

연구보고서

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출실태 및 건강보호 방안 마련 연구

김승원 · 양원호 · 피영규 · 하권철

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요 약 문

1. 연구제목

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출실태 및 건강보호 방안 마련 연구

2. 연구 필요성 및 목적

- 최근 황사의 발생 빈도가 증가하고 있음. 우리나라의 연평균 미세먼지 농도는 주기적으로 오름과 내림을 반복하고 있으나 전 세계적으로 다른 나라와 비교하면 높은 편임.
- 미세먼지 정의에 대한 학문간 합의가 이루어지지 않았으며, 산업보건 기준에서 활용하고 있는 호흡성 분진 등과의 비교에 대한 기준이 존재하지 않음.
- 본 연구의 궁극적 목표는 옥외작업장 미세먼지 노출 실태조사 및 성분 파악을 통해 환경관리 측면이 아닌 근로자 노출의 관점에서 미세먼지 노출에 대한 실측 정보를 제시함으로써 옥외작업장 미세먼지 농도 및 특성을 파악하고 이에 따른 근로자 건강보호방안을 마련할 필요가 있음. 구체적인 목표는 아래와 같음.
- 국내외 미세먼지 관련 문헌고찰 및 제도를 분석함.
- 옥외작업장 미세먼지 노출 수준을 실측하고 구성성분을 분석하고 평가함.

- 옥외작업장 미세먼지 노출에 대한 관리 필요성을 검토함.

3. 연구 내용 및 방법

- 본 연구 내용을 수행하기 위해서 문헌 고찰, 미세먼지 노출 농도 실측, 옥외사업장 미세먼지 노출에 대한 관리 필요성을 학문적으로 검토하였음.
- 대기 중 미세먼지 발생 수준 및 관리 제도에 대한 관련 문헌을 조사하였음. 발생 수준에 관한 문헌은 대부분 학술논문이었으며 제도에 관한 문헌은 각국 정부의 노출기준 및 관리방안이었음. 대기 중 미세먼지 구성성분에 대한 관련 문헌을 포함하였음.
- 옥외작업장 미세먼지 노출 농도 및 구성성분에 대하여 실측하고 평가하였음. 옥외사업장 미세먼지 노출이 빈번히 발생하는 업종이 건설업이라는데 착안하여 건설업과 대조군으로 골프장을 조사함. 미세먼지 노출이 건설작업과 대기 중 모두로부터 기인한다는데 착안하여 각각을 개인시료와 지역시료로 측정하고 비교하였음. 미세먼지의 일부가 중국 등 외지에서 유입되는 경로에 착안하여 경기지역과 영남지역에서 측정을 병행하여 비교함. 미세먼지 중 산화규소, 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 망간, 니켈, 납, 아연 성분에 대하여 노출농도를 분석함.
- 미세먼지에 대한 관리 필요성 검토함. 옥외작업장 미세먼지에 대한 관리가 별도로 필요한지 여부에 대한 필요성을 노출기준과의 비교 및 환경보건 위험성 평가를 통해 비교함. 그 후 산업안전보건법상에 추가할 개선사항이 있는지에 대하여 검토하고 필요한 경우 규제영향분석을 시도함. 기타 옥외작업장 미세먼지 노출 관리 관련

정책제도 개선사항을 검토함

4. 연구결과

○ 국내외 미세먼지 관련 문헌고찰 및 제도 분석

- 국내외 미세먼지 노출수준 및 관리에 대한 연구는 환경보건적인 측면에서 접근한 것이 대부분임. 국내 미세먼지 관련 규제는 사무실 작업자나 다중이용시설 등에 대해서만 존재하거나 규제 도입이 시도되었음.
- 미세먼지에 단시간 및 장시간 노출되었을 때 나타날 수 있는 건강상의 영향 중 확정적인 것은 다음의 두 가지임. 첫째, 천식 악화와 같은 호흡기계와 심혈관계 질병 이환율과 병원 입원을 증가. 둘째, 심혈관계 및 호흡기계 질병과 폐암으로 인한 사망률 증가. PM10보다는 PM2.5가 더 위험하다고 알려져 있음. 세계보건기구(WHO)와 다른 연구에 따르면 일일사망률은 미세먼지 농도 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 0.2 - 0.6% 증가하는 것으로 추정되었음. 초미세먼지에 장기간 노출 시 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 심폐 사망률은 6-13% 증가하는 것으로 보고되었음.
- 대기 중 미세먼지 노출 관련 연구에서 조사된 유해인자 성분별 노출수준은 작업환경기준과 비교하여 각각 실리카 2.31%, 납 0.10%, 크롬 0.003%, 철염 0.02%, 망간 0.003%, 카드뮴 0.04%, 아연 0.01%의 노출수준이었음.

○ 옥외작업장 미세먼지 노출 실태조사

- 옥외작업장 미세먼지 노출 근로자 규모에 대한 추정에서 업종별로는 2015년 기준 52만개 사업장 235만 근로자가 옥외작업장에서 주로 작업할 것으로 계산되었고, 직종별로는 2016년 상반기 기준 142만 근로자가 옥외작업장에서 주로 작업할 것으로 추정되었음.

- 건설업 옥외작업장의 미세먼지 노출수준은 같은 날 대기측정망에서 측정된 것보다 대부분 높았음. 경기지역과 대구·경북지역 간의 비교에서는 경기지역이 상대적으로 높았음.
 - 호흡성분진에 대한 건설업 옥외작업장 내 지역시료와 개인시료의 기하평균은 $37.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $92.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 두 집단 간의 노출수준에 대한 유의한 통계적 차이가 있었음. 이 자료를 해석하면 옥외작업장 근로자가 노출되는 미세먼지 중 40.8%는 대기에서 유래하고 나머지 59.2%는 작업에서 유래한다고 볼 수 있음. 미세먼지 농도는 대기측정망<건설현장<건설작업 순으로 높은 것으로 조사됨. 호흡성분진 중 실리카 노출 농도의 경우 $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 두 집단 간의 노출수준에 통계적인 차이가 없었음.
 - 미세먼지 내 금속의 노출수준은 산업보건 노출기준과 비교했을 때 납이 금속 중 가장 높았으며, 기타 금속은 산업보건 노출기준 대비 0.1% 이하였음.
- 미세먼지에 대한 관리 필요성 검토
- 옥외작업장 근로자의 미세먼지 노출평가 자료를 토대로 일부 금속 성분에 대하여 환경보건 위험성평가를 실시한 결과 발암성이 알려지지 않은 망간의 경우 비발암물질 위해지수는 옥외작업자가 옥내작업자보다 5% 높았음. 발암물질 초과발암위해도 평가에서 니켈과 카드뮴이 경우 10^{-4} 이하로 계산되어 미세먼지 노출로 인한 고려할 만한 발암위험성이 있다고 볼 수 없음.
 - 미세먼지는 작업장 내에서 발생된 유해인자가 아니지만 야외작업장에서 직사광선 노출로 인한 열손상에 대해서 쾌적한 작업환경을 제공할 의무가 부여되는 사업주가 관리하는 것과 같은 원리로 사업주

가 노출관리를 해야 한다고 판단됨.

- 현재 국내에 일반분진에 대한 호흡성분진 노출기준이 별도로 존재하지 않지만 국외에서는 이를 채용 또는 권장하고 있고 옥외작업장 미세먼지 관리를 위해서도 필요하므로 호흡성분진 노출기준이 제안되면 향후 활용도가 높을 것으로 예상됨.
- 산업안전보건법상 추가 개선사항 검토 결과 기존에 존재하는 분진에 대한 규정만으로도 노출관리에 대한 법적 근거제공이 가능하여 별도 개정이 필요하지 않다고 판단되며 따라서 규제영향평가는 실시하지 않음.

5. 활용방안 및 기대성과

○ 활용방안

- 연구자들은 연구결과 개발된 위험성평가 기법 및 도구에 관하여 논문을 게재하고 학회나 세미나를 통해 일반 산업위생 전문가들에게 전파.
- 한국산업안전보건공단과 노동부는 수집/연구된 자료에 근거해서 옥외작업자의 미세먼지 관련 정책이나 제도를 입안/수립.
- 한국산업안전보건공단에서는 개발된 미세먼지 관리지침을 야외작업장에 전파하여 근로자들 교육에 활용하고 추후 관련 연구에 활용할 수 있음.

○ 기대효과

- 야외작업장에서 작업하는 근로자의 미세먼지 노출실태를 파악하고

국내외 관련 제도를 검토함으로써 자료에 기반한 정책을 수립하여 근로자들에게 안심서비스를 제공할 수 있는 기초 마련.

- 야외작업이 많은 업종들 중 개별적으로 다루어진 연구들을 취합하여 종합적으로 야외작업자의 미세먼지 노출실태를 조사하고 연구가 부족한 부분을 발견할 수 있는 총괄적인 시작을 제공.

6. 중심어

옥외작업장, 미세먼지, 건설업, 실리카, 금속, 호흡성분진

7. 참고문헌 및 연락처

- ▶ 연구책임자 : 계명대학교 공중보건학과 김승원 교수
- ▶ 연구원 담당자 : 산업안전보건연구원 박현희 연구위원
- ▶ 이메일 : bioaerosol@kosha.or.kr

<본문 차례>

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 연구내용 및 범위	6
3. 연구방법	8
1) 국내외 미세먼지관련 문헌고찰 및 제도 분석	8
2) 옥외작업장 미세먼지 노출실태조사	9
3) 미세먼지에 대한 관리 필요성 검토	11
II. 국내외 미세먼지관련 문헌고찰 및 제도 분석	13
1. 대기중 미세먼지 노출수준 및 성분 조사	13
2. 미세먼지 건강영향	29
1) 일반 대기 노출	29
2) 직업적 노출	33
3. 미세먼지 관리 기준	35
1) 입자상물질에 대한 기준	35
2) 국내·외 대기환경 기준	39
3) 국가별 다중이용시설 내 미세먼지 관리 기준	44
4) 국외 작업환경기준	55
III. 옥외 작업장 미세먼지 노출 실태조사	59
1. 옥외 작업장 미세먼지 발생 수준 관련 문헌조사	59

2. 근로자 미세먼지 노출규모 추정	69
1) 업종별 미세먼지 노출규모	69
2) 직종별 미세먼지 노출규모	70
3. 미세먼지 농도 및 구성성분 분석·평가	80
1) 미세먼지 노출수준	80
2) 미세먼지 구성성분 분석	96
IV. 미세먼지에 대한 관리 필요성 검토	101
1. 옥외작업장 미세먼지 관련 정책제도 개선사항 검토	101
1) 미세먼지 노출수준과 산업보건기준과의 비교	101
2) 환경보건 위험성평가	110
3) 관리기준 설정 검토	115
4) 작업환경 개선사항	120
2. 산업안전보건법상 추가 개선사항 검토	132
1) 산업안전보건법	132
2) 산업안전보건기준에 관한 규칙	133
3) 규제영향분석	147
3. 일반분진에 대한 호흡성 분진 노출기준 제정	148
4. 옥외작업장 미세먼지 노출관리의 책임	149
V. 결론 및 제언	153
VI. 부록: 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출에 관한 보건관리지침	
(안)	157

참 고 문 헌	167
---------------	-----

<표 차례>

<표 1-1> 연구내용, 세부목표 및 범위 요약.....	7
<표 2-1> 지난 10년간 국내 미세먼지(PM10) 농도 현황.....	14
<표 2-2> 서울의 연도별 PM10 연평균 농도.....	19
<표 2-3> 선행연구결과를 바탕으로 재가공한 전국의 PM2.5 연평균농도.....	22
<표 2-4> 최근 5년간의 서울시의 PM2.5 평균농도(2009-2013년).....	24
<표 2-5> 부산시 광복동 PM2.5 평균농도.....	25
<표 2-6> 초미세먼지 중 중금속 함량.....	25
<표 2-7> WHO PM10, PM2.5 대기환경 권고기준 및 잠정목표.....	36
<표 2-8> 입자상 물질 및 에어로졸의 대기환경 가이드라인.....	40
<표 2-9> 국내·외 대기환경기준.....	43
<표 2-10> 대기중 입자상 물질의 크기별 기준값 범위 요약.....	43
<표 2-11> 국외 실내 미세먼지 관리기준.....	44
<표 2-12> 국내 주요 정부 부처의 미세먼지 관리기준 비교.....	45
<표 2-13> 환경부 다중이용시설 내 PM10 관리 기준.....	46
<표 2-14> 국내·외 다중이용시설 미세먼지 연구현황.....	48
<표 2-15> 입자상 물질의 직업적 노출기준.....	55
<표 2-16> 미국의 작업환경 및 일반환경 대기질 기준.....	56
<표 3-1> 옥외작업장 미세먼지 노출수준 연구현황.....	60
<표 3-2> 옥외작업이 많은 업종별 상업체수 및 근로자수(2014년 기준).....	69
<표 3-3> 한국표준직업분류(KSCO)에 따른 옥외작업 직종분류.....	71

<표 3-4> 한국고용직업분류표(KECO, 2007).....	77
<표 3-5> 옥외작업이 많은 직종별 근로자수(2015-2016년 상반기).....	79
<표 3-6> 전국 대기오염측정망 월별 PM2.5농도(도시대기).....	82
<표 3-7> 전국 대기오염측정망 월별 PM2.5농도(도로변대기, 교외대기, 국가배경농도).....	84
<표 3-8> 옥외작업장 중 건설업 및 비건설업 측정 현황.....	90
<표 3-9> 측정지역에 따른 호흡성분진 개인시료 노출 농도.....	91
<표 3-10> 측정지역에 따른 호흡성분진 측정위치(지역시료) 노출 농도	91
<표 3-11> 직무/공종에 따른 호흡성분진 노출 농도.....	92
<표 3-12> 건설현장 측정시료별 호흡성분진 노출 농도.....	93
<표 3-13> 측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카 개인시료 노출 농도	93
<표 3-14> 측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카 지역시료 노출 농도	94
<표 3-15> 직무/공종에 따른 호흡성분진 중 실리카 노출 농도.....	95
<표 3-16> 건설현장 측정시료별 호흡성분진 중 실리카 노출 농도.....	95
<표 3-17> 대구지역 대기중금속측정망 월별 농도.....	96
<표 3-18> 측정지역에 따른 중금속 노출 농도.....	98
<표 4-1> 측정지역에 따른 호흡성분진 개인시료 노출농도 비교(작업환 경기준).....	102
<표 4-2> 측정지역에 따른 호흡성분진 지역시료 노출농도 비교(작업환 경기준).....	102
<표 4-3> 측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카 개인시료 노출농도 비교(작업환경기준).....	103

<표 4-4> 측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카 지역시료 노출농도 비교(작업환경기준).....	103
<표 4-5> 측정지역에 따른 중금속 노출농도 비교(작업환경기준).....	105
<표 4-7> 측정지역에 따른 호흡성분진 개인시료 노출농도 비교(대기환경기준).....	107
<표 4-8> 측정지역에 따른 호흡성분진 지역시료 노출농도 비교(대기환경기준).....	107
<표 4-9> 측정지역에 따른 호흡성분진 개인시료 노출농도 비교(실내공기관리기준).....	108
<표 4-10> 측정지역에 따른 호흡성분진 지역시료 노출농도 비교(실내공기관리기준).....	109
<표 4-11> 위험성평가에 사용되는 물질별 독성자료(EPA IRIS, RAIS, 2016).....	111
<표 4-12> 물질별 위험성평가에 사용되는 계수(EPA IRIS, RAIS).....	112
<표 4-13> 대구지역 망간 노출농도의 비발암물질 위해지수 평가.....	113
<표 4-14> 대구지역 미세먼지 구성성분의 발암물질 초과발암위해도 평가(크롬, 니켈, 카드뮴).....	114
<표 4-15> 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고용노동부 고시) 중 결정성 산화규소에 대한 노출기준.....	117
<표 4-16> 기능 및 형태별 호흡보호구의 종류.....	122
<표 4-17> 방진마스크의 형태.....	123
<표 4-18> 방진마스크의 등급.....	125
<표 4-19> 여과재 분진 등 포집 효율.....	125
<표 4-20> 옥외 작업장 근로자 미세먼지의 분진작업별 관련성.....	139
<표 4-21> 산업안전보건기준에 관한 규칙상 옥외 작업장 근로자 미세	

먼지의 분진작업 적용 조항	146
----------------------	-----

<그림 차례>

[그림 1-1] 분진의 크기에 따른 산업보건기준(흉곽성 분진, 호흡성 분진, 고위험 호흡성 분진)과 PM10 및 PM2.5의 폐침착률 비교	2
[그림 1-2] 세계 1081개 도시의 미세먼지 연평균 농도 수준(WHO, 2012)	4
[그림 1-3] 산업대분류별 근로자수(2011년 기준)	5
[그림 2-1] PM10의 연평균 농도 분포	15
[그림 2-2] 2014년 측정소별 환경기준농도 초과 현황	16
[그림 2-3] 지난 10년간 국내 도시별 PM10 평균 농도 추이(2002-2013년도)	17
[그림 2-4] 측정소별 PM10 연평균 농도 분포	18
[그림 2-5] 주요 도시의 연도별 PM10 연평균 농도	18
[그림 2-6] 지난 5년간 서울시내 월평균 PM10 농도 추이(2009-2013년도)	20
[그림 2-7] 지난 5년간 서울시내 연평균 PM10 농도 추이(2009-2013년도)	20
[그림 2-8] 선행연구결과를 바탕으로 재가공한 전국의 PM2.5 연평균농도	23
[그림 2-9] 서울시의 PM10과 PM2.5의 연평균농도	24
[그림 2-10] 미세먼지 노출 시간에 따른 사망률 증가(Brook et al., 2010)	31
[그림 2-11] WHO 대기질 가이드라인과 입자상 물질의 잠정목표 : 연	

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

황사는 우리나라에서 미세먼지 발생원인의 상당한 부분을 차지하지만 계절적으로 발생빈도가 봄에 편중되어 있다. 황사 이외에도 산불 등의 화재, 자동차 엔진배출물질이나 화력발전소 및 공장 등의 대규모 시설에서 연중 미세먼지가 발생된다. 최근 황사의 발생 빈도가 증가하고 있다. 서울의 황사 관측일수는 2012년 1회, 2013년 3회, 2014년 10회, 2015년 15회로 증가추세를 보이고 있다. 황사주의보가 발령되지 않을 때도 미세먼지가 중국으로부터 유입되거나 국내의 다양한 발생원에서 배출되고 있다. 우리나라의 연평균 미세먼지 농도는 주기적으로 오름과 내림을 반복하고 있으나 전 세계적으로 다른 나라와 비교하면 높은 편이다.

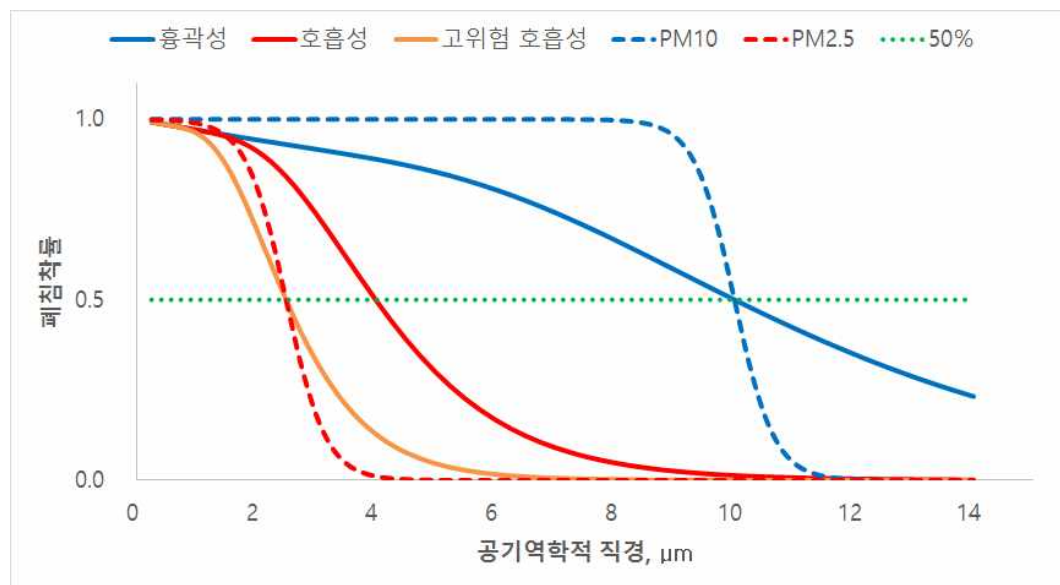
황사는 세계기상기구(WMO)의 권고에 따라 목측(눈으로 관측)으로 판단하는 시정 및 하늘상태 등의 기상현상이다. 이와 별도로 미세먼지라는 대기오염 항목이 존재한다. 미세먼지는 우리 눈에 보이지 않을 정도로 아주 가늘고 작은 먼지 입자를 말하는 일반용어로 환경부 등에서 주로 사용한다. 기술적으로는 PM10과 PM2.5로 구분된다. PM10이라 함은 10 μm 의 공기역학적 지름¹⁾에서 50 % 효율을 갖는 선택적 흡입구를 지나는 크기(컷오프 지름²⁾)의 입자를 말한다(ISO 23210, 2012). PM10은 산업보건에서 사용하는 흉곽성 협약(thoracic convention)과 상응함을 ISO 기준에서 명확히 밝히고 있다³⁾. PM2.5는 공기역

1) 공기역학적 지름 (aerodynamic diameter)이란 온도, 압력, 상대습도의 일반 조건하에서 정지 공기 중의 입자가 갖는 중력과 동일한 종단 속도를 나타내는 밀도가 1 g/cm³인 구체의 지름을 말한다.

2) 컷오프 지름(cut-off diameter)은 임팩터(impactor) 단계의 분리 효율이 50 %인 공기역학적 지름을 말한다.

3) ISO 23210 영어 표현은 “PM10 corresponds to the “thoracic convention” as defined in

학적 지름 $2.5\ \mu\text{m}$ 인 선택적 흡입구를 지나는 크기의 입자를 말한다(ISO 23210, 2012). PM2.5는 컷오프 지름이 $4.0\ \mu\text{m}$ 인 호흡성 분진(respirable dust)과 약간의 차이를 보이지만 ISO 7708에서 1995년 새로 제정한 기준인 고위험 호흡협약(high-risk respirable convention)과 상응한다⁴⁾. 임팩터에서 분리 효율의 곡선이 경사가 급한 시그모이드 곡선(sigmoidal curve)을 그린다는 점을 감안하여 산업보건 기준과 PM10 및 PM2.5의 기준을 그림으로 나타내면 [그림 1-1]과 같다.



[그림 1-1] 분진의 크기에 따른 산업보건기준(총괄성 분진, 호흡성 분진, 고위험 호흡성 분진)과 PM10 및 PM2.5의 폐침착률 비교

PM2.5는 가스교환이 일어나는 폐포에 도달할 확률이 높고 혈관으로 침입하여 심혈관계 질환 등을 유발하는 것으로 알려졌다(WHO 2012). 통상 PM10을

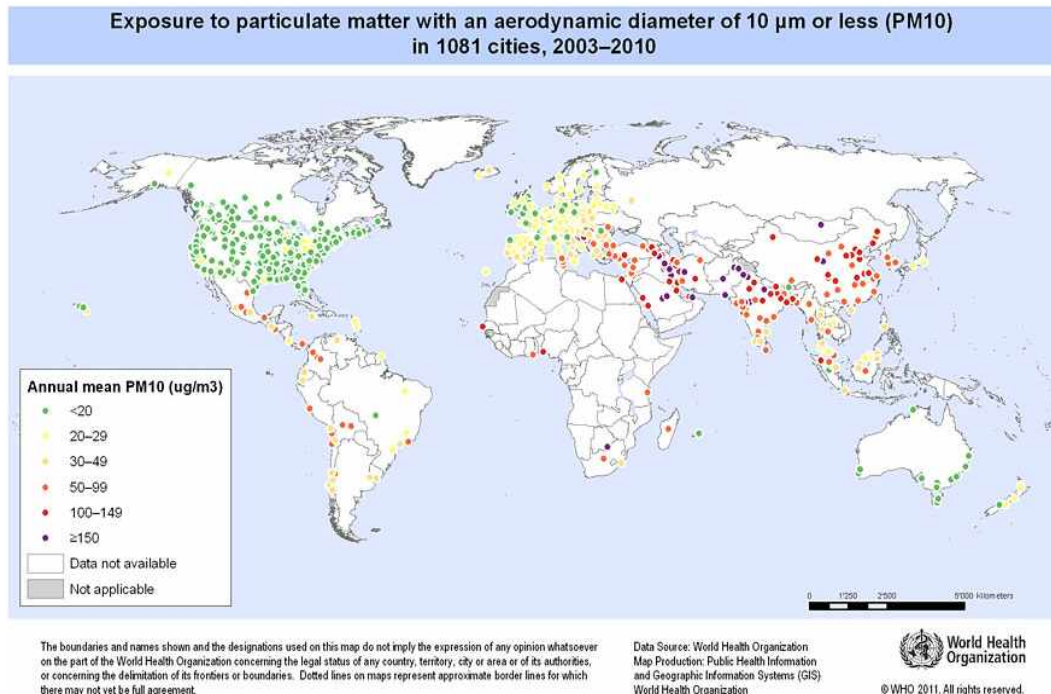
ISO 7708:1995, Clause 6.”이다.

4) ISO 23210 영어 표현은 “PM2.5 corresponds to the “high-risk respirable convention” as defined in ISO 7708:1995, 7.1.”이다.

‘미세먼지’, PM2.5를 ‘초미세먼지’로 구분하여 지칭한다. 1987년 미국에서 처음으로 환경 기준이 설정되었고, 이후 세계 여러 나라에서 대기오염의 지표로 삼고 있다. 한국은 2014년 2월 6일부터 PM10을 기준으로 미세먼지 예보를 시행 중이다. 이 연구에서 미세먼지는 PM10과 PM2.5를 모두 포함하는 통칭으로 사용되었다.

옥외작업장에서는 황사를 비롯한 미세먼지에 노출될 수 있다. 옥외작업장은 옥내작업장을 제외한 곳을 말하며, 여기서 옥내작업장은 천장과 2면 이상의 벽면을 갖추고 자연통풍을 저해할 정도의 밀폐된 작업장을 말한다. 옥내작업장은 갯내, 터널 등을 포함한다.

서울시의 미세먼지(PM10) 발생추이는 최근 미세먼지 관리로 인하여 줄어드는 추세이다. 하지만 세계 다른 도시들과 비교하면 높은 수준에 속한다. 주변국과 비교하면 중국보다는 낮은 편이지만 일본보다는 높은 편이다. 미국이나 유럽의 도시보다는 상당히 높은 편이다([그림 1-2] 참조).

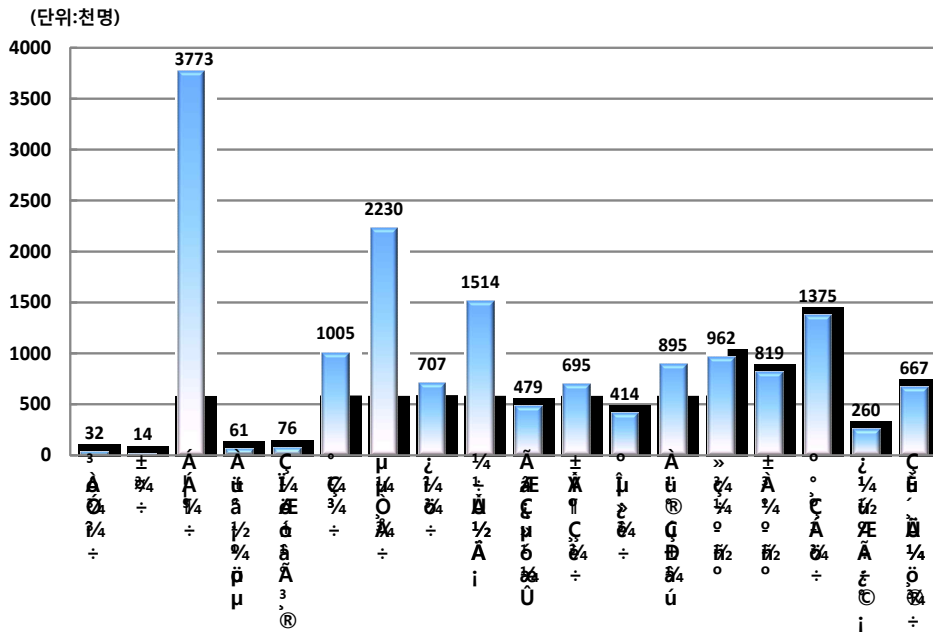


[그림 1-2] 세계 1081개 도시의 미세먼지 연평균 농도 수준(WHO,2012)

국내 근로자들을 산업대분류별로 구분해보면 [그림 1-3]와 같다. 이들 업종 중 옥외작업이 많을 것이라고 예상되는 대분류로는 건설업, 농/임/어업, 광업, 유틸리티(전기/가스/증기/수도) 사업, 하수/폐기물 처리업, 운수업 등을 들 수 있다. 이들 중 건설업, 농·임·어업, 운수업 등은 작업시간의 대부분이 옥외작업이라고 할 수 있고, 광업, 유틸리티 사업, 하수/폐기물 처리업 등은 일부 작업이 옥외작업이라고 할 수 있다(통계청, 2015).

대표적인 옥외작업장이 많은 업종은 건설업을 들 수 있으며, 근로자 수는 2014년 기준 약 110만 명으로 집계되어 있다. 그 외에도 운송업, 농·임·어업, 광업, 유틸리티 사업, 하수/폐기물처리 등의 업종들에서 옥외작업이 많을 것으로 예상되며 근로자 수는 각 업종을 합하여 약 2014년 기준 125만 명으로 집계되어 있다(통계청 2015).

따라서 옥외작업장 미세먼지 농도 및 특성을 파악하고 이에 따른 근로자 건강보호방안을 마련할 필요가 있다.



[그림 1-3] 산업대분류별 근로자수(2014년 기준)

본 연구의 주요 연구 목표는 3 가지이다.

첫째, 국내외 미세먼지 관련 문헌고찰 및 제도 분석을 통해 미세먼지 실태조사 계획 수립시 활용하고, 권고지침 개발 및 관련 정책·제도 개선사항 검토시 활용하고자 하였다.

둘째, 옥외작업장 미세먼지 노출 실태조사 및 성분 파악을 통해 기상·대기환경관리 측면이 아닌 근로자 노출의 관점에서 미세먼지 노출에 대한 실측정보를 제공하고자 하였다.

셋째, 옥외작업장 미세먼지에 대한 권고지침 개발 및 관련 정책·제도 개선사항 검토를 통해 현장에 실질적인 도움을 제공하고자 하였다.

2. 연구내용 및 범위

본 연구의 최종목표는 이러한 최종 목표 달성을 위한 주요 연구내용 별 세부 목표와 세부내용은 <표 1-1>과 같다.

<표 1-1> 연구내용, 세부목표 및 범위 요약

연구내용	세부 목표	범위 및 세부 내용
국내외 미세먼지 관련 문헌고찰 및 제도 분석	옥외작업장 미세먼지 관리에 필요한 기초자료 제공	● 선진외국의 옥외작업장 미세먼지 관리제도 연구 ● 미세먼지 노출수준이 높은 외국의 옥외작업장 미세먼지 관리제도 연구 ● 국내외 미세먼지 성분 및 노출수준에 대한 검토
옥외작업장 미세먼지 노출 실태조사	대표성 있는 업종, 시즌, 위치에 따라 실직적인 측정자료 제공	● 황사시즌과 비황사시즌(여름) 미세먼지 노출수준 측정 ● 건설업과 비건설업(예: 골프장) 미세먼지 노출수준 측정 ● 도시와 교외 미세먼지 노출수준 비교 ● 미세먼지 성분 분석(실리카, 금속 등)
미세먼지에 대한 관리 필요성 검토	별도의 옥외작업장 미세먼지 관리규정이 필요 하다고 판단되는 경우 근거자료 제공	● 국외의 사례를 바탕으로 옥외작업장 미세먼지 관리규정의 필요성 검토 ● 옥외작업장 노출수준 및 성분에 대한 문헌조사 및 측정결과를 바탕으로 관리규정의 필요성 검토
산업안전보건 법상 추가 개선사항 및 규제영향 검토	별도의 옥외작업장 미세먼지 관리규정이 필요 하다고 판단되는 경우 개선 착안사항 제공	● 옥외작업장 미세먼지 노출 관리 권고지침 개발 ● 옥외작업장 미세먼지 관련 정책 또는 제도 변화 필요성에 대한 연구 ● 옥외작업장 미세먼지 노출 관련 규제영향분석

3. 연구방법

1) 국내외 미세먼지 관련 문헌고찰 및 제도 분석

(1). 대기중 미세먼지 노출수준 및 구성성분 조사

국내 미세먼지 관련 연구를 통해 대기중 미세먼지 노출수준과 구성성분을 고찰하였다. 전국 시도별로 대기오염측정망에서 관측된 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5)의 자료를 활용하여 국내 미세먼지 농도현황을 파악하였다. 미세먼지 구성성분은 주로 중금속의 계절별, 지역별 노출수준을 문헌을 통해 고찰하였다. 미세먼지의 노출수준과 구성성분은 계절에 따른 영향이 크며, 특히 황사의 기여가 크다. 연구기간 및 규모의 한계로 여름, 가을 기간과 일부 지역에 서만 실태조사가 가능했으므로, 연중 나머지 기간과 지역에 대한 실태조사는 문헌고찰로 대체하였다.

(2). 미세먼지 건강영향 및 관리기준

미세먼지 건강영향은 일반대중이 노출되는 대기중 미세먼지에 대한 건강영향과 직업적으로 노출되어 나타나는 건강영향을 구분하여 나타내었다. 미세먼지 관리기준은 입자상물질에 대한 기준, 국내외 대기환경기준, 국가별 다중이용시설 내 미세먼지 관리기준, 국외 작업환경기준을 구분하여 관리기준을 정리하였다. OSHA, NIOSH, ACGIH에서 제정하고 있는 국외 작업환경기준과 U.S. EPA, WHO 등에서 제정하고 있는 일반 대기환경 기준을 비교하였다.

2) 옥외작업장 미세먼지 노출실태조사

(1). 옥외작업장 미세먼지 발생 수준 관련 문헌조사

옥외작업장 미세먼지 노출수준에 대한 기존에 보고된 국외 논문 및 보고서를 토대로 작업환경에서 노출될 수 있는 미세먼지와 노출농도, 건강영향 등을 고찰하였다. 옥외작업장 관련 업종은 건설업으로 한정하였다.

(2). 근로자 미세먼지 노출규모 추정

통계청의 ‘한국표준산업분류(KSIC)’와 고용노동부 ‘직종별 사업체 노동력조사’의 결과자료를 토대로 옥외작업이 포함되는 업종별, 직종별 근로자수를 파악하여 옥외작업장에서 발생하는 미세먼지에 노출되는 규모를 추정하였다.

(3). 옥외작업장 미세먼지 노출 실태조사

옥외작업장 미세먼지 노출농도 실태조사는 크게 건설업과 비건설업으로 구분하였다. 대기중 미세먼지 이외의 미세먼지 발생원이 거의 없을 것으로 생각되는 비건설업 중 서비스업 근로자인 골프장 캐디를 대조군으로 선정하였다. 건설업 근로자와 서비스업 근로자의 야외미세먼지 노출환경 및 노출특성이 대표적으로 평가될 수 있도록 대상을 선정하였다.

미세먼지는 계절별로 지역별 농도차이가 크기 때문에, 수도권인 경기도 지역과 비교적 거리가 먼 대구·경상지역을 구분하여 조사하였다. 계절적인 영향을 확인하고자 했으나, 측정대상 사업장 섭외의 한계로 6월(여름철)부터 측정이 진행되었다.

조사대상 사업장은 지역별·업종별로 표본설계방법론에 따라 선정하는 것이 바람직하지만 연구의 규모가 제한적이고 임의로 선정한 사업장에 대한 접근가능성을 예측할 수 없기 때문에 아파트 공사장처럼 연중 작업이 지속되는 대형사업장을 중심으로 선정하였다

각 사업장 별로 자체 발생하는 미세먼지와 대기 중 미세먼지를 구분하기 위

해 near field에 해당하는 개인시료와 far field에 해당하는 지역시료를 구분하여 측정하였다. 지역시료는 건설현장 내부와 비교적 미세먼지 발생이 적은 사무실인근 지역에서 측정하였다.

실리카 분진의 측정은 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 7602 공정시험법에 따라 PVC 여과지(공극 $5.0\ \mu\text{m}$, 직경 $37\ \text{mm}$)를 3 piece 카세트에 고정시킨 후 사이클론(Aluminum cyclone, SKC, USA)에 장착하여 사용하였다(NIOSH, 2003). 고유량 개인시료채취기(SKC)에 연결하여 근로자의 호흡기영역에 부착하였고, 지역시료는 근무자의 근무반경 내 위치에서 바닥면으로부터 $1\sim 1.2\ \text{m}$ 높이에 설치하였으며 채취시간은 근로자 1일 근무시간동안 측정이 이루어지도록 하였다. 시료채취시 유량은 호흡성분진 $2.5\ \ell/\text{min}$ 이었다. 실리카 분진의 분석은 적외선 분광분석기(Fourier Transform Infra-Red Spectrometer, FTIR)를 이용하였으며, 정량분석을 위해 표준물질 1878a(respirable quartz)를 사용하였다.

중금속 성분의 측정은 NIOSH 7300 방법에 따라 실시하였다. MCE 여과지(공극 $0.8\ \mu\text{m}$, 직경 $37\ \text{mm}$)를 3 piece 카세트에 고정시킨 후 지상높이 $1\sim 1.2\ \text{m}$ 에서 포집하였다. 시료채취시 유량은 $2.0\ \ell/\text{min}$ 이었다. 채취된 시료는 전처리를 거친 후 유도결합플라즈마 광학방출분광계(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy, ICP-OES)를 이용하여 중금속성분(Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni Pb, Zn)을 분석하였다.

3) 미세먼지에 대한 관리 필요성 검토(별도의 규정 등)

(1). 옥외작업장 미세먼지 관련 정책제도 개선사항 검토

미세먼지 노출농도를 산업보건기준과의 비교하여 노출수준을 파악하고, 환경보건측면에서 미세먼지 구성성분 중 일부에 대하여 위험성평가를 실시하였다.

옥외작업장 근로자는 대기오염 등에 노출될 위험이 높지만, 이들에 대한 미세먼지와 실리카의 관리기준이 설정되어있지 않다. 본 연구에서 작업환경기준, 대기환경기준, 사무실환경기준과 비교한 노출수준을 토대로 관리기준과 개선사항을 검토하였다.

