| SRI-기본-2019-08 |

# 수원시 대기오염 민감군 피해저감 방안 연구

A Study on Preventing the Health Effects of Air Pollution for Sensitive Groups in Suwon City

강은하

SRI 수원시정연구원
SUWON RESEARCH INSTITUTE

연구진

연구책임자 강은하 (수원시정연구원 연구위원)

참여연구원 오미현 (수원시정연구원 위촉연구원)

ⓒ 2019 수원시정연구원

**발 행 인** 최병대
**발 행 처** 수원시정연구원
경기도 수원시 권선구 수인로 126
(우편번호) 16429
전화 031-220-8001 팩스 031-220-8000
http://www.suwon.re.kr
**인 쇄** 2019년 10월 31일
**발 행** 2019년 10월 31일
**ISBN** 979-11-90343-17-6 (93530)

---

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.
강은하. 2018.「수원시 대로변 가로수의 광화학대기오염물질 배출특성 기초 연구」. 수원시정연구원.

---

비매품

# 국문요약


다양한 환경오염과 환경유해인자로 인해 유발되는 건강 피해는 국민의 불안감을 증대시킨다. 특히 최근 초미세먼지 경보제 발령 일수가 2018년 기준 2017년에 비해 2배 이상 증가하고, 미세먼지가 인체에 악영향을 끼친다는 연구결과가 잇따라 발표되고 있다. 미세먼지가 일반인을 비롯해 영유아, 임산부, 호흡기질환자 등 민감군에게 더욱 해로운 것으로 나타나면서 심각성을 더하고 있다.

본 연구에서는 초미세먼지를 포함하는 대기오염 민감군에 대한 정의를 여러 문헌을 통해 조사·정립하고, 구득할 수 있는 자료 범위 내에서 민감군의 현황을 파악하여 환경보건정책의 대상군을 파악하고자 하였다. 또한 환경오염 민감군 보호를 위한 향후 자료 조사 계획 수립 및 정책의 방향성도 제안하였다.

환경오염으로 인체 피해 사례를 보면 일본 이따이이따이 병이나 낙동강 페놀사건처럼 물에 유입된 독성물질로 인한 피해는 원인물질을 제거함으로 즉각적인 해결이 가능하다. 그러나 광화학스모그(LA 스모그)와 같은 대기오염 사례는 자동차나 많은 공장에서 나오는 다양한 화학물질(예: 휘발성유기화합물(VOCs), 질소산화물 등)이 공기중에 퍼져 있다가 햇빛과 같은 광화학반응에 의해 Secondary Organic Aerosol(SOA), PAN(peroxyacetyl nitrate), 오존 등으로 생성되어 건강에 영향을 주기 때문에 피해 범위가 넓고 원인이 다원화되어 있으며 만성적이다.

따라서 본 연구에서는 국민의 건강에 만성적이고도 광역적으로 영향을 주는 대기오염물질을 대상으로 동일한 노출로도 더 많은 피해가 발생할 수 있는 민감군 및 취약군에 대한 영향을 알아보았다.

미세먼지 및 대기오염물질은 건강(질병, 사망 등)에 분명한 영향이 있다고 보고되었으며, 장기노출 뿐만 아니라 단기 노출 시에도 유병율, 초과사망률 증가 등 건강 영향이 있다고 알려져 있었다. 미세먼지는 다른 유해인자(예: 흡연)에 비해 영향의 크기는 작으나 기저질환자, 어린이와 같은 민감군에 미치는 영향이은 크며 지속적이며 광범위한 노출이 특징이었다. 따라서 민감군 대상군별 노출 정도를 파악하는 것이 피해 예방 대책 마련을 위해 우선 필요할 것이다.

대기오염 건강 피해 저감 정책 고찰 결과 우리나라에서의 민감군은 연령 및 기저질환 유무로 분류하고 있으나, 선진국(예: 미국)에서 민감군에 포함시키는 사회경제적 요인(예: 저소득계층, 소수민족, 고등학교 이하 학력 등)을 고려하지 않고 있었다. 그동안의 미세먼지 건강피해 대응방안은 고농도 사례 발생 시 신속한 예·경보 정보 제공, 마스크 보급, 실외활동 제한 등의 대응방안을 통해 민감군과 취약군의 대기오염에의 노출을 줄이는 방식이었다. 즉, 광역적이고 전국적인 고농도 사례 외에 평소에도 국지적 배출원에 의해 대기오염도에 상대적으로 많이 노출되는 민감군에 대한 평상시 피해저감 대책은 미약했다. 또한 상대적으로 대기오염문제에 민감하게 대응할 수 없거나 관심이 없는 사회적 취약군에 대한 대응 정책은 미약했다. 또한 취약군인 실외근무자에 대한 미세먼지 대응 매뉴얼은 작성되어 있으나 실제로 얼마나 잘 지켜지고 있는지에 대한 모니터링이나 사후관리 계획이 미약했다.

본 연구에서는 수원시 미세먼지 민감군 이용시설(학교, 어린이집 등)과 생활주변 인접한 주요 대기오염배출원(6차선이상 도로, 1~5종 대기오염배출시설)과의 인접도를 분석하였다. 그 결과 도로변과 대기오염배출시설 모두에 근접하여 영향권에 있다고 판단되는 시설은 전체 시설 중 6%였고, 도로변에 근접한 시설은 20%, 대기배출시설에 근접한 시설은 28%에 해당되었다. 또한 동수원로 등 3곳의 도로변에는 민감군 이용시설이 집중 분포되어 있었다. 연령별 및 사회경제적 요인으로 인한 민감군 중 저소득층 인구와 노인인구 비율은 행궁동, 연무동 등 구도심 주변으로 유사하게 분포하고 있었으며, 어린이와 학생 비율은 광교동, 호매실동 등 신도시 중심으로 분포하였다.

분석결과를 바탕으로 도출한 주요 정책적 제안은 다음과 같다.

먼저, 대기오염민감군 피해저감 방안을 위해서 대기오염배출업소와의 근거리, 도로와의 근거리에 있는 취약군 이용 시설에 우선 실태 조사 및 지원 대책을 마련해야 한다. 또한 취약군 시설이 집중적으로 위치해 있는 도로를 집중관리구역으로 선정하여 도로 청소, 도로변 대기오염물질 확산을 위한 가로수 식재 등을 우선적으로 추진해야 할 것이다.

시설별·지역별 집중관리의 우선 순위선정 방향은 ①오염원 근거리 중복 여부 ②대상에 대한 직접적 관리가 어려운 오염원 우선 ③규모가 크고 그동안의 예산지원이 어려웠던 시설 우선 순으로 제안한다. 특히 한정된 예산으로 정책 추진 시 그 동안 신청에 의해 이루어진 지원정책(예: 미세먼지 안심 어린이집 선정 시 관련문서 배포 후 신청하는 어린이집에 한해 측정 및 컨설팅 지원)에서 나아가 우선추진 대상을 선정하고 자체 기준에 따라 예산을 투입하는 것이 효과적일 것이다.

또한 도로변 띠녹지, 비점오염저감을 위한 침투성 화단, 옥상녹화 등 도심 내 녹화사업 추진 시 우심지역 내 민감군 이용시설 인접 지역을 우선순위로 하면 시너지 효과를 얻을 수

있다. 사회적  취약군과 어르신 인구가 많은 행정동 대상 미세먼지 대피소(폭염대피소와 유사)를 우선 지정하고 운영하는 것이 필요하다.

대기오염 민감군 대응 정책의 효과적 추진을 위해서는 복지부서, 공원녹지부서, 교육부서와 대기오염관리부서와의 협력을 통해 가장 시급한 대상군(예: 우심지역 내 시설)에 대해 공유하고 선정하는 것이 필요하다.  또한 사회적 민감군에게 찾아가는 실내공기질 관리 및 사회복지사를 통한 미세먼지 대응 교육 및 안내를 실시하는 등 사회복지 요소의 하나로 미세먼지 관리 항목을 포함시키는 것도 필요할 것이다.

후속연구로는 우심지역에 위치한 민감군 이용 시설이나 만석로등 민감군 시설 집중 분포지역 중 시범지역을 선정하여 건강영향 및 관리 실태조사, 지원정책 추진 후 개선효과 분석 등을 포함하는 시범사업을 제안한다. 또한 일반인보다 노출 강도가 높은 취약군에 대한 대응방안으로 제시된 대응 매뉴얼이 실제 현장에서 잘 지켜지는 지에 대한 실태 조사와 모니터링도 필요할 것이다.

주제어: 대기오염 민감군, 대기오염 취약군, 대기배출시설, 도로변대기오염, 우심지역, 환경성 질환

# 차 례

**제1장 서론 ····· 3**

제1절 연구의 배경 및 목적 ····· 3
제2절 연구 방법 ····· 5

**제2장 환경오염이 인체에 미치는 영향 ····· 9**

제1절 도시 내 환경오염문제 사례 ····· 9
1. 대기오염 사례 ····· 9
2. 수질오염 사례 ····· 13
3. 시사점 ····· 14
제2절 환경오염물질 노출에 따른 인체 피해 ····· 15
1. 대기오염에 의한 인체피해 ····· 15
2. 연구동향 ····· 21
3. 시사점 ····· 32

**제3장 수원시 대기오염 민감군 파악 ····· 35**

제1절 대기오염 민감군에 대한 정의 ····· 35
1. 오염사례의 범위 결정 ····· 35
2. 미세먼지 민감군 및 취약군 정의 ····· 35
3. 대기오염에 의한 취약지역 및 민감집단 ····· 36
제2절 수원시 대기오염도 및 노출 특성과 대기오염 민감군 파악 ····· 45
1. 조사 대상 ····· 45
2. 수원시 대기오염도 ····· 46
3. 수원시 미세먼지 고농도 노출 특성 ····· 49
4. 대기오염 민감군 파악 ····· 50
제3절 대기오염 영향권 분석 ····· 55
1. 민감군 이용시설 ····· 55
2. 대기오염배출시설 분포 현황 ····· 56

3. 세탁소 시설현황 ····· 57
4. 대기오염배출시설과 대기오염 민감군 이용시설 근접성 분석 ····· 58
5. 수원시 도로변 대기오염 영향 ····· 61
6. 수원시 대기오염물질 배출시설과 도로변 영향 종합 ····· 64
제4절 시사점 ····· 67

**제4장 수원시 대기오염 민감군 대응 방안 고찰 ····· 71**

제1절 미세먼지 대응 방안 사례 고찰 ····· 71
1. 위기 대응방안 ····· 71
2. 피해 예방방안 ····· 72
제2절 시사점 ····· 83

**제5장 수원시 대기오염 민감군 피해저감 방안 및 정책 방향 ····· 87**

제1절 관리 우선 순위 선정 및 관리 방안 ····· 87
1. 우선 순위 선정 방향 ····· 87
2. 우심 지역과 민감군 이용시설 관리 방안 ····· 88

**제6장 결론 ····· 93**

제1절 연구의 의의 ····· 93
1. 연구 결과 요약 ····· 93
2. 연구의 한계 및 후속연구 제안 ····· 94
제2절 정책 제언 ····· 95

**참고문헌 ····· 97**

**Abstract ····· 101**

# 표 차 례

〈표 2-1〉 런던에서 발생한 시기별 스모그의 농도 및 피해자 수 ····· 10
〈표 2-2〉 미세먼지의 장·단기 건강 영향 ····· 18
〈표 2-3〉 오존의 인체 영향 ····· 19
〈표 2-4〉 오존농도의 수준 및 노출시간별 인체에 미치는 영향 ····· 20
〈표 2-5〉 주요 환경유해인자별 민감계층 건강영향 관련성 도출 결과 ····· 21
〈표 2-5〉 미세먼지로 인한 건강영향 연구 결과 요약 ····· 27
〈표 2-7〉 일별 사망자수에 대한 일별 기온 및 오존의 개별효과(서울) ····· 28
〈표 2-8〉 1971년과 1995년 사이의 폐암 발병률과 중장비 운전자와 트럭 운전자의 사망률 비교(대조군: 목수/전기자 및 일반 인구) ····· 29
〈표 2-9〉 1985년부터 2000년까지 사망률을 평가한 각 직장에서 1년 이상의 근무자들의 폐암 HR ····· 30
〈표 2-10〉 누적 작업 연도와 관련된 폐암 사망률과 HR(95% CI)의 연간 변화율(1985-2000) 및 추정된 흡연 행동 차이에 대한 조정 ····· 30
〈표 3-1〉 미세먼지 민감군과 취약군 정의 ····· 36
〈표 3-2〉 미국 EPA AQI ····· 37
〈표 3-3〉 어린이에 대한 오존과 미세먼지 대기질지수(AQI) ····· 37
〈표 3-4〉 대기오염물질별 취약요인 및 취약군 ····· 38
〈표 3-5〉 AQHI의 취약인구 구분 ····· 39
〈표 3-6〉 민감집단 AQI에 따른 권고사항 ····· 40
〈표 3-7〉 지수구간별 개요 ····· 41
〈표 3-8〉 예보등급 ····· 42
〈표 3-9〉 대기오염에 대한 취약지역 및 민감집단 목록 ····· 44
〈표 3-10〉 미세먼지 대기환경기준 ····· 46
〈표 3-11〉 수원시 천식, 피부염, 눈병 진료 건수 ····· 50
〈표 3-12〉 수원시 고혈압, 당뇨 등 환자수 ····· 51
〈표 3-13〉 수원시 민감군 이용시설 현황 ····· 55
〈표 3-14〉 수원시 대기오염배출시설 현황 ····· 56
〈표 3-15〉 대기오염배출시설에서 300m 반경 내 위치한 민감군 이용시설 ····· 59

〈표 3-16〉 30m 이상 도로에서 100m 반경 내 위치한 민감군 이용시설 ····· 62
〈표 3-17〉 수원시 대기오염배출시설과 도로변 내 위치한 민감군 이용시설 ····· 65
〈표 4-1〉 기관별 단계별 조치사항 요약 ····· 74
〈표 4-2〉 고농도 미세먼지 단계별 대응요령 ····· 76
〈표 4-3〉 학생(유치원, 초·중·고등학교) ····· 77
〈표 4-4〉 어르신(노인요양시설) ····· 78
〈표 4-5〉 실외작업자 대응요령 ····· 82

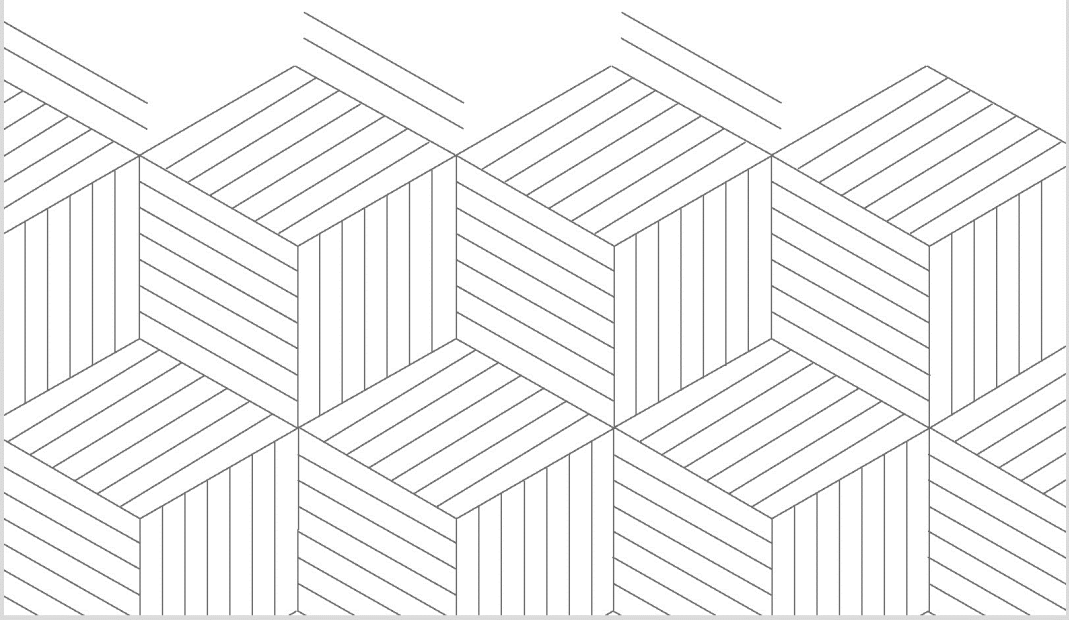
# 그 림 차 례

〈그림 1-1〉 초미세먼지 경보제 발령 일수 ····· 3
〈그림 1-2〉 환경유해인자와 인체/생태계 영향의 연관관계 - '원인-경로-영향' 연계도 ··· 4
〈그림 1-3〉 연구방법 ····· 5
〈그림 2-1〉 런던스모그 ····· 9
〈그림 2-2〉 LA 스모그 ····· 11
〈그림 2-3〉 광화학 스모그의 생성 ····· 14
〈그림 2-4〉 WHO 발암물질 ····· 15
〈그림 2-5〉 미세먼지 입경별 특성 ····· 16
〈그림 2-6〉 체내에 흡수 가능한 먼지 크기 ····· 16
〈그림 2-7〉 미세먼지 노출 시 건강영향: 질병 및 사망발생의 생리학적 경로 ····· 23
〈그림 2-8〉 로마에 거주하는 어린이의 대기 오염 노출 및 호흡기 증상과 민감도의 여러 지표 간의 연관성 ····· 24
〈그림 2-9〉 교통관련 천식(Asthma) 및 만성 기관지염(chronic bronchitis) 증상 ····· 25
〈그림 2-10〉 PM2.5 분포의 사분위수 중 평균 CIMT(경동맥 내피 두께) ± 1 SE ····· 26
〈그림 2-11〉 차량정비소와 주유소의 PM2.5 계절별 농도 비교 ····· 31
〈그림 3-1〉 계층별 대응요령 안내 홈페이지 ····· 41
〈그림 3-2〉 통합대기환경지수 행동요령 ····· 42
〈그림 3-3〉 수원시 대기오염 측정망 분포 ····· 46
〈그림 3-4〉 수원시 미세먼지 월간 평균농도 변화 ····· 47
〈그림 3-5〉 수원시 오존 월간 평균농도 변화 ····· 47
〈그림 3-6〉 미세먼지 연간 평균 농도 변화 ····· 48
〈그림 3-7〉 오존 연간 평균 농도 변화 ····· 48
〈그림 3-8〉 수원시 1~2월 PM2.5 기준치 초과일수(신풍동) ····· 49
〈그림 3-9〉 PM2.5 100㎍/㎥ 이상 일수 ····· 49
〈그림 3-10〉 수원시 환경성 질환자 수 ····· 50
〈그림 3-11〉 수원시 천식, 피부염, 눈병 진료건수 변화 ····· 51
〈그림 3-12〉 수원시 행정동별 유소년 비율 현황 ····· 52
〈그림 3-13〉 수원시 행정동별 노년인구비율 현황 ····· 53

〈그림 3-14〉 수원시 기초생활보장 수급자 현황 ····· 54
〈그림 3-15〉 수원시 민감군 이용시설 분포도 ····· 55
〈그림 3-16〉 대기배출시설 위치(1~5종) ····· 56
〈그림 3-17〉 수원시 세탁소 현황 ····· 58
〈그림 3-18〉 고속도로 주변 대기질 수준 평가 ····· 59
〈그림 3-19〉 수원시 대기오염배출시설과 건강취약군 이용시설 근접성 분석 ····· 60
〈그림 3-20〉 대기오염배출시설 300m 반경 내 위치한 민감군 이용시설 ····· 61
〈그림 3-21〉 CALINE4를 이용한 대기오염 확산 양상 ····· 62
〈그림 3-22〉 수원시 30m이상 도로에서 100m 반경 내 위치한 대기오염 민감군 이용시설 63
〈그림 3-23〉 30m 이상 도로에서 100m 이내 위치한 시설 밀도 분석 ····· 64
〈그림 3-24〉 민감군 이용시설과 대기오염물질 배출시설 300m 반경, 도로변(100m 반경) 오염원 ····· 65
〈그림 3-25〉 30m이상 도로변(100m 내), 대기오염배출시설 주변(300m내) 위치한 민감군 이용시설 ····· 66
〈그림 4-1〉 고농도 미세먼지 대응 업무 수행체계도 ····· 73
〈그림 4-2〉 호흡기 질환자의 미세먼지 대처 ····· 79
〈그림 4-3〉 심혈관 질환자의 미세먼지 대처 ····· 80
〈그림 4-4〉 천식환자의 미세먼지 대처 ····· 81
〈그림 5-1〉 우선순위 선정방향(오염원) ····· 88
〈그림 5-2〉 우선순위 선정방향(민감군이용시설) ····· 88
〈그림 5-3〉 우심지역과 민감군 이용시설 관리방안 ····· 89
〈그림 5-4〉 실외근무자 관리 방안 ····· 90

# 제1장
# 서론

제1절 연구의 배경 및 목적
제2절 연구 방법

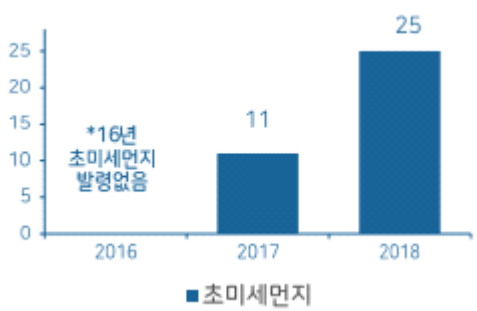


# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

다양한 환경오염과 환경유해인자로 인해 유발되는 건강 피해는 국민의 불안감을 증대시킨다. 특히 최근 초미세먼지 경보제 발령 일수가 2018년 기준 2017년에 비해 2배 이상 증가하고, 미세먼지가 인체에 악영향을 끼친다는 연구결과가 잇따라 발표되고 있으며 국민들의 미세먼지에 대한 불안감은 갈수록 커지고 있다. 미세먼지가 일반인을 비롯해 임산부, 호흡기질환 등 민감군(건강한 일반인구집단보다 민감하게 독성영향이 나타나는 특정 인구집단), 취약군(유해환경 노출강도가 크고 빈도와 노출시간이 큰 집단)에게 더욱 해로운 것으로 나타나면서 심각성을 더하고 있다.

〈그림 1-1〉 초미세먼지 경보제 발령 일수




※2018년 초미세먼지경보제 기준강화(90㎍/㎥→75㎍/㎥)
자료; 수원시청 홈페이지

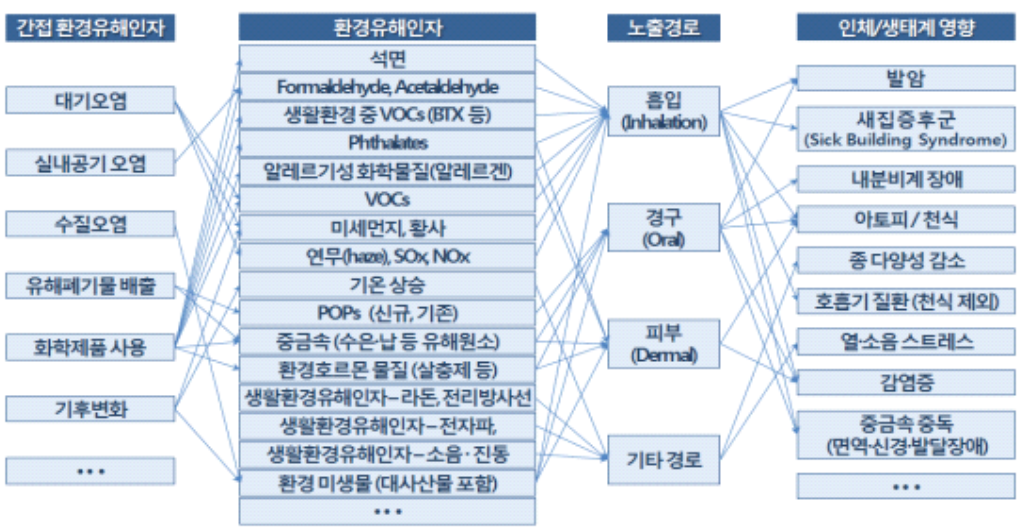
2017년 9월 발표된 '미세먼지 관리 종합대책'과 2019년 8월부터 새로 제정된 미세먼지 특별법이 시행되면서 이 전의 대책들과 비교할 때 크게 달라진 차이점은 민감군을 고려한 미세먼지 노출피해 최소화를 강조하고 있다. 미세먼지 민감군과 취약지역의 노출피해를 최소화하기 위한 관리대책을 공식화하고 구체화했다. 우선 지금까지 대기환경기준과 대기측정망 확충 등 보편적으로 시행되었던 정책대상을 고농도 미세먼지 상황에서 상대적으로 취약할 수밖에 없는 인구밀집지역과, 동일한 대기질 수준에서 훨씬 큰 건강피해에 직면하게 되는 영유

아, 노인, 환자군 등 미세먼지 민감군으로 확대하였다(조경두, 2018). 그리고 민감군이 오랜 시간 이용하는 학교, 어린이집, 요양시설 등을 대상으로 미세먼지로 인한 건강피해를 최소화하기 위한 정책방안을 모색하고 있다.

초미세먼지와 같은 환경오염문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 오염발생원을 줄이는 것이 가장 중요하지만 환경오염 민감군의 노출정도를 줄이고 피해를 줄이는 현상대응 정책도 동시에 필요하다. 또한 우리나라 생활환경 유해인자 위해관리 관련 정책은 어린이, 취약군 등의 건강을 사전에 피해를 예방하는 방향으로 변화하고 있다(호문기, 2013).

이를 위해서 본 연구에서는 초미세먼지를 포함하는 환경오염 민감군에 대한 정의를 여러 문헌을 통해 조사·정립하고, 구득할 수 있는 자료 범위 내에서 민감군의 현황을 파악하여 환경보건정책의 대상군을 파악하고자 하였다. 또한 환경오염 민감군 보호를 위한 향후 자료 조사 및 정책의 방향성도 제안하고자 하였다.

〈그림 1-2〉 환경유해인자와 인체/생태계 영향의 연관관계 - '원인-경로-영향' 연계도




자료: 호문기, 2013, 국내 환경보건분야 정책·연구 동향 및 시사점, 한국과학기술기획평가원 ISSUE PAPER 2013-15

## 제2절 연구 방법

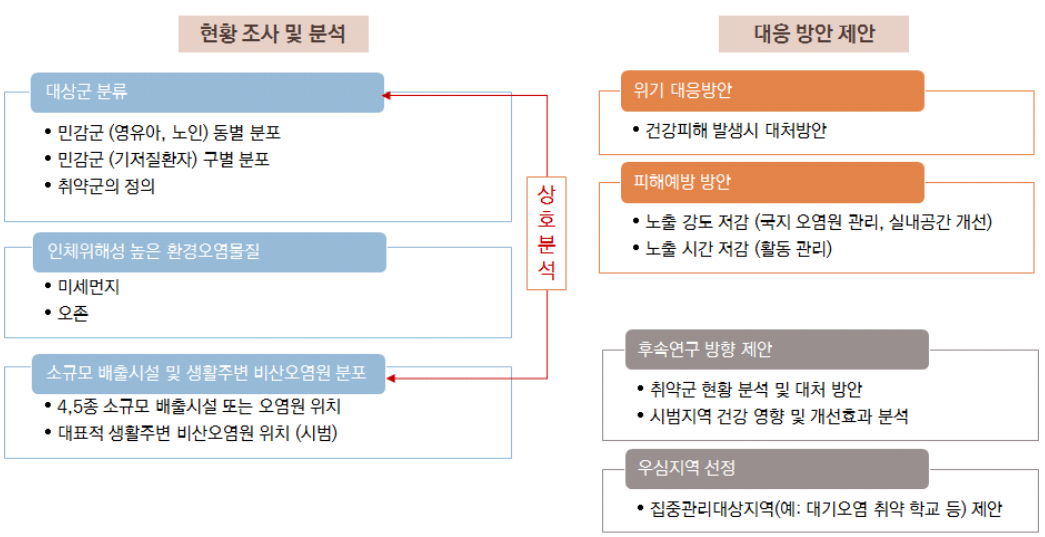
■ 문헌조사
- ○ 환경오염 인체영향 조사
- ○ 환경오염에 취약한 민감군 분류 국내외 사례 검토

■ 대기오염민감군 수원시 현황 및 특성 분석
- ○ 수원시 영유아, 청소년, 65세이상 노인 현황
- ○ 취약군(옥외 근로자 등)
- ○ 민감군 이용시설(유치원, 어린이집, 초, 중, 고, 경로당 등)

■ 수원시 30m 이상(6차선 이상 대로) 도로변과 대기오염배출시설 주변 대기오염 민감군 이용시설 위치 분석
- ○ 도로변: 30m 이상 대로(왕복 6차선 이상) 중심에서 100m 이내에 위치하는 민감군 이용 시설
- ○ 1~5종 대기오염배출시설에서 300m 이내에 위치하는 민감군 이용 시설

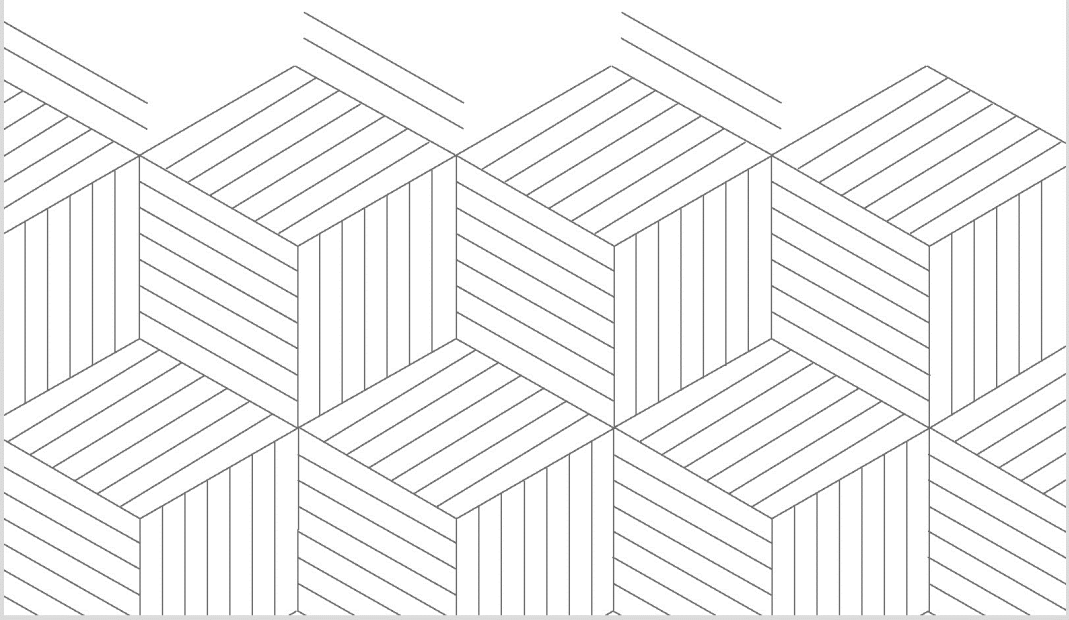
■ 대기오염민감군 대응 정책적 방향 도출

〈그림 1-3〉 연구방법



# 제2장
# 환경오염이 인체에 미치는 영향

제1절 도시 내 환경오염문제 사례
제2절 환경오염물질 노출에 따른 인체 피해



# 제2장 환경오염이 인체에 미치는 영향

## 제1절 도시 내 환경오염문제 사례

### 1. 대기오염 사례

#### 1) 런던 스모그

##### (1) 발생과정 및 원인규명

1952년 겨울에 영국 런던에서는 석탄 연소(난방 등)에 따른 연기가 정제되지 않은 채 대기 중으로 배출되었다. 그 이유는 무풍현상과 기온역전으로 인해 오염된 공기가 대기로 확산되지 못하고 지면에 정체되었기 때문이다. 석탄연소 등으로 인해 배출된 연기와 안개가 합쳐져서 스모그를 형성하였고, 황산화물 함유량이 평소의 2배에 달하였으며, 가시거리가 100m도 안되어 제대로 사물을 알아볼 수가 없었다. 이러한 스모그 현상은 1주일간 지속되었다.

〈그림 2-1〉 런던스모그

자료: Heavy smog in Piccadilly Circus, London, on December 6, 1952.Central Press/Hulton Archive/Getty Images

### (2) 피해상황

스모그 발생 후 첫 3주 동안에 질식과 호흡장애 등으로 4,000여명이 사망했고, 그 후 만성 폐질환으로 8,000여명이 추가 사망하여 총 1만 2,000여명의 생명을 잃었다. 당시 사망자들은 주로 어린이, 노인, 환자 등 허약한 체질의 사람들이었다. 모든 연령층에서 심폐성 질환이 급증하였으며 특히 45세 이상은 중증을 나타냈다. 런던 스모그에 의한 피해상황은 시기별로 다음표와 같다.

