

대기오염이 실내공기질에 미치는 영향과 해결을 위한 미국 정책 조사연구

서울과 미국 대도시의 대기 미세먼지 농도가 실내공기질에 미치는 영향을
평가하고 그 대책으로 대기오염 및 기후변화 관련 미국 정책을 조사연구

2024년 6월

서민정

훈련성과보고서 요약서

성 명	서민정	과견연도	2023.7 ~ 2024. 6
훈련분야	환경 · 공원 / 기후 · 환경		
훈련과제	대기 미세먼지 농도가 다중이용시설 및 대중교통차량 실내공기질에 미치는 영향평가		
훈 련 국	미국		
훈련기관	포틀랜드 주립대학교		
보 고 내 용			
제 목	대기오염이 실내공기질에 미치는 영향과 해결을 위한 미국 정책 조사연구	보고서 매수	56
내용요약	<p>실내공기질은 대기질에 영향을 받고, 대기오염과 기후변화는 밀접한 관계를 가지며 톱니바퀴처럼 맞물려 서로 영향을 미친다. 기후변화는 대기오염물질의 농도와 분포를 변화시키며, 역으로 대기오염물질들이 이산화탄소 발생 증가의 원인을 제공해 지구온난화를 촉진할 수도 있다. 실내공기질을 유지하지 위해서는 기계적 환기, 공기청정기 사용 등 전기에너지가 필요하며 화석연료를 사용한 전기에너지 생산 시 발생하는 온실가스는 기후변화에 영향을 미친다. 기후변화는 인류의 건강 문제, 식량 자원 문제 등 많은 부작용을 낳으며, 대기오염에 국한되지 않은 전 지구적인 문제이다.</p> <p>본 연구에서는 사람들이 대부분의 시간을 보내는 실내공간의 공기질과 대기질과의 상관관계 파악하기 위해 시민들이 가장 우려하는 오염물질 중 하나인 미세먼지의 실내와 대기 농도 측정값을 회기분석하여, 실내외 공기질의 상관관계를 알아보고자 하였다. 또한, 대기오염과 기후변화 문제를 해결하기 위해 바이든 정부의 대표적 정책인 전기차 장려 정책과 에너지 효율성 정책에 대해 구체적으로 살펴보고, 포틀랜드에서 기후변화에 대해 집중적으로 시행한 조사연구에 대해 언급함으로써 우리 시에서 참고할 만한 정책을 제시하고자 한다.</p>		

목 차

1. 서론	4
1.1 대기오염	4
1.2 실내공기질	4
1.3 기후변화	5
1.4 대기오염, 실내공기질, 기후변화의 상관관계	6
1.5 실내공기질을 위한 대기오염 및 기후변화 정책 검토의 필요성	7
2. 서울과 미국 대도시의 PM-2.5	8
2.1 서울의 미세먼지 현황	9
2.2 포틀랜드의 미세먼지 현황	11
2.3 뉴욕시의 미세먼지 현황	14
3. 실내 미세먼지 농도와 외기 미세먼지 농도	16
3.1 서울 다중이용시설 실내공기와 외기 미세먼지 농도	16
3.2 서울 지하철 차량 실내공기와 외기 미세먼지 농도	23
3.3 미국 동부 대도시 지하철 실내외 PM-2.5 농도	25
4. 대기오염 및 기후변화 대응을 위한 미국의 전기차 장려 정책	26
4.1 전기차의 정의 및 종류	26
4.2 바이든 정부의 전기차 관련 선언	28
4.3 미국의 전기차 인프라 관련 환경법규 및 행정명령	29
5. 대기오염 및 기후변화 대응을 위한 미국의 에너지 효율성 정책	35
5.1 에너지 효율성의 의미와 장점	35
5.2 연방정부의 지속가능한 계획과 지방정부의 저탄소 빌딩 정책	37
6. 포틀랜드의 기후변화와 건강지표 모니터링	43
6.1 기후변화와 시민 건강 영향	43
6.2 기후변화와 건강 지표	44
6.3 기후변화와 정신 건강	48
7. 결론	49
7.1 대기질과 실내공기질 현황 및 상관성	49
7.2 전기차 장려 정책에 대한 거시적·환경적 견해	50
7.3 에너지 효율성에 대한 견해	51
7.4 포틀랜드의 기후변화와 건강을 위한 노력	52
참고문헌	54

1. 서론

1.1 대기오염

대기오염은 대기의 자연적 특성을 변경하는 화학적, 물리적 또는 생물학적 요인에 의해 실내 또는 실외 환경이 오염되는 것이다.

가정용 연소 장치, 자동차, 산업 시설 및 산불은 대기오염의 일반적인 원인이다. 주요 공중 보건 문제의 오염물질에는 미립자 물질, 일산화탄소, 오존, 이산화질소 및 이산화황이 포함된다. 실외 및 실내공기 오염은 호흡기질환 및 기타 질병을 유발하며 질병률과 사망률의 중요한 원인이다.

WHO 데이터에 따르면 전 세계 인구의 거의 99%가 WHO 지침 한도를 초과하고 높은 수준의 오염물질을 포함하는 공기를 마시고 있으며, 저소득 및 중간 소득 국가가 가장 높은 노출로 고통받고 있는 것으로 나타났다.

대기질은 전 세계적으로 지구의 기후 및 생태계와 밀접하게 연관되어 있다. 화석 연료의 연소로 인한 대기오염 등 대기오염의 원인 중 상당수는 온실가스 배출의 원인이기도 하다. 따라서 대기오염을 줄이기 위한 정책은 대기오염으로 인한 질병 부담을 낮추고, 장·단기적으로 기후변화 완화에 기여함으로써 기후와 건강 모두에 윈(win-win) 전략이다.

1.2 실내공기질

실내 공기질이란 집, 학교, 사무실 또는 기타 건물 환경의 공기 질을 말한다. 전국적으로 실내 공기질이 인체 건강에 미치는 잠재적인 영향은 다음과 같은 여러 가지 이유로 주목할 만하다.(EPA, 2024)

사람들은 평균적으로 시간의 약 90%를 실내에서 보내며 일부 오염물질의 농도는 일반적인 실외 농도보다 2~5배 더 높은 경우가 많다. 어린이, 노인, 심혈관 질환이나 호흡기 질환이 있는 환자 등 오염으로 인한 부작용에 가장 취약한 사람들은 실내에서 훨씬 더 많은 시간을 보내는 경향이 있으며 그 영향을 더 많이 받는다. 적절한 공기 교환을 보장할 만큼 충분한 기계적 환기가 부족한 에너지 효율성이 떨어

어지는 건물의 경우 합성 건축 자재, 가구, 개인 관리 제품, 살충제 및 화학물질의 사용 증가와 같은 요인으로 인해 오염물질의 실내 농도가 증가할 수 있다.

우려되는 일반적인 실내공기 오염물질은 일산화탄소, 입자상 물질(Particulate Matter, PMs), 환경적 담배 연기와 같은 연소 부산물, 라돈, 애완동물 비듬, 곰팡이 등 자연 유래 물질, 곰팡이와 같은 생물학적 물질, 살충제, 납, 석면, 일부 공기청정기에서 발생하는 오존, 다양한 제품과 재료에서 나오는 다양한 휘발성 유기 화합물 등이 있다.

실내공기질에 영향을 미치는 대부분의 오염물질은 건물 내부에서 발생하지만 일부는 실외에서 발생한다. 담배, 목재, 석탄 난방 및 조리기구, 벽난로 등 실내환경의 연소원은 일산화탄소 및 입자상 물질과 같은 유해한 연소 부산물을 실내환경으로 직접 방출할 수 있다. 청소 용품, 페인트, 살충제 및 기타 일반적으로 사용되는 제품은 휘발성 유기 화합물을 포함한 다양한 화학 물질을 실내 공기에 직접 유입시킵니다. 건축자재는 석면과 같이 분해되는 자재 또는 신축건물의 새로운 자재나 가구를 통해 통해 발생하는 포름알데하이드 같은 원인 물질도 있다. 라돈, 곰팡이, 부유세균 등 자연적으로 발생하는 실내공기 오염물질도 있다. 실외 대기 오염물질은 열린 문, 열린 창문, 환기 시스템 및 구조물의 균열을 통해 건물로 유입될 수 있습니다. 예를 들어, 대기질이 나쁠 시 대기 오염물질이 집으로 다시 유입되어 집 안의 공기와 이웃에 있는 다른 집의 공기를 오염시킬 수 있다. 실내 공기 오염물질과 관련된 건강 영향은 눈, 코, 목의 자극, 두통, 현기증, 피로, 호흡기 질환, 심장병, 암이 있다.

1.3 기후변화

기후변화에 관한 유엔 기본협약에 따르면 기후변화란 지구의 대기 조성을 변화시키는 인간의 활동이 직·간접적으로 원인이 되어 기온과 날씨 패턴의 장기적인 변화를 의미한다. 기후변화는 태양 활동의 변화나 대규모 화산 폭발로 인해 자연스러울 수 있다. 그러나 산업혁명 이후 석탄, 석유, 가스 등 화석연료를 사용하는 인위적 활동이 기후변화의 주요 원인이 되었다. 화석연료의 연소 시 온실가스가 배출되어 대기에 온실의 역할을 하게 되며 그로 인해 태양으로부터 흡수된 복사열이 충분히 방출되지 못하여 지구의 온도가 높아지게 된다.

기후변화의 인과관계에 대해 과학적으로 정립된 이론은 다음과 같다. 첫째, 지구

대기에서 온실가스 농도는 지구의 평균 온도와 직접적으로 연관되어 있다. 둘째, 산업혁명 이후 온실가스 농도는 꾸준히 증가해 왔으며 그에 따라 지구 온도도 상승하였다. 셋째, 온실가스의 약 2/3를 차지하는 온실가스인 이산화탄소는 주로 화석 연료의 연소 산물이다.

기후변화는 중대한 문제이며 지금 결정적인 순간에 놓여 있다. 농업을 위협하는 기상 변화부터 홍수의 위험을 증가시키는 해수면 상승까지, 기후변화의 영향은 그 범위가 전 지구적인 규모이다. 정책적이고 조직적인 대응을 하지 않는다면, 미래에 기후변화에 적응하는 것이 더 어려워지고 비용도 많이 들 것이다.

지속적인 화석연료 사용, 지속 불가능한 에너지 및 토지 사용으로 인해 산업화 이전 수준보다 지구 온도가 1.1°C 상승하였다. 기온 상승에 따라 대기, 바다, 육지가 따뜻해져서 대기, 해양, 빙하권 및 생물권에 광범위한 변화가 발생하였다. 약 33억~36억 명의 사람들이 기후변화에 매우 취약한 환경에 살고 있으며, 기후변화에 대한 생태계와 인간의 취약성은 지역 간, 지역 내에서 상당히 다르다.

1.4 대기오염, 실내공기질, 기후변화의 상관관계

미국 환경보호청(United States Environmental Protection Agency, U.S. EPA, 이하 EPA로 표기)에서는 대기질을 의미하는 실외공기질(Outdoor Air Quality), 기후변화의 원인이 되는 온실가스(Greenhouse Gases), 실내공기질(Indoor Air Quality) 세 가지를 공기(Air)의 지표로 삼고 있으며, 실내외 공기의 오염은 인류의 건강을 위협하고, 대기오염은 지구의 오존층 고갈과 기후변화를 포함한 중요한 결과로 대기 구성을 변화시킬 수 있다고 언급하였다.

대기가 깨끗하다면, 실내공기는 실내에서 발생하는 오염물질이 대부분일 것이다. 이 경우는 자연환기 및 기계적 환기를 통해 외부의 깨끗한 공기를 유입시키면 된다. 환기가 잘 이루어지면 실내공기 오염물질을 집 밖으로 배출할 수 있으며, 실내 오염물질을 희석시킬 만큼 충분한 실외 공기를 유입시킴으로써 실내공기 수준을 향상시킬 수 있다. 그러나 실외 공기, 즉 대기가 오염되었을 경우 실내공기 개선을 위한 환기 시 오히려 오염물질이 실내로 유입될 수 있으므로 실내공기는 실외공기에 의존적일 수 있다.

대기오염과 기후변화는 밀접한 관계를 가지며 서로 영향을 미치고 있다. 대기오염

은 주로 화석연료를 사용하는 산업활동 및 교통에 의해 발생하는 미세먼지, 이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소 등 입자성 및 가스상 유해물질이 대기 중에 배출되어 발생한다.

건강 위험 측면에서도 대기오염과 기후변화는 밀접한 관계가 있다. 대기오염을 줄이기 위한 대부분의 정책은 건강과 기후 모두에 좋은 영향을 미친다. 대기오염 수준이 낮아지면 장기적으로나 단기적으로 사람들의 심혈관 및 호흡기 건강이 향상된다. 대기오염과 기후변화를 동시에 유발하는 대표적인 오염물질은 이산화탄소이다. 발전, 산업 및 오염 운송을 위한 화석연료의 사용은 모두 미세먼지와 이산화탄소를 배출한다. 주변 및 가정의 대기오염을 줄이면 이산화탄소(CO₂)와 및 메탄(CH₄)과 같은 기후변화에 영향을 미치는 오염물질의 배출도 줄어들 수 있으므로 기후변화 완화에 기여할 수 있다. 메탄, 블랙 카본과 같은 대기오염물질은 기후변화와 건강 약화에 기여하는 강력한 단기 기후 오염물질이다. 단기 기후 오염물질은 대기 중에 짧은 기간 동안 지속되지만 지구온난화 지수는 이산화탄소보다 훨씬 크다. 초미세먼지의 한 성분인 블랙카본은 이산화탄소 다음으로 지구온난화에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나이다. 블랙카본은 햇빛을 흡수하여 지구 대기를 따뜻하게 하여 눈과 얼음이 녹는 속도를 가속화시킨다. 또 다른 단기기후 오염물질인 메탄은 이산화탄소보다 84배 더 강력한 온실가스이며 대기오염 물질인 오존의 전구체이다. 오존과 블랙카본은 기상 과정에 영향을 미치고 농업 수확량을 감소시켜 식량 안보를 위협한다.

1.5 실내공기질을 위한 대기오염 및 기후변화 정책 검토의 필요성

앞서 언급한 것처럼 실내공기질은 대기질에 영향을 받고, 대기오염과 기후변화는 밀접한 관계를 가지며 톱니바퀴처럼 맞물려 서로 영향을 미친다. 기후변화는 대기오염물질의 농도와 분포를 변화시키며, 역으로 대기오염물질들이 이산화탄소 발생 증가의 원인을 제공해 지구온난화를 촉진할 수도 있다. 실내공기질을 유지하지 위해서는 기계적 환기, 공기청정기 사용 등 전기에너지가 필요하며 화석연료를 사용한 전기에너지 생산 시 발생하는 온실가스는 기후변화에 영향을 미친다. 기후변화는 인류의 건강 문제, 식량 자원 문제 등 많은 부작용을 낳으며, 대기오염에 국한되지 않은 전 지구적인 문제이다.

실내공기질과 대기질의 상관성을 논하려면 실질적으로 서울, 미국 대도시의 대기

질 수준에 대해 우선 살펴볼 필요가 있다. 또한 대기질이 실내공기질에 어느정도 영향을 미치는지에 대한 데이터를 통한 직접적인 분석 결과가 필요하다. 대기질의 현황과 실내공기질과의 관계가 파악되면, 대기오염 및 기후변화 문제를 해결하기 위한 해결책을 찾을 필요가 있다. 본 연구에서는 사람들이 대부분의 시간을 보내는 실내공간의 공기질과 대기질과의 상관관계 파악하기 위해 시민들이 가장 우려하는 오염물질 중 하나인 미세먼지의 실내외 농도 측정값을 비교함으로써 실내외 공기질의 상관관계도를 알아보고자 한다. 또한, 대기오염과 기후변화 문제를 해결하기 위해 바이트 정부의 대표적 정책인 전기차 장려 정책과 에너지 효율성 정책에 대해 구체적으로 살펴보고, 포틀랜드에서 기후변화에 대해 집중적으로 시행한 조사연구에 대해 언급함으로써 우리 시에서 참고할 만한 정책을 제시하고자 한다.

2. 서울과 미국 대도시의 PM-2.5

미국의 대도시는 서부의 오리건(Oregon, OR)에 위치한 포틀랜드(Portland)와 동부 뉴욕(New York, NY)주 뉴욕시(New York City)를 대상으로 하였다. 자동차가 기본 이동수단인 미국 내 다른 지역과 달리 뉴욕시는 대중교통이 잘 발달되어 있고, 미국에서 가장 인구가 많은 도시로 서울과 비교하기 적합하다.

서울은 국립환경과학원에서 발간하는 2022 대기환경연보를 자료로 사용하였고, 포틀랜드, 뉴욕시의 대기질 조사는 각 주(State) 환경청(Department of Environmental Quality, DEQ)에서 발간하여 공개한 연간보고서(Annual Report)를 바탕으로 시행하였으며, 그 중 가장 최근 자료인 2022년 보고서를 바탕으로 조사하였다.

우리나라의 대기환경기준 항목은 초미세먼지(PM-2.5), 미세먼지(PM-10), 오존(O₃), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 아황산가스(SO₂)이며 그 기준은 표 1과 같다. 서울시에서는 조례로 아황산가스 항목에 대해 더 엄격한 기준을 두고 있어 국가기준과 서울시 기준이 다르다. 포틀랜드와 뉴욕은 동일한 국가기준(National Ambient Air Quality Standards, 이하 NAAQS로 표기)을 적용받으므로, 미세먼지 관련 기준은 포틀랜드 미세먼지 현황에서 PM-2.5와 PM-10의 기준에 대해 언급하고자 한다.

본 연구의 취지가 미세먼지 농도에 대한 연구이고, 시민들의 관심이 가장 높은 항목이 미세먼지인 만큼 서울과 포틀랜드, 뉴욕의 대기질은 미세먼지에 대해서만 언급하고자 한다.

