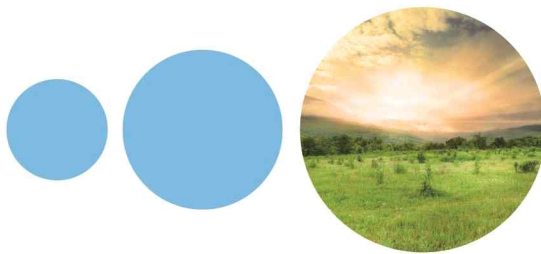


충청남도 미세먼지 저감 시책발굴

기후변화대응연구센터



충청남도 서해안기후환경연구소



2019. 04

충청남도 미세먼지 저감 시책발굴

2019. 04



Contents

1장 연구개요	1
1. 연구배경 및 목적	3
2. 연구방법	4
2장 미세먼지에 대한 이해와 관리방안	5
1. 미세먼지의 정의와 인체영향	7
2. 국내외 미세먼지 관리 현황	10
3. 국내외 대기오염 개선 정책 사례	12
3장 실외용 공기정화장치 활용성 검토	19
1. 실외용 공기정화장치 적용 사례조사	21
2. 충청남도 적용 가능성 검토	27
4장 충청남도 미세먼지 저감정책 제언	31

제 1 장

연구개요

1. 연구배경 및 목적
2. 연구방법

연구개요



1. 연구배경 및 목적

충청남도에서는 고농도 미세먼지 발생시 발령되는 미세먼지 비상저감조치가 2019.3.1~3.6까지 6일 연속 발령되었으며, 특히 3월 4일 PM₁₀ 농도가 115 μ g/m³을 나타내는 등 미세먼지 대응을 위한 지역 사업발굴이 절실한 상황이다. 특히 WHO(세계보건기구)에서는 2013년 10월 미세먼지를 석면, 벤젠 등과 함께 1군 발암물질로 분류하였으며, 미세먼지로 인해 기대수명보다 일찍 사망하는 사람이 700만명(2014년 기준)에 이른다고 발표하고 있다.

충청남도에는 화력발전소(발전기수), 석탄화력 발전에 의한 전력생산 등이 50%에 육박하고 있으며, 석탄화력발전소는 국가 지정대기오염물질(SOx, NOx, CO, 미세먼지)의 주요 발생원으로 작용하고 있으며, 국가산업단지 5개, 일반산업단지 55개, 농공단지 92개, 도시첨단산업단지 2개 등 총 154개의 산업단지가 완료되거나 조성 중으로 미세먼지 발생원인 지속적 증가하고 있는 실정이다.

이러한 상황에서 2018년 정부는 미세먼지를 재난으로 규정하고 적극적 대응을 추진하고 있으며, 미세먼지 특별법 등 관련법률을 제정하고 체계적이고 과학적으로 미세먼지 농도 저감을 위해 노력하고 있다. 충청남도는 고농도 미세먼지발생으로 인한 도민 건강문제 우려를 불식하기 위해서 충남도 차원에서 적극적인 신규사업 발굴이 필요하다.

본 연구에서는 충청남도에서 검토 중인 대형공기정화탑의 효율성에 대한 기초조사와 더불어, 충청남도에서 추진을 검토할 수 있는 미세먼지 저감 신규대책을 제안하고자 한다.



2. 연구방법

본 연구에서는 미세먼지에 대한 정보와 국내외 미세먼지 정책을 조사하고, 국외에서 운영 중이거나 추진 중인 대형공기정화탑을 조사하고 공기정화탑의 국내 활용에 대한 기초검토를 실시하였다.

연구방법은 연구의 시급성에 따라 문헌조사에 국한 하여 실시하였으며, 대형 공기정화탑 효율성 조사와 함께 국내외 미세먼지 저감정책 조사결과 충청남도에서 추진을 검토할 수 있는 미세먼지 저감시책을 제안하였다.

제2장

미세먼지에 대한 이해와 관리방안

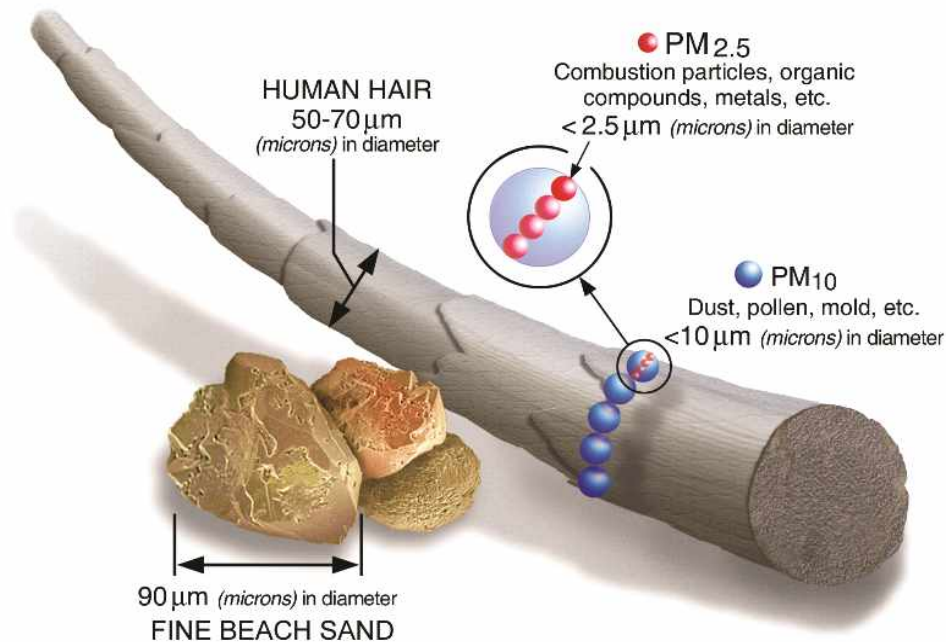
1. 미세먼지의 정의와 인체영향
2. 국내외 미세먼지 관리 현황
3. 국내외 대기오염 개선 정책 사례

