지 농도와 배출원별 오염물질은 지역의 환경적 특성에 따라 다르므로 이러한 특성을 고려하여 지방자치단체의 주도적인 대기질 관리가 요구되고 있다(김운수, 2019). 따라서 지방자치단체에서 집행하는 사무와 관련된 법규범은 지역의 고유 특성을 반영하여 지방자치단체의 자치법규(조례 또는 규칙)로 정하도록 위임하기도 한다. 조례로 위임된 항목 중에서 환경기준, 배출기준 등은 지역의 환경적 특수성을 고려한 관리기준 강화, 저공해자동차 운행, 공회전 제한, 운행제한 등 지역 배출원 단속 권한이 주요 내용들이다(김운수, 2019). 지자체가 미세먼지 저감 및 관리에서 그 역할을 강화하고 추진 역량을 키우기 위해서는 ‘미세먼지 저감 및 관리 기본조례’ 제정이 필요하다. 또한 환경자치, 환경복지 증진, 시민 건강피해 예방 등에 기초한 실행능력 확보 등을 포괄적으로 규정하는 미세먼지 기본조례가 마련되어 있지만, 관련 기본조례 법규의 추진 방법과 절차를 구체화하고 미세먼지 특별법에 ‘일대일’로 대응할 수 있는 지역 맞춤형 개별 조례 마련도 검토할 수 있다.

[그림 6-5] 미세먼지 대응 관련 법률체계(서울특별시)



자료: 김운수·김정아(2019: 21)

## 2. 지역특화형 조례의 운영

대다수의 광역 지방자치단체에서 실시하고 있는 미세먼지 관련 자치법규는 공해차량 운행 제한, 건설공사장 관리를 통한 비산먼지 발생 저감, 시·군과의 협업, 협의회 설치, 미세먼지 저감 시책 및 시행계획 수립, 주민제안 공모사업, 교육 및 홍보사업 등으로 구성되어 있다. 특히 특별법과 연계한 시행계획의 수립 계획, 교육 및 홍보사업 추진 및 주민 참여를 통한 지방자치단체 내에서의 미세먼지 저감 사업 등이 시행되고 있다. 반면 미세먼지 저감을 위한 구체적인 내용을 반영한 조례는 제시되고 있지 않다. 즉 현재까지 미세먼지 발생의 원인에 대해 구체적으로 제시되고 있지 않아 지방자치단체에서의 대응 역시 미흡한 것이 현실이다. 따라서 지방자치단체에서는 미세먼지 저감을 위한 분야 설정 후 이를 반영하여 저감을 위한 구체적인 노력 제시가 필요하다. 더불어 미세먼지 저감 및 관리에 대한 조례는 지역에서의 특성이 고려되고 있지 않고 표준 사항에 대한 내용으로 구성되어 있어 지역에 맞는 미세먼지 저감 사업에 대한 내용의 추가가 필요하다. 특히 근원적으로 외부환경에 의하여 미세먼지 발생량이 많은 지

역과 지역내 자원에서의 미세먼지 배출로 인한 지역으로 구분하여 지역에서의 현황에 맞는 정책의 설정이 필요하다.

**【표 6-2】** 지방자치단체 미세먼지 관련 조례 사례

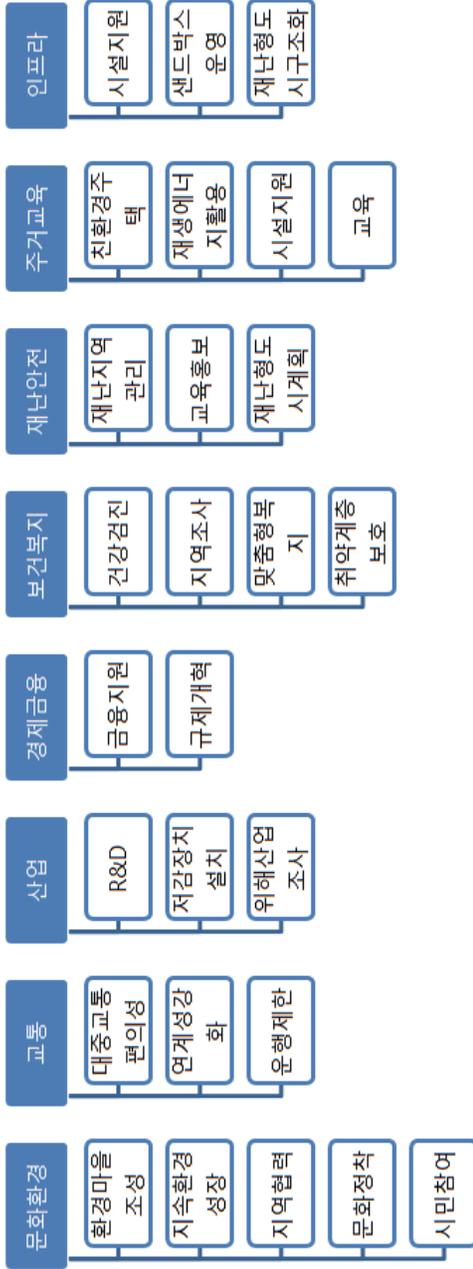
구분	조례	중점사업	특징 및 개선방향
1	광주광역시 미세먼지 저감 및 관리에 관한 조례	<ul style="list-style-type: none"> <li>자동차 운행량 감소 유도 및 배출가스 감축 지원, 친환경 자동차 보급 및 노후 경유차 저공해조치 지원, 사업장 및 공사장 미세먼지 배출원에 대한 저감 기술 지원, 도로 재비산먼지 저감 시스템 구축·개선, 미세먼지 대응방안연구 및 미세먼지 저감을 위한 교육·홍보 사업</li> <li>미세먼지 집중관리구역 설정</li> <li>미세먼지 경보에 따른 조치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>취약계층의 건강보호를 위하여 병원, 보건소, 약국 등의 야간운영, 응급환자 이송체계 운영</li> </ul>
2	강원도 미세먼지 저감 및 관리에 관한 조례	<ul style="list-style-type: none"> <li>공해차량 운행제한</li> <li>비산먼지 발생사업 중 건설공사장의 공사시간 변경·조정</li> <li>시·군별 미세먼지 영향 등을 고려하여 권역별로 구분하여 비상저감조치 운행제한 대상 지역</li> <li>협의회 설치</li> <li>미세먼지 오염을 저감하기 위한 시책을 시·군과 협력</li> <li>미세먼지 예방 및 저감과 관련된 새로운 시책개발을 위하여 주민제안 공모</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지 유발 시설에 대한 정의</li> <li>지역의 미세먼지 유발량 파악 및 대응 체계 구축</li> <li>구체적인 시행계획의 설정(현행은 특별법 8조에만 국한됨)</li> </ul>
3	경기도 미세먼지 저감 및 관리에 관한 조례	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지 저감 및 관리를 위한 시행계획 수립(농도개선, 배출량 현황 및 전망, 저감사업, 비산먼지 저감사업, 발전소 미세먼지 저감사업 등)</li> <li>경기도 미세먼지 저감 및 관리위원회 설치</li> <li>미세먼지 배출 실태 실태조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>취약계층 대응 정책</li> <li>시행계획 수립의 다양성 확보</li> <li>지자체 간 협력체계 방향 제시 필요</li> </ul>
4	경상남도 미세먼지 저감 및 관리에 관한 조례	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지 저감 및 관리를 위한 지원사업, 교육 및 홍보</li> <li>미세먼지 저감 및 관리사업 설정(사업장, 자동차, 건설기계 및 발전소에서 발생하는 미세먼지 저감 사업, 공사장, 나대지, 도로 등 비산먼지 저감 사업, 농업잔재물 소각, 직화구이 등 생물성 연소에서 발생하는 미세먼지 저감 사업 등)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>취약계층 대응 정책</li> <li>지자체간 협력체계 방향 제시 필요</li> </ul>

구분	조 례	중점사업	특징 및 개선방향
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼지 저감 및 관리위원회</li> <li>• 지방자치단체 및 관련 기관·단체 등과 협력체계 구축</li> </ul>	