표 1 대기환경기준

항목	단위	구분	국가기준	서울시기준	측정방법
초미세먼지 (PM-2.5)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	연간 평균	15	15	중량농도법 또는 이에 준하는 자동측정법
		24시간 평균치	35	35	
미세먼지 (PM-10)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	연간 평균	50	50	베타선 흡수법 (β -Ray Absorption Method)
		24시간 평균치	100	100	
오존(O ₃)	ppm	8시간 평균치	0.06	0.06	자외선광도법 (U.V. Photometric Method)
		1시간 평균치	0.1	0.1	
이산화질소 (NO ₂)	ppm	연간 평균	0.03	0.03	화학발광법 (Chemiluminescent Method)
		24시간 평균치	0.06	0.06	
		1시간 평균치	0.1	0.1	
일산화탄소 (CO)	ppm	8시간 평균치	9	9	비분산적외선분석법 (Non-Dispersive Infrared Method)
		1시간 평균치	25	25	
아황산가스 (SO ₂)	ppm	연간 평균	0.02	0.01	자외선형광법 (Pulse U.V. Fluorescence Method)
		24시간 평균치	0.05	0.04	
		1시간 평균치	0.15	0.12	

2.1 서울의 미세먼지 현황

초미세먼지(PM-2.5)는 직경이 $2.5\mu\text{m}$ 이하인 먼지이며, 미세먼지(PM-10)은 직경이 $10\mu\text{m}$ 이하인 먼지이다. PM-2.5, PM-10은 주로 산업시설, 자동차, 난방 및 에너지 사용 등으로 인해 직접적으로 1차 배출되기도 하고, 황산염, 질산염과 같이 대기 중 반응에 의해 2차 생성되기도 한다. 주요 구성성분은 이온성분(SO_4^{2+} , NO_3^- , NH_4^+), 탄소성분(유기탄소, 원소탄소), 금속화합물 등이다.(서울시 대기환경정보, 2024)

PM-2.5, PM-10을 흡입했을 때 기도에서 걸러지지 못하고 대부분 폐포에 침투하여 심장 및 호흡기질환을 유발하여 사망률을 증가시킨다. 또한, 가시거리를 짧게 하여 시정을 악화시키고, 식물의 잎 표면에 침적되어 신진대사를 방해하며, 건축물에 퇴적되어 부식을 일으킨다.(서울시 대기환경정보, 2024)

서울의 대기환경측정망은 그림1과 같이 서울시 지자체에서 45곳을, 환경부에서 10곳을 설치, 측정, 관리하고 있다. 2022 대기환경연보에 따르면, PM-10은 '95년 측정 이래로 점차 감소 추세를 보이며 '22년은 $31\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기록하였다. PM-2.5는 점차 감소 추세를 보이며 '22년은 전년과 동일한 $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기록하였다(그림2).(국립환경과학원 대기환경연보, 2023)

그림 1 전국 및 서울 대기환경측정망 설치현황('22년 12월말 기준), 출처: 에어코리아

구 분	총 계		도시 대기	교외 대기	국가배경농도		도로변 대기	항만	유해 대기	대기 중금속	산성 강하물	광화학	지구 대기	PM-2.5 성분	대기오염 집중 측정망
					도서	선박									
	국가	지자체	지자체	국가	국가	국가	지자체	국가	국가	지자체	국가	국가	국가	국가	
계	266	653	521	27	11	35	56	23	57	76	42	18	1	42	10
서울	10	45	25				15		3	5	2	1		3	1

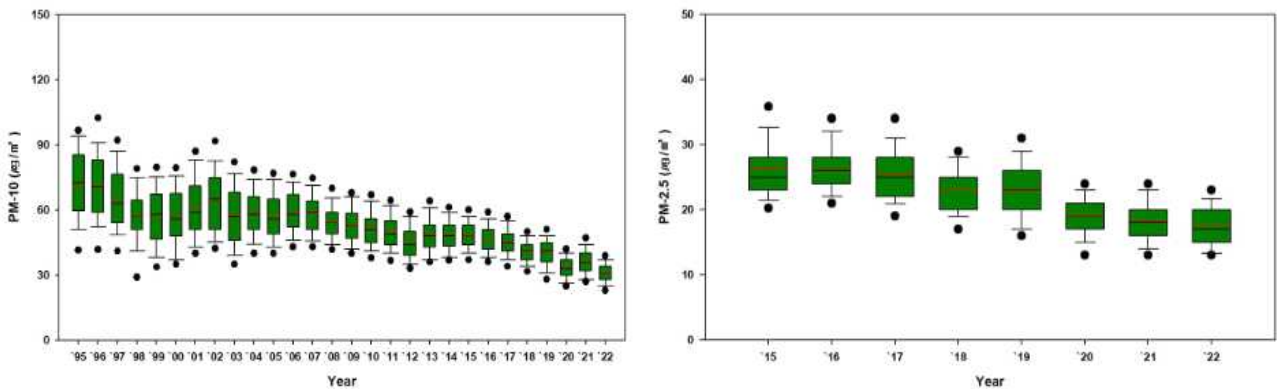


그림 2 PM10(좌), PM2.5(우) 연평균 농도분포, 출처: 에어코리아

환경부 고시 제298-46호, 대기오염 예측 발표의 대상지역 및 기준과 내용등에 관한 고시에 따르면, 미세먼지 나쁨, 매우나쁨 기준은 다음과 같다.

- ▶ PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일평균) : 나쁨(81~150), 매우나쁨(151 이상)
- ▶ PM-2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일평균) : 나쁨(36~75), 매우나쁨(76 이상)

그림 3과에서 보여지듯이 PM-10 나쁨 일수는 증감이 반복되는 추세이며, 서울의 '22년 나쁨 일수는 전년보다 10일 감소하여 8일 발생, 전국의 경우 전년보다 5일 감소하여 6일 발생하였다. PM-2.5의 나쁨 일수는 '17년 이후 지속적인 감소 추세에 있으며 '22년 서울은 전년보다 1일 감소한 30일, 전국은 전년보다 5일이 감소한 17일 발생하였다.

PM-10의 매우나쁨 일수는 그림4와 같이 증감을 반복하고 있으며, 서울의 '22년 매우나쁨 일수는 전년보다 2일 감소하여 1일 발생, 전국의 경우 전년에는 4일 발생하였으나, '22년에는 발생하지 않았다. PM-2.5의 매우나쁨 일수는 '22년 서울은 전년보다 3일 감소한 1일 발생, 전국은 발생하지 않았다.

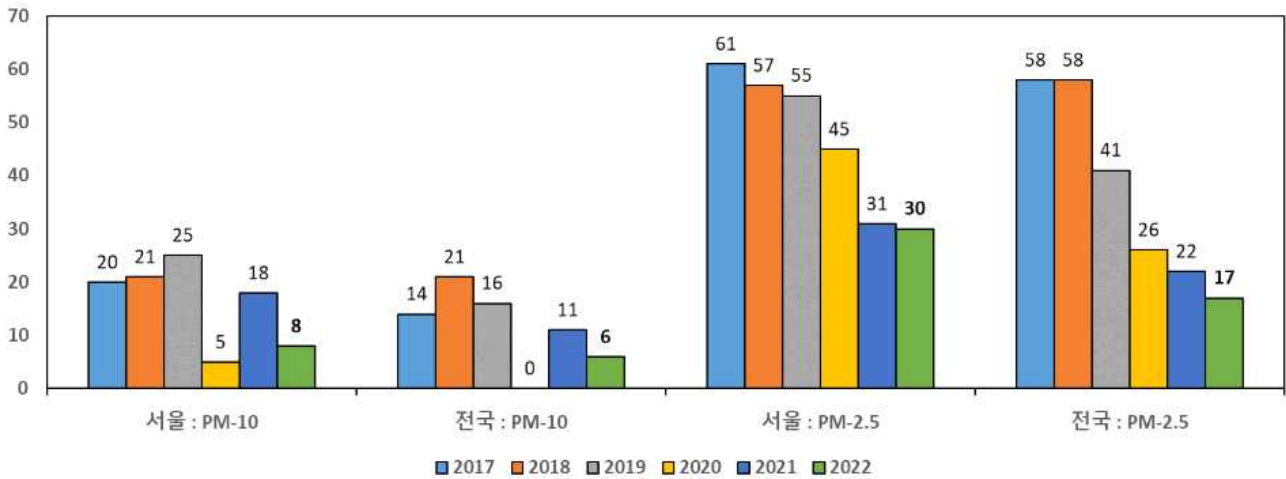


그림 3 2017년~2022년 전국, 서울의 PM-10, PM-2.5 나쁨 일수, 출처: 에어코리아

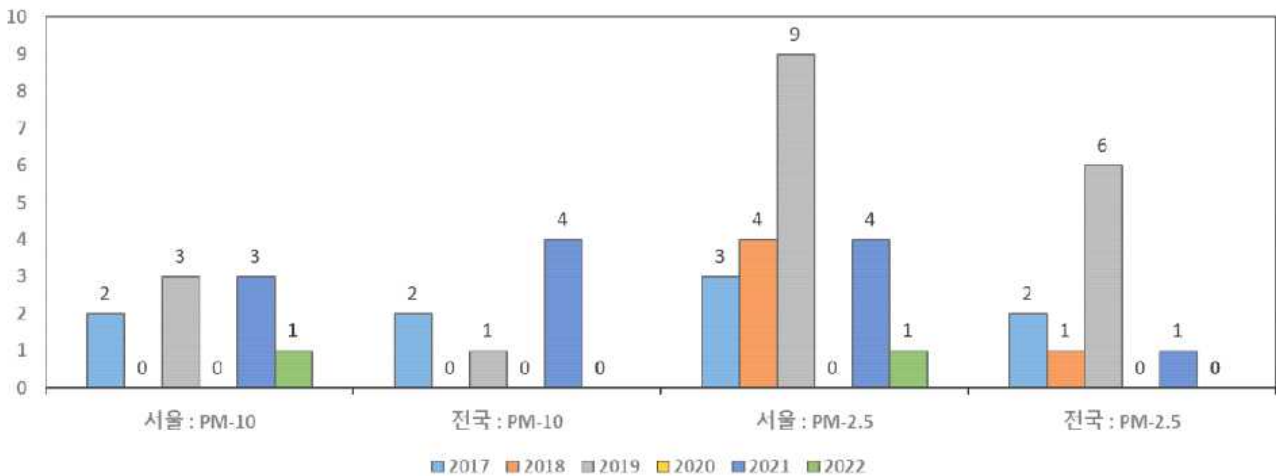


그림 4 2017년~2022년 전국, 서울의 PM-10, PM-2.5 매우나쁨 일수, 출처: 에어코리아

2.2 포틀랜드의 미세먼지 현황

미국의 미세먼지 국가기준은 표 3과 같으며 Primary, Secondary로 나누어져 있다. Primary standard는 천식 환자, 어린이 및 노인과 같은 “민감한” 인구의 건강을 보호하는 것을 포함하며 공중보건 보호가 목적이며, Secondary standard는 동물, 농작물, 식물 및 건물에 대한 가시성 감소와 손상에 대한 보호를 포함하며 공공복지 보호 제공이 목적이다.

오리건 주의 대기측정소는 총 74개소이며, 그 중 18개소가 포틀랜드에 위치하고 있다. 포틀랜드 측정소 중 10곳에서 PM-2.5를 측정하고 있고, PM-10은 2곳에서 측정하고 있다.

표 3 미국 미세먼지 국가기준(NAAQS)

Pollutant	Averaging Time	Form	Level	
			Primary	Secondary
PM-2.5	24 hours	Annual 98th percentile of daily concentrations, averaged over three years	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 year	Annual mean of quarterly means, averaged over three years	12.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM-10	24 hours	Not to be exceeded more than once per year, averaged over three years	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM-2.5의 초과 수준은 표 3과 같이 하루 평균 PM-2.5 농도 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. PM-2.5 초과치는 그림 5,6 과 같이 규제 모니터(Regulatory Monitors) 값과 추가적으로 측정하는 지점인 정보 모니터(informational monitors) 값의 두가지 범주로 제시되고 있다. 오리건주 환경청(Oregon DEQ)은 규제 및 정보 모니터 초과지 데이터를 사용하여 대기질 관리 프로그램을 알리고 주의보를 발령하여 대중에게 더 많은 데이터와 정보를 제공한다.

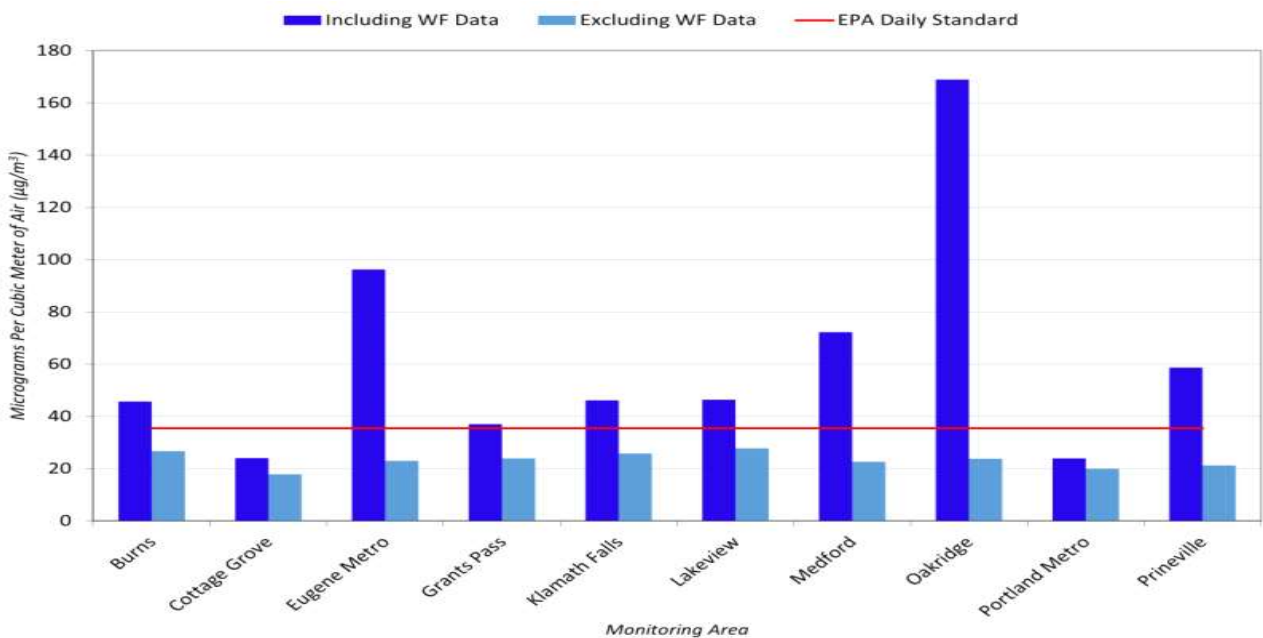


그림 5 PM-2.5 98th Percentiles 2020-2022 3년 평균 규제 모니터

또한, 산불 연기는 주변 PM-2.5 농도에 상당한 영향을 미칠 수 있기 때문에, 그림 5,6과 같이 초과값은 산불(Wildfire, WF) 연기의 영향을 받는 데이터의 유무에 따라 계산되어 있다. 이와 같이 분류하기 위해 7월~9월의 산불시즌에 데이터

를 기록관리하며, 초과치 수는 산불의 영향을 받는 데이터를 제거함으로써 산불 연기의 영향과 지역 대기질 개선 프로그램 영향을 보여준다. 실제로 산불의 영향을 제외하면, 규정을 초과하지 않았다. 미서부 대기의 고농도 PM-2.5의 농도는 산불이 원인으로 파악되었다.

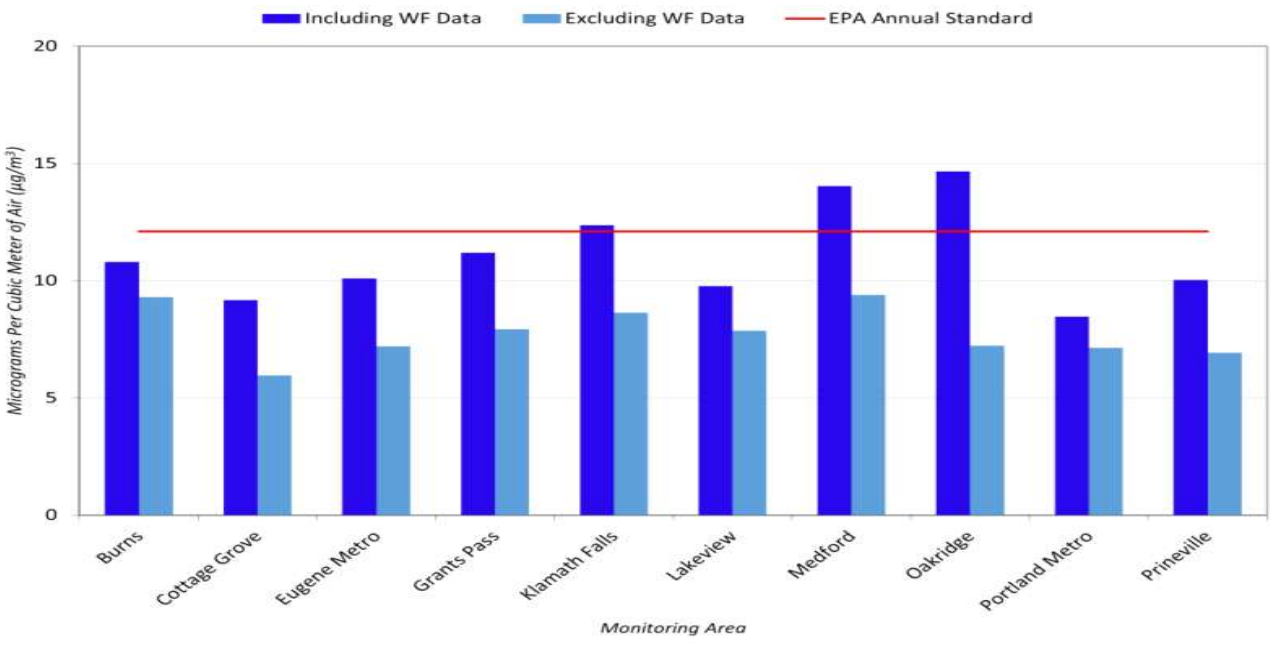


그림 6 PM-2.5 연간평균의 2020-2022 3년 평균 규제 모니터

대기질 추세는 그림7과 같이 오염 물질 농도가 장기간에 걸쳐 어떻게 변화했는지와 EPA, DEQ의 대기질 관리 프로그램의 영향을 보여주는 시각적 도구이다.

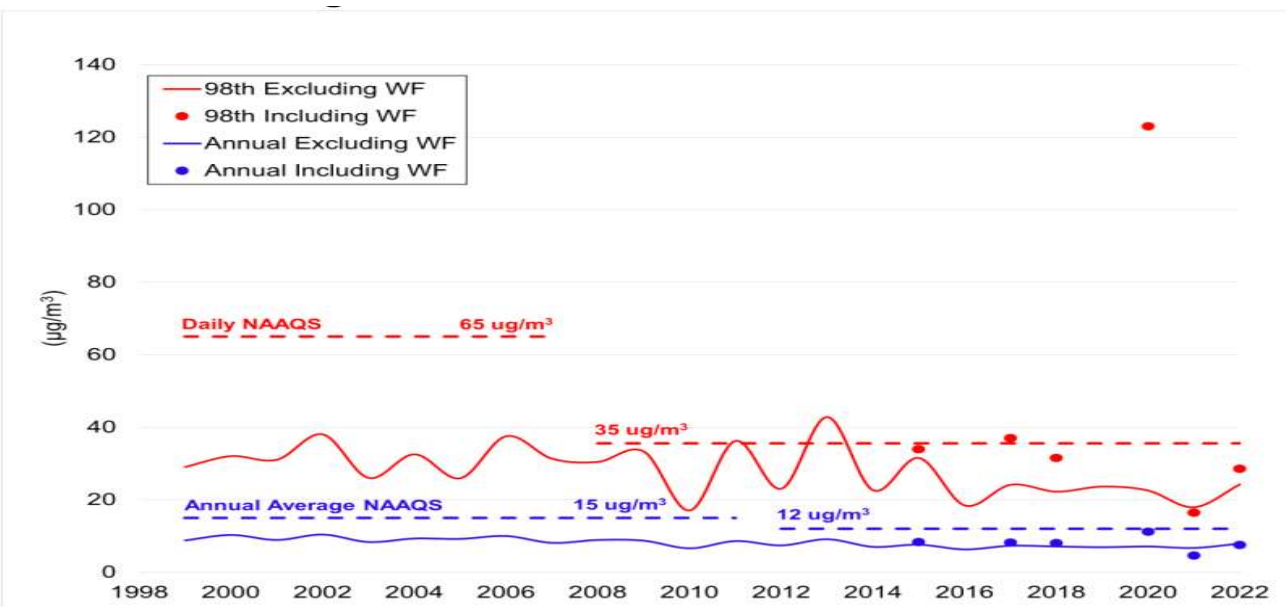


그림 7 Portland Metro PM-2.5 추세

PM-2.5는 일반적으로 일일 및 연간 PM-2.5 NAAQS보다 낮은 경향을 보였지만 대형 산불로 인한 연기로 인해 모니터링 지역이 종종 초과된다. 그림 7은 일일 평균 PM-2.5 농도의 분기별 평균의 연간 평균을 보여주며, 98백분위수와 연간 평균은 산불 연기의 영향을 받는 데이터가 있거나 없는 것으로 표시되어 있다.

PM-10은 그림 8과 같이 수년 동안 일일 PM-10 NAAQS 아래로 추세를 유지해 왔지만, 2020년 유진 지하철(Eugene Metro)과 2022년 오크리지(Oakridge)는 산불 연기로 인해 NAAQS를 초과하였다.