미세먼지에 대한 이해와 관리방안



1. 미세먼지의 정의와 인체영향

미세먼지란 고체 혹은 액체의 상태로 대기 중에 떠다니는 $10\ \mu\text{m}$ 이하의 입자를 말한다. 과거에는 대기 중에 떠다니는 모든 입자를 총부유먼지 (total suspended particle, TSP)로 관리해 왔지만, 크기가 작을수록 인체 흡입 시 폐포나 폐포파리와 같이 좀 더 깊은 곳으로 침투하고 침착 면적이 넓어 인체에 치명적인 영향을 미칠 수 있다는 의학보고가 더해지면서 그 보다 더 작은 미세먼지 (particulate matter less than $10\ \mu\text{m}$, PM_{10})을 관리하기 시작했다. 측정 기술의 발전과 환경적 변화로 2012년부터는 이보다 더 작은 초미세먼지 (particulate matter less than $2.5\ \mu\text{m}$, $\text{PM}_{2.5}$)로 기준을 강화하여 관리하고 있다. 그림 1은 미국환경청(U.S. EPA)에서 입자상 오염물질에 대해 소개한 그림이다. 일반적으로 사람 머리카락의 직경이 $50\sim 70\ \mu\text{m}$ 인 것으로 알려져 있고, 바닷가 주변에 있는 모래 알갱이들의 직경이 $90\ \mu\text{m}$ 인 것에 반해, PM_{10} 의 경우는 머리카락 두께의 $1/5\sim 1/7$ 수준이고, 모래 알갱이의 $1/9$ 수준인 것이다. 이러한 입자들은 다양한 기작에 의해 대기 중에 부유하고, 입자에 가해지는 각종 물리력에 의해 중력침강, 관성차단, 확산 등의 과정을 거쳐 제거되거나 확산되게 된다. 미세먼지는 생성과정에 따라 고유의 밀도와 크기를 가지는데 대기중에 부유하면서 각종 오염물질을 흡수하여 다양한 병리학적 유해물질로 변하게 된다.



[그림 1] 입자상 오염물질의 크기 비교 (U.S. EPA)

미세먼지는 다양한 과정을 통해 발생된다. 발생원은 크게 자연적 발생원과 인위적 발생원으로 분류되며, 자연적 발생원의 경우 산불이나 꽃가루 날림, 바다에서 기인한 해염입자, 황사 등이 있다. 인위적 배출원은 배출특성에 따라 점오염원, 면오염원, 선오염원으로 나뉜다. 점 오염원은 독립되어 있는 가정집이나 산업배출시설 등을 들 수 있고, 면오염원은 군집을 이루고 있는 주거시설이나 산업단지 등을 말한다. 선오염원은 자동차나 선박, 항공기와 같이 이동하면서 오염물질들을 배출하는 것을 말한다. 생성 기작에 따라서는 공장 굴뚝이나 자동차 배기가스, 건설현장 등으로부터 대기 중으로 직접적으로 배출되는 1차 생성 미세먼지가 있고, 1차적으로 생성된 가스상 오염물질이 대기 중에서 광화학적 반응이나 압력변화 등에 의해 상변화가 이루어지면서 생성되는 2차 생성 미세먼지가 있다. 1차 생성 미세먼지에 비해 2차 생성 미세먼지가 다양한 오염물질을 함유하고 있고, 그 크기도 작아 보건학적으로 더 큰 문제를 야기시키며, 수도권을 포함한 대도시에서는 1차 생성 미세먼지 보다 2차 생성 미세먼지의 비율이 더 큰 것으로 알려져 있다. [논문]?



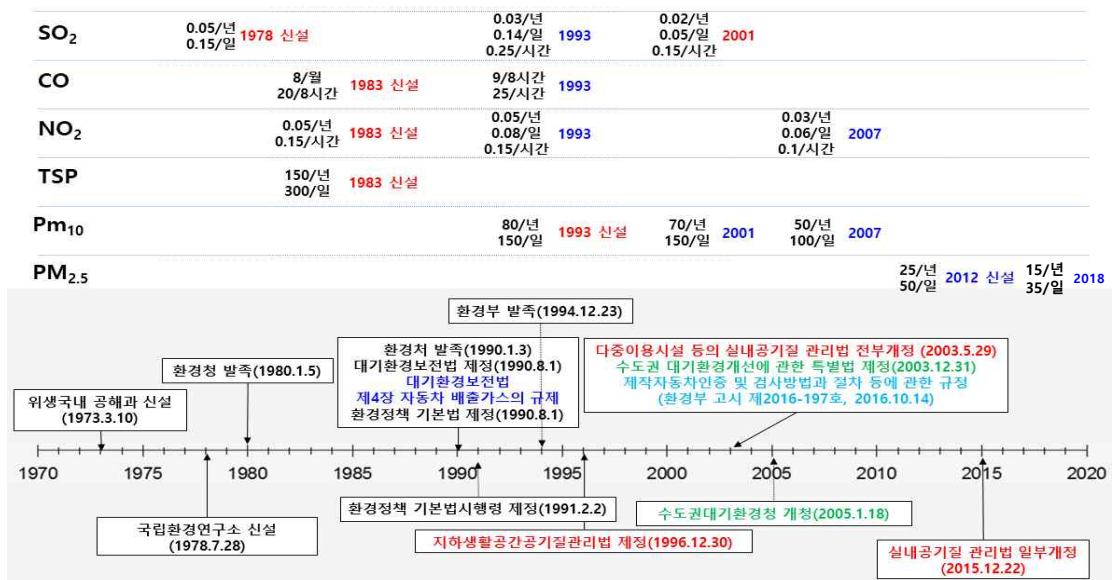
[그림 2] 미세먼지의 분류체계(서울시) 및 발생원(환경부)

2016년 국제에너지기구(IEA)에서 보고한 자료에 따르면 대기오염은 고혈압, 식습관, 흡연 다음으로 4번째로 인류의 건강을 위협하는 요인으로 보고하였으며, 국제보건기구(WHO)에서는 대기오염으로 인해 매년 700만명이 조기사망하는 것으로 보고하였다. 미세먼지는 크기에 따라 인체 다양한 장기에 침착할 수 있으며, 눈과 피부, 호흡기를 따라 침투하여 안구염증, 심장 부정맥, 피부염, 아토피 피부염, 비염 등 알레르기 질환의 원인으로 알려져 있다. 최근에는 PM_{2.5}가 혈관을 따라 심장과 뇌까지 이동하여 뇌졸중 같은 뇌혈관 질환과 협심증이나 심근경색, 심박 수 이상 등을 초래할 수 있다는 결과도 나오고 있다. 특히 환경질환에 취약계층인 어린이나 노약자, 임산부들은 더욱 치명적일 수 있어 이들이 주로 활용하는 가정집이나 노인요양시설, 어린이집을 포함한 학교시설, 병원 등에 대한 관리방안 마련이 시급한 실정이다.



2. 국내외 미세먼지 관리 현황

세계 각국에서는 자국민들의 건강보호를 위해 관리규정을 제정하여 오염물질을 관리하고 있다. 유엔환경계획(UNEP)에서 2016년 보고한 자료에 따르면 193개국을 대상으로 대기질 관리 여부 확인 결과 56%가 관리를 하고 있으며, 전체의 36%가 대기질 관련 정책 혹은 제도를 가지고 있는 것으로 나타났다. 우리나라는 1964년 공해방지법 개정을 시작으로 1973년 환경담당 부서를 설치, 1980년 환경청을 발족한 이후 환경관련 관리를 시작하였으며, 1990년 환경정책 기본법이 제정되면서 현 법규의 체재를 갖추게 되었다.