또한, 국내 실정에 맞는 옥외작업장 미세먼지 노출관리에 필요한 권고지침을 개발하고자 하였다. 황사는 아시아 일부지역에서만 발생하는 현상이므로 국내 실정에 맞는 권고지침 내용을 개발하였고, 나아가 권고지침 내용에 보호구 관련 예방대책을 제시하였다.

(2). 산업안전보건법상 추가 개선사항 검토

옥외작업장 근로자의 미세먼지 노출에 대해 산업안전보건법상 추가 개선사항을 검토하였다. 옥외작업장 미세먼지 노출로 인한 근로자의 건강보호를 위한 법적근거를 조사하였다. 옥외작업장 근로자 미세먼지의 분진작업별 관련성과 산업안전보건기준에 관한 규칙상 옥외작업장 근로자 미세먼지의 분진작업 적용조항 관련성을 검토하였다.

옥외작업장 미세먼지 노출에 대한 관리를 위해 규제가 필요하다고 판단되는 경우, 국무조정실의 ‘규제영향분석서 작성지침’(2013.8)에 따라 규제영향분석서 ‘를 작성하였다. 분석항목은 분석대상 규제개요와 규제의 필요성, 규제대안 검토 및 비용편익 분석과 비교, 중소기업 규제영향분석, 규제의 적정성 및 실효성 등의 평가요소별 규제영향 분석으로 구성되었다.

(3). 옥외작업장 미세먼지 노출관리의 책임

옥외작업장에서 발생하는 미세먼지는 사업장 외부유래의 유해인자이기 때문에 노출관리 책임을 사업주가 져야하는지 여부에 대해 미국 OSHA와 NIOSH에서 제시하는 내용을 조사하였다.

II. 국내외 미세먼지 관련 문헌고찰 및 제도 분석

1. 대기중 미세먼지 노출수준 및 성분 조사

우리나라의 연도별 PM10 농도를 <표 2-1>에 나타내었다. 2002년도에 서울과 대구가 $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 지난 5년간(2008-2012년) 감소하는 경향을 보였지만 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 전국의 PM10 연평균 농도의 공간분포를 살펴보면 경기도 북부 및 남동지역과 강원영서, 충북 북부지역이 다른 지역보다 높은 농도를 나타내고 있다. 그리고 255개 유효측정소 중 연평균 기준을 초과한 측정소는 99개소(미달성률 38.8%), 24시간 기준을 초과한 측정소는(미달성률 91.8%)로, 2013년과 비교했을 때 연평균 환경기준 미달성률은 1.3% 증가하였으며, 24시간 환경기준 미달성률은 0.3% 감소하였다.

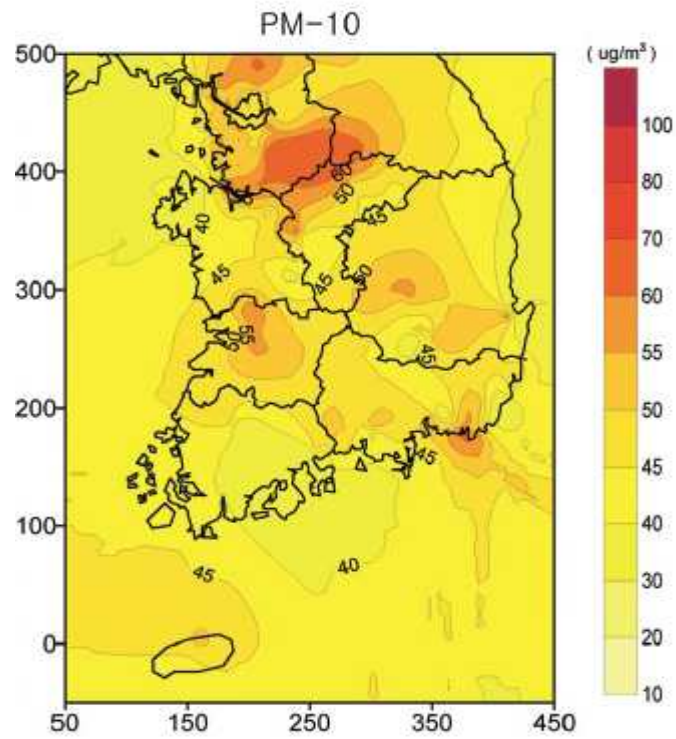
<표 2-1> 지난 10년간 국내 미세먼지(PM10) 농도현황

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

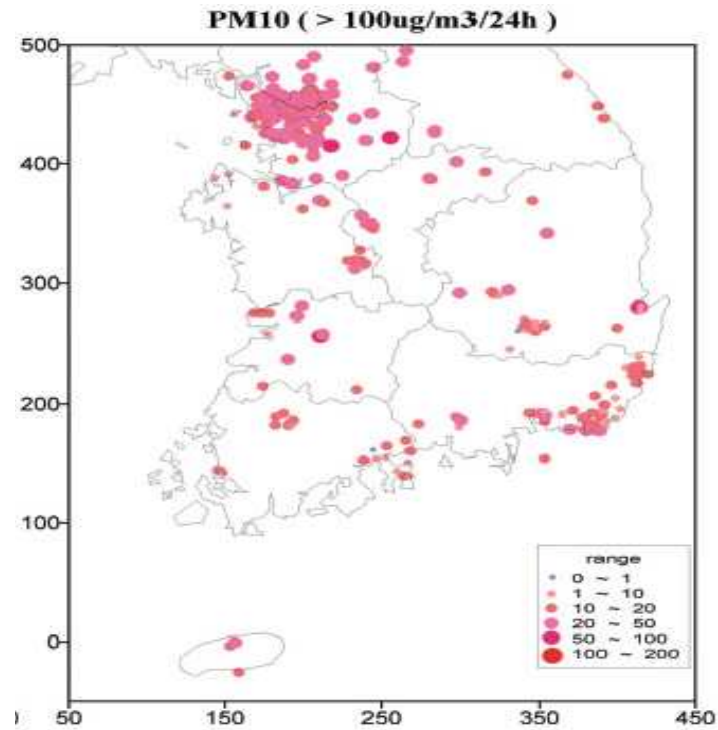
	서울	인천	경기	부산	대구	광주	대전	울산	전체
2002	76	57	74	69	76	52	53	54	61
2003	69	61	67	55	63	36	43	40	56
2004	61	62	67	60	61	46	49	50	58
2005	58	61	65	58	58	49	48	50	57
2006	60	68	66	59	59	55	49	52	59
2007	61	64	64	57	58	52	49	53	58
2008	55	57	59	51	60	50	45	54	54
2009	54	60	58	49	51	46	43	49	53
2010	49	55	55	49	52	45	44	48	51
2011	47	55	54	47	49	43	49	49	50
2012	41	47	47	43	44	38	39	46	45
2013	45	49	54	49	45	42	42	47	49
2014	46	49	54	48	45	41	41	46	49

※ 연평균 자료

※ 출처 : <http://www.airkorea.or.kr/airkorea/index3.jsp>서울 : http://cleanair.seoul.go.kr/air_pollution.htm?method=average대구 : http://air.daegu.go.kr/html/info/air_period.jsp부산 : http://heis.busan.go.kr/environmental/air002_1.aspx대전 : <http://www.daejeon.go.kr/dj2009/air/index.action>울산 : <http://uihe.ulsan.go.kr/uihe/environment/environment01.jsp>



[그림 2-1] PM10의 연평균 농도 분포



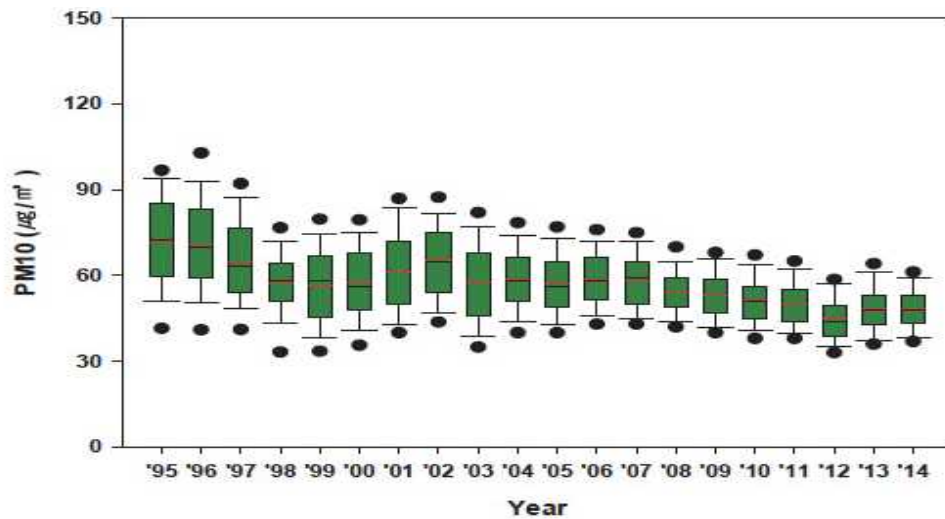
[그림 2-2] 2014년 측정소별 환경기준농도 초과 현황

지역별로 분석한 결과 서울, 경기, 부산, 대구에서는 대체적으로 감소하는 추세를 나타내고 있으나 인천, 광주, 대전, 울산에서는 증가와 감소의 경향이 혼합되어 나타났다([그림 2-3] 참조).

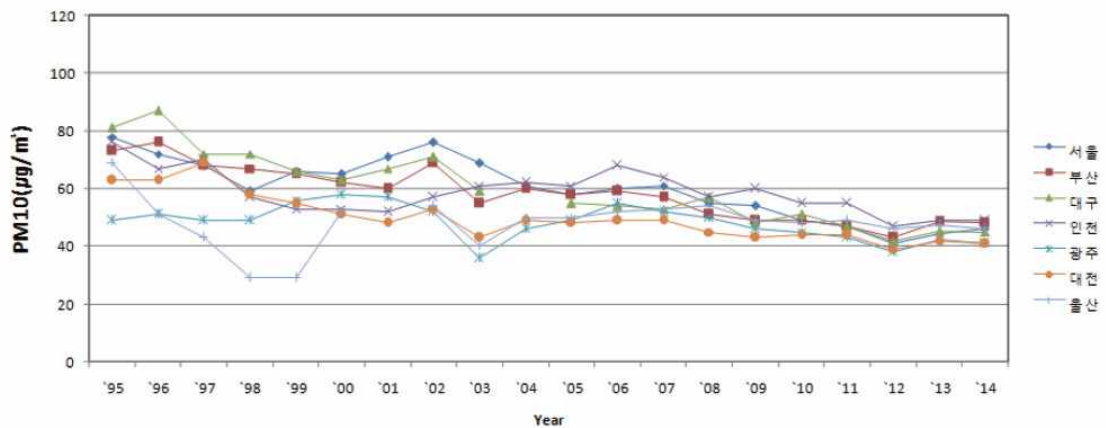


[그림 2-3] 지난 10년간 국내 도시별 PM10 평균 농도 추이(2002-2013년도)

한편 PM10 오염도는 95년 측정을 시작한 후로 조금씩 감소하다가 99년을 기점으로 02년까지 증가하였지만, 02년 이후 12년까지 PM10 연평균 농도는 감소 추세를 보였다. 14년에는 전년에 비해 130개소의 측정소가 감소하였고 97개소가 증가하였다.



[그림 2-4] 측정소별 PM10 연평균 농도 분포



[그림 2-5] 주요 도시의 연도별 PM10 연평균 농도

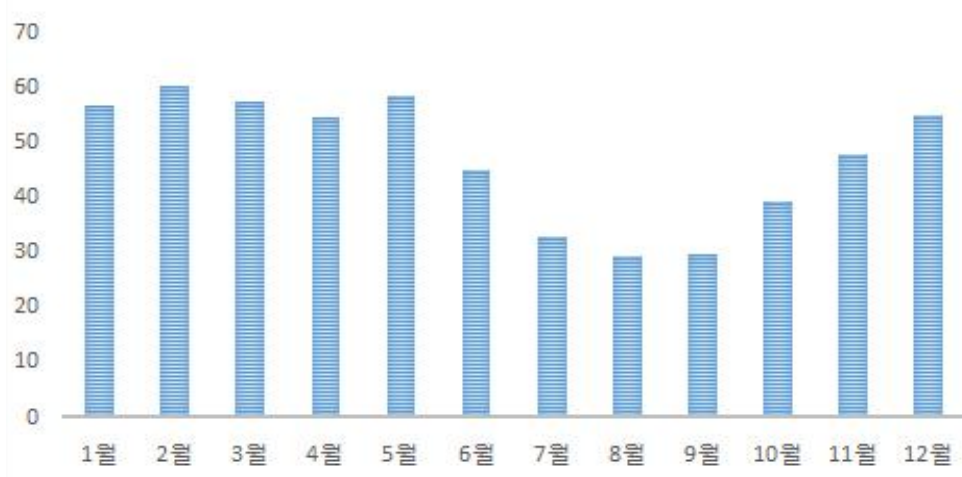
지난 5개년(2009년-2013년)의 서울시 월평균 PM10 농도를 분석한 결과 여름철(7-9월)이 겨울철(12-2월)에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이는 여름철의 장마, 태풍 등이 PM10 농도에 영향을 주었을 것으로 생각된다(<표 2-2>, [그림 2-6,7] 참조).

<표 2-2> 서울의 연도별 PM10 연평균 농도

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

월	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	평균
1월	57	59	44	60	64	56.80
2월	81	50	75	50	45	60.20
3월	60	61	65	46	55	57.40
4월	66	49	56	51	52	54.80
5월	57	56	72	52	55	58.40
6월	50	51	44	40	40	45.00
7월	41	33	28	28	34	32.80
8월	31	32	27	22	35	29.40
9월	39	25	29	27	28	29.60
10월	51	41	42	33	29	39.20
11월	46	71	38	42	42	47.80
12월	71	62	46	41	55	55.00
연평균	54.17	49.17	47.17	41.00	44.50	

출처: 서울특별시 기후대기와 기후환경본부



[그림 2-6] 지난 5년간 서울시내 월평균 PM10 농도 추이(2009-2013년도)

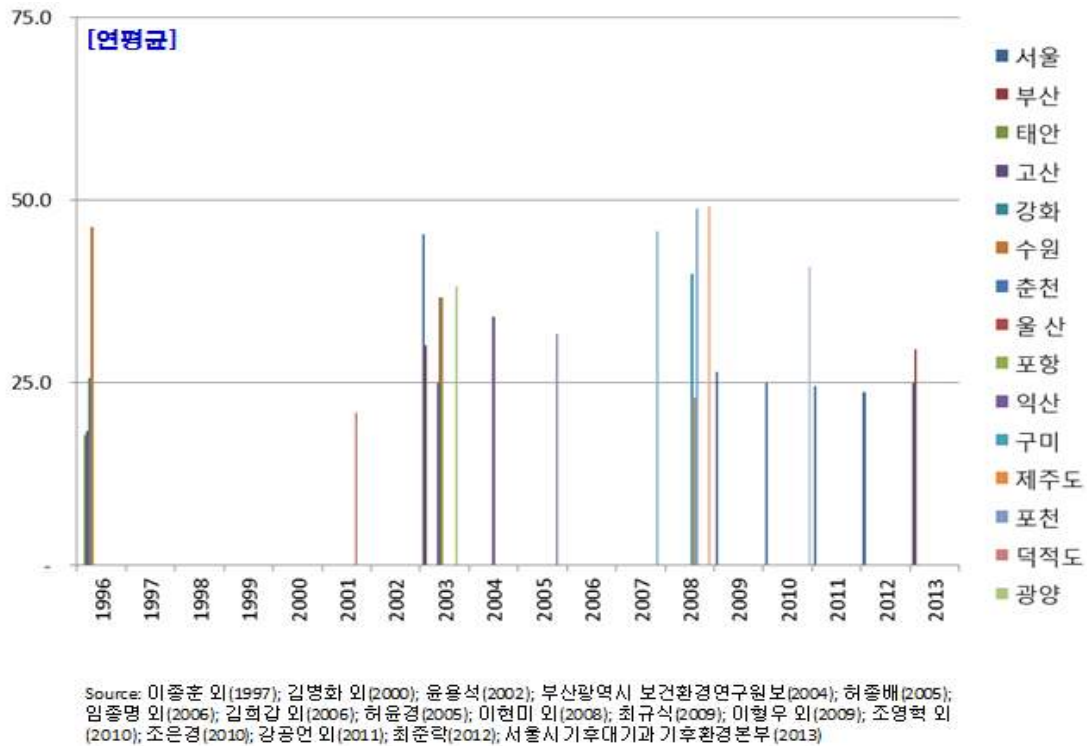


[표 2-7] 지난 5년간 서울시내 연평균 PM10 농도 추이(2009-2013년도)

국내에서 PM2.5은 최근에 측정을 시작하여, 기존 측정망 등의 자료가 많지 않은 실정이다. 이에 논문 등의 결과를 토대로 PM2.5의 도시별 농도 수준을 <표 2-3>에 나타내었다. 기존에 조사된 선행연구결과에 나타난 국내 PM2.5 농도를 살펴보면, 2003년도 측정치는 서울이 45.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았으며 이어서 울산, 포항(산업지역), 부산, 춘천의 순서로 나타났다([그림 2-8] 참조).

<표 2-3> 선행연구결과를 바탕으로 재가공한 전국의 PM2.5 평균농도

측정연도	대상지역	평균 PM2.5 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	출 처
1996	태안	17.8	이종훈 외 (1997)
1996	고산	18.3	이종훈 외 (1997)
1996	강화	25.6	이종훈 외 (1997)
1997	수원	46.3	김병화 외 (2000)
2003	춘천	24.9	김희갑 외 (2006)
2003	서울	45.3	김희갑 외 (2006)
2003	울산	36.6	김희갑 외 (2006)
2003	부산	30.0	부산시, 보건환경연구원보 (2004)
2003	포항(산업지역)	36.6	허윤경 (2005)
2004	익산	34.0	강공언 외 (2011)
2008	구미	39.8	조영혁 회 (2010)
2008	제주도	22.9	조은경 (2010)
2008	포천	48.8	최규식 (2009)
1999-2001	덕적도	20.8	윤용석 (2002)
2003-2004	광양	38.1	허중배 (2005)
2005-2006	대전	31.6	임종명 외 (2006)
2007-2008	천안	45.7	이현미 외 (2008)
2007-2008	용인	49.0	이형우 외 (2009)
2010-2011	충주	40.8	최준락 (2012)
2014	서울 및 대구	지하철 실외: 48.21 ± 18.60 지하상가 실외: 36.81 ± 17.60 어린이집 실외: 58.37 ± 29.79	이영규 외 (2016)



[그림 2-8] 선행연구결과를 바탕으로 재가공한 전국의 PM2.5 연평균농도

서울시의 지난 5년간 월평균 PM2.5의 농도를 <표 2-4>에 나타내었다. 계절별 특성에서는 PM10과 같이 겨울의 PM2.5 농도가 여름에 비해 약 2배 높은 것을 알 수 있었다. 특히 서울의 PM10은 PM2.5에 비해 상대적으로 시간이 지남에 따라 점차 감소하는 추세이다. 그러나 PM2.5는 2009년이나 2013년의 농도에 큰 변화가 없는 것으로 나타남에 따라 PM2.5의 농도를 줄이는 방안을 모색할 필요가 있다([그림 2-9] 참조).

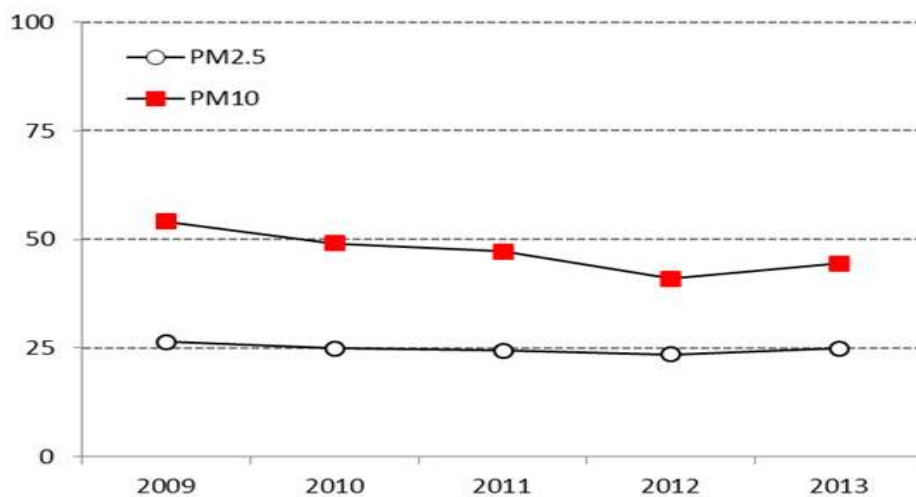
부산의 경우 2013년 4월부터 PM2.5를 측정하기 시작하였다. 앞서 살펴본 바와 같이 PM10은 지속적으로 감소하는 경향을 나타냈으나, 반면 PM2.5의 농도는 일정한 감소형태를 보이지 않고 오히려 2013년에 증가한 것을 알 수 있었다(<표 2-5> 참조).

<표 2-4> 최근 5년간의 서울시의 PM2.5 평균농도(2009-2013년)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

월	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	평균
1월	27	32	24	35	38	31.20
2월	37	26	41	26	24	30.80
3월	23	25	26	24	25	24.60
4월	33	23	27	22	27	26.40
5월	27	26	26	26	31	27.20
6월	26	30	27	24	25	26.40
7월	25	20	18	28	22	22.60
8월	18	20	17	14	23	18.40
9월	20	14	16	16	16	16.40
10월	24	22	23	18	15	20.40
11월	27	33	22	24	22	25.60
12월	30	28	26	26	31	28.20
연평균	191.33	190.08	189.83	189.08	190.08	

* 출처: 서울특별시 기후대기과 기후환경본부



[그림 2-9] 서울의 PM10과 PM2.5의 연평균 농도

<표 2-5> 부산시 광복동 PM2.5 평균농도

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2013년	-	-	-	32	39	33	28	32	20	22	28	32

출처 : http://heis.busan.go.kr/environmental/air002_1.aspx (※ 2013년 이전 자료 없음)

미세먼지의 노출수준 및 성분에 관한 조사는 환경보건 및 대기환경 분야에서 상당기간 많은 연구자들에 의해 연구되었다. 미세먼지의 노출수준은 기상청 홈페이지를 통해 과거부터 현재까지의 측정자료를 수집하는 것이 가능하고 앞의 연구필요성 부분에서도 언급하였다. 미세먼지 중에 포함되어 있는 중금속 분석 등에 관한 연구 중 일부를 아래 <표 2-6>과 같이 정리하였다. 모든 금속이 노출기준의 1%에 못 미치며, 가장 높았던 농도는 납으로 노출기준의 0.5% 수준이었다(김용현 2012).

<표 2-6> 초미세먼지 중 중금속의 함량

단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$	전혜리 등(2012)		김용현 등(2012)		노출기준	
	Min	Max	Min	Max	mg/m^3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Fe	0.008	2.441	0.123	8.134	1	1,000
As			0.003	0.016	0.01	10
Cd			0.000	0.009	0.01	10
Cr	0.000	0.129	0.005	0.057	0.5	500
Cu	0.000	0.483	0.007	0.175	1	1,000
Mn	0.001	0.124	0.003	0.239	1	1,000
Ni	0.000	0.148	0.002	0.027	1	1,000
Pb	0.001	0.157	0.009	0.238	0.050	50
Zn	0.006	0.454	0.207	0.767		
Al	0.001	0.762			10	10,000

- 대기 중 PM2.5의 중금속 성분의 화학적 특성(2012) - 전혜리 외 5인

- 도시환경의 총부유먼지 중 미세성분의 분포 특성에 대한 연구(2012) - 김용현 외 4인

정진도 등(2008)은 아산시 배방면에 위치한 호서대학교 중앙도서관 건물 5층 옥상부지에서 PM2.5, PM10 측정 및 중금속 성분을 분석하였다. 비황사시 일평균 TSP 농도는 $59.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10은 $53.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 대기환경 기준치(일평균)인 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮은 농도를 보였다. 황사시 TSP 농도는 $605.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10은 $375.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대기환경 기준치 3배 이상의 높은 농도를 보였다. 황사시준의 미세먼지 입경별 평균농도는 비황사시준에 비해 큰 증가를 보였으나, PM2.5 비율은 79.7%에서 40.1%로 감소하였다. 중금속의 경우 황사시준에 Mn, Fe, Zn, Al순으로 증가폭이 컸으나 질량농도로 보았을 때 Al이 가장 큰 증가량을 보였으며, 그 외 Cr, As, Ni, Se, V와 같은 유해중금속 성분은 일반 대기와 비슷하거나 오히려 낮은 농도 분포를 보였다.

정중현 등(2015)은 대구 안심연료단지에서 입자상물질(TSP, PM10, PM2.5) 및 중금속물질의 농도분포 및 노출특성을 파악하였다. 시료채취 위치지점선정을 위해 탁월풍을 분석하여 안심연료단지의 동, 서, 남, 북쪽 방향으로 총 4개의 지점(직접영향권역)을 선정하였으며, 참고지역 1개 지점을 선정하여 측정결과를 비교하였다. TSP 농도분포 및 계절별 특성을 확인한 결과, 직접영향권역 4개 지점의 평균 농도($64.6 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$)는 참고지역($38.9 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$)과 비교하여 1.7배 높은 수준을 나타냈으며, 계절별 TSP농도는 겨울이 가을 및 여름에 비해 다소 높은 수준을 보였다. PM10, PM2.5농도도 참고지역과 비교하여 1.4배, 1.9배 높은 수준을 나타냈으며, TSP와 유사하게 전반적으로 겨울에 높은 수준을 보였다. 안심연료단지 직접영향권역에서 분석 및 확인된 평균농도는 Cd($0.0008 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$), Cr($0.0141 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$), Mn($0.0248 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$), Ni($0.0026 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$), Pb($0.0272 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$), Fe($0.4855 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$), Zn($0.3068 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$)로 나타났다. 직접영향권역에서의 Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Fe, Zn 평균농도는 참고지역에 비해 1.9배, 3.6배, 2.1배, 1.9배, 1.4배, 2.6배, 1.2배 높은 수준으로 확인되었다. 특히, Cr 및 Ni 등과 같은 일부 중금속물질은 상대적으로 높은 농도수준을 보였다.

성민영 등(2015)은 서울시 은평구 불광동에 위치한 수도권 대기오염집중측정소와 대전시 중구 문화동에 위치한 중부권 대기오염집중측정소에서 연구를 수행하였다. 대전의 경우 측정소가 도로변 바로 옆에 위치하고 있었다. PM_{2.5} 농도 범위는 서울 2.7-125.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대전 3.4-152.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 평균농도는 서울 27.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대전 30.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대전이 약간 높은 농도를 보였다. 원소성분의 경우 K, Zn, Mn, Cu, As, Pb 등 대부분이 겨울철에 높은 농도를 보였으며, 겨울, 봄철의 Pb, Fe, As의 농도는 여름, 가을철 농도보다 높게 나타났으며, K, Ca, Fe, Zn 등 대부분의 지각성분은 여름에 비해 봄철에 높게 나타났다.

도화석 등(2014)은 대구지역의 대기오염자동측정소에서 PM₁₀과 PM_{2.5}를 동시에 관측하는 이현동(공업지역), 만촌동(주거지역), 평리동(도로변) 측정소의 2011년 1월-2012년 12월의 측정자료를 사용하여 비교하였다. PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도는 평리동(도로변)의 노출수준이 가장 높았으며, 이현동(공업지역), 만촌동(주거지역) 순으로 낮았다. 평리동과 만촌동의 농도는 기준치인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM₁₀), 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{2.5})를 초과했다. 계절별 이현동, 만촌동의 PM₁₀농도는 봄>겨울>가을>여름 순으로 높은 농도를 보였다. 평리동은 겨울>봄>가을>여름 순으로, 도로변에 인접해있어, 황사에 의한 영향보다 자동차의 배출가스가 미세먼지에 미치는 영향이 큰 것으로 보인다. 월별 PM₁₀, PM_{2.5}농도는 2월에 가장 높은농도, 8-9월에 가장 낮은농도를 보였다. 황사의 영향을 받는 5월에 PM₁₀농도는 상승한 반면, PM_{2.5}농도는 영향을 보이지 않는 것으로 보아 황사에 의한 영향은 적은 것으로 보인다. PM_{2.5}/PM₁₀의 비는 이현동(0.64)이 가장 높았으며, 평리동(0.60), 만촌동(0.54)순으로 낮았다. 공업지역이 주거지역보다 PM_{2.5}/PM₁₀비가 높으며, 중공업지역, 고농도지역일수록 비가 증가하였다. 황사발생일은 2011년 12일, 2012년 2일, 총 14일. 황사발생 시 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도는 평리동이 각각 $136.7 \pm 110.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $47.5 \pm 2.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 이현동과 만촌동보다 높았다.

국립환경과학원(2016)의 분야별 미세먼지 배출원의 분류체계는 총 13개로 구분되어있다. 이 중 건설업과 관련된 대분류는 비도로이동오염원(철도, 선박, 항공기, 농기계, 건설장비)와 비산먼지(포장도로 재비산먼지, 타이어마모, 건설공사, 나대지, 하역 및 야적 농업활동, 축산활동, 폐기물처리, 비포장도로 재비산먼지) 등이 있다.

2. 미세먼지 건강영향

1) 일반 대기 노출

입자상물질을 흡입 시 호흡기계의 어느 부위에 침착하는 가를 결정하는 가장 중요한 결정인자는 입자의 크기이다. 큰 입자는 코, 목의 섬모와 점액 등에 의해서 걸러지지만, 대략적으로 10 μm 이하의 입경을 가진 입자는 폐의 깊은 지역인 기관지와 호흡이 일어나는 폐포 영역에 침착되어 건강상의 문제를 야기할 수 있다(U.S EPA, 2008). 나노입자와 같이 크기가 매우 작은 것들(< 100 nanometers)은 폐를 투과하여 다른 기관에 영향을 줄 수 있다. 미세먼지는 호흡기계(respiratory system)의 흉곽부위(thoracic region)까지 침투할 수 있는 매우 작은 호흡성입자(respirable particles)까지 포함하고 있다. 크기 외에도 형태나 화학적 구성(shape and chemical composition)도 입자의 투과성에 영향을 준다.

미세먼지 노출로 인한 건강상의 영향은 그 동안 많은 역학연구를 통하여 우울증(depression), 인지능력 감소(cognitive decline), 호흡기/심혈관계 질환으로 인한 응급실 방문 혹은 병원 입원(hospital admission) 증가, 심혈관계 악영향/질병 증가, 뇌졸중 증가, 혈압 증가, 당뇨 질환자의 감수성 증가, 조산위험 증가, 저체중, 폐암 증가, 면역 관련 질환 증가 등이 연관성이 있는 것으로 알려져 있다.

미세먼지에 단시간(short term - hours, days) 및 장시간(long term - months, years) 노출되었을 때 나타날 수 있는 건강상의 영향 중 확정적인 것은 다음과 같다.

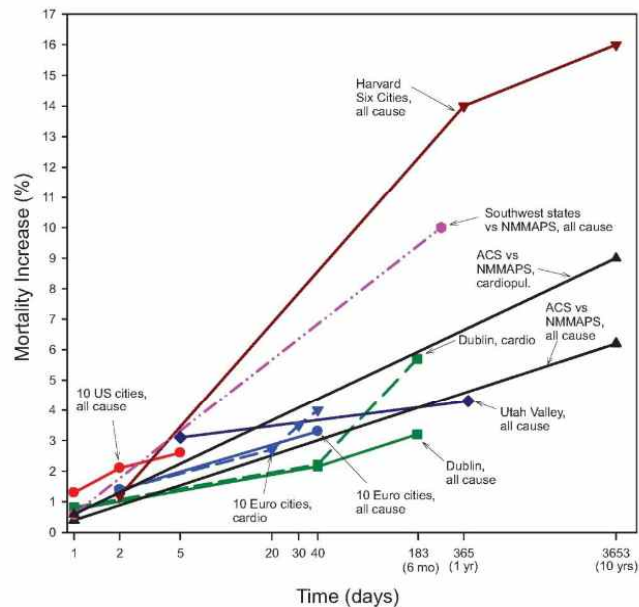
- 천식 악화(asthma aggravation)와 같은 호흡기계와 심혈관계

(cardiovascular) 질병 이환율(morbidity)과 병원 입원을 증가

- 심혈관계 및 호흡기계 질병과 폐암(lung cancer)으로 인한 사망률(mortality) 증가

미세먼지에 대한 단시간 노출(short-term exposure)에 따른 호흡기계의 건강상의 영향은 지금까지 많은 증거들이 축적되고 있지만, 사망률의 경우는 아직까지는 그 증거가 부족하다고 할 수 있다. 특히 PM10 입자 중 입경이 큰 것들(particles in the 2.5 - 10 μm range)보다는 입경이 작은 초미세먼지(PM2.5)에 장기간 노출(long-term exposure)되는 것이 더 강력한 위험요인인 것으로 알려졌다.

WHO Regional Office for Europe(2005)과 Samoli 등(2008)에 따르면 일일 사망률(All-cause daily mortality)은 미세먼지 농도 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 0.2 - 0.6% 증가하는 것으로 추정되었다. Beelen 등(2008), Krewski 등(2009), 그리고 Pope 등(2002)의 연구에 따르면 초미세먼지에 장기간 노출 시 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 심폐(cardiopulmonary) 사망률은 6-13% 증가하는 것으로 보고하고 있다.



[그림 2-10] 미세먼지 노출 시간에 따른 사망률 증가(Brook et al.,2010)

노인과 어린이뿐만 아니라 폐와 심장에 기존 질병이 있는 민감군(susceptible groups)들은 특별하게 더 위험한 것으로 알려졌다. 예를 들어 폐가 발달 중인 어린이가 입자상 물질에 노출되면 만성적으로 폐 성장 속도가 감소될 뿐만 아니라 폐 기능이 가역적으로 저하될 수 있으며, 이는 만성적인 폐기능 저하로 나타날 수 있다(U.S EPA, 2012).

미세 입자상 물질에 대한 안전한 수준이나 건강상의 악영향이 나타나지 않는 역치값(threshold)의 존재에 대한 증거는 아직까지 밝혀지지 않았다. 미세 입자상 물질에 대한 노출은 사람이 의도치 않게 또 어디에서나 이루어질 수 있으므로 건강에 해로운 영향을 증대시킬 수 있다.

일반인 집단 수준에서 다양한 발생원에서 발산되는 입자들별로 혹은 다른 화학물질로 구성된 입자들의 건강 영향 차이를 확인할 수 있는 충분한 증거는 현재까지는 존재하지 않는다(Stanek LW 등. 2011). 그러나 연소 관련

(combustion-related) 입자상물질(고정 또는 이동상 발생원 모두)은 다른 발생원의 입자상물질보다 유해성이 더 크다는 증거에 대해서는 주의할 필요가 있다(WHO, 2007).

불완전한 연소로 인하여 발생하는 블랙카본(black carbon)은 기상(climate)뿐만 아니라 건강에 해로운 영향을 준다는 증거들이 증가하고 있어서, 이로 인하여 공기질 관련 관심의 증폭되고 있다. 잘 알려진 발암물질인 PAH 등 유기물질과 중금속, 비유기성 염 등이 블랙카본에 붙어 세포에 직접적으로 독성을 나타낼 수 있기 때문에 건강 영향과 관련이 있는 것으로 보인다.

IARC에서는 대부분이 입자로 구성된 디젤배출물(exhaust from diesel engines)에 대해 인체에 암을 일으키는 발암물질(Group 1)로 2012년부터 분류하고 있다(IARC, 2012). 또한 이 분류 목록에는 가정에서 사용하는 고체연료(IARC, 2010)뿐만 아니라 PAHs와 관련 노출도(IARC, 2010) 포함하고 있다.

2) 직업적 노출

입자상 물질에 직업적으로 노출되어 나타나는 건강상의 영향을 연구한 결과를 보면 발암성의 경우는 아직까지 등재되지 않았으며, 건강의 심각성을 파악할 수 있는 RfC나 MRL, IDLH 등의 자료도 제정되지 않는 것으로 파악되었다. 단 입자상물질의 농도와 폐 기능 저하에 대한 연구는 많이 진행되고 있다.

결정성 실리카인 경우는 건강상의 악영향이 매우 크다고 알려졌다. 우리나라 고용노동부(고용노동부 고시 제2012-31호, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준)에서는 분진 중 일부인 산화규소(결정성 실리카)에 대해서 산화규소(결정체 석영), 산화규소(결정체 크리스토파라이트), 산화규소(결정체 트리디마이트), 산화규소(결정체 트리폴리) 등 4가지로 구분하여 발암성의 경우는 모두 1A(사람에게 충분한 발암성 증거가 있는 물질)로 규정하고 있다. 따라서 입자상 물질에 대해 그 성분까지 조사 분석하여 그 독성을 제시하여야 한다.

- 발암성 : 미등재(National Toxicology Program (NTP), International Agency for Research on Cancer (IARC), U.S. Environmental Protection Agency (EPA))
- EPA Inhalation Reference Concentration (RfC): 미등재
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Inhalation Minimal Risk Level (MRL): 미등재
- NIOSH Immediately Dangerous to Life or Health (IDLH) concentration: 미등재
- 기타 : 입자상 물질에 노출되면 폐 기능 저하(Exposure to dusts may to decrease pulmonary function, Shieh, T.S., Chung, J.J., Wang, C.J., Tsai, P.J., Kuo, Y.C., Guo, H.R.: Pulmonary function, respiratory symptoms, and dust exposure among workers engaged in early manufacturing processes of tea: a cohort study. BMC Public Health. 12:121, Feb 13, 2012).
- Literature Basis: ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values(TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Particulates (Insoluble) Not Otherwise Specified (PNOS). 2001.

3. 미세먼지 관리기준

1) 입자상물질에 대한 기준

입자상물질에 대한 일반 대기를 대상으로 하는 기준은 국제적으로 통용되어 권고치가 될 수 있는 WHO와 각 나라별로 제정하고 있는 기준으로 구분하여 검토할 수 있다. 대기 환경 기준은 총분진 (total particulate matter, TPM)이나 특정한 입자 크기 분율 (PM₁₀ 이나 PM_{2.5})에 대한 기준으로 구분하여 제안하고 있다.