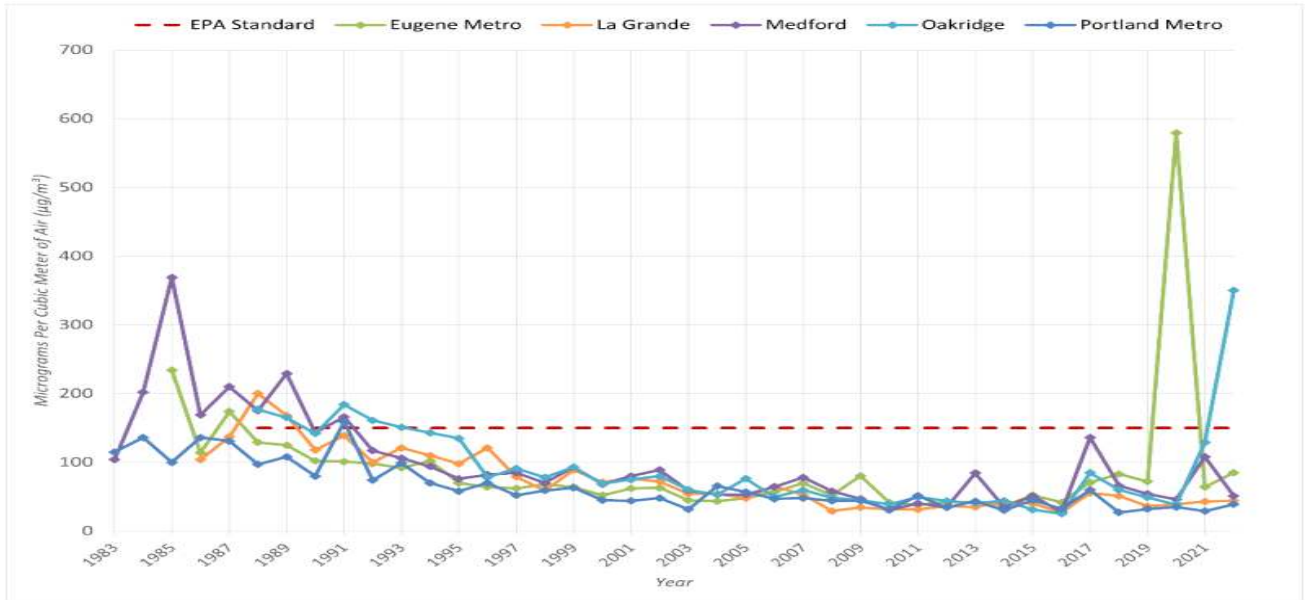


그림 8 오리건주 도시들의 연도별 PM-10 추이

2.3 뉴욕시의 미세먼지 현황

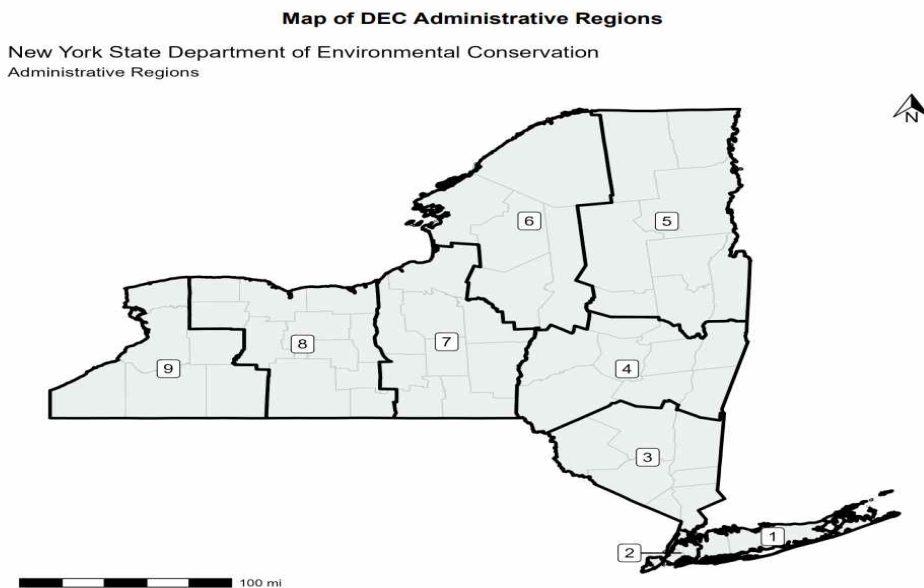


그림 9 뉴욕 주 DEC에서 9곳의 행정구역별로 나누어진 구간

뉴욕주 환경보전청(New York State Department of Environmental Conservation, DEC)은 행정구역(Administrative Regions)을 총 9군데로 나누어 대기질을 모니터링 하고 있다. 그림 9 지도에서 ②에 해당하는 지역이 뉴욕시이다. 표 4는 DEC Region 2 뉴욕시(New York City)의 측정지점별 연간 PM-2.5의 농도를 나타낸다. 2022년에는 총 14곳의 측정지점에서 데이터를 산출하였으며, 4,8,9,14번 지점은 필터방식과 연속측정방식을 동시에 채택하여 측정방식에 따른 데이터의 차이를 비교해 볼 수 있으며 근소한 차이를 보인다. 3년 평균 98번째 퍼센타일 값과, 3년 연간 평균이 모든 측정소에서 NAAQS를 만족하였다. COVID-19 팬데믹 기간의 교통량이 줄어서 좋은 공기질에 어느정도 영향을 미치지 않았을까 예측해 볼 수 있겠다.

표 4 뉴욕시 측정지점별 2020-2022 연간 PM-2.5 평균 농도(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No	Site	Monitor Type	2020 98th %tile	2021 98th %tile	2022 98th %tile	3-yr avg. of 98th %tile	2020 mean	2021 mean	2022 mean	3-yr avg. of annual means
1	IS 45	Filter	17.0	20.6	15.2	17.6	7.0	7.5	6.9	7.1
2	IS 143	Continuous	17.5	20.4	16.2	18.0	7.3	7.9	7.5	7.6
3	CCNY	Continuous	15.6	18.3	13.9	15.9	6.3	7.0	6.1	6.5
4	IS 52	Filter	17.7	22.3	12.8	17.6	6.7	7.5	6.6	6.9
		Continuous	20.7	25.3	17.0	21.0	8.3	9.0	8.0	8.5
5	Morrisania	Continuous	15.9	19.0	13.9	16.3	5.8	6.6	6.1	6.2
6	NYBG	Filter	16.5	21.5	14.6	17.5	7.0	7.1	6.9	7.0
7	Maspeth	Continuous	14.3	19.8	13.5	15.9	5.6	6.4	5.9	5.9
8	Queens	Continuous	16.1	22.1	21.4	19.9	5.6	8.9	8.9	7.8
		Filter	15.5	20.7	14.2	16.8	6.9	7.1	6.3	6.8
9	Queens NR	Continuous	16.3	19.9	15.5	17.2	6.6	7.5	6.8	6.9
		Filter	16.4	20.7	15.0	17.4	7.4	7.7	7.0	7.4
10	JHS 126	Filter	19.7	21.2	15.2	18.7	7.3	7.6	7.3	7.4
11	PS 274	Continuous	15.4	20.4	17.9	17.9	5.5	7.6	8.0	7.0
12	PS 314	Continuous	14.8	18.6	17.6	17.0	5.5	8.2	8.0	7.2
13	Freshkills	Continuous	15.6	17.1	14.0	15.6	5.9	6.6	5.8	6.1
14	Port Richmond	Continuous	15.7	18.0	13.2	15.6	5.9	6.8	6.1	6.3
		Filter	22.0	25.5	14.4	20.6	7.7	8.4	6.8	7.6

3. 실내 미세먼지 농도와 외기 미세먼지 농도의 상관관계

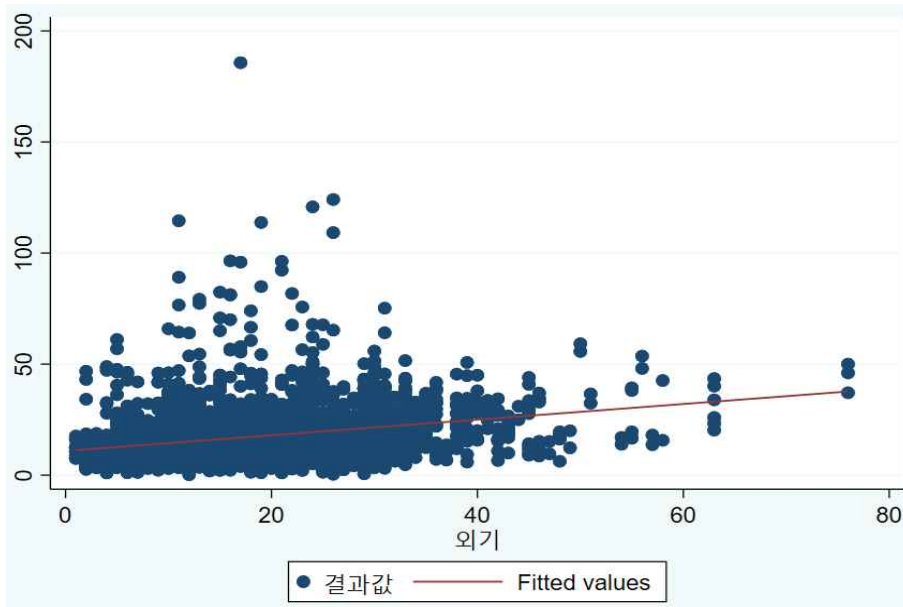
실내공기는 실내 활동으로 인해 오염되기 쉽고, 실내거주자의 건강을 위해 정기적인 환기가 필요하다. 가장 흔한 환기 방법은 창호를 이용한 자연환기이며, 기계식 환기 시스템이 갖춰 있는 건물의 경우 기계식 환기를 통해 실내공기를 밖으로 배출하고 외부의 신선한 공기를 유입시킬 수 있다. 따라서 실내공기는 필연적으로 외기에 의존적임을 추측할 수 있다. 따라서 실내공기(Indoor Air)와 외기(Outdoor Air)의 미세먼지 농도가 어느정도 상관성이 있는지 동일한 시기에 측정된 실내 미세먼지 실측값과 실내 주변 외기(Ambient Air) 미세먼지 측정값을 비교해보고자 한다.

3.1 서울시 다중이용시설 실내공기와 외기 미세먼지 농도

지하역사, 병원 등 불특정 다수가 이용하는 26종의 다중이용시설은 실내공기질 측정 대상이며 일정 면적 이상이 되면 의무적으로 연 1회 실내공기질 검사를 받고 그 결과를 해당 지자체에 제출해야 한다. 서울시에는 향만시설이 없어 총 25종의 다중이용시설의 실내공기질을 시청과 보건환경연구원, 관할구청이 공조하여 관리하고 있다.

환경부 실내공기질 공정시험법에 따라 다중이용시설 실내 PM-2.5와 PM-10은 24시간 샘플링하여 중량법으로 측정하였고, 외기 데이터는 동일 측정일 가장 가까운 대기측정소의 24시간 평균데이터를 사용하여 상관관계를 구하였다. PM-2.5는 2019년 7월부터 다중이용시설 실내공기질 측정항목으로 신설되어 2019년 7월부터 2023년 상반기까지 수집된 데이터를 대상으로 회귀분석 하였다(그림 10-15). PM-10은 기존항목으로 2018년부터 2023년 상반기까지 수집된 데이터를 바탕으로 회귀분석하였다. 그림 10, 16은 다중이용시설 전체의 실내외 농도가 대상이며, 그림 11-12, 17-18은 대표적인 지하 생활공간인 지하역사와 지하도상가를 선정하여 회귀분석하였다. 그림 13-15, 19-21은 어린이, 노인 환자 등 건강취약계층이 주로 사용하는 어린이집, 의료기관, 노인요양시설과 같은 민감시설을 대상으로 선정하여 회귀분석 하였다. 그림 10-21 회귀분석 결과 모두 p-value(95% 신뢰수준)가 0.05이하로 유의수준이므로, 회귀계수가 유의미한 양의관계를 가졌다. 즉, 외기의 PMs 농도가 높아지면 시설군에 따른 정도의 차이는 있지만 다중이용시설 PMs 농도가 높아진다는 결과를 확인할 수 있었다. 회귀계수 값이 가장 크게 나온 것은 PM-2.5 노인요양시설은 0.626으로 다른 시설에 비해 비교적 높은 상관관계를 보여주었다.

그림 10 PM-2.5 다중이용시설 (2019.7~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

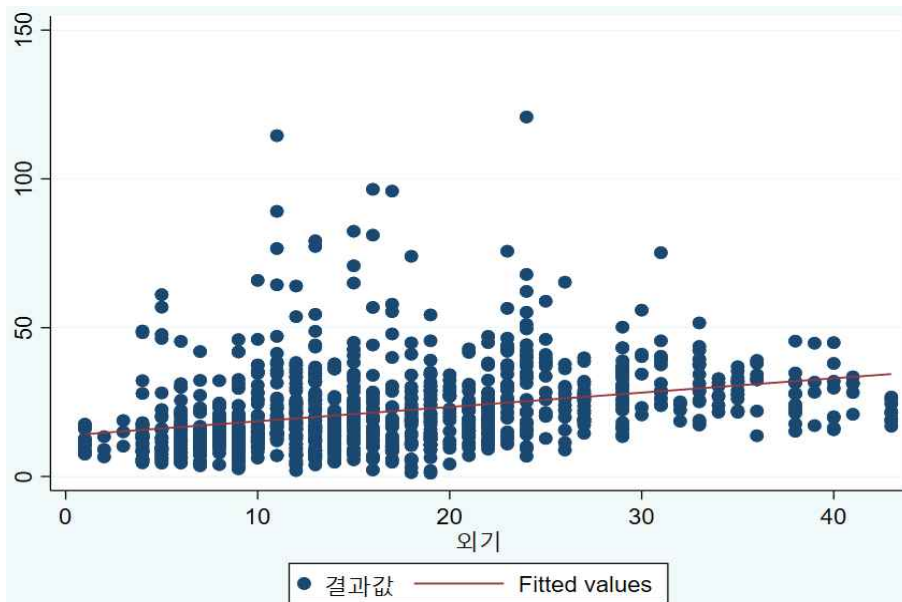


결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
-----	-------	-----------	---	------	----------------------	--

외기	.3523114	.0239248	14.73	0.000	.3053982	.3992246
----	----------	----------	-------	-------	----------	----------

_cons	10.89662	.4998729	21.80	0.000	9.916442	11.8768
-------	----------	----------	-------	-------	----------	---------

그림 11 PM-2.5 지하역사 (2019.7~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

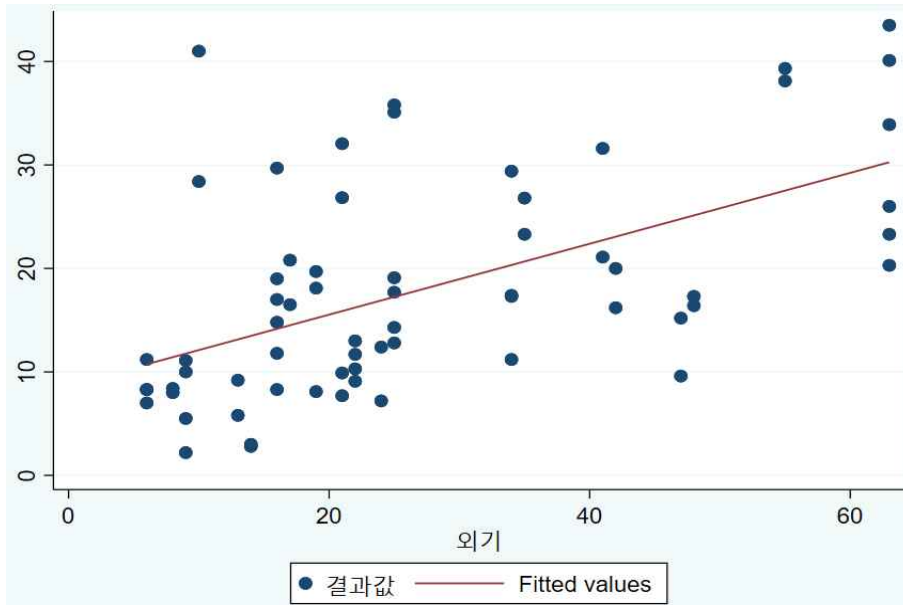


결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
-----	-------	-----------	---	------	----------------------	--

외기	.4815283	.045101	10.68	0.000	.3930289	.5700276
----	----------	---------	-------	-------	----------	----------

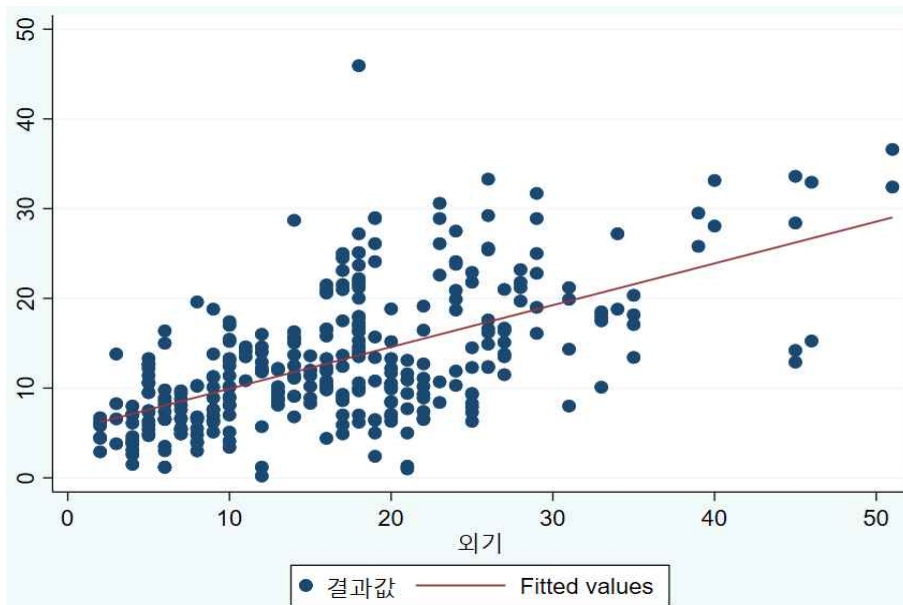
cons	13.73747	.8518079	16.13	0.000	12.06601	15.40893
------	----------	----------	-------	-------	----------	----------

그림 12 PM-2.5 지하도상가 (2019.7~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



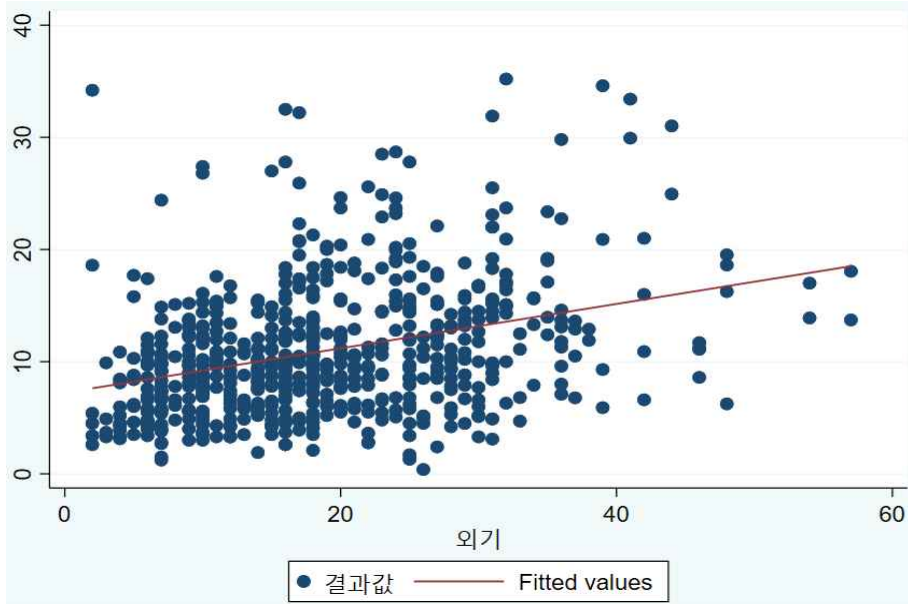
결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
외기	.3425042	.0648412	5.28	0.000	.2129294 .472079
cons	8.685694	2.068971	4.20	0.000	4.551185 12.8202