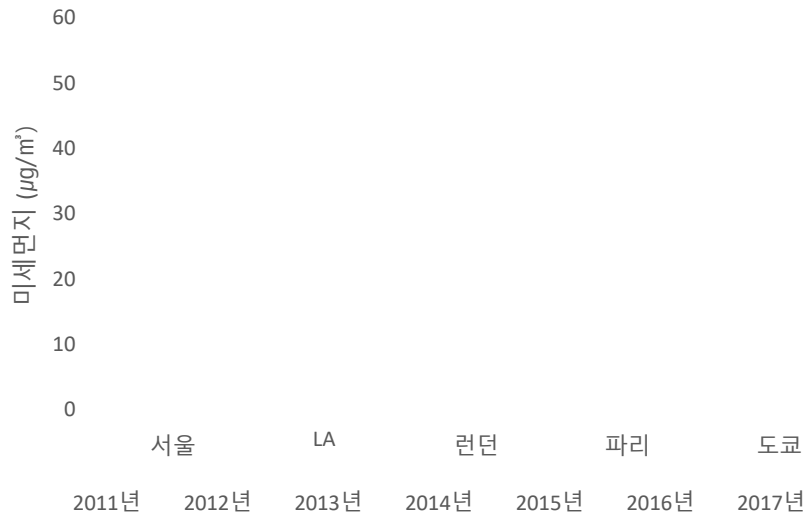
[그림 3] 국내 대기오염관리 역사 (미세먼지사업단 교육자료)

그림 3은 국내 대기 및 실내환경관련 법규의 변천사를 나타낸 것이다. 대기 오염관련 규제는 1978년 SO₂를 기점으로 시작되었고, 입자상 오염물질에 대해서는 1983년 TSP를 대상으로 연평균 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일평균 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 관리를 시작하였다. 1993년 TSP에서 PM₁₀으로 규제가 강화되었고, 이외 1996년 지하생활공간 공기질 관리법이 제정되면서 실내 공간에 대한 관리를 시작하였고, 이 법은 2003년 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법으로 개정된 후

2015년 실내공기질 관리법으로 일부 개정되어 현재에 이르고 있다. 우리나라 미세먼지 대기환경기준 중 PM_{10} 의 경우 1993년 연평균과 일평균이 각각 $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2001년 강화되어 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 그리고 2007년에는 현재와 동인한 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화되었다. $PM_{2.5}$ 의 경우 2012년 신설될 당시 연평균과 일평균이 각각 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2016년 이후 지속되는 고농도 미세먼지 발생에 따라 국민적 관심과 기준치 강화에 대한 목소리가 커지자 더욱 강화되어 2018년에 각각 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화되었다. 표 1은 2018년 기준 세계 주요 국가들과 기관의 미세먼지와 초미세먼지 관련 가이드라인이다. 현재 우리나라의 기준은 중국에 비해서는 낮고, 일본, 미국과는 유사한 수준이며, 호주와 EU, WHO에 비해서는 높게 설정되어 있는 것으로 조사되었다.

[표 1] 세계 주요 국가와 기관의 미세먼지(초미세먼지) 관리 가이드라인

항목 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	기준시간	한국	중국	일본	미국	호주	EU	WHO
PM_{10}	24시간	100	150	100	150	50	50	50
	1년	50	70	—	—	—	40	20
$PM_{2.5}$	24시간	35	75	35	35	25	—	25
	1년	15	35	15	12	8	25	10



[그림 4] 주요 도시들의 최근 7년간 대기오염 농도 수준



3. 국내외 대기오염 개선 정책 사례

배출원에 대한 저감대책 수립을 위해서는 각 지역의 오염물질에 대한 이해가 필요하다. 예를 들어 서울과 같은 수도권의 경우 대규모 배출시설이 없고, 자동차에 의한 이동오염원과 주거지역에서 배출되는 난방설비가 주 배출원이나, 충청남도의 경우 당진, 태안, 보령, 서천에 있는 화력발전소와 대산석유화학단지, 제철소 같은 대규모 사업장이 주요 배출원이다. 각 국에서는 자국의 대기환경 개선을 위해 대기환경 모니터링과 배출량자료 분석을 실시하고 있으며, 분석결과에 따라 각 지역에 맞는 맞춤형 저감대책을 수립한다.

(미국)

미국은 1950년대 LA스모그 사건 이후 대기오염에 대한 심각성을 인지하고 이에 대한 대응정책을 추진해 왔다. 1960년대 연방정부 차원에서 대기오염방지법(Clean Air Act)을 신설하고 광화학스모그 발생의 주범으로 나타난 자동차 배기가스 감소와 석탄발전소의 환경설비 강화 등을 추진하였다. 환경사고가 발생했던 캘리포니아주는 1959년 자동차오염통제 관리국을 설립하고 배출가스 감시와 오염배출 시설 인증을 진행하였다. 1975년에는 자동차 배기가스 저감장치 부착 의무화를 실시하였다. 1970년대 말 세계적인 석유위기가 발생하자

자동차 대체 에너지 개발에 착수하였고, 이 과정에서 천연가스를 연료로 사용할 때 배출오염이 감소한다는 것을 확인하였다. 다양한 분야의 정책을 시행한 결과 인구 및 에너지 및 소비증가에도 불구하고 6대 주요 오염물질(CO, Pb, NO_x, SO₂, O₃, PM₁₀)의 배출량이 1970년 대비 70% 감소하였고, 발전부문의 대기오염 저감을 위해 주 정부는 신규 오염원 규제 이행기준을 수립하여 화력 발전소의 대기오염 배출감축을 추진 중에 있다. 이 외 세부 관리대책은 표 2와 같다.