자료: 환경부, 2017

미세먼지 저감을 위한 사업 분야가 교통, 시민참여, 관리지역 지정, 산업 분야로 한정되어 있어 이를 현실적으로 보다 확장하는 것이 필요하다. 이는 시행계획의 설정에 있어 구체적인 대안으로 활용될 수 있으며 개별 분야의 노력으로 인하여 개선될 수 없는 미세먼지 대응정책의 틀을 형성하는 데 활용될 수 있다. 즉 미세먼지에 대한 이해를 통한 문화정착 및 환경 개선을 위한 문화환경은 크게 환경개선을 통한 환경마을로의 전환을 의미한다. 더불어 단기적인 이윤 극대화가 아닌 환경을 고려한 지속성장으로의 전환, 지역 간 대응체계 설정을 통한 협력거버넌스의 확립, 미세먼지에 대응할 수 있는 시민참여로 구성된다. 또한 미세먼지의 주요 배출원으로 고려되고 있는 교통 부문에 대한 근본적인 목적인 장기적인 측면에서의 대중교통 접근성 및 다양성 개선을 통한 편의성 확보가 요구되며, 단기적인 운행 제한에 대한 합리적인 시행계획 설정이 필요하다. 또한 위해산업 분야에 대한 조사를 통한 대상 설정, 산업 분야의 자발적인 저감장치 설치, 미세먼지 저감을 위한 산업 분야의 자체적인 R&D 개발 등이 요구된다. 특히 시설설치에 대한 금융 지원과 지속성장을 위한 전략산업 운영을 위해 규제개혁을 실시해야 한다. 더불어 미세먼지 집중관리지역에 대한 지정 및 운영, 전반적인 교육홍보에 대한 재난안전 분야에 대한 계획 설정 등이 필요하다. 재난안전 분야 사업이 사전적인 측면에서의 사업이라면 사후적인 측면에서의 대응을 위하여 보건복지 측면에서의 건강검진 체계 형성을 통한 검사 대상 및 프로그램 확대, 수혜 확대에 대한 계획 등이 요구된다. 또한 향후 환경마을조성을 통한 삶의질 만족을 위한 지역조사 계획 설정을 통한 기존 사업과의 연계가 필요하며, 취약계층을 대상으로 지역의 특성과 연계하여 사업을 확장하는 것이 요구된다. 더불어 환경마을조성의 핵심 요소인 친환경주택 및 재생에너지활성화를 위한 실천계획의 설정이 필요하며, 이를 위한 시설지원 및 교육을 통한 인식 개선이 병행되어야 한다. 끝으로 환경개선을 위한 인프라 확보를 위하여 시설지원이 필요하며, 이를 위해 샌드박스 활성화를 통한 시범사업의 활성화가 요구된다. 이는 지속성장을 위한 환경개선 측면에서의 사업으로 확대하여 고려하는 방안으로 문제를 접근할 수 있을 것으로 판단된다.

[그림 6-6] 미세먼지 대응 지방자치단체 사업 운영 분야

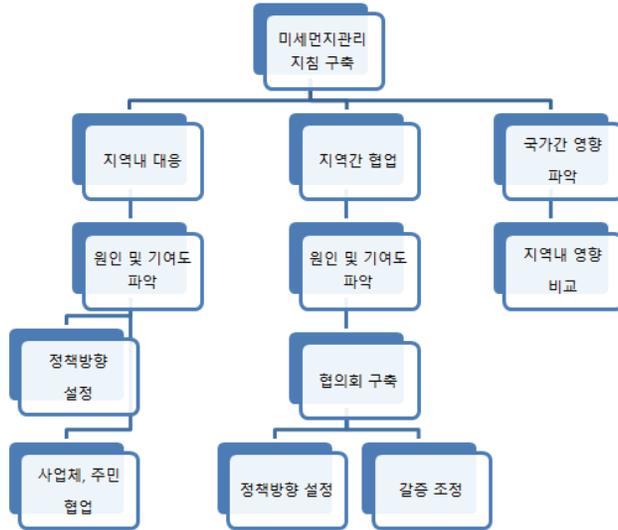


### 3. 지방자치단체간 협업 방안 구축

대기오염물질 중 하나인 미세먼지는 대기의 흐름 및 이동에 따라 국가간 및 지역으로 이동을 한다. 더불어 미세먼지는 특정 기간에 집중적으로 지역에 미치는 영향 패턴이 대부분 일정하다. 즉 미세먼지에 의하여 어디에 영향을 받게되는지에 대한 결과론적인 측면에서의 파악이 이루어졌다. 더불어 미세먼지 유발원인에 대한 연구가 이루어져 어떤 원인에 의하여 미세먼지가 발생하는가에 대한 구체적인 연구가 진행되고 있다. 지방자치단체 측면에서는 조례의 제정 등을 통해 구체적인 실천방안에 대한 논의가 이루어졌으며 이를 실질적으로 운영하기 전의 단계에 있다. 반면 대기오염에 대한 심각성은 인지되고 있으나, 기후변화에 대한 정책에 대해서는 보다 구체적인 정책의 설정이 필요하다. 이는 현재 많은 지방자치단체에서 수립한 조례를 보다 구체적으로 적용하기 위한 토대를 만드는 것에 기반하고 있다.

국가와 병행하여 지방자치단체 차원에서도 지역에 미치는 미세먼지에 대한 영향을 파악하는 것이 선행되어야 한다. 특히 지방자치단체 간 영향 원인 및 상호 인과관계에 대한 구체적인 영향 정도를 파악하는 것이 요구되며 이를 근간으로 정책을 설정해야 한다. 특히 영향관계에서 배제된 지역에 대한 정책 참여에 대한 적극성의 결여 부분에 대해서는 상호간의 협력을 통한 부가적인 성과의 창출을 위해서 과학적인 자료에 근거하여 합의에 의한 협력이 필요하다.

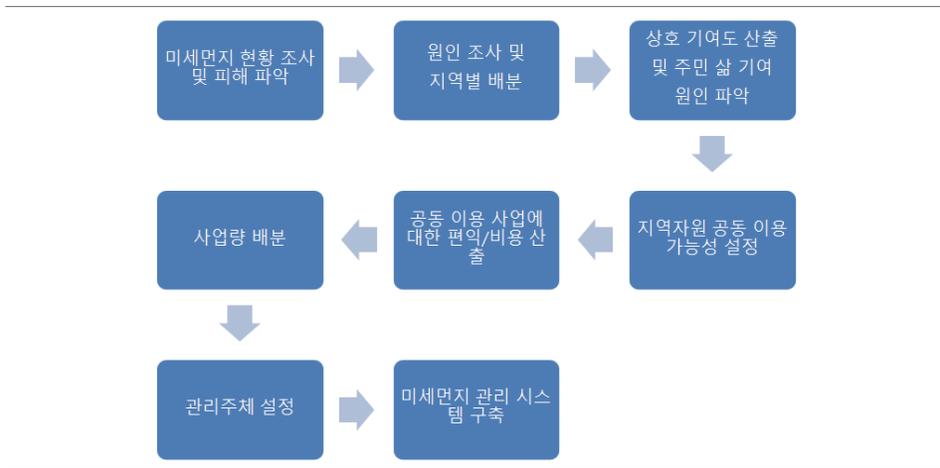
[그림 6-7] 지방자치단체 간 미세먼지 대응 기본 프레임



반면 실질적인 지자체 간 협업을 위해서는 우선 미세먼지 유발 정도에 대한 지방자치단체 간 현황 조사를 통한 원인 파악 및 피해 정도에 대한 산술적인 파악이 필요하다. 이를 근거로 지역에서 발생하는 미세먼지의 지방자치단체별 배분에 대한 원인 규명이 선행되어야 하는데, 이는 배출원에 대한 조사가 실질적으로 추진되어야 하는 것을 의미한다. 미세먼지의 영향은 주민 삶에 미치는 영향 및 원인을 파악하는 것을 목적으로 지방자치단체 간 기여도에 대해 산출되어야 하며, 이를 통해 지방자치단체의 지역 자원에 대한 공동이용을 통한 저감 방안 등에 대한 논의 등이 이루어져야 한다. 더불어 공동이용은 배출 시설에 대한 국한될 수도 있지만 지역생산에 기여할 수 있는 사업체가 많은 비중을 차지할 것이기 때문에 지역생산을 감소시키지 않고 상호의 성장이 견인되지만 지속적인 환경을 고려한 성장으로 전환될 수 있는 상생방안에 대한 설정이 필요하다. 이때의 사업량 배분은 해당 지방자치단체의 성장을 저해하지 않는 수준에서 설정되어야 하는 것을 의미하며, 이를 통해 해당 지방자치단체 소재의 배출원에 대한 관리를 보다 광역적으로 실시해야 하는 것을 의미한다. 이를 통해 지방자치단체 간 미세먼지를 관리할 수 있는 시스템을 구축하고, 이를 통해 상호 지방자치단체 간 미세먼지에

대한 조절이 이루어져야 한다. 반면 이는 국내 발생량에 해당될 수 있으며, 이 외의 국외 원인에 대한 미세먼지 유발에 대한 것은 중앙정부의 방침에 따라 지방자치단체가 조력해야 하는 것이 필요하다.