그림 13 PM-2.5 의료기관 (2019.7~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



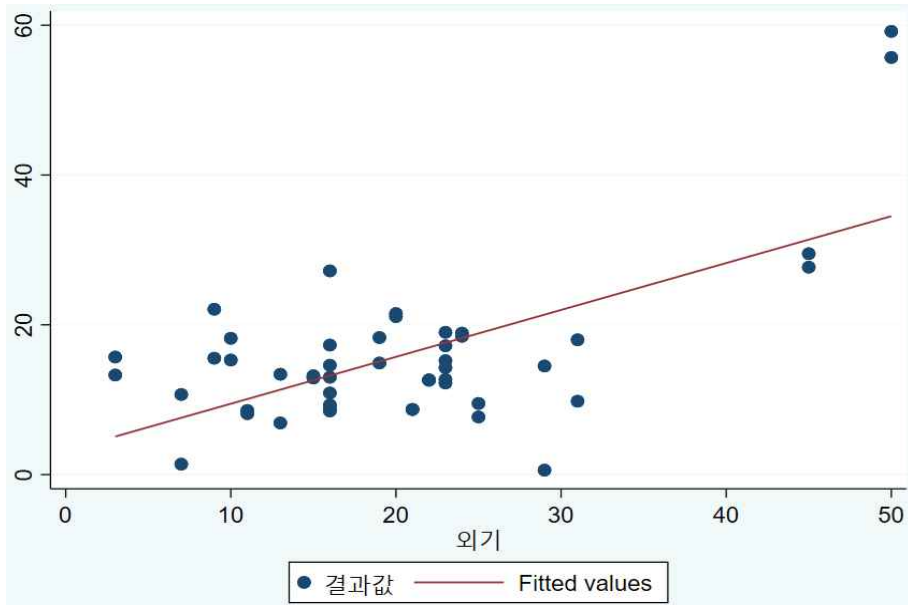
결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
외기	.4656646	.034586	13.46	0.000	.39762 .5337092
cons	5.271244	.6691302	7.88	0.000	3.954794 6.587694

그림 14 PM-2.5 어린이집 (2019.7~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



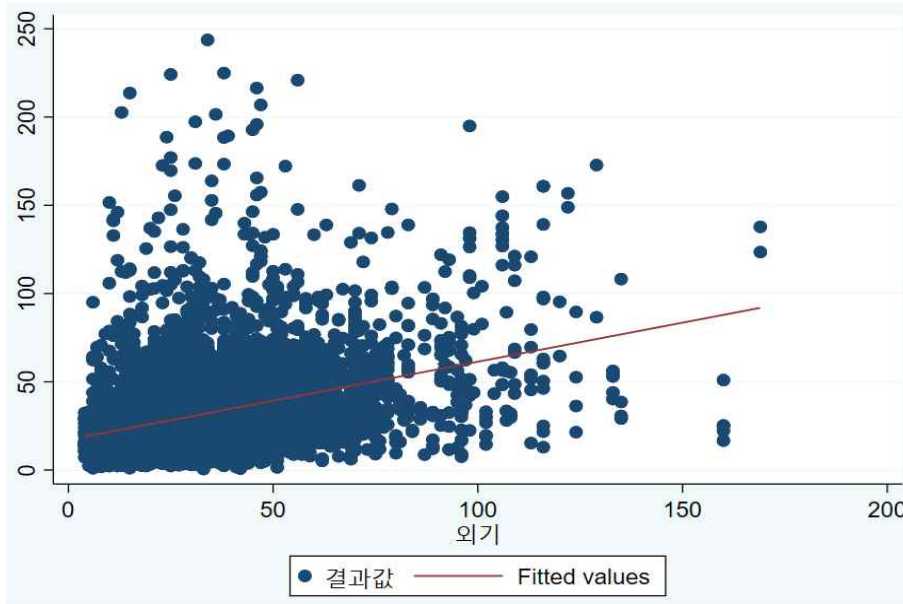
결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
외기	.1979097	.0218752	9.05	0.000	.1549546	.2408648
cons	7.231666	.4689017	15.42	0.000	6.31091	8.152421

그림 15 PM-2.5 노인요양시설 (2019.7~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



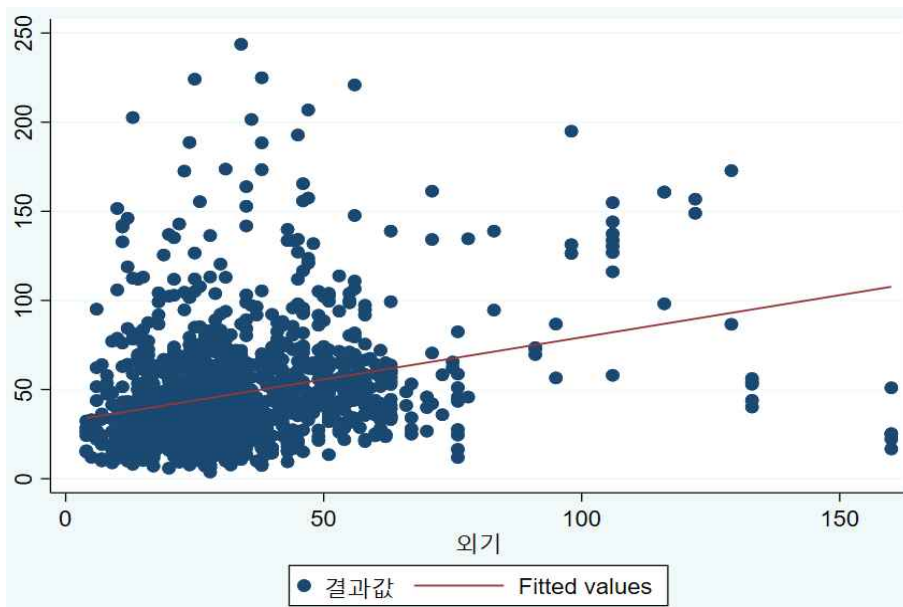
결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
외기	.6260176	.1120595	5.59	0.000	.4004535	.8515817
cons	3.203727	2.565466	1.25	0.218	-1.960288	8.367741

그림 16 PM-10 다중이용시설 (2018~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



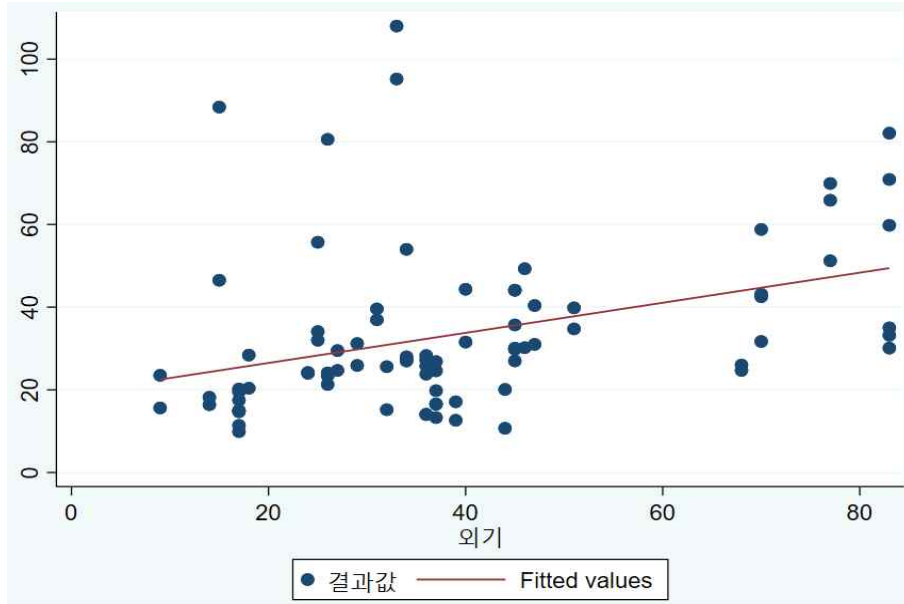
결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
외기	.4421803	.0151311	29.22	0.000	.4125175	.471843
cons	17.18428	.6147142	27.95	0.000	15.97921	18.38935

그림 17 PM-10 지하역사 (2018~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



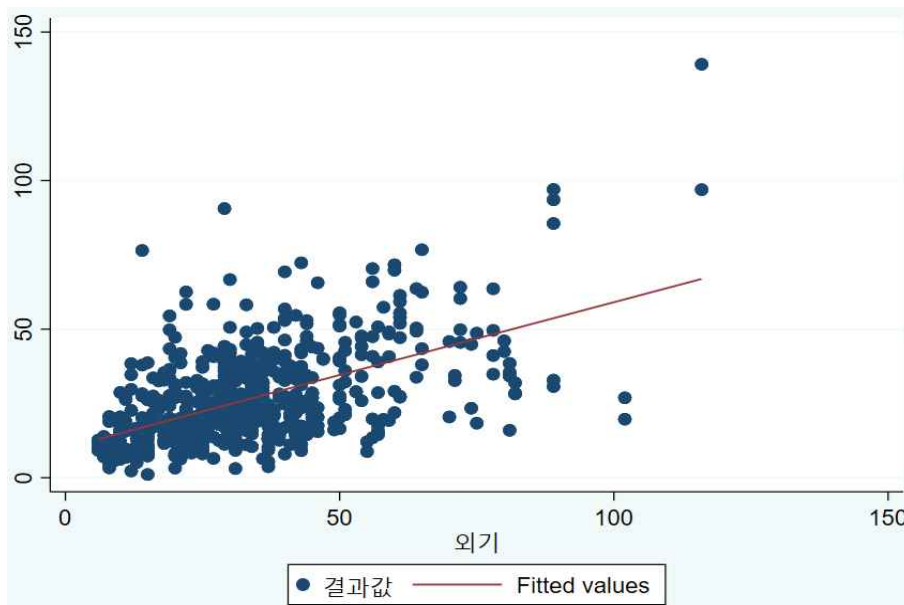
결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
외기	.47271	.0426094	11.09	0.000	.3891181	.556302
cons	32.04963	1.685772	19.01	0.000	28.74245	35.35681

그림 18 PM-10 지하도상가 (2018~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



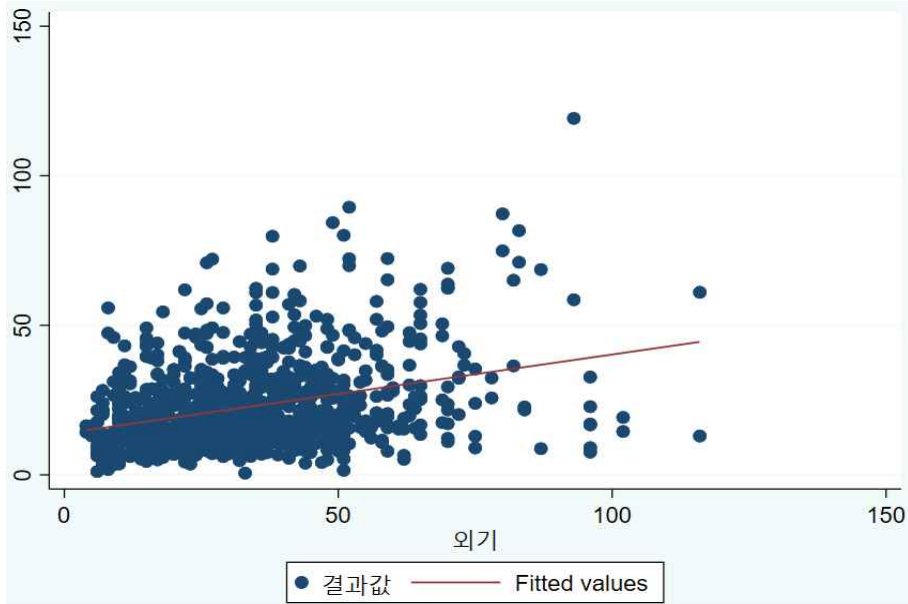
결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
외기	.3640712	.1018525	3.57	0.001	.1614542	.5666883
cons	19.22068	4.496064	4.28	0.000	10.27657	28.16478

그림 19 PM-10 의료기관 (2018~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



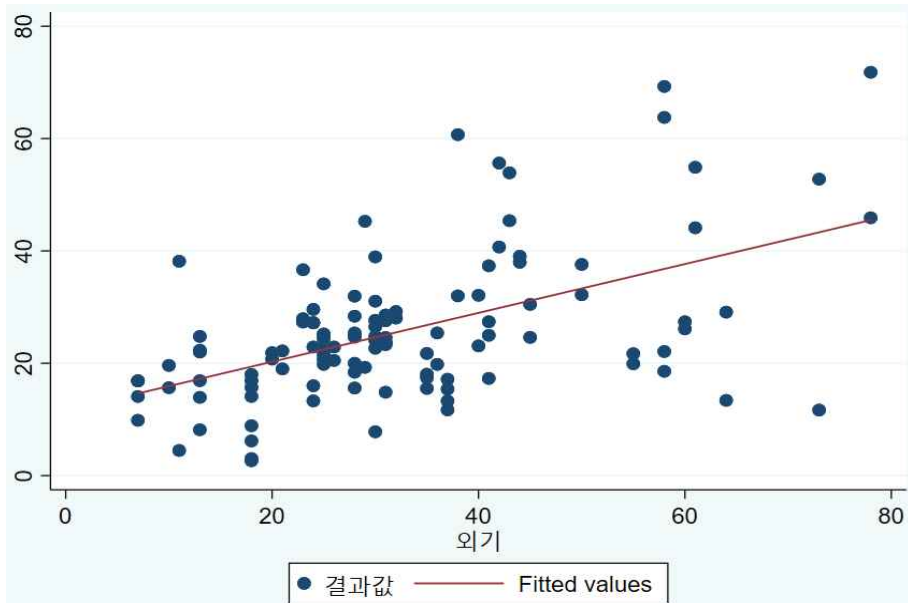
결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
외기	.4900198	.0305071	16.06	0.000	.4301086	.549931
cons	10.06989	1.159828	8.68	0.000	7.792163	12.34762

그림 20 PM-10 어린이집 (2018~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
외기	.2636579	.0233068	11.31	0.000	.2179243	.3093915
cons	13.86493	.8803477	15.75	0.000	12.13748	15.59239

그림 21 PM-10 노인요양시설 (2018~2023.6, 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

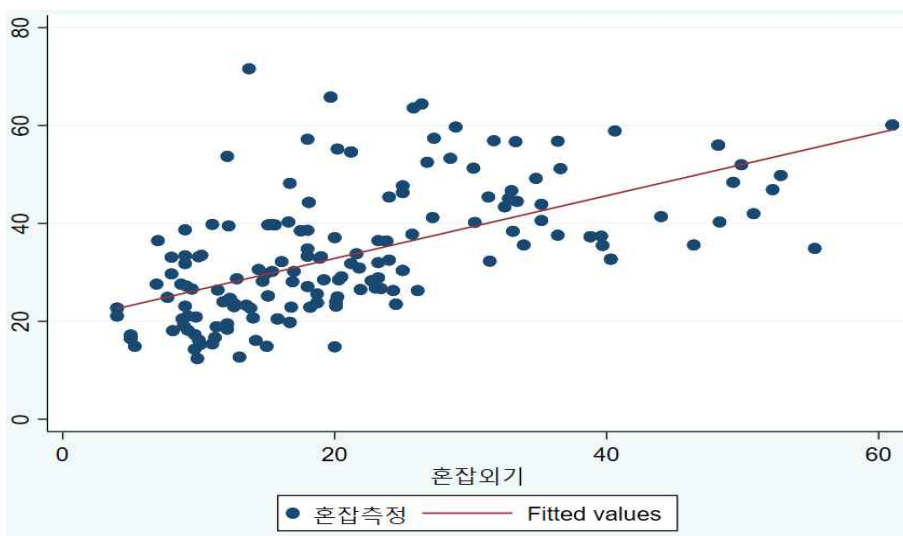


결과값	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
외기	.4347101	.0644158	6.75	0.000	.3071265	.5622938
cons	11.58146	2.325829	4.98	0.000	6.974864	16.18806

3.2 서울시 지하철 차량 실내공기와 외기 미세먼지 농도

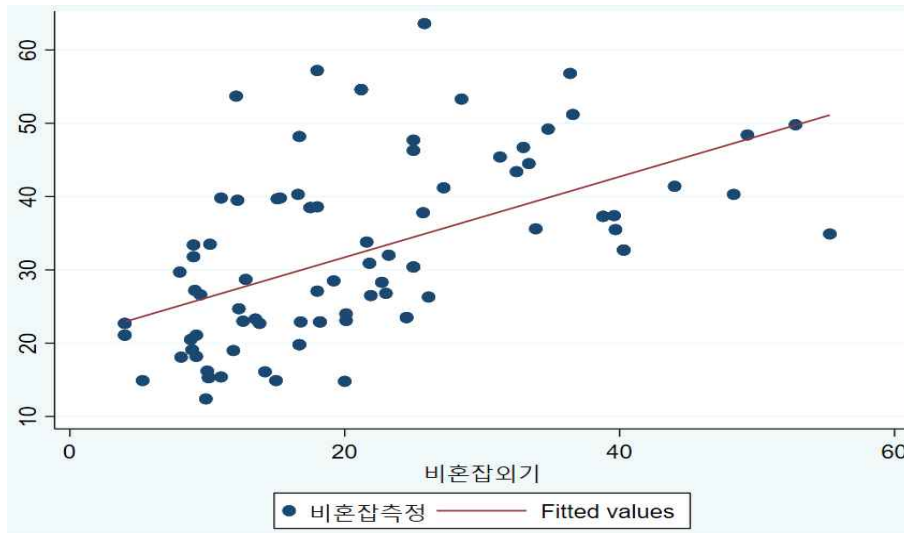
지하철은 서울시의 대표적인 대중교통의 하나로, 지하철 차량, 즉 승객이 탑승하는 객차(On-Train)는 대중교통차량 실내공기 오염도 검사 대상시설이다. 시내버스의 경우 지상으로 주행하며 정류장마다 약 2분 간격으로 출입문이 열었다 닫히므로 대기와 동일한 수준으로 보고 있어, 대중교통 차량 실내공기 오염도 검사 대상 시설에서 제외된다. 반면, 지하철은 1호선 등 일정구간 역을 제외하고는 대부분 지하로 운행하며, 지하생활공간의 특성상 심도가 깊어질수록 창문, 출입문을 통한 대기와의 접근성이 떨어지므로 원활한 자연환기가 어렵다. 지하철은 크게 대합실, 환승통로, 승강장으로 구성되는 지하역사와 지하철 차량 내부인 객차로 나눌 수 있다. 지하역사는 다중이용시설로 분류되며, 지하철 객차 내 실내공기는 환경부 ‘실내 공기질 관리’를 위한 대중교통차량의 제작·운영 관리지침’이 따로 있어 이를 근거로 실내공기질 오염도 검사를 하고 있다. 실질적으로 장거리 통근자가 지하철을 이용하여 출퇴근을 한다고 가정하면, 대합실, 환승통로, 승강장과 같은 지하역사에서 머무르는 시간은 10분을 남짓이다. 그렇지만, 지하철 차량의 경우 장거리 이동 시, 1시간 이상 탑승할 수 있다. 따라서 가장 긴 시간 머무를 가능성이 높은 공간은 지하철 객차이므로, 지하철 차량 내 PM-2.5 농도가 중요하며, 외기의 영향을 어느 정도 받는지 상관관계를 알아 볼 필요가 있다.

그림 22 지하철 차량 혼잡시간대 PM-2.5 (2019~2023 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



혼잡측정	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
혼잡외기	.6406773	.0654115	9.79	0.000	.5115751	.7697795
cons	20.04039	1.601817	12.51	0.000	16.8789	23.20188

그림 23 지하철 차량 비혼잡시간대 PM-2.5 (2019~2023 단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



비혼잡측정	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
비혼잡외기	.5495873	.0924777	5.94	0.000	.3657477	.7334269
cons	20.72543	2.234949	9.27	0.000	16.2825	25.16837

도시철도(지하철 차량) 실내공기질은 출퇴근 시간대인 혼잡시간대(07:30~09:30, 18:00~20:00)와 혼잡시간대 외 시간에 운행하는 비혼잡시간대로 나누어 측정하고 있으며, 대중교통 차량 운행사는 연1회 의무측정을 준수해야 한다. 서울시에서는 지하철 차량 실내공기질 점검을 통해 시민들의 건강을 유지하고자 상하반기 나누어 연 2회 측정하고 있다.

대중교통차량 실내공기질 미세먼지 검사 대상 항목이 2020년 4월부터 PM-10에서 PM-2.5로 변경되어 2019 하반기부터 2023년 상반기까지 수집된 PM-2.5를 사용하였다. 그림 22와 23을 보면, 회귀분석 결과 혼잡시간대와 비혼잡시간대 모두 p-value(95% 신뢰수준)가 0.05이하로 유의수준이므로, 회귀계수가 유의미한 양의관계를 가졌다. 즉, 외기 PM-2.5 농도가 높아지면 지하철 차량 내 PM-2.5 농도가 어느정도 높아진다는 결과를 확인할 수 있었다. 회귀계수 값이 더 크게 나온 것은 혼잡시간대로, 혼잡시간대가 비혼잡시간대보다 외기의 영향을 더 받는 것으로 나타났다.