[표 2] 미국의 주요 오염물질 관리대책

구분		내용	대상 오염물질
중단기 전략	이동·고정오염원 전략	배출시설 설비의 현대화	NOx, VOCs, PM2.5
		PM 제어시설의 적용 강화	NOx, VOCs, PM2.5
		청정기술 사업장 인센티브 제공	All
		PM hot spot에 대한 국지 제어대책	PM2.5
		항만관리	NOx, VOCs, PM2.5
		청정연료 사용 장려	All
	교통전략	다인승차량 우대 전략	All
		교통 인프라 확충	All
		교통정보 제공	All
		청정엔진 교체	All
	연방정부에 제안 하는 전략	Smog Check 프로그램 강화	NOx, VOCs, PM2.5
		오토바이 배출기준 강화	NOx
		차량 폐차 확대 및 부품교체 강화 프로그램	NOx
		Zero emission 차량 보급 확장	NOx
		소비재의 VOC 배출규제 강화	VOCs
		연료전기기술을 고정·이동오염원에 확대 적용	NOx
장기 전략	중장기 대책	하이브리드-전기자동차와 고급전지	NOx
		향상된 엔진기술 활용, 교통인프라 개선	NOx
		신재생에너지 기술 및 사용촉진을 위한 인센티브	NOx, VOCs, PM2.5
		진보된 저VOC 기술 적용	VOCs

(일본)

1950~70년대 급격한 공업화가 이루어지면서 대기오염문제가 발생하였고, 환경문제 해결을 위해 1985년부터 발전소나 산업단지의 주요 대규모 배출원에 대한 연료를 석탄에서 LNG와 같은 천연연료로 대체하였으며, 전기집진기나 탈황설비와 같은 환경설비에 대한 투자를 시작하였다. 미세먼지의 건강피해를 인식하고 대기 중 미세먼지와 건강영향과의 상관성 분석 연구를 수행하였고, 그

결과를 바탕으로 2009년 PM_{2.5}에 대해 환경기준을 설정하는 등 미세먼지에 대한 상시 감시체계를 정비해 왔다. 2013년 중국의 영향으로 자국 내 미세먼지 농도가 증가하자 정부차원에서 미세먼지 대책이 발표되었다. 일본 내 머무르는 국민 외에 중국에 체류 중인 일본인을 위해 정보제공 홈페이지를 구축, 중국 각지의 미세먼지 데이터, 오염발생시 대응 매뉴얼 등의 정보를 제공하고 있다. 이동오염원에 대해서는 2003년 이후 매연저감장치 미장착 차량에 대해서는 시내 진입을 금지하였고, 이에 대한 관리감독을 강화하였다. 장거리오염물질에 대한 관리방안 모색을 위해 중국의 주요 도시들과 연계사업을 통해 자금 및 인력, 기술면에서 지원정책을 펼치고 있으며, 최근에는 미세먼지에 대한 근본적 해결을 위해 중장기적 로드맵을 설정하여 수행 중에 있다.

(중국)

2000년대 들어 경제성장과 함께 대기질이 급격히 악화됨에 따라 중국 내부적으로 대기오염의 심각성을 인지, 환경개선을 위해 다방면적인 개선정책이 추진되고 있다. 2012년 PM_{2.5}에 대한 기준을 설정하였고, 중앙정부차원의 PM_{2.5} 모니터링 네트워크를 구축하였다. 효과적인 배출원 관리를 위해 주요 배출원인 석탄연소, 철강산업을 비롯한 산업, 이동오염원, 노천소각 등에 대한 공식적인 인벤토리를 구축하였고, 국민의 건강보호를 위해 2013년 대기오염방지 행동계획(13~17)을 제작/배포하였다. 또한 전국 285개 도시의 PM_{2.5} 농도를 2012년 대비 10% 이상 감축하는 목표로 대기오염개선대책을 제정·시행 중에 있으며, 특히 베이징의 경우 2012년 대비 25%까지 저감하여 연평균 농도를 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소시키는 것을 목표로 하고 있다. 2015년에는 석탄 화력발전소의 배출 기준 강화하였고, 2020년까지 중국 내 모든 석탄 화력발전소에 초저배출 방지 시설 적용을 의무화하였다. 2016년에는 대기오염방지법을 개정, 각 지방정부에서 새롭게 강화된 기준을 달성하도록 강제규제 근거를 마련하였고, 대기오염 대응규정 신설, 고농도 오염발생에 대비한 대기오염 관측 및 예보시스템을 구축하였다. 이동오염원에 대해서는 대중교통수단 친환경 자동차(CNG, 전기차)로 전환, 노후 디젤차량 조기폐차 유도, 노후차 운행 관리감독 강화, 친환경차량 보급 지원 등을 수행하고 있다.

(프랑스)

프랑스 보건복지부는 미세먼지에 의한 조기사망자수를 연간 48,000명으로 보고하였고, 대기환경 오염을 심각한 재난으로 지정, 이에 대한 대응정책을 수립·시행하고 있다. 이동오염원 부분에서는 친환경 교통수단인 자전거를 이용한 출퇴근시 2016년부터 거리대비 보상금(0.25유로/km)을 지급하고 있으며, 자동차 배출량 등급제(6개 등급)를 실시하여 차량등급에 따라 주요도로 통행규제, 차량운행 규제단속 강화, 노후차 조기폐차 유도 등을 실시하고 있다. 또한 오존경보 발령시 자동차 도심진입 제한과 함께 차량 2부제가 시행된다.

(독일)

독일은 고정오염원(산업시설 및 연소시설)의 배출저감을 위해 2002년에 행정지침서인 TA-Luft(Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft)를 개정하였고, 산업종류에 따라 BAT(Best Available Techniques)을 적용하도록 하였다. 이동오염원에 대해서는 배출가스 후처리장치 개선과 도심 내 주도로 시속 30킬로미터 제한, 저매연자동차 대한 인센티브 지급, 매연필터 미장착 화물차에 대한 시간제 도심 진입 금지, 도심 내 개인차량 억제 및 공공교통수단 이용 확대 등을 추진하였다. 베를린의 경우 Euro 기준에 의한 차량등급 스티커 부착을 의무화 하였고, 2017년 3월부터는 Euro 4 이상의 차량만 주요 도시에 진입할 수 있도록 하였으며, 뮌헨의 경우 2019년까지 대중교통수단의 주요노선에 대해 전기버스로 교체하기로 하였다.

(서울시)

서울시는 미세먼지가 심한 날에는 차량 2부제를 자율적으로 도입하고, 출·퇴근시간대 대중교통요금 면제 등이 포함된 “서울시 미세먼지 10대 개선대책”을 발표하였다. 미세먼지를 ‘재난’으로 규정하고 공공 시민건강 보호조치를 강화하여 취약계층을 대상으로 보건용 마스크 전달 및 맞춤형 행동 매뉴얼 제작/보급하였다. 미세먼지에 대한 선제적 대응을 위해 서울형 비상저감조치를 도입하였고, 2018년부터 도심 녹색교통진흥구역(한양도성 내) 노후 경유차를 포함한 공해차량의 운행을 제한하였다. 시 발주 공사장에서는 친환경 건설기계 사용을 의무화 하였고, 시 산하 공공청사와 SH 서울주택공사가 시공하는 주택 사업에는 친환경 가정용 보일러와 산업용 저녹스 버너 보급을 의무화, 기존 노

후 보일러의 친환경보일러 교체 지원사업도 추진 중에 있다. 이 외에 대기질 개선 유망기업 발굴 R&D 지원 및 연구 확대, 동북아 4개국 주요도시와의 환경외교 강화, 정부-지자체 대기질 공동협력 확대 등을 계획하여 진행 중에 있다.