[그림 6-8] 지방자치단체간 협업을 위한 프로세스



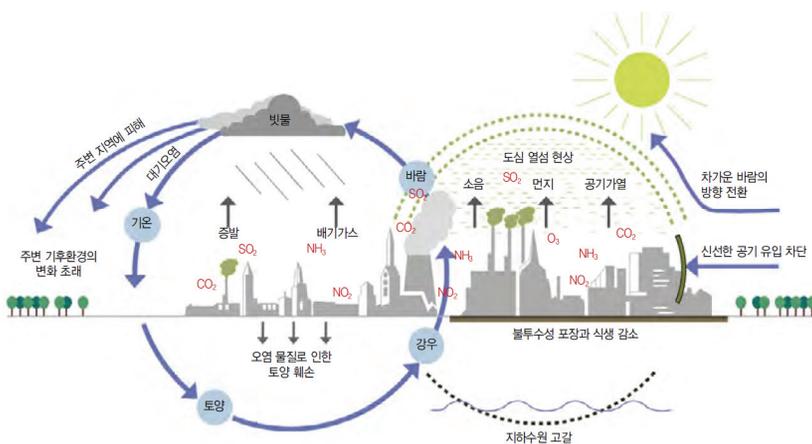
#### 4. 미기후를 고려한 도시계획 수립 및 적용

도시 차원에서 미세먼지 문제를 해소하기 위해서는 토지 이용에 따라 상이하게 미세먼지 발생원을 억제하는 방법을 수립해야 한다. 기본적으로 도시지역 중 도로면적 또는 도로밀도가 높은 공간에 대해서는 자동차의 저속 또는 공회전 시 주로 발생하는 NOx를 감소하게 하기 위하여 경유차 특히, 노후화된 경유차를 관리해야 한다. 본질적으로 자동차의 통행을 억제하거나 자동차의 공회전을 단속해야 하며, 자동차의 저속이 이루어지지 않고 원활하게通行할 수 있도록 교통대책 수립 역시 병행될 필요가 있다. 또한 주거지역의 경우에는 보일러 등 화석연료를 사용하는 연소장치를 점검하거나 노후화된 장치를 교체해야 한다. 이처럼 도시공간 내 토지 이용에 따라 더 나아가 해당 도시의 토지 이용 특성에 따라 서로 다른 미세먼지의 발생물질에 대한 저감 정책이 필요하다. 이는 미세먼지 자체를 줄일 수는 없을지라도 미세먼지에 의한 시민 건강의 유

해성을 저감시킬 수 있는 방법이 될 것으로 판단된다.

다음으로 도시의 근원적인 체질 개선이 필요하다. 실제로 미세먼지 문제는 도시 미기후와 밀접한 관련이 있다. 이미 배출된 미세먼지의 정체와 유출은 국지풍에 영향을 받아 도시공간 내에 정체되기 때문이다. 미세먼지 문제는 소위 대기 역전 현상이라는 대기의 정체가 발생하는 오전에 특히 심각하다가 오후가 되면서 점차 그 농도가 낮아지는 것이다. 문제는 도시공간 내 바람을 만들어낼 수 있는 여건이 너무 부족하다는 것이다. 도시의 신선한 공기는 대부분 도시 주변의 교외 또는 도시 외곽의 도시숲이라 불리는 산림에서 발생한다. 실제로 이것은 우리가 상상하는 강력한 바람이 아니고, 도심에 비해 상대적으로 찬 공기층이 밀도와 유동으로 도심부로 밀고 내려오는 형태로 이루어진다. 하지만 도시공간은 불투수성 포장과 자체의 인공열에 의해서 만들어진 도시열섬 현상 때문에 자체적인 상승기류가 발생하고, 도시 내에서 발생한 대기오염 물질로 외부로부터 공기층이 유입될 수 없는 하나의 막을 형성하고 있다. 이러한 상황에서 도시 내 열섬현상 및 대기오염을 저감하며, 동시에 도시 내외부에 도시숲이나 수공간을 조성하여 다양한 대기의 유동을 촉진하고, 신선한 공기층이 유입되고 배출되는 보다 견강한 순환형 도시를 조성할 필요가 있다.

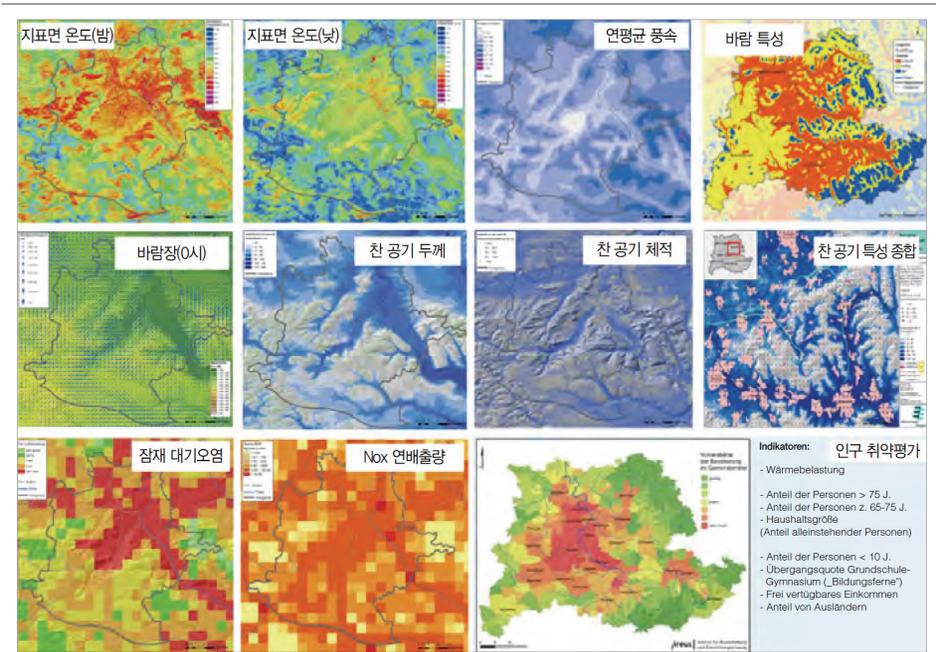
[그림 6-9] 신선한 공기의 유입이 차단되는 도시공간의 구조



자료: 이건원(2019: 30)

바람길을 도시계획의 고려요소로 활용하기 위해서는 바람길에 대한 분석이 뒷받침되어야 한다. 대기 질 및 열환경 개선을 위해 바람길을 도시계획에 처음 도입한 독일의 슈투트가르트에서는 도시의 다양한 기후 특성을 분석하고 그 결과를 종합하여 기후분석지도(Klimaanalysekarte; Climate Analysis Map)를 구축한다. 이 지도에는 지표면 온도, 연평균 풍속, 바람장 등 일반적인 기상특성에 관한 정보뿐만 아니라, 찬 공기 두께 및 체적 등 찬 공기에 대한 특성도 포함된다. 구축된 기후분석지도는 계획제언지도(Planungshinweiskarte; Map with Recommendations for Planning)를 통해 도시의 개발계획 및 관리 방안을 수립하는 과정에서 과학적 근거를 제공하기도 하며, 지구단위계획, 건축계획, 도시 내 녹지계획을 수립하는 과정에도 활용된다.