3.3 미국 동부 대도시 지하철 실내외 PM-2.5 농도

미국은 국토가 넓어 대부분 지역이 자동차를 이용하는 생활이 기본이며, 동부의 몇몇 대도시를 제외하고는 대중교통이 잘 발달되어 있지 않다. 포틀랜드는 대중교통이 잘 발달된 도시 중 하나이나, 다운타운 지역에 국한되어 있고, 운영하는 버스, 지하철, 에어트램 모두 지상으로 운행하고 있어 우리나라 기준으로 보면 시내버스와 비슷하다. 미국은 우리나라와 달리 고농도 대기 미세먼지 오염원이 산불이 대부분이며, 특히 미서부지역은 건조한 여름에 매년 산불이 발생한다. 실질적으로 산불에 의해 발생하는 미세먼지가 실내공기질에 얼마나 영향을 주는지 알아보고 싶었으나, 안타깝게도 미국은 우리나라와 달리 다중이용시설과 대중교통에서 실내공기질을 의무적으로 측정하고 있지 않아 환경운동가 및 포틀랜드 멀티노마 카운티 환경청(DEQ)에서 근무하는 사람과 직접 인터뷰를 하였음에도 불구하고 측정할 로데이터를 확보할 수 없었다.

미국의 지하철 PM-2.5 농도를 살펴보기 위해서 미국 동부 대도시 지하철에서 측정한 연구 논문(David G, 2021)에서 제시한 로데이터(Supplemental Material)를 참고하였다. 표 5를 보면, 지상역(Aboveground)은 거의 대기(Ambient)와 비슷한 값을 보이고 있으나, 지하역(Underground)과 차량내(On-train)는 필라델피아 On-train을 제외하고는 모두 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 고농도의 결과를 보이고 있다.

표 5 미국 동부 대도시 지하철 실내외 PM-2.5 농도 (단위 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출처 : David G, 2021)

City	System and Line	Ambient	Underground	Aboveground	On-train
Boston (2019)	Orange	10.7	297	16.1	126
	Green	7.2	286	13.3	175
	Red	10.6	348	13.3	230
New York (2019)	Journal Square 33th st.	25.3	836	ND	539
	Newark World Trade Center	11.81	614	ND	267
	MTA-NYC(F line)	24.1	547	ND	343
Philadelphia (2015)	Broad Street	6.6	118	ND	ND
	Market-Frankford	13.6	109	ND	55.7
Washington D.C. (2019)	Red	12.0	328	14.4	189

4. 대기오염 및 기후변화 대응을 위한 미국의 전기차 장려 정책

4.1 전기차의 정의 및 종류

전기차(Electric Vehicle, EV)는 배터리에서 전기를 끌어와 외부 전원으로 충전할 수 있는 전기 모터로 구동되는 차량으로 정의된다. 전기차에는 배터리에서 전기를 끌어오는 전기 모터로만 구동되는 자동차와 배터리에서 전기를 끌어오는 전기 모터와 내연기관으로 구동되는 플러그인 하이브리드 자동차가 모두 포함된다.

전기차에는 소형 자동차, 중대형 전기 자동차, 전기 마이크로 모빌리티 장치, 대중교통 차량이 포함된다. 전기차 시장은 소형차와 세단부터 스포츠유틸리티차량(SUV), 픽업트럭에 이르기까지 다양한 차량 유형이 출시되면서 빠르게 발전하고 있다. 대중교통 전기차에는 배터리 전기 버스(Battery Electric Bus, BEB), 전기 스쿨 버스(Electric School Bus, ESB), 전기자전거(E-Bike) 등 전기 마이크로모빌리티 등이 대표적이다.

시중에 판매되는 전기 자동차에는 배터리 전기자동차, 플러그인 하이브리드 전기자동차, 연료전지 전기자동차 세 가지 유형이 있다.

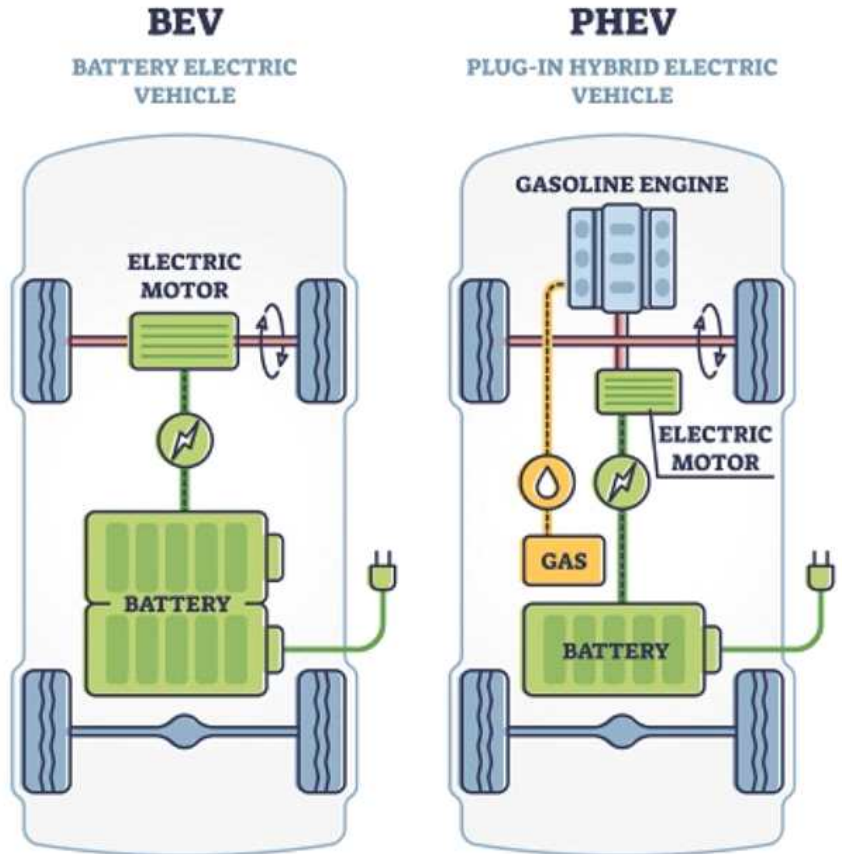
(1) 배터리 전기자동차(Battery Electric Vehicle, BEV)

배터리 전기 자동차는 전기로만 운행되어 완전 전기 자동차라고도 불리며, 외부 전원에서 재충전된다. 충전식 배터리 팩으로 구동되는 하나 이상의 전기 모터에 의해 추진된다. 거의 모든 배터리 전기자동차는 한 번 충전으로 최소 100마일(약 160km)을 주행할 수 있으며, 새롭게 시장에 출시되고 있는 많은 신차는 200~300마일(약320~480km) 이상의 완전 전기 주행거리를 제공한다. 배터리 전기자동차에는 배터리 전기버스 및 전기 스쿨 버스와 같은 배터리 구동 버스가 포함된다.

(2) 플러그인 하이브리드 전기자동차(Plug-In Hybrid Electric Vehicles, PHEV)

플러그인 하이브리드 전기 자동차도 배터리를 사용하여 전기 모터에 전원을 공급하고 외부 전원으로 재충전할 수 있지만 배터리를 재충전할 수 있는 더 작은 내연

기관이 포함되어 있으며, 주행거리가 더 길다. 플러그인 하이브리드차는 일반적으로 배터리만 사용하여 전기차 모드에서 적당한 거리를 주행할 수 있으며, 현재 모델에서는 일반적으로 20~50마일 정도이다. 대부분의 짧은 거리를 운행하기때문에 일반적인 운전 조건에서 휘발유 사용과 배출을 크게 줄여줄 수 있으며, 배터리가 완전히 충전된 경우 일반 차량에 비해 연료를 14~47% 적게 사용한다. 전기를 사용할 수 없는 경우는 기존 연료인 휘발유나 디젤을 사용하여 주행할 수 있다.



Both BEVs and PHEVs can be recharged from external sources and are capable of operating with zero tailpipe emissions.

그림 24 전기자동차의 구조, 출처: VectorMine/stock.adobe.com

(3) 연료전지 전기자동차(Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV)

연료전지 전기자동차(FCEV)는 매우 효율적인 전기화학 공정을 사용하여 수소를 전기 모터에 동력을 공급하는 전기로 변환한다. 현재 시중에 나와 있는 FCEV는 외부 소스에서 배터리를 충전하도록 설계되지 않았다. 오히려 차량의 탱크에 저장된 압축 수소 가스를 연료로 사용한다.

4.2 바이든 정부의 전기차 관련 선언

바이든-해리스 행정부는 미국의 도로 여행을 전기화할 수 있도록 전기 자동차 (EV) 충전 네트워크를 구축하기 위한 정책을 발표했다. 이러한 조치는 미국의 고속도로와 지역 사회를 따라 500,000대의 전기 자동차 충전기로 구성된 전국 네트워크를 구축하고 2030년까지 전기차(Electric Vehicle, EV)가 신차 판매의 최소 50%를 차지하도록 함으로써 미국이 기후 위기에 맞서려는 바이든 대통령의 의지가 담겨있다. 동시에 미국내 전기차 및 전기차 충전 산업을 지속적으로 구축하기 위한 산업 전략을 추진하고 있다. 2050년까지 배출량을 0으로 하기위한 과정에서 미국내 일자리 창출 및 미국 자동차 산업 육성 등의 목적도 포함된다.

Biden 대통령의 초당파적 인프라 법(Bipartisan Infrastructure Law)은 전기자동차 충전 관련 인프라에 75억 달러, 청정 운송 관련 인프라에 100억 달러, 전기자동차 배터리 부품 산업, 주요 광물 및 재료에 70억 달러 이상을 투자한다. 이러한 주력 프로그램은 고급 배터리에 대한 인플레이션 감소법의 획기적인 지원과 전기차 구매에 대한 신규 및 확대 세금 공제, 충전 인프라 설치 지원뿐만 아니라 미국내 제조를 촉진하고 국가 네트워크를 구축하기 위해 고안된 수십 개의 기타 연방정부의 발의와 연계되어 있다. 그 결과 미국 교통의 미래는 더 깨끗하고, 더 안전하고, 더 저렴하고, 더 신뢰할 수 있는 방향으로 나아가고 있다고 바이든 정부는 발표하였다. 청정에너지로의 에너지 구조 전환이 미국 제조업 육성과 더불어 높은 임금을 받을 수 있는 좋은 일자리를 창출할 수 있다고 미국정부는 선언하였다.

바이든 대통령이 취임한 이후 전기차 판매량은 3배로 늘었고 공개적으로 사용 가능한 충전 포트의 수는 최소 40% 증가하였다. 현재 도로에는 300만 대 이상의 전기차가 있으며, 미국 전역에 130,000개 이상의 공용 충전기가 있다. 편리하고 안정적인 충전 네트워크 구축을 더욱 가속화하는 것은 전기 자동차 충전을 원활하게 만드는 데 매우 중요하다. 미국 정부는 Tesla, General Motors, EVgo, Pilot, Hertz 등 민간 기업들과 손을잡고 정책을 시행하여 미국 전역의 전기차 관련 인프라에 박차를 가하고 있다.



그림 25 바이든 정부의 미국 생산 전기차 장려 정책, 출처: (좌) Times, (우) Inside EVs

4.3 미국의 전기차 인프라 관련 환경법규 및 행정명령

이 장에서는 전기 자동차 인프라와 일반적으로 관련될 수 있는 일부 환경 법령 및 행정 명령(executive orders, EOs)에 대해 알아보려고 한다. 관련 법령은 다음과 같으며, 각 절로 나누어 자세히 조사하였다.

- [National Environmental Policy Act \(NEPA\)](#)
- [National Historic Preservation Act of 1966 \(NHPA\)](#)
- [Endangered Species Act of 1973 \(ESA\)](#)
- [EO 11988, "Floodplain Management"](#)
- [Clean Water Act \(CWA\)](#)
- [Section 4\(f\) of the USDOT Act of 1966](#)
- [EO 12898, "Federal Actions to Address Environmental Justice in Minority Populations and Low-income Populations"](#)

4.3.1 국가환경정책법(National Environmental Policy Act, NEPA)

국가환경정책법(NEPA)은 1970년 1월 1일에 법으로 서명되었다. 인간과 환경 사이의 생산적이고 즐거운 조화를 장려하는 국가 정책을 선언함으로써 환경과 생물권에 대한 피해를 예방 또는 제거하고 인간의 건강과 복지를 촉진하는 노력을 촉진한다. 국가에 중요한 생태 시스템과 천연자원에 대한 이해를 풍부하게 하며, 환경 품질에 관한 협의회를 설립한다.(42 USC §§4321-4370h, 40 CFR Parts 1500-1508) 국가환경정책법은 모든 연방 기관이 의사 결정 과정의 일부로 인류의 활동이 환경에 대한 영향을 고려할 것을 요구한다. 연방 자금을 지원받거나 연

방 승인이 필요한 전기차 프로젝트에는 국가환경정책법 및 관련 환경법을 준수해야 한다. 국가환경정책법은 포괄적인 법률로, 다른 환경 요구 사항 준수를 조정하고 입증하는 데 사용된다. 국가환경정책법 산하에서는 특별 자원법에 따른 검토가 가능한 최대 범위까지 국가환경정책법 프로세스에 통합되어 최종 문서에 통합된다.

전기차 인프라 프로젝트에 대한 환경 검토를 준비할 때 프로젝트의 범위와 규모를 정확하게 결정해야 하는데, 여기에는 충전기 및 지원 유틸리티의 영향을 받는 접지, 충전기의 관점에서 볼 수 있는 속성 및 프로젝트에 연결된 기타 프로젝트를 식별하는 것이 포함된다.

국가환경정책법의 시행 규정은 범주형 제외, 환경 평가, 환경 영향 설명 세 가지 등급으로 구분하였다.

(1) 범주형 제외(Categorical Exclusions, CE)

범주형 제외(CE)는 미연방 기관이 국가환경정책법 절차에서 일반적으로 인간 환경에 심각한 영향을 미치지 않는다고 결정한 조치의 범주이다. 이 범주의 조치에는 환경 평가 또는 환경 영향 보고서 준비가 필요하지 않다. 연방 기관 국가환경정책법 절차는 범주형 제외 결정 문서가 필요한 시기를 식별한다. 그러나 프로젝트의 범주형 제외 자격이 다른 환경 규정 준수에서 자동으로 제외된다는 의미는 아니다.

(2) 환경 평가(Environmental Assessment, EA)

환경 평가(EA)는 국가환경정책법 준수를 지원하고 환경 영향 보고서를 준비할지 또는 중대한 영향이 없는 결과를 준비할지 여부에 대한 결정을 지원하기 위해 연방 기관에서 준비한 공개 문서이다. 연방 기관은 중대한 영향을 미칠 가능성이 없거나 영향의 중요성을 알 수 없는 제안된 조치에 대해 환경 평가를 준비한다. 환경 평가는 제안된 조치, 대안의 목적과 필요성, 제안된 조치와 대안이 환경에 미치는 영향에 대해 간략하게 논의하고 협의한 기관 및 사람 목록을 포함한다.

(3) 환경 영향 보고서(Environmental Impact Statement, EIS)

환경 영향 보고서는 연방 주관 기관이 해당 프로젝트가 환경에 중대한 영향을 미칠 가능성이 있다고 판단할 때 작성해야 하는 상세한 환경 관련 문서이다. 환경 영향 보고서에는 제안된 조치가 환경에 미치는 영향의 성격을 파악하고 공개하기 위

해 수행된 상세한 연구 및 분석이 포함된다. 환경 영향 보고서는 프로젝트 후원자가 해당 기관과 협의하여 고용한 환경 컨설턴트가 작성하는 경우가 많다. 환경 영향 보고서 프로세스는 여러 공개 의견 수렴 기간이 포함된 특정 단계를 따른다. 해당 기관이 결정 기록을 발행하면 종료된다.

4.3.2 국립역사보존법(National Historic Preservation Act of 1966, NHPA)

1966년 설립된 국립역사보존법 106항은 연방 기관은 사업이 역사적 자산인 미국 국립 사적지 등록부에 적격하거나 등재된 자산 또는 지역과 부족에 대한 전통적인 종교적, 문화적 중요성을 지닌 모든 자산에 미칠 영향을 고려하도록 요구한다. 연방 기관이 자신의 사업이 역사적 자산에 영향을 미칠 가능성이 있다고 판단하는 경우 106항에 대한 검토가 필요하다. 그러나 2022년 10월 26일, ACHP(역사보존자문위원회)는 특정 전기 자동차 공급 장비를 설치할 때 연방 기관에 대한 섹션 106 검토 요구 사항을 제거하는 면제를 승인했다. 면제는 연방 토지 및 시설뿐만 아니라 연방 라이선스, 자금 또는 승인을 받는 비연방 토지에 전기차 충전소를 설치하는 경우에도 적용된다. 국립역사보존법 면제 기준을 충족하지 않는 연방 자금을 받는 전기차 인프라 프로젝트의 경우 표준 섹션 106 프로세스를 따라야 한다.

연방 자금을 지원 받거나 연방 승인이 필요한 전기차 인프라 프로젝트는 연방 사업으로 간주된다. 역사적 자산에 영향을 미칠 가능성은 주로 전기차 인프라 프로젝트의 계획된 위치와 역사적 자산 또는 문화 자원과의 근접성에 따라 달라진다. 기존 주차장이나 유적지 외부 구조물에 배치된 전기차 프로젝트는 유적지에 영향을 미칠 가능성이 낮다. 대부분의 전력선은 지하 18~24인치 깊이의 좁은 도랑에 매설된다. 건설 과정에서 기질의 경사 및 배치가 발생한 기존 주차장의 경우 배치로 인해 영향을 받은 지면이 이전에 교란되었을 가능성이 높으므로 일반적으로 지하 역사적 자산을 포함할 가능성이 낮다. 마찬가지로, 프로젝트가 부동산이나 구역 내에 있거나 바로 인접하지 않은 경우, 프로젝트가 지상의 역사적 자산에 영향을 미칠 가능성은 거의 없지만, 해당 기관에서는 각 프로젝트를 개별적으로 평가하게 된다.

역사적 자산이나 문화 자원에 영향을 미칠 가능성이 있는 프로젝트의 경우 기관은 주 역사 보존 사무소, 부족 역사 보존 사무소, 인디언 부족(알래스카 원주민 포함) 및 하와이 원주민 단체와 협의해야 한다. 이 협의는 역사적 유산의 존재에 대한 추가 정보를 수집하고 잠재적 영향과 그 심각도를 확인하며, 필요한 경우 영향을 방지, 최소화 또는 보상할 완화 조치를 결정한다. 전기차 인프라 프로젝트가 고고학

자원을 포함할 수 있는 땅을 교란할 것이라는 것이 협의 중에 명백해지거나 국가 등록 적격일 수 있는 이전에 평가되지 않은 지상 자산이 프로젝트 현장 내 또는 인근에 있는 경우 프로젝트 후원자는 다음을 수행해야 할 수 있다. 자격을 갖춘 환경 컨설턴트를 고용하여 고고학 또는 건축 조사를 수행하여 확인해야 한다. 유적지에 영향이 발생할 경우, 역사 보존 자문위원회에 대한 공고 및 통지도 필요하다.

4.3.3 멸종위기종법(Endangered Species Act of 1973, ESA)

멸종위기종법(ESA) 5호 는 1973년에 법으로 제정되었으며 위협받고 멸종 위기에 처한 동식물종과 이들의 주요 서식지를 보호한다. 멸종위기법 7조 1항에서는 연방 기관이 보호 자원을 보존하기 위해 자신의 권한을 사용하도록 구체적으로 요구하고 있으며 7조 2항에서는 수석 연방 기관이 미국 어류 및 야생 동물 보호국과 협의하는 프로세스를 확립하였다. 국립해양대기청의 국립해양수산청이 자신의 조치가 보호 자원에 영향을 미칠지 여부를 결정한다. 멸종위기법은 민간 행위에도 적용되지만, 연방 기관이 국립해양대기청 및 국립해양수산청과 협력하여 해당 행위가 목록에 있는 종이나 중요한 서식지에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 있는지 판단할 수 있는 협의 프로세스를 확립했다.