(경기도)

경기도는 2015년 기준 전국에서 대기오염물질 배출량 1위의 지자체로 1차 수도권 대기환경관리 기본계획에 의거 경기도 내 24개시가 대기환경개선 계획을 수립해 왔다. 15년부터 진행되고 있는 2차 시행계획에는 4개시가 추가되어 28개시가 6대 대기오염물질(PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_x , SO_x , VOCs, O_3)을 대상으로 개선계획을 수립하고 있다. 미세먼지 배출사업장에 대한 단속을 강화하여 배출사업장 5,594개소에 점검결과 549곳을 적발해 행정조치를 하였고, 친환경차 인프라 구축 프로그램을 통해 전기차를 3,200대 보급하였으며 전기차충전소를 5,700기 설치하였다. 노후경유차 47,000대와 노후건설기계 726대를 조기 폐차하였다. 이와 더불어 2019년도에는 취약계층 이용시설 9,000개소에 대한 실내 공기질 무료측정 컨설팅, 어린이집 등 취약계층 이용시설 21,000개소 공기청정기 지원, IoT 기반의 실내공기질 상시측정 시범사업 등을 추진할 계획이다.

(인천시)

인천시는 미세먼지 저감을 위해 발전·산업, 수송, 비산먼지, 측정·분석, 미세먼지 경보제, 국제협력, 시민생활 보호대책, 항만관리 부문, 공항관리부문, 수도권매립지 부문 등 10개 분야 65개 과제를 계획하여 진행하고 있다. 발전·산업부분에선 발전소 등 미세먼지 관리대상을 2016년 61개에서 74개로 확대하고 사업장별 대기오염배출량을 먼지총량제로 시행하면서 2022년까지 NO_x 와 SO_x 의 배출량을 2017년 대비 각각 26%와 19% 감축하도록 하였다. 수송부문에서는 2017년도와 2018년도에는 각각 14,500대와 18,050대의 노후경유차에 매연저감장치를 장착하였다. 또한 동일기간에 각각 358대와 500대의 전기차를 보급하였고, 2018년도부터는 어린이 통학 경유차를 LPG로 전환지원 사업을 추진하고 있다. 생활부문에서는 도로먼지 제거차량을 29대로 확대/운영 중에 있으며, 2017년부터 2년간 운동장 먼지발생 억제제를 178개 초, 중, 고등학교에 배포하였다.

(충청남도)

충청남도는 석탄 화력발전소 61기 중 절반인 30기가 위치하고 있고, 대산석유화학단지과 현대제철 등 대규모 배출시설들이 밀집되어 있어 대기오염 출량 부분에서 전국 2위를 차지하고 있다. 도에서는 미세먼지 저감을 위해 “충남형 미세먼지 저감대책”을 수립하여 2015년 대비 2022년까지 대기오염물질 배출량 98,571톤(35.3%)를 감축하기로 하였다. 이를 위해 도 대기배출허용 기준 조례를 개정하고, 노후 석탄 화력발전소 조기 폐쇄 건의, 3~6월 노후화력발전소 가동 중단 등을 골자로 추진하고 있다. 사업·이동부분에서는 산업단지에 고효율 에너지향상 시스템 구축, 굴뚝자동측정기기 장착 사업단 지도점검 강화, 노후경유차 및 건설 기계장비의 친환경설비 구축, 노후경유차 조기폐차 지원, 친환경자동차(전기, 수소차 등) 보급 확대 등을 추진하고 있다. 생활환경에는 민감취약계층 실내공기질 개선 컨설팅 및 공기청정기 보급, 생활주변 녹지조성, 민감계층 이용시설 실내공기측정기 설치, 미세먼지 취약지역 대형공기정화기 시범설치 등을 추진 중에 있다. 2018년 3~6월 노후 석탄화력 발전소 가동 중단에 대한 개선효과 분석결과 보령에서 PM_{2.5} 기준 가동중단 기간 동안 6.2%가 감소한 487톤의 배출저감이 확인되었다.