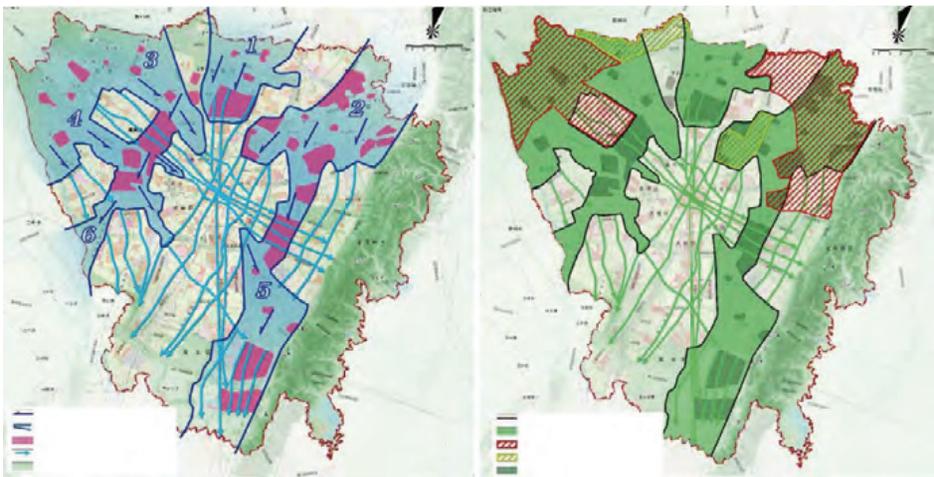
[그림 6-10] 도시기후지도 구축을 위한 기초 자료 (독일의 슈투트가르트)



자료: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur(2012); 엄정희(2019: 15)에서 재인용

대기오염이 심각한 사회문제로 대두되고 있는 중국에서는 대기오염 해소를 위해 바람길 연구를 활발히 진행하고 있다. 청두(Chengdu)시는 스모그 문제가 심각한 도시 중의 하나로, 높은 오염물질 배출량과 함께 분지 기후의 영향을 받는 지역이다. 이에 대기오염 저감 정책과 더불어 바람길 활용에 대한 연구를 진행하였는데, 잠재 바람 환경 평가, 도시 바람길 개발 원칙·관리 등 바람환경의 분석·평가를 바탕으로 바람길을 도시개발계획과 연계하기 위한 내용을 다루고 있다. 청두시의 도시 바람길 계획에서 구역별 바람길 조성 전략을 살펴보면 ① 우세한 풍향인 북동쪽 및 북쪽을 기본방향으로 하고 미세바람을 도심까지 이동, ② 용문산 골짜기의 북서풍 등 국지순환풍 이용, ③ 청두시의 조밀한 도시구조 이용, ④ 녹지와 하천 등을 이용, ⑤ 바람이 적고 온도가 높은 지역을 우선적으로 고려, ⑥ 청두시 생태계획과 연계 등을 들 수 있다.

[그림 6-11] 중국 청두시의 바람길 활용



자료: Ren, et al.(2018); 엄정희(2019: 18)에서 재인용

바람길 개념이 시작된 독일의 사례처럼, 바람길 계획은 기상조건에 의해 형성된 주풍향을 이용하는 것이 아니라, 지형과 토지피복에 의해 발생하는 지역의 바람순환체계를 이용하는 것이다. 특히 바람길 계획에서 중요하게 고려되는 것이 찬 공기(Kaltluft; cold air)가 생성되는 지역을 보전하는 것이다. 찬 공기는 지표면에서 에너지 전환으로 발생하는 주변보다 낮은 온도의 공기를 의미한다. 일반적으로 구름이 없는 맑은 야간에 나지 및 초지 등 일교차가 큰 지표면에서 찬 공기가 많이 생성된다고 알려져 있다. 특히 산림지역은 오염물질이 포함되지 않은 신선한 공기가 생성되는 곳이며, 찬 공기가 경사면을 따라 이동하기 유리한 지형적 조건을 갖추고 있다. 이러한 찬 공기 흐름은 기후 및 대기환경 측면에서 문제가 되는 기상조건에서 신선한 공기를 도심으로 수송하는 유일한 방법이다. 고기압의 기상상황이 오래 지속되고 그에 따른 대기 역전 형성이 증가할수록, 찬 공기의 영향은 도시 내 공기 교환을 위해 더 중요해진다. 찬 공기가 오염된 도시의 공기를 완전히 대체할 수는 없지만, 대기 혼합 효과를 통해 폭염과 대기오염을 줄일 수 있다. 도시 차원보다 더욱 미세적인 공간구조인 지구와 단지 차원에서의 세밀한 노력 역시 중요하다. 도시공간은 다수의 건축물 및 건조물로 인하여 바람의 유동이 일정하지 못하고, 태양의 일사 또한 불규칙한 구간이 많아 미세먼지의 균질한 분포가 이루어질 수 없다. 그만큼 미세먼지가 누적되거나 정체되어 있는 구간이 상당수 분포할 수 있으므로, 다수의 공간 지점을 촘촘하게 측정하고 그것을 바탕으로 한 대책 마련이 필요하다. 그러므로 다수의 인증된 측정치를 바탕으로 공간계획을 수립해야만 보다 촘촘하고 현실적인 미세먼지 대응 정책 및 계획을 수립할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위해 미시공간에 대한 환경적 특성 및 환경부하에 대한 고려가 필요하며, 이를 저감하거나 이용할 수 있는 공간계획을 수립해야 지구 및 단지 차원에서의 진정한 바람길 확보가 가능할 것이다.

다음으로 지구와 단지 차원에서의 자연요소 도입 및 배치에 보다 주목할 필요가 있다. 실제로 도시 내 녹지공간에 대해서 매우 중요하게 인식함에도 이를 지구 및 단지가 발 시 도입하는 데 상당히 애를 먹는 것이 현실이다. 우선 경제적·사회적 가치에 비해 환경적 가치가 대부분 뒷전인 경우가 많고, 그러다보니 환경적 가치를 실현시킬 수 있는 공간을 찾기가 어렵다. 또한 그러한 공간을 마련하더라도 식생의 건강한 생장을 고려하기보다는 개발이 어렵거나 어쩔 수 없이 식생을 배치해야 하는 공간에만 식생을 배

치하는 경우가 대부분이다. 식생도 살아 있는 생물로 스트레스를 받는다. 식생의 종류에 걸맞게 일사가 확보되어야 하고, 토심이 확보되어야 한다. 과도한 대기오염 물질은 정화하기보다는 식생을 병들고 죽게 만든다. 또한 경관이나 경제적 이유로 인해 마구 잡이로 전지 및 전정된 식생은 건강하게 자라기 어렵다. 특히 식생의 성장을 위해서는 적절한 수체계 위에 식생이 위치해야 한다는 점을 고려해야 한다. 즉 도시 내 식생을 적절하게 배치하는 것은 현재의 방식대로 모든 계획이 종료된 이후에 시행되어서는 안 되고 도시계획 초기부터 조심스럽게 이루어져야 한다. 그렇게 조성된 도시 내 건강한 식생은 성장과정에서 도시 내 온실가스를 제거하고, 미세먼지 및 전구물질을 흡착 또는 기공으로 흡수하여 제거할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본연의 증발산 작용으로 도시공간 내 온도 차이를 만들어 유동을 만들어낼 수 있다. 미세먼지 문제를 시작으로 우리의 도시공간에 대한 재고찰이 필요하다. 도시공간 내 자동차, 냉난방 기기 등을 중심으로 한 에너지 소비체계는 어떻게 이루어지고 있는지, 신선한 공기의 유입과 배출이 가능한 구조인지, 식생이 적절한 위치에 네트워크 체계를 구축하고 있는지, 그러한 그린 네트워크 체계는 블루 네트워크 체계와 적합한 관계를 맺고 있는지 등에 대한 면밀히 살펴봐야 한다. 또한 새로운 지구 및 단지 조성 시 광역적인 도시공간 구조에 대한 고려가 이루어지고 있는지, 또는 그렇지 않은 지구 및 단지의 경우에는 지구단위계획 등의 형태로 이를 반영하여 당장은 어렵더라도 앞으로 도시공간구조에서 바람의 유동을 가로막기보다는 이를 촉진하는 구조가 될 수 있도록 배려하고 있는지도 검토해야 할 것이다. 즉, 미세먼지에 강한 도시를 만들기 위해서는 다양한 도시계획 요소들의 상호 연계가 필요하며, 도시계획체계 역시 상·하위 도시계획체계가 연동될 필요가 있다. 더욱이 환경계획과 도시계획의 연계가 바탕이 되어야 할 것이다.