〈표 2-1〉 런던에서 발생한 시기별 스모그의 농도 및 피해자 수

| 구 분 | 1952. 12 | 1956. 1 | 1962. 12 | 1957. 12 | 1956.12 | 1955. 1 | 1959. 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사망자수 | 3,900 | 1,000 | 850 | 800 | 400 | 240 | 200 |
| 스모그 지속일수 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 | 11 | 5 |
| 최고농도 지속일수 | 2 | 2 | 1 | 1 | 5 | 1 X 3* | 6 |
| 사건 발생전 $SO_2$ 농도(㎍/㎥)** | 500 | 300 | 400 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| $SO_2$ 최대농도 (㎍/㎥) | 4,000 | 1,500 | 3,300 | 1,600 | 1,100 | 1,200 | 800 |
| 1일간 $SO_2$ 농도상승량(㎍/㎥) | 1,200 | 500 | 1,000 | 325 | 400 | 450 | 250 |
| 사건전 매연 농도(㎍/㎥) | 400 | 500 | 200 | 400 | 400 | 500 | 400 |
| 매연의 최대농도(㎍/㎥) | 4,000 | 3,250 | 2,000 | 2,300 | 1,200 | 1,750 | 1,200 |
| 1일 매연농도 상승량(㎍/㎥) | 1,200 | 1,300 | 600 | 500 | 400 | 600 | 400 |
| 사망자 발생일수 | 13 | 10 | 13 | 10 | 6 | 6 | 6 |
| 스모그 현상시 1일 사망자수 | 300 | 330 | 310 | 300 | 270 | 320 | 325 |
| 평시 대비 1일 사망률증가율(%) | 170 | 130 | 120 | 125 | 125 | 112 | 110 |

* 1일에 최고 농도에 달한 시간이 3회 발생 ** 농도는 24시간 평균농도를 의미함

### (3) 사고 후 처리과정과 조치

영국은 1953년에 비버위원회를 설립하여 대기오염의 실태를 조사하고 대책을 연구하기 시작했다. 비버위원회가 제출한 연구 보고서를 바탕으로 1956년에 대기오염 청정법이 제정되었다. 한편 점진적으로 가정 난방 연료를 석탄에서 천연가스로 대체하기 시작하였다.

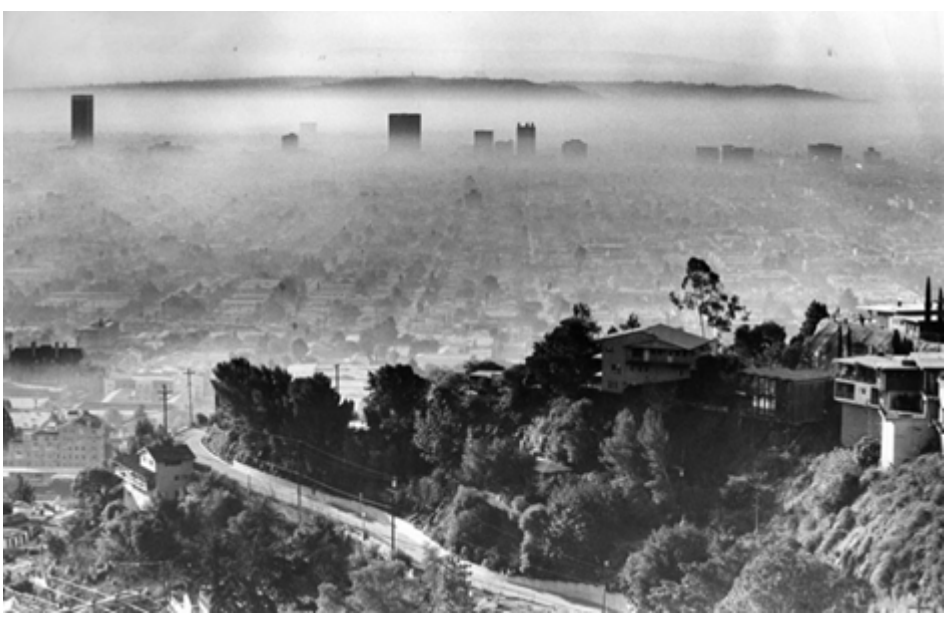
## 2) LA 스모그

### (1) 발생과정 및 원인규명

1943년 경부터 LA에서는 맑은 날씨에 안개가 발생하는 스모그 현상이 나타나기 시작했다. 이로 인해 인체와 식물의 피해, 고무의 균열 등 재산적 피해가 발생하기 시작했다. 캘리포니아공과대학 생화학교수가 LA 스모그는 질소산화물이나 탄화수소가 햇빛에 반응하여 생성된다는 광화학 스모그설을 1949년에 발표하였으며 1956년에 와서야 탄화수소와 이산화질소의 광화학 반응에 의한 것이라는 설이 정설로 확인되었다. 식물의 피해와 고무의 균열, 눈의 자극은 오존과 더불어 PAN(Peroxy Acetyl Nitrate)[1], 알데하이드(aldehyde) 등 광화학적 생성물질에 의한 것임도 밝혀졌다.

지리적으로 LA지역은 서쪽이 태평양에 잇닿아 있는 분지이고 기상조건도 연간 평균 풍속이 2.8m/s로 약하다. 따라서 여름과 가을에는 항상 침강성 역전층이 형성되므로 도심에서 발생되는 오염물질이 상공으로 확산되지 못하고 축적되는 것이다. 또한 축적된 오염물질은 강한 햇빛에 의해 광화학반응을 일으켜 스모그를 생성시키게 된다.

〈그림 2-2〉 LA 스모그



자료: Courtesy Los Angeles Public Library archive)

1) 배기가스 중에 함유된 여러 탄화수소나 질소산화물이 태양광선(특히 자외선)의 조사를 받아 화학적으로 합성된 2차오염물질. 인간의 눈이나 목에 자극을 주며 농작물이나 식물에도 유해함.

### (2) 피해상황

LA 스모그는 처음으로 식물에 피해를 주고, 점차 사람에게도 피해를 주었다. 대부분의 LA 시민들은 1954년부터 눈, 코, 폐 등의 기관지 점막에 지속적인인 자극과 일상생활에 있어서 불쾌감을 호소하였다. 또한 가축 및 농작물의 피해와 고무제품의 균열 등 재산상의 피해가 나타났다.

### (3) 사고 후 처리과정과 조치

LA시는 질소산화물과 탄화수소의 방지대책을 위해 주요 배출원인 자동차의 배출가스 규제를 세계에서 제일 먼저 추진하였다. 그러나 1985년 기준으로 LA의 자동차 대수는 약 8백만 대로서 매일 배출하는 오염물질의 양이 6,000여톤에 달하고 있었다. 그러므로 강력한 자동차 배출가스 규제에도 불구하고 광화학물질의 대기환경기준을 달성하고 있지 못한 실정이었다.

한편 LA에서는 전기자동차, 수소자동차와 같은 친환경·무공해 자동차의 개발과 대체연료에 의한 저공해 자동차의 보급을 추진하고 있다.

## 3) 울산 온산병

온산병은 1983년에 울산광역시에 위치한 온산공업단지 일대에서 농작물과 양식어장 피해, 사람에게까지 발병한 공해병이다.

온산공단은 500만평의 중화학 공업단지로 구리·아연·알루미늄 등 비철금속공업 단지로 지정된 후 1980년대 들어와 자동차부품·제지· 화학 등 다양한 업종의 공장들이 입주하여 종합단지로 바뀌었다. 그러나 종합계획을 세우지 않고 공업단지 개발이 진행됨에 따라 개별공장들이 입지하게 되면서 전체 14,000여명의 주민 가운데 1,800여명만이 이주를 하였고, 나머지 12,000여명은 공단에 고립된 채 살아가게 되었다.

얼마 후 주민들은 온산공단에서 배출되는 유독가스 등으로 인해 인체 피해와 농작물, 수산물 피해를 겪기 시작했다. 1983년부터 온산공단 일대에서 주민들의 허리와 팔다리 등 전신이 쑤시고 아픈 증세가 나타나기 시작했다. 2년 뒤에는 이 지역 주민 1,000여 명이 전신마비 증상을 보이자 한국공해문제연구소가 '이타이이타이병의 초기 증세와 비슷한 병'이라고 발표하였다. 온산병의 원인은 공장들에서 나오는 질소산화물, 아황산가스, 중금속, 유황분 등이 포함된 매연이었다. 같은 해 겨울 온산지역 주민들은 공해배출업체 11개소를 대상으로 손해배상 청구소송을 제기해 인체 피해 위자료와 농작물 피해보상금 지급 판결을 받음으로써 한국에서는 처음으로 공해피해에 대한 법원의 구체적인 인정을 받은 사례이다.

이후 정부도 온산공단 배출가스의 피해를 인정하고 주민들의 집단이주를 결정하였다. 공단에 둘러싸여 있던 10,000여 명의 주민을 공단에서 2㎞ 떨어진 산간 분지로 이주시켰다. 현재까지도 온산병의 구체적인 원인은 규명되지 않고 있으며, 그 원인도 중금속 등이 원인이었을 것이라고 추측하였다. 일본의 경우 원인이 한가지이고 발병 기간도 20~30년이 걸려 원인 규명이 가능하였으나 온산병은 당시에 가동 중인 공장이 12개나 되었기에 오염경로와 인과 관계를 밝히기는 쉽지가 않았다. 정부에서는 뒤늦게 1986년 3월에 온산공단지역을 수질 및 대기오염 특별 대책 지역으로 지정했을 뿐이었다.

## 2. 수질오염 사례

### 1) 낙동강 페놀오염

낙동강 페놀오염 사건은 두 번에 걸쳐 일어났다. 대표적인 우리나라 수질오염사건으로 1991년 3월 구미공단 두산전자에서 배출된 페놀원액이 파손된 파이프를 통해 낙동강으로 유입되었다. 정수장에서는 페놀원액이 유입된 것을 모르고 염소투입량을 늘려 염소와 페놀이 반응하여 클로로페놀이 생성되었고 악취가 심하게 발생하였다. 이 물을 마신 주민들이 두통과 구토 증세를 보였다.

두번째 페놀오염은 두산전자가 다시 조업을 시작한지 5일만에 발생하였다. 부실한 보수공사로 인해 페놀탱크 파이프의 이음새 부분이 파열되어 페놀원액 약 1.3톤이 낙동강으로 유입되어 대구와 부산지역에 식수공급이 중단되었다. 이 사고로 임산부 8명이 자연유산과 임신중절 등으로 인한 신체적·정신적 피해보상을 요구하는 등 피해보상요구 신고건수는 1,958건에 액수는 24억5천만원에 이르렀다.

### 2) 일본 이따이이따이 병

1910년대 후반부터 일본 토야마현 주민들은 팔, 다리, 허리의 뼈마디가 아프다며 병원을 찾았다. 50년이 지나도록 어느 의사도 시원한 답을 주지 못했고 1968년이 되서야 일본 정부는 카드뮴이 원인인 공해병으로 공식발표했다.

1945년 일본의  토야마현 신통천 상류지역에 위치한 미쓰이 금속 광업소에서 선광, 정련 공정에서 배출된 폐광석에 함유된 카드뮴이 고원천을 통하여 신통천에 흘러 내려와 농작물과 어패류, 상수원을 오염시킨 것이었다. 오염된 식수로 카드뮴이 체내에 흡입됨에 따라 신장의 기능이 나빠지고, 인체에 필요한 칼슘과 인을 체외로 배출하여 전신에 통증을 호소해 이따이이따이(아프다 아프다) 병이라 명명했다. 골연화증으로 이해 골절이 수반됐으며 심한 경우는

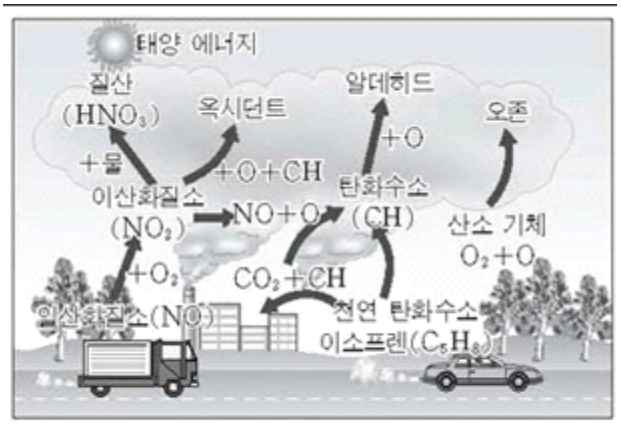
얼굴에 경련이 일으키면서 사망하였다.

## 3. 시사점

일본 이따이이따이 병이나 낙동강 페놀사건처럼 독성물질에 의한 피해는 원인물질 제거 및 노출원 차단을 통해 단기간에 해결이 가능하다.

그러나 광화학스모그(LA 스모그)와 같은 대기오염물질의 경우, 확산범위가 넓고 발생원이 매우 다양하고 복잡하기 때문에 원인물질 파악 및 제거가 오래 걸린다. 또한 공기를 통해 열린 공간을 통해 이동하기 때문에 불특정 다수에게 노출된다. 또한 기류가 정체될 경우 수일에서 수주일까지도 지속적으로 공기를 통해 노출될 수 있기 때문에 만성적으로 건강에 영향을 끼친다. 따라서 환경오염물질로부터의 인체 건강영향 및 피해 저감 대책과 같은 현상 대응 정책을 추진하기 위한 대상 물질로 대기오염물질에 포커스를 맞추는 것이 필요할 것으로 판단된다.

〈그림 2-3〉 광화학 스모그의 생성



# 제2절 환경오염물질 노출에 따른 인체 피해

## 1. 대기오염에 의한 인체피해

대기오염은 건강을 위협하는 주요한 환경 문제로 주요 대기오염물질에는 미세먼지, 이산화질소, 이산화황, 오존 등이 있다. 2014년 기준으로 전 세계 인구의 92%가 세계보건기구(WHO)에서 제시한 대기오염 제한 기준을 초과하는 지역에서 살고 있는 것으로 나타났다(질병관리본부, 2019). 대기오염은 천식, 폐암, 뇌졸중, 심장질환을 포함한 급·만성 호흡기 질환의 질병 부담을 가중시키는 것으로 알려져 있다. 2012년 전 세계적으로 약 3백만 명이 대기오염에 의해 조기 사망하는 것으로 추정되며, 이 중 72%가 심뇌혈관 질환, 14%가 만성폐쇄성 폐질환 또는 폐렴, 14%가 폐암으로 추정된다. 이에 2013년 WHO는 대기오염 특히 미세먼지를 1군 발암물질로 규정하였다(질병관리본부, 2019).

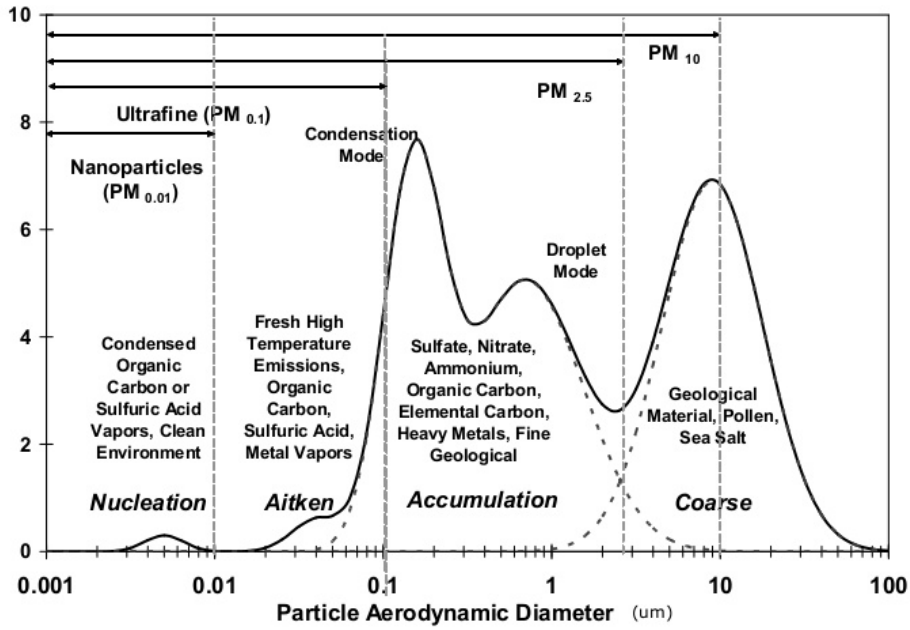
〈그림 2-4〉 WHO 발암물질

자료: 홍혜걸, 의학전문지, www.aftertherain.kr

### 1) 미세먼지

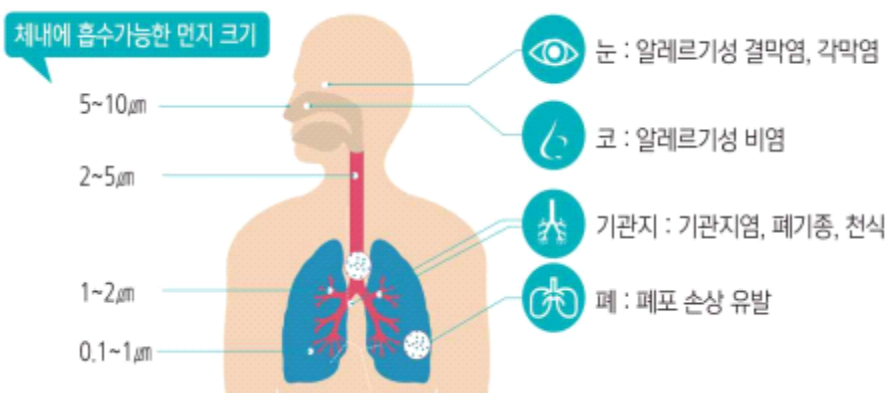
입자의 크기가 작을수록 인체 내 침투가 용이하고 폐나 기도 등의 인체 장기에서 흡수되기가 쉽다. 입경 대비 넓은 표면적으로 인해 유해물질, 세포와의 반응성이 높다, 상피세포 조직을 쉽게 통과하여 염증이나 상처 혹은 이의 회복에 관여하는 신호변환경로를 활성화한다.

〈그림 2-5〉 미세먼지 입경별 특성




자료: 임영욱, 2015, 미세먼지 취약 직업군의 건강영향, 연세대학교 의과대학 환경공해연구소 발제자료

〈그림 2-6〉 체내에 흡수 가능한 먼지 크기




자료: 서울특별시교육청, 2019. 2019년 서울시교육청 고농도 미세먼지 대응 실무매뉴얼

미세먼지 노출시 인체의 1차 방어막인 피부와 눈, 코, 인후 점막에 직접 접촉하여 물리적 자극과 국소적으로 염증반응을 유발한다. 또한 미세먼지는 크기가 작아서 호흡기 내로 침투가 가능하며, 이로 인해 건강에 다양한 영향을 미칠 수 있다. 미세먼지에 의한 조직 및 세포 독성 기전은 DNA 산화 손상이 가장 대표적이며, 염증반응에 의한 손상, 내독소 효과 등이 알려져 있다. 미세먼지는 인체 내로 흡입 시 일차적으로 호흡기 내 대식세포 및 호흡기도 상피세포에 영향을 미치고, 이차적으로 혈액 내 C-reactive protein(CRP)[2]또는 염증성 사이

토카인[3]을 증가시켜 전신 염증반응을 유도한다. 이와 같이 다양한 생리학적 기전에 의해 미세먼지는 다양한 호흡기질환과 심뇌혈관질환을 야기 또는 악화시킬 수 있으며, 결과적으로 조기사망을 초래한다(질병관리본부, 2019).

### (1) 미세먼지 노출에 취약한 사람들

영·유아를 비롯하여 15세 이하 청소년과 65세 이상 어르신, 임산부, 호흡기질환자, 천식환자 또는 심·뇌혈관질환자는 같은 미세먼지에 노출되더라도 건강 피해가 더 심할 수 있다. 소아는 폐가 아직 완전히 성장하지 않아 미세먼지 노출에 취약하며, 어르신은 호흡기계의 노화로 면역력이 떨어져 있을 뿐만 아니라 미세먼지에 취약한 기저 질환을 가진 경우가 많아 미세먼지 노출에 더 취약하다.

- 영유아 및 어린이
  - 면역체계가 완벽히 발달하지 못하고, 피부, 호흡기와 같은 신체 조직이 대기오염물질($SO_2$, $O_3$, CO, PM10, PM2.5 등)에 민감하게 반응
  - 단위 체중당 호흡량이 성인보다 높으므로 상대적으로 더 많은 공기오염 물질을 들이킬 수 있음
- 노인
  - 약한 면역력과 폐기능, 심혈관기능, 방어체계, 혹은 질병으로 진단되지는 않은 심혈관이나 폐의 문제로 인해 대기오염에 취약함
- 호흡기 질환자
  - 미세먼지는 만성 호흡기질환자의 증상을 악화 시킬 수 있으며 폐 기능을 저하시키고 폐암발생 위험도를 증가
  - COPD(만성폐쇄성폐질환)의 급성 악화를 유발하여 COPD환자의 입원을 중가
  - 미세먼지에 의해 폐렴과 같은 호흡기 감염이 더 자주 생길 수 있음
- 심혈관질환자
  - 미세먼지에 장기간 노출되면 심근경색과 같은 허혈성심장질환이나 심부전의 발생이 증가하고, 심한 경우 사망에 이를 수 있음
- 천식환자
  - 천식환자에게 미세먼지는 기침과 호흡 곤란 등의 천식 증상을 악화시키고, 폐기능을

2) C 반응성 단백(C-reactive protein, CRP)은 폐렴알균(Streptococcus pneumoniae)의 표면 항원인 C 다당체(C-polysaccharide)와 반응하는 단백질로서 급성기 반응 물질(acute phase reactant)의 하나이다. 급성기 반응 물질이란 염증(감염, 자가면역질환 등)이나 조직 손상(외상, 수술, 심근경색, 종양)에 비특이적으로 반응하여 농도가 변하는 물질들을 가리키는 용어로 그 중 가장 대표적인 물질이 C 반응성 단백이다.

3) 세균이나 바이러스 감염, 조직 손상 따위에 의한 염증 반응에 특히 깊이 관여하는 사이토카인(면역 단백의 하나)

저하시킬 수 있음. 심한 경우에는 천식 발작을 일으킴

○ 건강한 사람도 미세먼지에 장기간 노출되면 천식이 발생할 수 있음

■ 야외 활동가

○ 스포츠에 참가하거나 격렬한 작업을 하는 사람들은 야외에서보다 깊고 빠르게 호흡을 하며 더 많은 대기 오염이 폐에 유입

### (2) 미세먼지의 노출 기간에 따른 건강 영향

미세먼지는 노출기간에 따라 건강 영향이 다르며, 단기간 노출에 의한 급성 영향과 장기간 노출에 따른 만성 영향이 다음과 같이 구분된다(질병관리본부·대한의사협회, "미세먼지의 건강 영향과 환자지도" 발췌).

〈표 2-2〉 미세먼지의 장·단기 건강 영향

| 기간 | 건강영향 | 구체적 영향 | 인과관계 |
|---|---|---|---|
| 단기간 노출에 따른 급성 영향 | 사망률 증가 | 전체 사망률<br>심혈관질환 사망률<br>호흡기질환 사망률 | 분명함 |
| | 심혈관계 | 응급실 방문 증가<br>병원 입원 증가 | 분명함 |
| | 호흡기계 | COPD 응급실 방문 및 병원 입원 증가<br>천식 응급실 방문 및 병원 입원 증가 | 분명해 보임<br>(일부 불일치) |
| 장기간 노출에 따른 만성 영향 | 사망률 증가 | 심혈관질환 사망률<br>폐암 사망률 | 분명함 |
| | 호흡기계 | 폐기능 성장 저해<br>호흡기증상 증가<br>천식 증가 | 분명해 보임<br>(일부 불일치) |
| | 생식과 발생 | 저체중, 조산 | 인과 가능성 높음 |
| | 암, 유전 독성 | 폐암 발생 | 분명함 |

출처: 질병관리본부·대한의사협회, 2019. 미세먼지의 건강 영향과 환자지도

### 2) 오존[4)]

오존농도가 높아지면 눈과 목의 따가움을 느낄 수 있고, 기도가 수축되어 숨쉬기가 힘들어지고 두통과 기침 등의 증세가 나타날 수 있다. 농작물과 식물에 직접적으로 영향을 미쳐 수확량이 감소되고 잎이 말라 죽기도 한다.

오존에 반복 노출시에는 폐에 해를 입힐 수 있고 가슴의 통증, 메스꺼움, 목 자극, 기침, 소화 등에 영향을 미치며, 심장질환, 폐기종 및 천식, 기관지염을 악화시키고 폐활량을 감소시킬 수 있다. 특히 호흡기 질환자나 천식환자, 어린이, 노약자 등에게는 많은 영향을 미치므로 주의해야한다.

고농도 오존에 노출되었을 때에 생기는 기침이나 호흡곤란 등과 같은 증상은 호흡기의 기능 이상 때문이 아니라, 기도와 폐포에 존재하는 신경수용체가 자극을 받아 이들을 감싸고 있는 평활근들이 수축되어 기도가 좁아져 공기저항이 증가하기 때문이다(환경부 대기정책과, 2001).

〈표 2-3〉 오존의 인체 영향

| 오존농도(ppm) | 노출시간 | 영 향 |
|---|---|---|
| 0.1~0.3 | 1시간 | 호흡기 자극증상 증가, 기침, 눈자극 |
| 0.3~0.5 | 2시간 | 운동중 폐기능 감소 |
| 0.5이상 | 6시간 | 마른기침, 흉부 불안 |

성인은 하루에 약 10,000 리터의 공기를 호흡한다. 그러나 활동기의 어린이는 성인보다 더 많은 공기를 필요로 하고, 또한 호흡기가 성장단계에 있기 때문에 성인에 비해 공기 중의 고농도 오존의 위험에 더 민감하다(환경부 대기정책과, 2001). 그리고 호흡기질환자, 노약자 등도 폐기능이 손상되거나 노화된 상태이기 때문에 고동도 오존에 영향을 쉽게 받을 수 있다.

4) 환경부 대기정책과, 2001. 오존 오염의 현황과 대응방안
www.me.go.kr/home/file/readDownloadFile.do?fileId=25678&fileSeq=1

〈표 2-4〉 오존농도의 수준 및 노출시간별 인체에 미치는 영향

| 농도(ppm) | 노출시간 | 인체 및 실험동물에 미치는 영향 |
|---|---|---|
| 0.02 | 5분 | 냄새 감지 |
| 0.03~0.3 | 1시간 | 달리기 선수의 기록저하 |
| 0.05~0.1 | 30분 | 불안감을 느낌 |
| 0.05~0.2 | - | 코 및 인후의 자극 |
| 0.05~0.6 | 1시간 | 천식 환자의 발작빈도 증가 |
| 0.08 | 3시간 | 동물(쥐)의 세균감염, 감수성 증가 |
| 0.1 | 30분 | 두통, 눈에 자극 |
| | 1시간 | 시각장애, 폐포 내의 산소 확산력 저하 |
| | 2시간 | 폐동맥 산소 분압 증가 |
| | 24시간 | 눈자극 증상 증가 |
| 0.1~0.25 | 30분 | 호흡수의 증가 |
| 0.2 | 1시간 | 동물(쥐)의 적혈구 변형 |
| | 6시간 | 동물(쥐)의 자율운동 감소 |
| 0.2~0.8 | - | 눈에 자극 |
| 0.3 | - | 호흡기 자극, 가슴압박 |
| | 5분 | 호흡량의 증가 |
| 0.34 | 2시간 | 동물의 호흡량 증가 |
| 0.35 | 3~6시간 | 시력감소 |
| 0.37~0.75 | 2시간 | 호흡량 현저히 감소 |
| 0.4 | 2~4시간 | 기도저항증가, 호흡량 감소 |
| 0.5 | 2시간 | 폐기능 저하 |
| | 6시간 | 기도저항의 증가와 폐기능 현저한 감소 |
| | 2~6시간 | 동물(쥐)의 폐세포 팽창 |
| 0.6~0.8 | 2시간 | 기관지 자극, 폐기능저하, 폐확산력 감소 |
| 0.8~1.5 | - | 폐충혈 |
| 0.9 | 5분 | 기도저항의 심각한 감소 |
| 1 | 6시간 | 동물(쥐)의 사망률 증가 |
| 1.5~2.0 | 2시간 | 심한 피로, 가슴통증, 기침 |
| 9 | - | 급성 폐부종 |

자료: 환경부 대기정책과, 2001. 오존 오염의 현황과 대응방안

## 2. 연구동향

### 1) 주요 환경유해인자별 민감군 건강영향

보고서 '환경오염 민감군의 건강영향조사 평가 및 개선방안 연구'(국립환경과학원, 2011)에서 환경유해물질의 노출과 민감군 건강영향간의 잠재적인 관련성이 도출되었으며 그 결과를 요약한 내용은 다음 표와 같다.

미세먼지 농도 증가 시 태아의 성장 지연, 어린이의 경우 천식 및 비염위험도가 증가하였으며 노령인구에서는 폐기능 저하 대사증후군 지표가 상승하였다. 가스상 대기오염물질과 관련하여 도로변 인근 거주 어린이의 기관지 민감도, 알레르기 유병율과 알레르기 피부반응성이 증가하였고, 노령인구는 혈압, 폐기능 및 대사기능과의 관련성이 관찰되었다.

수은이나 납 등 중금속의 경우 어린이(영아, 초등학생)의 인지발달 또는 신체적 성장에 영향을 주는 것으로 조사되었다. 프탈레이트[5], 비스페놀-A[6]의 농도가 높은 영아의 혈중 면역기능 성숙 지연 지표가 증가됨에 따라 프탈레이트, 비스페놀-A과 같은 내분비계장애물질은 영아의 면역기능에 영향을 줄 우려가 있는 것으로 평가되었다. 노령인구에서는 비스페놀-A의 노출과 심혈관계 이상, 휘발성유기오염물질 등 환경유해물질 노출로 인한 산화성손상지표의 증가 등이 관찰된 바 노령 시기의 미량 실내 환경유해인자의 노출로 인한 잠재적인 건강기능 변화 유발 가능성이 존재하는 것으로 추정되었다(국립환경과학원, 2011).

〈표 2-5〉 주요 환경유해인자별 민감계층 건강영향 관련성 도출 결과

| 잠재적 환경유해 인자 | 영유아 | 어린이 | 노령인구 |
|---|---|---|---|
| 미세먼지 (PM10, PM2.5) | - PM10 10㎍/㎥ 증가 시 유의한 태아 성장지연<br>- PM10 10㎍/㎥ 증가 시 생후 6개월 인지 및 동작 점수 감소 유발 | - 매연 노출과 어린이 천식(3.74) 및 비염(3.07) 위험도 증가 | - PM 증가 시 폐기능 저하 및 대사증후군 지표상승 |
| 가스상 대기오염물질 | - $NO_2$ 증가 시 유의한 출생아 체중 감소 | - 도로변 인근(≤ 200m ) 거주 어린이의 알레르기 유병율, 기관지 민감도, 알레르기 피부반응성 증가<br>- 산단 거주 어린이의 오존 노출에 의한 기도 과민성 위험도(2.76) 증가 | - 가스상 물질 노출과 혈압, 폐기능 및 대사기능과의 관련성 관찰 |

5) 플라스틱을 부드럽게 하기 위해 사용하는 가소제. 화장품·장난감·세제 등 각종 PVC 제품이나 가정용 바닥재 등 광범위하게 쓰였지만, 현재는 환경호르몬 물질로 구분하여 사용이 금지되었다.