제 3 장

실외용 공기정화장치 활용성 검토

1. 실외용 공기정화장치 적용 사례조사
2. 충청남도 적용 가능성 검토

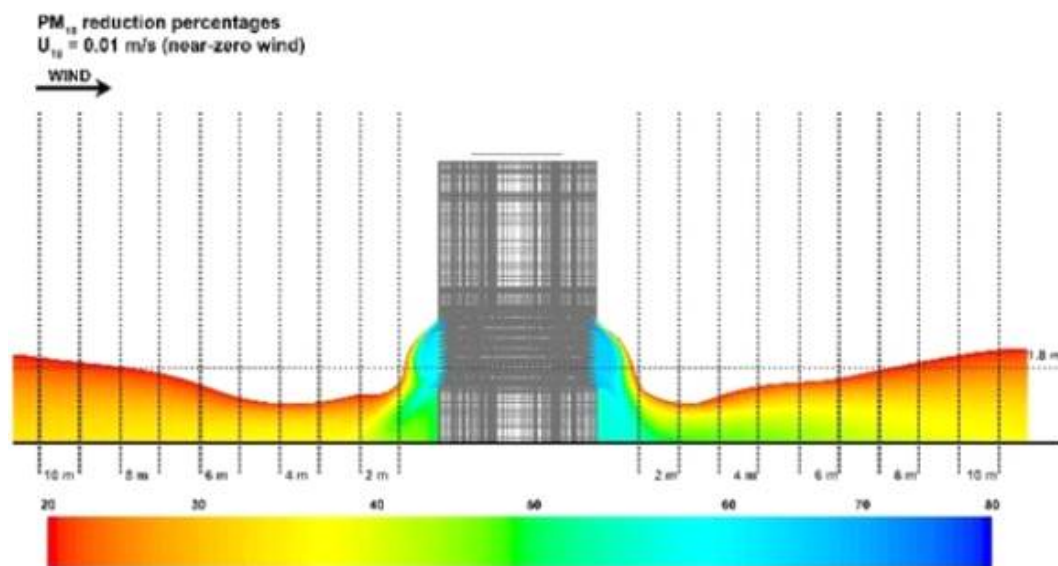
실외용 공기정화장치 활용성 검토



1. 실외용 공기정화장치 적용 사례조사

미세먼지는 어느 한 분야에서 국지적인 노력에 의해 저감되는 것이 아니기 때문에 장기간 다방면의 노력이 필요하며, 장기적인 관점에서 대응방안 수립이 요구된다. 미세먼지에 대한 국민적 불안감이 증가하면서 대응방안으로 개인보호구와 공기청정기에 대한 관심이 증가하고 있다. 공기청정기가 밀폐된 공간에서 제한된 용량을 관리해 준다면 일부 나라에서는 실외에서 대기 중 공기를 대상으로 청정능력을 발휘하는 실외용 공기정화장치에 대한 연구를 수행하고 있다. 일명 공기정화탑 (smog free tower, SFT)라 불리는 이 집진장치는 네덜란드의 디자이너 단 레세하르데(Daan Roosegaarde)가 2014년 베이징에 방문했을 때 지독한 대기오염에 영감을 받아 개발한 것으로 알려져 있다. SFT 구상 초기 대학과 기업들로부터 후원을 받아 장치 개발을 진행하던 중 네덜란드 델프트 공과대학의 밥 울섬(Bob Ursem) 교수와 협업하여 초기의 스모그 프리 타워를 개발하였고, 완성 된 구조물은 네덜란드 로테르담에서 시범설치 되었다. SFT는 타워 벽면에서 먼지를 집진할 수 있는 유닛을 설치한 뒤 타워 상부를 통해 오염된 공기를 흡인하여 오염물질을 필터링 후 깨끗한 공기를 하부로 배출하도록 설계되었다. 장치 설계상 시간당 30,000 m³의 공기를 처리할 수 있지만 소요전력은 전기 포트 한 대 수준인 1,170 W로 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 그림 5는 네덜란드 에인트호번 기술대학 연구팀에서 SFT의 저감 효과를 수치해석한 결과로 타원에서 10 m 떨어진 곳까지 PM₁₀은 45%, PM_{2.5}는 25%의 저감 효율을 가지는 것으로 나타났다. 다만 이는 바람이 거의 불지 않는 무

풍 조건하에서의 효율로 타워 주변에 바람이 강하게 불수록 미세먼지 저감효율은 눈에 띄게 감소하는 것으로 나타났다. 장치의 초기 설정 특성상 야외에 설치되다보니 주변 환경과 기상조건에 따라 타워의 성능이 크게 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 5] 네덜란드에 설치된 SFT 모습과 수치해석을 결과 (중앙일보, 19.03.10)

그림 6은 네덜란드에 시범 적용된 SFT를 중국 베이징과 텐진에 적용한 모습이다. 이 장치들은 중국과학원 대기환경연구소에서 대기질 개선효과를 목적으로 설치하였는데, 중국에 적용된 장치는 2가지 형태로 첫 번째 SFT는 그림 6과 같이 기존 네덜란드에 적용되었던 유사 규모의 제품으로 2017년 광주 비엔날레 행사에서 소개된 적이 있다.



(a) 베이징



(b) 텐진

[그림 6] 중국에 설치된 소형 SFT (중앙일보, 19.03.10)



[그림 7] 광주비엔날레에 소개된 SFT

다른형태의 SFT는 중국에서 건설한 높이 60 m, 직경 10 m의 초대형 규모로, 세계 최대의 공기정화탑으로 기록되었다. 내부는 원통형의 메인 구조체 외에 송풍기 2대와 상승기류 생성을 위한 유리온실, 흡입된 먼지를 포집할 수 있는 여과필터로 구성되어 있다. 기존 네덜란드 제품과는 다르게 오염된 공기를

하단의 팬으로 강제흡인한 후 오염된 공기가 유리온실 안으로 유입되고, 그 안 벽면에 설치된 여과필터에 1차 여과된 후 그 여과된 공기를 다시 원통형 굴뚝 안으로 통과시켜 상승기류를 타고 상부로 배출하도록 구성되어 있다. SFT 건설에 1,200만 위안(20억원)이 투자되었고, 연간 인건비를 제외하고 3,400만원의 운영비가 필요한 것으로 확인되었다. 가장 중요한 미세먼지 저감 효율은 시안시 자체평가 결과 반경 10 km²에 대해 PM₁₀ 15%, PM_{2.5} 19%의 개선 효과가 있는 것으로 나타났다.

- 설치위치 : 시안(Xi'an), 산시성
- 처리용량 : 1000만 m³/day
- 건설비용 : 20억원
- 연간운영비 : 3400만원 (인건비 제외)
- 처리효율 : PM₁₀ 15%, PM_{2.5} 19%
(단, 10 km² 이내)

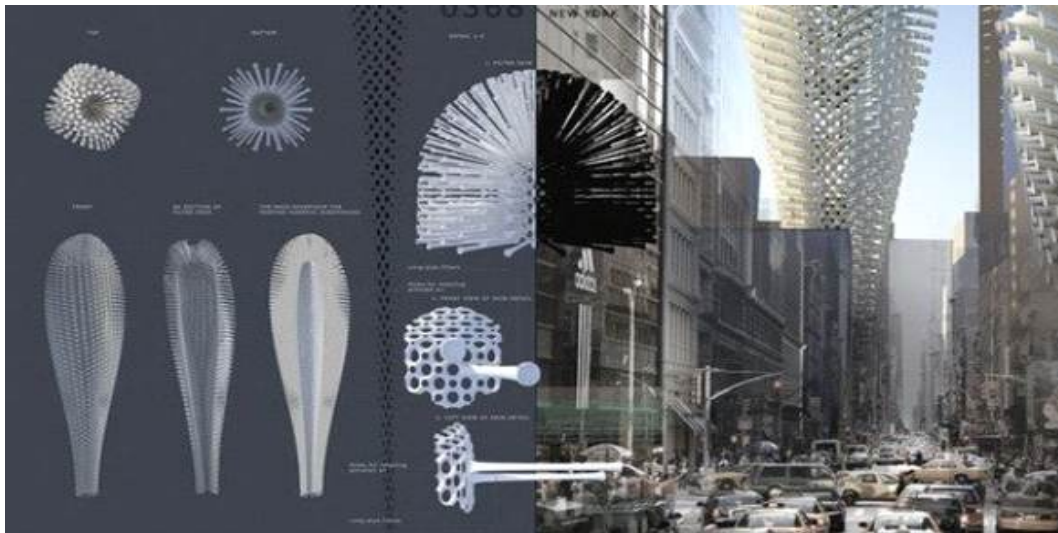
[그림 8] 중국 시안에 설치된 초대형 SFT

프랑스 코닝 연구소의 장자크 테론 박사연구팀은 벌집모양의 세라믹 필터를 활용한 공기정화시스템을 개발하였는데 이 제품은 자동차의 배기가스를 걸러내는 필터를 응용해 미세먼지로 오염된 도시 공기를 정화시키는 원리로 실제 프랑스 파리와 중국 상하이에 시제품을 설치되어 운영 중에 있다. 장치에 대한 저감 효과 분석결과 PM_{2.5} 기준 장치 가동 전 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 장치 가동 후 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 감소한 것으로 나타났다. 연구팀은 필터를 활용해 10 m 높이에 공기정화설비를 설치할 경우 매일 360만 m³의 공기를 정화할 수 있으며, 2024년 파리 올림픽에 맞춰 경기장 주변과 도심 곳곳에 본 장치를 설치하는 것을 목표로 연구를 진행하고 있는 것으로 확인되었다.