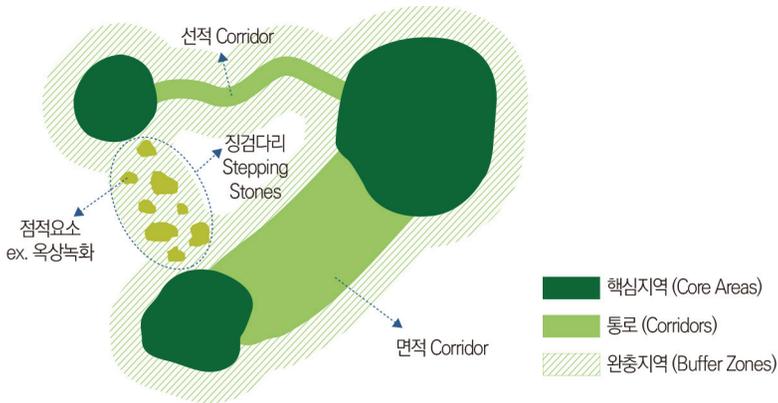
## 5. 미세먼지 저감을 위한 도시숲 조성 확대

국내에서는 2000년부터 바람길 활용에 대한 본격적인 연구가 시작되었으며, 지금까지 친환경 도시 조성에 관한 다양한 지침과 계획에서 바람길 활용을 언급해왔다. 특히 최근에는 미세먼지가 사회적 이슈가 되면서 바람길이 미세먼지 저감을 위한 하나의 방편으로 고려되고 있다. 예를 들어 산림청은 미세먼지 저감을 위해 도시 외곽산림과 도

시 내 산재된 숲을 연결한 도시 바람길숲을 전국에 조성할 계획을 발표하였으며, 서울, 부산 등 전국 주요 도시의 바람길숲 조성을 지원하고 있다. 국립산림과학원이 홍릉숲 주변으로 미세먼지 농도를 측정된 결과 미세먼지는 도심에서 평균  $60.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 측정되었고 숲 경계에서는  $40.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 숲 내부  $51.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 숲 중심에서는  $42.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 도심과 비교하여 도시숲의 농도가 평균 25.6%가 낮았다. 반면 미세먼지 농도는 도심에서 평균  $23.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 되었고 숲 경계에서는  $13.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 숲 내부  $14.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 숲 중심은  $13.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 도심에 비해 평균 40.9%가 낮은 농도를 나타냈다. 도시숲이 미세먼지의 농도를 저감하는 것은 복잡하고 미세한 표면을 가진 나뭇잎이 미세먼지를 흡착하거나 잎 뒷면 기공 속으로 흡수하기 때문이다. 가지와 나무줄기가 침강하는 미세먼지를 차단하기도 한다. 나무는 온 몸으로 미세먼지를 막아주고 있다. 2015년 말 기준으로 우리나라 생활권의 도시숲은 1인당 평균 9.91평방미터 정도이다. 세계보건기구 권장 최소기준인 9평방미터는 넘지만 최적 권장기준인 15평방미터에 비해 66% 수준밖에 되지 않는다. 서울은 1인당 5.35평방미터로 최소기준에도 못 미친다. 우리나라 인구의 약 90%가 도시에 거주하고 있는 현실을 고려했을 때 한 사람당 평균의 녹색공간은 매우 미흡한 실정이다. 도시에서 숲과 나무를 만날 수 있는 가장 익숙한 공간은 공원이다. 그런데 2020년에 시행될 '도시공원 일몰제'로 도시의 허파가 되어주는 공원이 사라질 위기에 처해있다. 2000년 7월 기준으로 도시계획시설로 지정된 공원은 2020년 7월까지 부지가 매입되지 않을 경우, 공원이정지 모두 해제된다. 겉보기에 공원으로 조성된 경우라도 지자체가 부지를 매입하지 않으면 사유지와 국·공유지 모두 공원이정지 해제대상이 되고, 아직 조성되지 않은 공원의 경우도 마찬가지로 공원이정지가 어렵게 된다. 다행히도 도시공원을 지키기 위한 많은 사람들의 노력 덕분에 곳곳에서 구체적인 성과가 만들어지고 있다. 서울시와 부산시, 성남시가 적극적 매입을 통한 해결방안을 제시했고, 광주시는 도시공원을 민간 택지개발로 훼손할 경우 훼손 면적이 10% 이상을 넘지 않도록 하겠다는 가이드라인을 발표하기도 했다. 도지지역의 녹지공간은 계속 단편화되어 녹지섬(Green Islands)의 생물서식공간으로 여기저기 흩어져 있는 실정인데, 이들 녹지섬을 유기적으로 연계할 필요가 있으며 이러한 환경을 조성하는 것이 생태네트워크 계획이다. 생태네트워크를 통로(corridor)의 자연·인문환경 특성에 따라 분류하면, 녹지와 녹지를 연계하는 녹지네트워크(Green Network), 강·하천 등의 물

줄기를 생태통로로 활용한 물네트워크(Blue Network), 바람이 이동할 수 있는 통로, 즉 바람길의 연계망을 의미하는 바람네트워크(White Network) 등으로 구성된다. 생태네트워크 계획은 공간의 규모에 따라 ‘광역 생태네트워크 계획’, ‘도시 생태네트워크 계획’, ‘지구 생태네트워크 계획’ 등으로 구성되며, 이들 공간 위계별로 유기적인 네트워크가 이루어지도록 비오톱을 배치하는 것이 바람직하다.

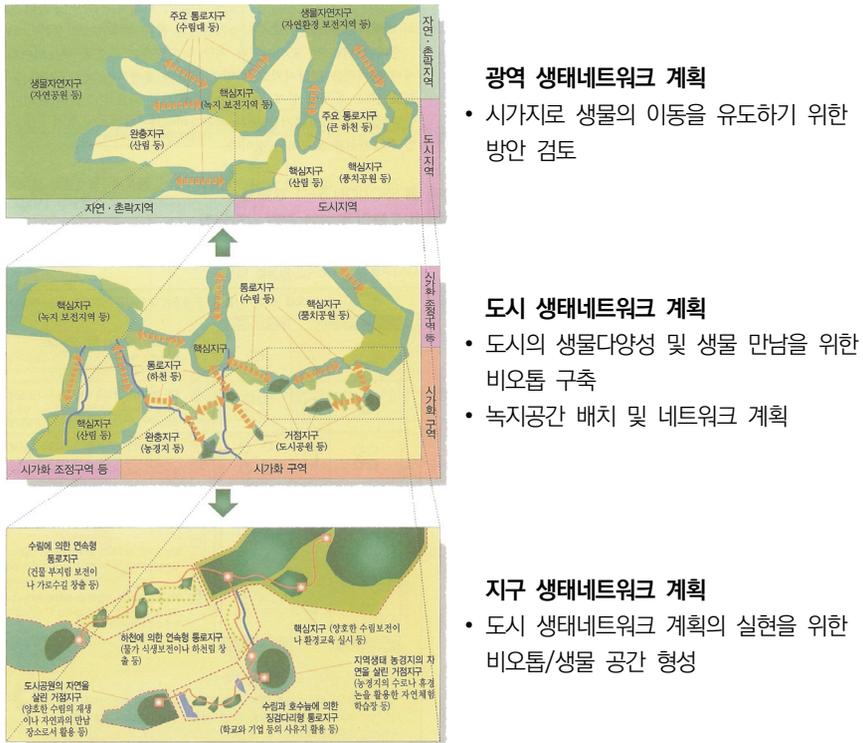
[그림 6-12] 생태네트워크의 개념도



자료: Bennett(1998)