6) 플라스틱제품 제조에 널리 사용되는 화학물질

| 잠재적 환경유해 인자 | 영유아 | 어린이 | 노령인구 |
|---|---|---|---|
| 중금속 (납, 수은, 카드뮴 ) | - 제대혈 수은 증가 시 유의한 출생아 및 생후 1년의 영아체중 감소<br>- 산모의 혈중 수은 농도 1㎍/ℓ 증가시 출생아 천식(OR 1.13) 및 알레르기(OR 1.08) 유병율의 유의한 증가<br>- 산모의 혈중 납 농도 증가 시 출생아의 체중 및 발달 자수 감소<br>- 임신말기 산모 카드뮴 노출 증가 시 유의한 출생아 체중 감소<br>- 제대혈 카드뮴 증가 시 생후 6개월 영아의 유의한 인지발달 지연 | - 독일 어린이에 비해 높은 혈중 수은 농도<br>- 높은 아말감 구강충전물 (11개 치면 이상)어린이의 혈중 수은 증가<br>- 일부 지역 거주 어린이의 연령 증가 시 혈중 납 농도 증가<br>- ADHD 유병율 12.9% 이며,혈중 납과의 유의한 상관성 관찰<br>- 어린이 혈중 납 농도 5㎍/dℓ 증가 시 신장 2.4㎝ , 체중 2.25㎏ 감소 추정 | - 혈 중 수은 또는 납 증가와 혈압 상승 및 간 기능 저하 관찰<br>- 혈 중 수은과 초기 치매 척도와의 유의한 비례관찰<br>- 혈 중 납 또는 카드뮴 증가와 폐 기능 저하 |
| 휘발성유기 오염물질 (VOCs & Aldehydes) | - TVOCs, HCHO 증가 시 유의한 출생아 체중 감소<br>- HCHO 노출 시 생후6(OR 2.29), 12(OR3.31)개월 아토 피 피부염 유병율의 유의한 증가 | | - 뇨중 대사체와 MDA 비례 관찰<br>- 뇨중 대사체와 대사증후군 지표와의 관련성 관찰<br>- 벤젠 노출과 우울증 척도 비례<br>- HCHO 노출과 자율신경계 관련성 관찰<br>- HCHO 노출과 대사증후군 지표 및 MDA 증가 |
| 내분비계 장애물질 (프탈레이트, 비스페놀-A) | - 임신 전 BPA 노출과 태아 성장 지연 관련성<br>- 임신 말기 BPA 증가 시 출생아 체중 증가<br>- 산모 뇨 중 MnBP 1㎍/g cr. 증가 시 출생아 면역 성숙 지연 지표 증가 및 생 후 6개 월 영아 인지 척도(0.8점 ) 감소 | - 뇨 중 MnBP 농도와 기관지 폐세포 표와의 관련성 관찰로 프탈레이트 노출과 천식 유발의 관련성 시사<br>- 프탈레이트, BPA 농도와 혈 당 및 지질의 비례관찰, 어린이 대사기능(유병율 5.8%) 관련성 시사<br>- 높은 레진 구강 충전물(11개 치면 이상)어린이의 뇨 중 BPA 증가 | - BPA 증가는 HRV의 LF1 감소, 심박동 수 증가 (자율신경계 영향)<br>- BPA와 혈압, 간기능 지표 및 MDA 비례<br>- 뇨 중 프탈레이트 대사체 증가 시 폐기능 저하와 대사 증후군 지표 및 MDA증가 |
| 다환방향족 탄화수소류 (PAHs) | - 뇨 중 대사체와 MDA와의 상관성<br>- 임신 초기 1-OHP 증가 시 생후 12개월 일부 지능 점수 감소 | | |
| 간접흡연 | | - 어린이 간접 흡연율 41%<br>- 간접 흡연에 의한 알레르기 위험도 유의한 증가<br>- 간접 흡연과 혈 중 납, 뇨 중 프탈레이트 대사체 유의한 상관성 | |
| 사회경제적 요인 | | - 간접 흡연, 납 노출, ADHD 는 부모의 학력 및 월 소득과 반비례<br>- 비염 증상은 부모의 학력 및 월 소득과 비례 | |
| 산화성 손상 스트레스(MDA) | - MDA 증가 시 유의한 출생아 체중감소 | | - 체내 유해 물질 부하 증가와 MDA 비례 |

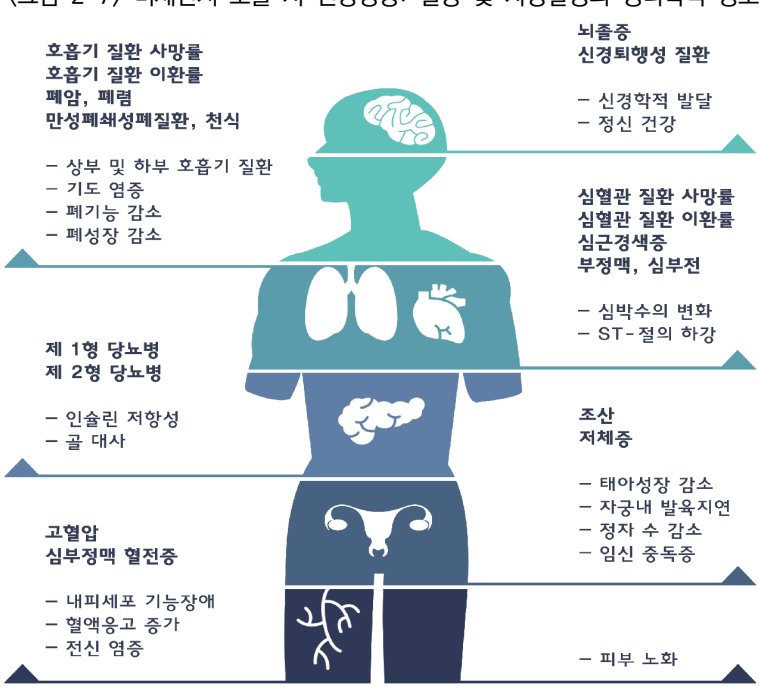
자료: 국립환경과학원, 2011. 환경오염 민감계층의 건강영향조사 평가 및 개선방안 연구

## 2) 미세먼지의 질환 영향

최근 미세먼지는 앞서 기술한 바와 같이 호흡기계·심혈관계 질환 및 암 발생 증가 외에도 많은 인체 부위에 악영향을 끼치는 것으로 나타나고 있다. 미세먼지는 뇌혈관 질환 및 신경퇴행성 질환, 당뇨, 임산부의 경우 조산과 저체중아 출산 증가 등을 초래할 수 있음이 밝혀졌다(질병관리본부·대한의사협회, 2018).

대만 카오슝 의과대학 연구진은 4년동안 23,179명의 입원환자를 대상으로 중풍 발생이 대기오염과 관련이 있는지 살펴본 결과 대기오염이 심한 날에는 중풍 환자수가 급증한 것으로 밝혀졌다(Shang-Shyue Tsai 외, 2003). 대기오염 수준이 같아도 섭씨20도 이상의 더운 날에는 더 많은 중풍환자가 병원을 찾았다고 한다. 대기오염물질은 호흡기를 통해 침입하여 폐에서 염증을 일으키고 이로 인해 혈액의 응고현상이 일어나 혈액순환을 방해할 수 있다. 더운날 중풍환자가 많았던 것은 창문을 열어 바깥의 대기오염물질이 실내로 유입되었기 때문이다. 따라서 뇌졸중을 일으킬 위험이 있는 사람들은 차량이용이 많은 출퇴근 시간대와 대기오염이 심한날 실내에 머무는 편이 안전하다. 중풍 발생이 가장 큰 영향을 미친 대기오염물질은 미세먼지와 질소산화물이다. 이 물질들의 공통점은 자동차 배기가스에 주로 나오며 디젤 자동차가 가솔린 자동차보다 훨씬 많은 양을 배출한다.

〈그림 2-7〉 미세먼지 노출 시 건강영향: 질병 및 사망발생의 생리학적 경로




자료: 질병관리본부·대한의사협회(2018), 미세먼지의 건강영향과 환자지도

### (1) 미세먼지 노출시간에 따른 사망률 증가

WHO Regional Office for Europe(2005)과 Samoli 외(2008)에 따르면 일일 사망률(All-cause daily mortality)은 미세먼지 농도 10 $\mu g/m^3$ 당 0.2%~0.6% 증가하는 것으로 추정되었다(김승원 외, 2016).

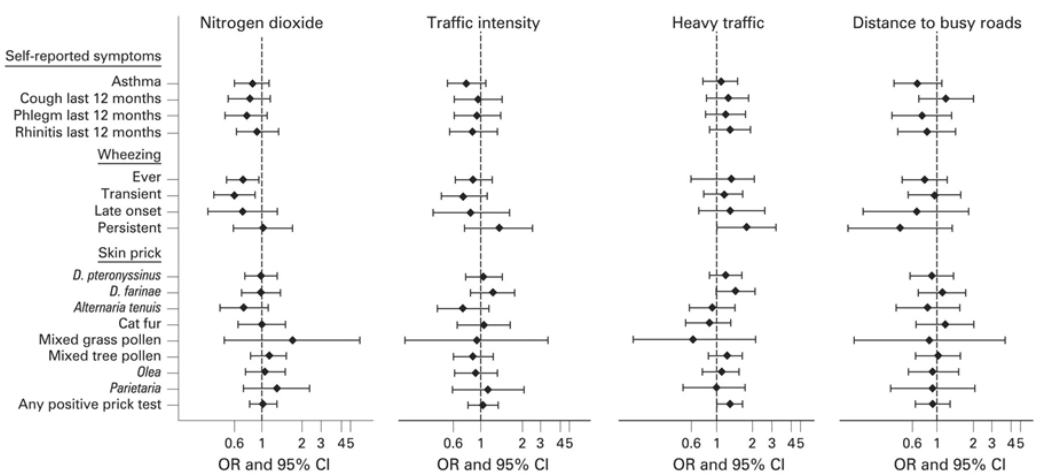
Beelen 등(2008), Krewski 등(2009), 그리고 Pope 등(2002)의 연구에 따르면 초미세먼지에 장기간 노출 시 10$\mu g/m^3$ 당 심폐(cardiopulmonary) 사망률은 6%~13% 증가하였다(김승원 외, 2016).

### (2) 미세먼지와 호흡기 질환

Rosenlund 외 (2009)에서는 이탈리아 로마의 초등학생 대상으로 교통으로 인한 대기오염물질에 대한 노출과 알러지 민감성, 호흡기 증상, 폐기능과의 관련성에 대한 연구를 하였으며 그 결과는 교통 혼잡지역에 거주하는 어린이들의 지속적인 천명[7] 증상 발생과 통계적으로 유의하다.

피부 알러지 검사 반응과도 통계적으로 유의한 결과를 보였다.

〈그림 2-8〉 로마에 거주하는 어린이의 대기 오염 노출 및 호흡기 증상과 민감도의 여러 지표 간의 연관성




자료: M Rosenlund et al. 2009. Traffic-related air pollution in relation to respiratory symptoms, allergic sensitisation and lung function in schoolchildren. Thorax 2009;64:573-580

7) 천명은 이상 폐 청진음 중 하나로, 숨을 쉴 때 좁아진 기관지를 따라 공기가 통과할 때 들리는 특징적인 호흡음을 뜻한다. 흔히 '쌕쌕거리다(high-pitched whistling sound)'라고 표현하며, 주로 들숨 때보다는 날숨 때 발생하는 숨소리로 기관지 천식의 대표적인 증상이다.(서울대학교병원 의학정보, 서울대학교병원)

교통량의 정성적·정량적 크기에 따른 건강영향을 확인한 결과, 차량이 분당 10대 이상 통행하는 도로에서 100m 내 거주하는 인구에 천식 및 만성 기관지염 증상이 나타났다.

〈그림 2-9〉 교통관련 천식(Asthma) 및 만성 기관지염(chronic bronchitis) 증상

| | | Asthma Symptoms | | | Chronic bronchitis symptoms | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | n | n (%) | OR [a], | n | n, (%) | OR [a] |
| Heavy traffic | No | 6041 | 668(11.1%) | 1.00 | 6041 | 401(6.6%) | 1.00 |
| | Yes | 3275 | 447(13.6%) | 1.22(1.07–1.39) | 3275 | 234(7.1%) | 1.11(0.94–1.31) |
| Heaviest road within <100 m | no heavy road | 3755 | 419(11.2%) | 1.00 | 3755 | 222(5.9%) | 1.00 |
| | <2 cars/min | 2235 | 263(11.8%) | 1.05(0.89–1.24) | 2235 | 159(7.1%) | 1.21(0.98–1.50) |
| | 2–5 cars/min | 1820 | 216(11.9%) | 1.06(0.89–1.26) | 1820 | 137(7.5%) | 1.30(1.04–1.62) |
| | 6–10 cars/min | 886 | 126(14.2%) | 1.25(1.01–1.55) | 886 | 67(7.6%) | 1.24(0.93–1.65) |
| | >10 cars/min | 578 | 85(14.7%) | 1.29(1.00–1.67) | 578 | 48(8.3%) | 1.53(1.10–2.13) |
| $NO_X$ ($\mu g/m^3$) | 0–8 | 1855 | 217(11.7%) | 1.00 | 1855 | 110(5.9%) | 1.00 |
| | 8–11 | 1855 | 213(11.5%) | 0.97(0.80–1.19) | 1855 | 118(6.4%) | 1.05(0.81–1.38) |
| | 11–14 | 1855 | 208(11.2%) | 0.94(0.77–1.15) | 1855 | 121(6.5%) | 1.12(0.86–1.46) |
| | 14–19 | 1858 | 206(11.1%) | 0.90(0.74–1.11) | 1858 | 122(6.6%) | 1.06(0.81–1.39) |
| | >19 | 1851 | 265(14.3%) | 1.21(0.99–1.46) | 1851 | 162(8.8%) | 1.55(1.21–2.00) |
| | | | p-trend | 0.026 | | p-trend | <0.0001 |

※나이, 성, 흡연 유무 보정 [OR(95%CI)]

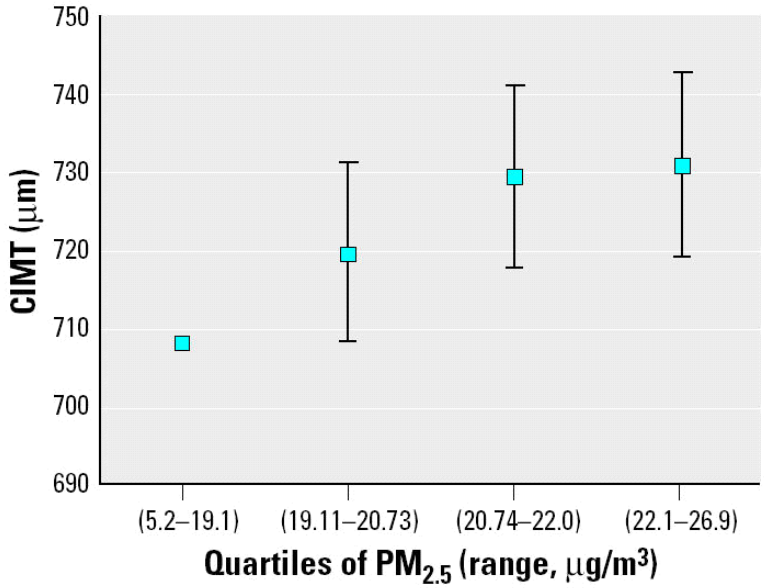
자료: Anna Lindgren et al. 2009. Traffic-related air pollution associated with prevalence of asthma and COPD/chronic bronchitis. A cross-sectional study in Southern Sweden, Int J Health Geogr. 2009; 8: 2.

### (3) 미세먼지와 심혈관 질환

동맥경화와 PM2.5와의 관련성에 관한 역학연구에서 798명을 대상으로 경동맥 내피 두께(CIMT)[8]와 거주지의 PM2.5 농도를 측정하였다. 그 결과 PM2.5 10㎍/㎥ 증가 시 동맥경화 발생이 5.9%, 20㎍/㎥ 증가 시 12.1% 증가하였다.

8) 심혈관질환의 주요 예측인자

〈그림 2-10〉 PM2.5 분포의 사분위수 중 평균 CIMT(경동맥 내피 두께) ± 1 SE




자료: Nino Künzli et al, 2005. Ambient Air Pollution and Atherosclerosis in Los Angeles, Environ Health Perspect. 2005 Feb; 113(2): 201-206.

### (4) 미세먼지의 유병률 연구 사례

배상혁·홍윤철(2018)에 의하면 미세먼지가 건강에 영향을 주는 것은 많이 알려져 있으나 폐질환같은 동일한 질병에 대한 다른 위험요인에 비해 그 크기는 크지 않다고 하였다. 예를 들어 흡연자는 비흡연자에 비해 폐암 사망 위험이 15~20배 높으나, 미세먼지에 대한 장기노출은 폐암 사망 위험을 약 1.1~1.2배 정도 높인다고 명시하였다. 그러나 미세먼지에의 노출은 비자발적이며 고농도 사례 발생 시 노출인구가 많기 때문에 보건학적으로 의미를 갖는다 하였다.

다음은 질환별 미세먼지 노출에 의한 위험요인 증가에 대한 연구결과를 요약한 것이다. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서도 역학 및 독성학 연구결과를 종합하여 전체 원인 사망과 심장호흡 기계 및 폐암 사망이 증가하지 않는 최소 수준으로 대기질 기준(air quality guidelines, AQG)을 정하여 각 나라에 권고하고 있는데, PM10은 연간 평균 20 $\mu g/m^3$ 이하, 24시간 평균 50 $\mu g/m^3$ 이하로 권고하고 있으며, PM2.5는 연간 평균 10 $\mu g/m^3$ 이하, 24시간 평균은 25 $\mu g/m^3$ 이하로 권고하고 있다. 2018년 3월 강화된 우리나라 대기환경기준은 PM2.5 연평균 15 $\mu g/m^3$ 이하, 24시간 평균은 35 $\mu g/m^3$ 이하로 미국, 일본과 동일한 기준이다. 그러나 WHO에서 건강영향을 전혀 끼치지 않는 농도 수준보다는 조금 높은 수준이다. 따라서 지속적인 저감 정책이 필요하다.

〈표 2-5〉 미세먼지로 인한 건강영향 연구 결과 요약

| 질환 | 관련성 | 참고문헌 |
|---|---|---|
| 암 | • 10년간 평균 PM10 농도 10 ㎍/㎥ 증가시 폐암 위험 1.16배 증가 (95% 신뢰구간, 1.05~1.28) | Lamichhane et al., 2017 |
| 호흡기계 질환 | • PM2.5 노출 1 ㎍/㎥ 증가시 어린이 천식 발생 위험 1.03배 증가 (95% 신뢰구간, 1.01~1.05)<br>• PM10 노출 2 ㎍/㎥ 증가시 어린이 천식 발생위험 1.05배 증가 (95% 신뢰구간, 1.02~1.08) | Khreis et al., 2017 |
| | • PM2.5 농도가 단기적으로 10 ㎍/㎥ 증가시 호흡기질환으로 인한 사망이 1.10% 증가 (95% 신뢰구간, 0.56~1.62%) | Achilleos et al., 2017 |
| 심뇌혈관계 질환 | • 장기적인 PM2.5 노출 10 ㎍/㎥ 증가시 심혈관계질환 발생 위험 1.24배(95% 신뢰구간, 1.09~1.41) 증가, 심혈관계질환으로 인한 사망 위험이 1.76배(95% 신뢰구간, 1.25~2.47) 증가, 뇌혈관계 질환의 발생이 1.35배 (95% 신뢰구간, 1.08~1.68) 증가 | Miller et al., 2007 |
| | • 단기간 PM2.5 노출 10 ㎍/㎥ 증가시 1.4~2.5% 심뇌혈관계질환 발생 증가 | Wang et al., 2014; Mustafic et al., 2012 |
| | • 우리나라 PM10이 21.7 ㎍/㎥ 증가시 뇌졸중 사망이 1.5% 증가 | Hong et al., 2002 |
| 신경정신계 질환 | • 패널연구에서 PM10 단기적 노출이 24 ㎍/㎥ 증가시 노인 우울증상(설문평가결과)이 17% (95% 신뢰구간, 4.9~0.5%) 증가 | Lim et al., 2012 |
| | • 연평균 PM2.5 농도 10 ㎍/㎥ 증가시 우울증 발생위험이 1.47배 (95% 신뢰구간, 1.14~1.90) 증가, 단 당뇨병, 심혈관계질환, 만성폐쇄성폐질환 등 기저질환을 가진 사람들에게서 더 크게 나타났음 | Kim et al., 2016 |
| | • PM10과 PM2.5 단기노출이 각각 27.59 ㎍/㎥, 18.20 ㎍/㎥ 증가와 약 10% 자살 증가가 관련되어 있다고 보고 | Kim et al., 2010 |

자료: 배상혁, 홍윤철, 미세먼지의 건강영향, 대한의사협회지,61(12), 2018

### 3) 기온상승과 오존 농도 증가로 인한 건강영향

2010년 한국환경정책평가연구원은 국내 4대 도시인 서울, 부산, 대구, 인천을 대상으로 기온 상승과 오존 농도 증가로 인한 건강영향을 분석하였다.

전체 연령집단에서 기온이 1℃ 상승하면 일별 사망자수가 2.59%~11.3% 증가하였고, 오존이 10ppb 증가 시 일별 사망자수는 0.37%~2.03% 증가하였다. 기온 상승과 오존 농도 증가의 일별 사망자수 증가는 전체 연령집단보다는 65세 이상 연령집단에서 높게 나타났으며, 전체 사망 원인 중 심혈관계 관련질환 사망 발생 비중이 크게 나타났다(한국환경정책평가연구원, 2010). 천식 입원의 경우 전체 연령 집단에서 기온이 1℃ 상승하면 위험률이 1.61%~2.89% 증가하였으며, 오존이 10ppb 증가 시 위험률 3.00%~6.07% 증가하였다(호문기, 2013).

〈표 2-7〉 일별 사망자수에 대한 일별 기온 및 오존의 개별효과(서울)

| 인구집단 구분 | 기온효과 | 오존 효과 |
|---|---|---|
| | 기온 1℃ 증가 시 백분율 변화 (95% 신뢰구간) | 오존 10ppb 증가 시 백분율 변화 (95% 신뢰구간) |
| 전체 연령집단의 전체원인 사망 | 6.35(2.41~10.45) | 1.04(0.33~1.75) |
| 65세 이상 연령집단의 전체원인 사망 | 10.66(5.65~15.92) | 1.41(0.61~2.21) |
| 전체 연령집단의 심혈관계 관련질환 사망 | 6.73(-0.20~14.14) | 1.70(0.53~2.88) |
| 65세 이상 연령집단의 심혈관계 관련질환 사망 | 10.44(2.24~19.29) | 2.02(0.75~3.30) |

자료: 한국환경정책평가연구원, 2010. 기후변화와 대기오염이 환경관련 질환에 미치는 영향

### 4) 교통오염원에 따른 취약군 건강영향

#### (1) 디젤엔진배출물질[9)]

1971년부터 1992년까지 건강검진에 참여한 스웨덴 건설업계 근로자 등록 자료를 이용하여 직종에 따른 폐암 발생위험을 분석하였다. 남성 트럭 운전자 6,364명과 중장비 운전자 14,364명을 분석대상 그룹으로 선정하고, 목수와 전기기술자 등 119,984명을 대조그룹으로 선정하였다(임영욱, 2015). 연구결과 디젤엔진배출물질에 노출되는 트럭운전자들의 폐암 발생 또는 폐암 사망위험이 유의하게 높은 것을 확인하였다.

9) 임영욱, 2015. 미세먼지 취약직업군의 건강 영향, 환경정의 미세먼지 토론회 자료집

〈표 2-8〉 1971년과 1995년 사이의 폐암 발병률과 중장비 운전자와 트럭 운전자의 사망률 비교(대조군: 목수/전기자 및 일반 인구)

| | 중장비 운전자 | 트럭 운전자 |
|---|---|---|
| 폐암의 발생 건수 | 61 | 61 |
| 폐암으로 인한 사망 건수 | 49 | 57 |
| Person-years* | 217331 | 97930 |
| 폐암의 발생률을 비교한 표준화된 발병률(95% CI) | | |
| REF1** | 0.87(0.66 to 1.11) | 1.29(0.99 to 1.65) |
| REF2*** | 076(0.58 to 0.97) | 1.14(0.87 to 1.46) |
| 폐암의 사망률을 비교한 표준화된 사망률 비율(95% CI) | | |
| REF1 | 0.83(0.61 to 1.09) | 1.37(1.04 to 1.78) |
| REF2 | 0.70(.051 to 0.91) | 1.18(0.89 to 1.53) |

*각 개인의 서로 다른 관찰기간의 합
**목수와 전기기사 대조군 기준으로 나이, 기간 및 흡연 습관에 따라 조정됨
***일반 인구 기준에 따라 연령 및 달력 연도에 맞게 조정됨
자료: jarvholm B., et al., 2003

1984년 54,000명 이상의 대규모 후향적 코호트에서 트럭산업 종사자들의 업무에 따른 8개 직종 및 근무기간에 따라 디젤엔질배출물질로 인한 폐암 위험을 평가하였다. 1년 이상 근무한 사람들 중 장거리 수송운전자의 위험비(hazard ratio(HR))는 1.15(95% CI:0.92~1.43), 배달운전자는 1.19(95% CI: 0.99~1.42), 선착장 근로자는 1.30(95% CI: 1.07~1.58), 복합노동 근로자는 1.40(95% CI: 1.12~1.73)으로 나왔다(임영욱, 2015).

20년 이상 근무한 사람들의 폐암사망위험은 장거리 수송운전자의 경우 위험비는 1.65(95% CI: 1.04~2.62), 배달운전자는 2.04(95% CI: 1.28~3.25), 선착장 근로자는 1.94(95% CI: 1.18~3.18), 복합노동 근로자는 2.20(95% CI: 1.42~3.83)이었다(임영욱, 2015). 디젤엔진배출물질에 주기적으로 노출된 직업군에서 폐암 위험비가 높게 나타났다.

〈표 2-9〉 1985년부터 2000년까지 사망률을 평가한 각 직장에서 1년 이상의 근무자들의 폐암 HR

| 직종 | Person-years | 폐암사망 | 위험비(95% CI)* |
|---|---|---|---|
| 장거리 수송운전자 | 161,503 | 323 | 1.15 (0.92-1.43) |
| 배달운전자 | 139,054 | 233 | 1.19 (0.99-1.42) |
| 선착장 근로자 | 147,513 | 205 | 1.30 (1.07-1.58) |
| 복합노동 근로자 | 96,543 | 150 | 1.40 (1.12-1.73) |
| 정비공 | 25,523 | 38 | 0.95 (0.66-1.38) |
| 마부 | 29,947 | 29 | 0.99 (0.68-1.45) |
| 점원 | 24,728 | 15 | 0.55 (0.32-0.95) |
| 기타 | 13,040 | 12 | 0.89 (0.48-1.63) |

*Cox의 회귀모형의 회귀계수를 사용하여 위험비율을 계산하였으며, 1985년을 기준으로 10년간의 근무 시간 및 일정표에 따라 연령별, 건강근로자효과(근로연수, 휴직연수)에 따라 인종 및 인구조사지역에 맞게 조정하였음

자료: Eric Garshick et al. 2008. Lung Cancer and Vehicle Exhaust in Trucking Industry Workers, Article in Environmental Health Perspectives · November 2008

임영욱, 2015. 미세먼지 취약직업군의 건강 영향, 환경정의 미세먼지 토론회 자료집

〈표 2-10〉 누적 작업 연도와 관련된 폐암 사망률과 HR(95% CI)의 연간 변화율(1985-2000) 및 추정된 흡연 행동 차이에 대한 조정

| 직종 | Person-years | 폐암사망 | 연간 작업령 변화율 | 흡연조정인자[a] | 20년 이상 근무자의 위험비 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 다변량[b] | 흡연조정[c] |
| 장거리 수송운전자 | 161,503 | 323 | 2.5 (0.2-4.9) | 1.17 | 1.65 (1.04-2.62) | 1.40 (0.88-2.24) |
| 배달 운전자 | 139,054 | 233 | 3.6 (1.2-6.1) | 0.92 | 2.04 (1.28-3.25) | 2.21 (1.38-3.52) |
| 선착장 근로자 | 147,513 | 205 | 3.4 (0.8-6.0) | 0.96 | 1.94 (1.18-3.18) | 2.02 (1.23-3.33) |
| 복합노동 근로자 | 96,543 | 150 | 4.0 (1.5-6.6) | 0.94 | 2.20 (1.35-3.61) | 2.34 (1.42-3.83) |

a: 직무별 흡연 조정인자는 각 직무에 대한 흡연 가중위험을 해당 직종에 고용되지 않은 모든 근로자에 대한 흡연 가중 위험으로 나누어 계산하였음

b: 위협비율은 Cox의 회귀모형의 회귀계수를 사용하여 계산하였으며, 1985년을 기준으로 10년간의 근무 시간 및 일정표에 따라 연령별, 건강근로자효과(근로연수, 휴직연수)에 따라 인종 및 인구조사지역에 맞게 조정하였음. 사무원, 정비공, 기계공 또는 다른 직업으로 1년 이상 고용된 경우

c: HR을 적절한 흡연조절 계수로 나누어 계산하였음. 95% CI은 각 직무별 보정계수를 계산할 때 샘플링 오류를 고려하여 계산하였음

자료: Eric Garshick et al. 2008. Lung Cancer and Vehicle Exhaust in Trucking Industry Workers, Article in Environmental Health Perspectives · November 2008

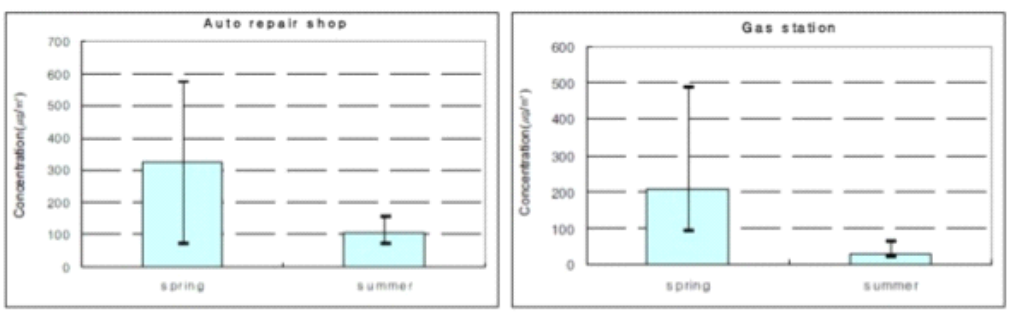
임영욱, 2015. 미세먼지 취약직업군의 건강 영향, 환경정의 미세먼지 토론회 자료집

### (2) PM2.5

자동차 정비공과 차량 주유원의 봄철 및 여름철에 노출되고 있는 PM2.5농도를 조사한 연구 결과 차량 정비공이 노출되는 PM2.5에 대한 평균농도는 봄철에 약 315㎍/㎥, 여름철에 약 100㎍/㎥으로 나타났다.

차량 주유원의 경우 봄철에 노출되는 PM2.5 평균농도는 약 200㎍/㎥ 으로 나타났다. 정비소는 수리도중에 자동차의 공회전이 잦고, 강력한 에어스프레이로 엔진에 침작된 먼지를 제거하는 과정과 엔진오일을 교환하는 과정 등을 반복하므로, 이러한 작업과정에서 차량 정비공이 더 높은 농도의 미세먼지에 노출되는 것으로 추정된다.

〈그림 2-11〉 차량정비소와 주유소의 PM2.5 계절별 농도 비교




임영욱, 2015. 미세먼지 취약직업군의 건강 영향, 환경정의 미세먼지 토론회 자료집

### 5) 옥외근로자 미세먼지 노출수준

스웨덴의 건설업 근로자를 대상으로 남성 노출 근로자 176,309명과 남성 비노출 근로자 71,778명에 대해 유해인자[무기성 분진(석면, mineral fiber, 시멘트, 콘크리트, 석영), 목재 분진, 흄, 유해가스]를 고려한 Job-exposure matrix 기초로 허혈성 심장 질환과 뇌혈관 질환의 관련성을 조사하였다. 무기성 분진과 디젤 배출물질은 특히 유의한 허혈성 심장 질환을 야기하였다(RR 1.07, 95% CI 1.03-1.12)(Toren 외, 2007).

인도의 160명의 근로자(건설업 근로자 60명과 일반 환경에서 근로자 100명)를 대상으로 폐기능을 측정 및 분석하였다. 건설업 근로자의 폐기능(FEV1, Maximum voluntary ventilation)은 일반 환경의 근로자보다 낮았으며 연령, 성(gender), BMI를 보정하여도 폐기능이 낮았다. 따라서 건설업 근로자는 정기적 및 수시로 폐기능 검사를 받아야하며, 초기에 예방 및 치료할 수 있도록 해야 한다(Lakshimi 외, 2016).

## 3. 시사점

고농도 환경오염 누출사고는 피해 강도가 크고 선택적, 지엽적, 일시적으로 발생되나, 대기오염으로 인한 건강영향은 피해 강도(인과관계의 크기)는 낮으나 비자발적, 광역적(노출인구 많음), 만성적 피해로 발생된다.

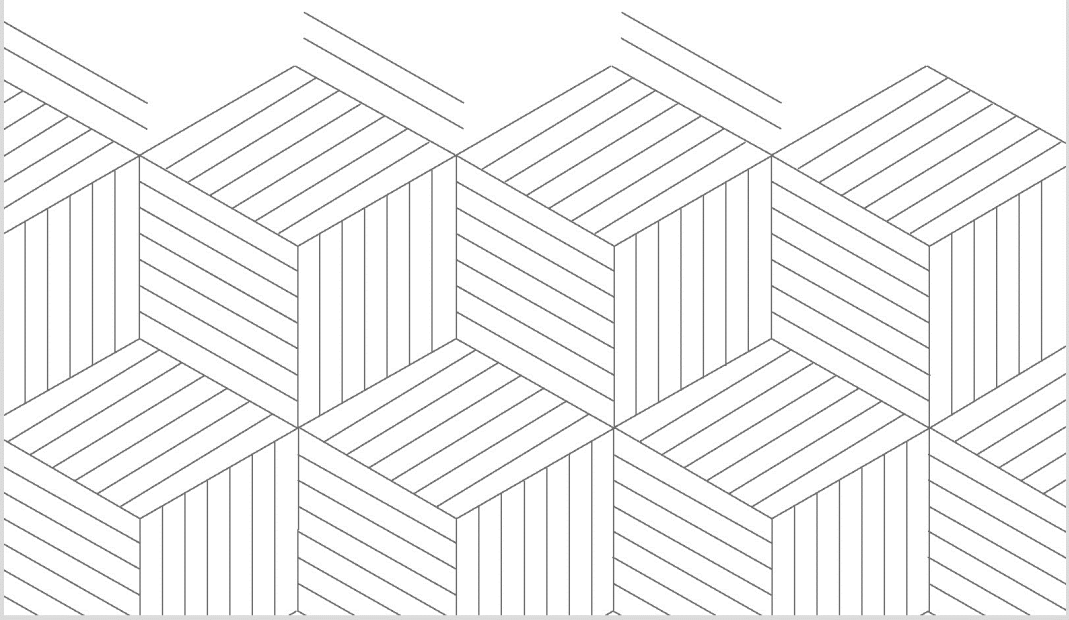
앞서 사례나 연구결과를 보면 대기오염물질 중 미세먼지와 오존이 건강에 가장 크고 분명한 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 미세먼지 및 대기오염물질은 건강(질병, 사망 등)에 분명한 영향이 있다고 보고되었다. 또한 장기노출 뿐만 아니라 단기 노출 시에도 유병률, 초과사망률 증가 등 건강 영향이 있음도 시사 할만하다.