[그림 9] 세라믹 허니컴 필터를 채용한 도심 공기청정장치 (중앙일보, 19.03.10)

러시아의 건축가 알렉세이 우마로프도 2017년 하이퍼 필터 방식의 미세먼지 집진 빌딩을 제안하였다. 이 빌딩은 수십층 높이의 빌딩처럼 생긴 커다란 골격에 구멍이 많은 하이퍼 필터로 이루어져 있으며, 벽의 구멍과 내부로 연결된 파이프를 통해 빨아들인 공기는 필터로 정화시켜 처리하도록 설계되었다. 하지만 본 장치는 아이디어 수준에만 머물렀으며 아직까지 제품화는 되지 못해 저감 효율이나 장치의 세부사양에 대한 자료는 확인할 수 없었다.



[그림 10] 하이퍼 필터타입의 공기청정타워 (중앙일보, 19.03.10)

이외에 독일에서는 시티 트리(city tree)라는 공기정화 벤치가 운영 중에 있는 것으로 조사되었다. 이 장치는 독일의 그린시티 솔루션이란 기업에서 2017년 제안한 것으로 벤치 양쪽에 설치된 패널에 오염센서가 장착되어 실시간으로 토양의 습도, 온도, 주변 공기질 등을 측정해 공기 정화상태를 표시한다. 태양광 에너지를 이용해 자동으로 물이 분사되며 24시간 멈추지 않고 작동하는데 벤치 2개당 하루 약 250 g의 미세먼지를 흡수하고, 연간 240톤의 이산화탄소를 없애며, 베를린, 파리, 암스테르담, 오슬로 등 유럽 20여 개국 이상 설치되어 운영 중에 있는 것으로 확인되었다.



[그림 11] 베를린에 설치되어 있는 시티 트리 (아시아경제, 19.03.25)



2. 충청남도 적용 가능성 검토

앞선 제3장 1절에서 실외에서 공기청정을 목적으로 적용되고 있는 장치에 대해 소개하였고, 이 장치들에 대한 사양을 표 3에 정리 하였다. 각 장비별 특징과 적용 대상이 다른 만큼 다양한 공간에 적용되어 운영 중에 있다. 이에 본 장에서는 각 장비들에 대한 장단점과 우리 도에 적용 가능성 여부를 검토하였다.

[표 3] 실외용 공기정화장치의 상세 사양

명칭	적용도시	효율	용량	조건
소형 SFT	로테르담 (네덜란드) 베이징, 텐진 (중국)	PM ₁₀ 45% PM _{2.5} 25%	30천m ³ /hr	10 m 이내
초대형 SFT	시안 (중국)	PM ₁₀ 15% PM _{2.5} 19%	4,167천m ³ /hr	10 km 이내
세라믹 공기청정기	파리 (프랑스)	PM _{2.5} 87% 이상	1,500천m ³ /hr	Lab-test시
시티트리	베를린 등 20여 개국	자료없음	-	-
공기청정타워	미적용	자료없음	-	-

(소형 SFT)

본 장비는 10 m 이내 비교적 좁은 공간에 대한 미세먼지 저감을 목적으로 설계되었고, 경계면 안에서 비교적 높은 집진효율을 보였다. 하지만 직경 20 m 안에서만 그 효과를 체감할 수 있고, 주변에 일정 이상의 기류 발생시 처리 효율이 급격히 떨어지기 때문에 기류를 제어할 수 있는 펜스나 기밀처리가 필요할 것으로 보인다. 본 집진장치의 높이가 7 m 인 점을 감안하여 적용면적 산정시 60 m x 60 m인 공간에 적용시 1시간에 1회 공기교환이 가능할 것으로 보이며, 밀폐된 체육관이나 강당, 대형매장, 대중교통수단의 대합실, 대형 박람회장 등에 적용이 가능할 것으로 보인다. 설계 초기에 제안된 실외 집진장치로의 활용은 기류조건 등에 영향을 크게 받는 점을 고려했을 때 적용이 어려울 것으로 판단된다.

(초대형 SFT)

반경 20 km 이내의 미세먼지 저감을 목표로 설계된 본 장치는 적용 면적이 넓다보니 다른 장비들에 비해 저감 효과는 떨어지지만 운영비용이 적게 든다는 장점이 있다. 하지만 장치 자체가 높이 60 m, 직경 20 m에 설치부지가 축구장 절반 정도가 소요되어 기존에 구성되어 있는 공간에 추가 설치하는 방안 보다는 설계 초기에 계획하여 건설하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 대단위 아파트 단지나 신규 개설 테마파크(놀이공원, 동물원), 계획도시 등의 중앙부에 적용이 가능하다. 높이가 60 m 이상 되는 만큼 테마파크나 계획도시 적용시 최상층을 전망대나 레스토랑 등의 랜드마크 시설로 활용이 가능할 것으로 보인다. 하지만 국내 여건상 토지비용이 비싸고 20억씩 하는 초기 투자비용, 그리고 처리된 깨끗한 공기가 상부로 배출되는 장치 특성상 지상에 있는 사람들이 실질적인 청정공기 효과를 볼 수 없다는 점을 고려했을 때 적용 가능성은 그리 크지 않을 것으로 판단된다.

(세라믹 공기청정기)

허니컴 타입의 필터를 채용함으로써 타 집진설비에 비해 집진효율이 우수하며, 처리용량도 커 본 연구에서 조사된 실외 집진장치 중 처리효과가 가장 높을 것으로 판단된다. 장치 자체만의 성능으로 봤을 때 기존에 소개된 다른 장치들에 비해 미세먼지 저감 효과는 우수할 것으로 보이나 이 역시 개방된 공간 보다는 밀폐된 장소 적용시 좀 더 우수한 효과를 보일 것으로 판단되며, 지하철 공조실이나 버스중앙차선의 승강장, 버스나 항만 터미널 등에 적용이 가능할 것으로 보인다. 최근 대중교통수단의 효율개선을 위해 운영 중인 버스중앙차선의 경우 주변 차량으로부터 배출되는 배기가스에 의한 건강영향을 우려하여 밀폐화 시키는 연구가 수행되고 있다. 그림 12는 두바이나, 터키, 말레이시아를 포함한 국내외 밀폐 버스정류장의 모습으로 계절에 따라 냉난방을 부가적으로 제공하고 있는데, 여기에 세라믹 공기청정기를 모듈화 시켜 적용한다면 좀 더 효과적인 개선 효과를 기대할 수 있다. 하지만 부직포 형태의 필터를 사용하는 SFT에 비해 허니컴 타입의 필터 자체의 단가가 높고, 차압이 높은 필터 특성상 송풍기의 운영비도 높게 산정될 것으로 보여 타 장치에 비해 운영비용이 매우 높게 산정될 것으로 높다.