프로젝트가 목록에 있는 종이나 중요 서식지에 영향을 미칠 가능성이 없거나 프로젝트 지역에 아무것도 존재하지 않는 경우 기관에서 얻은 종 목록에 따라 또는 국립해양대기청 및 국립해양수산청 현장 사무소에 문의하여 협의할 필요가 없다. 보호되는 자원이 존재할 수 있는 경우 해당 기관은 협의 과정을 수행한다.

4.3.4 행정명령 11988, 범람원 관리(EO 11988, Floodplain Management)

1977년 지미 카터(Jimmy Carter) 대통령은 연방재난관리청(FEMA)이 지정한 범람원 내 활동을 규제하는 행정명령 11988을 발표했다. 범람원에 영향을 미치는 활동의 예로는 범람원에 성토 추가, 경사도 변경, 범람원을 가로지르는 물의 이동 제한 등이 있다. 범람원이 부정적인 영향을 받을 수 있는 경우, 연방 기관은 잠재적인 재산 또는 인명 손실을 방지하기 위해 영향이 적거나 전혀 없는 대안을 고려해야 한다. 범람원에 대한 부정적인 영향에는 공고 및 의견 제시 기간이 필요할 수 있으며, 주 또는 지방 정부에 의해 규제 또는 금지될 수도 있다. 새로운 주차장이나 기존 주차장에 전기자동차 충전 인프라(Electric Vehicle Supply Equipment, EVSE) 프로젝트를 배치하려는 기업의 경우 신청자는 해당 부동산이 연방재난관리청에서 식별한 범람원에 위치하는지 확인해야 한다.

범람원에 EV 인프라를 배치하는 데에는 다음과 같은 몇 가지 우려 사항이 있다.

(1) 안전

프로젝트 스폰서가 범람원에 전기차 충전 인프라를 배치하려는 경우, 기존 홍수 고도선(Base Flood Elevation(BFE) : 100년간의 홍수가 일어난 동안 물이 상승할 것으로 예상되는 높이) 높이까지 홍수로 안전하게 침수될 수 있는지 제조업체에 확인해야 하며 프로젝트 스폰서는 해당 주차장 고도를 높이거나 전기차 충전기를 높은 곳에 설치해야 한다.

(2) 접근성

프로젝트 후원자는 전기차 충전 인프라 위치 자체 또는 현장으로 이어지는 도로가 범람원 내에 있어 침수되는 경우 접근이 감소하거나 완전히 차단되었는지 평가해야 한다.

4.3.5 맑은 물 관련법(Clean Water Act, CWA)

맑은 물 관련법은 미육군공병대(U.S. Army Corps of Engineers, USACE)와 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)의 관할권에 속하는 관할 습지와 항해 가능한 수역을 포함하는 미국 수역(Waters of The United States, WOTUS)을 보호하는 것을 목표로 한다(EPA 33 USC 1344, 33 CFR part 323). 미국 수역(WOTUS)에는 영해와 전통적인 항해 수역(예: 미시시피강, 오대호, 이리 운하), 지표수 흐름을 기여하는 관할 수역의 지류, 호수, 연못 및 저수지, 다른 관할 수역과 물리적으로 접촉하는 인접 습지가 포함된다.

환경보호국과 미육군공병대가 공동으로 감독하는 법 404섹션은 관할 수역으로의 준설 및 충전재 배출을 규제한다. 하천, 강 또는 습지에 충전재를 배치해야 하는 전기차 인프라에는 404섹션의 허가가 필요하다. 프로젝트 후원자는 미육군공병대 USACE에 연락하여 관할 수역이 전기차 인프라 프로젝트의 영향을 받을 수 있는지 확인해야 한다.

하천이나 강과 달리 습지는 식별하기 어려울 수 있다. 현장 사진과 사용 가능한 온라인 지도에 습지가 프로젝트 현장이나 근처에 존재할 수 있음이 나타나는 경우 프로젝트 후원자는 습지 묘사(현장의 토양, 식물 종 및 존재에 대한 연구)를 수행하기 위해 환경 컨설턴트를 고용해야 할 수도 있다. 습지가 존재하는지, 그렇다면 습지 경계의 위치를 결정하기 위해 물을 사용한다. 미육군공병대는 이 정보를 사용하여 404 섹션의 허가가 필요한지 여부를 결정한다.

4.3.6 1966년 USDOT법 4(f)항(Section 4(f) of the USDOT Act of 1966)

1966년 USDOT법의 섹션 4(f)는 공공 소유의 공원과 휴양지, 야생 동물과 물새 보호소, 공공 및 민간 유적지에 대한 고려를 규정한다. USDOT 운송 프로젝트 개발 중, 섹션 4(f)는 토지 사용에 대한 실행 가능하고 신중한 회피 대안이 없는 토지를 사용해야 하는 경우 프로젝트 승인을 금지하며 해당 조치에는 영향을 최소화하기 위한 가능한 모든 계획이 포함된다. 프로젝트에서 약속한 피해를 최소화하기 위한 조치(예: 회피, 최소화, 완화 또는 향상 조치)를 포함하여 재산의 사용 또는 사용으로 인한 재산 피해는 최소 수준이 되도록 한다.

프로젝트가 섹션 4(f) 토지 및 점유물의 사용으로 이어질지 여부를 고려할 때 프로젝트 후원자는 토지를 프로젝트에 통합하는 토지 취득과 같은 영구적 영향과 교차할 수 있는 단기 지역권 또는 건설 활동과 같은 일시적 영향을 고려해야 한다. 프로젝트가 섹션 4(f) 부동산에 영향을 미치거나 인접한 경우, 프로젝트 후원자는 추가 지침을 위해 해당 기관에 문의하는 것을 권유한다.

4.3.7 행정명령 12898, 소수 집단 및 저소득층의 환경 정의를 다루기 위한 연방 조치 (EO 12898, “Federal Actions to Address Environmental Justice in Minority Populations and Low-income Populations”)

1994년 빌 클린턴 대통령이 서명한 행정명령 12898은 연방 기관에 그들의 행동이 ‘EJ 인구’(Environmental Justice Population, 환경정의 인구, 이하 EJ라고 표기)라고 불리는 유색 인종 또는 저소득 인구의 환경 또는 인간 건강에 불균형적으로 높고 부정적인 영향을 미치지 않도록 지시한다. 연방 기관은 또한 교통 의사 결정 과정에서 EJ 인구의 완전하고 공정한 참여를 보장해야 하며 기관의 조치를 통해 혜택과 부담이 공평하게 분배될 수 있도록 해야 한다.

전기차 인프라 프로젝트는 차량으로 인한 배출을 줄이는 능력으로 인해 EJ 지역 사회에서 유해한 온실가스 배출의 불균형한 노출을 줄이는 데 중요한 역할을 한다. 기관은 전기차 인프라 프로젝트의 이점이 EJ 커뮤니티에 공평하게 제공되도록 해야 한다. 전기차 인프라 프로젝트에서 EJ 위반의 예는 프로젝트 일반 구역에서 EJ 커뮤니티가 접근할 수 없는 대체 위치를 선택하여 인프라를 설치하는 것이다. 또한 기관은 전기차 인프라 프로젝트의 건설 또는 운영으로 인해 EJ 커뮤니티에 불균형적인 피해가 발생하는 것을 허용할 수 없다. 부정적인 영향을 피하거나 완화해야 하며, 부정적인 영향을 피할 수 없거나 완화할 수 없는 경우 대체 프로젝트 설계를 추구해야 한다. 기관은 프로젝트 스폰서가 EJ 분석 프로세스(잠재적으로 영향을 받은 EJ 커뮤니티와의 협의가 필요할 수 있음)를 통해 작업하고 필요한 경우 완화 조치를 개발하도록 도울 수 있다.

5. 대기오염 및 기후변화 대응을 위한 미국의 에너지 효율성 정책

5.1 에너지 효율성(Energy Efficiency)의 의미와 장점

5.1.1 에너지 효율성의 의미

에너지 효율성은 동일한 작업을 수행하거나 동일한 결과를 생성하는 데 더 적은 에너지를 사용하는 것이다. 에너지 효율적인 주택과 건물은 가전제품과 전자제품을 가열, 냉각하고 가동하는 데 더 적은 에너지를 사용하며, 에너지 효율적인 제조 시설은 제품을 생산하는 데 더 적은 에너지를 사용해야 한다.

에너지 효율성은 기후 변화에 대처하고, 소비자의 에너지 비용을 절감하며, 기업의 경쟁력을 향상시키는 가장 쉽고 비용 효율적인 방법 중 하나이다. 에너지 효율성은 또한 탈탄소화를 통해 이산화탄소의 순배출 제로를 달성하는 데 중요한 요소이다.

미국 에너지부 산하 에너지 효율 및 재생 에너지 사무국(The U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE)은 연구 개발 자금을 지원하고 미국 경제의 모든 부문에 걸쳐 에너지 효율을 촉진하는 기술 사무소와 프로그램을 통해 청정 에너지를 옹호한다.

5.1.2 에너지 효율성 장점

에너지 효율성은 비용을 절감하고 전력망의 탄력성과 신뢰성을 높이며 환경, 지역 사회 및 건강상의 이점을 제공한다. 몇가지 장점에 대해 알아보면 다음과 같다.

(1) 비용 절감

집에서는 단열재 추가, LED 조명 사용, 열 펌프 설치 등 에너지 효율 및 내후성 업그레이드를 통해 에너지 사용량을 줄이고 편안함을 향상시켜 에너지 요금을 절약할 수 있다. 에너지 효율적인 건물은 난방, 냉방, 운영 비용이 적게 들고, 산업 및 제조 공장에서는 더 낮은 비용으로 제품을 생산할 수 있다. 에너지 효율적인 운송으로 인해 연료가 절약될 수 있다.

(2) 커뮤니티 혜택

저소득층을 포함한 소외된 지역사회는 대기오염으로 인해 불균형적으로 영향을 받고 있으며 에너지 비용에 지출되는 총가구 소득의 비율인 에너지 부담이 더 높다. 에너지 효율성 프로그램은 소외 계층 커뮤니티에 효율적이고 비용 효율적인 기술과 인프라를 제공함으로써 커뮤니티 회복력을 향상하고 에너지 형평성을 해결한다.

(3) 환경적 이점

기후변화에 맞서 싸우려면 에너지 사용을 줄이는 것이 필수적이다. 기존 발전소에서는 온실가스를 배출하고 대기오염을 유발하는 화석연료를 연소하기 때문이다. 에너지 효율적인 주택과 건물은 유해한 배출가스를 배출하지 않는 재생 에너지로 전환할 수 있는 환경도 더 잘 갖춰져 있다.

(4) 탄력성과 신뢰성

에너지 효율성 개선은 전력량(부하)을 줄여 전력망의 혼잡과 스트레스를 최소화합니다. 부하가 줄어들면 여름철 에어컨 사용량 증가로 인한 정전과 같은 전원중단 상황이 방지될 수 있다.

(5) 건강 혜택

화석연료 사용을 줄이면 공기, 물, 토지가 더 깨끗해지며, 이 모두는 인간의 건강, 특히 소외된 지역 사회와 오염으로 인해 악화되는 환경에 있는 사람들의 건강에 직접적인 영향을 미친다.

5.2 연방정부의 지속가능한 계획과 지방정부의 저탄소 빌딩 정책

건물은 경제 전반의 온실가스 배출량의 30%를 차지하며, 요리, 난방, 세탁과 같은 작업은 화석 연료 연소를 통해 기후변화에 크게 기여하므로 건물의 효율성을 높이거나 건물을 탈탄소화하여 탄소 중립 건물로 만들어 온실가스 배출을 줄이고자 하는 것이 저탄소 빌딩 정책의 목적이다. 탈탄소화 구축은 건축 부문의 탄소 배출 문제를 해결하고 일자리를 창출함으로써 지구와 지역 사회를 보호할 수 있는 기회를 얻을 수 있으며 일터와 생활 공간을 개선함으로써 책임 최소화 및 미래보장, 사용 가능한 면적 최대화, 건강혜택, 탄력성 증가, 안전 등의 공동 이익을 얻을 수 있다. 미국 연방정부는 지속가능한 계획을 발표하였고, 그 중 하나로 저탄소 빌딩 정책을 내놓았다. 우선, 중앙정부인 미연방정부의 지속가능한 계획에 대해 알아보고, 저탄소 빌딩 정책을 시행하고 있는 뉴욕시, 포틀랜드시를 포함한 지방정부에서 제시한 저탄소 빌딩 정책에 대해 구체적으로 살펴보고자 한다.

5.2.1 미국 연방정부의 지속 가능한 계획(Federal Sustainability Plan)

미국 연방정부의 지속 가능성 및 이에 수반되는 연방 지속 가능성 계획(통칭하여 '연방 지속 가능성 계획'이라고 함)을 통해 미국 청정 에너지 산업 및 일자리를 촉진하는 바이든 대통령의 행정 명령 14057은 바이든 대통령의 정책과 일치하는 배출 감소 경로를 제공하기 위한 목표를 제시하였다. 과학적 근거를 토대로 2030년까지 미국의 온실가스 배출을 2005년에 비해 50~52% 수준으로 줄이고 지구 온난화를 섭씨 1.5도로 제한하는 것이 목표이다.

지속 가능성 계획을 통해 미 연방정부는 다음 아홉 가지를 달성 목표와 그 실행 방안인 주요 활동에 대해 제시하였다.

(1) 탄소 제로 배출 전기 생산(Carbon Pollution-Free Electricity)

연방정부 지속 가능성 계획을 통해 미국 청정 에너지 산업과 일자리를 촉진하는 바이든의 행정명령 14057은 하루 24시간, 일주일 내내 연중무휴(24/7)를 기준으로 50%를 포함하여, 탄소 배출이 전혀 없는 전기를 연방 시설에 전력을 공급하고자 한다. 이 계획은 빠르게 변화하는 청정 전력 부문을 가속화하고 고소득 일자리를 더욱 늘리는 데 도움이 되는 것이 목표이며, 미국 정부가 연방 조달의 힘을 활용하여 보다 탄력적이고 현대적이며 기후에 대비한 전력 부문을 만들 수 있는 방법을 보여주고자 하였다. 주요 활동은 지역 및 기관 전반에 걸쳐 탄소 무공해 전력 구매를 집계하고, 유망한 탄소제로배출 방법을 시험하고 가속화하는 방법을 모색하는 것이다. 또한 공공 및 민간 부문 파트너십을 개발하고, 전략 민 구현을 추진하기 위해 연중무휴 무공해 전력 연방 지도자 실무 그룹을 설립하였다.

(2) 무공해 차량(Zero-Emission Vehicle Acquisitions)

연방정부에서 사용하는 차량을 무배출 차량(Zero Emission Vehicle, ZEV)으로 전환한다. 빠르게 변화하는 운송 부문을 더욱 가속화하고, 연방 정부를 청정 교통 분야의 리더로 확립하고자 하는 것이 목적이다. 주요 활동은 기관 차량 관리를 최적화하여 효율성을 높이고, 효과적인 차량 계획을 위해 재무 계획을 조정하며, 새로운 무공해 차량을 지원하기 위해 차량 충전 인프라를 확장하며, 주 및 지방 정부 차량이 연방 노력의 혜택을 받을 수 있는 기회를 모색, 기관별 목표와 배치 계획을 충족하는 전략 및 구현 노력을 추진하기 위해 배출가스 제로 차량 연방 지도자 실무 그룹을 설립하는 것이다.

(3) 탄소배출제로 빌딩(Net-Zero Emissions Buildings)

2045년까지 건물내 탄소배출을 넷(Net)으로 배출하지 않는것이 목표이다. 연방 정부는 신축 건물 건설, 주요 개조 공사, 기존 부동산 전반에 걸쳐 시스템을 전기화하고, 에너지 사용을 줄이고, 물 소비를 줄이고, 폐기물을 줄이고자 한다. 연방 기관은 건물 포트폴리오 구성을 기반으로 에너지 및 물사용 절감을 위한 2030년까지의 목표와 연간 목표를 설정하여 배출량을 줄이고, 효율성을 개선하고, 시설을 현대화하는 동시에 재정적 절감 효과를 꾀한다. 목표를 달성하기 위한 주요 활동으로는 탄소 순 제로 배출을 위한 기반을 구축하고, 기존 건물의 배출 감소를 촉진하기 위해 연방 건물 성능 표준을 구현, 에너지와 물 효율성을 높이고, 폐기물을 줄

이고 독성 및 유해 화학물질의 사용을 최소화하며 재활용 제품 시장을 유도한다. 또한, 소유 및 임대 건물에서 더 높은 수준의 지속 가능성을 달성하고자 하며, 민간 부문 투자를 활용하고, 지속 가능하고 공평한 부지 선정을 추진할 뿐만 아니라 전략 및 구현을 추진하기 위해 탄소 배출 제로 건물 연방 지도자 실무 그룹을 설립하는 방식을 채택하였다.

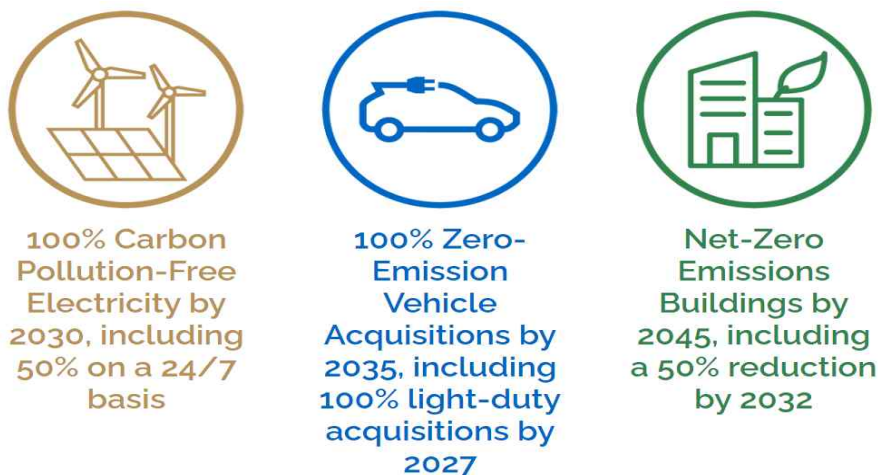


그림 27 미 연방정부 지속가능한계획 목표 (1)~(3), 출처: Federal Sustainability Plan

(4) 순 제로 배출 조달(Net-Zero Emissions Procurement)

2050년까지 순 제로 배출 조달을 달성하는 것이 목표이다. 주요 활동으로는 연방정부와 계약 업체에 온실가스 배출 공개, 저탄소 재료에 대한 청정 구매 시작, 조달 결정 시 온실가스의 사회적 비용을 고려하는 것을 포함하여 기후 변화의 위험을 최소화하기 위한 연방규칙 변경, 지속 가능한 제품 및 서비스 조달을 극대화 하는 것 등이 해당된다.

(5) 순 배출 제로 운영(Net-Zero Emissions Operations)

2050년까지 연방 운영 전반에 걸쳐 순 제로 배출을 달성하는 것이 목표이다. 이 목표를 달성하기 위해 연방 정부 인프라를 무공해 차량과 탄소 무공해 전력으로 구동되는 건물로 전환하고, 순 제로 공급망을 개발하기 위해 운영을 혁신하며, 연방 기관의 온실가스 배출을 줄이기 위한 목표를 세워, 선도적인 국내외 조직과 협력한다. 2035년까지 탄소배출 없는 전기 100%사용, 배출가스 제로 차량 구매 100% 달성하고자 하며, 2024년까지 순제로 배출 건물 달성, 2050년까지 순제로 배출 조달을 달성하고자 한다.

(6) 기후의 영향에 탄력적인 인프라 운영(Climate Resilient Infrastructure and Operations)

미래 기후의 영향에 대비하여 적응력 있는 운영을 위해 연방 기관의 기후 관련 위험과 취약성을 평가하고 기후 적응 및 복원력 계획을 개발할 계획이다. 기후 적응 및 탄력성 연방 지도자 실무 그룹을 설립하여 기후 데이터 및 도구, 인프라 적응, 적응 지표 및 평가와 같은 분야에서 기관 조정, 지속적인 학습 및 구현을 발전시켜 연방 인프라, 프로그램의 현대화 및 서비스의 중단을 최소화 하고자 한다.