미세먼지로 인한 영향의 크기는 다른 유해인자(예: 흡연)에 비해 작다. 미세먼지는 유병률 인과관계는 분명하나, 폐질환같은 동일한 질병에 대한 다른 위험요인에 비해 그 크기는 크지 않다. 흡연자는 비흡연자에 비해 폐암 사망 위험이 15~20배 높으나, 미세먼지에 대한 장기노출은 폐암 사망 위험을 약 1.1~1.2배 정도 높인다. 하지만 노인, 기저질환자, 어린이와 같은 민감군에 미치는 영향이 크며, 고농도에 노출되는 사람(예: 자동차 정비공, 옥외 근로자 등)에는 더 큰 건강영향이 있는 것이 조사되었다.

따라서 민감군 대상군별 노출 정도를 파악하는 것이 피해 예방 대책 마련을 위해 필요하다. 특성/건강/노출영향 등 위해성을 토대로 미세먼지 관리가 필요할 것이다.

# 제3장
# 수원시 대기오염 민감군 파악

제1절 대기오염 민감군에 대한 정의
제2절 수원시 대기오염도 및 노출 특성과 대기오염 민감군 파악
제3절 대기오염 영향권 분석
제4절 시사점



# 제3장 수원시 대기오염 민감군 파악

## 제1절 대기오염 민감군에 대한 정의

### 1. 오염사례의 범위 결정

수질, 토양과 같은 매체로 인한 오염 피해는 인위적인 방법을 통해 노출을 물리적으로 차단할 수 있다. 또한 주로 유출사고에 의한 것으로 피해 지역의 범위가 좁고 발견 즉시 대피하는 등의 행동으로 일반 인구집단의 노출을 최소화하는 노력을 할 수 있다.

하지만 대기오염 사례의 경우 밀폐되지 않는 한 공기는 어디로든 확산할 수 있고, 한번 대기 중으로 나온 오염물질은 물리적인 차단이 매우 어렵다. 또한 특정 오염원에서의 유출사고 외에도 오염원으로부터 지속적으로 배출되는 대기오염물질의 확산에 의해 발생되기 때문에 인구집단의 노출을 최소화하기 어렵다. 따라서 불특정 다수에게 노출되므로 동일하게 노출될 경우 특히 취약한 집단의 피해가 클 수 있어 민감군 및 취약군 맞춤형 정책이 중요하다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 환경오염 중 대기오염, 특히 미세먼지로 오염사례의 범위를 한정하였다.

### 2. 미세먼지 민감군 및 취약군 정의

일반적으로 환경오염 민감집단이란 실외 및 실내의 환경 중 화학적·물리적 인자에 노출되었을 때 건강한 일반 인구집단보다 민감하게 독성영향이 나타나는 특정 인구집단을 의미한다. 실내 및 대기오염, 특히 미세먼지 노출에 민감한 집단과 질병발생 위험이 높은 집단의 경우 고령자, 어린이, 심장질환 혹은 폐질환 등의 만성 질환을 앓고 있는 환자, 천식과 같은 호흡기 질환이 있는 환자 등이 대표적이다(임영욱, 2015).

취약군은 유해환경에 지속적으로 노출되고 있는 집단, 즉 노출의 강도가 크고 빈도와 노출기간이 큰 집단을 의미한다. 대기오염의 취약군의 경우 실외 노출시간이 길며 상대적으로 나쁜 환경조건에 노출되어 있는 집단으로 사회경제적 지위가 낮은 집단, 도로변 장시간 작업군(운전기사, 교통경찰, 톨게이트 근무자, 주차안내원, 도로변 노점운영자 등) 등이다.

옥외작업장에서 일하는 근로자는 대기오염 등으로 인하여 높은 위험군(high risk group)임이 많은 연구자들을 통해 확인되고 있다(김승원 외, 2016)

옥외 작업 근로자를 대상으로 호흡량 검사(폐활량)를 한 결과 폐 기능 저하를 보이며 노출 후 수일간 지속되었다. 건설업 옥외작업장의 미세먼지 노출수준은 같은 날 대기측정망에서 측정된 것보다 대부분 높았다. 경기지역과 대구. 경북지역 간의 비교에서는 경기지역이 상대적으로 높았다. 건설업 옥외작업장에서 개인 시료로 측정된 호흡성 분진의 노출수준은 작업영역에서 10m 이상 떨어진 대기 중 미세먼지를 대상으로 측정된 지역시료의 호흡성 분진의 노출수준보다 유의하게 높았다(김승원, 2017).

〈표 3-1〉 미세먼지 민감군과 취약군 정의

| 구분 | 민감군 | 취약군 |
|---|---|---|
| 정의 | 노출되었을 때 건강한 일반 인구집단보다 민감하게 독성영향이 나타나는 특정 인구집단 | 유해환경 노출 강도가 크고 빈도와 노출기간이 큰 집단 |
| 예 | 폐질환 및 심장질환자, 기저질환자, 영·유아 및 어린이, 노인, 임산부 | 교통경찰, 톨게이트 요금소 근무자, 대중교통 및 택시 운전기사, 주유소 및 정비소 종사자, 퀵서비스 종사자, 백화점 주차요원, 노점상 등 |

## 3. 대기오염에 의한 취약지역 및 민감집단

대기오염에 의한 취약지역 및 민감집단에 대하여 분류된 국내·외 가이드라인을 조사하였으며 국외 사례로는 미국, 캐나다, 호주 사례를 분석하였다. 보고서 '기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구 (III)', (국립환경과학원, 2013)를 참고하였다.

### 1) 미국

#### (1) EPA

미국의 EPA에서는 대기질 지수(Air Quality Index: AQI)에 따른 미세먼지와 오존에 대한 대기질 가이드를 설정하고 있으며 미세먼지와 오존에 민감한 집단으로는 천식과 같은 폐질환을 갖고 있는 사람, 어린이와 노인, 야외 직업을 갖는 사람으로 구분하고 있다(국립환경과학원, 2013).

AQI는 사람에게 영향을 미치는 대기오염 정도에 대한 척도가 되는 지표로 6가지 분류로 나뉜다. 300을 초과하는 AQI 수치는 위험한 대기질을 나타내며 50 미만은 대기질이 양호하다는 것을 나타낸다.

〈표 3-2〉 미국 EPA AQI

| 대기질 지수 (AQI) 수치 | 미세먼지 농도 환산* (㎍/㎥) | 건강 염려 수준 | 색 |
|---|---|---|---|
| 0 - 50 | 0-12 | 양호 | 녹색 |
| 51 - 100 | 12.1-35.4 | 보통 | 노랑 |
| 101 - 150 | 35.5-55.4 | 민감군에게 나쁨 | 주황 |
| 151 - 200 | 55.5-150.4 | 나쁨 | 빨강 |
| 201 - 300 | 150.5-250.4 | 매우 나쁨 | 자주 |
| 301 - 500 | 250.5-500.4 | 위험 | 고동 |

*AQI 계산기(https://airnow.gov/index.cfm?action=airnow.calculator) 활용하여 미세먼지 농도 환산

오존과 미세먼지의 AQI구간에 따른 어린이 활동의 권고 사항은 다음 표와 같다.

〈표 3-3〉 어린이에 대한 오존과 미세먼지 대기질지수(AQI)

| 어린이에 대한 대기질 지수 | 오존 | 미세먼지 |
|---|---|---|
| VERY GOOD<br>0-33<br>0-7.9㎍/㎥ | 야외활동을 즐기기에 좋은 상태 | 야외활동을 즐기기에 좋은 상태 |
| GOOD<br>34-66<br>8.1-19.2㎍/㎥ | 야외활동을 즐기기에 좋은 상태 | 야외활동을 즐기기에 좋은 상태 |
| FAIR<br>67-99<br>19.7—34.9㎍/㎥ | 특정 민감 어린이의 경우 장시간 야외 활동은 자제하도록 함 | 특정 민감 어린이의 경우 장시간 야외 활동은 자제하도록 함 |
| POOR<br>100-149<br>35.4-54.9㎍/㎥ | 저녁에 야외 활동하는 것을 피하고 비교적 대기질 지수가 낮은 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음 | 야외활동을 줄임. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음 |
| VERY POOR<br>150-200<br>55.4-150.4㎍/㎥ | 야외에 지속적으로 활동하는 것을 피하고 비교적 대기질 지수가 낮은 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음 | 가능한 야외활동을 피함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음 |
| HAZARDOUS<br>200+<br>150.5㎍/㎥~ | 야외활동을 피하고 가능한 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬수 있는 약물을 복용 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음 | 야외활동을 피하고 가능한 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음 |

자료: www.epa.gov/airquality, 2013
국립환경과학원, 2013. 기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구Ⅲ, 국립환경과학원

### (2) 미국 캘리포니아

캘리포니아에서는 2012년 "Social vulnerability to climate change in California"에서 기후변화에 의한 취약성 평가에서 사회 취약군을 중심으로 취약성 평가를 실시하였다. 기후변화로 인한 대기질, 해일, 폭염, 산불과 관련하여 사회취약군에게 미치는 영향에 대하여 분석하였으며 각 영향별로 취약지역 및 민감집단에 대하여 분류하였다. 대기오염물질에 대한 일반적인 취약집단과 미세먼지, 오존, wildfire smoke(자연 발화되는 산불) 등 대기오염물질에 따른 취약집단을 분류하였다(표 3-4).

〈표 3-4〉 대기오염물질별 취약요인 및 취약군

| 대기오염물질 | 구분 | 취약요인/취역계층 | 출처 |
|---|---|---|---|
| 일반 | 연령 | 유아 | AAP 2004 |
| | | 어린이 | EPA 2010; AAP 2004, Bunyavanich and McMichael 2003; Lipsett et al. 2008 |
| | | 65세 이상 고령자 | Medina-Ramon and Schwartz 2008; AAP 2004; Lipsett et al. 2008 |
| | 보험 | 보험감소 | Morello-Frosch et al. 2009 |
| | 사회경제적 요인 | 편모가정 | Downey and Hawkins 2008 |
| | | 저소득계층 | Cordova et al. 2006; Health Canada 2004 |
| 오존 | 질병상태 | 폐질환 | EPA 2010 |
| | | 심혈관계질환 | AAP 2004; Jerrett et al. 2009 |
| | | 천식 | EPA 2010 |
| | | 심방세동(심장박동이상) | Medina-Ramon and Schwartz 2008 |
| | 사회경제적 요인 | 미국내 아프리카인 | |
| | | 여성 | |
| | 노출 | 실외근로자 | EPA 2010 |
| 미세먼지 | 연령 | 75세 이상 고령자 | Zeka et al. 2006 |
| | 사회경제적 요인 | 고등학교 이하 학력 | Krewski et al. 2000 |
| | | 소수민족 | Keeler et al. 2002 |
| | | 저소득계층 | |
| | 질병 상태 | 심혈관계 질환 | AAP 2004 |
| | | 당뇨병 | O''Neill et al. 2005 |
| | 노출 | 대기오염 고농도 지역 거주자 (공단지역, 교통밀집지역 등) | Hammond et al. 2008 |
| wildfire* smoke | 질병상태 | 천식과 호흡기계 질환 | Lipsett et al. 2008 |
| | | 심혈관계 질환 | |
| | 기타 | 임산부 | |
| | | 흡연자 | |

*wildfire: 자연 발화되는 산불

출처: 국립환경과학원, 2013. 기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구Ⅲ, 국립환경과학원

일반 대기오염물질의 취약군은 연령, 보험, 사회경제적 요인으로 구분하여 세분화하고 있다. 대기오염물질 중 오존은 질병 상태와 사회경제적 요인, 노출로 구분되며 질병상태에는 천식, 폐질환, 심방세동, 심혈관계 질환 등의 질병이 포함된다. 대기오염물질 중 미세먼지에 의한 취약요인 및 취약군에는 연령, 사회경제적 요인, 질병 상태, 노출로 구분하여 세분화되어진다. wildfire smoke는 질병 상태와 기타로 구분되어 지며, 질병 상태는 천식과 호흡기계 질환자가 포함되며 임산부와 흡연자 또한 취약군으로 선정하고 있다(국립환경과학원, 2013).

### 2) 캐나다

캐나다 대기질건강지수(Air Quality Health Index: AQHI)는 캐나다 환경부(Environment Canada), 보건부(Health Canada), 온타리오주 환경국(the Ontario Ministry of the Environment), 토론토 보건국(Toronto Public Health), Clean Air Partnership이 협력을 통해 정보가 제공된다. 지표의 값은 Basic, Low, Moderate, High, Very-High까지 5개의 단계로 구분되며 각 단계별로 건강유지를 위한 권고사항이 일반인과 취약인구로 구분되어 제공되고 있다(국립환경과학원, 2013)(표 3-5).

AQHI에서 취약인구를 질병, 연령, 활동량에 따라 분류하고 있다. 질병에는 호흡기 및 심혈관질환환자, 당뇨환자가 포함되며 연령에는 어린이, 노인이 포함된다. 격렬한 외부활동을 하는 운동선수와 야외에서 근무하는 근로자도 대기오염에 취약한 인구로 분류된다.

〈표 3-5〉 AQHI의 취약인구 구분

| 요인 | 취약인구 | 메카니즘 |
|---|---|---|
| 질병 | •호흡기(천식, 만성폐쇄성폐질환(COPD), 만성기관지염, 폐기종, 폐암) 및 심혈관질환환자(협심증, 심장마미 병력이 있는 환자, 출혈성 심장질환, 심장 박동문제(부정맥이나 불규칙한 심장발동)) | •대기오염은 호흡곤란은 유발할 수 있어 현재의 폐나 심장관련 증상을 악화시킬 수 있어 심장마비 등을 유발할 수 있음 |
| | •당뇨 환자 | •당뇨환자의 경우 심혈관질환이 발병하기 쉽기 때문에 보다 위험에 노출됨 |
| 연령 | •어리거나 활동적인 어린이 | •어린이는 체중 당 호흡량이 어른보다 상대적으로 높아 상대적으로 더 많은 공기오염을 들이킬 수 있음. 높은 대사율과 어린이의 방어체계는 대기오염에 더 많이 민감하도록 함 |
| | •노인 | •노인은 약한 폐기능, 심혈관 기능과 방어체계, 혹은 질병으로 진단되지는 않은 심혈관이나 폐의 문제로 인하여 대기오염에 취약함 |
| 활동량 | •격렬한 외부활동을 하는 운동선수나 야외에서 근무하는 근로자 | •격렬한 운동이나 노동은 더 깊고 빠르게 호흡을 하기 때문에 대기오염이 폐에 더 많이 침투함 |

출처: 캐나다 환경부(Environment Canada, http://www.ec.gc.ca)
배현주, 2013. 기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구Ⅲ, 국립환경과학원

### 3) 호주

대기 상황에 따라 건강영향을 받는 취약집단의 구분으로 호주 보건부에서는 〈표 3-6〉에서와 같이 천식환자, 폐질환자, 심장질환자와 함께 어린이, 노인, 임산부를 취약집단으로 구분하고 있다. 대기질 지수는 크게 6단계로 구분되며 “FAIR”단계에서 부터는 민감집단의 장시간 야외 활동을 자제하도록 권고하며 “POOR" 단계에서는 천식환자, 심장질환자, 폐질환자와 함께 어린이는 저녁에 야외활동하는 것을 피하고 비교적 대기질 지수가 낮은 실내에 있도록 권고하고 있다(배현주 외, 2013).

〈표 3-6〉 민감집단 AQI에 따른 권고사항

| AQI | 민감집단 |
|---|---|
| VERY GOOD<br>0~33 | 야외활동을 하기에 이상적인 조건 |
| GOOD<br>34-66 | 야외활동을 하기에 이상적인 조건 |
| FAIR<br>67-99 | 특정민감 집단의 경우 장시간 야외 활동은 자제하도록 함 |
| POOR<br>100-149 | 천식환자, 심장질환자, 폐질환자와 함께 어린이는 저녁에 야외활동하는 것을 피하고 비교적 대기질 지수가 낮은 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사에 처방을 받음 |
| VERY POOR<br>150-200 | 천식환자, 심장질환자, 폐질환자와 함께 어린이는 야외에 지속적으로 활동하는 것을 피하고 비교적 대기질 지수가 낮은 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사에 처방을 받음 |
| HAZARDOUS<br>200+ | 야외활동을 피하고 가능한 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용 만약 증상이 계속될 경우 의사에 처방을 받음 |

출처 : 배현주, 2013. 기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구Ⅲ, 국립환경과학원

### 4) 한국

우리나라의 경우 대기오염으로 인한 피해를 예방하고 행동지침을 국민에게 제시하기 위하여 환경부에서 통합대기환경지수를 개발하였다. 대기오염도에 따른 인체 영향 및 체감오염도를 고려하여 개발된 통합대기환경지수(Comprehensive air-quality index, CAI)[10]의 자세한 내용은 〈그림 3-2〉와 같다.

통합대기환경지수 구간은 좋음, 보통, 나쁨, 매우나쁨으로 구분되어 지고, 지수 간에 따른 행동요령에서 민감집단에 대해 제시하고 있다.

10) 6개 대기오염물질별로 통합개기한경지수 점수를 산정하며 가장 높은 점수를 통합지수값으로 사용. 통합대기환경지수는 0에서 500까지의 지수를 4단계로 나누어 점수가 커질수록 대기상태가 좋지않음을 나타냄

아황산가스, 이산화질소에서는 어린이, 천식 등 호흡기질환자를 민감집단으로 구분하였으며, 미세먼지의 경우 천식환자, 폐질환 및 심혈관질환자, 노인, 어린이를 민감집단으로 구분하였다. 또한 미세먼지 행동요령으로 '고농도 미세먼지 7가지 대응요령', '고농도 미세먼지 단계별 대응요령', '계층별 대응요령 ①유치원, 초, 중, 고, ②어린이집, ③노인요양시설'로 구분하여 홍보하고 있다.

〈그림 3-1〉 계층별 대응요령 안내 홈페이지

자료: 에어코리아(https://www.airkorea.or.kr/web/pollutant?pMENU_NO=177)

미세먼지 특별법에 미세먼지 취약군에 옥외근로자가 포함되었으나 영유아, 노인 등의 대응방안보다는 홍보가 부족하다. 따라서 옥외 근로자를 위해 미세먼지 관리지침, 매뉴얼 등을 야외작업장에 전파하여 근로자들 정보공유와 교육 활성화가 필요하다.

〈표 3-7〉 지수구간별 개요

| CAI | 설명 | 접기건강 지표 |
|---|---|---|
| 0~50 | 좋음 | 대기오염 관련 질환자군에서도 영향이 유발되지 않을 수준 |
| 51~100 | 보통 | 환자군에게 만성 노출시 경미한 영향이 유발될 수 있는 수준 |
| 101~250 | 나쁨 | 환자군 및 민감군(어린이, 노약자 등)에게 유해한 영향 유발, 일반인도 건강상 불쾌감을 경험할 수 있는 수준 |
| 250~ | 매우 나쁨 | 환자군 및 민감군에게 급성 노출시 심각한 영향 유발, 일반인도 약한 영향이 유발될 수 있는 수준 |

자료: 에어코리아(https://www.airkorea.or.kr/web/pollutant?pMENU_NO=177)

〈표 3-8〉 예보등급

| 구 분 | 등 급(㎍/㎥) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 좋음 | 보통 | 나쁨 | 매우나쁨 |
| 미세먼지(PM10) | 0 ~ 30 | 31 ~ 80 | 81 ~ 150 | 151 이상 |
| 초미세먼지(PM2.5) | 0 ~ 15 | 16 ~ 35 | 36 ~ 75 | 76 이상 |

〈그림 3-2〉 통합대기환경지수 행동요령

| 물질 | 지수구간에 따른 행동요령 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 좋음 | | 보통 | | 나쁨 | | 매우나쁨 | | | |
| 지수 | A | | B | | C | | D | | E | |
| 그룹 | 일반인 | 민감군 | 일반인 | 민감군 | 일반인 | 민감군 | 일반인 | 민감군 | 일반인 | 민감군 |
| $SO_2$ | | | | | | 천식환자 실외활동 자제 | 가급적 실내활동 실외활동시 의사와 상의 | 천식과 같은 호흡기 질환이 있는 어린이 및 성인은 모든 실외활동 금지 | 실외에서의 모든 신체활동 금지 | 실외에서의 모든 신체활동 금지 |
| CO | | | | | | 장시간 또는 무리한 실외활동제한, 교통체증지역에서의활동자제 | | 일상수준의 실외활동도 제한, 외출시교통제증지역은피하도록함 | 장시간 또는 무리한 실외활동제한, 교통체증지역에서의활동자제 | 일상수준의 실외활동도 금지 |
| $O_3$ | | | | 실외활동시 특별히 행동에 제약을 받을 필요는 없지만 몸상태에 따라 유의하여 활동 | 장시간 또는 무리한 실외활동 제한 특히 눈이 아픈 증상이 있는 사람은 실외활동을 피해야 함 | 장시간 또는 무리한 실외활동 제한 | 실외에서의 활동을 제한하고 실내생활 권고 | 가급적 실내활동 | 실외에서의 모든 신체활동 금지 | 실외에서의 모든 신체활동 금지 |
| $NO_2$ | | | | | | | | 천식과 같은 호흡기질환이 있는 어린이, 성인의 경우 과도한 실외활동 제한 | | 천식과 같은 호흡기질환이 있는 어린이, 성인의 경우 과도한 실외활동 금지 |
| $PM_{10}$ | | | | 실외활동시 특별히 행동에 제약을 받을 필요는 없지만 몸상태에 따라 유의하여 활동 | 장시간 또는 무리한 실외활동 제한, 특히 눈이 아픈 증상이 있거나, 기침이나 목의 통증으로 불편한 사람은 실외활동을 피해야 함 | 장시간 또는 무리한 실외활동 제한, 특히 천식을 앓고 있는 사람이 실외에 있는 경우 흡입기를 더 자주 사용할 필요가 있음 | 장시간 또는 무리한 실외활동제한, 목의 통증과 기침 등의 증상이 있는 사람은 실외활동을 피해야 함 | 가급적 실내활동; 실외활동시 의사와 상의 | 실외에서의 모든 신체활동 금지 | 심장질환 혹은 폐질환이 있는 사람, 노인, 어린이는 실내에 있어야 하며 활동정도를 약하게 유지 |
| $PM_{2.5}$ | | | | 실외활동시 특별히 행동에 제약을 받을 필요는 없지만 몸상태에 따라 유의하여 활동 | 장시간 또는 무리한 실외활동 제한, 특히 눈이 아픈 증상이 있거나, 기침이나 목의 통증으로 불편한 사람은 실외활동을 피해야 함 | 장시간 또는 무리한 실외활동 제한, 특히 천식을 앓고 있는 사람이 실외에 있는 경우 흡입기를 더 자주 사용할 필요가 있음 | 장시간 또는 무리한 실외활동제한, 목의 통증과 기침 등의 증상이 있는 사람은 실외활동을 피해야 함 | 가급적 실내활동; 실외활동시 의사와 상의 | 실외에서의 모든 신체활동 금지 | 심장질환 혹은 폐질환이 있는 사람, 노인, 어린이는 실내에 있어야 하며 활동정도를 약하게 유지 |

자료: 에어코리아(https://www.airkorea.or.kr/web/pollutant?pMENU_NO=177)

국내·외 사례를 검토하여 대기오염에 대한 취약지역 및 민감 집단의 목록을 일반 대기오염물질, 미세먼지, 오존으로 구분하여 제시한 결과는 〈표 3-9〉과 같다. 대기오염에 의한 일반적인 취약지역 민감집단에는 생물학적 요인으로 유아, 어린이, 65세 이상 고령자, 건강요인으로 호흡기질환, 당뇨환자 등이 포함되며 사회경제적 요인으로 편모가정, 저소득계층이 포함된다(배현주, 2013). 노출 요인으로 대기오염에 많은 노출 가능성이 있는 노숙인과 운동선수, 야외 근로자가 포함된다.

오존의 경우 생물학적 요인으로 어린이가 건강요인으로는 폐질환, 심혈관계 질환, 천식 질환자, 심방세동이 포함된다. 미세먼지에 의한 민감군·취약군에는 75세 이상 고령인구와 어린이가 포함되고 건강요인으로는 호흡기질환자, 심혈관계 질환자, 당뇨병이 포함되며 노출요인으로 공단지역, 교통밀집지역 등 대기오염 고농도 지역 거주자가 포함된다.

최근 미세먼지 특별법 개정으로 미세먼지 취약군 범위를 구체화하여 옥외근로자, 교통시설 관리자 등을 포함하였다. 하지만, 국내의 경우 대기오염에 의한 민감군과 취약군 분류에 있어 사회경제적 요인이나 노출요인에 대한 고려가 부족한 상황이다.

**미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 시행령 [시행 2019. 4. 1.] [대통령령 제29657호, 2019. 3. 26., 타법개정]**
제14조(취약계층의 범위) 법 제23조제1항에 따른 취약계층의 범위는 다음 각 호와 같다.
1. 어린이 · 영유아 · 노인 · 임산부 · 호흡기질환자 · 심장질환자 등 미세먼지 노출에 민감한 계층
2. 옥외 근로자, 교통시설 관리자 등 미세먼지 노출 가능성이 높은 계층

〈표 3-9〉 대기오염에 대한 취약지역 및 민감집단 목록

| 대기오염 물질 | 구분 | 취약요인/취약군 | 국가 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 미국 | 캐나다 | 호주 | 한국 |
| 일반 | 생물학적요인 | 유아 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 어린이 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 65세 이상 고령자 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 건강요인 | 호흡기 질환 | ○ | ○ | | ○ |
| | | 심혈관질환환자 | ○ | ○ | | ○ |
| | | 당뇨환자 | ○ | ○ | | |
| | | 정신질환자 | ○ | | ○ | |
| | 사회경제적 요인 | 보험감소 | ○ | | | |
| | | 편모가정 | ○ | | | |
| | | 저소득계층 | ○ | | | |
| | 노출요인 | 노숙인 | ○ | | ○ | |
| | | 운동선수 혹은 야외 근로자 | ○ | ○ | | |
| 오존 | 생물학적 요인 | 어린이 | | | | ○ |
| | 건강요인 | 폐질환 | ○ | | | ○ |
| | | 심혈관계질환 | ○ | | | ○ |
| | | 천식 | ○ | | | ○ |
| | | 심방세동(심장박동이상) | ○ | | | |
| | 사회경제적 요인 | 미국 내 아프리카인 | ○ | | | |
| | | 여성 | ○ | | | |
| | 노출요인 | 실외근로자 | ○ | | | ○ |
| 미세먼지 | 생물학적 요인 | 75세 이상 고령자 | ○ | | | ○ |
| | | 어린이 | | | | ○ |
| | 건강요인 | 호흡기 질환 | | | | ○ |
| | | 심혈관계질환 | ○ | | | ○ |
| | | 당뇨병 | ○ | | | |
| | 사회경제적 요인 | 고등학교 이하 학력 | ○ | | | |
| | | 소수민족 | ○ | | | |
| | | 저소득계층 | ○ | | | |
| | 노출요인 | 대기오염 고농도 지역 거주자(공단지역, 교통밀집지역 등) | ○ | | | |

출처 : 배현주, 2013. 기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구Ⅲ, 국립환경과학원

# 제2절 수원시 대기오염도 및 노출 특성과 대기오염 민감군 파악

## 1. 조사 대상

민감군의 경우 특정 업무나 활동에 의해 구분되지 않고 주거지로 구분할 수 있으며, 수원시 동별 인구 분포 자료를 활용하였다. 노출정도와 민감군 분포와의 비교 분석을 통해 노출정도와 민감군 위험도가 높은 지역을 분석하였다.

본 연구에서는 행정동별 인구수와 10세 미만 어린이 및 65세 이상 노인 등 대기오염민감연령인구 분포를 분석하였다. 그리고 대기오염 민감군 이용시설로 노인복지시설(경로당)과 어린이집, 유치원, 초등학교, 중학교, 고등학교를 포함하여 살펴보았다. 취약군은 활동공간과 주소지가 다를 수 있기 때문에 유형과 특징만 구분하고 행동요령 중심 대응방안만 제시하고자 한다.

최근 미국에서 초미세먼지와 오존농도가 국가 기준보다 낮은 경우에도 단기적인 노출에 의한 저소득층이나 여성, 흑인의 조기사망 위험이 높아진다는 연구결과가 보고되었다(Qian Di, 2017). 그리고 미국 전역의 학교를 대상으로 조사한 결과 대로변이나 오염물질 발생원 인근에 위치하여 학생들의 학습능력을 저해할 수 있는 물질에 노출될 위험이 높은 학교들은 대부분 소득수준이 낮은 지역에 집중되어 있었다(Sara E. Grinski. et al., 2018). 이처럼 사회적 형평과 정의의 차원에서 오염물질에의 상대적 노출도가 높으면서도 스스로를 보호하거나 위험을 회피하기 어려운 인구계층이나 취약지역에 대한 세심한 관리가 요구된다(조경두, 2018). 따라서 수원시 저소득층(기초생활보장 수급자)의 분포를 조사하였다.

- 민감군: 폐질환 및 심장질환자, 영·유아 및 어린이, 노인, 임산부, 기저질환자
  - 영유아: 수원시 동별 0세부터 4세 수
  - 어린이: 수원시 동별 5세부터 9세, 10세부터 14세
  - 노인: 수원시 동별 65세 이상
  - 폐질환자: 호흡기질환(예: 기관지염, 비염 등)
  - 심장질환자: 심장, 뇌혈관계 질환(예: 뇌졸중, 부정맥 등)
  - 기저질환자: 평소 갖고 있는 만성적 질환(예: 고혈압, 당뇨, 천식, 신부전, 만성폐질환 등)
- 노출정도
  - 수원시 대기오염물질 고농도 사례 일수
  - 소규모 대기오염물질 배출시설 분포
  - 생활주변 오존, 미세먼지 발생원 중 대표적인 세탁소 분포
  - 초·중·고등학교와 도로변 인접도 파악

- 취약군: 대중교통 및 택시 운전기사, 교통경찰, 퀵서비스 종사자, 톨게이트 요금소 근무자, 주유소 및 정비소 종사자, 백화점 주차요원, 노점상 등
- 사회적 취약군: 저소득층(기초생활보장 수급자)

## 2. 수원시 대기오염도

대기환경기준 항목으로 관리하고 있는 대기오염물질은 $SO_2$(아황산가스), CO(일산화탄소), NOx(NO, $NO_2$; 질소산화물), PM10(미세먼지), PM2.5(초미세먼지), $O_3$(오존)이다. 그 중 대량 유출사고(예: 화학공장 폭발로 인한 아황산가스 유출사고 등)를 제외하고 일상적인 대기 중 농도 노출로 건강에 영향을 주는 물질은 PM10(미세먼지), PM2.5(초미세먼지)와 $O_3$(오존)이다.