(a) 두바이



(b) 터키



(c) 말레이시아



(d) 한국

[그림 12] 세계 각국에서 운영 중인 밀폐형 버스정류장

이 밖에 러시아에서 제안된 공기청정타워는 제거 개념만 제시하였을 뿐 시운영 된 사례가 없어 적용 가능성을 판단하기 어렵고, 독일에서 제안된 시티트리 역시 타 장비들에 비해 많은 20여개 곳에 적용되어 평가되고 있으나 세부적인 규격이나, 처리용량, 저감 효율 등에 대한 자료가 부족해 적용 가능성 여부를 판단하기에는 무리가 있을 것으로 판단되며, 추후 지속적인 모니터링과 추가적인 조사를 통한 자료 확보가 더 필요할 것이다.

제4장

충청남도 미세먼지 정책제안

제4장

충청남도 미세먼지 정책제안



국내외 미세먼지 정책 문헌조사 결과와 국내 전문가의 의견 등을 바탕으로 충청남도에서 추진을 검토할 수 있는 미세먼지 정책을 다음과 같이 제안한다.

【1】 생활주변 면오염원 중심의 관리체계 전환

① 주거지와 소규모 공장 혼재지역에 대해 우심지역 선정 관리

- (필요성) 대형 점오염원 중심의 관리로 인한 사각지대 발생으로 생활주변 면오염원 중심의 관리체계 필요
- (사업대상) 주거-공장 혼재지역 선정(천안, 아산, 서산, 당진 등)
- (사업내용) 우심지역 선정기준 마련, 우심지역 관리·지원계획 수립, 관리·지원계획 이행
- (기대효과) 생활주변 중심의 미세먼지 관리체계 전환으로 도민들이 공감·체감하는 대책 마련 및 건강피해 예방관리에 기여

② 우심지역 주민 대상 미세먼지 관련 건강실태조사

- (필요성) 우심지역 주민들의 환경과 건강피해 우려가 증가
- (사업대상) 주거-공장 혼재지역(천안, 아산, 서산, 당진 등)
- (사업내용) 지역보건소 연계 건강검진 및 미세먼지 행동요령 교육
- (기대효과) 주민 건강피해 사전 예방

③ 소규모사업장 발생저감을 위한 연료전환사업 확대

- (필요성) 중소사업장 미세먼지 저감을 위한 맞춤형 지원제 필요
- (사업대상) 도내 벙커C유 사용 소규모사업장(3~5종)
- (추진방안) 온실가스 배출권 확보 필요기업 투자 유도(사업비는 발전사 등 참여기업 자부담)
- (사업내용) 벙커C유 사용 시설을 LNG, LPG 시설로 전환
- (기대효과) 미세먼지 및 온실가스 감축 기대

【2】 농축산분야 미세먼지 저감대책 마련

① 축산분뇨 악취(암모니아) 관리를 통한 미세먼지 저감대책

- (필요성) 가축분뇨 및 비료사용에 의해 발생된 암모니아가 미세먼지 2차 생성 유발물질로 작용
 - ※ 충남은 사육두수 기준 돼지 1위 등 전국 최대 가축사육지역
- (사업대상) 가축사육 밀집지역(보령, 홍성)
- (사업내용) 배출원 자료 수집 및 인벤토리 구축, 축사 밀폐기술 적용성 검토, 미생물제재 구매 지원 등
- (기대효과) 축산 밀집지역 대기환경 특성 규명
 - ⇒ 축산악취 개선으로 삶의 질 향상 및 미세먼지 저감 효과

② 농촌 영농폐기물 소각 관리

- (필요성) 농업잔재물 소각에 의한 대기오염과 건강피해 우려
 - ※ 2016년 기준 대기오염물질 배출량 중 생물성연소 7.38%(36,098톤)
- (사업대상) 시범사업 대상 선정
- (사업내용) 농업잔재물 공공수거 처리시스템 구축
- (기대효과) 영농폐기물 및 부산물 연소에 의한 미세먼지 발생 방지

② 농어민에 대한 미세먼지 보호대책

- (필요성) 농업인은 장시간 노출, 미세먼지 보호 관리 사각지대
- (사업대상) 도내 농어민
- (사업내용) 미세먼지 마스크 보급, 마을단위 미세먼지 쉼터 조성
- (기대효과) 미세먼지로 인한 농어민 건강피해 사전 예방

【3】충남 자체 대기오염물질 분석진단체계 구축

① 충청남도 대기오염물질 인벤토리 구축

- (필요성) 현행 자료체계(CAPSS)의 정확도, 관리 등 문제점 도출
- (사업대상) 도내 대기오염물질 배출시설
- (사업내용) 배출시설 전수조사, 배출원 및 배출목록, 배출량 수정보완
- (기대효과) 과학적 대기오염물질 관리 기반 마련으로 대기환경개선계획 등 관련 계획 수립과 이행에 활용

② 충남형 대기질 분석진단시스템 고도화를 통한 기여도 진단

- (필요성) 미세먼지 체계적 관리를 위한 과학적 기반 구축
- (추진방안) 대기질 측정자료 및 모델링을 연계한 분석 실시
- (사업비) 보건환경연구원 자체사업

※ 2020년 대기질 분석진단시스템 고도화 사업(400백만원)

- (사업내용) 오염원 배출특성 파악 및 배출원 추적, 기여도 평가
- (기대효과) 지역별 대기질 개선대책 마련을 위한 객관적 자료 활용

연구책임		이상신 기후변화대응연구센터 책임연구원
연구참여		김종범 기후변화대응연구센터 책임연구원 정석한 기후변화대응연구센터 연구원

정책지원과제 2019-02
충청남도 미세먼지 저감 시책발굴

발행일 : 2019년 04월
발행인 : 충남연구원장
발행처 : 충남연구원 서해안기후환경연구소
(32258) 충청남도 홍성군 홍북읍 홍예로 360
홈페이지 <http://www.shari.re.kr>
발간등록번호 : -