경관에서 다양하게 나타나는 patch(녹지공간)는 그 형태에 따라 점·선·면적 요소로 구분할 수 있으며, 이들 요소는 생태네트워크의 공간을 구성하는 데 응용할 수 있다. 면(area)적 요소는 생태적으로 중요한 일정 면적 이상의 patch를 의미하고, 점(point)적 요소는 공간의 규모가 작지만 징검다리(stopping stones, 디딤돌 비오톱)로서 연결성에 기여할 수 있으며, 선(line)적 요소는 점·면적 요소들을 유기적으로 연결시켜 주는 역할로서 기능한다. Bennett(1998)이 제안한 핵심지역(core areas), 통로(corridors), 완충지역(buffer zones)의 분류법은 많은 공감을 받아 대부분의 유럽 국가에서 환경계획에 활용되고 있다. 핵심지역은 생태적으로 중요한 서식공간으로 구성되고, 통로는 생물종의 분산과 이동 기회를 주기 위해 핵심지역을 유기적으로 연결하며, 완충지역은 핵심지역과 통로를 보호하기 위해 외부로부터의 생태적 충격을 완화시켜 주는 역할을 담당한다.

[그림 6-13] 공간 단위(광역-도시-지구)별 생태네트워크 계획



자료: 이승은·홍선기 공역(2002: 20)의 재구성

녹지공간의 가장 효과적인 형태이자 배치 방법은 고차 소비자가 서식 가능한 양질의 녹지공간을 보다 넓게 원형에 가까운 하나의 덩어리로 확보하여 이들 공간을 생태적 통로로 상호 연결하는 것으로 요약된다. 즉 녹지공간은 가능한 넓은 것이 좋고, 같은 면적이면 분할된 상태보다 하나인 상태가 좋으며, 녹지공간이 분할하는 경우에는 분산시키지 않는 것이 바람직하다. 또한 선상으로 집합시키는 것보다 같은 간격으로 집합시키는 것이 좋고, 불연속적인 녹지공간은 생태통로로 연결시키는 것이 좋으며, 녹지공간의 형태는 가능한 원형이 좋다.

**[그림 6-14]** 녹지공간(비오톱) 형태에 관한 일반 원칙

면적이 크다			면적이 작다
하나의 커다란 덩어리이다			몇 개의 작은 보호구로 나뉘어 있다
인접해 있다			서로 떨어져 있다
보호 구간의 왕래가 가능하다			직선상으로 늘어서 있고, 보호 구간의 왕래가 적다
통로에 의해 연결되어 있다			통로가 없다
원형이다			원형이 아니다
	바람직하다	바람직하지 않다	

자료: Daimond(1975: 143)의 재구성

### 제3절 연구의 기여점 및 한계

본 연구는 주민의 수요를 반영한 방법을 활용함으로써 현재 주민들이 직면하고 있는 미세먼지 변화에 따른 영향력을 파악할 수 있는 근거 자료로 활용할 수 있을 것으로 파악된다. 더불어 미세먼지 변화가 지역에 미치는 영향을 토대로 지방자치단체의 대응방안을 구체적으로 마련하는 데 활용할 수 있다. 이를 통해 미세먼지에 대한 지방자치단체의 대응이 중앙에서의 역할로만 맞춰져 진행되는 기존의 방식에서 보다 진일보하여 국가 차원의 대응 외에 지역에서의 대응으로 구분하여 지방분권에 따른 지방자치단체의 역할을 제고할 수 있다. 미세먼지 변화의 지역별·단계별 변화를 제시함으로써 지역에 따라 차별되는 실증적인 결과를 제시하였다. 미세먼지 변화에 따른 지역의 차별화 외에 지역의 특성을 부가적으로 고려하여 정책 대안을 형성하는데 활용될 수 있다.

미세먼지의 원인 및 영향력에 대한 파악으로 미세먼지 원인에 대응한 객관적인 근거가 확보되며, 이를 통해 미세먼지 발생에 대한 정부와 지자체의 대응방안에 대한 근거로 사용될 수 있다. 또한 미세먼지의 영향과 원인을 구체적으로 제시함으로써 향후 지방자치단체의 역할을 제시하기 위한 구체적인 자료로 활용될 수 있다. 미세먼지 오염에 대한 고려를 통해 미세먼지 오염의 사회경제적 의미를 도출하고, 이들의 특성을 보완할 수 있는 맞춤형 정책 투입의 기준을 중앙정부와 지방자치단체 차원에서 제시 가능하다. 또한 미세먼지 변화, 주민 체감, 정책 등으로 구분하여 연결한 미세먼지 대응 가이드라인의 제시를 위해 시·도 및 시·군·구 지역이 직면한 주민 체감을 사전에 산출하여 현 상태에서의 주민의 만족도를 파악함으로써 대기환경 오염물질(미세먼지)이 삶의 질에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 더불어 지역으로 투입되고 있는 정책과 주민들이 체감 및 선호하는 정책 방향과의 정합도를 파악하여 친주민 지역발전을 위한 근거로 사용될 수 있다.

반면 본 연구는 미세먼지의 저감조치를 위하여 사전적으로 미세먼지의 영향을 파악하는 것이 필요하다. 시·도를 대상으로 미세먼지의 시·도간 연계, 미세먼지의 결정요인, 그리고 미세먼지의 영향 정도를 고려할 경우에는 연간 자료보다는 월별·일별·시간별 자료가 필요한 한계를 나타냈다. 더불어 미세먼지 및 초미세먼지의 발생은 발생량만으로 주로 고려되고 있는 한계를 반영하기 위해서는 미세먼지와 초미세먼지를 지역

의 산업연관표와 연계시키는 과정이 요구된다. 즉 미세먼지와 초미세먼지의 발생으로 지역이 직면하는 경제적인 산출이 필요하다. 따라서 향후 연구에서는 보다 시점이 짧은 자료를 사용하는 방법과 지역의 성장 정도와 연계해 분석하는 과정이 필요하며, 이는 환경산업연관분석이 에너지 및 생산활동으로 인해 유발되는 환경오염의 영향을 파악함으로써 가능할 것으로 판단된다.



# 참고문헌

## 1. 국내문헌

- 강광규. (2018). 「미세먼지 관리 종합대책(2018) 주요내용과 방향」. 에너지고위경영자과정 발표자료. 한국환경정책평가연구원.
- 김의준·문승운. (2018). 미세먼지의 지역별 생산기반 배출량과 소비기반 배출량. 「한국지역 개발학회지」. 31(1): 101-122.
- 김운수. (2010). 「서울시 대기중 미세먼지 상세 모니터링을 통한 미세먼지 특성조사연구(2차)」. 서울시정개발연구원.
- 김지욱. (2010). 아시아 국가들 환경오염배출량의 확률수렴성과 환경쿠즈네츠곡선가설 검증. 「자원환경경제연구」. 19(3): 571-595.
- 김정인·오경희. (2010). 한국의 환경쿠즈네츠 곡선에 대한 고찰. 「통계연구」. 10(1): 119-144.
- 공성용. (2013). 「초미세먼지 (PM2.5) 의 건강영향 평가 및 관리정책연구 (2)」. 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 박순애·신현재. (2017). 한국의 초미세먼지의 영향요인 분석: 풍향을 고려한 계절성 원인을 중심으로. 「환경정책」. 25(1): 227-248.
- 박필주·김만영·이일석. (2009). 산업연관표(2003년)를 활용한 산업별 CO<sub>2</sub> 배출 원단위 분석. 「자원환경경제연구」. 18(2): 279-309.
- 서울시정개발연구원. (2010). 「서울시 대기 중 미세먼지의 상세모니터링을 통한 미세먼지 특성조사 연구(2차년도)」.
- 오중혁·김부용. (2013). 중국의 대기오염 억제정책 추진 동향과 향후 전망. 대외경제정책연구원 「중국성(省)별 동향 브리핑」. 4(4).
- 장경수·여준호. (2015). 한국과 중국의 경제성장이 한국의 미세먼지에 미치는 영향분석. 「환경정책」. 23(1): 97-117.
- 정기호·하인봉·김충실·김윤경·박성덕·정경하. (2009). 시군경제-에너지-환경 산업연관모형. 「국토연구」. 3: 157-170.