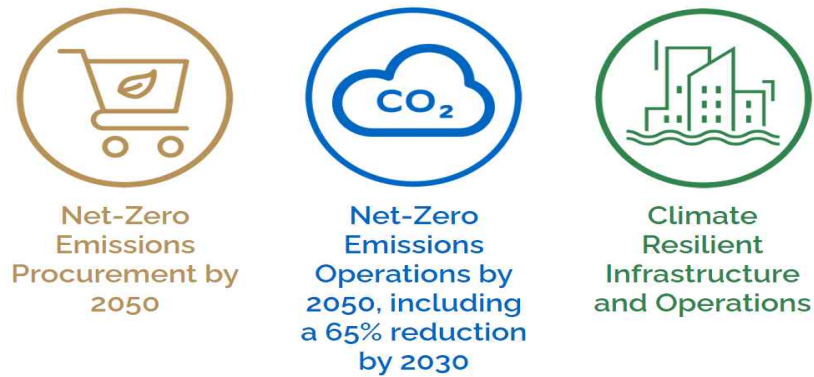


그림 28 미 연방정부 지속가능계획 목표 (4)~(6),
출처: Federal Sustainability Plan

(7) 기후에 초점을 맞춘 인력 개발(Develop a Climate-Focused Workforce)

연방 인력 개발을 기후 및 지속 가능성에 초점을 맞추고 기후 적응 및 환경 관리에 대한 참여, 교육 및 훈련을 통해 내부 역량을 구축한다. 연방 인력 전반에 걸쳐 지속 가능성 및 기후 행동 문화를 조성하고, 지속 가능성 계획의 목표를 효과적으로 구현하기 위한 인적 자본 요구 사항을 식별하며, 직원 교육 과정에 지속 가능성 및 기후 대비 콘텐츠를 통합하여 직원 참여를 요구한다.

(8) 환경 정의 및 형평성 향상(Advance Environmental Justice and Equity)

지속 가능성 계획과 기후 적응 및 회복력 계획 내 환경 정의를 발전시키기 위한 조치를 다루어 환경 정의 및 형평성을 향상시킨다. 구체적 방안은 연방 최고 지속 가능성 책임자 협의회에 환경 정의에 관한 전문가를 포함시키고 환경 정의 지역사회에 대한 투자를 목표로 삼으며, 연방 계약 및 운영의 형평성을 강화하는 것이다.

(9) 파트너십을 통한 발전 가속화(Accelerate Progress through Partnerships)

미국 내 및 국제 파트너십을 활용하여 발전을 가속화하는 것이 목표로, 연방 기관을 지원하기 위한 혁신적 관점과 전문지식을 제공할 수 있는 민간 및 비영리 부문의 고위 지도자를 제한된 임기의 임명에 배치한다.



그림 29 미 연방정부 지속가능계획 목표 (7)~(9),

출처: Federal Sustainability Plan

5.2.2 뉴욕 저탄소 빌딩 정책

2024년부터 뉴욕시에는 ‘로컬법 97호(Local Law 97)’에 따라 특정 한도 이상으로 탄소를 배출한 건물에 탄소세가 부과하며, 2030년까지 배출량을 1990년 대비 40% 감축, 2050년 80% 감축해야 한다. 탄소세 부과 적용 대상은 약 2만 5,000ft² 이상의 주거·상업용 건물. 다세대 주택·사무실·병원 등 뉴욕시 내 4만여 개 주거·상업용 건물이 해당된다.

뉴욕시는 이에 대비하는 탄소 중립 건물(Carbon Neutral Buildings)이 있으며, 탄소 중립 건물이란 설계, 건축, 운영이 기후 변화를 유발하는 온실가스 배출에 기여하지 않는 건물을 말한다. 탄소 중립 건물의 특성은 에너지 효율 극대화, 화석 연료를 사용하지 않고, 현장 재생 에너지, 태양광, 풍력터빈 등 배출가스 없는 전기를 생산하여 조달하며, 그리드 조건에 대응할 수 있는 유연한 부하 및 저장 장치로 설계, 건물 거주자를 보호하는 탄력성 조치 기능, 내재된 탄소와 냉매에 주의를 기울여서 설계하는 것이다.

탄소 중립 건물 및 저탄소 건물화를 위한 기술적 방안은 히트펌프 사용, 탄소포집 설비 설치, 태양광 패널 설치 등이 있으며 구체적인 내용은 다음과 같다.

(1) 히트펌프(Heat Pump)

히트펌프가 화석연료 보일러를 대체하면 히트펌프를 통해 겨울철 실외의 열을 흡수해 실내로 들이고 여름철 열을 흡수해 실외로 배출할 수 있다. 히트펌프 구매 및 설치에 따른 고비용에 대한 우려로 조바이든 정부는 가정용 히트펌프 설치에 보조금 지급하기로 하였다.

(2) 탄소포집설비

기존 보일러 시설을 개조하지 않고 탄소포집 설비를 설치해 배출량을 감축하는 방식이다. 건물 내 가스 보일러에서 포집된 이산화탄소를 영하 10도에 액화시킨 금속 탱크에 보관하여 포집된 이산화탄소를 콘크리트 벽돌 재료로 사용한다.

(3) 태양광 패널

태양광 패널을 건물에 설치하면 무공해 신재생에너지인 태양광을 에너지화 할 수 있으므로 건물 에너지 효율성을 향상시킬 수 있다. 뉴욕시는 2008년부터 건물에 태양광 패널을 설치한 건물주에 재산세를 감면해주고 있으며 설치 비용이 부족할 경우 대출을 지원해주고 있다.



그림 30 (좌) 히트펌프, (중) 탄소포집설비, (우) 태양광 패널, 출처: 한국일보

5.2.3 포틀랜드 저탄소 빌딩 정책

포틀랜드 시에서는 20,000 ft² 이상의 상업용 건물에서 에너지 포트폴리오 관리자를 고용하고 에너지 성능을 추적하고 보고하도록 하는 저탄소 빌딩 정책을 시행하고 있다. 포틀랜드 시는 뉴욕 시와 동일하게 2030년까지 배출량을 1990년 대비 40% 감축, 2050년 80% 감축하겠다는 목표를 세웠으며, 건물의 에너지 사용을 줄이는 것이 중요한 부분이며, 에너지 사용을 추적하고 에너지 효율성에 투자하면 건물 소유자의 비용이 절감된다고 선언하였다. 포틀랜드 시는 매년 상업용 건물 에너지 사용량을 보고하고, 20,000 ft² 이상의 상업용 건물 에너지 성능 지도를 아래 그림 9와 같이 웹상에 공개하고 있다.

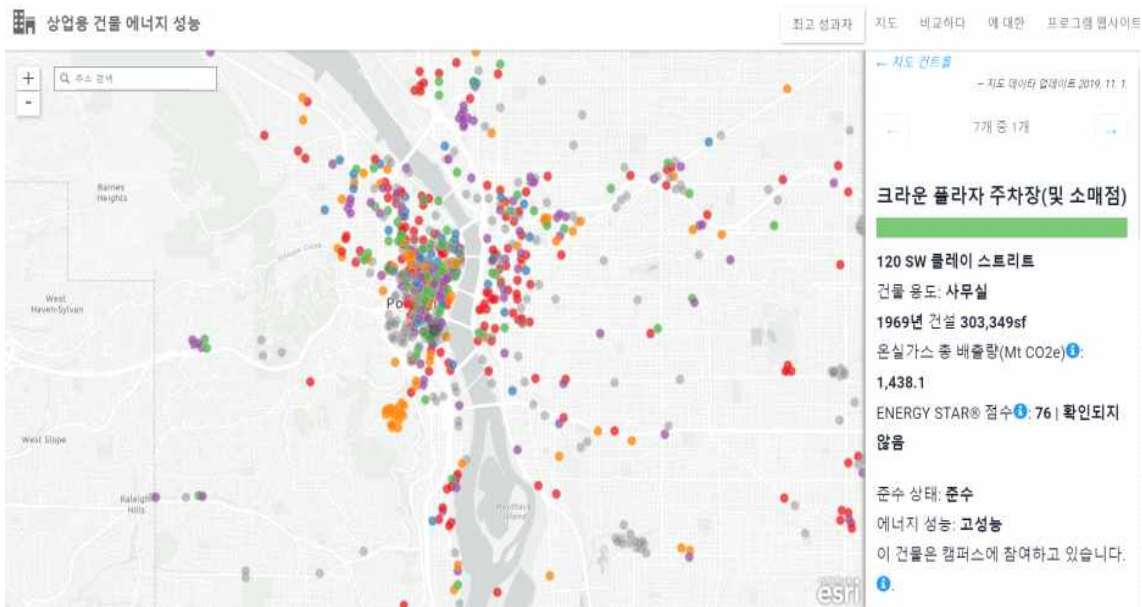


그림 31 포틀랜드 상업용 건물 에너지 성능 공개, 출처 : 포틀랜드 시 홈페이지

6. 포틀랜드의 기후변화와 건강지표 모니터링

6.1 기후변화와 시민 건강의 영향

포틀랜드 행정구역은 그림 10과 같이 세 인접한 카운티(Tri-County)에 걸쳐 있으며, 멀티노마 카운티(Multnomah County)가 주된 구역이다. 멀티노마 카운티 주도하에 세 카운티에서 기후변화에 의해 시민들이 받는 영향에 대해 2012년부터 현재까지 모니터링을 실시하고 있다.

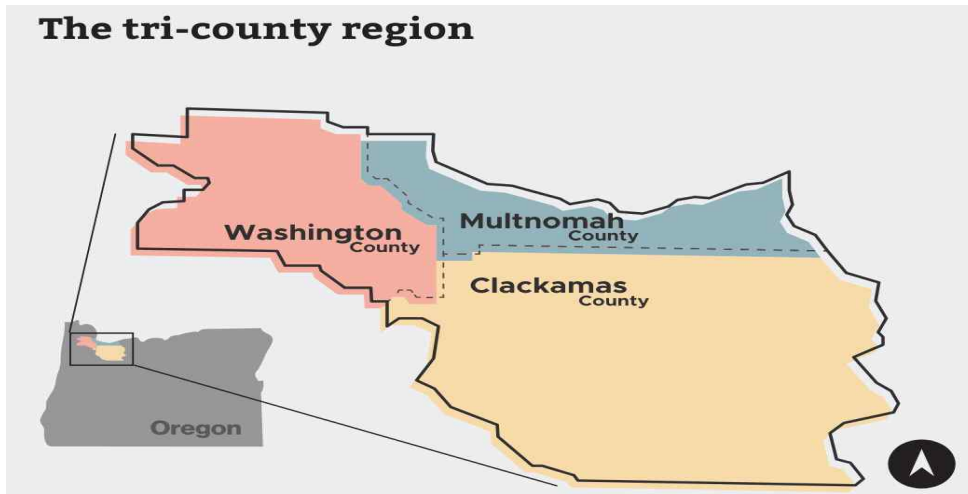


그림 32 오리건 포틀랜드 세 카운티 지역, 출처: 멀티노마 카운티

이 지역에서 있었던 기후변화 관련 커다란 이슈들이 있었다. 2021년 여름, 기록적인 기온 상승으로 이 지역 사망자 수는 94명이었고, 응급실과 같은 응급의료기관(Emergency Department, ED) 방문 횟수가 2016-2019년 평균 방문 횟수에 비해 두배 이상 증가하였다. 이러한 응급의료기관 방문 추세는 2022년에도 과거보다 40% 더 많았다. 기후변화로 인해 여름 기온이 상승함에 따라 극심한 더위로 인한 질병이 발생하였다. 뿐만 아니라 2014년 이후 236명의 사람들이 극심한 기상 현상으로 목숨을 잃었다. 대부분의 사람들은 더위로 인해 사망했지만, 그 중 84명이 극심한 추위에 노출되어 사망했으며 이 수가 점점 커지고 있다. 또한, 공기질 관련 호흡기 질환으로 응급실을 찾는 사람이 많아졌다.

6.2 기후변화와 건강 지표(Climate and Health Indicators)

포틀랜드 멀티노마 카운티에서는 기후변화가 건강에 미치는 지표들을 극열, 극한 날씨, 공기질, 매개 질병, 전염성 질병 5가지 범주로 나누어 다양한 지표를 선정하여 그 지표들을 바탕으로 조사하고 있다. 본 연구에서는 극심한 열, 날씨, 공기질을 중심으로 살펴보고자 한다.

6.2.1 극열(Extreme Heat)

높은 온도에 노출되는 것은 기후 변화에 의해 유발되는 극한 날씨와 관련된 직접적 영향 중의 하나이다. 극한의 온도에 노출되면 열경련, 열탈진, 열 스트레스, 열사병 및 사망을 초래할 수 있다. 미국 북서부 지역은 20세기 전반에 비해 연평균 기온이 1.5°F 증가했으며 금세기 말에는 4~9°F가 더 증가할 것으로 예상된다.

2016년 포틀랜드 지역은 90°F 이상이 13일이었고, 그 이후로는 여름에 90°F가 20일 이상 나타나고 있으며, 2021년에는 24일, 2022년에는 29일이었다.

(1) 열에 의한 응급 진료 방문

5~9월 여름철에 장시간 더운 날씨에 노출되거나 탈수, 적응력 부족 등으로 인한 온열질환 증상으로 응급실이나 응급 진료소(ED)를 방문한 횟수를 연도별로 측정하여 극열이 건강에 미치는 지표로 활용하였다. 방문 횟수의 패턴은 시간이 지남에 따라 대부분 일정하게 유지되지만, 그림 11과 같이 2021년 화씨 116°F(약 섭씨 47°C)까지 기온이 상승한 히트돔에 의해 다른해보다 훨씬 많은 응급 진료소 방문 수가 발생하였다.

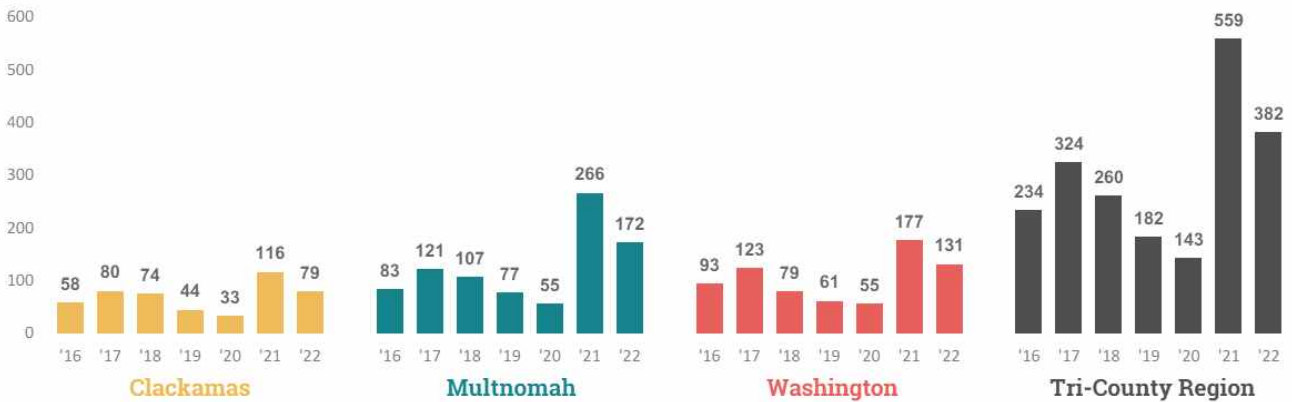


그림 33 극열관련 응급의료기관 방문 수, May-Sept, 2016-2022, 출처: 멀티노마 카운티

(2) 온열질환 사망자

온열질환 사망자 지표는 열 노출이 주요 원인으로 확인된 사망을 측정하였다. 극심한 열에 노출되면 생명을 위협하는 심각한 건강 영향을 일으킬 수 있다. 열과 관련된 사망의 예로는 열사병, 열탈진, 탈수로 인한 사망이 포함된다. 2021년 이 지역에서 94명의 열관련 사망자가 발생하였고 2014~2019년에 비해 40배에 달하였다. 이 지역은 서늘한 북서부 지역으로 여름에도 덥지 않아 에어컨이 없는 건물이 많았고, 노년층, 저소득계층 등 취약계층의 사망수가 많았다.



그림 34 포틀랜드와 오리건 극열 사망자수, May-Sept, 2016-2022, 출처 : 멀티노마 카운티

6.2.2 극한 날씨(Extreme weather events)

극한 날씨는 기후 변화의 가장 가시적인 결과 중 하나이다. 극한 기상은 피해와 파괴를 이끄는 심각한 폭풍과 기상 관련 사건을 포괄하는 광범위한 용어이다. 극한 기상은 뇌우, 토네이도, 폭염, 허리케인, 우박, 눈보라, 홍수, 산사태, 낙뢰 등을 포함한다. 오리건주의 변화하는 기후 조건은 미래에 홍수, 폭염, 산불, 여름과 겨울 폭풍의 형태로 더 많은 기상 이변을 일으킬 것으로 예상된다. 기상 이변으로 인한 피해는 깨끗한 물, 음식, 기본 위생 및 건강 관리를 포함한 필수 서비스에 대한 접근을 제한할 수 있고 가족, 친구, 지역사회, 재산에 대한 피해로 트라우마와 스트레스를 만들고 정신 건강에 영향을 미친다.

기상과 관련된 극단적인 죽음은 기후 변화로 인한 극한 날씨가 건강에 미치는 지표로, 열음으로 인한 낙상, 폭풍, 극심한 추위, 극심한 더위를 포함하는 극한 기상 현상에 직접적으로 기인한 사망자 수를 측정하였다. 극한 날씨는 위험이 갑자기 발생하거나 안전한 피난처를 찾을 수 없을 때 당뇨병 또는 심혈관 질환과 같은 만성 질환자에게 사망을 유발할 수 있다. 2014년과 2022년 사이에 236명이 극한 날씨로 사망하였고 144명의 사람들이 극심한 열에 고체온증으로 사망하였으며, 84명이 극한 추위로 사망하였다.

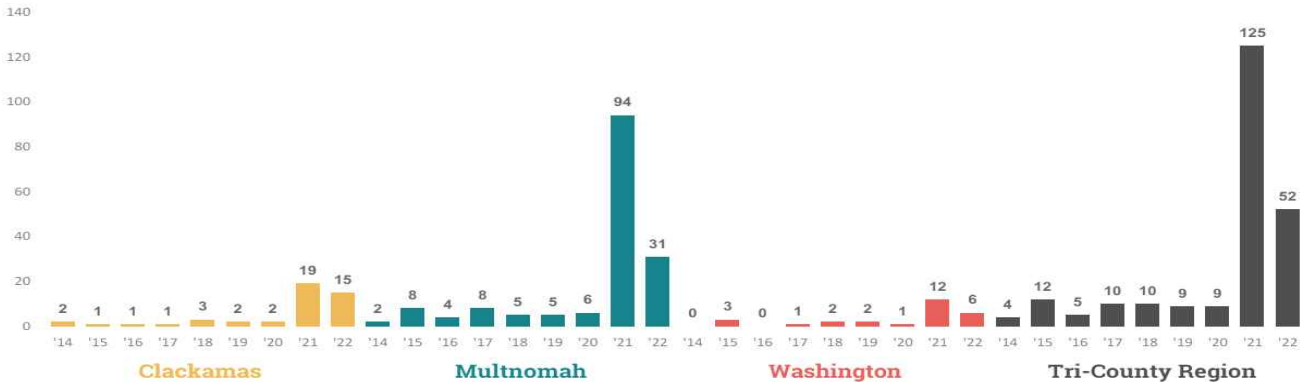


그림 35 극한 날씨에 의한 사망자수, 2014-2022, 출처 : 멀티노마 카운티

6.2.3 공기질(Air Quality)

이 지역의 대기질의 변화는 산불로 인한 연기와 기후 변화 및 극한 날씨 조건과 밀접한 관계가 있다. 따뜻한 온도와 낮은 고도는 더 건조하고 긴 여름을 만들고 산불의 위험을 증가시킨다. 대기질 또한 오존을 포함한 스모그와 해로운 연기 증가로 인해 악화될 것으로 예상된다.