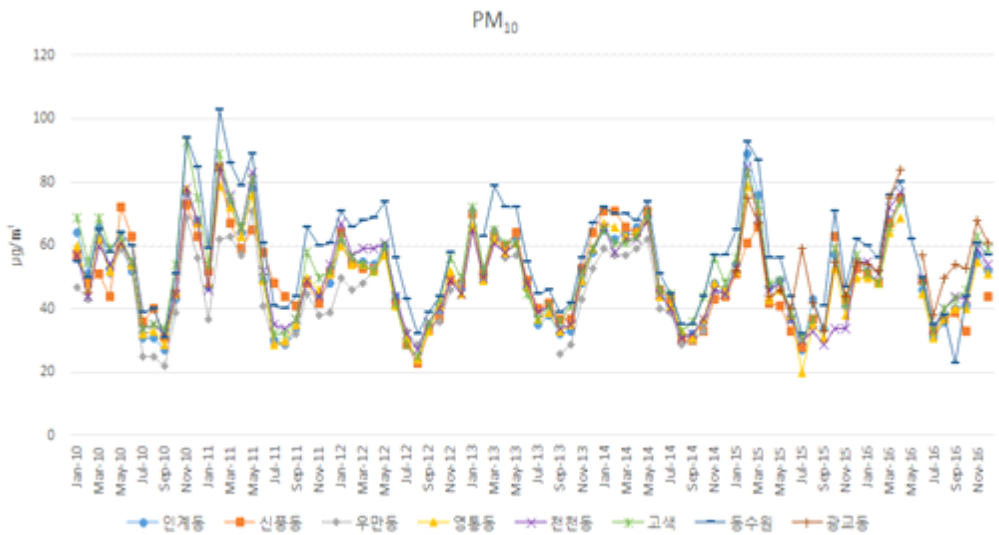
〈그림 3-3〉 수원시 대기오염 측정망 분포

〈표 3-10〉 미세먼지 대기환경기준

| 구분 | 한국 대기환경기준 | | WHO 권고기준 |
|---|---|---|---|
| | 연간평균치 | 24시간평균치 | |
| PM10 | 50㎍/㎥ | 100㎍/㎥ | 50㎍/㎥ |
| PM2.5 | 15㎍/㎥ | 35㎍/㎥ | 25㎍/㎥ |

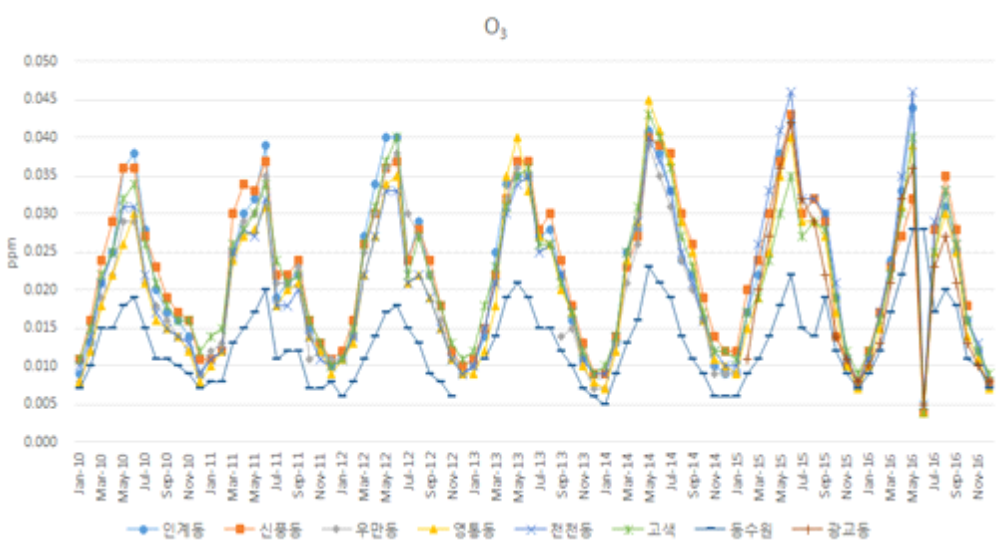
수원시 미세먼지와 오존 농도 추이는 다음과 같다. 다음 그래프를 보면 측정소 마다 농도 특성이 크게 다르지 않다는 것을 알 수 있다.

〈그림 3-4〉 수원시 미세먼지 월간 평균농도 변화



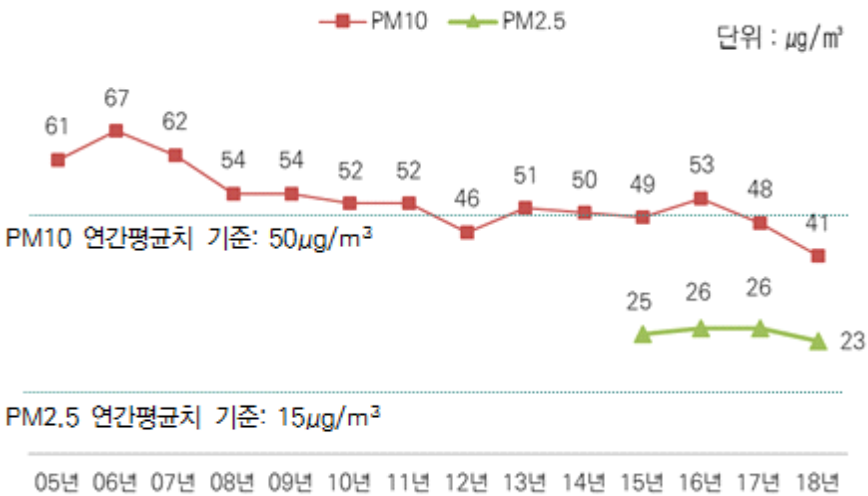

수원시 미세먼지 연간 평균 농도 변화를 보면 PM10의 농도는 점차 감소하는 추세이고, PM2.5는 큰 변화 없는 값을 보이지만 연간평균치 기준(15㎍/㎥)보다 높게 나타났다, 오존 연간 평균농도는 2005년부터 점차 증가추세를 보이고 있다.

〈그림 3-5〉 수원시 오존 월간 평균농도 변화



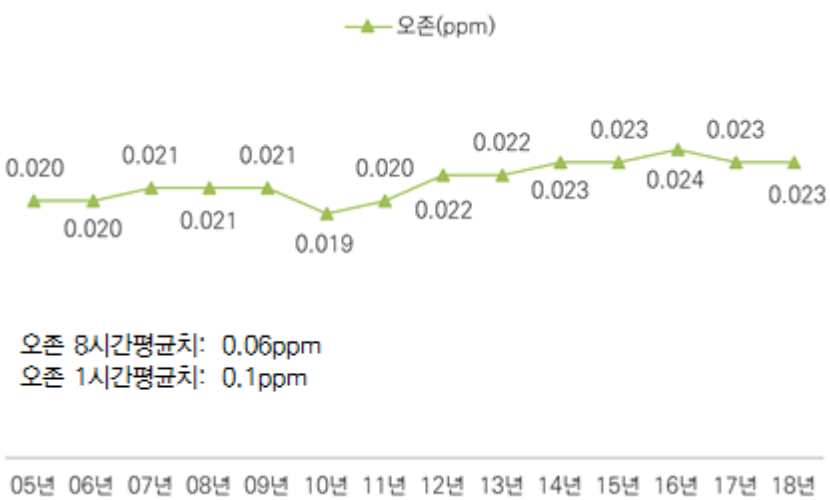
수원시 PM10농도는 2005년부터 점차 감소되고 있으며 최근 연간평균치 이하로 내려갔다. PM2.5농도는 2015년부터 큰 변화는 없으나 연간평균치보다 훨씬 높게 나타나고 있다.

〈그림 3-6〉 미세먼지 연간 평균 농도 변화




수원시 오존의 연간 평균 농도변화를 보면 2005년부터 증가하는 추세를 보이고 있으며, 2018년 연평균 농도는 0.023ppm이다.

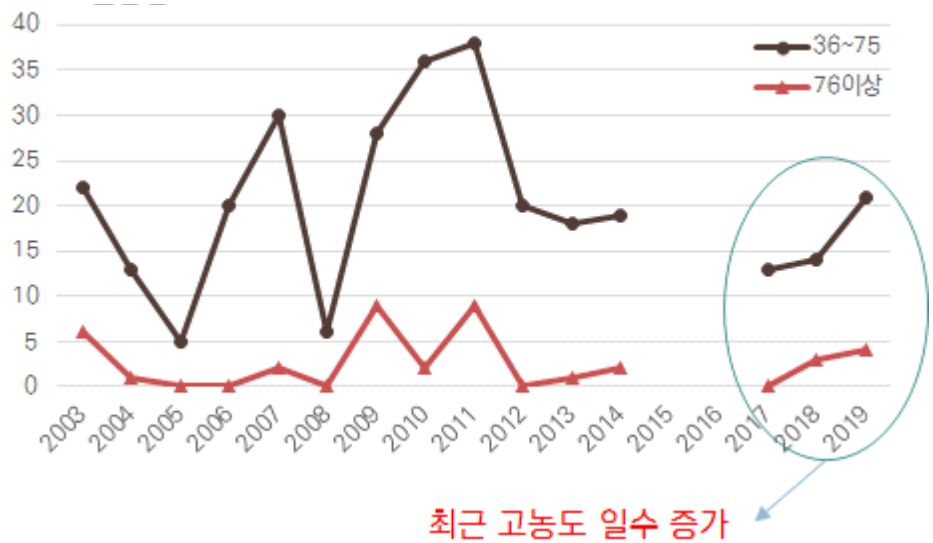
〈그림 3-7〉 오존 연간 평균 농도 변화



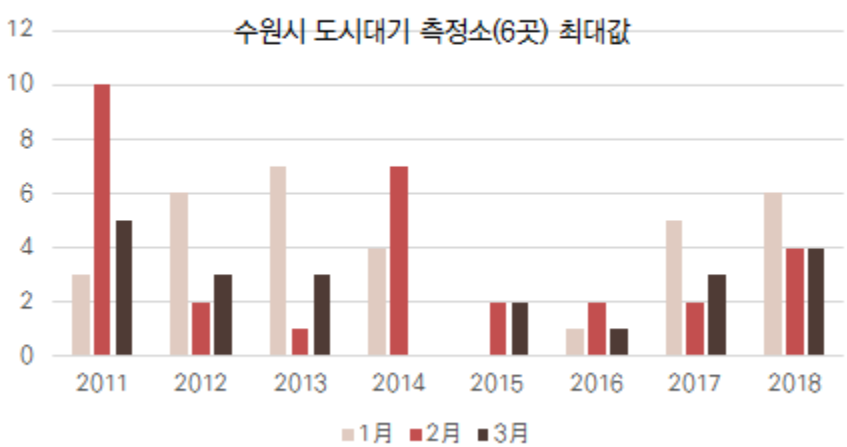
## 3. 수원시 미세먼지 고농도 노출 특성

다음은 수원시의 미세먼지 고농도 일수가 얼마나 지속되었는지에 대한 그래프이다. 연도별 1~2월 PM2.5 기준치 초과일수(신풍동 지점) 그래프는 다음과 같으며 최근 겨울철 고농도 일수가 증가하였다. 최근 1월, 2월, 3월의 수원시 도시대기 측정소(6곳)의 PM2.5농도 최대값이 100㎍/㎥ 이상인 일수를 분석하였는데 2016년부터 계속 증가하였다.

〈그림 3-8〉 수원시 1~2월 PM2.5 기준치 초과일수(신풍동)




〈그림 3-9〉 PM2.5 100㎍/㎥ 이상 일수

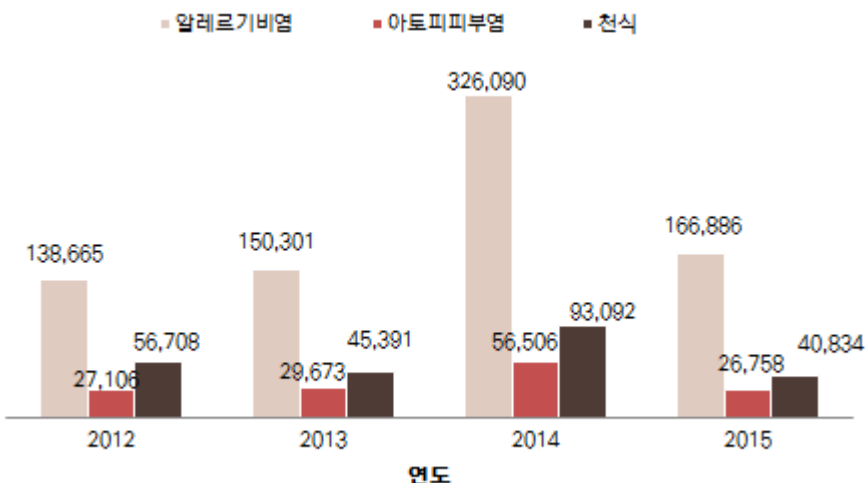


## 4. 대기오염 민감군 파악

### 1) 수원시 환경성 질환자 수

수원시 환경성 질환자(알레르기 비염, 아토피피부염, 천식)수는 2015년 기준으로 알레르기 비염 166,886명, 아토피피부염 26,758명, 천식 40,834 명이다.

〈그림 3-10〉 수원시 환경성 질환자 수




*2015년 이후 자료는 없음

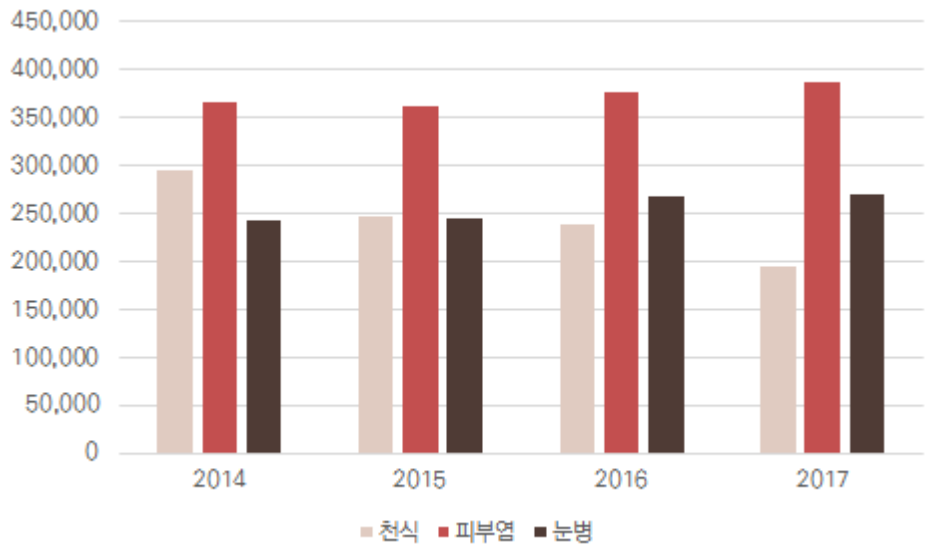
2014년부터 2017년까지 수원시 천식, 피부염, 눈병 진료 건수를 살펴본 결과 천식진료 수는 감소하는 추세이며, 피부염과 눈병 진료 건수는 증가하고 있는 것으로 나타났다.

〈표 3-11〉 수원시 천식, 피부염, 눈병 진료 건수

| 질병 | 연도 | 합계 | 장안구 | 권선구 | 팔달구 | 영통구 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 천식 | 2014 | 293,915 | 72,187 | 82,199 | 47,740 | 91,789 |
| | 2015 | 247,378 | 66,551 | 73,476 | 40,884 | 66,467 |
| | 2016 | 238,806 | 66,661 | 75,513 | 39,938 | 56,694 |
| | 2017 | 193,855 | 56,495 | 59,757 | 35,133 | 42,470 |
| 피부염 | 2014 | 366,220 | 93,160 | 107,671 | 66,856 | 98,533 |
| | 2015 | 361,476 | 89,749 | 108,055 | 63,175 | 100,497 |
| | 2016 | 376,544 | 91,876 | 110,769 | 64,218 | 109,681 |
| | 2017 | 385,883 | 86,302 | 116,212 | 62,131 | 121,238 |
| 눈병 | 2014 | 242,937 | 89,140 | 62,180 | 41,359 | 50,258 |
| | 2015 | 245,661 | 91,068 | 62,918 | 40,331 | 51,344 |
| | 2016 | 268,734 | 97,286 | 71,034 | 43,823 | 56,591 |
| | 2017 | 269,201 | 93,954 | 73,849 | 43,506 | 57,892 |

자료: 공공데이터 포털

〈그림 3-11〉 수원시 천식, 피부염, 눈병 진료건수 변화




수원시 고혈압, 당뇨, 기관지염, 결막염 환자수는 각각 2017년 기준 121,602명, 59,342명, 401,452명, 126,807명이었다.

〈표 3-12〉 수원시 고혈압, 당뇨 등 환자수

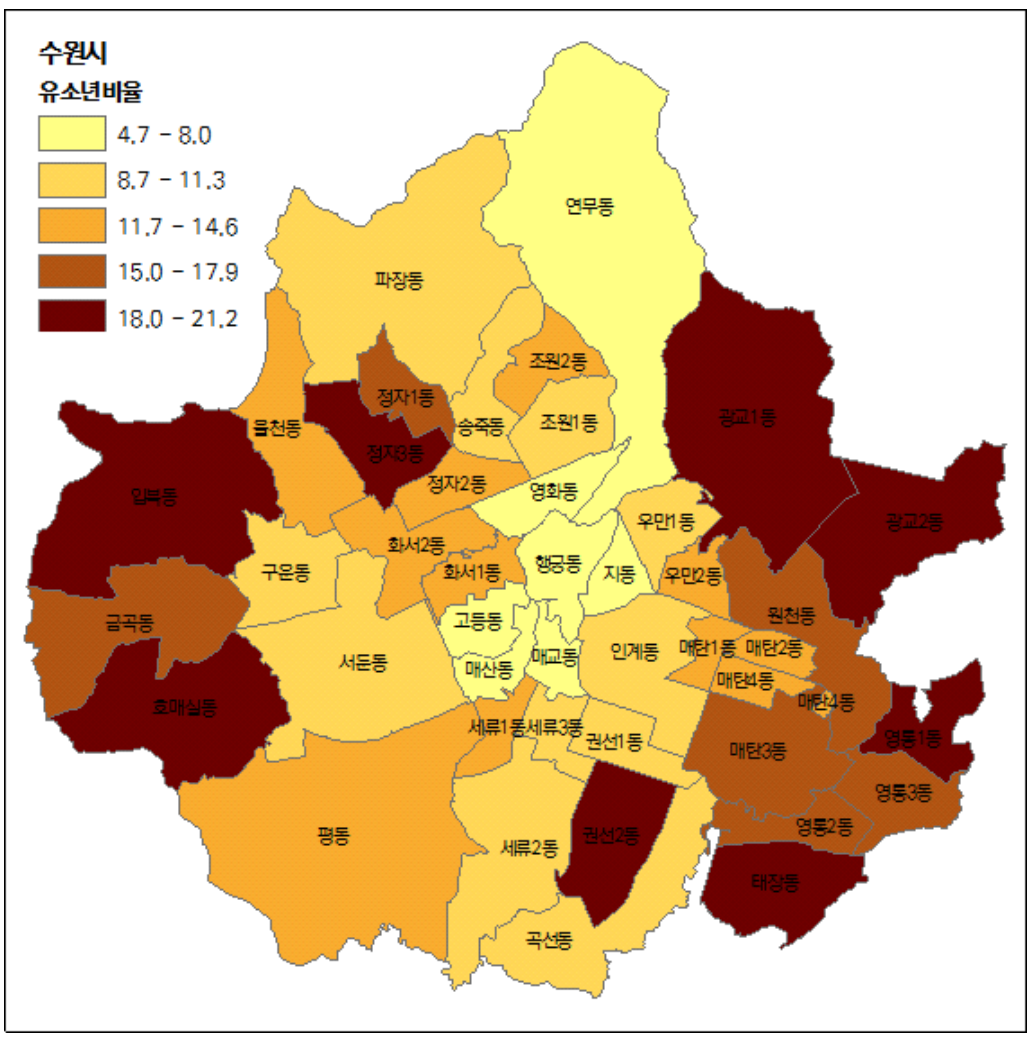
| 2017년 | 고혈압 | 당뇨 | 급성 기관지염 및 급성 모세기관지염 | 결막염 및 기타 결막의 장애 |
|---|---|---|---|---|
| 수원시 총계 | 121,602 | 59,342 | 401,452 | 126,708 |
| 장안구 | 32,092 | 15,824 | 95,698 | 34,756 |
| 권선구 | 38,756 | 19,332 | 123,873 | 38,577 |
| 팔달구 | 24,428 | 12,263 | 55,813 | 19,530 |
| 영통구 | 26,326 | 11,923 | 126,068 | 33,845 |

자료: 국민건강보험 통계자료(https://nhiss.nhis.or.kr)

## 2) 수원시 행정동별 0~14세 비율

수원시 행정동별 0~14세 인구비율 분석 결과 호매실동, 광교동, 영통동 등 신도시에서 0~14세 비율이 높게 나타났다.

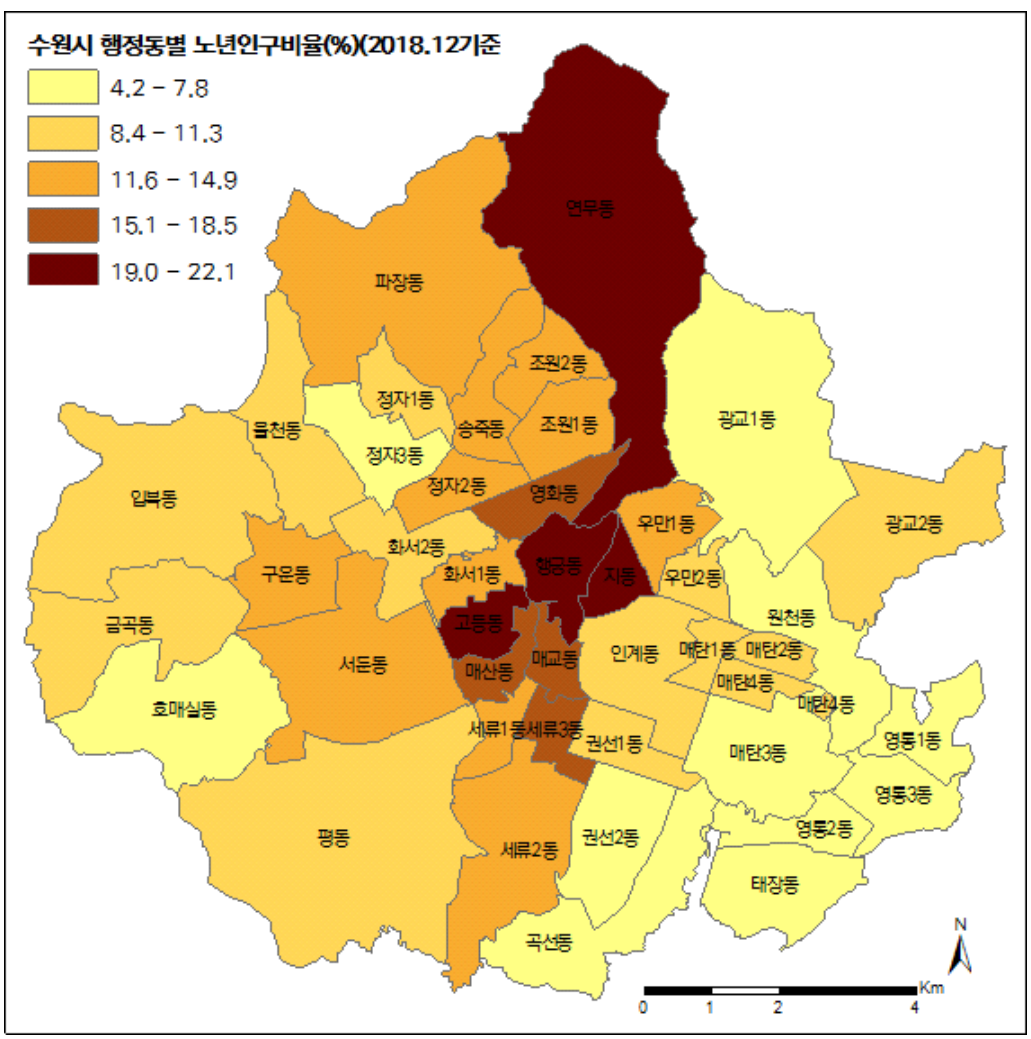
〈그림 3-12〉 수원시 행정동별 유소년 비율 현황



### 3) 노년인구비율

수원시 행정동별 65세 이상 노인인구 비율 분석결과 연무동, 행궁동, 지동, 고등동 등 구도심에서 노인 인구비율이 높게 나타났다.

〈그림 3-13〉 수원시 행정동별 노년인구비율 현황

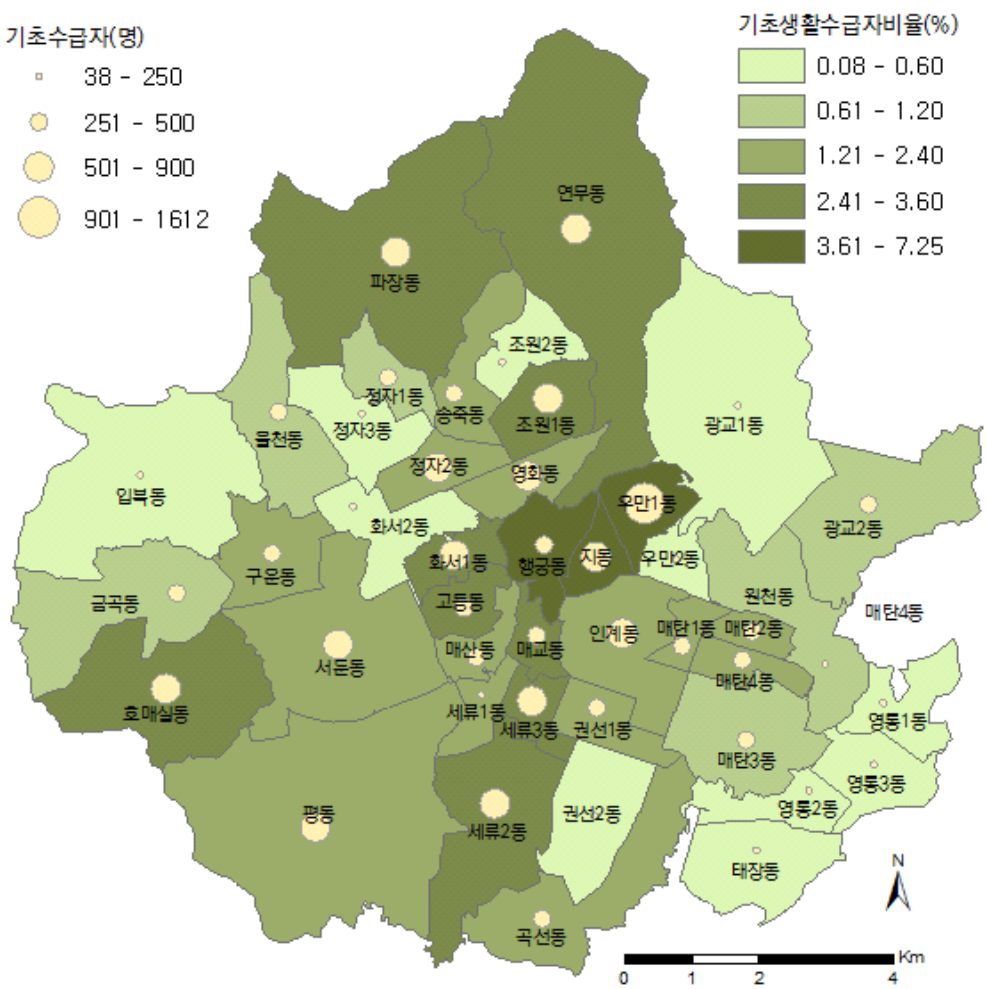


### 4) 저소득 계층(기초생활보장 수급자 현황)

사회경제적 요인으로 기초생활보장 수급자 현황 행정동별로 분석하였으며, 수원시는 노인 인구 비율 높은 지역과 저소득계층 비율 높은 지역이 유사하게 나타났다.

대기오염에 상대적 노출도가 높으면서도 스스로를 보호하기 어려운 인구계층이나 취약지역에 대한 세심한 대책이 필요하다. 복지부서와의 연계를 통해 저소득층 대상 미세먼지 및 실내공기질 관리 지원이 필요하다.

〈그림 3-14〉 수원시 기초생활보장 수급자 현황



# 제3절 대기오염 영향권 분석

## 1. 민감군 이용시설

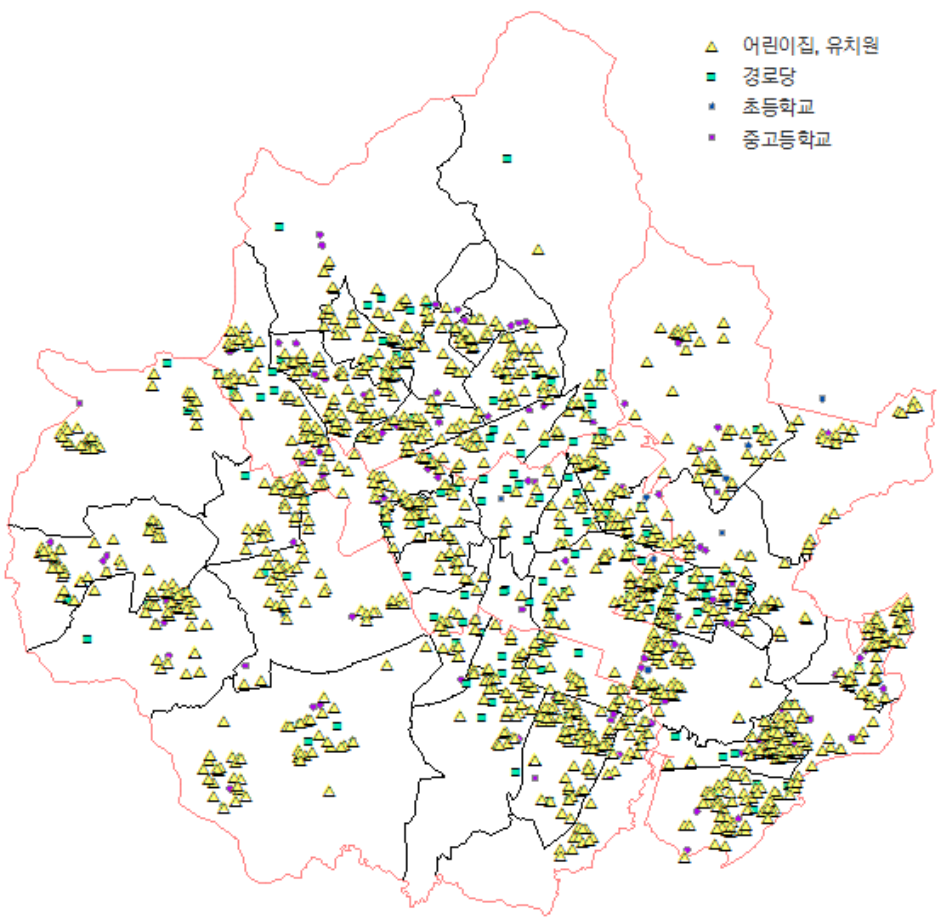
수원시 대기오염민감계층 이용시설 분포현황은 다음 그림과 같으며, 어린이집과 유치원이 1,359개이고, 초, 중, 고등학교가 198개, 경로당 165개 이다.

〈표 3-13〉 수원시 민감군 이용시설 현황

| 구분 | 어린이집 | 유치원 | 초등학교 | 중학교 | 고등학교 | 경로당 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 시설수 | 1,163 | 196 | 98 | 56 | 44 | 165 |

자료: 경기데이터드림

〈그림 3-15〉 수원시 민감군 이용시설 분포도



## 2. 대기오염배출시설 분포 현황

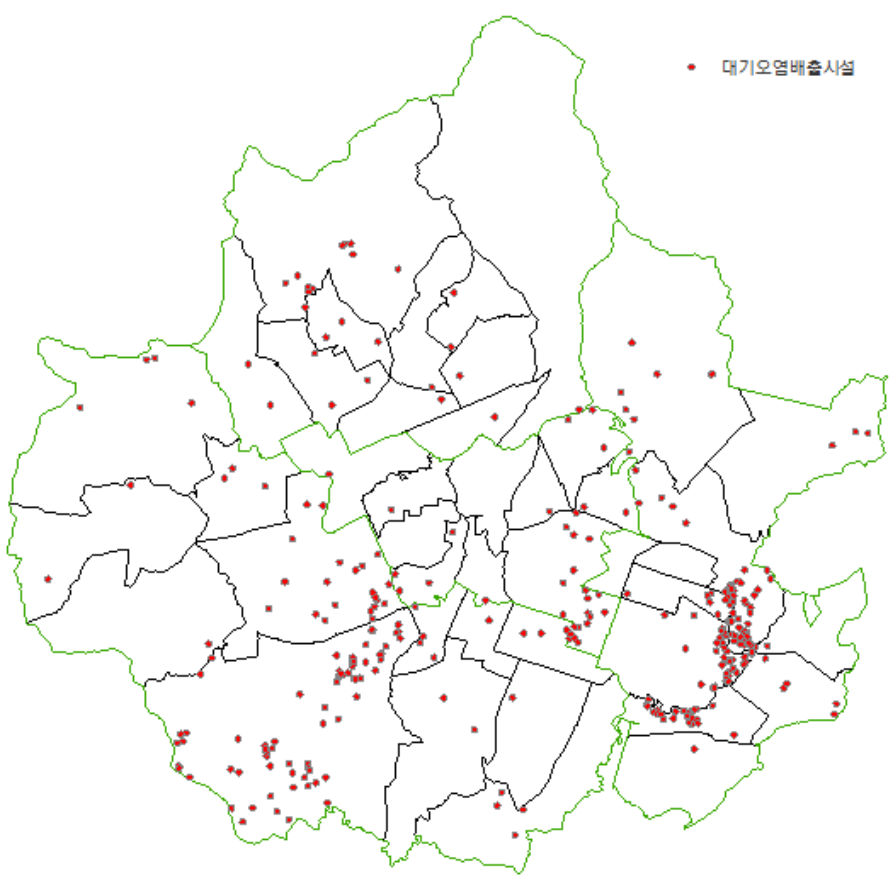
수원시 대기오염배출시설은 총 232개로 대부분 4~5종으로 소규모 사업장이다. 시설 종류로 자동차 정비, 교육 및 연구시설, 제조업, 보일러, 폐기물 소각 등이다. 대기오염물질 배출시설 분포 현황은 다음그림과 같다.