(1). 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 미세먼지 유지 권고기준

<표 2-7>에서는 WHO의 대기 중 PM₁₀, PM_{2.5}의 권고 기준을 나타내었다. WHO에서는 미세먼지의 건강상의 영향을 미치는 임계농도에 대한 자료는 아직까지 없다고 발표하여, 기존의 많은 역학조사 자료를 근거로 본 권고기준을 제시하고 있다. 즉, 장기간과 단기간의 건강상의 영향을 고려하여 연평균과 일평균 농도도 구분하였으며, PM_{2.5}의 연평균 농도가 11-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 되었을 때, 두통, 무기력, 어지럼증 등과 같은 가벼운 증상에서 호흡곤란에 이르는 중대한 건강영향이 나타난다는 역학연구를 바탕으로 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 연평균 권고기준으로 제시하고 있다. PM₁₀의 경우 PM_{2.5}와의 비율($\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}=0.5$)를 일괄 적용하여 권고기준을 제시하고 있다. 각 나라마다 미세먼지의 농도 수준이 다르고, WHO 권고기준을 따르고 있어 당장 시기적으로 어려운 경우 미세먼지에 따른 사망률을 고려하여 3단계로 제시하고 있는 실정이다.

<표 2-7> WHO PM10, PM2.5 대기환경 권고기준 및 잠정목표

	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		각 단계별 연평균 기준 설정 시 건강영향
	연평균	일평균	연평균	일평균	
잠정목표 1	35	75	70	150	권고기준에 비해 사망위험률이 약 15% 증가 수준
잠정목표 2	25	50	50	100	잠정목표 1보다 약 6% (2-11%) 사망위험률 감소
잠정목표 3	15	37.5	30	75	잠정목표 2보다 약 6% (2-11%)의 사망위험률 감소
권고기준	10	25	20	50	심폐질환과 폐암에 의한 사망률 증가가 가장 낮은 수준

출처: WHO, 2005; Air Quality Guideline

(2). WHO 실내공기질 관리 기준 설정 근거

미세먼지의 대기환경 노출기준 설정에 있어서 건강위험성 평가에 대한 고려가 있어야 한다. 일반적으로 노출과 관련된 위험성평가에 있어서는 노출량, 노출경로, 노출시간 등의 복합적인 인자들을 고려하여 산정하고 있다. 이에 동물 실험이나 기타 인체에 미세먼지가 노출되었을 경우의 양-반응 검사 자료 등의 연구결과 또는 자료가 필요한 실정이다. 하지만 2005년 WHO 보고서에 따르면, 아직까지 미세먼지, 특히 PM2.5에 대해서는 일정농도 노출 시 발생하는 증상의 양-반응 관계와 관련된 연구가 매우 미미하며, 이에 따른 임계농도 (Threshold concentration)는 지금까지 명확하지 않다고 제시하고 있다.

WHO air quality guidelines and interim targets for particulate matter: annual mean concentrations ^a			
	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Basis for the selected level
Interim target-1 (IT-1)	70	35	These levels are associated with about a 15% higher long-term mortality risk relative to the AQG level.
Interim target-2 (IT-2)	50	25	In addition to other health benefits, these levels lower the risk of premature mortality by approximately 6% [2-11%] relative to the IT-1 level.
Interim target-3 (IT-3)	30	15	In addition to other health benefits, these levels reduce the mortality risk by approximately 6% [2-11%] relative to the IT-2 level.
Air quality guideline (AQG)	20	10	These are the lowest levels at which total, cardiopulmonary and lung cancer mortality have been shown to increase with more than 95% confidence in response to long-term exposure to PM _{2.5} .

[그림 2-11] WHO 대기질 가이드라인과 입자상 물질의 잠정목표 : 연평균 농도

WHO air quality guidelines and interim targets for particulate matter: 24-hour concentrations ^a			
	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Basis for the selected level
Interim target-1 (IT-1)	150	75	Based on published risk coefficients from multi-centre studies and meta-analyses (about 5% increase of short-term mortality over the AQG value).
Interim target-2 (IT-2)	100	50	Based on published risk coefficients from multi-centre studies and meta-analyses (about 2.5% increase of short-term mortality over the AQG value).
Interim target-3 (IT-3)*	75	37.5	Based on published risk coefficients from multi-centre studies and meta-analyses (about 1.2% increase in short-term mortality over the AQG value).
Air quality guideline (AQG)	50	25	Based on relationship between 24-hour and annual PM levels.

[그림 2-12] WHO 대기질 가이드라인과 입자상 물질의 잠정목표 :
24시간 평균 농도

이에 WHO 권고 기준 설정 근거를 살펴보면 지난 10여 년간의 역학연구에서 밝혀진 미세먼지 노출과 건강상의 영향에 대한 자료에 근거, 기본 권고기준을 제시하고 있다. 특히 WHO에서 미세먼지에 대한 이러한 권고기준을 마련한 배경에는 PM_{2.5} 노출과 장기간의 사망률과의 매우 확실한 상관관계가 있다는 역학연구에 근거한 것이어서, 기준 마련을 고려하고 있는 나라들에게 중요한 참고자료라 할 수 있겠다.

WHO의 연평균 미세먼지의 권고기준 설정 근거에 있어서 PM_{2.5}와 PM₁₀의 비율(=PM_{2.5}/PM₁₀)을 이용, PM₁₀과 PM_{2.5}의 권고기준을 각각 제시하였다. 즉, Dockery, Pope, 미국 암협회(American Cancer Society's (ACS) study) 등에서 발표한 역학자료(Dockery et al., 1993; Pope et al., 1995; HEI, 2000, Pope et al., 2002, Jerrett, 2005; the American Cancer Society's (ACS) study (Pope et al., 2002))에서 PM_{2.5}의 연평균 농도가 11-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 되었을 때, 두통, 무기력, 어지럼증 등과 같은 가벼운 증상에서 호흡곤란이 이르는 중대한 건강영향이 나타난다는 역학연구를 바탕으로 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 연평균 권고기준으로 제시하고 있다. 순차적으로 PM₁₀의 기준은 이에 두 배인 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 권고기준으로 제시하였다. 아울러 각 나라마다 미세먼지의 농도 수준이 다르고, WHO 권고기준을 따르기에 당장 시기적으로 어려운 경우 미세먼지에 따른 사망률을 고려하여 3단계로 제시하는 단계적 목표치를 제시하여, 각 나라마다 상황에 맞게 활용할 수 있도록 권고기준 범위를 제시하였다. 예를 들어, 잠정목표 1의 경우 권고기준에 비해 사망위험률이 약 15% 증가 수준으로 설정하여 PM_{2.5}가 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀이 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 제시되고 있다. 아울러 PM_{2.5}와 PM₁₀의 농도 비율은 나라마다 농도 수준을 바탕으로 수정이 가능할 수 있다고 보고하고 있다.

2) 국내·외 대기환경 기준

입자상물질에 대한 일반 대기를 대상으로 하는 기준은 총분진(total particulate matter, TPM)이나 특정한 입자 크기 분율 (PM₁₀ 이나 PM_{2.5})에 대한 기준으로 구분하여 제시하고 있다.

국제적인 입자상 물질에 대한 기준은 <표 2-8>에서 보는 바와 같이 매우 넓은 범위로 국가(기관)마다 설정되어 있다. 국가별 기준의 차이는 기준의 역사에 의해 설명될 수 있다. 현재 적용되고 있는 기준은 현재 및 예측된 오염 수준이나 기준 설정(역학 조사 연구와 실제 오염 수준) 시의 자료에 기초하고 있다.

1971년에 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 시간 평균) 수준에서 인체에 건강상에 유의한 악영향을 미칠 수 있어 입자상 물질에 대한 기준을 설정하였으며 이후에 더욱 엄격하게 개정하고 있다. 일반 대기를 대상으로 하는 EPA 기준이 직업노출기준 보다 상당히 낮은 즉 훨씬 더 엄격하다.

<표 2-8> 입자상 물질 및 에어로졸의 대기환경 가이드라인

Country/ Institution	Aerosol	Level ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Averaging period	Guideline type	Date of impleme ntation	Relevant law	Ref.
Argentina	TPM	150	1 month		Apr 1973	Ley 20.284	a
Chile	TPM	260	24 hours	not to be exceeded more than once per year	Jun 1978	Resolución No. 1215	a
		75	Annual		Jun 1978	Resolución No. 1215	a
	PM10	150	24 hours	24-hr standard not to be exceeded by the annual 98th percentile	May 1998	Decreto Supremo No 59/98	a
China ¹	TPM	120 (i), 300 (ii), 500 (iii)	24 hours		Jan 1996	GB 3095-1996	a
		80 (i), 200 (ii), 300 (iii)	Annual		Jan 1996	GB 3095-1996	a
	PM10	50 (i), 150 (ii), 250 (iii)	24 hours		Jan 1996	GB 3095-1996	a
		40 (i), 100 (ii), 150 (iii)	Annual		Jan 1996	GB 3095-1996	a
Columbia	TPM	400	24 hours	not to be exceeded more than once per year	Jan 1982	Decreto No. 2	a
		100	Annual		Jan 1982	Decreto No. 2	a
Costa Rica	TPM	240	24 hours	not to be exceeded more than once per year		Reglamento sobre inmisión de contaminante s atmosféricos	a
		90	Annual				
	PM10	150	24 hours	not to be exceeded more than once per year			
		50	Annual				

Country/ Institution	Aerosol	Level ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Averaging period	Guideline type	Date of impleme ntation	Relevant law	Ref.
Ecuador	TPM	250	24 hours	not to be exceeded more than once per year	Jul 1991	Registro Official No. 726	a
		80	Annual		Jul 1991	Registro Official No. 726	a
EU	PM10	50	24 hours	not to be exceeded more than 35 times a calendar year	Jan 2005	COUNCIL DIRECTIVE 1999/30/EC	b
		40	Annual		Jan 2005		
Japan	PM10 (SPM)	200	1 hour		May 1973		c
		100	24 hours		May 1973		c
Mexico	TPM	260	24 hours	Not to be exceeded	Dec 1994	NOM-024- SSA1-1993	a
		75	Annual		Dec 1994		
	PM10	150	24 hours	Not to be exceeded more than once per year	Dec 1994	NOM-025-S SA1- 1993	a
		50	Annual		Dec 1994		
New Zealand	PM10	50	24 hours		May 2002		d
		20	Annual		May 2002		d
UK	PM10	50	24 hours	not to be exceeded more than 35 times a calendar year	Dec 2004	The Air Quality (England) Regulations 2000	e
		40	Annual		Dec 2004		
USA	PM10	150	24 hours	Primary & Secondary	1990	NAAQS	f
		50	Annual	Primary & Secondary	1990		
	PM2.5	65	24 hours	Primary & Secondary	1990		
		15	Annual	Primary & Secondary	1990		

1. (i) Sensitive areas of special protection; (ii) typical urban and rural areas and (iii) special industrial areas.

a. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/normas/normas.html>

b. European Commission Guidelines Website

- c. <http://www.env.go.jp/en/air/aq/aq.html>
- d. <http://www.mfe.govt.nz/publications/air/ambient-guide-may02.pdf>
- e. <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/airqual/index.htm>
- f. <http://www.epa.gov/air/criteria.html>

앞서 언급한바와 같이 국가 간 대기환경기준은 <표 2-9>와 같이 24시간 평균, 연평균으로 나누어 제시하고 있다. 특히, 일본의 의 경우 PM10의 순간적인 건강상의 영향 등을 고려하여 1시간 평균 농도를 기준으로 제시하고 있다. 전체적으로 많은 나라들의 대기 중 미세먼지 기준은 WHO에서 제시한 권고 기준으로 자국의 농도 수준, 달성정도/의지 등에 따라 잠정목표 3단계 중 한 단계를 제시하고 있는 공통점이 있다. 다만, 미국, 일본 등과 같이 오랫동안 자체 측정 자료 등을 가지고 있는 나라의 경우 WHO 기준, 자국의 농도수준, 건강과의 영향 등을 고려하여 WHO의 권고 기준보다 더 낮게 설정하고 있는 것으로 조사 되었다. 특히, 미국의 경우 최근 PM2.5의 기준을 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮춘 것은 PM2.5의 건강상 영향의 심각성을 반영한 것으로 생각된다. 반면, 유럽연합과 영국의 경우 PM2.5의 일평균 값 기준을 제정하지 않았는데, 이는 아직도 PM2.5의 단기간 건강상의 영향 등에 대한 자료 수집과정에서 현재까지 논의하고 있는 것으로 조사되었다.

<표 2-9> 국내·외 대기환경기준

항목	기준 시간	한국	미국	일본	영국	호주	홍콩	중국	EU
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1시간			200					
	24시간	100	150	100	50		180	150	50
	연평균	50			40	50	55	100	40
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24시간	50	35	35		25		75*	
	연평균	25	12	15	25	8		35*	25

출처: 대기환경연보, 2012 및 중화인민공화국 공고(GB3095·2012, 제7호, 일반 2급 목표)*

<표 2-10>은 상기 표들에서 기술한 각 국가나 기관의 기준 내용을 입자 크기별로 기준 값의 범위를 요약한 것이다. 일반 대기 환경을 대상으로 하고 있는 기준들은 입자를 총분진(TPM), PM10, PM2.5 등 세 가지로 구분하고 있으며, 기준을 적용하는 시간 개념에 있어서도 연평균과 일평균으로 구분하고 있다.

<표 2-10> 대기중 입자상 물질의 크기별 기준값 범위 요약

기준 시간	TPM($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값
24시간	120	500	50	250	65	65
연간	40	150	20	150	15	15

3) 국가별 다중이용시설 내 미세먼지 관리 기준

(1). 국외 미세먼지 관리 기준

국외의 많은 나라에서 대기기준과 실내기준을 분리하지 않은 것으로 조사되었으며, 캐나다, 호주 및 한국을 포함한 일본, 싱가포르 등의 일부 아시아 국가에서만 다중이용시설 등의 실내공기질 권고 기준을 <표 2-11>과 같이 제시하고 있다. 이 기준 역시 PM10의 경우로 한정되고 있어, PM2.5에 대한 기준마련이 필요할 것으로 사료된다. 캐나다의 경우 주거공간의 실내공기질 관리기준을 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로, 호주의 경우 대기환경 기준과 동일한 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 법에 설정하고 있다. 일본의 경우 관리하는 정부 부처에 따라 $100\sim150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 관리하도록 제시하고 있다.

<표 2-11> 국외 실내 미세먼지 관리기준

국가	기준치	비고
미 국	PM10 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	냉난방공조학회(ASHRAE)의 실내 오염물질 기준
캐나다	PM2.5 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1시간 평균)	실내 공기질 권고기준
영 국	PM10 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 평균)	영국 EPAQS(Expert Panel of Air Quality Standards) 가이드라인
싱가폴	PM10 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$	실내 공기질 가이드라인
노르웨이	PM2.5 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간평균)	실내 공기질 가이드라인
호 주	PM10 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (년 평균)	환경자원부 산하 Environment Protection Group 가이드라인
홍 콩	PM10, Excellent Class $<20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Good Class $<180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8시간 평균)	환경 보호국 IAQ Management Group 가이드라인

(2). 국내 미세먼지 관리기준

국내의 경우 2013년 수정된 ‘다중이용시설 등의 실내공기질관리법’에 의해 보육시설, 의료시설, 전시시설, 인터넷컴퓨터게임제공시설, 도서관·박물관, 지하역사, 공항/철도/항만 터미널의 대합실, 대규모점포, 실내주차장 등의 12개 군에 대한 PM₁₀ 관리기준을 <표 2-12>와 같이 지정, 운영하고 있다. <표 2-13>과 같이 지하역사, 항만/공항 등의 대합실의 경우 일평균 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 유지로 지정하고 있으며, 의료기관, 어린이집, 노인요양시설 등과 같이 노약자, 어린이 등의 민감, 취약 군이 이용하는 시설의 경우 좀 더 강화된 기준이 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 유지를 제시하고 있다.

<표 2-12> 국내 주요 정부 부처의 미세먼지 관리기준 비교

	환경부	보건복지부	고용노동부	교육인적자원부
적용대상	다중이용시설 (지하역사, 의료기관, 찜질방 등 17개 시설군)	공중이용시설 (공연장, 학원, 업무시설 등)	사무실, 작업장	학교
근거법	다중이용시설 등의 실내공기질 관리법	공중위생관리법	산업보건기준에 관한 규칙	학교보건법
미세먼지(PM ₁₀)	100-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

<표 2-13> 환경부 다중이용시설 내 PM10 관리 기준

시설구분	농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
지하역사, 지하도상가, 여객자동차터미널의 대합실, 철도역사의 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 항만시설 중 대합실, 도서관·박물관 및 미술관, 장례식장, 목욕장, 대규모점포, 영화상영관, 학원, 전시시설, 인터넷 컴퓨터게임 시설 제공업 영업시설	150 이하
의료기관, 어린이집, 국공립 노인요양시설 및 노인전문병원, 산후조리원	100 이하
실내주차장	200 이하
※ 도서관, 영화상영관, 학원, 전시시설, 인터넷 컴퓨터 게임시설 제공업 영업시설 중 자연환기가 불가능하여 자연환기설비 또는 기계환기설비를 이용하는 경우에 이산화탄소의 기준은 1,500ppm 이하입니다.	

출처: 실내 공기 질 유지기준(「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」 제5조제2항, 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법 시행규칙」 제3조 및 별표 2)

(3). 연구논문, 보고서 등의 자료 조사

미세먼지에 대한 실내·외의 기준 설정에 있어서, 농도에 따른 건강영향을 파악하는 것이 필요하다. 이에 지난 10년간의 미세먼지 관련된 연구논문을 살펴 보았을 때 PM10, PM2.5의 공통적인 건강영향은 주로 사망률 증가, 암 발생, 심혈관계 및 호흡기계 질환, 알레르기질환, 그리고 폐암사망률 증가 등 다양한 질병에 영향을 미치고 있었다. 그 중 특히 호흡기계 질환과 심혈관계 질환에 대한 연구가 가장 많이 진행되고 있었으며, 이 두 가지 질환들이 인간이 미세먼지에 노출되었을 때 가장 많이 발현 되는 것으로 나타났다. 그러나 미세먼지로 인한 사망자, 병원내원 등은 통계적인 확률로만 확인된 부분이 많아 이에 대한 의학적 설명 및 관계기관과 전문가들의 종합적인 검토가 필요하다.

<표 2-14>에서는 국내·외 다중이용시설 미세먼지와 관련된 연구현황을 정리 하여 나타내었다. 서울 및 경기권 다중이용시설의 평균 미세먼지 농도가 지하철역사, 터미널, 요양 및 보육시설 순으로 국내 여타 주요도시(광주, 부산 등) 보다 높은 수준을 보였다. 특히 환기가 잘 이루어 지지 않는 지하시설에서 그 농도가 높았던 것으로 나타났다 (서울 지하철역사 $106.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2004-2007). 국외의 경우 스위스 식당 $64.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 스리랑카 식당 $33\text{-}299 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 같은 장소라도 농도의 차이가 큰 것으로 나타났는데 이는 국가 간 경제규모(GDP), 환경적, 사회적, 문화적 차이로 인한 것으로 보인다.

또한 건강영향평가 결과 PM10과 PM2.5의 농도증가는 사망위험도를 통계적으로 유의하게 높이고 있었으며, 그 위험도가 PM10보다 PM2.5에서 상대적으로 더 높은 것으로 나타났다. 사망원인에 따라서는 PM10이나 PM2.5에 노출되었을 때 심혈관계 질환이나 호흡기계 질환으로 사망할 확률이 전체사망원인보다 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다.

<표 2-14> 국내·외 다중이용시설 미세먼지 연구현황 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

연구제목	서명/저자	실행년도	연구방법	장소	주요결과
서울·경기 일부지역 다중이용시설 실내공기중 미세먼지와 미세먼지 중 내독소의 농도	전병학 외	2004.09 - 2007.02	유리섬유필터mini volume air sampler, 중량법	노인시설	PM10: 실내83.27, 실외41.43 PM2.5: 실내39.75, 실외43.30
				대규모 점포	PM10: 실내53.63, 실외71.76 PM2.5: 실내28.06
				대학병원	PM10: 실내68.14, 실외59.83 PM2.5: 실내24.02
				어린이집	PM10: 실내81.75, 실외68.44 PM2.5: 실내62.15, 실외25.66
				지하역사	PM10: 실내106.04, 실외54.9 8 PM2.5: 실내65.69, 실외92.44
				터미널	PM10: 실내98.25, 실외98.68 PM2.5: 실내29.49, 실외95.83
다중이용시설 실내공기질평가 -부산을 중심으로	부산광역시 보건환경 연구원보 제22-2권	2012.05 - 2012.12	3 mL/min 유속으로 6시간 채취, 실내공기질 공정시험기 준 항목별 시험방법	지하역사, 지하도 상가	PM10 - 65.8
				의료기관	PM10 - 37.1
				실내 주차장	PM10 - 62.4
				보육시설	PM10 - 44.7
				대규모 점포	PM10 - 48.2
				노인요양, 산후 조리원	PM10 - 45.8
				영화관, 학원	PM10 - 47.1
				공항여객 대합실, 장례식장, 목욕탕	PM10 - 49.4
광주지역 다중이용시설의 실내공기질농도와 상관성분석	광주광역시 보건환경연 구원 환경연구부	2009.03 - 2009.11	실내공기질 공정시험방 법	실내 주차장	PM10 - 69.2
				보육시설	PM10 - 53.7
				대규모 점포	PM10 - 47.5
				의료기관	PM10 - 46.4
				지하역사	PM10 - 45.9

연구제목	서명/저자	실행년도	연구방법	장소	주요결과
지하철역사 미세먼지 (PM10) 확산방향과 확산속도추정 (서울지하철 5호선 개화산역을 대상으로)	대한교통학회지 제28권 제5호, 2010년10월 박종현 외	2009.09.11 - 2009.10.17	중량법 (배타선흡수법)	지하역사 (5호선 개화산역)	-본선터널 307(평일) - 276(일요일) -승강장 120(평일) - 100(일요일) -대합실 74(평일) - 57(일요일)
춘천시 미세먼지 및 그 이온성분의 입경별 농도 분포	기초과학연구 21: 179-190, 2010 김평래 외	2008.02 - 2008.07	MOUDI 시료채취	강원 대학교 옥상	평균 28.9 (7.6-66.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 분포)
미세먼지의 농도변화를 이용한 다중이용시설의 흡연으로 인한 공기질 관리 정책 평가	정책보고서 2009-07 김성렬 외	2009	SidePak AM510 Aerosol Monitor사용	서울시 14개구 28개 PC방	흡연실 69.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 금연실 29.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
INDOOR PM1, PM2.5, PM10 AND OUTDOOR PM2.5 CONCENTRATION S IN PRIMARY SCHOOLS IN SARI, IRAN	Arh Hig Rada Toksikol 2013;64:371-377 Mohammad yan M, and Shabankhan i B.	2011.11 - 2012.06	Micro Dust Pro monitor and a GRIMM monitor The Kolmogorov-Smirnov test	primary schools in Sari	The association between indoor fine particle concentrations (PM2.5 and PM1) and outdoor PM2.5 levels was stronger than between indoor PM10 concentrations and outdoor PM2 average PM10
Particulate pollution in an underground car park in Wuhan, China	Particuology 11 (2013) 94 - 98 Yaxuan Li 외	2011.05.08 - 2011.06.31	atomic absorption spectrometer (AAS). Beta attenuation method	underground car park in Wuhan	concentrations at the entrance and at the exit were 101.3 g/m^3 and 234.4 g/m^3 , respectively, and average PM2.5 concentrations at the entrance and at the exit were 47.7 g/m^3 and 62.7 g/m^3 ,

연구제목	서명/저자	실행년도	연구방법	장소	주요결과
Studying the indoor air quality in three nonresidential environments of different use: A museum, a printery industry and an office	Building and Environment 46 (2011) 2333e2341 D. Saraga. et al.	2007.06.22 - 2007.07.02	European standard methods EN 12341 EN 14907	A museum a printery industry and an office in Athens	the highest concentration values were recorded on the bookbindery section of the printery industry (151 mg/m ³) whilst the lowest in the museum (20.3 mg/m ³)
Indoor fine particle (PM _{2.5}) pollution exposure due to secondhand smoke in selected public places of Sri Lanka.	AmJIndMed .2012Dec;55(12):1129-36. doi:10.1002/ajim.22040.Epub2012Apr 2. Nandasena S. et al.	2009.01 - 2009.03	PM monitor (Model AM510-SID EPAK Personal Aerosol Monitor)	스리랑카다중이용시설 (식당, 술집, 카페, entertainment venues)	PM _{2.5} 농도 실내평균범위: 33-299 실외평균범위: 18-83
A 32-country comparison of tobacco smoke derived particle levels in indoor public places.	TobControl. 2008Jun;17(3):159-65. doi:10.1136/tc.2007.020479. Epub2008Feb 26. Hyland A. et al.	2003-2007	TSI SidePak AM510 Personal Aerosol Monitor	술집, 식당, 공항, retail outlets	PM _{2.5} concentration Syria 372, Romania 366, Lebanon 34(μg/m ³) Indoor public places : Ireland 22, Uruguay 18, New Zealand 8(μg/m ³)
미세먼지 입자크기에 따른 급성 사망영향과 경제적 손실 비용	이용진 외 (2007년)	2001.1.1. - 2005.12.31	PM10과 PM2.5 시간별 모니터링 데이터와 동일 기간의 사망원인 통계 자료 분석	서울시	○ PM10의 경우 IQR(30.1 μg/m ³)증가 시, 전체사망의 상대위험도는 1.008(95%CI=0.873-1.039), 호흡기계질환 사망의 경우 1.045(95%CI=0.980-1.063), 심혈관계질환 사망의 경우 1.031(95%CI=1.028-1.063) ○ PM2.5의 경우 IQR(17.3 μg/m ³)증가시, 전체사망의 상대위험도는 1.045(95%CI=1.028-1.069), 호흡기계질환 사망의 경우 1.084(95%CI=1.033-1.106), 심혈관계질환 사망의 경우 1.062(95%CI=1.021-1.113). ○ 모든 사망위험에 대하여 PM2.5의 상대위험도가 더 높음.

연구제목	서명/저자	실행년도	연구방법	장소	주요결과
초미세먼지의 건강영향평가 및 관리정책 연구	공성용 외 (2012년)	2006-2010	1. PM2.5의 농도분포 및 물리화학적 특성분석 2. PM2.5의 건강영향 및 편익산정 3. PM2.5의 배출량 추정 및 관리정책 로드맵	서울시	○ PM2.5는 황산암모늄 질산암모늄 등 2차입자의 비중이 큼 ○ 도로 비산먼지와 황사의 영향은 PM2.5보다 PM10이 더 큼. ○ 미세먼지 농도증가는 사망률을 높힘.
Pollutions of indoor fine particles in four types of public places and the influencing factors	Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi. 2009 Aug;43(8):664-8.	2009	TSI SidePak AM510 Personal Aerosol Monitor	베이징 통저우의 공중화장실, 식당, 가라오케 술집, cyber café	PM2.5농도 실내 334.6±386.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (range: 6-1956 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) bathcenter 116.9±100.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 식당 317.9±235.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가라오케바 750.6±521.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cyber cafe 157.5±98.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Contribution of fine particulate matter sources to indoor exposure in bars, restaurants, and cafes.	IndoorAir.2010Jun;20(3):204-12.doi:10.1111/j.1600-0668.2010.00645.x.Epub2010Feb1Daly B.J. et al.	2010	robust MM regression	취리히 중심가의 술집의 금연구역, 카페, 식당	PM2.5 - 64.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 흡연자들의 농도는 평균 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가함
Exposure to secondhand smoke at home and in public places in Syria: a developing country's perspective.	InhalToxicol.2008Jan;20(1):17-24.doi:10.1080/08958370701758783 Maziak W. et al	2006	TSI SidePak AM510 Personal Aerosol Monitor	시리아 알레포 중심의 공공장소 (식당, 카페)	PM2.5 - 464 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

연구제목	서명/저자	실행년도	연구방법	장소	주요결과
일부 지하철 역사 내 실내공기 중 미세먼지에서의 중금속 노출에 의한 건강위해성평가	오윤희 외 (2013년)	2010.04. - 2010.10.	air sampler를 이용한 시료채취 및 IRIS (Integrated Risk Information System)를 이용한 위해성 평가	서울시 일부 지하철 역사	○ PM10의 경우, 발암위해도는 RME 노출 상태에서 Cr^{6+} 과 Ni는 남녀 모두 허용위해도인 10-6을 초과 ○ PM2.5의 경우, 발암위해도는 RME 노출 상태에서 Cr^{6+} 과 Ni 모두 허용위해도인 10-6을 초과 ○ 발암 발생가능성이 높음을 확인
미세먼지와 그 유해화학물질의 건강위해성평가	박은정 (2008년)	2005.04 - 2007.02	1년간에 걸쳐 TSP, PM10, PM2.5의 대기 중 농도에 관한 모니터링을 실시 2007.02.26. - 2007.07.02. 까지 도시 미세먼지를 입경별로 구분하여 포집 - 미세먼지 내에 함유된 극미세먼지(ultrafine particles)의 분포변화를 관찰	서울시	PM2.5; 5.4-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ○ 비소-추가발암위해도에서 노출평균값으로 계산시 백만명당 6.5명, 95percentile값으로 계산시 백만명당 20명 ○ 카드뮴-노출평균값 계산시 백만명당 7.2명, 95percentile값으로 계산시 백만명당 25.4명 ○ 크롬-노출평균값 계산시 백만명당 14.4명, 95percentile값으로 계산시 백만명당 53.8명 (단, 위의 계산값은 PM2.5에 결합된 중금속의 체내 흡수율을 100%로 가정한 경우)
미세먼지의 건강영향	Samet JM, 1987-1994. 2000;343:1742-1749.	1987-1994	미국 20개 도시를 대상으로 1987년부터 1994년까지 미세먼지와 사망률과의 관련성 연구	미국	미세먼지의 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할수록 전체 사망률은 0.51% 증가하였고, 심장 혈관 및 호흡기계 질환으로 인한 사망은 0.68% 증가

연구제목	서명/저자	실행년도	연구방법	장소	주요결과
미세먼지의 건강영향	Pope CA 3rd. JAMA 2002;287:1132-1141.		미국암예방연구)의 대상자 120만명을 전향적으로 추적	미국	미세먼지 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 전체 사망위험은 4% 증가하고, 심혈관계 사망은 6%, 암으로 인한 사망은 8% 증가
	EnvironHealthPerspect1999;107:873-878. HongYC. et al.		인천 지역을 대상으로 미세먼지와 사망과의 관련성을 연구	인천	미세먼지 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 전체 사망률은 0.8% 정도 증가하는 것으로 보고
	HaEH. et al. Pediatrics2003;111:284-290.		서울에서 대기오염과 영아 사망과의 관련성	서울시	미세먼지가 42.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하는 경우에 영아 사망률이 14.2% 증가
경유자동차에서 발생하는 미세먼지(PM2.5)의 인체위해성 영향평가	국립환경과학원 최종보고서 (2011년)	2011.05.08 - 2011.12.15	·포집된 먼지의 크기, PM2.5량 및 개수 측정 ·휘발성 물질, 중금속 및 PAH류 분석 · $\Sigma\text{PAH-TEQ}$ 산정 ·인체발암 위해성 평가 수행 ·경유차량 배출가스 규제기준을 위한 화학물질 목록 작성		○ETC 및 ESC모드별로 각각 16.61 및 13.78 $\mu\text{g} - \text{TEQ}/\text{g} - \text{PM}_{2.5}$ 의 농도로 확인되어 ETC모드가 ESC모드보다 좀 더 높은 오염도를 나타냈다. ○ $\Sigma\text{PAH-TEQ}$ 량을 이용하여 만성적 인체 발암위해도를 수행한 결과 10-6보다 높은 위해성이 유도됨을 확인
Beijing ambient particle exposure accelerates atherosclerosis in ApoE knockout mice by upregulating visfatin expression	Cell Stress Society International 2014 Qiang Wan외	2013.11 - 2014.01	Forty male ApoE $^{-/-}$ mice were exposed to untreated ambient air (PM group, n=20) or filtered air (FA group, n=20), 24 h/day, 7 days/week, for 2 months. During the exposure, the mass concentrations of PM2.5 and PM10 in the two groups were continuously monitored.	중국	이 연구 결과는 잠재적 인 염증 매개체의 상향 조절에 베이징 주변 PM 흡입 노출의 결과를 보여줌

연구제목	서명/저자	실행년도	연구방법	장소	주요결과
Hospital Admissions and Chemical Composition of Fine Particle Air Pollution	American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine Vol. 179 2009 Michelle L. et al.	1999-2005	We linked two national datasets by county and by season: (1) long-term average concentrations of PM _{2.5} chemical components for 2000 - 2005 (2) RRs of cardiovascular and respiratory hospitalizations for persons 65 years or older associated with a 10-mg/m ³ increase in PM _{2.5} total mass on the same day for 106 U.S. counties	미국	니켈, 바나듐, 원소 탄소 또는 그와 관련된 소스의 높은 PM _{2.5} 연관될 경우 PM _{2.5} 단기노출시 임원위험과 관련성이 높은 것으로 밝혀짐
Milano Summer Particulate Matter (PM ₁₀) Triggers Lung Inflammation and Extra Pulmonary Adverse Events in Mice	Milano PM ₁₀ sum Induces Systemic Toxic Effects February 2013 Volume 8 Francesca Farina 외	2012.08 - 2013.01	Broncho Alveolar Lavage fluid, lung parenchyma, heart and brain were screened for markers of inflammation (cell counts, cytokines, ET-1, HO-1, MPO, iNOS), cytotoxicity (LDH, ALP, Hsp70, Caspase8-p18, Caspase3-p17) for a putative pro-carcinogenic marker (Cyp1B1) and for TLR4 pathway activation.	이탈리아	본연구 결과는 주로 호흡과 심장 혈관 시스템을 포함한 염증 및 프로 응고제의 반응에 따른 독성효과를 확인함. 따라서 PM노출과 심혈관질환간의 상관성 규명함

4) 국외 작업환경기준

작업 환경 노출기준을 제정하고 있는 OSHA, NIOSH, ACGIH 등에서 제정하고 있는 기준은 다음 <표 2-15>와 같다. 직업적 노출기준은 입자상물질을 총분진(total particulate matter)과 호흡성분진(respirable particles)으로 구분하여 기준을 정하고 있다.

<표 2-15> 입자상 물질의 직업적 노출기준

Institution	Exposure Limit Values	References
OSHA Permissible Exposure Limit (PEL) - General Industry	5 mg/m ³ (8 hour TWA) (respirable particles) 15 mg/m ³ (total particulate matter)	29 CFR 1910.1000 Table Z-1 (PNOR) and 29 CFR 1910.1000, Table Z-3 (Inert or Nuisance Dust)
OSHA PEL - Construction Industry	15 mg/m ³ TWA (total particulate matter)	29 CFR 1926.55 Appendix A
OSHA PEL - Shipyard Employment	15 mg/m ³ TWA (total particulate matter)	29 CFR 1915.1000 Table Z-Shipyards
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Recommended Exposure Limit (REL)	10 mg/m ³ (8 hour TWA) (total particulate matter) 7 mg/m ³ (8 hour TWA) (carbon nanotubes)	Appendix D
CAL/OSHA PEL	5 mg/m ³ TWA (respirable particles)	
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Guideline	3 mg/m ³ (respirable particles) 10 mg/m ³ TWA (total particulate matter)	

- OSHA Standards Website,

https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARD&p_id=9992, 29CFR 1910.1000 TABLE Z-1. - LIMITS FOR AIR

CONTAMINANTS

- Particulates not otherwise regulated (PNOR)(f) : 특정한 물질의 이름으로 등재되어 있지 않은 미네랄, 무기, 유기 여부와 관계없이 모든 비활성 또는 유해한 먼지가 Particulates Not Otherwise Regulated (PNOR)임.

작업 환경 노출기준을 제정하고 있는 OSHA, NIOSH, ACGIH 등에서 제정하고 있는 기준과 USEPA, WHO 등에서 제정하고 있는 일반 대기 환경 기준을 입자 크기별로 구분한 비교 자료는 <표 2-16>과 같다.

<표 2-16> 미국의 작업환경 및 일반환경 대기질 기준

Pollutant	Averaging times	OSHA PEL ^a	NIOSH TLV ^b	ACGIH TLV ^c	USEPA NAAQS ^d	WHO ^e
Particulate matter 2.5 µm or smaller in aerodynamic diameter (PM _{2.5})	Annual (arithmetic mean)				15.0 µg/m ^{3f}	
	24-h				65 µg/m ^{3g}	
Respirable dust ^h	8-h	5 mg/m ³	3 mg/m ³	3 mg/m ³		
Respirable coal dust ^h						
Particulate matter 10 µm or smaller in aerodynamic diameter (PM ₁₀)	Annual (arithmetic mean)				50 µg/m ³ⁱ	
	24-h				150 µg/m ^{3k}	

^a Occupational Safety and Health Administration Permissible Exposure Limit (Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Air Contaminants. Code of Federal Regulations Title 29, Part 1910.1000, Table Z-1, 1999).

^b National Institute of Occupational Safety and Health Administration Threshold Limit Value (<http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/00-14075.pdf> html).

^c American Conference of Governmental Industrial Hygienists Threshold Limit Value (ACGIH. Documentation of the TLVs and BEIs, Vol. III, 6th ed. Cincinnati, Ohio, 1996).

^d United States Environmental Protection Agency National Ambient Air Quality

Standards (US EPA (1997). 'National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule.' *Federal Register* 2).

^e World Health Organization Air Quality Standards (<http://www.worldbank.org/html/fpd/em/power/standards/airqstd.stm#who>: Source: World Bank, Environment Department, 'Initial Draft of Industrial Pollution Prevention and Abatement Handbook,' Jan 1995).

^f To attain this standard, the 3-year average of the annual arithmetic mean $PM_{2.5}$ concentrations from single or multiple community-oriented monitors must not exceed $15.0 \mu g/m^3$.

^g To attain this standard, the 3-year average of the 98th percentile of 24-h concentrations at each population-oriented monitor within an area must not exceed $65 \mu g/m^3$.

^h Respirable dust and respirable coal dust includes particulate matter 10 μm or smaller in aerodynamic diameter.

ⁱ To attain this standard, the expected annual arithmetic mean PM_{10} concentration at each monitor within an area must not exceed $50.0 \mu g/m^3$.

^j Not to be exceeded more than once per year.

^k Not to be exceeded more than three times per year.

III. 옥외 작업장 미세먼지 노출 실태조사

1. 옥외 작업장 미세먼지 발생 수준 관련 문헌조사

옥외 작업장 미세먼지 노출 수준에 대한 기존에 보고된 국외 논문 및 보고서를 고찰하였다. 국외 논문 및 보고서는 Science Direct, EBSCO Host, Pubmed, Google 학술검색을 이용하였다. Key Words로 ‘outdoor worker(옥외 근로자)’, ‘fine particle(미세먼지)’, ‘exposure(노출)’을 입력하였고, 그리고 주로 ‘construction(건설)’에 초점을 두었다.