- 정장표·이승목·정삼화·김미정·허종배. (2015). 「부산광역시 미세먼지 발생원별 저감대책」. 경성대학교 산학협력단.
- 최한주·이기훈. (2006). 환경 혼합 산업연관모형을 이용한 산업별 이산화탄소 배출량 추정과 변화 요인 분석. 「자원환경경제연구」. 15(1): 27-50.
- 추장민. (2015). 「중국의 대기오염 저감대책 최근 동향」. 환경정보지. 환경보전협회.

## 2. 국외문헌

- Acemoglu, D. (2008). *Introduction to modern economic growth*. Princeton press.
- Andreoni, J. and A. Levinson (2001). The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve. *Journal of Public Economics*. 80(2): 269-286.
- Barro, R. J. and X. Sala-i-Martin (1992). Convergence. *Journal of political economy*. 100: 223-251
- Chen, Y., A. Ebenstein, M. Greenstone, and H. Li (2013). Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 110(32): 12396-12941.
- Cho, H. S. and M. J. Choi (2014). Effects of compact urban development on air pollution: Empirical evidence from Korea. *Sustainability*. 2014(6): 5968-5982.
- Dumitrescu, E. I. and C. Hurlin (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*. 29(4): 1450-1460.
- Fang, C. and W. Jing (2013). A theoretical analysis of interactive coercing effects between urbanization and eco-environment. *Chinese Geographical Science*. 23(2): 147-162.
- Fang, C., H. Liu, G. Li, D. Sun, and Z. Miao (2015). Estimating the impact of urbanization on air quality in China using spatial regression models. *Sustainability*. 2015(7): 15570-15592.
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*. 37(3): 424-438.
- Guan, D., X. Su, Q. Zhang, G. P. Peters, Z. Liu, Y. Lei, and K. He (2014). The socioeconomic drivers of China's primary PM<sub>2.5</sub> emissions.

- Environmental Research Letters*. 9(2014): 1–8.
- Hackmann, D. and E. Sjöberg (2017). Ambient air pollution and pregnancy outcomes—a study of functional form and policy implications. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 10: 129–137.
- Han, L., W. Zhou, W. Li, and L. Li (2014). Impact of urbanization level on urban air quality: A case of fine particles (PM<sub>2.5</sub>) in Chinese cities. *Environmental Pollution*. 194(2014): 163–170.
- Hu, J., Y. Wang, Q. Ying, and H. Zhang (2014). Spatial and temporal variability of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> over the North China plain and the Yangtze river delta, China. *Atmospheric Environment*. 95(2014): 598–609.
- Huang, Y., T. Deng, Z. Li, N. Wang, C. Yin, S. Wang, and S. Fan (2018). Numerical simulations for the sources apportionment and control strategies of PM<sub>2.5</sub> over Pearl River Delta, China, Part I: Inventory and PM<sub>2.5</sub> sources apportionment. *Science of Total Environment*. 634(2018): 1631–1644.
- Ji, X., Y. Yao, and X. Long (2018). What causes PM<sub>2.5</sub> pollution? Cross-economy empirical analysis from socioeconomic perspective. *Energy Policy*. 119: 458–472.
- Jin, Q., X. Fang, B. Wen, and A. Shan (2017). Spatio-temporal variations of PM<sub>2.5</sub> emission in China from 2005 to 2014. *Chemosphere*. 183: 429–436.
- Ledoux, F., A. Kfoury, G. Delmaire, G. Roussel, A. E. Zein, and D. Courcot (2017). Contributions of local and regional anthropogenic sources of metals in PM<sub>2.5</sub> at an urban site in northern France. *Chemosphere*. 181: 713–724.
- Li, H., Y. Qi, C. Li, and X. Liu (2019). Routes and clustering features of PM<sub>2.5</sub> spillover within the Jing-Jin-Ji region at multiple timescales identified complex network-based methods. *Journal of Cleaner Production*. 209: 1195–1205.
- Liang, S., Y. Wang, C. Zhang, M. Xu, Z. Yang, W. Liu, H. Liu, and A. S.F. Chiu (2018). Final production-based emissions of regions in China. *Economic Systems Research*. 30(1): 18–36.
- Lin, G., J. Fu, D. Jiang, W. Hu, D. Dong, Y. Huang, and M. Zhao (2014). Spatio-temporal variation of PM<sub>2.5</sub> concentrations and their relationship with

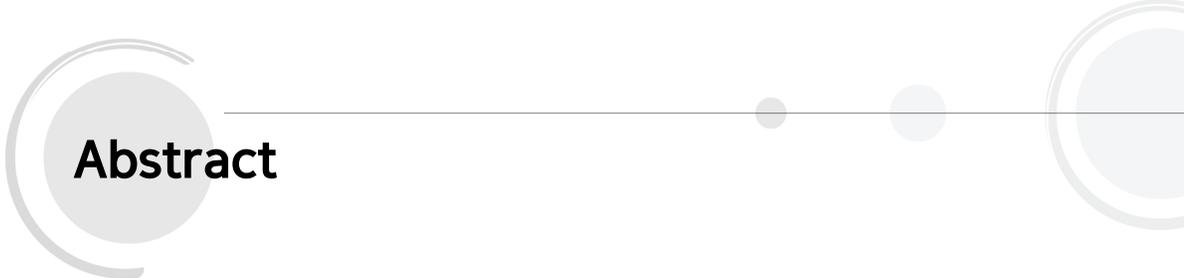
- geographic and socioeconomic factors in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 11(2014): 173–186.
- Lozano, S. and E. Gutiérrez (2008). Non-parametric frontier approach to modelling the relationships among population, GDP, energy consumption and  $CO_2$  emissions. *Ecological economics*. 66(2008): 687–699.
- Mi, K., R. Zhuang, Z. Zhang, J. Gao, and Q. Pei (2019). Spatiotemporal characteristics of PM<sub>2.5</sub> and its associated gas pollutants, a case in China. *Sustainable Cities and Society*. 45: 287–295.
- Munasinghe, M. (1995). Making Economic Growth more Sustainable. *Ecological Economics*. 15: 121–124.
- Nguyen, H. T., M. Y. Kim, and K. H. Kim (2010). The influence of long-range transport on atmospheric mercury on Jeju Island, Korea. *Science of the Total Environment*. 408(2010): 1295–1307.
- Park, M. B., T. J. Lee, E. S. Lee, and D. S. Kim (2019). Enhancing source identification of hourly PM<sub>2.5</sub> data in Seoul based on a dataset segmentation scheme by positive matrix factorization (PMF). *Atmospheric Pollution Research*. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.01.013>.
- Rohde, R. A. and R. A. Muller (2015). Air pollution in China: Mapping of concentrations and sources. *PLoS ONE*. 10(8). 1–14.
- Shen, Y., L. Zhang, X. Fang, H. J., X. Li, and Z. Zhao (2019). Spatiotemporal patterns of recent PM<sub>2.5</sub> concentrations over typical urban agglomerations in China. *Science of the Total Environment*. 655(2019): 13–26.
- Takahashi, K., K. Nansai, S. Tohno, M. Nishizawa, J. Kurokawa, and T. Ohara (2014). Production-based emissions, consumption-based emissions and consumption-based health impacts of PM<sub>2.5</sub> carbonaceous aerosols in Asia. *Atmospheric Environment*. 97: 406–415.
- Tai, A. P. K., L. J. Mickley, and D. J. Jacob (2010). Correlations between fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM<sub>2.5</sub> to climate change. *Atmospheric Environment*. 44(2010): 3976–3984.
- Vellingril, K., K. H. Kim, C. J. Ma, C. H. Kang, J. H. Lee, I. S. Kim (2015). Ambient particular matter in a central urban area of Seoul, Korea.