〈표 3-14〉 수원시 대기오염배출시설 현황

| 구분 | 계 | 1종 | 2종 | 3종 | 4종 | 5종 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 계 | 232 | 6 | 4 | 2 | 81 | 139 |

*종별구분
1종 사업장: 연간 오염물질발생량의 합계가 80톤 이상인 사업장
2종 사업장: 연간 오염물질발생량의 합계가 20톤 이상 80톤 미만인 사업장
3종 사업장: 연간 오염물질발생량의 합계가 10톤 이상 20톤 미만인 사업장
4종 사업장: 연간 오염물질발생량의 합계가 2톤 이상 10톤 미만인 사업장
5종 사업장: 연간 오염물질발생량의 합계가 2톤 미만인 사업장
자료: 수원시청 홈페이지

〈그림 3-16〉 대기배출시설 위치(1~5종)



소규모 사업장은 대기오염물질 발생량이 1~3종에 비하면 많은 양은 아니지만 시민의 생활 공간과 인접한 사업장이 많아 다양한 환경민원을 유발한다. 또한 전문적 대응능력이 미흡하고 정보 및 기술전달체계 미비 등으로 자체적 환경문제 해결이 쉽지 않다. 영세한 사업장일 경우 대기오염물질 저감시설의 운영이 제대로 이루어지지 않을 수 있다. 따라서 소규모 사업장의 관리 및 지원이 필요하다.

## 3. 세탁소 시설현황

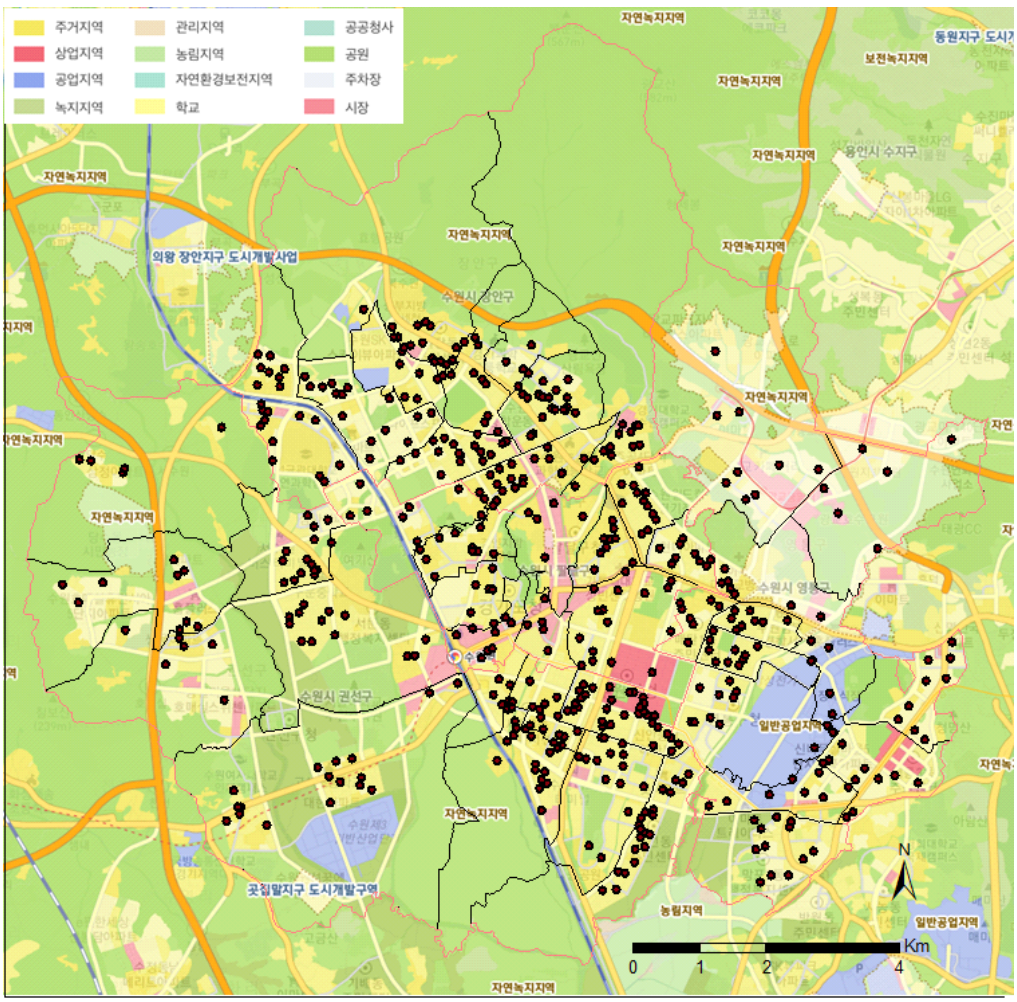
세탁소는 〈그림 3-17〉을 보면 알 수 있듯이 주유소, 인쇄소 등과 같이 주거지역에 인접해 있는 생활 밀착형 VOCs(휘발성유기화합물질) 배출원이다. 주변 환경과 인체 보건적 측면에서 관리가 필요한 시설이다. 세탁소에서 배출되는 VOCs는 오존 생성 전구물질이며, VOCs 성분 중의 벤젠, PCE, TCE 등은 발암물질로써 인체에 위해한 영향을 야기할 수 있다. 국민건강보험공단(2009) 보고서에 의하면 세탁업 종사자들이 일반 국민에 비해 신장 및 요관의 기타장애 질환이 58%, 신장 기능 상실 질환이 84% 더 높게 발생되는 것으로 평가되었다. 또한 도심지의 주요 생활 악취 발생요인으로 지목되기도 한다. 그러나 현재의 환경·위생·입지규제로서는 세탁소 VOCs 총 배출량의 96.6%를 차지하고 있는 소규모 가정용 세탁소를 적정하게 관리할 수 없는 상태이며 이를 개선하기 위한 다양하고 적극적인 관리방안이 필요한 시점이다(김재혁 외, 2017).

경기도 대기환경관리 시행계획에서는 밀폐형 세탁기로 교체를 추진하고 있으나 경기도는 매년 9대 보급 예정이고 수원시는 2018년 대기환경관리계획에 따르면 1개 계획물량이 있음에 따라 세탁소 관리와 관련해서는 소극적이다.

미국의 경우 관리대상 세탁소에 대하여 밀폐형·일체형 세탁기 설치 등의 시설기준, 주기적인 VOCs 누출확인 등의 관리기준, 용제사용 현황과 운영사항에 대한 기록기준 및 연간 보고기준 등을 신설하여 명확하고 실제적으로 관리하고 있다(김재혁 외, 2017).

세탁소에서 배출되는 VOCs저감을 위해서는 친환경 드라이클리닝 용제의 개발과 친환경 세탁소 인증제 등 관리방안 도입이 필요하다. 또한 국내 가정용 소규모 세탁소에 적용 가능한 소용량 밀폐형 세탁기 개발과 보급이 필요하다.

〈그림 3-17〉 수원시 세탁소 현황




## 4. 대기오염배출시설과 대기오염 민감군 이용시설 근접성 분석

국지적으로 매우 높은 수준의 농도를 보이는 미기후(micro-climate)[11] 지역은 주로 교통량이 많은 도로나 산업시설 주변에 나타난다(조경두, 2018).

수원시 미세먼지 민감군 이용시설(경로당, 어린이집 등)위치와 대기오염배출원의 위치를 중첩해보면 미세먼지 집중관리구역의 도입 필요성을 이해할 수 있다. 배출시설의 배출관리를 엄격하게 강화하거나 민감군 이용시설의 환기와 정화에 대한 투자 확대만으로는 미세먼지 피해를 최소화하는데 뚜렷한 한계가 있음을 시사하고 있다.

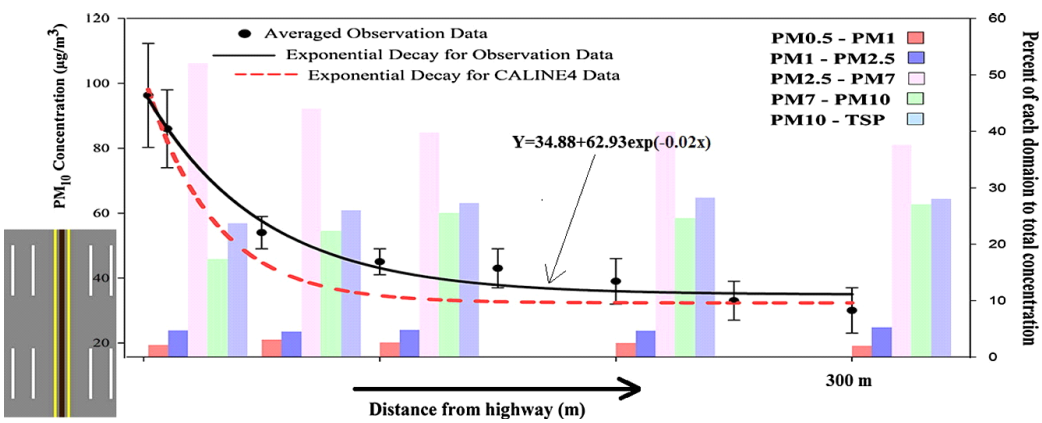
대기오염배출시설에서 반경 300m 내에 있는 민감군 이용시설이 여러 곳 있음을 확인할

11) 지표면으로부터 지상 1.5m 정도 높이까지 기층(접지층)의 기후를 말한다.

수 있으며 향후 민감군 이용시설 관리 사업 등 추진 시 오염시설 주변에 위치한 곳을 집중관리구역으로 지정하여 지속적인 모니터링을 하는 것도 필요할 수 있다.

대기오염배출시설에서 300m 반경을 정한 이유는 확산에 의해 300m 이상 간격이 있을 경우 대기오염도 평형상태에 도달하므로, 대기배출시설로 분류된 사업장의 경우 도로변보다 넓게 영향을 줄 수 있다(그림3-16). 따라서 1~5종 대기오염배출시설에서 300m 이내에 위치하는 민감군 이용 시설을 조사하였다. 위치분석은 arcGIS9.3을 활용하였으며 지오코딩하여 각 이용시설, 배출시설들의 위치를 추출하였다. 지오코딩한 위치를 중심으로 하여 반경을 설정하였다.

〈그림 3-18〉 고속도로 주변 대기질 수준 평가



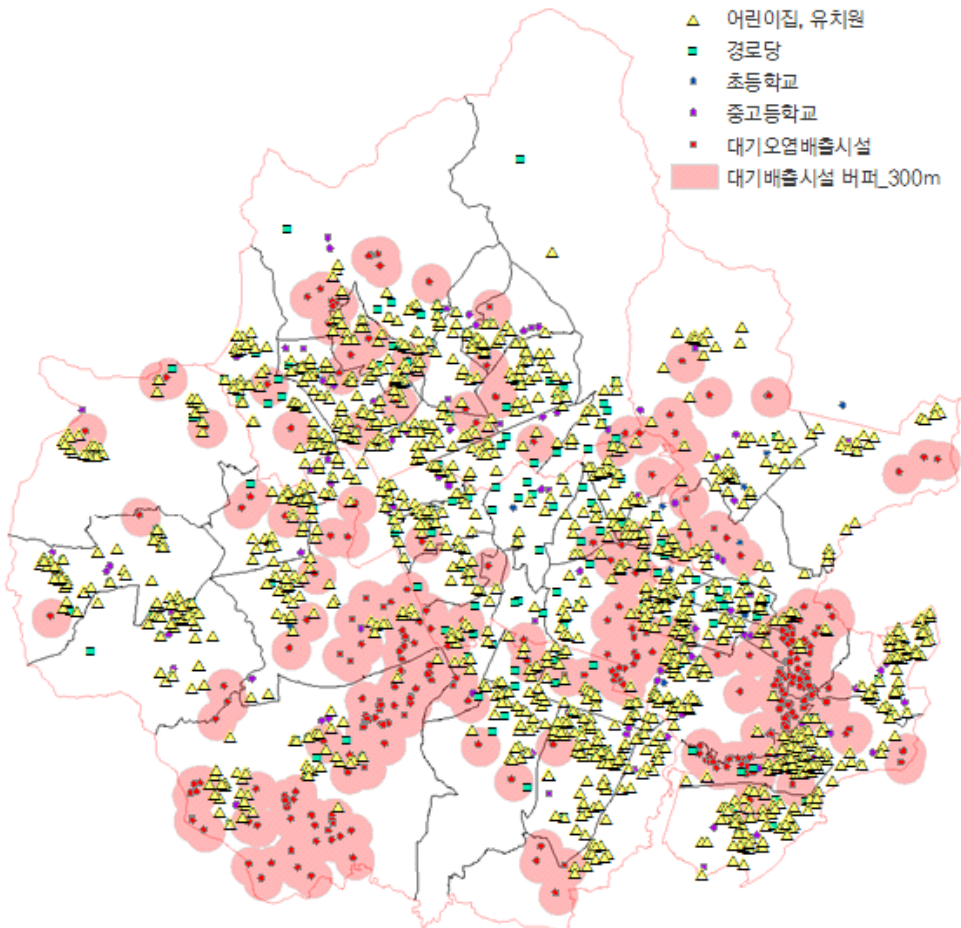

자료: Yazdi, et al., 2015, Sci. of Tot. Environ. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.141

민감군 이용시설 전체 1,722개 중 28%가 배출시설 300m 내에 있는 것으로 나타났다. 시설별로 대기배출시설에서 300m 내에 위치한 어린이집, 유치원은 전체 시설 중 각각 28%, 29%이며, 수원시 전체 경로당 중 33%가 배출시설 300m 내에 위치하고 있었다. 집중관리구역 도입, 배출시설과 민감군 이용시설의 입지계획 관리와 조정이 필요한 것으로 판단된다.

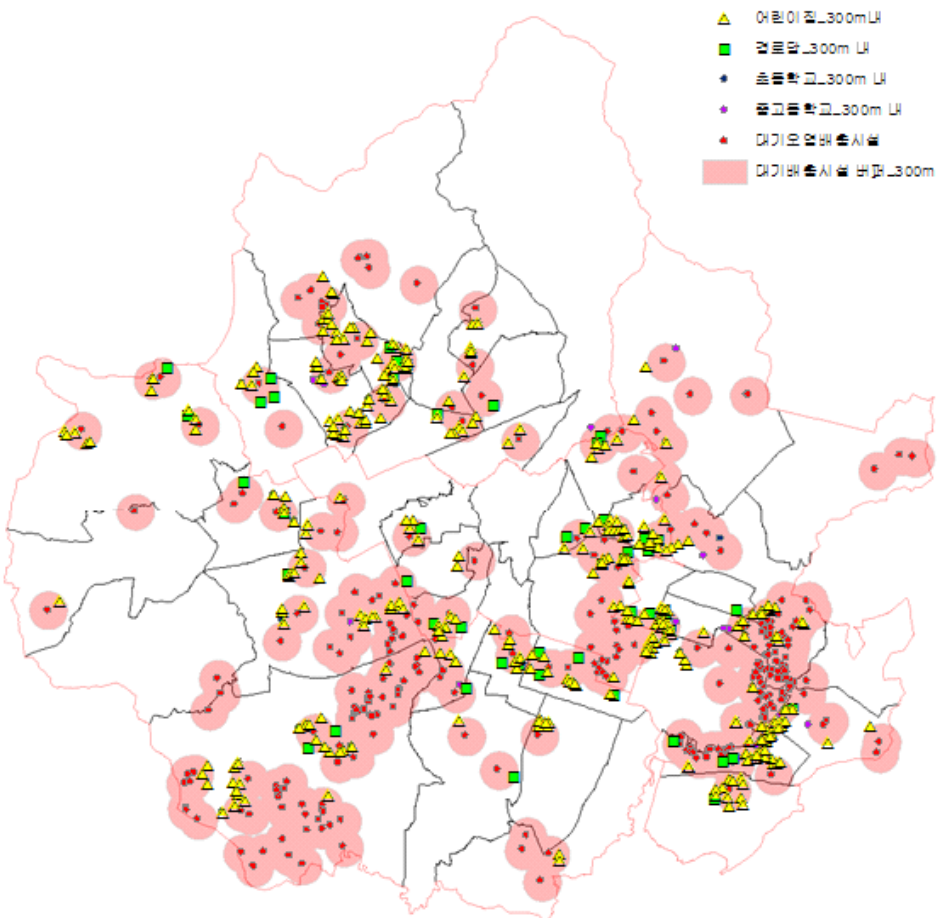
〈표 3-15〉 대기오염배출시설에서 300m 반경 내 위치한 민감군 이용시설

| 구분 | 합계 | 어린이집 | 유치원 | 초등학교 | 중학교 | 고등학교 | 경로당 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 300m 내 위치 | 475<br>28% | 321<br>28% | 56<br>29% | 27<br>28% | 9<br>16% | 8<br>18% | 54<br>33% |
| 전체 시설 수 | 1,722<br>100% | 1,163<br>100% | 196<br>100% | 98<br>100% | 56<br>100% | 44<br>100% | 165<br>100% |

〈그림 3-19〉 수원시 대기오염배출시설과 건강취약군 이용시설 근접성 분석



〈그림 3-20〉 대기오염배출시설 300m 반경 내 위치한 민감군 이용시설

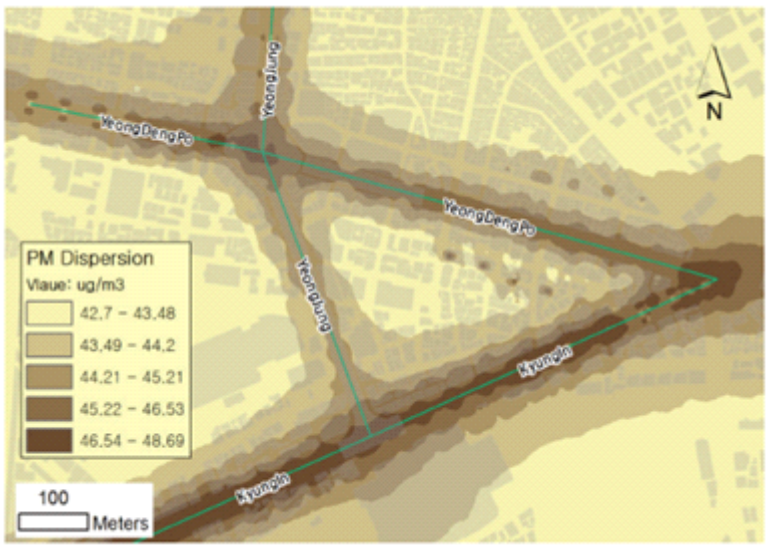



## 5. 수원시 도로변 대기오염 영향

도로는 국지적 배출원으로 도로에 인접할수록 질소산화물, PM2.5 농도 노출이 높다. 도로와의 거리가 50m 이내인 주택에 거주하는 어린이에서 아토피성 피부염의 유병률이 유의하게 높았고, 인접도로가 왕복 6차선 이상인 주택에 거주하는 어린이에서 알레르기성 비염의 유병률이, 주변의 대기오염정도가 불쾌하다고 느끼는 지역에 거주하는 군에서 아토피성 피부염의 유병률이 유의하게 높게 나타났다(추장민, 2008).

확산에 의해 100m 이상 간격이 있을 경우 직접적 영향이 미비(박진우 외, 2018)하므로 100m 이내 학교, 어린이집, 경로당 등을 조사하였다. 수원시 30m 이상(6차선 이상)의 도로에서 반경 100m 이내에 위치한 민감군 이용시설을 조사하였다.

〈그림 3-21〉 CALINE4를 이용한 대기오염 확산 양상



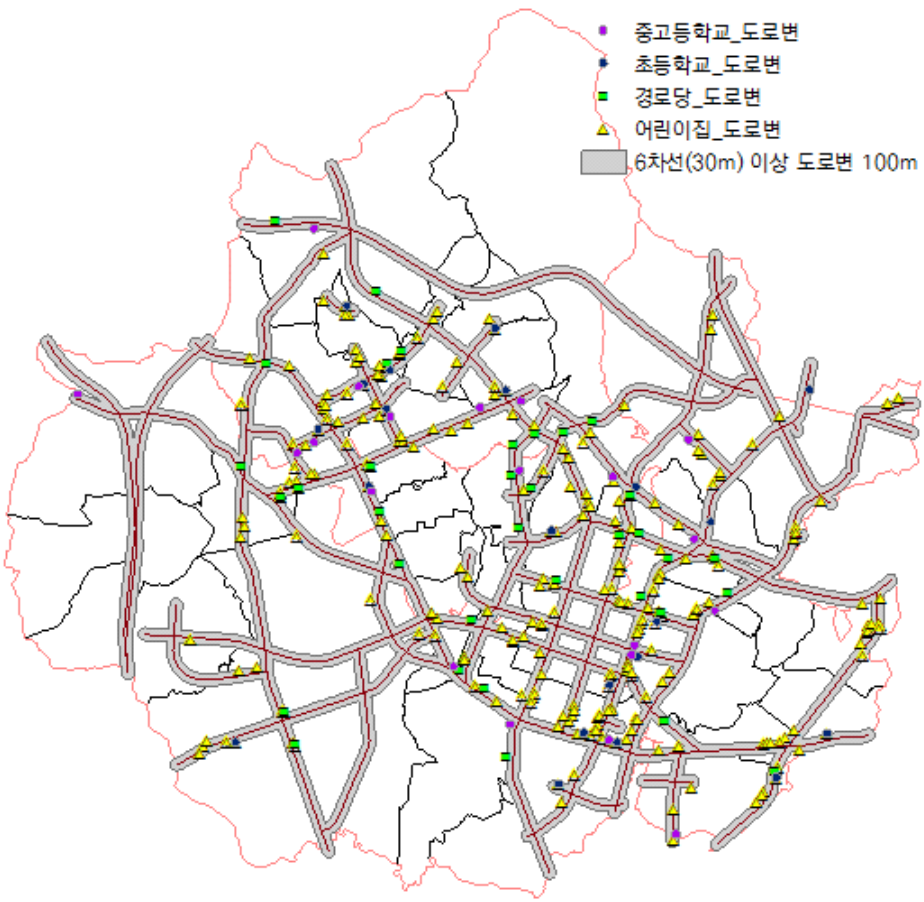

자료: 박진우 외, 국토지리학회지, 2018

수원시의 30m 이상(6차선 이상)의 도로에서 반경 100m는 다음 지도에 나타내었으며, 100m 반경 안에 위치한 대기오염민감군 이용시설 또한 다음 지도에 나타내었다. 전체 민감군 이용시설 1,722개 중 도로변에 위치한 민감군 이용시설은 20%로 나타났다. 시설별로 도로변 100m 내 위치한 민감군 이용시설은 전체 고등학교 중 25%가 위치해 있었고, 전체 경로당 중 22%가 도로변에 위치해 있었다. 향후 도로변에 위치한 학교에 미세먼지 고농도 발생 시 청소인력 충원 등 고려할 수 있다.

〈표 3-16〉 30m 이상 도로에서 100m 반경 내 위치한 민감군 이용시설

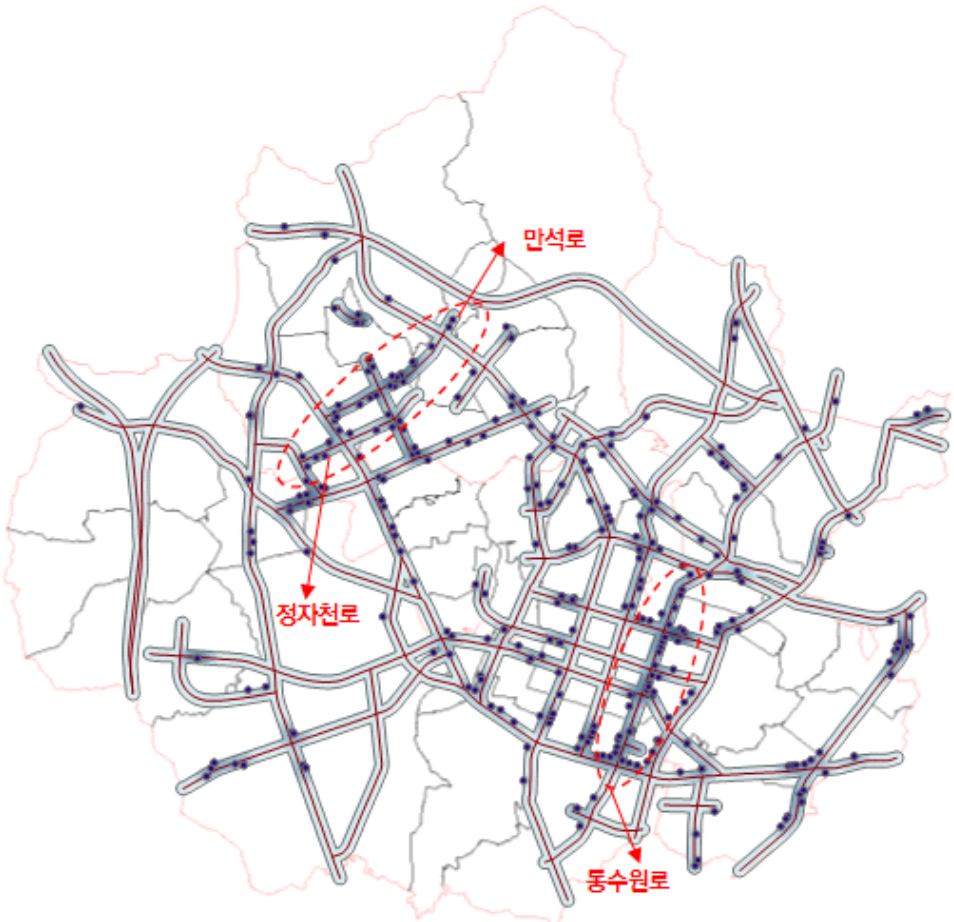
| 구분 | 합계 | 어린이집 | 유치원 | 초등학교 | 중학교 | 고등학교 | 경로당 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 도로에서 100m 내 위치 | 353<br>20% | 238<br>20% | 35<br>18% | 21<br>21% | 11<br>20% | 11<br>25% | 37<br>22% |
| 전체 시설 수 | 1,722<br>100% | 1,163<br>100% | 196<br>100% | 98<br>100% | 56<br>100% | 44<br>100% | 165<br>100% |

〈그림 3-22〉 수원시 30m이상 도로에서 100m 반경 내 위치한 대기오염 민감군 이용시설




도로변에 위치한 민감계층 이용시설들의 밀도분석을 하여 민감군 이용시설이 많이 분포되어 있는 도로를 살펴보았다. 다음 그림과 같이 민감군 이용시설이 많이 분포되어 있는 도로는 만석로와 정자천로, 동수원로로 나타났다. 따라서, 미세먼지 고농도 발생 시 민감군 이용시설이 집중된 도로를 집중관리(도로 청소 횟수 증가 등)하고, 민감군 이용시설은 실내공기질 관리 등 우선 순위 관리 지역 등으로 고려할 수 있을 것이다.

〈그림 3-23〉 30m 이상 도로에서 100m 이내 위치한 시설 밀도 분석




## 6. 수원시 대기오염물질 배출시설과 도로변 영향 종합

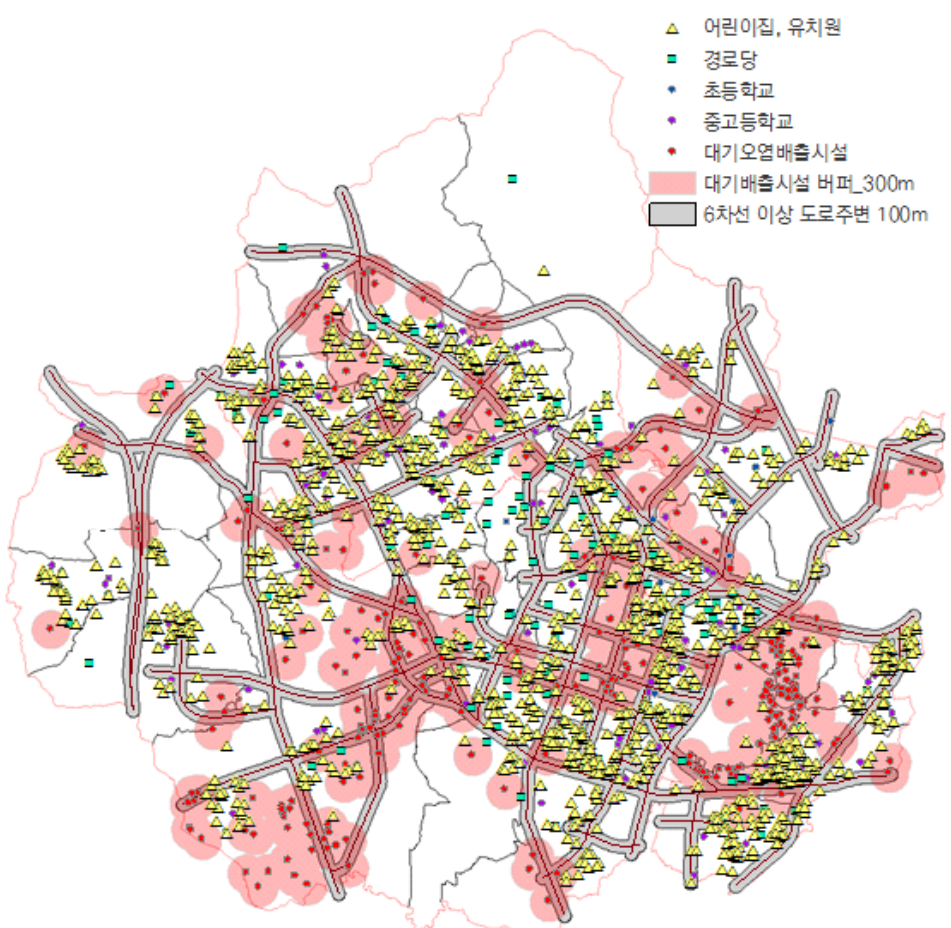
수원시 30m 이상 도로(6차선 이상)에서 100m 이내와 대기오염배출시설 300m 반경 내에 모두 위치한 대기오염 민감군 이용시설을 종합해보면 다음 표와 같다. 도로변과 대기배출시설 주변 영향권 모두 중첩되어 위치한 시설 수는 어린이집 66개소, 유치원 13개소, 초등학교 5개소, 중학교 2개소, 고등학교 1개소, 경로당 17개소로 총 104개소로 전체 시설 수 중 6%를 차지한다. 도로변과 대기배출시설 주변에 위치한 총 시설수는 724개소로 전체시설 수 중 42%이다. 민감군 이용시설 42%가 대기오염에 노출 되어 있는 것으로 볼 수 있다.