<표 3-1> 옥외작업장 미세먼지 노출수준 연구현황

제목	저자(기관)	국가	주요 결과(미세먼지 노출수준)																																	
On-tool to reduce exposure to respirable dusts in the construction industry	HSE Pocock 등 (2012년)	영국	Tuck-point 그라인딩(몰타르 제거) 작업 시 호흡성 실리카 근로자 개인노출 농도는 4.99-10.90 mg/m ³ 수준을 나타냄 표면 그라인딩(마감) 작업시 호흡성 분진 노출농도는 4.87 mg/m ³ 수준을 나타냄 Cutting(콘크리트, 타일, 벽돌) 작업시 최고 50 mg/m ³ 수준이었으며, 4.80-8.2 mg/m ³ 수준을 나타냄																																	
Construction industry	CAREX (2014년)	캐나다	건설 사업장에서 건설업에서 발암물질 노출 가능성을 추정하였다. 10개 발암물질 노출 가능성으로, 태양 자외선, 실리카, 목재분진, 석면, 디젤엔진 배출물질, 납 및 납 화합물, 인공적 자외선, 벤젠, 크롬6가를 제시하였다. Figure 1: Top 10 Prevalent carcinogen exposures for the construction industry, CAREX Canada Database, 2006 <table><thead><tr><th>Carcinogen</th><th>Exposure Concentration</th><th>Number of workers exposed (approx.)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Solar radiation</td><td>High</td><td>340,000</td></tr><tr><td>Silica, crystalline</td><td>Medium</td><td>230,000</td></tr><tr><td>Wood dust</td><td>Medium</td><td>180,000</td></tr><tr><td>Asbestos</td><td>Medium</td><td>130,000</td></tr><tr><td>Diesel engine exhaust</td><td>Medium</td><td>80,000</td></tr><tr><td>Lead and lead compounds, inorganic</td><td>Medium</td><td>50,000</td></tr><tr><td>Bitumens</td><td>Medium</td><td>40,000</td></tr><tr><td>Ultraviolet radiation, artificial</td><td>Low</td><td>10,000</td></tr><tr><td>Benzene</td><td>Low</td><td>10,000</td></tr><tr><td>Chromium VI compounds</td><td>Low</td><td>10,000</td></tr></tbody></table>	Carcinogen	Exposure Concentration	Number of workers exposed (approx.)	Solar radiation	High	340,000	Silica, crystalline	Medium	230,000	Wood dust	Medium	180,000	Asbestos	Medium	130,000	Diesel engine exhaust	Medium	80,000	Lead and lead compounds, inorganic	Medium	50,000	Bitumens	Medium	40,000	Ultraviolet radiation, artificial	Low	10,000	Benzene	Low	10,000	Chromium VI compounds	Low	10,000
Carcinogen	Exposure Concentration	Number of workers exposed (approx.)																																		
Solar radiation	High	340,000																																		
Silica, crystalline	Medium	230,000																																		
Wood dust	Medium	180,000																																		
Asbestos	Medium	130,000																																		
Diesel engine exhaust	Medium	80,000																																		
Lead and lead compounds, inorganic	Medium	50,000																																		
Bitumens	Medium	40,000																																		
Ultraviolet radiation, artificial	Low	10,000																																		
Benzene	Low	10,000																																		
Chromium VI compounds	Low	10,000																																		

제 목	저자(기관)	국 가	주요 결과(미세먼지 노출수준)
Cement dust exposure and pulmonary function tests in construction site workers	Lakshmi 등 (2016년)	인도	건설업 근로자는 작업장에서 시멘트를 포함한 입자상 물질 가능성이 높을 수 있다. 이런 노출은 폐기능 감소를 야기할 수 있다. 160명의 근로자를 대상으로, 건설업 근로자 60명과 일반 환경에서 근로자 100명을 대상으로 폐기능 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 받아야 하며, 초기에 예방 및 치료할 수 있도록 해야 한다. 노출농도는 제시하지 않았다.
Gas and dust exposure in underground construction is associated with sings of airway inflammation	Ulvestad 등 (2001)	노르웨이	지하 건설업 근로자의 개인노출 농도 2. 호흡성 분진 노출농도 1) 지하 건설업 근로자 호흡성 분진(RSP) 노출농도 30명 : $1.61 \pm 1.43 \text{ mg/m}^3$ 2) 실외 대기에서 콘크리트 건설 근로자 호흡성 분진(RSP) 농도 40명 : $0.21 \pm 1.69 \text{ mg/m}^3$ 3. 참여 대상자는 모두 비흡연자이며, 상기도 및 하기도 염증이 지하 건설업 근로자에게 높게 나타남
Monitoring of daily integrated exposure of outdoor workers to respirable particulate matter in an urban region of india	Kulkarni 등 (1999)	인도	옥외 근로자(교통경찰, 도로변 상점 근로자 등)을 대상으로 호흡성 분진(cut-off diameter $5 \mu\text{m}$)을 측정 호흡성 분진 노출 농도는 옥외 근로자가 평균 $322 \mu\text{g/m}^3$ 이었으며, 가장 가까운 곳의 대기측정망의 PM10 농도에 비해서 2.25배 높았다. 이런 노출의 90% 신뢰구간에서 RSP 농도 수준은 $283\text{--}368 \text{ mg/m}^3$ 이었다.

제 목	저자(기관)	국가	주요 결과(미세먼지 노출수준)
Occupational exposure to particulate air pollution and mortality due to ischaemic heart disease and cerebrovascular disease	Toren 등 (2007)	스웨덴	스웨덴의 건설업 근로자를 대상으로 남성 노출 근로자(176,309명)과 남성 비노출 근로자(71,778명)에 대해 유해인자(무기성 분진(석면, mineral fiber, 시멘트, 콘크리트, 석영), 목재 분진, 흙, 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).
Cement dust exposure and pulmonary function tests in construction site workers	Lakshimi 등 (2016)	인도	건설업 근로자는 작업장에서 시멘트를 포함한 입자상 물질 가능성이 높을 수 있다. 이런 노출은 폐기능 감소를 야기할 수 있다. 160명의 근로자를 대상으로, 건설업 근로자 60명과 일반 환경에서 근로자 100명을 대상으로 폐기능 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 받아야 하며, 초기에 예방 및 치료할 수 있도록 해야 한다.
Emerging risk in the construction industry : Recommendations for managing exposure to nanomaterials	Diaz-Soler 등 (2016)	스페인	건설업에서 최근 나노입자 발생에 따른 근로자의 직업적 위해 가능성을 나타낼 수 있다. 현재까지 건설업 근로자의 나노입자 노출에 대한 보고는 매우 부족하며, 이후 연구에서 계속적으로 필요한 상태이다. 이전에 석면의 전례에서 보듯, 건설업의 나노입자 노출도 사전주의 원칙(principle of precaution)을 고려해서 노출을 평가하고 관리하는 것이 계속적으로 필요하다.

제목	저자(기관)	국가	주요 결과(미세먼지 노출수준)																										
Evaluation and control of respirable silica exposure during lateral drilling of concrete	Copper 등 (2012)	미국	건물 벽면 드릴 작업시 근로자가 노출될 수 있는 정도와 분진 제어장비를 도입하였을 경우를 다음과 같이 제시 (기준포함)																										
			TABLE I. Occupational Exposure Limits for Crystalline Silica																										
			<table><tr><th>Organization or Agency</th><th>Form of Crystalline Silica</th><th>Limit (mg/m³)</th></tr><tr><td rowspan="3">NIOSH^A</td><td>Quartz</td><td>REL = 0.05 10-hr TWA during a 40-hour workweek</td></tr><tr><td>Cristobalite</td><td>REL = 0.05 10-hr TWA during a 40-hour workweek</td></tr><tr><td>Tridymite</td><td>REL = 0.05 10-hr TWA during a 40-hour workweek</td></tr><tr><td rowspan="3">OSHA^B</td><td>Quartz</td><td>PEL = 250 mppcf ÷ (% Quartz + 5)</td></tr><tr><td>Cristobalite</td><td>PEL = $\frac{1}{2}$ (250 mppcf) ÷ (% Cristobalite + 5)</td></tr><tr><td>Tridymite</td><td>PEL = $\frac{1}{2}$ (250 mppcf) ÷ (% Tridymite + 5)</td></tr><tr><td rowspan="4">ACGIH</td><td>Crystalline silica</td><td>TLV = 0.025</td></tr><tr><td>Quartz</td><td>2006-Combined into one TLV, Crystalline Silica</td></tr><tr><td>Cristobalite</td><td>2006-Combined into one TLV, Crystalline Silica</td></tr><tr><td>Tridymite</td><td>2005-Withdrawn due to insufficient data</td></tr></table>	Organization or Agency	Form of Crystalline Silica	Limit (mg/m ³)	NIOSH ^A	Quartz	REL = 0.05 10-hr TWA during a 40-hour workweek	Cristobalite	REL = 0.05 10-hr TWA during a 40-hour workweek	Tridymite	REL = 0.05 10-hr TWA during a 40-hour workweek	OSHA ^B	Quartz	PEL = 250 mppcf ÷ (% Quartz + 5)	Cristobalite	PEL = $\frac{1}{2}$ (250 mppcf) ÷ (% Cristobalite + 5)	Tridymite	PEL = $\frac{1}{2}$ (250 mppcf) ÷ (% Tridymite + 5)	ACGIH	Crystalline silica	TLV = 0.025	Quartz	2006-Combined into one TLV, Crystalline Silica	Cristobalite	2006-Combined into one TLV, Crystalline Silica	Tridymite	2005-Withdrawn due to insufficient data
			Organization or Agency	Form of Crystalline Silica	Limit (mg/m ³)																								
			NIOSH ^A	Quartz	REL = 0.05 10-hr TWA during a 40-hour workweek																								
				Cristobalite	REL = 0.05 10-hr TWA during a 40-hour workweek																								
				Tridymite	REL = 0.05 10-hr TWA during a 40-hour workweek																								
			OSHA ^B	Quartz	PEL = 250 mppcf ÷ (% Quartz + 5)																								
				Cristobalite	PEL = $\frac{1}{2}$ (250 mppcf) ÷ (% Cristobalite + 5)																								
				Tridymite	PEL = $\frac{1}{2}$ (250 mppcf) ÷ (% Tridymite + 5)																								
ACGIH	Crystalline silica	TLV = 0.025																											
	Quartz	2006-Combined into one TLV, Crystalline Silica																											
	Cristobalite	2006-Combined into one TLV, Crystalline Silica																											
	Tridymite	2005-Withdrawn due to insufficient data																											
^A NIOSH Publication No. 2005-151.																													
^B The PEL for silica in OSHA's Safety and Health Regulations for Construction, 29 CFR 1926.55(a), is an 8-hr TWA expressed in terms of millions of particles																													
TABLE II. Respirable Silica While Drilling Concrete with a Pneumatic Rock Drill																													
<table><tr><th></th><th>Mean mg/m³ (range)</th><th>Standard Deviation</th><th>Percent Reduction^A</th><th>Hazard Ratio^B</th></tr><tr><td>Drilling with jig and dust control</td><td>0.04 (<0.02-0.05)</td><td>0.01</td><td>94.3</td><td>0.80</td></tr><tr><td>Drilling with jig and without dust control</td><td>0.30 (0.09-0.64)</td><td>0.24</td><td>55.3</td><td>6.0</td></tr><tr><td>Drilling without jig and without dust control</td><td>0.68 (0.42-0.84)</td><td>0.19</td><td>NA</td><td>14</td></tr></table>		Mean mg/m ³ (range)	Standard Deviation	Percent Reduction ^A	Hazard Ratio ^B	Drilling with jig and dust control	0.04 (<0.02-0.05)	0.01	94.3	0.80	Drilling with jig and without dust control	0.30 (0.09-0.64)	0.24	55.3	6.0	Drilling without jig and without dust control	0.68 (0.42-0.84)	0.19	NA	14									
	Mean mg/m ³ (range)	Standard Deviation	Percent Reduction ^A	Hazard Ratio ^B																									
Drilling with jig and dust control	0.04 (<0.02-0.05)	0.01	94.3	0.80																									
Drilling with jig and without dust control	0.30 (0.09-0.64)	0.24	55.3	6.0																									
Drilling without jig and without dust control	0.68 (0.42-0.84)	0.19	NA	14																									
^A Compared to drilling without the jig or the dust control.																													
^B Silica hazard ratio equals mean exposure divided by 0.05 mg/m ³ , the NIOSH REL.																													

제목	저자(기관)	국가	주요 결과(미세먼지 노출수준)																																				
Exposure assessment for roofers exposed to silica during installation of roof tiles	Hall 등 (2013)	미국	건물 지붕의 타일 설치시 다량의 먼지와 함께 호흡성 실리카에 노출되었으며, 작업환경 노출기준을 초과하였다. 따라서 지붕 위에서 근로하는 경우 노출에 따른 건강위해를 고려하여 공학적 대책 및 대체 물질 사용으로 실리카 노출을 감소시켜야 한다. GM (sample size) and Range of 8-Hour Respirable Dust and Silica Concentrations <table><tr><th></th><th colspan="2">Company A</th><th colspan="2">Company B</th><th colspan="2">Company C</th><th colspan="2">Company D</th></tr><tr><th></th><th>GM (n)</th><th>Range (mg/m³)</th><th>GM (n)</th><th>Range (mg/m³)</th><th>GM (n)</th><th>Range (mg/m³)</th><th>GM (n)</th><th>Range (mg/m³)</th></tr><tr><td>Respirable dust⁴</td><td>0.83 (16)</td><td>0.2–2.2</td><td>0.86 (8)</td><td>0.2–1.8</td><td>1.19 (7)</td><td>0.7–3.6</td><td>0.89 (7)</td><td>0.3–2.9</td></tr><tr><td>Respirable silica</td><td>0.12 (16)</td><td>0.04–0.32</td><td>0.14 (8)</td><td>0.04–0.25</td><td>0.16 (7)</td><td>0.07–0.44</td><td>0.14 (7)</td><td>0.04–0.44</td></tr></table>		Company A		Company B		Company C		Company D			GM (n)	Range (mg/m ³)	GM (n)	Range (mg/m ³)	GM (n)	Range (mg/m ³)	GM (n)	Range (mg/m ³)	Respirable dust ⁴	0.83 (16)	0.2–2.2	0.86 (8)	0.2–1.8	1.19 (7)	0.7–3.6	0.89 (7)	0.3–2.9	Respirable silica	0.12 (16)	0.04–0.32	0.14 (8)	0.04–0.25	0.16 (7)	0.07–0.44	0.14 (7)	0.04–0.44
	Company A		Company B		Company C		Company D																																
	GM (n)	Range (mg/m ³)	GM (n)	Range (mg/m ³)	GM (n)	Range (mg/m ³)	GM (n)	Range (mg/m ³)																															
Respirable dust ⁴	0.83 (16)	0.2–2.2	0.86 (8)	0.2–1.8	1.19 (7)	0.7–3.6	0.89 (7)	0.3–2.9																															
Respirable silica	0.12 (16)	0.04–0.32	0.14 (8)	0.04–0.25	0.16 (7)	0.07–0.44	0.14 (7)	0.04–0.44																															
Pneumoconiosis and exposure to quartz-containing dust in the construction industry	Nij 등 (2002)	네덜란드	건설업 근로자에 대한 분진 및 석영 노출을 수행. 단면연구로 직무에 따라 34명(근로시간 6–8hr)을 대상으로 개인 호흡성 노출을 측정함.																																				

제 목	저자(기관)	국 가	주요 결과(미세먼지 노출수준)																																																																																																
			Table 1. Respirable dust (mg/m³) and respirable quartz (mg/m³) by construction worker sub-group and within and between worker variation <table><tr><th rowspan="2">Group</th><th rowspan="2">N</th><th rowspan="2">n</th><th colspan="4">Respirable dust (mg/m³)</th><th colspan="4">Respirable quartz (mg/m³)</th></tr><tr><th>AM (min–max)</th><th>GM (GSD)</th><th>bwR₉₅ (GSD)</th><th>wwR₉₅ (GSD)</th><th>AM (min–max)</th><th>GM (GSD)</th><th>bwR₉₅ (GSD)</th><th>wwR₉₅ (GSD)</th></tr><tr><td>Total</td><td>34</td><td>68</td><td>2.2 (0.1–11.5)</td><td>1.1 (3.5)</td><td>31 (2.4)</td><td>38 (2.5)</td><td>0.35 (0.002–3.77)</td><td>0.086 (6.6)</td><td>600 (5.1)</td><td>47 (2.7)</td></tr><tr><td>Tuck pointers</td><td>4</td><td>10</td><td>3.5 (0.6–8.0)</td><td>2.2 (2.9)</td><td>1 (1.0)</td><td>69 (2.9)</td><td>0.56 (0.089–1.65)</td><td>0.35 (2.8)</td><td>1 (1.0)</td><td>110 (3.3)</td></tr><tr><td>Recess millers/ concrete workers</td><td>8</td><td>14</td><td>2.8 (0.2–11.5)</td><td>1.4 (3.4)</td><td>12 (1.9)</td><td>62 (2.9)</td><td>0.84 (0.028–3.77)</td><td>0.31 (5.3)</td><td>47 (2.7)</td><td>174 (3.7)</td></tr><tr><td>Demolition workers</td><td>10</td><td>22</td><td>2.4 (0.2–9.4)</td><td>1.4 (3.1)</td><td>25 (2.3)</td><td>21 (2.2)</td><td>0.25 (0.038–1.26)</td><td>0.14 (2.7)</td><td>14 (2.0)</td><td>20 (2.1)</td></tr><tr><td>Inner wall constructor</td><td>2</td><td>4</td><td>2.1 (0.6–4.0)</td><td>1.5 (2.5)</td><td>1 (1.0)</td><td>57 (2.8)</td><td>0.043 (0.016–0.084)</td><td>0.036 (2.0)</td><td>1 (1.0)</td><td>25 (2.3)</td></tr><tr><td>Construction site cleaners</td><td>6</td><td>12</td><td>1.0 (0.1–2.5)</td><td>0.5 (3.7)</td><td>8 (1.7)</td><td>114 (3.4)</td><td>0.032 (0.002–0.097)</td><td>0.017 (3.6)</td><td>55 (2.8)</td><td>29 (2.4)</td></tr><tr><td>Background exposed group</td><td>4</td><td>6</td><td>0.3 (0.1–0.4)</td><td>0.2 (1.8)</td><td>10 (1.8)</td><td>3 (1.3)</td><td>0.005 (0.002–0.015)</td><td>0.003 (2.4)</td><td>22 (2.2)</td><td>8 (1.7)</td></tr></table> N, number of workers measured; n, number of measurements; GSD, geometric standard deviation; bwR₉₅, between worker ratio of the 97.5th and 2.5th percentiles of the log normally distributed exposure; wwR₉₅, within worker ratio of the 97.5th and 2.5th percentiles of the log normally distributed exposure.	Group	N	n	Respirable dust (mg/m ³)				Respirable quartz (mg/m ³)				AM (min–max)	GM (GSD)	bwR ₉₅ (GSD)	wwR ₉₅ (GSD)	AM (min–max)	GM (GSD)	bwR ₉₅ (GSD)	wwR ₉₅ (GSD)	Total	34	68	2.2 (0.1–11.5)	1.1 (3.5)	31 (2.4)	38 (2.5)	0.35 (0.002–3.77)	0.086 (6.6)	600 (5.1)	47 (2.7)	Tuck pointers	4	10	3.5 (0.6–8.0)	2.2 (2.9)	1 (1.0)	69 (2.9)	0.56 (0.089–1.65)	0.35 (2.8)	1 (1.0)	110 (3.3)	Recess millers/ concrete workers	8	14	2.8 (0.2–11.5)	1.4 (3.4)	12 (1.9)	62 (2.9)	0.84 (0.028–3.77)	0.31 (5.3)	47 (2.7)	174 (3.7)	Demolition workers	10	22	2.4 (0.2–9.4)	1.4 (3.1)	25 (2.3)	21 (2.2)	0.25 (0.038–1.26)	0.14 (2.7)	14 (2.0)	20 (2.1)	Inner wall constructor	2	4	2.1 (0.6–4.0)	1.5 (2.5)	1 (1.0)	57 (2.8)	0.043 (0.016–0.084)	0.036 (2.0)	1 (1.0)	25 (2.3)	Construction site cleaners	6	12	1.0 (0.1–2.5)	0.5 (3.7)	8 (1.7)	114 (3.4)	0.032 (0.002–0.097)	0.017 (3.6)	55 (2.8)	29 (2.4)	Background exposed group	4	6	0.3 (0.1–0.4)	0.2 (1.8)	10 (1.8)	3 (1.3)	0.005 (0.002–0.015)	0.003 (2.4)	22 (2.2)	8 (1.7)
Group	N	n	Respirable dust (mg/m ³)				Respirable quartz (mg/m ³)																																																																																												
			AM (min–max)	GM (GSD)	bwR ₉₅ (GSD)	wwR ₉₅ (GSD)	AM (min–max)	GM (GSD)	bwR ₉₅ (GSD)	wwR ₉₅ (GSD)																																																																																									
Total	34	68	2.2 (0.1–11.5)	1.1 (3.5)	31 (2.4)	38 (2.5)	0.35 (0.002–3.77)	0.086 (6.6)	600 (5.1)	47 (2.7)																																																																																									
Tuck pointers	4	10	3.5 (0.6–8.0)	2.2 (2.9)	1 (1.0)	69 (2.9)	0.56 (0.089–1.65)	0.35 (2.8)	1 (1.0)	110 (3.3)																																																																																									
Recess millers/ concrete workers	8	14	2.8 (0.2–11.5)	1.4 (3.4)	12 (1.9)	62 (2.9)	0.84 (0.028–3.77)	0.31 (5.3)	47 (2.7)	174 (3.7)																																																																																									
Demolition workers	10	22	2.4 (0.2–9.4)	1.4 (3.1)	25 (2.3)	21 (2.2)	0.25 (0.038–1.26)	0.14 (2.7)	14 (2.0)	20 (2.1)																																																																																									
Inner wall constructor	2	4	2.1 (0.6–4.0)	1.5 (2.5)	1 (1.0)	57 (2.8)	0.043 (0.016–0.084)	0.036 (2.0)	1 (1.0)	25 (2.3)																																																																																									
Construction site cleaners	6	12	1.0 (0.1–2.5)	0.5 (3.7)	8 (1.7)	114 (3.4)	0.032 (0.002–0.097)	0.017 (3.6)	55 (2.8)	29 (2.4)																																																																																									
Background exposed group	4	6	0.3 (0.1–0.4)	0.2 (1.8)	10 (1.8)	3 (1.3)	0.005 (0.002–0.015)	0.003 (2.4)	22 (2.2)	8 (1.7)																																																																																									
Controlling silica exposures in construction	OSHA (2009)	미국	본 지침서(guidance)는 규폐증을 야기하는 결정형 규소를 포함한 호흡성 분진의 건설업 근로자 노출 감소를 전달하는 것이다. 또한 이 지침서는 건설업에서 근로자의 노출을 감소시키기 위한 공학적 대책을 제공한다.																																																																																																

제목	저자(기관)	국가	주요 결과(미세먼지 노출수준)																																			
5 hazards that out outdoors workers at risk	BLR (2016)	미국	옥외 근로자로 고속도로, 건설업, 야외 근로 등을 제시하며, 5가지 유해인자로 날씨(weather; 강우, 바람, 추움), 차량(on and off road vehicles), 곤충 야생동물 등의 생물학적 인자, 혼자 근무, 살충제 노출을 제시함.																																			
Guidance on health surveillance in relation to MNMs for workers in the construction industry	Scaffold (2014)	핀란드	최근 건설현장의 시멘트, 모르타르, 페인트, 코팅, 절연 물질, 유리뿐만 아니라 방염제, 광촉매 사용 등으로 나노입자(nano-particle) 노출이 중요시 되고 있음 건설현장에서, 근로자의 나노입자 노출은 절단, 샌딩, 드릴링 등에서 노출될 수 있으며, 스프레이 작업, 에어로졸 형성 작업 등에서도 노출될 수 있음 <table><tr><th colspan="6">Table 2. Personal exposure assessment and source identification measurements carried out at construction sites (van Broekhuizen et al. (2011))</th></tr><tr><th rowspan="2">Work situation</th><th rowspan="2">Nanomaterial</th><th rowspan="2">Measurement location</th><th colspan="3">Workers' exposure to NPs</th></tr><tr><th>Min (N_p/cm³)</th><th>Max (N_p/cm³)</th><th>AM (N_p/cm³)</th></tr><tr><td rowspan="2">1. Company 1: Spraying Self-cleaning Coating</td><td rowspan="2">TiO₂ (anatase)</td><td>Personal exposure during spray activities</td><td>9 512</td><td>16 337</td><td>12 219</td></tr><tr><td>Background</td><td>7 195</td><td>15 696</td><td>11 898</td></tr><tr><td rowspan="2">2. Company 2: Location 1 Mixing mortar</td><td rowspan="2">SiO₂ (amorphous) NanoCrete R4</td><td>Personal exposure: (NanoCrete mixing)</td><td>45 429</td><td>641 074</td><td>199 508</td></tr><tr><td>Background</td><td>6 177</td><td>73 928</td><td>20 763</td></tr></table>	Table 2. Personal exposure assessment and source identification measurements carried out at construction sites (van Broekhuizen et al. (2011))						Work situation	Nanomaterial	Measurement location	Workers' exposure to NPs			Min (N _p /cm ³)	Max (N _p /cm ³)	AM (N _p /cm ³)	1. Company 1: Spraying Self-cleaning Coating	TiO ₂ (anatase)	Personal exposure during spray activities	9 512	16 337	12 219	Background	7 195	15 696	11 898	2. Company 2: Location 1 Mixing mortar	SiO ₂ (amorphous) NanoCrete R4	Personal exposure: (NanoCrete mixing)	45 429	641 074	199 508	Background	6 177	73 928	20 763
Table 2. Personal exposure assessment and source identification measurements carried out at construction sites (van Broekhuizen et al. (2011))																																						
Work situation	Nanomaterial	Measurement location	Workers' exposure to NPs																																			
			Min (N _p /cm ³)	Max (N _p /cm ³)	AM (N _p /cm ³)																																	
1. Company 1: Spraying Self-cleaning Coating	TiO ₂ (anatase)	Personal exposure during spray activities	9 512	16 337	12 219																																	
		Background	7 195	15 696	11 898																																	
2. Company 2: Location 1 Mixing mortar	SiO ₂ (amorphous) NanoCrete R4	Personal exposure: (NanoCrete mixing)	45 429	641 074	199 508																																	
		Background	6 177	73 928	20 763																																	

제 목	저자(기관)	국 가	주요 결과(미세먼지 노출수준)
DNA damage in outdoor workers occupationally exposed to environmental air pollutants	Tovalin 등 (2006)	멕시코	실외(옥외) 및 실내 55명의 근로자를 대상으로 PM2.5, 휘발성유기화합물, 오존 개인노출과 DNA 손상 관계를 분석 옥외 근로자 실내 근로자에 비해서 DNA 손상이 높았으며, PM2.5와 오존이 DNA 손상과 양(+)의 상관성을 나타내었으며, 매우 크게 DNA 손상의 주된 요인은 오존, PM2.5와 1-ethyl-2-methyl benzene 노출이었음.
Carcinogen exposures in the construction industry	AWES (2016)	호주	건설업 근로자 5,528명을 대상으로 설문조사 후, 38 발암물질의 노출 가능성을 평가함 이 연구에서 96% 근로자가 1가지 발암물질에 노출 가능성이 있으며, 53%는 적어도 4가지 발암물질에 노출 가능성이 있는 것으로 평가됨 건설업 근로자에게 가장 일반적인 발암물질은 태양의 자외선(UV) (86%), 환경성 담배연기(59%), 결정형 실리카(38%), 디젤배출물질(37%), 목재분진(36%)와 납(24%) 임 주된 직무는 혼합작업(시멘트, 나무 등), 페인팅, 납땜, 요업, 차량 연료주입 등

제 목	저자(기관)	국가	주요 결과(미세먼지 노출수준)																																																																																
			Table 2: AWES construction workers estimated to have probable or possible exposure to carcinogens—by carcinogen [number (per cent)] <table> <tr> <th>Carcinogen</th><th>Probable exposure n (%)</th><th>Possible exposure n (%)</th><th>Total n (%)</th></tr> <tr> <td>Solar UV radiation*</td><td>396 (86)</td><td>0</td><td>396 (86)</td></tr> <tr> <td>ETS*</td><td>272 (59)</td><td>0</td><td>272 (59)</td></tr> <tr> <td>Silica*</td><td>174 (38)</td><td>1 (0)</td><td>175 (38)</td></tr> <tr> <td>Diesel engine exhaust*</td><td>172 (37)</td><td>0</td><td>172 (37)</td></tr> <tr> <td>Wood dust*</td><td>163 (36)</td><td>5 (1)</td><td>168 (37)</td></tr> <tr> <td>Lead*</td><td>112 (24)</td><td>72 (16)</td><td>184 (40)</td></tr> <tr> <td>Chromium VI*</td><td>82 (18)</td><td>50 (11)</td><td>132 (29)</td></tr> <tr> <td>Formaldehyde*</td><td>68 (15)</td><td>5 (1)</td><td>73 (16)</td></tr> <tr> <td>Benzene*</td><td>66 (14)</td><td>1 (0)</td><td>67 (15)</td></tr> <tr> <td>Other PAHs*</td><td>34 (7)</td><td>0</td><td>34 (7)</td></tr> <tr> <td>Arsenic*</td><td>26 (6)</td><td>0</td><td>26 (6)</td></tr> <tr> <td>Nickel*</td><td>19 (4)</td><td>17 (4)</td><td>36 (8)</td></tr> <tr> <td>Trichloroethylene*</td><td>19 (4)</td><td>2 (0)</td><td>21 (5)</td></tr> <tr> <td>Asbestos*</td><td>17 (4)</td><td>183 (40)</td><td>200 (44)</td></tr> <tr> <td>Ionising radiation*</td><td>10 (2)</td><td>0</td><td>10 (2)</td></tr> <tr> <td>Shift work</td><td>8 (20)</td><td>0</td><td>8 (2)</td></tr> <tr> <td>Artificial UV</td><td>5 (1)</td><td>62 (14)</td><td>67 (15)</td></tr> <tr> <td>Acid mist</td><td>3 (1)</td><td>0</td><td>3 (1)</td></tr> <tr> <td>Cadmium</td><td>1 (0)</td><td>15 (3)</td><td>16 (3)</td></tr> </table>	Carcinogen	Probable exposure n (%)	Possible exposure n (%)	Total n (%)	Solar UV radiation*	396 (86)	0	396 (86)	ETS*	272 (59)	0	272 (59)	Silica*	174 (38)	1 (0)	175 (38)	Diesel engine exhaust*	172 (37)	0	172 (37)	Wood dust*	163 (36)	5 (1)	168 (37)	Lead*	112 (24)	72 (16)	184 (40)	Chromium VI*	82 (18)	50 (11)	132 (29)	Formaldehyde*	68 (15)	5 (1)	73 (16)	Benzene*	66 (14)	1 (0)	67 (15)	Other PAHs*	34 (7)	0	34 (7)	Arsenic*	26 (6)	0	26 (6)	Nickel*	19 (4)	17 (4)	36 (8)	Trichloroethylene*	19 (4)	2 (0)	21 (5)	Asbestos*	17 (4)	183 (40)	200 (44)	Ionising radiation*	10 (2)	0	10 (2)	Shift work	8 (20)	0	8 (2)	Artificial UV	5 (1)	62 (14)	67 (15)	Acid mist	3 (1)	0	3 (1)	Cadmium	1 (0)	15 (3)	16 (3)
Carcinogen	Probable exposure n (%)	Possible exposure n (%)	Total n (%)																																																																																
Solar UV radiation*	396 (86)	0	396 (86)																																																																																
ETS*	272 (59)	0	272 (59)																																																																																
Silica*	174 (38)	1 (0)	175 (38)																																																																																
Diesel engine exhaust*	172 (37)	0	172 (37)																																																																																
Wood dust*	163 (36)	5 (1)	168 (37)																																																																																
Lead*	112 (24)	72 (16)	184 (40)																																																																																
Chromium VI*	82 (18)	50 (11)	132 (29)																																																																																
Formaldehyde*	68 (15)	5 (1)	73 (16)																																																																																
Benzene*	66 (14)	1 (0)	67 (15)																																																																																
Other PAHs*	34 (7)	0	34 (7)																																																																																
Arsenic*	26 (6)	0	26 (6)																																																																																
Nickel*	19 (4)	17 (4)	36 (8)																																																																																
Trichloroethylene*	19 (4)	2 (0)	21 (5)																																																																																
Asbestos*	17 (4)	183 (40)	200 (44)																																																																																
Ionising radiation*	10 (2)	0	10 (2)																																																																																
Shift work	8 (20)	0	8 (2)																																																																																
Artificial UV	5 (1)	62 (14)	67 (15)																																																																																
Acid mist	3 (1)	0	3 (1)																																																																																
Cadmium	1 (0)	15 (3)	16 (3)																																																																																

2. 근로자 미세먼지 노출규모 추정

1) 업종별 미세먼지 노출규모

통계청 분류에 따라, 전체 업종 중 옥외작업이 많을 것이라고 예상되는 업종으로는 건설업, 농/임/어업, 광업, 유틸리티(전기/가스/증기/수도) 사업, 하수/폐기물 처리업, 운수업 등을 들 수 있다. 2014년을 기준으로 이들 업종에 종사하는 근로자수와 사업체수는 <표 3-2>와 같다. 건설업과 운수업이 사업체수와 근로자수 면에서 대다수를 차지하고 있다. 약 235만 명의 근로자가 옥외 미세먼지에 상당한 영향을 받을 수 있는 상황에 놓여있다.

<표 3-2> 옥외작업이 많은 업종별 사업체수 및 근로자수(2014년 기준)

산업별	사업체수 (명)	근로자수 (명)
농업, 임업 및 어업 (01-03)	3,184	36,474
광업 (05-08)	2,013	16,311
전기, 가스, 증기 및 수도사업 (35-36)	1,840	70,593
하수 · 폐기물 처리, 원료재생 및 환경복원업 (37-39)	7,761	82,216
건설업 (41-42)	128,215	1,098,535
운수업 (49-52)	378,884	1,047,788
총합	521,897	2,351,917

2) 직종별 미세먼지 노출규모

직종별 옥외미세먼지에 노출될 가능성이 높은 직종은 통계청의 한국표준직업분류(KSCO)의 분류에 따라 다음 <표 3-3>과 같이 정리된다. 크게 10개의 대분류로 구분되며, 이 중 옥외작업이 많을 것으로 예상되는 직업분류는 경찰관, 농림어업 근로자, 건설관련 근로자, 자동차 및 기계 운전원, 청소원, 배달원 등을 들 수 있다.

<표 3-3> 한국표준직업분류(KSCO)에 따른 옥외작업 직종분류

대분류	중분류	소분류	세분류	세세분류
2전문가 및 관련 근로자	28문화●예술●스 포츠 전문가 및 관련직	286스포츠 및 레크레이션 관련 전문가	2861경기감독 및 코치	28611경기감독 28612코치
			2862직업 운동선수	28620직업 운동선수
			2863경기심판 및 경기기록원	28631경기심판 28632경기기록원
			2864스포츠 및 레크레이션 강사	28641스포츠강사 및 트레이너 28642레크레이션기획가 및 강사 28649그외 스포츠 및 레크레이션강사
			2869기타스포츠 및 레크레이션 관련 전문가	28691바둑기사 28692프로게이머 28699그외 스포츠 및 레크레이션 관련전문가
4서비스 근로자	41경찰●소방 및 보안 관련 서비스직	411경찰●소방 및 교도 관련 근로자	4111경찰관	41111해양경찰관 41112일반경찰관
6농림어업 숙련 근로자	61농●축산 숙련직	611작물재배 근로자	6111곡식작물 재배원	61110 곡식작물 재배원
			6112채소 및 특용작물 재배원	61121채소작물 재배원 61122특용작물 재배원
			6113과수작물 재배원	61130 과수작물 재배원
		612원예 및 조경 근로자	6121원예작물 재배원	61211옥묘작물 재배원 61212화훼작물 재배원
			6122조경원	61220 조경원
		613축산 및 사육 관련 근로자	613낙농업관련 종사원	61311젖소사육자 61319그외 낙농업 관련 종사원
			613가축 사육 종사원	61321육우사육자 61322돼지사육자 61323가금사육자 61329그외가축사육종사 원
			6139기타 사육관련 종사원	61391양봉종사원 61392수렵종사원 61393동물부화원 61394감별사 61395동물사육사

대분류	중분류	소분류	세분류	세세분류
	62임업 숙련직	620임업관련 근로자	6201조림 • 영림 및 벌목원	61399그외 사육관련 종사원
				62011조림 및 영림원 62012벌목원
			6209임산물채취 및 기타 임업 관련 종사원	62091임산물채취 종사원
				62099그외 임업관련 종사원
	63어업 숙련직	630어업관련 근로자	6301양식원	63011어패류 양식원 63012해조류 양식원 63019그외 양식원
			6302어부 및 해녀	63021원근해어부 63022내수면어부 63023해녀
7기능원 및 관련 기능 근로자	75운송 및 기계 관련 기능직	751자동차 정비원	7510자동차 정비원	75101자동차엔진정비원 75102자동차채시정비원 75103자동차전기 • 전자 정비원 75104자동차판금정비원 75105자동차도장정비원 75106자동차경정비원 75109그외자동차정비원
	76전기 및 전자 관련 기능직	762전기공	7623외선전공	76231송 • 배전설비전기 원 76232지중전력설비전기 원 76233전기케이블접속원 76234철도고가전선가설 원 76239그외외선전기원
	77건설 및 채굴 관련 기능직	771건설구조 관련 기능 근로자	7711강구조물 가공원 및 건립원	77111강구조물가공원 77112강구조물건립원
			7712경량 철골공	77120 경량 철골공
		772건설관련 기능 근로자	7721철근공	77210 철근공
			7722콘크리트공	77221인조석설치원 77222콘크리트패널 조립원 77223콘크리트타설원
			7723건축 석공	77230 건축 석공
			7724건축 목공	77241전통건물건축원

대분류	중분류	소분류	세분류	세세분류
				77242외장목공 77243형틀목공 77244내장목공
			7725조적공 및 석재 부설원	77251조적공 77252보도블록설치원 77253석재부설원 77259그외조적공 및 석재부설원
			7729기타건설 관련 기능 종사원	77291비계공 77292건물칸막이설치원 77293건물해체원 77299그외건설 관련 기능종사원
		773건축마감관 련 기능 근로자	7736건축 도장공	77361건물도장공 77369그외건축도장공
			7737새시 조립 및 설치원	77370 새시 조립 및 설치원
		774채굴 및 토목 관련 기능 근로자	7741광원 • 채석원 및 석재 절단원	77411광원 77412채석원 77413석재절단원
			7742철로 설치 및 보수원	77421철로설치원 77422철로보수원
			7749기타채굴 및 토목 관련 근로자	77491점화 • 발파및화약 관리원 77492잠수기능원 77493삭구원및케이블접 속원 77494천일염생산종사원 77499그외채굴및토목관 련종사원
8장치 • 기계 조작 및 조립 근로자	87운전 및 운송 관련직	873 자동차 운전원	8731택시 운전원	87310 택시 운전원
			8732버스 운전원	87321 시내버스운전원 87322시외버스운전원 87323고속버스운전원 87324관광버스운전원 87329그외버스운전원
			8733화물차 및 특수차 운전원	87331용달화물차운전원 87332개별화물차운전원 87333일반화물차운전원 87339그외화물차및특수 차운전원

대분류	중분류	소분류	세분류	세세분류
			8739 기타 자동차 운전원	87391자가용운전원 87392렌터카운전원 87393승합차운전원 87394대리운전원 87395대리주차원 87399그외자동차운전원
		874 물품이동 장비 조작원	8740물품이동 장비 조작원	87401크레인운전원 87402리프트조작원 87403호이스트운전원 87404지게차운전원 87409그외 물품이동 장비조작원
		875건설 및 채굴기계 운전원	8750건설 및 채굴 기계 운전원	87501굴착기 • 착암기 및 채광기조작원 87502시추장비조작원 87503도로정지기운전원 87504항타기운전원 87505도로포장기 및 롤러운전원 87506굴삭기 및 불도저 운전원 87509그외 건설 및 채굴 기계운전원
		876선박갑판 승무원 및 관련 종사원	8760선박갑판 승무원 및 관련 종사원	87601갑판장 87602갑판원 87603바지선선원 87604등대원 87609그외 선박갑판 관련승무원
9단순노무 근로자	91건설 및 광업 관련 단순노무직	910건설 및 광업 단순 종사원	9100건설 및 광업 단순 종사원	91001건설단순종사원 91002광업단순종사원
	92운송관련 단순노무직	921하역 및 적재 단순 종사원	9210하역 및 적재 단순 종사원	92101하역 및 적재 관련 단순종사원 92102이삿짐 운반원 92109그외 하역 및 적재 단순종사원
		922배달원	9221우편물 집배원	92210우편물 집배원
			9222택배원	92221택배원 92229그외택배원

대분류	중분류	소분류	세분류	세세분류
			9223음식 배달원	92230음식 배달원
			9229기타 배달원	92291음료배달원 92292신문배달원 92299그외배달원
	94청소 및 경비관련 단순노무직	941청소원 및 환경 미화원	9411청소원	94111건물내부청소원 94112운송장비청소원 94119그외청소원
			9412환경미화원 및 재활용품 수거원	94121쓰레기 수거원 94122거리 미화원 94123재활용품 수거원 94129그외 환경미화원 및 재활용품 수거원
				99101농업단순종사원
				99102임업단순종사원
	99농림어업 및 기타서비스 단순노무직	991농림어업 관련 단순 종사원	9910농림어업관련 단순 종사원	99103어업단순종사원
				99104산불감시원
		992계기검침 • 수금 및 주차 관련 종사원	9921계기검침원 및 가스점검원	99211계기검침원 99212가스점검원
			9922수금원	99220 수금원
			9923주차관리원 및 안내원	99231주차관리원 99232주차안내원

KSCO의 분류에 따른 근로자수를 파악할 수 있는 근거자료가 없어, 고용노동부의 ‘직종별 사업체 노동력조사’의 결과자료를 토대로 직종별 노출규모를 추정하였다.