- Chemosphere*. 119(2015): 812–819.
- Wang, S., C. Fang, Y. Wang, Y. Huang, and H. Ma (2015). Quantifying the relationship between urban development intensity and carbon dioxide emissions using a panel data analysis. *Ecological Indicators*. 49(2015): 121–131.
- Wang, Z. and C. Fang (2016). Spatial–temporal characteristics and determinants of PM<sub>2.5</sub> in the Bohai Rim urban agglomeration. *Chemosphere*. 148: 148–162.
- Wang, Q., M. Kwan, K. Zhou, J. Fan, Y. Wang, and D. Zhan (2019). The impacts of urbanization on fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) concentrations: Empirical evidence from 135 countries worldwide. *Environmental Pollution*. 247: 989–998.
- Xia, T. Y., J. Wang, K. Song, and L. Da (2014). Variations in air quality during rapid urbanization in Shanghai, China. *Landscape and Ecological Engineering*. 10: 181–190.
- Xue, B., Y. Geng, K. Müller, C. Lu, and W. Ren (2014). Understanding the causality between Carbon Dioxide emission, fossil energy consumption and economic growth in developed countries: An empirical study. *Sustainability*. 2014(6): 1037–1045.
- Yan, D., Y. Lei, Y. Shi, Q. Zhu, L. Li, and Z. Zhang (2018). Evolution of the spatiotemporal pattern of PM<sub>2.5</sub> concentrations in China – A case study from the Beijing–Tiangjin–Hebei region. *Atmospheric Environment*. 183: 225–233.
- Yang, D., C. Ye, X. Wang, D. Lu, J. Xu, and H. Yang (2018). Global distribution and evolvement of urbanization and PM<sub>2.5</sub>(1998–2015). *Atmospheric Environment*. 182: 171–178.
- Yang, J., D. Song, D. Fang, and F. Wu (2019). Drivers of consumption–based PM<sub>2.5</sub> emission of Beijing: A structural decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*(2019). doi: 10/1016/j.jclepro.2019.02.109.
- Yuan, Y., S. Liu, R. Castro, and X. Pan (2012). PM<sub>2.5</sub> monitoring and mitigation in the cities of China. American Chemical Society. *Environmental Science & Technology*. 2012(46): 3627–3628.

- Zhang, Y., C. Shuai, J. Bian, X. Chen, Y. Wu, and L. Shen (2019). Socioeconomic factors of PM<sub>2.5</sub> concentrations in 152 Chinese cities: Decomposition analysis using LMDI. *Journal of Cleaner Production*, 218: 96-107.
- Zhao, J., S. Chen, H. Wang, Y. Ren, K. Du, W. Xu, H. Zheng, and B. Jiang (2012). Quantifying the impacts of socio-economic factors on air quality in Chinese cities from 2000 to 2009. *Environmental Pollution*, 167(2012): 148-154.

### 3. 중앙·지방 및 홈페이지 자료

- 관계부처 합동 (2017). 미세먼지 관리 종합대책.
- 서울특별시(2018). 미세먼지(PM-2.5) 고농도시 서울형 비상저감조치 개선대책. 2018. 2. 27. 보도자료.
- 부산광역시 홈페이지(<http://www.busan.go.kr/index>).
- 인천광역시 홈페이지(<http://www.incheon.go.kr/>).
- 대구광역시 홈페이지([http://blog.naver.com/prologue/PrologueList.nhn?blogId=daegu\\_news](http://blog.naver.com/prologue/PrologueList.nhn?blogId=daegu_news)).
- 경기도 홈페이지(<https://www.gg.go.kr/>).
- 경상남도 (2019). 경남도, 사회재난에 대응하는 미세먼지 저감대책에 총력! . 2019. 3. 14. 보도자료.
- 충청북도 홈페이지(<http://www.cb21.net/www/index.do>).
- 충청남도 (2018). 미세먼지 중심 충청남도 대기환경개선 계획.
- 전라남도 동부지역본부 홈페이지(<https://dongbu.jeonnam.go.kr/contentsView.do?menuId=east050>).



# Abstract

## Countermeasures of Local Governments for Reducing Particulate Matter

Although it is necessary to present the policy direction in terms of air environment ( $PM_{10}$ ) that is expressed in areas where residents can feel a sense of satisfaction, the satisfaction level of the residents' experience is generally suggested, but the atmosphere that can be improved research on the policy direction of the environment is needed. In addition, although it is faced with the steps to discuss the causes and countermeasures for airborne pollutants, the causes and countermeasures at the local level are insufficient. Therefore, it is necessary to set up a policy and establish a foundation to increase the quality of life of residents by establishing a policy in connection with air pollution to residents' demand. In addition, it is necessary to present an empirical impact on the national affairs of the president from the perspective of the resident experience to suggest an empirical effect of the policy with the public. By establishing countermeasures at the local government level on the countermeasures for particulate matter reduction, one of the existing national tasks, the validity of the policy change was suggested by considering the economic effects that were not presented in external operations. To this end, it is necessary to establish a strategic response strategy in order to establish a countermeasure of local governments in preparation for environmental changes, and find the impact from the occurrence of particulate matter among environmental change factors is increasing, and the countermeasures for local governments are established by establishing countermeasures at the local government level. Therefore, this study identified the causes of particulate matter effects from 2010 to 2016 and the connectivity between regions, and suggested countermeasures for establishing effective countermeasures for particulate matter in local governments. In order to suggest countermeasures, prior grasping cases, domestic

and international crime cases, policy status, and satisfaction survey results using social surveys were identified, and particulate matter response policies and residents' satisfaction were linked.

Existing studies related to particulate matter are classified into particulate matter caused by local causes and particulate matter caused by external influences, but the effects of external factors have been relatively insufficient. In addition, the causes of particulate matter were discussed such as industrialization, industrial revitalization, and industrial structure change, but they were limited to the region. In addition, it could not reflect the characteristics of the particulate matter flow that is connected between regions. Therefore, this study divided the particulate matter and fine particulate matter into the causes of each region in advance, and derived the determinants. The regional linkage of particulate matter was found to be interregional, and it was possible to identify the affected areas by individual regions. In addition, by categorizing metropolitan cities by area and presenting the extent of the inter-causal relationship of fine particulate matter by area, it is possible to identify areas and areas that are affected when the particulate matter and fine particulate matter in specific areas and areas change. It was found that the population density, the activation of secondary industries, and the degree of regional development were influenced by the model construction using panel data to identify the particulate matter and the cause of the particulate matter. In addition, in order to grasp the influence from the outside, this study considered the wind direction, wind speed, and Beijing concentration change, and showed that the incidence of particulate matter and fine particulate matter in Korea increased with the change of north direction, wind speed, and Beijing concentration. Therefore, the role of the central government to reduce particulate matter suggested the necessity of strengthening basic research to improve pollution through strengthening joint research and cooperation between countries, establishing a system foundation for particulate matter response system, and setting up customized particulate matter policies by region and region. To this end, this study presented policies by type according to foreign and domestic factors, and suggested a role for establishing a practical particulate matter reduction management system. In addition, as a countermeasure at the local government level, substantial reduction long term fundamental plans and ordinances are established, reduction of particulate matter through participation of local residents, cooperation plan for cooperative particulate

matter for local governments in consideration of linkage between local governments, and urban planning considering microclimate establishment and urban forest expansion were suggested as a plan and countermeasures.





미세먼지 저감을 위한  
지방자치단체 대응방안

KRILA  
KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR LOCAL ADMINISTRATION

KRILA



한국지방행정연구원  
Korea Research Institute for Local Administration

(26464) 강원도 원주시 세계로 21 (반곡동)  
TEL | 033.769.9999 FAX | 070.4275.2317



9 788978 465475

9 3 3 5 0

ISBN 978-89-7865-475-3