천식 증상은 일반적으로 산불로 인한 연기, 차량의 배기가스 또는 꽃가루를 포함하여 공기 중의 오염 물질 또는 알러지 유발 물질에 노출됨으로써 유발된다. 산불 및 기타 출처에서 방출되는 미세먼지는 천식 악화를 포함한 호흡기 질환의 위험을 증가시킨다. 고온현상은 꽃가루 시즌을 연장시키고 일부 식물이 자랄 수 있는 지리적 지역을 확장시킨다. 돼지풀과 풀 꽃가루는 해당 지역의 기후 변화에 영향을 받는 일반적인 환경 유발 요인이다.

공기질 관련 호흡기질환 응급실 방문은 공기질이 건강에 미치는 지표가 될 수 있고, 이 지표는 호흡기 질환을 가진 사람들이 병원 응급실과 응급 진료소를 방문한 횟수를 측정하여 산출하였다. 2022년에는 이 지역에서 총 84,081건의 응급으로 기관 방문이 공기질 관련 질병으로 파악되었다.

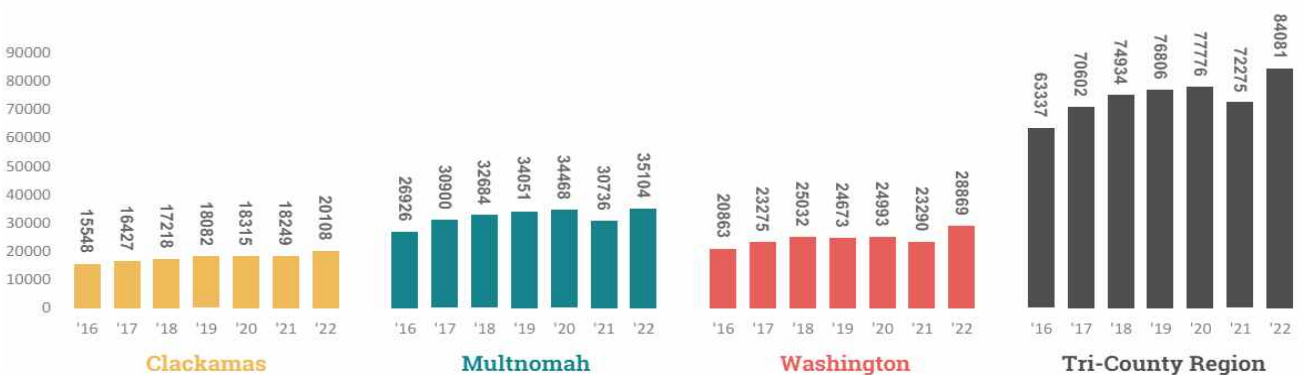


그림 36 대기질 관련병에 의한 응급의료기관 방문 수, May-Sept, 2016-2022, 출처 : 멀티노마 카운티

6.3 기후변화와 정신 건강(Mental Health)

불과 몇 년 전까지만 해도 기후변화와 관련된 사건이 정신 건강에 미치는 영향은 신중 연구 분야였지만, 지금은 기후변화의 맥락에서 정신 건강의 중요성을 입증하는 여러 연구보고가 있다. 일반적으로 정신 건강은 사람들이 어떻게 느끼고, 스트레스와 관련되고, 일상적인 선택을 하는지에 영향을 미치는 정서적, 심리적, 사회적 안녕을 의미한다. 기후변화에 대응하는 정신 건강 결과는 개인이 기후변화 사건과 관련되고 경험하는 방식에 영향을 받는다. 기후변화 사건의 다양한 유형과 길이는 다음을 포함한 매우 다양한 정신 건강 영향을 만들 수 있다.

6.3.1 기후변화에 의한 정신 건강의 영향

(1) 폭염, 극한 폭풍, 산불과 같이 급격한 사건

폭염, 극한 폭풍, 산불과 같이 몇 시간에서 몇 주동안 지속되는 짧고 급격한 사건들은 불안, 우울증, 외상 후 스트레스 장애(PTSD), 수면박탈, 외상, 충격, 자살에 대한 생각으로 이어질 수 있다. 어떤 사건이 재산상의 손상을 일으키거나 집단의 경제적 생계에 영향을 준다면, 그것은 거주지 상실, 통제력 상실, 개인적 또는 직업적 정체성 상실로 이어질 수 있다. 극한열로 인한 피해는 구체적으로 공격성의 증가와 기존 정신 건강 상태의 약화로 이어질 수 있을 뿐만 아니라 일부 정신 의학적 상태에 부정적인 부작용을 일으킬 수 있다.

(2) 가뭄과 같이 기후변화 사건의 장기적 사건이나 급성사건으로부터 회복기간

단기 사건의 정신 건강 영향에 더하여, 연장된 사건 또는 회복기간은 정신적, 정서적 행복에 지속적이고 복합적인 스트레스를 가한다. 이것은 좋은 정신 건강을 위한 보호 요소인 신체적, 정신적 건강 관리 서비스, 학교 및 소셜 네트워크에 대한 접근에 방해요소 일 수 있다.

(3) 기온상승, 해수면상승 같은 기후변화의 위협에 대한 지속적인 직·간접적 노출

기후변화 관련 사건에 대한 직접적인 경험이 있든 없든 언론 보도와 기후 재난의 위협에 대한 지속적인 노출은 정신 건강에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 영향을 설

명하기 위해 미래 세대와 지구에 대한 환경 영향으로 인한 위험에 대한 심각한 걱정과 좌절 등 환경 불안, 미래세대와 지구에 대한 슬픔, 상실 및 절망과 같은 기후 슬픔을 포함하여 광범위한 용어가 진화하였다.

6.3.2 기후변화에 의한 정신 건강 회복을 위한 방법

도움을 요청할 능력이 없는 사람들에게 도움을 요청할 수 있는 방법을 안내해야 한다. 기관과 지역사회 구성원들에게 취약계층, 사회적으로 고립된 사람, 장애인, 노인, 어린 자녀를 둔 사람, 이웃, 친구, 가족 등에게 전화를 걸어 확인할 수 있는 번호 목록을 만들 것을 요청한다. 뿐만 아니라 기후 변화에 의한 재난 시 긴급 운영 센터를 설치하고 정신 건강 전문가를 체계적으로 배치하며, 정신 건강 서비스가 필요할 때 어떻게 대응해야 하는지 알기 위해 직원을 교육한다. 과거의 기후변화에 의한 영향들을 면밀히 조사하여 사전 예방의 자료로 활용한다.

7. 결론

7.1 대기질과 실내공기질 현황 및 상관성

서울은 총 55개의 대기측정망을 가지고 있으며, 오리건주는 74개, 포틀랜드는 18개, 뉴욕시는 현재 14개의 대기측정소를 운영하고 있다. 면적당 측정망 개수를 비교해보면 서울의 면적은 약 $605km^2$ 로 면적당 9.1%의 대기측정소를 운영중이며, 오리건주는 약 $255,030km^2$ 면적을 가지고, 면적당 0.03%의 측정소를 운영중이다. 포틀랜드시는 약 $376km^2$ 면적을 가지며, 면적당 4.78%, 뉴욕시 면적은 약 $783km^2$ 으로, 현재 면적당 1.78% 대기측정소를 운영중이다. 서울시가 다른 조사한 미국 도시에 비해 촘촘한 대기측정망을 갖추고 운영하고 있다.

오리건주 DEQ에서 발표한 연간보고서에 따르면, Portland Metro에 PM-2.5 데이터를 측정하는 측정소 10군데 중 한 군데만 중량법에 따라 PM-2.5 데이터를 산출하고 있다. 나머지는 9군데는 PM-2.5 Est 방식으로 데이터를 산출하는데 이는 광산란법(Light Scattering)으로 측정하여 중량법에 따라 보정하는 것에 해당되는데, 이 방법은 미세먼지를 여지에 모아 전후 무게차를 측정하여 산출하는 중량법보다는 정확도가 떨어진다. 포틀랜드와 같이 장기간 비가 많이 오는 지역은 물입자를 미세먼지를 오인하여 측정되어 광산란법으로 측정시 미세먼지 농도가 높게 평

가될 수 있다. 서울시는 대기측정망 PM-2.5 측정방법을 중량법 혹은 이에 준하는 연속측정법을 채택하여 운영중이다.

우리시는 실내공기질 관리법에 따라 다중이용시설과 대중교통 내 실내공기질 지도 점검을 시행하고 있으나, 미국 도시들은 실질적으로 다중이용시설이나 대중교통에서 실내공기질을 지도 점검할 법적 지침이나 기준이 존재하지 않는다. 이는 국가간의 중앙집권화도의 차이, 문화의 차이가 어느정도 영향을 미치는 것으로 판단된다. 미국은 땅이 넓어 주(State) 법이 상이하며, 개인주의(Individualism) 문화와 다양한 인종이 함께하는 곳으로 연방 정부의 가이드라인을 지방정부로 법제화하는 것이 쉬어 보이지 않는다. 실제로 대중교통을 이용해 보면 서울시만큼 깨끗하게 관리되어 있는 곳도 흔하지 않으며, 실내공기질 관리 및 체계가 잘 되어있어 자부심을 가질만하다.

대기와 다중이용시설 및 지하철 차량 실내공기의 PMs 농도 회귀 분석 결과 양의 관계가 보이므로 대기질을 높이는 것이 실내공기질을 높이는 근본적인 방법 중 하나가 될 수 있다. 서로 영향을 주는 실내공기질, 대기오염, 기후변화 문제 해결 방식으로 전기차 장려, 에너지효율성 정책과 같은 미국의 정책을 참고할 필요가 있다.

7.2 전기차 장려 정책에 대한 거시적 · 환경적 견해

전기차는 주행 중 기존 내연기관 차량에서 발생하는 질소산화물(NOx), 미세먼지 등 유해한 배기오염물질을 거의 배출하지 않으며, 화석연료를 사용하는 차에 비해 이산화탄소 등 온실가스 배출이 적어 기후변화 대응 방안 중 하나로 꼽힌다. 도로 위에서 전기차는 내연기관 차량 대비 대기오염물질을 배출하지 않는 것은 확실하다. 하지만, 전기차의 환경적 측면을 살펴볼 때에는 전기차의 생산부터 폐기까지 전기차 생애 주기 전체를 살펴보는 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 필요하다.

전력생산 구조는 수력, 풍력, 태양광 등 신재생에너지 비중을 높이려는 노력에도 불구하고 화석연료를 사용함으로써 필연적으로 대기오염물질을 발생시키는 화력발전 비율이 여전히 높다. 그렇기 때문에 전력 생산 구조가 환경 친화적인 에너지의 비율이 월등히 높아져서 신재생에너지가 기저 전력이 되기 전까지는 전기 자동차의

운영은 필연적으로 전기에너지를 사용해야 하므로 화석연료 발전구조의 전기 생산으로 인한 간접적인 기후변화와 대기오염물질의 원인이 될 수 밖에 없다.

전기차용 배터리 생산, 자동차 제조, 전기차 충전을 위한 전기 생산 과정을 고려하면 어느 소비재와 마찬가지로 온실가스인 이산화탄소가 필연적으로 발생한다. 또한 배터리 제조 과정에서 양극과 음극에 구리와 알루미늄이 필요하기 때문에 환경에 심각한 영향을 미치며, 리튬, 구리, 니켈과 같은 금속을 채굴하고 가공하려면 상당한 에너지가 필요하며 독성 화합물을 주변 지역으로 방출할 수 있으므로 지역 주민들은 대기 및 지하수 오염을 통해 독성 물질에 노출될 수 있다. 전기차의 배터리 수명이 다 되면, 전기차용 배터리인 리튬이온 배터리를 적절하게 폐기하지 않을 경우 유해물질로 인한 2차 환경오염이 발생할 수 있다.

전기차가 기존 내연기관 차량에 비해 도로에서 환경적으로 더 나은 점은 분명하지만, 장기적이고 거시적인 관점에서 전기차를 친환경 제품으로 정의하고 정책에 반영하려면, 전기차의 에너지원인 전기 생산과정, 원자재, 배터리 제조 및 가공, 운송 및 유통, 재활용 가능성, 폐기과정 등 전체를 점검하는 전과정평가(LCA)를 통해 문제점을 개선하고 더 발전시킬 필요가 있다.

전기차의 환경적 문제를 차츰 해결해 나간다면, 대기오염과 기후변화에 대응하기 위해서는 미국 정부에서 적극적으로 장려하고 있는 전기차 장려 정책은 우리시에서 충분히 참고할 만하다.

7.3 에너지 효율성 정책에 대한 견해

미국은 바이든 정부 주도하에 연방정부에서 기후변화에 대응하기 위한 다양한 정책과 법안을 발표하였다. 지방정부인 뉴욕시가 2019년 법 제정, 2024년 조례를 발효하여 징벌적 탄소세를 부과하기로 계획하였고, 올해부터 일정량 이상의 탄소를 배출하는 건물을 단속하고 세금을 부과하기 시작하였다. 또한 포틀랜드시를 포함한 미국의 대도시에서는 기후변화에 대응하기 위한 저탄소 빌딩 정책을 시행하고 있다. 도쿄는 2010년부터 대형건물 탄소 규제를 시행하고 있으나, 서울시는 추진이 늦다는 언론보도가 있었다.

올해부터 서울시는 온실가스 감축 실효성을 높이기 위해 건물 온실가스 총량제를 추진하여 건물을 용도에 따라 12개 유형으로 분류하고, 유형별로 단위면적당 온실가스 표준배출 기준을 설정해 준수하도록 하는 제도를 시행함 연면적 3000㎡ 이

상의 상업공공건물은 서울시 전체 건물 60만여 동 중 1만3000동(2.1%)에 불과하지만, 건물 부문 온실가스의 26.5%를 배출해 오고 있어 연면적 3000㎡ 이상 중대형 건물의 온실가스 배출총량을 집중 관리하고 감축하는 데 방점을 두고 있다.

서울시는 우선 자발적인 참여를 유도할 계획이며, 지난해 연면적 1000㎡ 이상의 시 소유 건물 517개소, 자치구 건물 897개소와 에너지다소비건물 등 민간건물 217개소가 건물 온실가스 총량제에 참여함. 올해는 공공기관 200개소, 민간건물 200개소 등 400개소를 추가해 온실가스 총량제를 추진할 계획이며, 이를 위해 2022년부터 4차례의 전문가 포럼을 진행해 왔으며, 건물 온실가스 총량제 실행모델 개발에 참여한 건물 외에도 호텔이나 백화점 등 중대형 에너지 소비가 많은 건물의 참여 신청을 받고 있으나 실효성의 문제가 제기되고 있어서, 다른 국가들의 정책을 참고하여 구체적인 실효성의 방안을 찾아 적용할 필요가 있다.

7.4 포틀랜드의 기후변화와 건강을 위한 노력

앞서 언급하였듯이 오리건주 포틀랜드시에 걸쳐있는 멀티노마 카운티에서는 포틀랜드 내 인접 세 곳의 카운티 내의 기후변화가 건강에 미치는 지표들을 극열, 극한 날씨, 공기질, 매개 질병, 전염성 질병 5가지 범주로 나누어 다양한 지표를 선정하여 그 지표들을 바탕으로 매년 조사하여 보고서로 발간하고 있다.

기후변화에 따른 시민들의 건강의 결과는 지역사회가 점점 더 더워지는 지구의 영향을 느끼는 주요 방법 중 하나이다. 산불로 인한 응급 의료기관 방문과 폭염에 의한 사망자수는 포틀랜드가 향후 기후 현상에 의해 어떤 일이 일어날지 예측할 수 있게 해준다. 지속적으로 건강 결과를 모니터링하고 데이터를 수집·분석함으로써 지역사회에 실행가능하고 시기적절한 기후변화 적응 및 완화 계획을 수립할 수 있게 한다. 지역 사회에 기후변화에 대한 지식을 높이고 기후변화 완화 전략의 건강상 이점에 대해 대중과 정책 입안자를 교육하는 정책을 수립하여 기후변화에 대응할 수 있다.

여기서 본받을 만한 정책은 다양한 계층, 집단의 사람들 모두에게 평등하게 혜택을 줄 수 있도록 노력한다는 것이다. 동일한 기후변화 현상에 대해 각자가 받는 영향의 크기는 다를 수 있다는 전제하에, 노인, 어린이, 저소득층, 노숙인들, 야외에서 활동이 많은 노동자 계층 등 더 많은 영향을 받을 수 있는 취약계층에 대한 조

사와 배려를 고려하여 조사연구 및 정책화를 하였다. 또한, 기후변화에 의한 신체적, 재산적 피해와 같은 물리적인 피해에 대한 조사 뿐만 아니라 정신적인 부분에 대해 초점을 맞춰서 재앙 발생에 의한 트라우마와 같은 멘탈 케어에 집중하고 있는 정책은 우리시에서 벤치마킹 할 만하다.

참고문헌(Reference)

Janmejoy G., Manjari C. (2021). 15 - Energy efficiency in buildings. Sustainable Fuel Technologies Handbook, 457-480. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822989-7.00016-0>

Oregon Health Authority. (2022). Climate Change and Youth Mental Health. <https://sharedsystems.dhsoha.state.or.us/DHSForms/Served/1e4212.pdf>

Hayes, K., Poland, B.. (2018). Addressing Mental Health in a Changing Climate: Incorporating Mental Health Indicators into Climate Change and Health Vulnerability and Adaptation Assessments. International Journal of Environmental Research and Public Health. 15; 1806. doi:10.3390/ijerph15091806

Palinkas, L. A., Wong, M. (2020). Global Climate Change and Mental Health. Current Opinion in Psychology. 32:12-16.

Cooper, R., Fleming, J. (2019). Extreme Heat and Mental Illness: Toolkit for Mental Health Care Providers. Climate Psychiatry Alliance. Accessed at: <https://static1.squarespace.com/static/5a6114aacd39c30139d10f7e/t/5eac1cc13d65cd27933d090d/1588337857632/>

Shultz et al. (2019). Scrambling for Safety in the Eye of Dorian: Mental Health consequences of Exposure to a Climate-Driven Hurricane. Health Affairs. 39 (12) 2120-2127.

Gifford E., Gifford R. (2016). The Largely Unacknowledged Impact of Climate Change on mental Health. Bulletin of the Atomic Scientists. 72(5) 292-297.

Clayton, S., Manning, C., Krygsman, K., Speiser, M., (2017). Mental Health and Our Changing Climate: Impacts, Implications, and Guidance. Washington, D.C., American Psychological Association, and ecoAmerica

Cianconi, P., Betro, S., Janiri, L. (2020). The Impact of Climate Change on Mental Health: A Systematic Descriptive Review. *Frontiers in Psychiatry*. 11:74, doi: 10.3389/fpsy.2020.00074

Comtesse, H., Etrl, V., Hengst, S. M., Rosner, R., Smid, G. E. (2021). Ecological grief as a response to environmental change:

White House Briefing Statements Releases. (2022).

<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/12/07/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-first-ever-federal-building-performance-standard-catalyzes-american-innovation-to-lower-energy-costs-save-taxpayer-dollars-and-cut-emissions>

Federal Government Sustainability plan. (2024).

<https://www.sustainability.gov/federalsustainabilityplan/index.html>

Federal Government Transportation. (2024).

<https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/environmental-statutes-and-executive-orders>

Federal Government Energy Efficiency. (2024).

<https://www.energy.gov/eere/energy-efficiency-buildings-and-industry>

David G. L., Maria K., Jade Hess E., et al, (2021) PM2.5 Concentration and Composition in Subway Systems in the

Northeastern United States, Environ Health Perspect
;129(2):27001. doi: 10.1289/EHP7202

US EPA Report on the Environment (2024)
<https://www.epa.gov/report-environment/air>

WHO Health Topic (2024)
https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

서울특별시 대기환경정보 (2024)
<https://cleanair.seoul.go.kr/information/info12#about>

국립환경과학원 2022 대기환경연보(2023),
행정간행물 등록번호11-1480523-001980-10, NIER-GP2023-046

Oregon DEQ Air Quality Monitoring 2022 Annual Report (2024)
<https://www.oregon.gov/deq/aq/Documents/AQMAnnualReport.pdf>

New York State DEC Ambient Air Quality Report (2022)
<https://dec.ny.gov/environmental-protection/air-quality/monitoring#Plan>