조사에 사용된 직업분류는 한국고용직업분류표를 따른다(<표 3-4> 참조). 전체 직종 중 옥외작업이 많을 것으로 예상되는 직종은 운전 및 운전 관련직, 건설 관련직, 농림어업 관련직, 경비 및 청소 관련직 등을 들 수 있다. 고용노동부의 ‘직종별 사업체 노동력조사’를 통해 2015년과 2016년 상반기를 기준으로 파악된 직종별 근로자수는 다음 <표 3-5>와 같다. 약 140 만 명의 근로자가 옥외 미세먼지에 상당한 영향을 받을 수 있을 것으로 추정된다.

<표 3-4> 한국고용직업분류표(KECO, 2007)

대분류	중분류	소분류
05 법률,경찰,소방, 교도 관련직	053 경찰, 소방, 교도 관련 근로자	
09 운전 및 운송 관련직	093 자동차 운전원	0931 택시운전원 0932 버스운전원 0933 화물차 및 특수차 운전원 0939 기타 자동차 운전원
	094 물품이동 장비 조작원	0940 물품이동 장비 조작원
	095 배달원 및 운송 관련 단순 근로자	0951 택배원 0952 우편물 집배원 0953 선박 갑판원 및 관련 종사원 0954 하역 및 적재 단순 종사원 0959 기타 배달원
11 경비 및 청소 관련직	113 청소원, 가사도우미, 그 외 청소관련 단순 근로자	1131 청소원 1132 환경 미화원 및 재활용품 수거원 1133 배관 세정원 및 방역원 1134 구두미화원 1135 가사도우미
	115 계기검침, 수금 및 주차관리 관련 단순 근로자	1151 계기 검침원 및 가스 점검원 1152 수금원 1153 주차 관리원 및 안내원 1154 검표원 1159 기타 서비스 관련 단순 종사원
12 미용, 숙박, 여행, 오락, 스포츠 관련직	127 스포츠 및 레크레이션 관련 근로자	1271 경기감독 및 코치 1272 직업 운동선수 1273 경기심판 및 경기기록원 1274 스포츠 및 레크레이션 강사 1275 프로게이머 외 기타 스포츠 및 레크레이션 관련 전문가 1279 기타 여가 및 스포츠 관련 종사원
14 건설 관련직	142 건설구조 관련 기능 근로자	1421 강구조물 가공원 및 건립원 1422 경량 철근공 1423 철근공 1424 콘크리트공 1425 건축 석공

대분류	중분류	소분류
	143 건설마감 관련 기능 근로자	1426 건축 목공 1427 조적공 및 석재 부설원 1429 기타 건설 관련 기능 종사원
		1431 미장공 1432 방수공 1433 단열공 1434 바닥재 시공원 1435 도배공 및 유리 부착원 1436 건축 도장공 1439 기타 건설마감 관련 기능 종사원
		145 건설 및 채굴기계 운전원
		146 토목 및 채굴 관련 근로자
		147 건설 및 광업관련 단순 근로자
		1461 광원·채석원 및 석재 전달원 1462 철로 설치 및 보수원 1469 기타 채굴 및 토목 관련 근로자
15 기계 관련직	154 자동차 정비원	1470 건설 및 광업 단순 종사원 1540 자동차 정비원
19 전기전자 관련직	192 전공	1921 산업전공 1922 내선전공 1923 외선전공
		2311 곡식작물 재배원 2312 채소 및 특용작물 재배원 2313 과수작물 재배원 2314 원예작물 재배원 2315 조정원
23 농림어업 관련직	232 낙농 및 사육 관련 근로자	2321 낙농업 관련 종사원 2322 가축 사육 종사원 2329 기타 사육 관련 종사원
	233 임업 관련 근로자	2331 조림·영림 및 벌목원 2339 임산물 채취 및 기타 임업 관련 종사원
	234 어업 관련 근로자	2341 양식원 2342 어부 및 해녀
	235 농림어업 관련 단순 근로자	2350 농림어업 관련 단순 종사원

<표 3-5> 옥외작업이 많은 직종별 근로자수(2015-2016년 상반기)

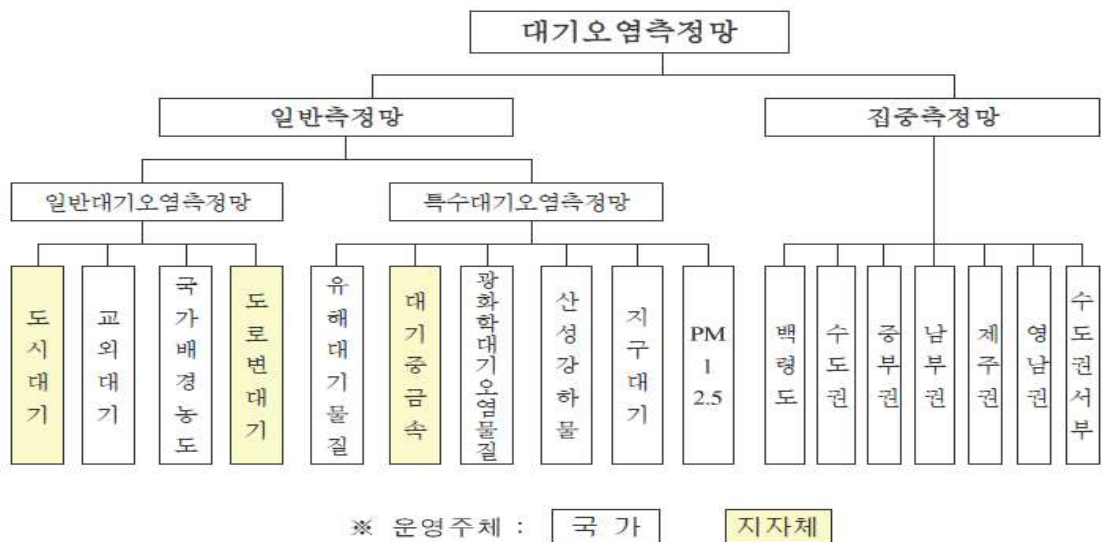
한국고용직업분류표(KECO '07)		근로자수(명)		
대분류	중분류	2015 (상반기)	2015 (하반기)	2016 (상반기)
05 법률, 경찰, 소방, 교도 관련직	053 경찰, 소방, 교도 관련 근로자	65	111	99
	093 자동차 운전원	401,841	412,402	401,857
09 운전 및 운송 관련 직	094 물품이동 장비 조작원	50,207	48,696	59,061
	095 배달원 및 운송 관련 단순 근 로자	80,455	74,080	85,315
11 경비 및 청소 관련 직	113 청소원, 가사도우미, 그 외 청 소관련 단순 근로자	258,549	279,615	289,718
	115 계기검침, 수금 및 주차관리 관련 단순 근로자	47,299	51,821	40,520
12 미용, 숙박, 여행, 오락, 스포츠 관련직	127 스포츠 및 레크레이션 관련 근로자	55,762	58,907	58,080
14 건설 관련직	142 건설구조 관련 기능 근로자	113,112	173,835	99,011
	143 건설마감 관련 기능 근로자	110,776	111,535	94,602
	145 건설 및 채굴기계 운전원	15,330	17,172	14,463
	146 토목 및 채굴 관련 근로자	14,737	8,183	7,916
	147 건설 및 광업관련 단순 근로 자	101,551	131,715	117,613
15 기계 관련직	154 자동차 정비원	52,759	52,816	51,695
19 전기전자 관련직	192 전공	67,979	70,942	81,329
23 농림어업 관련직	231 작물재배 근로자	10,923	11,528	13,014
	232 낙농 및 사육 관련 근로자	1,619	1,620	1,920
	233 임업 관련 근로자	2,445	555	1,507
	234 어업 관련 근로자	45	153	252
	235 농림어업 관련 단순 근로자	6,604	6,853	6,264
총합		1,392,058	1,512,539	1,424,236

3. 미세먼지 농도 및 구성성분 분석·평가

1) 미세먼지 노출수준

(1). 대기오염측정망 노출수준

대기오염측정망은 전국적인 대기오염실태와 변화추이 및 대기환경기준 달성 여부 등을 파악하기 위해 대기오염물질 측정장비를 설치·운영하고 있으며, 크게 도시대기, 도로변대기, 교외대기, 국가배경농도의 네 가지 측정망으로 분류된다.



[그림 3-1] 환경부 대기오염측정망 운영체계

도시대기 측정망은 도심(거주)지역의 평균 대기질 농도를 측정하며, 도로변 대기 측정망은 자동차 통행량과 유동인구가 많은 도로변 대기농도를 측정한다. 교외대기 측정망은 도시를 둘러싼 교외지역의 배경농도를 측정하며, 국가배경

농도 측정망은 국가의 배경농도를 파악하고 외국으로의 오염물질 유입, 유출상태 등을 파악한다.

전국에 있는 대기오염측정망은 총 319개이며, 이중 초미세먼지를 측정하는 측정망은 158개이다. 도시대기 측정망은 시도별로 시청 및 도청이 위치하는 지역에 설치된 측정소를 선정하였다. 도로변대기 측정망은 초미세먼지를 측정하는 측정소 8곳을 선정하였다. 도시와 교외로 구분하여 대기오염도를 측정하고 일부 지자체가 운영하도록 되어있는 특수대기오염측정망에서는 도로변대기오염도 자료를 토대로 측정자료와 비교하였다.

3월부터 10월까지 전국 대기오염측정망 중 도시대기의 월별 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도는 다음 <표 3-6>과 같다. 3월-5월의 월평균 농도가 여름철 농도보다 비교적 높았으며, 이는 황사의 영향에 의한 것으로 생각된다. 황사는 2016년 8월 기준으로, 총 6회 발생하였으며, 주로 3월에서 5월 사이에 발생했다.

전국 대기오염측정망 중 도로변대기, 교외대기, 국가배경농도의 월별 초미세먼지의(PM_{2.5})의 월평균농도는 다음 <표 3-7>과 같다. 3월의 평균농도가 가장 높았으며, 도시대기와 유사하게 3월의 대기농도가 가장 높게 나타났다. 경기도 관인면 측정소와 경상북도 태하리 측정소의 농도는 타 측정소에 비해 비교적 낮았다.

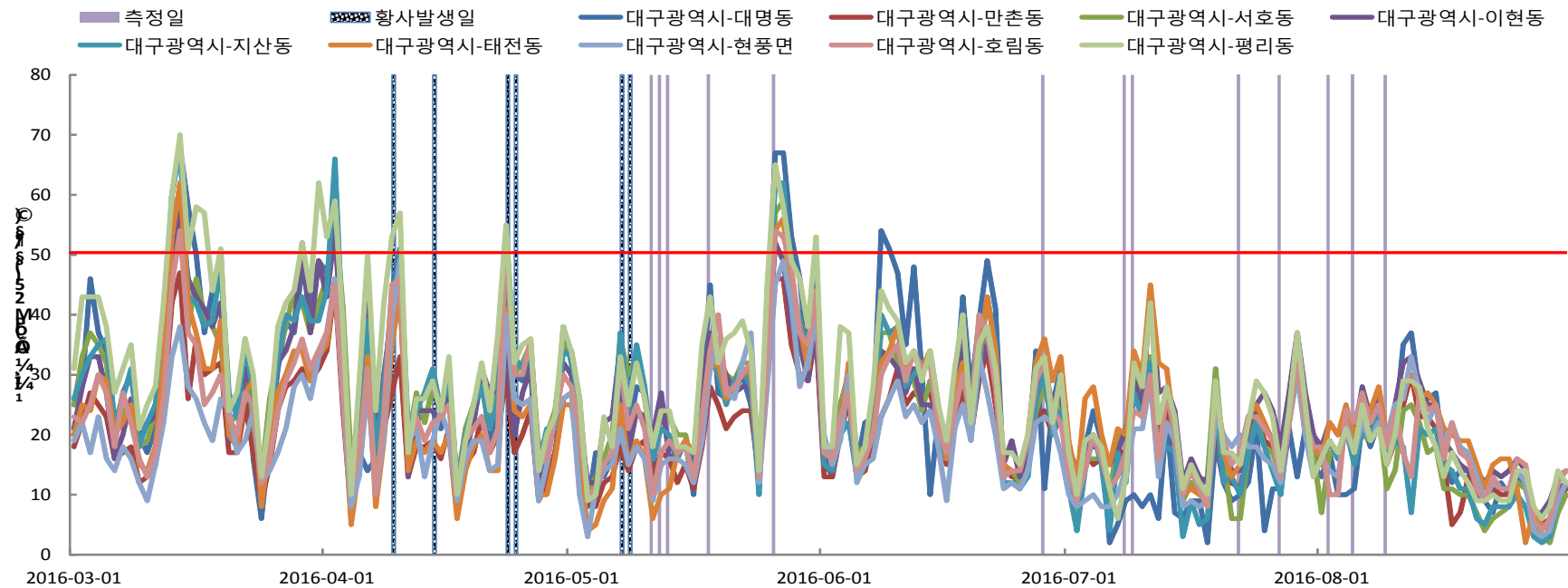
<표 3-6> 전국 대기오염측정망 월별 PM2.5농도(도시대기) (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

지역	대기오염 측정망	3월 (GM±GSD)	4월 (GM±GSD)	5월 (GM±GSD)	6월 (GM±GSD)	7월 (GM±GSD)	8월 (GM±GSD)	9월 (GM±GSD)
서울특별시	중구	23.7±1.7	26.5±1.5	25.1±1.6	25.2±1.4	18.3±1.7	17.8±1.7	23.0±1.7
대전광역시	성남동1	25.7±1.4	24.1±1.6	23.7±1.6	21.2±1.4	11.2±2	12.4±2.1	14.1±2.2
대구광역시	대명동	31.3±1.6	24.1±1.6	25.2±1.7	24.9±1.7	10±1.9	14.4±1.7	19.8±1.7
	만촌동	22.5±1.5	18.6±1.5	19.6±1.6	20.7±1.3	16.7±1.4	13.4±1.6	14.7±1.6
	서호동	31.1±1.4	27.5±1.5	26.9±1.5	23.5±1.4	16.2±1.6	10.9±1.9	15.4±1.9
	이현동	29.6±1.5	24.4±1.6	25.2±1.4	23.5±1.3	20.4±1.4	17.4±1.5	18.5±1.6
	지산동	32±1.5	27.1±1.5	24.9±1.6	22.5±1.5	13.6±1.9	11.2±1.9	11.9±2.3
	태전동	26.3±1.5	18.5±1.7	19.7±1.9	25.1±1.4	20±1.5	15.9±1.9	21.3±1.6
	현풍면	20.2±1.4	20.2±1.6	20±1.8	19.1±1.4	14.3±1.5	14.6±1.8	14.6±1.9
	호림동	25.3±1.4	23.4±1.5	23.9±1.6	23.6±1.4	17.3±1.4	14.8±1.6	19.5±1.7
부산광역시	연산동	30.9±1.5	22.9±1.6	24±1.6	22.6±1.4	12.3±1.9	16.5±1.6	18.4±1.5
광주광역시	주월동	27±1.6	24.5±1.7	22.9±1.7	20.4±1.5	11.5±1.9	16.1±1.9	12.5±2.5
울산광역시	야음동	20±1.6	19.3±1.8	25.2±1.6	19.2±1.8	18.4±1.6	18.4±1.9	18.5±1.6
인천광역시	구월동	33.6±1.8	37.2±1.4	32.3±1.6	31.7±1.4	13.5±1.8	11.2±2.3	20.1±1.8
강원도	중앙로	34.4±1.5	28±1.6	21±1.9	21.4±1.3	14.7±1.7	11.65±1.7	13.7±1.9
경기도	인계동	28.7±1.5	27.9±1.4	24.8±1.6	24.6±1.4	18.2±1.7	20.3±1.8	22.8±1.7

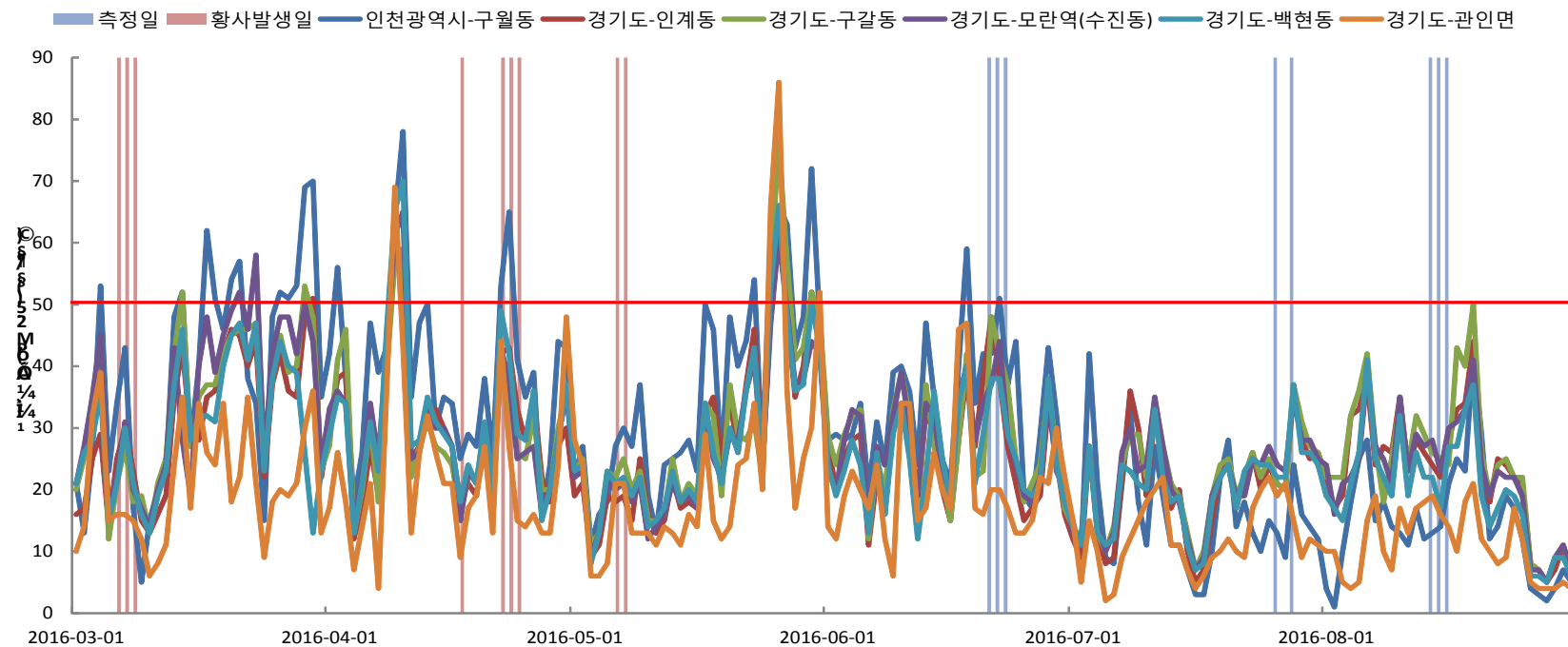
지역	대기오염 측정망	3월 (GM±GSD)	4월 (GM±GSD)	5월 (GM±GSD)	6월 (GM±GSD)	7월 (GM±GSD)	8월 (GM±GSD)	9월 (GM±GSD)
경상남도	용지동	32.8±1.3	27.6±1.6	28.6±1.5	24.5±1.3	14.9±1.5	16.7±1.7	18.9±1.6
경상북도	대송면	21.5±1.7	20.3±1.4	21.7±1.7				
전라남도	부흥동	21.9±1.5	21.5±1.6	21.3±1.6	17.3±1.5	8.3±1.9	14.6±1.5	17.1±1.8
전라북도	부안군	33.1±1.5	31.4±1.6	26.5±1.9	30.4±1.5	15±1.7		22.4±1.9
충청남도	성황동	32.4±1.6	26.7±1.7	22.2±1.6	22.2±1.4	14.3±1.8	18.8±1.7	19.6±1.7
충청북도	문화동	37.2±1.5	29.3±1.6	24±1.9	26.5±1.6	13.6±2.1	7.2±2.6	14.4±2.1
제주특별자치도	연동	28.3±1.5	30.2±1.6	29.7±1.5	21.8±1.6	14.2±1.6	13±1.6	14.8±2.0

<표 3-7> 전국 대기오염측정망 월별 PM2.5농도(도로변대기, 교외대기, 국가배경농도) (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

지역	대기오염 측정망	구분	3월 (GM±GSD)	4월 (GM±GSD)	5월 (GM±GSD)	6월 (GM±GSD)	7월 (GM±GSD)	8월 (GM±GSD)	9월 (GM±GSD)
대구광역시	평리동	도로변대기	37.4±1.5	29.3±1.6	28.4±1.6	26.9±1.4	18.6±1.6	14.7±1.5	24.0±1.6
부산광역시	온천동	도로변대기	30±1.5	24.7±1.7	26.9±1.5	25±1.3	17.5±1.4	16.6±1.7	17.6±1.6
부산광역시	초량동	도로변대기	30.6±1.6	32±1.5	34.4±1.5	30.3±1.6	23.5±1.5	18.3±2.2	18.4±1.8
경기도	구갈동	도로변대기	31.4±1.5	27.5±1.4	26.5±1.6	26.3±1.4	20.2±1.5	21.4±1.8	23.0±1.6
경기도	모란역	도로변대기	32.3±1.5	28.3±1.4	24.5±1.6	26.9±1.3	19.9±1.5	20±1.7	24.5±1.7
경기도	백현동	도로변대기	28.4±1.5	29.2±1.5	25.4±1.6	24.5±1.4	18.9±1.5	17.5±1.7	18.0±1.8
전라북도	금암동	도로변대기		34.6±1.5	32.1±1.6	32.8±1.5	20±1.5	21.1±1.6	23.1±1.7
충청북도	북대동	도로변대기	44.7±1.5	44.3±1.5	39.6±1.7	38.3±1.5	16.5±1.9	18±1.4	23.6±1.9
경기도	관인면	교외대기	18.9±1.6	19.7±1.8	18.9±1.9	19.3±1.5	10.7±1.8	9.6±1.8	13.8±1.8
경상북도	태하리	국가배경농도	20.7±1.7	20.7±1.4	21.9±1.9	15.6±1.5	4.7±2.2	5.2±2.4	11.6±1.6



[그림 3-2] 대구광역시 대기오염측정망 일별 미세먼지(PM2.5)농도 변화



[그림 3-3] 경기도 대기오염측정망 일별 미세먼지(PM2.5)농도 변화

[그림 3-2]는 대구지역 내 초미세먼지를 측정하는 측정소의 3월부터 8월까지의 일별 농도를 나타낸 그래프이다. 올해 대구지역의 황사발생일은 4/9, 4/14, 4/23-24, 5/7-8일 이었고, 미세먼지 경보 및 주의보가 발령되었다. 대구지역 도시대기 초미세먼지는 8개 측정망에서 2015년 기준으로 단기 환경기준을 130회 초과했다. 2016년 초과횟수는 미세먼지가 비교적 많이 발생하는 3월에서 5월 사이에 월별 5-9회 초과했으며, 6월 이후에는 초과횟수가 감소하거나 없었다.

본 연구의 측정지역인 경기도 부천시 인근의 측정소 6곳의 3월부터 8월까지 일별농도를 [그림 3-3]에 나타냈다. 구갈동, 모란역, 백현동 측정소는 도로변대기를 측정하며, 관인면 측정소는 교외대기 측정소였다. 올해 경기도지역의 황사발생일은 3/6-8, 4/17, 4/23-24, 5/6-7일 이었다. 대구지역과 유사하게, 황사 등으로 인한 미세먼지 발생량이 증가하는 3월에서 5월 사이에 노출기준 초과횟수가 6월에서 8월 사이 초과횟수보다 많았다.

(2). 건설업 미세먼지 노출수준

6월 21일부터 9월 6일 기간 동안 건설현장 5개소에서 근무하는 옥외작업 근로자를 대상으로 미세먼지에 대한 노출평가를 실시하였다. 옥외작업장 미세먼지 측정 사업장은 다음 <표 3-8>과 같다. 건설업 사업장은 총 5곳이며, 미세먼지 농도가 비교적 낮은 골프장 1곳을 제외하였다. 경기도 지역 사업장은 6월부터 9월까지 월별 1회씩 총 4회 측정했으며, 대구·경상 지역 사업장은 7월부터 9월까지 월별 1회씩 총 3회 반복측정을 수행했다. D 건설현장은 연구진행 중간에 건설작업이 중단되어 2회만 측정되었다. 측정인자는 호흡성 분진과 실리카를 측정하였고, 개인시료 측정대상자는 옥외에서 근무하는 근로자를 대상으로 하였다. 직종은 크게 골조·형틀·철근공종([그림 3-4] 참조), 직영목수([그림 3-5] 참조), 방수공종([그림 3-6] 참조), 견출공종, 토목공종([그림 3-9] 참조), 자재정리([그림 3-7] 참조), 거푸집, 현장관리·신호수([그림 3-8] 참조), 설비내관([그림 3-6] 참조), 직영반장 등 10개의 직종으로 분류하였다.



[그림 3-4] 골조 및 형틀공중 작업사진



[그림 3-5] 직영목수 작업사진



[그림 3-6] 설비내관 / 방수공중 작업사진



[그림 3-7] 자재정리 및 지게차 작업사진



[그림 3-8] 신호수 및 현장관리공종 작업사진



[그림 3-9] 토목공종 작업사진

측정시간은 근로자의 근무 시작시간인 오전 7시부터 오후 4시 30분까지 1일 전체 작업시간 동안 측정하였다. 근로시간 동안 호흡성분진, 호흡성분진 내 실리카의 개인시료를 포집하였다. 동시에, 건설현장 내부와 현장사무실 인근(배경농도)에서 호흡성분진, 호흡성분진 내 실리카의 지역시료를 포집하였다.

<표 3-8> 옥외작업장 중 건설업 및 비건설업 측정 현황

구분	측정지역	측정장소	측정 항목
주거용 아파트 건설현장	경기도 부천	A 건설	호흡성분진, 실리카, 중금속
주거용 아파트 건설현장	경기도 부천	B 건설	호흡성분진, 실리카, 중금속
주거용 아파트 건설현장	경상북도 경산시	C 건설	호흡성분진, 실리카, 중금속
비주거용 상가 건설현장	대구광역시 북구	D 건설	호흡성분진, 실리카, 중금속
도로 건설현장	경상북도	E 건설	호흡성분진, 실리카, 중금속
골프장	대구광역시 인근	F 골프장	호흡성분진, 실리카, 중금속

측정지역에 따른 호흡성분진 개인시료 측정농도는 <표 3-9>와 같다. B 건설에서 1개소의 견출공중 측정농도가 $2380.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 농도를 보였으나, 옥외 작업비율보다 옥내에서의 작업비율이 더 많아 포함시키지 않았다.

호흡성분진 농도는 B 건설이 기하평균 $154.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도수준을 보였고, A 건설 $129.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, C 건설 $98.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 도로 건설현장인 E 건설의 농도는 $36.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮은 농도수준을 보였다. 건설현장별 평균비교 결과(ANOVA 분석), 경기도 지역의 건설현장이 대구·경상 지역 건설현장과 비교하여 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$).

건설현장 위치별 호흡성분진 지역시료 측정농도는 <표 3-10>과 같다. 개인시료 측정농도 결과와 동일하게 B 건설이 기하평균 $74.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, A 건설이 $39.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, E 건설이 $30.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 건설현장별 평균비교 결과(ANOVA 분석), B 건설이 다른 건설현장과 비교하여 통계적으로 유의

하게 높았다($p<0.05$). 미세먼지 노출이 가장 낮을것으로 예상된 F 골프장이 기하평균 $30.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대구·경상지역 건설현장보다 높았지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. B 건설의 호흡성분진 최대값은 $270.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 측정위치 인근으로 덤프트럭, 지게차 등의 중장비가 빈번하게 이동한 것이 원인으로 추정되었다.

<표 3-9> 측정지역에 따른 호흡성분진 개인시료 노출 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

측정지역	측정 장소	측정 수	산술평균	표준 편차	기하평균	기하표준 편차	최소값	최대값
경기도	A 건설	16	149.53	103.09	129.75*	1.67	54.63	502.02
경기도	B 건설	14	165.42	63.09	154.32*	1.48	83.03	268.43
대구·경상	C 건설	12	106.39	48.83	98.75	1.47	61.79	240.57
대구·경상	D 건설	7	73.43	27.51	68.44	1.52	39.24	98.17
대구·경상	E 건설	12	62.62	79.00	36.92	3.18	2.19	299.00
계		61	118.86	82.69	92.86	2.25	2.19	502.02

<표 3-10> 측정지역에 따른 호흡성분진 측정위치(지역시료) 노출농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

측정지역	측정 장소	측정 수	산술평균	표준 편차	기하평균	기하표준 편차	최소값	최대값
경기도	A 건설	8	45.59	21.99	39.98	1.81	12.29	76.63
경기도	B 건설	8	96.76	86.27	74.72*	2.07	40.91	270.21
대구·경상	C 건설	6	29.70	13.21	27.00	1.64	12.64	47.52
대구·경상	D 건설	4	29.41	6.46	28.89	1.24	23.36	37.25
대구·경상	E 건설	6	30.58	5.69	30.12	1.21	22.60	38.32
대구·경상	F 골프장	6	32.16	13.17	30.17	1.46	21.02	50.07
계		38	47.66	47.45	37.89	1.84	12.29	270.21

직무/공종에 따른 호흡성분진은 <표 3-11>과 같이, 총 10개의 공종으로 구분했다. 건설업 직종 중 설비내관 근로자가 기하평균 $201.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도 수준을 나타내었고, 직영목수 근로자 $168.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 현장관리, 신호수 근로자 $116.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 방수공종 근로자 $132.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 골조·철근·형틀공종 근로자 $116.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 직종별 평균비교결과(ANOVA 분석) 설비내관, 직영목수 근로자가 다른 직종 근로자와 비교하여 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$).

건설현장 측정시료별 호흡성 분진 노출농도는 <표 3-12>와 같이, 개인시료에서 $92.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 지역시료에서 $37.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 개인시료 농도가 약 2배 이상 높았고, 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.001$). 이 자료를 해석하면 옥외작업장 근로자가 노출되는 미세먼지 중 40.8%는 대기에서 유래하고 나머지 59.2%는 작업에서 유래한다고 볼 수 있다. 작업에서 유래하는 미세먼지가 대기중에서 유래하는 미세먼지보다 2.45배 많았다.

<표 3-11> 직무/공종에 따른 호흡성분진 노출 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

직무/공종	측정 수	산술평균	표준 편차	기하평균	기하표준 편차	최소값	최대값
골조·철근·형틀	8	124.06	45.39	116.12	1.50	51.63	202.24
직영목수	5	210.90	169.91	168.78	2.07	68.94	502.02
설비내관	2	209.55	83.28	201.10*	1.50	150.66	268.43
방수	2	141.06	66.89	132.90	1.64	93.77	188.36
건설	3	163.49	78.45	149.45	1.72	83.03	239.75
직영반장	2	92.03	0.97	92.03	1.01	91.35	92.72
토목, 토목직영	7	108.10	19.98	106.28	1.23	70.29	129.15
자재정리	12	100.68	51.24	91.57	1.55	42.49	240.57
거푸집	12	62.62	79.00	36.92	3.18	2.19	299.00
현장관리, 신호수, 출고 기록, 살수, 측량	8	138.94	78.69	116.90	1.95	39.24	257.35

<표 3-12> 건설현장 측정시료별 호흡성분진 노출 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	측정수	산술평균	표준 편차	기하평균	기하표준 편차	최소값	최대값	T-test
개인시료	61	118.86	82.69	92.86*	2.25	2.19	502.02	p<0.001
지역시료	38	47.66	47.45	37.89	1.84	12.29	270.21	(p=0.000)

측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카 개인시료 측정농도는 <표 3-13>과 같이, 대구·경상지역의 건설현장이 기하평균 $0.0015 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도 수준을 보였고, 경기도 지역 건설현장은 $0.0009 \text{ mg}/\text{m}^3$ 이었지만, 건설현장별 평균비교 결과(ANOVA 분석), 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$, $p=0.742$). 모든 시료에서 실리카 노출수준은 노출기준 미만으로 나타났다.

호흡성분진 중 실리카 지역시료의 농도도 경기도 지역의 A, B건설의 기하평균이 $0.0018 \text{ mg}/\text{m}^3$, $0.0016 \text{ mg}/\text{m}^3$ 로 대구·경상지역의 건설업의 농도보다 높게 나타났지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$, $p=0.214$). 대조군인 골프장의 실리카 농도는 $0.0014 \text{ mg}/\text{m}^3$ 로 대구지역의 C, D, E 건설 보다 높은 농도를 보였지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).

<표 3-13> 측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카 개인시료 노출농도(mg/m^3)

측정지역	측정 장소	측정수	산술평균	표준편차	기하평균	기하표준 편차	최소값	최대값
경기도	A 건설	16	0.0013	0.0010	0.0009	2.68	0.0001	0.0031
경기도	B 건설	14	0.0011	0.0012	0.0010	2.91	0.0001	0.0039
대구·경상	C 건설	12	0.0016	0.0010	0.0013	2.04	0.0003	0.0033
대구·경상	D 건설	8	0.0021	0.0022	0.0015	2.12	0.0007	0.0073
대구·경상	E 건설	12	0.0015	0.0011	0.0010	2.84	0.0001	0.0035
계		62	0.0015	0.0012	0.0011	2.52	0.0001	0.0073

<표 3-14> 측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카 지역시료 노출농도(mg/m³)

측정지역	측정장소	측정수	산술평균	표준편차	기하평균	기하표준 편차	최소값	최대값
경기도	A 건설	8	0.0019	0.0006	0.0018	1.4	0.0011	0.0027
경기도	B 건설	8	0.0018	0.0008	0.0016	1.8	0.0006	0.0028
대구·경상	C 건설	5	0.0017	0.0017	0.0008	4.9	0.0001	0.0039
대구·경상	D 건설	4	0.0015	0.0007	0.0013	1.6	0.0009	0.0024
대구·경상	E 건설	6	0.0009	0.0006	0.0007	2.0	0.0003	0.0017
대구·경상	F 골프장	6	0.0015	0.0006	0.0014	1.5	0.0007	0.0022
계		37	0.0016	0.0009	0.0013	2.1	0.0001	0.0039

직무/공중에 따른 호흡성분진 중 실리카는 <표 3-15>와 같다. 건설업 직종 중 현장관리, 신호수 근로자가 기하평균 0.0017 mg/m³으로 가장 높은 농도 수준을 나타내었고, 토목, 토목직영 근로자 0.0014 mg/m³, 골조·철근·형틀공중 근로자 0.0013 mg/m³, 자재운반 및 정리작업 근로자 0.0013 mg/m³, 거푸집 작업 근로자 0.0010 mg/m³이었다. 직종별 평균비교결과(ANOVA 분석) 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$, $p=0.111$).

건설현장 측정시료에 따른 호흡성분진 중 실리카는 <표 3-16>과 같이, 실리카의 기하평균은 개인시료 0.0015 mg/m³, 지역시료 0.0016 mg/m³의 노출수준을 보였다. 농도의 차이는 없었으며, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$, $p=0.423$).