〈표 3-17〉 수원시 대기오염배출시설과 도로변 내 위치한 민감군 이용시설

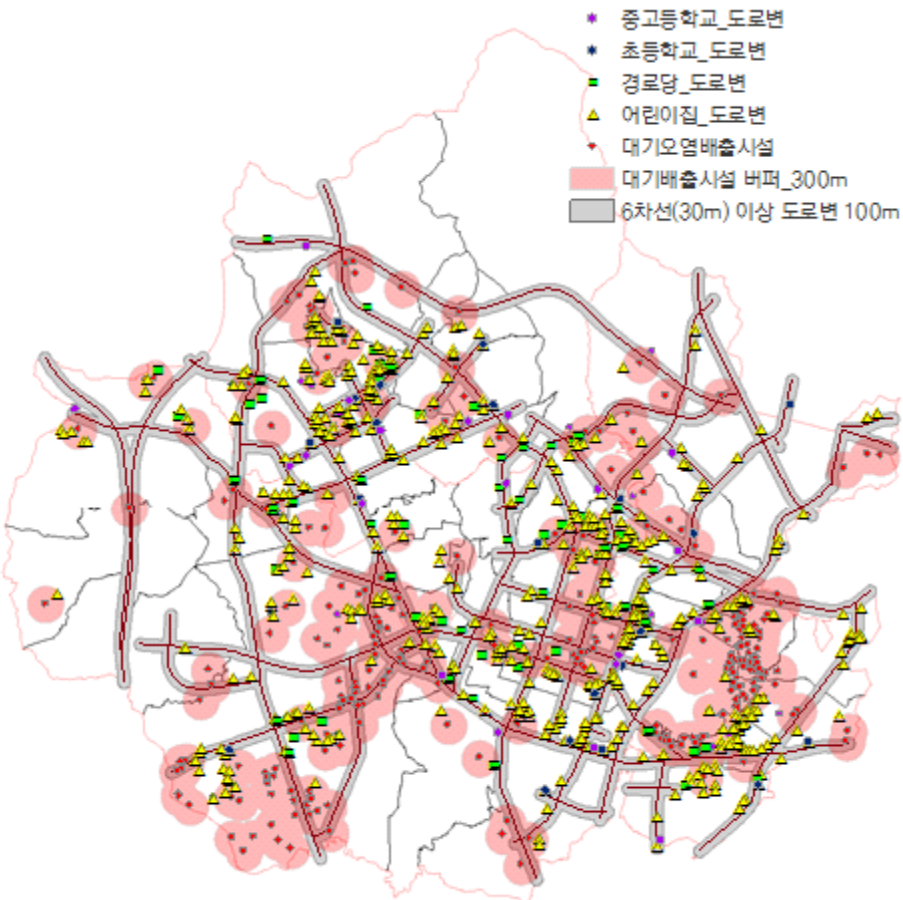
| 구분 | 합계 | 어린이집 | 유치원 | 초등학교 | 중학교 | 고등학교 | 경로당 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 도로변에 위치한 시설 수(A) | 353 (20%) | 238 (20%) | 35 (18%) | 21 (21%) | 11 (20%) | 11 (25%) | 37 (22%) |
| 대기배출시설 주변에 위치한 시설 수(B) | 475 (28%) | 321 (28%) | 56 (29%) | 27 (28%) | 9 (16%) | 8 (18%) | 54 (33%) |
| A∩B* | 104 (6%) | 66 (6%) | 13 (7%) | 5 (5%) | 2 (4%) | 1 (2%) | 17 (10%) |
| A∪B** | 724 (42%) | 493 (42%) | 78 (40%) | 43 (44%) | 18 (32%) | 18 (41%) | 74 (45%) |
| 전체 시설 수 | 1,722 (100%) | 1,163 (100%) | 196 (100%) | 98 (100%) | 56 (100%) | 44 (100%) | 165 (100%) |

*도로변과 대기배출시설 주변 둘다 중첩되어 위치한 시설 수
**도로변과 대기배출시설주변에 위치한 시설 수

〈그림 3-24〉 민감군 이용시설과 대기오염물질 배출시설 300m 반경, 도로변(100m 반경) 오염원



〈그림 3-25〉 30m이상 도로변(100m 내), 대기오염배출시설 주변(300m내) 위치한 민감군 이용시설



## 제4절 시사점

여러 문헌조사 결과를 토대로 대기오염 피해에 약한 민감군에는 생물학적 요인으로 영·유아, 어린이, 65세 이상 고령자, 건강요인으로 호흡기질환, 당뇨환자 등이 포함되며 사회경제적 요인으로 편모가정, 저소득계층을 포함할 수 있었다. 취약군은 노출강도가 높은 직업군으로 분류할 수 있었다.

국내의 경우 대기오염에 의한 취약지역 및 민감군 분류에 있어 사회경제적 요인(예: 저소득층)이나 노출요인(교통 혼잡 지역이나 배출원 인근 주민을 민감군으로 분류하지 않음)에 대한 고려가 없이 생물학적 요인에 의한 민감군을 대상으로 주요 정책이 수립되었다. 즉, 영유아, 노인 대상 미세먼지 피해 예방 정책은 많았으나, 오염물질의 상대적 노출도가 높으면서도 스스로를 보호하기 어려운 사회적 민감군(저소득계층)에 대한 지원이 미약하였다.

제3장에서는 또한 수원시 미세먼지 민감군 이용시설(학교, 어린이집 등)위치와 대기오염배출원의 위치를 통해 근접성을 분석하여 노출정도가 높을만한 시설을 알아보았다. 그 결과 대기오염배출시설(1~5종 대기배출시설)에서 반경 300m 내와 30m 이상(6차선 이상)의 6차선 이상 도로변(100m 반경)에 있는 민감군 이용시설이 파악되었다. 따라서 이들 시설은 관리 우선 대상 시설 및 지역으로 선정할 필요성이 있다. 또한 동수원로 등 3곳의 도로변에 민감군 이용시설이 집중 분포되어 있어 도로변 청소 계획 수립 시 이들 도로변을 집중구역으로 강조할 필요성이 있다.

또한  민감군 인구분포 분석 결과 영유아, 학생인구가 많은 곳은 신도시 영통동, 호매실동 등 신도시의 아파트 밀집지역 등이었으며 저소득층 인구와 노인인구 비율은 행궁동, 연무동 주변 구도심 중심으로 유사하게 분포하고 있었다. 특히 구도심 중심은 노인인구와 저소득층 인구 비율이 같이 높은 곳이며 건물 노후화 정도도 심한 곳이어서 이들 지역에 대한 노인 및 저소득층 실내공기질 관리 대책 마련이 필요할 것으로 보인다.

# 제4장
# 대기오염 건강피해 예방 및 대응방안 고찰

제1절 미세먼지 대응방안 사례 고찰
제2절 시사점

# 제4장 대기오염 건강피해 예방 및 대응방안 고찰

## 제1절 미세먼지 대응 방안 사례 고찰

### 1. 위기 대응방안

미세먼지 고농도 발생 시 실외활동 자제 및 황사마스크 착용 권고 등의 일반적인 수칙이 홍보되고 있다. 그러나 미세먼지 단기 노출만으로도 심각한 피해를 입을 수 있는 기저 만성 심혈관 또는 호흡기계질환자들에 대한 예방 및 치료 권고 지침은 아직 구체적으로 국내에 없는 상태이다(경선영 외, 2015). 미세먼지에 의해 호흡기 질환 악화 시에 아직 특별한 치료법은 없으나 앞으로는 더 많은 연구가 필요하다.

'미세먼지/황사 건강피해 예방 및 권고지침: 호흡기질환'(경선영 외, 2015. 미세먼지/황사 호흡기 질환 권고지침 개발위원회, 대한의사협회지) 논문에서 건강예방 및 관리 권고지침(호흡기 질환)을 환자용과 의료인용으로 제시하였으며 자세한 사항은 다음 내용과 같다.

**호흡기질환자 권고지침(환자용)**

- 호흡기질환자는 미세먼지에 노출되지 않는 것이 중요합니다.
- 실외활동을 제한하며, 창문을 닫고 주로 실내에서 지내세요.
- 부득이 외출을 해야 할 경우 만성폐쇄성폐질환 환자는 구제약물(속효성 기관지 확장제)을 반드시 소지하고 필요한 경우 사용하세요.
- 외출 시 미세먼지용 마스크의 착용은 반드시 의사와 상의 후 결정하세요. 만성호흡기질환자는 마스크의 사용이 오히려 위험할 수 있습니다.
  - · 마스크를 착용할 경우 올바른 사용법을 익히고 사용하세요.
  - · 마스크 착용 후 호흡곤란, 두통 등 불편감이 느껴지면 바로 벗으세요.
- 기존의 호흡기질환 치료제를 성실히 복용하세요.
- 미세먼지의 영향은 6주까지도 지속될 수 있으므로 꾸준히 관리하여야 합니다.
- 미세먼지 노출 후 호흡곤란, 가래, 기침, 발열 등 호흡기 증상이 악화되는 급성 악화의 경우는 바로 병원으로 가세요.

자료: 경선영 외, 2015. 미세먼지/황사 건강피해 예방 및 권고지침: 호흡기질환

**호흡기질환자 권고지침(의료인용)**

1) 미세먼지에 의한 호흡기질환(만성폐쇄성폐질환, 특발성 폐섬유화증)의 악화 시 적절한 약물치료에 대한 연구는 없습니다. 그러므로 미세먼지에 노출되지 않는 것이 중요합니다. 미세먼지가 증가하면 실외활동을 제한하며, 창문을 닫고 주로 실내에서 지내도록 해주십시오.
2) 부득이 외출을 해야 할 경우 만성폐쇄성폐질환 환자는 구제약물(속효성 기관지 확장제)을 반드시 소지하고 필요한 경우 사용하도록 권고 해주십시오.
3) 외출 시 미세먼지 방지용 마스크의 착용은 호흡기질환자는 매우 신중해야합니다. 미세먼지로부터 호흡기를 보호하는 목적으로 사용할 수 있는 마스크는 미세먼지 여과 기능이 있는 방역용마스크(KF94)와 황사용마스크(KF80)가 있습니다. 그러나 만성폐쇄성폐질환을 비롯한 만성 호흡기질환자들에게 마스크를 착용했을 때 효과나 부작용에 대한 연구 결과가 아직 없습니다. 만성 호흡부전(저산소증 또는 고이산화탄소혈증)이 있는 호흡기질환자의 경우, 안면부에 밀착되는 마스크는 환자의 호흡을 방해하여 저산소증이나 고이산화탄소혈증을 악화시킬 위험성이 있으므로 마스크 착용을 권고하지 마십시오. 그 외 마스크 착용을 권고할 시에는 첫째, 올바른 사용법을 교육하시고, 둘째, 두통이나 호흡의 불편감이 느껴진다면 바로 벗으시도록 교육하고 유의해 주십시오.
4) 미세먼지에 의한 호흡기질환의 급성 악화를 억제하는 약물치료는 명확하지 않습니다. 그러나 기존의 호흡기질환 치료제를 성실히 복용하도록 하고, 미세먼지 노출 후 호흡기에 미치는 영향은 6주까지 갈 수 있으므로 유의해야 합니다. 미세먼지 노출 후 호흡곤란, 가래, 기침, 발열 등 호흡기증상이 악화되는 경우는 바로 병원에 방문하도록 권고하십시오. 미세먼지에 의한 급성악화가 발생한 환자는 일반적인 기존의 호흡기질환의 급성악화 치료법에 준하여 치료하시길 권고합니다.

- 외출 시 미세먼지용 마스크의 착용은 반드시 의사와 상의 후 결정하세요. 만성호흡기질환자는 마스크의 사용이 오히려 위험할 수 있습니다.
  - 마스크를 착용할 경우 올바른 사용법을 익히고 사용하세요.
  - 마스크 착용 후 호흡곤란, 두통 등 불편감이 느껴지면 바로 벗으세요.
- 기존의 호흡기질환 치료제를 성실히 복용하세요.
- 미세먼지의 영향은 6주까지도 지속될 수 있으므로 꾸준히 관리하여야 합니다.
- 미세먼지 노출 후 호흡곤란, 가래, 기침, 발열 등 호흡기 증상이 악화되는 급성 악화의 경우는 바로 병원으로 가세요.

자료: 경선영 외, 2015. 미세먼지/황사 건강피해 예방 및 권고지침: 호흡기질환

## 2. 피해 예방방안

### 1) 대응 방침

환경부에서는 고농도 미세먼지 발생 또는 발생이 우려되는 경우 영·유아, 학생, 어르신 등 취약군을 보호하기 위해 단계별 관리체계 및 기관별 대응방향을 구체적으로 규정함으로써 체계적이고 신속하게 대응하여 건강상 영향을 최소화하기 위해 매뉴얼을 작성하였다.

- (환경부) 고농도 미세먼지 대응 총괄
  - 유관기관 협조 및 상황 전파 등 유기적 대응체계 구축
- (국립환경과학원, 지자체) 미세먼지 예·경보 상황전파
  - 고농도 미세먼지 관측 및 예측을 위한 예보시스템 구축
  - 방송, 인터넷 등 다각적 채널(방송, SMS, FAX, 포털사이트, 기관 홈페이지 및 모바일 앱 등)을 활용하여 국민들에게 고농도 미세먼지 발생상황을 신속·정확하게 전파

■ (광역자치단체) 경보 발령 및 해제

○ 경보(주의보, 경보) 발령 및 경보 단계별 조치사항 이행

■ (유관기관, 일선기관) 대응조치 이행 및 대국민 홍보

○ 고농도 미세먼지 발생 시 어린이, 학생 등의 건강상 피해를 예방하기 위한 조치사항 실시 및 조치결과 보고

## 2) 고농도 미세먼지 대응 업무 수행체계

### (1) 수행체계

〈그림 4-1〉 고농도 미세먼지 대응 업무 수행체계도

자료: 환경부, 2019. 영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼

수행체계를 보면 시·도교육청은 비상저감조치시 결과보고를 15일 이내에 시·도에 제출하는 것을 원칙으로 하고 있다. 단, 각급학교, 어린이집, 노인요양시설의 비상저감조치 결과보고는 생략가능하다.

〈표 4-1〉 기관별 단계별 조치사항 요약

| 구분 | 사전대비 대응 | 고농도 예보 | 고농도 발생 | 주의보 발령 | 경보 발령 | 발령 해제 | 조치결과 등 보고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 환경부 | 사전조치 사항 총괄 | 발생상황 파악, 대응상황 점거 등 | 밟생상황(나쁨단계)대처 상황 확인, 모니터링 강화 | 모니터링 지속, 대처상황 확인 | 중앙대책상황반 운영, 모니터링 지속, 대처상황확인 | 발령해제 접수, 피해 파악 등 총괄 | 조치결과 종합보고, 개선방안 마련 등 |
| 국립환경과학원 | - | 예보 생성, 전파 모니터링 강화 | 모니터링 강화 | 모니터링 지속 | 중앙 상황반 운영, 모니터링 지속 | 발령해제 접수 | - |
| 한국환경공단 | - | 예보 및 행동요령 전파 | 모니터링 강화 | 모니터링 지속 | 중앙 상황반 운영, 모니터링 지속 | 발령해제 접수 | - |
| 기상청 | - | 기상예보 생성,전파 | 모니터링 강화 | 모니터링 지속 | 모니터링 지속 | - | - |
| 교육부 | 실무매뉴얼 점검 및 정비 일선 기관 교육 등 | 예보확인 | 발생상황 확인, 대응조치 확인 | 발생상황 확인, 조치사항 확인 | 발령상황 확인, 조치사항 확인 | - | 담당자 지정현황, 조치결과 보고(3월,9월 환경부) |
| 보건복지부 | 실무매뉴얼 점검 및 정비 일선 기관 교육 등 | 예보확인 | 발생상황 확인, 대응조치 확인 | 발생상황 확인, 조치사항 확인 | 발령상황 확인, 조치사항 확인 | - | 담당자 지정현황, 조치결과 보고(3~9월 환경부) |
| 광역자치단체 (시, 도 총괄부서) | 연락체계 점검 사전 대응계획 마련 | 예보확인 | 발생상황 확인, 대응조치 협조요청, 모니터링 강화 | 주의보 발령 전파, 조치사항 전파, 이행이동상황 파악 등 | 경보발령 전파, 재난문자방송 송출, 지역상황반 운영 | 발령해제 전파 | 시도 조치결과 보고 |

| 구분 | 사전대비 대응 | 고농도 예보 | 고농도 발생 | 주의보 발령 | 경보 발령 | 발령 해제 | 조치결과 등 보고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 시도 교육청 | 연락체계 점검 사전 대응계획 마련 | 예보확인 | 대응조치 실시 요청, 대처상황 확인 | 발령상황 확인, 등하교 시간 조정 등 대응조치 실시 | 등하교시간 조정 등 대응조치 실시, 비상대책반 운영 | 발령해제 전파 | 결과보고(3월, 9월 교육부) |
| 기초자치 단체(시, 군, 구) | 연락체계 점검 사전 대응계획 마련 | 예보확인 | 대응조치 실시 요청, 대처상황 확인 | 발생상황 확인, 대처상황 확인, 조치상황 확인 | 발생상황 확인, 대처상황 확인, 조치상황 확인 | 발령해제 전파 | 조치결과보고(종료 후 7일 이내 취합 및 시도 보고) |
| 각급학교 | 매뉴얼 숙지 및 사전준비 | 예보확인 행동요령 공지, 대응방안 검토 | 발령상황 수시확인, 실외수업활동 자제 등 대응조치 실시 | 발생상황 수시확인, 실외수업활동 자제 등 대응조치 실시 | 발령상황 수시확인, 실외수업활동 자제 등 대응조치 실시 | 해제상황 수시확인, 실내외 환기, 청소 등 실시 | 조치결과보고(종료 후 7일 이내 취합 및 교육청 보고) |
| 어린이집 노인요양 시설 | 매뉴얼 숙지 및 사전준비 | 예보확인 행동요령 공지, 대응방안 검토 | 발령상황 수시확인, 실외수업활동 자제 등 대응조치 실시 | 발령상황 수시확인, 실외수업 단축 또는 금지 등 대응조치 실시 | 발령상황 수시확인, 실외수업 금지, 질환자 팡가 등 대응조치 실시 | 해제상황 수시확인, 실내외 환기, 청소 등 실시 | 조치결과보고(종료 후 시군구 보고, 7일 이내 시도보고) |

자료: 환경부, 2019. 영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼

### 3) 고농도 미세먼지 단계별 대응요령

고농도 미세먼지 단계별 대응요령은 일반인과 영유아·학생·어르신으로 구분하였으며, 자세한 내용은 다음표와 같다.

〈표 4-2〉 고농도 미세먼지 단계별 대응요령

| 단계 | 내용 | |
|---|---|---|
| | 영유아 · 학생 · 어르신 | 일반 국민 |
| 1단계<br>고농도 발생 | 1. 가급적 외출 자제<br>2. 외출시 보건용 마스크 착용<br>3. 외출시 대기오염이 심한 도로변, 공사장은 피하고 활동량 줄이기<br>4. 대기오염 유발행위 자제하기(대중교통 이용 등) | |
| 2단계<br>비상저감조치<br>발령 | 1. 에어코리아 우리동네 대기질 모바일 앱 활용 미세먼지 농도 수시 확인<br>2. TV방송(기상예보)미세먼지 확인<br>3. 차량 2부제 대비 교통수단 점검하기<br>4. 보건용 마스크(KF80, KF94, KF99)준비하기 | |
| 3단계<br>비상저감조치<br>시행 | 1. 홀수날에는 홀수 차량이, 짝수날에는 짝수 차량이 운행<br>2. 서울시 공공기관 주차장 폐쇄, 체육·문화·의료시설 주차장은 차량 2부제(인천, 경기 자율 참여) | |
| 4단계<br>주의보 발령 | 1. 실외수업(활동) 단축 또는 금지<br>2. 이용시설 내 기계, 기구류 세척 등 식당 위생 관리 강화 | 1. 가급적 외출 자제하기<br>2. 외출시 보건용 마스크 착용하기<br>3. 외출시 대기오염이 심한 도로변, 공사장은 피하고 활동량 줄이기<br>4. 대기오염 유발행위 자제하기(대중교통 이용 등)<br>※마스크 착용 시 호흡이 불편할 경우 사용을 중지하고 전문가 상담 필요 |
| 5단계<br>경보 발령 | 1. 등 · 하교 시간조정, 휴교 조치 검토<br>2. 질환자 파악 및 특별관리(진료, 조기귀가 등) | 1. 가급적 외출 자제하기<br>2. 외출시 보건용 마스크 착용하기<br>3. 외출시 대기오염이 심한 도로변, 공사장은 피하고 활동량 줄이기<br>4. 대기오염 유발행위 자제하기(대중교통 이용 등)<br>※마스크 착용 시 호흡이 불편할 경우 사용을 중지하고 전문가 상담 필요 |
| 6단계<br>주의보 · 경보<br>해제 | 1. 외출 후 깨끗이 씻기<br>2. 물과 비타민C가 풍부한 과일, 야채 섭취하기<br>3 실내 공기질 관리하기<br>- 실내외 공기 오염도를 고려하여 적절한 환기 실시 하기<br>- 실내 물걸레질 등 물청소하기 | |

자료: 환경부

### 4) 고농도 미세먼지 계층별 대응요령

환경부 에어코리아 홈페이지에 미세먼지 행동요령으로 계층별 대응요령을 안내하고 있으며 자세한 내용은 다음 표와 같다.

〈표 4-3〉 학생(유치원, 초·중·고등학교)

| 단계 | 대 응 요 령 |
|---|---|
| 평시<br>사전준비사항 포함 | • 평상시 환기는 하루 두 번(오전, 오후) 이상 30분씩 실시<br>• 미세먼지 '나쁨' 이상일 경우 자연환기 자제<br>(실내공기질 오염상황에 따라 필요한 경우 짧게 환기 후 물청소)<br>• 환기시설은 수시로 청소<br>(1일 8시간 사용 시 일주일에 1회, 3~4시간 사용 시 2주일에 1회 이상 권장)<br>• 월 1회 이상 천장, 벽면, 창틀 및 방충망 등에 먼지가 쌓이지 않도록 물걸레 청소<br>• 출입구에 먼지제거용 바닥 매트 설치, 실내에서는 실내화 착용 권장<br>• 고농도 미세먼지 발생시 대처방안에 대한 숙지<br>• 학생 및 보호자 비상연락망 구축<br>• 보호자 대상 대기오염 피해예방, 대응조치, 행동요령을 지도 홍보<br>• 고농도 미세먼지 상황 대비 실외수업(활동) 대체를 위한 사전계획 마련<br>- 수업전환 기준 및 대체안(실내체육, 단축수업, 임시휴업, 일정연기 등) 마련<br>• 호흡기질환 등 관심이 필요한 학생(유·초·중·고등학교) 관리대책 마련<br>- 현황 파악, 위생점검 및 건강체크, 응급조치 요령 등 숙지<br>• 보건용 마스크, 상비약(안약, 아토피연고 등) 비치 및 점검<br>• 실내 미세먼지 유지기준(PM10100㎍/㎥, PM2.535㎍/㎥) 준수 |
| 고농도 예보<br>익일예보 "나쁨"이상 | • 보호자 비상연락망, 안내문 등을 통한 예보상황 및 행동요령 공지<br>• 익일 예정된 실외수업(활동)에 대한 점검(수업대체 여부 검토 등)<br>• 미세먼지 예보 상황 및 농도변화 수시 확인<br>※ 에어코리아(airkorea.or.kr), '우리동네 대기질' 모바일앱 활용 |
| 고농도 발생<br>PM10 81이상 또는<br>PM2.5 36이상 1시간 지속 | • 담당자는 미세먼지 농도를 수시로 확인, 기관 내 상황 전파<br>• 학생 대상 행동요령* 교육 및 실천<br>* 실외 활동 자제, 외출시 마스크 쓰기, 도로변 이동 자제, 깨끗이 씻기 등<br>• 실외수업(활동) 자제(실내수업 대체), 바깥공기 유입 차단(창문닫기)<br>• 호흡기 질환 등 관심이 필요한 학생 관리대책 이행<br>• 실내공기질 관리(예 : 물걸레질 청소 등) |
| 주의보<br>PM10 150이상 또는<br>PM2.5 75이상 2시간 지속 | • 실외수업(활동) 단축 또는 금지, 필요시 등·하교(원) 시간 조정 등 검토<br>※ 실외 체육활동, 현장학습, 운동회 등을 실내수업(활동)으로 대체<br>• 시설 내 기계, 기구류, 식재료 세척 등 식당 위생관리 강화 |
| 경보<br>PM10 300이상 또는<br>PM2.5 150이상 2시간<br>지속 | • 실외수업(활동) 금지, 등·하교(원) 시간조정 및 휴교권고<br>• 질환자 파악 및 특별관리 |

자료: 환경부, 2019. 영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼

〈표 4-4〉 어르신(노인요양시설)

| 단계 | 대 응 요 령 |
|---|---|
| 평시<br>사전준비사항 포함 | • 평상시 환기는 하루 두 번(오전, 오후) 이상 30분씩 실시<br>• 미세먼지 '나쁨' 이상일 경우 자연환기 자제<br>(실내공기질 오염상황에 따라 필요한 경우 짧게 환기 후 물청소)<br>• 환기시설은 수시로 청소<br>(1일 8시간 사용 시 일주일에 1회, 3~4시간 사용 시 2주일에 1회 이상 권장)<br>• 월 1회 이상 천장, 벽면, 창틀 및 방충망 등에 먼지가 쌓이지 않도록 물걸레 청소<br>• 출입구에 먼지제거용 바닥 매트 설치, 실내에서는 반드시 실내화 착용<br>• 고농도 미세먼지 발생시 대처방안에 대한 숙지<br>• 시설 내 어르신 비상연락망 구축<br>• 어르신 및 보호자대상 대기오염 피해예방, 대응조치 행동요령을 지도 홍보<br>• 호흡기질환 등 관심이 필요한 어르신에 대한 관리대책 마련<br>- 현황 파악, 위생점검 및 건강체크, 응급조치 요령 등 숙지<br>• 보건용 마스크, 상비약(안약, 아토피연고 등) 등 비치 및 점검<br>• 실내 미세먼지 유지기준(PM10100㎍/㎥) 준수<br>• 실내 미세먼지 권고기준(PM2.570㎍/㎥) 준수 노력 |
| 고농도 예보<br>익일예보 "나쁨"이상 | • 비상연락망, 안내문 등을 통한 예보상황 및 행동요령 공지<br>• 미세먼지 예보 상황 및 농도변화 수시 확인<br>※ 에어코리아(airkorea.or.kr), '우리동네 대기질' 모바일앱 활용 |
| 고농도 발생<br>PM10 81이상 또는<br>PM2.5 36이상 1시간 지속 | • 시설 담당자는 미세먼지 농도를 수시로 확인, 기관 내 상황 전파<br>• 어르신 대상 행동요령* 교육 및 실천<br>* 외출 자제, 외출시 마스크 쓰기, 도로변 이동 자제, 깨끗이 씻기 등<br>• 실외활동 자제, 실내생활 권고, 바깥공기 유입 차단(창문닫기)<br>• 호흡기 질환 등 관심이 필요한 어르신 관리대책 이행<br>• 실내공기질 관리(예 : 물걸레질 청소 등) |
| 주의보<br>PM10 150이상 또는<br>PM2.5 75이상 2시간 지속 | • 실외활동 자제 및 실내생활 권고<br>• 시설 내 기계, 기구류, 식재료 세척 등 식당 위생관리 강화 |
| 경보<br>PM10 300이상 또는<br>PM2.5 150이상 2시간<br>지속 | • 실외활동 금지 및 실내생활 권고<br>• 질환자 파악 및 특별관리(진료 등) |

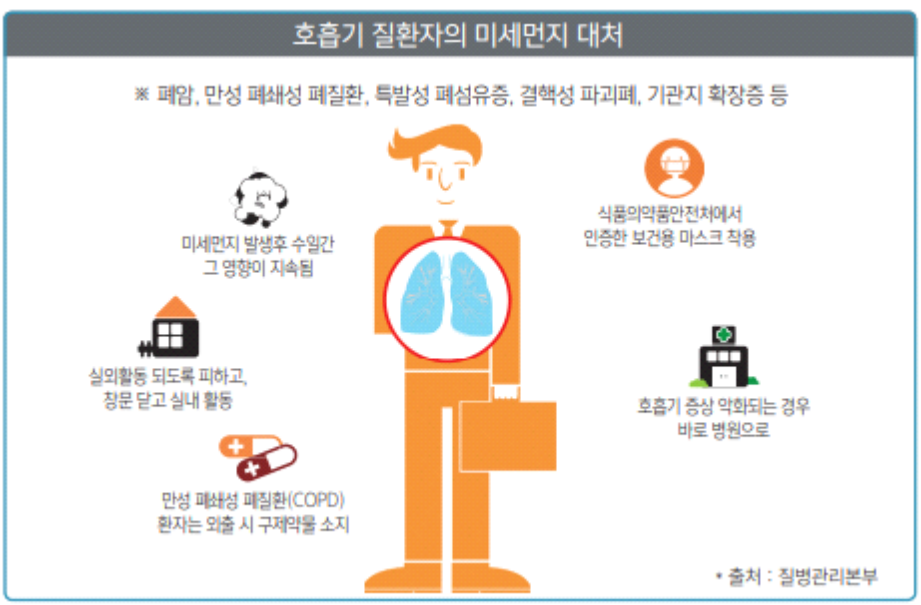
자료: 환경부, 2019. 영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼

### 5) 호흡기·심혈관 질환자, 천식환자의 미세먼지 대처방법

환경부에서는 미세먼지 민감군인 호흡기·심혈관 질환자, 천식환자의 미세먼지 대처법 등을 안내하고 있다. 질병관리본부에 따르면, 미세먼지(PM10) 농도가 10㎍/㎥ 증가할 때마다 만성폐쇄성 폐질환으로 인한 입원율은 2.7%, 사망률은 1.1% 증가한다(환경부, 2016). 특히, 미세먼지(PM2.5) 농도가 10㎍/㎥ 증가할 때마다 폐암 발생률이 9% 증가하는 것으로 나타났다(환경부, 2016). 따라서 호흡기 질환자는 미세먼지에 장시간 노출되지 않도록 주의하는 것이 가장 중요하다. 만성 폐쇄성 폐질환(COPD) 환자는 미세먼지 농도가 '나쁨'이상인 날 부득이하게 외출할 때에는 치료약물(속효성 기관지 확장제)을 준비하는 것이 좋다(환경부, 2016).

만성 호흡기 질환자는 마스크를 착용할 경우 공기순환이 잘 되지 않아 위험할 수 있기 때문에 마스크 착용 여부를 사전에 의사와 상의하는 것이 바람직하다. 마스크 착용 후 두통, 호흡곤란 등 불편함이 느껴지면 바로 벗어야 한다. 또한 미세먼지에 노출된 후 가래, 기침, 발열, 호흡곤란 등 호흡기 증상이 악화될 경우에는 병원을 방문하도록 권고하였다.

〈그림 4-2〉 호흡기 질환자의 미세먼지 대처



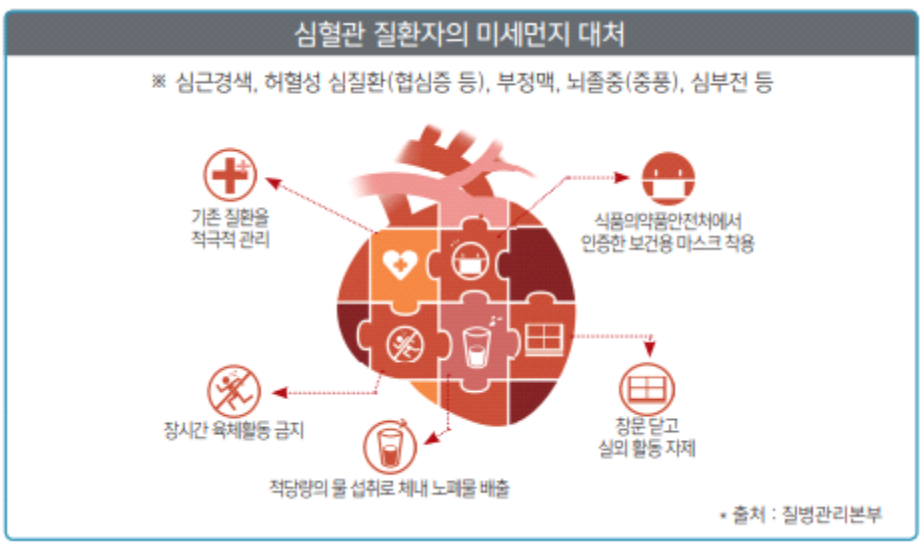

자료: 환경부, 2016. 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?

미세먼지는 앞서 서술한 바와 같이 폐포를 통하여 혈관에 침투해 염증을 일으킬 수 있으며, 혈관에 손상을 주어 협심증이나 뇌졸중으로 이어질 수 있다. 특히, 심혈관 질환을 앓고 있는 노인은 미세먼지가 쌓이면 산소 교환이 원활하지 못해 병이 악화될 수 있다. 질병관리본

부에 따르면, 미세먼지(PM2.5)에 장기간 노출될 경우  협심증, 심근경색, 심장마비 등의 사망률은 30~80% 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 심혈관 질환자도 가급적 미세먼지에 노출되지 않는 것이 중요하다. 미세먼지 농도가 '매우나쁨' 혹은 '나쁨'일 때뿐만 아니라 '보통'일 때에도 몸의 상태가 좋지 않다면 가급적 창문을 닫고 불필요한 외출을 삼가는 것이 좋다. 심혈관 질환자가 마스크를 착용할 경우 공기 순환이 차단되어 위험할 수 있으므로, 외출 시 식품의약품안전처에서 인증한 보건용 마스크 착용여부를 사전에 의사와 상의하는 것이 바람직하다(환경부, 2016).

〈그림 4-3〉 심혈관 질환자의 미세먼지 대처




자료: 환경부, 2016. 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?

질병관리본부에 따르면 미세먼지에 장기간 노출될 경우 폐 기능을 떨어뜨리고 천식조절에 부정적 영향을 미치며, 심한 경우에는 천식 발작으로 이어지기도 한다. 미세먼지가 '나쁨' 이상인 날에는 실외 활동을 자제하는 것이 바람직하다. 어린이 천식환자는 유치원이나 학교 보건실에 증상완화제를 맡겨 두어 필요한 경우 언제든 사용할 수 있도록 함이 좋다.

천식 환자 또한 마스크 사용이 오히려 위험할 수 있으므로 외출 시 식품의약품안전처에서 인증한 보건용 마스크 착용여부를 사전에 의사와 상의하는 것이 좋다. 또한 비염과 같은 질환을 함께 앓고 있는 천식환자가 고농도 미세먼지에 장기간 노출된 경우에는 의사와 상담하여 미세먼지로 인해 질병이 악화되었는지를 확인하는 것이 안전하다(환경부, 2016).

〈그림 4-4〉 천식환자의 미세먼지 대처

자료: 환경부, 2016. 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?