<표 3-15> 직무/공종에 따른 호흡성분진 중 실리카 노출농도(mg/m³)

직무/공종	측정수	산술평균	표준편차	기하평균	기하표준 편차	최소값	최대값
골조·철근·형틀	8	0.0017	0.0010	0.0013	2.46	0.0003	0.0029
직영목수	5	0.0011	0.0009	0.0008	2.31	0.0003	0.0025
설비내관	2	0.0004	0.0001	0.0004	1.35	0.0003	0.0005
방수	2	0.0005	0.0003	0.0004	1.91	0.0003	0.0007
견출	3	0.00004	0.0001	0.0001	-	0.0001	0.0001
직영반장	2	0.0007	0.0001	0.0007	1.08	0.0007	0.0008
토목, 토목직영	8	0.0015	0.0003	0.0014	1.23	0.0010	0.0018
자재정리	12	0.0016	0.0010	0.0013	2.00	0.0003	0.0033
거푸집	12	0.0015	0.0011	0.0010	2.84	0.0001	0.0035
현장관리, 신호수, 출고기록, 살수, 측량	8	0.0028	0.0022	0.0017	3.69	0.0001	0.0073

<표 3-16> 건설현장 측정시료별 호흡성분진 중 실리카 노출농도(mg/m³)

	측정수	산술평균	표준 편차	기하평균	기하표준 편차	최소값	최대값	T-test
개인시료	62	0.0015	0.0012	0.0011	2.5	0.0001	0.0073	p>0.05
지역시료	37	0.0016	0.0009	0.0013	2.1	0.0001	0.0039	(p=0.423)

2) 미세먼지 구성성분 분석

(1). 대기중금속측정망 노출수준

대기중금속측정망은 지역의 중금속에 의한 오염실태를 파악하고 환경정책 수립의 기초자료로 활용하고자 운영되고 있는 측정망으로, 대구지역의 경우 수창동, 지산동, 이현동, 대명동 측정소에서 매월 둘째주 5일 동안 측정된다. 측정 항목은 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 비소(As), 베릴륨(Be)이다.

다음 <표 3-17>은 대구지역 대기중금속측정망 농도자료이다. 납(Pb)의 경우 환경기준인 연평균 $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 농도값을 보인다. 베릴륨(Be)을 제외한 모든 중금속 측정항목은 3월부터 5월 사이의 농도값이 높게 나타나는데, 이는 계절적 요인인 황사에 따른 결과로 생각된다. 여름철인 6-7월의 농도는 비교적 낮은 농도값을 보인다.

<표 3-17> 대구지역 대기중금속 측정망 월별 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	As	Be
1월	0.0277	0.0022	0.0022	0.0160	0.0173	0.4187	0.0019	0.0035	0.0000
2월	0.0341	0.0012	0.0020	0.0144	0.0211	0.4352	0.0019	0.0029	0.0000
3월	0.0296	0.0049	0.0020	0.0143	0.0255	0.7487	0.0020	0.0088	0.0000
4월	0.0230	0.0003	0.0043	0.0199	0.0316	0.8496	0.0025	0.0026	0.0000
5월	0.0197	0.0011	0.0036	0.0137	0.0264	0.6448	0.0032	0.0035	0.0000
6월	0.0201	0.0005	0.0025	0.0129	0.0246	0.4787	0.0033	0.0027	0.0000
7월	0.0157	0.0004	0.0020	0.0100	0.0137	0.3218	0.0018	0.0007	0.0000
8월	0.0226	0.0007	0.0019	0.0132	0.0206	0.3772	0.0026	0.0021	0.0000

(2). 건설업 미세먼지구성성분 노출수준

측정지역에 따른 중금속 측정농도는 <표 3-18>에 나타내었다. 불검출 혹은 검출한계미만 값은 ‘검출한계/2’을 적용한 값을 사용하였다. 경기도 및 대구·경상지역의 건설현장의 미세먼지 중 중금속 농도는 큰 차이를 보이지 않았다. 건설업 중 B 건설은 망간(Mn) $0.167 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 철(Fe) $4.058 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도 수준을 나타내었고, 건설현장별 평균비교결과(ANOVA) 두 구성성분의 농도가 다른 건설현장과 비교하여 통계적으로 유의하게 높았다($p < 0.05$).

크롬(Cr) $0.027 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 구리(Cu) $0.027 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 니켈(Ni) $0.022 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 노출농도로 다른 건설업보다 높게 나타났지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 납(Pb)의 경우 D건설에서 $0.112 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나타났고, 대조군인 골프장에서 $0.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 노출농도를 보였다. 대조군인 골프장의 미세먼지 구성성분 노출수준은 대구·경상 지역 건설현장 노출농도와 유사하거나 약간 높게 나타났지만 큰 차이를 보이지 않았다.

<표 3-18> 측정지역에 따른 중금속 노출 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

유해인자		측정지역-건설업 및 비건설업					
		A 건설	B 건설	C 건설	D 건설	E 건설	F 골프장
Pb	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	5/6	6/6
	AM±SD	0.046±0.070	0.049±0.230	0.157±0.184	0.254±0.260	0.071±0.088	0.245±0.316
	GM(GSD)	0.025 (3.02)	0.041 (2.11)	0.081 (4.17)	0.112 (7.02)	0.038 (3.54)	0.073 (7.38)
	Range	0.008-0.217	0.008-0.080	0.008-0.506	0.007-0.620	N.D-0.238	0.008-0.807
Cr	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
	AM±SD	0.008±0.008	0.133±0.230	0.030±0.016	0.018±0.013	0.038±0.076	0.030±0.036
	GM(GSD)	0.005 (2.56)	0.027 (3.42)	0.026 (1.88)	0.015 (2.02)	0.011 (4.53)	0.015 (4.05)
	Range	0.002-0.021	0.002-0.624	0.009-0.050	0.007-0.037	0.002-0.192	0.003-0.096
Cu	(Detected n)/n	6/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
	AM±SD	0.035±0.027	0.039±0.024	0.013±0.013	0.005±0.003	0.156±0.367	0.015±0.018
	GM(GSD)	0.019 (4.90)	0.027 (3.42)	0.009 (2.71)	0.004 (2.12)	0.011 (10.06)	0.007 (4.00)
	Range	N.D-0.0073	0.002-0.070	0.004-0.032	0.001-0.009	0.001-0.905	0.002-0.048
Mn	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
	AM±SD	0.056±0.033	0.259±0.270	0.037±0.051	0.016±0.009	0.086±0.170	0.018±0.013
	GM(GSD)	0.048 (1.77)	0.167 (2.61)*	0.018 (3.91)	0.015 (1.68)	0.025 (4.58)	0.013 (2.80)
	Range	0.019-0.124	0.066-0.735	0.003-0.137	0.009-0.028	0.005-0.433	0.004-0.035

유해인자		측정지역-건설업 및 비건설업					
		A 건설	B 건설	C 건설	D 건설	E 건설	F 골프장
Fe	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
	AM±SD	1.788±1.316	5.496±5.016	1.218±1.203	0.512±0.189	2.219±4.776	0.583±0.282
	GM(GSD)	1.379 (2.28)	4.058 (2.22)*	0.816 (2.73)	0.481 (1.53)	0.499 (5.52)	0.536 (1.54)
	Range	0.311-4.535	1.734-16.233	0.215-3.482	0.265-0.724	0.100-11.964	0.360-1.101
Ni	(Detected n)/n	3/8	5/8	2/6	2/4	4/6	3/6
	AM±SD	0.022±0.003	0.033±0.033	0.018±0.008	0.010±0.003	0.043±0.086	0.017±0.002
	GM(GSD)	0.022 (1.14)	0.022 (2.58)	0.016 (1.62)	0.010 (1.38)	0.012 (4.88)	0.017 (1.16)
	Range	N.D-0.026	N.D-0.102	N.D-0.032	N.D-0.015	N.D-0.219	N.D-0.021
Cd	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
	AM±SD	0.005±0.003	0.006±0.005	0.006±0.004	0.004±0.003	0.004±0.002	0.006±0.003
	GM(GSD)	0.004 (1.89)	0.004 (2.78)	0.005 (2.24)	0.003 (2.01)	0.004 (1.50)	0.005 (2.50)
	Range	0.002-0.008	0.001-0.014	0.002-0.012	0.001-0.008	0.002-0.007	0.001-0.009
Zn	(Detected n)/n	8/8	8/8	5/6	4/4	6/6	6/6
	AM±SD	0.433±0.554	0.746±1.230	0.515±0.484	0.023±0.010	2.508±5.522	0.301±0.343
	GM(GSD)	0.127 (7.11)	0.136 (9.00)	0.246 (4.97)	0.021 (1.58)	0.195 (14.17)	0.122 (5.48)
	Range	0.010-1.595	0.012-3.501	N.D-1.143	0.014-0.033	0.013-13.763	0.016-0.783

IV. 미세먼지에 대한 관리 필요성 검토

1. 옥외작업장 미세먼지 관련 정책제도 개선사항 검토

1) 미세먼지 노출수준과 산업보건기준의 비교

(1). 산업안전보건법 작업환경기준의 비교

본 연구에서 측정된 호흡성 분진 및 호흡성 분진 내 실리카, 중금속 노출농도를 작업환경기준과 비교하여 아래에 나타내었다. 호흡성 분진의 경우, 국내 노출기준이 제정되어있지 않아 미국 ACGIH의 호흡성분진에 대한 권고치인 3 mg/m^3 값을 활용하였다.

측정지역에 따른 호흡성분진의 개인시료 노출농도는 작업환경기준과 비교했을 때, 1-5% 정도의 노출수준을 보였다. 최대값은 16.73%로 평균 농도의 약 3배 높게 나타났다 (<표 4-1> 참조). 경기도 지역의 건설현장이 대구·경상지역보다 높은 노출수준을 보였으며, 이는 수도권 인근에서 발생하는 대기 미세먼지에 의한 영향으로 생각된다.

지역시료 노출농도는 개인시료 노출농도에 비해 노출농도가 전부 낮았으며, 최대 2.49%의 노출수준을 보였다. 지역시료 중 최대값은 약 9%로 평균농도보다 높은 노출수준을 보였다 (<표 4-2> 참조). 개인시료 노출수준과 동일하게 경기도 지역의 건설업 노출수준이 높았으며, 대조군인 골프장 노출수준은 1.01%로 대구·경상지역 건설업 노출수준과 유사하게 나타났다.

<표 4-1> 측정지역에 따른 호흡성분진 개인시료 노출농도 비교(작업환경기준)

측정지역	측정장소	측정수	기하평균 (노출기준대비 %)	최대값 (노출기준대비 %)
경기도	A 건설	16	129.75 (4.33%)	502.02 (16.73%)
경기도	B 건설	14	154.32 (5.14%)	268.43 (8.95%)
대구·경상	C 건설	12	98.75 (3.29%)	240.57 (8.02%)
대구·경상	D 건설	7	68.44 (2.28%)	98.17 (3.27%)
대구·경상	E 건설	12	36.92 (1.23%)	299.00 (9.97%)
계		61	92.86 (3.10%)	502.02 (16.73%)

<표 4-2> 측정지역에 따른 호흡성분진 지역시료 노출농도 비교(작업환경기준)

측정지역	측정장소	측정수	기하평균 (노출기준대비 %)	최대값 (노출기준대비 %)
경기도	A 건설	8	39.98 (1.33%)	76.63 (2.55%)
경기도	B 건설	8	74.72 (2.49%)	270.21 (9.01%)
대구·경상	C 건설	6	27.00 (0.90%)	47.52 (1.58%)
대구·경상	D 건설	4	28.89 (0.96%)	37.25 (1.24%)
대구·경상	E 건설	6	30.12 (1.00%)	38.32 (1.28%)
대구·경상	F 골프장	6	30.17 (1.01%)	50.07 (1.67%)
계		38	37.89 (1.26%)	270.21 (9.01%)

측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카의 개인시료 노출농도는 작업환경기준과 비교했을 때, 1-3% 정도로 낮은 노출수준을 보였다. 최대값은 14.55%로 평균 농도의 약 5배 높게 나타났다 (<표 4-3>참조).

경기도 지역 건설현장의 지역시료 노출농도는 개인시료 노출농도에 비해 노출농도가 높게 나타났으며, 최대 3.64%의 노출수준을 보였다. 대구·경상지역 건설현장의 지역시료 노출농도는 개인시료 노출농도 보다 낮았다. 지역시료 중 최대값은 7.78%로 평균농도 보다 높은 노출수준을 보였다. 대조군인 골프장 노

출수준은 2.76%로 경기도 지역 건설현장 노출수준보다 낮았고, 대구·경상지역 건설현장 노출수준보다 높거나 유사하게 나타났다 (<표 4-4> 참조).

<표 4-3> 측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카 개인시료 노출농도 비교
(작업환경기준)

측정지역	측정장소	측정수	기하평균 (노출기준대비 %)	최대값 (노출기준대비 %)
경기도	A 건설	16	0.0009 (1.88%)	0.0031 (6.23%)
경기도	B 건설	15	0.0010 (1.98%)	0.0039 (7.85%)
대구·경상	C 건설	12	0.0013 (2.52%)	0.0033 (6.67%)
대구·경상	D 건설	8	0.0015 (3.09%)	0.0073 (14.55%)
대구·경상	E 건설	12	0.0010 (2.03%)	0.0035 (7.00%)
계		62	0.0011 (2.19%)	0.0073 (14.55%)

<표 4-4> 측정지역에 따른 호흡성분진 중 실리카 지역시료 노출농도 비교
(작업환경기준)

측정지역	측정장소	측정수	기하평균 (노출기준대비 %)	최대값 (노출기준대비 %)
경기도	A 건설	8	0.0018 (3.64%)	0.0027 (5.32%)
경기도	B 건설	8	0.0016 (3.12%)	0.0028 (5.66%)
대구·경상	C 건설	5	0.0008 (1.62%)	0.0039 (7.78%)
대구·경상	D 건설	4	0.0013 (2.69%)	0.0024 (4.84%)
대구·경상	E 건설	6	0.0007 (1.49%)	0.0017 (3.34%)
대구·경상	F 골프장	6	0.0014 (2.76%)	0.0022 (4.41%)
계		37	0.0013 (2.53%)	0.0039 (7.78%)

측정지역에 따른 중금속 노출농도는 작업환경기준과 비교했을 때, 모두 기준치 이하의 값을 보였다. 노출기준 초과비율은 건설현장 별 기하평균은 1% 미

만을 보였다. 납(Pb)의 경우 C, D 건설에서 최대값의 비율이 1.011%, 1.241%로 가장 높았으며, 대조군인 골프장의 최대값은 1.613%로 나머지 건설현장보다 높게 나타났다. 건설현장과 골프장의 중금속 물질별 노출기준 초과비율은 큰 차이를 보이지 않았다.

건설현장 내 위치별 중금속 노출농도는 작업환경과 비교했을 때, 납(Pb)과 철(Fe)은 건설현장(작업영역)의 노출기준 초과비율이 각각 0.108%, 0.025%로 배경농도(비작업영역) 보다 높게 나타났다. 크롬(Cr), 망간(Mn), 아연(Zn)은 건설현장(작업영역)이 배경농도보다 높았지만 큰 차이를 보이지 않았다. 니켈(Ni), 구리(Cu)은 건설현장(작업영역)과 배경농도의 노출기준 초과비율 차이가 없었다.

<표 4-5> 측정지역에 따른 중금속 노출농도 비교(작업환경기준)

유해인자		측정지역-건설업 및 비건설업					
		A 건설	B 건설	C 건설	D 건설	E 건설	F 골프장
Pb	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	5/6	6/6
	기하평균 (노출기준대비 %)	0.025 (0.049%)	0.041 (0.082%)	0.081 (0.162%)	0.112 (0.244%)	0.038 (0.076%)	0.073 (0.146%)
	최대값 (노출기준대비 %)	0.217 (0.043%)	0.080 (0.161%)	0.506 (1.011%)	0.620 (1.241%)	0.238 (0.477%)	0.807 (1.613%)
Cr	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
	기하평균 (노출기준대비 %)	0.005 (0.001%)	0.027 (0.005%)	0.026 (0.005%)	0.015 (0.003%)	0.011 (0.002%)	0.015 (0.003%)
	최대값 (노출기준대비 %)	0.021 (0.004%)	0.624 (0.125%)	0.050 (0.010%)	0.037 (0.007%)	0.192 (0.038%)	0.096 (0.019%)
Cu	(Detected n)/n	6/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
	기하평균 (노출기준대비 %)	0.019 (0.002%)	0.027 (0.003%)	0.009 (0.001%)	0.004 (0.0004%)	0.011 (0.001%)	0.007 (0.001%)
	최대값 (노출기준대비 %)	0.0073 (0.007%)	0.070 (0.007%)	0.032 (0.003%)	0.009 (0.001%)	0.905 (0.090%)	0.048 (0.005%)
Mn	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
	기하평균 (노출기준대비 %)	0.048 (0.005%)	0.167 (0.017%)	0.018 (0.002%)	0.015 (0.001%)	0.025 (0.002%)	0.013 (0.001%)
	최대값 (노출기준대비 %)	0.124 (0.012%)	0.735 (0.074%)	0.137 (0.014%)	0.028 (0.003%)	0.433 (0.043%)	0.035 (0.003%)

유해인자		측정지역-건설업 및 비건설업					
		A 건설	B 건설	C 건설	D 건설	E 건설	F 골프장
	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
Fe	기하평균 (노출기준대비 %)	1.379 (0.028%)	4.058 (0.081%)	0.816 (0.016%)	0.481 (0.010%)	0.499 (0.009%)	0.536 (0.011%)
	최대값 (노출기준대비 %)	4.535 (0.091%)	16.233 (0.325%)	3.482 (0.070%)	0.724 (0.014%)	11.964 (0.239%)	1.101 (0.022%)
	(Detected n)/n	3/8	5/8	2/6	2/4	4/6	3/6
Ni	기하평균 (노출기준대비 %)	0.022 (0.002%)	0.022 (0.002%)	0.016 (0.002%)	0.010 (0.001%)	0.012 (0.001%)	0.017 (0.002%)
	최대값 (노출기준대비 %)	0.026 (0.003%)	0.102 (0.010%)	0.032 (0.003%)	0.015 (0.001%)	0.219 (0.022%)	0.021 (0.002%)
	(Detected n)/n	8/8	8/8	6/6	4/4	6/6	6/6
Cd	기하평균 (노출기준대비 %)	0.004 (0.038%)	0.004 (0.045%)	0.005 (0.052%)	0.003 (0.034%)	0.004 (0.039%)	0.005 (0.049%)
	최대값 (노출기준대비 %)	0.008 (0.082%)	0.014 (0.136%)	0.012 (0.125%)	0.008 (0.080%)	0.007 (0.067%)	0.009 (0.089%)
	(Detected n)/n	8/8	8/8	5/6	4/4	6/6	6/6
Zn	기하평균 (노출기준대비 %)	0.127 (0.006%)	0.136 (0.007%)	0.246 (0.012%)	0.021 (0.001%)	0.195 (0.010%)	0.122 (0.006%)
	최대값 (노출기준대비 %)	1.595 (0.136%)	3.501 (0.175%)	1.143 (0.057%)	0.033 (0.002%)	13.763 (0.688%)	0.783 (0.039%)
	(Detected n)/n	8/8	8/8	5/6	4/4	6/6	6/6

(2). 대기환경기준의 비교

본 연구에서 측정된 호흡성분진 노출농도를 PM2.5 대기환경기준과 비교하였다. 노출기준은 24시간 평균 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 사용하였다. 작업환경기준과 비교하여 매우 낮은 노출기준으로 노출기준 초과비율이 높게 나타났다. 개인시료의 경우, E건설을 제외하고 모두 대기환경기준을 초과했다. 지역시료는 B건설을 제외하고 기하평균 농도값이 모두 대기환경기준의 약 50~80%의 노출기준초과비율을 보였다. 대조군인 골프장의 노출기준 초과비율은 약 60% 정도로 경기도 지역의 노출기준 초과비율이 더 높게 나타났다.

<표 4-7> 측정지역에 따른 호흡성분진 개인시료 노출농도 비교(대기환경기준)

측정지역	측정장소	측정수	기하평균 (노출기준대비 %)	최대값 (노출기준대비 %)
경기도	A 건설	16	129.75 (259.50%)	502.02 (1004.04%)
경기도	B 건설	14	154.32 (308.64%)	268.43 (536.87%)
대구·경상	C 건설	12	98.75 (197.51%)	240.57 (481.15%)
대구·경상	D 건설	7	68.44 (136.89%)	98.17 (196.34%)
대구·경상	E 건설	12	36.92 (73.85%)	299.00 (597.99%)
계		61	92.86 (185.72%)	502.02 (1004.04%)

<표 4-8> 측정지역에 따른 호흡성분진 지역시료 노출농도 비교(대기환경기준)

측정지역	측정장소	측정수	기하평균(노출기준대비 %)	최대값 (노출기준대비 %)
경기도	A 건설	8	39.98 (79.95%)	76.63 (153.25%)
경기도	B 건설	8	74.72 (149.44%)	270.21 (540.42%)
대구·경상	C 건설	6	27.00 (54.01%)	47.52 (95.03%)
대구·경상	D 건설	4	28.89 (57.78%)	37.25 (74.50%)
대구·경상	E 건설	6	30.12 (60.25%)	38.32 (76.65%)
대구·경상	F 골프장	6	30.17 (60.33%)	50.07 (100.14%)
계		38	37.89 (75.78%)	270.21 (540.42%)

(3). 실내공기 관리기준의 비교

고용노동부 고시 제 2015-45호 ‘사무실 공기관리 지침’에 제정되어있는 미세먼지(PM10)의 관리기준 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 본 연구의 호흡성분진 노출수준을 비교하였다. 일반 사업장은 미세먼지의 발생원이 옥외작업장 보다 제한적이며, 옥외작업장의 근로자들이 다양한 미세먼지 발생원에 노출된다. 작업환경기준과 비교하여 매우 낮은 노출기준으로 노출기준 초과비율이 높게 나타났다. 측정지역에 따른 개인시료 노출기준 초과비율은 D, E건설을 제외하고 모두 50%가 넘었으며, 경기도 지역의 노출기준 초과비율이 대구·경상 지역 노출기준 초과비율보다 높았다. 지역시료의 경우, B건설이 49.81% 로 가장 높았지만, 50%를 초과하지 않았다. 대조군인 골프장의 노출기준 초과비율은 20.11%로 대구·경상 지역 건설현장의 비율과 유사하게 나타났다.

사무실에서 근무하는 근로자에 비해 노출되는 오염원이 대기, 자체 사업장내 발생먼지, 디젤엔진 장비 배출물질 등으로 다양하며, 노출에 대한 영향이 있을 것으로 생각된다.

<표 4-9> 측정지역에 따른 호흡성분진 개인시료 노출농도 비교(실내공기관리기준)

측정지역	측정장소	측정수	기하평균 (노출기준대비 %)	최대값 (노출기준대비 %)
경기도	A 건설	16	129.75 (86.50%)	502.02 (334.68%)
경기도	B 건설	14	154.32 (102.88%)	268.43 (178.96%)
대구·경상	C 건설	12	98.75 (65.84%)	240.57 (160.38%)
대구·경상	D 건설	7	68.44 (45.63%)	98.17 (65.45%)
대구·경상	E 건설	12	36.92 (24.62%)	299.00 (199.33%)
계		61	92.86 (61.91%)	270.21 (540.42%)

<표 4-10> 측정지역에 따른 호흡성분진 지역시료 노출농도 비교(실내공기관리기준)

측정지역	측정장소	측정수	기하평균 (노출기준대비 %)	최대값 (노출기준대비 %)
경기도	A 건설	8	39.98 (26.65%)	76.63 (51.08%)
경기도	B 건설	8	74.72 (49.81%)	270.21 (180.14%)
대구·경상	C 건설	6	27.00 (18.00%)	47.52 (31.68%)
대구·경상	D 건설	4	28.89 (19.26%)	37.25 (24.83%)
대구·경상	E 건설	6	30.12 (20.08%)	38.32 (25.55%)
대구·경상	F 골프장	6	30.17 (20.11%)	50.07 (33.38%)
계		38	37.89 (25.26%)	270.21 (180.14%)

2) 환경보건 위험성평가

(1). 미세먼지 노출 시나리오

미세먼지는 작업장뿐만 아니라 생활환경에서도 노출될 수 있으므로 작업환경 노출을 포함한 환경보건 위험성평가를 실시하였다. 8시간 옥외작업장에서 작업하는 경우를 같은 시간 실내에서 작업하는 경우와 비교하여 추가 노출되는 정도를 비교하고자 하였다.

생활패턴에 있어 옥외작업자와 옥내작업자의 비교를 위하여 다음 2 가지 노출시나리오를 적용하였다.

- 옥외작업자: 8시간 옥외작업 + 4시간 실외활동 + 12시간 실내활동
- 옥내작업자: 4시간 실외활동 + 20시간 실내활동

여기서 옥외작업시 미세먼지 노출농도는 본 연구의 측정자료를 활용하였으며, 실외활동시 미세먼지 노출농도는 대기측정망 자료를 활용하였다. 황사에 의해 미세먼지 노출수준이 발생하는 것을 고려하여 경기도와 대구지역으로 나누어 계산되었다. 측정자료가 없는 계절 및 지역에 대해서는 대기측정망자료와 실측자료의 비율을 이용하여 추정하였다. 실내 미세먼지 노출수준은 실외 미세먼지 노출수준의 절반([실내 미세먼지 노출수준] = $0.5 * [실외\ 미세먼지\ 노출수준]$)을 가정하였다. 밀폐된 실내의 경우 일반적으로 실외보다 미세먼지 농도가 낮지만 창문을 개방하여 외기순환을 하는 경우가 많고 실내에 미세먼지 발생원이 있는 경우 실내 농도가 더 높을 수도 있기 때문에 이와 같이 가정하였다. 2016년 같은 해에 수행된 양원호 등의 연구⁵⁾에 따르면 국내에서 실외 미세먼지 노출수준과 실내 미세먼지 노출수준과의 비는 평균 0.47로 보고되었으며, 이는 이 연구에 사용된 상수인 0.5에 매우 근접한 수치라고 할 수 있다.

5) 연구 제목: <사무실에서의 건강장해 예방관리 실태 및 규제 강화 방안 연구> 발간번호: 2016-연구원-757

옥외작업장 근로자의 미세먼지, 실리카, 중금속의 노출평가 자료를 토대로 물질별 위험성평가(Risk Assessment)를 실시하였다. 위험성 평가과정은 유해성 확인, 용량-반응 평가, 노출평가, 위험성 결정을 따른다. EPA IRIS(Integrated Risk Information System)과 RAIS(Risk assessment information system)에서 발암성 및 비발암성 독성자료를 수집하였다. 수집된 독성자료는 아래의 <표 4-11>과 같다.

<표 4-11> 위험성평가에 사용되는 물질별 독성자료(EPA IRIS, RAIS, 2016)

구분	독성자료
발암성 물질	Inhalation unit risk (단위: $\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$)
	Cancer slope factor (단위: $\text{mg}/\text{kg}/\text{day})^{-1}$)
비발암성 물질	Inhalation chronic reference concentration(RfC) (단위: mg/m^3)
	Inhalation chronic NOAEL (단위: mg/m^3)

본 연구에서는 발암흡입과 비발암흡입으로 구분하여 위험성평가에 사용한 자료는 다음 <표 4-12>와 같다. EPA IRIS와 RAIS에서 물질별로 검색한 결과, 철염(Fe)와 실리카(silica)는 결과가 없었으며, 발암흡입에 해당하는 계수를 갖는 물질은 크롬(Cr), 니켈(Ni), 카드뮴(Cd)이었다. 비발암흡입에 해당하는 계수를 갖는 물질은 망간(Mn)이었으며, 발암성 자료부족으로 계수가 없는 물질은 납(Pb), 구리(Cu), 아연(Zn)이었다.

<표 4-12> 물질별 위험성평가에 사용되는 계수(EPA IRIS, RAIS)

측정 항목	Inhalation unit risk ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Inhalation RfC (mg/m^3)	Inhalation NOAEL (mg/m^3)	UF	MF	Cancer Slope Factor ($\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$) ⁻¹	Ref
Pb						Not Calculated	EPA IRIS, RAIS
Cr	0.012					41	EPA IRIS, RAIS
Cu						발암성 자료 부족	EPA IRIS, RAIS
Mn		0.00005	None	1000	1	Not Calculated	EPA IRIS, RAIS
Fe							
Ni	0.00024					0.84	RAIS
Cd	0.0018					6.1	EPA IRIS, RAIS
Zn						발암성 자료 부족	EPA IRIS, RAIS
Silica							

(2). 비발암물질 위해지수(Hazard Quotient) 평가

비발암물질 위해도 결정의 다른 방법은 노출평가 단계에서 구해진 노출량 ($\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$)을 $\text{RfD}(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})$ 로 나누어주는 것이다.

$$HQ = \frac{\text{Exposure Estimate}(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})}{\text{RfD}(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})} \quad \text{식 (1)}$$

일반적으로 위해지수가 1이상 ($HQ > 1$)일 경우에는 인체 유해영향이 발생할 수 있을 것으로 판단하고, 위해지수가 1이하 ($HQ < 1$)일 경우 평가에 고려된 노출로 인하여 특정 독성에 대한 유해영향이 없을 것으로 판단한다. 본 연구에서는 RfD 가 존재하는 망간(Mn)에 대해서만 위해지수 평가를 실시하였다. 노출농도에 대한 추정값(exposure estimate)은 실측자료의 경우 산술평균을 사용하였

으며 노출시나리오에 따라 시간가중평균하여 계산하였다.

<표 4-13> 대구지역 망간 노출의 비발암물질 위해지수 평가

HQ		계절			
		봄 (3-5월)	여름 (6-8월)	가을 (9-11월)	겨울 (12-2월)
대구	옥외작업자	1.02	0.72	0.90	0.82
	옥내작업자	0.97	0.69	0.85	0.78

(3). 발암물질 초과발암위해도(ECR) 평가

발암성 평가방법은 발암물질에 평생노출될 경우 허용가능한 노출농도를 결정하는 과정이다. 발암물질의 위해도결정은 노출평가 단계에서 구해진 평생 1일 평균노출량(LADD, lifetime average daily dose, mg/kg/day)과 발암력(Cancer Slope Factor, (mg/kg/day)⁻¹)을 고려하여 초과발암위해도 (Excess cancer risk)를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Excess Cancer Risk} = \text{LADD (mg/kg/day)} \times \text{CSF (mg/kg/day)}^{-1} \dots \text{식 (2)}$$

초과발암위해도는 적용한 노출상황과 화학물질의 독성에 따라 1×10^{-6} 혹은 1×10^{-7} 을 기준으로 위해도를 결정할 수 있다.

<표 4-14> 대구지역 미세먼지 구성성분의 발암물질 초과발암위해도 평가
(크롬, 니켈, 카드뮴)

ECR			계절			
			봄 (3-5월)	여름 (6-8월)	가을 (9-11월)	겨울 (12-2월)
Ni	대구	옥외작업자	0.0000815	0.0000815	0.0000110	0.0000890
		옥내작업자	0.0000011	0.0000011	0.0000007	0.0000012
Cd	대구	옥외작업자	0.0000159	0.0000040	0.0000104	0.0000121
		옥내작업자	0.0000064	0.0000016	0.0000020	0.0000049

이 결과를 해석할 때 주의해야할 사항은 다음과 같다. 본 연구에서 환경보건 위험성평가의 목적은 옥외작업으로 인한 추가노출 위험성에 대한 비교이며 위험성의 절대평가가 아니다. 또한, 노출농도의 추정과정에서 자료의 부족으로 상황의 단순화 및 가정들이 사용되었음을 유념해야 한다.

3) 관리기준 설정

(1). 고위험군인 옥외작업 근로자

옥외작업장에서 일하는 근로자는 대기오염 등으로 인하여 높은 위험군(high risk group)임이 많은 연구자들을 통해 확인되었다. 이들 근로자들은 실외에서 격렬한 활동을 하면서 많은 시간을 보내게 되는데, 이 때 디젤배출물(diesel exhaust) 등 교통으로 인한 대기 오염물질에 노출된다. 특히 우리나라의 경우는 지역적으로 영향을 받고 있는 황사 때문에 옥외 작업자에 대한 관심이 증대되고 있다.

더불어 신체적 활동 정도로도 중등도(中, moderate)나 중(重)등도(heavy) 활동을 하는 모든 근로자들은 유사한 위험성이 있다는 것이다. 또한 질병이 있는 근로자들은 더 높은 위험 상태에 있다고 할 수 있다. 위험군에는 옥외 작업 근로자, 기존의 심장/폐(천식, COPD) 질환자, 노인, 당뇨병 환자 등이 포함된다.

근로자는 자신의 폐에서 발생하는 변화를 느낄 수 없다. 옥외 작업 근로자를 대상으로 호흡량 검사(폐활량)를 한 결과 폐 기능 저하를 보이며 노출 후 수일간 지속된다는 것은 연구를 통해 확인된 바 있다. 도로의 교통 오염물질에 노출되는 것과 심장마비 발생은 유의한 연관성이 있으며, 그 발생 원인인 대기 오염(가솔린과 디젤 배출) 물질로 인하여 상승되는 것으로 믿어지고 있다. 디젤 배출물에 대한 연구에서는 디젤배출물이 폐, 신장, 난소암의 위험성을 증가시킨다는 것을 보여준다.

미세입자는 폐에 축적될 수 있으며, 심지어 폐를 통과하여 혈류로 유입되어 다른 기관에도 영향을 주게 된다. 화학물질들이 입자에 붙어 있을 수 있기 때문에 입자상물질이 전달자 역할을 하게 된다. 인체는 공기 오염물질에 노출되어 다음과 같이 몇 가지 건강상의 영향이 더 악화되거나 질병이 될 수 있다.

- 뇌졸중(stroke)
- 천식(asthma)
- 만성 폐쇄성 폐 질환(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)
- 심장 마비(heart attack)
- 폐 감염(lung infection)
- 폐암(lung cancer)
- 울혈 성 심부전증(congestive heart failure)

(2). 실리카에 대한 노출기준 검토

우리나라 고용노동부에서는 산화규소(결정성 실리카)에 대해서 다음과 같이 4가지로 구분하여 TWA 값으로 0.1-0.05 mg/m³(호흡성)을 제시하고 있으며 발암성의 경우는 모두 1A(사람에게 충분한 발암성 증거가 있는 물질)로 규정하고 있다.

<표 4-15> 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고용노동부 고시) 중 결정성 산화규소에 대한 노출기준

유해물질의 명칭		화학식	노출기준				비고 (CAS번호 등)
국문표기	영문표기		TWA		STEL		
			ppm	㎍ / ㎥	ppm	㎍ / ㎥	
산화규소(결정체 석영)	Silica(Crystalline quartz) (Respirable fraction)	SiO ₂	-	0.05	-	-	[14808-60-7] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (결정체 크리스토파라이트)	Silica(Crystalline cristobalite) (Respirable fraction)	SiO ₂	-	0.05	-	-	[14464-46-1] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (결정체 트리디마이트)	Silica(Crystalline tridymite) (Respirable fraction)	SiO ₂	-	0.05	-	-	[15468-32-3] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (결정체 트리폴리)	Silica(Crystalline tripoli) (Respirable fraction)	SiO ₂	-	0.1	-	-	[1317-95-9] 발암성 1A, 호흡성

2013년 미국 산업안전보건청(OSHA)은 매년 1,600건의 규폐증을 예방할 수 있고 700명의 생명을 구할 수 있는 실리카 먼지에 대한 새로운 직업적 노출 기준을 규칙으로 제안하였다. 이에 따르면 실리카에 대한 PEL(permissible exposure limits)을 40 년 만에 처음 개정하는 것으로 작업환경에 대해 하루 8 시간 기준으로 50 µg/m³을 기준으로 제안하였다(OSHA 2014). 그러나 미국내에서는 파쇄작업 근로자들의 60% 이상이 기준 농도 이상에 노출된다는 연구(Grossman, 2013)도 있어서 이러한 기준이 실효성이 있는 지에 대해서는 논란이 있다. 미국의 법 개정안은 아직 진행 중이다.

우리나라의 경우 실리카에 대한 노출기준 개정은 적절하게 이루어진 것으로 판단된다. 단, 호흡성 분진이라는 용어가 적용되고 있어 환경부 등의 환경보건 기준설정 기관과 같이 “10 µm 이하의 공기역학적 직경을 갖는 입자상물질”, 즉 PM10으로 명시를 하고 측정 방법 등도 일반대기환경을 대상으로 하는 것과는 구별될 필요가 있다. 호흡성 분진은 50% 컷효율에서 약간의 차이(4 µm와 2.5 µm)를 보이기는 하지만 PM2.5와 호환된다고 볼 수 있다.

(3). 미세먼지에 대한 노출기준 검토

현재 미세먼지에 대한 우리나라 대기환경기준은 연평균 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인데 서울시 기준으로 보면 최근 20년 간 약 $78 \sim 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도이며, 세계 다른 도시들과 비교하면 높은 수준에 속한다. 유럽 주요 도시의 미세먼지(PM10)는 세계보건기구(WHO)의 권고 기준($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 약간 웃도는 수준이고, 초미세먼지(PM2.5)는 WHO 권고 기준($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 50% 이상 높은 수준이다. 이러한 미세먼지의 심각성에 따라 국가 차원에서도 대대적으로 미세먼지 관리에 많은 예산을 투입하여 저감대책을 마련하고 있으며 국가간 정책연구도 활발하게 이루어지고 있다.

최근의 연구에 따르면 어린이에게서 나타나는 기관지염(bronchitis) 증상과 폐기능 저하가 입자상 물질 노출과 관련 있다는 것이 보고되었는데, 이러한 증상이 연평균 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5)이나 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) 농도 이하에서도 관찰된다는 것이다. 이러한 이유로 장기간 평균 농도에 대한 기준치가 필요없다는 주장도 있다.

산업보건에서 문제가 되는 분진(먼지)의 크기는 폐에 침착되어 혈관 등을 통하여 몸에 더 심각한 건강영향을 주는 PM2.5 수준의 호흡성 분진이므로 옥외작업장 미세먼지 노출에 대하여 고용노동부 등의 산업보건 관련기관에서 관리를 시도하고자 한다면 호흡성 분진에 대한 기준을 설정하여 이를 관리하는 것이 합리적인 접근법이라고 할 수 있다. 호흡성 분진에 대한 산업보건 노출기준을 어느 수준으로 정하는 것이 합리적인 것인가에 관한 내용은 별도의 연구가 필요한 내용이다. 미국 ACGIH에서는 $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ 을 제시하고 있다.

(4). 업무 강도(신체 활동 정도)에 따른 고려

일부 연구에서는 유해인자별로 근로자가 수행하고 있는 다양한 업무의 육체적 활동 정도를 결정하여 근로자와 감독자가 공기 오염물질 노출을 감소시키는 방법을 마련하고 있다. 이는 미국 질병관리본부(CDC)에서 제시하고 있는 강도

수준으로 구분되는 신체적 활동표 (http://www.cdc.gov/nccdphp/dnpa/physical/pdf/PA_Intensity_table_2_1.pdf)를 근거로 하고 있다. ACGIH에서는 직업적으로 오존에 노출되는 기준을 근무의 육체적 강도에 따라 다르게 제시하고 있다. 예를 들어 중(重)등도(heavy) 작업을 하는 경우는 0.05 ppm, 경증도(light) 작업 시 0.10 ppm을 기준을 제시하고 있다. 우리나라에서도 미세먼지에 대해서도 오존과 같은 모델을 적용할 수 있는지에 대해서는 별도의 연구가 필요하다. 이러한 연구에서 고려할 내용은 옥외작업장의 작업내용이 업종에 따라 다르며 건축업 등의 작업에서는 중등도의 작업이 주를 이룬다는 사실이 고려되어 한다는 것이다.

4) 작업환경 개선 사항

근무 지역 중 교통량이 많거나 중장비 사용 지역, 오염물질의 발생원이 되는 지역에서 공기오염물질이 부담되므로 근무하지 않도록 하는 것이 좋다. 또한 근무 지역에서 기계기구를 사용하지 않을 때는 엔진 가동을 멈추도록 하고, 청정 엔진을 사용하고, 배출량을 줄이는 기술을 적용하여 오염물질 발생을 최소화시킬 수 있도록 해야 한다. 특히 디젤엔진 배출물(diesel engine emission exhaust, DEE)은 IARC에서 group 1 발암물질로 분류된 만큼 각별한 관리가 필요하다.

공기의 질이 좋은 곳에서 일하도록 하고, 작업장에는 여과된 깨끗한 공기를 공급하도록 한다. 육체적 활동 수준을 낮춤으로써 위험성을 감소할 수 있음. 주기적으로 업무를 전환하고, 휴식시간 조정, 격렬하게 활동하지 않도록 하고, 그늘지고 덜 노출될 수 있는 지역에서 근무할 수 있도록 한다.

(1). 보호구 착용

개인보호구는 작업환경에서 유해물질의 노출을 완전히 제거하지 못한 경우에 유해물질의 인체 침입을 막기 위한 최후의 수단으로 사용되어야 한다. 개인보호구의 규격이나 성능, 착용 및 관리방법 등은 다음과 같은 고용노동부 고시나 안전보건공단 KOSHA GUIDE 등으로 명시하고 있다.

- 보호구 의무안전인증 고시(고용노동부고시 제2012-83호)
- KOSHA GUIDE G-12-2013 「개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침」
- KOSHA GUIDE H-82-2012 「호흡보호구의 사용지침」
- KOSHA GUIDE G-39-2012 「송기식 마스크의 사용에 관한 기술지침」
- KOSHA GUIDE H - 150 - 2014 「화학물질 취급 근로자의 호흡보호구 선정 기술지침」

가). 호흡보호구의 종류

“호흡보호구”라 함은 산소결핍 또는 유해물질로 오염된 공기 등을 흡입함으로써 발생할 수 있는 건강장해를 예방하기 위하여 고안된 보호구이며 <표 4-5>와 같이 기능 및 형태에 따라 분류할 수 있다.

흡입공기 중 입자상(분진, 흙, 미스트, 스프레이 등) 유해물질을 막아주기 위해 착용하는 호흡보호구는 “방진마스크”라 하며 흡입공기 중 가스/증기상 유해물질을 막아주기 위해 착용하는 “방독마스크”라고는 구분되어야 한다. 이 외에도 작업장이 아닌 장소의 공기를 호스 등을 통하여 공급하여 흡입할 수 있도록 만들어진 “송기식 마스크”, 사용자의 몸에 지닌 압력공기실린더, 압력산소실린더 또는 산소발생장치가 작동되어 호흡용 공기가 공급되도록 만들어진 “자급식 마스크” 등이 있다.

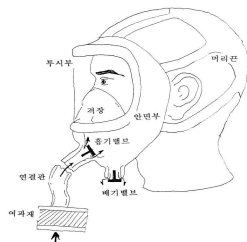
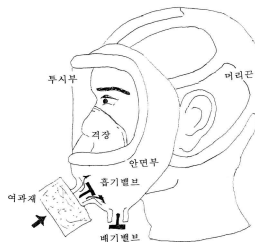
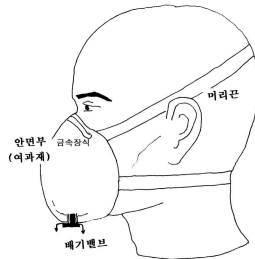
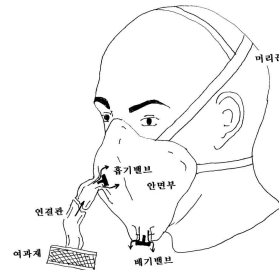
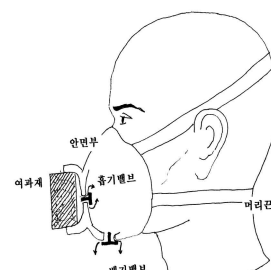
분진에 노출될 수 있는 작업환경인 옥외작업장에서 일하는 근로자들이 착용해야 할 호흡보호구는 방진마스크라고 할 수 있으며 <표 4-16>에서와 같이 오염공기가 호흡기에 도달하기 전에 방진필터 또는 정화통을 통과시켜 제거하는 공기정화식으로 안면부 여과식 방진마스크를 포함한다. 공기정화식은 크게 착용자가 들이쉬는 숨이 오염공기를 이송시키면 비전동식이라 하고 송풍기를 이용하면 전동식이라 한다.

<표 4-16> 기능 및 형태별 호흡보호구의 종류

기능		안면부 형태	보호구 종류
공기정화식	비전동식	전면형	방진마스크
		반면형	방독마스크
		1/4형	방진방독 겸용 마스크
	전동식	전면형	(전동기 부착) 방진마스크
		반면형	방독마스크
			방진방독 겸용 마스크
공기공급식	송기식	전면형	호스마스크
		반면형	에어라인마스크
		후드형	복합에어라인마스크
	자급식	전면형	공기호흡기(개방식) 산소발생식(폐쇄식)

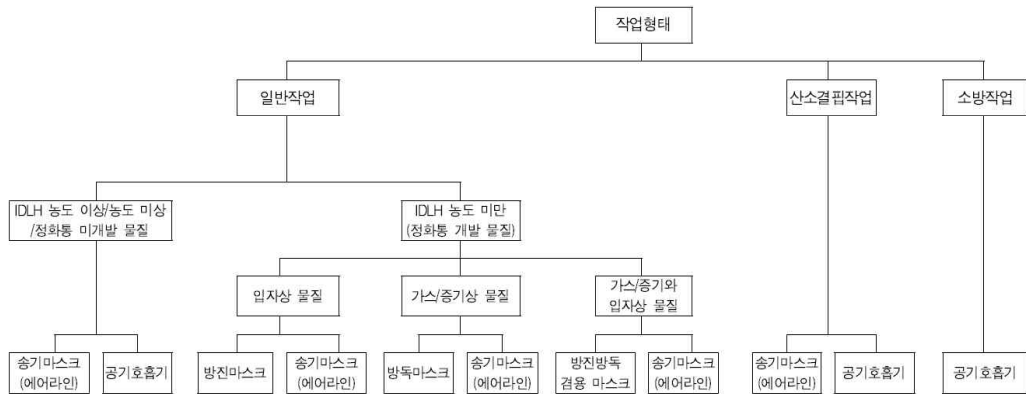
○ 방진마스크의 형태 및 구조분류는 <표 4-17>과 같다. 전면형은 착용한 후 호흡 시 투시부가 흐려지면 안 되며, 안면부여과식 마스크는 여과재로 된 안면부가 사용기간 변형되지 않아야 하며, 여과재를 안면에 밀착시킬 수 있어야 한다.

<표 4-17> 방진마스크의 형태

종류	분리식		안면부여과식
	격리식	직결식	
형태	· 전면형 	· 전면형 	· 반면형 
	· 반면형 	· 반면형 	
사용 조건	산소농도 18% 이상인 장소에서 사용하여야 한다.		

나). 호흡보호구 선정 절차

○ 일반적인 호흡보호구 선정 흐름도는 [그림 4-1]과 같다. 우선적으로 작업이 산소결핍 여부를 확인하여야 한다.



[그림 4-1] 호흡보호구 선정 일반 원칙(KOSHA GUIDE H-150-2014)

산소결핍작업장소, 밀폐공간, 정화통이 개발되지 않은 물질 취급 및 소방작업 근로자가 작업하는 장소의 산소농도가 18% 미만이거나, 정화통이 개발되지 않은 물질을 취급하는 경우에는 공기호흡기, 에어라인, 호스마스크 등을 사용하고, 소방 작업을 수행할 경우에는 공기호흡기를 사용한다. 이들 작업에서 절대로 일반적인 방독마스크를 사용하여서는 안된다.

옥외작업장에 입자상물질만 발생하고 있다면 보통 IDLH 농도에 해당하지 않으므로 [그림 4-1]과 같은 절차를 통해 방진마스크로 선정하여야 한다. 송기마스크의 경우는 입자상물질이 고농도여서 호흡이 곤란할 때 선택할 수 있다.

작업장에서 분진이 발생될 때 적합한 보호구의 등급은 <표 4-18>과 같이 「보호구 의무안전인증 고시(고용노동부고시 제2012-83호)」에 명시된 방진마스크 등급 2급을 착용하여야 한다.

<표 4-18> 방진마스크의 등급

등 급	특 급	1 급	2 급
사 용 장 소	· 베릴륨등과 같이 독성이 강한 물질들을 함유한 분진 등 발생장소 · 석면 취급장소	· 특급마스크 착용장소를 제외한 분진 등 발생장소 · 금속흡 등과 같이 열적으로 생기는 분진 등 발생장소 · 기계적으로 생기는 분진 등 발생장소(규소등과 같이 2급 방진마스크를 착용하여도 무방한 경우는 제외한다)	· 특급 및 1급 마스크 착용장소를 제외한 분진 등 발생장소
	배기밸브가 없는 안면부여과식 마스크는 특급 및 1급 장소에 사용해서는 안 된다.		

안면부 여과식 2급의 성능 기준은 안면부 흡기 저항은 30 ℓ/min 의 유량일 때 차압이 60Pa 이하여야 하며, 95 ℓ/min 의 유량일 때에는 차압이 210Pa 이하이어야 하며, 여과재의 분진 포집 효율은 <표 4-19>와 같이 80.0% 이상(염화나트륨(NaCl) 및 파라핀 오일(Paraffin oil) 시험)이어야 하며, 안면부 배기 저항이 160 ℓ/min 의 유량일 때 차압은 300Pa 이하이어야 하며, 안면부 누설율은 25% 이하여야 한다(고시 별표 4).

<표 4-19> 여과재 분진 등 포집 효율

형태 및 등급		염화나트륨(NaCl) 및 파라핀 오일(Paraffin oil) 시험(%)
분리식	특 급	99.95 이상
	1 급	94.0 이상
	2 급	80.0 이상
안면부 여과식	특 급	99.0 이상
	1 급	94.0 이상
	2 급	80.0 이상

○ 식품의약품안전처(식약처)에서 의약외품으로 허가를 받은 보건용 마스크 (KF-80)

- 일반 마스크와 달리 황사, 미세먼지 등 미세입자를 걸러내는 성능을 가지고 있으며 호흡기질환 예방을 위해서는 보건용 마스크를 착용할 것을 식약처에서 권유하고 있다.

- 보건용 마스크는 평균 약 0.6 μm 이하 크기의 입자를 80% 이상 걸러낼 수 있어 황사, 미세먼지와 같은 입자성 유해물질로부터 호흡기를 보호할 수 있다.

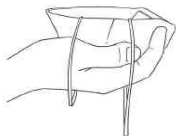
- 2015년 12월 현재 식품의약품안전처에서 의약외품으로 허가된 ‘보건용 마스크’는 (주)대지인팜 등 35개사 141개 제품이 있으며, 약국 등에서 쉽게 구입할 수 있다.

* KF(Korea Filter): 보건용 마스크는 KF문자 뒤에 숫자를 표시하여 해당 제품의 입자차단 성능을 나타냄. 예) KF80-평균 입자크기 0.6 μm 미세입자를 80% 이상 차단, KF94-평균 입자크기 0.4 μm 미세입자를 94% 이상 차단

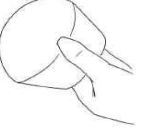
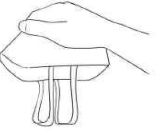
다). 방진마스크의 올바른 착용과 관리(KOSHA GUIDE H-159-2014)

○ 안면부 여과식 방진마스크의 올바른 착용 방법

- 컵식 마스크

		
1. 그림과 같이 밴드를 밑으로 늘어뜨리고 밀착부분이 얼굴부분에 오도록 가볍게 잡아 준다.	2. 마스크가 코와 턱을 감싸도록 얼굴과 맞춰준다.	3. 한 손으로 마스크를 잡고 다른 손으로 마스크 위의 끈을 머리의 상단에 고정시킨다.
		
4. 마스크 아래 끈을 목 뒤에 고정시킨다.	5. 양손 손가락으로 클립부분을 눌러서 코와 밀착이 잘 되도록 조절한다.	6. 양손으로 마스크 전체를 감싸안고 밀착도 자가점검을 실시하여 조절한다.

- 접이식 마스크

		
1. 마스크를 컵모양으로 둥글게 펴 준다.	2. 머리 끈을 바깥 쪽으로 빼낸다.	3. 한 손으로 마스크를 잡고 다른 손으로 마스크 위의 끈을 머리의 상단에 고정시킨다.
		
4. 마스크 측면을 고정시키면서 틈새를 최대한 막아 준다.	5. 클립이 있다면 양손 손가락으로 클립부분을 눌러서 코와 밀착이 잘 되도록 조절한다.	6. 양손으로 마스크 전체를 감싸안고 밀착도 자가점검을 실시하여 조절한다.

○ 밀착도 검사(fit test)

- 착용자의 얼굴에 맞는 호흡보호구를 선정한 후 오염물질의 누설 여부를 판단하여 보호구 성능을 최상으로 유지하여 오염물질이 체내로 침입하는 것을 방지하기 위하여 밀착도검사를 시행해야 한다.

- 밀착도 검사 시기

- 호흡보호구를 처음 선정할 때
- 다른 제품의 호흡보호구를 착용하고자 할 때
- 얼굴의 형상이 크게 변하였을 때
- 일반 작업장은 통상 1년에 1회 이상, 독성이 강한 유해물질을 취급할 때에는 1년에 2회 이상

- 정성적 밀착도 검사(QLFT) : 사람의 오감 즉, 냄새, 맛, 자극 등을 이용하여 마스크 안으로 오염물질의 침투여부를 판단하는 방법이다.

- 호흡보호구를 착용하고 있는 사람에게 외부에서 감미료(사카린 법)나 쓴 맛(Bitrex법)의 에어로졸, 자극성의 흠(irritant fume 법), 바나나향의 증기(isoamyl acetate 법) 증기를 뿜어준다.

- 호흡보호구 착용자가 호흡보호구 내부에서 맛, 재채기, 냄새를 맡으면 밀착도가 불량하여 'Fail'로 판정하고 그러하지 아니하면 밀착도가 양호하여 'Pass'로 판정한다.

- 정량적 밀착도 검사(QNFT) : 오염물질의 누설 정도를 양적으로 확인하기 위한 검사이다. 호흡보호구를 착용한 후 호흡보호구의 안과 밖에서 Corn oil이나 공기 중 에어로졸의 농도를 비교하거나 착용자가 호흡할 때 생기는 압력의 차이를 이용하여 새어 들어오는 정도를 양적으로 비교하는 방법이다.

- 에어로졸이나 압력을 측정할 수 있는 정량적 밀착도 검사 장비를 실험실에 설치하고 작동시킨다.

- 호흡보호구를 착용하고 있는 사람을 실험실과 검사 장비에 노출시키고 호흡보호구안과 밖의 에어로졸 농도나 압력의 차이를 측정한다.
- 측정할 때에는 작업할 때를 가정하여 exercise regime을 실시한다.

○ 밀착도 자가점검(user seal check) : 착용자가 오염지역으로부터 적절히 보호되고 있다는 것을 확인하기 위하여 호흡보호구를 착용할 때마다 [그림 4-2]와 같이 밀착도 자가점검을 시행해야 한다.

– 음압 밀착도 자가점검

- 호흡보호구의 흡입구나 흡입관을 손바닥이나 테이프로 막는다.
- 정화통이나 방진필터가 부착되어 있으면 이 부분을 손이나 테이프로 막는다.
- 천천히 숨을 들어 마시고 10 초 정도 정지한다. 이때 안면부가 약간 조여들거나 공기가 안면부 내로 들어오는 느낌이 없다면 밀착도는 좋은 상태이다



[그림 4-2] 밀착도 자가 점검

- 양압 밀착도 자가점검 : 배기밸브가 있는 호흡보호구에 대하여 실시한다. 이 방법은 배기밸브가 없는 호흡 보호구에 대해서는 시행하기 어렵다.

- 배기밸브를 손으로 막거나 마개를 부착하여 막는다.
- 착용자는 천천히 숨을 내쉰다.
- 안면부의 내부가 약간 양압이 되어 마스크 안면부와 안면과의 접촉면으로 공기가 새어나가는 느낌이 없다면 밀착도는 좋은 상태이다.

○ 관리

- 안면부 여과식 방진마스크나 보건 마스크(KF-80)는 세탁하면 모양이 변형되어 기능을 유지할 수 없고 오히려 먼지나 세균에 오염될 수 있으므로 세탁하여 재사용하지 말아야 한다.
- 또한 수건이나 휴지 등을 닦은 후 마스크를 사용하면 밀착력 감소로 인해 미세먼지 차단 효과가 떨어질 수 있으므로 주의해야 한다.

라). 교육

○ 착용 방법 : 호흡보호구가 적절하고 안전하게 사용될 수 있도록 착용방법에 기재된 사항에 따라 근로자에게 호흡보호구의 종류별 착용방법에 대해서 교육한다. 연습을 포함한 착용지도와 교육을 실시하며 지도 및 교육내용에는 아래와 같은 내용이 포함되어야 한다.

- 호흡보호구의 작동 특징
- 착용방법과 벗는 방법
- 호흡보호구를 적절하게 조절하여 밀착시키는 방법
- 호흡보호구를 착용해야 하는 당위성을 인식시키는 교육방법: 시험 환경 내에서 호흡보호구를 착용하게 함으로서 유해환경에 노출되어도 호흡보호구를 착용하면 건강을 지킬 수 있음을 인식시킨다.

○ 밀착검사 및 밀착도 자가점검

- 밀착도 검사 교육 : 올바르게 착용하지 않으면 착용 후에도 유해물질이

마스크 안으로 새어들어 온다는 것을 인식시키기 위함이다.

- 비용부담이 거의 없는 QLFT는 반드시 교육한다. 방진마스크에는 사카린법, irritant fume법, Bitrex법 중 1~2개 방법을 동시에 교육하고 방독마스크에 대해서는 isoamyl acetate(바나나오일)법을 교육한다.

- 비용이 허락하면 QNFT를 실시한다. QNFT 장비를 구입하기 어려우면 QNFT를 시행하는 전문기관을 찾아 교육 받도록 지도한다.

밀착도 자가점검 교육: [그림 4-2]와 같이 밀착도 자가점검을 호흡보호구를 착용할 때마다 시행할 수 있도록 하여 착용자가 오염지역에서 적절히 보호되고 있다는 것을 확인토록 한다.

2. 산업안전보건법상 추가 개선사항 검토

1) 산업안전보건법

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출로 인한 건강영향과 관련된 산업안전보건법은 아래와 같이 제24조(보건상의 조치)제1항제1호인 “원재료·가스·증기·분진·흠(fume)·미스트(mist)·산소결핍·병원체 등에 의한 건강장해”에 근거하여 사업주는 사업을 할 때 다음 각 호의 건강장해를 예방하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다. 제24조제1항제1호에서 먼지라는 것은 총먼지를 포함하여 입자의 크기에 따라 분류되는 미세먼지(PM10) 및 초미세먼지(PM2.5)를 포괄한다. 따라서 제24조의 경우 옥내외를 구분하고 있지 않으므로 옥외작업장 미세먼지 노출로 인해 근로자의 건강보호를 위한 법적근거는 마련되어 있다고 볼 수 있다.

제24조(보건조치) ① 사업주는 사업을 할 때 다음 각 호의 건강장해를 예방하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.

1. 원재료·가스·증기·분진·흠(fume)·미스트(mist)·산소결핍·병원체 등에 의한 건강장해
2. 방사선·유해광선·고온·저온·초음파·소음·진동·이상기압 등에 의한 건강장해
3. 사업장에서 배출되는 기체·액체 또는 찌꺼기 등에 의한 건강장해
4. 계측감시(計測監視), 컴퓨터 단말기 조작, 정밀공작 등의 작업에 의한 건강장해
5. 단순반복작업 또는 인체에 과도한 부담을 주는 작업에 의한 건강장해
6. 환기·채광·조명·보온·방습·청결 등의 적정기준을 유지하지 아니하여 발생하는 건강장해

② 제1항에 따라 사업주가 하여야 할 보건상의 조치 사항은 고용노동부령으로 정한다. <개정 2010.6.4.>[전문개정 2009.2.6.]

2) 산업안전보건기준에 관한 규칙

산업안전보건법 제24조 제2항에 따라 사업주가 하여야 할 보건상의 조치 사항은 고용노동부령으로 정하도록 되어 있어 구체적인 내용은 대부분 산업안전보건기준에 관한 규칙에 제시되어 있다.

다만, 분진과 관련된 조항은 제1편 총칙의 제1장, 제4장, 제8장과 제3편 보건기준의 제9장 분진에 의한 건강장해의 예방편과 관련이 있으므로 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업과 상관성을 파악하고자 한다.

(1). 분진의 흘날림 방지

산업안전보건기준에 관한 규칙 제1편 총칙 제1장 통칙에 있는 제4조의2는 아래와 같이 분진의 흘날림 방지를 위해 필요한 조치를 하도록 하고 있다. 다만, 분진이 심하게 흘날리는 작업장의 기준이 다소 모호하지만 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업관리지침에는 명시해도 무방할 것으로 보인다.

제4조의2(분진의 흘날림 방지) 사업주는 분진이 심하게 흘날리는 작업장에 대하여 물을 뿌리는 등 분진이 흘날리는 것을 방지하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.[제610조에서 이동] <2012.3.5.>

(2). 보호구

산업안전보건기준에 관한 규칙 제1편 총칙 내 제4장 보호구에서는 제32조 내지 제34조에서 보호구와 관련된 사항을 규정하고 있으며, 제32조에서 사업주는 선창 등에서 분진(粉塵)이 심하게 발생하는 하역작업에 방진마스크를 지급·착용하도록 하고 있으나 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업까지 확대하여 해석하기는 불가능한 것으로 판단된다.

제32조(보호구의 지급 등) ① 사업주는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 작업을 하는 근로자에 대해서는 다음 각 호의 구분에 따라 그 작업조건에 맞는 보호구를 작업하는 근로자 수 이상으로 지급하고 착용하도록 하여야 한다.

1.~6. <생략>

7. 고열에 의한 화상 등의 위험이 있는 작업: 방열복

8. 선창 등에서 분진(粉塵)이 심하게 발생하는 하역작업: 방진마스크

9. 섭씨 영하 18도 이하인 급냉동어창에서 하는 하역작업: 방한모·방한복·방한화·방한장갑

② 사업주로부터 제1항에 따른 보호구를 받거나 착용지시를 받은 근로자는 그 보호구를 착용하여야 한다.

제33조(보호구의 관리) ① 사업주는 이 규칙에 따라 보호구를 지급하는 경우 상시 점검하여 이상이 있는 것은 수리하거나 다른 것으로 교환해주는 등 늘 사용할 수 있도록 관리하여야 하며, 청결을 유지하도록 하여야 한다. 다만, 근로자가 청결을 유지하는 안전화, 안전모, 보안경의 경우에는 그러하지 아니하다.

제34조(전용 보호구 등) 사업주는 보호구를 공동사용 하여 근로자에게 질병이 감염될 우려가 있는 경우 개인전용 보호구를 지급하고 질병 감염을 예방하기 위한 조치를 하여야 한다.

② 사업주는 방진마스크의 필터 등을 언제나 교환할 수 있도록 충분한 양을 갖추어 두어야 한다.

(3). 환기장치

제8장 환기장치에서는 인체에 해로운 분진, 흠(fume), 미스트(mist), 증기 또는 가스 상태의 물질(이하 "분진등"이라 한다)과 관련하여 아래와 같이 제72조(후드), 제73조(덕트), 제74조(배풍기), 제75조(배기구), 제76조(배기의 처리), 제

77조(전체환기장치), 제78조(환기장치의 가동)에 전체환기와 국소배기장치 설치 및 관리에 대한 사항을 규정하고 있다.

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업의 경우 제83조(가스 등의 발산 억제 조치)에서 분진을 포함한 가스등의 공기 중 발산을 억제하는 국소배기장치나 전체환기장치를 설치하는 등의 조치를 실내작업장으로 제한하고 있어 환기장치와 관련된 규정은 적용받지 아니한다.

제72조(후드) 사업주는 인체에 해로운 분진, 흠(fume), 미스트(mist), 증기 또는 가스 상태의 물질(이하 "분진등"이라 한다)을 배출하기 위하여 설치하는 국소배기장치의 후드가 다음 각 호의 기준에 맞도록 하여야 한다.

1. 유해물질이 발생하는 곳마다 설치할 것
2. 유해인자의 발생형태와 비중, 작업방법 등을 고려하여 해당 분진등의 발산원(發散源)을 제어할 수 있는 구조로 설치할 것
3. 후드(hood) 형식은 가능하면 포위식 또는 부스식 후드를 설치할 것
4. 외부식 또는 리시버식 후드는 해당 분진등의 발산원에 가장 가까운 위치에 설치할 것

제73조(덕트) 사업주는 분진 등을 배출하기 위하여 설치하는 국소배기장치(이동식은 제외한다)의 덕트(duct)가 다음 각 호의 기준에 맞도록 하여야 한다.

1. 가능하면 길이는 짧게 하고 굴곡부의 수는 적게 할 것
2. 접속부의 안쪽은 돌출된 부분이 없도록 할 것
3. 청소구를 설치하는 등 청소하기 쉬운 구조로 할 것
4. 덕트 내부에 오염물질이 쌓이지 않도록 이송속도를 유지할 것
5. 연결 부위 등은 외부 공기가 들어오지 않도록 할 것

제74조(배풍기) 사업주는 국소배기장치에 공기정화장치를 설치하는 경우 정화 후의 공기가 통하는 위치에 배풍기(排風機)를 설치하여야 한다.

다만, 빨아들여진 물질로 인하여 폭발할 우려가 없고 배풍기의 날개가 부식될 우려가 없는 경우에는 정화 전의 공기가 통하는 위치에 배풍기를 설치할 수 있다.

제75조(배기구) 사업주는 분진등을 배출하기 위하여 설치하는 국소배기장치(공기정화장치가 설치된 이동식 국소배기장치는 제외한다)의 배기구를 직접 외부로 향하도록 개방하여 실외에 설치하는 등 배출되는 분진등이 작업장으로 재유입되지 않는 구조로 하여야 한다.

제76조(배기의 처리) 사업주는 분진등을 배출하는 장치나 설비에는 그 분진등으로 인하여 근로자의 건강에 장애가 발생하지 않도록 흡수·연소·집진(集塵) 또는 그 밖의 적절한 방식에 의한 공기정화장치를 설치하여야 한다.

제77조(전체환기장치) 사업주는 분진등을 배출하기 위하여 설치하는 전체환기장치가 다음 각 호의 기준에 맞도록 하여야 한다.

1. 송풍기 또는 배풍기(덕트를 사용하는 경우에는 그 덕트의 흡입구를 말한다)는 가능하면 해당 분진등의 발산원에 가장 가까운 위치에 설치할 것
2. 송풍기 또는 배풍기는 직접 외부로 향하도록 개방하여 실외에 설치하는 등 배출되는 분진등이 작업장으로 재유입되지 않는 구조로 할 것

제78조(환기장치의 가동) ① 사업주는 분진등을 배출하기 위하여 국소배기장치나 전체환기장치를 설치한 경우 그 분진등에 관한 작업을 하는 동안 국소배기장치나 전체환기장치를 가동하여야 한다.

② 사업주는 국소배기장치나 전체환기장치를 설치한 경우 조정판을 설치하여 환기를 방해하는 기류를 없애는 등 그 장치를 충분히 가동하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.

제83조(가스 등의 발산 억제 조치) 사업주는 가스·증기·미스트·흙 또는

분진 등(이하 "가스등"이라 한다)이 발산되는 실내작업장에 대하여 근로자의 건강장해가 발생하지 않도록 해당 가스등의 공기 중 발산을 억제하는 설비나 발산원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치나 전체환기장치를 설치하는 등 필요한 조치를 하여야 한다. <개정 2012.3.5.>[제 목개정 2012.3.5.]

(4). 분진에 의한 건강장해의 예방

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출로 인한 건강을 보호하기 위한 구체적인 보건상 조치사항은 산업안전보건기준에 관한 규칙 제3편 보건기준의 제9장 분진에 의한 건강장해의 예방편에 구체적으로 제시되어 있다. 모든 조항이 관련되어 있으므로 구체적으로 분석하여 그 관련성을 파악하였다.

① 제605조(정의)의 분진작업 등

제1절 통칙의 경우 제605조(정의)와 제606조(적용 제외)로 구성되어 있다.

첫째, 제605조제1호의 분진의 정의는 옥외작업장 근로자 미세먼지를 포괄하는 개념으로 이해할 수 있다.

제605조(정의) 이 장에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. "분진"이란 근로자가 작업하는 장소에서 발생하거나 흩날리는 미세한 분말 상태의 물질을 말한다.
2. "분진작업"이란 별표 16에서 정하는 작업을 말한다.
3. "호흡기보호 프로그램"이란 분진노출에 대한 평가, 분진노출기준 초과에 따른 공학적 대책, 호흡용 보호구의 지급 및 착용, 분진의 유해성과 예방에 관한 교육, 정기적 건강진단, 기록·관리 사항 등이 포함된 호흡기질환 예방·관리를 위한 종합적인 계획을 말한다.

둘째, 제2호 분진작업의 경우 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표 16에 총25가지의 작업이 제시되어 있다. 특히 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업이

분진작업과 관련성이 있다면, 제9장 분진에 의한 건강장해의 예방편의 대부분의 조항을 적용받게 된다. 이에 앞서 정의된 토석, 광물, 암석에 내용을 이해할 필요가 있다. 토석이라 함은 흙과 돌을 아울러 이르는 말이며, 광물은 암석을 이루는 작은 알갱이고, 암석은 광물로 이루어진 고체물질을 일컫는다. 따라서 토석, 광물, 암석은 분진 발생의 원인이 되는 물질로 옥외작업장에서 근무하는 근로자들과 관련성이 있다.

아래 <표 4-20>은 분진작업과 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업과의 관련성을 파악한 표로 제1호, 제2호, 제5호, 제7호, 제8호와 직간접적으로 연계 되는 것으로 확인되었다.

따라서 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업은 분진작업에 해당하는 것으로 판단된다.

<표 4-20> 옥외 작업장 근로자 미세먼지의 분진작업별 관련성

연번	분진작업의 종류	관련성 정도
1	토석·광물·암석(이하 "암석등"이라 하고, 습기가 있는 상태의 것은 제외한다. 이하 이 표에서 같다)을 파내는 장소에서의 작업. 다만, 다음 각 목의 어느 하나에서 정하는 작업은 제외한다. 가. 갱 밖의 암석등을 습식에 의하여 시추하는 장소에서의 작업 나. 실외의 암석등을 동력 또는 발파에 의하지 않고 파내는 장소에서의 작업	○
2	암석등을 싣거나 내리는 장소에서의 작업	○
3	갱내에서 암석등을 운반, 파쇄·분쇄하거나 체로 거르는 장소(수중작업은 제외한다) 또는 이들을 쌓거나 내리는 장소에서의 작업	×
4	갱내의 제1호부터 제3호까지의 규정에 따른 장소와 근접하는 장소에서 분진이 붙어 있거나 쌓여 있는 기계설비 또는 전기설비를 이설(移設)·철거·점검 또는 보수하는 작업	×
5	암석등을 채단·조각 또는 마무리하는 장소에서의 작업(화염을 이용한 작업은 제외한다)	○
6	연마재의 분사에 의하여 연마하는 장소나 연마재 또는 동력을 사용하여 암석·광물 또는 금속을 연마·주물 또는 채단하는 장소에서의 작업(화염을 이용한 작업은 제외한다)	×
7	갱내가 아닌 장소에서 암석등·탄소원료 또는 알루미늄박을 파쇄·분쇄하거나 체로 거르는 장소에서의 작업	○
8	시멘트·비산재·분말광석·탄소원료 또는 탄소제품을 건조하는 장소, 쌓거나 내리는 장소, 혼합·살포·포장하는 장소에서의 작업	○
9	분말 상태의 알루미늄 또는 산화티타늄을 혼합·살포·포장하는 장소에서의 작업	×
10	분말 상태의 광석 또는 탄소원료를 원료 또는 재료로 사용하는 물질을 제조·가공하는 공정에서 분말 상태의 광석, 탄소원료 또는 그 물질을 함유하는 물질을 혼합·혼입 또는 살포하는 장소에서의 작업	×
11	유리 또는 법랑을 제조하는 공정에서 원료를 혼합하는 작업이나 원료 또는 혼합물을 용해로에 투입하는 작업(수중에서 원료를 혼합하는 장소에서의 작업은 제외한다)	×
12	도자기, 내화물(耐火物), 형사토 제품 또는 연마재를 제조하는 공정에서 원료를 혼합 또는 성형하거나, 원료 또는 반제품을 건조하거나, 반제품을 차에 싣거나 쌓은 장소에서의 작업이나 가마 내부에서의 작업. 다만, 다음 각 목의 어느 하나에 정하는 작업은 제외한다. 가. 도자기를 제조하는 공정에서 원료를 투입하거나 성형하여 반제품을 완성하거나 제품을 내리고 쌓은 장소에서의 작업 나. 수중에서 원료를 혼합하는 장소에서의 작업	×
13	탄소제품을 제조하는 공정에서 탄소원료를 혼합하거나 성형하여 반제품을 노(爐)에 넣거나 반제품 또는 제품을 노에서 꺼내거나 제작하는 장소에서의 작업	×
14	주형을 사용하여 주물을 제조하는 공정에서 주형(鑄型)을 해체 또는 탈사(脫砂)하	×

연번	분진작업의 종류	관련성 정도
	거나 주물모래를 재생하거나 혼련(混鍊)하거나 주조품 등을 질삭하는 장소에서의 작업	
15	암석등을 운반하는 암석전용선의 선창(船艙) 내에서 암석등을 빠뜨리거나 한군데로 모으는 작업	×
16	금속 또는 그 밖의 무기물을 제련하거나 녹이는 공정에서 토석 또는 광물을 개방로에 투입·소결(燒結)·탕출(湯出) 또는 주입하는 장소에서의 작업(전기로에서 탕출하는 장소나 금형을 주입하는 장소에서의 작업은 제외한다)	×
17	분말 상태의 광물을 연소하는 공정이나 금속 또는 그 밖의 무기물을 제련하거나 녹이는 공정에서 노(爐)·연도(煙道) 또는 연돌 등에 붙어 있거나 쌓여 있는 광물 찌꺼기 또는 재를 긁어내거나 한곳에 모으거나 용기에 넣는 장소에서의 작업	×
18	내화물을 이용한 가마 또는 노 등을 축조 또는 수리하거나 내화물을 이용한 가마 또는 노 등을 해체하거나 파쇄하는 작업	×
19	실내·갱내·탱크·선박·관 또는 차량 등의 내부에서 금속을 용접하거나 용단하는 작업	×
20	금속을 녹여 뿌리는 장소에서의 작업	×
21	동력을 이용하여 목재를 절단·연마 및 분쇄하는 장소에서의 작업	×
22	면(綿)을 섞거나 두드리는 장소에서의 작업	×
23	염료 및 안료를 분쇄하거나 분말 상태의 염료 및 안료를 계량·투입·포장하는 장소에서의 작업	×
24	곡물을 분쇄하거나 분말 상태의 곡물을 계량·투입·포장하는 장소에서의 작업	×
25	유리섬유 또는 암면(巖綿)을 재단·분쇄·연마하는 장소에서의 작업	×

제3호의 호흡기보호 프로그램의 경우 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업도 산업안전보건법 제42조(작업환경측정 등)제1항6)에 따라 작업환경측정 대상이 되면, 분진노출평가 결과 노출기준 초과가 되면 호흡기보호 프로그램의 대상이 된다.

- 6) ① 사업주는 유해인자로부터 근로자의 건강을 보호하고 쾌적한 작업환경을 조성하기 위하여 인체에 해로운 작업을 하는 작업장으로서 고용노동부령으로 정하는 작업장에 대하여 고용노동부령으로 정하는 자격을 가진 자로 하여금 작업환경측정을 하도록 한 후 그 결과를 기록·보존하고 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 고용노동부장관에게 보고하여야 한다. 이 경우 근로자대표가 요구하면 작업환경측정 시 근로자대표를 입회시켜야 한다.

③ 적용제외

앞서 언급한 바와 같이 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업은 분진작업 제1호, 제2호, 제5호, 제7호, 제8호와 직간접적으로 연계되어 있다. 그러나 제5호 암석등을 재단·조각 또는 마무리하는 장소에서의 작업, 제7호 갱내가 아닌 장소에서 암석등·탄소원료 또는 알루미늄박을 파쇄·분쇄하거나 체로 거르는 장소에서의 작업, 제8호 시멘트·비산재·분말광석·탄소원료 또는 탄소제품을 건조하는 장소, 쌓거나 내리는 장소, 혼합·살포·포장하는 장소에서의 작업의 경우 살수(撒水)설비나 주유설비를 갖추고 물을 뿌리거나 주유를 하면서 분진이 흩날리지 않도록 작업하는 경우에는 이 장의 규정을 적용받지 않는다. 따라서 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업 중 제5호, 제7호, 제8호에 해당하는 경우 반드시 살수설비나 주유설비를 갖추고 물을 뿌리거나 주유를 하면서 분진이 흩날리지 않도록 작업할 것을 강조할 필요가 있다.