### 6) 실외 작업자를 위한 고농도 미세먼지 대응요령

실외작업자는 실외환경과 차이가 없는 개방된 실내공간 또는 미세먼지가 지속적으로 발생하는 실내공간에서 일하는 작업자를 말하며, 환경부에서는「대기환경보전법」 제7조의2(대기오염도 예측·발표) 및 제8조(대기오염에 대한 경보) 등을 근거로 고농도 미세먼지 또는 오존 발생 시 실외 작업자의 건강 보호를 위한 일반적인 권장사항을 제시하였다(환경부, 2018). 관련 부처 · 기관 · 사업장 등은 요령을 참조하여, 고농도 미세먼지 또는 오존이 발생하였을 때 실외작업자의 건강보호를 위한 대응절차 및 제반 조치사항을 포함한 세부지침을 작성·비치하고 교육하는 것을 권장하고 있다(환경부, 2018).

실외작업자 미세먼지 대응요령은 다음 표와 같다.

〈표 4-5〉 실외작업자 대응요령

| 단계 | 예보 등급 | 대 응 요 령 |
|---|---|---|
| 사전준비<br>PM10 81 이상 또는<br>PM2.5 36 이상<br><br>* 중점 대응시기 :<br>겨울·봄 | 나쁨 | • 민감군 사전확인<br>- 만성 폐질환자, 심장질환자, 고령자, 임산부 등<br>• 비상연락망 구축<br>• 미세먼지 대응요령 및 마스크 착용 교육<br>• 마스크 비치 및 휴식공간 확보<br>• 미세먼지 예보 및 농도 수시 확인<br>- TV, 라디오, 인터넷(에어코리아), 모바일앱(우리동네대기질)<br><br>〈 추가 권장사항 〉<br>• 업무 담당자는 대응요령을 숙지할 수 있도록 평시에 교육<br>• 민감군에 대해서는 가급적 평시에 사전확인<br>• 미세먼지 “나쁨” 또는 비상저감조치 시행시 민감군과 장시간 작업자는 필요에 따라 마스크를 착용할 수 있도록 조치하고, 민감군에 대해서는 휴식시간 추가 배정을 검토<br>※ 마스크 착용시 호흡이 불편한 경우 착용을 중지하고 의사 등 전문가 상담 |
| 주의보<br>PM10 150이상 또는<br>PM2.5 75이상<br><br>* 2시간 이상 지속시<br>주의보 발령 | 매우 나쁨 | • 미세먼지 농도 또는 주의보 발령 사실 및 조치사항 전파<br>• 마스크 지급 및 착용<br>※ 마스크 착용시 호흡이 불편한 경우 착용을 중지하고 의사 등 전문가 상담<br>• 평소보다 자주 휴식<br>• 민감군, 중작업자에게 휴식시간 추가 배정 |
| 경보<br>PM10 300이상 또는<br>PM2.5 150이상<br>* 2시간 이상 지속시<br>경보 발령 | | • 미세먼지 농도 또는 경보 발령 사실 및 조치사항 전파<br>• 마스크 지급 및 착용<br>※ 마스크 착용시 호흡이 불편한 경우 착용을 중지하고 의사 등 전문가 상담<br>• 평소보다 더욱 자주 휴식<br>• 민감군, 중작업자는 실외작업 제한<br><br>〈 추가 권장사항 〉<br>• 경보상황 지속 또는 악화시 조업시간 단축 등 작업 조정<br>• 황사경보 발령시 실외작업 중단 및 사업장 안전·작업자 건강 확인 |

※ 이상 징후자에 대해서는 작업을 중단하고 휴식하거나 의사의 진료를 받도록 조치
※ 각 단계별 조치는 이전 단계의 필요한 조치를 포함
※ 한파 등이 동반되는 경우 추가 휴식시간을 부여하는 등 부가적 조치 검토
자료: 환경부, 2018. 실외 작업자를 위한 고농도 미세먼지·오존 대응요령

## 제2절 시사점

국가 및 지자체의 미세먼지 대응방안은 민감군, 취약군에 대해 '고농도 사례 발생 시에 대한 대응방안이 주를 이루었다. 고농도 사례 발생 시 신속한 예·경보 정보 제공, 마스크 보급, 실외활동 제한 등의 대응방안을 통해 민감군과 취약군의 대기오염에의 노출을 줄이는 방식의 정책이었다.

그러나 미세먼지 고농도 사례 발생 이외에도 국지적이기는 하나 평상시 노출강도가 높은 지역에서 생활하는 민감군이나, 일반인보다 평상시 노출량이 많은 취약군에 대해서는 평상시 지속적인 피해저감 대책이 필요하다.

피해저감 대책은 고농도시 주의해야 하는 행동강령에 대한 대응방안이 주를 이루었기에, 실제 건강피해가 발생했을 때의 대처방안은 미약하였다. 또한 미세먼지의 피해에 대해 충분한 인지와 함께 경각심을 갖고 있는 생물학적(영유아나 노인, 기저질환자 등) 민감군에 대한 홍보 및 안내는 많았으나, 상대적으로 대기오염문제에 민감하게 대응할 수 없거나 관심이 없는 사회적 취약군에 대한 정책 홍보, 맞춤형 대응 정책은 부족했다.

대기오염에 노출되는 농도가 상대적으로 일반인보다 높아 취약군으로 분류되는 실외근무자에 대한 매뉴얼은 잘 작성되어 있으나 실제로 얼마나 잘 지켜지고 있는지에 대한 모니터링이나 강제사항 등이 없었기에 실효성에 대한 평가 및 사후관리가 필요할 것이다.

# 제5장
# 수원시 대기오염 민감군 피해저감 방안 및 정책 방향

제1절 관리 우선순위 선정 및 관리방안

# 제5장 수원시 대기오염 민감군 피해저감 및 정책 방향

## 제1절 관리 우선 순위 선정 및 관리 방안

### 1. 우선 순위 선정 방향

대기환경문제에서 중국이 미치는 영향, 가스상 대기오염물질들이 공기 중에서 미세먼지나 오존으로 바뀌어 건강피해를 가중하는 부문, 미세먼지에 의한 대상별 건강피해처럼 아직 잘 모르는 부분을 진전시키기 위해 현상파악과 분석이 진행 중이다. 미세먼지 저감 정책 등이 잘 추진되려면 이행평가 및 피드백 방안 마련이 중요하며 이를 위해 철저한 검증과 감시 모니터링 등의 확충이 중요하다.

앞장에 서술한 바와 같이 무엇보다 미세먼지 피해위험으로부터 스스로 보호조치를 취하기 어려운 민감군과 취약지역에 대한 우선적이고 세심한 지원이 필요할 것이다. 대기오염 민감군 피해저감 방안을 위해서 대기오염배출업소와의 근거리, 도로와의 근거리에 있는 취약군 이용 시설에 우선 실태 조사 및 지원 대책을 마련해야 한다.

본 연구에서 제안하는 우선 순위선정 방향은 ①오염원 근거리 중복 여부 ②대상에 대한 직접적 관리가 어려운 오염원 우선 ③규모가 크고 그동안의 예산지원이 어려웠던 시설 우선 순이다.

단위 배출원인 대기오염배출시설은 개별 시설에 대한 방재시설 설치나 배출제한 등 오염원 발생 제어가 가능하지만, 도로변의 경우 통행하는 차량이 정해져있지 않고 그 수가 많아 시설 개선이나 운행 제한 등의 정책을 바로 집행하기가 어렵기 때문에 우선순위 2번으로 제안하였다. 또한, 민감군 이용시설의 경우 어린이집이나 유치원은 그동안 실내공기질 개선 지원사업에 의해 실태조사, 방재시설 지원(예: 공기청정기 지원사업) 등이 추진되었다. 따라서 규모가 크고 그동안 예산지원이 어려웠으며, 시설에 머무는 시간이 긴 청소년까지 포함하는 초중고등학교를 우선 순위 1번으로 제안하고 어린이집과 유치원은 3번으로 제안하였다.

〈그림 5-1〉 우선순위 선정방향(오염원)

〈그림 5-2〉 우선순위 선정방향(민감군이용시설)

※ 수원시 어린이집, 유치원은 실내공기질 전수조사 실시, 공기청정기 보유

## 2. 우심 지역과 민감군 이용시설 관리 방안

우심지역이나 민감군 이용시설 관리를 추진할 경우 신청이나 선착순에 의한 지원보다는 본 연구에서 분석한 결과를 바탕으로 우심지역 대상의 자체 우선순위를 바탕으로 우심지역 우선 추진 원칙이 필요하다. 이를 통해 한정된 예산으로 연차별 단계적인 정책 추진에서 그 효과성을 더 높일 수 있을 것이다.

우심지역과 민감군 이용시설 유형별 관리방안은 다음 그림과 같이 제안한다. 민감군 이용시설이 다수 분포하고 있는 도로에는 가로청소 및 도로변 청소 횟수를 증가하고, 도로변 띠녹지를 확대하여 대기오염물질 흡수능을 강화시키도록 해야 할 것이다. 또한 해당지역에 민감군 이용시설을 입지시키고자 한다면, 주변 대기오염원을 파악하고 차량이 많은 도로변이나 대기배출시설과의 이격거리 등을 고려해야 할 것이다.

도로변이나 대기오염물질배출시설 인접에 위치한 학교일 경우 봄과 가을과 같은 대기오염

이 심한 시기에 학교 청소인력 지원을 하여 깨끗한 실내환경을 조성하도록 한다. 호흡기 및 비염질환자 등 환자 사전 교육과 피해 발생 시 신속하게 대응할 수 있도록 대응방안을 항상 숙지하도록 해야 한다. 또한 학교 숲과 띠녹지 조성사업을 우심지역 우선으로 확대하도록 제안한다.

도로변이나 대기오염배출시설에 인접한 어르신보호시설의 경우 찾아가는 실내공기질 관리사업을 시행하고 사회복지사를 통한 미세먼지 대응 교육 및 안내를 실시한다. 우심지역 내 시설을 우선으로 녹지 조성, 옥상 녹화 등의 사업을 추진하도록 제안한다.

대기오염 민감군이나 저소득층 등의 취약군 비율이 높은 지역에는 폭염대피소와 같이 고농도 미세먼지 사례시 실내에서 쉽게 휴식을 취할 수 있는 미세먼지 대피소를 운영할 것을 제안한다. 그리고 사회복지사와의 연계를 통한 찾아가는 실내공기질 관리사를 운영하여 자발적으로 또는 직접 실내공기질 관리가 어려운 민감군 대상으로 실내환경 개선사업(실내 청소, 벽지 및 장판 보수, 창틀 보수 등)과 건강영향에 대한 주기적 모니터링을 하도록 제안한다.

〈그림 5-3〉 우심지역과 민감군 이용시설 관리방안

| | |
|---|---|
| 민감군 이용시설<br>다수 분포 도로변<br>(만석로 외) | • 평상시 가로청소 및 도로변 청소 횟수 증가<br>• 도로변 띠녹지를 확대하여 대기오염흡수 강화<br>• 민감군 이용시설 신규 입지 제한 |
| 우심지역 시설<br>(학교) | • 봄·가을 대기오염이 심한 집중시기 학교 청소인력 지원<br>• 호흡기 및 알러지 (비염 등) 환자 사전 교육, 피해 발생시 신속 대응<br>• 학교 숲 및 띠녹지 조성 |
| 우심지역 시설<br>(어르신 보호시설) | • 찾아가는 실내공기질 관리 (실내공기질 관리 대행)<br>• 사회복지사를 통한 미세먼지 대응 교육 및 안내 실시<br>• 시설 주변 녹지 조성, 옥상 녹화 |
| 민감군<br>집중거주 지역 | • 미세먼지 대피소 (예: 폭염대피소와 같이 미세먼지 고농도시 낮시간동안 안전하게 있을 수 있는 공간) 운영<br>• 찾아가는 실내공기질 관리사 운영 (저소득층 및 어르신 가정 실내환경 개선 및 모니터링) |

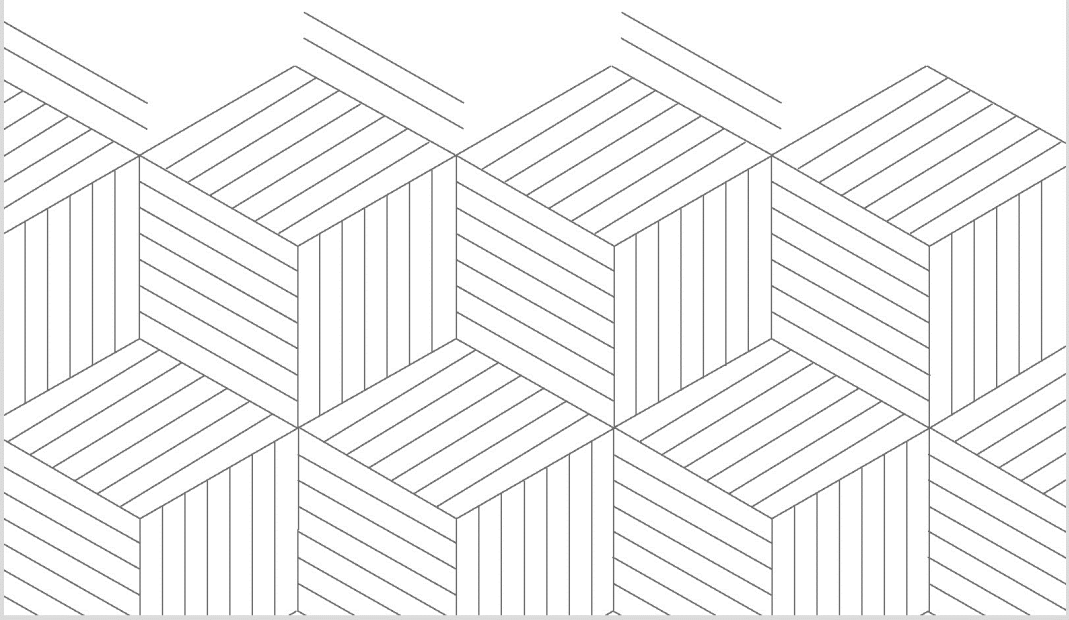
또한, 실외 근무자의 경우 평상시 미세먼지 대응 실태조사와 모니터링을 실시하여 환경부에서 배포한 실외 작업자를 위한 미세먼지 대응요령 등을 잘 지키는지 관리해야할 것이다.

〈그림 5-4〉 실외근무자 관리 방안

| | |
|---|---|
| 실외근무자 | • 공공 실외근무자 (환경미화원, 주차장 관리, 건설업) 대상 평상시 미세먼지 대응 실태조사 및 모니터링 |

# 제5장
# 결론

제1절 연구의 의의
제2절 정책 제언



# 제6장 결론

## 제1절 연구의 의의

### 1. 연구 결과 요약

본 연구에서는 시민의 건강에 만성적이고도 광역적으로 영향을 주는 대기오염물질을 대상으로 문헌결과를 토대로 민감군 및 취약군에 대해 정의하고 대기오염으로부터의 건강피해 영향을 조사하였다. 또한 구득할 수 있는 자료 범위 내에서 수원시 민감군의 현황을 파악하여 환경보건정책의 대상군을 파악하고자 하였다.

수원시 미세먼지 민감군 이용시설(학교, 어린이집 등)과 생활주변 인접한 주요 대기오염배출원(6차선이상 도로, 1~5종 대기오염배출시설)과의 인접도 분석 결과 도로변과 대기오염배출시설 모두에 근접하여 영향권에 있다고 판단되는 시설은 전체 시설 중 6%였고, 도로변에 근접한 시설은 20%, 대기배출시설에 근접한 시설은 28%에 해당되었다. 또한 동수원로 등 3곳의 도로변에는 민감군 이용시설이 집중 분포되어 있었다. 연령별 및 사회경제적 요인으로 인한 민감군 중 저소득층 인구와 노인인구 비율은 행궁동, 연무동 등 구도심 주변으로 유사하게 분포하고 있었으며, 어린이와 학생 비율은 광교동, 호매실동 등 신도시 중심으로 분포하였다. 분석결과를 바탕으로 도출한 주요 정책적 제안은 다음과 같다.

먼저 대기오염민감군 피해저감 방안을 위해서 대기오염배출업소와의 근거리, 도로와의 근거리에 있는 취약군 이용 시설에 우선 실태 조사 및 지원 대책을 마련해야 한다. 또한 취약군 시설이 집중적으로 위치해 있는 도로를 집중관리구역으로 선정하여 도로 청소, 도로변 대기오염물질 확산을 위한 가로수 식재 등을 우선적으로 추진해야 할 것이다.

시설별, 지역별 집중관리의 우선 순위선정 방향은 ①오염원 근거리 중복 여부 ②대상에 대한 직접적 관리가 어려운 오염원 우선 ③규모가 크고 그동안의 예산지원이 어려웠던 시설 우선 순으로 제안한다. 특히, 한정된 예산으로 정책 추진 시 그 동안 신청에 의해 이루어진 지원 정책(예: 미세먼지 안심 어린이집 선정 시 관련문서 배포 후 신청하는 어린이집에 한해 측정 및 컨설팅 지원)에서 나아가 우선추진 대상을 선정하고 자체 기준에 따라 예산을 투입하는 것이 효과적일 것이다.

또한 도로변 띠녹지, 비점오염저감을 위한 침투성 화단, 옥상녹화 등 도심 내 녹화사업 추진 시 우심지역 내 민감군 이용시설 인접 지역을 우선순위로 하면 시너지 효과를 얻을 수 있다. 사회적  취약군과 어르신 인구가 많은 행정동 대상 미세먼지 대피소(폭염대피소와 유사)를 우선 지정하고 운영하는 것이 필요하다.

대기오염 민감군 대응 정책의 효과적 추진을 위해서는 복지부서, 공원녹지부서, 교육부서와 대기오염관리부서와의 협력을 통해 가장 시급한 대상군(예: 우심지역 내 시설)에 대해 공유하고 선정하는 것이 필요하다. 또한 사회적 민감군에게 찾아가는 실내공기질 관리 및 사회복지사를 통한 미세먼지 대응 교육 및 안내를 실시하는 등 사회복지 요소의 하나로 미세먼지 관리 항목을 포함시키는 것도 필요할 것이다.

## 2. 연구의 한계 및 후속연구 제안

본 연구에서는 문헌 및 기존 통계자료를 통해 자료를 분석하고 시사점을 도출하였다. 또한 대기오염배출시설의 경우 업종과 규모에 따라 대기오염물질 배출량이 달라질 수 있으나, 수원시 대기배출시설 중 90%가 넘는 4~5종 시설은 소규모로 배출량 조사 자료가 존재하지 않아 배출시설로부터의 거리만을 활용하여 영향 정도를 분석할 수밖에 없었다.

따라서 후속연구로 대기배출시설 배출량 조사 및 민감군 이용시설에의 정량적 영향정도 분석을 통해 우심지역 평가의 정교화도 필요할 것이다. 또한 본 연구결과를 바탕으로 우심지역에 위치한 민감군 이용 시설이나 만석로등 민감군 시설 집중 분포지역 중 시범지역을 선정하여 건강영향 및 관리 실태조사, 지원정책 추진 후 개선효과 분석 등을 포함하는 시범사업이 필요할 것이다. 또한 일반인보다 노출 강도가 높은 취약군에 대한 대응방안으로 제시된 대응매뉴얼이 실제 현장에서 잘 지켜지는 지에 대한 실태 조사와 모니터링을 통해 강제성이나 인센티브를 제공하는 등의 대응방안의 실효성을 높이기 위한 연구도 필요할 것이다.

## 제2절 정책 제언

최근 우리나라 미세먼지 정책은 미세먼지 민감계층과 취약지역의 노출피해를 최소화하기 위한 관리대책을 공식화하고 있다. 지금까지 대기환경기준 강화와 대기측정망 확충 등 보편적으로 시행되었던 정책을 고농도 미세먼지 상황에서 상대적으로 취약할 수밖에 없는 인구밀집지역과 동일한 대기질 수준에서 훨씬 큰 건강피해에 직면하게 되는 영유아, 노인, 환자군 등 미세먼지 민감군을 확대하였다. 이에 따라 수원시도 이들 민감군이 오랜시간 이용하는 어린이집, 학교, 경로당, 요양시설 등을 대상으로 미세먼지로 인한 건강피해를 최소화하기 위한 정책을 추진해야 한다.

이제는 일반 시민 대상 보편적으로 추진했던 미세먼지 대응정책과 민감군(영유아, 어르신) 대상 실내공기질 개선 정책, 고농도 사례시 피해 예방 행동요령 안내 등의 정책에서 나아가 민감군에 대한 평상시 노출로 인한 피해 예방 정책에서 민감군 대상을 영유아에서 청소년까지 확대하는 것이 필요하다. 또한 저소득층과 같은 사회적 취약군에 대한 보다 구체적인 지원 정책이 필요할 것이다.

특히, 한정된 예산으로 정책 추진 시 그 동안 신청에 의해 이루어진 지원 정책(예: 미세먼지 안심 어린이집 선정 시 관련문서 배포 후 신청하는 어린이집에 한해 측정 및 컨설팅 지원)에서 나아가 우선추진 대상을 선정하고 자체 기준에 따라 예산을 투입하는 것이 효과적일 것이다.

또한 도로변 띠녹지, 비점오염저감을 위한 침투성 화단, 옥상녹화 등 도심 내 녹화사업 추진 시 우심지역 내 민감군 이용시설 인접 지역을 우선순위로 하면 시너지 효과를 얻을 수 있다. 사회적  취약군과 어르신 인구가 많은 행정동 대상 미세먼지 대피소(폭염대피소와 유사)를 우선 지정하고 운영하는 것이 필요하다.

대기오염 민감군 대응 정책의 효과적 추진을 위해서는 복지부서, 공원녹지부서, 교육부서와 대기오염관리부서와의 협력을 통해 가장 시급한 대상군(예: 우심지역 내 시설)에 대해 공유하고 선정하는 것이 필요하다.  또한 사회적 민감군에게 찾아가는 실내공기질 관리 및 사회복지사를 통한 미세먼지 대응 교육 및 안내를 실시하는 등 사회복지 요소의 하나로 미세먼지 관리 항목을 포함시키는 것도 필요할 것이다.

후속연구로는 우심지역에 위치한 민감군 이용 시설이나 만석로등 민감군 시설 집중 분포지역 중 시범지역을 선정하여 건강영향 및 관리 실태조사, 지원정책 추진 후 개선효과 분석 등을 포함하는 시범사업을 제안한다. 또한 일반인보다 노출 강도가 높은 취약군에 대한 대응방안으로 제시된 대응 매뉴얼이 실제 현장에서 잘 지켜지는 지에 대한 실태 조사와 모니터링도 필요할 것이다.

# | 참고문헌 |

## 〈국문 자료〉

경선영, 김영삼, 김우진, 박무석, 송진우, 염호기, 윤형규, 이진국, 정성환, 2015. 미세먼지/황사 건강피해 예방 및 권고지침: 호흡기질환 J Korean Med Assoc 2015 November; 58(11): 1060-1069

국립환경과학원, 2013. 기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구(Ⅲ)

권호장, 2007. 대기오염이 노년인구의 건강에 미치는 영향, J Korean Med Assoc 2007; 50(2): 191-196

김승원, 양원호, 피영규, 하권철, 2016. 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출실태 및 건강보호 방안 마련 연구, 안전보건공단 산업안전보건연구원

김재혁, 유경선. 2017. 세탁소 VOCs 관리현황 고찰 및 정책제언,「환경정책」제25권 제3호 2017. 9: 139-171

배상혁, 홍윤철, 2018. 미세먼지의 건강영향, J Korean Med Assoc. 2018 Dec;61(12):749-755. Korean.

에어코리아(https://www.airkorea.or.kr/web/pollutant?pMENU_NO=177)

임영욱, 2015. 미세먼지 취약직업군의 건강 영향, 환경정의 미세먼지 토론회 자료집

조경두, 2018. 인천지역 대기오염 우심지역 원인분석 및 관리방안, 인천연구원

질병관리본부·대한의사협회, 2019. 미세먼지의 건강영향과 환자지도

추장민, 2008. 환경오염으로 인한 저소득층 건강영향 실태조사, 환경부

한국환경정책평가연구원, 2010. 기후변화와 대기오염이 환경관련 질환에 미치는 영향

호문기, 2013. 국내 환경보건분야 정책·연구 동향 및 시사점, 한국과학기술기획평가원

환경부 대기정책과, 2001. 오존 오염의 현황과 대응방안

환경부, 2001. 오존 오염의 현황과 대응방안

환경부, 2016. 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?

환경부, 2018. 실외 작업자를 위한 고농도 미세먼지·오존 대응요령

환경부, 2019. 영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼

## 〈영문 자료〉

Achilleos, S., Kioumourtzoglou, M. A., Wu, C. D., Schwartz, J. D., Koutrakis, P. & Papatheodorou, S. I. (2017). Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: a systematic review and meta-regression analysis. Environ Int

2017;109:89-100.

Aga E, Samoli E, Touloumi G, Anderson H. R., Cadum E, Forsberg B, Goodman P, Goren A, Kotesovec F, Kriz B, Macarol-Hiti M, Medina S, Paldy A, Schindler C, Sunyer J, Tittanen P, Wojtyniak B, Zmirou D, Schwartz J & Katsouyanni K. (2003). Shortterm effects of ambient particles on mortality in the elderly: results from 28 cities in the APHEA2 project. Eur Respir J 2003;40(S):28-33.

Anderson, H. R., Atkinson, R. W., Bremner, S. A., & Marston, L. (2003). Particulate air pollution and hospital admissions for cardiorespiratory diseases: are the elderly at greater risk? Eur Respir J 2003 40(S):39-46.

Brook, R. D., Rajagopalan, S. C., PopeIII, A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M. A., Peters, A., Siscovick, D., Smith Jr, S. C., Whitsel, L. & Kaufman, J. D.. (2010). Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease, AHA Scientific Statement pp.2331~2378.

Garshick, E., Laden, F., Hart, J. E., Rosner, B., Davis, M. E., Eisen, E. A., & Thomas J. Smith3. (2008). Lung Cancer and Vehicle Exhaust in Trucking Industry Workers, Environ Health Perspect. 2008 Oct; 116(10): 1327-1332.

Grineski, S. E., Collins, T. W. (2018), Geographic and social disparities in exposure to air neurotoxicants at U.S. public schools, Environmental Research, 161, 580-587

Hong, Y. C., Lee J. T., Kim, H., Ha, E. H., Schwartz, J., Christiani, D.C. (2002). Effects of air pollutants on acute stroke mortality. Environ Health Perspect 2002;110:187-191.

Khreis, H., Kelly, C., Tate, J., Parslow, R., Lucas, K. & Nieuwenhuijsen, M. (2017). Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: a systematic review and meta-analysis. Environ Int 2017;100:1-31.

Kim, C., Jung, S. H., Kang, D. R., Kim, H. C., Moon, K. T., Hur, N. W., Shin, D. C., & Suh, I. (2007). Ambient particulate matter as a risk factor for suicide. Am J Psychiatry 2010;167:1100-1107.

Kim, K. N., Lim, Y. H., Bae, H. J., Kim, M., Jung, K. & Hong, Y. C. (2016). Long-term fine particulate matter exposure and major depressive disorder in a community-based urban cohort. Environ Health Perspect 2016;124:1547-1553.

Künzli, N., Jerrett, M., Mack, W, J., Beckerman, B., LaBree, L., Gilliland, F., Thomas, D., Peters, J. & Hodis, H. N. (2005). Ambient Air Pollution and Atherosclerosis in Los Angeles, Environ Health Perspect. 2005 Feb; 113(2): 201-206.

Kwon, H. J., Cho, S. H., Nyberg, F., Pershagen, G., (2001). Effects of ambient air pollution on daily mortality in a cohort of patients with congestive heart failure. Epidemiology 2001;12:413-419

Lakshmi Sumana P. V., Alice Jemima M., Joya Rani D., Madhuri T. (2016). Cement dust exposure and pulmonary function tests in construction site workers, Asian Pac. J. Health Sci., 2016; 3 (2):43-46.

Lamichhane, D. K., Kim, H. C., Choi, C. M., Shin, M. H., Shim, Y. M., Leem, J. H., Ryu, J. S., Nam, H. S. & Park, S. M. (2017). Lung cancer risk and residential exposure to air pollution: a Korean population-based case-control study. Yonsei Med J 2017;58:1111-1118.

Lim, Y. H., Kim, H., Kim, J. H., Bae, S., Park, H. Y., Hong, Y. C. (2012). Air pollution and symptoms of depression in elderly adults. Environ Health Perspect 2012;120:1023-1028.

Lindgren, A., Stroh, E., Montnemery, P., Nihlén, U., Jakobsson, K., & Axmon, A. (2009). Traffic-related air pollution associated with prevalence of asthma and COPD/chronic bronchitis. A cross-sectional study in Southern Sweden, Int J Health Geogr. 2009; 8: 2.

Miller, K. A., Siscovick, D. S., Sheppard, L., Shepherd, K., Sullivan, J. H., Anderson, G. L., Kaufman, J. D. (2007). Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. N Engl J Med 2007;356:447-458.

Mustafic, H., Jabre, P., Caussin, C., Murad, M. H., Escolano, S., Tafflet, M., Perier, M. C., Marijon, E., Vernerey, D., Empana, J. P. & Jouven, X. (2012). Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. JAMA 2012;307:713-721.

Qian Di, Yan Wang, Zanobetti, A., Yun Wang, Koutrakis, P., Choirat, C., Dominici, F. & Schwartz, J. D. (2017), Air Pollution and Mortality in the Medicare Population, N Engl J Med. 376(26), 2513-2522.

Rosenlund, M., Forastiere, F., Porta, D., De Sario, M., Badaloni, C. & Perucci, C. A., (2009). Traffic-related air pollution in relation to respiratory symptoms, allergic sensitisation and lung function in schoolchildren. Thorax 2009;64:573-580

Torén, K., Bergdahl, I. A., Nilsson, T., Järvholm, B. (2007). Occupational exposure to particulate air pollution and mortality due to ischaemicheart disease and cerebrovascular disease, Occup Environ Med. 2007 Aug; 64(8): 515-519.

Tsai, S. S., Goggins, W. B., Chiu, H. F., Yang, C. Y. (2003). Evidence for an Association Between Air Pollution and Daily Stroke Admissions in Kaohsiung, Taiwan, Stroke. 2003;34:2612-2616.

Wang, Y., Eliot M. N., Wellenius, G. A. (2014). Short-term changes in ambient particulate matter and risk of stroke: a systematic review and meta-analysis. J Am Heart Assoc 2014;3:e000983

미국 환경부(www.epa.gov/airquality)

캐나다 환경부(Environment Canada, http://www.ec.gc.ca)

# Abstract

## A Study on Preventing the Health Effects of Air Pollution for Sensitive Groups in Suwon City

This study aims to re-consider the concept of air pollution sensitive groups by reviewing the literatures and to figure out the distribution of sensitive groups in Suwon City as prior object group for environmental health policy. Air pollution affects the public health broadly, unspecifically and chronically. Air pollution including PM 10 and PM2.5 obviously affect the health (illness and death) from short-term exposure as well as long-term exposure. In Korea, sensitive groups include infants, children, age 65 and older, pregnant women, and people with base disease such as cardiopulmonary disease and respiratory disease. However, socio-economic condition (e.g. low-income and ethnic minority) and exposure (e.g. living areas with high concentrations of industrial manufacturing and diesel vehicle traffic) which included in sensitive group category in the US and other developed countries are not considered in Korea. In addition, the counterplan for health effect of air pollution was mostly focused on action plan at severe air pollution warning such as limiting the outdoor activity and offering fine dust mask. We observed that sensitive groups of elderly population and low-income groups were overlapped in old town, but the sensitive groups of infants, children, and youth were distributed in new town in Suwon. 20% and 28% of public facilities for air pollution sensitive groups (e.g. daycare, kindergarden, school, and senior community center) were analyzed to be directly affected by road traffic air pollution and by air pollution emission facilities, respectively. 6% of public facilities were both affected by road traffic and air pollution emission facilities. Therefore, we suggest that the high risk public facilities which we analyzed in

this study should be in high priority for air pollution damage policy benefit. The high risk facilities and the surrounding areas should be cleaned more often, and plants such as street trees and small gardens should be grown. Especially the air pollution damage reduction budget should be carefully delivered to the high risk public facilities and surrounding areas preferentially, not randomly or by order or arrival. The synergy effect will be expected when the welfare department, park and green department, education department and atmospheric environment department in Suwon City municipal authorities share their priority lists and collaborate their acts (e.g. indoor air pollution education and consulting by social welfare workers). For the further study, the investigation of health effect and monitoring facility management, and the analysis of the air quality and health improvement effect as a result of implementing the policies are suggested as a model study in prior to expand the air pollution health damage reduction policies.

Keyword : health effect of air pollution, sensitive groups, high risk air pollution public facilities, prevention of air pollution damage, air pollution emission facilities, road traffic air pollution emission

| 저자 약력 |

강은하
이학박사
수원시정연구원 도시공간연구실 연구위원(현)
E-mail : ehkang09@suwon.re.kr

주요 논문 및 보고서
「수원시 대기오염물질 배출목표 설정연구」(2018, 수원시정연구원)
「수원시 지속가능발전 기본전력 수립 연구」(2018, 수원시정연구원)
「수원시 대로변 가로수의 광화학대기오염물질 배출특성 기초 연구」(2018, 수원시정연구원)