또한, 제2항에 따라 작업시간이 월 24시간 미만인 임시 분진작업에 대하여 사업주가 근로자에게 적절한 호흡용 보호구를 지급하여 착용하도록 하는 경우에도 적용제외가 되며 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업의 경우 비정형작업이므로 이는 작업상황에 따라 판단할 필요가 있다. 다만, 임시 또는 단시간작업에 해당하는 경우 호흡용 보호구 착용이 필수적이므로 이 경우 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업관리지침에 분명히 명시할 필요가 있다.

제606조(적용 제외) ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 작업으로서 살수(撒水)설비나 주유설비를 갖추고 물을 뿌리거나 주유를 하면서 분진이 흩날리지 않도록 작업하는 경우에는 이 장의 규정을 적용하지 아니한다.

1. 별표 16 제3호에 따른 작업 중 갱내에서 토석·암석·광물 등(이하 "암석등"이라 한다)을 체로 거르는 장소에서의 작업
2. 별표 16 제5호에 따른 작업

3. 별표 16 제6호에 따른 작업 중 연마재 또는 동력을 사용하여 암석·광물 또는 금속을 연마하거나 재단하는 장소에서의 작업
 4. 별표 16 제7호에 따른 작업 중 동력을 사용하여 암석등 또는 탄소를 주성분으로 하는 원료를 체로 거르는 장소에서의 작업
 5. 별표 16 제7호에 따른 작업 중 동력을 사용하여 실외에서 암석등 또는 탄소를 주성분으로 하는 원료를 파쇄하거나 분쇄하는 장소에서의 작업
 6. 별표 16 제7호에 따른 작업 중 암석등·탄소원료 또는 알루미늄박을 물이나 기름 속에서 파쇄·분쇄하거나 체로 거르는 장소에서의 작업
- ② 작업시간이 월 24시간 미만인 임시 분진작업에 대하여 사업주가 근로자에게 적절한 호흡용 보호구를 지급하여 착용하도록 하는 경우에는 이 장의 규정을 적용하지 아니한다. 다만, 월 10시간 이상 24시간 미만의 임시 분진작업을 매월 하는 경우에는 그러하지 아니하다.
- ③ 제11장의 규정에 따른 사무실에서 작업하는 경우에는 이 장의 규정을 적용하지 아니한다.

④ 설비 등의 기준

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업은 실내작업장이 아니므로 제697조 내지 제611조에 적용받지 아니한다.

제607조(국소배기장치의 설치) 사업주는 별표 16 제5호부터 제25호까지의 규정에 따른 분진작업을 하는 실내작업장(갱내를 포함한다)에 대하여 해당 분진작업에 따른 분진을 줄이기 위하여 밀폐설비나 국소배기장치를 설치하여야 한다.

제608조(전체환기장치의 설치) 사업주는 분진작업을 하는 때에 분진 발생 면적이 넓어 제607조에 따른 설비를 설치하기 곤란한 경우에 전체환기장치를 설치할 수 있다.

제609조(국소배기장치의 성능) 제607조 또는 제617조제1항 단서에 따라 설치하는 국소배기장치는 별표 17에서 정하는 제어풍속 이상의 성능을 갖춘 것이어야 한다.

제610조 [중전 제610조는 제4조의2로 이동 <개정 2012.3.5.>]

제611조(설비에 의한 습기 유지) 사업주는 제617조제1항 단서에 따라 분진작업장소에 습기 유지 설비를 설치한 경우에 분진작업을 하고 있는 동안 그 설비를 사용하여 해당 분진작업장소를 습한 상태로 유지하여야 한다.

⑤ 관리 등

제607조(국소배기장치의 설치)에 적용받지 않으므로 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업은 제612조 내지 제613조과 관련이 없다.

다만, 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업은 제1호, 제2호, 제5호, 제7호, 제8호에 해당하는 분진작업이면, 제614조(분진의 유해성 등의 주지), 제615조(세척시설 등)의 의무가 있다. 따라서 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업관리지침에 분명히 명시하여 준수시킬 필요가 있다.

제612조(사용 전 점검 등) ① 사업주는 제607조와 제617조제1항 단서에 따라 설치한 국소배기장치를 처음으로 사용하는 경우나 국소배기장치를 분해하여 개조하거나 수리를 한 후 처음으로 사용하는 경우에 다음 각 호에서 정하는 바에 따라 사용 전에 점검하여야 한다.

1. 국소배기장치

가. 덕트와 배풍기의 분진 상태

나. 덕트 접속부가 헐거워졌는지 여부

다. 흡기 및 배기 능력

라. 그 밖에 국소배기장치의 성능을 유지하기 위하여 필요한 사항

2. 공기정화장치

가. 공기정화장치 내부의 분진상태

나. 여과제진장치(濾過除塵裝置)의 여과제 파손 여부

다. 공기정화장치의 분진 처리능력

라. 그 밖에 공기정화장치의 성능 유지를 위하여 필요한 사항

② 사업주는 제1항에 따른 점검 결과 이상을 발견한 경우에 즉시 청소, 보수, 그 밖에 필요한 조치를 하여야 한다.

제613조(청소의 실시) ① 사업주는 분진작업을 하는 실내작업장에 대하여 매일 작업을 시작하기 전에 청소를 하여야 한다.

② 분진작업을 하는 실내작업장의 바닥·벽 및 설비와 휴게시설이 설치되어 있는 장소의 마루 등(실내만 해당한다)에 대해서는 쌓인 분진을 제거하기 위하여 매월 1회 이상 정기적으로 진공청소기나 물을 이용하여 분진이 흩날리지 않는 방법으로 청소하여야 한다. 다만, 분진이 흩날리지 않는 방법으로 청소하는 것이 곤란한 경우로서 그 청소작업에 종사하는 근로자에게 적절한 호흡용 보호구를 지급하여 착용하도록 한 경우에는 그러하지 아니하다.

제614조(분진의 유해성 등의 주지) 사업주는 근로자가 상시 분진작업에 관련된 업무를 하는 경우에 다음 각 호의 사항을 근로자에게 알려야 한다.

1. 분진의 유해성과 노출경로
2. 분진의 발산 방지와 작업장의 환기 방법
3. 작업장 및 개인위생 관리
4. 호흡용 보호구의 사용 방법
5. 분진에 관련된 질병 예방 방법

제615조(세척시설 등) 사업주는 근로자가 분진작업을 하는 경우에 목욕시설 등 필요한 세척시설을 설치하여야 한다.

제616조(호흡기보호 프로그램 시행 등) 사업주는 다음 각 호의 어느 하

나에 해당하는 경우에 호흡기보호 프로그램을 수립하여 시행하여야 한다.

1. 법 제42조에 따른 분진의 작업환경 측정 결과 노출기준을 초과하는 사업장
2. 분진작업으로 인하여 근로자에게 건강장해가 발생한 사업장

⑥ 보호구

보호구의 경우 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업이 제1호, 제2호, 제5호, 제7호, 제8호에 해당하면, 반드시 호흡용 보호구를 지급하는 등의 조치를 하여야 한다.

제617조(호흡용 보호구의 지급 등) ① 사업주는 근로자가 분진작업을 하는 경우에 해당 작업에 종사하는 근로자에게 적절한 호흡용 보호구를 지급하여 착용하도록 하여야 한다. 다만, 해당 작업장소에 분진 발생원을 밀폐하는 설비나 국소배기장치를 설치하거나 해당 분진작업장소를 습기가 있는 상태로 유지하기 위한 설비를 갖추어 가동하는 등 필요한 조치를 한 경우에는 그러하지 아니하다.

② 사업주는 제1항에 따라 보호구를 지급하는 경우에 근로자 개인전용 보호구를 지급하고, 보관함을 설치하는 등 오염 방지를 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.

③ 근로자는 제1항에 따라 지급된 보호구를 사업주의 지시에 따라 착용하여야 한다.

(5). 소결

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업이 제1호, 제2호, 제5호, 제7호, 제8호에 해당하는 경우 사업주는 제4조의2(분진의 흘날림 방지), 제614조(분진의 유해성 등의 주지), 제615조(세척시설 등), 제616조(호흡기보호 프로그램 시행 등), 제617조(호흡용 보호구의 지급 등)적용받아 의무를 이행하여야 한다.

**<표 4-21> 산업안전보건기준에 관한 규칙상 옥외 작업장 근로자 미세먼지의
분진작업 적용 조항**

장	관련 조항	관련성
1장	제4조의2(분진의 흘날림 방지)	△
	제32조(보호구의 지급 등)	×
	제33조(보호구의 관리)	×
	제34조(전용 보호구 등)	×
8장	제72조(후드)	×
	제73조(덕트)	×
	제74조(배풍기)	×
	제75조(배기구)	×
	제76조(배기의 처리)	×
	제77조(전체환기장치)	×
9장	제605조(정의) 2. 분진작업(제1호, 제2호, 제5호, 제7호, 제8호)	○
	제606조(적용 제외)	△
	제607조(국소배기장치의 설치)	×
	제608조(전체환기장치의 설치)	×
	제609조(국소배기장치의 성능)	×
	제610조 [이동 조항]	×
	제611조(설비에 의한 습기 유지)	×
	제612조(사용 전 점검 등)	×
	제613조(청소의 실시)	×
	제614조(분진의 유해성 등의 주지)	○
	제615조(세척시설 등)	○
	제616조(호흡기보호 프로그램 시행 등)	○

장	관련 조항	관련성
	제617조(호흡용 보호구의 지급 등)	○

3) 규제영향분석

본 연구에서 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출작업은 제605조(정의) 제2호 분진작업 제1호, 제2호, 제5호, 제7호, 제8호에 해당되면 제614조(분진의 유해성 등의 주지), 제615조(세척시설 등), 제616조(호흡기보호 프로그램 시행 등), 제617조(호흡용 보호구의 지급 등)를 사업주가 이행하여야 하며, 별도의 추가 규제가 없으므로 규제영향분석은 생략하도록 한다.

3. 일반분진에 대한 호흡성 분진 노출기준의 제정

우리나라의 경우 분진의 성분 등에 의해서 별도로 노출기준이 제정되지 않은 일반분진⁷⁾에 대한 총분진 기준은 10 mg/m^3 으로 존재하지만 호흡성 분진과 같은 크기에 따른 기준은 없다. 국제적으로 호흡성 분진에 대한 기준 설정이 증가하고 있기 때문에 우리나라도 이를 고려해볼만하고 여겨진다. 호흡성 분진에 대한 기준은 옥외작업장 미세먼지 관리를 포함한 여러 분야에 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

호흡성 분진에 대한 기준이 제정되어 있는 사례를 살펴보면 다음과 같다. 유럽연합 27개국과 노르웨이 및 스위스를 포함한 29개국 중 19개국에서 호흡성 분진에 대한 노출기준이 설정되어 있다(IMA Europe, 2010). 설정된 기준은 $3\text{--}10 \text{ mg/m}^3$ 으로 나라마다 다양하다. 미국의 경우 ACGIH에서 3 mg/m^3 을 제안하고 있다(ACGIH, 2006). Cherrie 등(2013)은 Annals of Occupational Hygiene에 보낸 commentary에서 1 mg/m^3 을 제안하였다. 호주의 산업보건인 협회인 Australian Institute of Occupational Hygienists(AIOH)에서는 2016년 Position Paper에서 1 mg/m^3 을 제안하였다.

호흡성 분진에 대한 노출기준이 제정되기 위해서는 별도의 연구가 필요하며 이 경우 그에 따른 규제영향분석이 수행되어야 할 것이다.

7) 다른 명칭으로 기타분진을 들 수 있고, 미국에서는 inert or nuisance dust, 호주에서는 dusts not otherwise specified (혹은 dusts NOS) 등을 불러진다.

4. 옥외작업장 미세먼지 노출관리의 책임

옥외작업장 대기중 미세먼지는 사업장에서 발생하는 것이 아닌 사업장 외부 유래의 유해인자이기 때문에 그 노출관리 책임을 사업주가 져야하는지 여부에 대하여 조사하였다.

대기중 미세먼지와 유사하게 사업장에서 발생되지 않는 유해인자로는 옥외작업에서 오는 직업적 열노출(occupational heat exposure)을 들 수 있다. 직업적 열노출에는 용광로 고열작업 등 인위적인 열발생 작업이 포함되지만, 더운 날씨에 직사광선 아래에서 이루어지는 야외작업(outdoor operations)도 포함된다. 야외작업 시 노출되는 열은 사업자가 발생시킨 것이 아니며, 이러한 작업에는 야외농사, 건설작업, 석유나 가스 시추작업, 조경작업, 비상대응작업(emergency response operations), 전력 및 유틸리티 서비스 유지작업 등이 포함된다.

미국 OSHA에서는 홈페이지(<https://www.osha.gov/SLTC/heatstress/>)와 자료집 등을 통해 직업적 열노출(혹은 열손상, heat stress)에 대하여 중요하게 다루고 있다. 홈페이지 메뉴에는 직업적 열노출에 대한 관리의 책임에 대하여 ‘How do I find out about employer responsibilities and worker rights?’라는 제목 하에 다루고 있다. 이에 대한 OSHA의 대답은 아래와 같다.

Workers have a right to a safe workplace. The law requires employers to provide their employees with safe and healthful workplaces. The OSHA law also prohibits employers from retaliating against employees for exercising their rights under the law (including the right to raise a health and safety concern or report an injury).

해석하면, 다음과 같다. 근로자는 안전한 작업장에서 일할 권리가 있다. 법률

은 사업주가 고용인들에게 안전하고 보건의적인 작업장을 제공하도록 요구하고 있다. OSHA 법률은 또한 고용인들이 법으로 보장된 권리(안전 및 보건의적 우려에 대하여 의견을 제시할 권리 및 상병을 보고할 권리)를 행사하는 것에 대하여 사업주가 불이익을 주는 것을 금지하고 있다.

열손상에 대한 OSHA 홈페이지에서 제공하고 있는 메뉴는 크게 아래와 같이 구성되어 있다.

- 기본페이지(home)
 - 열은 근로자에게 왜 해로운가?(Why is heat a hazard to workers?)
 - 열에 누가 영향받을 수 있는가?(Who could be affected by heat?)
 - 지나치게 더운지 어떻게 알 수 있나?(How do I know if it's too hot?)
 - 열관련 질환은 어떻게 예방될 수 있나?(How can heat-related illness be prevented?)
 - 사업주의 책임 및 근로자의 권리의 근거는 어떻게 찾을 수 있나?(How do I find out about employer responsibilities and worker rights?)
- 열관련 질환 및 응급처치(Heat-related illness and first aid)
- 예방(Prevention)
- 업종별 참고자료(Industry-specific resources)
- 관련법규(Standards)

미국 NIOSH 역시 열손상에 대하여 별도의 고정된 홈페이지(<https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/>)를 운영하고 있으며 OSHA보다 자세한 정보를 팟캐스트, 책자, 포스터, 인포그래픽, 블로그 등의 형태로 제공하고 있다.

OSHA가 제시하는 관련법규(Standards) 페이지에는 Occupational Safety and Health Act (OSHA) Section 5(a)(1)를 사업주 관리 책임의 근거로 제시하고 있으며, 같은 내용이 우리나라 산업안전보건법 제5조(사업주 등의 의무)제1항제2호에 ‘근로자의 신체적 피로와 정신적 스트레스 등을 줄일 수 있는 쾌적

한 작업환경을 조성하고 근로조건을 개선할 것'라는 내용으로 제시되어 있다. 이 조항은 사업자가 유해인자를 발생시키는지 여부에 대한 단서가 달려있지 않다.

이상의 내용을 토대로 살펴볼 때 옥외작업장 미세먼지 노출관리에 대한 책임은 직업적 열노출과 마찬가지로 사업주에게 있으며, 정부 또한 다양한 경로를 통하여 관련정보를 근로자에게 제공하는 것이 필요하다.

V. 결론 및 제언

옥외작업장 근로자의 미세먼지 노출로 인한 건강위험성에 대하여 관리 필요성이 인정되는지에 대하여 문헌조사와 실태조사를 통하여 조사하였다. 국내 미세먼지 관련 연구는 환경보건적인 측면에서 접근한 것이 대부분이며 국내 미세먼지 관련 규제는 사무실 작업자나 다중이용시설 등에 대해서만 존재하거나 규제 도입이 시도되어왔을 뿐 산업보건 측면에서는 작업에서 발생하는 분진의 노출수준과 비교하여 상당히 낮기 때문에 관리를 고려한 기록이 없다.

미세먼지에 단시간 및 장시간 노출되었을 때 나타날 수 있는 건강상의 영향 중 확정적인 것은 다음의 두 가지이다. 첫째, 천식 악화와 같은 호흡기계와 심혈관계 질병 이환율과 병원 입원율 증가이며, 둘째, 심혈관계 및 호흡기계 질병과 폐암으로 인한 사망률 증가이다. PM10보다는 PM2.5가 더 위험하다고 알려져 있다. 세계보건기구(WHO)와 다른 연구에 따르면 일일사망률은 미세먼지 농도 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 0.2 - 0.6% 증가하는 것으로 추정되었으며 초미세먼지에 장기간 노출 시 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 심폐 사망률은 6-13% 증가하는 것으로 보고되었다.

옥외작업장 노출 실태조사에서 건설업과 도로변을 대상으로 호흡성분진, 결정형 실리카, 중금속(Fe, Pb, Cr 등)의 농도를 조사하였고 대조군으로 골프장에서 같은 유해인자들을 조사하였다. 건설업의 경우 작업에서 유래하는 유해인자의 노출수준과 대기환경에서 유래하는 유해인자의 노출수준을 분리하여 시료를 채취하였다. 건설업 옥외작업장의 미세먼지 노출수준은 같은 날 대기측정망에서 측정된 것보다 대부분 높았다. 경기지역과 대구.경북지역 간의 비교에서는 경기지역이 상대적으로 높았다. 건설업 옥외작업장에서 개인시료로 측정된 호흡성 분진의 노출수준은 작업영역에서 10 미터 이상 떨어진 대기중 미세먼지를 대상으로 측정된 지역시료의 호흡성 분진의 노출수준보다 유의하게 높았다. 각 유해인자는 작업환경기준과 비교하여 각각 실리카 8.76%, 납 1.61%, 크롬

0.12%, 철염 0.32%, 망간 0.07%, 아연 0.69%의 노출수준이었다.

미세먼지에 대한 관리 필요성 검토에서 옥외작업장 근로자의 미세먼지 노출 평가 자료를 토대로 일부 금속성분에 대하여 환경보건 위험성평가를 실시한 결과 발암성이 알려지지 않은 망간의 경우 비발암물질 위해지수는 옥외작업자가 옥내작업자보다 5% 높았다. 발암물질 초과발암위해도 평가에서 니켈과 카드뮴이 경우 10^{-4} 이하로 계산되어 미세먼지 노출로 인한 고려할만한 발암위험성이 있다고 볼 수 없었다. 산업안전보건법상 추가 개선사항 검토 결과 기존에 존재하는 분진에 대한 규정만으로도 노출관리에 대한 법적 근거제공이 가능하여 별도 개정이 필요하지 않다고 판단되며 따라서 규제영향평가는 실시하지 않았다.

미세먼지 노출에 대한 작업장에서의 관리방안은 발생원이 작업장 내에 위치하지 않기 때문에 기존에 산업보건에 사용하는 관리방법 중 근로자를 보호하는 접근법만이 사용가능하며 필요하다고 판단되는 경우 호흡보호구를 지급하는 것이 추천된다. 일반분진에 대한 크기별 기준으로 호흡성 분진에 대한 노출기준을 설정하는 것에 대해 고려해 볼 필요가 있다. 미세먼지는 작업장 내에서 발생된 유해인자가 아니지만 야외작업장에서 직사광선 노출로 인한 열손상에 대해서 쾌적한 작업환경을 제공할 의무가 부여되는 사업주가 관리하는 것과 같은 원리로 사업주가 노출관리를 해야 한다고 여겨진다.

검토결과를 종합해보면 근로자 집단은 일반인 집단에 비해서 상대적으로 신체가 건강하여 근로활동에 참여할 수 있는 수준에 있기 때문에 미세먼지와 같은 환경보건적인 유해인자 노출에 대하여 노약자 등을 포함하여 설정된 환경보건기준과 비교하는 것보다 산업보건기준과 비교하는 것이 타당하다고 여겨진다. 미세먼지 노출을 분진과 개별 성분으로 분리하여 산업보건기준과 비교하면 노출기준의 10% 이하로 조사되었고, 이런 경우 산업안전보건법에 기반한 기존의 관리 외에 별도의 추가적인 관리는 필요 없을 것으로 판단된다. 단, 고용노동부에서는 미세먼지 중 건강영향이 더 큰 PM_{2.5} 노출에 관하여 이 크기의 분진과 호환성이 있는 호흡성분진 노출에 대한 노출기준을 마련하는 것을 고려해

볼만 하다.

VI. 부록: 옥외작업장 근로자 미세먼지 노출에 관한 보건관리지침(안)

KOSHA GUIDE

H-000-2016

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출에 관한
보건관리지침

2016. 11.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침 개요

○ 작성자 : 계명대학교 김승원 교수

○ 개정자 :

○ 제·개정 경과

-

○ 관련규격 및 자료

- KS I ISO 23210:2012, 고정 오염원 방출-연도 가스 내 PM₁₀/PM_{2.5} 질량 농도 측정-임팩터를 이용한 저농도 측정
- KS I ISO 7708:2010, 공기질-건강 관련 샘플링을 위한 입도 분율의 정의
- 보건용 마스크의 기준 규격에 대한 가이드라인, 식품의약품안전평가원 바이오생약심사부 화장품심사과, 2016. 2.
- KOSHA GUIDE H-82-2015. 호흡용 보호구의 사용지침

○ 관련법규·규칙·고시 등

- 산업안전보건법 제24조(보건조치)
- 산업안전보건에 관한 규칙, 제9장 분진에 의한 건강장해의 예방

○ 기술지침 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr)의 안전보건기술지침 소관분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2016년 월 일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

KOSHA GUIDE
H-000-2016

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출에 관한 보건관리지침

1. 목적

이 지침의 목적은 옥외작업장 근로자들이 황사처럼 작업에 기인해서 발생하지 않는 환경성 미세먼지에 노출되어 생길 수 있는 건강영향을 최소화하기 위한 보건관리지침을 제공하는 것이다.

2. 적용 범위

이 지침은 건설현장을 포함하여 상시와 한시를 구분하지 않고 옥외에서 작업하는 근로자를 고용하고 있는 사업장에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “옥외작업장”이라 함은 옥내작업장을 제외한 곳을 말한다. 옥내작업장은 천장과 2면 이상의 벽면을 갖추고 자연통풍을 저

해할 정도의 밀폐된 작업장을 말하며 갱내, 터널 등을 포함한다. (고용노동부 질의회시, 문서번호 산위 01254-18990, 1991.12.31.)

(나) “미세먼지”이라 함은 우리 눈에 보이지 않을 정도로 아주 가늘고 작은 먼지 입자를 말하는 일반용어로 환경부 등에서 주로 사용한다. 기술적으로는 PM10과 PM2.5로 구분된다. 통상 PM10을 ‘미세먼지’, PM2.5를 ‘초미세먼지’로 구분하여 지칭한다. 이 지침에서 미세먼지는 PM10과 PM2.5를 모두 포함하는 통칭으로 사용된다.

(다) “PM10”이라 함은 10 μm 공기역학적 지름에서 컷오프한 50 % 효율을 갖는 선택적 흡입구를 지나는 크기의 입자를 말한다. 컷오프 지름(cut-off diameter)은 임팩터 단계의 분리 효율이 50 %인 공기역학적 지름을 말한다. 공기역학적 지름(aerodynamic diameter)이란 온도, 압력, 상대습도의 일반 조건하에서 정지 공기 중의 입자가 갖는 중력과 동일한 종단 속도를 나타내는 밀도가 1 g/cm^3 인 구체의 지름을 말한다. PM10은 KS I ISO 7708, 6.에 정의된 “흡광성 분진”에 상응한다.

(라) “PM2.5”이라 함은 50 %의 컷오프 효율이 공기역학적 지름 2.5 μm 인 선택적 흡입구를 지나는 크기의 입자를 말한다. PM2.5는 KS I ISO 7708, 7.1에 정의된 “고위험 호흡성 분진”에 상응한다.

(마) “황사”라 함은 세계기상기구(WMO)의 권고에 따라 목측(눈으로 관측)으로 판단하는 시정 및 하늘상태 등의 기상현상으로 강도 0, 강도 1, 강도2로 구분된다. 미세먼지의 농도와 별도로 황사 발생여부가 판단된다.

-강도 0 시정이 다소 혼탁

-강도 1 하늘이 혼탁하고 황색먼지가 물체표면에 약간 쌓이는 정도

-강도 2 하늘이 황갈색으로 되어 빛을 악화시키며 황색먼지가 쌓임

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 따른다.

4. 옥외작업장 미세먼지의 위험요인

(1) 미세먼지 일반대기 노출

미세먼지에 단시간 및 장시간 노출되었을 때 나타날 수 있는 건강상의 영향 중 확정적인 것은 다음과 같다.

- 천식 악화와 같은 호흡기계와 심혈관계 질병 이환율과 병원 입원을 증가

- 심혈관계 및 호흡기계 질병과 폐암으로 인한 사망률 증가

PM10보다는 PM2.5가 더 위험하다고 알려져 있다. 세계보건기구(WHO)

와 다른 연구에 따르면 일일사망률은 미세먼지 농도 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 0.2 - 0.6% 증가하는 것으로 추정되었다. 초미세먼지에 장기간 노출 시 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 심폐 사망률은 6-13% 증가하는 것으로 보고되었다.

(2) 성분별 위험용인

미세먼지에는 산화규소, 금속 및 그 화합물(납, 망간, 철, 아연, 알루미늄, 크롬, 비소, 니케, 세슘, 바나듐), 산 및 염기 등이 포함되어 있다. 이들 성분의 구성비는 계절적, 지리적으로 차이가 크다. 노출수준은 산업 보건 노출기준과 비교하여 상당히 낮은 편이다.

5. 미세먼지 노출 위험수준의 판단

(1) 옥외작업장의 측정대상 여부

건설현장과 같이 한시적인 옥외작업장의 작업환경측정 대상 여부에 대한 질의에 고용노동부는 “작업환경측정대상은 옥내외를 구분하지 않고 작업환경측정대상 유해인자에 노출되는 근로자가 작업하고 있는 작업장을 말하며, 공사규모 및 작업 인원과는 상관없이 적용됨. 다만, 공사기간, 한시적인 작업과 관련해서는 산업보건기준에 관한 규칙 제11장의 임시작업 및 단시간 작업인 경우와 제2장의 규정에 의한 분진작업의 적용제외(동 규칙 제4조) 작업장은 측정대상에서 제외됨”이라고 회시(산업보건환경과-300, 2004.1.16.).하였다. 따라서 건설현장과 같이 한시적인 옥외작업장이라고 할지라도 기본적으로 측정대상이 된다.

(2) 기상청 자료의 이용

기상청에서는 기상현상인 황사를 관측하고 홈페이지

(<http://www.kma.go.kr/weather/asiandust/density.jsp>)를 통해 관측값을 공유한다. 이 자료는 에어코리아 홈페이지에서도 일부 확인가능하다. 기상청에서 안내하는 황사발생 확인방법 3가지는 아래와 같다.

- ① 방송매체(TV나 라디오)의 일기 예보 시청
- ② 기상청 홈페이지(www.kma.go.kr) 및 국립수위과학검역원 홈페이지(www.qia.go.kr) 수시 확인
- ③ 전화를 통한 확인(기상청: 국번없이 131, 국립축산검역본부: 031-467-1700)

(3) 환경부 자료의 이용

환경부에서는 한국환경공단의 에어코리아 홈페이지(<http://www.airkorea.or.kr/>)을 통해 대기측정망 자료를 공유하고, 미세먼지와 오존에 대한 대기질 예보 및 경보를 통해 현재 미세먼지 농도를 경고하고 2일치 농도를 전망한다. 미세먼지 주의보 및 경보의 경우 발령기준이 일정농도가 2시간 이상 지속되는 경우에 발령되므로 노출관리를 위해서는 예보를 활용하는 것이 권장된다. 또한 건설현장 등의 특성상 일단 작업이 시작되면 근로자들을 다시 소집하거나 현장에 접근하여 방진마스크 등을 착용하도록 요구하거나 배포하는 것이 어렵기 때문에 예보에 따른 관리가 더 현실적인 대안이다.

대상물질	경보단계	발령기준
미세먼지(PM10)	주의보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM-10 시간당 평균농도가 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 이상 지속인 때
	경보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM-10 시간당 평균농도가 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 이상 지속인 때
미세먼지(PM2.5)	주의보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM-2.5 시간당 평균농도가 $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 이상 지속인 때
	경보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM-2.5 시간당 평균농도가 $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 이상 지속인 때

6. 개인보호구의 제공

(1) 미세먼지 노출에 따른 호흡용 보호구의 선정

호흡용 보호구의 선정은 미세먼지 노출수준에 따라 달라질 수 있다. 과거의 미세먼지 노출수준을 기준으로 판단하면 대기중 미세먼지 노출수준은 산업보건 분진노출기준과 비교하여 크게 낮은 편이므로 2급 방진 마스크를 사용하는 것으로 대기중 미세먼지 노출이 관리될 수 있다. 황사마스크 규격은 식품의약품안전처에서 관리하고 있으며 요구되는 성능 중 여과효율의 경우 80%로 2급 방진마스크와 유사하다.

(2) 기타 호흡용 보호구 관련 프로그램

착용법 교육 및 유지관리 등의 호흡용 보호구 선정을 제외한 나머지 사항은 일반 호흡용 보호구 프로그램의 내용(예를 들면 KOSHA CODE H-82-2015 호흡용 보호구의 사용지침)을 따르면 된다. 황사마스크 중

접이형의 경우 호흡용 보호구와 다른 착용법이 필요하지만 착용법이 방한대와 유사하고 제품 포장에 사용법이 표시되어 있으므로 별도의 교육이 필요하지는 않다.

[참고문헌]

- 국립환경과학원. 경유자동차에서 발생하는 미세먼지(PM2.5)의 인체위해성 영향평가. 2011
- 국립환경과학원. 대기오염물질 배출량. 2016
- 김용규, 구정완, 권영준 등. 건설업근로자 직종별 건강진단 방안연구. 연구원 2008-.
- 김용현 김기현, 박찬구 등. 도시환경의 총부유먼지 중 미지성분의 분포 특성에 대한 연구. 분석과학 2012;25(2):133-145
- 도화석, 최수진, 박민숙 등. 대구지역 대기중 PM10과 PM2.5의 농도분포 특성. 대한환경공학회지 2014;36(1):20-28
- 박은정. 미세먼지와 그 유해화학물질의 건강위해성평가. 2008.
- 서영화. 건설현장에서 채취한 미세먼지(PM10)의 분석으로 건설현장 오염원 분류표 작성. 환경관리학회지 2013;19(2):67-72
- 성민영, 박진수, 김현재 등. 서울과 대전지역 PM2.5중 원소성분의 농도 특성. 한국환경분석학회지 2015;18(1):49-58
- 오윤희, 남인식, 김신도 등. 일부 지하철 역사내 실내공기 중 미세먼지에서의 중금속 노출에 의한 건강위해성평가. 한국생활환경학회지 2013;20(1):29-36.
- 전혜리, 최수현, 임지영 등. 대기 중 PM2.5의 중금속 성분의 화학적 특성. 환경보건학회지 2012;39(3):233-240
- 정종현, 피영규, 이준정 등. 대구 안심연료단지 환경오염물질 노출 평가(Ⅱ) -TSP, PM10, PM2.5 및 중금속 농도분포 및 노출특성-. 한국산업보건학회지 2015;25(3):380-391
- 정진도, 황승민, 최희석. 아산지역의 황사/비황사시 PM2.5, PM10 농도특성에 관한 연구. 대한환경공학회지 2008;30(11):1111-1115

통계청. 시도·산업·조직형태별 사업체수, 근로자수('06-'14). 2015

통계청. 한국표준산업분류. 2016

AIOH (2016) Dusts not otherwise specified (dust nos) and occupational health issues. Australian Institute of Occupational Hygienists Position Paper.

Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, et al., Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). Environ Health Perspect. 2008;116(2):196-202.

Bell ML, Ebisu K, Peng RD, et al., Hospital Admissions and Chemical Composition of Fine Particle Air Pollution. Am J Respir Crit Care Med. 2009;179(12):1115-1120.

CAREX. Surveillance of environmental and occupational exposures for cancer prevention. Canada. 2014

Cherrie J, Brosseau LM, Hay A, Donaldson K (2013) A Commentary for the Annals of Occupational Hygiene: Low-Toxicity Dusts: Current Exposure Guidelines Are Not Sufficiently Protective. Annals of Occupational Hygiene.

Cooper MR, Susi P, Rempel D. Evaluation and control of respirable silica exposure during lateral drilling of concrete. J Occup Environ Hyg. 2012;9(2):D35-D41.

Diaz-Soler BM, Matinez-Aires MD, Lopez-Alonso M. Emerging risk in the construction industry : Recomendations for managing exposure to nanomaterials. DYNA 2016;83: 48-54.

Farina F, Sancini G, Battaglia C, et al., Milano Summer Particulate Matter (PM10) Triggers Lung Inflammation and Extra

- Pulmonary Adverse Events in Mice. PLoS One 2013;8(2):E56636.
doi: 10.1371/journal.pone.0056636
- Grossman E. 2013. Silica exposures in fracking: Over 60 percent of workers may be excessively exposed. The Pump Handle, Nov. 21, 2013. Available:
<http://scienceblogs.com/thepumphandle/2013/11/21/silica-exposures-in-fracking-over-60-percent-of-workers-may-be-excessively-exposed/>
- Ha EH, Lee JT, Kim H. et al., Infant Susceptibility of Mortality to Air Pollution in Seoul, South Korea. Pediatrics 2003;111:284-290.
- Hall RM, Achutan C, Sollberger R, et al., Exposure assessment for Roofers Exposed to silica during installation of roof tile.
- Hong YC, Leem JH, Ha EH. et al., PM10 exposure, gaseous pollutants, and daily mortality in Inchon, South Korea. Environ. Health Perspect. 1999;107:873 - 878.
- IMA Europe (2010) Occupational Exposure Limits - Respirable dust
Available from: URL:
<http://www.ima-europe.eu/content/occupational-exposure-limits-%E2%80%93-respirable-dust-%E2%80%93-full-table>
- International Agency for Research on Cancer. Press release No. 213.
IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic. Available from: URL:
http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf
- International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 92. Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. Available from: URL:

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/mono92.pdf>

International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 95.

Household use of solid fuels and high-temperature frying.

Available from: URL:

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol95/mono95.pdf>

ISO. 고정 오염원 방출-연도 가스 내 PM10/PM2.5 질량 농도

측정-임팩터를 이용한 저농도 측정. KS I ISO. 23210: 2012.

ISO. 공기질-건강 관련 샘플링을 위한 입도 분율의 정의. KS I ISO 7708: 2010.

Krewski D, Jerrett M, Burnett RT, et al., Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society linking particulate air pollution and mortality. Res Rep Health Eff Inst. 2009;140:5-114.

Lakshmi S, Alice J, Joya R, et al., Cement dust exposure and pulmonary function tests in construction site workers. Asian Pac. J. Health Sci 2016;3(2):43-46.

NIOSH. NIOSH Method 7602. 2003.

OSHA(Occupational Safety and Health Administration). Controlling silica exposures in construction. 2009

OSHA 2104. Crystalline Silica Rulemaking. Available:

<https://www.osha.gov/silica/index.html>

Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, et al., Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA 2002;287(9):1132-1141.

Safe work Australia. The Australian work(AWES): carcinogen

- exposures in the construction industry. 2016
- Samet JM, Dominici F, Curriero FC,, et al., Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. Cities, 1987–1994. *N Engl. J. Med* 2000;343:1742–1749.
- Samoli E, Peng R, Ramsay T, et al., Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHENA Study. *Environ Health Perspect.* 2008;116(11):1480–1486.
- Stanek LW, Sacks JD, Dutton SJ, et al., Attributing health effects to apportioned components and sources of particulate matter: an evaluation of collective results. *Atmos Environ.* 2011;45:5655–5663.
- Torén K, Bergdahl LA, Nilsson T, et al., Occupational exposure to particulate air pollution and mortality due to ischaemic heart disease and cerebrovascular disease. *Occup Environ Med* 2007;64(8):515–519.
- Ulvestad B, Lund MB, Bakke B, et al., Gas and dust exposure in underground construction is associated with signs of airway inflammation. *Eur Respir J* 2001;17(3):416–421.
- U.S EPA. AirBase: public air quality database. 2012. Website: <http://www.eea.europa.eu/themes/air/airbase>
- U.S EPA. PM 2.5 Objectives and History. Region 4: Laboratory and Field Operations–PM2.5. 2008.
- Wan Q, Cui X, Shao J, et al., Beijing ambient particle exposure accelerates atherosclerosis in ApoE knockout mice by upregulating visfatin expression. *Cell Stress Chaperones*

2014;19(5):715-724.

WHO, Air Quality Guideline. 2005

WHO. Burden of disease from ambient and household air pollution.

2012. website:

http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/

WHO Regional Office for Europe. Air quality guidelines: global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen. 2006. website: <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide>

WHO Regional Office for Europe. Health relevance of particulate matter from various sources. Report of a WHO workshop. 2007. Website: <http://www.euro.who.int/document/E90672.pdf>,

<< 연 구 진 >>

연 구 기 관 : 계명대학교 산학협력단

연구책임자 : 김승원(조교수, 보건학박사, 계명대학교)

연 구 원 : 양원호(교수, 보건학박사, 대구가톨릭대학교)

피영규(교수, 보건학박사, 대구한의대학교)

하권철(교수, 보건학박사, 창원대학교)

연구보조원 : 이가현(보건학석사, 계명대학교)

박소진(학부재학, 계명대학교)

남미란(박사재학, 대구한의대학교)

이준정(박사재학, 대구한의대학교)

이재환(박사재학, 창원대학교)

김순신(보건학석사, 대구가톨릭대학교)

정다영(석사재학, 대구가톨릭대학교)

민경태(학부재학, 용인대학교)

연구상대역 : 박현희(연구위원, 산업안전보건연구원)

<< 연 구 기 간 >>

2016. 3. 23. ~ 2016. 10. 31.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2016년도
위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인
적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를
수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원 원장

옥외작업장 근로자 미세먼지 노출실태 및 건강보호 방안
마련 연구

(2016-연구원-762)

발 행 일 : 2016년 10월 31일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 연구원장 직무대리 김기식

연구책임자 : 계명대학교 공중보건학과 교수 김승원

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (681-230) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : (052) 7030-907

F A X : (052) 7030-337

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>
